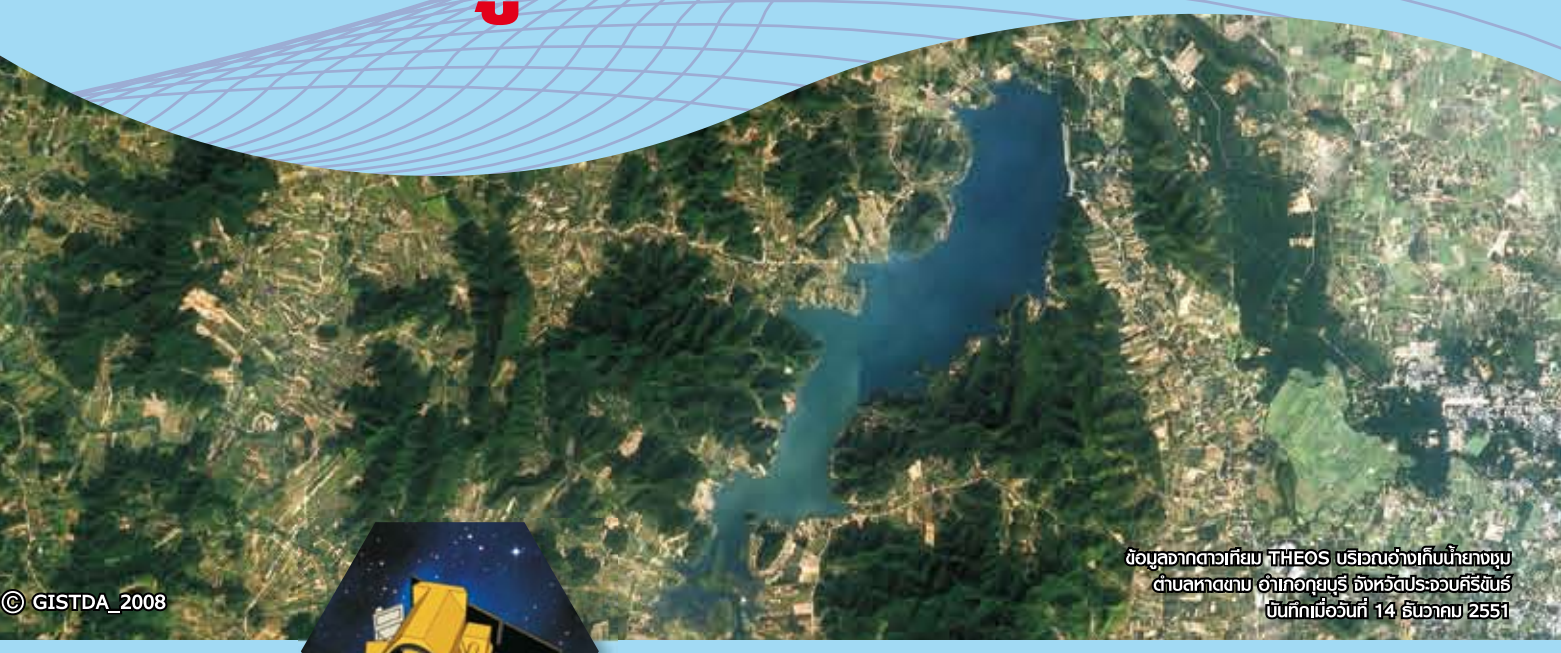
ตำรา

เทคโนโลยีอวกาศ และ ภูมิสารสนเทศศาสตร์



ข้อมูลจากดาวเทียม THEOS บริเวณอ่างเก็บน้ำยางชุม
ตำบลหาดขาม อำเภอภูยมบุรี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์
บันทึกเมื่อวันที่ 14 ธันวาคม 2551

© GISTDA_2008

SPACE TECHNOLOGY AND GEO-INFORMATICS

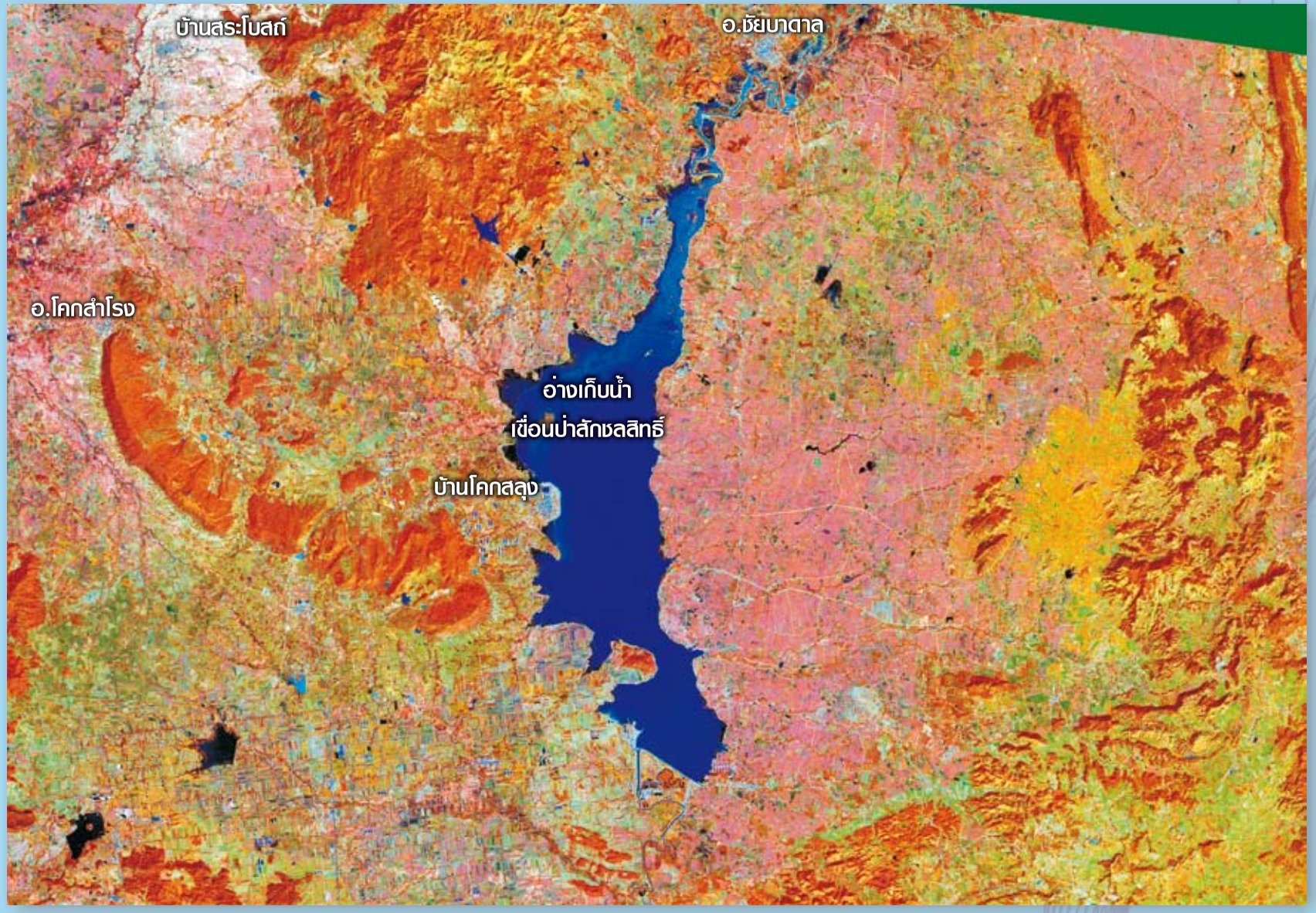
โดยความร่วมมือระหว่าง

สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน)
กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

และ

สมาคมสำรวจข้อมูลระยะไกลและสารสนเทศภูมิศาสตร์แห่งประเทศไทย

ภาพจำลองอินฟราเรดช่วงคลื่นสั้น ข้อมูลจากดาวเทียม THEOS ด้วยข้อมูลจากดาวเทียม LANDSAT-5
เพื่อจำแนกชนิดพืชไร่ บริเวณ อำเภอพัฒนานิคม อำเภอชัยบาดาล อำเภอท่าหลวง จังหวัดลพบุรี
บันทึกเมื่อวันที่ 2 กุมภาพันธ์ 2543



สัญลักษณ์

ป่าไม้

ข้าวโพด

มันสำปะหลัง

แหล่งน้ำ

ตำรา เทคโนโลยีอวกาศ และ ภูมิสารสนเทศศาสตร์

SPACE TECHNOLOGY AND GEO-INFORMATICS

โดยความร่วมมือระหว่าง

สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน)

กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

และ

สมาคมสำรวจข้อมูลระยะไกลและสารสนเทศภูมิศาสตร์แห่งประเทศไทย

ตำราเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศศาสตร์
(Space Technology and Geo-Informatics)

จัดพิมพ์โดย
สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน)
196 ถนนพหลโยธิน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900
โทรศัพท์ 0-2940-6420 ต่อ 201, 207, 208
โทรสาร 0-2940-7307
www.gistda.or.th

พิมพ์ครั้งที่ 1 : เมษายน 2552

จำนวน : 5,000 เล่ม

ISBN : 978-611-12-0008-9

สงวนสิทธิ์ : สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน)
"ไม่จำหน่าย"

สถานที่พิมพ์ : บริษัท อมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง จำกัด (มหาชน)
65/16 ถนนชัยพฤกษ์ เขตตลิ่งชัน กรุงเทพฯ 10170
โทรศัพท์ 0-2422-9000, 0-2882-1010 โทรสาร 0-2434-1385
E-Mail : info@amarin.co.th Homepage : http://www.amarin.com

สงวนลิขสิทธิ์ © ตามพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2537
ห้ามนำส่วนใดส่วนหนึ่งของหนังสือเล่มนี้มาลอกเลียน ทำสำเนา ถ่ายเอกสาร หรือนำไปเผยแพร่บนอินเทอร์เน็ต และเครือข่ายต่างๆ ไม่ว่ารูปแบบใดๆ โดยปราศจากการขออนุญาตจากสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศ และภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน)

สารจากรัฐมนตรีว่าการกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ดร. คุณหญิงกัลยา โสภณพนิช

กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มีนโยบายเร่งด่วน ในการใช้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เพื่อแก้ปัญหาความยากจน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการนำผลงานต่าง ๆ ของกระทรวง ไปประยุกต์ใช้เพื่อเพิ่มคุณภาพชีวิต สร้างรายได้และสร้างงานแก่ประชาชน โดยให้สอดคล้องกับสภาพสังคมและพื้นที่ของประเทศ รวมทั้งการส่งเสริมและสนับสนุนให้ประชาชนทั่วไปมีความรู้และความสามารถในการใช้วิทยาศาสตร์ควบคู่ไปกับภูมิปัญญาท้องถิ่น ดังนั้น การพัฒนาบุคลากรด้านภูมิสารสนเทศของประเทศ จึงเป็นนโยบายที่สำคัญประการหนึ่งของกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เพื่อมุ่งเน้นการพัฒนาบุคลากรด้านนี้ให้มีความรู้ ความสามารถ และความเชี่ยวชาญในการประยุกต์ใช้ข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียมสำรวจทรัพยากรธีออสดวงแรกของประเทศไทย และข้อมูลภูมิสารสนเทศให้เกิดประโยชน์ในการส่งเสริมคุณภาพชีวิตของประชาชน พร้อมทั้งขยายผลการดำเนินงานให้ครอบคลุมทุกพื้นที่ของประเทศไทย โดยเฉพาะในเขตชนบท

กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี หวังเป็นอย่างยิ่งว่าตำราเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศศาสตร์เล่มนี้ จะเสริมสร้างองค์ความรู้ด้านเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ ให้เกิดประโยชน์สูงสุดในการเรียนการสอนแบบไร้พรมแดนต่ออาจารย์ นิสิต นักศึกษาและประชาชนทั่วไป

(ดร. คุณหญิงกัลยา โสภณพนิช)

รัฐมนตรีว่าการกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

สารจากประธานกรรมการบริหาร สทอภ.

รศ. ดร. สมเจตน์ ทิณพงษ์

ภารกิจหลักสำคัญประการหนึ่งของสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ คือ ส่งเสริมและพัฒนาบุคลากรด้านพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศของประเทศไทย ตั้งแต่ระดับมัธยม ถึงระดับอุดมศึกษา ให้เป็นบุคลากรที่มีความรู้และความสามารถ

สทอภ. จึงได้ดำเนินการส่งเสริม สนับสนุนการถ่ายทอดเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ ในหลายรูปแบบด้วยกัน คือ การจัดฝึกอบรม การประชุมสัมมนาวิชาการ การสร้างความตระหนักระดับเยาวชนโดยการจัดค่ายเยาวชนตะลุยอวกาศทั่วประเทศ การสร้างฐานข้อมูลแห่งการเรียนรู้ การพัฒนาหลักสูตรการเรียนการสอน การพัฒนาตำราและสื่อประกอบการเรียนการสอน ตลอดจนการสร้างเครือข่ายความร่วมมือทางวิชาการไปยังภูมิภาคต่างๆ ทั่วประเทศโดยร่วมกับเครือข่ายมหาวิทยาลัย 5 แห่ง ในการพัฒนาหลักสูตรระดับปริญญาเอกด้านภูมิสารสนเทศศาสตร์ ซึ่งในปีนี้ได้เริ่มต้นการศึกษาเป็นปีแรก

ตำราเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศศาสตร์เล่มนี้ ได้รับความร่วมมือจากผู้เชี่ยวชาญของประเทศไทยร่วมกันเขียนและเรียบเรียงขึ้น ให้เป็นเอกสารวิชาการที่จัดทำขึ้นตามมาตรฐานสากล สามารถใช้เป็นเอกสารอ้างอิง และประกอบการเรียนได้เป็นอย่างดี เพื่อมุ่งให้เกิดประโยชน์สูงสุดในการพัฒนาองค์ความรู้และการประยุกต์ในด้านเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศของประเทศไทยอย่างต่อเนื่องต่อไป

(รศ. ดร. สมเจตน์ ทิณพงษ์)

ประธานกรรมการบริหาร

สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ

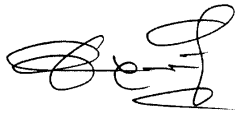
คำนำ

สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) : สทอภ. ภายใต้การกำกับดูแลของรัฐมนตรีว่าการกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มีนโยบายในการพัฒนาและเผยแพร่เทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศให้เป็นความรู้ที่ไร้พรมแดน เกิดประโยชน์สูงสุดต่อส่วนรวม โดยมุ่งเน้นการพัฒนากำลังคนด้านเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศของประเทศ เพื่อให้นิสิต นักศึกษา และบุคคลทั่วไปที่สนใจ มีความรู้และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างสมบูรณ์ จึงจำเป็นต้องมีเอกสารวิชาการที่มีความถูกต้องตามมาตรฐานสากล

สทอภ. จึงได้จัดทำตำราเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศศาสตร์เล่มนี้ขึ้น โดยได้รับความสนับสนุนจากสมาคมสำรวจข้อมูลระยะไกลและสารสนเทศภูมิศาสตร์แห่งประเทศไทย คณาจารย์และผู้เชี่ยวชาญจากสถาบันการศึกษาต่าง ๆ ตลอดจนหน่วยงานของรัฐและเอกชนที่ปฏิบัติงานทางด้านภูมิสารสนเทศ ร่วมกันจัดทำจนได้รับผลสำเร็จ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อสนับสนุนการเรียนการสอน ในระดับอุดมศึกษา และมุ่งเน้นนิสิตนักศึกษาที่กำลังศึกษาระดับปริญญาตรี ซึ่งในขณะนี้มีการเรียนการสอนในสาขาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศศาสตร์อยู่เกือบทุกสถาบัน ดังนั้น การจัดทำตำรานี้ นอกจากจะเป็นการสร้างองค์ความรู้เกี่ยวกับเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศในปัจจุบันให้ก้าวหน้ายิ่งขึ้นแล้ว ยังเป็นการสร้างรากฐานที่มั่นคงไว้เพื่อการต่อยอดให้มีการพัฒนาเทคโนโลยีด้านนี้ต่อไปในอนาคตด้วย

ตำราเล่มนี้ครอบคลุมเนื้อหาเกี่ยวกับเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศค่อนข้างสมบูรณ์ ประกอบด้วย หลักการและพื้นฐานของภูมิสารสนเทศที่จะนำไปสู่ความเข้าใจทั้งภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติ โดยเสนอกรณีตัวอย่างที่ได้จากประสบการณ์ของนักวิชาการที่มีความเชี่ยวชาญในการประยุกต์ใช้หลากหลายสาขา ไม่ว่าจะเป็นด้านการเกษตร ป่าไม้ แหล่งน้ำ การทำแผนที่ ทรัพยากรธรรมชาติ ภัยพิบัติ ความมั่นคง การใช้ประโยชน์ที่ดิน และสิ่งแวดล้อม ตลอดจนมีแผนที่และสถิติที่เกี่ยวข้องแสดงไว้ด้วย

สทอภ. จึงหวังเป็นอย่างยิ่งว่าตำราเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศศาสตร์เล่มนี้ จะเป็นประโยชน์ต่อนิสิต นักศึกษา นักวิชาการ และบุคคลทั่วไปที่สนใจ เพื่อใช้ในการศึกษา ค้นคว้า อ้างอิง และนำความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์กับงานด้านภูมิสารสนเทศต่อไป



(ดร. ธงชัย จารุพพัฒน์)
ผู้อำนวยการ
สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ

สารบัญ

	เนื้อหา	หน้า
บทที่ 1	**บทนำ**	**1**
	1. ความหมายของเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ (Geo-information technology)	1
	2. องค์ประกอบของเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ	1
	2.1 การรับรู้จากระยะไกล	1
	2.2 ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์	4
	2.3 ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก	7
	3. การใช้ประโยชน์เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ	7
บทที่ 2	**เส้นโครงแผนที่และระบบพิกัด (Map and Map Projection)**	**10**
	1. เส้นโครงแผนที่และคุณสมบัติ	10
	2. ชนิดของเส้นโครงแผนที่	11
	2.1 เส้นโครงแผนที่แบบระนาบสัมผัส	11
	2.2 เส้นโครงแผนที่แบบกรวย	12
	2.3 เส้นโครงแผนที่แบบทรงกระบอก	13
	2.4 เส้นโครงแผนที่ทางคณิตศาสตร์	14
	3. การเลือกใช้เส้นโครงแผนที่ตามคุณสมบัติ	14
	3.1 คุณสมบัติคงพื้นที่	14
	3.2 คุณสมบัติรักษารูปร่าง	15
	3.3 คุณสมบัติคงทิศทาง	15
	4. ระบบพิกัดในแผนที่ (Coordinate system on maps)	15
	4.1 ระบบพิกัดภูมิศาสตร์ (Geographic coordinates systems)	15
	4.2 ระบบพิกัดยูทีเอ็ม (UTM coordinates systems)	16
	4.3 ระบบพิกัดแผนที่ GLO (General Land Office grid system)	17
	4.4 ตารางพิกัดทางทหาร (Military grid)	19
	5. ชนิดแผนที่และการสร้างสัญลักษณ์	20
	5.1 การจำแนกและชนิดของแผนที่ (Classification and type of maps)	20
	5.2 หลักการใช้แผนที่	21
	5.3 คำจำกัดความ (Definition)	21
	5.4 องค์ประกอบของแผนที่ (Map components)	22
	5.5 ระบบอ้างอิงการกำหนดตำแหน่ง (Position reference system)	22
	5.6 ข้อมูลขอบระวาง (Border data)	22
	5.7 การสร้างสัญลักษณ์แผนที่	26
	6. การอ่านแผนที่	29
	6.1 เส้นชั้นความสูง (Contour line)	29
	6.2 ลักษณะภูมิประเทศ	30
	6.3 การอ่านและการใช้แผนที่ในภูมิประเทศ	32
	7. การทำแผนที่ (Mapping)	35
	7.1 สัญลักษณ์แผนที่ (Map symbol)	35
	7.2 การออกแบบแผนที่ (Map design)	35
	7.3 การแสดงข้อมูลประกอบแผนที่ (Map annotation)	37
	7.4 ความสำคัญของการออกแบบแผนที่	37

สารบัญ (ต่อ)

เนื้อหา			หน้า
8.	สรุปแผนที่และเส้นโครงแผนที่		40
	8.1	เส้นโครงแผนที่	40
8.2	ชนิดแผนที่และการสร้างสัญลักษณ์		40
	8.3	การอ่านแผนที่	40
	8.4	การทำแผนที่	41
บทที่ 3	**การรับรู้จากระยะไกล (Remote Sensing : RS)**		**43**
1.	พื้นฐานการรับรู้จากระยะไกล		43
	1.1	ความหมายของการรับรู้จากระยะไกล	43
	1.2	กระบวนการและองค์ประกอบการรับรู้จากระยะไกล (Processing and elements of remote sensing)	43
	1.3	แหล่งพลังงานและหลักการแผ่รังสี (Energy source and radiation principle)	44
	1.4	ปฏิสัมพันธ์ระหว่างพลังงานในชั้นบรรยากาศ (Energy interactions in the atmosphere)	49
	1.5	ปฏิสัมพันธ์ของพลังงานกับรูปลักษณ์พื้นผิวโลก (Energy interactions with earth surface features)	50
	1.6	ความสะท้อนเชิงสเปกตรัมของพืชพรรณ ดิน และน้ำ (Spectral reflectance of vegetation, soil and water)	52
2.	ดาวเทียม (Satellites)		54
	2.1	ประเภทดาวเทียม (Types of satellites)	54
	2.2	วงโคจรของดาวเทียม (Satellite orbit)	54
	2.3	วิวัฒนาการของดาวเทียมสำรวจทรัพยากร	56
	2.4	ดาวเทียมสำรวจทรัพยากรโลก	56
3.	ระบบเครื่องรับรู้ (Sensor systems)		70
	3.1	ระบบกล้องถ่ายรูป	70
	3.2	ระบบแพสซิฟอิเล็กทรอนิกส์ (Passive electronic sensors)	71
	3.3	เครื่องรับรู้แบบแอ็กทิฟอิเล็กทรอนิกส์ (Active electronic sensors)	73
4.	ข้อมูลจากการรับรู้ระยะไกล (Remotely sensed data)		74
	4.1	ภาพและโครงสร้างของภาพ	74
	4.2	การเก็บบันทึกข้อมูลจากดาวเทียม (Satellite data storage)	74
	4.3	แผนภูมิภาพ (Image histogram)	75
	4.4	การแสดงภาพบนจอ (Image display)	75
	4.5	สี (Color)	76
	4.6	คุณลักษณะข้อมูลจากดาวเทียม	77
5.	การแปลตีความและประมวลผลข้อมูลจากดาวเทียม (Interpretation and processing of satellite data)		78
	5.1	การแปลตีความด้วยสายตา	78
	5.2	การประมวลผลภาพด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์	79

สารบัญ (ต่อ)

เนื้อหา			หน้า
6.	เรดาร์ (RADAR)		101
	6.1	บทนำ	101
	6.2	พารามิเตอร์ของระบบ	102
	6.3	พารามิเตอร์ด้านสิ่งแวดล้อม และวัตถุเป้าหมาย	109
	6.4	สรุปการแปลตีความภาพถ่ายจากเรดาร์	112
7.	การประยุกต์ใช้ข้อมูลจากดาวเทียม		112
	7.1	ด้านป่าไม้	112
	7.2	ด้านการเกษตร	113
	7.3	ด้านการใช้ที่ดิน	113
	7.4	ด้านธรณีวิทยา และธรณีสัณฐาน	114
	7.5	ด้านอุทกวิทยา และการจัดการทรัพยากรน้ำ	115
	7.6	ด้านสมุทรศาสตร์และทรัพยากรชายฝั่ง	116
	7.7	ด้านการทำแผนที่	116
	7.8	ด้านภัยธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม	117
	7.9	ด้านการผังเมืองและการขยายเมือง	117
	7.10	ด้านความมั่นคงของชาติ	118
บทที่ 4	**หลักการเบื้องต้นระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์**		**120**
1.	ข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information data)		120
2.	ระบบนำเข้าข้อมูล (Data input system)		120
3.	การแปลงข้อมูล (Transformation) โดยการแปลงเป็นเลข (Digitization)		120
4.	การนำเข้าข้อมูลแบบเชิงเส้น (Vector data input)		121
5.	การนำเข้าข้อมูลแรสเตอร์ (Raster data input)		122
6.	ตัวอย่างการนำเข้าข้อมูลจากแผนที่และภาพถ่ายดาวเทียม (Example of map and satellite inputs)		122
7.	การจัดเก็บและการแก้ไขข้อมูล (Data storage and editing)		123
8.	การนำเสนอข้อมูลในรูปแบบของแผนที่ (Map output)		123
9.	ข้อมูล (Data)		124
	9.1	นิยามและความหมาย	124
	9.2	สารสนเทศ (Information)	125
	9.3	การจำแนกประเภทข้อมูล	125
	9.4	คุณสมบัติของข้อมูล	126
	9.5	วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล	126
	9.6	ข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์	127
	9.7	ฐานข้อมูลและระบบการจัดการฐานข้อมูล (Database and database management system)	128
	9.8	มาตรฐานข้อมูลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS data standards)	144
	9.9	มาตรฐานระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS standards)	146
	9.10	การเข้าไปเกี่ยวข้องกับการพัฒนามาตรฐานระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ขององค์การระหว่างประเทศ (Involvement of international organization in GIS standards and standardization)	147
	9.11	หลักการหรือแนวคิดเกี่ยวกับมาตรฐาน (The concept of standard)	148
	9.12	มาตรฐานระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์คืออะไร? (What is GIS standard?)	154

สารบัญ (ต่อ)

เนื้อหา		หน้า
	9.13 มาตรฐานสารสนเทศภูมิศาสตร์มีความสัมพันธ์กับมาตรฐานอื่นอย่างไรบ้าง? (How are GIS standards related to other standards?)	158
	9.14 การดำเนินการพัฒนามาตรฐานระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS standardization approaches)	159
	9.15 กิจกรรมที่นำไปสู่ความเป็นมาตรฐาน (Standardization activities)	167
10.	การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่	178
	10.1 ลักษณะทั่วไปของข้อมูลเชิงพื้นที่	178
	10.2 ฟังก์ชันการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่	180
11.	ความผิดพลาดในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Error in GIS)	210
	11.1 ความคลาดเคลื่อนจากการรวบรวมข้อมูล	211
	11.2 ข้อมูลนำเข้า	211
	11.3 การจัดเก็บข้อมูล	211
	11.4 การจัดการและประมวลข้อมูล	211
	11.5 ข้อมูลผลลัพธ์	211
	11.6 การใช้ประโยชน์ผลลัพธ์	212
บทที่ 5	**ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก (Global Positioning System : GPS)**	**218**
1.	บทนำ	218
	1.1 ระบบดาวเทียมจีพีเอส (GPS system)	218
	1.2 คลื่นสัญญาณจากดาวเทียมจีพีเอส	219
2.	ระบบพิกัดและพื้นหลักฐาน (Coordinate systems and Datum)	219
	2.1 ระบบพิกัด	219
	2.2 พื้นหลักฐาน	221
3.	วงโคจรดาวเทียม (Satellite orbits)	222
4.	สมการค่าสังเกตจีพีเอส (GPS observation equations)	222
	4.1 ซูโดเรนจ์ (Pseudorange)	223
	4.2 เฟสของคลื่นส่ง (Carrier phase)	223
5.	ค่าคลาดเคลื่อนในข้อมูลจีพีเอส (GPS observation errors)	224
	5.1 ค่าคลาดเคลื่อนที่เกี่ยวข้องกับดาวเทียม	225
	5.2 ค่าคลาดเคลื่อนที่เกี่ยวข้องกับเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม	225
	5.3 ค่าคลาดเคลื่อนที่เกี่ยวข้องกับการแพร่กระจายของสัญญาณ	226
	5.4 ค่าคลาดเคลื่อนอื่นๆ	227
6.	การรังวัดหาค่าพิกัดด้วยระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก (Coordinate surveying using GPS)	228
	6.1 การหาค่าพิกัดแบบจุดเดี่ยว (Single point positioning)	228
	6.2 การหาค่าพิกัดแบบสัมพัทธ์ (Relative positioning)	228
7.	แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการหาตำแหน่งด้วยจีพีเอส (Mathematical models for GPS positioning)	230
8.	การประมวลผลข้อมูลจีพีเอส (GPS data processing)	231
9.	การปรับแก้โครงข่าย (Network adjustment)	232
	9.1 การสร้างเส้นฐานจากข้อมูลรังวัด	232
	9.2 หลักการของการปรับแก้โครงข่าย	233

สารบัญ (ต่อ)

เนื้อหา		หน้า
10.	แนวโน้มและการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีระบบดาวเทียมนำหนของโลก (Trends and applications of Global Navigation Satellite System technology)	233
บทที่ 6	**การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ**	**236**
1.	ด้านการใช้ที่ดิน และเกษตรกรรม	236
1.1	การใช้ระบบสารสนเทศเพื่อวิเคราะห์หาพื้นที่คุ้มครองเกษตรกรรม	236
1.2	การประเมินที่ดินสำหรับหาความเหมาะสมของพืช	237
1.3	การกำหนดเขตเกษตรเศรษฐกิจสำหรับสินค้าเกษตร	239
2.	ด้านป่าไม้	243
2.1	พื้นที่ป่าไม้	243
2.2	การเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ป่าไม้	243
3.	ด้านภัยพิบัติ	245
3.1	สึนามิ	245
3.2	พื้นที่เสี่ยงภัยแล้ง	246
3.3	พื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดอุทกภัย	247
3.4	การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีจากดาวเทียมและระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในการกำหนดเขตพื้นที่น้ำท่วมในภาคใต้ฝั่งตะวันออกตอนบน (จังหวัดชุมพร สุราษฎร์ธานี และนครศรีธรรมราช)	248
3.5	กษัยการของดิน	250
3.6	การประยุกต์ใช้เพื่อติดตามพายุไต้ฝุ่นในประเทศไทย	251
4.	ด้านโรคระบาดวิทยา	252
4.1	การใช้งานเพื่อวางแผนด้านสาธารณสุข	252
4.2	การศึกษาด้านโรคระบาด : โรคฉี่หนู	253
4.3	การศึกษาด้านโรคระบาด : โรคไข้หวัดนก	254
5.	แผนที่จัดเก็บภาษี	255
6.	การจัดการชายฝั่งทะเล	256
7.	การประยุกต์เพื่อสาธารณูปโภค	259
8.	ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต (Internet GIS)	263
ศัพทานุกรม		**271**
ภาคผนวก		**293**
รายนามคณะผู้เขียน		**298**
คำสั่ง แต่งตั้งคณะอนุกรรมการพัฒนาภูมิสารสนเทศ		**302**
คำสั่ง การแก้ไขชื่อคณะอนุกรรมการพัฒนาภูมิสารสนเทศ		**304**
คู่มือการใช้ตำราเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศศาสตร์		**305**

สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
ตารางที่ 2.1	ลำดับความสำคัญขององค์ประกอบแผนที่	39
ตารางที่ 3.1	หน่วยวัดความยาวคลื่นในมาตราเมตริก	44
ตารางที่ 3.2	ช่วงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และคุณสมบัติ	45
ตารางที่ 3.3	คุณลักษณะจำเพาะและภารกิจหลักของดาวเทียม LANDSAT	57
ตารางที่ 3.4	ดาวเทียม LANDSAT และเครื่องรับรู้	57
ตารางที่ 3.5	ลักษณะและคุณสมบัติของดาวเทียม SPOT	58
ตารางที่ 3.6	ลักษณะและคุณสมบัติของดาวเทียม MOS 1	59
ตารางที่ 3.7	ลักษณะและคุณสมบัติของดาวเทียม ERS	60
ตารางที่ 3.8	ลักษณะและคุณสมบัติของดาวเทียม JERS	61
ตารางที่ 3.9	ดาวเทียม NOAA ที่ยังปฏิบัติงาน	61
ตารางที่ 3.10	ลักษณะและคุณสมบัติของดาวเทียม CARTOSAT	62
ตารางที่ 3.11	ลักษณะและความละเอียดภาพของดาวเทียม RADARSAT	63
ตารางที่ 3.12	ลักษณะและคุณสมบัติของดาวเทียม IKONOS	64
ตารางที่ 3.13	ลักษณะและคุณสมบัติของดาวเทียม QuickBird	65
ตารางที่ 3.14	ลักษณะและความละเอียดของดาวเทียม THEOS	68
ตารางที่ 3.15	แสดงข้อมูลภาพตามระดับสีเทา และข้อมูลจากดาวเทียม	74
ตารางที่ 3.16	แสดงสาเหตุของชนิดของความบิดเบี้ยวภายใน	81
ตารางที่ 3.17	แสดงสาเหตุของชนิดของความบิดเบี้ยวภายนอก	82
ตารางที่ 3.18	ความยาวคลื่นและความสามารถทะลุทะลวง	111
ตารางที่ 4.1	แสดงข้อดี-ข้อเสียของการทำงานด้วยรูปแบบทำด้วยมือ และคอมพิวเตอร์	180
ตารางที่ 4.2	แสดงลักษณะของข้อมูล	184
ตารางที่ 4.3	แสดงลักษณะการซ้อนทับชั้นข้อมูล ประเภทจุด เส้น และอาณาบริเวณ	187
ตารางที่ 4.4	แสดงลักษณะการประมาณค่าแบบข้อมูลวงกว้าง และแบบช่วงข้อมูลเฉพาะที่	203
ตารางที่ 4.5	เปรียบเทียบคุณลักษณะการประมาณค่าวิธีต่างๆ	210
ตารางที่ 4.6	ความผิดพลาดที่พบในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์	210
ตารางที่ 5.1	ค่าความถูกต้องของตำแหน่งดาวเทียมที่คำนวณจากข้อมูลวงโคจรดาวเทียมแบบต่างๆ	222
ตารางที่ 5.2	รายละเอียดเทคนิคการรังวัดหาค่าพิกัดด้วยจีพีเอสแบบต่างๆ	229
ตารางที่ 6.1	แสดงการกำหนดเงื่อนไขที่ใช้วิเคราะห์พื้นที่คุ้มครองเกษตรกรรม	237
ตารางที่ 6.2	เกณฑ์การให้น้ำหนักคะแนนของปัจจัยต่างๆ ของสินค้าเกษตรจำนวน 12 สินค้า	240
ตารางที่ 6.3	แสดงพื้นที่ป่าไม้แยกตามประเภท พ.ศ. 2543	243
ตารางที่ 6.4	ปัจจัย ประเภทข้อมูล ค่าถ่วงน้ำหนัก และค่าคะแนนที่ใช้ในการศึกษา	248
ตารางที่ 6.5	แสดงรายการข้อมูลในการศึกษา	251
ตารางที่ 6.6	แสดงผลการวิเคราะห์	253
ตารางที่ 6.7	การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในลุ่มน้ำปากพนังระหว่าง ปี พ.ศ. 2538-2542	258

สารบัญภาพ

ภาพที่	ชื่อภาพ	หน้า
ภาพที่ 2.1	ชนิดของเส้นโครงแผนที่	11
ภาพที่ 2.2	ระบบพิกัดภูมิศาสตร์	16
ภาพที่ 2.3	แสดงการแบ่งพื้นที่ และการอ่านตำแหน่งสถานที่จากแผนที่ระบบพิกัด GLO	19
ภาพที่ 2.4	หมายเลขระวาง	23
ภาพที่ 2.5	สารบัญระวางติดต่อ	23
ภาพที่ 2.6	สารบัญแนวแบ่งเขตการปกครอง	24
ภาพที่ 2.7	แผนภาพเดคลิเนชัน	24
ภาพที่ 2.8	มาตราส่วน	25
ภาพที่ 2.9	ข้อมูลเกี่ยวกับระดับความสูง	25
ภาพที่ 2.10	คำแนะนำการกำหนดตำแหน่งโดยใช้ค่ากริด	26
ภาพที่ 2.11	ชนิดของเส้นชั้นความสูง	30
ภาพที่ 2.12	สันเขา	31
ภาพที่ 2.13	จมูกเขา	31
ภาพที่ 2.14	หุบเขา	31
ภาพที่ 2.15	หน้าผาชัน	31
ภาพที่ 2.16	ความลาดสม่ำเสมอไม่ชัน	31
ภาพที่ 2.17	ความลาดเว้า	31
ภาพที่ 2.18	ความลาดนูน	31
ภาพที่ 2.19	การสกัดกลับโดยใช้เข็มทิศและไม้โปรแทรกเตอร์	33
ภาพที่ 2.20	การสกัดตรงโดยใช้เข็มทิศและไม้โปรแทรกเตอร์	34
ภาพที่ 2.21	ตัวอย่างการเลือกใช้สัญลักษณ์แผนที่เฉพาะเรื่องเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ	35
ภาพที่ 2.22	(ก) ลักษณะของแผนที่ที่มีความสมดุลแบบเป็นทางการ และ (ข) แบบไม่เป็นทางการ	38
ภาพที่ 2.23	(ก) จุดศูนย์กลางเชิงทัศน์ และ (ข) ลำดับการกวาดสายตา	39
ภาพที่ 3.1	กระบวนการและองค์ประกอบการรับรู้จากระยะไกล	43
ภาพที่ 3.2	ลักษณะของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic spectrum)	44
ภาพที่ 3.3	ช่วงคลื่นของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	45
ภาพที่ 3.4	การกระจายของสเปกตรัมของการแผ่รังสีจากเทหวัตถุสีดำกับอุณหภูมิต่างๆ	47
ภาพที่ 3.5	ช่วงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากับการทะลุทะลวงผ่านชั้นบรรยากาศสู่ผิวโลก	50
ภาพที่ 3.6	ปฏิสัมพันธ์ของพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากับพื้นผิวโลก	51
ภาพที่ 3.7	ลักษณะการสะท้อนพลังงานจากพื้นผิววัตถุเรียบ และขรุขระ	51
ภาพที่ 3.8	ความสะท้อนเชิงสเปกตรัมของ พืชพรรณ ดิน และน้ำ สัมพันธ์กับเครื่องรับรู้ข้อมูลจากดาวเทียม LANDSAT ระบบ TM	53
ภาพที่ 3.9	วงโคจรแบบสัมพันธ์กับดวงอาทิตย์	55
ภาพที่ 3.10	วงโคจรค้างฟ้า	55
ภาพที่ 3.11	วงโคจรและตำแหน่งดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา	55
ภาพที่ 3.12	ชุดดาวเทียม LANDSAT 1-3 4-5 และ 7	56
ภาพที่ 3.13	ดาวเทียม SPOT	58

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	ชื่อภาพ	หน้า
ภาพที่ 3.14	ดาวเทียม MOS 1	59
ภาพที่ 3.15	ดาวเทียม ERS 1	59
ภาพที่ 3.16	ดาวเทียม ENVISAT	60
ภาพที่ 3.17	ดาวเทียม JERS-1	60
ภาพที่ 3.18	ดาวเทียม NOAA 14	61
ภาพที่ 3.19	ดาวเทียม IRS 1D	62
ภาพที่ 3.20	ดาวเทียม CARTOSAT	62
ภาพที่ 3.21	ดาวเทียม RADARSAT	63
ภาพที่ 3.22	ดาวเทียม ADEOS	64
ภาพที่ 3.23	ดาวเทียม IKONOS	64
ภาพที่ 3.24	ดาวเทียม EarlyBird 1	65
ภาพที่ 3.25	ดาวเทียม QuickBird	65
ภาพที่ 3.26	ดาวเทียม TERRA	66
ภาพที่ 3.27	ดาวเทียม AQUA	67
ภาพที่ 3.28	ดาวเทียม ALOS	67
ภาพที่ 3.29	ดาวเทียม THEOS	68
ภาพที่ 3.30	การถ่ายภาพของดาวเทียม THEOS	70
ภาพที่ 3.31	ระบบแพสซิฟเชิงเลข	71
ภาพที่ 3.32	ลักษณะการบันทึกข้อมูลแบบระบบกราดภาพขวางแนวโคจร	71
ภาพที่ 3.33	ลักษณะการบันทึกข้อมูลแบบระบบกราดภาพตามแนวโคจร	71
ภาพที่ 3.34	เครื่องกราดภาพแบบหมุนรอบ	72
ภาพที่ 3.35	ระบบกวาดภาพทรงกรวย	73
ภาพที่ 3.36	ระบบกวาดภาพหลายๆ ช่วงคลื่น	73
ภาพที่ 3.37	เครื่องรับรู้แบบแอ็กทิฟอิเล็กทรอนิกส์	73
ภาพที่ 3.38	ระบบไลดาร์ประกอบด้วยเครื่องกวาดที่ส่งและรับเลเซอร์พัลส์สะท้อน ระบบดาวเทียมเพื่อหาตำแหน่งความสูงของเครื่องบันทึกข้อมูล และ IMU เพื่อวัดการวางตัวเครื่องบันทึกข้อมูล	73
ภาพที่ 3.39	แสดงการจัดเรียงข้อมูลตำแหน่งของจุดภาพในรูปแบบต่างๆ	75
ภาพที่ 3.40	แผนภูมิภาพข้อมูลจากดาวเทียม LANDSAT 5 ช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ พื้นที่ชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก	75
ภาพที่ 3.41	แสดงภาพสีผสมที่เกิดจากข้อมูล 8 บิต ผ่านลำแสงอิเล็กตรอนสี	76
ภาพที่ 3.42	แสดงการผสมสีเชิงบวก และการผสมสีเชิงลบ	77
ภาพที่ 3.43	แสดงความบิดเบี้ยวภายในรูปแบบต่างๆ	82
ภาพที่ 3.44	แสดงความบิดเบี้ยวภายนอกรูปแบบต่างๆ	83
ภาพที่ 3.45	แสดงพื้นผิวที่ผ่านกระบวนการคำนวณค่าความสว่างของจุดภาพใหม่	85
ภาพที่ 3.46	แสดงภาพถ่ายดาวเทียมก่อนและหลังการเน้นความคมชัดของภาพ	87
ภาพที่ 3.47	แสดงภาพที่ผ่านตัวกรองแบบความถี่ต่ำหรือตัวกรองทำให้เรียบ ขนาด 5x5	91

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	ชื่อภาพ	หน้า
ภาพที่ 3.48	การใช้ส่วนกลางแบบความถี่สูงกับข้อมูลจุดภาพที่มีค่าต่ำ และสูง	92
ภาพที่ 3.49	แสดงภาพที่ผ่านตัวกรองแบบความถี่สูงหรือตัวกรองเน้นขอบวัตถุ	92
ภาพที่ 3.50	การแสดงลักษณะการแจกแจงของข้อมูลด้วยค่าสะท้อนของจุดภาพทุกจุดภาพ	94
ภาพที่ 3.51	ก) แสดงความสัมพันธ์ของข้อมูลในระดับต่ำระหว่างช่วงคลื่นที่ 4 และ 3 ของดาวเทียม LANDSAT ระบบ TM ข) แสดงความสัมพันธ์ของข้อมูลในระดับสูงระหว่างช่วงคลื่นที่ 2 และ 3 ของดาวเทียม LANDSAT ระบบ TM	95
ภาพที่ 3.52	ตัวอย่างการศึกษาลักษณะทางสถิติของพื้นที่ตัวอย่าง	97
ภาพที่ 3.53	การจำแนกประเภทข้อมูลแบบระยะห่างที่ต่ำสุด	98
ภาพที่ 3.54	การจำแนกประเภทข้อมูลแบบสี่เหลี่ยมคู่ขนาน	99
ภาพที่ 3.55	การจำแนกข้อมูลแบบสี่เหลี่ยมคู่ขนานที่ใช้ขอบเขตการตัดสินใจ	99
ภาพที่ 3.56	การจำแนกข้อมูลแบบความน่าจะเป็นไปได้สูงสุด	100
ภาพที่ 3.57	แสดงพื้นฐานของภาพเรดาร์	102
ภาพที่ 3.58	สเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้า	103
ภาพที่ 3.59	แสดงความยาวคลื่น ความถี่ และตัวอักษรแบนด์เรดาร์	103
ภาพที่ 3.60	โพลาไรเซชัน	104
ภาพที่ 3.61	เรขาคณิตของเรดาร์จากเครื่องบิน	104
ภาพที่ 3.62	เซลล์ความละเอียด (Resolution cell)	105
ภาพที่ 3.63	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมมอง (ϕ) มุมก้ม (β) และมุมตกกระทบ (θ) เมื่อพื้นโลกเรียบ	105
ภาพที่ 3.64	(ก) แสดงแบบจำลองระบบ (ข) มุมตกกระทบเฉพาะที่	106
ภาพที่ 3.65	เรดาร์ช่องเปิดจริงและเรดาร์ช่องเปิดสังเคราะห์	107
ภาพที่ 3.66	การย่นระยะ	107
ภาพที่ 3.67	การวางทับ	108
ภาพที่ 3.68	เงา	108
ภาพที่ 3.69	แสดงพาราแลกซ์ของภาพเรดาร์ทั้งสามประเภทดังกล่าว	108
ภาพที่ 3.70	แสดงลักษณะการสะท้อนคลื่นเรดาร์ที่พื้นผิวลักษณะแตกต่างกัน	109
ภาพที่ 3.71	ความเป็นเหลี่ยมและการเรียงตัวของเป้าหมาย	110
ภาพที่ 3.72	การกระจัดกระจายเชิงปริมาตร	111
ภาพที่ 3.73	แสดงตัวอย่างการใช้งานด้านป่าไม้	112
ภาพที่ 3.74	แสดงตัวอย่างการใช้งานด้านเกษตร	113
ภาพที่ 3.75	แสดงตัวอย่างการใช้งานด้านการใช้ที่ดิน	113
ภาพที่ 3.76	แสดงตัวอย่างการใช้งานด้านธรณีวิทยา และธรณีสัณฐาน	115
ภาพที่ 3.77	ตัวอย่างการใช้งานด้านอุทกวิทยาและการจัดการทรัพยากรน้ำ	115
ภาพที่ 3.78	ตัวอย่างการใช้งานด้านสมุทรศาสตร์ และทรัพยากรชายฝั่ง	116
ภาพที่ 3.79	ตัวอย่างการใช้งานด้านการทำแผนที่	116
ภาพที่ 3.80	ตัวอย่างการใช้งานด้านภัยธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม	117
ภาพที่ 3.81	ตัวอย่างการใช้งานด้านผังเมือง และการขยายเมือง	117

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	ชื่อภาพ	หน้า
ภาพที่ 3.82	ตัวอย่างการใช้งานด้านความมั่นคงของชาติ	118
ภาพที่ 4.1	อุปกรณ์ตัวแปลงเป็นเลข แสดงให้เห็นกระดานอิเล็กทรอนิกส์ อุปกรณ์ชี้เล็ง และอุปกรณ์แสดงผล	122
ภาพที่ 4.2	แสดงให้เห็นภาพแผนที่ภูมิประเทศซึ่งถูกนำเข้าสู่ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ โดยวิธีการแปลงข้อมูล	123
ภาพที่ 4.3	อุปกรณ์นำเข้า เครื่องกราดภาพทรงกระบอก	123
ภาพที่ 4.4	ตัวอย่างของภาพถ่ายดาวเทียมสีผสมที่ผ่านการนำเข้าด้วยเครื่องกราดภาพทรงกระบอก	123
ภาพที่ 4.5	การจัดเก็บข้อมูลในรูปแบบของชั้นข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์	123
ภาพที่ 4.6	แผนที่การใช้ที่ดินของจังหวัดนครศรีธรรมราช พ.ศ. 2548 แปลจากข้อมูลจากดาวเทียม LANDSAT 5	124
ภาพที่ 4.7	พีระมิดแสดงลำดับชั้นของความรู้	125
ภาพที่ 4.8	การจัดเก็บแบบแฟ้มข้อมูล	129
ภาพที่ 4.9	การจัดเก็บข้อมูลแบบฐานข้อมูล	129
ภาพที่ 4.10	แสดงสถาปัตยกรรมฐานข้อมูล	132
ภาพที่ 4.11	แสดงความสัมพันธ์แบบหนึ่งต่อหนึ่ง	133
ภาพที่ 4.12	แสดงความสัมพันธ์แบบหนึ่งต่อกลุ่ม	134
ภาพที่ 4.13	แสดงความสัมพันธ์แบบกลุ่มต่อกลุ่ม	134
ภาพที่ 4.14	แสดงแบบจำลองฐานข้อมูลแบบลำดับขั้น	135
ภาพที่ 4.15	แสดงแบบจำลองฐานข้อมูลแบบเครือข่าย	136
ภาพที่ 4.16	แสดงแบบจำลองฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์	138
ภาพที่ 4.17	แสดงโครงสร้างของระบบการจัดการฐานข้อมูล (DBMS)	139
ภาพที่ 4.18	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบข้อมูลภูมิศาสตร์	140
ภาพที่ 4.19	แสดงลักษณะของข้อมูลแบบแรสเตอร์	141
ภาพที่ 4.20	แสดงการใช้เวคเตอร์เป็นตัวแทนข้อมูลในพื้นที่	142
ภาพที่ 4.21	แสดงรายละเอียดข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์	142
ภาพที่ 4.22	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลแรสเตอร์กับข้อมูลลักษณะประจำ	143
ภาพที่ 4.23	แสดงทอพอโลยีของข้อมูลแบบจุด	143
ภาพที่ 4.24	แสดงทอพอโลยีของข้อมูลแบบเส้น	144
ภาพที่ 4.25	แสดงทอพอโลยีของข้อมูลพื้นที่	144
ภาพที่ 4.26	แสดงให้เห็นว่ามาตรฐานอย่างกว้างๆ นั้นมีได้อย่างไร	153
ภาพที่ 4.27	การแลกเปลี่ยนข้อมูลโดยใช้ “ผู้แปล” ที่พัฒนามาเป็นกรณีพิเศษ	160
ภาพที่ 4.28	การแลกเปลี่ยนมาตรฐานโดยใช้มาตรฐานอุตสาหกรรมที่ยอมรับโดยปริยายกรณีของ Autodesk’s DXF	161
ภาพที่ 4.29	การแลกเปลี่ยนข้อมูลโดยการใช้มาตรฐานอย่างเป็นทางการ (ตัวอย่างกรณีของ SDTS)	163
ภาพที่ 4.30	แสดง The Distributed Computing Platform (DCP) environment	165
ภาพที่ 4.31	Open geo-processing ได้สลายอุปสรรคต่างๆ ที่จำกัดวงของ Geo-processing ให้อยู่อย่างโดดเดี่ยวในระบบ Monolithic (จาก Open GIS Consortium: OGC, 1996)	166
ภาพที่ 4.32	แสดงแนวคิดที่มาของการประกอบแบบจำลองเชิงพื้นที่	178
ภาพที่ 4.33	แสดงลักษณะของข้อมูลจุด เส้น และอาณาบริเวณ	179

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	ชื่อภาพ	หน้า
ภาพที่ 4.34	แสดงการประกอบแบบจำลองปรากฏการณ์เชิงพื้นที่เข้ามาอยู่ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์	179
ภาพที่ 4.35	แสดงลักษณะการวิเคราะห์ข้อมูลอย่างง่ายด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์	181
ภาพที่ 4.36	แสดงการค้นหาจากข้อมูลลักษณะประจำ	182
ภาพที่ 4.37	แสดงลักษณะการค้นหาข้อมูลที่ซับซ้อนมากขึ้น	183
ภาพที่ 4.38	แสดงความหมายของตัวดำเนินการ Boolean	183
ภาพที่ 4.39	แสดงเทคนิคช่วยในการค้นหาการจัดเรียงอันดับ	184
ภาพที่ 4.40	แสดงการค้นหาข้อมูลเชิงพื้นที่ลักษณะต่างๆ	185
ภาพที่ 4.41	แสดงแนวคิดการซ้อนทับแบบยูเนียน	188
ภาพที่ 4.42	แสดงแนวคิดการซ้อนทับแบบอินเตอร์เซกชัน	188
ภาพที่ 4.43	แสดงแนวคิดของการซ้อนทับแบบเอกลักษณ์	189
ภาพที่ 4.44	แสดงแนวคิดของการซ้อนทับเพื่อปรับให้เป็นปัจจุบัน	190
ภาพที่ 4.45	แสดงแนวคิดของการซ้อนทับแบบลบข้อมูล	190
ภาพที่ 4.46	แสดงแนวคิดของการซ้อนทับเพื่อตัดข้อมูล	191
ภาพที่ 4.47	แสดงแนวคิดของการซ้อนทับเพื่อรวมข้อมูลเข้าด้วยกัน	192
ภาพที่ 4.48	แสดงแนวคิดการซ้อนทับเพื่อผนวกชั้นข้อมูล	192
ภาพที่ 4.49	แสดงลักษณะการเกิดกาบ	193
ภาพที่ 4.50	แสดงลักษณะกาบ	193
ภาพที่ 4.51	แสดงการกำจัดกาบ	194
ภาพที่ 4.52	แสดงการแก้ปัญหาจำนวนพื้นที่ย่อยมากเกินไปด้วยการจัดจำแนกข้อมูลใหม่ และสลาย	194
ภาพที่ 4.53	รูปแบบข้อมูลเวกเตอร์ และแรสเตอร์	195
ภาพที่ 4.54	แสดงแนวคิดการซ้อนทับชั้นข้อมูลแรสเตอร์แบบเซลล์แรสเตอร์	196
ภาพที่ 4.55	แสดงแนวคิดการซ้อนทับชั้นข้อมูลแรสเตอร์แบบค่าสูงสุด-ต่ำสุด และการคูณ	196
ภาพที่ 4.56	แสดงแนวคิดการซ้อนทับชั้นข้อมูลแรสเตอร์ แบบกำหนดน้ำหนัก	197
ภาพที่ 4.57	แสดงแนวคิดการซ้อนทับชั้นข้อมูลแรสเตอร์ แบบเมทริกซ์	197
ภาพที่ 4.58	แสดงแนวคิดการซ้อนทับชั้นข้อมูลแรสเตอร์ แบบกำหนดค่าน้ำหนัก	198
ภาพที่ 4.59	แสดงระยะกันชนตามระยะทางที่กำหนด	199
ภาพที่ 4.60	แสดงระยะกันชนโดยกำหนดระยะทางจากค่าในเขตค่าข้อมูล	199
ภาพที่ 4.61	แสดงการสร้างระยะกันชนแบบวงแหวน	200
ภาพที่ 4.62	แสดงแนวคิดการประมาณค่าเชิงพื้นที่	201
ภาพที่ 4.63	การกระจายตัวของข้อมูลลักษณะต่างๆ	201
ภาพที่ 4.64	แสดงความแตกต่างของลักษณะพื้นที่ผิวแต่ละประเภท	202
ภาพที่ 4.65	การประมาณค่าในช่วงเชิงพื้นที่ด้วยวิธีรูปหลายเหลี่ยมทิสเสน	203
ภาพที่ 4.66	แสดงแนวคิดการวิเคราะห์พื้นผิวแนวโน้ม	204
ภาพที่ 4.67	แสดงลักษณะพื้นผิวที่ได้จากการประมาณพหุนามระดับต่างๆ	204
ภาพที่ 4.68	แสดงตัวอย่างลักษณะของอนุกรมฟูเรียร์	205
ภาพที่ 4.69	แสดงลักษณะการกำหนดรัศมีค่า และตัวกั้นสำหรับประมาณค่า ด้วยวิธีส่วนกลับระยะทาง	206
ภาพที่ 4.70	แนวคิดการประมาณค่าด้วยวิธี IDW	206

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	ชื่อภาพ	หน้า
ภาพที่ 4.71	แสดงความแตกต่างของค่ายกกำลัง	206
ภาพที่ 4.72	ตัวอย่างพื้นผิวที่ถูกประมาณด้วย IDW	206
ภาพที่ 4.73	แนวคิดการประมาณค่าด้วยวิธีฟังก์ชันกระดูกงู	207
ภาพที่ 4.74	ตัวอย่างพื้นผิวที่ถูกประมาณด้วย Spline (Regularizes) มุมมอง 3 มิติ	207
ภาพที่ 4.75	ตัวอย่างพื้นผิวที่ถูกประมาณด้วย Spline (Regularizes) มุมมอง 2 มิติ	207
ภาพที่ 4.76	ตัวอย่างพื้นผิวที่ถูกประมาณด้วย Spline (Tension) มุมมอง 3 มิติ	207
ภาพที่ 4.77	ตัวอย่างพื้นผิวที่ถูกประมาณด้วย Spline (Tension) มุมมอง 2 มิติ	207
ภาพที่ 4.78	แนวคิดการประมาณค่าคริกิง	208
ภาพที่ 4.79	ลักษณะการเปรียบเทียบคู่ข้อมูลในการประมาณค่าด้วยเซมิเวริโอแกรม	208
ภาพที่ 4.80	แสดงองค์ประกอบของเซมิเวริโอแกรม	208
ภาพที่ 4.81	แสดงลักษณะพื้นผิวที่ได้จากการประมาณค่าด้วยวิธีคริกิง	209
ภาพที่ 4.82	แสดงการเปรียบเทียบลักษณะพื้นผิวจากการประมาณค่าด้วยวิธีต่างๆ	209
ภาพที่ 5.1	ส่วนต่างๆ ในระบบดาวเทียมจีพีเอส	218
ภาพที่ 5.2	คลื่นสัญญาณจากดาวเทียมจีพีเอสในปัจจุบัน	219
ภาพที่ 5.3	ค่าพิกัดจีออเดติก	220
ภาพที่ 5.4	ค่าพิกัดฉากคาร์ทีเซียน	220
ภาพที่ 5.5	ความแตกต่างระหว่างพื้นหลักฐานท้องถิ่นและพื้นหลักฐานทั่วโลก	221
ภาพที่ 5.6	คลื่นหลายวิถีและคลื่นสัญญาณโดยตรงจากดาวเทียม	227
ภาพที่ 5.7	การสร้างโครงข่ายจีพีเอสจากเส้นฐานที่เป็นอิสระต่อกันจากแต่ละช่วงการรับสัญญาณ	233
ภาพที่ 5.8	การตรวจจับการเคลื่อนตัวของสะพานด้วย GPS	234
ภาพที่ 5.9	การหาการเคลื่อนตัวของเปลือกโลกในประเทศไทยภายหลังเหตุการณ์แผ่นดินไหวครั้งใหญ่ เมื่อวันที่ 26 ธ.ค. 2547 ด้วยจีพีเอส	234
ภาพที่ 5.10	การใช้เทคโนโลยี GNSS กับงานติดตามยานพาหนะ	234
ภาพที่ 6.1	แสดงขั้นตอนการศึกษาพื้นที่คุ้มครองเกษตรกรรม	236
ภาพที่ 6.2	แผนที่แสดงพื้นที่คุ้มครองเกษตรกรรมภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	237
ภาพที่ 6.3	แสดงขั้นตอนการศึกษา	238
ภาพที่ 6.4	แผนที่แสดงพื้นที่เหมาะสมสำหรับปลูกข้าว อ้อย มันสำปะหลัง และยางพารา	238
ภาพที่ 6.5	แผนที่แสดงความเหมาะสมของพื้นที่ และแผนที่เขตเกษตรเศรษฐกิจสำหรับพืชแต่ละชนิด	242
ภาพที่ 6.6	เขตเกษตรเศรษฐกิจระดับตำบลตามศักยภาพการผลิตของพื้นที่ ของจังหวัดกำแพงเพชร	242
ภาพที่ 6.7	แสดงพื้นที่ป่าไม้ในประเทศไทย	243
ภาพที่ 6.8	แสดงลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินในเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าภูหลวง	244
ภาพที่ 6.9	แสดงการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าภูหลวง ระหว่างปี พ.ศ. 2519-2541	244
ภาพที่ 6.10	แสดงการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าภูหลวง ระหว่างปี พ.ศ. 2541-2548	244
ภาพที่ 6.11	แสดงตัวอย่างการติดตามพื้นที่เสียหายจากสึนามิ	245
ภาพที่ 6.12	แสดงแนวทางการวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงภัยแล้ง	246

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	ชื่อภาพ	หน้า
ภาพที่ 6.13	พื้นที่เสี่ยงภัยแล้งภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	246
ภาพที่ 6.14	แสดงขั้นตอนการศึกษาพอสังเขป	247
ภาพที่ 6.15	แสดงพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดอุทกภัยในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	247
ภาพที่ 6.16	แผนที่พื้นที่ที่มีโอกาสเกิดน้ำท่วมในภาคใต้ฝั่งตะวันออกตอนบน	250
ภาพที่ 6.17	แสดงขั้นตอนการศึกษา	251
ภาพที่ 6.18	แสดงพื้นที่เสี่ยงต่อกษัยการ	251
ภาพที่ 6.19	แสดงตัวอย่างลักษณะการติดตามพายุไต้ฝุ่น	252
ภาพที่ 6.20	แสดงวิธีการศึกษาพอสังเขป	252
ภาพที่ 6.21	แสดงลักษณะผลของการศึกษา โดย ก) การกระจายตัวของเขตควบคุม ข) ความหนาแน่นของประชากรและชนิดเส้นทางคมนาคม ค) ข้อมูลเชิงสังคม (จำนวนประชากร และจำนวนหมู่บ้าน) ง) ศักยภาพของโรงพยาบาลในแต่ละเขต	253
ภาพที่ 6.22	แสดงผลการวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดโรคฉี่หนูในจังหวัดนครราชสีมา	253
ภาพที่ 6.23	แสดงประเทศแถบเอเชียที่พบการระบาดของโรค ระหว่าง พ.ศ. 2546-2547	254
ภาพที่ 6.24	แสดงการกระจายตัวของสัตว์เลี้ยงในประเทศไทย พ.ศ. 2546	254
ภาพที่ 6.25	แสดงบริเวณที่พบว่ามีการระบาดของโรค	254
ภาพที่ 6.26	แสดงลักษณะการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของการเกิดหวัดนกกับปัจจัยต่างๆ	255
ภาพที่ 6.27	แสดงรูปลักษณ์ของโปรแกรมแผนที่ภาษีเชิงเลข TAX MAP 2.5	256
ภาพที่ 6.28	แสดงภาพถ่ายจากดาวเทียม LANDSAT 5 TM แบนด์ 4-5-3 (แดง-เขียว-น้ำเงิน) บันทึกภาพวันที่ 9 พฤษภาคม 2542 แสดงพื้นที่ป่าชายเลนบริเวณอ่าวปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช	257
ภาพที่ 6.29	แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2538	258
ภาพที่ 6.30	แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2542	258
ภาพที่ 6.31	ข้อมูลเชิงพื้นที่จากการถ่ายภาพทางอากาศ	260
ภาพที่ 6.32	ข้อมูลเชิงบรรยายชั้นข้อมูลภาคสนาม	260
ภาพที่ 6.33	หน้าจอหลักของโปรแกรมประยุกต์	260
ภาพที่ 6.34	การสืบค้นข้อมูลโดยโปรแกรมประยุกต์	260
ภาพที่ 6.35	การเชื่อมโยงข้อมูล GIS กับงานระบบส่ง	262
ภาพที่ 6.36	การเชื่อมโยงข้อมูล GIS กับโทรศัพท์เคลื่อนที่	262
ภาพที่ 6.37	หลักการการพัฒนา Internet GIS	265

บทที่ 1

บทนำ

1. ความหมายของเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ (Geo-information technology)

เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ หมายถึง การบูรณาการความรู้และเทคโนโลยีทางด้านการรับรู้จากระยะไกล (Remote Sensing : RS) ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System : GIS) และระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก (Global Positioning System : GPS) เพื่อประยุกต์ใช้งานในด้านต่างๆ ให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ โดยที่วิทยาการด้านการรับรู้จากระยะไกลซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่สำคัญในการศึกษาองค์ประกอบต่างๆ บนพื้นโลกและในชั้นบรรยากาศ เพื่อศึกษาและติดตามการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมทางธรรมชาติได้โดยการเลือกใช้ข้อมูลจากดาวเทียมที่มีความละเอียดของภาพและประเภทของดาวเทียมหลากหลาย ขึ้นอยู่กับการประยุกต์ใช้ในแต่ละเรื่อง นอกจากนี้ข้อมูลจากการสำรวจจากระยะไกลเป็นข้อมูลที่ได้มาอย่างรวดเร็ว สามารถตอบสนองความต้องการได้ทันที สำหรับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ สามารถจัดการข้อมูลเชิงพื้นที่ วิเคราะห์ข้อมูลและประยุกต์ใช้ในการวางแผนจัดการทรัพยากรธรรมชาติต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลกสามารถนำมาใช้กำหนดตำแหน่งเชิงพื้นที่ และติดตามการเคลื่อนที่ของคนและสิ่งของได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศจึงเป็นวิทยาการที่สำคัญที่หลายหน่วยงานได้นำมาพัฒนาประเทศในหลากหลายด้าน เช่น ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เกษตร ผังเมือง การจราจรและการขนส่ง ความมั่นคงทางการทหาร ภัยธรรมชาติ และการค้าเชิงธุรกิจ ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศสามารถนำมาประกอบการวางแผนการตัดสินใจในเรื่องต่างๆ ได้อย่างถูกต้องและรวดเร็ว

2. องค์ประกอบของเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ

เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ ประกอบด้วยเทคโนโลยีทางด้านการรับรู้จากระยะไกล ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ และระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก ซึ่งเทคโนโลยีดังกล่าวมีรายละเอียดดังนี้

2.1 การรับรู้จากระยะไกล

การรับรู้จากระยะไกล หมายถึง การได้มาของข้อมูล (Data acquisition) โดยใช้อุปกรณ์ตรวจวัดที่อยู่ไกลออกไป และทำการสกัดสารสนเทศ (Information extraction) ต่างๆ จากข้อมูลที่ได้มาจากการตรวจวัดเพื่อทำการวิเคราะห์และประมวลผล ซึ่งองค์ประกอบทั้งสองส่วนนี้มีกระบวนการเริ่มจากการส่งพลังงานจากแหล่งพลังงานเพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูล การสกัดสารสนเทศต่างๆ ออกมาจากข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดไปจนถึงการนำข้อมูลไปช่วยสนับสนุนการตัดสินใจในเรื่องต่างๆ รายละเอียดในแต่ละองค์ประกอบมีดังนี้

- การได้มาของข้อมูล ประกอบด้วย แหล่งพลังงาน ปฏิสัมพันธ์ของพลังงานกับวัตถุต่างๆ บนผิวโลก ระบบการตรวจวัดข้อมูล และการบันทึกข้อมูล
- การสกัดข้อมูลเพื่อทำการวิเคราะห์และประมวลผล ประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ คือ การปรับเทียบข้อมูลเบื้องต้นและการพิมพ์ภาพ (Preprocessing calibration development and printing) การแปลตีความ (Interpretation) ซึ่งต้องอาศัยพื้นฐานความรู้และความเข้าใจของผู้แปลและการตรวจสอบในภาคสนาม เพื่อทำแผนที่และจัดการสารสนเทศต่อไป

ประวัติของการพัฒนาการใช้ศาสตร์การรับรู้จากระยะไกลเริ่มในศตวรรษที่ 20 จากรูปถ่ายทางอากาศ (Aerial photographs) ซึ่งได้มาจากการถ่ายภาพโดยใช้ช่วงคลื่นตามองเห็นของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า คำว่า รูปถ่าย (Photograph) และภาพ (Image) มีความหมายแตกต่างกันในทางการรับรู้จากระยะไกล รูปถ่ายเป็นรูปที่บันทึกบนฟิล์ม ส่วนภาพได้จากการบันทึกไว้บนฟิล์มหรืออาจจะได้จากการบันทึกด้วยระบบกวาดภาพ (Scanner system) ซึ่งเป็นการบันทึกข้อมูลเชิงเลข ทำให้สามารถได้มาซึ่งข้อมูลโดยการใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ยาวกว่าช่วงคลื่นตามองเห็น เช่น ในช่วงคลื่นอินฟราเรดความร้อน (Thermal infrared) หรือในช่วงคลื่นไมโครเวฟ (Microwave) ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1960 ได้มีการพัฒนาดาวเทียมสำรวจทรัพยากรขึ้นสู่วงโคจรหลายดวงเช่น LANDSAT SPOT IRS และ JERS-1 ซึ่งมีความละเอียดของภาพต่ำกว่า 100 เมตร และมีการประยุกต์ใช้ในด้านการติดตามสิ่งแวดล้อม สำหรับดาวเทียม NOAA ซึ่งมีความละเอียดของภาพหยาบกว่าแต่ครอบคลุมพื้นที่ได้กว้างกว่า มีการใช้ประโยชน์ในทางอุตุนิยมวิทยา ดาวเทียมที่ใช้ประโยชน์ด้านอุตุนิยมวิทยาอื่นๆ เช่น METEOSAT หรือ GOES ซึ่งโคจรแบบค้างฟ้า ในทิศทางเดียวกันกับทิศการหมุนของโลก โดยวงโคจรจะอยู่สูงจากพื้นผิวโลกประมาณ 36,000 กิโลเมตร การรับรู้จากระยะไกล แบ่งออกเป็น 2 ระบบ คือ การรับรู้จากระยะไกลแบบแพสซิฟ (Passive remote sensing system) และการรับรู้จากระยะไกลแบบแอ็กทิฟ (Active remote sensing system)

2.1.1 การรับรู้จากระยะไกลแบบแพสซิฟ

เป็นการตรวจวัดพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ได้จากการสะท้อน (Reflect) หรือแผ่ (Emitted) จากพื้นผิว โดยแหล่งพลังงานในระบบตรวจวัดแบบแพสซิฟ คือพลังงานจากดวงอาทิตย์ซึ่งสามารถให้พลังงานที่ตรวจวัดได้ในช่วงคลื่นตามองเห็น (Visible) และอินฟราเรด (Infrared) ช่วงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่สามารถทะลุผ่านชั้นบรรยากาศลงมาได้เรียกว่าหน้าต่างบรรยากาศ (Atmospheric window) มีเฉพาะในช่วงคลื่นที่ยาวกว่าช่วงคลื่นอัลตราไวโอเลต (Ultraviolet) เท่านั้น ซึ่งถ้าสั้นกว่าความยาวคลื่นนี้จะถูกดูดกลืนโดยชั้นบรรยากาศ หน้าต่างบรรยากาศมีหลายช่วง ช่วงที่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถทะลุทะลวงผ่านชั้นบรรยากาศมาได้ ได้แก่ ช่วงคลื่นตามองเห็น อินฟราเรดใกล้ บางส่วนของอินฟราเรดความร้อน (3-5 ไมโครเมตร และ 8-14 ไมโครเมตร) และช่วงคลื่นไมโครเวฟ ปฏิสัมพันธ์ของพลังงานในบรรยากาศ (Energy interaction in atmosphere) ที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของคลื่นขณะเดินทางมายังโลก กระบวนการอื่นๆ ได้แก่ การกระจัดกระจาย (Scattering) เกิดขึ้นเนื่องจากอนุภาคเล็กๆ ในบรรยากาศมีทิศทางไม่แน่นอน ซึ่งมี 3 ประเภท คือ การกระจัดกระจายแบบเรย์ลี (Rayleigh scattering) เกิดขึ้นเมื่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาค เล็กกว่าความยาวช่วงคลื่นที่ตกกระทบ ทำให้เกิดสภาวะหมอกควัน การกระจัดกระจายแบบมี (Mie scattering) เกิดขึ้นเมื่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาคมีขนาดใกล้เคียงกับความยาวคลื่น เช่น น้ำ ไอน้ำ ฝุ่นละออง และการกระจัดกระจายแบบไม่เจาะจง (Non-selective scattering) เกิดขึ้นเมื่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาคมีขนาดใหญ่กว่าความยาวช่วงคลื่น เช่น หยดน้ำ สะท้อนช่วงคลื่นตามองเห็น และอินฟราเรดเกือบเท่ากันทำให้มองเห็นเมฆเป็นสีขาว สำหรับการหักเห เกิดขึ้นเมื่อแสงเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศที่มีความหนาแน่นต่างๆ กัน ซึ่งมีผลต่อความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งภาพ ดังนั้นการสะท้อนจากวัตถุที่ถูกบันทึกได้นั้นขึ้นอยู่กับสภาพของบรรยากาศและความยาวคลื่นในขณะที่ทำการตรวจวัด

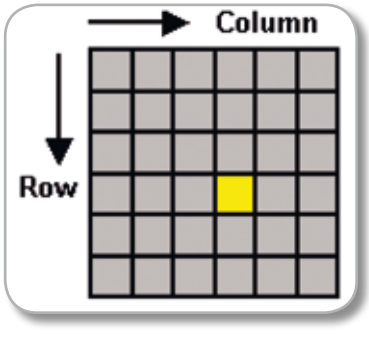
ตัวอย่างของดาวเทียมในระบบแพสซิฟ เช่น LANDSAT ระบบ MSS (Multispectral scanner) ประกอบด้วยข้อมูลใน 4 ช่วงคลื่น เริ่มจากเขียวถึงอินฟราเรดใกล้ ที่ความละเอียดของภาพ 80 เมตร ขณะที่ LANDSAT 5 ระบบ TM (Thematic Mapper) ประกอบด้วยข้อมูลใน 6 ช่วงคลื่น ความละเอียดของภาพ 30 เมตร และ 1 ช่วงคลื่นความร้อน ความละเอียดของภาพ 120 เมตร ดาวเทียม SPOT 1 2 และ 3 ของประเทศฝรั่งเศสประกอบด้วยข้อมูล 2 ระบบ คือ

ระบบหลายช่วงคลื่น (HRV) มีข้อมูล 3 ช่วงคลื่น ความละเอียดของภาพ 20 เมตร และระบบแพนโครมาติก (Panchromatic) มีความละเอียดของภาพ 10 เมตร นอกจากนี้การแผ่รังสีจากวัตถุที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 0 องศาเคลวิน (K) ก็ถือเป็นการรับรู้จากระยะไกลแบบแพสซิฟเช่นกัน

2.1.2 การรับรู้จากระยะไกลแบบแอ็กทิฟ

การรับรู้จากระยะไกลแบบแอ็กทิฟเป็นระบบที่มนุษย์สร้างพลังงาน และส่งพลังงานมากระทบวัตถุเป้าหมาย ในช่วงคลื่นไมโครเวฟ เช่น ระบบเรดาร์ (RADAR : Radio Detection And Ranging) ซึ่งมีความยาวคลื่นประมาณ 1 มิลลิเมตร ถึง 1 เมตร ดาวเทียมสำรวจทรัพยากรที่ถ่ายภาพด้วยระบบเรดาร์ ได้แก่ ดาวเทียม RADARSAT ของประเทศแคนาดา ถ่ายภาพโดยใช้ความยาวคลื่น 5.6 เซนติเมตร (C-Band) มีการถ่ายภาพในหลายๆ รูปแบบ ซึ่งทำให้ได้ความละเอียดของภาพและความกว้างของภาพแตกต่างกันออกไป สำหรับดาวเทียม ERS ได้ถูกส่งขึ้นสู่ห้วงอวกาศโดย The European Space Agency (ESA) สามารถถ่ายภาพได้เหมือนกับดาวเทียม RADARSAT ดาวเทียมทั้งสองดวงนี้มีการส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากระจายออกไปในทิศทางต่างกัน ซึ่งทิศทางการแผ่กระจายของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เรียกว่า โพลาไรเซชัน (Polarization) ดาวเทียม RADARSAT ส่งและรับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในแนวนอน (Horizontal) ส่วนดาวเทียม ERS ส่งและรับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในแนวตั้ง (Vertical) ปัจจุบันดาวเทียมสำรวจทรัพยากรได้มีการออกแบบให้มีอุปกรณ์ตรวจวัดทั้งในระบบแอ็กทิฟ และแพสซิฟ เช่น ดาวเทียม JERS-1 และ ALOS ของประเทศญี่ปุ่น ENVISAT และ ERS ของกลุ่มประชาคมยุโรป

2.1.3 การวิเคราะห์และแปลตีความภาพ (Image analysis and interpretation)



ข้อมูลจากดาวเทียม มีการเก็บภาพในระบบเชิงตัวเลขเพื่อใช้แทนวัตถุบนพื้นโลก เก็บเป็นแบบแถวจุดภาพ (Arrays of pixel) ซึ่งแต่ละจุดภาพ (Pixel) มีระดับสีเทา และตำแหน่งโดยอ้างจากแถวและคอลัมน์ ค่าของจุดภาพ (Pixel value) หรือ จำนวนตัวเลข (Digital number) เป็นค่าที่บันทึกได้จากพลังงานที่สะท้อนจากวัตถุบนพื้นโลกไปยังเครื่องตรวจวัด

กระบวนการต่างๆ ในการประมวลผลและการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงเลข มีไว้เพื่อช่วยให้เกิดประโยชน์สูงสุด ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการนำข้อมูลภาพไปใช้ ขั้นตอนการประมวลผลภาพมีดังนี้

1) การเตรียมข้อมูลก่อนการประมวลผล (Pre- processing)

ข้อมูลดิบที่ได้จากการถ่ายภาพของดาวเทียมจะต้องมาผ่านกระบวนการที่เรียกว่า การปรับแก้เชิงคลื่น (Radiometric correction) เพื่อปรับแก้ค่าของจุดภาพที่คลาดเคลื่อนจากการบันทึก ซึ่งอาจเกิดจากสัญญาณรบกวนจากชั้นบรรยากาศ เช่น หมอก ไอน้ำ ส่วนการตรวจแก้เชิงเรขาคณิต (Geometric correction) ใช้เพื่อปรับแก้ความบิดเบี้ยวเชิงเรขาคณิตที่เกิดจากการบันทึกและจากการหมุนของโลก และปรับให้ถูกต้องตามตำแหน่งที่อ้างอิงบนพื้นผิวโลก ซึ่งต้องใช้จุดควบคุมภาคพื้นดิน (Ground Control Points : GCP) สำหรับการปรับ และแก้ไขภาพ

การเน้นข้อมูลภาพ (Image enhancement) เพื่อปรับเปลี่ยนค่าระดับสีเทาของจุดภาพ ให้มีข้อมูลค่าของจุดภาพใหม่ที่มีความคมชัดมากขึ้นเพื่อให้ง่ายต่อการแปลตีความจากภาพ โดยการปรับในแผนภูมิภาพ (Image histogram)

2) การประมวลผลภาพ (Image processing)

เป็นกระบวนการหรือกรรมวิธีจัดจำแนกค่าของจุดภาพลงในชั้นการจำแนกประเภทข้อมูล เพื่อจัดกลุ่มของจุดภาพให้เป็นกลุ่มหรือชั้นของการจำแนก ตามเงื่อนไขที่กำหนด การจำแนกภาพแบ่งเป็น การจำแนกแบบควบคุม (Supervised classification) โดยใช้การแบ่งประเภทของการสะท้อนช่วงคลื่นออกเป็นกลุ่มตัวอย่างหลายๆ กลุ่ม แล้วกำหนดให้เป็นพื้นที่ของกลุ่มข้อมูลตัวอย่าง (Training area) เพื่อเป็นตัวแทนของลักษณะต่างๆ ใช้สำหรับคำนวณค่าทางสถิติ เช่น ค่าเฉลี่ยของแต่ละประเภทข้อมูล ค่าสถิติดังกล่าวใช้เป็นตัวแทนสำหรับการจำแนกประเภทของข้อมูล การจำแนกภาพแบบนี้ต้องใช้ข้อมูลภาคพื้นดินมาช่วย ส่วนการจำแนกภาพอีกแบบเรียกว่า การจำแนกแบบไม่ควบคุม (Unsupervised classification) เป็นการจำแนกโดยใช้การจำแนกประเภทข้อมูลจากค่าสถิติของการสะท้อนของช่วงคลื่นของวัตถุต่างๆ เรียกว่า การจับกลุ่มของข้อมูล (Clustering)

3) การแปลตีความภาพด้วยสายตา

การแปลตีความภาพจากดาวเทียมด้วยสายตาต้องอาศัยประสบการณ์และความรู้ ความเข้าใจในลักษณะของพื้นที่ศึกษา และกิจกรรมที่เกิดขึ้น ณ พื้นที่นั้นๆ ในช่วงเวลาต่างๆ องค์ประกอบของการแปลตีความภาพได้แก่ ความเข้มของสีและสี (Tone and color) ขนาด (Size) รูปร่าง (Shape) เนื้อภาพ (Texture) ความสูง และเงา (Height and shadow) เป็นต้น

2.2 ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เป็นระบบสารสนเทศที่นำเอาข้อมูลมารวบรวม จัดเก็บ และวิเคราะห์อย่างเป็นระบบ สามารถทำการสืบค้นข้อมูลและปรับปรุงข้อมูล รวมไปถึงการนำเอาข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์เพื่อช่วยประกอบการตัดสินใจในเรื่องต่างๆ ได้ ข้อมูลที่นำมารวบรวมและจัดเก็บในระบบที่สามารถนำไปจัดการและวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial data) โดยข้อมูลเชิงพื้นที่ยังมีการเชื่อมโยงเข้ากับข้อมูลลักษณะประจำ (Attribute data) ที่ใช้อธิบายรายละเอียดของปรากฏการณ์และคุณลักษณะของข้อมูลเชิงพื้นที่นั้นๆ ซึ่งจะทำให้การนำข้อมูลไปใช้มีความถูกต้องและแม่นยำมากยิ่งขึ้น

วัตถุประสงค์ของการใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ คือ ใช้เป็นสารสนเทศเพื่อสนับสนุนการตัดสินใจในด้านต่างๆ เช่น การวางแผนการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ รวมถึงการจัดการสิ่งแวดล้อมที่มนุษย์สร้างขึ้น ข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ สามารถตอบคำถามได้ว่า สถานที่ และสิ่งต่างๆ ที่เราต้องการค้นหานั้นอยู่ที่ไหน และเกี่ยวข้องกับสิ่งต่างๆ ที่อยู่ข้างๆ อย่างไร นอกจากนี้ยังช่วยบอกให้รู้ว่ามีทางเลือกใดบ้าง แต่ละทางเลือกมีลักษณะอย่างไร และเปรียบเทียบหาทางเลือกที่ดีที่สุด ข้อมูลที่ได้จากระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เป็นข้อมูลเชิงพื้นที่ซึ่งสามารถบอกตำแหน่งของข้อมูลที่เราสนใจอ้างอิงถูกต้องกับระบบพิกัดทางภูมิศาสตร์บนพื้นโลก (Geo-referenced data) ซึ่งระบบสารสนเทศนี้ประกอบด้วยข้อมูลต่างๆ คือ ลักษณะทางกายภาพ สังคม ทั้งเชิงปริมาณและคุณภาพของสิ่งที่เรากำลังศึกษา นอกจากนี้ยังบอกถึงตำแหน่งและเวลาของสิ่งที่เรากำลังทำการศึกษา

2.2.1 ประวัติความเป็นมาของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ หมายถึง การรวบรวมข้อมูลเชิงพื้นที่ในด้านต่างๆ มาทำการจัดเก็บและวิเคราะห์ข้อมูล เช่น การวางแผนการใช้ประโยชน์ที่ดิน การจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์นี้ส่วนใหญ่จัดเก็บไว้ในแผนที่ ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์มีการพัฒนามาจากสองส่วนหลักๆ คือ

การจัดการสิ่งแวดล้อมในเขตชุมชนและการจัดการการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ ซึ่งต้องการนำข้อมูลเชิงพื้นที่มาใช้วิเคราะห์เพื่อประกอบการตัดสินใจ อย่างไรก็ตามในอดีตการใช้ข้อมูลเชิงพื้นที่ที่จัดเก็บในรูปแบบแผนที่กระดาษ (Paper map) ซึ่งมีข้อจำกัดในหลายๆ ด้าน เช่น ข้อมูลที่ถูกจัดเก็บในรูปแบบแผนที่กระดาษอาจจะถูกย่อหรือลดปริมาณข้อมูลลง ทำให้รายละเอียดบางอย่างถูกกรองออกไป หรือข้อมูลอาจจะเก็บไว้ในแผนที่หลายๆ ฉบับ และบริเวณที่สนใจอาจจะอยู่บริเวณรอยเชื่อมของแผนที่ 2 ฉบับ ทำให้อาจได้ข้อมูลไม่ครบถ้วน นอกจากนี้การเก็บรวบรวมข้อมูล การประมวลข้อมูล และการผลิตแผนที่ใช้เวลาและสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายมาก ซึ่งไม่เหมาะสมต่อการนำไปใช้ประโยชน์ในเรื่องที่ต้องการข้อมูลเชิงพื้นที่ที่มีความทันสมัยอยู่เสมอ เช่น ในด้านอุตุนิยมวิทยา ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนานำเอาคอมพิวเตอร์มาช่วยทำแผนที่และวิเคราะห์ข้อมูล ในช่วง ค.ศ. 1960-1970 เพื่อผลิตแผนที่ให้ได้รวดเร็วขึ้น มีราคาถูกกว่า สามารถผลิตแผนที่ตามที่ผู้ใช้เจาะจง และสามารถทำแผนที่รูปแบบต่างๆ จากข้อมูลชุดเดียวกัน นอกจากนี้ยังสามารถปรับปรุงข้อมูลให้ทันสมัยได้ง่ายขึ้นเนื่องจากข้อมูลอยู่ในรูปแบบข้อมูลเชิงเลข แต่อย่างไรก็ตามยังมีข้อจำกัดของค่าใช้จ่ายที่ค่อนข้างสูงในการนำคอมพิวเตอร์มาใช้งานและข้อจำกัดในด้านการขาดแคลนผู้ชำนาญงานในการใช้คอมพิวเตอร์

ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ระบบแรก พัฒนาโดยรัฐบาลแคนาดาในปี ค.ศ. 1964 เรียกว่า ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์แห่งแคนาดา (The Canadian Geographic Information System : CGIS) ซึ่งได้รับการออกแบบมาเพื่อใช้งานในด้านการพัฒนาพื้นที่ในด้านการเกษตร และได้มีหน่วยงานอื่นๆ นำระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ไปพัฒนาใช้ เช่น ในประเทศสหรัฐอเมริกา ได้แก่ ระบบสารสนเทศการใช้ที่ดินและทรัพยากรธรรมชาติแห่งรัฐนิวยอร์ก ในปี ค.ศ. 1967 (The New York Land Use and Natural Resources Information System) และระบบสารสนเทศการจัดการที่ดินของรัฐมินิโซตา (The Minnesota Land Management Information System : MLMIS) ในปี ค.ศ. 1969

การใช้คอมพิวเตอร์เพื่อช่วยวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่เป็นการนำเสนอข้อมูลกว้างๆ ของศาสตร์ต่างๆ ที่สัมพันธ์กัน ได้แก่ การทำแผนที่โฉนด การทำแผนที่ภูมิประเทศ การทำแผนที่เฉพาะเรื่องวิศวกรรมโยธา ภูมิศาสตร์ปฐพีวิทยา การสำรวจ การวางผังเมือง การรับรู้จากระยะไกลและการประมวลผลภาพเชิงเลข นอกจากนี้ยังมีการประยุกต์ใช้ในทางทหารที่มีความซับซ้อนมากขึ้น ศาสตร์ต่างๆ เหล่านี้เน้นการใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เป็นเครื่องมือเพื่อช่วยในการเก็บรวบรวม บันทึก สืบค้น และทำการแก้ไขข้อมูลของสิ่งที่เป็นจริงบนพื้นโลก ซึ่งข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์นี้ใช้แสดงสิ่งที่เป็นจริงในเรื่องตำแหน่งระบบพิกัดทางภูมิศาสตร์ที่ใช้อ้างอิงได้ ข้อมูลลักษณะประจำ และความเกี่ยวโยงกันทางทอพอโลยี (Topology) ซึ่งจะอธิบายว่าสิ่งต่างๆ เชื่อมโยงกันอย่างไร

2.2.2 องค์ประกอบของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

องค์ประกอบต่างๆ ของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ประกอบด้วยส่วนประกอบหลักคือ

1) บุคลากร

บุคลากรที่เกี่ยวข้องกับการทำงานในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ได้แก่ ผู้ใช้แผนที่ ซึ่งจะใช้แผนที่สำหรับการประกอบการตัดสินใจและวางแผนเฉพาะเรื่อง ผู้ทำแผนที่ใช้ข้อมูลจากชั้นแผนที่ต่างๆ เพื่อนำมาผลิตแผนที่ที่มีคุณภาพสูง นักวิเคราะห์จะทำการวิเคราะห์ข้อมูลในเชิงพื้นที่ และภูมิศาสตร์ เช่น เส้นทางที่เหมาะสม การจัดการการจราจร พื้นที่เสี่ยงต่อภัยพิบัติ เช่น น้ำท่วม และภัยแล้ง ผู้จัดทำข้อมูลทำหน้าที่นำเข้าข้อมูล จัดเก็บ และแก้ไขข้อมูลให้ถูกต้อง สำหรับการวิเคราะห์ในด้านต่างๆ นักออกแบบระบบฐานข้อมูล ทำหน้าที่ออกแบบระบบฐานข้อมูลเชิงพื้นที่เพื่อให้การทำงานของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ และนักพัฒนาโปรแกรม ทำการพัฒนาซอฟต์แวร์ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

2) ข้อมูล

แหล่งข้อมูลของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ได้จากแหล่งข้อมูลต่างๆ เช่น ข้อมูลจากดาวเทียม รูปถ่ายทางอากาศ แผนที่ภูมิประเทศ แผนที่น้ำใต้ดิน และแผนที่ธรณีวิทยา เป็นต้น โดยแหล่งข้อมูลอยู่ในรูปแบบของข้อมูลกระดาษและข้อมูลเชิงเลข

3) ซอฟต์แวร์

ใช้เพื่อทำหน้าที่จัดการควบคุมการประมวลผลของคอมพิวเตอร์แบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลักๆ คือ ซอฟต์แวร์ที่ใช้ทำงานร่วมกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ และซอฟต์แวร์ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

- ซอฟต์แวร์ที่ใช้ทำงานร่วมกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เรียกว่า ซอฟต์แวร์ระบบ (System software) หรือ ระบบปฏิบัติการ (Operating System : OS) เป็นโปรแกรมควบคุมระบบเครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งเครื่องคอมพิวเตอร์แต่ละชนิดจะเรียกใช้ระบบปฏิบัติการต่างกัน ขึ้นอยู่กับการออกแบบของผู้ผลิต เช่น เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล มักใช้ระบบปฏิบัติการ WINDOWS เครื่องมินิคอมพิวเตอร์บางชนิดมักใช้ระบบปฏิบัติการ UNIX เป็นต้น นอกจากนี้ยังประกอบด้วยซอฟต์แวร์สำเร็จ (Software package) คือ โปรแกรมที่ผู้ผลิตทำไว้แล้ว สามารถนำมาใช้ให้เหมาะสมกับงาน เช่น Microsoft Office และซอฟต์แวร์สำหรับระบบจัดการฐานข้อมูล (Data Base Management Software : DBMS) ใช้เก็บบันทึกข้อมูลในรูปแบบของฐานข้อมูล และมีคำสั่งงานสำหรับเรียกข้อมูลไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น Dbase Access Oracle และ SQL เป็นต้น

- ซอฟต์แวร์ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ที่สามารถใช้ทำงานในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ได้ต้องมีความสามารถหลักๆ ในด้านการป้อนข้อมูลและการตรวจสอบข้อมูล โดยการนำเข้าข้อมูลนั้นอาจเป็นการเปลี่ยนข้อมูลจากแผนที่ต้นแบบ ข้อมูลจากดาวเทียม รูปถ่ายทางอากาศ ให้อยู่ในรูปของข้อมูลเชิงเลขโดยมีเครื่องมือที่ใช้ในการนี้ เช่น ตัวแปลงเป็นดิจิทัล (Digitizer) และเครื่องกวาดภาพ เป็นต้น นอกจากนี้ยังต้องมีการจัดเก็บข้อมูลประเภทต่างๆ คือ จุด เส้น หรือพื้นที่ และการจัดการฐานข้อมูลที่ผู้ใช้สามารถเรียกใช้ได้สะดวก ปัจจุบันมีซอฟต์แวร์ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ที่ใช้ในประเทศไทย เช่น ArcView Arc/Info InterGraph PAMAP SPANS ILWIS และ MapInfo Professional เป็นต้น

4) ฮาร์ดแวร์

องค์ประกอบฮาร์ดแวร์ของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์นั้นต้องมีหน่วยความจำหลัก (Main memory) ที่มีขนาด 64 MB ขึ้นไป สำหรับจอภาพจะสัมพันธ์กับตัวปรับภาพกราฟิก (Graphics adapter card) อย่างน้อยรุ่นวีจีเอ (Video Graphics Array : VGA) รายละเอียดจุดภาพขนาด 640x480 จุด หรือ ซูเปอร์วีจีเอ (SVGA) มีความละเอียดจอภาพ 800x600 จุด หรือมากกว่า เครื่องพิมพ์ที่ใช้ส่วนมากจะเป็นแบบพ่นหมึก โดยใช้วิธีพ่นหมึกจากหัวฉีด (Ink jet) ชนิดเป็นสี เครื่องวาด (Plotter) ซึ่งใช้ได้กับกระดาษขนาดตั้งแต่ A4 ขึ้นไป สำหรับตัวแปลงเป็นดิจิทัล คือเครื่องถ่ายทอดขอบเขตต่างๆ บนแผนที่ให้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ และจานบันทึกแบบแข็ง (Hard disk) ต้องสามารถเก็บข้อมูลไว้อย่างเพียงพอหรือใช้ซีดีรอม (CD-ROM) เป็นสื่อในการบันทึกข้อมูล

5) กระบวนงาน (Procedure)

เป็นกระบวนการเพื่อสนับสนุนการวิเคราะห์ดำเนินงาน ให้ได้สารสนเทศตามเป้าหมาย ซึ่งต้องอาศัยองค์ประกอบและองค์ความรู้ต่างๆ ตามศาสตร์ที่จะดำเนินการ

2.3 ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก

ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก เป็นระบบโครงข่ายดาวเทียมระบุตำแหน่งจำนวนอย่างน้อย 24 ดวงรอบโลก โดยโคจรอยู่เหนือพื้นโลกประมาณ 20,200 กิโลเมตร ซึ่งดาวเทียมมีชื่ออ้างอิงว่า NAVSTAR เดิมระบบกำหนดตำแหน่งบนโลกได้ถูกออกแบบมาใช้ในภารกิจทางทหารโดยกระทรวงกลาโหม สหรัฐอเมริกาเป็นเจ้าของระบบ ต่อมาจึงได้เปิดโอกาสให้ประชาชนทั่วไปได้ใช้ประโยชน์นี้โดยไม่คิดมูลค่าแต่อย่างใด ทำให้มีผู้ใช้ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลกอย่างแพร่หลาย ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลกจะรับสัญญาณจากดาวเทียมเพื่อหาตำแหน่ง ณ จุดใดๆ บนโลกอ้างอิงกับระบบพิกัดทางภูมิศาสตร์ ได้ตลอด 24 ชั่วโมง โดยไม่จำกัดสภาพอากาศแต่อย่างใด จึงนับได้ว่าเป็นระบบนำทางที่ดีในปัจจุบัน ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลกทำงานได้โดยอาศัยการรับสัญญาณจากดาวเทียมอย่างน้อย 3 ดวง ซึ่งสามารถคำนวณตำแหน่งที่อยู่ในแบบ 2 มิติ คือ เฉพาะค่าในแนวราบ และหากระบบกำหนดตำแหน่งบนโลกรับดาวเทียมได้ 4 ดวงขึ้นไป จะทราบตำแหน่งที่อยู่ในแบบ 3 มิติ คือ ตำแหน่ง และความสูง

3. การใช้ประโยชน์เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ

ในปัจจุบันหน่วยงานทั้งภาครัฐและเอกชนได้ตระหนักถึงความจำเป็นในการใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศเพื่อพัฒนาประสิทธิภาพในการจัดการในด้านต่างๆ ให้งานเกิดประสิทธิภาพสูงสุด หน่วยงานในภาครัฐและรัฐวิสาหกิจได้นำเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศมาประยุกต์ใช้ ได้แก่ กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม กรมควบคุมมลพิษ กรมโรงงานอุตสาหกรรม กรมทรัพยากรธรณี กรมโยธาธิการและผังเมือง สำนักงานจังหวัด กรมวิชาการการเกษตร กรมพัฒนาที่ดิน กรมป่าไม้ กรมชลประทาน สถาบันการศึกษา การไฟฟ้าฝ่ายผลิต การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค การประปาภูมิภาคและนครหลวง และองค์การโทรศัพท์ เป็นต้น นอกจากนี้ในภาคเอกชนที่ได้มีการนำเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศมาประยุกต์ใช้ ได้แก่ ธนาคารพาณิชย์ บริษัทน้ำมัน บริษัทที่ปรึกษาด้านการทำแผนที่และสิ่งแวดล้อม การประเมินโครงการวิศวกรรม และการประเมินผลกระทบจากสิ่งแวดล้อม ซึ่งมีความสำคัญในการพัฒนาประเทศชาติ และรัฐบาลมีนโยบายที่ชัดเจนในการส่งเสริมและสนับสนุนการใช้ข้อมูลภูมิสารสนเทศทั้งในภาครัฐและภาคเอกชน เพื่อได้ข้อมูลที่ถูกต้องและมีความทันสมัย สามารถนำไปใช้ประกอบการตัดสินใจได้อย่างถูกต้องและรวดเร็ว

ที่ผ่านมารัฐบาลได้เน้นความสำคัญของการนำเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศไปประยุกต์ใช้ในด้านต่างๆ เพื่อเพิ่มศักยภาพในการปฏิบัติงาน ซึ่งเป็นประโยชน์ในการวางแผนพัฒนาประเทศ จึงได้จัดตั้งสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) ขึ้นในปี พ.ศ.2543 เป็นหน่วยงานของรัฐในรูปแบบองค์การมหาชน ภายในกำกับรัฐมนตรีว่าการกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เน้นการบริหารและดำเนินงานอย่างมีประสิทธิภาพเพื่อบริการข้อมูลจากดาวเทียม ข้อมูลภูมิสารสนเทศ และบริการวิชาการต่างๆ ตลอดจนการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศให้เป็นประโยชน์ต่อประเทศชาติและประชาชน

ระบบเครือข่ายและอินเทอร์เน็ตได้เข้ามามีบทบาทเพิ่มขึ้นในการสืบค้นข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ผู้ใช้สามารถเข้าไปสืบค้นข้อมูลทางภูมิศาสตร์และข้อมูลอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องผ่านทางเว็บเบราว์เซอร์ โดยไม่ต้องติดตั้งซอฟต์แวร์ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ทำให้ผู้ใช้สามารถติดต่อและแลกเปลี่ยนข้อมูลกันได้สะดวกและมีแนวโน้มว่าจะประสบความสำเร็จอย่างสูงในอนาคต นอกจากนี้ยังมีโครงการดิจิทัลไทยแลนด์ (Digital Thailand) ซึ่งเป็นรูปแบบใหม่ในการให้บริการการศึกษาพัฒนาองค์ความรู้ด้านอวกาศและภูมิสารสนเทศของประเทศไทย ได้รับการพัฒนาโดยสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) ร่วมกับกรมแผนที่ทหาร และศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาและจัดเตรียมข้อมูลการสำรวจโลกผ่านซอฟต์แวร์รหัส

ต้นฉบับ NASA World Wind ซึ่งสามารถพัฒนาต่อยอดได้ มีข้อมูลภูมิศาสตร์ของประเทศไทยที่ปรับให้ทันต่อเหตุการณ์ ประกอบด้วย ข้อมูลจากดาวเทียม LANDSAT ปี พ.ศ. 2549 ทั่วประเทศไทย ข้อมูลแนวแบ่งเขตการปกครองระดับจังหวัดและอำเภอ ข้อมูลที่ตั้งอำเภอ เส้นทางคมนาคม และสถานที่สำคัญอื่นๆ ลักษณะเด่นของดิจิทัลไทยแลนด์คือ สามารถทำงานแบบออฟไลน์ เพื่อให้ผู้ที่สนใจเรียนรู้ได้เข้าถึงเทคโนโลยีสำรวจโลกจากห้วงอวกาศทุกที่ ทุกเวลาโดยไร้ข้อจำกัดทางอินเทอร์เน็ต ผลที่คาดว่าจะได้รับในระยะแรกคือการพัฒนาสื่อการเรียนรู้ภูมิสารสนเทศในระดับนักเรียน รวมทั้งเผยแพร่เทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศที่ทันสมัย โดยดำเนินการแจกจ่ายโปรแกรมในรูปแบบดีวีดีแก่ครู นักเรียน และประชาชนที่สนใจ ในระยะที่สองจะทำการพัฒนาบริการแบบออนไลน์สู่เครือข่ายอินเทอร์เน็ต

เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศสามารถนำไปประยุกต์ให้เกิดประโยชน์ในหลายด้าน ซึ่งงานด้านหลักๆ ได้แก่ ด้านเกษตร ป่าไม้ สิ่งแวดล้อม ภัยพิบัติ และระบาดวิทยา เป็นต้น

ด้านเกษตร สามารถใช้ข้อมูลจากดาวเทียมนำมาประยุกต์ใช้ในการวางแผนการเกษตร และประเมินผลิตผลทางการเกษตร ซึ่งสามารถเน้นศึกษากับพืชเศรษฐกิจที่สำคัญ เช่น ข้าว ปาล์มน้ำมัน ยางพารา มันสำปะหลัง ข้าวโพด และอ้อย ซึ่งข้อมูลจากดาวเทียมสามารถนำมาใช้เพื่อจำแนกประเภทของพืช และติดตามประเมินผลิตผลทางการเกษตรได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้เมื่อนำข้อมูลเชิงพื้นที่หลายด้านมาวิเคราะห์เชิงบูรณาการก็สามารถประเมินความเหมาะสมของพื้นที่ทางการเกษตร

ด้านป่าไม้ เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศประยุกต์ใช้ในการสำรวจและติดตามการเปลี่ยนแปลง พื้นที่ป่าไม้ พื้นที่ป่าต้นน้ำลำธาร พื้นที่ป่าเสื่อมโทรม และพื้นที่ป่าชายเลน เพื่อใช้วางแผนยุทธศาสตร์ การอนุรักษ์ และป้องกันการตัดไม้ทำลายป่า ในการใช้ประโยชน์ทรัพยากรธรรมชาติอย่างยั่งยืน

ด้านสิ่งแวดล้อม การประยุกต์เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศในการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม พื้นที่อ่อนไหวต่อสิ่งแวดล้อม พื้นที่ที่เหมาะสมในการจัดทำโครงการเพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ยังมีการประยุกต์ใช้ในเรื่องการติดตามผลกระทบที่เกิดจากภัยพิบัติ เช่น ใช้ข้อมูลจากดาวเทียมติดตามพื้นที่ที่เกิดไฟป่า น้ำท่วม ภัยแล้ง และแผ่นดินถล่ม เป็นต้น

ด้านระบาดวิทยา ใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศศึกษาการกระจายตัว ความหนาแน่น และแนวโน้มการแพร่กระจายของโรค เพื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์หาพื้นที่เสี่ยงที่จะเกิดโรคเพื่อเตรียมมาตรการป้องกันการเกิดโรคระบาดต่อไป เช่น พื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดไข้หวัดนก ไข้เลือดออก และมาลาเรีย เป็นต้น

ด้านการจัดการทางด้านผังเมืองและชุมชน ได้มีการนำเอาข้อมูลจากดาวเทียมความละเอียดสูงมาใช้เพื่อศึกษาพื้นที่ในระดับเทศบาล และองค์การบริหารส่วนตำบล เพื่อศึกษาแนวโน้มการขยายตัวของชุมชนเมือง แผนที่ภาษี การจัดการสาธารณูปโภค ซึ่งสามารถให้ข้อมูลที่ปรับทันต่อเหตุการณ์

บรรณานุกรม

ชรัตน์ มงคลสวัสดิ์. (2540). **การรับรู้ระยะไกล**. ขอนแก่น: หจก.ขอนแก่นการพิมพ์.

ถนอมศรี รังสิกรรพุม, และสุรชัย รัตนเสริมพงศ์. (2540). **การวิเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียมด้วยสายตา**, เอกสารประกอบการฝึกอบรมเทคโนโลยีรีโมทเซนซิง, พฤษภาคม 2540 ณ ศูนย์คอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน). (2006). **โครงการ Digital Thailand**. Retrieved April 05, 2007, from http://digitalthailand.gistda.or.th

Burrough, P.A. and McDonnell, R.A. (1998). **Principles of geographic information systems**. New York: Oxford University Press Inc.

Demers, N.M. (2000). **Fundamental of geographic information system**. England: John Wiley & Sons.

Fotheringham, A.S., Brunsdon, C. and Charlton, M. (2000). **Quantitative geography: perspectives on spatial data analysis**. [n.p.]: SAGE Publications.

Gatrell, C.A., Bailey, C.T., Diggle, J.P. and Rowlington, S.B. (1995). **Spatial point pattern analysis and its application in geographical epidemiology**. [n.p.]: [n.p.].

Jonathan, W. (1995). **Geographic information from space**. England: Praxis Publishing Ltd.

Keith, R.M. (2006). **Resources management information system: remote sensing, and modeling**. Florida: CRC Press, Talor & Francis Group.

Paul, J.G. and Clare, H.P. (2000). **Introductory remote sensing digital image processing and applications**. London: Routledge.

Pual, A.L., Michael, F.G, David, J.M. and Advic, W.R. (2005). **Geographic information systems and science**. England: John Wiley & Sons.

Rogerson, A.P. (2001). **Statistical methods for geography**. [n.p.]: SAGE Publications.

Zeiler, M. (1999). **Modelling our World; The ESRI Guide to Geodatabase Design**. ESRI Press.

บทที่ 2

เส้นโครงแผนที่และระบบพิกัด (Map and Map Projection)

1. เส้นโครงแผนที่และคุณสมบัติ

เนื่องจากรูปทรงของโลกเป็นทรงรี (Ellipsoid) และมีพื้นผิวโค้ง การถ่ายทอดหรือจำลองสิ่งต่างๆ บนพื้นผิวโลกลงบนกระดาษแผ่นราบ หรือทำเป็นแผนที่ ทำให้มีความแตกต่างกันของพื้นผิวทั้งสอง กล่าวคือเมื่อจำลองรูปทรงของโลกให้เป็นแผนที่แผ่นแบนราบแล้วจะเกิดการบิดเบี้ยว (Distortion) ขึ้น จากข้อเท็จจริงในการจำลองผิวทรงรีของโลกลงบนแผ่นกระดาษ จึงไม่มีแผนที่ฉบับไหนที่แสดงลักษณะต่างๆ บนพื้นผิวโลกตามสภาพความเป็นจริงได้ถูกต้องทั้งหมด หากจำลองลักษณะบนพื้นผิวโลกให้ถูกต้อง ต้องจำลองบนลูกโลก (Globe) เป็นทรงกลมใกล้เคียงกับโลก แต่ก็มีข้อจำกัดในเรื่องมาตราส่วนเนื่องจากไม่สามารถใช้ลูกโลกที่มีมาตราส่วนใหญ่ได้ รายละเอียดบนพื้นผิวโลกจึงไม่สามารถบรรจุลงบนลูกโลกได้มาก หรืออาจต้องใช้ค่าใช้จ่ายสูง

ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องจำลองพื้นผิวโลกบนกระดาษแผ่นราบ แผนที่ทุกแผ่นถ้าจะต้องรักษาคุณสมบัติเกี่ยวกับทิศทาง พื้นที่ หรือรูปร่าง แผนที่จะมีการบิดเบี้ยวจากพื้นผิวโลกที่แท้จริง เพื่อช่วยในการแก้ปัญหาต่างๆ ในการทำแผนที่ทำให้เกิดแนวความคิดในการสร้างเส้นโครงแผนที่ขึ้น

หลักการสร้างเส้นโครงแผนที่ เป็นการฉายเงาของวัตถุต่างๆ ที่มีทรวดทรงไปปรากฏบนพื้นราบ หลักการนี้นำไปสร้างเส้นโครงแผนที่โดยการฉายแสงผ่านลูกโลกจำลองที่มีลักษณะโปร่งใส เพื่อให้เงาของเส้นขนาน (Parallel) และเส้นเมริเดียน (Meridian) บนผิวโลกไปปรากฏบนพื้นราบที่ใช้ทำแผนที่ อย่างไรก็ตามในการสร้างเส้นโครงแผนที่อาศัยการคำนวณทางคณิตศาสตร์ประกอบการสร้างรูปเชิงเรขาคณิตเป็นหลักใหญ่

พื้นผิวที่ใช้ในการจำลองเพื่อให้เงาของเส้นขนานและเส้นเมริเดียนปรากฏ ที่ได้รับการพัฒนาใช้แสดงเป็นเส้นโครงแผนที่ประกอบด้วย พื้นผิวทรงกรวย พื้นผิวรูปทรงกระบอก และพื้นผิวแบนหรือพื้นระนาบ

เส้นโครงแผนที่ หมายถึง ระบบของเส้นที่ประกอบไปด้วยเส้นขนาน และเส้นเมริเดียน ที่ใช้ในการถ่ายทอดลักษณะทรงกลมของโลกลงบนพื้นราบ โดยใช้หลักการสร้างรูปเรขาคณิต หรือการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ เพื่อรักษาระยะทาง พื้นที่ ทิศทาง หรือรูปร่าง ไว้ตามอัตราส่วน ให้ใกล้เคียงกับสภาพความเป็นจริงบนโลก เส้นโครงแผนที่เมื่อนำไปใช้ในการทำงานด้านแผนที่แล้วมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

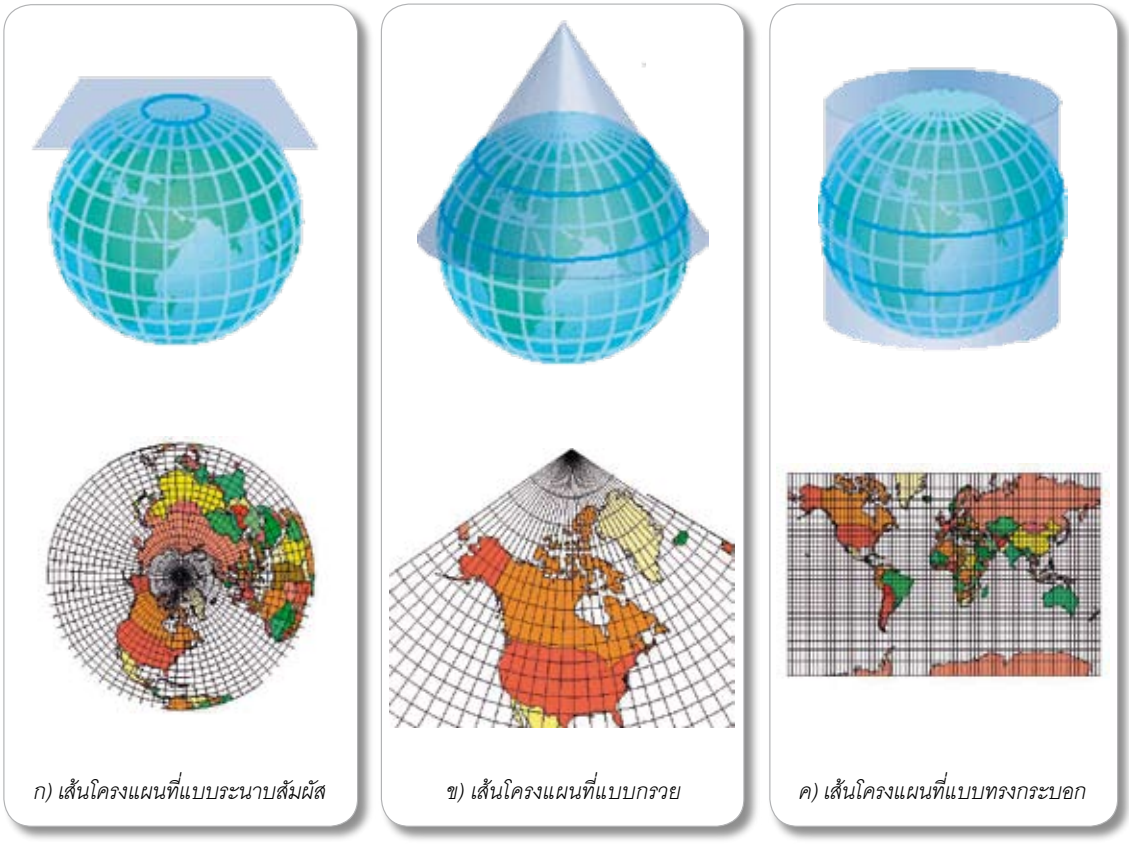
- คุณสมบัติการรักษารูปร่างจริง
- เนื้อที่ของบริเวณที่ปรากฏบนแผนที่และบริเวณผิวโลกควรเปรียบเทียบกันได้
- ระยะระหว่างรายละเอียดในแผนที่และบนผิวโลกควรเปรียบเทียบกันได้
- ทิศทางในแผนที่ควรเป็นทิศทางที่แท้จริง
- รายละเอียดที่ปรากฏในแผนที่ควรเข้าใจง่าย และสะดวกในการกำหนดตำแหน่ง
- ระยะที่สั้นที่สุดของตำแหน่ง 2 ตำแหน่ง ซึ่งอยู่บนเส้นโค้งวงกลมใหญ่ (เส้นเมริเดียน) เมื่อปรากฏในแผนที่มีลักษณะเป็นเส้นตรง ซึ่งเป็นระยะที่สั้นที่สุดระหว่างตำแหน่ง 2 ตำแหน่งบนพื้นราบ

จากคุณสมบัติทั้งหมดนี้พบว่ายังไม่มีเส้นโครงแผนที่ใดที่มีคุณสมบัติครบถ้วน นักภูมิศาสตร์จึงต้องเลือกเส้นโครงแผนที่แบบใดแบบหนึ่งเท่านั้น ตามวัตถุประสงค์หรือความมุ่งหมายที่สำคัญที่สุดของการทำแผนที่ชนิดนั้นๆ

2. ชนิดของเส้นโครงแผนที่

เนื่องจากมีเส้นโครงแผนที่จำนวนมากที่นำมาใช้ในการทำแผนที่ซึ่งสามารถแบ่งออกตามกลุ่มหรือตระกูลพื้นฐาน ออกได้เป็น 4 กลุ่มตามทฤษฎีเส้นโครงแผนที่ หรือลักษณะของพื้นแผ่นที่มีสัมผัสกับลูกโลก ได้แก่

- เส้นโครงแผนที่แบบระนาบสัมผัส (Planar, Azimuthal or Zenithal projection) (ภาพที่ 2.1ก)
- เส้นโครงแผนที่แบบกรวย (Conic projection) (ภาพที่ 2.1ข)
- เส้นโครงแผนที่แบบทรงกระบอก (Cylindrical projection) (ภาพที่ 2.1ค)
- เส้นโครงแผนที่ทางคณิตศาสตร์ (Mathematical or Conventional projection) ที่ได้จากการคำนวณทางคณิตศาสตร์



ก) เส้นโครงแผนที่แบบระนาบสัมผัส *ข) เส้นโครงแผนที่แบบกรวย* *ค) เส้นโครงแผนที่แบบทรงกระบอก*

***ภาพที่** 2.1 ชนิดของเส้นโครงแผนที่*

2.1 เส้นโครงแผนที่แบบระนาบสัมผัส

เส้นโครงแผนที่ชนิดนี้เป็นเส้นโครงแผนที่ที่ให้แผ่นแบนราบสัมผัสกับลูกโลก โดยให้จุดฉายแสงอยู่ในตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งแล้วแต่จะกำหนด ได้แก่ ตรงจุดศูนย์กลางของโลก ตรงกันข้ามกับพื้นราบที่สัมผัส และจากระยะอนันต์ กลุ่มเส้นโครงชนิดนี้สามารถจำแนกออกได้คือ แบบโนมอน (Gnomonic projection) แบบสเตริโอกราฟ (Stereographic projection) และแบบออร์โทกราฟ (Orthographic projection)

2.1.1 เส้นโครงแผนที่แบบโนมอน

เป็นเส้นโครงแผนที่ มีจุดกำเนิดแสงอยู่ที่กึ่งกลางลูกโลก การสร้างเส้นโครงแผนที่ชนิดนี้ทำได้ไม่เต็มซีกโลก ลักษณะของเส้นโครงแผนที่มีเส้นวงกลมใหญ่เป็นเส้นตรง ส่วนเส้นขนานมีลักษณะเป็นเส้นโค้ง เส้นโครงแผนที่ชนิดนี้ไม่เหมาะที่จะใช้สำหรับพื้นที่กว้างใหญ่ มีข้อเสียคือไม่รักษาคุณสมบัติทางด้านพื้นที่และรูปร่างโดยเฉพาะบริเวณที่ห่างไกลจากจุดสัมผัส อย่างไรก็ตามเส้นโครงแผนที่ชนิดนี้ใช้ในการนำร่อง เช่น การเดินเรือ และการบิน

2.1.2 เส้นโครงแผนที่แบบสเตริโอกราฟ

เป็นเส้นโครงแผนที่ มีจุดกำเนิดแสงอยู่ที่ผิวลูกโลกด้านตรงข้ามกับจุดสัมผัส การสร้างเส้นโค้งแบบนี้จะได้เส้นโค้งเกินกว่าซีกโลก ลักษณะเส้นเมริเดียนเป็นเส้นตรงชิดกันบริเวณตอนกลางและห่างออกไปบริเวณขอบ ส่วนเส้นขนานเป็นเส้นโค้งวงกลม มีคุณสมบัติรักษารูปร่าง เหมาะสำหรับทำแผนที่การบิน

2.1.3 เส้นโครงแผนที่แบบออร์โทกราฟ

เป็นเส้นโครงแผนที่ชนิดหนึ่งที่เกิดจากการสมมติว่า หากฉายแสงเป็นเส้นตรงผ่านลูกโลกมายังแผ่นราบที่สัมผัสบริเวณขั้วโลก บริเวณศูนย์สูตร หรือเหนือพื้นผิวโลกบริเวณใดบริเวณหนึ่ง ทำให้สามารถแสดงแผนที่ได้เพียงครึ่งหนึ่งของโลกเท่านั้น มาตราส่วนของแผนที่เส้นโครงแผนที่แบบออร์โทกราฟนี้ถูกต้องมากที่สุดบริเวณที่แผ่นราบสัมผัสผิวโลก และค่าความผิดพลาดจะเพิ่มมากขึ้น เมื่อห่างจากจุดสัมผัสออกไป เส้นโครงแผนที่ชนิดนี้นิยมใช้ทำแผนที่โลก

อย่างไรก็ตามคุณสมบัติของเส้นโครงแผนที่ทั้งสามแบบนี้นอกจากแตกต่างกันไปตามตำแหน่งของจุดกำเนิดแสงแล้ว ยังแตกต่างไปตามจุดระนาบสัมผัสอีกด้วย โดยจุดสัมผัสแบ่งออกเป็น 3 ลักษณะคือ จุดสัมผัสที่อยู่ขั้วโลก จุดสัมผัสอยู่ที่ระนาบศูนย์สูตร และจุดสัมผัสเฉียง

2.2 เส้นโครงแผนที่แบบกรวย

เส้นโครงแผนที่ชนิดนี้เป็นเส้นโครงแผนที่ที่ใช้พื้นผิวทรงกรวยสัมผัสกับลูกโลกในการฉายแสง เมื่อคลี่ทรงกรวยออก เส้นเมริเดียนจะมีลักษณะครึ่งวงกลมซึ่งมีลักษณะคล้ายซี่พัด กลุ่มพื้นที่สัมผัสสำหรับเส้นโครงแผนที่แบบกรวยสามารถแยกออกได้ คือ แบบกรวยสัมผัส (Central conical projection or Tangent cone) แบบกรวยตัด (Secant conical projection) และแบบหลายกรวย (Polyconic projection)

2.2.1 แบบกรวยสัมผัส

เป็นเส้นโครงแผนที่แบบง่ายที่ใช้ทรงกรวยครอบลงบนลูกโลกแล้วฉายแสง โดยให้แกนของลูกโลกและแกนของทรงกรวยทับกันตรงจุดสัมผัส ถ้าลากเส้นตรงจะได้เส้นขนานหลัก (Standard parallel) ซึ่งบริเวณจุดสัมผัสนี้มีมาตราส่วนถูกต้อง ส่วนบริเวณที่ห่างออกไปจากจุดสัมผัสจะมีการบิดเบี้ยวมากขึ้น เส้นโครงแผนที่ชนิดนี้เหมาะสำหรับใช้ทำแผนที่บริเวณแคบๆ และมีรูปร่างยาวตามแนวตะวันออก-ตะวันตก

2.2.2 แบบกรวยตัด

เป็นเส้นโครงแผนที่ที่ใช้ผิวกรวยตัดเข้าไปยังลูกโลกทำให้เกิดจุดสัมผัสขึ้น 2 จุด จึงมีเส้นขนานหลัก 2 เส้น เป็นการเพิ่มคุณสมบัติความถูกต้องบริเวณจุดสัมผัสมากขึ้น ลักษณะเส้นโครงแผนที่คล้ายกับกรวยสัมผัสที่มีเส้นขนานหลัก 1 เส้น คือ เส้นเมริเดียนเป็นเส้นตรงแผ่ออกไปจากขั้วโลก เส้นขนานเป็นเส้นโค้งของวงกลมที่มีขั้วโลกเป็นจุดศูนย์กลางรวมกัน ผู้ประดิษฐ์เส้นโครงแผนที่แบบนี้ที่เป็นที่รู้จักแพร่หลาย คือ Lambert และ Alber ซึ่งได้ประดิษฐ์เส้นโครงแผนที่คงรูปแลมเบิร์ต (Lambert conformal projection) และอัลเบอร์ (Alber's conic equal area projection) ตามลำดับ

2.2.3 แบบหลายกรวย

เป็นเส้นโครงแผนที่ที่ใช้ทรงกรวยหลายอันซ้อนกันสวมเข้าไปบนลูกโลก โดยให้แกนของกรวยแต่ละอันทับกันพอดีกับแกนของลูกโลกทำให้เกิดเส้นขนานตามจำนวนกรวยที่สัมผัส ลักษณะเส้นโครงแผนที่ชนิดนี้จะมีเส้นขนานทุกเส้นโค้งเป็นวงกลมแต่จุดศูนย์กลางไม่เท่ากัน เส้นเมริเดียนกลาง (Central meridian) เป็นเส้นตรง ระยะห่างของเส้นขนานถูกแบ่งออกเท่าๆ กันตรงเส้นเมริเดียนกลาง นอกจากนี้ส่วนโค้งของเส้นขนานและเส้นเมริเดียนจะเป็นเส้นโค้งยกเว้นเส้นระนาบศูนย์สูตรที่เป็นเส้นตรง เส้นโครงแผนที่ชนิดนี้มีข้อเสียที่มีลักษณะการโค้งของเส้นขนานและเส้นเมริเดียนมากเมื่ออยู่ใกล้ขอบแผนที่ ทำให้รายละเอียดต่างๆ คลาดเคลื่อนไป แต่มีข้อดีเหมาะสำหรับใช้ทำแผนที่ในพื้นที่ที่มีลักษณะขยายไปในแนวเหนือ-ใต้

2.3 เส้นโครงแผนที่แบบทรงกระบอก

เส้นโครงแผนที่ชนิดนี้เป็นเส้นโครงแผนที่ที่ใช้รูปทรงกระบอกเป็นพื้นสัมผัสกับลูกโลก หรือตัดผ่านลูกโลกบริเวณตำแหน่งใดๆ เมื่อคลี่รูปทรงกระบอกเป็นแผ่นแบนราบแล้วจะได้เส้นโครงแผนที่มีลักษณะของเส้นขนานและเส้นเมริเดียนเป็นเส้นตรงตัดกันเป็นมุมฉาก มีทิศทางถูกต้อง รูปร่างถูกต้อง พื้นที่ที่อยู่ใกล้กับจุดสัมผัสจะมีความถูกต้องมาก และยิ่งห่างจากจุดสัมผัสก็มีความคลาดเคลื่อนบิดเบี้ยวมากยิ่งขึ้น เส้นโครงแผนที่ชนิดนี้นิยมใช้บริเวณพื้นที่โลกระหว่างละติจูด 80 องศาเหนือ-ใต้

ในกลุ่มของเส้นโครงแผนที่ที่พื้นสัมผัสเป็นรูปทรงกระบอกนี้สามารถแบ่งได้ 3 แบบ คือ

2.3.1 เส้นโครงแผนที่คงพื้นที่แบบทรงกระบอก (Cylindrical equal area projection)

ทรงกระบอกที่ใช้ในการฉายแสงถูกวางสัมผัสกับลูกโลกในตำแหน่งปกติ มีลักษณะของเส้นขนานและเส้นเมริเดียนทุกเส้นเป็นเส้นตรงตัดกันเป็นมุมฉาก เส้นขนานทุกเส้นมีความยาวเท่ากันกับความยาวของเส้นระนาบศูนย์สูตรบนลูกโลก เส้นโครงแผนที่ชนิดนี้รู้จักกันแพร่หลายในชื่อ Lambert's cylindrical equal area projection

2.3.2 เส้นโครงแผนที่ทรงกระบอกแบบกอลล์ (Gall's stereographic cylindrical projection)

กอลล์ได้ประดิษฐ์เส้นโครงแผนที่ชนิดนี้โดยใช้ทรงกระบอกตัดผ่านผิวของลูกโลกบริเวณเส้นขนาน 45 องศาเหนือและใต้ ทำให้มีการเฉลี่ยการบิดเบี้ยวไม่ให้เกิดมากบริเวณขั้วโลกทั้งสอง เส้นโครงแผนที่ชนิดนี้ทั้งเส้นขนานและเส้นเมริเดียนเป็นเส้นตรงตัดกันเป็นมุมฉาก และเส้นขนานแต่ละเส้นจะห่างกันมากขึ้นเมื่อไปทางขั้วโลกทั้งสอง

2.3.3 เส้นโครงแผนที่ทรงกระบอกแบบเมอร์เคเตอร์ (Mercator projection)

เมอร์เคเตอร์ได้ประดิษฐ์เส้นโครงแผนที่ชนิดนี้ขึ้นในศตวรรษที่ 16 และมีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายตั้งแต่แรกเริ่มจนถึงปัจจุบัน หลักการสร้างเส้นโครงแผนที่ชนิดนี้ใช้รูปทรงกระบอกสัมผัสผิวโลกที่ระนาบศูนย์สูตรแล้วฉายแสงให้เส้นเมริเดียนและเส้นขนานปรากฏบนพื้นทรงกระบอก ลักษณะเส้นโครงแผนที่จะมีเส้นเมริเดียนเป็นเส้นตรงขนานกัน มีช่วงเท่ากันทุกเส้นส่วนเส้นขนานเป็นเส้นตรงขนานกัน ซึ่งช่วงห่างจะมากขึ้นเมื่อขึ้นไปยังขั้วโลกทั้งสอง บริเวณจุดสัมผัสจะมีความถูกต้องมากในการรักษารูปร่าง แต่มีการบิดเบี้ยวมากบริเวณใกล้ขั้วโลกจึงไม่นิยมใช้ทำแผนที่ในบริเวณพื้นที่เหนือเส้นขนาน 80 องศาเหนือ-ใต้

เส้นโครงแผนที่แบบเมอร์เคเตอร์นี้ถูกปรับใช้ในหลายๆ ลักษณะ เช่น นำเอาทรงกระบอกสัมผัสกับลูกโลกโดยให้แกนของทรงกระบอกตั้งฉากกับแกนของลูกโลก ให้ทรงกระบอกสัมผัสกับเมริเดียนเส้นใดเส้นหนึ่ง ทำให้มีเส้นเมริเดียนกลางขึ้น เมื่อคลี่ทรงกระบอกออกจะได้มาตราส่วนคงที่บริเวณใกล้เส้นเมริเดียนกลาง เส้นโครงแผนที่ชนิดนี้เรียกว่า เส้นโครงแผนที่เมอร์เคเตอร์แบบตามขวาง (Transverse mercator projection) ซึ่งนำมาใช้ทำแผนที่ภูมิประเทศของประเทศไทย

2.4 เส้นโครงแผนที่ทางคณิตศาสตร์

2.4.1 เส้นโครงแผนที่แบบมอลล์ไวด์โฮโมโลกราฟิก (Mollweide homolographic projection)

เป็นเส้นโครงแผนที่ที่นิยมใช้กันแพร่หลายแสดงส่วนต่างๆ ของโลก มีคุณสมบัติในการรักษาพื้นที่ เส้นเมริเดียนกลางและเส้นระนาบศูนย์สูตรจะเป็นเส้นตรงและตัดกันเป็นมุมฉาก ส่วนเส้นเมริเดียนอื่นๆ มีลักษณะเป็นเส้นโค้ง ส่วนเส้นขนานอื่นๆ เป็นเส้นตรง เส้นโครงแผนที่นี้คิดขึ้นโดย Karl B. Mollweide เมื่อปี ค.ศ. 1805 ข้อเสียคือมักมีการบิดเบี้ยวบริเวณเขตขั้วโลก บริเวณแถบเส้นระนาบศูนย์สูตรจะมีความถูกต้องมากกว่า เหมาะสำหรับใช้ทำแผนที่โลก

2.4.2 เส้นโครงแผนที่แบบโค้งไซน์ไซนูซอยดัลและเส้นโครงแผนที่แบบแซมซันแฟลมสตีด (Sinusoidal projection or Samson Flamsteed projection)

ลักษณะของเส้นขนานทุกเส้นเป็นเส้นตรงตัดกับเส้นเมริเดียนกลางเป็นมุมฉาก ส่วนเส้นอื่นโค้งคล้ายเส้นโครงแผนที่แบบมอลล์ไวด์ การสร้างเส้นเมริเดียนใช้ค่าส่วนโค้งของไซน์ (Sine curves) ทำให้ระยะห่างกว้างกว่าแบบมอลล์ไวด์ เหมาะสำหรับใช้ทำแผนที่บริเวณเส้นระนาบศูนย์สูตร เช่น แถบอเมริกาใต้ และแอฟริกา เป็นต้น

2.4.3 เส้นโครงแผนที่แบบโฮโมโลไซน์ (Homolosine projection)

เป็นเส้นโครงแผนที่คงพื้นที่ชนิดหนึ่งเป็นผลจากการนำเส้นโครงแผนที่แบบโฮโมโลกราฟิกมาต่อกับแบบไซนูซอยดัล ตามธรรมดาใช้เส้นโครงแผนที่แบบไซนูซอยดัลระหว่างละติจูด 40 องศาใต้ ถึง 40 องศาเหนือ เกินจากนั้นไปก็ต่อด้วยเส้นโครงแผนที่แบบโฮโมโลกราฟิก เนื่องจากเส้นโครงแผนที่ทั้ง 2 ชนิดนี้ต่อกันไม่ได้สนิท จึงปรากฏรอยหยักเล็กน้อยบนเส้นเมริเดียนตรงรอยต่อระหว่างเส้นโครงแผนที่ทั้ง 2 ชนิด

3. การเลือกใช้เส้นโครงแผนที่ตามคุณสมบัติ

การเลือกใช้เส้นโครงแผนที่จำเป็นต้องพิจารณาถึงคุณสมบัติเส้นโครงแผนที่ที่เหมาะสมต่อตำแหน่งพื้นที่ต่างๆ ของโลกที่ต้องการแสดงลักษณะบนแผนที่ เนื่องจากเส้นโครงแผนที่ที่มีรูปร่างต่างกันจะมีความเหมาะสมต่อการแสดงอาณาบริเวณพื้นที่ต่างกัน โดยคุณสมบัติ 3 ชนิดของเส้นโครงแผนที่ ได้แก่ คุณสมบัติคงพื้นที่ คุณสมบัติรักษารูปร่าง และคุณสมบัติคงทิศทาง เราสามารถเลือกใช้เส้นโครงแผนที่เพื่อจัดทำแผนที่ที่มีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

3.1 คุณสมบัติคงพื้นที่

การทำแผนที่ลักษณะนี้ อาจต้องเสียลักษณะของรูปร่างจริง อัตราส่วนของเนื้อที่บนแผนที่จะเป็นอัตราส่วนเดียวกันกับอัตราส่วนของเนื้อที่บนพื้นโลก คุณสมบัติคงพื้นที่ ได้แก่ เส้นโครงแผนที่แบบกรวย โดยเฉพาะบริเวณเส้นขนานมาตรฐานซึ่งเป็นบริเวณที่กรวยสัมผัสกับลูกโลก โดยมีความแตกต่างกันตามรูปแบบการสัมผัส เช่น แบบกรวยสัมผัส มีคุณสมบัติในการแสดงรายละเอียดของพื้นที่ที่มีรูปร่างยาวไปทางตะวันออก-ตะวันตกได้ดี เช่น แถบประเทศบริเวณคาบสมุทรสแกนดิเนเวีย แต่มีการบิดเบี้ยวมากขึ้นเมื่ออยู่ไกลจากเส้นขนานมาตรฐาน ส่วนแบบกรวยตัดแสดงรายละเอียดในส่วนของพื้นที่ถูกตัดได้ดี ซึ่งมีอยู่ 2 แหล่ง ตามเส้นขนานมาตรฐานที่ตัด 2 เส้น และแบบหลายกรวย ที่มีความถูกต้องในบริเวณเส้นเมริเดียนและเส้นระนาบศูนย์สูตรมาก แต่จะบิดเบี้ยวเมื่อห่างไกลออกไป

3.2 คุณสมบัติรักษารูปร่าง

การทำแผนที่สำหรับรักษารูปร่างนี้ ส่วนใหญ่ใช้กับบริเวณเนื้อที่เล็กๆ เพราะได้รูปร่างดีกว่าบริเวณเนื้อที่กว้างๆ ภูมิประเทศขนาดใหญ่มักมีลักษณะการบิดเบี้ยวมาก มาตราส่วนก็ไม่คงที่เหมือนกัน ส่วนทิศทางนั้นจะมีความถูกต้อง ในแผนที่ประเภทนี้เส้นขนานกับเส้นเมริเดียนตัดกันเป็นมุมฉาก เส้นโครงแผนที่ที่มีลักษณะเด่นในการรักษารูปร่าง ได้แก่ เส้นโครงแผนที่แบบทรงกระบอกและแบบกรวย ซึ่งรักษารูปร่างบริเวณพื้นที่ที่สัมผัสกับทรงกระบอกหรือแบบกรวย ตัวอย่างเช่น บริเวณเส้นระนาบศูนย์สูตรในเส้นโครงแผนที่แบบเมอร์เคเตอร์ ในแนวเส้นเมริเดียนในเส้นโครงแผนที่แบบทรานสเวอร์สเมอร์เคเตอร์ สำหรับประเทศไทยได้ใช้เส้นโครงแผนที่ชนิดนี้ในการทำแผนที่ฐานของประเทศ เนื่องจากคุณสมบัติที่รักษารูปร่างในแนวเหนือ-ใต้ นอกจากนี้ยังเป็นพื้นฐานของระบบตารางพิกัดฉากแบบยูนิเวอร์แซลทรานสเวิร์สเมอร์เคเตอร์ (Universal Transverse Mercator : UTM) นิยมใช้กันเกือบทั่วโลก เพราะนอกจากคุณสมบัติในการรักษารูปร่างแล้วยังคงทิศทางอีกด้วย

3.3 คุณสมบัติคงทิศทาง

เป็นแผนที่ซึ่งมีลักษณะคงทิศทางตรงกันกับภูมิประเทศจริง เส้นโครงแผนที่ชนิดนี้มีประโยชน์ในการใช้เป็นแผนที่เส้นทางการเดินเรือ เครื่องบิน แผนที่ดาราศาสตร์ ซึ่งแม้ว่าจะไม่มีคุณสมบัติคงพื้นที่และรักษารูปร่าง แต่ยังสามารถทราบถึงทิศทางของวัตถุได้ตรงตามจุดประสงค์ เส้นโครงแผนที่ชนิดนี้ ได้แก่ เส้นโครงแผนที่ที่ใช้ระนาบสัมผัส เส้นโครงแผนที่แบบโนมอน สเตริโอกราฟ และออร์โทกราฟ นอกจากเส้นโครงแผนที่แบบระนาบสัมผัสยังมีเส้นโครงแผนที่แบบทรงกระบอกที่มีคุณสมบัติในการคงทิศทาง ไม่ว่าจะเป็นแบบกอลล์ที่คงทิศทางในแนวเหนือ-ใต้ แบบเมอร์เคเตอร์ที่คงทิศทางตามแนวตะวันออก-ตะวันตก ที่เหมาะแก่การทำแผนที่การบินอีกชนิดหนึ่งและทรานสเวิร์สเมอร์เคเตอร์ที่คงทิศทางตามแนวเส้นเมริเดียนกลาง

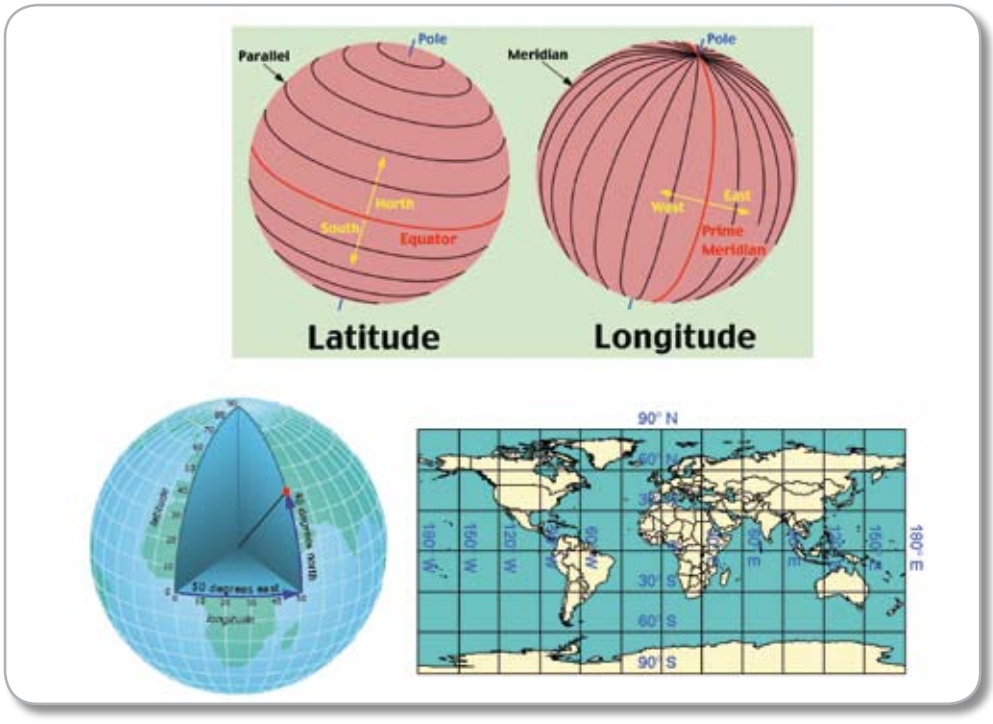
4. ระบบพิกัดในแผนที่ (Coordinate systems on maps)

เนื่องจากโลกเป็นทรงกลมเมื่อมีการกำหนดตำแหน่งต่างๆ บนโลก จึงต้องถ่ายทอดตำแหน่งจากพื้นที่จริงลงมาสู่แผนที่ด้วยระบบพิกัด โดยระบบพิกัดแผนที่ คือ การอ้างอิงตำแหน่งของโลกที่ถ่ายทอดลงมาสู่แผนที่ซึ่งมีลักษณะแบนราบ โดยกำหนดให้มีจุดกำเนิดของพิกัดอยู่บนผิวโลก และมีลักษณะเป็นระบบพิกัดฉาก อันเกิดจากการตัดกันของแกนสมมติ ตั้งแต่ 2 แกนขึ้นไป ระบบพิกัดแผนที่มีอยู่ด้วยกันสองชนิด คือ ระบบพิกัด 2 มิติ และระบบพิกัด 3 มิติ ซึ่งพิกัดเหล่านี้ได้อ้างอิงกับตำแหน่งบนโลกด้วยระบบพิกัดทางภูมิศาสตร์

4.1 ระบบพิกัดภูมิศาสตร์ (Geographic coordinate systems)

เป็นระบบพิกัดที่กำหนดตำแหน่งต่างๆ บนพื้นโลก ด้วยวิธีการอ้างอิงบอกตำแหน่งเป็นค่าระยะเชิงมุมของละติจูด (Latitude) และลองจิจูด (Longitude) ตามระยะเชิงมุมที่ห่างจากศูนย์กำเนิดของละติจูดและลองจิจูดที่กำหนดขึ้นสำหรับศูนย์กำเนิดของละติจูด (Origin of latitude) นั้น กำหนดขึ้นจากแนวระดับที่ตัดผ่านศูนย์กลางของโลกและตั้งฉากกับแกนหมุน เรียกแนวระนาบศูนย์กำเนิดนั้นว่า เส้นระนาบศูนย์สูตรซึ่งแบ่งโลกออกเป็นซีกโลกเหนือและซีกโลกใต้ ฉะนั้นค่าระยะเชิงมุมของละติจูด จะเป็นค่าเชิงมุมที่เกิดจากมุมที่ศูนย์กลางของโลก กับแนวระดับฐานกำเนิดมุมที่เส้นระนาบศูนย์สูตร โดยวัดค่าของมุมออกไปทางซีกโลกเหนือและทางซีกโลกใต้ ค่าของมุมจะสิ้นสุดที่ขั้วโลกเหนือและขั้วโลกใต้ มีค่าเชิงมุม 90 องศาพอดี ดังนั้นการใช้ค่าระยะเชิงมุมของละติจูดอ้างอิงบอกตำแหน่งต่างๆ นอกจากจะ

กำหนดเรียกค่าวัดเป็น องศา ลิปดา และพิลิปดา แล้ว จะกำกับด้วยตัวอักษรบอกทิศทางเหนือหรือใต้เสมอ เช่น ละติจูดที่ 30 องศา 20 ลิปดา 15 พิลิปดาเหนือ (ภาพที่ 2.2)



***ภาพที่** 2.2 ระบบพิกัดภูมิศาสตร์*

ส่วนศูนย์กำเนิดของลองจิจูด (Origin of longitude) นั้น กำหนดขึ้นจากแนวระนาบทางตั้งที่ผ่านแกนหมุนของโลกตรงบริเวณตำแหน่งบนพื้นโลกที่ผ่านหอสังเกตการณ์ดาราศาสตร์ เมืองกรีนิช (Greenwich) ประเทศอังกฤษ เรียกศูนย์กำเนิดนี้ว่า เส้นเมริเดียนแรก (Prime meridian) เป็นเส้นที่แบ่งโลกออกเป็นซีกโลกตะวันตกและซีกโลกตะวันออก

ค่าระยะเชิงมุมของลองจิจูดเป็นค่าที่วัดมุมออกไปทางตะวันตก และตะวันออกของเส้นเมริเดียนแรก วัดจากศูนย์กลางของโลกตามแนวระนาบที่มีเส้นเมริเดียนแรกเป็นฐานกำเนิดมุม ค่าของมุมจะสิ้นสุดที่เส้นเมริเดียนตรงข้ามกับเส้นเมริเดียนแรกซึ่งมีค่าของมุมซีกโลกละ 180 องศา การใช้ค่าอ้างอิงบอกตำแหน่งใช้เรียกกำหนดเช่นเดียวกับละติจูด แต่ต่างกันที่ต้องบอกเป็นซีกโลกตะวันตก หรือซีกโลกตะวันออกแทน เช่น ลองจิจูดที่ 90 องศา 20 ลิปดา 45 พิลิปดาตะวันตก

4.2 ระบบพิกัดยูทีเอ็ม (UTM coordinate systems)

ระบบพิกัดยูทีเอ็ม เป็นระบบที่ปรับมาจากระบบเส้นโครงแผนที่แบบทรานสเวิร์สเมอร์เคเตอร์ เพื่อเป็นการรักษารูปร่างโดยใช้ทรงกระบอกตัดลูกโลกระหว่างละติจูด 84 องศาเหนือ - 80 องศาใต้ โดยมีรัศมีทรงกระบอกสั้นกว่ารัศมีของลูกโลก ผิวทรงกระบอกจะผ่านเข้าไปตามแนวเมริเดียนของโซน 2 แนว คือ ตัดเข้ากับตัดออกเรียกลักษณะนี้ว่า เส้นตัด (Secant) ทำให้ความถูกต้องมีมากขึ้นโดยเฉพาะบริเวณสองข้างเมริเดียนกลาง

ระบบพิกัดชนิดนี้กองทัพของสหรัฐอเมริกาได้นำมาใช้ในปี ค.ศ. 1946 เพื่อให้ได้แผนที่ที่มีความละเอียดถูกต้องมากยิ่งขึ้น ระบบนี้ได้มาจากการฉายแผนที่แบบคงทิศทาง รักษารูปร่าง และมีข้อกำหนดในรายละเอียดต่างๆ

ให้ถือเป็นเกณฑ์มาตรฐานเพื่อใช้งานครอบคลุมได้ทั่วโลก กำหนดให้ใช้หน่วยวัดระยะทางเป็นเมตร ระบบพิกัดยูทีเอ็ม ปัจจุบันเป็นที่ยอมรับกันอย่างแพร่หลายทั้งในกิจการทหารและกิจการพลเรือน สำหรับประเทศไทย รัฐบาลไทยกับรัฐบาลสหรัฐอเมริกาได้ทำความตกลงทำแผนที่ภายในประเทศเมื่อปี พ.ศ. 2493 โดยได้ใช้ระบบเส้นโครงแผนที่แบบทรานสเวิร์สเมอร์เคเตอร์ ระบบพิกัดยูทีเอ็ม

พื้นที่ของโลกระหว่างละติจูด 80 องศาใต้ ถึงละติจูด 84 องศาเหนือ ถูกแบ่งออกเป็นเขต (Zone) เขตละ 6 องศา รวมเป็น 60 เขต (Zone) ตามแนวลองจิจูดโดยมีหมายเลขกำกับโซนตั้งแต่ 1 ถึง 60 ตามลำดับ โดยโซนที่ 1 อยู่ระหว่างลองจิจูด 180 องศาตะวันตก ถึง 174 องศาตะวันตก โซนที่ 2 ก็อยู่ถัดไปทางด้านตะวันออกตามลำดับจนถึงโซนที่ 60 ซึ่งอยู่ระหว่างลองจิจูด 174 องศาตะวันออก ถึง 180 องศาตะวันออก และประชิดกับโซนที่ 1 ในแต่ละโซนจะมีเมริเดียนกลาง (Central meridian) เป็นของตนเอง ตัวอย่าง เช่น โซนที่ 1 ลองจิจูด 180-174 ตะวันตก มีลองจิจูด 177 ตะวันตก เป็นเมริเดียนกลาง ซึ่งจะมีแบบนี้จนครบทุกโซน

พื้นที่ในแต่ละโซนถูกแบ่งย่อยให้เป็นขอบเขตสี่เหลี่ยม โดยแนวเส้นขนานละติจูดช่วงละ 8 องศา เริ่มจากเส้นขนานละติจูด 80 องศาใต้ แบ่งทีละ 8 องศา ผ่านเส้นระนาบศูนย์สูตรไปจนถึงเส้นขนานละติจูด 72 องศาเหนือ และจากเส้นขนานละติจูด 72-84 องศาเหนือ แบ่งออกเป็นช่องละ 12 องศา รวมทั้งหมดแบ่งได้ 20 ช่อง พื้นที่สี่เหลี่ยมเหล่านี้เรียกว่า เขตกริด (Grid zone) ซึ่งมีทั้งหมด 1,200 โซน การแบ่งวิธีนี้ทำให้เกิดสี่เหลี่ยมผืนผ้าเขตกริดขนาด 6 องศา x 8 องศา ยกเว้นช่วงระหว่างเส้นขนานละติจูด 72-84 องศาเหนือ มีขนาดเขตกริดเท่ากับ 6 องศา x 12 องศา เมื่อแบ่งเสร็จแล้วได้กำหนดอักษรโรมันกำกับไว้ตั้งแต่ C ถึง X (ยกเว้น I กับ O) โดยเริ่มกำหนดอักษร C ตั้งแต่โซนของละติจูด 80 องศาใต้

การแบ่งตารางเขตกริดเหล่านี้ จะมีเลขอักษรประจำโซนของกริด (UTM Grid zone destination) โดยการอ่านหมายเลขไปทางขวาแล้วอ่านขึ้น เช่น “47 Q” หมายถึง เลขกำกับโซนในแนวตั้งที่ 47 และอักษรกำกับโซนในแนวนอนที่ Q สำหรับอักษร A, B และ Y, Z ใช้สำหรับกำกับในยูนิเวอร์ซัลโพลาร์สเตริโอกราฟิก (Universal Polar Stereographic : UPS) บริเวณขั้วโลกทั้งสองข้าง

ตามระบบพิกัดยูทีเอ็มใช้หน่วยระยะทางเป็นเมตร โดยในแต่ละโซนเส้นเมริเดียนกลางตัดกับเส้นระนาบศูนย์สูตรเป็นมุมฉาก ณ จุดตัดนี้เรียกว่า จุดกำเนิดโซน ของระบบพิกัดยูทีเอ็ม ทิศทางที่ขนานกับแนวเมริเดียนกลาง และชี้ขึ้นไปทางเหนือ เรียกว่า ทิศเหนือกริด มีการกำหนดค่าพิกัดตะวันออกให้เส้นเมริเดียนกลางเป็น 500,000 เมตร (Easting 500,000 m.) ห่างจากจุดกำเนิดสมมติ (False origin) และกำหนดให้พิกัดเหนือสำหรับเส้นระนาบศูนย์สูตรไว้เป็น 2 กรณี สำหรับซีกโลกเหนือให้มีค่าเป็น 0 เมตร (Northing 0 m.) ห่างจากเส้นระนาบศูนย์สูตร ส่วนบริเวณใต้เส้นระนาบศูนย์สูตรมีค่าเป็น 10,000,000 เมตร (Northing 10,000,000 m.) ห่างจากจุดกำเนิดสมมติ ดังนั้นจุดศูนย์กำเนิดโซนของระบบพิกัดยูทีเอ็ม จึงมีค่าพิกัดเป็น E 500,000 m ; N 0 m สำหรับการใช้งานในซีกโลกเหนือและ E 500,000 m.; N 10,000,000 m. สำหรับซีกโลกใต้ นอกจากนี้ขอบเขตการใช้ค่าพิกัดยูทีเอ็มสามารถเหลื่อมเข้าไปในโซนข้างเคียงได้เป็นพื้นที่กว้าง 40 กิโลเมตร เพื่อความสะดวกในการใช้งานบริเวณขอบโซน

4.3 ระบบพิกัดแผนที่ GLO (General Land Office grid system)

เป็นระบบพิกัดแผนที่อีกชนิดหนึ่งที่ใช้ในการแบ่งพื้นที่สำรวจเพื่อจัดทำแผนที่ภูมิประเทศ มักใช้ในการอ่านและการทำแผนที่ธรณีวิทยา ระบบพิกัดนี้มีการแบ่งพื้นที่ออกเป็นส่วนๆ และให้ความหมายในแต่ละส่วนดังนี้

4.3.1 เส้นฐานและเส้นเขตเมือง (Base line and Township line) ในบริเวณที่สำรวจเส้นละติจูดที่ใช้ในการอ้างอิง (จะเป็นเส้นใดก็ได้) เรียกว่าเส้นฐาน เส้นขนานเหนือและใต้เส้นฐานในระยะห่างกันทุก 6 ไมล์ คือ เส้นเขตเมือง

4.3.2 เส้นเมริเดียนหลักและเส้นพิสัย (Principal meridian and Range line) เส้นลองจิจูดที่ใช้อ้างอิงในการสำรวจ เรียกว่า เส้นเมริเดียนหลัก จุดที่ตัดกับเส้นฐานเรียกว่า จุดเริ่มต้น (Initial point) เส้นที่ลากขนานกับเส้นเมริเดียนหลัก ไปทางตะวันออกและตะวันตกในระยะห่างทุก 6 ไมล์ คือ เส้นพิสัย

4.3.3 เขตเมือง คือ พื้นที่จัตุรัสกว้างด้านละ 6 ไมล์ ซึ่งล้อมรอบด้วยเส้นเขตเมือง และเส้นพิสัย พื้นที่ 36 ตารางไมล์นี้ กำหนดได้โดยใช้ตำแหน่งซึ่งห่างจากเส้นฐาน และเส้นเมริเดียนหลัก เช่น T.2N., R.1W. อยู่ในเส้นเขตเมือง ที่ 2 เหนือจาก เส้นฐาน และเส้นพิสัย ที่ 1 ตะวันตกของเส้นเมริเดียนหลัก

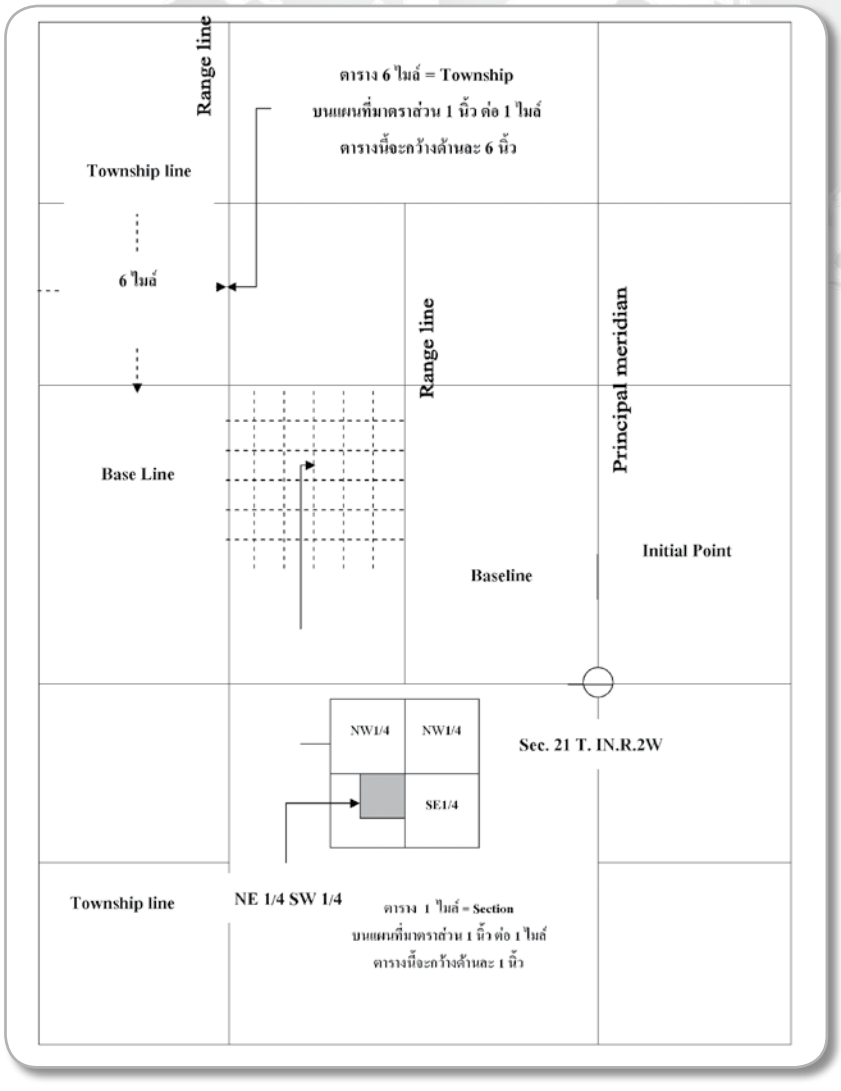
4.3.4 ส่วนย่อย (Section) พื้นที่ 36 ตารางไมล์ ของเส้นเขตเมืองแบ่งออกเป็นรูปจัตุรัส 36 รูป มีพื้นที่รูปละ 1 ตารางไมล์ พื้นที่ 1 ตารางไมล์นี้เรียกว่า ส่วนย่อย

4.3.5 แผนที่รูปสี่เหลี่ยม (Quadrangle) แผนที่ภูมิประเทศซึ่งแบ่งตามระบบนี้ โดยปกติเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า เรียกว่า แผนที่รูปสี่เหลี่ยม พื้นที่ของแผนที่รูปสี่เหลี่ยมล้อมรอบด้วยลองจิจูดทางทิศตะวันออกและตะวันตก และละติจูดทางทิศเหนือและใต้ ชื่อของแผนที่รูปสี่เหลี่ยมเรียกตามชื่อเมืองสำคัญ หรือลักษณะภูมิประเทศที่เด่นในแผนที่ฉบับนั้น แผนที่รูปสี่เหลี่ยมที่ใช้ในสหรัฐฯ แบ่งออกตามระยะห่างระหว่างลองจิจูดและละติจูดล้อมรอบอยู่เป็น 4 ชนิด คือ

แผนที่ชุด	1	องศา	(1 Degree series)	ใช้มาตราส่วน	1: 250,000
แผนที่ชุด	30	ลิปดา	(30 Minute series)	ใช้มาตราส่วน	1: 125,000
แผนที่ชุด	15	ลิปดา	(15 Minute series)	ใช้มาตราส่วน	1: 62,500
แผนที่ชุด	7.5	ลิปดา	(7.5 Minute series)	ใช้มาตราส่วน	1: 24,000

วิธีอ่านตำแหน่งสถานที่จากแผนที่ระบบ GLO

- หาตัวเลขประจำส่วนย่อย ซึ่งสถานที่นั้นตั้งอยู่ เช่น 21 อ่านว่า Sec.21
- หาตำแหน่งของเขตเมือง ในระหว่างเส้นเขตเมืองซึ่งสถานที่นั้นตั้งอยู่ห่างจากขอบซ้ายหรือขวาของแผนที่ เช่น T.1N
- หาตำแหน่งพิสัย ในระหว่างเส้นพิสัย ซึ่งสถานที่นั้นตั้งอยู่ขอบบนหรือล่างของแผนที่ เช่น R.2W
- หากต้องการระบุตำแหน่งภายในส่วนย่อยให้แบ่งพื้นที่ออกเป็นส่วนๆ ย่อยลงตามลำดับ ระบุทิศที่พื้นที่ย่อยดังกล่าววางตัวอยู่และอัตราส่วนเมื่อเทียบพื้นที่ย่อยนั้นกับพื้นที่เดิมก่อนแบ่งแล้วเติมลงข้างหน้าตำแหน่งส่วนย่อย ที่อ่านไว้แล้ว เช่น NE 1/4 SW 1/4 Sec.21 T.1N R.2W ดังแสดงในภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 *แสดงการแบ่งพื้นที่ และการอ่านตำแหน่งสถานที่จากแผนที่ระบบพิกัด GLO*

4.4 ตารางพิกัดทางทหาร (Military grid)

เนื่องจากการหาตำแหน่งโดยการใช้หน่วยเป็นองศา ลิปดา พิลิปดา มีความยุ่งยากและล่าช้า ดังนั้นจึงได้มีผู้คิดค้นหาวิธีใหม่ขึ้นโดยมุ่งหมายเพื่อใช้ในกิจการทหาร วิธีดังกล่าวนี้มีชื่อเรียกว่า *"ตารางพิกัดทางทหาร"* ซึ่งมีลักษณะเป็นเส้นโครงพิกัดฉากประกอบด้วยหมู่เส้นตรงที่ลากขนานกันและเกือบอยู่ในแนวเหนือ-ใต้ ใช้สำหรับวัดระยะที่อยู่ทางตะวันออกของศูนย์กำเนิดสมมติขึ้น และหมู่เส้นตรงที่ลากขนานกันและเกือบอยู่ในแนวตะวันออก-ตะวันตก ตัดกับหมู่เส้นตรงแรกเป็นมุมฉากใช้สำหรับวัดระยะที่อยู่เหนือศูนย์กำเนิดที่สมมติขึ้น เส้นตรงทั้ง 2 หมู่นี้ตัดกันเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสและพิมพ์ไว้บนแผนที่ เรียกว่า สี่เหลี่ยมกริด (Grid square) พร้อมทั้งมีตัวเลขแสดงระยะห่างจากศูนย์กำเนิดสมมติกำกับไว้ที่ขอบของแผนที่ ตามปกติจะพิมพ์ระยะที่อยู่ห่างจากศูนย์กำเนิดสมมติด้วยตัวเลขครบทุกตัวเพียงครั้งเดียวเท่านั้นที่มุมล่างด้านซ้ายของแผนที่ ตัวเลขที่บอกขนาดของระยะห่างจากศูนย์กำเนิดสมมติของเส้นอื่นๆ จะงดเว้นการเขียนจำนวนตัวเลข 3 หรือ 4 ตัวที่อยู่ข้างท้ายของเลขจำนวนเต็ม ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดของช่วงระยะกริด (Grid

interval) ว่ามีขนาดเท่าใด ในกรณีที่เป็นแผนที่ลำดับชุด L7017 และ L7018 จะมีขนาดของช่วงระยะกริดเท่ากับ 1,000 เมตร ฉะนั้นตัวเลขลำดับที่ 3 ที่ละเอาไว้นั้นก็คือ 000 ที่แสดงในตารางพิกัดทางทหาร

ความแตกต่างระหว่างเส้นโครงแผนที่ยูทีเอ็มและตารางพิกัดทางทหารนั้นความจริงแล้วไม่แตกต่างกัน เพียงแต่ตารางพิกัดทางทหาร หรือพิกัดกริดนั้นเป็นเครื่องมือในการนำมาใช้อ่านแผนที่ที่ใช้เส้นโครงแผนที่แบบยูทีเอ็ม ดังนั้นทั้งสองส่วนนี้จึงมีความสำคัญต่อกัน เพราะตารางพิกัดทางทหารเป็นส่วนที่สามารถอธิบายถึงตำแหน่งที่กล่าวอ้างด้วยเส้นโครงแผนที่ระบบยูทีเอ็มให้เข้าใจได้ชัดเจนยิ่งขึ้น ดังนั้นแผนที่ภูมิประเทศที่สร้างขึ้นโดยกรมแผนที่ทหาร จึงนำตารางพิกัดทางทหารเข้ามาใช้ในการระบุตำแหน่งบนแผนที่ ซึ่งเป็นระบบที่เข้าใจง่ายและก่อให้เกิดการใช้แผนที่ได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ การเขียน หรือการอ่านค่ากริดที่ใช้ในกิจการทหารมีข้อควรจำว่าให้ “**อ่านไปทางขวาแล้วอ่านขึ้นข้างบน**” (Read right up) จุดตัดที่มุมล่างด้านซ้ายเป็นค่าพิกัดกริดของตารางสี่เหลี่ยมจัตุรัสนั้นๆ

ระบบพิกัดแผนที่ จึงมีความสำคัญในการกำหนดตำแหน่งบนแผนที่ เพื่อบอกตำแหน่งของพื้นที่จริงในภูมิประเทศ ระบบพิกัดแผนที่จึงเป็นสิ่งที่ผู้ใช้แผนที่ทุกคนจะต้องทำความเข้าใจ และอ่านให้ถูกต้อง เพื่อสามารถนำแผนที่ไปใช้ปฏิบัติงานได้จริง

5. ชนิดแผนที่และการสร้างสัญลักษณ์

5.1 การจำแนกและชนิดของแผนที่ (Classification and type of maps)

แบ่งออกเป็น 3 ประเภท ดังนี้คือ

5.1.1 แผนที่ตามลักษณะของรายละเอียดที่ปรากฏ

- แผนที่ลายเส้น (Line maps) รายละเอียดที่ปรากฏบนแผนที่ลายเส้นอาจเป็น เส้นตรง เส้นโค้งหรือท่อนเส้นใดๆ ก็ได้

- แผนที่รูปถ่าย (Photomap) เป็นแผนที่ที่ทำจากรูปถ่ายทางอากาศของสภาพภูมิประเทศทั้งหมดหรือบางส่วน เพื่อนำมาใช้แทนแผนที่ หรือเพิ่มเติมแผนที่ให้สมบูรณ์ในแผนที่รูปถ่าย มีข้อมูลเกี่ยวกับเส้นกริด รายละเอียดข้อมูลชายขอบระวางแผนที่ เส้นชั้นความสูง ชื่อภูมิศาสตร์ แนวแบ่งเขต และข้อมูลอื่นๆ ที่อาจพิมพ์เพิ่มเติมได้ นอกจากนี้ลักษณะของภูมิประเทศ ทางราบ อาจพิมพ์สีต่างๆ ทับลงไปอีกก็ได้

- แผนที่ผสม (Annotated maps) รายละเอียดที่ปรากฏจะผสมระหว่างรายละเอียดที่ได้จากการถ่ายภาพภูมิประเทศกับรายละเอียดที่วาดหรือเขียนขึ้น

5.1.2 แผนที่ตามขนาดมาตราส่วน

- แบ่งในทางภูมิศาสตร์ ได้แก่ แผนที่มาตราส่วนเล็ก มีขนาดมาตราส่วนเล็กกว่า 1:1,000,000 แผนที่มาตราส่วนปานกลาง มีขนาดมาตราส่วนตั้งแต่ 1:250,000 ถึง 1:1,000,000 และแผนที่มาตราส่วนใหญ่ มีขนาดมาตราส่วนใหญ่กว่า 1:250,000

- แบ่งในกิจการทหาร ได้แก่ แผนที่มาตราส่วนเล็ก มีขนาดมาตราส่วนตั้งแต่ 1:600,000 และเล็กกว่า แผนที่มาตราส่วนปานกลาง มีขนาดมาตราส่วนใหญ่กว่า 1:600,000 แต่เล็กกว่า 1:75,000 และแผนที่มาตราส่วนใหญ่ มีขนาดมาตราส่วนตั้งแต่ 1:75,000 และใหญ่กว่า

5.1.3 แผนที่ตามลักษณะการใช้งานและชนิดของรายละเอียดที่แสดงไว้ในแผ่นแผนที่ แผนที่ทั่วไปเป็นแผนที่พื้นฐานที่ใช้กันอยู่ทั่วไป แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ

- แผนที่แบบราบ (Planimetric map) ได้แก่ แผนที่ซึ่งแสดงรายละเอียดทั่วไปของพื้นผิวพิภพในทางราบมีประโยชน์ในการแสดงตำแหน่งและการหาระยะทางในทางราบ
- แผนที่ภูมิประเทศ (Topographic map) ได้แก่ แผนที่ซึ่งแสดงรายละเอียดทั่วไปของพื้นผิวพิภพในทางราบและทางดิ่ง (ความสูงต่ำของภูมิประเทศ)

นอกจากแผนที่ 3 ประเภทข้างต้นแล้วในบางกรณีอาจพบว่ามีการจำแนกแผนที่ออกเป็นแผนที่พิเศษ (Special map) และแผนที่เฉพาะเรื่อง (Thematic map) ซึ่งส่วนมากสร้างขึ้นโดยใช้แผนที่ทั่วไปเป็นพื้นฐาน แล้วนำข้อมูลที่ต้องการแสดงวางทับ ตัวอย่างเช่น

- แผนที่โฉนดที่ดิน (Cadastral map) ใช้แสดงขอบเขตการถือครองที่ดินของผู้ถือกรรมสิทธิ์แต่ละแปลง เป็นแผนที่มาตราส่วนใหญ่มีการจัดสร้างโดยการสำรวจทางภาคพื้นดิน และใช้รูปถ่ายทางอากาศ
- แผนที่เศรษฐกิจ (Economic map) ใช้แสดงลักษณะการกระจายหรือความหนาแน่นของประชากรหรือผลผลิตต่างๆ เส้นทางการค้า การขนส่ง เขตกสิกรรม เขตอุตสาหกรรม แหล่งทรัพยากรต่างๆ เช่น แหล่งแร่ธาตุ และป่าไม้ เป็นต้น
- แผนที่สถิติ (Statistical map) ใช้ในการแสดงรายการทางสถิติ เป็นแผนที่มาตราส่วนเล็กครอบคลุมพื้นที่มาก แบ่งย่อยได้ 3 ชนิด ได้แก่ แผนที่จุด (Dot map) แสดงข้อมูลด้วยจุด แผนที่เส้นค่าเท่า (Isopleth map) เช่น แผนที่ความกดอากาศเท่า อุณหภูมิเท่า เป็นต้น แผนที่โคโรเพลท (Choropleth map) ใช้แสดงความแตกต่างของข้อมูลด้วยสี หรือความอ่อนเข้มของสี ในชุดข้อมูลลักษณะเดียวกัน

5.2 หลักการใช้แผนที่

แผนที่เกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวัน ทางด้านการปฏิบัติงาน การศึกษา การเมือง เศรษฐกิจ สังคมจิตวิทยาและอื่นๆ ทำให้มนุษย์สามารถประกอบภารกิจได้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ไม่ว่าจะเป็นงานสำรวจชั้นข้อมูลฐาน ขั้นปฏิบัติงานจริง ด้านการเรียนการสอน รัฐสามารถใช้สภาพภูมิรัฐศาสตร์ในการบริหารประเทศที่เกี่ยวกับกิจกรรมทางการเมือง การทหาร พัฒนาการทางสภาพแวดล้อม เศรษฐกิจและสังคมได้ สิ่งเหล่านี้ทำให้ทราบได้ว่าการทำความเข้าใจแผนที่นั้นมีอยู่ที่ผู้ใช้ทุกระดับ ผู้ใช้แผนที่จึงจำเป็นที่ต้องเข้าใจในส่วนประกอบ ความหมายของสัญลักษณ์ และข้อมูลที่ผู้จัดทำต้องการสื่อสารให้ผู้ใช้ทราบ หลักการใช้แผนที่ก็คือการทำความเข้าใจในส่วนประกอบต่างๆ และเนื้อหาของแผนที่ที่มีอยู่ทั้งในและนอกขอบระวาง ซึ่งผู้ใช้ควรทำความเข้าใจข้อมูลและความหมายของสัญลักษณ์ให้ถูกต้อง อันจะนำไปสู่จุดมุ่งหมายของการใช้แผนที่ตามเป้าประสงค์ของผู้จัดทำแผนที่แต่ละประเภท

5.3 คำจำกัดความ (Definition)

แผนที่ คือ การจำลองสิ่งต่างๆ ที่ปรากฏบนพื้นผิวโลกมาย่อส่วนให้เล็กลงตามมาตราส่วนที่ต้องการบนแผ่นวัสดุที่เลือกสรรแล้ว สิ่งต่างๆ ที่ปรากฏบนพื้นผิวโลกประกอบด้วยสิ่งที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ รวมทั้งสิ่งที่มนุษย์สร้างขึ้น ซึ่งแสดงให้ปรากฏด้วยสัญลักษณ์ เส้น สี และรูปทรงสัณฐานต่างๆ

5.4 องค์ประกอบของแผนที่ (Map components)

รูปแบบโดยทั่วไปของแผนที่จะเป็นรูปสี่เหลี่ยม วัสดุที่เลือกนำมาใช้พิมพ์มีหลายชนิดจะต้องมีความคงทน ส่วนใหญ่พิมพ์ลงบนกระดาษ จากขอบริมแผ่นแผนที่ทั้งสี่ด้านประกอบด้วย เส้นกั้นของระวางแผนที่ ซึ่งใช้เส้นแสดงค่าพิกัดกริด หรือเส้นโค้งแสดงค่าพิกัดภูมิศาสตร์ละติจูด และลองจิจูด จากกรณีดังกล่าวทำให้แผนที่ถูกแบ่งออกเป็นพื้นที่ภายในขอบระวางแผนที่ และพื้นที่ภายนอกขอบระวางแผนที่ องค์ประกอบภายนอกขอบระวางแผนที่ เรียกว่า ขอบระวางแผนที่ และองค์ประกอบภายในขอบระวางแผนที่ ได้แก่ สัญลักษณ์ สี ชื่อภูมิศาสตร์ และระบบอ้างอิงการกำหนดตำแหน่ง เป็นต้น

5.5 ระบบอ้างอิงการกำหนดตำแหน่ง (Position reference system)

ระบบอ้างอิงการกำหนดตำแหน่ง เป็นระบบพิกัดตามที่กล่าวมาแล้วในเรื่องระบบพิกัดในแผนที่

5.6 ข้อมูลขอบระวาง (Border data)

ข้อมูลขอบระวาง หมายถึง พื้นที่ตั้งแต่เส้นขอบระวางแผนที่ไปถึงริมแผ่นแผนที่ทั้งสี่ด้าน ปรากฏอยู่บนที่ว่างภายนอกขอบระวาง ผู้ผลิตแผนที่จะแสดงรายละเอียดต่างๆ โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อให้ผู้ใช้ทราบถึงชนิดของแผนที่สามารถใช้แผนที่ได้อย่างถูกต้องและเหมาะสมกับงาน โดยใช้แผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน 1: 50,000 จากกรมแผนที่ทหารเป็นตัวอย่าง ข้อมูลขอบระวางมีดังนี้

5.6.1 ชื่อชุดแผนที่ (Series name)

เป็นการบอกชื่อชุดของแผนที่เพื่อจำกัดลงไปว่าแผนที่ชุดนั้นๆ ครอบคลุมบริเวณใด เพราะการทำแผนที่นั้นกว้างขวางมากอาจเป็นแผนที่โลก แผนที่ทวีป แผนที่ประเทศ หรือหลายประเทศ ฉะนั้นจึงจำเป็นต้องบอกชื่อชุดของแผนที่ โดยมีมาตราส่วนประกอบด้วย เช่น “ประเทศไทย 1:50,000” ชื่อชุดนี้พิมพ์ไว้ที่มุมซ้ายส่วนบนของแผนที่

5.6.2 ชื่อระวางแผนที่ (Sheet name)

เป็นส่วนที่สำคัญที่สุดของแผนที่แต่ละระวาง เพื่อเป็นการระบุลงไปอีกทีหนึ่งว่าแผนที่ชุดนี้คลุมบริเวณใด เช่น จังหวัดเชียงใหม่ หรือจังหวัดยะลา หรือถ้าคลุมพื้นที่อำเภอก็ใช้ชื่ออำเภอ คลุมพื้นที่หมู่บ้านก็ใช้ชื่อหมู่บ้าน แล้วแต่ลักษณะเด่นของบริเวณที่แผนที่ระวางนั้นครอบคลุม ชื่อระวางแผนที่นี้พิมพ์ไว้ที่กึ่งกลางขอบบนของแผนที่ด้วยตัวอักษรตัวใหญ่ที่สุด ทั้งอักษรภาษาไทยและอักษรภาษาอังกฤษ ตัวอย่างเช่น “CHANGWAT CHIANG MAI จังหวัดเชียงใหม่” หรือ “CHANGWAT YALA จังหวัดยะลา” ชื่อระวางแผนที่นี้จะไม่ซ้ำกัน ซึ่งแผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน 1:50,000 ทั่วประเทศมีทั้งหมดจำนวน 830 ระวางและมีชื่อระวางแผนที่จำนวน 830 ชื่อ

5.6.3 การจัดพิมพ์ (Edition note)

การจัดพิมพ์ทำให้ทราบว่าพิมพ์ครั้งที่เท่าใด โดยหน่วยพิมพ์ใด ตัวอย่างเช่น “พิมพ์ครั้งที่ 1 กรมแผนที่ทหาร Edition 1-RTSD” โดยพิมพ์ไว้ที่ขอบขวาบนและซ้ายล่างของแผนที่ซึ่งหมายความว่า พิมพ์ครั้งที่ 1 โดยกรมแผนที่ทหาร (Royal Thai Survey Department)

5.6.4 หมายเลขระวาง (Sheet number)

เป็นหมายเลขที่กำหนดขึ้น โดยมีการกำหนดแน่นอนตามระบบของอเมริกัน เพื่อให้ทราบว่าแผนที่ระวางนั้นๆ เป็นของส่วนใดในภูมิประเทศจริง ตามที่แสดงไว้ในแผนที่ดัชนี (Index chart) เพราะแต่ละระวางมีหมายเลขระวางไม่ซ้ำกัน ประกอบด้วยตัวเลขอารบิค 4 ตัว และเลขโรมัน (I II III หรือ IV) ตัวใดตัวหนึ่ง เช่น แผนที่มาตราส่วน 1:50,000 ได้ 4 ระวาง แสดงดังภาพที่ 2.4

4845 IV	4845 I
4845 III	4845 II

ภาพที่ 2.4 *หมายเลขระวาง*

5.6.5 หมายเลขประจำชุด (Series number)

บอกให้ทราบว่าแผนที่อยู่ในชุดใด เช่น ประเทศไทย มาตราส่วน 1:50,000 มีหมายเลขประจำชุดต่างกัน เช่น L708 ซึ่งเป็นระวางแผนที่ขนาดระวาง 10 ลิปดา x 15 ลิปดา หมายเลขชุด L7017 และ L7018 เป็นแผนที่ขนาดระวาง 15 ลิปดา x 15 ลิปดา หมายเลขประจำชุดนี้ เป็นการกำหนดหมายเลขชุดตามมาตรฐานสากลของประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งถือตามข้อตกลงขององค์การสนธิสัญญาแอตแลนติคเหนือหรือ NATO (North Atlantic Treaty Organization) เช่น L708 และ L7017 มีองค์ประกอบ 4 ประการ คือ

- ตัวอักษร L หมายถึง ภูมิภาคหนึ่งของทวีปเอเชีย ซึ่งตรงกับของประเทศไทย
- เลข 7 หมายถึง กลุ่มของมาตราส่วนที่กำหนดไว้แน่นอน คือ ใช้กับแผนที่มาตราส่วนระหว่างมาตราส่วน 1:70,000 ถึง 1:35,000
- เลข 0 หมายถึง ตัวเลขแสดงส่วนย่อยของภูมิภาค เช่น ภูมิภาค 0 มีตัวเลขแสดงส่วนย่อยของไทยกำหนดขอบเขตไว้แน่นอนเป็นเลข 0
- เลข 8 หรือเลข 17 หรือเลข 18 เป็นตัวเลขที่แสดงว่าแผนที่ชุดนั้นจัดทำเป็นครั้งที่เท่าใดในภูมิภาค เช่น ครั้งที่ 8 ครั้งที่ 17 หรือครั้งที่ 18

ฉะนั้นแผนที่ประเทศไทยจึงมีหมายเลขประจำชุดเป็น L708 หรือ L7017 ซึ่งเห็นได้ว่าองค์ประกอบที่ 1 2 และ 3 เหมือนกันเพราะมาตราส่วนเดียวกัน และภูมิภาคเดียวกัน ส่วนองค์ประกอบที่ 4 เปลี่ยนไปตามจำนวนครั้งที่จัดทำแผนที่ และหมายเลขประจำชุดนี้จะปรากฏอยู่มุมขวาบนของแผนที่

5.6.6 สารบัญระวางติดต่อ (Index to adjoining sheet)

เป็นสารบัญที่แสดงให้ทราบว่าแผนที่ระวางใดเรียงรายอยู่โดยรอบแผนที่ระวางนั้น เพื่อให้สะดวกในการหาแผนที่ระวางถัดไปหรือข้างเคียง ตัวอย่างเช่น แผนที่ระวาง 4746 I มีระวางต่างๆ อยู่โดยรอบ สารบัญระวางติดต่อนี้แสดงไว้ที่มุมล่างขวาของแผนที่ ดังภาพที่ 2.5

4747 III	4747 II	4847 III
4746 IV	4746 I	4846 IV
4746 III	4746 II	4846 III

ภาพที่ 2.5 *สารบัญระวางติดต่อ*

5.6.7 สารบัญแสดงเขตการปกครอง (Index to boundaries)

แสดงไว้ตรงมุมล่างด้านขวาเป็นกรอบสี่เหลี่ยมเล็กๆ แทนแผนที่ระวางนั้น ภายในมีเส้นแสดงอาณาเขตการปกครอง เพื่อให้ง่ายต่อการที่ดูว่าแผนที่ระวางนั้นอยู่ในเขตการปกครองของอำเภอหรือจังหวัดใด โดยมีข้อความอธิบายไว้ใต้รูปสี่เหลี่ยมดังภาพที่ 2.6

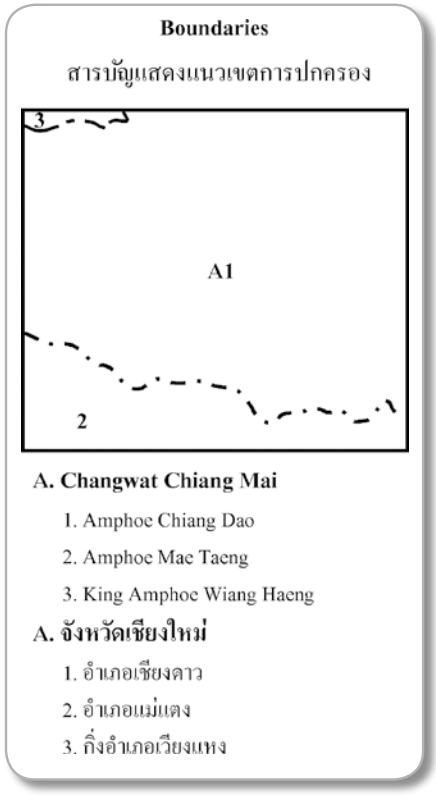
5.6.8 พื้นหลักฐานและระดับพื้นหลักฐาน (Datum and Datum level)

บอกให้ทราบว่าระดับความสูงของตำบล ณ จุดต่างๆ เช่น ระดับพื้นหลักฐานทางดิ่งยึดถือระดับน้ำทะเลปานกลางที่เกาะหลัก จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ส่วนพื้นหลักฐานทางราบยึดถือตามหลักฐานของประเทศอินเดีย (Indian datum 1975) สำหรับแผนที่ชุด L7017 ส่วนแผนที่ชุด L7018 ใช้อ้างอิงตามหลักฐาน WGS1984 (World Geodetic System) ของประเทศสหรัฐอเมริกา

5.6.9 แผนภาพเดคลิเนชัน (Declination diagram)

แสดงแนวทิศเหนือหลัก 3 ทิศ คือ ทิศเหนือจริง ทิศเหนือกริด และทิศเหนือแม่เหล็ก

- ทิศเหนือจริง (True north) แนวทิศชี้ตรงไปที่ขั้วโลกเหนือ
- ทิศเหนือกริด (Grid north) แนวทิศชี้ขนานกับแนวเส้นกริดตั้ง
- ทิศเหนือแม่เหล็ก (Magnetic north) ชี้ไปยังขั้วเหนือสนามแม่เหล็กโลก ซึ่งจะบ่ายเบนไปแต่ละปีไม่ซ้ำกัน ฉะนั้นในแผนภาพเดคลิเนชัน บอกค่าความบ่ายเบนของทิศเหนือแม่เหล็กประจำปีเอาไว้ ดังภาพที่ 2.7



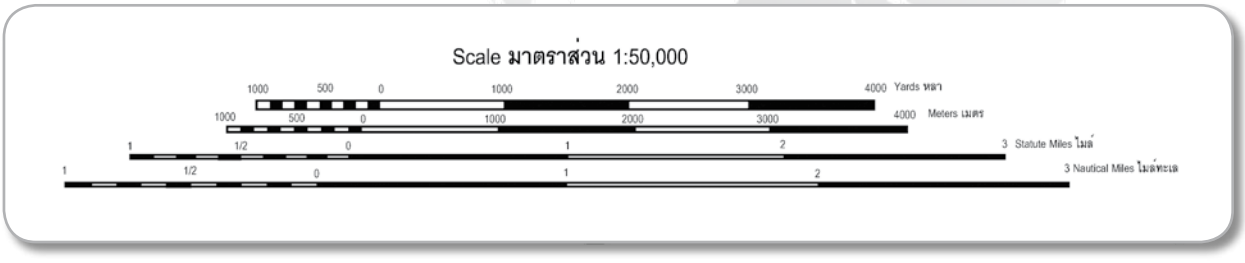
***ภาพที่** 2.6 สารบัญแนวแบ่งเขตการปกครอง*

***ภาพที่** 2.7 แผนภาพเดคลิเนชัน*

5.6.10 มาตราส่วน (Scale)

มาตราส่วนแผนที่ เป็นการแสดงอัตราส่วนเปรียบเทียบระหว่างระยะทางที่วัดได้บนแผนที่ 1 หน่วยกับระยะทางที่วัดได้จริงบนภูมิประเทศ วิธีการแสดงมาตราส่วนแผนที่ทำได้ 3 วิธี คือ มาตราส่วนเส้นบรรทัดเรียกอีกชื่อว่ามาตราส่วนรูปภาพ มาตราส่วนเศษส่วน เช่น 1:50,000 มาตราส่วนคำพูด เช่น 1 เซนติเมตรในแผนที่ เท่ากับ 1/2 กิโลเมตรในระยะทางบนพื้นที่จริง มาตราส่วนเส้น (Graphic scale) หรือมาตราส่วนรูปแท่ง (Bar scale) มีลักษณะเป็นเส้นตรงกำกับด้วยค่าเท่ากับตามระยะบนพื้นผิวโลก เช่น ถ้ามาตราส่วนสัดส่วน 1: 50,000 มีความหมายตรงกับมาตราส่วนเส้นหรือมาตราส่วนรูปแท่ง ดังนี้ 1 ช่อง กว้าง 2 เซนติเมตร และมาตราส่วนสัดส่วน (Representative fraction) การบอกสัดส่วนเป็นตัวเลข เช่น 1: 50,000 หมายถึง ระยะ 1 ส่วนบนแผนที่ เท่ากับ 50,000 ส่วนบนพื้นผิวโลก

มาตราส่วนแสดงไว้ทั้งมาตราส่วนเศษส่วนและมาตราส่วนเส้นบรรทัดเพื่อประโยชน์ในการวัดระยะทางและพื้นที่ในแผนที่ มาตราส่วนบรรทัดจะแสดงไว้ทั้งระบบอังกฤษและระบบเมตริก ซึ่งจะจัดทำไว้ในหน่วยเมตร หลา ไมล์ และไมล์ทะเล ดังภาพที่ 2.8



ภาพที่ 2.8 *มาตราส่วน*

5.6.11 ระดับสูง (Elevation)

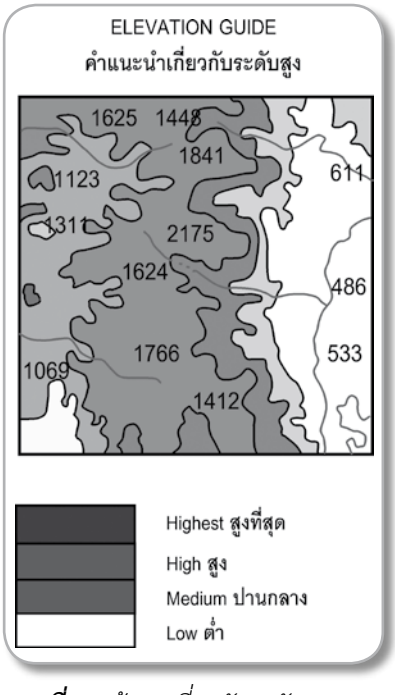
ตามปกติแผนที่มาตราส่วน 1:50,000 แสดงช่วงห่างของความสูงของเส้นชั้น 20 เมตร และมีเส้นชั้นแทรกชั้นละ 10 เมตร หลักฐานทางดิ่งคือระดับทะเลปานกลางเป็นหลัก

5.6.12 เส้นโครงแผนที่ (Projection)

บอกให้ทราบว่าแผนที่ชุดนี้ใช้เส้นโครงแผนที่ชนิดใด เช่น แผนที่ชุดนี้ใช้เส้นโครงแผนที่ชนิดทรานสเวอร์สเมอร์เคเตอร์ ซึ่งอยู่ในบริเวณละติจูด 84 องศาเหนือ ถึงละติจูด 80 องศาใต้

5.6.13 คำแนะนำระดับสูง (Elevation Guide)

บอกให้ทราบว่าแผนที่ระวางนั้นมีลักษณะความสูง หรือต่ำอย่างไร และแสดงไว้ในรูปสี่เหลี่ยมทางมุมขวาล่างของแผนที่ ซึ่งมีชั้นแรเงาให้เห็นความแตกต่างเกี่ยวกับระดับสูงอย่างง่ายๆ ดังภาพที่ 2.9



ภาพที่ 2.9 *ข้อมูลเกี่ยวกับระดับความสูง*

5.6.14 ละติจูดและลองจิจูด (Latitude and Longitude)

เพื่อให้ทราบว่าแผนที่ระวางนั้นอยู่ระหว่างละติจูดและลองจิจูดใด มีตัวเลขบอกค่าละติจูดและลองจิจูดไว้ที่มุมแผนที่ทั้งสี่มุมในหน่วยองศา ลิปดา ตัวอย่างเช่น แผนที่จังหวัดเชียงใหม่ ลำดับชุด L7017 หมายเลขระวาง 4746 I พิกัดละติจูดและลองจิจูด ซึ่งอ่านได้ว่าอยู่ระหว่างละติจูด 19 องศา 15 ลิปดา ถึง 19 องศา 30 ลิปดา และลองจิจูด 98 องศา 45 ลิปดา ถึง 99 องศา 00 ลิปดา

5.6.15 กริด (Grid)

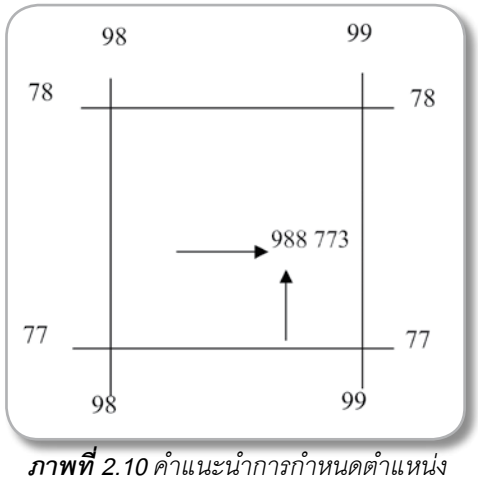
ในแผนที่มาตราส่วน 1:50,000 มีเส้นกริดลากตัดกันเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสเล็กๆ เส้นกริดแต่ละเส้นมีระยะห่างเท่าๆ กัน เช่น ห่างกันทุก 1,000 เมตร และมีตัวเลขกำกับเส้นกริดไว้บริเวณขอบของแผนที่ เส้นกริดเหล่านี้มีประโยชน์ในการบอกที่ตั้งของจุดใดจุดหนึ่งในแผนที่อย่างละเอียด

5.6.16 คำแนะนำผู้ใช้แผนที่ (User's guide)

บอกไว้ที่มุมขวาตอนล่างสุดของแผนที่ว่า หากผู้ใช้แผนที่พบข้อมูลบกพร่องหรือความคลาดเคลื่อนใดๆ ในแผนที่ขอให้บันทึกแล้วส่งไปยัง กรมแผนที่ทหาร กรุงเทพฯ 10200 แล้วแผนที่นี้จะส่งกลับคืนมาให้ท่านใหม่

5.6.17 คำแนะนำการกำหนดตำแหน่งโดยใช้ค่ากริด (Grid reference box)

ทำให้ทราบพิกัดของตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งโดยละเอียด ตัวอย่างวิธีอ่านพิกัดให้ละเอียดถึง 100 เมตร ได้อธิบายไว้ในกรอบสี่เหลี่ยมตอนล่าง โดยอ่านตัวเลขใหญ่ประจำเส้นกริดดิ่งทางซ้ายของจุด และประมาณระยะ (100 เมตร) จากเส้นกริดถึงจุดเป็นส่วนสิบ ตัวอย่างคือ 988 หมายความว่าเส้นกริดตั้งซ้ายสุด คือ 98 นับไปทางขวาถึงเส้นกริดตั้ง 99 แบ่งออกเป็นช่องเล็กๆ ให้ได้ 10 ช่องเท่าๆ กัน นับไปถึงจุดตำแหน่งที่ต้องการอ่านตรงกับช่องที่ 8 พอดี ก็อ่านค่าได้ 8 และ 773 หมายความว่าเส้นกริดนอนใต้จุดคือ 77 นับขึ้นไปถึงเส้นกริดนอน 78 แบ่งออกเป็นช่องเล็กๆ ได้ 10 ช่องเท่าๆ กัน นับไปถึงจุดตำแหน่งที่ต้องการอ่านตรงกับช่องที่ 3 พอดีก็อ่านค่าได้ 3 เพราะฉะนั้นถ้าจะอ่านพิกัดจากจัตุรัส 1,000 เมตร ดังรูปข้างล่างนี้ให้ละเอียดถึง 100 เมตรจะได้ค่า ดังนี้ 988 773 (ภาพที่ 2.10)



ภาพที่ 2.10 *คำแนะนำการกำหนดตำแหน่งโดยใช้ค่ากริด*

5.7 การสร้างสัญลักษณ์แผนที่

สัญลักษณ์ (Symbol) ได้แก่เครื่องหมายหรือสิ่งที่คิดขึ้นใช้แทนรายละเอียดที่ปรากฏอยู่บนพื้นภูมิประเทศ หรือใช้แทนข้อมูลอื่นใดที่ประสงค์จะแสดงไว้บนแผ่นแผนที่นั้น ในการสร้างสัญลักษณ์แผนที่มีกฎเกณฑ์ว่า สัญลักษณ์ที่ใช้ต้องเป็นแบบเรียบๆ ชัดเจน ขนาดเหมาะสมกับมาตราส่วนของแผนที่ เขียนได้ง่าย คนทั่วไปมองดูแล้วเข้าใจได้ทันทีโดยไม่ต้องอาศัยคำอธิบายสัญลักษณ์ การสร้างสัญลักษณ์ในแผนที่ทดแทนสิ่งต่างๆ 3 ลักษณะด้วยกันคือ

5.7.1 ลักษณะทางกายภาพ (Physical features)

คือ สัญลักษณ์ที่ใช้แทนลักษณะรายละเอียดที่ขึ้นตามธรรมชาติโดยมิได้เกิดจากมนุษย์ ได้แก่

- ประเภทใช้แทนแหล่งน้ำ เช่น แม่น้ำลำคลอง หนองบึง บ่อสระ และที่ลุ่มต่างๆ
- ประเภทที่ใช้แสดงลักษณะความสูงต่ำของผิวพื้นภูมิประเทศ เช่น เนินเขา ภูเขา และที่ต่ำ
- ประเภทที่ใช้แทนพืชพันธุ์ไม้ต่างๆ เช่น ลักษณะป่าชนิดต่างๆ
- ประเภทที่ใช้แทนชายฝั่ง เช่น หน้าผา อ่าว หาดทราย เกาะ และปากน้ำ

5.7.2 ลักษณะทางวัฒนธรรม (Cultural features)

คือ สัญลักษณ์ที่ใช้แทนรายละเอียดที่ปรากฏในภูมิประเทศที่มนุษย์ได้สร้างสรรค์ขึ้นมา ได้แก่

- การใช้ที่ดิน เช่น พื้นที่การเกษตร เหมืองแร่ และพื้นที่ตั้งโรงงานอุตสาหกรรม
- การคมนาคม เช่น ทางรถยนต์ ทางรถไฟ ทางคนเดิน ทางเกวียน และเส้นทางการบิน
- ลักษณะการตั้งถิ่นฐาน บ้าน หมู่บ้าน ตัวเมือง ตลอดจนสิ่งก่อสร้างอื่นๆ เช่น โรงเรียน และวัด

5.7.3 ลักษณะข้อมูลพิเศษ (Special features)

เป็นสัญลักษณ์ที่คิดขึ้นเพื่อใช้แสดงแทนข้อมูลที่ผู้ผลิตต้องการแสดงเป็นพิเศษ สัญลักษณ์ประเภทนี้ใช้กับแผนที่เฉพาะเรื่อง หรือแผนที่ข้อมูลพิเศษ เช่น แผนที่ดิน แผนที่ป่าไม้ และแผนที่ธรณีวิทยา เป็นต้น

5.7.4 มาตราส่วนแผนที่ (Map scale)

- ความหมายของมาตราส่วน

ในงานทางด้านแผนที่ คำว่า มาตราส่วน เป็นชื่อที่ใช้เรียกกันโดยทั่วไปของคำว่ามาตราส่วนแผนที่ ซึ่งหมายถึง อัตราส่วนเปรียบเทียบระหว่างระยะทางระหว่างจุด 2 จุดใดๆ ในแผนที่กับระยะทางระหว่างจุด 2 จุดนั้นในภูมิประเทศจริงโดยถือว่าระยะทางในแผนที่เป็น 1 หน่วย

$$\textbf{มาตราส่วนแผนที่} = \frac{\text{ระยะทางระหว่างจุด 2 จุด ในแผนที่ (Map Distance: MD)}}{\text{ระยะทางระหว่างจุด 2 จุดนั้นที่ปรากฏในภูมิประเทศจริง (Ground Distance: GD)}}$$

ตัวอย่าง ในกรณีของแผนที่ภูมิประเทศระบุขนาดมาตราส่วนแผนที่เป็น 1:50,000 หน่วยบนพื้นภูมิประเทศจริง ถ้าหากการวัดระยะในแผนที่มีหน่วยการวัดเป็นเซนติเมตร ระยะทางซึ่งยาว 1 เซนติเมตรในแผนที่จะแทนขนาดความยาว 50,000 เซนติเมตร (หรือ 500 เมตร) ในพื้นที่ภูมิประเทศจริง

- ประเภทและชนิดของมาตราส่วนแผนที่

ประเภทของมาตราส่วนแผนที่ มาตราส่วนแผนที่ที่ใช้ในงานแผนที่โดยทั่วไปมี 2 ประเภท

1) มาตราส่วนตามแนวดิ่ง (Vertical scale)

$$\textbf{มาตราส่วนตามแนวดิ่ง} = \frac{\text{ความสูงหรือความต่างระดับบนแผนที่หรือแผนผัง}}{\text{ความสูงหรือความต่างระดับบนภูมิประเทศจริง}}$$

ตัวอย่าง การใช้มาตราส่วนตามแนวดิ่ง ในงานการเขียนภาพหน้าตัดขวาง (Cross section) หรือภาพตัดด้านข้าง (Profile) ของภูมิประเทศ

2) มาตราส่วนตามแนวราบ (Horizontal scale)

$$\textbf{มาตราส่วนตามแนวราบ} = \frac{\text{ระยะทางระหว่างจุด 2 จุด ตามแนวราบในแผนที่}}{\text{ระยะทางระหว่างจุด 2 จุด ตามแนวราบในภูมิประเทศจริง}}$$

ตัวอย่าง การกำหนดมาตราส่วนตามแนวราบ ในแผนที่แสดงรายละเอียดเกี่ยวกับตำแหน่งของสิ่งต่างๆ ตามแนวราบ หรือในแผนที่แสดงลักษณะภูมิประเทศ

5.7.5 การคำนวณหามาตราส่วน (Scale calculation)

โดยปกติมาตราส่วนแผนที่มีกำหนดไว้บนแผนที่เพื่อสะดวกต่อการนำไปใช้งาน แต่ในบางครั้งแผนที่ที่ใช้งาน หากไม่มีขนาดของมาตราส่วนกำหนดไว้ ผู้ใช้แผนที่จำเป็นต้องคำนวณหามาตราส่วน ซึ่งต้องอาศัยวิธีการคำนวณอย่างง่ายๆ ดังนี้

- วิธีการหามาตราส่วนแผนที่ด้วยการเปรียบเทียบระยะในแผนที่และระยะในภูมิประเทศ

การคำนวณหามาตราส่วนแผนที่ด้วยวิธีนี้ เริ่มจากการที่ต้องทราบว่าแผนที่ที่ต้องการหามาตราส่วนนั้นครอบคลุมพื้นที่บนภูมิประเทศบริเวณใดบ้าง จากนั้นสังเกตหาจุดที่สามารถมองเห็นได้ชัดเจน ทั้งในแผนที่และในภูมิประเทศจริง ทำการวัดระยะระหว่างจุดดังกล่าวแล้วนำค่ามาเปรียบเทียบกันโดยใช้สมการดังต่อไปนี้

$$\textbf{มาตราส่วนแผนที่} = \frac{\text{ระยะทางระหว่างจุด 2 จุด บนแผนที่}}{\text{ระยะทางระหว่างจุด 2 จุดนั้น ในภูมิประเทศ}}$$

ข้อควรระวัง การเปรียบเทียบระยะทางในแผนที่และระยะทางในภูมิประเทศจริงนั้น ต้องใช้ระยะทางที่วัดได้ในหน่วยมาตราเดียวกัน

ตัวอย่าง สมมติว่าวัดระยะทางในแผนที่ของจุด 2 จุดได้เท่ากับ 10 เซนติเมตร และวัดระยะระหว่างจุด 2 จุดนั้น ในภูมิประเทศได้เท่ากับ 1,000 เมตร

คำนวณค่ามาตราส่วนแผนที่ (ชนิดมาตราส่วนแบบเศษส่วน)

มาตราส่วนแผนที่ = 10 (เซนติเมตร) / 1,000 (เมตร)

= 10 (เซนติเมตร) / 1,000 x 100 (เซนติเมตร)

= 1:10,000

หรือ ค่ามาตราส่วนแผนที่ชนิดคำพูด หาได้จาก

ระยะทางในแผนที่ 10 เซนติเมตรมีค่าเท่ากับระยะทางในภูมิประเทศจริง = 1,000 เมตร

ระยะทางในแผนที่ 1 เซนติเมตร มีค่าเท่ากับระยะทางในภูมิประเทศจริง = 1000/ 10

= 100 เมตร

หรือเขียนได้เป็น 1 เซนติเมตร ต่อ 100 เมตร

- วิธีการหามาตราส่วนแผนที่ด้วยการเปรียบเทียบจากแผนที่ที่ทราบมาตราส่วนอยู่ก่อนแล้ว

วิธีการนี้หมายความว่า แผนที่ที่ต้องการนำไปใช้ปฏิบัติงาน ไม่มีมาตราส่วนกำหนดไว้ การคำนวณหามาตราส่วนแผนที่กระทำได้โดยการเปรียบเทียบจากมาตราส่วนของแผนที่แผ่นที่ทั้งสองซึ่งครอบคลุมเนื้อที่บริเวณเดียวกันและทราบมาตราส่วน

วิธีทำ

1) เลือกจุด 2 จุดที่สามารถมองเห็นได้ชัดเจน ในแผนที่ทั้งสอง

2) วัดระยะห่างระหว่างจุด 2 จุดนั้นในแผนที่ทั้งสอง

3) นำระยะทางที่วัดได้ในแผนที่ ฉบับที่ทราบมาตราส่วนไปคำนวณหาระยะทางในภูมิประเทศ

4) นำระยะทางที่วัดได้ในแผนที่ฉบับที่ไม่ทราบมาตราส่วน ไปเปรียบเทียบกับระยะทางในภูมิประเทศที่คำนวณได้จากข้อ 3 เพื่อทราบมาตราส่วนตามที่ต้องการ

6. การอ่านแผนที่

6.1 เส้นชั้นความสูง (Contour line)

เส้นชั้นความสูง คือ เส้นสมมติที่ลากไปตามพื้นภูมิประเทศบนแผนที่ภูมิประเทศ ผ่านจุดที่มีระดับความสูงเดียวกัน ในแผนที่ภูมิประเทศ เส้นชั้นความสูงแสดงด้วยสีน้ำตาล และมีสีน้ำตาลเข้มในกรณีที่เป็นเส้นชั้นความสูงหลัก (Index contour) เส้นชั้นความสูงมีคุณสมบัติดังนี้

- เส้นชั้นความสูงทุกเส้นแสดงค่าระดับความสูงในแนวตั้ง
- เส้นชั้นความสูงทุกเส้นอยู่ในพื้นแนวนอนและระนาบเดียวกัน
- เส้นชั้นความสูงแสดงรูปแบบ และลักษณะภูมิประเทศ
- เส้นชั้นความสูงเป็นเส้นปิด คือ บรรจบตัวเองเป็นวงๆ ไป แต่ในแผนที่ระวางเดียวอาจไม่ปรากฏเส้นวงปิดที่สมบูรณ์ได้เมื่อนำแผนที่ระวางติดต่อมาต่อเข้าจึงบรรจบเป็นวงปิด
- เส้นชั้นความสูงแต่ละช่วงเส้นอาจจะมีระยะห่างต่างๆ กันไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะภูมิประเทศ ถ้าหากพื้นที่ลาดชันมากเส้นชั้นความสูงชิดกันมากกว่าภูมิประเทศที่มีความลาดชันน้อย
- เส้นชั้นความสูงโดยทั่วไปไม่ทับกัน ยกเว้นบริเวณที่เป็นหน้าผา
- เส้นชั้นความสูงมักหันด้านหยักแหลมไปยังด้านต้นน้ำ
- ทุกๆ ตำแหน่งบนเส้นชั้นความสูงเดียวกันมีค่าความสูงเท่ากัน

เนื่องจากภูมิประเทศบนพื้นผิวโลกมีลักษณะแตกต่างกันหลายแบบ บริเวณซึ่งเป็นที่สูงชันมีเส้นชั้นความสูงจำนวนมากอยู่ชิดกัน ทำให้ดูสับสนจำเป็นต้องหาวิธีให้ดูง่ายขึ้น โดยการกำหนดเส้นชั้นความสูงหลักขึ้น ส่วนบริเวณซึ่งมีความลาดชันน้อยมีเส้นชั้นความสูงห่างกันมาก พื้นที่บางแห่งเป็นแอ่งจำเป็นต้องมีเส้นชั้นความสูงซึ่งมีลักษณะพิเศษออกไปเพื่อที่จะได้สังเกตเห็นได้ง่าย เป็นต้น ด้วยเหตุนี้เส้นชั้นความสูงจึงมีหลายชนิด นักภูมิศาสตร์ได้กำหนดลักษณะและสัญลักษณ์ของเส้นชั้นความสูงออกเป็น 5 แบบ เพื่อให้ผู้ใช้แผนที่สามารถพิจารณาลักษณะภูมิประเทศได้โดยสะดวกและรวดเร็วดังต่อไปนี้ คือ

- เส้นชั้นความสูงหลัก (Index contour) เส้นชั้นความสูงชนิดนี้เป็นเส้นชั้นความสูงหลักบอกค่าระดับความสูงด้วยเลขลงตัว เช่น 100 200 และ 300 เป็นต้น และมีความหนาทึบใหญ่กว่าเส้นชั้นความสูงอื่นๆ จึงสังเกตได้ง่าย และปกติมีตัวเลขกำกับไว้

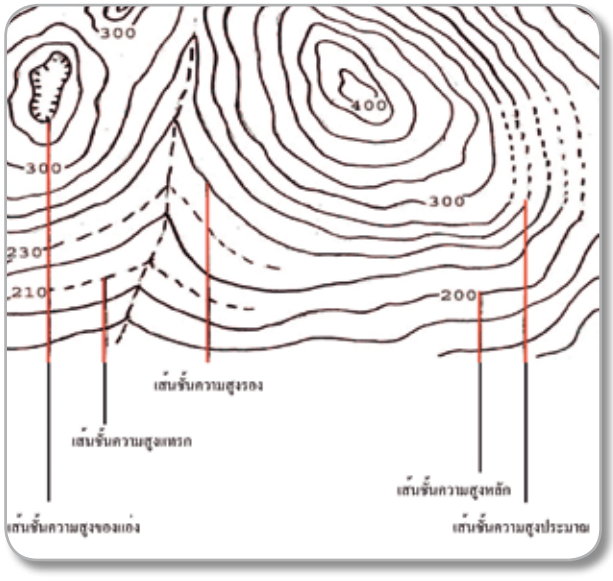
- เส้นชั้นความสูงรอง (Intermediate contour) เส้นชั้นความสูงชนิดนี้เป็นเส้นชั้นความสูงที่บอกค่าระดับความสูง ซึ่งอยู่ระหว่างเส้นชั้นความสูงหลัก ในแผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน 1:50,000 กำหนดเส้นชั้นความสูงช่วงละ 20 เมตร ดังนั้นความสูงของเส้นชั้นความสูงรองจึงมีค่าเรียงลำดับ เช่น 20 40 60 80 120 140 160 และ 180 เป็นต้น และไม่มีตัวเลขความสูงกำกับไว้

- เส้นชั้นความสูงแทรก (Supplemental contour) เส้นชั้นความสูงชนิดนี้เป็นเส้นชั้นความสูงแทรกอยู่ระหว่างเส้นชั้นความสูงรอง เพื่อแสดงความสูงเสริมเพราะบริเวณนั้นมีเส้นชั้นความสูงรองห่างกันมาก เส้นชั้นความสูงแทรกแสดงด้วยเส้นประ ในแผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน 1:50,000 กำหนดเส้นชั้นความสูงแทรกช่วงละ 10 เมตร ดังนั้นแต่ละเส้นชั้นความสูงจึงกำหนดตัวเลขของระดับความสูงไว้ที่เส้นดังตัวอย่างต่อไปนี้ 30 50 70 90 110 130 และ 150 เป็นต้น

- เส้นชั้นความสูงประมาณ (Approximate contour) เส้นชั้นความสูงชนิดนี้เป็นเส้นชั้นความสูงที่กำหนดขึ้นเองโดยประมาณ ทั้งนี้เพราะผู้ทำแผนที่ไม่ได้ข้อมูลระดับความสูงที่แท้จริงบริเวณดังกล่าว อาจเป็นเพราะ

รูปถ่ายทางอากาศซึ่งนำมาใช้เขียนแปลเป็นแผนที่ภูมิประเทศนั้นถูกเมฆบัง ดังนั้นในบริเวณดังกล่าวจึงใช้เส้นประเพื่อประมาณความสูงต่อจากเส้นชั้นความสูงหลัก หรือเส้นชั้นความสูงรอง

- เส้นชั้นความสูงของแอ่ง (Depression contour) เส้นชั้นความสูงชนิดนี้เป็นเส้นชั้นความสูงซึ่งต่ำกว่าบริเวณรอบๆ ของเส้นชั้นความสูงอื่นๆ เส้นชั้นความสูงชนิดนี้มีลักษณะพิเศษตรงที่มีขีดสั้นๆ ในแนวที่ตั้งได้ฉากกับเส้นชั้นความสูง ปลายของขีดหันไปทางด้านลาดลง



***ภาพที่** 2.11 ชนิดของเส้นชั้นความสูง*

6.2 ลักษณะภูมิประเทศ

ลักษณะของภูมิประเทศที่ปรากฏอยู่บนแผนที่ ได้แสดงลักษณะโดยเส้นชั้นความสูงรูปแบบต่างๆ ดังต่อไปนี้

6.2.1 ภูเขาและยอดเขา (Mountain/ Hill and Peak) บริเวณที่เส้นชั้นความสูงล้อมเป็นวงซ้อนกันหลายวงๆ คือภูมิประเทศที่เป็นภูเขา พื้นที่ซึ่งอยู่ตรงกลางของเส้นชั้นความสูงรอบในสุดมีระดับความสูงสูงสุดคือ ยอดเขาที่สำคัญมักบอกระดับความสูงของจุดสูงสุดของยอดเขาไว้ด้วย

6.2.2 สันเขา (Ridge) คือ แนวต่อเนื่องของจุดสูงสุดของภูเขาที่ติดต่อกัน หาได้ในแผนที่โดยการลากเส้นไปตามแนวที่มีระดับความสูงมากที่สุด ซึ่งสังเกตได้จากเส้นชั้นความสูง (ภาพที่ 2.12)

6.2.3 จมูกเขา (Spur) คือ ส่วนที่แยกออกจากแนวสันเขาใหญ่ลาดลงสู่หุบเขาใหญ่ เส้นชั้นความสูงบริเวณจมูกเขามีลักษณะโค้งยื่นไปสู่ลำน้ำสายใหญ่ ส่วนสองข้างของจมูกเขาขนาบด้วยลำน้ำสาขา (ภาพที่ 2.13)

6.2.4 สันเขารูปอานม้าหรือกิ่ว (Saddle) คือ ส่วนของสันเขาที่หยักต่ำลง เส้นชั้นความสูงบริเวณดังกล่าวไม่ติดต่อเป็นวงกลมเดียวกัน แยกออกเป็นคนละวง

6.2.5 หุบเขา (Valley) เป็นบริเวณที่เส้นชั้นความสูงมีระดับความสูงลดลงไปเรื่อยๆ จนถึงที่ต่ำสุดซึ่งเป็นร่องน้ำ มีแม่น้ำหรือลำธารไหลผ่าน เส้นชั้นความสูงมีลักษณะหยักเป็นมุมแหลมขึ้นไปทางต้นน้ำ (ภาพที่ 2.14)

6.2.6 โกรกธาร (Gorge) เส้นชั้นความสูงที่อยู่ในหุบเขา มีลักษณะเรียงขนานกันและชิดกันมาก

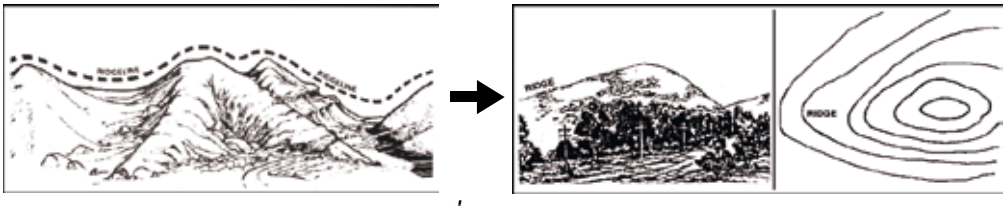
6.2.7 หน้าผา (Cliff) เส้นชั้นความสูงอยู่ชิดกันมาก หรือซ้อนทับกันถ้าหากเป็นหน้าผาชัน (ภาพที่ 2.15)

6.2.8 แอ่ง (Sink) เส้นชั้นความสูงแสดงแอ่งน้ำล้อมเป็นวงเดียวหรือหลายวงล้อมรอบกัน

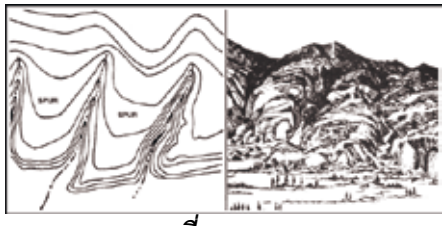
6.2.9 ที่ราบ (Plain) เส้นชั้นความสูงอยู่ห่างกันมากหรือแทบไม่มีเส้นชั้นความสูงผ่านเลย

6.2.10 ภูมิประเทศคาสต์ (Karst topography) คือ บริเวณซึ่งมีการระบายน้ำใต้ดิน บนพื้นผิวภูมิประเทศหินปูนในเขตภูมิอากาศชุ่มชื้น เช่น ประเทศไทย มักปรากฏยอดเขาโดดๆ อยู่สลับกับหลุมยุบ (Sinkhole)

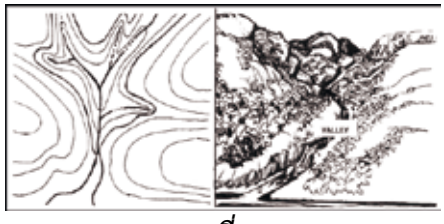
เส้นชั้นความสูงในบริเวณดังกล่าวจึงมีลักษณะเป็นวงๆ อยู่กระจายกันสลับกับวงของเส้นชั้นความสูงแสดงแอ่งต่ำ บริเวณดังกล่าวนี้มักจะไม่มีร่องน้ำบนพื้นผิว เนื่องจากน้ำซึมลงในหินปูน และรวมเป็นลำธารใต้ดินบ้าง น้ำซับบ้าง



***ภาพที่** 2.12 สันเขา*



***ภาพที่** 2.13 จมูกเขา*

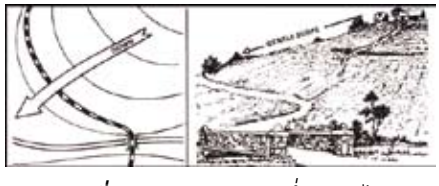


***ภาพที่** 2.14 หุบเขา*

***ภาพที่** 2.15 หน้าผาชัน*

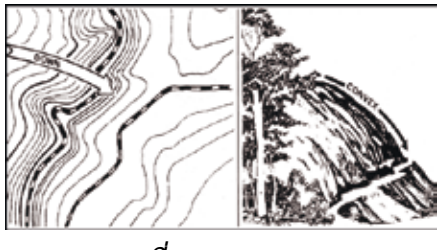
6.2.11 ความลาด (Slope) ของภูมิประเทศมีหลายลักษณะ เช่น ความลาดเป็นแบบลาดสม่ำเสมอ (Uniform slope) ความลาดเว้า (Concave slope) และความลาดนูน (Convex slope) จากแผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน 1:50,000 ซึ่งมีสัญลักษณ์แสดงค่าความสูงของภูมิประเทศโดยใช้เส้นชั้นความสูงที่มีค่าของความต่างของเส้นชั้นความสูงเท่ากับ 20 เมตร สามารถตีความลักษณะความลาดชันของภูมิประเทศทั้งสามแบบได้ โดยพิจารณาจากความห่างของเส้นชั้นความสูงได้ดังนี้

- ความลาดแบบสม่ำเสมอ พิจารณาได้จากบริเวณที่เส้นชั้นความสูงมีระยะห่างเท่าๆ กัน ถ้าเส้นชั้นความสูงเหล่านั้นอยู่ห่างกันอย่างสม่ำเสมอแสดงว่าพื้นที่นั้นมีความลาดชันน้อย แต่ถ้าเส้นชั้นความสูงเหล่านั้นอยู่ชิดกันอย่างสม่ำเสมอ แสดงว่าพื้นที่บริเวณนั้นมีความลาดชันมาก (ภาพที่ 2.16)



***ภาพที่** 2.16 ความลาดสม่ำเสมอไม่ชัน*

***ภาพที่** 2.17 ความลาดเว้า*



***ภาพที่** 2.18 ความลาดนูน*

- ความลาดเว้า เป็นลักษณะของภูมิประเทศที่มีความลาดชันไม่สม่ำเสมอ โดยมีส่วนบนค่อนข้างชันมากกว่าส่วนล่าง ความลาดเว้าสามารถพิจารณาได้จากเส้นชั้นความสูงที่อยู่ในที่สูงมีระยะชิดกันและค่อยๆ ห่างกันในระดับต่ำลงมา (ภาพที่ 2.17)

- ความลาดนูน เป็นลักษณะของภูมิประเทศที่มีความลาดชันไม่สม่ำเสมอ โดยมีพื้นที่ส่วนบนค่อนข้างชันน้อยกว่าส่วนล่าง ความลาดนูนสามารถพิจารณาได้จากเส้นชั้นความสูงที่มีลักษณะตรงกันข้ามกับความลาดเว้า กล่าวคือ เส้นชั้นความสูงที่อยู่ในระดับต่ำอยู่ชิดกันและค่อยๆ ห่างขึ้นในระดับความสูงมากขึ้นไป (ภาพที่ 2.18)

6.3 การอ่านและการใช้แผนที่ในภูมิประเทศ

6.3.1 การจัดแผนที่ให้ถูกทาง (Map orientation)

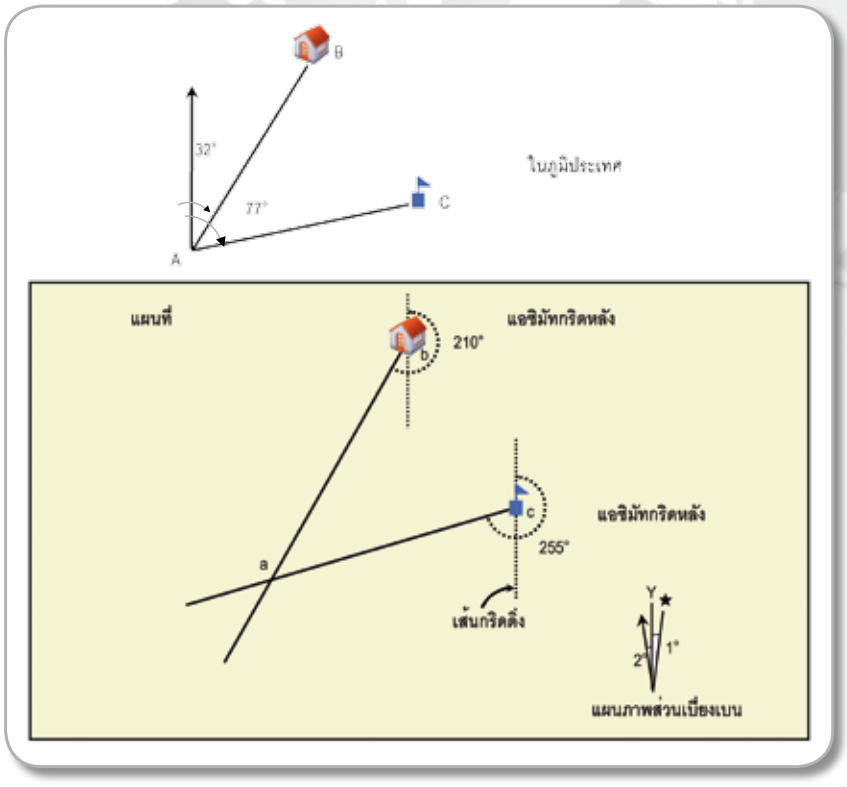
ขั้นแรกของการนำแผนที่ไปใช้ในภูมิประเทศก็คือ การจัดแผนที่ให้ถูกทางซึ่งการจัดแผนที่นี้มีความสำคัญอย่างมาก ในการกำหนดทิศทางที่ถูกต้องสำหรับการอ่านแผนที่ และนำแผนที่ไปใช้เพื่อหาตำแหน่งต่างๆ บนภูมิประเทศได้อย่างถูกต้อง การจัดแผนที่ให้ถูกทางทำได้ง่ายโดยการใช้เข็มทิศวางบนเส้นกริดในแผนที่ ให้แนวเหนือ-ใต้ของเข็มทิศทาบกับเส้นกริดพอดี เมื่อลูกศรชี้ไปทางทิศเหนือจึงแปลว่าทิศที่แผนที่หันไปนั้นเป็นทิศเหนือในภูมิประเทศจริงเช่นกัน อย่างไรก็ตามถ้าหากต้องการความละเอียดของงานมากกว่านี้ ก็สามารถปรับแก้ทิศได้จากการเทียบทิศเหนือกริดกับทิศเหนือแม่เหล็กที่ระบุไว้นอกขอบระวางแผนที่ เนื่องจากทิศเหนือที่เราใช้จริงนั้นเป็นทิศเหนือแม่เหล็ก แต่ทิศเหนือในแผนที่นั้นคือทิศเหนือกริด

6.3.2 การหาตำแหน่งโดยวิธีสกัดกลับ (Resection)

การสกัดกลับเป็นวิธีการกำหนดตำแหน่งโดยต้องมีเป้าหมายเด่นๆ ของภูมิประเทศที่ทราบตำแหน่งแล้วอย่างน้อย 2 แห่งหรือมากกว่า การสกัดกลับสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การสกัดกลับโดยใช้เข็มทิศและไม้โปรแทรกเตอร์ และการสกัดกลับด้วยวิธีกราฟิก

- การสกัดกลับโดยใช้เข็มทิศและไม้โปรแทรกเตอร์ วิธีนี้ทำได้โดยเลือกเป้าหมายเด่นๆ ของภูมิประเทศที่ปรากฏชัดเจนในแผนที่ และอยู่ห่างกันพอที่จะสร้างมุมได้ โดยมีผู้สังเกตเป็นจุดยอดของมุมนั้น แล้วใช้เข็มทิศเล็งไปยังเป้าหมายทั้งสองทำการบันทึกค่ามุมแอซิมัทแม่เหล็ก (Magnetic azimuth) แล้วใช้ไม้โปรแทรกเตอร์วัดค่ามุมแอซิมัทกลับ (Back azimuth) ณ เป้าหมายทั้งสอง ลากแขนของมุมทั้งสองมาตัดกัน จุดที่เส้นทั้งสองตัดกันคือตำแหน่งของผู้สังเกต (ภาพที่ 2.19)

- การสกัดกลับโดยการแสดงด้วยวิธีกราฟิก วิธีนี้ไม่ต้องวัดมุม แต่ใช้การเล็งด้วยไม้บรรทัดหรือไม้เล็งอื่นๆ มีวิธีการปฏิบัติดังนี้โดย กางแผนที่ออกวางให้ถูกทิศทาง สังเกตหาเป้าหมายที่เด่นชัดอย่างน้อย 3 เป้าหมาย ในภูมิประเทศ และต้องเป็นเป้าหมายที่ปรากฏในแผนที่ด้วย สมมติให้ตำแหน่ง A B และ C ในภูมิประเทศซึ่งปรากฏอยู่ในแผนที่ a b และ c ตามลำดับ ตำแหน่งทั้งสองควรจะมีง่ามมุมไม่เกิน 90 องศา จากตำแหน่งผู้สังเกต



ภาพที่ 2.19 *การสกัดกลับโดยใช้เข็มทิศและไม้โปรแทรกเตอร์*

ที่มา : สรรค์ใจ กลิ่นดาว (2531)

6.3.3 การหาตำแหน่งโดยวิธีสกัดตรง (Intersection)

การสกัดตรง เป็นวิธีการกำหนดตำแหน่งของที่หมายใดๆ ในภูมิประเทศลงในแผนที่ โดยต้องมีเป้าหมายที่ทราบตำแหน่งแล้วอย่างน้อย 2 แห่ง การสกัดตรงทำได้ดังนี้ การสกัดตรงโดยใช้เข็มทิศและไม้โปรแทรกเตอร์ (ภาพที่ 2.20) วิธีการปฏิบัติ ดังนี้

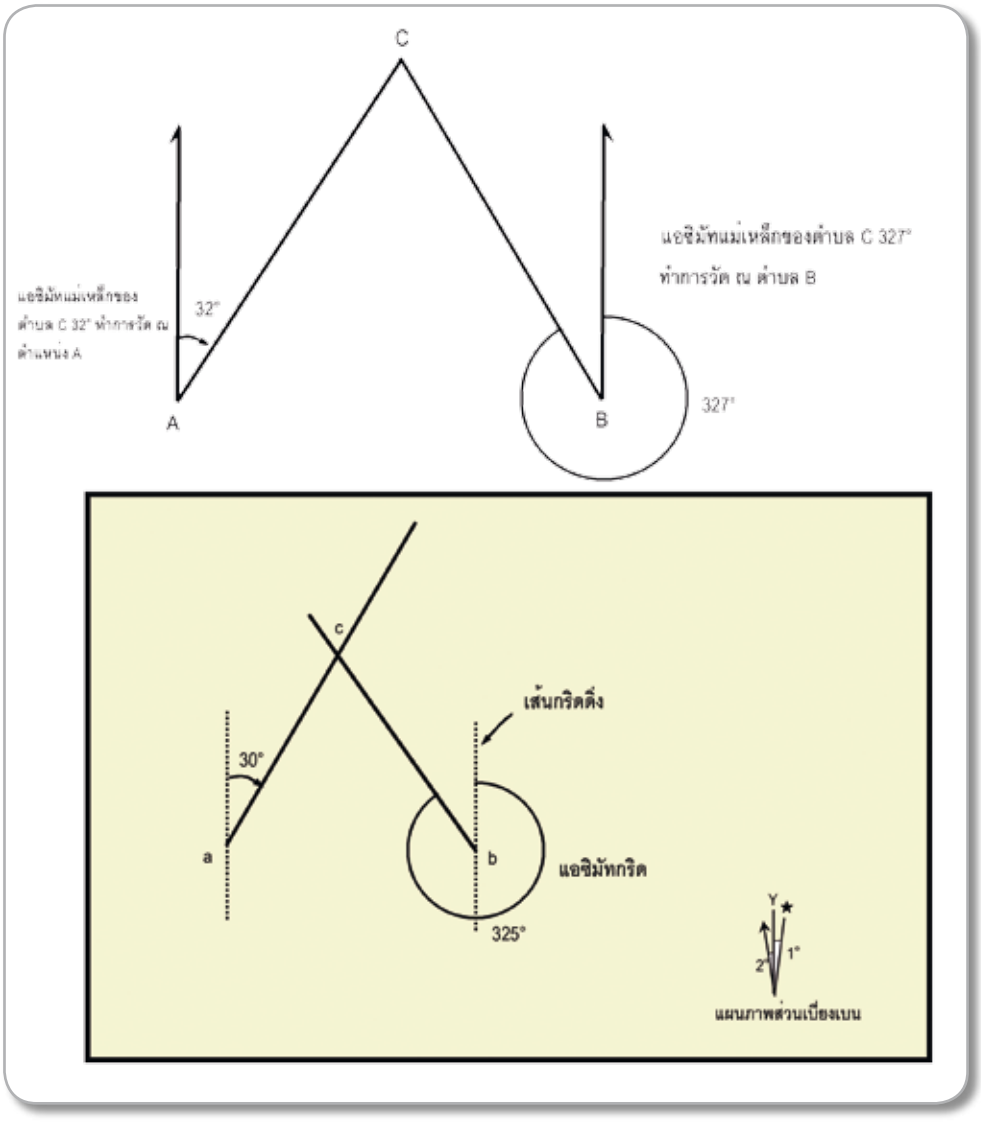
- เลือกตำแหน่งของผู้สังเกตที่เห็นเด่นชัด มีปรากฏตรงกันทั้งในแผนที่และในภูมิประเทศและเป็นตำแหน่งที่ลากเส้นตัดกันได้จากตำแหน่งที่ 1 เล็งเข็มทิศไปยังเป้าหมายแล้วบันทึกค่ามุมแอซิมัทที่วัดได้ แล้วเดินไปยังตำแหน่งที่ 2 ทำเช่นเดียวกันกับครั้งแรก

- กางแผนที่ออก สร้างแนวทิศเหนือแม่เหล็กให้สัมผัสกับตำแหน่งที่ 1 แล้วใช้ไม้โปรแทรกเตอร์สร้างมุมแอซิมัท ทำเช่นเดียวกันกับตำแหน่งที่ 2 ลากแขนของมุมแอซิมัท จากตำแหน่งทั้งสองมาตัดกันก็จะได้ตำแหน่งเป้าหมายที่ต้องการ

- ส่วนการสกัดตรงโดยแสดงด้วยวิธีกราฟิก มีวิธีการปฏิบัติ ดังนี้

1) เลือกตำแหน่งของรายละเอียดในภูมิประเทศให้ตรงกับรายละเอียดตำแหน่งในแผนที่อย่างน้อย 2 แห่ง วางแผนที่ลงบนพื้นราบ จัดแผนที่ให้ถูกทิศทาง จากตำแหน่งที่ 1 ใช้ไม้บรรทัดเล็งให้ตรงไปยังเป้าหมาย ลากเส้นจากตำแหน่งสังเกตให้ตรงไปยังเป้าหมาย

2) จากตำแหน่งที่ 2 ใช้ไม้บรรทัดวางให้สัมผัสจุดที่ 2 เล็งให้ตรงไปยังเป้าหมายเดิมลากเส้นตรงจากจุดนี้ตรงไปยังเป้าหมาย ซึ่งจะไปตัดกับเส้นตรงที่ลากจากจุดแรก ณ จุดหนึ่งคือตำแหน่งของเป้าหมายนั่นเอง



ภาพที่ 2.20 *การสกัดตรงโดยใช้เข็มทิศและไม้โปรแทรกเตอร์*
ที่มา : สรรค์ใจ กลิ่นดาว (2531)

7. การทำแผนที่ (Mapping)

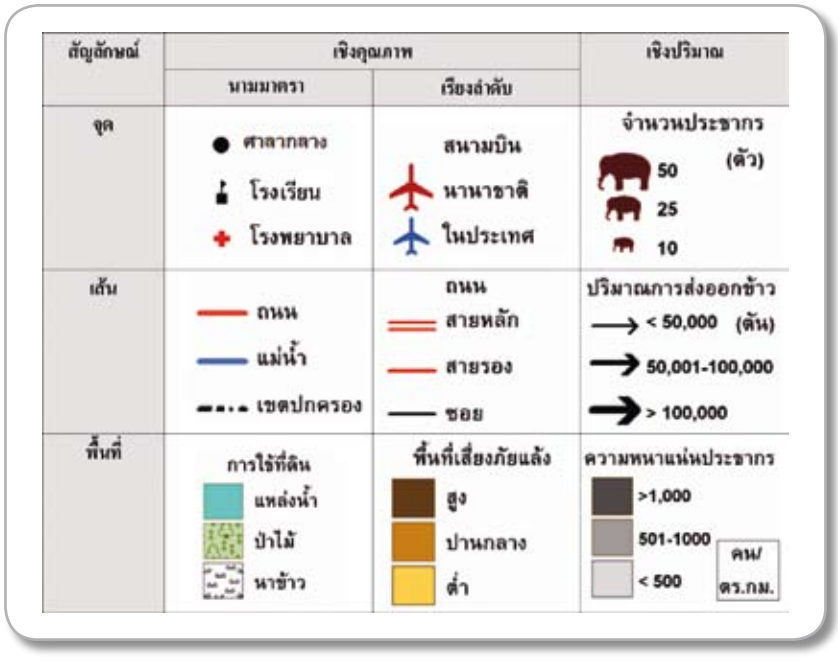
7.1 สัญลักษณ์แผนที่ (Map symbol)

การทำแผนที่เป็นการรวบรวมข้อมูลภูมิศาสตร์ซึ่งเป็นข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับพื้นที่บนพื้นผิวโลก มาแสดงโดยสร้างเป็นสัญลักษณ์ในแผนที่ จึงต้องจำแนกลักษณะข้อมูลภูมิศาสตร์ที่นำมาทำแผนที่โดยแบ่งเป็นข้อมูลเชิงคุณภาพ (Qualitative data) และข้อมูลเชิงปริมาณ (Quantitative data) แล้วเลือกใช้สัญลักษณ์ให้เหมาะสมกับข้อมูล

ข้อมูลเชิงคุณภาพ ที่ใช้ในการทำแผนที่ หมายถึง ข้อมูลที่ระบุลักษณะซึ่งจัดจำแนกเป็นกลุ่มได้ อยู่ในระดับการวัดนามมาตรา (Nominal) ตัวอย่างเช่น แผนที่การใช้ที่ดิน แสดงการจำแนกประเภทการใช้ที่ดินเป็นชนิดต่างๆ ตามมาตรฐานการจำแนกที่ดิน ข้อมูลเชิงคุณภาพเป็นข้อมูลที่ผ่านกระบวนการจำแนกประเภท ซึ่งอาจมีเกณฑ์การจำแนกแตกต่างกัน ตามวัตถุประสงค์การใช้งาน และเหมาะสมกับมาตราส่วนของแผนที่

ข้อมูลเชิงปริมาณ ที่ใช้ในการทำแผนที่ หมายถึง ข้อมูลที่มีคุณสมบัติเชิงปริมาณ และเชิงเรียงลำดับ (Ordinal) เช่น ข้อมูลปริมาณน้ำฝน จำนวนประชากร ความหนาแน่นของประชากรต่อหน่วยพื้นที่ เป็นต้น

เมื่อคัดเลือกข้อมูลภูมิศาสตร์ที่ตรงกับวัตถุประสงค์ของแผนที่แล้ว ทำการวิเคราะห์เพื่อจำแนกข้อมูลเป็นข้อมูลเชิงคุณภาพและข้อมูลเชิงปริมาณ จากนั้นเป็นขั้นตอนการคัดเลือกเอาสัญลักษณ์ที่เหมาะสมมาใช้เพื่อแทนข้อมูลภูมิศาสตร์ให้เป็นสัญลักษณ์บนแผนที่



***ภาพที่** 2.21 ตัวอย่างการเลือกใช้สัญลักษณ์แผนที่เฉพาะเรื่องเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ*

สัญลักษณ์แผนที่จำแนกได้เป็น 3 ประเภท คือ สัญลักษณ์จุด (Point symbol) สัญลักษณ์เส้น (Line symbol) และสัญลักษณ์พื้นที่ (Area symbol) ตัวอย่างของสัญลักษณ์จุด เส้น และพื้นที่ ของแผนที่เฉพาะเรื่องเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ แสดงในภาพที่ 2.21

7.2 การออกแบบแผนที่ (Map design)

การออกแบบแผนที่ เริ่มจากการกำหนดขนาดแผนที่แล้ววางองค์ประกอบของแผนที่คล้ายกับการวางแบบจัดหน้าของนักหนังสือพิมพ์ จึงมักเรียกว่า การวางแบบแผนที่ (Map layout) ขั้นตอนของการออกแบบแผนที่มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

7.2.1 กำหนดสื่อที่จะใช้นำเสนอ เช่น แผนที่บนสื่ออิเล็กทรอนิกส์ หรือสื่อสิ่งพิมพ์ วิธีการผลิตมีผลกับวิธีการออกแบบแผนที่

7.2.2 เลือกมาตราส่วน และชนิดของเส้นโครงแผนที่ให้เหมาะสมกับวัตถุประสงค์แผนที่

7.2.3 วิเคราะห์เนื้อหาแผนที่ และการให้สัญลักษณ์

7.2.4 กำหนดการวางแบบและองค์ประกอบแผนที่ ตามหลักการและวิธีการออกแบบแผนที่

โดยหลักการการวางองค์ประกอบแผนที่ต้องพิจารณาองค์ประกอบของแผนที่ว่าเหมาะสมกับแผนที่ชนิดนั้นแล้วหรือไม่ ในบางกรณีอาจยกเว้นไม่จำเป็นต้องแสดงให้ครบถ้วน การวางองค์ประกอบแผนที่มีรายละเอียด ดังนี้

- เนื้อหาของแผนที่ (Map content) ส่วนนี้เป็นส่วนที่สำคัญที่สุด เพราะคือข้อมูลหลักของแผนที่ จัดอยู่ในความสำคัญอันดับแรก เนื้อหาแผนที่มักวางไว้ตรงกลางจุดศูนย์กลางเชิงทัศน์ (Visual center) ของระวางแผนที่หรือขอบเขตกระดาษทำแผนที่ เนื้อหาแผนที่ต้องโดดเด่นมากที่สุดและครอบคลุมพื้นที่แผนที่มากที่สุด

- ขอบระวางแผนที่ (Neat line) มักเป็นเส้นบาง และอาจมีเส้นขอบนอกล้อมรอบซึ่งมีลักษณะเป็นเส้นหนากว่าขอบระวาง เรียกว่า เส้นขอบระวาง (Border line) ข้อมูลตัวเลขค่าพิกัดแผนที่บอกเนื้อหาแผนที่ โดยวางอยู่ระหว่างขอบระวางและเส้นขอบระวาง เส้นขอบเขตเนื้อหาแผนที่ไม่จำเป็นต้องเป็นรูปสี่เหลี่ยมเรขาคณิต อาจเป็นขอบเขตพื้นที่ศึกษาวิจัย เช่น เส้นแบ่งเขตลุ่มน้ำ อย่างไรก็ตามลักษณะขอบเขตชนิดนี้ทำให้พื้นที่แผนที่ดูคล้ายเกาะ เรียกว่าเกิดลักษณะแผนที่เกาะ (Island map) หากต้องการหลีกเลี่ยง สามารถให้แสดงข้อมูลพื้นที่ข้างเคียงประกอบด้วยเป็นข้อมูลพื้นหลัง (Background)

- ชื่อแผนที่ (Title) มีความสำคัญอยู่ในลำดับ 2 รองจากเนื้อหาแผนที่ การตั้งชื่อแผนที่ควรกระชับและได้ความหมายตามเนื้อหาของแผนที่ ไม่ใช้คำฟุ่มเฟือย เช่น เปลี่ยนจากชื่อเรื่อง “แผนที่แสดงความหนาแน่นประชากร” เป็น “ความหนาแน่นประชากร” ถ้าเนื้อหาแผนที่แสดงวันเวลาเฉพาะ ให้ระบุไว้ในชื่อแผนที่ด้วย หากชื่อแผนที่ยาวมาก อาจแบ่งชื่อแผนที่ เป็นชื่อหลัก และชื่อรอง เช่น ชื่อหลักของแผนที่คือ “โครงสร้างอายุของผู้ลี้ภัยปี พ.ศ. 2548” ชื่อรองคือ “ชายแดนไทย-เมียนมาร์” การแสดงชื่อรองให้แยกเป็นอีกบรรทัดและจัดวางไว้กึ่งกลางของชื่อหลัก

- คำอธิบายสัญลักษณ์ (Legend) มีความสำคัญอยู่ในลำดับ 3 ต่อจากเนื้อหาแผนที่ และชื่อแผนที่ คำอธิบายสัญลักษณ์ประกอบด้วยรูปสัญลักษณ์ และคำอธิบายความหมายของสัญลักษณ์ สัญลักษณ์ที่อยู่ในเนื้อหาแผนที่ต้องปรากฏคำอธิบายสัญลักษณ์ด้วยเสมอ และมีรูปร่างลักษณะเหมือนกันทุกประการ การออกแบบหัวเรื่องของคำอธิบายสัญลักษณ์ของแผนที่เฉพาะเรื่อง อาจละเว้นการเขียนคำว่า “คำอธิบายสัญลักษณ์” หรือคำว่า “สัญลักษณ์” ไว้ก็ได้ หรือหากมีหัวเรื่องที่ต้องการขยายความมาจากชื่อแผนที่ ให้นำมาเป็นชื่อหัวเรื่องแทนที่คำว่า “คำอธิบายสัญลักษณ์” เช่น ชื่อแผนที่คือโครงสร้างอายุของผู้ลี้ภัยปี พ.ศ. 2548 ชื่อหัวเรื่องของคำอธิบายสัญลักษณ์คือ จำนวนผู้ลี้ภัย พื้นที่ในส่วนของคำอธิบายสัญลักษณ์ทั้งหมดอาจมีเส้นขอบล้อมรอบคำอธิบายสัญลักษณ์ หรือไม่มีก็ได้

- แหล่งที่มาของข้อมูล (Data source) ผู้จัดทำแผนที่ และวันที่ทำแผนที่ ควรแสดงไว้เพราะทำให้สามารถอ้างอิงที่มาของข้อมูลได้ วางไว้ที่ขอบระวางแผนที่ และตัวอักษรมีขนาดเล็ก เพราะมีความสำคัญอันดับรอง

- มาตราส่วนแผนที่ทำได้โดยระบุเป็นตัวเลข และกราฟิกของมาตราส่วนเส้นบรรทัด แต่ควรใช้มาตราส่วนกราฟิกประกอบด้วยเสมอ เพราะอาจมีการทำสำเนาย่อหรือขยายแผนที่นั้น มาตราส่วนของแผนที่โลกที่แปรเปลี่ยนตามละติจูด ให้ใช้มาตราส่วนชนิดแปรตาม (Variable scale) แต่ซอฟต์แวร์บางชนิดไม่มีลักษณะมาตราส่วนนี้ ก็ควรละเว้นการแสดงมาตราส่วนไว้ มาตราส่วนมีความสำคัญอยู่ในลำดับหลัง จึงไม่ควรวางไว้โดดเด่นมากนัก แต่ก็ไม่ควรมีขนาดเล็กเกินไปเพราะจะใช้ประโยชน์ยาก การวางมาตราส่วนควรทำให้เกิดความสมดุลของแผนที่เสมอ

- เครื่องหมายทิศ ถ้าแผนที่นั้นไม่มีเครื่องหมายทิศกำกับ แสดงว่านักแผนที่กำหนดให้แผนที่นั้นวางตัวชี้ไปทางทิศเหนือ แต่ถ้าขนาดของเนื้อหาแผนที่ไม่เหมาะสมกับการวางตัวในทิศเหนือก็เปลี่ยนไปทิศอื่นๆ ได้ แต่ต้องมีเครื่องหมายทิศเหนือกำกับด้วยเสมอ เส้นเมริเดียนคือเส้นที่วางในแนวทิศเหนือหากเส้นนี้วางตัวในทิศทางต่างกันต้องทำเครื่องหมายทิศเหนือ เครื่องหมายทิศมีความสำคัญลำดับรอง การออกแบบเครื่องหมายทิศจึงไม่ควรโดดเด่นมาก ลวดลายมากเกิน หรือมีขนาดใหญ่เกินไป

- แผนที่แทรก (Inset map) ใช้เพื่อแสดงแผนที่ส่วนขยาย และ/หรือย่อส่วนพื้นที่เพื่อแสดงภาพรวมของตำแหน่งที่ทำแผนที่ ควรออกแบบไม่ให้มีขนาดใหญ่เกินไป และวางไว้มุมใดมุมหนึ่ง ตามความเหมาะสมเพื่อให้เกิดความสมดุลของแผนที่

7.3 การแสดงข้อมูลประกอบแผนที่ (Map annotation)

ชื่อทางภูมิศาสตร์ (Geographic name) ที่ปรากฏในเนื้อหาแผนที่บางชนิด เช่น แผนที่ภูมิประเทศ มีรายละเอียดของชื่อมากมาย การวางชื่อทางภูมิศาสตร์เพื่อกำกับสัญลักษณ์จุด เส้น และพื้นที่ ในแผนที่ให้เหมาะสม มีลำดับขั้นตอนที่ควรพิจารณาดังนี้

7.3.1 ลำดับแรกให้วางชื่อที่อยู่ในตำแหน่งที่คงที่ หรือตำแหน่งที่เปลี่ยนแปลงยาก เช่น จุดความสูง (Spot height)

7.3.2 ลำดับที่ 2 วางชื่อที่กำกับสัญลักษณ์จุด เช่น ชื่อเมือง ซึ่งหากมีสิ่งกีดขวางอาจพอจะเคลื่อนย้ายได้บ้างในตำแหน่งรอบๆ จุดนั้น ซึ่งมีตำแหน่งให้วางได้ 9 ตำแหน่ง (ตำแหน่งที่ 5 เป็นตำแหน่งของสัญลักษณ์จุด) เช่น หากวางชื่อไว้ที่ตำแหน่งที่ 3 ก็ควรรักษาตำแหน่งนี้ไว้ให้คงที่ ยกเว้นมีข้อจำกัดทางภูมิประเทศมาเป็นอุปสรรคจะต้องนำมาพิจารณาด้วย เช่น ชื่อหมู่บ้านที่ตั้งอยู่ริมทางน้ำ ชื่อหมู่บ้านนั้นควรอยู่ฝั่งเดียวกับตำแหน่งหมู่บ้าน เป็นต้น (ตำแหน่งที่ 5 วางทับจุด จึงไม่เหมาะสมในกรณีวางชื่อของสัญลักษณ์จุด)

7.3.3 ชื่อของข้อมูลชนิดเส้น เช่น ถนน แม่น้ำ เส้นโครงภูมิศาสตร์ ให้วางขนานไปกับแนวเส้นนั้น และหากเส้นมีความกว้างมากพอให้เขียนชื่อลงไปในระหว่างเส้นนั้น

7.3.4 ชื่อของข้อมูลพื้นที่ ให้วางตามรูปร่างของพื้นที่ และวางตรงกึ่งกลางพื้นที่

7.3.5 เมื่อวางชื่อเรียบร้อยแล้ว ให้ตรวจสอบความเหมาะสมโดยรวมของแผนที่ ให้ชื่อต่างๆ อยู่ในบริเวณพื้นที่ว่าง ไม่ควรกระจุกอยู่ในบริเวณใดบริเวณหนึ่ง เพื่อให้เกิดความสมดุล หลีกเลี่ยงวางชื่อต่างๆ เหลื่อมซ้อนกัน และควรหลีกเลี่ยงการวางชื่อในบริเวณที่ซ้อนทับกับข้อมูลสำคัญ ตัวอักษรมีขนาดเหมาะสม และไม่ควรให้สีของพื้นข้างหลังคล้ายคลึงกับสีของชื่อ หากจำเป็นต้องวางชื่อซ้อนทับกับรูปสัญลักษณ์ควรใช้ลักษณะสีพื้นรอบตัวอักษร (Halo) เพื่ออ่านชื่อได้ชัดเจน และที่สำคัญคือชื่อที่ใช้จะต้องชัดเจนสะกดถูกต้องตามหลักภาษา และสื่อความหมายถูกต้อง

7.4 ความสำคัญของการออกแบบแผนที่

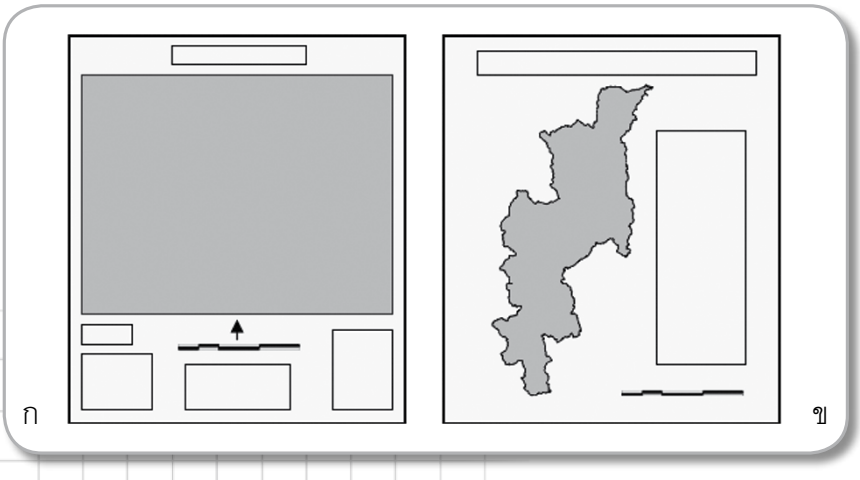
การทำแผนที่เป็นขั้นตอนสุดท้ายของกระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ แม้ในปัจจุบันมีซอฟต์แวร์ช่วยให้การออกแบบและทำแผนที่ง่ายดายและรวดเร็วขึ้นมาก แต่ไม่ควรละเลยความสำคัญของการออกแบบแผนที่ แผนที่คือสื่อนำเสนอข้อมูลเชิงพื้นที่ จึงเป็นเอกสารที่มีความสำคัญทางวิชาการ สามารถนำไปใช้เป็นเครื่องมือในการทำวิจัยแสดงผลการวิจัยและใช้สื่อสารข้อมูลภูมิศาสตร์ ไม่ควรมองว่าแผนที่เป็นเพียงภาพประกอบเท่านั้น การทำแผนที่ควรใช้เวลาพิจารณาเพื่อวางแผนงานระยะหนึ่ง ขั้นตอนนี้อาจจะยังไม่ต้องใช้คอมพิวเตอร์ทำแผนที่ทันที เนื่องจากแผนที่แสดงข้อมูลเป็นภาพที่แปลตีความแล้ว จึงควรออกแบบให้ผู้ใช้สามารถทำความเข้าใจแผนที่ได้รวดเร็วโดยเฉพาะแผนที่เฉพาะเรื่องเชิงปริมาณ แต่แผนที่บางชนิด เช่น แผนที่ธรณีวิทยามีข้อมูลบรรจุอยู่มาก ต้องใช้เวลาอ่านแผนที่อย่างพินิจพิเคราะห์เพื่อแปลความหมายของสัญลักษณ์ที่ปรากฏบนแผนที่ ซึ่งจะนำไปสู่ความเข้าใจลักษณะของพื้นที่ตรงตามวัตถุประสงค์แท้จริงของแผนที่ หากแผนที่นั้นสื่อสารข้อมูลคลุมเครือหรือผิดพลาดจะส่งผลให้ผู้ใช้แผนที่ตีความหมายผิดเช่นกัน การออกแบบแผนที่ที่ดีควรออกแบบให้มีความชัดเจน (Clarity) ในขั้นแรก คือ การสร้างความชัดเจนของแนวคิดมีความเข้าใจปรากฏการณ์เชิงพื้นที่อย่างชัดเจน แล้วคัดเลือกข้อมูลที่สำคัญที่เป็นตัวแทนของลักษณะพื้นที่ ซึ่งหมายถึงการวิเคราะห์ข้อมูลเนื้อหาแผนที่ให้ถูกต้องตรงตามวัตถุประสงค์แผนที่ ความชัดเจนในขั้นต่อมาคือการสร้างสัญลักษณ์แผนที่ให้ชัดเจน เมื่อแทนสภาพจริงด้วยสัญลักษณ์แผนที่ จะต้องเลือกใช้สัญลักษณ์ที่เหมาะสม วางตำแหน่งสัญลักษณ์

และตัวอักษรไม่ซ้อนทับกัน ทำให้มองเห็นง่าย และอ่านตัวอักษรได้ง่าย ไม่แสดงข้อมูลมากเกินความจำเป็น เพื่อให้สังเกตและดึงข้อมูลสำคัญได้อย่างรวดเร็ว และสามารถจดจำลักษณะของข้อมูลบนแผนที่ได้ง่าย การออกแบบแผนที่ประกอบด้วยหลักการออกแบบ คือ ภาพ-พื้น (Figure-Ground) ความสมดุลเชิงทัศน์ (Visual balance) ความเปรียบต่าง (Contrast) และลำดับเชิงทัศน์ (Visual hierarchy)

7.4.1 ภาพ-พื้น หมายถึง การเน้นภาพหลักซึ่งออกแบบมาเป็นจุดสนใจหลัก ให้แตกต่างออกจากพื้นหลังซึ่งเป็นฉากประกอบ ภาพหลักต้องดูสำคัญกว่าและโดดเด่นออกจากพื้นหลัง โดยการใช้ความแตกต่างของสี ความสว่าง หรือความเข้ม ลวดลาย ความหมายของภาพในแผนที่ คือ ตัวเนื้อหาหลักแผนที่ ส่วนพื้น คือ เนื้อหาประกอบเพื่อให้เกิดความเข้าใจเนื้อหาหลัก โดยไม่รบกวนเนื้อหาหลัก

7.4.2 ความสมดุลเชิงทัศน์ หมายถึง เมื่อการวางองค์ประกอบแผนที่ทั้งหมด แล้วน้ำหนักของภาพรวมทั้งแผนที่ไม่เอียงไปทางใดทางหนึ่งของพื้นที่แผนที่ แต่กระจายทั่วทั้งพื้นที่แผนที่ โดยรักษาระยะพื้นที่ว่างให้สม่ำเสมอกัน การวางองค์ประกอบแผนที่ให้สมดุลมีรูปแบบของความสมดุลสองประเภทคือ ความสมดุลเป็นทางการ (Formal balance) (ภาพที่ 2.22ก) และความสมดุลไม่เป็นทางการ (Non-formal balance) (ภาพที่ 2.2ข) ความสมดุลเป็นทางการ หมายถึง การวางองค์ประกอบแผนที่ให้อยู่กึ่งกลางแผนที่ และวางให้สมมาตรกัน เช่น วางชื่อแผนที่ และเนื้อหาแผนที่ให้อยู่ตรงกลาง ส่วนข้อมูลองค์ประกอบลำดับต่ำกว่าวางไว้ซิดซ้าย และซิดขวา ให้สมมาตรกัน ความสมดุลเป็นทางการ มักใช้กับการออกแบบแผนที่ชุด เช่น แผนที่ภูมิประเทศ เนื่องจากพื้นที่ของเนื้อหาแผนที่ถูกออกแบบให้มีขนาดเท่ากัน เกือบเป็นรูปสี่เหลี่ยมเหมือนกัน ส่วนความสมดุลไม่เป็นทางการ หมายถึง การวางองค์ประกอบแผนที่ให้อยู่กระจายตามบริเวณที่ว่างที่มีอยู่ แต่เมื่อวางทุกองค์ประกอบแล้ว แผนที่นั้นยังมีความสมดุล ความสมดุลไม่เป็นทางการมักใช้กับแผนที่ที่มีพื้นที่เนื้อหาแผนที่ไม่ใช่รูปทรงเรขาคณิต เช่น พื้นที่จังหวัด พื้นที่ลุ่มน้ำ เป็นต้น และเป็นแผนที่มาตราส่วนขนาดเล็ก

7.4.3 ความเปรียบต่าง หมายถึง การตัดกันของรูปลักษณ์แผนที่หนึ่งกับรูปลักษณ์อื่น ทำให้เห็นความแตกต่างของแต่ละรูปลักษณ์ ซึ่งทำโดยการออกแบบลักษณะของสัญลักษณ์ หรือตัวแปรเชิงทัศน์ เช่น สี ลวดลาย รูปร่าง และเงา ให้สามารถแยกแยะความแตกต่างจากแต่ละรูปลักษณ์ได้ โดยยึดตามการวิเคราะห์ข้อมูลตามจุดประสงค์หลักแผนที่ การออกแบบให้รูปลักษณ์ที่สำคัญโดดเด่น จะทำให้มีลำดับเชิงทัศน์ หรือเป็นจุดความสนใจอยู่ในลำดับแรกๆ

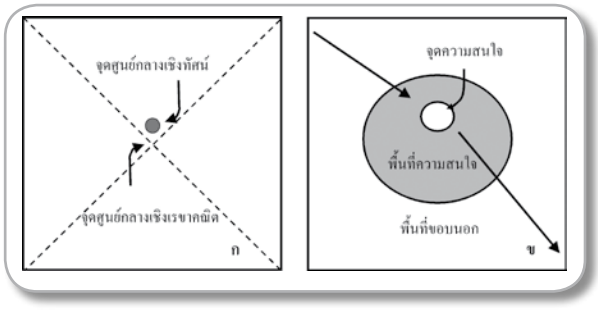


ภาพที่ 2.22 *(ก) ลักษณะของแผนที่ที่มีความสมดุลแบบเป็นทางการ และ (ข) แบบไม่เป็นทางการ*

7.4.4 ลำดับเชิงทัศน์ เป็นการวางสัญลักษณ์ และองค์ประกอบแผนที่ให้เป็นไปตามความสำคัญในบริเวณที่มองเห็นเด่นชัดที่สุดเป็นลำดับไป ข้อมูลแผนที่จึงควรวางตามลำดับความสำคัญซึ่งมี 2 องค์ประกอบ คือ ลำดับขององค์ประกอบแผนที่ และลำดับของเนื้อหาแผนที่

- ลำดับขององค์ประกอบแผนที่ โดยปกติแล้วความสนใจของสายตาที่มองพื้นที่หนึ่ง มีลำดับความสนใจพื้นที่ในส่วนที่มองได้ชัดเจนที่สุด จุดดึงดูดสายตาที่สุด คือ จุดศูนย์กลางของการมองเห็นข้อมูลทันที เรียกว่า จุดศูนย์กลางเชิงทัศน์อยู่บริเวณเกือบกึ่งกลางพื้นที่แผนที่ (ประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ของความสูง และอยู่เหนือจุดศูนย์กลางเรขาคณิต) (ภาพที่ 2.23 ก) ลำดับเชิงทัศน์จึงเป็นการวางสัญลักษณ์และองค์ประกอบแผนที่ให้เป็นลำดับตามความสำคัญในบริเวณที่มองเห็นเด่นชัดที่สุดเป็นลำดับไป วิธีการกวาดสายตามีก็ลำดับเช่นกัน สำหรับวัฒนธรรมที่ฝึกการอ่านจากซ้ายไปขวา ผู้ใช้จะกวาดสายตาจากด้านบนชิดซ้าย เฉียงมาที่จุดศูนย์กลางเชิงทัศน์ซึ่งเป็นจุดรวมความสนใจ ที่วางบนพื้นที่ความสนใจโดยรอบ แล้วกวาดตาลงไปมุมขวาล่าง (ภาพที่ 2.23ข)

เนื่องจากองค์ประกอบของแผนที่มีลำดับความสำคัญมากน้อยต่างกัน สรุปลำดับความสำคัญได้ตามตารางที่ 2.1 การวางองค์ประกอบแผนที่พิจารณาให้องค์ประกอบที่มีลำดับความสำคัญสูงมีสัดส่วนพื้นที่มากที่สุด แล้วลดหลั่นขนาดพื้นที่กันไปตามลำดับ และองค์ประกอบของแผนที่ที่มีลำดับความสำคัญสูงต้องอยู่บริเวณที่น่าสนใจที่สุดด้วย



ภาพที่ 2.23 *(ก) จุดศูนย์กลางเชิงทัศน์ และ (ข) ลำดับการกวาดสายตา*
ที่มา : Dent (1999)

ตารางที่ 2.1 ลำดับความสำคัญขององค์ประกอบแผนที่

องค์ประกอบแผนที่	ความสำคัญ
เนื้อหาหลักแผนที่	1
ชื่อหลัก และชื่อรองแผนที่	2
คำอธิบายสัญลักษณ์แผนที่	3
ข้อมูลพื้นหลัง เช่น แผนที่ฐาน เส้นขอบเขตการปกครอง	4
แหล่งที่มาข้อมูล	5
องค์ประกอบแผนที่อื่นๆ มาตราส่วน เช่น เครื่องหมายทิศและอื่นๆ	6

- การจัดลำดับของเนื้อหาแผนที่ (Hierarchical organization) ส่วนของเนื้อหาแผนที่ ก็มีระดับความสำคัญแตกต่างกัน โดยเฉพาะแผนที่เฉพาะเรื่องมีเนื้อหาหลัก หรือหัวเรื่องหลักที่นำมาแสดงบนแผนที่ซึ่งอาจเน้นเป็นข้อมูลเชิงคุณภาพ เช่น ชนิดดิน การใช้ที่ดิน หรือข้อมูลภูมิศาสตร์ที่นำมาแสดงเป็นข้อมูลเชิงปริมาณ เช่น จำนวนประชากร และเนื้อหารอง ประกอบเป็นพื้นหลัง ซึ่งคือข้อมูลอื่นๆ ที่ประกอบเป็นฉากหลัง อาจเป็นแผนที่ลายเส้นหรือเป็นข้อมูลจากดาวเทียม และรูปถ่ายทางอากาศก็ได้ แต่ต้องออกแบบให้ภาพประกอบพื้นหลังไม่รบกวนประเด็นที่นำมาแสดง เช่น การลดทอนรายละเอียดที่ไม่จำเป็นออกไป การใช้สีอ่อนกว่าประเด็นหลัก การจัดลำดับความสำคัญของเนื้อหาแผนที่มี 3 ลักษณะ คือ ลักษณะภาพ 3 มิติ ลักษณะลำดับขั้น และลักษณะการจำแนกย่อย

8. สรุปแผนที่และเส้นโครงแผนที่

8.1 เส้นโครงแผนที่

เส้นโครงแผนที่และระบบพิกัดในการทำแผนที่มีความสำคัญต่อการกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลกที่ถ่ายทอดลงสู่แผนที่ซึ่งมีลักษณะแบนราบ ระบบพิกัดทำให้เราสามารถทราบถึงจุดและตำแหน่งของวัตถุที่เราต้องการทราบบนพื้นโลกได้จากการสร้างเส้นสมมติแบ่งโลกออกเป็นส่วนๆ ตามค่าระยะเชิงมุมหรือองศาสมมติ ที่เรียกว่าพิกัดภูมิศาสตร์ พิกัดภูมิศาสตร์ถูกนำมาถ่ายทอดลงสู่แผนที่ด้วยระบบพิกัดฉากสองมิติและสามมิติ ส่วนเส้นโครงแผนที่ชนิดต่างๆ ที่นำมาใช้ มีการแสดงคุณสมบัติที่แตกต่างกันออกไป ได้แก่ คุณสมบัติด้านการรักษาเนื้อที่ รูปร่าง และทิศทาง อันมีผลต่อการพิจารณาเลือกใช้เส้นโครงแผนที่ต่อการแสดงข้อมูลแผนที่แบบต่างๆ กันตามสถานที่และเนื้อหาที่ต้องการแสดง ซึ่งเส้นโครงแผนที่มีลักษณะแตกต่างกันตามเส้นโครงแผนที่ ได้แก่ พื้นระนาบ กรวย และทรงกระบอก ตลอดจนลักษณะของจุดกำเนิดแสง เป็นผลให้เส้นโครงแผนที่แสดงคุณสมบัติต่างกัน และมีความสำคัญในการนำมาใช้พิจารณาในการทำแผนที่ชนิดต่างๆ ให้มีความเหมาะสม แตกต่างกันด้วย เส้นโครงแผนที่ที่นิยมใช้กันนี้คือระบบยูทีเอ็ม หรือแบบยูนิเวอร์แซลทรานสเวิร์สเมอร์เคเตอร์ เป็นเส้นโครงแผนที่ที่เกิดจากการใช้ทรงกระบอกเป็นเส้นโครงแผนที่สัมผัสกับลูกโลกในแนวขวางเส้นเมริเดียน ซึ่งนำมาใช้แสดงพื้นที่ที่มีลักษณะยาว มีทิศทางตามระยะเหนือ-ใต้ถูกต้อง เส้นโครงแผนที่แบบนี้ถูกนำมาใช้เป็นระบบพิกัด UTM ในการสร้างแผนที่ภูมิประเทศ และแผนที่มูลฐานเกือบทั่วโลก

8.2 ชนิดแผนที่และการสร้างสัญลักษณ์

แผนที่เป็นเครื่องมือที่สำคัญทางด้านการใช้งานและการวางแผนต่างๆ ที่ไม่จำกัดเฉพาะในสาขาวิชาใด การจำแนกชนิดของแผนที่จึงมีอยู่หลายประเภททั้งตามรูปลักษณ์ของแผนที่ และลักษณะการใช้งานของแผนที่นั้น หลักการใช้แผนที่โดยทั่วไปคือการทำความเข้าใจเกี่ยวกับองค์ประกอบและเนื้อหาในรูปแบบของสัญลักษณ์ที่ปรากฏบนแผนที่ เพื่อสื่อความหมายระหว่างผู้ใช้และผู้จัดทำให้เข้าใจตรงกัน การสร้างสัญลักษณ์ของแผนที่นั้นจึงจำเป็นต้องมีความเหมาะสม สามารถสื่อความหมายให้ผู้ใช้ที่ไม่มีความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับแผนที่สามารถเข้าใจได้ง่ายโดยไม่ต้องอ่านคำอธิบายสัญลักษณ์ และยังต้องมีความเหมาะสมในเรื่องของขนาด สี รูปแบบ เพื่อก่อให้เกิดความสวยงามและความง่ายต่อการอ่านในการใช้งานจริง และนอกจากนี้ มาตราส่วนที่ใช้ในแผนที่ยังเป็นอีกตัวแปรหนึ่งที่ทำให้เกิดความแตกต่างของชนิดและการใช้งานของแผนที่ การคำนวณมาตราส่วนแผนที่สามารถทำได้จากการเทียบระยะทางของจุด 2 จุดในภูมิประเทศจริง กับระยะบนแผนที่ มาตราส่วนยังแบ่งออกเป็นมาตราส่วนตามแนวดิ่งและมาตราส่วนตามแนวราบ ซึ่งมีลักษณะการคำนวณที่ต่างกัน ตลอดจนมีรูปลักษณ์การแสดงที่แตกต่างกันไป เช่น มาตราส่วนคำพูด หรือมาตราส่วนบรรทัด เป็นต้น

8.3 การอ่านแผนที่

การอ่านแผนที่นั้น นักแผนที่จำเป็นที่จะต้องรู้จักตีความสัญลักษณ์ที่ปรากฏอยู่บนแผนที่ โดยสัญลักษณ์จะเป็นตัวแทนลักษณะภูมิประเทศจริงที่มีความซับซ้อน สัญลักษณ์ที่ใช้แสดงลักษณะภูมิประเทศบนแผนที่ ก็คือ เส้นชั้นความสูง เส้นชั้นความสูงชนิดต่างๆ จะเป็นตัวบ่งบอกความสูงต่ำของภูมิประเทศ ตลอดจนลักษณะภูมิประเทศแบบต่างๆ โดยมองจากเนินเขา หน้าผา หรือโตรกธาร จากการมองถึงลักษณะการเรียงตัว ความคดโค้ง ความไม่สม่ำเสมอกันของเส้นชั้นความสูง จึงทำให้การอ่านแผนที่ จำเป็นต้องอาศัยการตีความจากเส้นชั้นความสูง เพื่อก่อให้เกิดการแปลความหมายลักษณะจริงของภูมิประเทศที่มีความถูกต้องยิ่งขึ้น

นอกจากนี้ การประยุกต์ใช้แผนที่ในลักษณะอื่นยังจำเป็นมากขึ้นในยุคปัจจุบัน เนื่องจากแผนที่เป็นการแสดงข้อมูลเชิงพื้นที่ และกิจกรรมใดๆ ก็ตามที่มีการดำเนินการบนพื้นที่แล้ว สามารถที่จะแสดงลงบนแผนที่ เพื่อก่อให้เกิดการใช้งานที่ตรงตามลักษณะข้อมูล จึงทำให้การใช้แผนที่มีความกว้างขวาง กับการใช้งานที่มีลักษณะเป็นเฉพาะมากขึ้น ได้แก่ แผนที่การกระจายตัวของผู้ป่วยโรคมะเร็งปอด หรือแผนที่แสดงที่ตั้งและการประกอบธุรกิจการในพื้นที่ศึกษาริมถนนสุเทพ เป็นต้น จึงเห็นได้ว่าการใช้งานแผนที่มีความหลากหลาย และนำไปประยุกต์ใช้กับสาขาวิชาอื่น

ไม่เฉพาะแต่ทางภูมิศาสตร์ อุตุนิยมวิทยา หรือธรณีวิทยาเท่านั้น แต่รวมถึงการแพทย์ สิ่งแวดล้อม ตลอดจนสังคมสงเคราะห์

การอ่านและการใช้แผนที่ในภูมิประเทศนั้น มีอยู่สองลักษณะด้วยกัน คือแบบสกัดตรง และแบบสกัดกลับ การหาตำแหน่งแบบการสกัดตรงเป็นการใช้แผนที่เพื่อหาตำแหน่งที่ตั้งของจุดสังเกตการณ์ 2 แหล่ง ส่วนการสกัดกลับเป็นการหาตำแหน่งของผู้ใช้แผนที่เองตามการอ้างอิงจากจุดสังเกตการณ์ การสกัดตรงและสกัดกลับต่างมีวิธีอยู่ 2 แบบ คือการใช้เข็มทิศกับไม้โปรแทรกเตอร์ และแบบเส้น หรือแบบกราฟิก

8.4 การทำแผนที่

การทำแผนที่ เป็นการแสดงข้อมูลภูมิศาสตร์โดยเลือกใช้สัญลักษณ์ที่เหมาะสมกับข้อมูล จึงต้องมีการออกแบบเพื่อสื่อสารข้อมูลเชิงพื้นที่ให้ตรงกับสภาพจริงมากที่สุด แผนที่จัดเป็นเอกสารที่มีความสำคัญทางวิชาการ สามารถนำไปใช้เป็นเครื่องมือในการทำวิจัยแสดงผลการวิจัย และใช้สื่อสารข้อมูล การออกแบบแผนที่ที่ดีควรออกแบบให้ชัดเจน ไม่แสดงข้อมูลมากเกินความจำเป็น เพื่อให้สังเกตและดึงข้อมูลสำคัญได้อย่างรวดเร็ว และสามารถจดจำลักษณะของข้อมูลบนแผนที่ได้ง่าย

การออกแบบแผนที่ประกอบด้วยหลักการออกแบบ คือ ภาพ-พื้น ความสมดุลเชิงทัศน์ ความเปรียบต่างและลำดับศักดิ์เชิงทัศน์ ขั้นตอนเชิงปฏิบัติของการออกแบบแผนที่ เริ่มจากการกำหนดสื่อที่ใช้นำเสนอ เช่น แผนที่บนสื่ออิเล็กทรอนิกส์ หรือใช้สื่อสิ่งพิมพ์ เลือกมาตราส่วน ชนิดของเส้นโครงแผนที่ วิเคราะห์เนื้อหาแผนที่ และเลือกสัญลักษณ์ให้เหมาะสมกับวัตถุประสงค์แผนที่ จากนั้นจึงจัดวางองค์ประกอบแผนที่ เช่น เนื้อหาแผนที่ ชื่อหลัก ชื่อรอง สัญลักษณ์ทิศทาง โดยใช้หลักเกณฑ์ตามหลักการออกแบบแผนที่ เมื่อออกแบบเรียบร้อยแล้วให้จัดพิมพ์ต้นร่างเพื่อตรวจสอบความสมบูรณ์ในการออกแบบ และควรเสนอต่อผู้ใช้แผนที่ให้ร่วมตรวจสอบด้วย

บรรณานุกรม

ธวัช บุรีรักษ์, และบัญชา คูเจริญไพบูลย์. (ม.ป.ป.). **การแปลความหมายในแผนที่และภาพถ่ายทางอากาศ**. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์อักษรวัฒนา.

ภาควิชาภูมิศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. (2520). **แผนที่และภาพถ่ายทางอากาศเบื้องต้น**. เชียงใหม่: [ม.ป.พ.].

ราชบัณฑิตยสถาน. (2545). **อักขรานุกรมภูมิศาสตร์ไทย เล่ม 1**. [ม.ป.ท.: ม.ป.พ.].

ราชบัณฑิตยสถาน. (2549). **พจนานุกรมศัพท์ภูมิศาสตร์**. [ม.ป.ท.: ม.ป.พ.].

ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ. (2543). **แบบตัวพิมพ์ไทย**. กรุงเทพฯ: สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ.

สวัสดิ์ เกรียงไกรเพชร. (2533). **เส้นโครงแผนที่**. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

Dent, B.D. (1999). **Cartography: Thematic map design**. 5th edition. Boston: WCB/ McGraw-Hill.

Getis, A., Getis, J. and Fellmann J.D. (2000). **Introduction to geography**. 7th edition. Boston, Massachusetts: WCB McGraw-Hill.

Madej, Ed. (2000). **Cartographic design using ArcView GIS**. Albany, New York: OnWord Press.

Mitrano, P. (2005). **"Sémiologie graphique"**. Retrieved August 1, 2005, from http://www.sciences-po.fr/ cartographie /semio/index_theorie.html.

Monmonier, M.S. (1993). **Mapping it out: Expository cartography for the humanities and social sciences**. Chicago: University of Chicago Press.

Muehrcke, P.C., and Muehrcke J.O. (1992). **Map use: Reading, analysis and interpretation**. 3rd edition. Madison, WI: JP Publications.

Robinson, A.H., Morrison, J.L., Muehrcke, P.C., Kimerling, A.J., and Guptill, S.C. (1995). **Elements of cartography**. 6th edition. New York: John Wiley & Sons.

Slocum, T.A., McMaster, R.B., Kessler, F.C., and Howard, H.H. (2005). **Thematic cartography and geographic visualization**. 2nd edition. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.

Strahler, A.N. (1969). **Physical geography**. Singapore: Tappan Printing Co.

บทที่ 3

การรับรู้จากระยะไกล (Remote Sensing : RS)

1. พื้นฐานการรับรู้จากระยะไกล

1.1 ความหมายของการรับรู้จากระยะไกล

Remote Sensing ในภาษาไทยมีคำแปลที่ใช้กันอยู่หลายคำ ได้แก่ “การรับรู้จากระยะไกล” “การสำรวจข้อมูลจากระยะไกล” “โทรสัมผัส” และ “โทรนิทัศน์” เป็นต้น โดยราชบัณฑิตยสถานใช้คำว่า “การรับรู้จากระยะไกล”

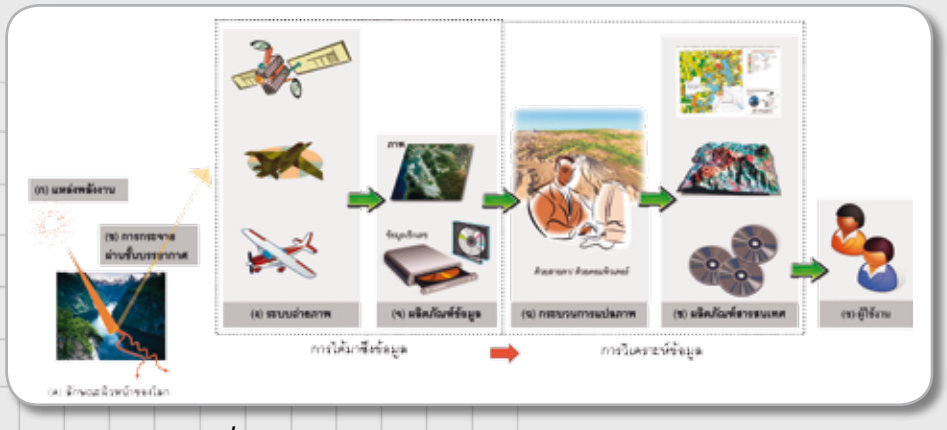
การรับรู้จากระยะไกล เป็นวิทยาศาสตร์และศิลปะของการได้มาซึ่งข้อมูลเกี่ยวกับวัตถุ พื้นที่ และปรากฏการณ์บนพื้นโลก จากเครื่องรับรู้ (Sensor) โดยปราศจากการเข้าไปสัมผัสวัตถุเป้าหมาย ทั้งนี้อาศัยพลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic energy) เป็นสื่อในการได้มาของข้อมูลซึ่งมีคุณสมบัติ 3 ประการ คือ ลักษณะการสะท้อนช่วงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Spectral characteristics) ลักษณะเชิงพื้นที่ของวัตถุบนพื้นผิวโลก (Spatial characteristics) และลักษณะการเปลี่ยนแปลงของวัตถุตามช่วงเวลา (Temporal characteristics)

1.2 กระบวนการและองค์ประกอบการรับรู้จากระยะไกล (Processes and elements of remote sensing)

กระบวนการและองค์ประกอบการรับรู้จากระยะไกลประกอบด้วย ดังแสดงภาพที่ 3.1

1.2.1 การได้มาซึ่งข้อมูล (Data acquisition) โดยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิดพลังงาน เช่น ดวงอาทิตย์ (ก) เคลื่อนที่ผ่านชั้นบรรยากาศ (ข) เกิดปฏิสัมพันธ์ของพลังงานกับรูปลักษณ์พื้นผิวโลก (ค) และเดินทางเข้าสู่เครื่องรับรู้ที่ติดตั้งในตัวยาน ได้แก่ เครื่องบิน ยานอวกาศ และดาวเทียม (ง) ถูกบันทึก และผลิตเป็นข้อมูลในรูปแบบภาพ (Pictorial หรือ Photograph) และ/หรือรูปแบบเชิงเลข (Digital form) (จ)

1.2.2 การวิเคราะห์ข้อมูล (Data analysis) ประกอบด้วย การแปลตีความข้อมูลด้วยสายตา (Visual interpretation) และการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงเลข (Digital analysis) (ฉ) โดยมีข้อมูลอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องประกอบด้วยข้อมูลอ้างอิงต่างๆ เช่น แผนที่ดิน ข้อมูลปฏิทินและสถิติการปลูกพืช และอื่นๆ ได้ผลิตผล (ช) ของการแปลตีความในรูปแบบแผนที่ ข้อมูลเชิงเลข ตาราง คำอธิบาย หรือแผนภูมิ เป็นต้น เพื่อใช้ประโยชน์ต่อไป (ช)



ภาพที่ 3.1 กระบวนการและองค์ประกอบการรับรู้จากระยะไกล

1.3 แหล่งพลังงานและหลักการแผ่รังสี (Energy sources and radiation principle)

1.3.1 ความยาวคลื่น

ความยาวคลื่นของพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (ภาพที่ 3.2) เป็นพลังงานต่อเนื่องที่มีค่าความยาวของช่วงคลื่นหลายเมตรถึงเศษส่วนของพันล้านเมตร (Nanometer; 10^{-9} เมตร) โดยดวงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดพลังงานในรูปแม่เหล็กไฟฟ้าทางธรรมชาติที่สำคัญและเป็นหลักทางการรับรู้จากระยะไกล ซึ่งจะแผ่พลังงานไปตามทฤษฎีของการแผ่พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic theory) แยกออกเป็นทฤษฎีคลื่น (Wave theory) และทฤษฎีอนุภาค (Particle theory) ซึ่งในทางการรับรู้จากระยะไกลจะใช้ทฤษฎีคลื่นเป็นหลักที่มีการเคลื่อนที่แบบฮาร์โมนิค (Harmonic motion) มีช่วงซ้ำและจังหวะเท่ากันในเวลาหนึ่งมีความเร็วเท่าความเร็วแสง (c) ระยะทางจากยอดคลื่นถึงยอดคลื่นถัดไปเรียกว่าความยาวคลื่น (λ) และจำนวนยอดคลื่นที่เคลื่อนผ่านจุดคงที่จุดหนึ่งต่อหน่วยเวลาเรียกว่า ความถี่คลื่น (f) ซึ่งมีความสัมพันธ์ กับความเร็วคลื่น คือ

$$\lambda = c/f$$

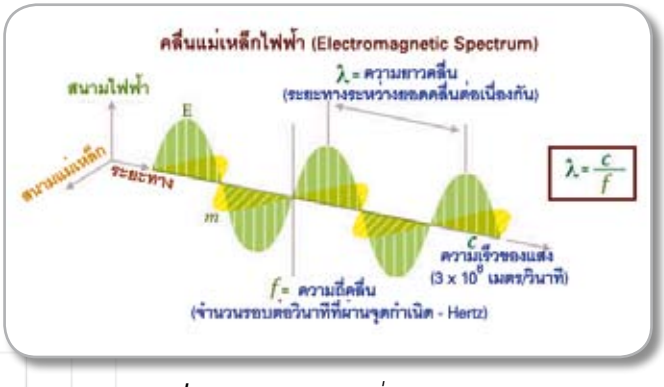
โดยที่ λ = ความยาวคลื่น
c = ความเร็วของคลื่นมีค่าคงที่ 3 x 10^8 เมตร/วินาที
f = ความถี่คลื่น จำนวนรอบต่อวินาที (cycle/sec หรือ hertz)

จากสมการความยาวคลื่นกับความถี่คลื่น มีความสัมพันธ์กันแบบผกผัน คือ ความยาวคลื่นมากความถี่คลื่นจะน้อย ความยาวคลื่นมีหน่วยวัดเรียกว่า ไมโครเมตร (Micrometer) หรือไมครอน (Micron, μ) ซึ่งเท่ากับ 0.000001 เมตร หรือ 10^{-6} เมตร มีรายละเอียดของความยาวคลื่นในมาตราเมตริกดังตารางที่ 3.1

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (ตารางที่ 3.2) แบ่งตามความยาวคลื่นที่เรียกว่า ช่วงคลื่น (Band) ตั้งแต่ช่วงคลื่นที่สั้นที่สุด คือ รังสีคอสมิก (Cosmic rays) มีความยาวช่วงคลื่นน้อยกว่า 10^{-10} เมตร จนถึงช่วงคลื่นวิทยุที่มีความยาวคลื่นหลายกิโลเมตร สำหรับคุณสมบัติของช่วงคลื่น ประกอบด้วยช่วงคลื่นตามลำดับความยาวดังนี้ รังสีแกมมา รังสีเอกซ์ อัลตราไวโอเลต ช่วงคลื่นตามองเห็น อินฟราเรด ไมโครเวฟ และคลื่นวิทยุ (ภาพที่ 3.3)

ตารางที่ 3.1 หน่วยวัดความยาวคลื่นในมาตราเมตริก

หน่วย	ความยาว
กิโลเมตร (km)	1,000 m
เมตร (m)	1.0 m
เซนติเมตร (cm)	0.01 m = 10^{-2}
มิลลิเมตร (mm)	0.001 m = 10^{-3}
ไมโครเมตร (μm)	0.000001 m = 10^{-6}
นาโนเมตร (nm)	10^{-9}
อังสตรอม (A°)	10^{-10}



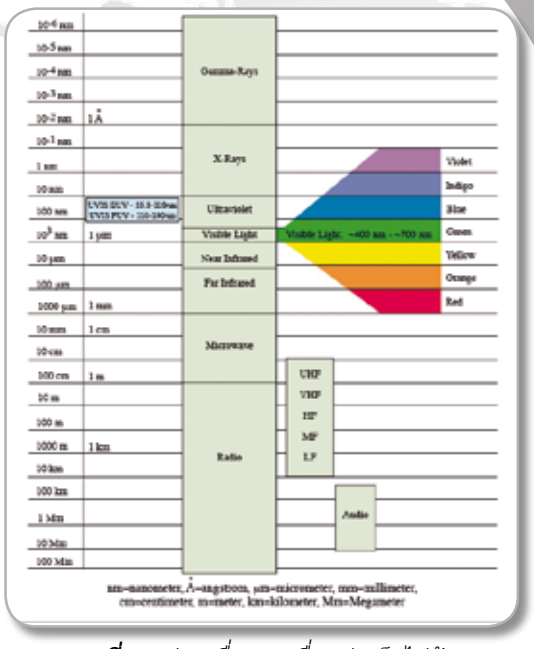
***ภาพที่** 3.2 ลักษณะของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic spectrum)*

ช่วงคลื่นที่ใช้ประกอบในการรับรู้จากระยะไกล แบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

1) ช่วงคลื่นเชิงแสง (Optical wavelength) อยู่ระหว่าง 0.4-14 ไมโครเมตร สามารถถ่ายภาพและบันทึกภาพด้วยฟิล์มถ่ายรูป และเครื่องรับรู้ ประกอบไปด้วย ช่วงคลื่นที่มีผลตอบสนองต่อตาของมนุษย์ หรือช่วงคลื่นตามองเห็น (Visible light) อยู่ระหว่าง 0.4-0.7 ไมโครเมตร แบ่งเป็น 3 ช่วงคือ น้ำเงิน เขียว และแดง ถัดมาเป็นช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (Near infrared) หรืออินฟราเรดสะท้อนซึ่งอยู่ระหว่าง 0.7-3 ไมโครเมตร และอินฟราเรดความร้อน (Thermal infrared) ระหว่าง 3-15 ไมโครเมตร

2) ช่วงคลื่นไมโครเวฟ

อยู่ระหว่าง 1 มิลลิเมตรถึง 1 เมตร โดยช่วงคลื่นในกลุ่มนี้ มักนิยมเรียกหน่วยนับเป็นหน่วยความถี่ ต่างจากกลุ่มช่วงคลื่นเชิงแสงที่มีหน่วยเป็นความยาวคลื่น ที่รู้จักกันดีก็คือระบบเรดาร์ ซึ่งจะทำการบันทึกข้อมูลในช่วงคลื่นความถี่ระหว่าง 3-12.5 GHz (ความยาวคลื่นระหว่าง 2.4-100 เซนติเมตร) นิยมใช้ตัวอักษรบอกช่วงคลื่น แบ่งเป็นช่วงคลื่นต่างๆ ได้ดังนี้



ภาพที่ 3.3 *ช่วงคลื่นของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า*

ช่วงคลื่นK	ความถี่	12.5 - 40	GHz	หรือ ความยาวคลื่น	0.70 - 2.4	เซนติเมตร
ช่วงคลื่นX	ความถี่	8 - 12.5	GHz	หรือ ความยาวคลื่น	2.4 - 3.75	เซนติเมตร
ช่วงคลื่นC	ความถี่	4 - 8	GHz	หรือ ความยาวคลื่น	3.75 - 7.5	เซนติเมตร
ช่วงคลื่นS	ความถี่	2 - 4	GHz	หรือ ความยาวคลื่น	7.5 - 15	เซนติเมตร
ช่วงคลื่น L	ความถี่	1 - 2	GHz	หรือ ความยาวคลื่น	15 - 30	เซนติเมตร
ช่วงคลื่นP	ความถี่	0.3 - 1	GHz	หรือ ความยาวคลื่น	30 - 100	เซนติเมตร

ตารางที่ 3.2 ช่วงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และคุณสมบัติ

ช่วงคลื่น	ความยาวคลื่น	รายละเอียด
รังสีแกมม่า (Gamma ray)	< 0.03 ไมโครเมตร	รังสีแกมม่าถูกดูดซึมทั้งหมดโดยบรรยากาศชั้นบน
รังสีเอกซ์ (X-ray)	0.03-3.1 ไมโครเมตร	รังสีเอกซเรย์ถูกดูดซึมทั้งหมดโดยชั้นบรรยากาศเช่นกัน
รังสีเหนือม่วง หรือ รังสีอัลตราไวโอเลต	0.03-0.4 ไมโครเมตร	ช่วงคลื่นสั้นกว่า 0.3 ไมโครเมตร ถูกดูดซึมทั้งหมดโดยโอโซน (O_3) ในบรรยากาศชั้นบน
ช่วงคลื่นไวโอเลตภาพถ่าย (Photographic UV band)	0.3-0.4 ไมโครเมตร	ช่วงคลื่นสามารถผ่านชั้นบรรยากาศ สามารถถ่ายภาพด้วยฟิล์มถ่ายรูป แต่การกระจายในชั้นบรรยากาศเป็นอุปสรรคมาก
ช่วงคลื่นตามองเห็นได้	0.4-0.7 ไมโครเมตร	บันทึกภาพด้วยฟิล์มและอุปกรณ์บันทึกภาพได้รวมทั้งช่วงคลื่นโลกมีการสะท้อนพลังงานสูงสุด (Reflected energy peak) ที่ 0.5 ไมครอน ช่วงคลื่นแคบที่มีผลตอบสนองสายตามนุษย์แบ่งได้ 3 ช่วงคือ 0.4-0.5 ไมโครเมตร (สีน้ำเงิน) 0.5-0.6 ไมโครเมตร (สีเขียว) 0.6-0.7 ไมโครเมตร (สีแดง)

ตารางที่ 3.2 ช่วงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และคุณสมบัติ (ต่อ)

ช่วงคลื่น	ความยาวคลื่น	รายละเอียด
อินฟราเรด	0.7-1.00 ไมโครเมตร	มีปฏิสัมพันธ์กับวัตถุตามความยาวคลื่นและการผ่านชั้นบรรยากาศ มีการดูดซึมในบางช่วงคลื่น
ช่วงคลื่นอินฟราเรดชนิดสะท้อน (Reflected IR band)	0.7-3.0 ไมโครเมตร	สะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ ซึ่งไม่มีรายละเอียดเกี่ยวกับช่วงความร้อนของวัตถุช่วงคลื่น 0.7-0.9 ไมโครเมตร สามารถถ่ายรูปด้วยฟิล์ม เรียกว่า ช่วงคลื่นอินฟราเรด (Photographic IR band)
ช่วงคลื่นอินฟราเรดความร้อน	3-5 ไมโครเมตร 8-14 ไมโครเมตร	การบันทึกภาพต้องใช้อุปกรณ์พิเศษ เช่น เครื่องกวาดภาพ
ไมโครเวฟ	0.1-30 เซนติเมตร	ช่วงคลื่นยาวสามารถทะลุผ่านหมอกและฝนได้ บันทึกภาพได้ทั้งระบบเอ็กทิฟและระบบแพสซิฟ
เรดาร์	0.1-3.0 เซนติเมตร	ระบบแอ็กทิฟมีความยาวช่วงคลื่นต่างๆ เช่น Ka band (10 mm), X band (30 มิลลิเมตร) และ L band (25 เซนติเมตร)
วิทยุ (Radio)	> 30 เซนติเมตร	ช่วงคลื่นที่ยาวที่สุด บางครั้งมีเรดาร์อยู่ในช่วงนี้ด้วย

1.3.2 การแผ่รังสีของพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า

การแผ่รังสีของพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า สามารถอธิบายด้วยทฤษฎีอนุภาค กล่าวคือการแผ่รังสีของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ประกอบด้วยหน่วยอิสระที่เรียกว่าโฟตอน (Photon) หรือควอนตัม (Quantum) พลังงานของแต่ละควอนตัมจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความถี่ของคลื่น ดังนี้

$$E = hf$$

โดยที่ E = พลังงานของ 1 ควอนตัม มีหน่วยเป็น จูล (Joules)
h = ค่าคงที่ของพลังค์ (Planck's constant) = 6.626×10^{-34} J.sec
f = ค่าความถี่ของคลื่น

หรืออาจจะเปลี่ยนให้อยู่ในรูปความยาวคลื่นได้ดังนี้ $E = {}^{hc}/\lambda$

ดังนั้นพลังงานจะเป็นสัดส่วนผกผันกับความยาวคลื่น คือ ความยาวคลื่นมากจะให้พลังงานต่ำ ถ้าวัตถุใดส่งพลังงานช่วงคลื่นยาว เช่น ไมโครเวฟ การตรวจรับพลังงานโดยอุปกรณ์ทางการรับรู้จากระยะไกลที่ช่วงคลื่นนี้จะยากกว่าการตรวจรับพลังงานที่ช่วงคลื่นสั้น ถ้าต้องการบันทึกพลังงานช่วงคลื่นยาวจะต้องบันทึกพลังงานในบริเวณกว้างและใช้เวลาในการบันทึกนาน

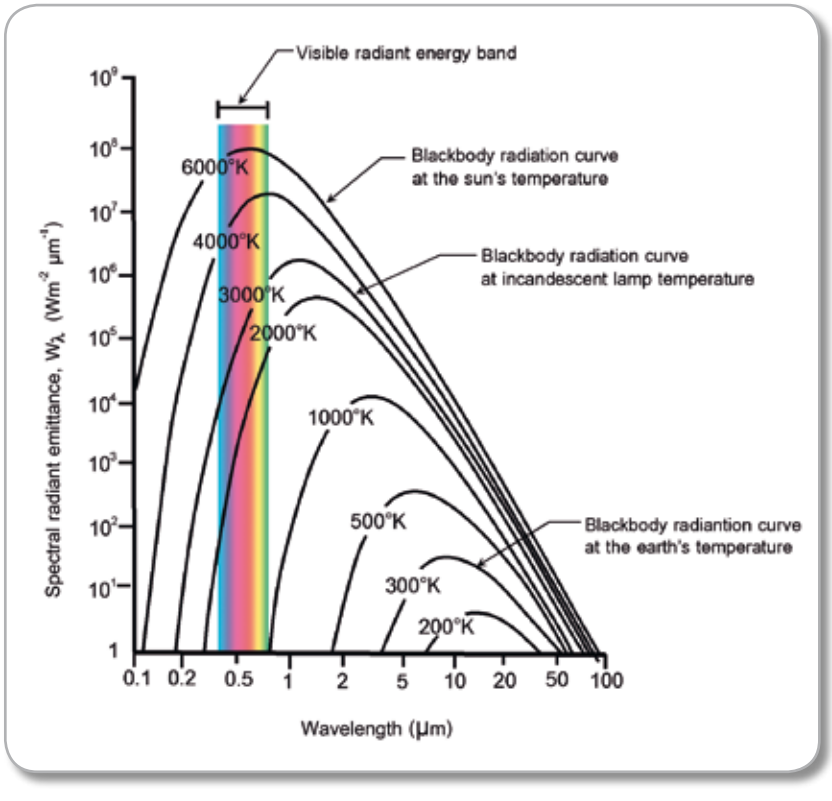
ดวงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าที่สำคัญที่สุดของการรับรู้จากระยะไกล อย่างไรก็ตาม สสารทุกชนิดที่มีอุณหภูมิสูงกว่าองศาสัมบูรณ์ (0 K หรือ -273˚C) สามารถเปล่งพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่อง โดยมีขนาดและส่วนประกอบของช่วงคลื่นแตกต่างกันไป ซึ่งพลังงานที่วัตถุแผ่ออกมามากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของผิววัตถุ สามารถคำนวณได้จากกฎของ Stefan Boltzmann ดังนี้

$$W = \sigma T^4$$

โดยที่ W = พลังงานทั้งหมดที่เปล่งออกมาจากผิววัตถุ Wm^{-2}
σ = ค่าคงที่ Stefan-Boltzmann ; 5.6697×10^{-8} Wm^{-2} K^{-4}
T = อุณหภูมิของวัตถุ (K)

การแผ่พลังงานทั้งหมดจากวัตถุเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอุณหภูมิยกกำลัง 4 เห็นได้ว่าพลังงานที่ออกมาจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น กฎนี้ใช้ได้กับวัตถุที่มีลักษณะเรียกว่า ***"เทหวัตถุสีดำ** (Black body)"* ซึ่งเป็นวัตถุสมมติที่มีคุณสมบัติในการดูดกลืนพลังงานทั้งหมดที่มาตกกระทบ (Incident energy) และแผ่พลังงานออกไปได้สูงสุด ณ อุณหภูมิต่างๆ ซึ่งในความเป็นจริงไม่มีวัตถุใดที่มีคุณสมบัติแบบนี้ มีเพียงใกล้เคียงเท่านั้น โดยพลังงานที่แผ่ออกไปจะแปรผันกับอุณหภูมิของวัตถุและความยาวคลื่น

พลังงานที่แผ่ออกไปจะแปรผันกับอุณหภูมิของวัตถุและพลังงานนี้จะมีการกระจายของสเปกตรัมแตกต่างกันไปด้วย หรือมีสัดส่วนของสเปกตรัมแปรผันไปกับอุณหภูมิของวัตถุ ภาพที่ 3.4 แสดงความสัมพันธ์ของความยาวคลื่นกับพลังงานทั้งหมดที่เปล่งออกมาจากผิววัตถุ และพลังงานสูงสุดของวัตถุ การกระจายของสเปกตรัมตั้งแต่อุณหภูมิจาก 200° K ถึง 6,000° K ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นกับพลังงานที่แผ่รังสีออกมาต่อ 1 ไมโครเมตร ของช่วงคลื่น ซึ่งมีหน่วยเป็น Wm^{-2} μm^{-1} ดังนั้น พื้นที่ใต้เส้นโค้งจะเป็นพลังงานที่แผ่ออกมาทั้งหมด จะเห็นได้ว่าวัตถุหรือตัวแผ่รังสีที่มีอุณหภูมิสูงให้พลังงานทั้งหมดออกมาสูงกว่า จากภาพดังกล่าวพบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจุดยอดจะเอียงไปทางด้านที่มีความยาวคลื่นสั้น



***ภาพที่** 3.4 การกระจายของสเปกตรัมของการแผ่รังสีจากเทหวัตถุสีดำกับอุณหภูมิต่างๆ*

อย่างไรก็ตาม สามารถคำนวณหาพลังงานต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่สำหรับความยาวคลื่นหนึ่งๆ ที่กำหนดจาก ***กฎของพลังค์*** ดังนี้

$$W_\lambda = c_1 \lambda^{-5} \left[\exp\left[\frac{c_2}{\lambda T} \right] - 1 \right]^{-1}$$

โดยที่ C1 ค่าคงที่ = 3.74×10^{-16} $W.m^2$

C2 ค่าคงที่ = 1.44×10^{-2} m.K

T = อุณหภูมิ (K)

W_λ = พลังงานที่ความยาวคลื่น λ

เห็นได้ว่าพลังงานที่แผ่รังสีออกมาแปรผันไปตามอุณหภูมิ และความยาวช่วงคลื่น ดังนั้นเมื่อทราบอุณหภูมิก็สามารถคำนวณหาความยาวคลื่นที่ให้พลังงานสูงสุดได้จาก ***กฎการแทนที่ของเวียน*** *(Wien's displacementl law)* ดังนี้

$$\lambda_m = c/T$$

โดยที่ λ_m = ความยาวคลื่นที่จะให้พลังงานสูงสุด
C = ค่าคงที่ 2.898×10^{-3} m.K

ตัวอย่างที่ 1 ที่พื้นผิวโลก มีอุณหภูมิ 300˚K ดังนั้น

λ_m = $(2.898 \times 10^{-3})/ 300$ m
= 9.66×10^{-6} m
= 9.66 ไมโครเมตร (ช่วงคลื่น Thermal infrared) หรือประมาณ 10 ไมโครเมตร

ตัวอย่างที่ 2 ดวงอาทิตย์ มีอุณหภูมิ 6,000˚K ดังนั้น

λ_m = $(2.898 \times 10^{-3}) / 6{,}000$ m
= 0.483×10^{-6} m
= 0.483 ไมโครเมตรหรือ ประมาณ 0.5 ไมโครเมตร (ช่วงคลื่นน้ำเงิน- เขียว)

ดังนั้นอุณหภูมิของพื้นผิวโลก (พืช ดิน และน้ำ) ประมาณ 300˚K มีพลังงานที่แผ่ออกมาสูงสุดเกิดขึ้นที่ความยาวคลื่นประมาณ 10 ไมโครเมตร หรือที่ช่วงคลื่นอินฟราเรดความร้อน เนื่องจากการแผ่รังสีออกมามีความสัมพันธ์กับความร้อนของพื้นผิวโลก จึงนิยมเรียกรังสีที่แผ่ออกมานี้ว่า พลังงานอินฟราเรดความร้อน (Thermal infrared energy) พลังงานนี้ไม่สามารถตรวจวัดได้ด้วยการบันทึกด้วยกล้องถ่ายรูปที่ใช้ฟิล์มทั่วๆ ไปแต่สามารถบันทึกด้วยเครื่องมือพิเศษ เช่น เรดิโอมิเตอร์ (Radiometer) หรือ เครื่องกวาดภาพ ดวงอาทิตย์มีพลังงานที่แผ่ออกมาสูงสุดที่ความยาวคลื่นประมาณ 0.5 ไมโครเมตร ตาของมนุษย์และฟิล์มถ่ายรูปทั่วไปไวต่อพลังงานในช่วงคลื่นขนาดนี้ ดังนั้นเมื่อดวงอาทิตย์ขึ้นเราสามารถมองเห็นพื้นผิวโลก เนื่องจากการสะท้อนของพลังแสงอาทิตย์ พลังงานที่ความยาวคลื่นที่ยาวกว่านี้จะแผ่รังสีออกจากพื้นโลกเช่นกัน แต่สามารถสังเกตหรือตรวจวัดได้ด้วยระบบอื่นที่ไม่ใช่ฟิล์มถ่ายรูปทั่วๆ ไป ดังกล่าวมาแล้ว การแบ่งขอบเขตระหว่างช่วงคลื่นอินฟราเรดสะท้อนกับอินฟราเรดความร้อนที่แผ่รังสีออกมาจากวัตถุประมาณ 3 ไมโครเมตร (ความยาวคลื่นต่ำกว่านี้ จะมีอินฟราเรดสะท้อนเป็นส่วนใหญ่ หากสูงกว่านี้จะเป็นอินฟราเรดที่แผ่ออกจากวัตถุเอง)

โดยทั่วไปแล้วระบบการรับรู้ (Sensing system) ที่สามารถตรวจวัดพลังงานที่สะท้อนจากวัตถุและแผ่รังสีออกมาโดยธรรมชาติเรียกว่า **ระบบแพสซิฟ** ไม่ว่าจะอาศัยดวงอาทิตย์ หรือเป็นพลังงานที่แผ่รังสีจากตัวเอง ส่วนระบบการรับรู้ที่มีแหล่งพลังงานที่สร้างขึ้นและส่งไปยังวัตถุเป้าหมายเรียกว่า **ระบบแอ็กทิฟ** เช่น ระบบเรดาร์ ต้องส่งพลังงานที่สังเคราะห์ขึ้นไปกระทบวัตถุเป้าหมาย แล้วตรวจหา (Detect) พลังงานที่กระจัดกระจายกลับ (Backscatter)

1.4 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างพลังงานในชั้นบรรยากาศ (Energy interactions in the atmosphere)

คลื่นพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศ แล้วสะท้อนกลับสู่บรรยากาศก่อนที่จะถูกตรวจหาโดยเครื่องรับรู้ บรรยากาศของโลกทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของคลื่นพลังงานในด้านทิศทาง ความเข้ม ตลอดจนความยาวและความถี่ของช่วงคลื่นเพราะชั้นบรรยากาศ ประกอบด้วย ฝุ่นละออง ไอน้ำ และก๊าซต่างๆ ทำให้เกิดปฏิกิริยากับคลื่นพลังงาน 3 กระบวนการคือ การกระจัดกระจาย (Scattering) การดูดกลืน (Absorption) และการหักเห (Refraction) ทำให้ปริมาณพลังงานตกกระทบผิวโลกน้อยลง

1.4.1 การกระจัดกระจาย เกิดขึ้นเนื่องจากอนุภาคเล็กๆ ในบรรยากาศมีทิศทางการกระจายไม่แน่นอน ขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาค และความยาวคลื่น ซึ่งแยกได้ 3 ประเภท ดังนี้

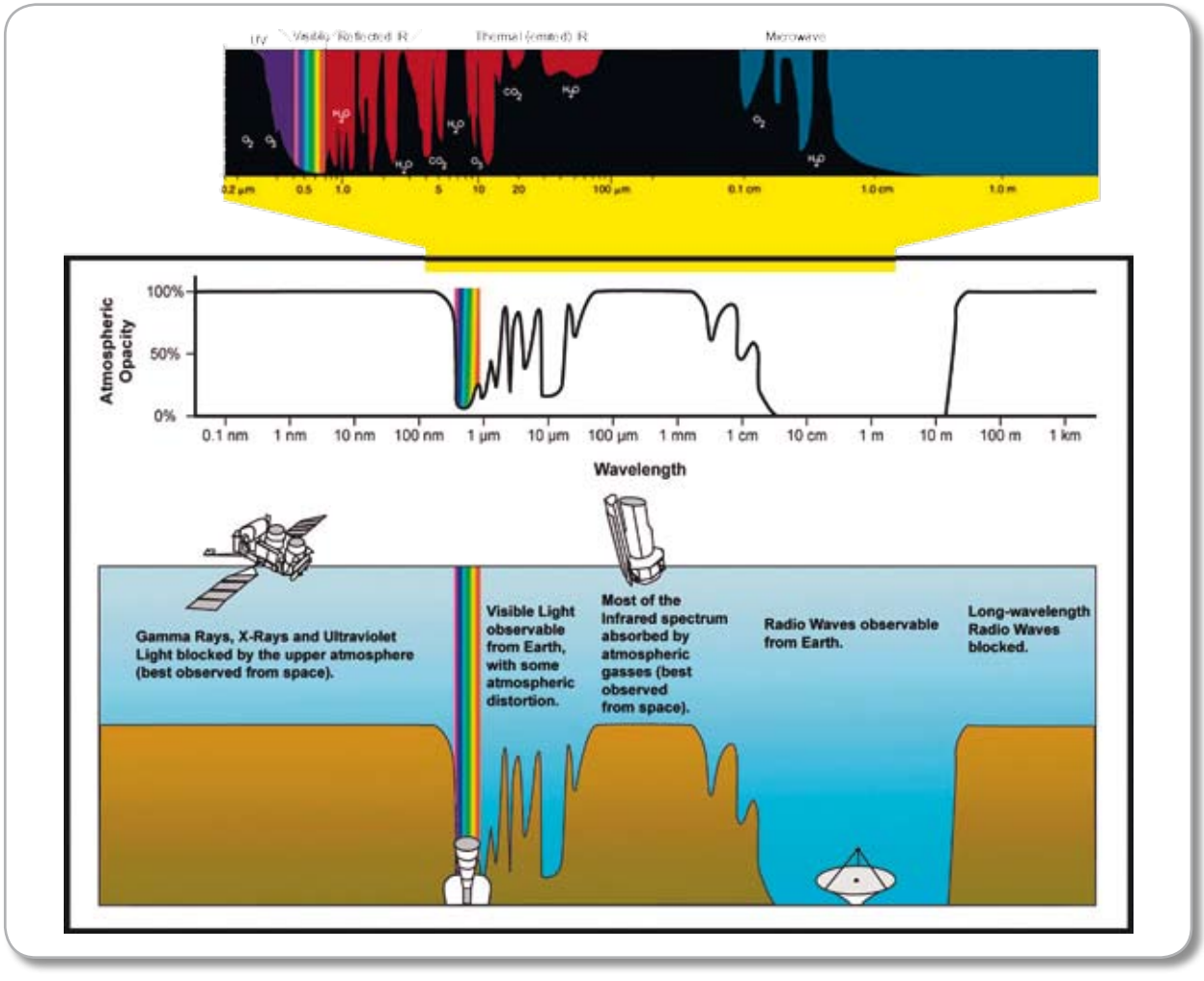
- การกระจัดกระจายแบบเรย์ลี เกิดขึ้นเนื่องจากขนาดของอนุภาคมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กกว่าความยาวคลื่นที่ตกกระทบ ทำให้เกิดสภาวะหมอกแดด (Haze) ส่งผลให้ความคมชัดของภาพลดลง

- การกระจัดกระจายแบบมี เกิดขึ้นเมื่อขนาดของอนุภาคมีขนาดใกล้เคียงกับความยาวคลื่น เช่น ไอน้ำ ฝุ่นละออง เกิดในความยาวของช่วงคลื่นยาวกว่าแบบเรย์ลี

- การกระจัดกระจายแบบไม่เจาะจง เกิดขึ้นเมื่อเส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาคมีขนาดใหญ่กว่าความยาวคลื่นที่ตกกระทบ เช่น หยดน้ำ หรือเมฆ โดยทั่วไปมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางอนุภาค 5-10 ไมโครเมตร จะสะท้อนความยาวคลื่นตามองเห็น และคลื่นอินฟราเรดสะท้อนได้เกือบเท่ากัน ซึ่งในช่วงความยาวคลื่นตามองเห็นปริมาณของคลื่นต่างๆ เช่น น้ำเงิน เขียว แดง และช่วงคลื่นสะท้อน ทุกทิศทางเท่ากันทำให้มองเห็นเมฆเป็นสีขาว

1.4.2 การดูดกลืน ทำให้เกิดการสูญเสียพลังงาน การดูดกลืนพลังงานเกิดขึ้นที่ความยาวของคลื่นบางช่วง ในบรรยากาศ สสารที่เป็นตัวการดูดกลืน ได้แก่ ไอน้ำ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และโอโซน เนื่องจากสสารเหล่านี้ดูดกลืนพลังงานที่มีความยาวคลื่นเฉพาะ ดังนั้นจะมีบางช่วงคลื่นที่สามารถทะลุทะลวงผ่านชั้นบรรยากาศลงมาที่ผิวโลกได้เรียกว่า หน้าต่างบรรยากาศ (Atmospheric window) ดังแสดงในภาพที่ 3.5 ซึ่งมีหน้าต่างบรรยากาศในช่วงความยาวคลื่นตามองเห็น (0.3-0.7 ไมโครเมตร) และช่วงคลื่นอินฟราเรดสะท้อน ช่วงคลื่นอินฟราเรดความร้อน ช่วงของหน้าต่างบรรยากาศเหล่านี้มีประโยชน์ต่อการพัฒนาเลือกระบบอุปกรณ์รับรู้ที่สัมพันธ์กับการสะท้อนของช่วงคลื่นต่างๆ

1.4.3 การหักเห เกิดขึ้นเมื่อแสงเดินทางผ่านบรรยากาศที่มีความหนาแน่นไม่เท่ากัน ซึ่งปริมาณการหักเหกำหนดโดยค่าดัชนีของการหักเหที่เป็นอัตราส่วนระหว่างความเร็วของแสงในสุญญากาศกับความเร็วของแสงในชั้นบรรยากาศ ทำให้ทิศทางของแสงเปลี่ยนไป อันมีผลต่อความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งที่ปรากฏบนภาพ แต่สามารถปรับแก้ไขได้โดยกระบวนการปรับแก้ภาพภายหลัง



***ภาพที่** 3.5 ช่วงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากับการทะลุทะลวงผ่านชั้นบรรยากาศสู่ผิวโลก*

1.5 ปฏิสัมพันธ์ของพลังงานกับรูปลักษณ์พื้นผิวโลก (Energy interactions with earth surface features)

เมื่อพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านชั้นบรรยากาศมาตกกระทบพื้นผิวโลก จะเกิดปฏิสัมพันธ์ 3 แบบ คือ การสะท้อนพลังงาน (Reflection) การดูดกลืนพลังงาน (Absorption) และการส่งผ่านพลังงาน (Transmission) อันเป็นปรากฏการณ์สำคัญในการรับรู้จากระยะไกลของวัตถุบนพื้นผิวโลก สามารถเขียนเป็นสมการความสมดุลพลังงาน (Energy balance equation) ได้ดังนี้

$$E_I(\lambda) = E_R(\lambda) + E_A(\lambda) + E_T(\lambda)$$

โดยที่ $E_I(\lambda)$ = พลังงานตกกระทบ (Incident energy) ที่ความยาวคลื่น λ

$E_R(\lambda)$ = พลังงานสะท้อน ที่ความยาวคลื่น λ

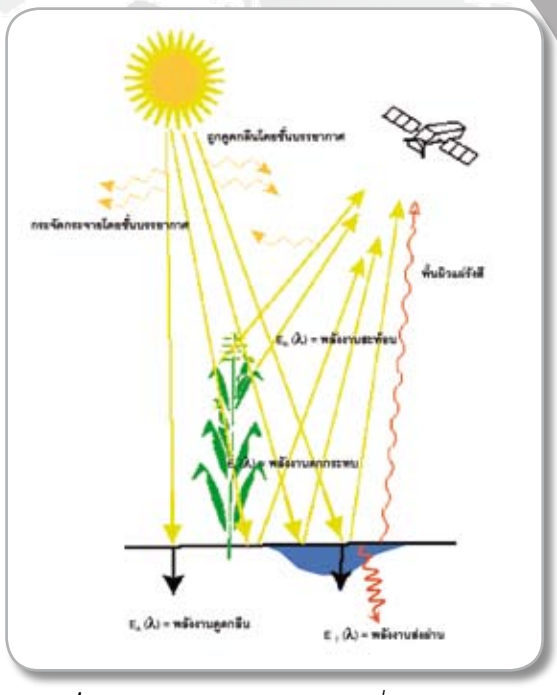
$E_A(\lambda)$ = พลังงานดูดกลืน ที่ความยาวคลื่น λ

$E_T(\lambda)$ = พลังงานส่งผ่าน ที่ความยาวคลื่น λ

ปฏิสัมพันธ์นี้แสดงในภาพที่ 3.6

สัดส่วนของการดูดกลืน การส่งผ่าน การสะท้อนพลังงานแตกต่างกันตามชนิดของสสาร ทำให้สามารถแยกชนิดของวัตถุในภาพถ่ายได้ นอกจากนี้ในวัตถุเดียวกันสัดส่วนของการเกิดปฏิสัมพันธ์ทั้งสามนี้แตกต่างกันตามความยาวของช่วงคลื่นที่ตกกระทบอีกด้วย วัตถุสองชนิดอาจไม่แตกต่างกันในช่วงคลื่นหนึ่ง แต่สามารถแยกจากกันได้ในอีกช่วงคลื่นหนึ่ง ในช่วงคลื่นสายตามองเห็นความแตกต่างกันทางด้านเชิงคลื่นรังสีของวัตถุจะแสดงให้เห็นในรูปของสีต่างๆ เช่น การที่เราเห็นวัตถุเป็นสีเขียวเนื่องจากวัตถุนั้นสะท้อนพลังงานในช่วงคลื่นสีเขียวมาก

เนื่องจากระบบบันทึกพลังงานส่วนใหญ่บันทึกพลังงานสะท้อน ดังนั้นการศึกษาเพื่อแยกชนิดของวัตถุจึงเป็นการศึกษาการสะท้อนพลังงานของวัตถุซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้



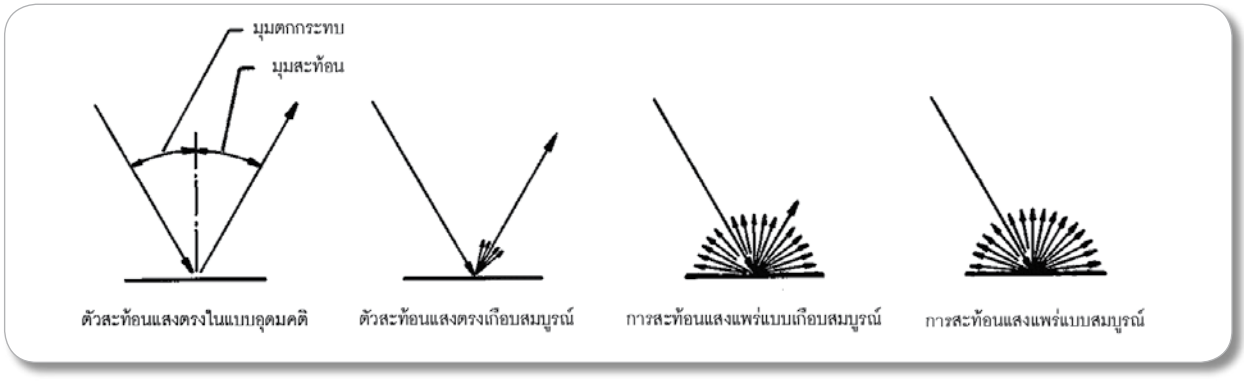
***ภาพที่** 3.6 ปฏิสัมพันธ์ของพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากับพื้นผิวโลก*

$$E_R(\lambda) = E_I(\lambda) - [E_A(\lambda) + E_T(\lambda)]$$

"พลังงานสะท้อนเท่ากับพลังงานตกกระทบวัตถุ ลบด้วยผลรวมของพลังงานดูดกลืนกับพลังงานส่งผ่าน"

ลักษณะพื้นผิวหน้าของวัตถุเป็นสิ่งสำคัญที่มีอิทธิพลต่อการสะท้อนพลังงานวัตถุที่มีพื้นหน้าเรียบมุมสะท้อนพลังงานจะเท่ากับมุมตกกระทบ เป็นลักษณะการสะท้อนแสงตรง (Specular reflectors) ส่วนวัตถุที่มีผิวหน้าขรุขระ การสะท้อนพลังงานจะไม่เป็นระเบียบ เรียกว่า การสะท้อนแสงแพร่ (Diffuse reflection หรือ Lambertian reflection) อย่างไรก็ตามวัตถุส่วนใหญ่มีลักษณะผสมผสานกันระหว่างสองลักษณะนี้ (ภาพที่ 3.7)

นอกจากลักษณะของพื้นผิววัตถุแล้วยังต้องคำนึงถึงความยาวของช่วงคลื่นที่ตกกระทบวัตถุด้วย ถ้าเป็นพลังงานช่วงคลื่นสั้นเมื่อเปรียบเทียบกับขนาดอนุภาคของวัตถุที่ประกอบเป็นผิวหน้าวัตถุ หรือความต่างระดับของผิวหน้าวัตถุ การสะท้อนแสงอาจเป็นแบบให้ลักษณะวัตถุพื้นผิวขรุขระได้ แต่ถ้าในวัตถุชนิดเดียวกันนี้ได้รับพลังงานตกกระทบในช่วงคลื่นยาว เมื่อเปรียบเทียบกับผิววัตถุ การสะท้อนแสงอาจเป็นแบบลักษณะของวัตถุที่มีพื้นผิวราบได้



***ภาพที่** 3.7 ลักษณะการสะท้อนพลังงานจากพื้นผิววัตถุเรียบ และขรุขระ*

ในการรับรู้จากระยะไกล เป็นการวัดสัดส่วนในการสะท้อนพลังงานของวัตถุบนผิวโลก ณ ช่วงคลื่นใดช่วงคลื่นหนึ่ง เรียกว่า ความสะท้อนเชิงสเปกตรัม (Spectral Reflectance) ซึ่งหาได้จากสมการ

$$\rho_{\lambda} = E_{\lambda}(\lambda) / E_{i}(\lambda)$$

โดยที่ ρ_{λ} = ความสะท้อนเชิงสเปกตรัม ที่ช่วงคลื่น λ
มักนิยมแสดงเป็นอัตราส่วน หรือร้อยละระหว่างพลังงานสะท้อนต่อพลังงานตกกระทบ

ดังนั้นพลังงานที่วัดได้โดยเครื่องรับรู้จึงประกอบด้วยพลังงานที่สะท้อนหรือแผ่จากพื้นผิววัตถุ พลังงานบางส่วนจากปฏิสัมพันธ์ในชั้นบรรยากาศ พลังงานที่สะท้อนกลับโดยตรงจากก้อนเมฆ ค่าที่วัดได้นี้จะน้อยหรือมาก หรือเปลี่ยนแปลงไปขึ้นอยู่กับสภาวะของบรรยากาศ มุมของดวงอาทิตย์ ตำแหน่งของเครื่องรับรู้ คุณสมบัติของวัตถุในการสะท้อน การดูดกลืน และการส่งผ่านพลังงาน

1.6 ความสะท้อนเชิงสเปกตรัมของพืชพรรณ ดิน และน้ำ (Spectral reflectance of vegetation, soil and water)

พืชพรรณ ดิน และน้ำ เป็นวัตถุปกคลุมผิวโลกเป็นส่วนใหญ่ การสะท้อนพลังงานที่ความยาวช่วงคลื่นต่างกันของพืชพรรณ ดิน และน้ำ ทำให้สามารถแยกประเภทของวัตถุชนิดต่างๆ ได้ โดยวัตถุทั้งสามชนิดหลักนี้มีรูปแบบการตอบสนองต่อช่วงคลื่นต่างๆ เฉพาะตัว เรียกว่า ลักษณะบ่งชี้เชิงสเปกตรัม (Spectral signature) (ภาพที่ 3.8) โดยที่ช่วงคลื่นเดียวกัน วัตถุต่างชนิดจะให้ค่าการสะท้อนพลังงานต่างกัน ขณะที่ความยาวช่วงคลื่นต่างกัน วัตถุชนิดเดียวกันจะมีความสะท้อนเชิงสเปกตรัมต่างกัน ความยาวช่วงคลื่นต่างกัน วัตถุต่างกันจะมีความสะท้อนเชิงสเปกตรัมต่างกัน ทำให้สามารถแยกชนิดของวัตถุได้

1.6.1 พืชพรรณ

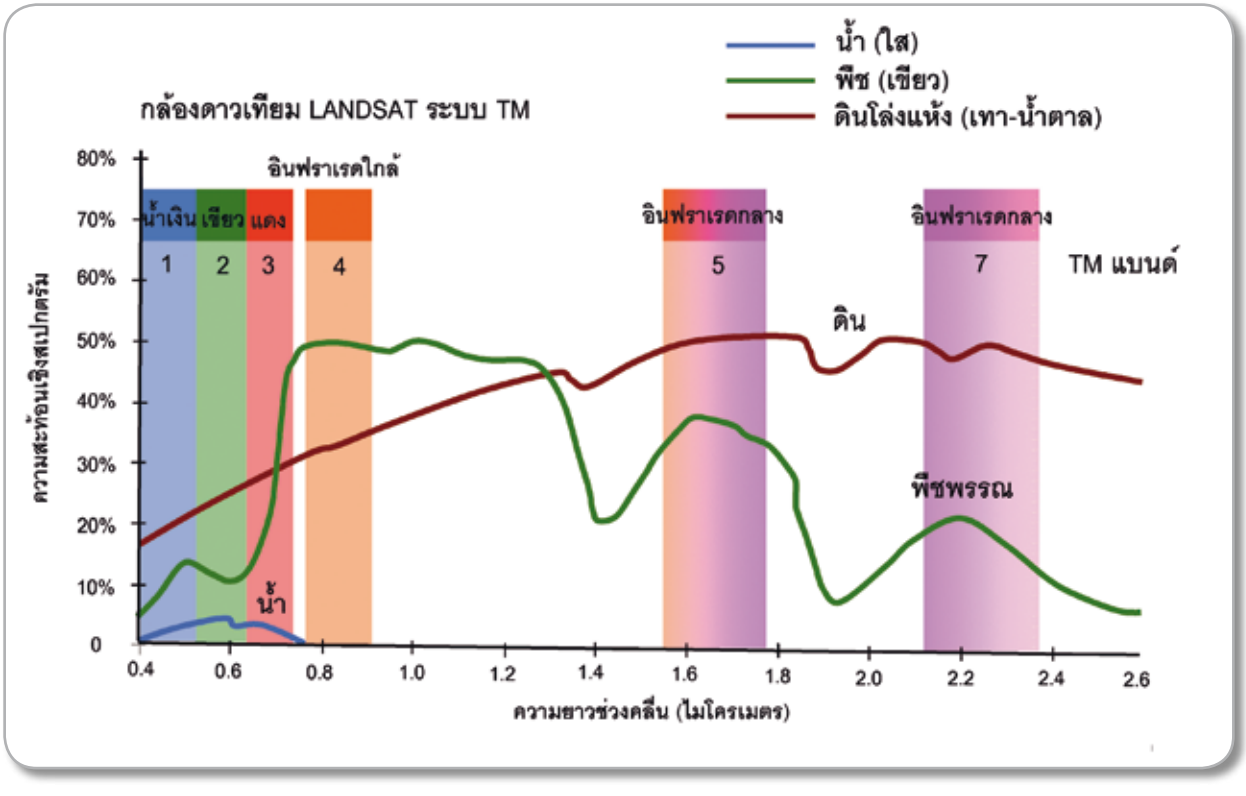
ในช่วงคลื่นสายตามองเห็น คลอโรฟิลล์ของใบพืชดูดกลืนพลังงานสีน้ำเงิน (0.4-0.5 ไมโครเมตร) และสีแดง (0.6-0.7 ไมโครเมตร) แต่สะท้อนพลังงานสีเขียว (0.5-0.6 ไมโครเมตร) ดังนั้นดวงตามนุษย์จึงมองเห็นใบพืชเป็นสีเขียว ถ้าใบพืชมีอาการผิดปกติ เช่น แห้ง หรือเหี่ยว ทำให้คลอโรฟิลล์ลดลงก็จะทำให้การสะท้อนที่คลื่นสีแดงสูงขึ้น ในช่วงคลื่นอินฟราเรดสะท้อน (0.7-1.3 ไมโครเมตร) การสะท้อนพลังงานของใบพืชสูงมาก คือ สะท้อนพลังงานประมาณร้อยละ 50 ของพลังงานที่ตกกระทบ ซึ่งลักษณะของการสะท้อนพลังงานนี้เป็นผลเนื่องมาจากโครงสร้างภายในใบของพืช (Cell structure) เนื่องจากพืชก็จะสามารถแยกชนิดจะมีลักษณะโครงสร้างภายในที่แตกต่างกัน ดังนั้นการสะท้อนพลังงานในช่วงนี้ก็จะสามารถแยกชนิดของพืชได้ แม้ว่าการสะท้อนพลังงานของพืชในช่วงคลื่นสายตามองเห็นได้จะใกล้เคียงกัน ในทำนองเดียวกันการสะท้อนพลังงานที่ความยาวคลื่นอินฟราเรดสะท้อนของพืชที่มีอาการผิดปกติทางใบ จะมีความแตกต่างไปจากการสะท้อนที่มีความยาวคลื่นเดียวกันของพืชที่สมบูรณ์กว่า ดังนั้นระบบการรับรู้จากระยะไกลสามารถบันทึกค่าสะท้อนของช่วงคลื่นนี้ได้ สามารถใช้สำรวจอาการผิดปกติของพืชได้ในช่วงคลื่นที่มีความยาวสูงกว่า 1.3 ไมโครเมตร พลังงานส่วนใหญ่จะถูกดูดกลืนหรือสะท้อนมีการส่งผ่านพลังงานน้อยมาก มักพบค่าต่ำลงที่ช่วงคลื่น 1.4 1.9 และ 2.7 ไมโครเมตร เพราะว่าในช่วงเหล่านี้น้ำในใบพืชจะดูดกลืนพลังงาน จึงเรียกว่า ช่วงคลื่นดูดกลืนน้ำ (Water absorption bands) ดังนั้นค่าการสะท้อนพลังงานของใบพืชจึงแปรผกผันกับปริมาณน้ำในใบพืชด้วย

1.6.2 ดิน

ความสัมพันธ์ระหว่างการสะท้อนพลังงานของดินกับความยาวคลื่นมีความแปรปรวนน้อย ปัจจัยหลักที่มีผลต่อการสะท้อนพลังงานของดิน คือ ความชื้นในดิน ปริมาณอินทรีย์วัตถุ เนื้อดิน ปริมาณเหล็กออกไซด์ และความขรุขระของผิวดิน ปัจจัยดังกล่าวมีความซับซ้อน และสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน เช่น ลักษณะเนื้อดิน มีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำในดิน ดินทรายหยาบมีการระบายน้ำดีจะสะท้อนพลังงานสูง ดินละเอียดมีการระบายน้ำเลวจะสะท้อนพลังงานต่ำ ดินที่มีอินทรีย์วัตถุสูงจะมีสีคล้ำ ดูดกลืนพลังงานสูงในช่วงคลื่นสายตามองเห็น เช่นเดียวกับดินที่มีเหล็กออกไซด์ในปริมาณสูง จะปรากฏเป็นสีเข้ม เนื่องจากการสะท้อนพลังงานลดลง ความขรุขระของผิวดินมากก็จะทำให้การสะท้อนของพลังงานลดลงเช่นเดียวกัน

1.6.3 น้ำ

โดยทั่วไปน้ำมีคุณสมบัติดูดกลืนพลังงาน อย่างไรก็ตามน้ำมีหลายประเภทซึ่งจะทำให้การดูดกลืนพลังงานแตกต่างกันไป การสะท้อนพลังงานของน้ำมีลักษณะต่างจากวัตถุอื่นอย่างชัดเจน โดยเฉพาะในช่วงคลื่นอินฟราเรด น้ำจะดูดกลืนพลังงานอย่างสมบูรณ์ทำให้สามารถเขียนขอบเขตของน้ำได้ เนื่องจากน้ำที่ปรากฏอยู่บนผิวโลกมีหลายสภาพด้วยกัน เช่น น้ำขุ่น น้ำใส หรือน้ำที่มีสารแขวนลอยต่างๆ เจือปน ดังนั้นการสะท้อนพลังงานจึงแตกต่างกันออกไป บางครั้งพื้นที่ที่รองรับน้ำอาจมีผลต่อการสะท้อนพลังงานของน้ำ น้ำใสจะดูดกลืนพลังงานเล็กน้อยที่ช่วงคลื่นต่ำกว่า 0.6 ไมโครเมตร การส่งผ่านพลังงานเกิดขึ้นสูงในช่วงคลื่นแสงสีน้ำเงิน เขียว แต่น้ำที่มีตะกอนหรือมีสิ่งเจือปน การสะท้อนและการส่งผ่านพลังงานจะเปลี่ยนไป เช่น น้ำที่มีตะกอนดินแขวนลอยอยู่มาก จะสะท้อนพลังงานได้มากกว่าน้ำใส ถ้ามีสารคลอโรฟิลล์ในน้ำมากขึ้น การสะท้อนช่วงคลื่นสีน้ำเงินจะลดลงและจะเพิ่มขึ้นในช่วงคลื่นสีเขียว ซึ่งอาจใช้เป็นประโยชน์ในการติดตามและคาดคะเนปริมาณสาหร่าย นอกจากนี้ข้อมูลการสะท้อนพลังงานยังเป็นประโยชน์ในการสำรวจคราบน้ำมัน และมลพิษจากโรงงานได้



ภาพที่ 3.8 *ความสะท้อนเชิงสเปกตรัมของ พืชพรรณ ดิน และน้ำ*
สัมพันธ์กับเครื่องรับรู้ข้อมูลจากดาวเทียม LANDSAT ระบบ TM

2. ดาวเทียม (Satellites)

ดาวเทียม หมายถึง วัตถุที่มนุษย์สร้างขึ้นเลียนแบบดาวบริวารของดาวเคราะห์ เพื่อให้โคจรรอบโลกหรือรอบเทห์ฟากฟ้าอื่น มีอุปกรณ์สำหรับเก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับอวกาศ และถ่ายทอดข้อมูลนั้นมายังโลก วัตถุลักษณะดังกล่าวที่โคจรรอบโลกใช้เป็นอุปกรณ์โทรคมนาคมด้วย เช่น ถ่ายทอดคลื่นวิทยุ และโทรทัศน์ข้ามทวีป เป็นต้น

2.1 ประเภทดาวเทียม (Types of satellites)

แบ่งประเภทของดาวเทียมตามลักษณะการใช้ประโยชน์ ได้ดังนี้

ที่มา : Wikipedia (2007)

2.1.1 ดาวเทียมดาราศาสตร์ (Astronomical satellites) เป็นดาวเทียมสำรวจดวงดาวต่างๆ ที่อยู่ห่างไกลโลก สำรวจกาแล็กซี (Galaxy) รวมทั้งสำรวจวัตถุต่างๆ ที่อยู่ในอวกาศ เช่น ดาวเทียม MAGELLAN สำรวจดาวศุกร์ ดาวเทียม GALILEO สำรวจดาวพฤหัส เป็นต้น

2.1.2 ดาวเทียมสื่อสาร (Communications satellites) เป็นดาวเทียมประจำที่ในอวกาศ เพื่อการสื่อสารโดยใช้คลื่นวิทยุในความถี่ไมโครเวฟ ส่วนใหญ่เป็นดาวเทียมวงโคจรค้างฟ้า ได้แก่ ดาวเทียม INTELSAT ดาวเทียม IRIDIUM และดาวเทียมไทยคม เป็นต้น

2.1.3 ดาวเทียมสำรวจทรัพยากรโลก (Earth observation satellites) เป็นดาวเทียมที่ถูกออกแบบเฉพาะเพื่อการสำรวจ ติดตามทรัพยากรและสิ่งแวดล้อมต่างๆ ของโลก รวมทั้งการทำแผนที่ต่างๆ ได้แก่ ดาวเทียม LANDSAT RADARSAT ALOS และ THEOS เป็นต้น

2.1.4 ดาวเทียมนำร่อง (Navigation satellites) เป็นดาวเทียมนำร่องที่ใช้คลื่นวิทยุและรหัสจากดาวเทียมไปยังเครื่องรับสัญญาณบนพื้นผิวโลก สามารถหาตำแหน่งบนพื้นโลกที่ถูกต้องได้ทุกแห่ง และตลอดเวลา ได้แก่ ดาวเทียม NAVSTAR GLONASS และ GALILEO เป็นต้น

2.1.5 ดาวเทียมจารกรรม (Reconnaissance satellites) เป็นดาวเทียมสำรวจความละเอียดสูง หรือดาวเทียมสื่อสารที่ใช้เพื่อกิจการทางการทหาร การจารกรรม หรือการเตือนภัยจากการโจมตีทางอากาศ ได้แก่ ดาวเทียม KEYHOLE และ LACROSSE เป็นต้น

2.1.6 สถานีอวกาศ (Space stations) เป็นสถานีดาวเทียมที่อยู่ในอวกาศ มนุษย์สามารถขึ้นไปอยู่ในช่วงยาวๆ ได้ เพื่อทดลองด้านวิทยาศาสตร์ ได้แก่ สถานีอวกาศนานาชาติ (International space station)

2.1.7 ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา (Meteorological satellites) เป็นดาวเทียมสำรวจเพื่อภารกิจการพยากรณ์อากาศของโลก ได้แก่ ดาวเทียม NOAA GMS และ GOES เป็นต้น

2.1.8 ดาวเทียมขนาดเล็ก (Miniaturized satellites) เป็นดาวเทียมที่มีน้ำหนักน้อยและมีขนาดเล็ก สามารถแบ่งตามขนาดและน้ำหนัก ได้ดังนี้ Smallsatellite (ต่ำกว่า 1,000 กิโลกรัม) Minisatellite (500-200 กิโลกรัม) Microsatellite (ต่ำกว่า 100 กิโลกรัม) และ Nanosatellite (ต่ำกว่า 10 กิโลกรัม)

2.2 วงโคจรของดาวเทียม (Satellite orbit)

ดาวเทียมเคลื่อนที่เป็นวงรอบโลก เรียกว่า “วงโคจร” สามารถแบ่งประเภทได้ ดังนี้

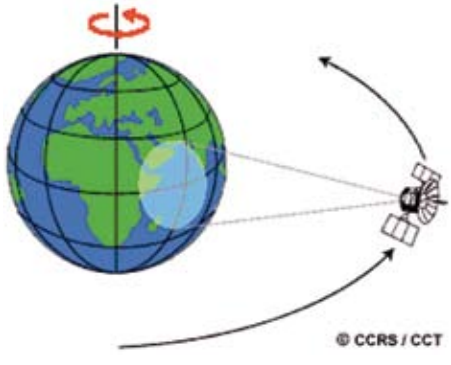
2.2.1 วงโคจรแบบสัมพันธ์กับดวงอาทิตย์ (Sun-synchronous orbit) เป็นวงโคจรในแนวเหนือ-ใต้ และผ่านแนวละติจูดหนึ่งๆ ที่เวลาท้องถิ่นเดียวกัน (ภาพที่ 3.9) ซึ่งส่วนใหญ่เป็นวงโคจรสำหรับดาวเทียมสำรวจทรัพยากร โดยแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

- วงโคจรผ่านขั้วโลก (Polar orbit) เป็นวงโคจรที่มีรูปลักษณะเป็นวงกลมโดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางในแนวขั้วโลก โคจรที่ระดับความสูง 500-1,000 กิโลเมตร จากพื้นโลก เป็นวงโคจรระดับต่ำ เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 28,000 กิโลเมตร/ชั่วโมง โดยใช้เวลาในการโคจรเพียง 90 นาที/รอบ อาจกล่าวได้ว่าเป็นวงโคจรลักษณะเดียวที่สามารถให้พื้นที่การบริการครอบคลุมได้ทั่วโลก

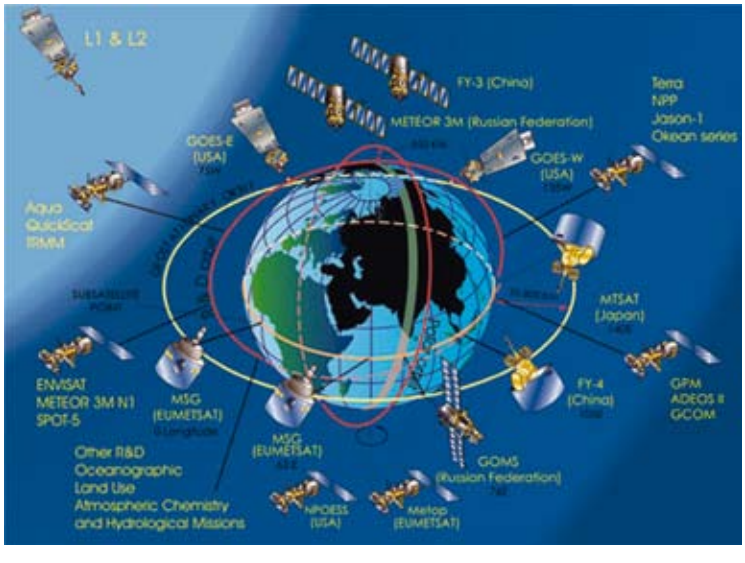
- วงโคจรเอียง (Inclined orbit) เป็นวงโคจรที่มีรูปลักษณะเป็นทั้งวงกลมและวงรี เป็นวงโคจรที่มีอยู่จำนวนมากแตกต่างกันไปตามความเอียง (Incline) หรือมุมที่ทำกับระนาบศูนย์สูตร และความรีของวงโคจรว่ามากน้อยเพียงใด โคจรที่ระดับความสูง 5,000-13,000 กิโลเมตร จากพื้นโลกสามารถให้พื้นที่บริการบริเวณละติจูดสูงหรือต่ำมากๆ ได้ หรืออาจครอบคลุมพื้นที่ขั้วโลกได้ด้วย

2.2.2 วงโคจรระนาบศูนย์สูตร (Equatorial orbit) เป็นวงโคจรในแนวระนาบ มีลักษณะการโคจรเป็นรูปวงกลม โคจรในแนวระนาบกับเส้นศูนย์สูตร ถ้าโคจรที่ระดับความสูง 36,000 กิโลเมตรจากพื้นโลก จะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเท่ากับความเร็วที่โลกหมุนรอบตัวเอง คือ ใช้เวลาในการโคจร 24 ชั่วโมง/รอบ ซึ่งเสมือนว่าตำแหน่งของดาวเทียมคงที่ตลอดเวลา เรียกว่า “วงโคจรค้างฟ้า (Geo-stationary orbit)” (แสดงดังภาพที่ 3.10) และเรียกดาวเทียมที่โคจรในวงโคจรนี้ว่า “ดาวเทียมค้างฟ้า (Geo-stationary satellite)” (ภาพที่ 3.11) ส่วนใหญ่เป็นดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาและดาวเทียมสื่อสาร เช่น ดาวเทียมไทยคม

***ภาพที่** 3.9 วงโคจรแบบสัมพันธ์กับดวงอาทิตย์*



***ภาพที่** 3.10 วงโคจรค้างฟ้า*



***ภาพที่** 3.11 วงโคจรและตำแหน่งดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา*

2.3 วิวัฒนาการของดาวเทียมสำรวจทรัพยากร

ดาวเทียมสำรวจทรัพยากรมีวิวัฒนาการอย่างรวดเร็วและต่อเนื่องมาโดยตลอด นับตั้งแต่ยุคแรก เมื่อองค์การบริหารการบินและอวกาศแห่งชาติสหรัฐอเมริกา หรือองค์การนาซา (NASA) ได้ส่งดาวเทียมสำรวจทรัพยากรพิภพดวงแรกของโลกชื่อ ERTS 1 (Earth Resources Technology Satellite) ขึ้นโคจรรอบโลกเป็นผลสำเร็จ เมื่อวันที่ 23 กรกฎาคม พ.ศ. 2515 (ต่อมาเปลี่ยนชื่อเป็น LANDSAT 1) พัฒนาการของดาวเทียมสำรวจทรัพยากร สามารถแบ่งเป็นช่วง ได้ดังนี้

ช่วงทดลองและวิจัยพัฒนา (Research and development) เริ่มตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2515-2528 เป็นช่วงการทดลองใช้ข้อมูลจากดาวเทียมรุ่นแรกๆ แล้วพัฒนาข้อมูลจากดาวเทียมให้มีคุณภาพและความละเอียดภาพดีขึ้น สามารถนำไปใช้ประโยชน์อย่างมีประสิทธิภาพ ดาวเทียมในช่วงแรกๆได้แก่ ดาวเทียม LANDSAT 1-3 LANDSAT 4-5 และดาวเทียม SEASAT ซึ่งมีความละเอียดภาพ 80 30 และ 30 เมตร ตามลำดับ

ช่วงความร่วมมือระหว่างประเทศและปฏิบัติการ (Operation and international cooperation) เริ่มตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2529-2539 เป็นช่วงเวลาของการปฏิบัติงานนำข้อมูลจากดาวเทียมสำรวจทรัพยากรไปใช้ประโยชน์ในกิจกรรมด้านต่างๆ อย่างได้ผลและมีประสิทธิภาพ รวมทั้งมีความร่วมมือของนานาประเทศ ในการประสานงานการใช้ประโยชน์ การถ่ายทอดเทคโนโลยี ทั้งความร่วมมือระดับภูมิภาคและระดับโลก ดาวเทียมในช่วงนี้ได้ถูกพัฒนาขีดความสามารถให้ความละเอียดคมชัดมากขึ้น ในการศึกษาวัตถุที่มีขนาดต่ำกว่า 10 เมตรลงมา รวมทั้งระบบที่สามารถบันทึกภาพทะลุทะลวงเมฆและหมอก เช่น ระบบเรดาร์ ดาวเทียมในช่วงนี้ได้แก่ ดาวเทียม SPOT 1-4 ดาวเทียม MOS 1-2 ดาวเทียม JERS-1 ดาวเทียม IRS 1C ดาวเทียม ERS 1 ดาวเทียม RADARSAT และดาวเทียม ADEOS 1

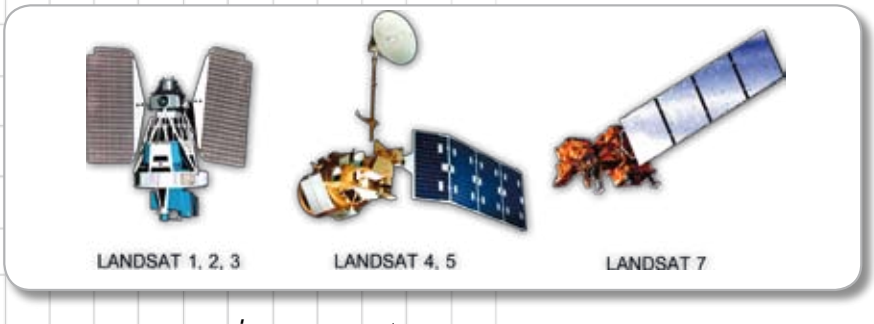
ช่วงข่าวสารและเทคโนโลยี (Technology and information) เริ่มตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2540-ปัจจุบัน ช่วงนี้เป็นช่วงของข่าวสารที่ไร้พรมแดนและความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีอวกาศ ภายหลังจากการสิ้นสุดของสงครามเย็นของประเทศมหาอำนาจ ได้นำเทคโนโลยีที่ก้าวหน้าสูงสุดมาเผยแพร่ให้พลเรือนใช้ รวมทั้งให้มีการแข่งขันอย่างเสรีในเชิงพาณิชย์มากขึ้น ดาวเทียมสำรวจทรัพยากรได้ถูกพัฒนาให้มีความละเอียดคมชัดมากยิ่งขึ้น ได้แก่ ดาวเทียม SPOT 5 ความละเอียดภาพ 2.5 เมตร ดาวเทียม IKONOS ความละเอียดภาพ 1 เมตร และดาวเทียม QuickBird ความละเอียดภาพ 61 เซนติเมตร นอกจากนี้ยังสามารถรับสัญญาณจากดาวเทียมได้ทันทีหรือเกือบเป็นเวลาเดียวกันกับที่ดาวเทียมส่งสัญญาณ ทำให้ผู้ใช้มีการตื่นตัวเป็นอย่างมาก การได้ข้อมูลจากดาวเทียมหลายๆ ดวง ทำให้มีข้อมูลที่หลากหลายและทันสมัยต่อเหตุการณ์ สามารถใช้ในการติดตามสภาพสิ่งแวดล้อมได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดาวเทียมดวงอื่นๆ ที่ถูกส่งขึ้นสู่วงโคจรในช่วงนี้ ได้แก่ ดาวเทียม IRS 1D ของประเทศอินเดีย ดาวเทียม LANDSAT 7 ของประเทศสหรัฐอเมริกา ดาวเทียม TERRA ของประเทศสหรัฐอเมริการ่วมกับประเทศญี่ปุ่น ดาวเทียม RADARSAT ของประเทศแคนาดา ดาวเทียม ENVISAT ของกลุ่มประเทศประชาคมยุโรป และดาวเทียม ADEOS 2 และ ALOS ของประเทศญี่ปุ่น

2.4 ดาวเทียมสำรวจทรัพยากรโลก

ดาวเทียมสำรวจทรัพยากรโลกที่สำคัญซึ่งใช้งานในอดีตจนถึงปัจจุบันที่สำคัญมีดังต่อไปนี้

2.4.1 ดาวเทียม LANDSAT

ดาวเทียม LANDSAT 1 เป็นดาวเทียมสำรวจทรัพยากรดวงแรกของโลกขึ้นสู่วงโคจรเมื่อปี พ.ศ. 2515 โดยองค์การ NASA ต่อมาได้โอนกิจการให้บริษัทเอกชน EOSAT เพื่อดำเนินการเชิงพาณิชย์ ปัจจุบันปฏิบัติการเฉพาะ



ภาพที่ 3.12 *ชุดดาวเทียม LANDSAT 1-3 4-5 และ 7*

ดาวเทียม LANDSAT 5 ซึ่งมีเครื่องรับรู้ 2 ระบบ คือ ระบบเครื่องกราดภาพหลายสเปกตรัม (Multispectral Scanner : MSS) มี 4 ช่วงคลื่น ครอบคลุมพื้นที่ 185x185 ตารางกิโลเมตร ความละเอียดภาพ 80 เมตร และระบบธีแมติกแมพเพอร์ (Thematic mapper : TM) บันทึกข้อมูลใน 7 ช่วงคลื่น ความละเอียดภาพ 30 เมตร (ยกเว้นแบนด์ 6 ความละเอียดภาพ 120 เมตร) และเมื่อวันที่ 15 เมษายน พ.ศ. 2542 ดาวเทียม LANDSAT 7 ได้ถูกส่งขึ้นปฏิบัติงานโดยมีเครื่องรับรู้ระบบธีแมติกแมพเพอร์เพิ่มสมรรถนะ (Enhanced Thematic Mapper Plus : ETM+) ที่พัฒนาจากระบบ TM โดยแบนด์ 6 ซึ่งเป็นช่วงคลื่นอินฟราเรดความร้อน มีความละเอียดภาพ 60 เมตร และระบบแพนโครมาติก ความละเอียดภาพ 15 เมตร แสดงรายละเอียดดังภาพที่ 3.12 และตารางที่ 3.3 และ 3.4

ตารางที่ 3.3 คุณลักษณะจำเพาะและภารกิจหลักของดาวเทียม LANDSAT

ดาวเทียม	วันที่		เครื่องรับรู้	ความละเอียดภาพ (ม.)	การสื่อสาร	ระดับความสูง (กม.)	วันถ่ายภาพซ้ำ (วัน)	อัตราการส่งข้อมูล (เมกะบิต/ วินาที)
	ขึ้นสู่วงโคจร	สิ้นสุดภารกิจ						
LANDSAT 1	23 ก.ค. 2515	6 ม.ค. 2521	RBV/ MSS	80/ 80	เชื่อมลงโดยตรงพร้อมเครื่องบันทึกข้อมูล	917	18	15
LANDSAT 2	22 ม.ค. 2518	25 ก.พ. 2525	RBV/ MSS	80/ 80	เชื่อมลงโดยตรงพร้อมเครื่องบันทึกข้อมูล	917	18	15
LANDSAT 3	5 มี.ค. 2521	31 มี.ค. 2526	RBV/ MSS	30/ 80	เชื่อมลงโดยตรงพร้อมเครื่องบันทึกข้อมูล	917	18	15
LANDSAT 4*	16 ก.ค. 2525		MSS/ TM	80/ 30	เชื่อมลงโดยตรงพร้อมระบบ TDRSS**	705	16	85
LANDSAT 5	1 มี.ค. 2527		MSS/ TM	80/ 30	เชื่อมลงโดยตรงพร้อมระบบ TDRSS***	705	16	85
LANDSAT 6	5 ต.ค. 2536	5 ต.ค. 2536	ETM	15 (PAN)/ 30 (MS)	เชื่อมลงโดยตรงพร้อมเครื่องบันทึกข้อมูล	705	16	85
LANDSAT 7	15 เม.ย. 2542		ETM +	15 (PAN)/ 30 (MS)	เชื่อมลงโดยตรงพร้อมเครื่องบันทึกข้อมูล	705	16	150

* การรับส่งข้อมูลจากเครื่องรับรู้แบบ TM เสีย ในเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2536

** TDRSS (Tracking and Data Relay Satellite System)

*** ปัจจุบันใช้การรับส่งข้อมูลแบบเชื่อมลงโดยตรงเท่านั้น เนื่องจากเครื่องบันทึกข้อมูลใช้งานไม่ได้

ที่มา : Earth Science Division (2007)

ตาราง 3.4 ดาวเทียม LANDSAT และเครื่องรับรู้

ดาวเทียม	เครื่องรับรู้	ความกว้างแถบความถี่ (ไมโครเมตร)	ความละเอียดภาพ (เมตร)	ดาวเทียม	เครื่องรับรู้	ความกว้างแถบความถี่ (ไมโครเมตร)	ความละเอียดภาพ (เมตร)
LANDSAT 1-2	RBV	(1) 0.48 – 0.57	80	LANDSAT 4-5	MSS	(4) 0.50 – 0.60	82
		(2) 0.58 – 0.68	80			(5) 0.60 – 0.70	82
		(3) 0.70 – 0.83	80			(6) 0.70 – 0.80	82
	MSS	(4) 0.50 – 0.60	79			(7) 0.80 – 1.10	82
		(5) 0.60 – 0.70	79		TM	(1) 0.45 – 0.52	30
		(6) 0.70 – 0.80	79			(2) 0.52 – 0.60	30
		(7) 0.80 – 1.10	79			(3) 0.63 – 0.69	30
LANDSAT 3	RBV	(1) 0.505 – 0.750	40			(4) 0.76 – 0.90	30
	MSS	(4) 0.50 – 0.60	79			(5) 1.55 – 1.75	30
		(5) 0.60 – 0.70	79			(6) 10.40– 12.50	120
		(6) 0.70 – 0.80	79			(7) 2.08 – 2.35	30
		(7) 0.80 – 1.10	79	LANDSAT 7	ETM+	(1) 0.45 – 0.52	30
		(8) 10.40 – 12.60	240			(2) 0.52 – 0.60	30
						(3) 0.63 – 0.69	30
						(4) 0.76 – 0.90	30
						(5) 1.55 – 1.75	30
						(6) 10.40– 12.50	60
						(7) 2.08 – 2.35	30
						PAN 0.50 – 0.90	15

2.4.2 ดาวเทียม SPOT (Satellites Pour l'Observation de la Terre)

ภาพที่ 3.13 *ดาวเทียม SPOT*

ดาวเทียม SPOT ของศูนย์ศึกษาอวกาศแห่งชาติฝรั่งเศส ร่วมกับประเทศในกลุ่มยุโรป เครื่องรับรู้ของดาวเทียม SPOT ประกอบด้วยกล้อง High Resolution Visible (HRV) จำนวน 2 ชุด คือระบบหลายสเปกตรัมมี 3 ช่วงคลื่น ที่ความละเอียดภาพ 20 เมตร และระบบแพนโครมาติกที่ความละเอียดภาพ 10 เมตร สมรรถนะของกล้อง HRV ที่สำคัญประการหนึ่งคือสามารถถ่ายภาพแนวเฉียงและนำมาศึกษาในลักษณะ 3 มิติได้ โดยให้รายละเอียดที่ถูกต้องและมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น ส่วนดาวเทียม SPOT 3 และ 4 ใช้เครื่องรับรู้แบบอุปกรณ์ถ่ายเทประจุ (Charge Coupled Device : CCD) และเพิ่มอีก 1 ในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ เพื่อประโยชน์ในการติดตามพื้นที่เกษตรกรรม โดยมีความละเอียดภาพ 20 เมตร จำนวน 4 ช่วงคลื่น คล้ายคลึงกับระบบ MSS ของดาวเทียม LANDSAT โดยช่วงคลื่นแพนโครมาติกในดาวเทียม SPOT 1 และ 2 ถูกแทนที่ด้วยช่วงคลื่น 0.61-0.68 ไมโครเมตร ที่ความละเอียดภาพ 10 เมตร ดาวเทียม SPOT 3 และ 4 มีเครื่องรับรู้ สำหรับศึกษาพืชพรรณ (Vegetation instrument : VGT) ให้ข้อมูลเกี่ยวกับพืชพรรณที่ความละเอียดภาพ 1.15-1.70 กิโลเมตร ในทุกช่วงคลื่นเช่นเดียวกับกล้อง HRV ดาวเทียม SPOT 5 มีเครื่องรับรู้เหมือนดาวเทียม SPOT 4 คือ ช่วงคลื่นที่ 1 (0.50-0.59 ไมโครเมตร) ช่วงคลื่นที่ 2 (0.61-0.68 ไมโครเมตร) ช่วงคลื่นที่ 3 (0.79-0.89 ไมโครเมตร) และช่วงคลื่นที่ 4 คือ ช่วงคลื่นอินฟราเรดกลาง (1.58-1.75 ไมโครเมตร) ช่วงคลื่นแพนโครมาติก มีช่วงคลื่นเช่นเดียวกับ SPOT 1-3 (0.51-0.73 ไมโครเมตร) เครื่องรับรู้เรียกว่า HRG (High Resolution Geomatic) ประกอบด้วย ช่วงคลื่นแพนโครมาติก และระบบหลายสเปกตรัม นอกจากนี้ยังมีแบบซูเปอร์โหมด (Supermode) มีความละเอียดภาพสูงถึง 2.5 เมตร และยังมีเครื่องรับรู้แบบสเตอริโอสโคปิกความละเอียดสูง (High-Resolution Stereoscopic : HRS) สามารถใช้ผลิตแบบจำลองระดับความสูงเชิงเลข (Digital Elevation Model : DEM) ซึ่งคลอบคลุมพื้นที่กว้างและมีความละเอียดภาพ 15 เมตร รายละเอียดเกี่ยวกับดาวเทียม SPOT แสดงดังภาพที่ 3.13 และตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 ลักษณะและคุณสมบัติของดาวเทียม SPOT

ดาวเทียม	หน่วยงานปล่อยสู่อวกาศ	วันที่		ระดับความสูง (กม.)	เครื่องรับรู้	ความละเอียดภาพ (ม.)	วันถ่ายภาพซ้ำ (วัน)
		ขึ้นสู่วงโคจร	สิ้นสุดภารกิจ				
SPOT 1	CNES*	22 ก.พ. 2529	4 ก.พ. 2545	822	HRV	20/ 10	26
SPOT 2	CNES	22 ม.ค. 2533	ปฏิบัติการ*	822	HRV	20/ 10	26
SPOT 3	CNES	26 ก.ย. 2536	14 พ.ย. 2540	822	HRV	20/ 10	26
SPOT 4	CNES	24 มี.ค. 2541	ปฏิบัติการ*	830	HRVIR VGT	20/ 10 1,150-1,700	26
SPOT 5	CNES	4 พ.ค. 2545	ปฏิบัติการ*	832	HRG VGT	10 5 หรือ 2.5 1,150-1,700	26

* Centre National d'Etudes Spatiales = **ศูนย์ศึกษาอวกาศแห่งชาติฝรั่งเศส**

ที่มา : Japan Aerospace Exploration Agency (2007)

2.4.3 ดาวเทียม MOS (Marine Observation Satellite)

***ภาพที่** 3.14 ดาวเทียม MOS 1*

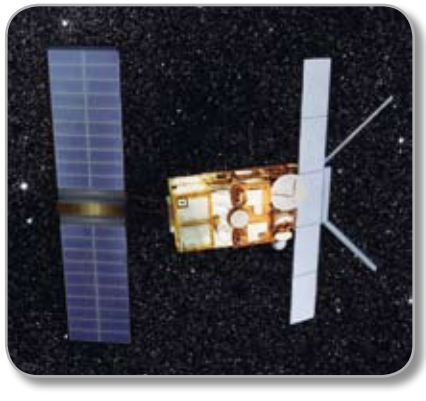
องค์การพัฒนาอวกาศแห่งชาติญี่ปุ่น (National Space Development Agency : NASDA) ได้ส่งดาวเทียม MOS 1 ขึ้นสู่วงโคจรเมื่อเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2530 มีเครื่องรับรู้ 3 ระบบคือ 1) ระบบ Multispectral Electronic Self Scanning Radiometer (MESSR) มี 4 ช่วงคลื่น ให้ความละเอียดภาพ 50 เมตร 2) ระบบ Visible and Thermal Infrared Radiometer (VTIR) ให้ข้อมูลเกี่ยวกับอุณหภูมิต่างๆ ในทะเลเป็นประโยชน์ต่อการประมง และข้อมูลการปกคลุมของเมฆและไอน้ำ ซึ่งเป็นประโยชน์ในการพยากรณ์อากาศ 3) ระบบ Microwave Scanning Radiometer (MSR) ให้ข้อมูลเกี่ยวกับปริมาณไอน้ำ ปริมาณน้ำ ลมทะเล การแผ่คลุมของหิมะ และน้ำแข็งในทะเล แสดงรายละเอียดดังภาพที่ 3.14 และตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 ลักษณะและคุณสมบัติของดาวเทียม MOS 1

รูปร่าง	รูปกล่องพร้อมแผงรับพลังงานดวงอาทิตย์แบบขยายได้ (ปีกข้างเดียว) มิติตัวยานขนาด 1.26 x 1.48 x 2.4 เมตร ความยาวแผงรับพลังงานดวงอาทิตย์ ประมาณ 2 x 5.28 เมตร	
น้ำหนัก	ประมาณ 740 กิโลกรัม	
อุปกรณ์ควบคุม	ควบคุม 3 แกน	
อายุใช้งาน	2 ปี	
ยานปล่อย	MOS 1/N 2, MOS 1b/H 1	
สถานที่ปล่อย	ศูนย์อวกาศทาเนกาชิมา (Tanegashima Space Center) กาโกชิมา (Kagoshima)	
วันที่ปล่อย	MOS 1 19 ก.พ. 2530, MOS 1b 7 ก.พ. 2533	
วันสิ้นสุด	MOS 1 29 พ.ย. 2538, MOS 1b 25 เม.ย. 2539	
วงโคจร	ชนิด	แบบสัมพันธ์กับดวงอาทิตย์
	ระดับความสูง	ประมาณ 909 กิโลเมตร
	ความเอียง	ประมาณ 99 องศา
	คาบ	ประมาณ 103 นาที
	วันถ่ายภาพซ้ำ	17 วัน

ที่มา : Japan Aerospace Exploration Agency (2007)

2.4.4 ดาวเทียม ERS (European Remote Sensing Satellite)



***ภาพที่** 3.15 ดาวเทียม ERS 1*

พัฒนาโดยองค์การอวกาศแห่งยุโรป (European Space Agency: ESA) ERS 1 ถูกส่งขึ้นสู่วงโคจรเป็นผลสำเร็จเมื่อวันที่ 17 กรกฎาคม พ.ศ. 2534 มีเครื่องรับรู้ 2 แบบ 1) ระบบแพสซิฟ 2) ระบบแอ็กทิฟ ซึ่งสามารถถ่ายภาพในทุกสภาพอากาศ ทะลุเมฆและหมอก นอกจากนั้นยังสามารถบันทึกข้อมูลในเวลากลางคืน บันทึกข้อมูลในช่วงคลื่นแบนด์ C หรือที่ความถี่ 5.3 GHz มุมตกกระทบ (Incident angle) 20-26 องศา โพลาไรเซชันแนวตั้ง (VV) ความละเอียดภาพ 30 เมตร ปัจจุบันดาวเทียมชุดนี้ปฏิบัติการอยู่ 2 ดวง คือ ERS 1 และ ERS 2 (แสดงรายละเอียดดังภาพที่ 3.15 และตารางที่ 3.7)

ตารางที่ 3.7 ลักษณะและคุณสมบัติของดาวเทียม ERS

น้ำหนัก	ประมาณ 2.4 เมตริกตัน	
อายุใช้งาน	2-3 ปี	
ยานปล่อย	ERS 1 / จรวดแอเรียน (Ariane), ERS 2 / จรวดแอเรียน (Ariane)	
สถานที่ปล่อย	ERS 1 / ศูนย์อวกาศเกียอานา ฝรั่งเศส , ERS 2 / ศูนย์อวกาศเกียอานา ฝรั่งเศส	
วันที่ปล่อย	ERS 1 / 17 ก.ค. 2534, ERS 2 / 21 เม.ย. 2538	
วงโคจร	ชนิด	แบบสัมพันธ์กับดวงอาทิตย์
	ระดับความสูง	ประมาณ 777 กิโลเมตร
	ความเอียง	ประมาณ 98.5 องศา
	คาบ	ประมาณ 100.5 นาที
	วันถ่ายภาพซ้ำ	3 35 และ 176 วัน

ที่มา : Japan Aerospace Exploration Agency (2007)

2.4.5 ดาวเทียม ENVISAT (Environmental Satellite)

เป็นดาวเทียมสำรวจทรัพยากรที่ใหญ่สุด ขึ้นสู่วงโคจรเมื่อ พ.ศ. 2545 โดย ESA มีเครื่องรับรู้ระบบแพสซิฟ และระบบแอ็กทิฟ ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงกว่า ERS 1 และ ERS 2 มีน้ำหนัก 8 เมตริกตัน ความสูง 10 เมตร ความกว้าง 5 เมตร และมีแผงรับพลังงานดวงอาทิตย์ วงโคจรที่ระดับความสูง 790 กิโลเมตร คาบการโคจร 101 นาที โคจรกลับมาที่เดิมทุก 35 วัน ดาวเทียมนี้มีประสิทธิภาพในการสำรวจโลก มีเครื่องรับรู้ระบบ ASAR (An Advanced Synthetic Aperture Radar) บันทึกข้อมูลในช่วงคลื่นแบนด์ C ซึ่งพัฒนาต่อเนื่องมาจากเครื่องรับรู้ระบบ AMI ของดาวเทียม ERS 1 และ ERS 2 มีเครื่องรับรู้ 9 ระบบ ได้แก่ 1) ASAR (Advanced Synthetic Aperture Radar) 2) MERIS (Medium Resolution Imaging Spectrometer) 3) AATSR (Advanced Along Track Scanning Radiometer) 4) RA-2 (Radar Altimeter 2) 5) MWR (Microwave Radiometer) 6) DORIS (Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite) 7) GOMOS (Global Ozone Monitoring by Occultation of Stars 8) MIPAS (Michelson Interferometer for Passive Atmospheric Sounding) 9) SCIAMACHY (Scanning Imaging Absorption spectroMeter for Atmospheric Chartography) สามารถบันทึกสภาวะข้อมูลทางทะเล คลอโรฟิลล์ ตะกอนแขวนลอย เคมีในบรรยากาศ และสภาพแวดล้อมทางทวีป เป็นต้น (ภาพที่ 3.16)

***ภาพที่** 3.16 ดาวเทียม ENVISAT*

2.4.6 ดาวเทียม JERS

(Japanese Earth Resources Satellite)

องค์การพัฒนาอวกาศแห่งชาติญี่ปุ่นได้ส่งดาวเทียม JERS-1 ขึ้นสู่วงโคจรเมื่อวันที่ 11 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2535 โดยมีเครื่องรับรู้ทั้ง 2 ระบบ คือ ระบบแพสซิฟและระบบแอ็กทิฟ ในระบบแอ็กทิฟ บันทึกข้อมูลในช่วงคลื่นแบนด์ L หรือที่ความถี่ 1.275 GHz มุมตกกระทบ (Incident angle) 35 องศา โพลาไรเซชันแนวนอน (HH) ความละเอียดภาพ 18 เมตร ระบบแพสซิฟมีเครื่องรับรู้ที่เรียกว่า Optical Sensors (OPS) ประกอบด้วย Visible and Near Infared Radiometer (VNIR) และ Short Wavelength Infrared Radiometer (SWIR) ดังรายละเอียดภาพที่ 3.17 ตารางที่ 3.8

***ภาพที่** 3.17 ดาวเทียม JERS-1*

ตารางที่ 3.8 ลักษณะและคุณสมบัติของดาวเทียม JERS

รูปร่าง	รูปกล่อง มิติตัวยานขนาด 1.0 x 1.8 x 3.1 เมตร SAR ขนาด 12 x 2.5 เมตร ความยาวแผงรับพลังงานดวงอาทิตย์ ประมาณ 8 x 3.4 เมตร	
น้ำหนัก	ประมาณ 1.4 เมตริกตัน	
อุปกรณ์ควบคุม	ควบคุม 3 แกน (ไม่มีโมเมนตัม)	
อายุใช้งาน	2 ปี	
ยานปล่อย	H - I (2 ระยะ)	
สถานที่ปล่อย	ศูนย์อวกาศทาเนกาชิมา (Tanegashima Space Center) กาโกชิมา (Kagoshima)	
วันที่ปล่อย	11 ก.พ. 2535	
วันสิ้นสุด	12 ต.ค. 2541	
วงโคจร	ชนิด	แบบสัมพันธ์กับดวงอาทิตย์
	ระดับความสูง	ประมาณ 570 กิโลเมตร
	ความเอียง	ประมาณ 98 องศา
	คาบ	ประมาณ 96 นาที
	วันถ่ายภาพซ้ำ	44 วัน
	เวลาท้องถิ่นขณะโคจรลง	10.30 น. – 11.00 น.

ที่มา : Japan Aerospace Exploration Agency (2007)

2.4.7 ดาวเทียม NOAA (U.S. National Oceanic and Atmospheric Administration)

เป็นดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา ใช้ติดตามกลุ่มเมฆ ประมาณพื้นที่ปกคลุมด้วยหิมะและวัดอุณหภูมิผิวน้ำทะเล ภายหลังสามารถประยุกต์ใช้ในการศึกษาพืชพรรณครอบคลุมโลกได้รายวัน มีวงโคจรแบบสัมพันธ์กับดวงอาทิตย์ โคจรอยู่เหนือพื้นผิวโลก 830 กิโลเมตร มีเครื่องรับรู้ระบบ Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) High Resolution Infrared Radiation Sounder (HIRS/2) Stratospheric Sounding Unit (SSU) และ Microwave Sounding Unit (MSU) ระบบ AVHRR ถ่ายภาพในช่วงคลื่นตามองเห็น และช่วงคลื่นอินฟราเรดความร้อนมีความละเอียดภาพ 1 กิโลเมตร ครอบคลุมพื้นที่ 2,600x2,600 กิโลเมตร ประโยชน์ที่ได้รับคือใช้ในการสำรวจด้านอุตุนิยมวิทยา สมุทรศาสตร์ อุทกศาสตร์ และอื่นๆ ในระดับพื้นที่กว้างขวาง (ภาพที่ 3.18 และตารางที่ 3.9)

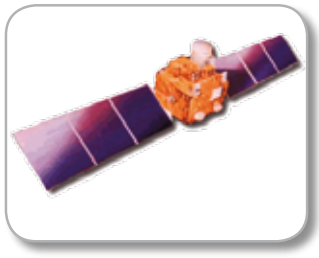
ตารางที่ 3.9 ดาวเทียม NOAA ที่ยังปฏิบัติงาน

ดาวเทียม	ความถี่ที่ใช้	
NOAA 18	APT - ON 137.9125MHz	HRPT - 1698 MHz
NOAA 17	APT - ON 137.62 MHz	HRPT - 1707.0 MHz
NOAA 16	APT - OFF since 11/15/00	HRPT - 1702.5 MHz
NOAA 15	APT - ON 137.50 MHz	HRPT - 1702.5 MHz
NOAA 14	APT - OFF since 8/2/05	HRPT - 1707.0 MHz
NOAA 12	APT - 137.5.0 MHz	HRPT - 1698.0 MHz
GOES 12	LRIT - 1691.0 MHz	GVAR PDUS - 1685.7 MHz
GOES 10	LRIT - 1691.0 MHz	GVAR PDUS - 1685.7 MHz
GOES 9	WEFAX - OFF	GVAR PDUS - OFF

ที่มา : Satellite Services Division (2007)

ภาพที่ 3.18 *ดาวเทียม NOAA 14*

2.4.8 ดาวเทียม IRS (Indian Remote Sensing Satellite)



ภาพที่ 3.19 *ดาวเทียม IRS 1D*

เป็นดาวเทียมพัฒนาขึ้นเพื่อประโยชน์ในการสำรวจทรัพยากรโดยประเทศอินเดีย ดาวเทียมชุดแรกได้แก่ IRS 1A ได้ส่งขึ้นสู่วงโคจรเมื่อวันที่ 17 มีนาคม พ.ศ. 2531 ต่อมา วันที่ 29 สิงหาคม พ.ศ. 2534 ดาวเทียมดวงที่สอง คือ IRS 1B ได้ถูกส่งขึ้นสู่วงโคจร โดยมีคุณลักษณะเช่นเดียวกับดวงแรก หลังจากนั้นในวันที่ 15 ตุลาคม พ.ศ. 2538 อินเดียได้ส่งดาวเทียมดวงที่สาม ของชุดนี้ คือ IRS P2 ขึ้นสู่วงโคจร และตามด้วยดาวเทียมดวงที่สี่ และห้า คือ IRS 1C เมื่อวันที่ 28 ธันวาคม พ.ศ. 2538 และ IRS 1D เมื่อวันที่ 29 กันยายน พ.ศ. 2540 สำหรับข้อมูลจากดาวเทียมที่นำมาใช้ในปัจจุบัน ได้แก่ ดาวเทียม IRS 1C,1D ซึ่งมีเครื่องรับรู้ที่สำคัญ ได้จาก ระบบ Linear Imaging and Self Scanning Sensor (LISS III) บันทึกข้อมูล ช่วงคลื่นตามองเห็นและอินฟราเรด รวม 4 ช่วงคลื่น ความละเอียดภาพ 23.5 เมตร ระบบแพนโครมาติก ความละเอียดภาพ 5.8 เมตร และ ระบบ WiFS ความละเอียดภาพ 188 เมตร โดยบันทึกข้อมูลในช่วงคลื่นตามองเห็นและอินฟราเรด (ภาพที่ 3.19)

2.4.9 ดาวเทียม CARTOSAT

ภาพที่ 3.20 *ดาวเทียม CARTOSAT*

ดาวเทียม CARTOSAT 1 ถูกส่งขึ้นสู่วงโคจรเมื่อเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2548 เป็นดาวเทียมดวงที่ 11 ของชุดดาวเทียม IRS ในการประยุกต์ด้านแผนที่ด้วยกล้องขาวดำ 2 กล้อง เพื่อถ่ายภาพสามมิติในช่วงคลื่นตามองเห็น ความละเอียดภาพ 2.5 เมตร ถ่ายภาพกว้าง 30 กิโลเมตร ดาวเทียม CARTOSAT 2 ดวงที่ 12 ของชุดดาวเทียม IRS ที่ถูกส่งขึ้นวงโคจรเมื่อเดือนมกราคม พ.ศ.2549 เพื่อปฏิบัติการร่วมกับชุดดาวเทียม IRS อีก 6 ดวง ที่ยังทำงานอยู่คือ IRS 1C IRS 1D OCEANSAT 1 Technology Experimental Satellite (TES) RESOURCESAT 1 และ CARTOSAT 1 มีระบบแพนโครมาติก มีความละเอียดต่ำกว่า 1 เมตร ภาพกว้าง 9.6 กิโลเมตร สามารถถ่ายมุมเอียงถึง 45 องศา ขวางแนวโคจร สามารถประยุกต์ใช้ข้อมูลเพื่อในการออกแบบรังวัดที่ดิน ด้านผังเมือง และการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐาน (ภาพที่ 3.20 และตารางที่ 3.10)

ตารางที่ 3.10 ลักษณะและคุณสมบัติของดาวเทียม CARTOSAT

วงโคจร	แบบสัมพันธ์ดวงอาทิตย์
ระดับความสูง	ประมาณ 618 กิโลเมตร
ความเอียง	98.87°
คาบ	97 นาที
จำนวนครั้งต่อวัน	15 ครั้ง
เวลาท้องถิ่นที่เส้นระนาบศูนย์สูตร	10.30 น.
วันถ่ายภาพซ้ำ (วัน)	126 วัน
Nominal Wait Time to Acquire Adj. Path	11 วัน
Max. Wait Time for Revisit	5 วัน
อัตราความเร็ว	105 Mb/s

ตารางที่ 3.10 ลักษณะและคุณสมบัติของดาวเทียม CARTOSAT (ต่อ)

หน่วยความจุ	120 GB
มวล	1,560 กิโลกรัม
การควบคุม	3-axis body stabilized using Reaction Wheels, Magnetic Torquers and Hydrazine Thrusters
พลังงาน	5 sq m Solar Array generating 1100W (End Of Life) Two 24 Ah Ni-Cd batteries
อายุการใช้งาน	5-6 ปี
ความละเอียดภาพแพนโครมาติก	2.5 เมตร
ความกว้างของภาพ	30/ 27 กิโลเมตร
ความละเอียดของเรดิโอเมติก	10 บิต
ช่วงสเปกตรัมแพนโครมาติก	500-750 นาโนเมตร
CCD Arrays (จำนวนแถว x จำนวนหน่วยย่อย)	1 x 12,288

ที่มา : Bharatrakshak (2007)

2.4.10 ดาวเทียม RADARSAT

ดาวเทียม RADARSAT 1 (ภาพที่ 3.21) เป็นดาวเทียมสำรวจทรัพยากรพัฒนาโดยองค์การอวกาศแคนาดา (Canadian Space Agency : CSA) ส่งขึ้นสู่วงโคจรเมื่อวันที่ 4 พฤศจิกายน พ.ศ. 2538 ติดตั้งเครื่องรับรู้ระบบเรดาร์ช่องเปิดสังเคราะห์ ในช่วงคลื่นแบนด์ C โพลาไรเซชันแบบ HH สามารถบันทึกข้อมูลได้ 7 ความละเอียดภาพตั้งแต่ 10 ถึง 100 เมตร ครอบคลุมพื้นที่เป็นแนวกว้างตั้งแต่ 45 ถึง 500 กิโลเมตร ดาวเทียม RADARSAT 2 มีกำหนดส่งขึ้นสู่วงโคจรในปี พ.ศ. 2550 และยังคงใช้ช่วงคลื่นแบนด์ C โพลาไรเซชันแบบ HH HV VH และ VV แต่มีความละเอียดภาพตั้งแต่ 3 ถึง 100 เมตร (รายละเอียดดังภาพที่ 3.21 และตารางที่ 3.11)

***ภาพที่** 3.21 ดาวเทียม RADARSAT*

ตารางที่ 3.11 ลักษณะและความละเอียดภาพของดาวเทียม RADARSAT

โหมดการถ่ายภาพ	ความละเอียดภาพ (เมตร)	จำนวนลำแสง	ความกว้างแนวถ่ายภาพ (กิโลเมตร)	มุมตกกระทบ (องศา)
ละเอียด	8	15	45	37-47
มาตรฐาน	30	7	100	20-49
กว้าง	30	3	150	20-45
ScanSAR แคบ	50	2	300	20-49
ScanSAR กว้าง	100	2	500	20-49
Extended มุมสูง	18-27	3	75	52-58
Extended มุมต่ำ	30	1	170	10-22

ที่มา : Canadian Space Agency (2007)

2.4.11 ดาวเทียม ADEOS (Advanced Earth Observing Satellite)

ดาวเทียม ADEOS เป็นดาวเทียมขององค์การพัฒนาอวกาศแห่งชาติญี่ปุ่นที่มีขนาดใหญ่ที่สุด พัฒนาโดยความร่วมมือกับประเทศสหรัฐอเมริกา ดาวเทียม ADEOS 1 ถูกส่งขึ้นสู่วงโคจรเมื่อวันที่ 17 สิงหาคม พ.ศ. 2539 เพื่อใช้ประโยชน์ในการสำรวจทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม การติดตามการเปลี่ยนแปลงของสภาวะเรือนกระจก และโอโซนในบรรยากาศ เป็นต้น ดาวเทียม ADEOS 2 ถูกส่งขึ้นสู่วงโคจรเมื่อเดือนธันวาคม พ.ศ. 2545 และสิ้นสุดการปฏิบัติงานในเดือนตุลาคม พ.ศ. 2546 ดาวเทียมนี้มีเครื่องรับรู้ 5 ระบบ ได้แก่

- Advanced Microwave Scanning Radiometer (AMSR)
- Global Imager (GLI)
- Sea Winds Scatterometer
- Polarization and Directionality of the Earth's Reflectances (POLDER)
- Improved Limb Atmospheric Spectrometer II (ILAS II) ดังภาพที่ 3.22

***ภาพที่** 3.22 ดาวเทียม ADEOS*

2.4.12 ดาวเทียม IKONOS

ดาวเทียม IKONOS เป็นดาวเทียมเชิงพาณิชย์ดวงแรกของบริษัท Space Imaging ประเทศสหรัฐอเมริกา ส่งขึ้นสู่วงโคจรเมื่อวันที่ 1 มิถุนายน พ.ศ. 2541 โคจรที่ระดับความสูง 680 กิโลเมตร คาบโคจรรอบโลก 98 นาที และกลับมาที่เดิมทุก 3 วัน มีแนวถ่ายภาพกว้าง 1 กิโลเมตร มีความละเอียดภาพ ดังนี้

- ระบบแพนโครมาติก (0.45-0.90 ไมโครเมตร) ความละเอียดภาพ 1 เมตร
- ระบบหลายสเปกตรัมช่วงคลื่นตามองเห็น (น้ำเงิน 0.45-0.52 ไมโครเมตร เขียว 0.51-0.60 ไมโครเมตร แดง 0.63-0.70 ไมโครเมตร) และอินฟราเรดใกล้ (0.76-0.85 ไมโครเมตร) รายละเอียดดังภาพที่ 3.23 และตารางที่ 3.12

***ภาพที่** 3.23 ดาวเทียม IKONOS*

ตารางที่ 3.12 ลักษณะและคุณสมบัติของดาวเทียม IKONOS

วันที่ปล่อย	24 กันยายน พ.ศ. 2542 ฐานทัพอากาศ Vandenberg แคลิฟอร์เนีย ประเทศสหรัฐอเมริกา
อายุการใช้งาน	มากกว่า 7 ปี
วงโคจร	เอียง 98.1 องศา แบบสัมพันธ์กับดวงอาทิตย์
ความเร็วที่วงโคจร	7.5 กิโลเมตร/ วินาที
ความเร็วเหนือพื้นดิน	6.8 กิโลเมตร/ วินาที
จำนวนที่โคจรรอบโลก	14.7 รอบ/ 24 ชั่วโมง
คาบโคจรรอบโลก	98 นาที
ระดับความสูง	681 กิโลเมตร
ความละเอียดภาพ	**ที่แนวดิ่ง** ระบบแพนโครมาติก 0.82 เมตร ระบบหลายสเปกตรัม 3.2 เมตร **26° นอกแนวดิ่ง** ระบบแพนโครมาติก 1.0 เมตร ระบบหลายสเปกตรัม 4.0 เมตร

ตารางที่ 3.12 ลักษณะและคุณสมบัติของดาวเทียม IKONOS (ต่อ)

ความกว้างแนวถ่ายภาพ	11.3 กิโลเมตร ที่แนวดิ่ง 13.8 กิโลเมตร 26 องศา นอกแนวดิ่ง
เวลาผ่านระนาบศูนย์สูตร	10:30 น. เวลาท้องถิ่น
วันถ่ายซ้ำที่เดิม	ประมาณ 3 วัน ที่ละติจูด 40 องศา
ความละเอียดเชิงแสง	11 บิต/ จุดภาพ
ช่วงคลื่น	แพนโครมาติก น้ำเงิน เขียว แดง และอินฟราเรดใกล้

ที่มา : Wikipedia (2007)

2.4.13 ดาวเทียม QuickBird

ดาวเทียม QuickBird เป็นดาวเทียมเชิงพาณิชย์รุ่นที่สองของบริษัท Digital Globe ประเทศสหรัฐอเมริกา ถูกส่งขึ้นสู่วงโคจรเมื่อวันที่ 18 ตุลาคม พ.ศ.2544 มีความละเอียดภาพ 0.61 เมตร ในระบบแพนโครมาติก และ 2.44 เมตร ในระบบหลายสเปกตรัม โดยบันทึกข้อมูลช่วงคลื่นตามองเห็นและอินฟราเรดใกล้ มีแนวถ่ายภาพกว้าง 16.5 กิโลเมตร โดยดาวเทียมรุ่นแรกคือดาวเทียม EarlyBird 1 ที่ถูกส่งขึ้นสู่วงโคจรเมื่อวันที่ 24 ธันวาคม พ.ศ. 2540 มีความละเอียดภาพ 3 เมตร ในระบบแพนโครมาติก และ 15 เมตร ในระบบหลายสเปกตรัม (ภาพที่ 3.24) หลังจากส่งขึ้นสู่วงโคจร 4 วัน คือในวันที่ 28 ธันวาคม พ.ศ. 2540 ไม่สามารถติดต่อสื่อสารกับดาวเทียม EarlyBird 1 ได้ ดาวเทียม QuickBird มีคุณลักษณะและรายละเอียดดังภาพที่ 3.25 และตารางที่ 3.13

***ภาพที่** 3.24 ดาวเทียม EarlyBird 1*

***ภาพที่** 3.25 ดาวเทียม QuickBird*

ตารางที่ 3.13 ลักษณะและคุณสมบัติของดาวเทียม QuickBird

ข้อมูลการปล่อย	วันที่ 18 ตุลาคม พ.ศ. 2544 เวลา 18.51-19.06 น. ยานปล่อย : จรวด Delta II ที่ฐานทัพอากาศ Vandenberg แคลิฟอร์เนีย ประเทศสหรัฐอเมริกา	
วงโคจร	ระดับความสูง 450 กิโลเมตร เอียง 98 องศา แบบสัมพันธ์ดวงอาทิตย์ โคจรซ้ำที่เดิมทุก 3-7 วัน ขึ้นอยู่กับตำแหน่งละติจูดสำหรับความละเอียดภาพ 60 เซนติเมตร คาบโคจร 93.4 นาที	
บันทึกข้อมูล/รอบ	ประมาณ 128 GB (57 หน่วยภาพ)	
ความกว้างแนวถ่ายภาพและขนาดพื้นที่	ที่แนวดิ่ง 16.5 กิโลมตร ความกว้างแนวถ่ายมากถึง 544 กิโลเมตร ที่ศูนย์กลางของแนวถ่ายภาพบนพื้นดิน (หรือประมาณ 30 องศา นอกแนวดิ่ง) พื้นที่ 1 ภาพ 16.5 x 16.5 กิโลเมตร พื้นที่ 1 แถบ 16.5 x 165 กิโลเมตร	
ความถูกต้อง	ค่าคลาดเคลื่อนในวงกลม 23 เมตร ค่าคลาดเคลื่อนเชิงเส้น 17 เมตร ปราศจากจุดควบคุม	
ความละเอียดภาพเครื่องรับรู้ และความกว้างแถบความถี่	*แพนโครมาติก* 60 เซนติเมตร ระยะตัวอย่างบนพื้นที่แนวดิ่ง ความกว้าง ช่วงคลื่นขาวดำ 0.445-0.900 ไมโครเมตร	*หลายสเปกตรัม* 2.4 เมตร ระยะบนพื้นที่แนวดิ่ง น้ำเงิน (0.45-0.52 ไมโครเมตร) เขียว (0.52-0.60 ไมโครเมตร) แดง (0.63-0.69 ไมโครเมตร) อินฟราเรดใกล้ (0.76-0.90 ไมโครเมตร)
ความละเอียดเชิงแสง	11 บิต/ จุดภาพ	

ตารางที่ 3.13 ลักษณะและคุณสมบัติของดาวเทียม QuickBird (ต่อ)

การสื่อสาร	ข้อมูล Payload ด้วย X-band ที่ความเร็ว 320 Mbps	ข้อมูลบริหารจัดการด้วย X-band ความเร็ว จาก 4 16 และ 256 Kbps และเชื่อมโยง ขึ้นด้วย X-band ที่ความเร็ว 2 Kbps
การควบคุมการทรงตัว	3-axis stabilized, star tracker/ IRU/ reaction wheels, GPS	
การชี้ตำแหน่งและ ความคล่องตัว	ความถูกต้องน้อยกว่า 0.5 มิลลิเรเดียนสัมบูรณ์ต่อแกน ความยอมรับน้อยกว่า 15 ไมโครเรเดียนต่อแกน ความเสถียรน้อยกว่า 10 ไมโครเรเดียนต่อวินาที	
ความจุของข้อมูลบนยาน	ขนาด 128 Gbits	
ยาน	บรรจุเชื้อเพลิงสำหรับการใช้งาน 7 ปี น้ำหนักรวม 2,100 ปอนด์ ความยาว 3.04 เมตร	

ที่มา : Wikipedia (2007)

2.4.14 ดาวเทียม TERRA

***ภาพที่** 3.26 ดาวเทียม TERRA*

ดาวเทียม TERRA เป็นดาวเทียมสำรวจทรัพยากรขนาดใหญ่ (หนักประมาณ 5 เมตริกตัน) ส่งขึ้นสู่วงโคจรเมื่อวันที่ 18 ธันวาคม พ.ศ. 2542 แต่เดิมมีชื่อว่า EOS AM-1 โครงการดาวเทียม TERRA เป็นความร่วมมือด้านอวกาศระหว่างชาติ คือ องค์การ NASA องค์การสำรวจทรัพยากรแห่งชาติญี่ปุ่น (Japan Resources Observation System Organization: JAROS) และองค์การอวกาศแห่งชาติแคนาดา (CSA) โดยองค์การ NASA พัฒนาตัวยานและเครื่องรับรู้ที่ติดตั้งบนดาวเทียม คือ Clouds and the Earth's Radiant Energy System (CERES) Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) และ Multi-angle Imaging SpectroRadiometer (MISR) องค์การ JAROS พัฒนาระบบ Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) และองค์การ CSA พัฒนาระบบ Measurements of Pollution in The Troposphere (MOPITT)

ดาวเทียม TERRA โคจรที่ระดับความสูง 705 กิโลเมตร กลับมาที่เดิมทุกๆ 16 วัน อายุใช้งาน 5 ปี มีเครื่องรับรู้ 5 ระบบ ได้แก่ ASTER CERES MISR MODIS และ MOPITT โดยมีเครื่องรับรู้ที่ใช้ในการรับรู้จากระยะไกลเพื่อสำรวจโลก ได้แก่ ASTER และ MODIS (ภาพที่ 3.26) ดังนั้นจะกล่าวถึงเฉพาะ 2 ระบบนี้เท่านั้น

ASTER เป็นเครื่องรับรู้ข้อมูลเชิงแสง (Optical sensor) มี 14 ช่วงคลื่น ตั้งแต่ช่วงคลื่นตามองเห็น จนถึงช่วงคลื่นอินฟราเรดความร้อนมีความละเอียดภาพ 15 30 และ 90 เมตร ความกว้างแนวถ่ายภาพ 60 กิโลเมตร สามารถปรับมุมถ่ายภาพได้ สำหรับบันทึกข้อมูลซึ่งเอื้อประโยชน์ในการทำภาพสามมิติเพื่อการสำรวจทรัพยากรรวมทั้งติดตามและแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อม

MODIS พัฒนามาจากระบบ AVHRR ที่ติดตั้งบนดาวเทียม NOAA บันทึกข้อมูลครอบคลุมพื้นโลกทุกๆ 1-2 วัน มีแนวถ่ายภาพกว้าง 2,330 กิโลเมตร สามารถบันทึกข้อมูลในช่วงคลื่นต่างๆ กันถึง 36 ช่วงคลื่น (ระหว่าง 0.4-14 ไมโครเมตร) มีความละเอียดภาพตั้งแต่ 250 500 และ 1,000 เมตร สำหรับช่วงคลื่น 1-2 3-7 และ 8-36 ตามลำดับ ระบบ MODIS สามารถประยุกต์ใช้ได้ทั้งบนบกและในทะเล ซึ่งจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการศึกษาทั้งบนพื้นดิน ทะเล บรรยากาศ และสิ่งแวดล้อมโลกอื่นๆ

2.4.15 ดาวเทียม AQUA

ดาวเทียม AQUA เป็นดาวเทียมสำรวจชุดเดียวกับดาวเทียม TERRA ถูกส่งขึ้นวงโคจรเมื่อวันที่ 4 พฤษภาคม พ.ศ. 2545 โคจรที่ระดับความสูง 705 กิโลเมตร กลับมาที่เดิมทุกๆ 16 วัน อายุใช้งาน 6 ปี มีระบบเครื่องรับรู้ 6 ระบบ ได้แก่

- MODIS : Moderate Resolution Imaging SpectroRadiometer
- AMSR-E : Advanced Microwave Scanning Radiometer-EOS
- AMSU-A : Advanced Microwave Sounding Unit-A
- CERES : Cloud's and the Earth's Radiant Energy System
- AIRS : Atmospheric Infrared Sounder
- HSB : Humidity Sounder for Brazil (ภาพที่ 3.27)

ภาพที่ 3.27 *ดาวเทียม AQUA*

2.4.16 ดาวเทียม ALOS
(Advanced Land Observing Satellite)

ดาวเทียม ALOS พัฒนาโดย Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA) ประเทศญี่ปุ่น ขึ้นสู่วงโคจรเมื่อเดือนมกราคม พ.ศ. 2550 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ในการทำแผนที่ การติดตามภัยพิบัติ และการสำรวจทรัพยากร ดาวเทียม ALOS ประกอบด้วยเครื่องรับรู้ 3 ระบบ คือ

- Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping (PRISM) ความละเอียดภาพ 2.5 เมตร
- Advanced Visible and Near Infrared Radiometer type 2 (AVNIR-2) ความละเอียดภาพ 10 เมตร
- Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar (PALSAR) ความละเอียดภาพ 10-30 เมตร (ภาพที่ 3.28)

ภาพที่ 3.28 *ดาวเทียม ALOS*

2.4.17 ดาวเทียม THEOS (Thailand Earth Observation Satellite)

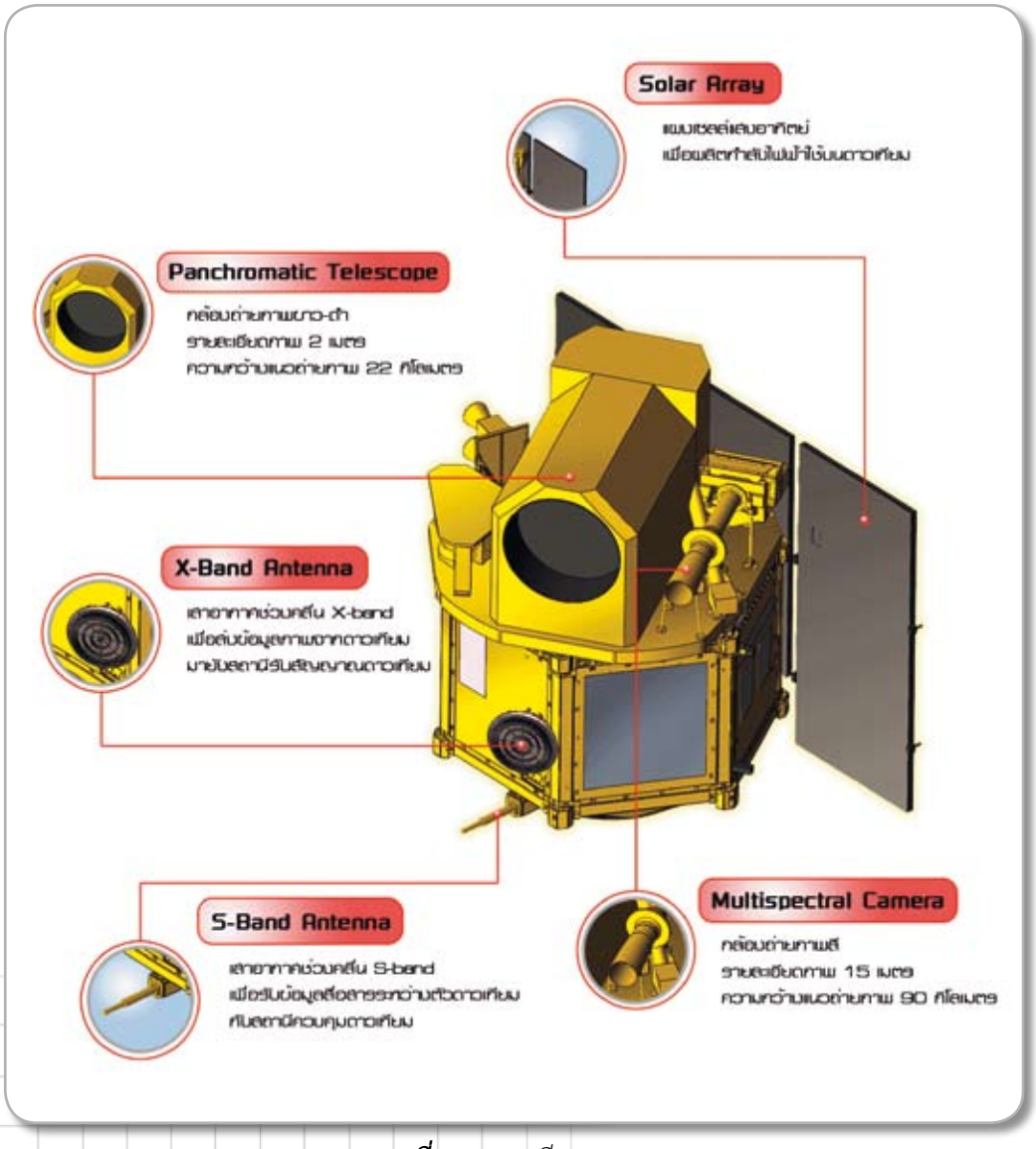
ดาวเทียม THEOS เป็นดาวเทียมสำรวจทรัพยากรดวงแรกของไทยที่เกิดขึ้นจากความร่วมมือด้านเทคโนโลยีอวกาศ ระหว่างรัฐบาลไทยและรัฐบาลฝรั่งเศสโดยมีสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) ทำหน้าที่เป็นหน่วยงานกลางในการดำเนินการสร้างดาวเทียม THEOS โดยได้ลงนามกับบริษัท EADS Astrium เมื่อวันที่ 19 กรกฎาคม พ.ศ. 2547

โครงการดาวเทียม THEOS ประกอบด้วยการออกแบบ การพัฒนา การส่งดาวเทียมขึ้นสู่อวกาศ การควบคุมดาวเทียม และการดำเนินการภาคพื้นดินต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง โดยพัฒนาร่วมกับบริษัท EADS Astrium ประเทศฝรั่งเศส ดาวเทียม THEOS เป็นระบบที่สามารถสำรวจครอบคลุมทั่วโลก สามารถบันทึกข้อมูลภาพได้ทั้งในช่วงคลื่นตามองเห็น และช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้

ดาวเทียม THEOS ได้รับการออกแบบให้มีอายุการใช้งานอย่างน้อย 5 ปี และจะขึ้นสู่วงโคจรที่ระดับความสูง 830 กิโลเมตร ในต้นปี พ.ศ. 2551 โดยข้อมูลที่บันทึกจากเครื่องรับรู้จะส่งมายังส่วนรับภาพภาคพื้นดิน (Image Ground Segment : IGS) ซึ่งเป็นส่วนควบคุมภาคพื้นดิน (Control Ground Segment : CGS) ที่อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี เพื่อการสั่งการและควบคุมดาวเทียม

- *เครื่องรับรู้ของดาวเทียม THEOS*

เครื่องรับรู้ของดาวเทียม THEOS ทำการบันทึกภาพพื้นผิวโลกด้วยอุปกรณ์ Charge Coupled Devices (CCD) ณ ระนาบรวมแสงของระบบเชิงแสงที่มีความเที่ยงตรงสูง องค์ประกอบภายในกล้องบันทึกภาพขาวดำ (กระจกหลักและระนาบรวมแสง) ทำจากวัสดุ Silicon Carbide (SiC) ซึ่งทำให้ระบบมีความเสถียรเป็นอย่างยิ่ง ส่วนเครื่องรับรู้ระบบหลายสเปกตรัมเป็นแบบ Dioptic ซึ่งมีแผ่นกรองแสง 4 อัน ที่ระนาบรวมแสงของกล้องแต่ละตัวมีอุปกรณ์ CCD ซึ่งจะแปลงข้อมูลจากแสงที่สะท้อนจากพื้นโลกให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า ทั้งนี้หลักการพื้นฐานในการบันทึกภาพเรียกกว่า “Pushbroom scanning” โดยเป็นการบันทึกแต่ละเส้นของภาพแบบอิเล็กทรอนิกส์ แล้วรวมเส้นที่ต่อเนื่องกันให้เป็นภาพที่สมบูรณ์ ตามการเคลื่อนที่ของแนวเล็ง (Line of sight) บนพื้นผิวโลก ความละเอียดช่วงคลื่น ของเครื่องรับรู้หลายสเปกตรัม คล้ายคลึงกับความละเอียดช่วงคลื่นของดาวเทียม SPOT แต่อย่างไรก็ตามช่วงคลื่นแพนโครมาติกของดาวเทียม THEOS ครอบคลุมช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ด้วย รายละเอียดดังภาพที่ 3.29 และตารางที่ 3.14



***ภาพที่** 3.29 ดาวเทียม THEOS*

ตารางที่ 3.14 ลักษณะและความละเอียดของดาวเทียม THEOS

คุณลักษณะ	*แพนโครมาติก*	*สเปกตรัม*
ความละเอียดช่วงคลื่น/ ความละเอียดภาพ	แพนโครมาติก/ 2 เมตร	4 ช่วงคลื่น / 15 เมตร
พิสัยสเปกตรัม	0.45-0.90 ไมโครเมตร	B1 (น้ำเงิน): 0.45-0.52 ไมโครเมตร B2 (เขียว): 0.53-0.60 ไมโครเมตร B3 (แดง): 0.62-0.69 ไมโครเมตร B4 (อินฟราเรดใกล้) : 0.77-0.90 ไมโครเมตร
ความกว้างแนวถ่ายภาพ	22 กิโลเมตร	90 กิโลเมตร
ความละเอียดเชิงแสง	8 บิต จาก 12 บิต	8 บิต จาก 12 บิต
ความถูกต้องสัมบูรณ์	< 300 เมตร (1σ)	< 300 เมตร (1σ)
มุมมองแนวเฉียง	$\pm$50˚ (เอียงและกระดก)	$\pm$50˚ (เอียงและกระดก)
อัตราส่วนระหว่างสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน	> 90	> 100

- *วงโคจรของดาวเทียม THEOS*

ดาวเทียม THEOS จะโคจรผ่านระนาบศูนย์สูตรจากทิศเหนือลงทิศใต้ เวลา 10.00 น. ตามเวลาท้องถิ่น โดยมีคาบโคจรรอบโลก 1 รอบใช้เวลา 101 นาที และจะโคจรถ่ายภาพซ้ำที่เดิมทุกๆ 26 วัน โคจรรอบโลกทั้งสิ้น 369 วงโคจร หรือ 1 รอบวงโคจร (ดาวเทียมโคจรรอบโลก 14 + 5/ 26 รอบต่อวันโดยเฉลี่ย) และโคจรลักษณะเดียวกันตลอด ซึ่งระยะห่างระหว่างวงโคจรแต่ละวงเท่ากับ 105 กิโลเมตร สามารถถ่ายภาพครอบคลุมพื้นที่ทั่วโลกภายใน 35 วัน โดยใช้เครื่องรับรู้ระบบหลายสเปกตรัม และภายใน 130 วัน เมื่อใช้เครื่องรับรู้ระบบแพนโครมาติก

กล้องของดาวเทียม THEOS สามารถปรับมุมเอียงได้สูงถึง 50 องศา ทำให้มีขีดความสามารถเพิ่มขึ้นในการกลับมาบันทึกภาพบริเวณเดิม และภายใน 1 วัน ดาวเทียมสามารถถ่ายภาพได้กว่า 90% ของพื้นที่โลก สมรรถนะในการปรับเอียงกล้องของดาวเทียมทำให้สามารถถ่ายภาพได้ทุกพื้นที่ภายในแนวการบันทึก 1,000 กิโลเมตร เมื่อปรับเอียงกล้อง 30 องศา ความสามารถนี้ช่วยเพิ่มความถี่ในการถ่ายภาพพื้นที่ภายในการโคจรรอบโลก 1 รอบ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับตำแหน่งละติจูดของพื้นที่ สำหรับประเทศไทยสามารถถ่ายภาพพื้นที่ที่ต้องการได้ถึง 9 ครั้งใน 26 วัน หรือ 126 ครั้งใน 1 ปี กล่าวคือ โดยเฉลี่ยแล้วสามารถถ่ายภาพได้ทุกๆ 3 วันและใช้เวลาไม่เกิน 5 วัน

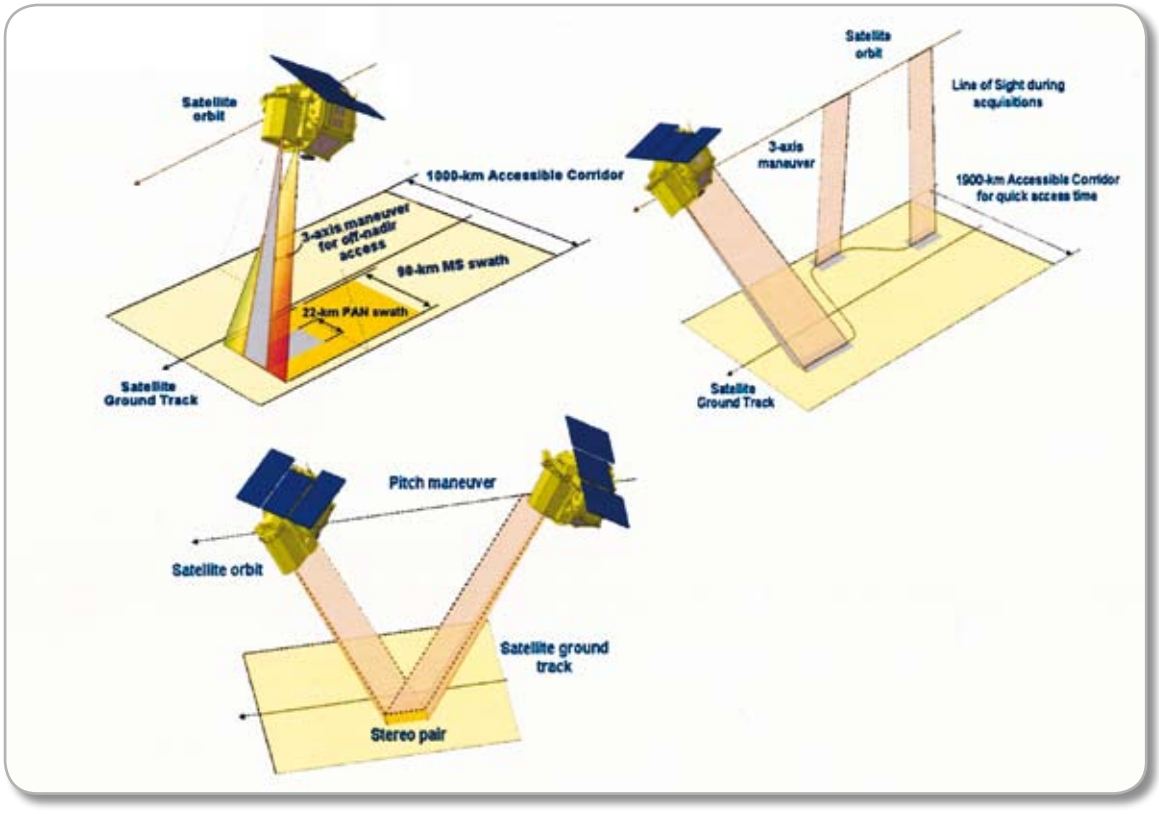
- *สมรรถนะในการปรับเอียงกล้องเพื่อถ่ายภาพ*

ดาวเทียม THEOS มีความสามารถสูงในการปรับเอียงเพื่อถ่ายภาพ สามารถถ่ายภาพได้หลายเป้าหมายในการโคจรผ่าน 1 ครั้ง พื้นที่ภายใต้มุมเอียง 12 องศา จากแนวดิ่งใต้ดาวเทียม (Nadir) ถือว่าเป็นภาพใกล้แนวดิ่ง โดยปกติแล้วการบันทึกภาพจะอยู่ภายใต้มุมเอียง 30 องศา แต่เมื่อมีภารกิจเร่งด่วน สามารถถ่ายภาพโดยมีมุมเอียงได้ถึง 50 องศา ความกว้างแนวถ่ายภาพของภาพแพนโครมาติก มีความกว้างประมาณ 22 กิโลเมตร และภาพหลายสเปกตรัมมีความกว้างประมาณ 90 กิโลเมตร

- *ความสามารถในการถ่ายภาพสามมิติ*

ดาวเทียม THEOS สามารถโปรแกรมการถ่ายภาพคู่ภาพถ่ายทรวดทรง (Stereo pair) เพื่อแสดงถึงทรวดทรงของภูมิประเทศและสร้างแบบจำลองความสูงได้ โดยสามารถทำได้ 2 วิธี ดังแสดงในภาพที่ 3.30 ได้แก่

1) ถ่ายภาพพื้นที่เดียวกันจากสองแนวการโคจรโดยการเอียงกล้องในมุมที่ต่างกัน
2) เอียงกล้องเพื่อถ่ายภาพไปข้างหน้าและย้อนหลังในแนวโคจรเดียวกัน



***ภาพที่** 3.30 การถ่ายภาพของดาวเทียม THEOS*

3. ระบบเครื่องรับรู้ (Sensor systems)

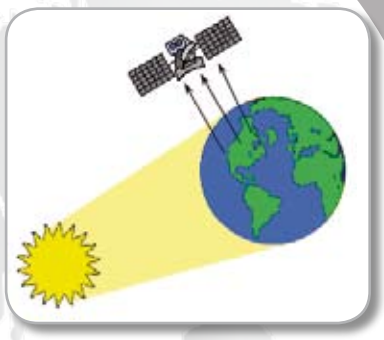
Aronoff (2005) ได้จำแนกระบบเครื่องรับรู้ออกเป็น 3 แบบ คือ

- ระบบกล้องถ่ายรูป (Photographic camera)
- ระบบแพสซิฟอิเล็กทรอนิกส์ (Passive electronic sensors)
- ระบบแอ็กทิฟอิเล็กทรอนิกส์ (Active electronic sensors)

3.1 ระบบกล้องถ่ายรูป

ในระบบกล้องถ่ายรูปหรือฟิล์มถ่ายรูป ค่าพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะทำปฏิกิริยากับสารเคมีที่เคลือบบนแผ่นฟิล์ม ทำให้เกิดความแตกต่างตามพลังงานและช่วงคลื่นที่ได้รับ เมื่อมีการล้างฟิล์มปรากฏความแตกต่างของสีและระดับสี สามารถอัดขยายเป็นรูปขาวดำและรูปสี ได้แก่ กล้องถ่ายรูปที่สามารถบันทึกช่วงคลื่นระหว่าง 0.3-0.9 ไมโครเมตร เท่านั้น กล้องถ่ายรูปที่มีประสิทธิภาพสูง สามารถให้รูปถ่ายทางอากาศที่มีความละเอียดภาพสูงถึง 0.01 มิลลิเมตร ซึ่งการแปลตีความรูปถ่ายทางอากาศทั่วไป ต้องการความละเอียดเพียง 0.1 มิลลิเมตร เช่น ในมาตราส่วน 1: 50,000 จะเท่ากับระยะจริงบนพื้นดิน 5 เมตร และในมาตราส่วน 1: 6,000 จะเท่ากับระยะจริงบนพื้นดิน 0.6 เมตร ความละเอียดของรูปถ่าย ได้จากการเรียงตัวของเส้นสลับขาวดำ มีหน่วยเป็นจำนวนคู่เส้นต่อมิลลิเมตร (คู่เส้น/มิลลิเมตร) ฟิล์มถ่ายรูปหรือรูปถ่ายทางอากาศใช้มาตรฐานของขนาดสี่เหลี่ยมจัตุรัสสลับขาวและดำ ที่สายตาสามารถเห็นแยกจากกันได้อย่างชัดเจน ฟิล์มรูปถ่ายทางอากาศมีความละเอียด 100 ถึง 150 คู่เส้น/ มิลลิเมตร ส่วนฟิล์มชนิดพิเศษสามารถให้ความละเอียดถึง 450 คู่เส้น/มิลลิเมตร อย่างไรก็ตามปัจจัยต่างๆ ในการบินถ่ายภาพ เช่น กล้องถ่ายรูป ความไวแสงของฟิล์ม และการเคลื่อนที่ขณะถ่ายรูป เป็นต้น ทำให้ความละเอียดภาพของรูปถ่ายทางอากาศเปลี่ยนไป รูปถ่ายทางอากาศจึงนิยมใช้ในการทำแผนที่มาตราส่วนใหญ่ เนื่องจากให้ความละเอียดภาพสูง และการวัดค่าความถูกต้องทางภาคพื้นดินทำได้ง่าย รวมทั้งการแปลตีความด้วยสายตาและด้วยเครื่องมือพื้นฐานอย่างง่าย นอกจากนั้นกระสวยอวกาศและห้องปฏิบัติการลอยฟ้า รวมทั้งยานอวกาศของประเทศรัสเซียมักนิยมติดตั้งระบบกล้องถ่ายรูป

3.2 ระบบแพสซิฟอิเล็กทรอนิกส์ (Passive electronic sensors)

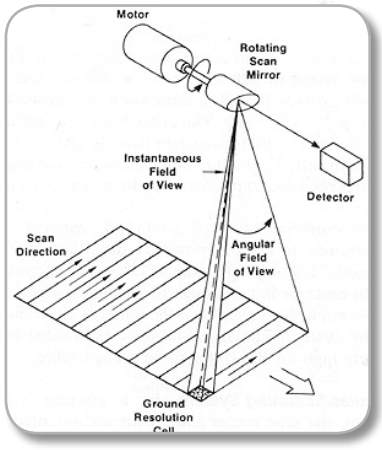


ภาพที่ 3.31 ระบบแพสซิพเชิงเลข

เป็นเครื่องรับรู้ที่บันทึกพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากแหล่งภายนอกหรือจากธรรมชาติ (ภาพที่ 3.31) ซึ่งแหล่งพลังงานทางธรรมชาติที่สำคัญได้แก่ ดวงอาทิตย์ เป็นระบบการรับรู้จากระยะไกลที่ใช้งานกันแพร่หลายทั่วไป เครื่องรับรู้ที่ใช้งาน อย่างกว้างขวาง คือ ระบบกราดภาพหลายช่วงคลื่น ซึ่งจะทำการบันทึกข้อมูลในช่วงคลื่นต่างๆ ระหว่าง 0.3-14 ไมโครเมตร เครื่องกราดภาพลายเส้น (Line scanners) มี 5 ประเภท ได้แก่

3.2.1 เครื่องกราดภาพขวางแนวโคจร (Across track scanner)

ระบบนี้บันทึกข้อมูลโดยอาศัยกระจกหมุนกราดรับข้อมูลจากแต่ละสนามมุมมองในขณะนั้น (Instantaneous Field of View : IFOV) แล้วบันทึกลงในเครื่อง (ภาพที่ 3.32) โดยแสดงเป็นค่าความเข้ม (Intensity) ของแต่ละจุดภาพบนภาพ

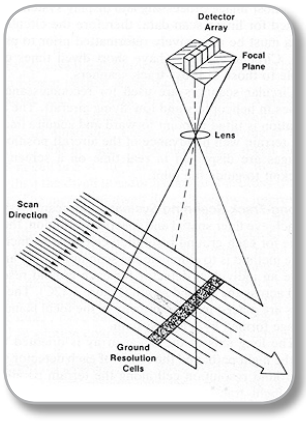


***ภาพที่ 3.32** ลักษณะการบันทึกข้อมูลแบบระบบกราดภาพขวางแนวโคจร*

การบันทึกในลักษณะข้อมูลเชิงเลข ความละเอียดภาพของข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial resolution) ขึ้นอยู่กับความละเอียดภาพบนพื้นดิน (Ground resolution) ซึ่งหมายถึงขนาดของพื้นที่เล็กที่สุดที่เครื่องรับรู้สามารถบันทึกได้ หมายความว่าเป็นกรอบพื้นที่ขนาดเล็กสุดที่จะถูกแทนที่ด้วยค่าเชิงเลข 1 ค่า โดยเป็นค่าพลังงานเฉลี่ยของการสะท้อนจากวัตถุต่างๆ ที่อยู่รวมกันในกรอบดังกล่าวนั้น เช่น ข้อมูลจากดาวเทียมความละเอียดภาพ 20 เมตร หมายถึงว่า แต่ละจุดขนาด 20 x 20 เมตร บนพื้นดิน มีค่าการสะท้อนเฉลี่ยเพียง 1 ค่า เป็นตัวแทนเฉลี่ยของวัตถุในกรอบนั้น ซึ่งเรียกว่า ค่าเชิงเลข หรือค่าจุดภาพ หรือค่าระดับสีเทา (Gray scale)

3.2.2 เครื่องกราดภาพตามแนวโคจร (Along track scanner)

ข้อมูลในแต่ละแถวถูกบันทึกพร้อมๆ กัน แต่ถูกแยกบันทึกโดยเครื่องตรวจหา (Detector) ของแต่ละเครื่อง (ภาพที่ 3.33)



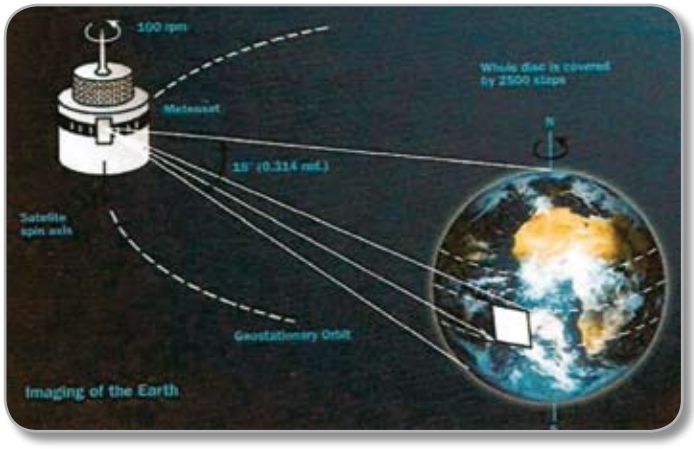
***ภาพที่ 3.33** ลักษณะการบันทึกข้อมูลแบบระบบกราดภาพตามแนวโคจร*

ที่มา : Aronoff, S. (2005)

3.2.3 เครื่องกราดภาพแบบหมุนรอบ (Spin scanners)

เป็นเครื่องกราดภาพสำหรับดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา ที่มีวงโคจรแบบค้างฟ้าหรืออยู่กับที่เหนือพื้นโลกตลอดเวลา ไม่สามารถเคลื่อนที่เพื่อบันทึกภาพของโลกตามพื้นที่ต้องการได้ วิธีหนึ่งที่ใช้ในการบันทึกภาพ คือการหมุนรอบตัวเองของดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาในแกนเหนือ-ใต้ เพื่อกราดภาพโลกด้านล่าง ในแต่ละรอบ สามารถกราดถ่ายภาพ

ได้เพียงหนึ่งแนว คือ แนวตะวันออก-ตะวันตก และปรับมุมกระจกในรอบต่อมาเพื่อกราดถ่ายภาพด้านข้างจนครบพื้นที่ต้องการได้ ดังแสดงในภาพที่ 3.34



ภาพที่ 3.34 *เครื่องกราดภาพแบบหมุนรอบ*

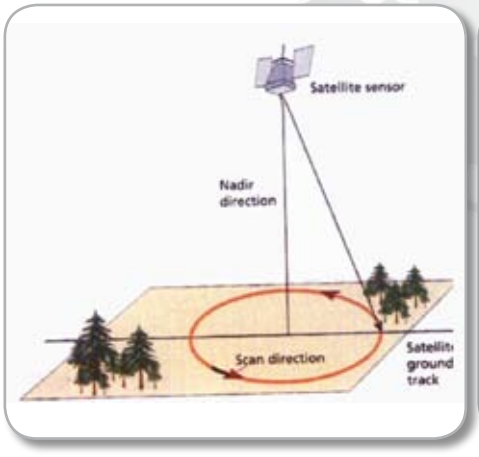
ที่มา : Aronoff, S. (2005)

3.2.4 เครื่องกราดภาพทรงกรวย (Conical scanners)

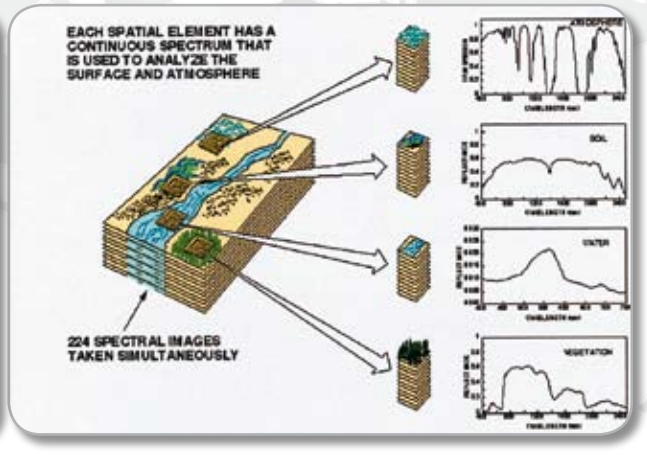
เป็นเครื่องกราดภาพในแนววงกลมหรือวงรี หากกราดภาพวงกลมในแนวดิ่งแล้ว มุมกล้องและ IFOV จะมีค่าคงที่ (ภาพที่ 3.35) เป็นเครื่องกราดภาพที่ใช้ทั่วไปสำหรับดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา เครื่องรับรู้นี้ทำงานในช่วงคลื่นอินฟราเรดและไมโครเวฟ ที่มีความละเอียดภาพค่อนข้างหยาบประมาณ 1 และ 50 กิโลเมตร ตามลำดับ ตัวอย่างเช่น ข้อมูลจากดาวเทียม TRMM (Tropical Rainfall Monitoring Mission) ซึ่งบันทึกข้อมูลช่วงไมโครเวฟ 5 ช่วงคลื่น มีความละเอียดภาพ 50 กิโลเมตร ใช้ในการศึกษาอุณหภูมิผิวน้ำทะเล ลมพื้นผิว ไอน้ำในบรรยากาศ ปริมาณน้ำในเมฆ และอัตราน้ำฝน ดาวเทียม ERS 2 มีเครื่องรับรู้แบบ ATSR ซึ่งเป็นเครื่องกราดภาพทรงกรวย ทำงานในช่วงคลื่นจำนวน 7 แบนด์ ในช่วงคลื่นตามองเห็นและอินฟราเรด เครื่องกราดภาพทรงกรวยนี้ สามารถบันทึกภาพพื้นโลกในลักษณะทรงกรวยเฉียงในมุมที่ต่างกันในแนวดิ่ง และบันทึกภาพไปข้างหน้าใช้เวลาเพียง 2-3 นาที สามารถปรับแก้ผลกระทบจากชั้นบรรยากาศ ทำให้การวัดอุณหภูมิผิวน้ำทะเล มีความถูกต้องจากการวัดเพียงครั้งเดียว

3.2.5 เครื่องกราดไฮเปอร์สเปกตรัม (Hyperspectral scanners)

เป็นเครื่องกราดภาพตั้งแต่สามถึงสิบช่วงคลื่นพร้อมๆ กัน สามารถบันทึกภาพของช่วงคลื่นแคบๆ ได้ต่อเนื่องกันเป็นจำนวนมากจนถึงหลายร้อยช่วงคลื่น (ภาพที่ 3.36) ช่วงคลื่นแคบๆ เหล่านี้มีความกว้างแถบความถี่ (Band width) 0.015 ไมโครเมตร หรือสั้นกว่าข้อมูลจากเครื่องกราดไฮเปอร์สเปกตรัม สามารถสร้างกราฟสเปกตรัมที่แยกความแตกต่างของลักษณะบนพื้นดินได้ดีกว่าเครื่องกราดหลายสเปกตรัมที่มีความกว้างแถบความถี่กว้างกว่า ตัวอย่างของเครื่องกราดไฮเปอร์สเปกตรัม ซึ่งพัฒนาโดยห้องปฏิบัติการ JPL (Jet Propulsion Laboratory) ที่นิยมใช้ในการวิจัย ได้แก่ เครื่องรับรู้ AVIRIS (Airborne Visible Infrared Imaging Spectrometer) ซึ่งบันทึกข้อมูลถึง 224 ช่วงคลื่น มีความกว้าง 0.0096 ไมโครเมตร ระหว่างความยาวคลื่น 0.4-2.45 ไมโครเมตร และเครื่องรับรู้ CHRIS (Compact High Resolution Imaging Spectrometer) ขององค์การอวกาศยุโรป (ESA) สามารถบันทึกข้อมูลถึง 200 ช่วงคลื่น ระหว่างความยาวคลื่น 0.415-1.050ไมโครเมตร และเก็บภาพต่อเนื่อง 19 ช่วงคลื่น ความกว้างแนวการถ่ายภาพขนาด 15 กิโลเมตร และมีความละเอียดภาพ 20 เมตร



***ภาพที่** 3.35 ระบบกวาดภาพทรงกรวย*



***ภาพที่** 3.36 ระบบกวาดภาพหลายๆ ช่วงคลื่น*

ที่มา : Aronoff, S. (2005)

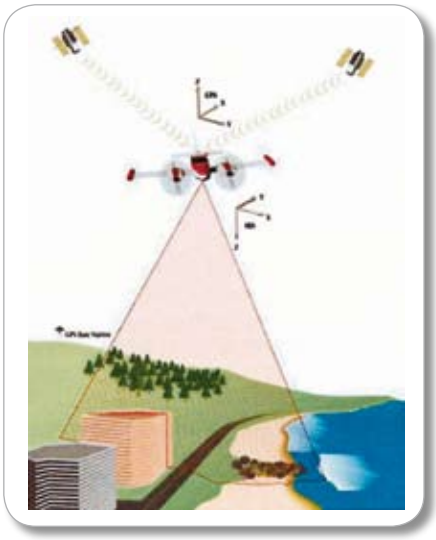
3.3 เครื่องรับรู้แบบแอ็กทิฟอิเล็กทรอนิกส์ (Active electronic sensors)

***ภาพที่** 3.37 เครื่องรับรู้แบบแอ็กทิฟอิเล็กทรอนิกส์*

เป็นเครื่องรับรู้ที่ผลิตพลังงานขึ้นมา ส่งพลังงานไปยังวัตถุเป้าหมาย แล้วรับพลังงานที่สะท้อนกลับจากวัตถุนั้น (ภาพที่ 3.37) ที่รู้จักกันดี ได้แก่ ระบบถ่ายภาพเรดาร์ (Imaging radar) เป็นเครื่องรับรู้แบบแอ็กทิฟอิเล็กทรอนิกส์ บันทึกข้อมูลในช่วงคลื่นที่มีความถี่ระหว่าง 3-12.5 GHz (ความยาวคลื่นระหว่าง 2.4-100 เซนติเมตร) เครื่องรับรู้เรดาร์ทำการผลิตและส่งสัญญาณไมโครเวฟไปยังวัตถุเป้าหมายและรับสัญญาณการสะท้อนกลับ การทำงานระบบนี้ต้องอาศัยสายอากาศ (Antenna) ที่ทำหน้าที่สลับการส่งและรับสัญญาณได้ในตัวเดียวกัน สัญญาณ (Pulse) ที่สะท้อนกลับมาจากวัตถุเป้าหมายจะถูกบันทึกเอาไว้ เพื่อวิเคราะห์ต่อไป รายละเอียดของเรื่องเรดาร์มีอยู่ในท้ายบทนี้

3.3.1 ไลดาร์ (Light Detection and Ranging : Lidar)

เป็นเครื่องรับรู้แบบแอ็กทิฟใช้แสงเลเซอร์ระดับปานกลางในช่วงคลื่นสั้นกว่าในช่วงคลื่นตามองเห็น และอินฟราเรดใกล้ มีประสิทธิภาพสูงในการวัดความสูงของพื้นผิวได้อย่างถูกต้อง เพื่อสร้างแบบจำลองความสูงเชิงเลขที่มีความถูกต้องในแนวดิ่งประมาณ 15 เซนติเมตร ตัวอย่างการวัดได้แก่ ความสูงของเรือนยอดต้นไม้ที่สัมพันธ์กับพื้นดิน ความลึกของน้ำที่สัมพันธ์กับผิวน้ำ นอกจากนี้ยังใช้ในการศึกษาอนุภาคในชั้นบรรยากาศต่างๆ ของโลก และความหนาแน่นของอากาศรวมทั้งติดตามกระแสอากาศ



***ภาพที่** 3.38 ระบบไลดาร์ประกอบด้วยเครื่องกวาดที่ส่งและรับเลเซอร์พัลส์สะท้อน ระบบดาวเทียมเพื่อหาตำแหน่งความสูงของเครื่องบันทึกข้อมูล และ IMU เพื่อวัดการวางตัวเครื่องบันทึกข้อมูล*

ที่มา : Aronoff, S. (2005)

ไลดาร์ ประกอบด้วยเทคโนโลยี 3 อย่าง คือ

- การวัดระยะทางที่ถูกต้องด้วยเลเซอร์
- ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลกเพื่อหาตำแหน่งทางภูมิศาสตร์และความสูงของเครื่องรับรู้
- การวัดการวางตัวของเครื่องบิน โดยใช้ชุดเครื่องวัดอาศัยหลักความเฉื่อย (Inertial Measurement Unit : IMU) เพื่อบันทึกการวางตัวของเครื่องรับรู้ได้อย่างแม่นยำ โดยทั่วไปใช้ร่วมกับเครื่องกำหนดตำแหน่งบนโลก ทั้งนี้การประมวลผลภาพไลดาร์ต้องใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีสมรรถนะสูงและหน่วยเก็บข้อมูลขนาดใหญ่ (ภาพที่ 3.38)

4. ข้อมูลจากการรับรู้ระยะไกล (Remotely sensed data)

4.1 ภาพและโครงสร้างของภาพ

ข้อมูลจากดาวเทียมประกอบด้วยสี่เหลี่ยมเล็กๆ จำนวนมากที่มีขนาดเท่ากัน และจัดเรียงกันเป็นแถว สี่เหลี่ยมเล็กนี้เรียกว่า จุดภาพ แต่ละจุดภาพถูกกำหนดโดยตำแหน่งพิกัดในแนวนอนและแนวตั้ง และค่าตัวเลขเรียกว่าค่าของจุดภาพ หรือจำนวนตัวเลข ค่าของจุดภาพเป็นค่าที่บันทึกความเข้มของพลังงานที่สะท้อนจากวัตถุบนพื้นโลกไปยังเครื่องรับรู้ ซึ่งแสดงค่าความเข้มแตกต่างกัน ตั้งแต่สีดำซึ่งมีค่าความเข้มน้อยไปจนถึงสีขาวซึ่งมีค่าความเข้มมาก ระดับความเข้มนี้ เรียกว่า ค่าระดับสีเทา สามารถแบ่งได้หลายระดับขึ้นอยู่กับความละเอียดเชิงแสง ซึ่งถูกจัดเก็บในระบบเลขฐานสอง (ตารางที่ 3.15)

ตารางที่ 3.15 แสดงข้อมูลภาพตามระดับสีเทา และข้อมูลจากดาวเทียม

จำนวนบิต	รหัสตามเลขฐานสอง	ระดับสีเทา	ช่วงค่าระดับสีเทา	ข้อมูลจากดาวเทียม/เครื่องรับรู้
6	2^6	64	0-63	IRS
7	2^7	128	0-127	IRS
8	2^8	256	0-255	LANDSAT 5 / SPOT
10	2^{10}	1,024	0-1,023	NOAA / AVHRR
11	2^{11}	2,048	0-2,047	IKONOS
16	2^{16}	65,536	0-65,535	RADARSAT

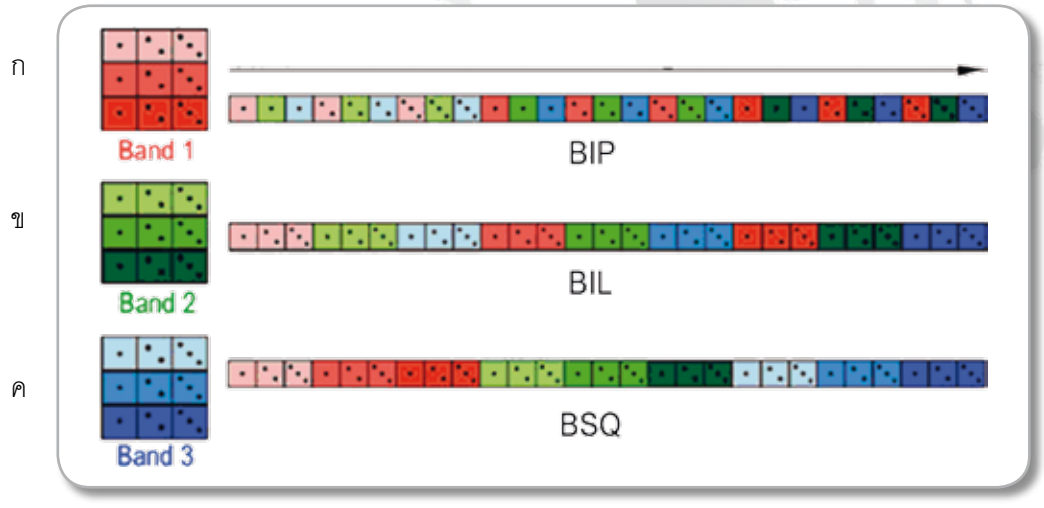
4.2 การเก็บบันทึกข้อมูลจากดาวเทียม (Satellite data storage)

การบันทึกข้อมูลภาพเชิงเลขที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้วยคอมพิวเตอร์ในอดีตบันทึกลงบนแถบเทปแม่เหล็ก (Computer Compatible Tape : CCT) แต่ปัจจุบันนิยมบันทึกลงบนแผ่นซีดีรอม หรือแผ่นดีวีดีแทน ในกรณีของข้อมูลจากดาวเทียมซึ่งบันทึกค่าสะท้อนของพลังงานในพื้นที่เดียวกันและเวลาเดียวกันแต่หลายช่วงคลื่น ถือได้ว่ามีหลายมิติที่จุดหนึ่งๆ หรือที่ตำแหน่งใดๆ จะมีค่าของจุดภาพตามจำนวนช่วงคลื่นที่ใช้บันทึก เช่น ค่าของจุดภาพ 1 ตำแหน่งของดาวเทียม LANDSAT ระบบ TM ถือได้ว่าเป็น 1 เวกเตอร์ หรือสมมติให้เป็นเวกเตอร์ X จะมีค่า (X1 X2 X3 X4 X5 X6 และ X7) ตามลำดับ หรืออาจจะพิจารณาได้ว่าข้อมูลจากดาวเทียม LANDSAT ในระบบ TM มีช่วงคลื่นเป็น 7 แบนด์ หรือเป็นภาพขนานกันเป็น P x L x 7 แมทริกซ์ โดย P เป็นจำนวนจุดภาพ L เป็นจำนวนเส้น ตามลำดับ การเก็บบันทึกข้อมูลจากดาวเทียมมี 3 วิธีด้วยกัน

4.2.1 แบบแบนด์แทรกสลับโดยจุดภาพ (Band Interleaved by Pixel : BIP) แต่ละแถวมีค่าของจุดภาพของแต่ละแบนด์สลับกันไป ซึ่งข้อมูลในแต่ละแถวมีค่าของจุดภาพครบทุกแบนด์ (ภาพที่ 3.39ก)

4.2.2 แบบแบนด์แทรกสลับโดยเส้น (Band Interleaved by Line : BIL) แต่ละแถวมีค่าของแบนด์เดียวเท่านั้น โดยแถวต่อไปบันทึกค่าของแบนด์ถัดไปจนครบทุกแบนด์ (ภาพที่ 3.39ข)

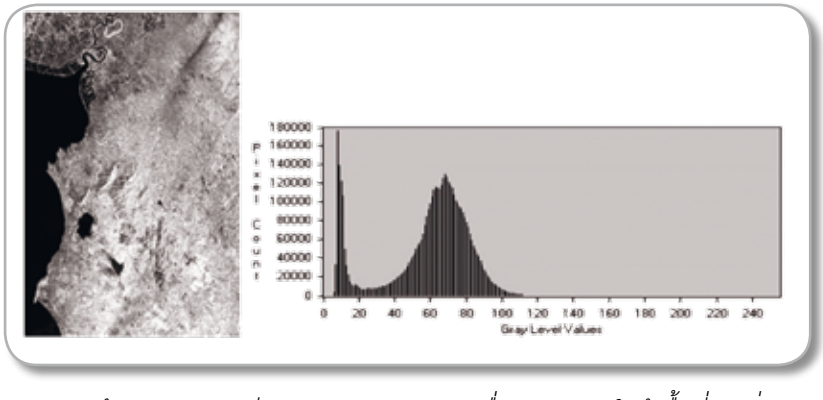
4.2.3 แบบเรียงลำดับแบนด์ (Band Sequential : BSQ) แต่ละแบนด์ถูกบันทึกเรียงลำดับตามแบนด์หนึ่งทั้งภาพแล้วจึงเริ่มแบนด์ต่อไป (ภาพที่ 3.39ค)



ภาพที่ 3.39 *แสดงการจัดเรียงข้อมูลตำแหน่งของจุดภาพในรูปแบบต่างๆ*

4.3 แผนภูมิภาพ (Image histogram)

แผนภูมิของภาพแสดงการกระจายค่าของจุดภาพ และจำนวนจุดภาพในภาพหนึ่งๆ หรือในขอบเขตพื้นที่ที่กำหนด แผนภูมิของภาพใช้ประโยชน์ในการบอกลักษณะของพื้นที่อย่างกว้างๆ ผู้ทำการศึกษาจำเป็นต้องมีความเข้าใจเกี่ยวกับการสะท้อนของพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าในแต่ละช่วงคลื่น การแสดงแผนภูมิภาพดังในภาพที่ 3.40



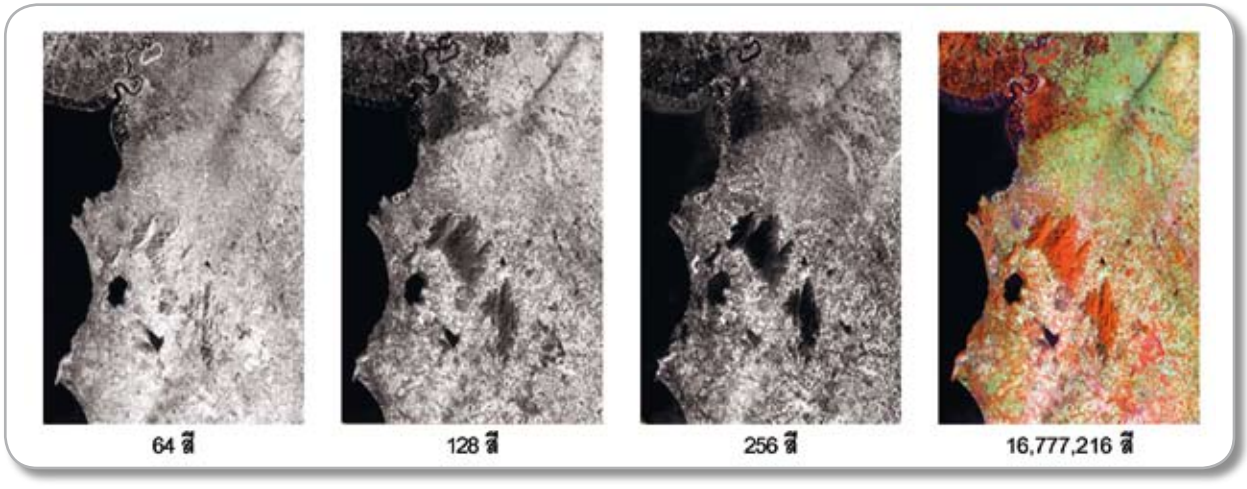
ภาพที่ 3.40 *แผนภูมิภาพข้อมูลจากดาวเทียม LANDSAT 5 ช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ พื้นที่ชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก*

4.4 การแสดงภาพบนจอ (Image display)

ความละเอียดของการแสดงภาพ (Display resolution) เป็นการแสดงภาพที่แตกต่างกันบนจอแสดงผลมาจากความจำทั้งมิติแนวนอนและแนวตั้ง ซึ่งแสดงจำนวนของจุดภาพที่สามารถเห็นบนจอภาพ เช่น ความละเอียดของการแสดงภาพที่ 1,152x900 1,280x1,024 และ 1,024x780 จุดภาพ เป็นต้น จำนวนบิตของแต่ละจุดภาพหรือความลึกของจุดภาพ (Pixel depth) บิตคือเลขฐานสอง การแสดงภาพสามารถบอกได้เป็นจำนวนบิต เช่น 8 บิต หรือ 24 บิต ค่าบิตเหล่านี้จะเป็นตัวกำหนดค่าความสว่าง (Brightness value) หรือค่าของจุดภาพในการแสดงผลภาพ 24 บิต

โดยทั่วไปจอแสดงผลแบบหลอดภาพซีอาร์ที (Cathode Ray Tube : CRT) มีลำแสงอิเล็กตรอนสี (Color gun) 3 ลำแสง ในแต่ละลำแสงอิเล็กตรอนจำนวนค่าความสว่างที่เป็นไปได้ 8 บิต ก็คือ 28 หรือ 256 คือตั้งแต่ 0-255

ดังนั้นแต่ละลำแสงอิเล็กตรอนของ 1 จุดภาพสามารถที่จะมีค่าใดๆ 1 ค่าในช่วง 0-255 ผลรวมของทั้งสามลำแสงอิเล็กตรอนจะมีค่า 2,563 หรือ 224 ซึ่งเท่ากับ 16,777,216 สี (ภาพที่ 3.41)



ภาพที่ 3.41 *แสดงภาพสีผสมที่เกิดจากข้อมูล 8 บิต ผ่านลำแสงอิเล็กตรอนสี*

4.5 สี (Color)

มนุษย์รับรู้สีต่างๆ มาจากสัดส่วนของแสงสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน เมื่อรวมกันในสัดส่วนต่างๆ สามารถให้สีที่หลากหลาย เรียกว่า แม่สีบวก (Additive primary colors) สีบนจอภาพถูกสร้างขึ้นโดยผลรวมของสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน ซึ่งแต่ละองค์ประกอบเหล่านี้แทนด้วยค่า 8 บิต จะได้ข้อมูล 24 บิต เพื่อสร้างสีซึ่งเกิดจากสีทั้งสาม แผงสี (Color map) ถูกควบคุมโดยระบบหน้าต่าง (Window system) ถ้ามีการแสดงผลระดับ 8 บิต หมายความว่าสีจำนวน 256 สีสามารถแสดงพร้อมกันบนจอภาพ ถ้ามีระดับแสดงผล 24 บิต จะมีเซลล์สีสำหรับแต่ละสี ซึ่งให้สีจำนวน 16,777,216 สี (256 x 256 x 256) การศึกษาข้อมูลโดยพิจารณาทีละช่วงคลื่นมีความละเอียดของข้อมูลเฉพาะตามคุณสมบัติของช่วงคลื่นนั้นตามระดับค่าสีเทา ถ้าต้องการความละเอียดข้อมูลหลายด้านพร้อมกัน ต้องนำข้อมูลแต่ละช่วงคลื่นมาเปรียบเทียบกัน ซึ่งแต่ละช่วงคลื่นที่มีความละเอียดของข้อมูลแตกต่างกัน มาผสมรวมกันตามแม่สีของแสง จะได้รับภาพสีผสม ที่ช่วยเน้นความละเอียดของข้อมูลที่ได้มากกว่าการแสดงทีละช่วงคลื่น โดยใช้แม่สีของแสงสีน้ำเงิน สีเขียว และสีแดง การทำภาพผสมสี ทำได้ 3 รูปแบบ คือ

4.5.1 สีผสมเชิงบวก (Additive color composite) คือ การผสมสีน้ำเงิน สีเขียว และสีแดง ในความเข้มสูงสุดและสัดส่วนเท่ากันทีละคู่ จะได้แม่สีลบ (Subtractive primary color) ได้แก่ สีเหลือง (Yellow) ม่วงแดง (Magenta) และน้ำเงินแกมเขียว (Cyan) หากนำแม่สีบวกทั้งหมดมาผสมรวมกันในความเข้มสูงสุดและสัดส่วนเท่ากัน จะได้สีขาว (ภาพที่ 3.42ก) การผสมสีลักษณะนี้เกิดขึ้นตามการรับรู้ของสายตามนุษย์ ใช้ในระบบการให้สีของจอโทรทัศน์ จอคอมพิวเตอร์ โดยการยิงลำแสงของแม่สีทั้งสามไปยังจอภาพพร้อมกัน แต่ละจุดภาพบนจอภาพก็จะปรากฏเป็นสีต่างๆ ในด้านการรับรู้จากระยะไกลใช้หลักการผสมสีแบบนี้

4.5.2 สีผสมเชิงลบ (Subtractive color composite) คือ การผสมสีเหลือง สีม่วงแดง และสีน้ำเงินแกมเขียว มาผสมกันในความเข้มสูงสุดและสัดส่วนเท่ากันทีละคู่ จะได้สีผสมกลับไปเป็นแม่สีบวก คือ สีน้ำเงิน สีเขียว

และสีแดง เมื่อนำแม่สีลบทั้งหมดมาผสมรวมกันในความเข้มสูงสุดและสัดส่วนเท่ากันจะได้สีดำ (ภาพที่ 3.42ข) การผสมสีลักษณะนี้ นิยมใช้ในการพิมพ์สีตามโรงพิมพ์ สำหรับหนังสือ วารสาร โปสเตอร์ และหนังสือพิมพ์ ฯลฯ

สีผสมเชิงบวก แสงสีแดง (R) แสงสีเขียว (G) แสงสีน้ำเงิน (B) R% + G% + B% = สีขาว(W)	**ก**
สีผสมเชิงลบ R% + G% = สีเหลือง (Y) B%+ G% = สีน้ำเงินแกมเขียว (C) B%+ R% = สีม่วงแดง (M) Y% + C% + M% = สีดำ (BL)	**ข**

ภาพที่ 3.42 *แสดงการผสมสีเชิงบวก และการผสมสีเชิงลบ*

4.5.3 การแสดงผลแบบสีเทียม (Pseudo color) การเน้นความละเอียดข้อมูลวิธีนี้ แตกต่างจากการผสมสี 2 วิธีที่กล่าวมาแล้ว โดยทั้งการผสมสีทั้งแบบแม่สีบวกและแบบแม่สีลบ ใช้ช่วงคลื่น 3 ช่วงคลื่น ผสมตามแม่สี 3 สี แต่การแสดงผลแบบสีเทียมใช้ช่วงคลื่นเพียง 1 ช่วงคลื่น แล้วให้สีตามลำดับ คือ สีน้ำเงิน สีเขียว สีเขียวเหลือง สีเหลือง สีส้ม สีแดง และสีม่วงแดง ค่าการสะท้อนของข้อมูลถูกแสดงออกตามช่วงสีจากค่าต่ำไปหาค่าสูง โดยช่วงระดับสีเทาของช่วงคลื่นนั้นถูกแบ่งเป็นช่วงย่อยๆ ที่นำมากำหนดให้สีแต่ละช่วงปรากฏเป็นสีต่างๆ ตามลำดับช่วงคลื่นตามองเห็น การกำหนดสีในลักษณะเช่นนี้ เรียกว่า การแสดงผลแบบสีเทียม ซึ่งสามารถแสดงวัตถุต่างๆ ได้ดี โดยเฉพาะกับวัตถุที่มีลักษณะต่อเนื่อง เช่น ระดับอุณหภูมิจากคลื่นอินฟราเรดความร้อน และช่วยให้แยกแยะวัตถุต่างๆ ออกจากกันได้โดยการนำสีเข้าไปแทนระดับสีเทา

4.6 คุณลักษณะข้อมูลจากดาวเทียม

ข้อมูลจากดาวเทียมสำรวจทรัพยากรที่ถูกบันทึกด้วยเครื่องรับรู้หลายสเปกตรัม มีคุณสมบัติพิเศษแตกต่างจากกล้องถ่ายภาพธรรมดา คือ

4.6.1 ลักษณะข้อมูลเชิงเลข มีความละเอียดของค่าการสะท้อนช่วงคลื่นแสงเป็นค่าระดับสีเทาจำนวน 256 ระดับ (ในกรณี 8 บิต) ในแต่ละช่วงคลื่น สามารถนำข้อมูลไปผลิตเป็นภาพขาวดำและภาพสีผสม ตลอดจนนำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ได้สะดวกยิ่งขึ้น

4.6.2 ข้อมูลค่าสะท้อนจากดาวเทียมที่โคจรผ่านสถานีสามารถส่งมายังภาคพื้นดินได้ทันที

4.6.3 สามารถบันทึกข้อมูลในช่วงคลื่นที่กล้องธรรมดาบันทึกไม่ได้ ตลอดจนข้อมูลที่ได้รับมีความละเอียดภาพหลายระดับ

4.6.4 การบันทึกข้อมูลเป็นบริเวณกว้าง (Synoptic view) ความกว้างแนวถ่ายภาพครอบคลุมพื้นที่กว้างทำให้ได้ข้อมูลในลักษณะต่อเนื่อง สามารถศึกษาสภาพแวดล้อมต่างๆ ในบริเวณกว้างขวางต่อเนื่องในเวลา

เดียวกันทั้งภาพ เช่น ข้อมูลจากดาวเทียม LANDSAT ระบบ MSS และระบบ TM หนึ่งภาพคลุมพื้นที่ 185x185 ตารางกิโลเมตร ส่วนข้อมูลจากดาวเทียม SPOT หนึ่งภาพคลุมพื้นที่ 60x60 ตารางกิโลเมตร

4.6.5 การบันทึกภาพได้หลายช่วงคลื่น ดาวเทียมสำรวจทรัพยากรมีทั้งกล้อง และระบบกราดภาพที่บันทึกข้อมูลได้หลายช่วงคลื่นในบริเวณเดียวกัน ทั้งในช่วงคลื่นสายตามองเห็นและช่วงคลื่นนอกเหนือสายตามนุษย์ ทำให้แยกวัตถุต่างๆ บนพื้นผิวโลกได้ เช่น ระบบ MSS และระบบ MESSR มี 4 ช่วงคลื่น ระบบ TM มี 7 ช่วงคลื่น ระบบ HRV แพนโครมาติก และระบบหลายสเปกตรัมมี 1 และ 3 ช่วงคลื่น ตามลำดับ

4.6.6 การบันทึกข้อมูลซ้ำบริเวณ (Repetitive coverage) ดาวเทียมสำรวจทรัพยากรมีวงโคจรจากทิศเหนือลงทิศใต้ และกลับมายังจุดเดิมในเวลาท้องถิ่นเดียวกันในช่วงเวลาที่แน่นอน กล่าวคือดาวเทียม LANDSAT ดาวเทียม MOS และดาวเทียม SPOT บันทึกข้อมูลซ้ำทุกๆ 16 วัน 17 วัน และ 26 วันตามลำดับ ส่วนดาวเทียม THEOS จะบันทึกข้อมูลซ้ำทุกๆ 26 วัน ทำให้ได้ข้อมูลบริเวณเดียวกันหลายๆ ช่วงเวลาที่ทันสมัย สามารถเปรียบเทียบและติดตามการเปลี่ยนแปลงต่างๆ บนพื้นผิวโลกได้เป็นอย่างดี และมีโอกาสที่จะได้ข้อมูลไม่มีเมฆปิดบัง

4.6.7 การให้ความละเอียดภาพหลายระดับ (Multi-resolution) ข้อมูลจากดาวเทียมให้ความละเอียดภาพหลายระดับ มีผลดีในการเลือกนำไปใช้ประโยชน์ในการศึกษาด้านต่างๆ ตามวัตถุประสงค์ เช่น ข้อมูลจากดาวเทียม LANDSAT ระบบ TM ความละเอียดภาพ 30 เมตร ข้อมูลจากดาวเทียม SPOT ความละเอียดภาพ 2.5 เมตร ข้อมูลจากดาวเทียม THEOS ความละเอียด 2 เมตร ข้อมูลจากดาวเทียม IKONOS ความละเอียดภาพ 1 เมตร และข้อมูลจากดาวเทียม QuickBird ความละเอียดภาพ 61 เซนติเมตร

4.6.8 การให้ภาพสีผสม (Color composite) ข้อมูลจากดาวเทียมสามารถสร้างภาพสีจากการผสมภาพ 3 ช่วงคลื่น จากช่วงคลื่นของดาวเทียมที่บันทึกภาพ

5. การแปลตีความและการประมวลผลข้อมูลจากดาวเทียม (Interpretation and processing of satellite data)

การแปลตีความและการประมวลผลข้อมูลจากดาวเทียม แบ่งได้ 2 วิธี คือ การแปลตีความด้วยสายตา (Visual interpretation) และการประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์ (Image processing)

5.1 การแปลตีความด้วยสายตา

ใช้องค์ประกอบหลักที่สำคัญ (Elements of interpretation) ได้แก่

5.1.1 ความเข้มของสีและสี (Tone/Color) ระดับความแตกต่างของความเข้มของสีหนึ่งๆ มีความสัมพันธ์กับค่าการสะท้อนของช่วงคลื่นและการผสมสีของช่วงคลื่นต่างๆ เช่น น้ำในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ถูกดูดกลืน ทำให้ปรากฏเป็นสีดำ ในภาพสีผสมพืชพรรณปรากฏเป็นสีแดงเมื่อกำหนดให้ช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้เป็นสีแดง ช่วงคลื่นสีแดงกำหนดให้เป็นสีเขียว และช่วงคลื่นสีเขียวกำหนดให้เป็นสีน้ำเงิน

5.1.2 ขนาด (Size) ขนาดของภาพวัตถุที่ปรากฏในข้อมูลจากดาวเทียมขึ้นอยู่กับขนาดของวัตถุ และมาตราส่วนของข้อมูลจากดาวเทียม เช่น ความยาว ความกว้าง หรือพื้นที่ แสดงให้เห็นความแตกต่างของขนาดระหว่างแม่น้ำและลำคลอง

5.1.3 รูปร่าง (Shape) รูปร่างของวัตถุที่เป็นเฉพาะตัวอาจสม่ำเสมอ (Regular) หรือไม่สม่ำเสมอ (Irregular) วัตถุที่มนุษย์สร้างขึ้นมีรูปร่างส่วนใหญ่เป็นรูปทรงเรขาคณิต เช่น สนามบิน พื้นที่นาข้าว ถนน คลองชลประทาน และเขื่อนเก็บกักน้ำ เป็นต้น

5.1.4 เนื้อภาพ (Texture) หรือความหยาบละเอียดของผิววัตถุ เป็นผลมาจากความแปรปรวนหรือความสม่ำเสมอของวัตถุ เช่น น้ำมีลักษณะเรียบ และป่าไม้มีลักษณะขรุขระ เป็นต้น

5.1.5 รูปแบบ (Pattern) ลักษณะการจัดเรียงตัวของวัตถุปรากฏเด่นชัดระหว่างความแตกต่างตามธรรมชาติและสิ่งที่มนุษย์สร้างขึ้น เช่น แม่น้ำ คลอง กับคลองชลประทาน บ่อ และสระน้ำกับเขื่อน เป็นต้น

5.1.6 ความสูงและเงา (Height and Shadow) เงาของวัตถุมีความสำคัญในการคำนวณหาความสูงและมุมสูงของดวงอาทิตย์ เช่น เงาบริเวณเขาหรือหน้าผา เงาของเมฆ เป็นต้น

5.1.7 ที่ตั้ง (Site) หรือตำแหน่งของวัตถุที่พบตามธรรมชาติ เช่น พื้นที่ป่าชายเลนพบบริเวณชายฝั่งทะเลน้ำท่วมถึง สนามบินอยู่ใกล้แหล่งชุมชน เป็นต้น

5.1.8 ความเกี่ยวพัน (Association) หมายถึงความเกี่ยวพันขององค์ประกอบทั้ง 7 ที่กล่าวมา เช่น บริเวณที่มีต้นไม้เป็นกลุ่มๆ มักเป็นที่ตั้งของหมู่บ้าน ไร่เลื่อนลอยอยู่ในพื้นที่ป่าไม้บนเขา นากุ้งอยู่บริเวณชายฝั่งรวมกับป่าชายเลน เป็นต้น

การแปลตีความภาพเพื่อจำแนกวัตถุได้ดีและถูกต้อง ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบต่างๆ ดังกล่าวข้างต้นอย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่างพร้อมๆ กันไป ตามความยากง่ายและมาตราส่วนที่แตกต่างกัน ซึ่งอาจไม่แน่นอนเสมอไป รูปร่าง สี และขนาด อาจใช้เป็นองค์ประกอบในการแปลตีความภาพพื้นที่หนึ่งหรือลักษณะหนึ่ง ส่วนอีกบริเวณอื่นของพื้นที่เดียวกันอาจต้องใช้องค์ประกอบอีกอย่างก็ได้ นอกจากนี้จำเป็นต้องนำข้อมูลจากดาวเทียมอีก 3 ลักษณะมาประกอบการพิจารณา คือ

- ลักษณะการสะท้อนช่วงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของวัตถุ (Spectral characteristic) ซึ่งสัมพันธ์กับความยาวช่วงคลื่นแสงในแต่ละแบนด์โดยวัตถุต่างๆ สะท้อนแสงในแต่ละช่วงคลื่นไม่เท่ากัน ทำให้สีของวัตถุในภาพแต่ละแบนด์แตกต่างกันในระดับสีขาว-ดำ ซึ่งทำให้สีแตกต่างในภาพสีผสมด้วย

- ลักษณะรูปร่างของวัตถุที่ปรากฏในภาพ (Spatial characteristic) แตกต่างตามมาตราส่วนและรายละเอียดภาพจากดาวเทียม เช่น MSS วัตถุหรือพื้นที่ขนาด 80x80 เมตร จึงจะปรากฏในภาพ และระบบ PLA มีขนาด 10x10 เมตร เมื่อคุ้นเคยกับลักษณะรูปร่างวัตถุทำให้ทราบลักษณะที่จำลองในภาพจากดาวเทียม

- ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของวัตถุตามช่วงเวลา (Temporal characteristic) ซึ่งทำให้สถานะของวัตถุต่างๆ มีการเปลี่ยนแปลง เช่น การเปลี่ยนแปลงตามช่วงฤดูกาล การเปลี่ยนแปลงรายปี หรือรายคาบ เป็นต้น ลักษณะการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว ทำให้มีความแตกต่างของระดับสีในภาพขาวดำ และภาพสีผสม ทำให้เราสามารถใช้ข้อมูลดาวเทียมที่ถ่ายซ้ำที่เดิมในช่วงเวลาต่างๆ มาติดตามการเปลี่ยนแปลงได้ เช่น สามารถติดตามการบุกรุกทำลายป่า การเติบโตของพืชตั้งแต่ปลูกจนถึงการเก็บเกี่ยว เป็นต้น

5.2 การประมวลผลภาพด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ ประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้

5.2.1 กระบวนการก่อนการประมวลผลภาพ (Pre-processing)

การปรับแก้ภาพมีวัตถุประสงค์เพื่อปรับแก้ความคลาดเคลื่อนของข้อมูล (Data error) สัญญาณที่รบกวน (Noise) และความบิดเบี้ยวเชิงเรขาคณิตที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการถ่ายภาพ การบันทึกข้อมูลสัญญาณการสะท้อนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า การส่งสัญญาณ และการโคจรของดาวเทียม มีกระบวนการปรับแก้ 2 กระบวนการที่ต้องกระทำ ดังนี้

- การตรวจแก้คลื่นรังสี (Radiometric correction)

ก่อนที่จะส่งข้อมูลจากระยะไกลให้กับผู้ใช้งาน ข้อมูลเหล่านี้จะต้องผ่านการตรวจแก้คลื่นรังสีจากสถานีรับสัญญาณดาวเทียมภาคพื้นดินมาแล้วระดับหนึ่ง แต่บางครั้งยังปรากฏข้อบกพร่องทางเชิงคลื่น เนื่องจากสาเหตุหลายประการ เช่น การรบกวนจากชั้นบรรยากาศ หรือจากความบกพร่องของเครื่องรับสัญญาณ ทำให้เกิดความไม่ชัดเจน พร่ามัว มีลายเส้นปะปน (Strip/Noise) ปรากฏบนข้อมูลจากดาวเทียม ปัญหาอีกด้านหนึ่งที่จำเป็นต้องมีการตรวจแก้คลื่นรังสี คือ เมื่อต้องการใช้ข้อมูลหลายช่วงเวลาเพื่อการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของปรากฏการณ์ใดปรากฏการณ์หนึ่ง ต้องทำการปรับแก้ค่ามุมยกของดวงอาทิตย์ (Sun elevation correction) ที่เปลี่ยนแปลงไปตามแต่ละช่วงเวลาและแต่ละฤดูกาล การแก้ไขปัญหาดังกล่าวทำได้โดยการตรวจแก้คลื่นรังสี พร้อมทั้งต้องมีรายละเอียดตัวแปร (Parameters) เกี่ยวกับการรับสัญญาณ มุมที่ดาวเทียมกระทำกับแสงดวงอาทิตย์ (Solar illumination angles) ค่ารังสีตกกระทบ (Irradiance) การกระจายแสงในเส้นทางผ่าน (Path radiance) ค่าการสะท้อนของวัตถุเป้าหมาย (Reflectance of target) ค่าการส่งผ่านของบรรยากาศ เป็นต้น และข้อมูลสภาวะอากาศในขณะที่ทำการบันทึกข้อมูล การปรับแก้มีกรรมวิธีในการคำนวณที่ซับซ้อนมาก โดยต้องใช้ซอฟต์แวร์ที่มีโปรแกรมเฉพาะสำหรับการตรวจแก้คลื่นรังสี ซึ่งโดยทั่วไปการแก้ไขข้อบกพร่องเชิงคลื่นจะต้องทำ ได้แก่

1) การชดเชยค่าการสะท้อนที่บิดเบือนของสภาวะอากาศ (Haze compensation) เกิดขึ้นจากการกระจัดกระจายแสงในบรรยากาศ จึงทำให้เกิดการสลัวของแสง (Haze) ทำให้ภาพมีลักษณะไม่ชัดเจน ไม่คมชัด การแก้ไขทำโดยการลดผลการกระจัดกระจายแสงในบรรยากาศให้น้อยที่สุด โดยการเปรียบเทียบค่าความสว่างทั่วไปกับค่าความสว่างต่ำที่สุด (Zero reflectance) ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นวัตถุที่ดูดกลืนพลังงานมาก เช่น น้ำใสจะมีการดูดกลืนสูงมากในช่วงคลื่นอินฟราเรด

2) การเปลี่ยนค่าความสว่างเป็นค่าการแผ่รังสีสมบูรณ์ (Conversion of digital numbers to absolute radiance value) เป็นการตรวจแก้คลื่นรังสีอีกวิธีหนึ่ง โดยการแปลงค่าความสว่างเป็นค่าการแผ่รังสี คำนวณจากข้อมูลค่าการแผ่รังสีสูงสุด และการแผ่รังสีต่ำสุดในแต่ละช่วงคลื่น ตามสูตรต่อไปนี้

$$L = [(LMAX - LMIN) / 255] \times DN + LMIN$$

โดยที่ L = ค่าการแผ่รังสีตามช่วงคลื่น (Spectral radiance)
LMAX = ค่าการแผ่รังสีสูงสุด ซึ่งแปลงจากค่าความสว่างสูงสุดในช่วงคลื่นนั้น (DN = 255)
LMIN = ค่าการแผ่รังสีต่ำสุด ซึ่งแปลงจากค่าความสว่างต่ำสุดในช่วงคลื่นนั้น (DN = 0)
DN = ค่าการสะท้อนของจุดภาพ (Digital number)

3) การลบสัญญาณรบกวน (Noise removal) ผลจากความบกพร่องของเครื่องรับสัญญาณมีผลให้เกิดสัญญาณรบกวนในข้อมูลภาพ หรือข้อมูลส่วนนั้นสัญญาณขาดหายไป ปรากฏเป็นลายเส้นแทรกอยู่ในเนื้อภาพ หรือเป็นจุดๆ กระจายไปทั่วภาพ (Salt and pepper effect) การแก้ไขทำได้โดยใช้ตัวกรองภาพแบบค่าเฉลี่ยเลขคณิต หรือค่ากึ่งกลางเลขคณิต (Mean or median filters) มาคำนวณค่าเฉลี่ยจากจุดภาพอื่นที่อยู่โดยรอบบริเวณที่สัญญาณหายไป และตัวกรองจำเพาะที่ใช้สำหรับกรองจุดกรองแต่ยังคงรักษาขอบเขตและเนื้อภาพของจุดข้อมูล

- การตรวจแก้เชิงเรขาคณิต (Geometric correction)

ก่อนนำข้อมูลจากดาวเทียมไปใช้ประโยชน์มีความจำเป็นต้องปรับแก้เชิงเรขาคณิต เพราะพิกัดตำแหน่งของวัตถุต่างๆ มีความคลาดเคลื่อนไปจากความเป็นจริง เนื่องจากข้อบกพร่องทางเครื่องรับสัญญาณและรูปลักษณะของวัตถุ การตรวจแก้เชิงเรขาคณิตมีความจำเป็นมากยิ่งขึ้น เมื่อต้องการนำข้อมูลจากระยะไกลไปใช้งานร่วมกับข้อมูลเชิงแผนที่อื่นๆ เพื่อให้สามารถซ้อนทับกันได้ หรือหากต้องการศึกษาปรากฏการณ์อย่างหนึ่งในหลายช่วงเวลา การเปรียบเทียบข้อมูลแต่ละช่วงเวลาต้องมีระบบพิกัดเดียวกัน จึงจะสามารถซ้อนข้อมูลแต่ละเวลาลงกันได้สนิท จึงจำเป็นต้องทำการปรับแก้เชิงเรขาคณิต

1) สาเหตุของความบิดเบี้ยวทางเรขาคณิต การบิดเบี้ยวทางเรขาคณิต (Geometric distortion) คือ ความผิดพลาดซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากพิกัดของภาพไม่เป็นไปตามระบบพิกัดแผนที่ ความบิดเบี้ยวเชิงเรขาคณิตมี 2 ลักษณะ คือ

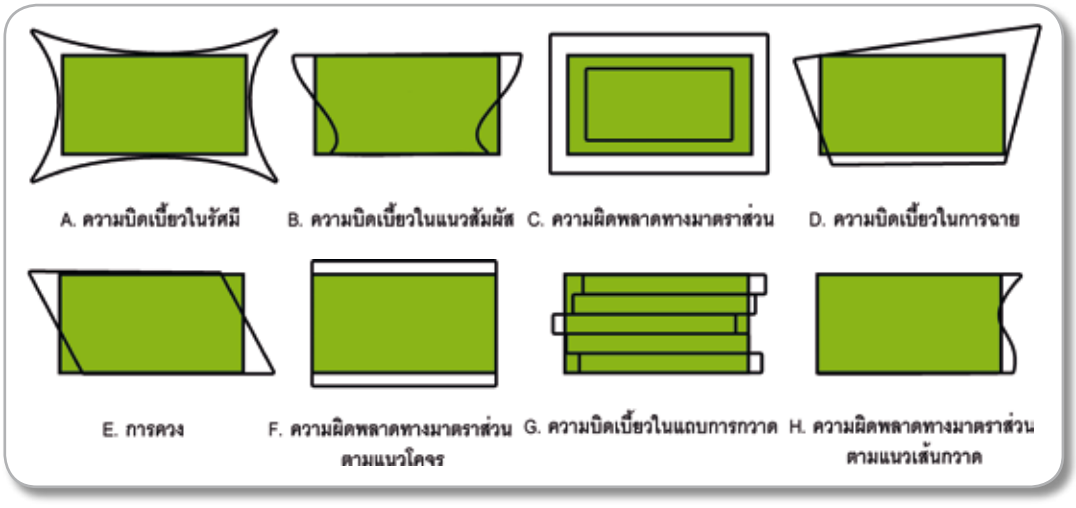
1.1) ความบิดเบี้ยวภายใน (Internal distortion) มีสาเหตุมาจากความบกพร่องของอุปกรณ์ในเครื่องวัดสัญญาณ เช่น ความบิดเบี้ยวในรัศมีของเลนส์ ทำให้บริเวณที่ห่างจากจุดศูนย์กลางภาพมีความบิดเบี้ยวมากขึ้น ความบิดเบี้ยวในแนวสัมผัสของเลนส์ ความผิดพลาดของความยาวโฟกัส การเอียงของระนาบภาพ ความไม่คงที่ของระนาบภาพ ความผิดพลาดในการจัดแนวของแผงรับสำหรับเครื่องวัดแบบแผงเชิงเส้น (Linear array sensor) ความไม่คงที่ของอัตราสุ่มตัวอย่าง ความผิดพลาดของเวลาสุ่มตัวอย่าง ความไม่คงที่ของความเร็วของกระจกกวาด เป็นต้น สรุปสาเหตุของความบิดเบี้ยวภายในดังตารางที่ 3.16 และภาพที่ 3.43

ตารางที่ 3.16 แสดงสาเหตุของชนิดของความบิดเบี้ยวภายใน

สาเหตุความบิดเบี้ยว	ชนิดเครื่องวัด			
	ชนิดการฉายจากศูนย์กลาง			พิสัยเฉียง (ไมโครเวฟ) (4)
	แบบกรอบ (1)	แบบเส้น (2)	แบบจุด (3)	
ความบิดเบี้ยวในรัศมีของเลนส์	A	A	A	-
ความบิดเบี้ยวในแนวสัมผัสของเลนส์	B	B	B	-
ความผิดพลาดของความยาวโฟกัส	C	C	C	-
การเอียงของระนาบภาพ	D	D	D	-
ความไม่คงที่ของระนาบภาพ	ไม่เป็นเชิงเส้น	ไม่เป็นเชิงเส้น	ไม่เป็นเชิงเส้น	-
ความผิดพลาดในการจัดแนวของแผงรับ	-	E	G	-
ความไม่คงที่ของอัตราสุ่มตัวอย่าง	-	F	H	F/ H
ความผิดพลาดของเวลาสุ่มตัวอย่าง	-	-	G	-
ความไม่คงที่ของความเร็วของกระจกกวาด	-	-	H	-

หมายเหตุ : (1) กล้องถ่ายรูป (2) ข้อมูล SPOT ระบบ HRV (3) ข้อมูล LANDSAT ระบบ TM (4) ข้อมูล RADARSAT

ที่มา : Mikio, T. and Haruhisa, S. (1991)



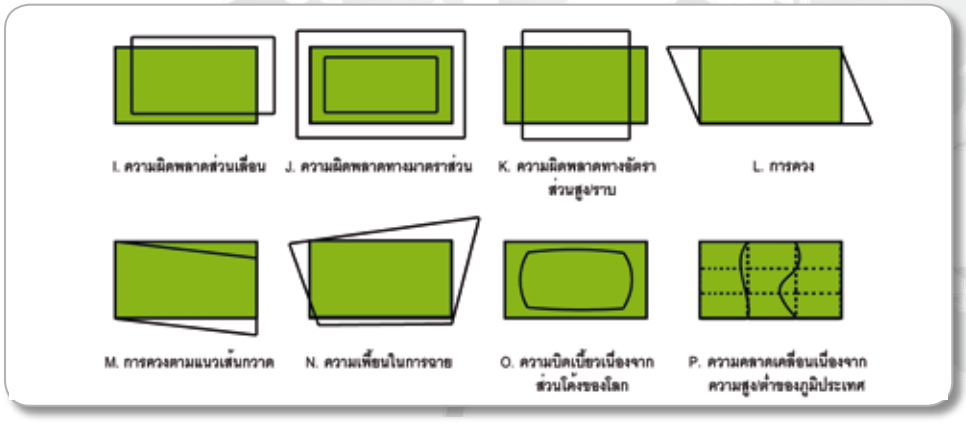
รูปที่ 3.43 *แสดงความบิดเบี้ยวภายในรูปแบบต่างๆ*
ที่มา : Mikio, T. and Haruhisa, S. (1991)

1.2) ความบิดเบี้ยวภายนอก (External distortion) มีสาเหตุหลายประการ เช่น จากการทรงตัวของเครื่องวัด ความไม่คงที่ของการทรงตัว ความโค้งและการเคลื่อนที่ของโลก การหมุนของโลก บรรยากาศและการหักเหของชั้นบรรยากาศ ความผิดพลาดเชิงระนาบของยาน ความผิดพลาดทางระดับความสูงของยาน การเคลื่อนที่ทางตำแหน่งวงโคจร ความโค้งของผิวโลก ความสูงของพื้นผิว และรูปร่างวัตถุ เป็นต้น สรุปสาเหตุของความบิดเบี้ยวภายนอกดังตารางที่ 3.17 และภาพที่ 3.44

ตารางที่ 3.17 แสดงสาเหตุของชนิดของความบิดเบี้ยวภายนอก

สาเหตุความบิดเบี้ยว	ชนิดเครื่องวัด			
	ชนิดการฉายจากศูนย์กลาง			แบบพิสัยเฉียง (ไมโครเวฟ) (4)
	แบบกรอบ (1)	แบบเส้น (2)	แบบจุด (3)	
ความผิดพลาดเชิงระนาบของยาน	I	I	I	I
ความผิดพลาดเชิงระดับความสูงของยาน	J	J	J	J
การเคลื่อนที่ของตำแหน่งวงโคจร	-	K/ L	K/ L/ M	K/ L/ M
ระดับความสูงของยาน	N	N	N	N
ความไม่คงที่ของการทรงตัว	-	N	N	N
การหมุนของโลก	-	L	L	L
ความโค้งของโลก	-	P	P	P
ความสูงของพื้นผิว	-	P	P	P
การหักเหของชั้นบรรยากาศ	ไม่เป็นเชิงเส้น	ไม่เป็นเชิงเส้น	ไม่เป็นเชิงเส้น	ไม่เป็นเชิงเส้น

หมายเหตุ : (1) กล้องถ่ายรูป (2) ข้อมูล SPOT ระบบ HRV (3) ข้อมูล LANDSAT ระบบ TM (4) ข้อมูล RADARSAT
ที่มา : Mikio, T. and Haruhisa, S. (1991)



รูปที่ 3.44 *แสดงความบิดเบี้ยวภายนอกรูปแบบต่างๆ*
ที่มา : Mikio, T. and Haruhisa, S. (1991)

2) วิธีการตรวจแก้เชิงเรขาคณิต มีหลักการตรวจแก้โดยการสร้างความสัมพันธ์ของระบบพิกัดระหว่างข้อมูลที่ปรับแก้ (Rectified image) กับระบบพิกัดภูมิศาสตร์ของข้อมูลอ้างอิง (Reference image) เพื่อที่พิกัดของข้อมูลที่ต้องการตรวจแก้ ถูกเปลี่ยนให้เป็นระบบพิกัดใหม่ตามระบบพิกัดของข้อมูลอ้างอิง ข้อมูลอ้างอิงจะเป็นข้อมูลจากระยะไกลเช่นเดียวกันก็ได้ เช่น ในกรณีที่ต้องการศึกษาข้อมูลในพื้นที่เดียวกันแบบหลายช่วงเวลา ในกรณีนี้ เรียกว่า เป็นการตรวจแก้ระหว่างภาพกับภาพ (Image to image correction) หรือข้อมูลอ้างอิงอาจเป็นแผนที่ภูมิประเทศหรือแผนที่เฉพาะที่มีระบบพิกัด หากต้องการนำข้อมูลจากระยะไกลไปศึกษาร่วมกับข้อมูลแผนที่อื่นๆ หรือเพื่อเปรียบเทียบกับสภาพจริงในพื้นที่ศึกษา ในกรณีนี้ เรียกว่า การตรวจแก้ระหว่างภาพกับแผนที่ (Image to map correction) การตรวจแก้เชิงเรขาคณิตมีวิธีการ 3 วิธี ดังต่อไปนี้

2.1) การตรวจแก้แบบมีระบบ (Systematic correction) เป็นการปรับแก้ตามค่าอ้างอิงเชิงเรขาคณิตต่างๆ ที่กำหนดไว้ก่อนแล้ว ทำให้ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นสามารถแก้ไขได้อย่างมีระบบ เช่น เรขาคณิตของกล้องถ่ายรูปชนิดเลนส์ จะถูกกำหนดโดยสมการร่วมเชิงเส้นด้วยความยาวโฟกัสที่ปรับเทียบแล้ว การตรวจแก้เชิงสัมผัสผิว (Tangent correction) ของเครื่องกวาดภาพแบบกลเชิงแสง ก็จัดอยู่ในการตรวจแก้แบบมีระบบ โดยทั่วไปการตรวจแก้แบบมีระบบสามารถแก้ไขความผิดพลาดได้ทั้งหมด การคำนวณตรวจแก้เชิงเรขาคณิตสำหรับข้อมูลจากระยะไกล มักจะทำมาแล้วระดับหนึ่งจากสถานีรับ และแปลงสัญญาณ เรียกว่าเป็นระดับ Bulk คือ แก้ไขความบิดเบือนจากสาเหตุทั้งแบบภายในและภายนอกแต่พิกัดข้อมูลยังเป็นระบบพิกัดของแถวและสดมภ์ของข้อมูลภาพ ตามโครงสร้างข้อมูลแบบแรสเตอร์

2.2) การตรวจแก้แบบไม่มีระบบ (Non systematic correction) เป็นการตรวจแก้จากพิกัดของระบบภาพไปสู่ระบบที่มีพิกัด โดยอาศัยสมการพหุนาม (Polynomial equation) วิธีนี้ต้องมีการหาค่าพิกัดจากจุดควบคุมภาคพื้นดิน (Ground Control Point : GCP) ที่รู้ค่าพิกัดจากแผนที่ภูมิประเทศ หรือแผนที่เฉพาะเรื่องที่มีพิกัด หรือจากพิกัดจริง ซึ่งวัดจากดาวเทียมระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก จุดควบคุมภาคพื้นดินใช้เป็นข้อมูลในการคำนวณสมการคณิตศาสตร์ เพื่อเปรียบเทียบระหว่างระบบพิกัดภาพและระบบพิกัดภูมิศาสตร์ การคำนวณใช้หลักการวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด (Least square method) และสามารถกำหนดระดับความแม่นยำได้จากลำดับการยกกำลัง (Order) ของสมการพหุนาม จำนวน และการกระจายตัวของจุดควบคุมภาคพื้นดิน

2.3) การตรวจแก้แบบวิธีผสม (Combined method) เป็นการปรับแก้โดยนำวิธีการปรับแก้ทั้งสองแบบข้างต้นมาใช้ร่วมกัน ซึ่งเป็นวิธีการปกติที่นิยมทำกันทั่วไปกับข้อมูลจากระยะไกล โดยการตรวจแก้แบบมีระบบจะถูกคำนวณเสมอที่สถานีรับข้อมูลก่อนจะมีการแจกจ่ายข้อมูลไปสู่ผู้ใช้งาน และการตรวจแก้แบบไม่มีระบบ

เป็นส่วนที่ทำตามมาโดยผู้ใช้งาน เพื่อให้ตรงกับวัตถุประสงค์ในการประยุกต์ใช้ โดยมากยอมรับให้มีความผิดพลาดของการปรับแก้ไม่เกินหนึ่งจุดภาพของตำแหน่งจริงของจุดนั้นๆ ในกรณีของภาพถ่ายดิ่ง

3) การหาจุดควบคุมภาคพื้นดิน การตรวจแก้เชิงเรขาคณิตจะมีความถูกต้องมากหรือน้อยขนาดไหนขึ้นอยู่กับวิธีการเลือกจุดควบคุมภาคพื้นดิน จุดควบคุมภาคพื้นดิน เป็นจุดที่ตำแหน่งใดก็ได้บนข้อมูลจากดาวเทียมและปรากฏได้ชัดเจนเป็นจุดเดียวกันบนข้อมูลอ้างอิง จุดควบคุมภาคพื้นดินที่ดีส่วนใหญ่ต้องเป็นจุดที่มีความคงที่ของรูปทรงโดยเฉพาะในระหว่างเวลาที่มีข้อมูลจากระยะไกลและข้อมูลอ้างอิง ต้องเป็นจุดที่สังเกตได้ง่าย ได้แก่ จุดตัดของวัตถุต่างๆ (เช่น สี่แยกถนนตัดกัน แปลงนา มุมของอาคาร ฯลฯ) จุดที่โดดเด่น (เช่น ต้นไม้ในนาข้าว บ้านกลางนาเกลือ พื้นที่หินโผล่บนภูเขายอดเขา) โดยอาศัยการสังเกตความแตกต่างของค่าความสว่างระหว่างวัตถุที่แตกต่างกันมาประกอบการพิจารณา จุดควบคุมภาคพื้นดินควรมีจำนวนมากพอ และกระจายอย่างสม่ำเสมอทั่วพื้นที่ศึกษา มีมากกี่จุดก็ได้ เพื่อควบคุมการแปลงพิกัดให้เกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอทั่วพื้นที่ ถ้าจุดควบคุมภาคพื้นดินไปรวมกลุ่มอยู่เฉพาะบางบริเวณ ความถูกต้องบริเวณนั้นจะมีมากกว่าบริเวณที่มีจุดควบคุมภาคพื้นดินน้อยกว่า

4) การคำนวณการตรวจแก้เชิงเรขาคณิต ประกอบด้วยการคำนวณ 2 ขั้นตอน คือ

4.1) การแปลงค่าพิกัด (Geometric coordinate transformation) ระหว่างข้อมูลภาพเริ่มต้น (x^1,y^1) และพิกัดภูมิศาสตร์ (x,y) มีการตรวจแก้เชิงเรขาคณิตโดยใช้สูตรของสมการเชิงเส้นเพื่อหาตำแหน่งพิกัดใหม่ กระบวนการนี้ เรียกว่า การประมาณค่าเชิงพื้นที่ (Spatial interpolation) มีสูตรสมการดังนี้

$$x^1 = a_0 + a_1x + a_2y$$
$$y^1 = b_0 + b_1x + b_2y$$

โดยที่ x^1 = พิกัดของด้านสดมภ์ของข้อมูลนำเข้า (original input image)
y^1 = พิกัดของด้านแถวของข้อมูลภาพนำเข้า
x = พิกัดของด้านสดมภ์ของข้อมูลภาพผลลัพธ์ (output image)
y = พิกัดของด้านแถวของข้อมูลภาพก่อนผลลัพธ์

การตรวจสอบความถูกต้องของการตรวจแก้ คำนวณโดยใช้หลักการถดถอยกำลังสองน้อยที่สุด (Least square regression method) การหาค่าความถูกต้องคำนวณจากรากที่สองของค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนจากแต่ละจุดควบคุมภาคพื้นดิน (Root method) การหาค่าความถูกต้องคำนวณจากรากที่สองของค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนจากแต่ละจุดควบคุมภาคพื้นดิน (root mean square error : RMS_{error}) มีสูตรคำนวณ ดังนี้

$$RMS_{error} = \sqrt{(x^1 - x_{orig})^2 + (y^1 - y_{orig})^2}$$

โดยที่ RMS_{error} = ค่าความถูกต้องของจุดควบคุมภาคพื้นดิน
x_{orig}, y_{orig} = ค่าพิกัดของจุดควบคุมภาคพื้นดินในภาพก่อนตรวจแก้

ค่า RMS_{error} จะบอกได้ว่า จุดควบคุมภาคพื้นดินมีตำแหน่งพิกัดใกล้เคียงกับพิกัดอ้างอิงเพียงใด (มีหน่วยเป็นจุดภาพ) โดยมากยอมรับค่าที่มีค่าบวกหรือลบไม่เกิน 1 จุดภาพ ถ้าค่า RMS_{error} มีค่าสูง หมายความว่าความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งยังมีมาก สามารถคำนวณเป็นหน่วยเมตริก โดยนำค่า RMS_{error} คูณกับขนาดของจุดภาพ

4.2) การประมาณค่าของจุดภาพ (interpolation) สิ่งที่ต้องทำหลังจากแปลงค่าพิกัดตำแหน่ง คือ ต้องประมาณค่าของจุดภาพ หรือค่าความสว่างของจุดภาพใหม่ โดยมีการประมาณค่าใหม่ (Intensity interpolation) ซึ่งมีวิธีการคำนวณได้ทั้งหมด 3 วิธี (ภาพที่ 3.45) ได้แก่

4.2.1) การประมาณค่าจากตำแหน่งใกล้ที่สุด (Nearest Neighbor interpolation : NN) ค่าความสว่างใหม่จะถูกกำหนดจากค่าความสว่างของจุดภาพในภาพก่อนตรวจแก้ โดยเลือกเอาตำแหน่งที่อยู่ใกล้ที่สุด วิธีการนี้มีข้อดีตรงที่สามารถรักษาค่าความสว่างให้ใกล้เคียงกับภาพก่อนตรวจแก้ได้มากที่สุด หรือแทบจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงเลย (ภาพที่ 3.45ข)

4.2.2) การประมาณค่าแบบเส้นคู่ (Bi-Linear interpolation : BL) เป็นการประมาณค่าความสว่างใหม่โดยคำนวณระยะทางโดยน้ำหนักระหว่าง 4 จุดที่อยู่รอบจุดนั้น ซึ่งจุดภาพที่ใกล้จะให้น้ำหนักมากกว่าจุดที่อยู่ไกล ดังนี้

$$BV_{wt} = \sum_{k=1}^{4} (Z_k / D_k^2) \Big/ \sum_{k=1}^{4} 1 / D_k^2$$

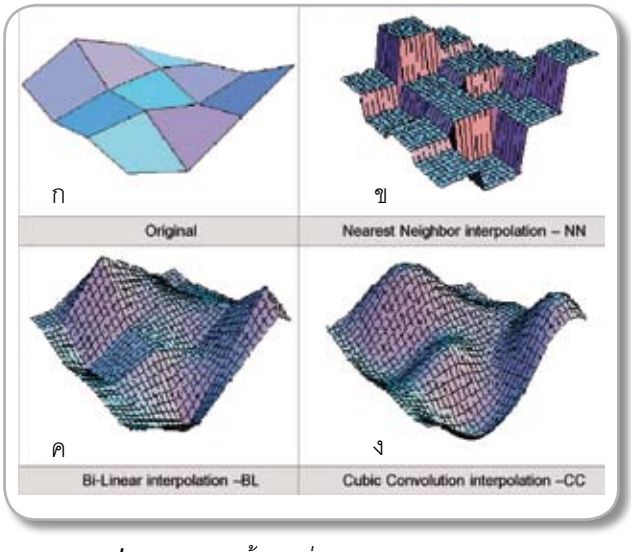
โดยที่ BV_{wt} = ค่าความสว่างใหม่

Z_k = ค่าความสว่างของจุดภาพที่อยู่โดยรอบจุดนั้น

D_k = ระยะห่างของจุดนั้นกับจุดอื่นที่อยู่โดยรอบ

ค่าความสว่างใหม่วิธีนี้จึงทำให้ข้อมูลภาพเกิดความเรียบต่อเนื่อง (Smooth) มีรายละเอียดลดลงจากข้อมูลภาพเริ่มต้น (ภาพที่ 3.45ค)

4.2.3) การประมาณค่าแบบการประสานเชิงลูกบาศก์ (Cubic Convolution interpolation : CC) ค่าความสว่างใหม่จะถูกประมาณด้วยฟังก์ชันลูกบาศก์โดยใช้จุดภาพ 16 จุดที่อยู่ล้อมรอบ วิธีการคำนวณแบบนี้ให้ผลที่ดี ทั้งในด้านความคมชัดและการต่อเนื่อง แต่ต้องใช้เวลาคำนวณมากกว่าเมื่อเทียบกับวิธีอื่น และค่าความสว่างใหม่จะเป็นค่าเฉลี่ยจากจุดภาพโดยรอบทั้งหมด ซึ่งอาจแตกต่างจากกับค่าความสว่างเดิมมาก (ภาพที่ 3.45ง)



รูปที่ 3.45 *แสดงพื้นผิวที่ผ่านกระบวนการคำนวณค่าความสว่างของจุดภาพใหม่*

5.2.2 การเน้นข้อมูลภาพ (Image enhancement)

เป็นกระบวนการปรับเปลี่ยนค่าของจุดภาพหรือค่าระดับสีเทา เพื่อเพิ่มรายละเอียด ความชัดเจนของข้อมูลภาพ หรือการเพิ่มระดับความแตกต่างระหว่างวัตถุ ทำให้สังเกตเห็นขอบเขตของวัตถุต่างชนิดกันได้ชัดเจนมากขึ้น (ภาพที่ 3.46) หรือสามารถที่จะเน้นความคมชัดเฉพาะในส่วนที่ต้องการศึกษาช่วยให้การตีความประเภทวัตถุง่ายมากขึ้น แล้วนำผลลัพธ์ที่ได้ไปทำการแปลตีความ โดยทำการศึกษาแปลตีความด้วยสายตา (Visual interpretation) เพื่อกำหนดประเภทข้อมูล ก่อนที่นำไปใช้เพื่อการจำแนกประเภทข้อมูล เทคนิคต่างๆ ที่จะใช้ในการเน้นข้อมูลภาพนั้นอยู่กับ

- ค่าจุดภาพ ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลจากหลายช่วงคลื่นของข้อมูลจากดาวเทียมที่ออกแบบมาเฉพาะ ผู้ใช้จะต้องทำความเข้าใจรูปแบบของปฏิสัมพันธ์ระหว่างพลังงานในแต่ละช่วงคลื่นกับวัตถุบนพื้นโลก
- วัตถุประสงค์ของการเน้นข้อมูล คือ ต้องเปลี่ยนแปลงข้อมูลเพื่อให้เห็นรายละเอียดต่างๆ ในเรื่องที่ต้องการศึกษาได้ดียิ่งขึ้น
- ผลที่คาดว่าจะได้รับการเน้นข้อมูลภาพ
- พื้นฐานของผู้วิเคราะห์ซึ่งจะต้องมีประสบการณ์ในการวิเคราะห์และเทคนิคการเน้นข้อมูลระดับความแตกต่างระหว่างวัตถุในข้อมูลภาพ ซึ่งวัดได้จากสัดส่วนของระดับความแตกต่างของความชัดเจน (Contrast ratio) โดยนำค่าความสว่างสูงที่สุดมาหารด้วยค่าการสะท้อนต่ำที่สุด ดังสูตรต่อไปนี้

$$Cr = Bmax / Bmin$$

โดยที่ Cr = สัดส่วนความแตกต่างของความชัดเจน
Bmax = ค่าการสว่างสูงที่สุดในข้อมูลภาพ
Bmin = ค่าการสว่างต่ำที่สุดในข้อมูลภาพ

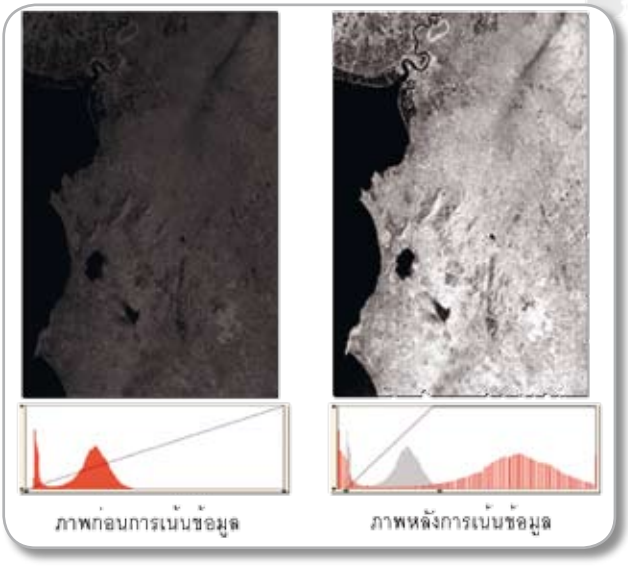
ถ้ามีสัดส่วนความแตกต่างของความชัดเจนสูง หมายความว่า ภาพมีความชัดเจนมาก ขอบเขตของวัตถุต่างๆ จะสามารถแยกแยะได้ชัดเจน และถ้ามีสัดส่วนของความแตกต่างของความชัดเจนต่ำ หมายความว่า ภาพลดความคมชัดลง ขอบเขตของแต่ละประเภทข้อมูลไม่ชัดเจน

ค่าความสว่างหรือค่าระดับสีเทาในแต่ละช่วงคลื่น สามารถนำมาปรับปรุงให้ค่าระดับสีเทามีความแตกต่างมากขึ้น แล้วทำให้ได้รับรายละเอียดของข้อมูลภาพมากขึ้น เทคนิคการเน้นรายละเอียดภาพมีหลายวิธี สามารถเน้นภาพให้มีลักษณะรายละเอียดได้แตกต่างกัน ดังนั้นผู้ใช้งานจึงต้องมีความรู้เรื่องวิธีการเน้นรายละเอียดภาพอย่างเพียงพอ เพื่อที่จะสามารถเลือกมาใช้ประโยชน์ให้ตรงกับงานที่ต้องการจัดทำวิธีการเน้นข้อมูลภาพมีดังต่อไปนี้

1) การเน้นข้อมูลเชิงคลื่น (Spectral enhancement) เป็นการเน้นข้อมูลโดยการพิจารณาค่าของจุดภาพเดี่ยว (Individual pixel) ในภาพโดยไม่พิจารณาจุดภาพข้างเคียง วัตถุประสงค์ของการเน้นข้อมูลแบบนี้ก็คือ เพื่อที่จะทำให้ประเภทข้อมูลที่ต้องการปรากฏให้เห็นชัดมากขึ้นกว่าเดิม ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะพื้นที่เป้าหมายที่ต้องการจะเน้น วิธีการเน้นข้อมูลที่ใช้สามารถใช้ได้กับช่วงคลื่นหนึ่ง อาจจะไม่เหมาะสมกับอีกช่วงคลื่นหนึ่ง การเน้นข้อมูลภาพโดยทั่วไปแล้วไม่สามารถทำให้ภาพคมชัดได้ทุกประเภท ในภาพหนึ่งๆ ความคมชัดของภาพอาจดีสำหรับลักษณะพื้นที่แบบหนึ่งและลักษณะพื้นที่บางอย่างอาจจะสูญเสียความคมชัดไป

1.1) การเน้นความคมชัดของภาพ (Contrast stretch) เป็นเทคนิคการเน้นรายละเอียดของข้อมูลวิธีหนึ่ง โดยทำการขยายข้อมูลจากดาวเทียมในช่วงคลื่นหนึ่งๆ ให้ช่วงค่าต่ำสุดถึงค่าสูงสุดมีช่วงกว้างขึ้นจนเต็มระดับค่า

สีเทาตามจำนวนบิตของข้อมูล เช่น ข้อมูล 8 บิต สามารถแสดงถึง 256 ระดับ และขยายให้ค่าต่ำที่สุดเดิมเป็นค่า 0 และค่าสูงสุดเดิมขยายเต็มที่จนถึงค่า 255 วิธีการนี้เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า การขยายระดับค่าสีเทา (Gray scale stretching) หรือการยืดภาพเพื่อเน้นความชัดเจน (Contrast stretching) มีผลทำให้ภาพเกิดความคมชัดมากขึ้น ในกรณีนี้ฐานข้อมูลจะยังไม่เปลี่ยนแปลงโดยการเก็บตารางค้นหา (Look Up Table : LUT) หรืออาจเก็บไว้แบบถาวรก็ได้ การขยายความคมชัดของภาพมีหลายรูปแบบด้วยกันเพื่อใช้ปรับเปลี่ยนความคมชัดของภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสามารถที่จะขยายแผนภูมิภาพในช่วงที่เราสนใจที่จะศึกษาโดยเฉพาะ เช่น มีความต้องการจะศึกษาเฉพาะเรื่องน้ำ ก็จะต้องขยายช่วงของแผนภูมิภาพในช่วงต่ำ เป็นต้น



ภาพที่ 3.46 *แสดงข้อมูลจากดาวเทียมก่อนและหลังการเน้นความคมชัดของภาพ*

การขยายความคมชัดของภาพอาจมีหลายประเภทด้วยกัน คือ

1.1.1) การเน้นความคมชัดเชิงเส้น (Linear contrast stretch) เป็นวิธีง่ายที่สุดที่จะปรับความชัดของภาพซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะยืดข้อมูลดิบซึ่งมีช่วงของแผนภูมิในช่วงแคบๆ แล้วยืดข้อมูลออกให้เต็ม 0-255 ระดับ

1.1.2) การเน้นความคมชัดไม่ใช่เชิงเส้น (Nonlinear contrast stretch) เป็นวิธีที่เพิ่มหรือลดความคมชัด ในบางช่วงแทนที่จะใช้ความชันที่คงที่ตลอดช่วง

1.1.3) การเน้นความคมชัดเชิงเส้นต่อเนื่อง (Piecewise linear contrast stretch) ในกรณีนี้ค่าข้อมูลมีความต่อเนื่อง ในช่วงใดๆ จะต้องมีความชันที่คงที่ ค่าข้อมูลที่กำหนดจะมีทิศทางเพิ่มขึ้นเท่านั้น

1.2) ความเท่ากันของแผนภูมิภาพ (Histogram equalization) เป็นการขยายความคมชัดไม่ใช่เชิงเส้นที่มีกระบวนการกระจายค่าของจุดภาพ เพื่อให้มีจำนวนของจุดภาพเท่ากันในแต่ละช่วงของค่าจุดภาพ ผลที่ได้ก็คือจะมีแผนภูมิเรียบขึ้นความคมชัดของภาพดีขึ้นในบริเวณยอดของแผนภูมิ

1.3) อัตราส่วนเชิงสเปกตรัม (Spectral ratio) หมายถึง การเน้นข้อมูลภาพเชิงเลขซึ่งใช้ผลจากอัตราส่วนของค่าจุดภาพ ของข้อมูลต่างแบนด์กันในตำแหน่งเดียว แล้วให้ผลลัพธ์ในตำแหน่งเดิม การที่เลือกใช้อัตราส่วนระหว่างแบนด์ใดนั้นขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการประยุกต์ใช้งาน การประยุกต์ใช้งานภาพที่ต้องการนอกจากอัตราส่วนของแบนด์เดี่ยวแล้ว อัตราส่วนของผลต่างของแบนด์ต่อผลบวกของแบนด์ก็ยังเป็นที่นิยมใช้กันมากเช่นกัน

1.4) ผลบวกเชิงเส้น (Linear combination) เป็นการเน้นข้อมูลอีกวิธีหนึ่งที่นิยมใช้กันมากและสามารถนำข้อมูลในหลายแบนด์มาใช้ คือ วิธีผลบวกเชิงเส้นของแบนด์ต่างๆ โดยแต่ละแบนด์จะมีการกำหนดค่าสัมประสิทธิ์เพื่อที่จะเพิ่มหรือลดน้ำหนักในแต่ละแบนด์โดยมีรูปแบบดังนี้

$$A = a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3 x_3 + a_4 x_4 + ...$$

โดยที่ A = ผลบวกเชิงเส้น

a_1, a_2, a_3 ..... = ค่าสัมประสิทธิ์

x_1, x_2, x_3 ..... = ค่าของจุดภาพในแต่ละแบนด์ในตำแหน่งเดียวกัน

ค่าผลบวกเชิงเส้นหรือค่า A จะเป็นค่าจุดภาพใหม่ โดยแทนที่ลงในตำแหน่งเดิม เกิดเป็นภาพใหม่ที่ได้จากวิธีดังกล่าว ความคมชัดของภาพขึ้นอยู่กับน้ำหนักของค่าสัมประสิทธิ์ a_1, a_2, a_3 .....ที่กำหนดลงไปในแต่ละแบนด์ ค่าสัมประสิทธิ์นี้อาจจะเป็นค่าลบหรือค่าบวกก็ได้จากสมการผลบวกเชิงเส้น ผลบวกเชิงเส้น (A) ที่ได้รับส่วนใหญ่จะมีค่าของจุดภาพต่ำ ซึ่งมีความจำเป็นที่จะต้องปรับให้แผนภูมิภาพอยู่ในช่วงกลางของระดับสีเทา (0-255) และอาจใช้วิธีขยายความคมชัดของภาพร่วมด้วยก็ได้

1.5) การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principle Component Analysis: PCA) เป็นวิธีการปรับปรุงคุณภาพข้อมูลอีกวิธีหนึ่ง ที่สามารถนำเอาข้อมูลจำนวนมากมาคำนวณทางคณิตศาสตร์ เพื่อลดจำนวนข้อมูลลงโดยยังคงลักษณะเด่นของข้อมูลส่วนใหญ่เอาไว้เกือบทั้งหมด ผลลัพธ์ของการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักจะได้ข้อมูลชุดใหม่ในรูปขององค์ประกอบที่เกิดจากการรวมตัวเชิงแนวเส้น การวิเคราะห์องค์ประกอบหลักมาประยุกต์ใช้ในงานด้านการรับรู้จากระยะไกล เป็นการสร้างช่วงคลื่นใหม่ ซึ่งเป็นตัวแทนของมวลข้อมูล ที่ได้จากช่วงคลื่นเก่าหลายช่วงคลื่น โดยช่วงคลื่นใหม่จะมีปริมาณข้อมูลเกือบทั้งหมดที่มีอยู่ในช่วงคลื่นเก่า แต่ที่เหลืออยู่ในจำนวนช่วงคลื่นหรือองค์ประกอบที่น้อยกว่า จึงช่วยให้ลดจำนวนช่วงคลื่นที่จะนำไปใช้ในการคำนวณเพื่อจำแนกประเภทข้อมูลและลดเวลาที่ใช้ในการคำนวณ หรือหากนำช่วงคลื่นใหม่มาทำภาพสีผสม จะช่วยปรับปรุงคุณภาพของข้อมูลให้มีรายละเอียดมากขึ้นและง่ายต่อการตีความ

ตัวอย่างในการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก เช่น นำข้อมูลจากดาวเทียม LANDSAT ระบบ TM จำนวน 7 ช่วงคลื่น มาคำนวณข้อมูลแต่ละช่วงคลื่นแล้วได้รับช่วงคลื่นใหม่ดังนี้

1.5.1) การคำนวณค่าทางสถิติภาพของแต่ละช่วงคลื่น ได้แก่ ค่าการสะท้อนสูงสุด-ค่าการสะท้อนต่ำสุด ค่าเฉลี่ยเลขคณิต ค่าการแปรปรวน และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

1.5.2) การคำนวณ Variance-covariance matrix จากค่าสถิติแต่ละช่วงคลื่น มีการคำนวณค่าความแปรปรวน (ค่าแนวทแยงเฉพาะของแต่ละช่วงคลื่น) และค่าความแปรปรวนร่วม ซึ่งเป็นค่าที่บอกความสัมพันธ์ระหว่าง 2 ช่วงคลื่นทีละคู่ ว่ามีความสัมพันธ์กันมากน้อยอย่างไร ค่าความแปรปรวนร่วมมาก หมายถึง ช่วงคลื่นคู่นั้นมีความสัมพันธ์กันค่อนข้างมาก หรือมีลักษณะร่วมที่คล้ายคลึงกัน

1.5.3) การคำนวณค่าสหสัมพันธ์ เพื่อจัดกลุ่มข้อมูลชุดใหม่ตามค่าสหสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลต่างๆ ที่มีค่าสัมพันธ์กันสูง เช่น ช่วงคลื่นที่ 1 2 และ 3 มีค่าความสัมพันธ์กันสูง เพราะทั้ง 3 ช่วงคลื่นมีคุณสมบัติเป็นคลื่นตามองเห็นเหมือนกัน จึงทำให้ข้อมูลจะมีลักษณะคล้ายกันในด้านค่าการสะท้อนของวัตถุต่างๆ หรือช่วงคลื่นที่ 5 และ 7 มีค่าสหสัมพันธ์สูงเช่นกัน เพราะเป็นคลื่นอินฟราเรดกลางคล้ายๆ กัน ส่วนช่วงคลื่นที่ 4 จะมีความสัมพันธ์กับช่วงคลื่นอื่นค่อนข้างต่ำ ทั้งนี้เพราะเป็นช่วงคลื่นที่เป็นค่าอินฟราเรดใกล้ เมื่อพิจารณาจากข้อมูลชุดเดิม (6 ช่วงคลื่น) เราจึงมีกลุ่มข้อมูลตามค่าสหสัมพันธ์ 3 กลุ่มใหญ่ คือ กลุ่มคลื่นตามองเห็น (ช่วงคลื่นที่ 1 2 และ 3) กลุ่มคลื่นอินฟราเรดระยะกลาง (ช่วงคลื่นที่ 5 และ 7) และ คลื่นอินฟราเรดใกล้ (ช่วงคลื่นที่ 4) การวิเคราะห์องค์ประกอบหลักจะจัดสร้างข้อมูลภาพชุดใหม่หรือองค์ประกอบใหม่โดยแยกตามลักษณะร่วมของช่วงคลื่น

1.5.4) การคำนวณพิกัดของจุดภาพใหม่ (Transformation) โดยเอาช่วงคลื่นสัมพันธ์กันสูงไว้ด้วยกันในช่วงคลื่นใหม่ที่จะสร้างขึ้น แล้วให้ช่วงคลื่นใหม่นั้นมีความสัมพันธ์กันน้อยที่สุด

1.6) ดัชนีพืชพรรณ (Vegetation index) เป็นการคำนวณโดยนำช่วงคลื่นที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณมาทำสัดส่วนซึ่งกันและกัน แล้วให้ผลลัพธ์ในการจำแนกบริเวณที่มีปริมาณพืชพรรณปกคลุม (Biomass) กับบริเวณที่ไม่ใช่พืชพรรณ เป็นประโยชน์ในการติดตามการเพิ่มขึ้น หรือลดลงของพืชพรรณ และสถานการณ์สิ่งแวดล้อมในพื้นที่ที่ศึกษา ช่วงคลื่นที่เกี่ยวกับพืชพรรณได้แก่ ช่วงคลื่นตามองเห็นสีแดง มีคุณสมบัติในการวัดค่าการสะท้อนจากส่วนที่มีการดูดกลืนพลังงานในใบพืชหรือส่วนที่มีคลอโรฟิลล์ และช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้มีคุณสมบัติในการแยกแยะพืชพรรณและวัดปริมาณมวลชีวภาพ เช่น กรณีของข้อมูลจากดาวเทียม LANDSAT ระบบ TM คือ ช่วงคลื่นที่ 3 และช่วงคลื่นที่ 4 หรือกรณีดาวเทียม SPOT คือ ช่วงคลื่นที่ 2 และช่วงคลื่นที่ 3 เป็นต้น ดัชนีพืชพรรณมีวิธีการคำนวณหลายวิธีด้วยกันที่สำคัญ มีดังนี้

1.6.1) วิธี Ratio Vegetation Index (RVI) เป็นการทำสัดส่วนระหว่างช่วงคลื่น 2 ช่วงคลื่นอย่างง่ายๆ คือ นำเอาช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้มาหารด้วยช่วงคลื่นตามองเห็นสีแดง ดังสูตรต่อไปนี้

$$RVI = NIR / RED$$

โดยที่ RVI = ดัชนีพืชพรรณ
NIR = ช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้
RED = ช่วงคลื่นตามองเห็นสีแดง

1.6.2) วิธี Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) เป็นการทำสัดส่วนระหว่างช่วงคลื่น 2 ช่วงคลื่นที่ปรับให้มีลักษณะเป็นการกระจายปกติ คือ นำช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้มาลบด้วยช่วงคลื่นตามองเห็นสีแดง แล้วหารด้วยผลบวกของช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้และช่วงคลื่นตามองเห็นสีแดง ดังสูตรต่อไปนี้

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$$

โดยที่ NVDI = ดัชนีพืชพรรณ
NIR = ช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้
RED = ช่วงคลื่นตามองเห็นสีแดง

การคำนวณดัชนีพืชพรรณโดยปกติจะให้ค่าอยู่ระหว่าง -1 และ 1 ซึ่งหากต้องการปรับให้เป็นค่าการสะท้อนปกติในช่วง 0-255 สามารถคำนวณได้ด้วยสูตรต่อไปนี้

$$NDVI = \left((NIR - RED) / (NIR + RED) \times 128\right) + 128$$

1.6.3) Soil Adjustment Vegetation Index (SAVI) เป็นดัชนีพืชพรรณที่สร้างขึ้นเพื่อการคำนวณพืชพรรณในพื้นที่ศึกษาที่มีปริมาณพืชพรรณค่อนข้างต่ำ มีสูตรการคำนวณคล้ายๆ กับ NDVI แต่มีการให้ค่าคงที่ (L) เพิ่มขึ้นเพื่อลดอิทธิพลของค่าการสะท้อนจากดินที่เป็นพื้นล่างของพืชพรรณ ถ้าค่าคงที่มีค่าเท่ากับศูนย์ หมายถึงดัชนี SAVI มีค่าเท่ากับดัชนี NDVI แต่หากมีสัดส่วนพืชพรรณปกคลุมพอสมควร ค่าคงที่จะมีค่าประมาณ 0.5 มีสูตรการคำนวณดังนี้

$$SAVI = \left((NIR - RED) / (NIR + RED + L)\right) \times (1 + L)$$

โดยที่ SAVI = ดัชนีพืชพรรณ
NIR = ช่วงคลื่นอินฟาเรดใกล้
RED = ช่วงคลื่นตามองเห็นสีแดง
L = ค่าคงที่

1.6.4) Transformation Vegetation Index (TVI) เป็นการคำนวณดัชนีพืชพรรณ ที่สร้างขึ้นมาเพื่อประยุกต์ใช้กับการประมาณปริมาณพืชพรรณในพื้นที่ที่เป็นทุ่งหญ้า มีการคำนวณดังนี้

$$TVI = \left((NIR - RED) / (NIR + RED + L) + 0.5\right)^{1/2}$$

ค่าการสะท้อนในข้อมูลภาพที่เป็นผลลัพธ์ของดัชนีพืชพรรณ จะเป็นค่าจริงที่สามารถรวมกลุ่มจุดภาพที่มีค่าสะท้อนใกล้เคียงกันแล้วตีความเป็นปริมาณพืชพรรณ เมื่อเปรียบเทียบกับสภาพที่เป็นจริง

2) การเน้นข้อมูลแบบเชิงพื้นที่ (Spatial enhancement) เป็นการเน้นข้อมูลโดยพิจารณาค่าของจุดภาพรอบข้าง แตกต่างกับการเน้นข้อมูลช่วงคลื่นซึ่งพิจารณาค่าของจุดภาพเดี่ยวๆ เท่านั้น โดยทั่วไปการเน้นข้อมูลแบบนี้จะพิจารณาจากความถี่ของกลุ่มข้อมูลข้างเคียง หรือความแตกต่างของค่าจุดภาพสูงสุดและต่ำสุดของกลุ่มข้อมูลภาพรอบข้าง หมายถึงการเปลี่ยนแปลงในค่าของจุดภาพต่อหนึ่งหน่วยระยะทางสำหรับบางส่วนของภาพที่กำหนด กระบวนการเฉลี่ยค่าของกลุ่มขนาดเล็กของจุดภาพจำนวนหนึ่งผ่านเข้าไปในภาพหนึ่ง เพื่อเปลี่ยนแปลงความถี่ของกลุ่มจุดภาพนั้นๆ เรียกว่า การกรองแบบวนรอบ (Convolution filtering) กระบวนการนี้ใช้ส่วนกลางแบบวนรอบ (Convolution kernel) ซึ่งเป็นเมทริกซ์ของตัวเลขที่ใช้ในการเปลี่ยนค่าของแต่ละจุดภาพด้วยค่าของจุดภาพรอบข้างในรูปแบบเฉพาะ จำนวนของตัวเลขในเมทริกซ์จะเป็นตัวกำหนดน้ำหนักในการปรับเปลี่ยนค่าของจุดภาพเฉพาะที่ ค่าตัวเลขนี้มักจะเรียกว่า ค่าสัมประสิทธิ์ เพราะใช้รูปแบบและวิธีทางสมการคณิตศาสตร์ ตัวอย่างการเน้นข้อมูลแบบเชิงพื้นที่ เช่น การกรองภาพ (Image filtering) ดังรายละเอียด

2.1) การกรองภาพ หมายถึง การปรับเปลี่ยนค่าของจุดภาพที่มีจำนวนน้อยเข้ากับจุดภาพที่มีจำนวนมากหรือกำจัดจุดภาพที่มีส่วนน้อยออกจากภาพ เพื่อความเข้าใจเกี่ยวกับการปรับเปลี่ยนค่าของจุดภาพที่ไม่ต้องการแบบวนรอบจะใช้เมทริกซ์ซ้อนทับบนแฟ้มข้อมูลจุดภาพ จุดภาพที่ถูกเปลี่ยนค่าจะอยู่บนหน้าต่าง ตัวกรองภาพที่ใช้กับข้อมูลจากดาวเทียม เป็นกรอบตารางกริดรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส (Matrix) โดยมีจำนวนจุดภาพทั้งในแนวตั้งและแนวนอนเป็นเลขคี่เสมอ เช่น 3x3 5x5 และ 7x7 เป็นต้น ทั้งนี้เพื่อให้เกิดความสมดุล (Symmetry) กับจุดภาพที่อยู่ตรงกลางกรอบของตัวกรอง การแปลงค่าใหม่ของจุดภาพโดยวิธีการกรองภาพ ทำได้โดยการเคลื่อนกรอบตัวกรองไปตามข้อมูลภาพจากซ้ายไปขวาทีละแถวจนหมดทั้งภาพ ในระหว่างที่ตัวกรองเคลื่อนที่ไป จะทำการคำนวณค่าใหม่ให้แก่จุดภาพที่อยู่ตรงกลางกรอบของตัวกรอง จากลักษณะการเคลื่อนที่ดังกล่าว ตัวกรองภาพจึงมีชื่อเรียกว่า ส่วนกลาง (Kernel)

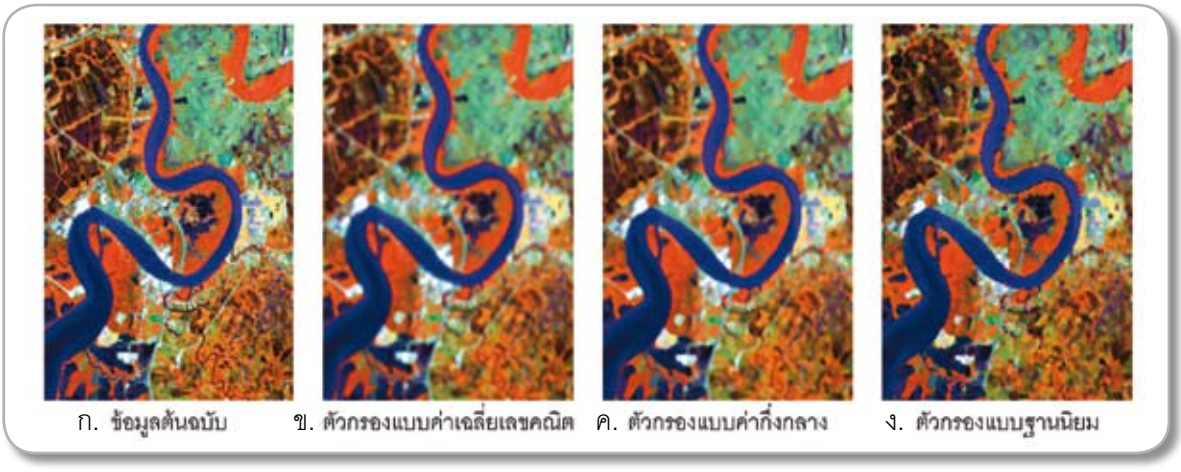
การใช้ตัวกรองภาพสามารถประยุกต์ใช้ได้โดยตรงกับข้อมูลเชิงพื้นที่ที่อยู่ในรูปข้อมูลเชิงเลข เช่น ข้อมูลจากดาวเทียม และเรียกว่า วิธีการแบบวนรอบ ซึ่งหมายถึง กระบวนการทางคณิตศาสตร์ที่คำนวณค่าข้อมูลเชิงเลข หรือค่าการสะท้อนเชิงคลื่น (Radiometric) ของแต่ละจุดภาพกึ่งกลางใหม่ โดยใช้ค่าจากทุกจุดภาพที่ตกอยู่ในกรอบของตัวกรอง ในขณะที่ทำการกวาดผ่านข้อมูลภาพมาเป็นค่าพื้นฐานเริ่มต้น แล้วแปลงค่าเหล่านั้นด้วยวิธีการคณิตศาสตร์หลายรูปแบบ เช่น การคูณ การหาร การหาค่าเฉลี่ยจากค่ามัชฌิมเลขคณิต (Mean) มัธยฐาน (Median) ฐานนิยม (Mode) หรือการหาค่าความเบี่ยงเบนในกรอบตัวกรอง (Local standard deviation) ฯลฯ และบางครั้งอาจมีการให้ค่าน้ำหนัก (Weighting) ร่วมกันด้วย

ตัวกรองความถี่ต่ำหรือตัวกรองทำให้เรียบ (Low pass or Smoothing filter) มีคุณสมบัติเด่นในการปรับปรุงข้อมูลภาพให้เรียบ หรือลดความแตกต่างของขอบเขตของวัตถุลง มีให้เลือกใช้ได้หลายชนิด (ภาพที่ 3.47) ดังนี้

2.1.1) ตัวกรองแบบค่าเฉลี่ยเลขคณิต เป็นตัวกรองที่นำหลักการของการคำนวณหาค่าเฉลี่ยมาใช้ โดยตัวกรองมีค่าเป็นบวกทั้งหมด โดยค่าเดิมของจุดภาพกึ่งกลางของตัวกรองจะมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับค่ากรองอื่นก็ได้ ตัวกรองภาพในลักษณะนี้จะทำให้ภาพดูเรียบขึ้น นิยมใช้กับภาพที่มีจุดภาพเดี่ยวๆ ที่มีค่าต่างจากภาพโดยรอบอื่นๆ และปรากฏแทรกอยู่ระหว่างจุดภาพจำนวนมากที่มีค่าใกล้เคียงกัน เรียกว่า การรบกวนในข้อมูลภาพ (Image noise) เมื่อใช้ตัวกรองผ่านค่าความถี่ต่ำจะทำให้ภาพดูเรียบมากขึ้น (ภาพที่ 3.47ข) เช่น ใช้กับภาพหลังจากที่มีการทำการจำแนกประเภทข้อมูลไปแล้ว เพื่อลดจำนวนจุดภาพเดี่ยวๆ ลง หรือกรณีที่มีจุดภาพที่เสียก็อาจจะใช้วิธีนี้ช่วยทำให้ข้อมูลภาพดีขึ้น

2.1.2) ตัวกรองแบบค่ากึ่งกลาง (Median filter) เป็นการหาค่ากึ่งกลางของจุดภาพโดยการเรียงลำดับค่าจากน้อยไปมาก หรือจากมากไปน้อยภายในตัวกรองภาพ วิธีการทางสถิตินี้ช่วยลดค่าของจุดภาพที่มีค่าโดดเด่น แตกต่างอย่างมาก จากค่าของจุดภาพที่อยู่ใกล้เคียงลง ข้อมูลภาพที่ใช้ตัวกรองแบบค่ากึ่งกลาง จะมีคุณสมบัติในการลดสัญญาณรบกวนต่างๆ ได้ดีกว่าตัวกรองแบบค่าเฉลี่ยเลขคณิต โดยจะทำให้ภาพมีความเรียบมากขึ้น แต่จะไม่ลบส่วนที่เป็นขอบเขตหรือลายเส้นอื่นๆ ในภาพให้เรียบตามส่วนที่เป็นสัญญาณรบกวน ในการเปลี่ยนค่าจุดกลางอาจจะตั้งเกณฑ์ควบคุมได้ด้วย เช่น ให้เกิดการเปลี่ยนค่ากลางก็ต่อเมื่อค่าเดิมต่างจากค่าใหม่ (ภาพที่ 3.47ค)

2.1.3) ตัวกรองแบบฐานนิยม (Mode filter) เป็นการใช้วิธีการทางสถิติแบบฐานนิยม ซึ่งเป็นอีกวิธีหนึ่งที่ใช้ในการหาค่าจุดภาพกึ่งกลาง โดยพิจารณาจากความถี่มากที่สุดจากจำนวนจุดภาพทั้งหมดที่อยู่ในกรอบของตัวกรองแบบฐานนิยม ใช้หลักการที่ว่า จุดภาพกึ่งกลางย่อมจะมีความสัมพันธ์กับจุดภาพที่อยู่โดยรอบ คือมักจะมีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นเมื่อเกิดจุดภาพที่มีค่าโดดเด่นต่างจากจุดภาพที่อยู่โดยรอบ อาจจะสรุปได้ว่าจุดภาพนั้นเป็นผลจากสัญญาณรบกวน กรณีดังกล่าวจะพบมากกับข้อมูลที่ผ่านการวิเคราะห์และจำแนกแล้ว ซึ่งเป็นภาพเดี่ยวมีค่าในแต่ละจุดภาพแสดงรหัสหรือสัญลักษณ์ที่มีการตีความแล้ว จึงแตกต่างจากค่าเชิงคลื่นของจุดภาพในข้อมูลจากดาวเทียมทั่วไป ดังนั้นการใช้วิธีทางสถิติแบบค่าเฉลี่ยเลขคณิตหรือค่ากึ่งกลาง จึงไม่สื่อความหมายแต่อย่างใดกับข้อมูลที่ถูกแปลงค่าและให้ผลไม่ดีนัก ในกรณีนี้การใช้วิธีการทางสถิติแบบฐานนิยมจึงเหมาะสมกว่า การแปลงค่าสามารถตั้งกฎเกณฑ์ได้เช่นกัน เช่น ให้เปลี่ยนค่าจุดภาพกึ่งกลางเมื่อจำนวนจุดภาพโดยรอบที่มีค่าเดียวกัน มีจำนวนมากกว่า 4 จุดภาพขึ้นไป เป็นต้น (ภาพที่ 3.47ง)



ภาพที่ 3.47 *แสดงภาพที่ผ่านตัวกรองแบบความถี่ต่ำหรือตัวกรองทำให้เรียบ ขนาด 5 X 5*

2.1.4) ตัวกรองความถี่สูง (High frequency kernel) ในการวิเคราะห์ข้อมูลจากดาวเทียมผู้ใช้งานส่วนใหญ่ต้องการเห็นขอบเขตของวัตถุต่างๆ อย่างชัดเจนมากที่สุดเท่าที่จะเน้นได้ เพื่อสามารถแยกแยะขอบเขต

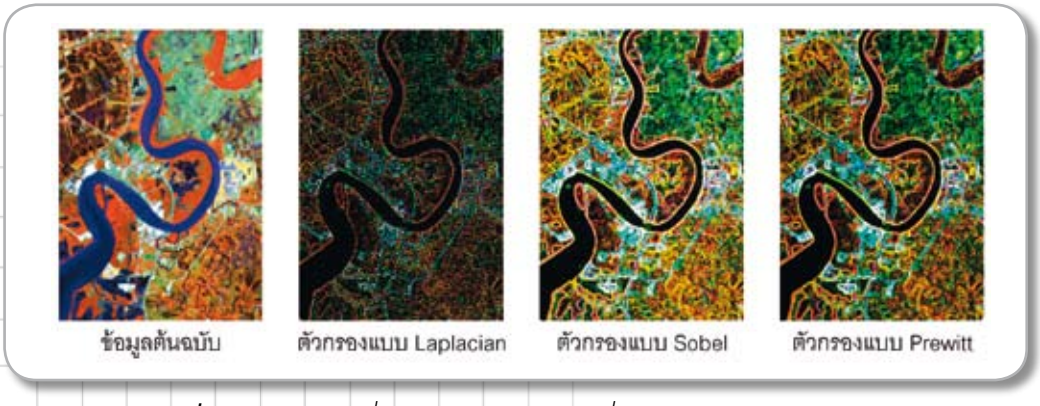
ลวดลายของวัตถุต่างชนิดกันได้สะดวกขึ้น เทคนิคการเน้นความคมชัดข้อมูลจากภาพดาวเทียมจึงมีผู้คิดค้นเพื่อปรับปรุงคุณภาพของภาพให้ความคมชัดมากที่สุด ซึ่งยังเป็นประโยชน์ต่อการหาตำแหน่งโดยอาศัยจุดตัดของลายเส้นต่างๆ โดยใช้ตัวกรองภาพแบบเน้นขอบเขตของวัตถุหรือตัวกรองผ่านความถี่สูง (Edge enhancement or High pass filter) การเน้นความคมชัดของภาพมีวิธีการซับซ้อนเมทริกซ์หรือส่วนกลางที่ใช้แบบความถี่สูง ค่าจุดภาพที่ต่ำอยู่แล้วจะต่ำลงอีก ค่าที่สูงอยู่แล้วจะสูงขึ้น ซึ่งเดิมความแตกต่างของค่าจุดภาพไม่มากนักจะทำให้ภาพมีค่าจุดภาพแตกต่างกันมากขึ้น ส่วนกลางแบบความถี่สูงจะทำหน้าที่เน้นข้อมูลขอบ (Edge enhancers) เทคนิคนี้นิยมประยุกต์ใช้มากในงานสำรวจทางธรณีวิทยา

ตัวอย่างต่อไปนี้เป็นการใช้ส่วนกลางแบบความถี่สูงกับข้อมูลจุดภาพที่มีค่าต่ำและค่าสูงตามลำดับ (ภาพที่ 3.48)

ค่าส่วนกลาง	ข้อมูล	ผลลัพธ์	หมายเหตุ
-1 -1 -1 -1 16 -1 -1 -1 -1	204 200 197 201 100 209 198 200 210 ข้อมูลจุดภาพที่มีค่าต่ำ	204 200 197 201 9 209 198 200 210	ค่าข้อมูลที่ต่ำจะได้ผลลัพธ์ต่ำลงไปอีก
	64 60 57 61 125 69 58 60 70 ข้อมูลจุดภาพที่มีค่าสูง	64 60 57 61 187 69 58 60 70	ค่าข้อมูลสูงจะได้ผลลัพธ์สูงขึ้นไปอีก

ภาพที่ 3.48 *การใช้ส่วนกลางแบบความถี่สูงกับข้อมูลจุดภาพที่มีค่าต่ำ และสูง*

การเน้นคุณภาพของภาพที่มีองค์ประกอบเป็นลายเส้น สามารถทำได้โดยผ่านตัวกรองภาพแบบที่เน้นขอบของวัตถุ (Edge detection) จะให้ผลลัพธ์ คือ ช่วยเน้นขอบเขตต่างๆ ขององค์ประกอบภาพทั้งหมด มีการคิดค้นตัวกรองภาพชนิดนี้เอาไว้หลายประเภท เช่น ตัวกรองแบบ Laplacian นอกจากนั้นยังมีตัวกรองที่เน้นขอบเขตเฉพาะทิศทางใดทิศทางหนึ่งในภาพ สามารถเลือกใช้ตัวกรองภาพเฉพาะทิศทางนั้นๆ ได้ โดยสังเกตว่าในข้อมูลภาพที่มีองค์ประกอบที่เป็นลายเส้นเอนเอียงภาพไปทางใดเป็นส่วนใหญ่ เช่น แนวตั้ง แนวนอน ทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือ เช่น ตัวกรองแบบ Sobel และตัวกรองแบบ Prewitt เป็นต้น (ภาพที่ 3.49)



รูปที่ 3.49 *แสดงภาพที่ผ่านตัวกรองแบบความถี่สูงหรือตัวกรองเน้นขอบวัตถุ*

2.1.5) ส่วนกลางผลรวมเท่ากับศูนย์ (Zero sum kernel) หมายความว่า ผลรวมของสัมประสิทธิ์ในส่วนกลางมีค่าเท่ากับศูนย์ เมื่อส่วนกลางนี้ถูกใช้ผลรวมที่เป็นศูนย์จะแทนด้วยค่า 1 เพราะว่าเลขอะไรหารด้วยศูนย์ จะไม่มีผลลัพธ์ ตัวเลขส่วนกลางแบบนี้จะมีผลต่อผลลัพธ์ ดังนี้

- มีค่าเป็นศูนย์ในพื้นที่ค่าข้อมูลเท่ากัน (ไม่มีขอบ)
- มีค่าต่ำในพื้นที่ที่มีความถี่ของข้อมูลต่ำ (Low spatial frequency)
- มีค่าสูงมากสำหรับค่าที่สูงอยู่แล้ว และค่าต่ำมากสำหรับค่าที่ต่ำอยู่แล้ว ในพื้นที่มีความถี่ของข้อมูลสูง (High spatial frequency)

2.1.6) การปฏิบัติการระหว่างภาพ (Image operation) เป็นการคำนวณสัดส่วนระหว่างข้อมูลภาพหลายช่วงคลื่น มีหลักการคำนวณโดยใช้ข้อมูลหลายช่วงคลื่นมาทำการคำนวณด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์แล้วให้ได้ผลลัพธ์ที่มีรายละเอียดในบางเรื่องมากขึ้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของช่วงคลื่นที่นำมาใช้คำนวณ วิธีการทางคณิตศาสตร์ที่ใช้กันมาก เช่น การบวก การลบ การคูณ และการหาร ระหว่างข้อมูลภาพหลายช่วงคลื่น การคำนวณสัดส่วนระหว่างข้อมูลภาพหลายช่วงคลื่นที่นิยมใช้กันมากได้แก่ การคำนวณดัชนีพืชพรรณ การคำนวณดัชนีความสว่าง และการทำสัดส่วนระหว่างข้อมูลภาพ เป็นต้น

5.2.3 การจำแนกประเภทข้อมูลภาพ (Image classification) การจำแนกประเภทข้อมูลภาพเป็นการประมวลผลในทางสถิติ เพื่อแยกข้อมูลจุดภาพทั้งหมดที่ประกอบเป็นพื้นที่ศึกษาออกเป็นกลุ่มย่อย โดยใช้ลักษณะทางสถิติเป็นตัวกำหนดความแตกต่างระหว่างกลุ่มจุดภาพ โดยจุดภาพที่ถูกจัดให้อยู่กลุ่มเดียวกันจะมีลักษณะทางสถิติเฉพาะกลุ่มเป็นไปในทิศทางเดียวกัน แต่ละกลุ่มจุดภาพที่จำแนกได้นั้นจะแสดงถึงสิ่งปกคลุมพื้นดินประเภทใดประเภทหนึ่งแตกต่างกันไป

กล่าวอีกนัยหนึ่ง การจำแนกประเภทข้อมูลภาพ หมายถึง การแบ่งจุดภาพที่มีคุณสมบัติการสะท้อนแสงคล้ายๆ กันออกเป็นกลุ่มหรือเป็นระดับ ซึ่งเรียกว่า ชนิดหรือประเภท (Class) เพื่อที่จะแบ่งแยกวัตถุต่างๆ ที่แสดงในภาพออกจากกัน ในการจำแนกประเภทข้อมูลนี้ผู้ปฏิบัติต้องใช้กฎการตัดสินใจหรือความรู้ทางสถิติเข้าช่วย เนื่องจากปริมาณจุดภาพที่ประกอบเป็นพื้นที่ศึกษา มีปริมาณจุดภาพมากการคำนวณทางสถิติเองโดยใช้เครื่องคิดเลขจึงทำได้ยาก ใช้เวลามากและอาจเกิดข้อผิดพลาดได้ จึงมีการนำเอาความสามารถของคอมพิวเตอร์มาช่วยในการประมวลผล ทำให้ได้ผลลัพธ์ในเวลารวดเร็วสามารถตรวจสอบความถูกต้องได้ทันที

การจำแนกประเภทข้อมูลภาพด้วยระบบคอมพิวเตอร์แบ่งออกได้เป็น 2 วิธี คือ การจำแนกประเภทข้อมูลภาพแบบควบคุม (Supervised classification) และการจำแนกประเภทข้อมูลภาพแบบไม่ควบคุม (Unsupervised classification) การจำแนกประเภทข้อมูลภาพทั้งสองวิธีให้ได้ผลลัพธ์ที่มีประสิทธิภาพนั้น ก่อนเริ่มจำแนกประเภทข้อมูลภาพ ควรศึกษาสถิติของข้อมูลภาพในแต่ละช่วงคลื่นเสียก่อน ทั้งนี้เพื่อให้ได้ช่วงคลื่นที่เหมาะสมในการใช้จำแนกประเภทข้อมูลภาพ ค่าสถิติเบื้องต้นที่ใช้ในการเลือกช่วงคลื่นที่เหมาะสม ได้แก่

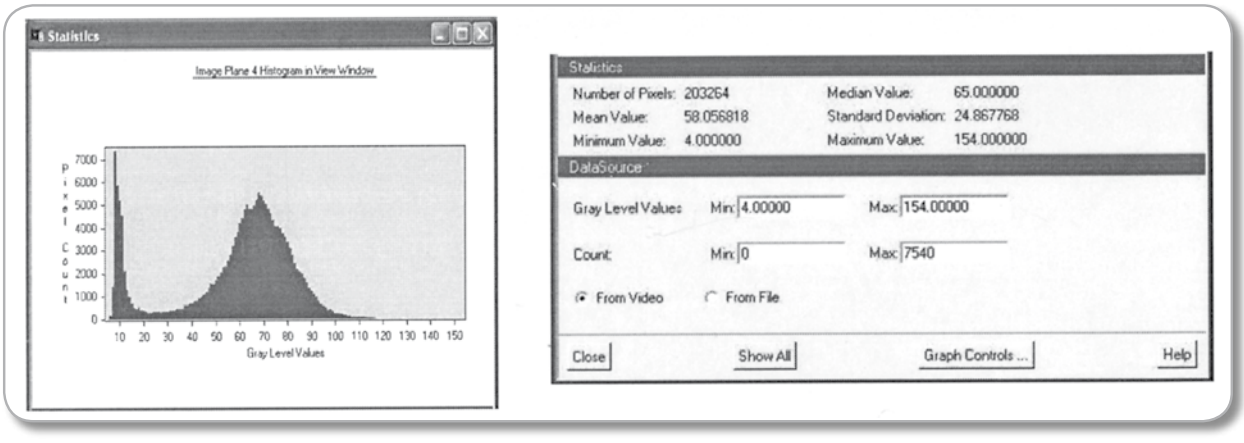
- ค่าการสะท้อนต่ำสุด-สูงสุด (Minimum-Maximum value) ของแต่ละช่วงคลื่น เป็นค่าที่แสดงการสะท้อนของข้อมูลภาพในแต่ละช่วงคลื่นว่ามีค่าการสะท้อนตกอยู่ในช่วงใด ระหว่างค่า 0-255 หากเป็นค่าที่อยู่ใกล้ 0 มาก หมายถึง ช่วงคลื่นนั้นจะให้ข้อมูลเกี่ยวกับวัตถุที่มีการดูดกลืนพลังงานมาก หากค่าค่อนไปทาง 255 หมายถึง ช่วงคลื่นนั้นจะให้ข้อมูลเกี่ยวกับวัตถุที่มีการสะท้อนพลังงานสูง และหากมีช่วงค่ากว้าง คือ มีทั้งค่าต่ำสุดใกล้ 0 และมีค่าสูงสุดใกล้ 255 หมายถึง มีข้อมูลของกลุ่มวัตถุทั้งที่ดูดกลืนพลังงานและที่สะท้อนพลังงาน ถือเป็นช่วงคลื่นที่มีความหลากหลายของข้อมูลมาก

- ค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Mean) เป็นค่าเฉลี่ยค่าการสะท้อนทั้งหมดของแต่ละช่วงคลื่น สามารถใช้เป็นตัวแทนภาพรวมข้อมูลจุดภาพทั้งหมดของช่วงคลื่นหนึ่งๆ ได้ ค่าเฉลี่ยเลขคณิตสามารถคำนวณโดยนำผลบวกของค่าการสะท้อนทั้งหมดมาหารด้วยจำนวนจุดภาพทั้งหมด ดังนี้

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{N}$$

โดย $\bar{X}$ = ค่าเฉลี่ยเลขคณิต
X = ค่าการสะท้อนของแต่ละจุดภาพ
N = จำนวนจุดภาพทั้งหมด

- ค่าเฉลี่ยเลขคณิตนิยมใช้ในการวัดค่าเฉลี่ยค่าการสะท้อนของจุดภาพมากที่สุด โดยจะเป็นค่าเฉลี่ยที่ดีนั้นต่อเมื่อข้อมูลจุดภาพทั้งหมดมีการแจกแจงค่าการสะท้อนในลักษณะสมมาตรหรือการแจกแจงของคะแนนไม่มีความเบ้ (Skewness) ซึ่งสามารถตรวจสอบลักษณะการแจกแจงของคะแนนได้จากการนำเอาค่าการสะท้อนของทุกจุดภาพมาสร้างเป็นแผนภูมิภาพของข้อมูลภาพ ดังรูป



ภาพที่ 3.50 *การแสดงลักษณะการแจกแจงของข้อมูลด้วยค่าสะท้อนของจุดภาพทุกจุดภาพ*

- ค่ากึ่งกลาง (Median) เป็นการวัดแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลางวิธีหนึ่งที่ใช้การเรียงค่าการสะท้อนของจุดภาพจากค่าน้อยที่สุดไปหาค่ามากที่สุด โดยค่ากึ่งกลางเป็นค่าที่อยู่ในตำแหน่งกึ่งกลางของข้อมูลทั้งชุด ค่ากึ่งกลางจึงเป็นตัวแทนค่าการสะท้อนของจำนวนจุดภาพทั้งหมดในช่วงคลื่นหนึ่งๆ ที่แสดงให้ทราบว่ามีจำนวนจุดภาพที่มีค่าการสะท้อนมากกว่าและน้อยกว่าค่ากึ่งกลางอยู่ประมาณร้อยละ 50

- ค่าฐานนิยม (Mode) เป็นการวัดแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลางอีกวิธีหนึ่ง โดยดูจากจำนวนความถี่ของค่าการสะท้อนซึ่งมีความถี่สูงที่สุด นิยมนำมาใช้กับข้อมูลที่เป็นนามบัญญัติ เช่น ค่าของประเภทข้อมูลหลังจากการจำแนกประเภทแล้ว ถือเป็นค่าการสะท้อนที่แสดงการใช้ที่ดินประเภทต่างๆ ไม่ใช่ค่าการสะท้อนของวัตถุอีกต่อไป

- ความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation : S.D.) เป็นการวัดการกระจายที่นิยมใช้มากที่สุด การคำนวณใช้วิธียกกำลังสองของผลต่างระหว่างค่าการสะท้อนของทุกจุดภาพในแต่ละช่วงคลื่นกับค่าเฉลี่ยเลขคณิตของช่วงคลื่นนั้น มีสูตรในการคำนวณ ดังนี้

$$S.D. = \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{X})^2}{N}}$$

โดย S.D. = ความเบี่ยงเบนมาตรฐาน
X = ค่าการสะท้อนของแต่ละจุดภาพ
$\bar{X}$ = เฉลี่ยเลขคณิต
N = จำนวนจุดภาพทั้งหมด

ค่าความแปรปรวน (Variance - σ) เป็นการวัดการกระจายเช่นเดียวกับความเบี่ยงเบนมาตรฐาน คำนวณได้จากค่าเฉลี่ยของผลรวมทั้งหมดของคะแนนเบี่ยงเบนยกกำลังสอง

$$\sigma = \frac{\sum_{i=1}^{N} (x_i - \mu)^2}{N}$$

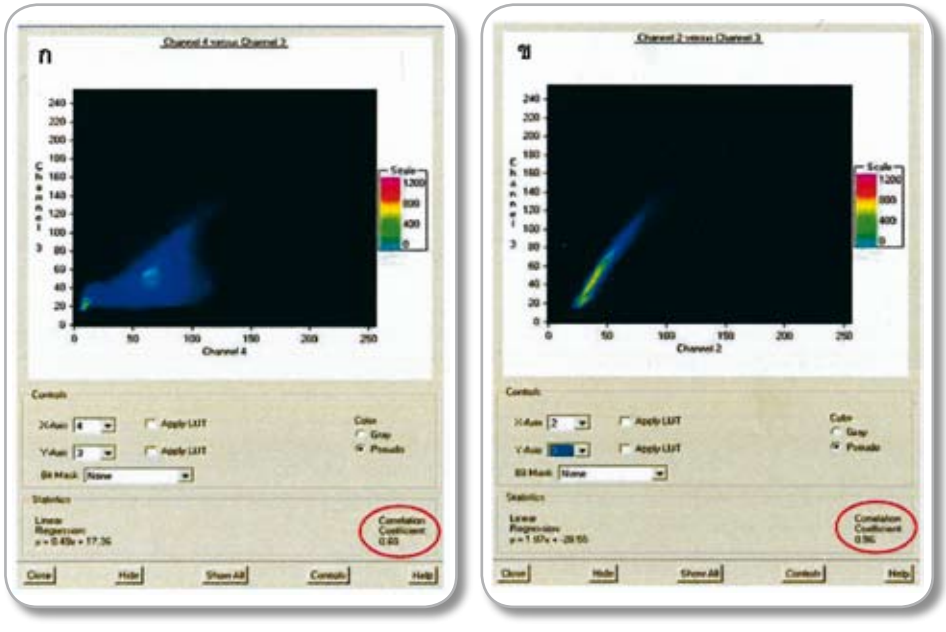
โดย Xi = ค่าการสะท้อนของจุดภาพ มีค่าตั้งแต่ 1- N

μ = ค่าเฉลี่ยเลขคณิตของประชากรจุดภาพทั้งหมด

N = จำนวนจุดภาพทั้งหมด

- สหสัมพันธ์ (Correlation) เป็นการวัดความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลตั้งแต่ 2 ชุดขึ้นไป วัดได้จากการคำนวณหาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient) มีขอบเขตตั้งแต่ 0 ถึง $\pm$ 1.00 เมื่อค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลภาพ 2 ช่วงคลื่น เข้าใกล้ 1.00 หมายถึง ข้อมูลทั้ง 2 ชุดนั้น มีความสัมพันธ์ต่อกันในระดับสูง ซึ่งอาจจะมีความสัมพันธ์โดยตรง (ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็นค่าลบ) และเมื่อสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เข้าใกล้ 0 หมายถึง ข้อมูลทั้ง 2 ช่วงคลื่นมีความสัมพันธ์กันในระดับต่ำหรือแตกต่างกันเป็นประโยชน์ในการเลือกช่วงคลื่นในการจำแนกประเภท

ในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างช่วงคลื่น 2 ประเภท ทำได้โดยให้แสดงการกระจายของค่าการสะท้อนของจุดภาพลงบนกราฟแบบ 2 แกน โดยแกนที่ 1 เป็นค่าการสะท้อนของช่วงคลื่นที่ 1 และแกนที่ 2 เป็นค่าการสะท้อนของช่วงคลื่นที่ 2 หรือเรียกว่า การทำตารางไขว้ (Cross tabulation) รูปแบบการกระจายของค่าการสะท้อนจะบอกถึงลักษณะความสัมพันธ์ของข้อมูลในสองช่วงคลื่นได้เช่นเดียวกับค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ดังภาพที่ 3.51



รูปที่ 3.51 *ก) แสดงความสัมพันธ์ของข้อมูลในระดับต่ำระหว่างช่วงคลื่นที่ 4 และ 3 ของดาวเทียม LANDSAT ระบบ TM*
ข) แสดงความสัมพันธ์ของข้อมูลในระดับสูงระหว่างช่วงคลื่นที่ 2 และ 3 ของดาวเทียม LANDSAT ระบบ TM

วิธีทางสถิติที่กล่าวข้างต้น มีประโยชน์อย่างยิ่งในการนำมาใช้เลือกช่วงคลื่นให้เหมาะสมกับงานที่ทำศึกษา เมื่อเลือกช่วงคลื่นที่เหมาะสมแล้ว สามารถนำช่วงคลื่นเหล่านั้นมาจำแนกประเภทข้อมูลภาพเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่มีประสิทธิภาพต่อไป

1) การจำแนกประเภทข้อมูลแบบควบคุม

การจำแนกประเภทข้อมูลแบบควบคุม เป็นการจำแนกประเภทข้อมูลที่ผู้ใช้งานเป็นผู้กำหนดลักษณะของประเภทข้อมูลเอง โดยเป็นผู้เลือกตัวอย่างประเภทข้อมูลให้แก่เครื่อง จึงเรียกการจำแนกข้อมูลประเภทนี้ว่าเป็นวิธีแบบควบคุมโดยผู้วิเคราะห์ต้องควบคุมอย่างใกล้ชิด ข้อมูลตัวแทนหรือข้อมูลตัวอย่างที่ผู้ใช้งานเป็นผู้กำหนดนั้นได้จากการตีความหมายภาพดาวเทียมที่ถูกต้องด้วยสายตาโดยอาศัยประสบการณ์ ความเข้าใจและความรู้ที่มีอยู่ ตลอดจนกระบวนการต่างๆ ในการตีความหมาย เช่น การสำรวจภาคสนาม การใช้แผนที่ภาพถ่ายต่างๆ และสถิติอื่นๆ เป็นต้น ทั้งนี้เพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลที่มีความหมายถูกต้องตามระบบการจำแนก ตัวอย่างที่เลือกเป็นข้อมูลทางสถิติที่กำหนดคุณลักษณะของข้อมูล ซึ่งเครื่องคอมพิวเตอร์จะนำคุณลักษณะทางสถิติของพื้นที่ตัวอย่างนั้นไปทำการประมวลผลแล้วจำแนกแต่ละจุดภาพของข้อมูลดาวเทียมให้เป็นประเภทข้อมูลตามที่ผู้ใช้งานกำหนดไว้ตามพื้นที่ตัวอย่าง ซึ่งความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของการจำแนกวิธีนี้ขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของพื้นที่ตัวอย่างว่ามีความหลากหลายครอบคลุมทุกประเภทข้อมูลหรือไม่และเป็นตัวแทนของประชากรข้อมูลทุกประเภทหรือไม่ วิธีการนี้ผู้ใช้งานจะต้องมีความรู้ในพื้นที่ศึกษาเป็นอย่างดี โดยศึกษาจากข้อมูลเสริมประกอบตลอดจนการสังเกตลักษณะเชิงกายภาพ (Physical characteristics) ของประเภทข้อมูลดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น

1.1) การเลือกตัวอย่างประเภทข้อมูล (Sampling of training sites/ areas) เป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการจำแนกข้อมูลแบบควบคุม การเลือกพื้นที่ตัวอย่างต้องอาศัยความช่างสังเกตการใช้ที่ดินลักษณะต่างๆ เป็นอย่างดีและพยายามแยกประเภทตัวอย่างให้ละเอียดครบทุกลักษณะทางกายภาพของการใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน โดยมีหลักการในการเลือกพื้นที่ตัวอย่าง ดังนี้

- ควรเลือกตัวอย่างที่เป็นตัวแทนของประเภทการใช้ที่ดิน และสิ่งปกคลุมดินทุกประเภทในพื้นที่ศึกษา
- ควรเลือกแปลงพื้นที่ตัวอย่างของการใช้ที่ดินชนิดเดียวกันให้กระจายทั่วพื้นที่ศึกษา เพื่อเป็นตัวแทนของลักษณะประเภทการใช้ที่ดินนั้นๆ
- ควรเลือกจำนวนจุดภาพต่อตัวอย่างการใช้ที่ดินแต่ละประเภทให้มีจำนวนมากกว่า 30 จุดภาพขึ้นไป เพื่อให้มีตัวแทนทางสถิติที่มีลักษณะเป็นการกระจายแบบปกติ
- ควรเลือกตัวอย่างที่มีสีกลุ่มเดียวกันหรือมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneous) ทั้งนี้เพื่อลดการปะปนกับตัวอย่างประเภทอื่น พื้นที่ตัวอย่างที่มีความเป็นเนื้อเดียวกันมากถือเป็นตัวอย่างข้อมูลที่ดี

การเลือกพื้นที่ตัวอย่างทำได้โดยการวงขอบเขตพื้นที่ตัวอย่างที่ต้องการเลือกจากหน้าจอคอมพิวเตอร์ เมื่อได้ขอบเขตของพื้นที่ตัวอย่างของทุกประเภทการใช้ที่ดินแล้วขั้นตอนต่อไป คือ การเลือกตัวอย่างจากช่วงคลื่นที่จะใช้ประมวลผล ตัวอย่างจากแต่ละช่วงคลื่นจะมีค่าสถิติซึ่งสามารถนำมาวิเคราะห์ทางสถิติ เพื่อประเมินว่าตัวอย่างที่เลือกได้ตามช่วงคลื่นต่างๆ มีความน่าเชื่อถือ และเป็นตัวแทนที่ดีหรือไม่ สถิติที่สำคัญ คือ ค่าการสะท้อนต่ำสุด-สูงสุดของประเภทการใช้ที่ดินนั้น ค่าสะท้อนเฉลี่ย ค่าความแปรปรวน ตารางความแปรปรวนร่วม และตารางสหสัมพันธ์

1.2) การศึกษาลักษณะทางสถิติของพื้นที่ตัวอย่าง

สำหรับข้อมูลจากดาวเทียมแต่ละจุดภาพมีค่าเป็น 3 มิติ คือ ค่าพิกัดตั้ง (i) ค่าพิกัดแนวนอน (j) และความสว่างของจุดภาพ (BV) แต่ละจุดภาพมีลักษณะความสว่างแตกต่างตามแต่ละช่วงคลื่นเป็นลักษณะเวกเตอร์ของจุดภาพ ดังนี้

การวัดค่าเวกเตอร์ (Xc) ตามตำแหน่งของ 1 จุดภาพ (i, j) ตามค่าความสว่าง (BV) ในช่วงคลื่นต่างๆ (k = 1–k)

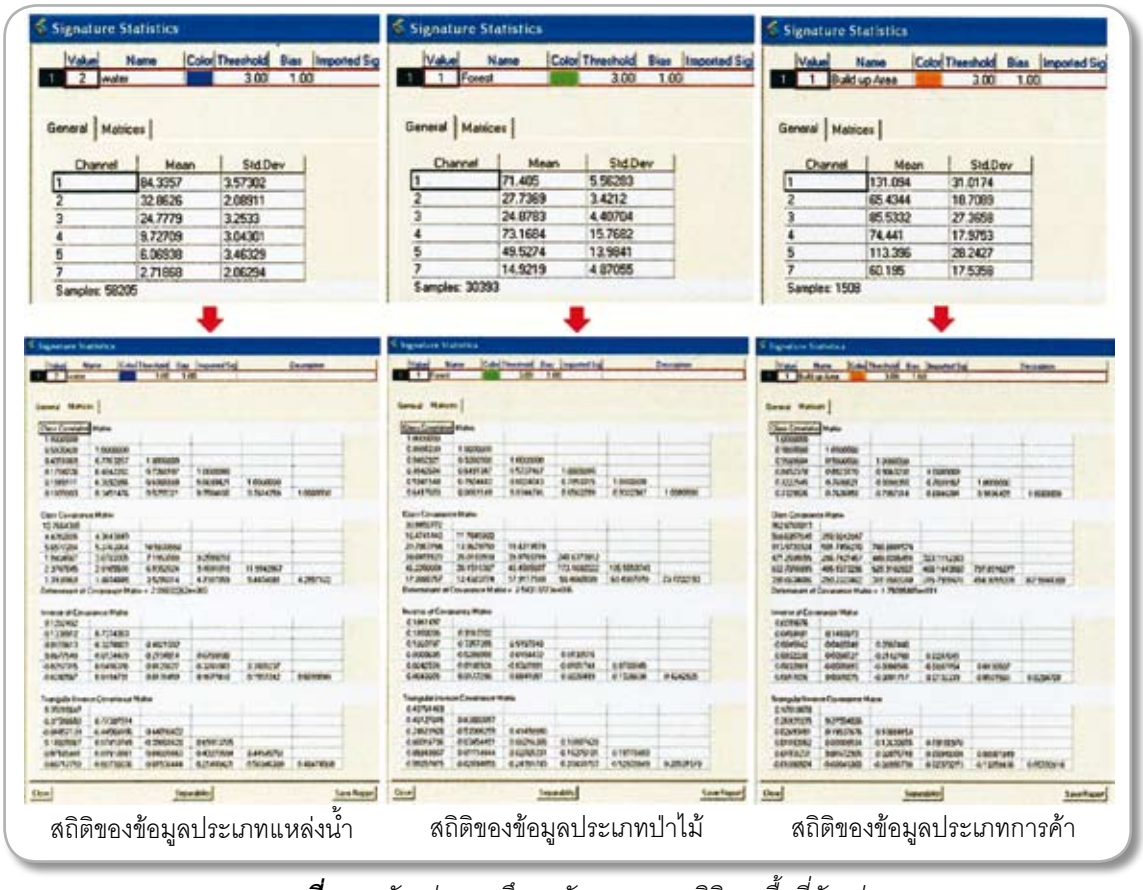
$$\begin{vmatrix} BV_{ij1} \\ BV_{ij2} \\ BV_{ij3} \\ BV_{ij4} \\ BV_{ijk} \end{vmatrix}$$

หากเลือกพื้นที่ตัวอย่างแล้ว แต่ละตัวอย่างจะมีค่าเฉลี่ยของแต่ละประเภทข้อมูล (Class) ในรูปเวกเตอร์ ดังนี้

ค่าเฉลี่ย (μ) ของเวกเตอร์จุดภาพ (M) ในแต่ละประเภทการใช้ที่ดิน (c) ในช่วงคลื่นต่างๆ (1–k)

$$\begin{vmatrix} \mu_{ij1} \\ \mu_{ij2} \\ \mu_{ij3} \\ \mu_{ij4} \\ \mu_{ijk} \end{vmatrix}$$

ตัวอย่างสมมติให้มีการเลือกพื้นที่ตัวอย่างการใช้ที่ดิน 3 ประเภท (3 classes) ได้แก่ แหล่งน้ำ (Water) ป่าไม้ (Forest) และย่านการค้า (Build up area) ของข้อมูลจากดาวเทียม LANDSAT ระบบ TM จำนวน 6 ช่วงคลื่น (bands 1 5 และ 7) เมื่อเลือกพื้นที่ตัวอย่างแล้วได้ข้อมูลสถิติของพื้นที่ตัวอย่าง ดังภาพที่ 3.52



สถิติของข้อมูลประเภทแหล่งน้ำ สถิติของข้อมูลประเภทป่าไม้ สถิติของข้อมูลประเภทการค้า

ภาพที่ 3.52 *ตัวอย่างการศึกษาลักษณะทางสถิติของพื้นที่ตัวอย่าง*

ค่าสถิติของพื้นที่ตัวอย่างที่นิยมนำมาวิเคราะห์ ได้แก่

1.2.1) ค่าสะท้อนเฉลี่ยจากจุดภาพของแต่ละพื้นที่ตัวอย่าง นำมาวิเคราะห์ลักษณะบ่งชี้หรือลายเซ็นเชิงคลื่น (Spectral signature) เพื่อดูความแตกต่าง หรือความคล้ายคลึงระหว่างประเภทข้อมูลต่างๆ

จากภาพที่ 3.52 ลายเซ็นเชิงคลื่นของการใช้ที่ดินทั้ง 3 ประเภท มีลักษณะตรงตามค่าการสะท้อนเชิงทฤษฎี และไม่มีลักษณะเหมือนกัน กล่าวคือ ย่านการค้ามีค่าการสะท้อนสูงที่สุด เส้นลายเซ็นเชิงคลื่นไม่ซ้อนทับกับเส้นการใช้ที่ดินประเภทอื่น เป็นลักษณะลายเซ็นเชิงคลื่นของดิน-แร่ธาตุ โดยเฉพาะการสะท้อนสูงในช่วงคลื่นที่ 3 (คลื่นตามองเห็น) และ 5 (คลื่นอินฟราเรดคลื่นสั้น) เพราะเป็นอาคารสิ่งปลูกสร้างที่เป็นวัตถุสะท้อนพลังงานสูง (ซีเมนต์ คอนกรีต) ป่าไม้แสดงการสะท้อนของพืช มีค่ามากที่สุดในช่วงคลื่นที่ 4 (คลื่นอินฟราเรดใกล้) ซึ่งพืชมีค่าการสะท้อนสูงที่สุด ส่วนแหล่งน้ำมีลักษณะการสะท้อนอยู่ในกลุ่มของน้ำ คือ มีค่าลดลง (เนื่องจากการดูดกลืนพลังงาน) ในกลุ่มช่วงคลื่นอินฟราเรด ยกเว้นพื้นที่ชุ่มน้ำ ที่ช่วงคลื่นที่ 5 มีค่าสูงขึ้นเล็กน้อย เพราะน้ำมีสิ่งเจือปน

1.2.2) ค่าความแปรปรวน เป็นการวัดความแตกต่างของข้อมูล โดยทั่วไปค่าความแปรปรวนของวัตถุกลุ่มน้ำจะมีค่าต่ำที่สุด มีลักษณะเป็นเอกพันธ์มาก ค่าความแปรปรวนของพืชมีมากขึ้น และกลุ่มย่านการค้ามีค่าความแปรปรวนมากที่สุด เพราะมีการปะปนของวัตถุต่างประเภทกันมากที่สุด

1.2.3) ค่าสหสัมพันธ์ มีประโยชน์ในการเลือกช่วงคลื่นที่จะใช้ในการคำนวณโดยช่วงคลื่นที่มีความสัมพันธ์สูงจะให้ข้อมูลเช่นเดียวกัน เช่น ช่วงคลื่นในกลุ่มคลื่นตามองเห็น ช่วงคลื่นอินฟราเรดกลางจึงไม่จำเป็นที่จะต้องใช้ทั้งหมด สามารถเลือกใช้ช่วงคลื่นที่มีความสัมพันธ์ต่ำ และลดจำนวนข้อมูลในการคำนวณ ทำให้การคำนวณเร็วมากขึ้น

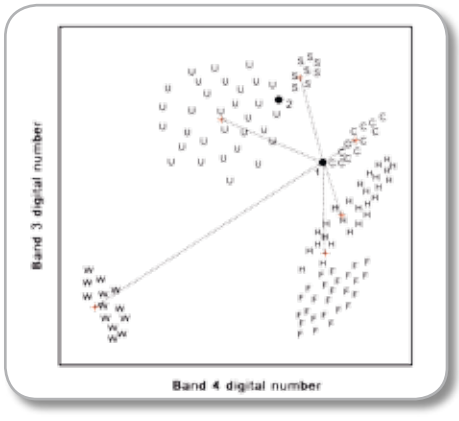
เมื่อผู้ใช้ทำการกำหนดพื้นที่ตัวอย่างและทำการวิเคราะห์ค่าสถิติของพื้นที่ตัวอย่างแล้ว ขั้นต่อไปผู้ใช้ต้องทำการกำหนดวิธีการจำแนกประเภทข้อมูลภาพให้กับคอมพิวเตอร์ โดยวิธีการที่นิยมใช้ในการจำแนกประเภทข้อมูลภาพ ได้แก่

1.3) กฎการตัดสินใจเพื่อการจำแนกข้อมูลภาพ (Classification decision rules)

1.3.1) กฎการตัดสินใจเพื่อการจำแนกข้อมูลภาพแบบระยะห่างต่ำสุด (Minimum distance to means) เป็นกฎการจำแนกที่ง่ายที่สุดและทำงานได้เร็วที่สุดประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ

- การคำนวณค่าเฉลี่ยจำนวนตัวเลข (DN) ของข้อมูลตัวอย่างจากทุกช่วงคลื่น ค่าเฉลี่ยนี้เรียกว่า เวกเตอร์ ค่าเฉลี่ย (Mean vector)
- จำนวนจุดภาพทั้งหมดที่อยู่ในข้อมูลที่จะนำมาจำแนกนั้น ถูกจัดให้อยู่ในชั้นข้อมูลที่อยู่ใกล้เวกเตอร์ ค่าเฉลี่ยของชั้นนั้น
- แนวขอบเขตของข้อมูล (Data boundary) ถูกกำหนดให้อยู่รอบเวกเตอร์ค่าเฉลี่ย ดังนั้นหากจุดภาพใดตกอยู่นอกขอบเขตก็จะถูกจำแนกเป็นค่าที่ไม่ทราบ (Unknown)

จากภาพ 3.53 จุดภาพที่ไม่ทราบว่าเป็นข้อมูลชนิดใด (Unknown pixel) แสดงโดยจุดที่ 1 ระยะทางระหว่างจุดภาพนี้กับค่าเฉลี่ยของชั้นข้อมูล แสดงได้โดยเส้นประ ภายหลังที่การคำนวณเสร็จสิ้นลงแล้ว



ภาพที่ 3.53 *การจำแนกประเภทข้อมูลแบบระยะห่างที่ต่ำสุด*
ที่มา : Aronoff, S. (2005)

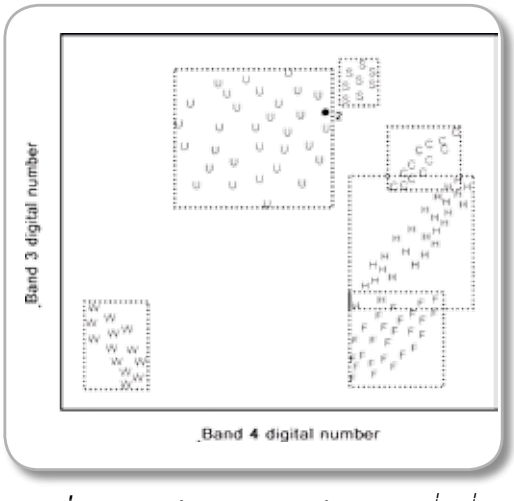
จุดภาพที่ไม่ทราบก็จะถูกจัดเป็นชั้นข้อมูลที่มีระยะทางใกล้กับค่าเฉลี่ยของของชั้นข้อมูลนั้น ในกรณีนี้คือ C ถ้าหากว่าจุดภาพที่ไม่ทราบค่านี้มีระยะทางห่างจากค่าเฉลี่ยของแต่ละชั้นข้อมูลมากเกินกว่าระยะทางที่ผู้ทำการวิเคราะห์ได้กำหนดไว้ จุดภาพนั้นก็จะไม่สามารถถูกจัดให้เป็นชั้นข้อมูลชนิดใดชนิดหนึ่งได้ จึงถูกจัดเป็นจุดภาพที่ไม่สามารถจำแนกประเภทได้ (Unclassified pixel)

การจำแนกประเภทข้อมูลแบบระยะห่างต่ำสุด ให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าการจำแนกประเภทข้อมูลแบบสี่เหลี่ยมคู่ขนาน และจะไม่มีจุดภาพใดที่ไม่ถูกการจำแนก แต่จะมีการคำนวณมากขึ้น และมีข้อเสียหากระยะห่างต่ำสุดของจุดภาพ ใกล้เคียงกับกลุ่มประเภทข้อมูลมากกว่า 1 กลุ่ม การจำแนกให้จุดภาพนั้นเข้าไปอยู่ในประเภทข้อมูลหนึ่งอาจมีความผิดพลาดได้

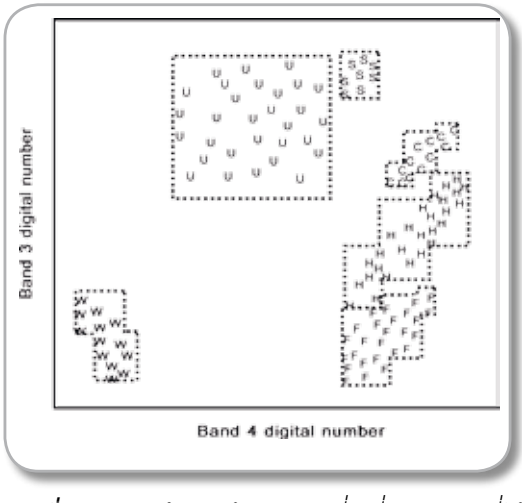
อย่างไรก็ตามในการจำแนกประเภทข้อมูลโดยวิธีนี้มีข้อจำกัดหลายอย่างแต่ที่สำคัญที่สุดคือ ทำงานได้ไม่ค่อยมีประสิทธิภาพกับข้อมูลที่มีความแปรปรวนแตกต่างกันมาก เช่น จุดภาพที่ 2 อยู่ใกล้ U แต่ถูกจัดให้อยู่ในกลุ่ม S แทนที่จะจัดให้อยู่ในกลุ่ม U เนื่องจากมีค่าความผันแปรในชั้นข้อมูลสูงกว่า ทำให้มีระยะทางห่างจากจุดศูนย์กลางมากกว่า ดังนั้นจึงไม่ค่อยนิยมใช้กันมากนักกับชั้นข้อมูลที่มีค่าการสะท้อนแสงใกล้เคียงกันและมีความแปรปรวนสูง (Lillessand and Kiefer, 1994)

1.3.2) กฎการตัดสินใจเพื่อการจำแนกข้อมูลภาพแบบสี่เหลี่ยมคู่ขนาน
(Parallelepiped classification or Box classifier)

เป็นการจำแนกที่นิยมใช้มากที่สุดในงานประมวลผลข้อมูลเพราะทำงานได้รวดเร็วมีขีดความสามารถในการคำนวณสูง การทำงานของวิธีนี้เป็นการจำแนกจุดภาพออกโดยกำหนดค่าจำนวนตัวเลขต่ำสุดและสูงสุดของแต่ละช่วงคลื่น หรือใช้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเสมือนกับเอากรอบสี่เหลี่ยมไปวางรอบๆ ชั้นข้อมูลในข้อมูลตัวอย่าง จุดภาพก็จะถูกจำแนกตามกลุ่มที่ตกอยู่ในขอบเขตของกรอบสี่เหลี่ยมหนึ่ง ดังภาพที่ 3.54 จุดภาพที่ 2 ก็จะถูกจัดให้อยู่ในชั้น U เป็นต้น การจำแนกประเภทข้อมูลแบบสี่เหลี่ยมคู่ขนาน มีข้อดีที่สามารถคำนวณได้ผลลัพธ์รวดเร็ว เนื่องจากวิธีการคำนวณไม่ซับซ้อน แต่มีข้อบกพร่องที่จะเกิดการปะปนของประเภทข้อมูลสูง เพราะค่าต่ำสุด ค่าสูงสุดบางส่วนของแต่ละประเภทข้อมูล จะเกิดการตกอยู่ในช่วงค่าเดียวกัน จนเครื่องไม่สามารถจัดเข้ากลุ่มใดได้ เกิดเป็นข้อมูลที่จำแนกประเภทไม่ได้ จำนวนมาก หรือกล่าวได้ว่าถ้าขอบสี่เหลี่ยมซ้อนกัน ก็จะทำให้เกิดความยากในการตัดสินในการจัดจุดภาพให้อยู่ในชั้นข้อมูลประเภทใด การเหลื่อมกันของรูปสี่เหลี่ยมนี้มีโอกาสเกิดขึ้นสูงกับข้อมูลที่มีค่าสหสัมพันธ์สูง (High correlation) หรือค่าความแปรปรวนร่วมสูง (High covariance) อย่างไรก็ตามปัญหานี้สามารถทำการแก้ไขได้โดยการปรับขนาดของกรอบสี่เหลี่ยมให้มีขนาดเล็กลงมีลักษณะคล้ายกับขั้นบันไดดังภาพที่ 3.55



ภาพที่ 3.54 *การจำแนกประเภทข้อมูลแบบสี่เหลี่ยมคู่ขนาน*



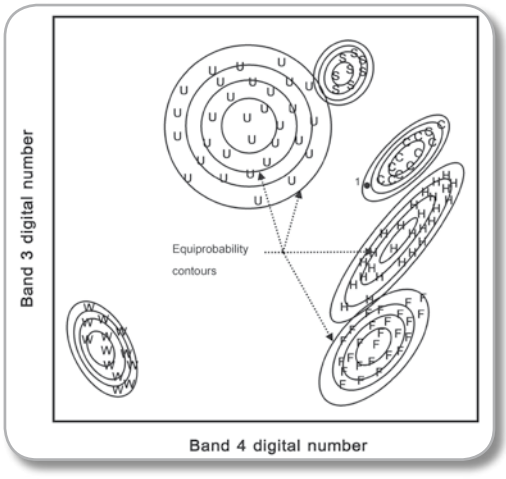
ภาพที่ 3.55 *การจำแนกข้อมูลแบบสี่เหลี่ยมคู่ขนานที่ใช้ขอบเขตการตัดสินใจ*

ที่มา : Aronoff, S. (2005)

1.3.3) กฎการตัดสินใจเพื่อการจำแนกข้อมูลภาพแบบความน่าจะเป็นไปได้สูงสุด (Maximum likelihood classifier)

เป็นวิธีที่มีความถูกต้องมากที่สุดแต่ใช้เวลาในการคำนวณมากเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีอื่นๆ (Curran, 1985) หลักการทำงานคือ ครั้งแรกจะต้องมีการคำนวณเวกเตอร์เฉลี่ย ค่าแปรปรวน และค่าสหสัมพันธ์ของช่วงคลื่นที่นำมาใช้ในการจำแนกประเภทของชั้นข้อมูลจากข้อมูลตัวอย่างโดยตั้งอยู่บนสมมติฐานที่ว่าแต่ละชั้นข้อมูลจะต้องมีการกระจายตัวเป็นแบบปกติ (Normal distribute) การกระจายตัวของจุดภาพรอบๆ ค่าเฉลี่ย อธิบายได้โดยทฤษฎีของความน่าจะเป็นหรือ “Probability Function” เช่น ในภาพที่ 3.56 จุดภาพที่ 1 จะถูกจัดให้อยู่ในชั้น C เป็นต้น

ข้อเสียเปรียบของการจำแนกประเภทข้อมูลชนิดนี้คือ ใช้เวลาในการคำนวณมากเพื่อที่จะจำแนกค่าของจุดภาพแต่ละค่าให้อยู่ในประเภทใดประเภทหนึ่ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าทำงานกับข้อมูลช่วงคลื่น หรือใช้ข้อมูลที่มีกลุ่มค่าการสะท้อนแสงที่แตกต่างกันจำนวนมาก ดังนั้นการทำงานจึงช้ากว่าวิธีการที่กล่าวมาแล้วข้างต้นปัญหาดังกล่าวสามารถที่จะแก้ไขได้โดยการนำวิธีการต่างๆ มาใช้ เช่น การลดขนาดของข้อมูลก่อนที่จะนำมาใช้ในการจำแนกประเภท เป็นต้น



ภาพที่ 3.56 *การจำแนกข้อมูลแบบความน่าจะเป็นไปได้สูงสุด*

ที่มา : Aronoff, S. (2005)

2) การจำแนกประเภทข้อมูลแบบไม่ควบคุม (Unsupervised classification)

เป็นวิธีการจำแนกประเภทข้อมูลที่ผู้วิเคราะห์ไม่ต้องกำหนดพื้นที่ตัวอย่างของข้อมูลแต่ละประเภทให้กับคอมพิวเตอร์ มักจะใช้ในกรณีไม่มีข้อมูลเพียงพอในพื้นที่ที่ทำการจำแนก หรือผู้ใช้ไม่มีความรู้ความเคยชินในพื้นที่ศึกษา วิธีการนี้สามารถทำได้โดยสุ่มตัวอย่างแบบคละ แล้วจึงนำกลุ่มข้อมูลดังกล่าว มาแบ่งเป็นประเภทต่างๆ โดยแต่ละประเภทมีลักษณะเชิงคลื่นที่เหมือนกัน โดยใช้เทคนิคการรวมกลุ่ม (Clustering) ซึ่งแบ่งออกเป็นสองแบบ คือ

2.1) การรวมกลุ่มแบบลำดับชั้น (Hierarchical clustering) วิธีนี้จุดภาพจะถูกจัดรวมเป็นกลุ่มที่คล้ายกันโดยใช้ระยะห่างเป็นเครื่องวัด เริ่มต้นด้วยการสมมติว่าแต่ละจุดภาพเป็น 1 กลุ่ม จุดภาพที่มีระยะห่างกันน้อยที่สุดก็จะรวมตัวเข้าด้วยกัน ถัดจากนั้นจะเป็นการรวมกลุ่มจุดภาพไปเรื่อยๆ จนกระทั่งได้กลุ่มตามจำนวนที่กำหนดไว้จึงหยุด

2.2) การรวมกลุ่มแบบไม่เป็นลำดับชั้น (Non-hierarchical clustering) เริ่มต้นด้วยการแบ่งข้อมูลออกเป็นกลุ่มชั่วคราวจำนวนหนึ่ง หลังจากนั้นสมาชิกในแต่ละกลุ่มจะถูกตรวจสอบโดยใช้ตัวแปรหรือระยะห่างที่เลือกมาเพื่อทำการจัดตำแหน่งใหม่ให้อยู่ในกลุ่มที่เหมาะสมกว่าโดยมีการแบ่งกลุ่มชัดเจนดีขึ้น ตัวอย่างของการรวมกลุ่มวิธีนี้ได้แก่ วิธี ISODATA และวิธี K-mean

นิยามของระยะห่างที่ใช้ในการวัดความคล้ายกันมีหลายแบบ (สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, 2540) เช่น

- วิธีตำแหน่งใกล้ที่สุด (Nearest neighbor method) ตำแหน่งใกล้สุดมีระยะห่างต่ำสุดจะรวมเป็นกลุ่มใหม่
- วิธีตำแหน่งไกลที่สุด (Furthest neighbor method) ตำแหน่งใกล้สุดมีระยะห่างมากสุดจะรวมเป็นกลุ่มใหม่
- วิธีจุดรวมมวล (Centroid method) ระยะห่างจากจุดศูนย์ถ่วงของสองกลุ่มจะถูกวัด เพื่อดูว่าจะสามารถรวมตัวกันเป็นกลุ่มใหม่ได้หรือไม่
- วิธีเฉลี่ยระหว่างกลุ่ม (Group average method) รากของกำลังสองเฉลี่ยของระยะห่างระหว่างทุกๆ คู่ของข้อมูลในกลุ่มที่ต่างกันสองกลุ่ม จะนำมาใช้เป็นเกณฑ์ในการสร้างกลุ่ม
- วิธีวอร์ด (Ward method) รวมกลุ่มเก่าเข้าเป็นกลุ่ม โดยพยายามให้รากกำลังสองเฉลี่ยของระยะห่างระหว่างศูนย์ถ่วงกับทุกๆ ข้อมูลที่เป็นสมาชิกเพิ่มขึ้นน้อยที่สุด

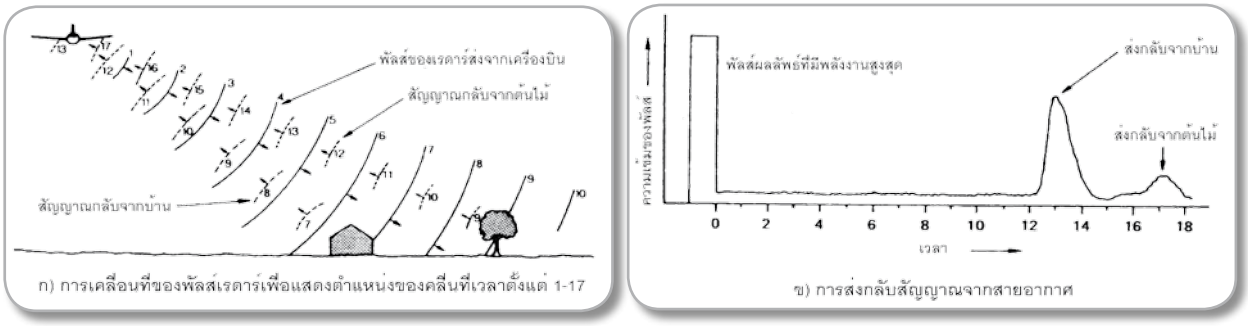
6. เรดาร์ (RADAR)

6.1 บทนำ

เรดาร์ได้พัฒนาขึ้นระหว่างสงครามโลกครั้งที่ 2 เพื่อตรวจหาตำแหน่งและเส้นทางของเครื่องบินจากสถานีภาคพื้นดิน และใช้ในการนำทางในสภาพอากาศที่ไม่ดี RADAR ย่อมาจาก “Radio Detection And Ranging” เรดาร์เป็นระบบการตรวจวัดที่ต้องมีแหล่งของพลังงานที่มนุษย์สร้างขึ้น และส่งสัญญาณในช่วงคลื่นไมโครเวฟไปยังวัตถุเป้าหมายแล้ววัดความเข้มข้นของพลังงานที่กระจัดกระจายกลับ (Backscatter) ไปสู่เครื่องรับรู้ ซึ่งเป็นระบบการรับรู้แบบแอ็กทิฟ ดังนั้นการรับรู้หรือได้มาซึ่งภาพจากเรดาร์จึงสามารถถ่ายภาพได้ทั้งกลางวัน และกลางคืน ในทุกสภาพอากาศ ทะลุทะลวงเมฆได้

ระบบเรดาร์ถ่ายภาพในแนวเอียงซึ่งใช้สายอากาศที่ติดตั้งเชื่อมประจำที่บนเครื่องบินโดยชี้ไปทางวัตถุเป้าหมาย เรียกว่า เรดาร์มองข้าง (Side-Looking Radar : SLR หรือ Side-Looking Airborne : SLAR) ความละเอียดของเรดาร์ขึ้นอยู่กับขนาดของสายอากาศ ระบบเรดาร์จากห้วงอวกาศเริ่มขึ้นเมื่อปี ค.ศ. 1978 เมื่อสหรัฐอเมริกาได้ส่งดาวเทียม SEASAT และหลังจากนั้นก็มีการศึกษาระบบเรดาร์จากห้วงอวกาศโดยกระสวยถ่ายภาพจากเรดาร์ (Shuttle Imaging Radar : SIR) ต่อเนื่องตั้งแต่ปี ค.ศ. 1980 นอกจากนี้ได้มีการพัฒนาระบบเรดาร์บนดาวเทียมเรื่อยมาจนถึงปัจจุบัน เช่น ดาวเทียม ERS JERS ENVISAT RADARSAT และ ALOS เป็นต้น

ระบบการถ่ายภาพเรดาร์ประกอบด้วย เครื่องส่งสัญญาณ (Transmitter) เครื่องรับสัญญาณ (Receiver) อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และคอมพิวเตอร์ เพื่อประมวลผลและบันทึกข้อมูล เครื่องส่งสัญญาณส่งพัลส์ของพลังงานไมโครเวฟเป็นช่วงเท่าๆ กัน และปรับระยะโดยจานตั้งฉากกับทิศทางคลื่นที่ลงสู่เป้าหมายเป็นมุมเอียง เมื่อคลื่นเรดาร์กระทบกับเป้าหมายสัญญาณจะกระจัดกระจายกลับไปยังเครื่องรับสัญญาณ ข้อมูลที่กระจัดกระจายกลับในแต่ละครั้ง ความเข้มของสัญญาณ เวลา และมุมที่ตกกระทบเป้าหมาย ที่ได้รับจากระบบรับรู้จะถูกคำนวณเพื่อบอกตำแหน่งของวัตถุเป้าหมาย ภาพเรดาร์ที่ประมวลผลจะเป็นความเข้ม (Strength) ของสัญญาณกลับซึ่งเป็นระดับความสว่างของภาพ



ภาพที่ 3.57 *แสดงพื้นฐานของภาพเรดาร์*

ที่มา : Lillesand, T.M. and Kiffer, R.W. (1994)

การถ่ายภาพในแนวเอียงดังภาพที่ 3.57 เป็นแนวที่ตั้งฉากกับทิศทางการบิน ซึ่งเรียกว่า ทิศทางพิสัย (Range direction) ส่วนทิศทางของการบินเรียกว่า ทิศทางแอซิมัท (Azimuth direction) ดังนั้นความละเอียดของเรดาร์จึงประกอบด้วย 2 ทิศทาง ในบทนี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อที่จะนำเสนอภาพรวมของหลักการเบื้องต้นของเรดาร์ ซึ่งใช้เป็นพื้นฐานในการเข้าใจระบบเรดาร์ และปฏิสัมพันธ์เบื้องต้นของเรดาร์กับวัตถุเป้าหมายอย่างย่อ อันเป็นแนวทางที่จะศึกษาในรายละเอียดต่อไป เพราะในปัจจุบันข้อมูลจากดาวเทียมสำรวจโลกไม่ว่าจะเป็นข้อมูลจากดาวเทียม RADARSAT และ ALOS เป็นข้อมูลด้านระบบรับรู้แบบแอ็กทิฟ ถ้าหากปราศจากความรู้ความเข้าใจระบบเรดาร์ และปฏิสัมพันธ์ระหว่างคลื่นเรดาร์ แล้วการแปลตีความภาพจะไม่มีความถูกต้องเลย อย่างน้อยในส่วนนี้จะเป็นช่องทางหนึ่งที่ผู้สนใจมีความรู้พอสมควร ดังนั้นการนำเสนอในที่นี้จะแบ่งเป็น 2 เรื่องหลัก คือ พารามิเตอร์ของระบบ (System parameters) และพารามิเตอร์ด้านสิ่งแวดล้อมหรือพื้นที่เป้าหมาย (Environment/ Target parameters)

6.2 พารามิเตอร์ของระบบ

6.2.1 สมการเรดาร์ (RADAR equation)

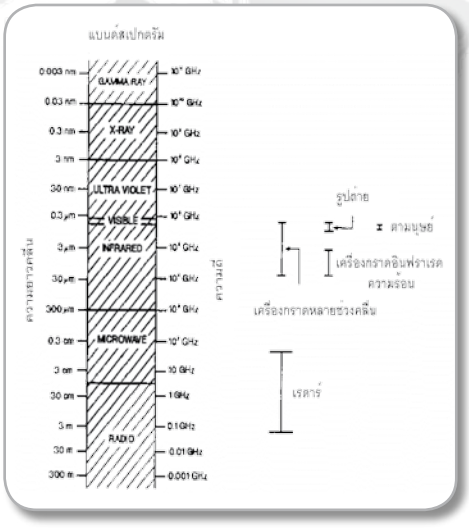
$$P_R = P_T(\sigma^0 A)\left[\frac{G^2\lambda^2}{(4\pi)^3 R^4}\right]$$

P_R = พลังงานทั้งหมดที่รับ (Total power received)
P_T = พลังงานที่ส่งออก (Power transmitted)
σ^0 = การกระจายเรดาร์ต่อหน่วยพื้นที่ หรือสัมประสิทธิ์การกระจัดกระจาย (Radar scatter coefficient)
A = พื้นที่หน้าตัด (RADAR cross section)
G = อัตราการขยายจากสายอากาศ (Antenna gain)
R = ระยะทางแนวพิสัย (Range)
λ = ช่วงคลื่น (Wavelength)

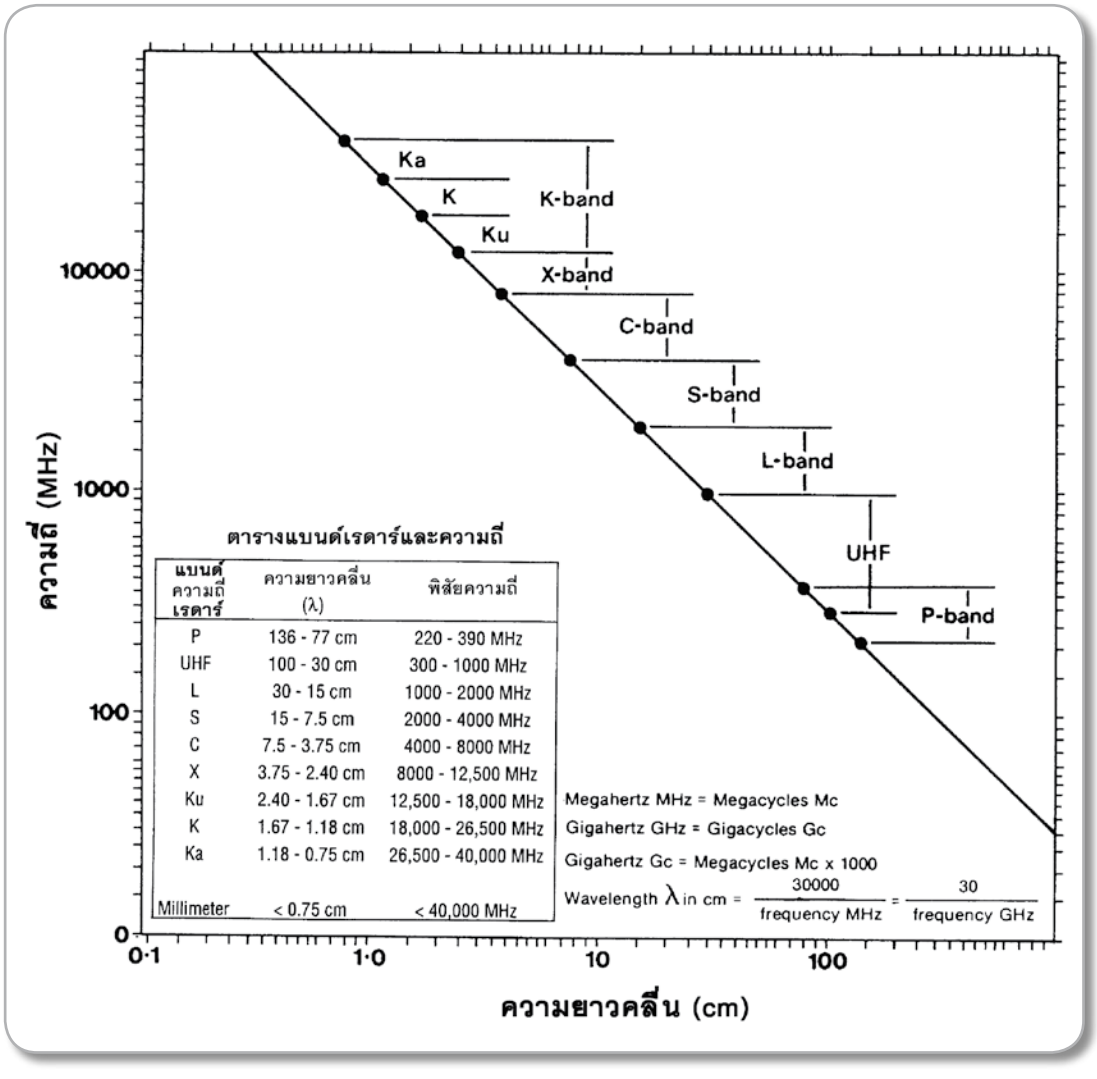
จากสมการจะเห็นได้ว่ามีปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อความเข้มของพลังงานที่กระจัดกระจายกลับ คือ พลังงานที่ส่งออกความยาวคลื่น ขนาดของสายอากาศรับสัญญาณ เรขาคณิตของการถ่ายภาพ เช่น ความกว้างของลำแสง มุมตกกระทบ และระยะทาง เป็นต้น

6.2.2 สเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้าช่วงคลื่นเรดาร์

ช่วงคลื่นเรดาร์เป็นช่วงคลื่นที่สูงกว่าคลื่นแสงสว่างและคลื่นความร้อน ซึ่งในทางเทคโนโลยีการรับรู้จากระยะไกล อยู่ระหว่าง 1 มิลลิเมตร ถึง 1 เมตร ซึ่งเป็นช่วงคลื่นไมโครเวฟ (ภาพที่ 3.58) และมักนิยมใช้ตัวอักษรที่เป็นมาตรฐานบอกช่วงคลื่น ตามภาพที่ 3.59 เรียงลำดับจากสั้นไปยาว คือ แบนด์ Ka K Ku X C S L UHF และ P ซึ่งได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแบนด์ต่างๆ กับความยาวคลื่นและความถี่ (ภาพที่ 3.59)



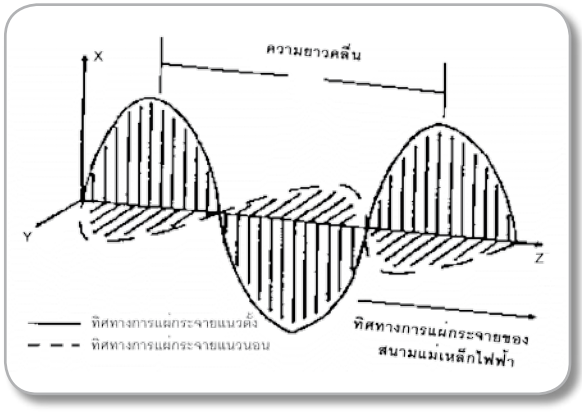
ภาพที่ 3.58 *สเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้า*



ภาพที่ 3.59 *แสดงความยาวคลื่น ความถี่ และตัวอักษรแบนด์เรดาร์*
ที่มา : Henderson, F.M. and Lewis, A.J. (1998)

6.2.3 โพลาไรเซชัน (Polarization)

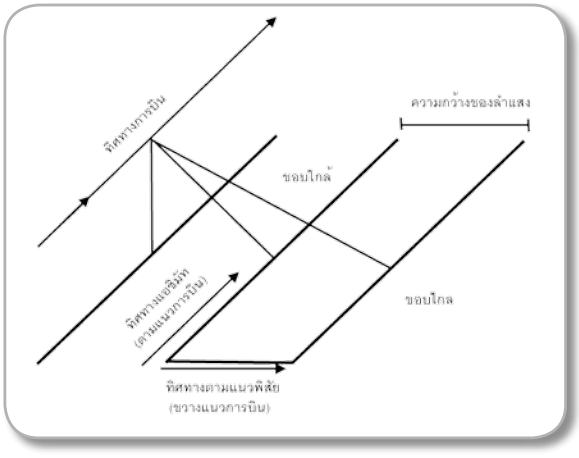
โพลาไรเซชัน หมายถึง ทิศทางการแผ่กระจายของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งจะมีการกระจายทั้งแนวตั้งและแนวนอน (ภาพที่ 3.60) โดยระบบเรดาร์สามารถที่จะส่งหรือรับสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในทิศทางการแผ่กระจายทั้งแนวตั้ง (Vertical : V) และแนวนอน (Horizontal : H) เมื่อส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในทิศทางการแผ่กระจายทางแนวนอน (H) และรับคลื่นการแผ่กระจายในแนวนอน (H) จะใช้สัญลักษณ์ HH ในทำนองเดียวกันก็มีการรับส่งเป็น HV VH และ VV ในทิศทางการแผ่กระจาย ทั้งนี้ปฏิสัมพันธ์ระหว่างคลื่นเรดาร์กับวัตถุสำหรับโพลาไรเซชันที่ต่างกันจะไม่เหมือนกันขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัตถุ



***ภาพที่** 3.60 โพลาไรเซชัน*

6.2.4 พิสัยและแอซิมัท (Range and Azimuth)

การถ่ายภาพเรดาร์เป็นแบบระบบการถ่ายด้านข้างและจะสะสมข้อมูลไปอย่างต่อเนื่อง มิติของการถ่ายภาพที่มีทิศทางไปตามแนวการบิน เรียกว่า แอซิมัท มิติของการถ่ายภาพที่ขวางแนวการบิน เรียกว่า พิสัย ขอบภาพที่ใกล้จุดตรงใต้เรดาร์ เรียกว่า ขอบพิสัยใกล้ (Near range edge) ส่วนขอบภาพที่ไกล เรียกว่า ขอบพิสัยไกล (Far range edge) ดูภาพที่ 3.61



***ภาพที่** 3.61 เรขาคณิตของเรดาร์จากเครื่องบิน*

6.2.5 ความละเอียด

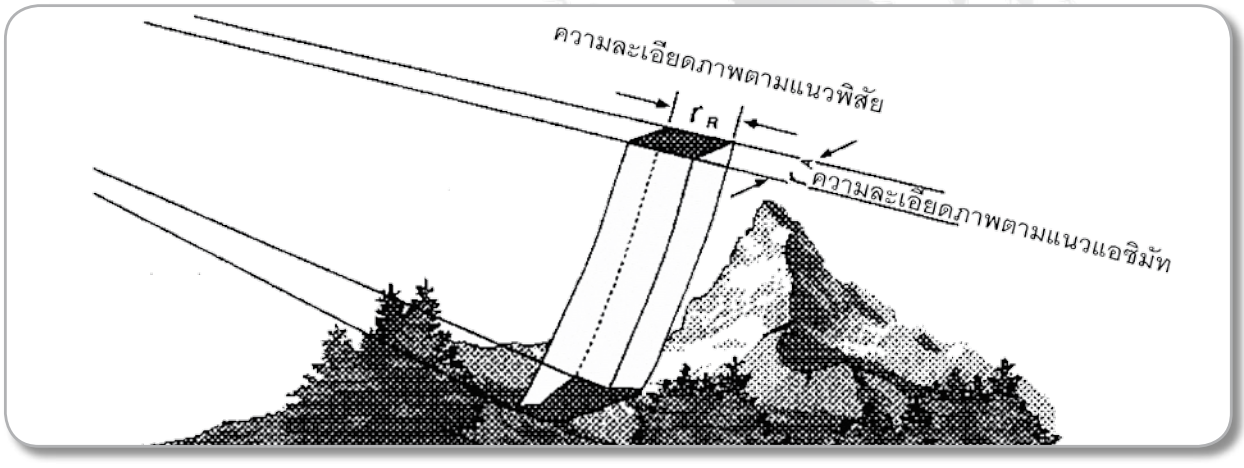
ความละเอียด หมายถึง ความสามารถของระบบที่จะแยกจากกันระหว่างวัตถุสองอย่างที่ใกล้กันในระบบเรดาร์ ความละเอียดจะกำหนดทั้งทิศทางตามพิสัย (ขวางแนวโคจร) และทิศทางตามแอซิมัท (ตามแนวโคจร) โดยมีรายละเอียดบางประการดังนี้

ทิศทางพิสัย	ทิศทางแอซิมัท
- ความละเอียดตามแนวพิสัยของเรดาร์ช่องเปิดสังเคราะห์ (Synthetic Aperture Radar : SAR) ถูกกำหนดโดยเครื่องเรดาร์ที่สร้างขึ้นและหน่วยประมวลผล - ความละเอียดขึ้นอยู่กับความยาวของพัลส์ ความยาวพัลส์ที่สั้นจะให้ความละเอียดดีขึ้น - ข้อมูลเรดาร์จะถูกสร้างขึ้นจากข้อมูลที่ได้รับในแนวของพิสัยเอียง (Slant range) แต่เมื่อทำภาพจะถูกฉายลงในแนวพิสัยราบ (Ground range)	- ความละเอียดตามแอซิมัทถูกกำหนดโดยความกว้างของมุมลำแสงของแนวพื้นที่ - วัตถุที่อยู่ใกล้กันสามารถแยกจากกันได้ จะต้องมีระยะทางในแนวแอซิมัทยาวกว่าความกว้างของลำแสงบนพื้นดิน - เรดาร์ช่องเปิดสังเคราะห์ได้ชื่อจากกระบวนการวิเคราะห์ทางตามแนวโคจร และต้องมีความละเอียดตามแนวโคจร น้อยกว่าความกว้างของลำแสง (Beam width) ที่ส่งออกจากสายอากาศส่งสัญญาณ

ความละเอียดของภาพเรดาร์กำหนดทั้งในทิศทางตามแนวโคจร และตามแนวความกว้างหรือขวางแนวโคจร ภาพที่ 3.62

โดย r_R = ความละเอียดตามแนวพิสัย

r_A = ความละเอียดตามแนวแอซิมัท



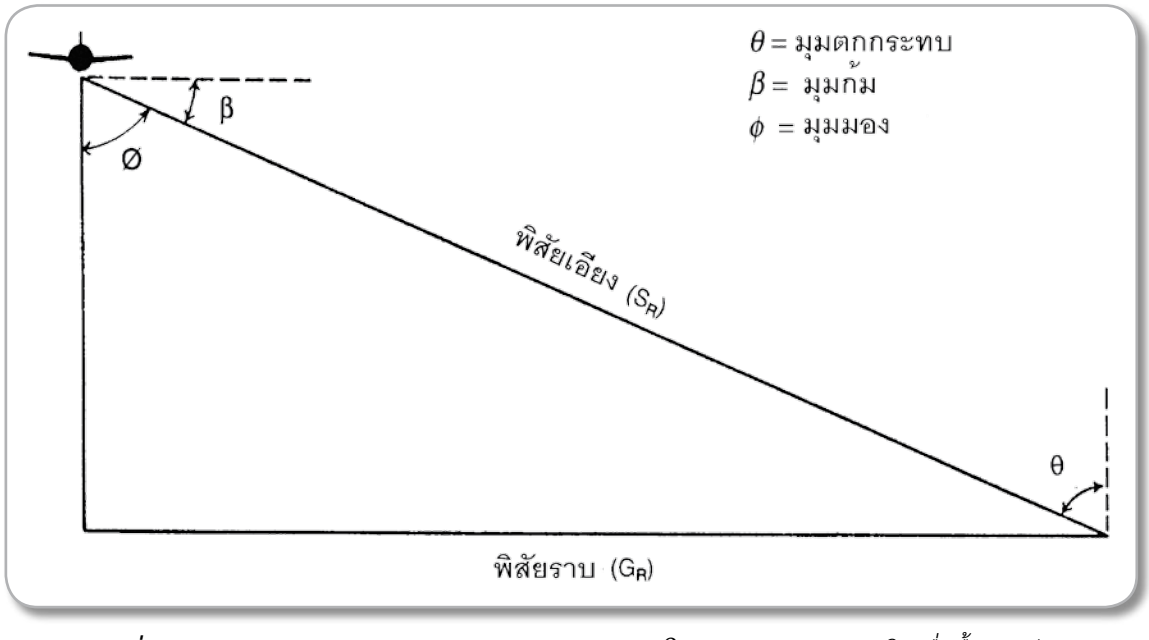
***ภาพที่** 3.62 เซลล์ความละเอียด (Resolution cell)*

6.2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างมุมตกกระทบ (Incident angle) มุมก้ม (Depression angle) และมุมมอง (Look angle) แสดงดังภาพที่ 3.63

มุมตกกระทบ (θ) หมายถึง มุมระหว่างคลื่นเรดาร์ที่ตกกระทบกับแนวดิ่งของพื้นผิวโลก

มุมก้ม (β) หมายถึง มุมระหว่างแนวนอนกับแนวคลื่นเรดาร์

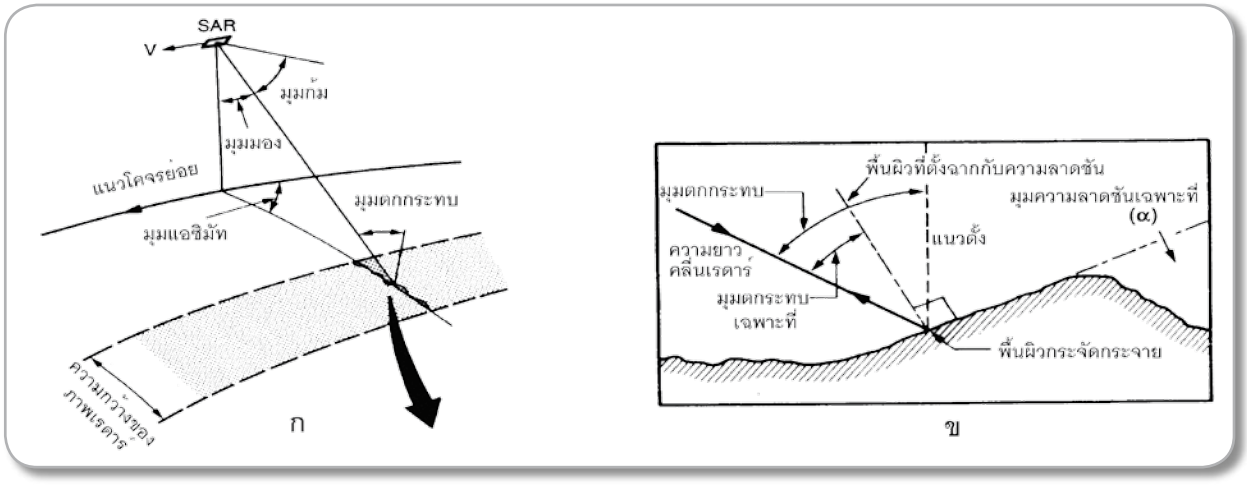
มุมมอง (ϕ) หมายถึง มุมระหว่างแนวดิ่งกับคลื่นเรดาร์



***ภาพที่** 3.63 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมมอง (ϕ) มุมก้ม (β) และมุมตกกระทบ (θ) เมื่อพื้นโลกเรียบ*

6.2.7 มุมตกกระทบเฉพาะที่ (Local incident angle : LIA)

มุมตกกระทบเฉพาะที่ หมายถึง มุมระหว่างคลื่นเรดาร์ ที่ตกกระทบกับแนวตั้งฉากกับความลาดชันของพื้นที่ในกรณีที่พื้นที่มีความลาดชัน ภาพที่ 3.64



ภาพที่ 3.64 *(ก) แสดงแบบจำลองระบบ (ข) มุมตกกระทบเฉพาะที่*

6.2.8 พิสัยตามแนวเอียงและตามแนวราบ (Slant range and Ground range)

ตรงกันข้ามกับเครื่องวัดเชิงแสง (Optical sensor) เรดาร์จะถ่ายภาพในแนวเอียง ซึ่งเป็นที่ทราบกันดีว่าเป็นทิวทัศน์แนวเฉียง (Oblique perspective) การถ่ายภาพในลักษณะเช่นนี้เพื่อที่จะส่งพัลส์ให้มีปฏิสัมพันธ์กับพื้นผิวโลกในระยะที่เพิ่มขึ้นจากสายอากาศเรดาร์ และได้พิสัยหรือระยะทางของภาพ พิสัยตามแนวเอียงเป็นระยะทางระหว่างเรดาร์กับหน่วยการสะท้อนบนพื้นผิว ซึ่งเป็นการวัดเวลาจากการส่งสัญญาณแรกจนกระทั่งรับสัญญาณกลับสู่เครื่องรับรู้ข้อมูลดิบของเรดาร์ที่ทำการเก็บข้อมูลตามพิสัยแนวเอียง ซึ่งสามารถคำนวณได้จากความสัมพันธ์

$$SR = \frac{ct}{2}$$

SR = พิสัยตามแนวเอียง
c = ความเร็วของแสง
t = เวลาระหว่างการส่งพัลส์ และรับสัญญาณกลับ

ผู้ใช้ต้องการข้อมูลที่แสดงข้อมูลตามแนวราบมากกว่าแนวเอียง ระยะทางตามแนวราบเรียกว่าพิสัยตามแนวราบ ซึ่งสามารถคำนวณเมื่อทราบมุมตกกระทบ (θ) ดังนี้

$$GR = \frac{ct}{2\sin\theta}$$

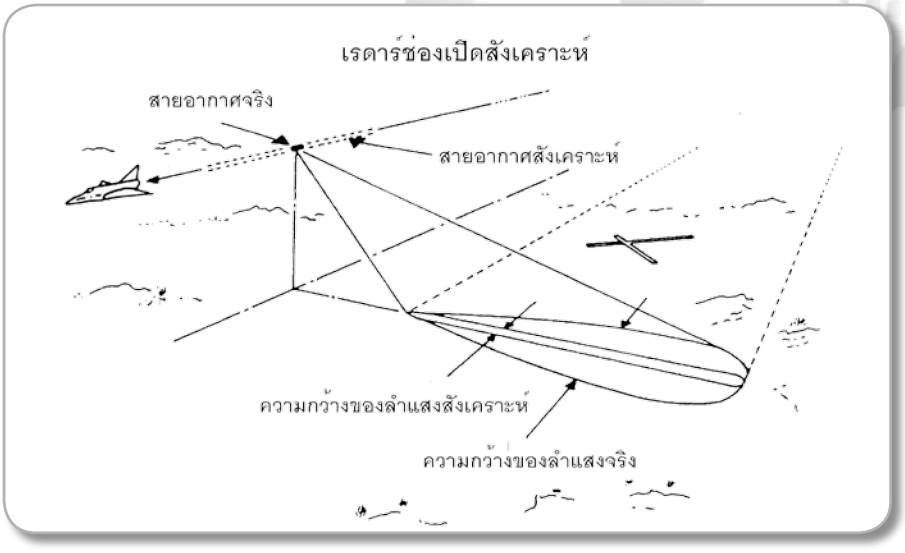
GR = พิสัยตามแนวราบ

การประมวลผลภาพเรดาร์จึงจะต้องปรับแก้ข้อมูลในพิสัยตามแนวเอียง มาเป็นพิสัยตามแนวราบ

6.2.9 เรดาร์ช่องเปิดจริง และเรดาร์ช่องเปิดสังเคราะห์
(Real and Synthetic Aperture Radars: RAR and SAR) (ภาพที่ 3.65)

ในช่วงเริ่มต้นการถ่ายภาพเรดาร์ ระบบเรดาร์เป็นการถ่ายภาพในแนวเฉียงจะเป็นเรดาร์ช่องเปิดจริง ซึ่งมีสายอากาศ หรือจานรับส่งสัญญาณแบบติดแน่นบนเครื่องบิน การพัฒนาให้ได้ความความละเอียดดีขึ้นต้องมีสายอากาศขนาดใหญ่ และความยาวคลื่นลดลง ดังนั้นจึงเป็นปัญหาและอุปสรรคในการถ่ายภาพเรดาร์เป็นอย่างมาก ต่อมาได้มีการพัฒนาเรดาร์ช่องเปิดสังเคราะห์ขึ้นทำให้ลดปัญหาได้มาก ความแตกต่างของระบบเรดาร์ทั้งสองประเภท คือ วิธีการได้มาซึ่งความละเอียดด้านแอซิมัท (Azimuth resolution) ในการถ่ายภาพเรดาร์ไม่ว่าแบบใดความละเอียดในแนวพิสัยเอียงจะเหมือนกัน ส่วนความละเอียดในแนวแอซิมัทหรือแนวการบินจะแตกต่างกันระหว่างเรดาร์ช่องเปิดจริงกับเรดาร์ช่องเปิดสังเคราะห์ เรดาร์ช่องเปิดจริงรับสัญญาณในแนวแอซิมัทขึ้นอยู่กับขนาดของสายอากาศ หากต้องการ

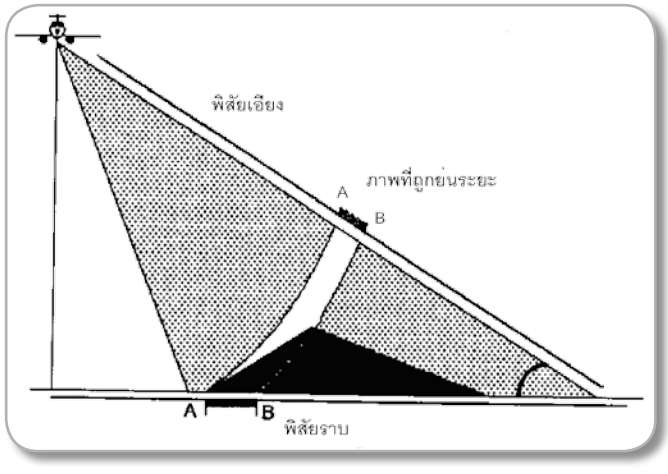
ความแยกชัดที่ละเอียดต้องใช้สายอากาศความมีขนาดใหญ่ขึ้น ส่วนระบบ SAR อาศัยการเคลื่อนที่ต่อเนื่องของสายอากาศและเก็บข้อมูลเป้าหมายหนึ่งๆ สะสมต่อเนื่องตามเวลาที่กำหนด แล้วจึงประมวลผลเพื่อกำหนดความละเอียด และใน SAR จะสังเคราะห์ความกว้างของลำแสงที่แคบ ดังนั้นระบบ SAR จะใช้สายอากาศสั้น และสามารถใช้ช่วงคลื่นที่ยาวขึ้นได้ ทำให้มีความละเอียดดีขึ้น



ภาพที่ 3.65 *เรดาร์ช่องเปิดจริงและเรดาร์ช่องเปิดสังเคราะห์*
ที่มา : Henderson, F.M. and Lewis, A.J. (1998)

6.2.10 การย่นระยะของภาพเรดาร์ (Foreshortening)

ลักษณะการย่นระยะในภาพเรดาร์ คือ ปรากฏการถ่ายภาพที่เกิดขึ้นเมื่อวัตถุบนพื้นที่ในทิวทัศน์ที่มีความลาดเอียงหันหน้าเผชิญหน้าเรดาร์ได้ภาพหดสั้นกว่าความเป็นจริง ในลักษณะของการย่นระยะนี้คลื่นเรดาร์จะชนฐานของพื้นที่ก่อนส่วนยอด (ภาพที่ 3.66) ลักษณะการย่นระยะจะได้ภาพสว่างกว่า การย่นระยะสูงสุดเมื่อความลาดชันของพื้นที่ตั้งฉากกับลำแสงของเรดาร์ในกรณีนี้มุมตกกระทบเฉพาะที่จะมีค่าเป็น 0 ผลก็คือทั้งส่วนยอดและส่วนล่างของพื้นที่จะถูกบันทึกภาพพร้อมกัน ดังนั้นจะมีตำแหน่งที่เดียวกัน สำหรับความลาดชันหนึ่งๆ ที่กำหนดให้ผลของการย่นระยะจะลดลงเมื่อเพิ่มมุมตกกระทบ ซึ่งมุมตกกระทบเฉลี่ยเข้าใกล้ 90˚ ผลการย่นระยะจะถูกลบไปแต่จะปรากฏเงาแทนที่ ในการเลือกมุมตกกระทบมักจะมีการแลกเปลี่ยนหรือแทนที่กัน ระหว่างการปรากฏเงาและการย่นระยะ



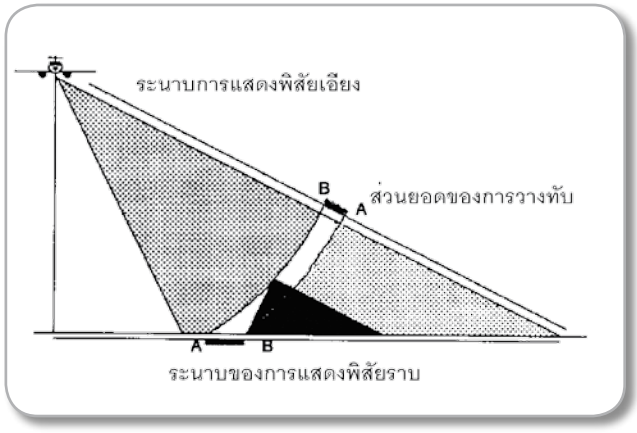
ภาพที่ 3.66 *การย่นระยะ*

6.2.11 การวางทับ (Layover)

การวางทับ เกิดขึ้นเมื่อเครื่องรับรู้เรดาร์ได้รับพลังงานการสะท้อนกลับของวัตถุส่วนยอดก่อนการกลับของพลังงานสะท้อนของวัตถุส่วนฐาน ดังนั้นตำแหน่งของวัตถุส่วนยอดจะคลาดเคลื่อนจากตำแหน่งจริง โดยแสดงให้เห็นส่วนล่างของวัตถุก่อน ในทางพิสัยใกล้ของภาพถ่ายเรดาร์ (ภาพที่ 3.67) การวางทับจะมากขึ้นเมื่อเรขาคณิตการมองภาพที่มีมุมตกกระทบต่ำ เช่น ภาพเรดาร์จากดาวเทียม

การย่นระยะและการวางทับในเรดาร์มีความสัมพันธ์กันดังนี้

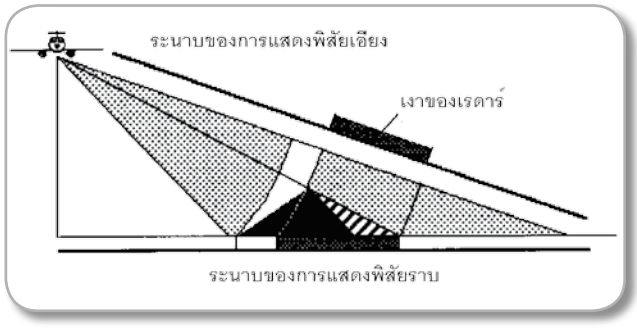
- ถ้ามุมของความลาดชันของพื้นที่ที่เผชิญหน้าเรดาร์น้อยกว่ามุมตกกระทบจะเกิด **การย่นระยะ**
- ถ้ามุมดังกล่าวเท่ากันส่วนยอดของวัตถุ และส่วนฐานจะเป็นตำแหน่งเดียวกันในแนวพิสัยเอียงในกรณีนี้ **การย่นระยะจะสูงที่สุด**
- ถ้ามุมของความลาดชันของพื้นที่ที่เผชิญหน้าเรดาร์มากกว่ามุมตกกระทบจะเกิด **การวางทับ**



***ภาพที่** 3.67 การวางทับ*

6.2.12 เงา (Shadow)

เงาของเรดาร์ แสดงถึง พื้นที่ที่ไม่ถูกกระทบโดยคลื่นเรดาร์ ดังนั้นพื้นที่ส่วนนี้เครื่องรับสัญญาณเรดาร์จะไม่ได้รับสัญญาณสะท้อนกลับ เงาจะปรากฏเป็นสีดำในภาพเรดาร์ (ภาพที่ 3.68) ในภาพถ่ายเรดาร์ เงาจะเกิดขึ้นในทิศทางพิสัยด้านล่างด้านหลังของวัตถุที่สูง เงาเป็นตัวช่วยแสดงทิศทางการถ่ายภาพของเรดาร์ถ้าการพิมพ์คำอธิบายไม่สมบูรณ์หรือหายไป เงาในภาพเรดาร์ให้ข้อมูลเกี่ยวกับเรดาร์ได้หลายประการ เช่น การรบกวนของระบบ และสามารถใช้ประโยชน์ในภาพที่ละเอียดและวิเคราะห์ระบบ ข้อมูลเกี่ยวกับความสูงของวัตถุ และการตีความความสูงต่ำของพื้นที่ สามารถวิเคราะห์จากเงาภาพ

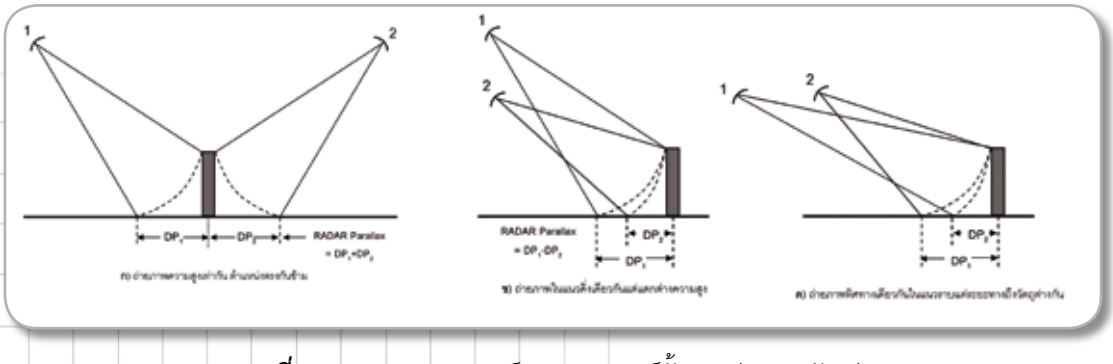


***ภาพที่** 3.68 เงา*

6.2.13 พาราแลกซ์ (Parallax) และ Radar Interferometry

ความแตกต่างของระยะทางของตำแหน่งเดียวกันของวัตถุที่ปรากฏในภาพเมื่อถ่ายซ้อนทับกันจากมุมถ่ายภาพที่ต่างกันเรียกว่า พาราแลกซ์ หากมีความแตกต่างกันมากภาพสามารถที่จะแสดงสามมิติได้เด่นชัดขึ้น พาราแลกซ์ของระบบ SAR มีด้วยกัน 3 ประเภท ดังภาพที่ 3.69

- ถ่ายภาพที่ความสูงเท่ากันที่ตำแหน่งตรงกันข้าม มีพาราแลกซ์ = $DP_1 + DP_2$
- ถ่ายภาพในแนวดิ่งเดียวกัน แตกต่างความสูง มีพาราแลกซ์ = $DP_1 - DP_2$
- ถ่ายภาพทิศทางเดียวกันในแนวราบ แต่ระยะทางถึงวัตถุต่างกัน มีพาราแลกซ์ = $DP_1 - DP_2$



***ภาพที่** 3.69 แสดงพาราแลกซ์ของภาพเรดาร์ทั้งสามประเภทดังกล่าว*

ที่มา : Henderson, F.M. and Lewis, A.J. (1998)

จากพื้นฐานของระบบเรดาร์ เมื่อส่งสัญญาณจากสายอากาศไปสู่เป้าหมายและรับสัญญาณกลับ ใน SAR จะบันทึกข้อมูลในแต่ละครั้งที่รับสัญญาณกลับ คือ เวลา ความเข้ม และตำแหน่งของเครื่องรับ ซึ่งเรียกว่า เฟส (Phase) เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของเฟสที่บันทึกสัญญาณกลับจากตำแหน่งเดียวกันในขณะที่มีการเคลื่อนที่สามารถที่คำนวณระยะทางที่แตกต่างได้ ในการได้มาซึ่งโมเดลความสูงเชิงพื้นที่นั้น จะเป็นการถ่ายภาพในพื้นที่เดียวแต่มีตำแหน่งที่ถ่ายภาพแตกต่างกัน ในการถ่ายภาพของเรดาร์อาจจะมีแนวการบินข้างเดียวกันหรือตรงกันข้าม 2 แนว ที่ความสูงเท่ากัน หรือมีตำแหน่งในแนวตั้งเดียวกัน แต่ความสูงของเครื่องบินต่างกัน โดยอาศัยความแตกต่างของเฟส เราสามารถคำนวณหาความแตกต่างของระดับพื้นที่ได้ ซึ่งเรียกว่า Differential Interferometry

6.2.14 Speckle

สัญญาณที่ถ่ายภาพเรดาร์เมื่อกระทบกับสภาพพื้นที่ที่หลากหลายมุมซึ่งขึ้นอยู่กับมุมตกกระทบ มุมตกกระทบเฉพาะที่ และอื่นๆ เมื่อรับสัญญาณกลับสู่เครื่องรับจะเกิดความแปรปรวนแบบสุ่มและมักจะมีลักษณะเป็นเม็ดหรือจุดในภาพเรดาร์ เรียกว่า Speckle

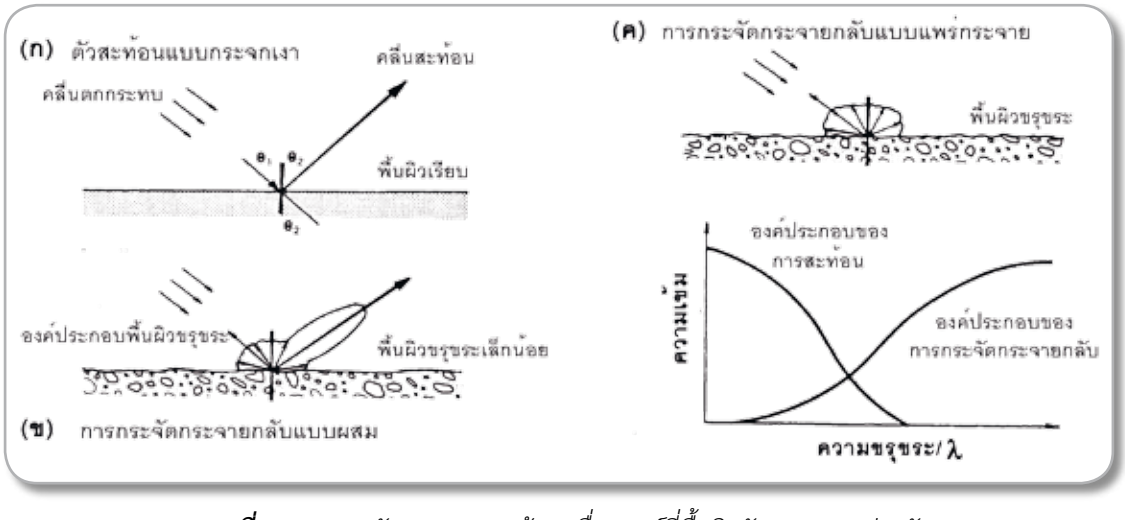
Speckle ในบางครั้งก็เป็นประโยชน์ที่ใช้ในการแปลตีความ ในกระบวนการกรองภาพมีวิธีการที่จะลบ Speckle ออกจากภาพซึ่งมีหลากหลายวิธี

6.3 พารามิเตอร์ด้านสิ่งแวดล้อม/วัตถุเป้าหมาย

ในการวิเคราะห์ภาพถ่ายเรดาร์แล้วนอกจากพารามิเตอร์ของระบบแล้ว พารามิเตอร์ด้านสิ่งแวดล้อมมีความจำเป็นอย่างยิ่ง เพื่อบูรณาการกับระบบเพื่อให้ได้มาซึ่งองค์ความรู้เพื่อเข้าใจปฏิสัมพันธ์ระหว่างระบบเรดาร์กับสิ่งแวดล้อม ในที่นี้จะกล่าวถึงสิ่งแวดล้อมหรือเป้าหมายที่ควรศึกษาในเบื้องต้น คือ ความขรุขระของพื้นที่ (Roughness characteristics) คุณสมบัติไดอิเล็กทริก (Dielectric properties) ความเป็นเหลี่ยมและการเรียงตัวของเป้าหมาย (Angularity and Orientation of the target) ระยะห่างของเป้าหมาย (Target spacing) การทะลุทะลวงของสัญญาณ (Signal penetration) และการเน้นสัญญาณ (Signal enhancement)

6.3.1 ลักษณะของความขรุขระ

เมื่อพื้นผิวราบเรียบการสะท้อนของคลื่นเรดาร์จะเป็นแบบกระจกเงา (Specular reflector) คือ มีมุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อนพลังงานจะสะท้อนไปยังทิศทางอื่นไม่กลับไปยังระบบบันทึก เมื่อพื้นผิวเริ่มขรุขระขึ้นจะมีพลังงานบางส่วนสะท้อนกลับไปยังระบบ เมื่อความขรุขระมากการสะท้อนจะเป็นแบบแพร่กระจาย (Diffuse reflector) ดังแสดงในภาพที่ 3.70



***ภาพที่** 3.70 แสดงลักษณะการสะท้อนคลื่นเรดาร์ที่พื้นผิวลักษณะแตกต่างกัน*
ที่มา : Henderson, F.M. and Lewis, A.J. (1998)

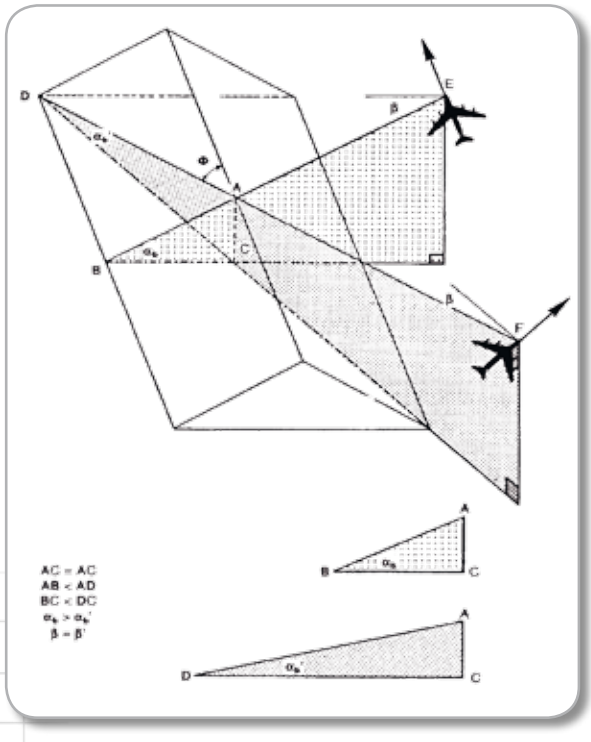
ความขรุขระของพื้นที่อาจมองได้หลายระดับ ได้แก่ ระดับจุลภาค (Microscale) ระดับกลาง (Mesoscale) และระดับมหัพภาค (Macroscale) ในระดับจุลภาคมักจะกำหนดความขรุขระของพื้นเทียบกับความยาวคลื่น ถ้าหากความแปรปรวนโดยเฉลี่ยของพื้นผิวน้อยกว่า 1/8 ของความยาวคลื่นถือว่ามีพื้นผิวเรียบ เช่น ระบบเรดาร์ L-band มีความยาวคลื่น 15 เซนติเมตร พื้นผิวที่ขรุขระ 2 เซนติเมตร ถือว่ามีพื้นผิวที่ราบเรียบ เป็นต้น การวิเคราะห์ในระบบเรดาร์ ถือว่าระดับจุลภาคเป็นระดับสีของภาพ (Image tone) ส่วนในระดับกลางเป็นระดับที่ถือว่าเป็นระดับความหยาบความละเอียดของภาพ (Image texture) ซึ่งเป็นสภาพที่พื้นที่ป่าไม้ที่มีความสูงของต้นไม้สูงต่ำเป็นกลุ่มๆ ทำให้การกระจัดกระจายกลับในบางส่วนมีความสว่างของภาพสูง บางส่วนเกิดเงาซึ่งถือว่าเป็นการจัดเรียงตัวที่ทำให้เกิดลายผิวที่หยาบ ในระดับมหัพภาคเป็นระดับที่สัมพันธ์กับสภาพพื้นที่ที่มีความลาดชันสูง หรือบริเวณภูเขาความลาดชันที่หันหน้าไปยังระบบบันทึกจะมีการกระจายกลับที่รุนแรง ความขรุขระเมื่อปรับเทียบกับความยาวคลื่นมีผลต่อองค์ประกอบของการสะท้อน และกระจัดกระจายกลับ หากมีความขรุขระมากการกระจัดกระจายกลับมากในทางตรงกันข้ามความขรุขระน้อยจะมีการสะท้อนไปทิศทางอื่น

6.3.2 คุณสมบัติไดอิเล็กทริก (Dielectric constant)

ค่าคงตัวไดอิเล็กทริก ของวัตถุบนพื้นโลกเมื่อแห้งจะมีค่าตั้งแต่ 3-8 โดยน้ำมีค่าคงตัวไดอิเล็กทริกประมาณ 80 สัญญาณเรดาร์จะถูกกำหนดโดยความชื้นที่อยู่ในดินและพืช การเพิ่มขึ้นของความชื้นทำให้ลดการทะลุทะลวงของคลื่นเรดาร์ วัตถุที่มีค่าคงตัวไดอิเล็กทริกสูง หรือมีความชื้นสูง จะมีการสะท้อนคลื่นเรดาร์สูง หรือมีแนวโน้มที่จะมีการสะท้อนกลับสูง ในกรณีของพื้นน้ำคลื่นเรดาร์ไม่สามารถผ่านทะลุทะลวงน้ำได้ และน้ำที่มีพื้นผิวราบเรียบจะสะท้อนคลื่นเรดาร์เป็นแบบกระจกเงา คือคลื่นไม่กลับไปยังระบบบันทึกจะมีความเข้มของคลื่นต่ำ หรือมีความสว่างของภาพต่ำ หรือสีภาพเป็นสีดำเข้ม ส่วนดินชื้นจะมีการกระจัดกระจายกลับของสัญญาณเรดาร์สูง

6.3.3 ความเป็นเหลี่ยมและการเรียงตัวของเป้าหมาย

ในบางครั้งเรียกว่า ตัวสะท้อนมุม (Corner reflectors) วัตถุขนาดเล็กอาจจะมีความสว่างมากในภาพเรดาร์ ซึ่งขึ้นอยู่กับการวางตัวของวัตถุ ตัวสะท้อนมุมที่สำคัญก็คือวัตถุที่มนุษย์สร้างขึ้น เช่น ด้านข้างของอาคาร สะพาน รวมกับความสะท้อนจากพื้นถนน เมื่อพื้นผิวของวัตถุสองชนิดทำมุมฉากกันและเปิดสู่เรดาร์ ทำให้เกิดตัวสะท้อนมุมสองหน้า (Dihedral corner reflector) ตัวสะท้อนมุมสองหน้าจะเกิดการสะท้อนกลับอย่างแรง เมื่อพื้นผิวทั้งสองตั้งฉากกับทิศทางของการส่งคลื่นเรดาร์ ความสะท้อนที่แรงที่สุดเกิดขึ้นจากตัวสะท้อนสามหน้า (Trihedral corner reflector) กรณีเช่นนี้เกิดขึ้นเมื่อพื้นผิวทั้งสามตั้งฉากกับทิศทางของการส่งคลื่นเรดาร์ ตัวสะท้อนมุมใช้ประโยชน์ในการบอกตำแหน่ง นักวิจัยมักนิยมสร้างตัวสะท้อนมุมไว้เป็นจุดอ้างอิง ในภาพที่ 3.71 แสดงการกระจัดกระจายกลับของวัตถุเป้าหมายแตกต่างกัน เมื่อมีการเรียงตัวที่ต่างกัน

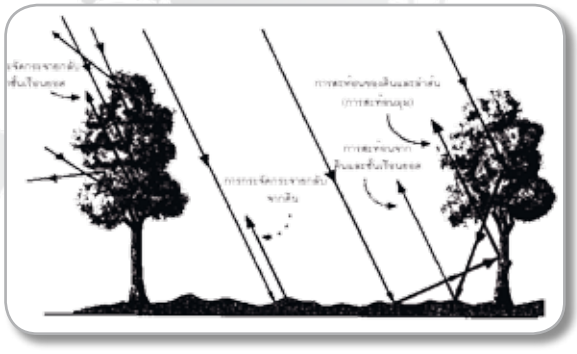


ภาพที่ 3.71 *ความเป็นเหลี่ยมและการเรียงตัวของเป้าหมาย*

ที่มา : Henderson, F.M. and Lewis, A.J. (1998)

6.3.4 การกระจัดกระจายเชิงปริมาตร (Volume scattering)

การกระจัดกระจายเชิงปริมาตรเป็นการกระจัดกระจายที่มีความสัมพันธ์กับกระบวนการกระจัดกระจายหลายทิศทาง เช่น พืชพรรณที่หนาแน่น ประกอบด้วยความสูง ความกว้าง และความยาว (ภาพที่ 3.72) การกระจัดกระจายเชิงปริมาตรมีความสำคัญ เพราะว่ามันจะมีอิทธิพลต่อการกระจัดกระจายกลับ เรดาร์จะรับพลังงานกลับทั้งจากการกระจัดกระจายบนพื้นผิวดิน กิ่งไม้ ลำต้น ซึ่งถือว่าเป็นปริมาตร ความเข้มของการกระจัดกระจายเชิงปริมาตรขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางกายภาพของปริมาตร (ความแปรปรวนของค่าคงที่ไดอิเล็กทริก) และลักษณะของระบบเรดาร์ (ความยาวคลื่นโพลาไรเซชัน และมุมตกกระทบ)



***ภาพที่** 3.72 การกระจัดกระจายเชิงปริมาตร*

6.3.5 การทะลุทะลวงของสัญญาณเรดาร์

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่สั้นมีพลังงานสูงกว่าคลื่นยาว ดังนั้นคลื่นสั้นมีปฏิสัมพันธ์ (Interaction) กับวัตถุมากกว่า จึงมีความสามารถทะลุทะลวงได้น้อยกว่าคลื่นยาว ซึ่งมีปฏิสัมพันธ์กับวัตถุน้อยกว่า คลื่นยาวจะสามารถทะลุทะลวงลงไปในวัตถุได้มากกว่าคลื่นสั้น ในตารางที่ 3.18 ได้แสดงแบนด์เรดาร์ ความยาวคลื่น และความสามารถทะลุทะลวงลงไปในพื้นผิวของพื้นที่

ตารางที่ 3.18 ความยาวคลื่นและความสามารถทะลุทะลวง

แบนด์เรดาร์	ความยาวคลื่น (ซม.)	ความลึกที่ทะลุทะลวง (ซม.) ประมาณ
K	1	1
X	3	3
C	5	5
S	10	10
L	25	25
P	50	50

ที่มา : Henderson, F.M. and Lewis, A.J. (1998)

ความสามารถทะลุทะลวงของคลื่นเรดาร์มีค่าประมาณความยาวคลื่นเรดาร์ เช่น K band มีความยาวคลื่น 1 เซนติเมตร จะมีปฏิสัมพันธ์กับพื้นที่มากและทะลุทะลวงได้เพียง 1 เซนติเมตร P band ความยาวคลื่น 50 เซนติเมตร สามารถทะลุทะลวงลึกถึง 50 เซนติเมตร เพราะฉะนั้น P band จะให้ข้อมูลที่ระดับความลึก 50 เซนติเมตร อย่างไรก็ตามความสามารถที่ทะลุทะลวงยังขึ้นกับปัจจัยอื่นๆ อีก เช่น ปริมาณความชื้น หากมีปริมาณน้ำในองค์ประกอบของวัตถุใดๆ มาก ความสามารถทะลุทะลวงก็จะลดลง ดังนั้นจะเห็นได้ว่าความสามารถทะลุทะลวงของคลื่นเรดาร์จะเป็นการบูรณาการพารามิเตอร์ของระบบ และพารามิเตอร์ของวัตถุเป้าหมาย/ สิ่งแวดล้อม

6.3.6 การเน้นสัญญาณ

การที่จะเพิ่มการกระจัดกระจายกลับ หรือการเน้นสัญญาณนั้น ทำได้โดยลดความยาวคลื่นที่ส่งออกจากระบบและลดมุมตกกระทบ ในการลดความยาวคลื่นก็จะทำให้ความสามารถทะลุทะลวงลดลง หากต้องการศึกษาใต้พื้นผิวต้องให้คลื่นที่ยาวขึ้น ดังนั้นในการที่จะเน้นสัญญาณต้องมีวัตถุประสงค์ที่แน่ชัดว่าต้องการศึกษาอะไร

ดังเช่นกรณีที่ต้องการศึกษาพื้นที่น้ำท่วม ซึ่งมีพืชพรรณน้ำคลุมพื้นที่ หากใช้ X band จะให้ข้อมูลพืชพรรณเหนือน้ำ ถ้าใช้คลื่นยาวขึ้น เช่น L band จะได้ข้อมูลน้ำท่วม เป็นต้น

6.4 สรุปการแปลตีความภาพถ่ายจากเรดาร์

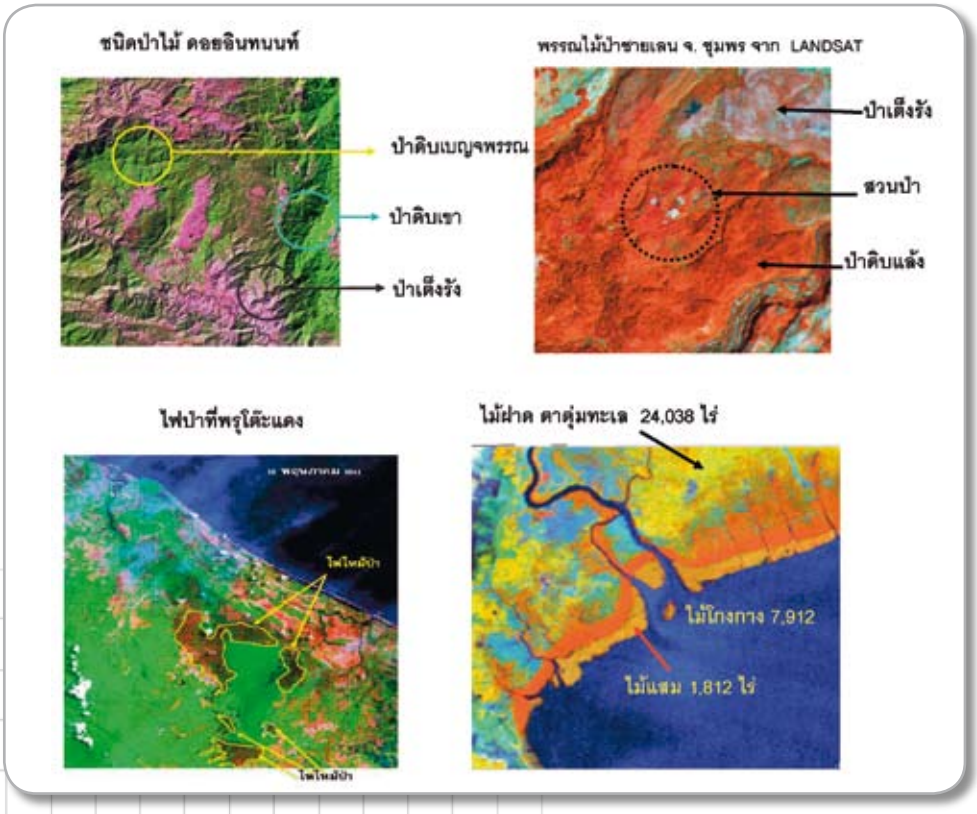
ความสว่างของภาพถ่ายจากเรดาร์ขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์ด้านระบบ และด้านสิ่งแวดล้อมหรือเป้าหมาย ดังนั้นผู้ที่จะแปลตีความภาพถ่ายจากเรดาร์ด้วยสายตา หรือวิเคราะห์ด้วยคอมพิวเตอร์ก็ตาม จะต้องทำความเข้าใจพารามิเตอร์ด้านระบบตามที่กล่าวมาแล้วในข้างต้น และวัตถุเป้าหมายด้านสิ่งแวดล้อม โดยทั่วไปการแปลตีความภาพถ่ายจากเรดาร์ก็ใช้องค์ประกอบ (สี ลายผิว ขนาด เงา รูปแบบ และความสูง) เช่นเดียวกับการแปลตีความรูปถ่ายทางอากาศ แต่การแปลตีความเรดาร์ต้องบูรณาการพารามิเตอร์ด้านระบบและด้านสิ่งแวดล้อมจึงจะสัมฤทธิผล

7. การประยุกต์ใช้ข้อมูลจากดาวเทียม

ข้อมูลจากดาวเทียมสำรวจทรัพยากรถูกนำไปประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวาง เริ่มแรกเป็นการใช้แปลตีความด้วยสายตาข้อมูลในลักษณะภาพถ่าย ภาพพิมพ์ หรือฟิล์ม ปัจจุบันใช้การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยคอมพิวเตอร์ที่ทันสมัยและการที่ดาวเทียมบันทึกภาพตามเวลาการโคจรที่กำหนด ทำให้ได้รับข้อมูลที่ทันสมัยตามช่วงเวลา สามารถที่นำไปใช้ประโยชน์ผสมผสานกับข้อมูลอื่นๆ เพื่อการบริหารจัดการทรัพยากรและสิ่งแวดล้อมอย่างมีประสิทธิภาพและการพัฒนาแบบยั่งยืน สามารถสรุปการประยุกต์ข้อมูลจากดาวเทียมในด้านต่างๆ ได้ดังนี้

7.1 ด้านป่าไม้

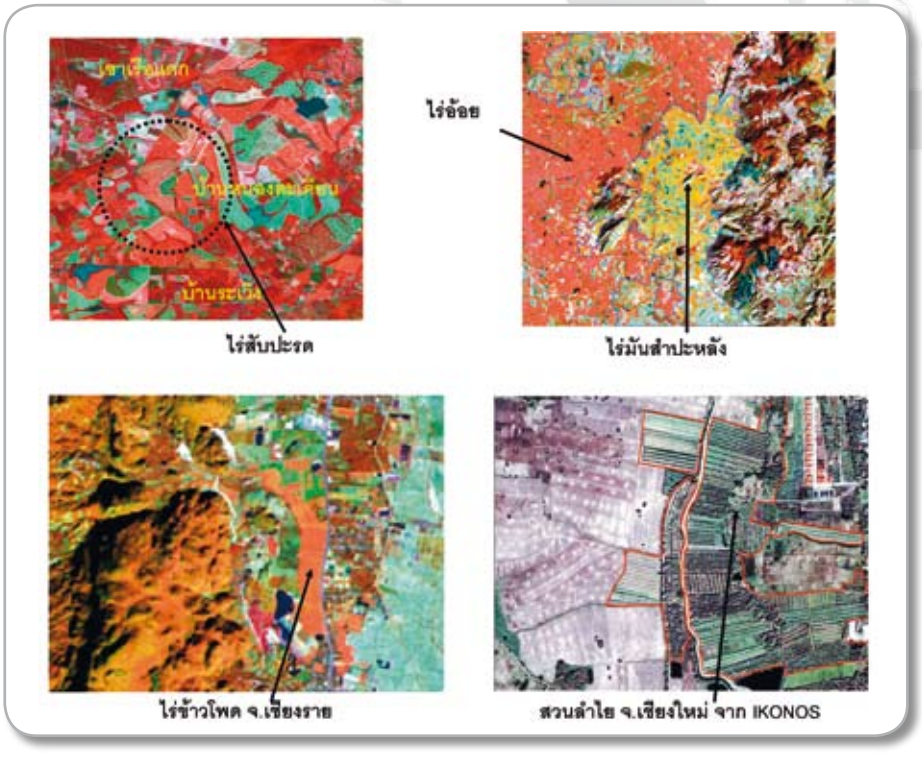
ด้านป่าไม้ใช้ในการศึกษาจำแนกชนิดป่าไม้ต่างๆ พรรณไม้ป่าชายเลน สวนป่า การประเมินหาพื้นที่ไฟป่า และติดตามการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ป่าไม้มาอย่างต่อเนื่อง ดังแสดงในภาพที่ 3.73



***ภาพที่** 3.73 แสดงตัวอย่างการใช้งานด้านป่าไม้*

7.2 ด้านการเกษตร

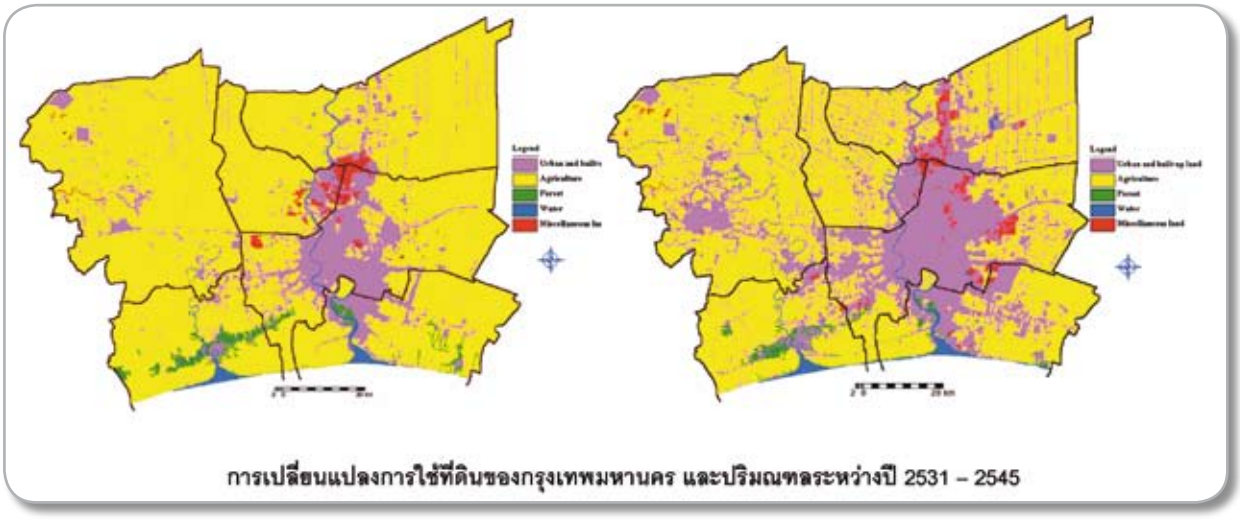
ใช้ในการศึกษาหาพื้นที่เพาะปลูก พืชเศรษฐกิจต่างๆ การพยากรณ์ผลผลิต ประเมินความเสียหายจากภัยธรรมชาติและจากศัตรูพืช ตลอดจนการวางแผนกำหนดเขตเพาะปลูกพืชเศรษฐกิจ เช่น ลำไย ข้าว อ้อย ข้าวโพด มันสำปะหลัง สับปะรด ปาล์มน้ำมัน และยางพารา เป็นต้น (ภาพที่ 3.74)



***ภาพที่** 3.74 แสดงตัวอย่างการใช้งานด้านเกษตร*

7.3 ด้านการใช้ที่ดิน

ข้อมูลจากดาวเทียมใช้ในการทำแผนที่การใช้ที่ดิน/สิ่งปกคลุมดินที่ทันสมัยและต่อเนื่อง เพื่อเป็นข้อมูลในการวางแผนการจัดการการใช้ที่ดินอย่างเหมาะสม (ภาพที่ 3.75)



***ภาพที่** 3.75 แสดงตัวอย่างการใช้งานด้านการใช้ที่ดิน*

การติดตามพื้นที่ก่อสร้างพืชสวนโลก จ.เชียงใหม่จากดาวเทียมความละเอียดสูง ในเดือนมีนาคม 2544 พฤศจิกายน 2548 และเดือนพฤศจิกายน 2549

ข้อมูลจากดาวเทียมหลายช่วงเวลา เปรียบเทียบความก้าวหน้าการก่อสร้างสนามบินสุวรรณภูมิ

การใช้ที่ดิน : สุสานฮวงซุ้ย จ.ชลบุรี

***ภาพที่** 3.75 แสดงตัวอย่างการใช้งานด้านการใช้ที่ดิน (ต่อ)*

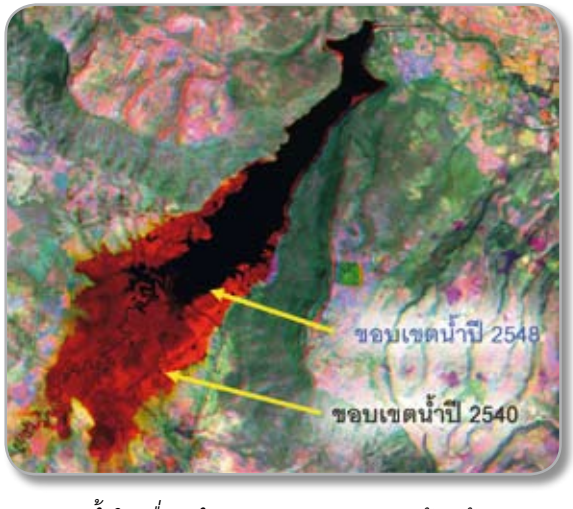
7.4 ด้านธรณีวิทยา และธรณีสัณฐาน

ข้อมูลด้านโครงสร้างทางธรณี โดยเฉพาะลักษณะภูมิประเทศ และธรณีสัณฐาน สามารถศึกษาได้อย่างชัดเจนจากข้อมูลจากดาวเทียม การทำแผนที่ธรณีโครงสร้างของประเทศ ซึ่งเป็นข้อมูลพื้นฐานที่บอกถึงแหล่งแร่ แหล่งเชื้อเพลิงธรรมชาติ ตลอดจนแหล่งน้ำบาดาล และการวางแผนการสร้างเขื่อน เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการนำเอาข้อมูลจากดาวเทียมไปใช้ศึกษาทางด้านโบราณคดี เช่น พื้นที่เมืองโบราณ แนวรอยเลื่อนของเปลือกโลก ขอบเขตของหินต่างชนิดกัน เป็นต้น (ภาพที่ 3.76)

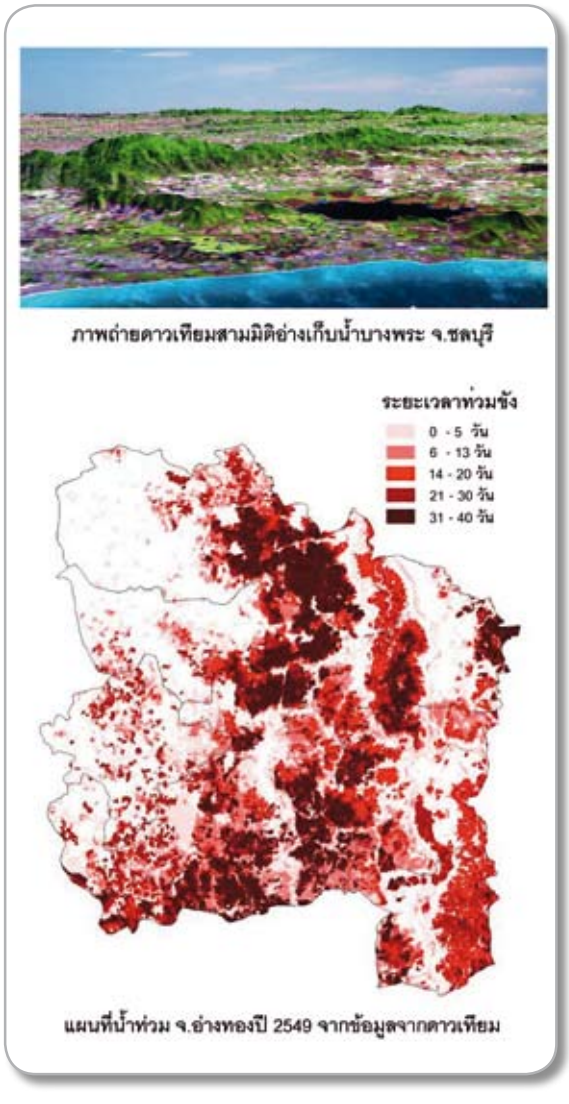
***ภาพที่** 3.76 แสดงตัวอย่างการใช้งานด้านธรณีวิทยา และธรณีสัณฐาน*

7.5 ด้านอุทกวิทยา และการจัดการทรัพยากรน้ำ

ข้อมูลจากดาวเทียมมีบทบาทสำคัญในการให้ข้อมูลเกี่ยวกับคลองชลประทาน แม่น้ำ ลำคลอง อ่างเก็บน้ำ และเขื่อน การศึกษาการแพร่กระจายของตะกอนในอ่างน้ำเพื่อการบำรุงรักษาเขื่อน การทำแผนที่น้ำท่วมเพื่อประเมินความเสียหายจากอุทกภัยได้อย่างมีประสิทธิภาพ ใช้ในการวางแผนป้องกันน้ำท่วมในฤดูน้ำหลาก และบรรเทาช่วยเหลือราษฎรประสบภัยน้ำท่วม ติดตามการเปลี่ยนแปลงเส้นและความกว้างของแม่น้ำ ศึกษาคุณภาพของน้ำ ใช้ในการประเมินวิเคราะห์พื้นที่ประสบภัยแล้ง รวมทั้งการวางแผนการสร้างแหล่งเก็บกักน้ำ เช่น เขื่อน อ่างเก็บน้ำ ฯลฯ (ภาพที่ 3.77)



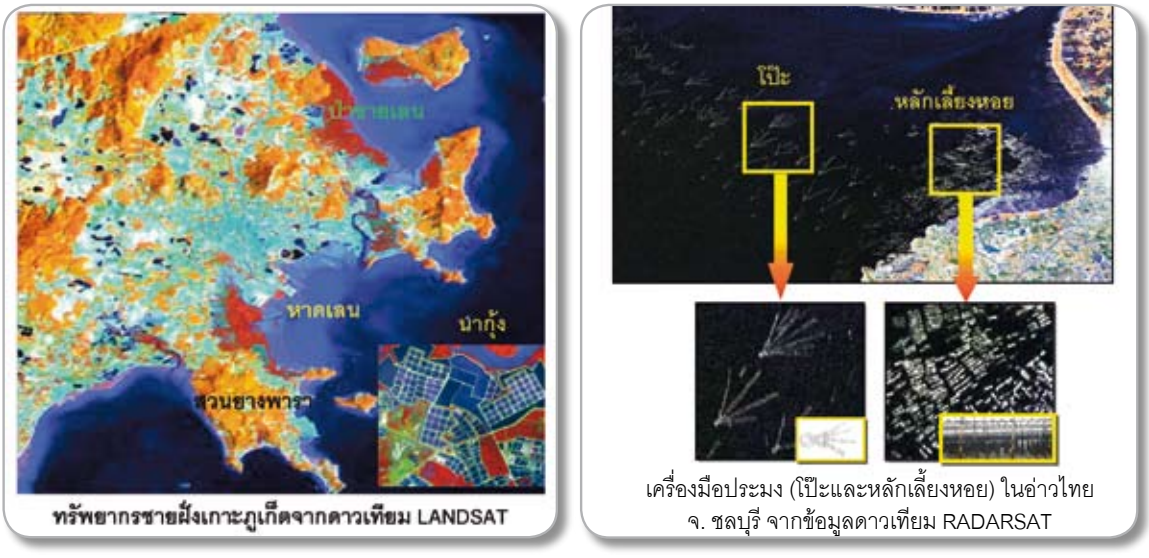
ปริมาณน้ำในเขื่อนลำตะคองลดลงจากการซ้อนข้อมูลจากดาวเทียม LANDSAT ปี 2540 กับปี 2548



***ภาพที่** 3.77 ตัวอย่างการใช้งานด้านอุทกวิทยาและการจัดการทรัพยากรน้ำ*

7.6 ด้านสมุทรศาสตร์และทรัพยากรชายฝั่ง

ข้อมูลจากดาวเทียมนำไปใช้ในการศึกษาการแพร่กระจายของตะกอน พื้นที่หาดเลน และทรัพยากรชายฝั่ง การทำแผนที่เพาะเลี้ยงและการประมงชายฝั่ง ซึ่งเป็นประโยชน์ในการจัดการทรัพยากรชายฝั่ง (ภาพที่ 3.78)



ทรัพยากรชายฝั่งเกาะภูเก็ตจากดาวเทียม LANDSAT

เครื่องมือประมง (โป๊ะและหลักเลี้ยงหอย) ในอ่าวไทย จ. ชลบุรี จากข้อมูลดาวเทียม RADARSAT

***ภาพที่** 3.78 ตัวอย่างการใช้งานด้านสมุทรศาสตร์ และทรัพยากรชายฝั่ง*

7.7 ด้านการทำแผนที่

ข้อมูลจากดาวเทียมมีประโยชน์อย่างยิ่งในการปรับปรุงแผนที่ภูมิประเทศให้ถูกต้องและทันสมัย การทำแผนที่โครงสร้างพื้นฐาน เช่น ถนน เส้นทางคมนาคม แผนที่ผังเมือง เพื่อการวางแผนการบริหารจัดการทรัพยากรด้านต่างๆ ได้อย่างรวดเร็วและประหยัดค่าใช้จ่าย (ภาพที่ 3.79)

การปรับปรุงแผนที่ 1: 50,000 ด้วยข้อมูลจากดาวเทียม SPOT 5

ผังเมืองลพบุรีจากดาวเทียม QuickBird

***ภาพที่** 3.79 ตัวอย่างการใช้งานด้านการทำแผนที่*

7.8 ด้านภัยธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

ข้อมูลจากดาวเทียมถูกนำมาใช้ในการศึกษาประเมินความเสียหายจากภัยธรรมชาติ และวางแผนลดความสูญเสียจากภัยพิบัติต่างๆ เช่น น้ำท่วม แผ่นดินถล่ม วาตภัยจากไต้ฝุ่น ด้านสิ่งแวดล้อมสามารถใช้ในการติดตามการแพร่กระจายของตะกอนจากการทำเหมืองแร่ในทะเล การกัดเซาะชายฝั่ง การกระจายของน้ำเสีย การบุกรุกทำลายป่าไม้ เป็นต้น (ภาพที่ 3.80)

***ภาพที่** 3.80 ตัวอย่างการใช้งานด้านภัยธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม*

7.9 ด้านการผังเมืองและการขยายเมือง

ข้อมูลจากดาวเทียมที่มีความละเอียดสูงสามารถใช้ในการติดตามการขยายตัวเมืองและแหล่งชุมชน เพื่อการวางแผนรองรับด้านโครงสร้างพื้นฐาน การหาตำแหน่งหมู่บ้านชนกลุ่มน้อย หรือหาตำแหน่งที่เหมาะสมในการตั้งถิ่นฐานใหม่ (ภาพที่ 3.81)

***ภาพที่** 3.81 ตัวอย่างการใช้งานด้านผังเมือง และการขยายเมือง*

7.10 ด้านความมั่นคงของชาติ

ดาวเทียมสามารถถ่ายภาพที่มีรายละเอียดสูงเพียงพอที่ใช้สังเกตการณ์ต่างๆ โดยสามารถใช้ถ่ายภาพพื้นที่ซึ่งมีความเสี่ยงด้านความมั่นคงสูง เพื่อติดตามความเคลื่อนไหวและการเปลี่ยนแปลงอย่างสม่ำเสมอ จัดทำเป็นคลังข้อมูลการข่าวได้ นอกจากนี้ใช้ในการตรวจการปลูกพืชเสพติด และตรวจจับพื้นที่อาจมีการขนย้ายยาเสพติดได้ ผลประโยชน์ด้านความมั่นคงที่จะได้รับไม่อาจประเมินค่าได้

***ภาพที่** 3.82 ตัวอย่างการใช้งานด้านความมั่นคงของชาติ*

บรรณานุกรม

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. (2536). **การสำรวจทรัพยากรธรรมชาติด้วยดาวเทียมเมตรโรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย**. กรุงเทพฯ: [ม.ป.พ.].

Aronoff, S. (2005). **Remote sensing for GIS managers**. 1st edition. [n.p.]: Reland ESRI press.

Bharatrakshak. 2007. **Indian Remote Sensing satellite**. Retrieved February 13, 2007, from htpp://www.bharat-rakshak.com/SPACE/space-satellite4.html

Canadian Space Agency. 2007. **Earth Observation Satellite**. Retrieved February 14, 2007, from http://www.space.gc.ca/asc/eng/satellites/radarsat1/components.asp

Earth Science Division. 2007. **Landsat Program Summary**. Retrieved February 13, 2007, from http://geo.arc.nasa.gov/sge/landsat/lpsum.html

Henderson, F.M., and Lewis, A.J. (1998). **Principles & applications of imaging radar, manual of remote sensing**. 3rd edition. New York: John Wiley & Sons.

Japan Aerospace Exploration Agency. 2007. **Japanese Earth Resources Satellite**. Retrieved February 14, 2007, from htpp://www.eorc.jaxa.jp/hatoyama/satellite/satdata/ers-e.html

_____. 2007. **Japanese Earth Resources Satellite**. Retrieved February 14, 2007, from htpp://www.eorc.jaxa.jp/hatoyama/satellite/satdata/jers-e.html

_____. 2007. **Japanese Earth Resources Satellite**. Retrieved February 14, 2007, from htpp://www.eorc.jaxa.jp/hatoyama/satellite/satdata/mos-e.html

_____. 2007. **Japanese Earth Resources Satellite**. Retrieved February 14, 2007, from htpp://www.eorc.jaxa.jp/hatoyama/satellite/satdata/spot-e.html

Lillesand, T.M., and Kiffer, R.W. (1994). **Remote sensing and image interpretation**. 3rd edition. New York: John Wiley & Sons.

Mikio, T. and Haruhisa, S. (1991). **Handbook of Image Analysis**. University of Tokyo Press.

Radarsat International. (1992). **Radar remote sensing**. A training manual, dendron resource surveys.

Satellite Services Division. 2007. **NOAA Satellite Information System (NOAASIS)**. Retrieved February 12, 2007, from htpp://noaasis.noaa.gov/NOAASIS/ml/status.html

Simonett, D.S. and Ulaby, F.T. (Eds). (1983). **Manual of remote sensing**. 2nd edition. Virginia: The Sheriden Press.

Wikipedia. 2007. **Ikonos**. Retrieved February 13, 2007, from http://en.wikipedia.org/wiki/Ikonos

_____. 2007. **QuickBird**. Retrieved February 13, 2007, from http://en.wikipedia.org/wiki/QuickBird

_____. 2007. **Satellite**. Retrieved February 13, 2007, from http://en.wikipedia.org/wiki/Satellite

บทที่ 4

หลักการเบื้องต้นระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

1. ข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information Data)

ข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์จัดเป็นข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial data) ประกอบด้วย ข้อมูลที่เป็นข้อมูลเชิงภาพ (Graphic data) และข้อมูลลักษณะประจำ (Attribute data) โดยข้อมูลเชิงภาพนั้นสามารถจำแนกออกได้ตามลักษณะโครงสร้างของข้อมูลได้เป็นข้อมูลแบบเชิงเส้น (Vector data) และข้อมูลกริดหรือแรสเตอร์ (Grid or raster data) ซึ่งข้อมูลทั้งสองลักษณะนี้ต่างก็มีข้อดีและข้อด้อยแตกต่างกัน

ข้อมูลแบบเชิงเส้นเป็นข้อมูลที่ถูกจัดเก็บในลักษณะของค่าพิกัดของจุดข้อมูลซึ่งอาจแสดงถึง ลักษณะที่เป็นจุด (Point feature) หรือข้อมูลอาจเรียงต่อกันเป็นอนุกรมเพื่อแสดงถึงลักษณะเชิงเส้น (Linear features) หรือรูปปิดซึ่งแสดงถึงลักษณะเชิงพื้นที่ (Area features) ก็ได้ ตัวอย่างเช่น แผนที่ลายเส้น (Line map) เช่น แผนที่ภูมิประเทศ (Topographic map) ข้อมูลประเภทนี้มีข้อได้เปรียบในการจัดการเนื่องจากใช้เนื้อที่ในการจัดเก็บน้อย สามารถนำข้อมูลเข้าสู่ระบบสารสนเทศได้ง่าย อุปกรณ์มีราคาไม่แพง แต่การนำเข้าต้องอาศัยวิธีการนำเข้าด้วยมือเป็นส่วนใหญ่ จึงเหมาะกับภารกิจที่มีข้อมูลที่จะต้องบริหารจัดการไม่มากจนเกินไป

ข้อมูลแรสเตอร์เป็นข้อมูลที่ถูกจัดเก็บในลักษณะของตารางข้อมูลย่อย (Grid cell) ยิ่งขนาดของตารางข้อมูลย่อยมีขนาดเล็ก ปริมาณของข้อมูลที่จะต้องจัดเก็บก็จะมีมากเป็นทวีคูณ แต่ขณะเดียวกันข้อมูลที่ได้ก็จะมีความใกล้เคียงกับรายละเอียดจริงมากยิ่งขึ้น ข้อมูลแรสเตอร์นี้ต้องการใช้พื้นที่จัดเก็บเป็นจำนวนมาก เพราะแฟ้มข้อมูลมีขนาดใหญ่ ทำให้สิ้นเปลืองเนื้อที่ในการจัดเก็บ แต่ก็มีข้อดีคือ เนื่องจากข้อมูลมีลักษณะโครงสร้างเป็นแบบตารางจึงทำให้สามารถทำการเปลี่ยนแปลงแก้ไข ปรับปรุงข้อมูลได้สะดวกง่ายดายกว่าข้อมูลที่มีโครงสร้างเป็นแบบข้อมูลเชิงเส้น

2. ระบบนำเข้าข้อมูล (Data input system)

ระบบนำเข้าข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ ประกอบด้วยอุปกรณ์นำเข้าข้อมูล (Input devices) ซึ่งมีหน้าที่ในการแปลงข้อมูลจากข้อมูลเดิมที่มีลักษณะเป็นข้อมูลเชิงอุปมาน (Analogue data) เช่น ข้อมูลแผนที่ลายเส้น ข้อมูลของรูปถ่ายทางอากาศ และ/หรือข้อมูลของภาพถ่ายดาวเทียมให้กลายเป็นข้อมูลเชิงเลขที่มีค่าตัวเลขอยู่ระหว่าง 0-255 ผลที่ได้ทำให้สามารถวิเคราะห์และประมวลผลข้อมูลด้วยคอมพิวเตอร์ความเร็วสูง (High speed computer) ได้อย่างรวดเร็วถูกต้อง และมีประสิทธิภาพ

ข้อมูลที่มีลักษณะโครงสร้างเป็นแบบเชิงเส้น สามารถนำเข้าสู่ระบบสารสนเทศได้โดยใช้อุปกรณ์นำเข้าที่เรียกว่า ตัวแปลงเป็นเลข (Digitizing tablet) ขณะที่ข้อมูลที่มีโครงสร้างเป็นแบบเชิงตาราง จะถูกนำเข้าสู่ระบบสารสนเทศโดยอุปกรณ์ที่เรียกว่าเครื่องกราดภาพ ส่วนข้อมูลลักษณะประจำ ซึ่งมีลักษณะเป็นตัวเลขและตัวอักษรนั้น (Alpha-numeric data) จะถูกนำเข้าสู่ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ทางแป้นพิมพ์ตามปกติ

3. การแปลงข้อมูล (Transformation) โดยการแปลงเป็นเลข (Digitization)

ข้อมูลของจุดใดๆ บนแผนที่จะถูกแปลงไปเป็นข้อมูลพิกัด (x,y) ของตัวแปลงเป็นเลข ซึ่งเป็นระบบพิกัดสมมติ (Local coordinate system) โดยวิธีการแปลงเป็นเลข ดังนั้นผู้นำเข้าจึงจำเป็นที่จะต้องแปลงค่าพิกัดในระบบสมมติดังกล่าวให้กลายเป็นระบบพิกัดมาตรฐานของภูมิประเทศ (Ground coordinate system) เช่น ระบบพิกัด UTM

สำหรับข้อมูลในประเทศไทย หรือพิกัด SPC (State Plane Coordinates System) สำหรับข้อมูลของประเทศสหรัฐอเมริกา เป็นต้น การแปลงข้อมูลพิกัดนี้สามารถใช้โปรแกรมสำเร็จรูปที่มาพร้อมกับโปรแกรมหลัก หรือจะใช้การแปลงพิกัดแบบสัมพันธ์ (Affine transformation) จากระบบพิกัดของตัวแปลงเป็นเลข (x,y) ให้มาเป็นระบบพิกัดมาตรฐานในภูมิประเทศ (X,Y) ตามต้องการโดยใช้ความสัมพันธ์ในสมการ 4.1

$$\begin{vmatrix} X \\ Y \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} a & b \\ c & d \end{vmatrix} \begin{vmatrix} x \\ y \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} e \\ f \end{vmatrix} \quad \text{..... (4.1)}$$

โดยที่ X,Y = พิกัดมาตรฐานของจุดในภูมิประเทศ (Ground coordinates of the point)
x,y = พิกัดในระบบตัวแปลงเป็นเลขของจุด (Digitized coordinates of the point)
a,b,c,d = ค่าปัจจัยคงที่ในการแปลงข้อมูลแบบสัมพันธ์ (Affine transformation parameters)
e,f = ค่าปัจจัยการเลื่อน (Translation parameters)

ค่าพิกัด X,Y ของจุดพิกัดอ้างอิง สามารถหาได้จากการอ่านค่าพิกัดบนแผนที่ หรืออาจหาได้จากการรังวัดภาคสนาม (Field survey) โดยใช้เครื่องรับของระบบกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลก (GPS receiver)

ค่าตัวแปร a b c d e และ f สามารถคำนวณหาได้โดยใช้จุดพิกัดอ้างอิงที่คัดเลือกไว้อย่างน้อยจำนวน 3 จุด แต่ในกรณีที่มีจุดพิกัดอ้างอิงมากกว่า 3 จุดขึ้นไป ค่าปัจจัยตัวแปลงข้อมูลแบบสัมพันธ์ทั้ง 6 ตัว จะถูกคำนวณหาด้วยเทคนิควิธี กำลังสองน้อยที่สุด

4. การนำเข้าข้อมูลแบบเชิงเส้น (Vector data input)

ข้อมูลเชิงเส้นจะถูกนำเข้าสู่ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ด้วยอุปกรณ์ที่เรียกว่า ตัวแปลงเป็นเลข ซึ่งถูกออกแบบมาเพื่อภารกิจนี้โดยเฉพาะ ซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์หลักที่สำคัญ 3 ส่วนคือ 1) กระดานอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic tablet) 2) อุปกรณ์ชี้เล็งพร้อมปุ่มกดบังคับ (Pointing device หรือ Cursor with buttons) 3) อุปกรณ์จอแสดงผลอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic display)

ข้อมูลที่ถูกนำเข้าสู่ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในรูปแบบของแผนที่จะถูกนำไปติดตั้งบนกระดานอิเล็กทรอนิกส์ จากนั้นผู้ปฏิบัติงาน (Operator) จะใช้อุปกรณ์ตัวชี้ตำแหน่ง (Cursor) พร้อมที่เล็ง (Cross-hair) ทำการวางลงบนตำแหน่งของแผนที่ที่ต้องการจัดเก็บข้อมูลเข้าสู่ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ และกดปุ่มบังคับที่ได้กำหนดไว้ ข้อมูลในรูปของพิกัดของกระดานอิเล็กทรอนิกส์ก็จะถูกแสดงบนจอแสดงผลและส่งผ่านทางช่องรับ-ส่งข้อมูลแบบอนุกรมใช้ร่วม (Universal Serial Bus: USB) เข้าสู่ระบบคอมพิวเตอร์เพื่อรอการประมวลผลต่อไป

ในกรณีที่ข้อมูลมีลักษณะเป็นเชิงเส้น (Arc) หรือรูปหลายเหลี่ยม (Polygon) ผู้ปฏิบัติงานจะต้องทำการบันทึกข้อมูลในแบบจุดต่อจุดไล่เรียงกันไปเรื่อยๆ จนถึงจุดสุดท้ายหรือย้อนกลับมายังจุดแรกที่เป็นจุดเริ่มต้นอีกครั้ง เมื่อทุกอย่างเรียบร้อยแล้วจึงเริ่มต้นเก็บข้อมูลของชุดใหม่ต่อไป การจัดเก็บข้อมูลในลักษณะแบบนี้เรียกว่าเป็นการจัดเก็บข้อมูลแบบทำด้วยมือ (Manual data capturing) ซึ่งเหมาะกับกรณีที่มีปริมาณข้อมูลไม่มากและไม่ซับซ้อนจนเกินไป ในกรณีที่ข้อมูลค่อนข้างซับซ้อนและมีปริมาณมาก ผู้ปฏิบัติงานสามารถเลือกใช้อุปกรณ์อัตโนมัติที่เรียกว่า เครื่องแปลงเป็นเลขสำหรับเส้นแบบอัตโนมัติ (Automatic line-following digitizer) ก็ได้ โดยอุปกรณ์ดังกล่าวจะทำหน้าที่แปลงข้อมูลของเส้นใดๆ บนแผนที่ที่ถูกกำหนดไว้ล่วงหน้าโดยอัตโนมัติ

ปัจจุบันการนำเข้าข้อมูลโดยวิธีการแปลงข้อมูลเป็นเลขด้วยมือไม่ค่อยได้รับความนิยมเนื่องจากเป็นงานที่ซ้ำซาก ล่าช้าและสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายเป็นอย่างมาก ทำให้ผู้ปฏิบัติเปลี่ยนไปนิยมใช้การนำเข้าโดยวิธีกราดภาพซึ่งเป็นการนำเข้าอัตโนมัติแทน เพราะใช้เวลาน้อยกว่า ถึงแม้ว่าเครื่องกราดภาพจะยังมีราคาค่อนข้างสูงอยู่ก็ตาม

5. การนำเข้าข้อมูลแรสเตอร์ (Raster data input)

ข้อมูลแรสเตอร์มักจะอยู่ในรูปของข้อมูลเชิงภาพ (Pictorial) เช่น รูปถ่ายทางอากาศ หรือภาพถ่ายดาวเทียม เป็นต้น ข้อมูลแรสเตอร์นี้สามารถนำเข้าสู่ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ได้โดยการใช้อุปกรณ์แปลงข้อมูลที่เรียกว่าเครื่องกราดภาพ อุปกรณ์กราดภาพประกอบด้วย แท่งทรงกระบอกกราดภาพ (Scanning cylinder) ที่ใช้ติดตั้งข้อมูลต้นฉบับและตาอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic eye) ซึ่งจะเคลื่อนที่จากซ้ายไปขวาขณะที่แท่งทรงกระบอกหมุนรอบด้วยความเร็วคงที่ ข้อมูลในลักษณะของระดับความเข้มของแสงจะถูกแปลงเป็นข้อมูลเชิงเลขในหน่วยจุดภาพ ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0-255 สำหรับภาพขาว-ดำ และทำการแยกภาพสีออกเป็นแม่สี คือ สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน สำหรับเครื่องกราดภาพสี (Color scanner)

การนำเข้าข้อมูลแรสเตอร์นี้มีลักษณะเป็นการนำเข้าแบบอัตโนมัติ ผู้ปฏิบัติงานจะนำเอาภาพต้นฉบับที่ต้องการจะแปลงข้อมูลขึ้นติดตั้งบนแท่งทรงกระบอกกราดภาพ จากนั้นก็จะทำการเลือกค่าขนาดของหน่วยภาพที่เหมาะสมที่จะทำการแปลงข้อมูลเชิงภาพให้เป็นข้อมูลเชิงเลข โดยทั่วไปหากจุดภาพมีขนาดเล็กก็จะยิ่งให้รายละเอียดสูง แต่ขนาดของแฟ้มข้อมูลจะมีขนาดใหญ่และใช้เวลาในการแปลงข้อมูลเป็นเวลานาน ในทางตรงกันข้ามหากจุดภาพมีขนาดใหญ่ แฟ้มข้อมูลที่ได้ก็จะมีขนาดเล็กและเวลาที่ใช้ในการแปลงข้อมูลก็จะรวดเร็วแต่รายละเอียดที่ได้จะต่ำ ดังนั้นการเลือกขนาดของจุดภาพที่เหมาะสมจึงมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งเนื่องจากมีความสัมพันธ์โดยตรงกับประสิทธิภาพของการแปลงข้อมูล และสมควรที่จะได้รับการพิจารณาอย่างรอบคอบ

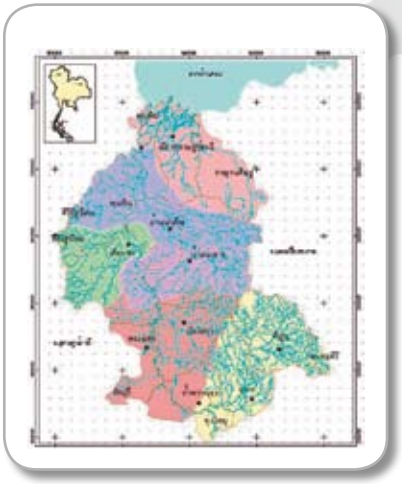
6. ตัวอย่างของการนำเข้าข้อมูลจากแผนที่และภาพถ่ายดาวเทียม (Example of map and satellite inputs)

ภาพที่ 4.1 คือภาพการนำเข้าข้อมูลจากแผนที่เข้าสู่ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์โดยใช้อุปกรณ์ตัวแปลงเป็นเลข แสดงให้เห็นกระดานอิเล็กทรอนิกส์ อุปกรณ์ชี้เล็งและอุปกรณ์แสดงผล

ภาพที่ 4.1 *อุปกรณ์ตัวแปลงเป็นเลข แสดงให้เห็นกระดานอิเล็กทรอนิกส์ อุปกรณ์ชี้เล็งและอุปกรณ์แสดงผล*

ส่วนภาพที่ 4.2 แสดงให้เห็นตัวอย่างของแผนที่ที่ถูกนำเข้าสู่ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ โดยวิธีการแปลงข้อมูลแบบเชิงเส้น จากรายละเอียดของข้อมูลจะสังเกตเห็นข้อมูลที่ถูกนำเข้าในลักษณะของจุด เส้น และรูปหลายเหลี่ยม

สำหรับภาพที่ 4.3 คือ ภาพอุปกรณ์นำเข้าแบบเครื่องกราดภาพทรงกระบอก ซึ่งเป็นเครื่องแปลงข้อมูลแบบอัตโนมัติ ข้อมูลที่ได้จะมีโครงสร้างเป็นแบบแรสเตอร์ที่เหมาะกับการประมวลผลด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยตัวอย่างของภาพดาวเทียมที่ถูกนำเข้าสู่ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์จะมีลักษณะดังที่แสดงในภาพที่ 4.4



***ภาพที่** 4.2 แสดงให้เห็นภาพแผนที่ภูมิประเทศซึ่งถูกนำเข้าสู่ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์โดยวิธีการแปลงข้อมูล*

***ภาพที่** 4.3 อุปกรณ์นำเข้าเครื่องกราดภาพทรงกระบอก*

***ภาพที่** 4.4 ตัวอย่างของข้อมูลจากดาวเทียมสีผสมที่ผ่านการนำเข้าด้วยเครื่องกราดภาพทรงกระบอก*

7. การจัดเก็บและการแก้ไขข้อมูล (Data storage and editing)

***ภาพที่** 4.5 การจัดเก็บข้อมูลในรูปแบบของชั้นข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์*

ข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ถูกจัดเก็บตามประเภทของข้อมูล ซึ่งมีลักษณะเป็นข้อมูลเชิงภาพได้แก่ จุด เส้น รูปหลายเหลี่ยม และข้อมูลลักษณะประจำ ที่ประกอบด้วยตัวอักษรและตัวเลข เช่น ชื่อสถานที่ ชื่อทางภูมิศาสตร์ ค่าพิกัดของตารางพิกัดถูกจัดเก็บในรูปของแฟ้มข้อมูลที่แยกออกจากกันเป็นชั้นข้อมูล (Data layer) ตามลักษณะเพื่อความสะดวกในการจัดเก็บและแก้ไข แฟ้มของชั้นข้อมูลเหล่านี้จะเชื่อมต่อกันในลักษณะซ้อนทับดังภาพที่ 4.5

ข้อมูลในทุกชั้นข้อมูลจะเชื่อมโยงกันโดยอาศัยตำแหน่งทางภูมิศาสตร์เป็นตัวเชื่อมในลักษณะอ้างอิงกับตำแหน่งจริงบนพื้นผิวของโลก (Geocoding)

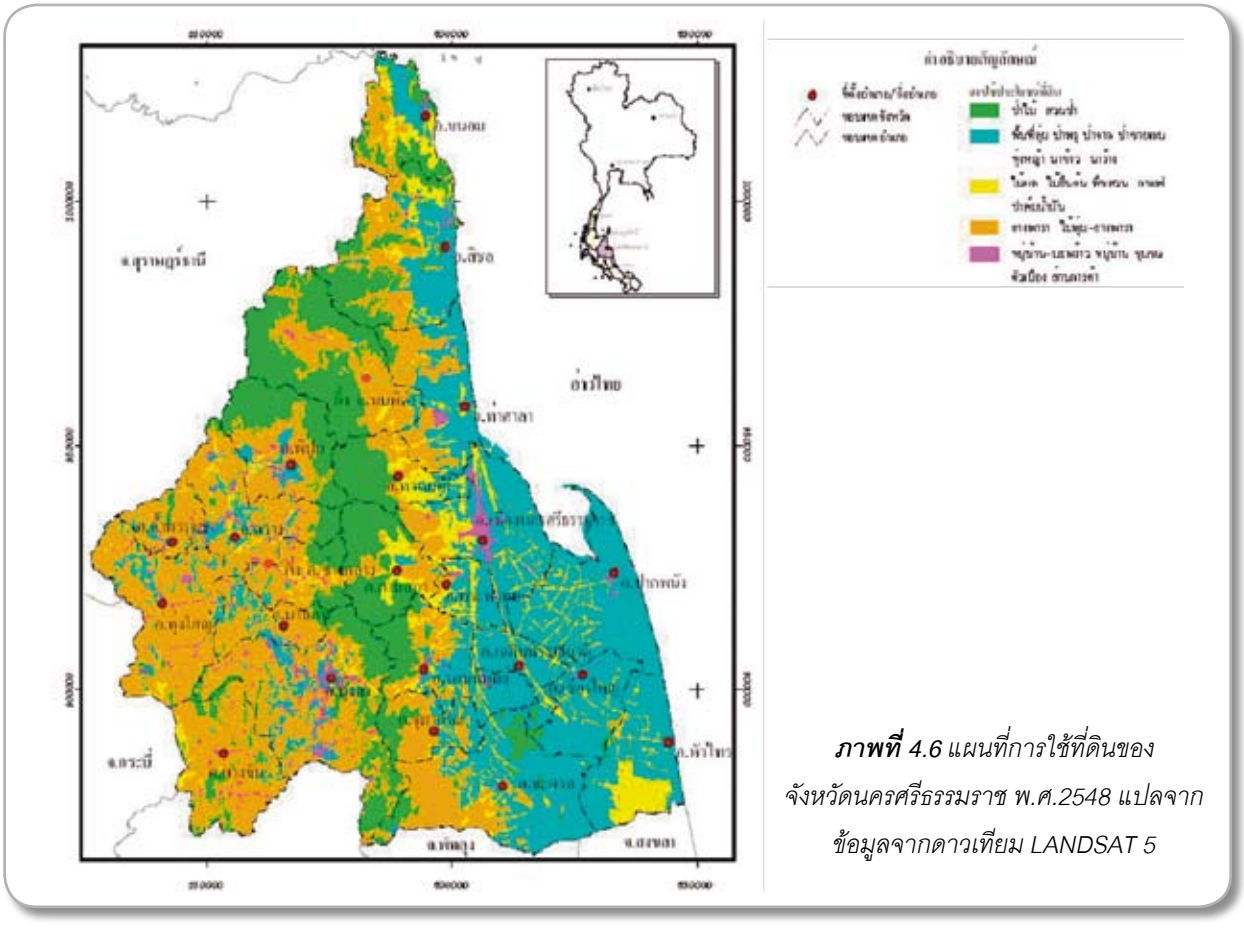
การแก้ไขข้อมูล สามารถแก้ไขปรับปรุงข้อมูลในแต่ละชั้นข้อมูลได้อย่างเป็นอิสระไม่ว่าจะเป็นการปรับปรุงให้เป็นปัจจุบัน หรือการแก้ไขเพิ่มเติมข้อมูลให้ครบถ้วน ชั้นข้อมูลที่ได้รับการแก้ไขเรียบร้อยแล้วจะถูกจัดเก็บในลักษณะของแฟ้มข้อมูล (Data file) เพื่อการวิเคราะห์ต่อไป ผลของการวิเคราะห์ที่ได้สามารถนำเสนอในรูปแบบของแผนที่ รายงาน หรือตารางข้อมูล แล้วแต่ความเหมาะสมหรือความต้องการของผู้ใช้

8. การนำเสนอข้อมูลในรูปแบบของแผนที่ (Map output)

การนำเสนอข้อมูลและผลการวิเคราะห์ของระบบสารสนเทศ ในรูปแบบของแผนที่เป็นที่นิยมกันมากในปัจจุบันเนื่องจากมีการนำเอาคอมพิวเตอร์มาใช้กับการทำแผนที่ (Computer assisted cartography) โดยใช้ข้อมูลจากระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ทำให้กิจกรรมทั้งสองนี้มีส่วนเอื้อประโยชน์แก่กันและกันจนไม่สามารถแยกออกจากกันได้ นอกจากนั้นยังเพิ่มประสิทธิภาพและขีดความสามารถของนักแผนที่ (Cartographer) จนสามารถที่จะประมวลผลข้อมูลสารสนเทศด้วยความสะดวก รวดเร็ว และถูกต้องอย่างไม่เคยมีมาก่อน ผลลัพธ์ที่ได้สามารถแสดงผลในรูปแบบของรายงาน ตาราง หรือแผนที่เฉพาะทาง (Thematic map) ที่มีความละเอียด ถูกต้องและสวยงาม โดยเสียค่าใช้จ่ายใน

ราคาที่ย่อมเยากว่าในอดีตเป็นอันมาก อย่างไรก็ตามการนำเสนอข้อมูลในรูปแบบของแผนที่จำเป็นที่จะต้องระลึกอยู่เสมอว่าแผนที่ที่นำเสนอจะต้องเป็นไปตามมาตรฐานสากล ไม่ว่าจะเป็นรูปแบบ รายละเอียด สัญลักษณ์ที่ใช้ และลักษณะของการนำเสนอ เพื่อให้ผลลัพธ์ที่ได้มีมาตรฐานและเป็นที่ยอมรับของผู้ใช้ในที่สุด

ตัวอย่างของการนำเสนอข้อมูลในรูปแบบของแผนที่จะดูได้ที่ภาพที่ 4.6 แผนที่การใช้ที่ดินของจังหวัดนครศรีธรรมราช



ภาพที่ 4.6 *แผนที่การใช้ที่ดินของจังหวัดนครศรีธรรมราช พ.ศ.2548 แปลจากข้อมูลจากดาวเทียม LANDSAT 5*

ที่มา : สถานวิจัยสารสนเทศภูมิศาสตร์ฯ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

9. ข้อมูล (Data)

9.1 นิยามและความหมาย มีผู้ให้คำนิยามข้อมูลไว้หลายท่านด้วยกัน อาทิเช่น

- ข้อมูล คือ ข้อเท็จจริง ภาพ (Images) หรือเสียง (Sounds) ที่อาจจะ (หรือไม่) แก้ไขปัญหา (Pertinent) หรือเป็นประโยชน์ต่อการปฏิบัติงาน (Alter 1996)

- ข้อมูล คือ ข้อเท็จจริงที่แทนเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นภายในองค์การ หรือสิ่งแวดล้อมทางกายภาพก่อนที่จะมีการจัดระบบให้เป็นรูปแบบที่คนสามารถเข้าใจ และนำไปใช้ได้ (Laudon and Laudon, 1999)

- ข้อมูล คือ คำอธิบายพื้นฐานเกี่ยวกับสิ่งของ เหตุการณ์ กิจกรรม หรือธุรกรรม ซึ่งได้รับการบันทึก จำแนก และเก็บรักษาไว้ โดยที่ยังไม่ได้เก็บให้เป็นระบบ เพื่อที่จะให้ความหมายอย่างใดอย่างหนึ่งที่แน่ชัด (Turban, McLean and Wetherbe, 2001)

- ข้อมูล ประกอบไปด้วยข้อเท็จจริง (Raw facts) เช่น ชื่อลูกค้า ตัวเลขเกี่ยวกับจำนวนชั่วโมงที่ทำงานในแต่ละสัปดาห์ ตัวเลขเกี่ยวกับสินค้าคงคลัง หรือรายการสั่งของ (Stair and Reynolds, 2001)

จากคำนิยามข้อมูลต่างๆ ที่กล่าวมา พอสรุปได้ว่า ข้อมูล คือ ข้อเท็จจริง หรือเหตุการณ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นอยู่ในรูปตัวเลข ตัวอักษร เสียง กลิ่น หรือสัญลักษณ์ แบบใดแบบหนึ่งหรือผสมกัน ข้อมูลที่ดีต้องมีความถูกต้องแม่นยำเป็นปัจจุบัน และถูกจัดเก็บไว้อย่างเป็นระบบ เพื่อสามารถนำมาอ้างอิงได้ นอกจากนั้นข้อมูลยังถูกแก้ไขหรือปรับแต่งได้ในภายหลังตามวัตถุประสงค์ของข้อมูล

9.2 สารสนเทศ (Information)

สารสนเทศ คือ ข้อมูลชนิดหนึ่งที่ได้ผ่านกรรมวิธีจัดการข้อมูล (Data manipulation) จนมีเนื้อหาและรูปแบบที่ตรงกับความต้องการ และเหมาะสมต่อการนำไปใช้

กรรมวิธีจัดการข้อมูล ได้แก่ การปรับเปลี่ยน การจัดรูปแบบใหม่ การกลั่นกรอง และการสรุป ดังนั้นสารสนเทศเป็นข้อมูลที่ถูกจัดเก็บอย่างเป็นระบบ และอยู่ในรูปแบบที่นำไปใช้ได้ทันทีตามวัตถุประสงค์ของผู้ใช้ หรือผู้ที่เกี่ยวข้อง ช่วยในการตัดสินใจ สารสนเทศมีรูปแบบต่างๆ เช่น หนังสือ วารสาร หนังสือพิมพ์ แผนที่ แผ่นใส หรือวีดิทัศน์ เป็นต้น

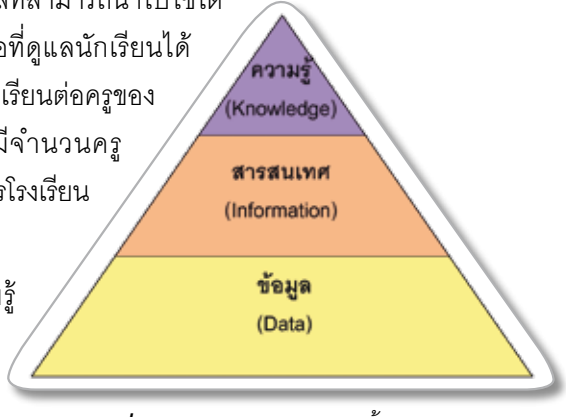
สรุปได้ว่าข้อมูลมีความแตกต่างจากสารสนเทศ คือ ข้อมูลเป็นส่วนของข้อเท็จจริง โดยได้จากการเก็บมาจากเหตุการณ์ต่างๆ ส่วนสารสนเทศเป็นข้อมูลที่นำมาผ่านกรรมวิธีจัดการข้อมูลมาแล้ว ให้อยู่ในรูปที่สามารถนำไปใช้หรือนำไปช่วยในการตัดสินใจได้ทันที ดังตัวอย่างแสดงข้อแตกต่างระหว่างข้อมูลและสารสนเทศ

ข้อมูล : นักเรียนในโรงเรียนประถมแห่งหนึ่งมีจำนวน 2,000 คน มีจำนวนครู 50 คน

สารสนเทศ : อัตรานักเรียนต่อครูในโรงเรียน = 2,000/50 = 40

จากตัวอย่าง แสดงให้เห็นว่าสารสนเทศเป็นข้อมูลที่สามารถนำไปใช้ได้ทันที เช่น ถ้าต้องการทราบว่า โรงเรียนใดที่มีจำนวนครูเพียงพอที่ดูแลนักเรียนได้ทั่วถึงมากกว่ากัน ก็สามารถทำได้โดยการหาค่าอัตราส่วนของนักเรียนต่อครูของแต่ละโรงเรียนมาเปรียบเทียบกัน ก็จะทราบว่าโรงเรียนใดที่มีจำนวนครูไม่เพียงพอ เป็นข้อมูลเบื้องต้นที่ช่วยในการตัดสินใจสำหรับผู้บริหารโรงเรียนหรือผู้ปกครองในการส่งบุตรหลานเข้าเรียน

ทั้งข้อมูลและสารสนเทศเป็นพื้นฐานของความรู้ โดยข้อมูลถูกประมวลผลออกมาเป็นสารสนเทศ จากสารสนเทศนำไปสู่ความรู้ ดังแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกันและกันได้ในรูปพีระมิดแสดงลำดับชั้นของความรู้ (ภาพที่ 4.7)



***ภาพที่** 4.7 พีระมิดแสดงลำดับชั้นของความรู้*

9.3 การจำแนกประเภทข้อมูล

การจำแนกประเภทข้อมูลมีหลายแบบ ในที่นี้จะกล่าวถึงการจำแนกประเภทข้อมูลตามแหล่งที่มา ซึ่งมี 2 ประเภท คือ ข้อมูลปฐมภูมิ (Primary data) และข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary data)

ข้อมูลปฐมภูมิ เป็นข้อมูลที่ผู้ใช้เป็นผู้ทำการเก็บข้อมูลด้วยตนเองด้วยวิธีต่างๆ เช่น การสัมภาษณ์ การทดลอง การสังเกตการณ์ เป็นการเก็บข้อมูลในภาคสนาม ข้อมูลปฐมภูมิเป็นข้อมูลที่เชื่อถือได้ที่สุด มีรายละเอียดตามวัตถุประสงค์ของผู้เก็บและผู้ใช้ข้อมูล แต่การได้มาของข้อมูลปฐมภูมิมีค่าใช้จ่ายสูง และใช้เวลา

ข้อมูลทุติยภูมิ เป็นข้อมูลที่ผู้ใช้ไม่ได้เก็บรวบรวมเอง แต่เอามาจากผู้อื่นหรือหน่วยงานอื่นทำไว้แล้ว เช่น รายงาน หนังสือพิมพ์ วารสาร สถิติ งานวิจัยที่พิมพ์แล้วหรือยังไม่ได้พิมพ์ ดังนั้นข้อมูลทุติยภูมิอาจมีรายละเอียดไม่เพียงพอ และอาจมีข้อผิดพลาดหรือคลาดเคลื่อนที่ไม่ตรงกับความต้องการของผู้ใช้ และผู้นำมาใช้มักไม่ทราบข้อผิดพลาดดังกล่าว ทำให้การสรุปผลผิดพลาดได้ ดังนั้นผู้นำข้อมูลทุติยภูมิมาใช้ควรตรวจสอบคุณภาพข้อมูลก่อนที่จะนำไปวิเคราะห์ อย่างไรก็ตามการนำเอาข้อมูลทุติยภูมิมาใช้มีค่าใช้จ่ายน้อยและประหยัดเวลากว่าการนำข้อมูลปฐมภูมิมาใช้ค่อนข้างมาก

9.4 คุณสมบัติของข้อมูล

ข้อมูลที่นำไปใช้วิเคราะห์ควรเป็นข้อมูลที่ดี ซึ่งประกอบด้วยคุณสมบัติต่างๆ ดังต่อไปนี้คือ

9.4.1 ความถูกต้อง ข้อมูลที่ดีไม่ควรมีความคลาดเคลื่อนสูง หรือเป็นความคลาดเคลื่อนที่สามารถควบคุมขนาดให้มีค่าน้อยที่สุดได้

9.4.2 ความสมบูรณ์ (Completeness) ข้อมูลที่ดีต้องให้ข้อเท็จจริง และครบถ้วนทุกด้าน การที่ข้อมูลขาดส่วนหนึ่งส่วนใดไป ทำให้ผลการวิเคราะห์ไม่สำเร็จหรือผิดพลาดได้

9.4.3 ตรงประเด็น (Relevance) ข้อมูลที่นำมาใช้ต้องตรงกับความต้องการของผู้ใช้ข้อมูล และเป็นข้อมูลที่ผู้นำมาใช้จำเป็นต้องรับรู้ในเรื่องนั้นๆ

9.4.4 ความสั้นกระชับ (Conciseness) ข้อมูลที่ดีไม่ควรยาวเยิ่นเย้อและกระจัดกระจาย ควรมีเนื้อหาที่กระชับ ทำให้เข้าใจง่าย และสะดวกต่อการค้นหา

9.4.5 ทันสมัย (Timeliness) ข้อมูลที่ดีต้องทันสมัย และทันต่อความต้องการของผู้ใช้ ไม่จำเป็นต้องเป็นข้อมูลที่ผลิตออกมาใหม่ แต่เป็นข้อมูลที่มีเนื้อหาเป็นที่ยอมรับว่าใช้ได้กับเหตุการณ์ปัจจุบัน

9.4.6 ความต่อเนื่อง (Continuity) ข้อมูลที่ดีควรมีการเก็บรวบรวมอย่างต่อเนื่อง ในลักษณะของอนุกรมเวลา (Time series) เพื่อจะได้นำไปใช้ประโยชน์ในด้านการวิเคราะห์วิจัยหรือหาแนวโน้มในอนาคต

9.5 วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล

การเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อนำมาจัดทำเป็นสารสนเทศ โดยทั่วไปมี 5 วิธี ดังนี้

9.5.1 การเก็บรวบรวมจากระบบการรายงาน (Reporting system) เป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลจากรายงานหรือจากเอกสารประกอบการทำงานของหน่วยงานต่างๆ จัดทำไว้ เป็นวิธีการรวบรวมข้อมูลที่เสียค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด

9.5.2 การเก็บรวบรวมจากการขึ้นทะเบียน (Registration) เป็นวิธีการที่คล้ายกับการรวบรวมจากระบบการรายงาน เพียงแต่ข้อมูลจากเอกสารการขึ้นทะเบียน เป็นข้อมูลลักษณะต่อเนื่อง ข้อมูลถูกแก้ไขอย่างต่อเนื่องเพื่อความทันสมัยและถูกต้อง เป็นข้อมูลทางสถิติได้

9.5.3 การเก็บรวบรวมข้อมูลจากการทำสำมะโน (Census) เป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลของกลุ่มตัวอย่างที่ต้องการศึกษาภายในพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่ง ภายในระยะเวลาที่กำหนด ทำให้ได้ข้อมูลระดับรายละเอียดภายในพื้นที่ที่กำหนด เช่น หมู่บ้าน ตำบล อำเภอ ข้อมูลที่ได้เป็นค่าจริงและจัดเป็นข้อมูลเชิงสถิติ

9.5.4 การเก็บรวบรวมข้อมูลจากการสำรวจตัวอย่าง (Sample survey) เป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลจากการสำรวจเฉพาะตัวอย่างที่เลือกไว้แล้ว ข้อมูลที่ได้มาด้วยวิธีนี้เป็นข้อมูลโดยประมาณ การสำรวจเฉพาะตัวอย่างที่เลือกเป็นวิธีเก็บรวบรวมข้อมูลที่เสียค่าใช้จ่ายไม่มากทำกันได้บ่อยตามที่ต้องการ ทั้งในวงการราชการและเอกชน เช่น การหยั่งเสียงประชามติ เป็นต้น

9.5.5 การเก็บรวบรวมข้อมูลจากการออกแบบทดลอง (Experimental design) ส่วนใหญ่แล้วข้อมูลที่เก็บรวบรวมข้อมูลโดยวิธีนี้เป็นข้อมูลด้านวิทยาศาสตร์ที่ต้องมีการออกแบบทดลอง เช่น ข้อมูลการเจริญเติบโตของเชื้อบักเตรีกับอุณหภูมิอากาศ หรืออัตราการผุสลายของวัตถุกับปริมาณความชื้นในอากาศ เป็นต้น

9.6 ข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เป็นระบบที่ใช้ในการจัดการข้อมูลทางภูมิศาสตร์ เนื่องจากข้อมูลที่ปรากฏบนผิวโลกมีจำนวนมากและสลับซับซ้อนเกินกว่าที่การจัดเก็บข้อมูลอย่างอื่น จึงเปลี่ยนข้อมูลบนผิวโลกและจัดเก็บในรูปของตัวเลข ข้อมูลทางภูมิศาสตร์ที่นำมาประมวลในระบบนี้ มี 2 รูปแบบ คือ ข้อมูลเชิงพื้นที่ และข้อมูลที่ไม่ใช่เชิงพื้นที่

9.6.1 ข้อมูลเชิงพื้นที่ เป็นข้อมูลที่เกี่ยวกับตำแหน่งที่ตั้งของข้อมูลต่างๆ บนพื้นโลก หรือเรียกภาษาแผนที่ว่าพิกัด แสดงเป็นสัญลักษณ์ได้ 3 รูปแบบ คือ

- จุด ใช้แสดงข้อมูลที่เป็นลักษณะของตำแหน่งที่ตั้ง ได้แก่ ที่ตั้งอาคาร บ้านเรือน ที่ตั้งศูนย์บริการ ที่ตั้งสำนักงาน เป็นต้น
- เส้น ใช้แสดงข้อมูลที่เป็นลักษณะของเส้น เช่น ถนน แม่น้ำ และทางด่วน เป็นต้น
- พื้นที่ ใช้แสดงข้อมูลที่เป็นลักษณะของพื้นที่ เช่น พื้นที่ขอบเขตการปกครอง หรือพื้นที่อาคาร เป็นต้น

ข้อมูลเชิงพื้นที่จำแนกออกเป็น 2 ประเภท คือ ข้อมูลเชิงทิศทาง และข้อมูลแรสเตอร์

1) ข้อมูลเชิงทิศทาง

แนวดิ่ง (Z) ถ้าเป็นพิกัดตำแหน่งเดียวก็จะเป็นค่าของจุด ถ้าจุดพิกัดสองจุดหรือมากกว่าจะเป็นค่าของเส้น ส่วนพื้นที่นั้นจะต้องมีจุดมากกว่า 3 จุดขึ้นไป และจุดพิกัดเริ่มต้นและจุดพิกัดสุดท้ายจะต้องอยู่ตำแหน่งเดียวกัน เช่น ถนน แม่น้ำ ขอบเขตการปกครอง โรงเรียน เป็นต้น

<u>จุดเด่นของข้อมูลเชิงทิศทาง</u> ได้แก่

- แสดงโครงสร้างข้อมูลเชิงปรากฏการณ์ได้ดี เหมาะสำหรับใช้แทนลักษณะของพื้นที่จึงมีขอบเขตคดโค้ง ทำให้สามารถแบ่งขอบเขตของพื้นที่ได้อย่างชัดเจน
- โครงสร้างข้อมูลกะทัดรัด ไฟล์ข้อมูลมีขนาดเล็กจึงใช้พื้นที่สำหรับการจัดเก็บน้อย
- ความเชื่อมโยงทางทอพอโลยีสามารถทำได้ครบถ้วนด้วยการเชื่อมโยงแบบเครือข่าย
- มีความถูกต้องในเชิงกราฟิก ซึ่งสามารถแทนข้อมูลได้อย่างมีความแม่นยำเชิงตำแหน่ง
- สามารถทำการค้นคืน การแก้ไขกับข้อมูลกราฟิก และลักษณะประจำได้

<u>จุดด้อยของข้อมูลเชิงทิศทาง</u> ได้แก่

- โครงสร้างข้อมูลซับซ้อน
- การวางซ้อนแผนที่เชิงทิศทางหลายๆ แผ่น หรือแผนที่เชิงตารางมีวิธีการที่ยุ่งยาก
- การทดสอบด้วยการจำลองสถานการณ์ทำได้ยาก เพราะแต่ละหน่วยของแผนที่มีโครงสร้างที่ต่างกัน
- การแสดงและเขียนเป็นแผนที่เสียค่าใช้จ่ายสูง โดยเฉพาะการแสดงสีและสัญลักษณ์ที่มีคุณภาพสูง
- การวิเคราะห์พื้นที่และการกรองรายละเอียดภายในรูปหลายเหลี่ยมแทบจะเป็นไปไม่ได้

2) ข้อมูลแรสเตอร์ คือ ข้อมูลที่มีโครงสร้างเป็นช่องเหลี่ยม เรียกว่า จุดภาพ หรือเซลล์ตาราง ที่เรียงต่อเนื่องกันทั้งในแนวราบและแนวดิ่ง ในแต่ละจุดภาพสามารถเก็บค่าได้ 1 ค่า ความละเอียดของข้อมูลขึ้นอยู่กับขนาดของเซลล์ ณ จุดพิกัดนั้นๆ ค่าจุดภาพแต่ละค่าสามารถเป็นได้ทั้งข้อมูลลักษณะสัมพันธ์ หรือรหัสที่ใช้อ้างอิงถึงข้อมูลลักษณะสัมพันธ์ที่เก็บอยู่ในฐานข้อมูลก็ได้ ข้อมูลแรสเตอร์สามารถแปรรูปมาจาก หรือแปรเปลี่ยนเป็นข้อมูลเชิงทิศทางได้ แต่มักเกิดความคลาดเคลื่อนระหว่างการแปรรูปข้อมูล

<u>จุดเด่นของข้อมูลแรสเตอร์</u> คือ

- มีโครงสร้างข้อมูลที่ไม่ซับซ้อน การประมวลผลค่าจุดภาพสะดวก
- การวางซ้อนและการรวมข้อมูลทำได้ง่าย ช่วยให้การวิเคราะห์ทางพื้นที่ในแบบต่างๆ ไม่ยุ่งยากนัก
- การทดสอบด้วยการจำลองสถานการณ์ทำได้ง่าย เพราะหน่วยพื้นที่มีรูปร่างและขนาดเท่าๆ กัน
- เหมาะสมกับข้อมูลที่ใช้แทนลักษณะของพื้นผิวที่มีความต่อเนื่องกัน

<u>จุดด้อยของข้อมูลแรสเตอร์</u> คือ

- ข้อมูลรูปภาพมีขนาดใหญ่ ใช้พื้นที่ในการจัดเก็บมาก
- ถ้าลดขนาดพื้นที่จัดเก็บข้อมูล โดยใช้ช่องตารางขนาดใหญ่ขึ้นทำให้สูญเสียโครงสร้างข้อมูล
- ไม่เหมาะสมในการแทนข้อมูลที่เป็นเส้นโค้ง หรือแทนตำแหน่งของจุดเพราะต้องใช้ 1 จุดภาพสำหรับตำแหน่ง 1 ตำแหน่ง
- แผนที่แรสเตอร์มักหยาบกว่าแผนที่ที่เขียนด้วยเส้น
- การสร้างเครือข่ายเชื่อมโยงทำได้ยาก
- การแปลงเส้นโครงแผนที่ต้องใช้เวลามาก เว้นแต่ใช้ขั้นตอนวิธีหรือฮาร์ดแวร์พิเศษ

9.6.2 ข้อมูลที่ไม่ใช่เชิงพื้นที่ มี 3 ลักษณะ คือ ข้อมูลเชิงปริมาณ ข้อมูลเชิงคุณภาพ และข้อมูลลักษณะประจำ สำหรับอธิบายถึงคุณลักษณะต่างๆ ในพื้นที่นั้นๆ เช่น ข้อมูลของอาคารภายในเขตเทศบาล ได้แก่ ที่อยู่ ประเภทอาคาร เป็นต้น ข้อมูลที่ไม่ใช่เชิงพื้นที่ แบ่งออกได้ 2 ประเภท คือ ตารางข้อมูลที่เชื่อมโยงกับกราฟิก (Graphic table) และตารางข้อมูลที่ไม่เชื่อมโยงกับกราฟิก (Non-graphic table)

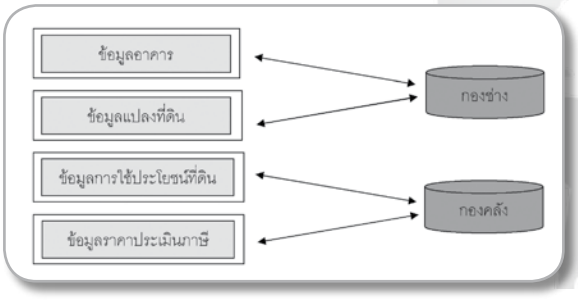
9.7 ฐานข้อมูลและระบบการจัดการฐานข้อมูล (Database and database management system)

9.7.1 ฐานข้อมูลและกรรมวิธีข้อมูล (Database and data process)

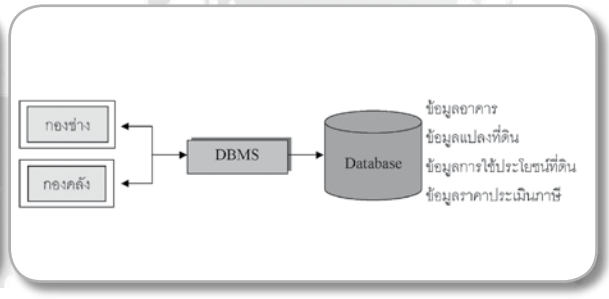
รูปแบบการจัดเก็บข้อมูลแต่เดิมแบบแฟ้มข้อมูล ต่อมาได้มีการจัดข้อมูลให้อยู่ในรูปฐานข้อมูล เพื่อลดปัญหาการซ้ำซ้อนของข้อมูล (Data redundancy) และความขัดแย้งกันของข้อมูล อันมีสาเหตุจากการแก้ไขข้อมูล (Modification anomaly) การเพิ่มข้อมูล (Insertion anomaly) และการลบข้อมูล (Deletion anomaly) เป็นต้น ปัญหาเหล่านี้ ทำให้การวิเคราะห์ไม่ถูกต้องและขาดประสิทธิภาพ

รูปแบบฐานข้อมูลแตกต่างรูปแบบแฟ้มข้อมูล โดยฐานข้อมูลเป็นการนำเอาข้อมูลต่างๆ ที่มีความสัมพันธ์กันซึ่งแต่เดิมจัดเก็บอยู่ในแต่ละแฟ้มข้อมูลมาจัดเก็บไว้ในที่เดียวกัน เช่น ข้อมูลอาคาร ข้อมูลแปลงที่ดิน ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน ข้อมูลราคาประเมินภาษี ซึ่งเป็นข้อมูลด้านการจัดเก็บภาษีในเทศบาล และมีการจัดเก็บข้อมูลไว้ในแต่ละฝ่ายที่รับผิดชอบ (ภาพที่ 4.8) เมื่อนำข้อมูลที่จัดเก็บในรูปแบบแฟ้มข้อมูล มาจัดเก็บอยู่ในแหล่งเดียวกันเป็นรูปแบบของฐานข้อมูล คือ ฐานข้อมูลของเทศบาล (ภาพที่ 4.9) ส่งผลให้สามารถใช้ข้อมูลร่วมกัน และสามารถแก้ไขปัญหาที่เกิดจากการใช้งานข้อมูลแบบแฟ้มข้อมูลกรณีต่างๆ ได้ ข้อมูลที่จะนำมาจัดเก็บเป็นฐานข้อมูลได้นั้นจะต้องเป็น

ข้อมูลที่มีความสัมพันธ์กัน และสนับสนุนการดำเนินการอย่างใดอย่างหนึ่งขององค์กร ซึ่งจะเรียกว่า ระบบฐานข้อมูล (Database system)



***ภาพที่** 4.8 การจัดเก็บแบบแฟ้มข้อมูล*



***ภาพที่** 4.9 การจัดเก็บข้อมูลแบบฐานข้อมูล*

9.7.2 การจัดการแฟ้มข้อมูลและองค์ประกอบของฐานข้อมูล

ในการดำเนินการต่างๆ กับแฟ้มข้อมูลนั้น ต้องจำแนกประเภทของแฟ้มข้อมูลก่อน เพื่อกำหนดลักษณะการดำเนินการที่จะกระทำต่อแฟ้มข้อมูลนั้นได้อย่างชัดเจน ซึ่งรูปแบบของแฟ้มข้อมูลในปัจจุบันสามารถจำแนกได้ดังนี้

1) ประเภทแฟ้มข้อมูล

- แฟ้มต้นฉบับ (Master file) เป็นแฟ้มข้อมูลที่จัดเก็บข้อมูลที่มักจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงหรือมีสภาพค่อนข้างคงที่ เช่น แฟ้มข้อมูลประวัติบุคคล จะประกอบด้วยข้อมูลต่างๆ เช่น หมายเลขบัตรประจำตัวประชาชน ชื่อ-สกุล ที่อยู่ ซึ่งการปรับปรุงแก้ไขข้อมูลในแฟ้มต้นฉบับเพื่อให้ทันสมัยนั้น สามารถทำได้ 3 รูปแบบด้วยกัน คือ การเพิ่ม การลบออก และการแก้ไข

- แฟ้มดำเนินการ (Transaction file) เป็นแฟ้มข้อมูลที่จัดเก็บข้อมูลการดำเนินธุรกรรมประจำวันที่มีการเคลื่อนไหวอยู่เสมอ เช่น การเปลี่ยนแปลงของข้อมูลเงินฝากของบุคคลต่างๆ ในแต่ละวัน

- แฟ้มเอกสาร (Document file) เป็นแฟ้มข้อมูลเอกสารหรือแฟ้มข้อมูลรายงานต่างๆ ที่เคยผ่านกระบวนการพิมพ์ด้วยโปรแกรมมาก่อน และทำการจัดเก็บในรูปของไฟล์เอกสารด้วยการสำเนาเก็บไว้ในคอมพิวเตอร์ เมื่อต้องการใช้งานก็สามารถเรียกขึ้นมาใช้งานได้อย่างรวดเร็ว เพราะไม่ต้องผ่านโปรแกรมเพื่อประมวลผลเป็นรายงานอีก

- แฟ้มเอกสารสำคัญ (Archival file) เป็นแฟ้มข้อมูลที่บรรจุไปด้วยแฟ้มต้นฉบับ และแฟ้มดำเนินการ ซึ่งประกอบด้วยบันทึกประวัติการลบหรือเคลื่อนย้ายจากสื่ออุปกรณ์แบบออนไลน์ (Online storage) ไปจัดเก็บไว้ในสื่ออุปกรณ์ที่เป็นแบบออฟไลน์ (Offline storage) แฟ้มเอกสารสำคัญเป็นแฟ้มข้อมูลที่อาจจำเป็นต้องจัดเก็บไว้ตามระเบียบหรือข้อกำหนดต่างๆ ของหน่วยงานเพื่อใช้ในการตรวจสอบทั้งในปัจจุบันและอนาคต

- แฟ้มสำหรับค้นหา (Table look-up file) เป็นแฟ้มข้อมูลหรือตารางที่ใช้สำหรับการอ้างอิง เพื่อใช้ร่วมงานกันโดยข้อมูลต่างๆ ที่จัดเก็บลงในแฟ้มข้อมูลนี้ค่อนข้างคงที่หรือมักไม่ค่อยเปลี่ยนแปลงใดๆ เช่น ตารางรหัสไปรษณีย์ ตารางรหัสจังหวัด เป็นต้น

- แฟ้มตรวจสอบ (Audit file) เป็นแฟ้มข้อมูลพิเศษชนิดหนึ่งที่จัดเก็บบันทึกที่ถูกปรับปรุงให้ทันสมัยลงในแฟ้มข้อมูลต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในแฟ้มต้นฉบับ และแฟ้มดำเนินการ ซึ่งจะใช้ร่วมกันกับแฟ้มเอกสารสำคัญ

ในการกู้คืนข้อมูลที่สูญหาย แฟ้มข้อมูลประเภทนี้มักจะถูกกำหนดไว้ในระบบฐานข้อมูลเพื่อให้สามารถกู้คืนระบบในกรณีที่ข้อมูลเกิดความเสียหายในระหว่างการประมวลผล

- ในการจัดการแฟ้มข้อมูลต่างๆ ให้อยู่ในรูปแบบของฐานข้อมูลนั้นจะต้องมีการจัดเตรียมองค์ประกอบด้านต่างๆ เพื่อที่จะให้ฐานข้อมูลที่ทำการสร้างขึ้นมานั้นสามารถตอบสนองต่อความต้องการหรือสามารถดำเนินการได้ตามวัตถุประสงค์ของหน่วยงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ตลอดจนสามารถดูแลควบคุมการใช้งานแฟ้มข้อมูลประเภทต่างๆ ให้เป็นไปตามความเหมาะสมและนโยบายในการใช้ข้อมูลของหน่วยงานอย่างเคร่งครัด

2) องค์ประกอบของฐานข้อมูล จากที่ทราบแล้วว่า ฐานข้อมูลเป็นวิธีการที่จะเก็บข้อมูลที่สัมพันธ์กันไว้ในแหล่งเดียวกัน และรวบรวมข้อมูลที่ไม่ซ้ำซ้อนและสามารถใช้ข้อมูลร่วมกันได้อย่างเป็นระบบ เพื่อให้สะดวกต่อการเรียกใช้ สามารถแก้ไขได้ง่าย สำหรับผู้ใช้จำนวนมาก และสามารถป้องกันไม่ให้ผู้ไม่มีสิทธิ์เข้าถึงข้อมูลได้ ซึ่งในการจัดทำฐานข้อมูลเพื่อใช้ภายในองค์กรหรือหน่วยงานใดๆ ก็ตามจะต้องมีการจัดเตรียมองค์ประกอบต่างๆ เพื่อที่จะให้ฐานข้อมูลที่จัดทำขึ้นให้เป็นระบบฐานข้อมูลที่สามารถใช้ประโยชน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยสามารถจำแนกองค์ประกอบที่สำคัญของระบบฐานข้อมูลที่สำคัญได้ดังนี้

- ข้อมูล ข้อมูลแต่ละส่วนจะต้องสามารถนำมาใช้ประโยชน์ประกอบกันได้ (Data integrated) ซึ่งข้อมูลที่จะนำมาใช้ในระบบฐานข้อมูลได้นั้นจะต้องมีคุณสมบัติที่พึงประสงค์ ได้แก่

  • มีความถูกต้อง และอยู่บนพื้นฐานของความเป็นจริง เช่น ในกรณีที่มีการจัดทำข้อมูลเกี่ยวกับการจัดเก็บภาษีโรงเรือนในพื้นที่ จะปรากฏข้อมูลของโรงเรือนชำระภาษีแล้วโดยกำหนดเป็น Y กับโรงเรือนที่ยังไม่ได้ชำระภาษีโดยกำหนดเป็น N เป็นต้น

  • ข้อมูลจะต้องไม่มีความซ้ำซ้อนกัน เช่น ต้องไม่มีการเก็บข้อมูลชุดเดียวกันอยู่ใน 2 แฟ้มข้อมูลหรือมากกว่า ซึ่งจะก่อให้เกิดความขัดแย้งของข้อมูลตามมาในภายหลัง

  • ข้อมูลในฐานข้อมูลจะต้องมีการใช้งานร่วมกัน (Data sharing) จากผู้ใช้หลายๆ คนได้

- คอมพิวเตอร์ฮาร์ดแวร์ (Computer hardware) เป็นอุปกรณ์ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับระบบฐานข้อมูล โดยสามารถจำแนกได้ 3 ประเภท ได้แก่

  • หน่วยประมวลผลและหน่วยความจำหลัก ทำหน้าที่ในการนำข้อมูลจากฐานข้อมูลขึ้นมาประมวลผลตามคำสั่งที่กำหนด ดังนั้นสิ่งที่จำเป็นต้องคำนึงถึงในส่วนนี้คือ ความเร็วในการประมวลผล และขนาดของหน่วยความจำหลักของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่นำมาใช้ในการประมวลผลร่วมกับฐานข้อมูล

  • หน่วยความจำสำรอง ทำหน้าที่ในการจัดเก็บข้อมูลของฐานข้อมูล ดังนั้นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงในอุปกรณ์ส่วนนี้จึงได้แก่ ปริมาณความจุของหน่วยความจำสำรองที่นำมาใช้ในการบันทึกข้อมูลของฐานข้อมูลนั้น

  • อุปกรณ์การเชื่อมต่อเครือข่าย ทำหน้าที่ในการส่งผ่านข้อมูลระหว่างเครื่องที่ทำงานอยู่ภายใต้ระบบฐานข้อมูลเดียวกัน ดังนั้นสิ่งจำเป็นที่จะต้องคำนึงถึงสำหรับอุปกรณ์ส่วนนี้คือ อัตราความเร็วในการส่งผ่านข้อมูลระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์

- คอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์ (Computer software) ซอฟต์แวร์ที่มีบทบาทสำคัญในระบบฐานข้อมูล ซึ่งทำหน้าที่ในการจัดการระบบฐานข้อมูล ได้แก่ DBMS (Database Management System) มีหน้าที่ในการจัดการและควบคุมความถูกต้อง ความซ้ำซ้อน และความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลต่างๆ ภายในฐานข้อมูล ส่งผลให้ผู้ใช้สามารถที่จะ

เรียกใช้ข้อมูลจากฐานข้อมูลได้โดยไม่จำเป็นที่จะต้องทราบถึงโครงสร้างทางกายภาพของข้อมูล เนื่องจากในซอฟต์แวร์ DBMS จะมีส่วนของภาษาสำหรับการสืบค้นข้อมูล (Query language) ซึ่งเป็นภาษาที่ประกอบด้วยคำสั่งต่างๆ ที่ใช้ในการจัดการ และเรียกใช้ข้อมูลจากฐานข้อมูล ซึ่งสามารถนำไปใช้ร่วมกับภาษาคอมพิวเตอร์อื่นๆ เพื่อพัฒนาเป็นโปรแกรมที่ใช้สำหรับเรียกใช้ข้อมูลจากฐานข้อมูลมาประมวลผลได้

- ผู้ใช้ระบบฐานข้อมูล (User) ผู้ที่เรียกใช้ข้อมูลจากระบบฐานข้อมูลมาใช้งาน สามารถแบ่งออกเป็นระดับต่างๆ ได้ดังนี้

• นักเขียนโปรแกรมประยุกต์ (Application programmer) ได้แก่ ผู้ที่ทำหน้าที่พัฒนาโปรแกรมเพื่อเรียกใช้ข้อมูลจากระบบฐานข้อมูลมาประมวลผล โดยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นส่วนใหญ่ มักจะใช้ร่วมกับคำสั่งประเภท Data Manipulation Language (DML) ของภาษาสำหรับการสืบค้นข้อมูล

• ผู้ใช้งานทั่วไป (End user) แบ่งออกเป็น 2 ระดับ คือ

* Naive user ได้แก่ ผู้ใช้ที่เรียกใช้ข้อมูลจากฐานข้อมูลโดยอาศัยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น

* Sophisticated user ได้แก่ ผู้ที่เรียกใช้ข้อมูลจากฐานข้อมูลด้วยประโยคคำสั่งของภาษาสำหรับการสืบค้นข้อมูล ซึ่งซอฟต์แวร์ด้านฐานข้อมูลโดยทั่วไปจะอนุญาตให้ผู้ใช้งานสามารถใช้งานประโยคคำสั่งของภาษาสำหรับการสืบค้นข้อมูลเพื่อเรียกใช้ข้อมูลจากฐานข้อมูลได้โดยตรง

• ผู้กำกับดูแลฐานข้อมูล (Database Administrator : DBA) ได้แก่ ผู้บริหารที่ทำหน้าที่ควบคุมและตัดสินใจในการกำหนดโครงสร้างของฐานข้อมูล ชนิดของข้อมูล วิธีการจัดเก็บข้อมูล รูปแบบในการเรียกใช้ข้อมูล ความปลอดภัยของข้อมูล และกฎระเบียบที่ใช้ในการควบคุมความถูกต้องของข้อมูลภายในฐานข้อมูล โดยอาศัยคำสั่งประเภท Data Definition Language (DDL) ซึ่งเป็นอีกส่วนหนึ่งของประโยคคำสั่งของภาษาสำหรับการสืบค้นข้อมูล

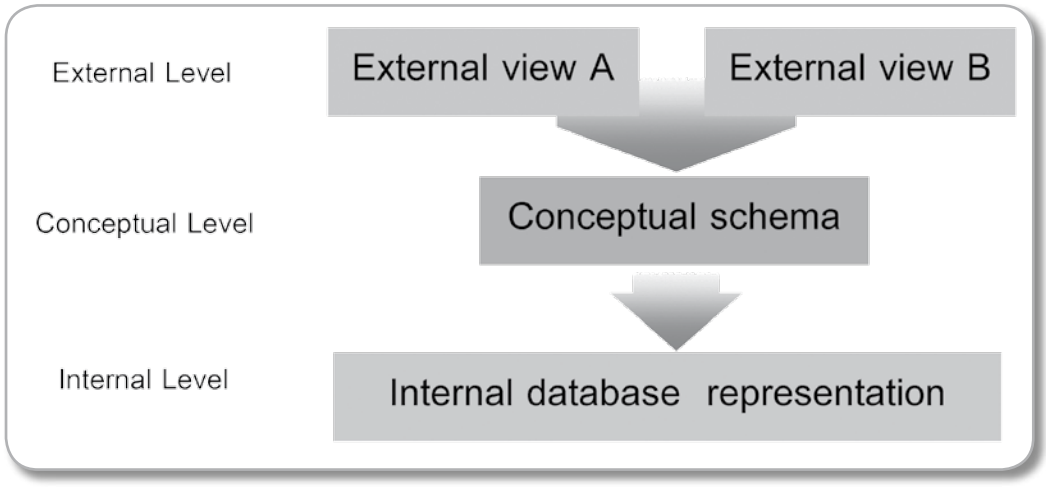
9.7.3 สถาปัตยกรรมระบบฐานข้อมูล สถาปัตยกรรมของระบบฐานข้อมูล

เป็นการอธิบายถึงรูปแบบและโครงสร้างของข้อมูลภายในระบบฐานข้อมูลโดยทั่วไปในระดับแนวความคิด โดยไม่ขึ้นอยู่กับโครงสร้างของระบบฐานข้อมูลนั้นๆ สำหรับสถาปัตยกรรมของระบบฐานข้อมูลที่นิยมใช้ ได้แก่ ANSI/ SPARC (American National Standards Institute/System Requirements Committee) กำหนดขึ้นโดย Study on database management system ซึ่งได้แบ่งสถาปัตยกรรมออกเป็น 3 ระดับ ดังนี้ (ภาพที่ 4.10)

1) สถาปัตยกรรมในระดับภายนอก (External level) เป็นการกำหนดรูปแบบการใช้งานจากภายนอก ซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามมุมมองของผู้ใช้งานฐานข้อมูล ซึ่งในส่วนนี้จะไม่ใช่รูปร่างและส่วนโครงสร้างของข้อมูลที่แท้จริง เพียงแต่จะถูกกำหนดให้ผู้ใช้สามารถใช้ข้อมูลในมุมมองต่างๆ ได้โดยการอาศัยภาษาคอมพิวเตอร์ในการเรียกใช้ข้อมูลนั้นๆ ขึ้นมาแสดงผลระเบียน (Record) ที่อยู่ในสถาปัตยกรรมนี้เรียกว่า ระเบียนภายนอก (External record) เนื่องจากไม่ใช่ระเบียนที่แท้จริงที่เก็บอยู่ในฐานข้อมูล แต่จะเป็นระเบียนที่มีรูปแบบตามที่ผู้ใช้แต่ละคนกำหนด เช่น ผู้ใช้ที่ใช้คำสั่ง Data Manipulation Language (DML) เพื่อเรียกใช้ข้อมูลสามารถกำหนดลำดับของเขตข้อมูล (Field) ในการแสดงผลได้ตามที่ตนต้องการ โดยไม่จำเป็นต้องเป็นไปตามลำดับจริงในฐานข้อมูล เป็นต้น และจากระเบียนในระดับนี้เป็นระเบียนภายนอก จึงส่งผลให้โครงสร้างของข้อมูลในระดับภายนอก (External schema) นี้ไม่ใช่โครงสร้างของข้อมูลที่แท้จริงด้วยเช่นเดียวกัน เนื่องจากโครงสร้างที่กำหนดไว้เมื่อตอนสร้างฐานข้อมูลด้วยกลุ่มคำสั่ง DDL จะไม่ใช่โครงสร้างของข้อมูลที่แท้จริงที่จัดเก็บอยู่ในฐานข้อมูล

2) สถาปัตยกรรมในระดับแนวคิด (Conceptual level) เป็นระดับสถาปัตยกรรมทางด้านฐานข้อมูลที่กล่าวถึงโครงสร้างฐานข้อมูลในระดับแนวคิด ซึ่งเป็นภาพของโครงสร้างข้อมูลที่ใช้แทนโครงสร้างทางกายภาพของข้อมูลที่แท้จริงในฐานข้อมูล เพื่อให้ง่ายต่อการอธิบายถึงโครงสร้างของข้อมูลต่างๆ ที่เก็บอยู่ในฐานข้อมูลนั้นๆ ดังนั้นภาพของระเบียนที่เห็นในสถาปัตยกรรมระดับนี้ จะเรียกว่า ระเบียนระดับแนวคิด (Conceptual record) ซึ่งไม่จำเป็นที่จะต้องมีโครงสร้างเช่นเดียวกันกับโครงสร้างของระเบียนภายนอก และโครงสร้างทางกายภาพของระเบียนที่เก็บอยู่จริง ในการนำเสนอโครงสร้างของข้อมูลระเบียนระดับแนวคิดที่เรียกว่าโครงสร้างระดับแนวคิด (Conceptual schema) จะต้องใช้ภาษาสำหรับการนำเสนอที่มีคุณสมบัติของ Data independence กล่าวคือ ต้องไม่มีการนำเสนอที่ขึ้นอยู่กับโครงสร้างทางกายภาพในการจัดลำดับที่ของเขตข้อมูล โครงสร้างของดัชนี (Index) หรืออื่นๆ แต่ต้องมุ่งเน้นที่จะนำเสนอเฉพาะโครงสร้างข้อมูลโดยทั่วไปของข้อมูลในฐานข้อมูล และถ้าโครงสร้างระดับแนวคิด มีคุณสมบัติแบบ Data independence แล้ว จะส่งผลให้โครงสร้างภายนอก มีคุณสมบัติ Data independence ตามไปด้วย เนื่องจากโครงสร้างภายนอกกำหนดขึ้นจากโครงสร้างระดับแนวคิด

3) สถาปัตยกรรมระดับภายใน (Internal level) เป็นระดับสถาปัตยกรรมที่กล่าวถึงโครงสร้างข้อมูลของระเบียนในระดับที่ใกล้เคียงกับโครงสร้างข้อมูลจริงของระเบียนที่จัดเก็บไว้ในหน่วยความจำสำรองมากที่สุด ระเบียนของสถาปัตยกรรมระดับนี้จะเรียกว่า ระเบียนภายใน (Internal record) ส่วนโครงสร้างข้อมูลของระเบียนของสถาปัตยกรรมระดับนี้จะเรียกว่า โครงสร้างภายใน (Internal schema) ซึ่งโครงสร้างข้อมูลในระดับนี้ยังอยู่ในระดับที่เหนือกว่าโครงสร้างข้อมูลในระดับกายภาพ กล่าวคือ โครงสร้างระเบียนภายใน จะเป็นเพียงการนำเสนอโครงสร้างข้อมูลที่กล่าวถึงเนื้อที่ที่ใช้ในการจัดเก็บ ลำดับที่ ประเภทข้อมูล ดัชนีที่ใช้ และอื่นๆ ซึ่งจะใช้เป็นข้อมูลที่นำไปใช้กำหนดโครงสร้างทางกายภาพที่แท้จริง ที่ใช้ในการจัดเก็บข้อมูลในหน่วยความจำสำรอง



ภาพที่ 4.10 *แสดงสถาปัตยกรรมฐานข้อมูล*
ที่มา: http://ksi.cpsc.ucalgary.ca/KAW/KAW96/laresgoiti/k02.gif

9.7.4 แบบจำลองข้อมูล (Data model) จากสถาปัตยกรรมของฐานข้อมูลในระดับต่างๆ ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว เป็นการกำหนดระดับการจัดทำฐานข้อมูลในระดับต่างๆ ซึ่งสิ่งที่จะสามารถถ่ายทอดรูปแบบของสถาปัตยกรรมให้เป็นรูปธรรมมากขึ้นก็คือ การจัดทำแบบจำลองข้อมูล ซึ่งเป็นสิ่งที่สามารถอธิบายถึงรายละเอียดต่างๆ ของการออกแบบฐานข้อมูลสำหรับการปฏิบัติงานจริง รวมทั้งสามารถอธิบายถึงโครงสร้างข้อมูลแบบต่างๆ ได้อย่างชัดเจน แบบจำลองของข้อมูลเป็นแบบจำลองที่ใช้ในการอธิบายถึงโครงสร้าง และความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลภายใน

ฐานข้อมูลจากรูปแบบที่เป็นแนวคิดซึ่งยากแก่การทำความเข้าใจให้อยู่ในรูปแบบที่สามารถเข้าใจและจับต้องได้ง่ายขึ้น สามารถจำแนกประเภทของแบบจำลองข้อมูลได้ 2 ประเภท ดังนี้

1) แบบจำลองแนวคิด (Conceptual model) เป็นแบบจำลองที่นำไปใช้ในการออกแบบฐานข้อมูล เพื่อต้องการอธิบายให้เห็นว่า ภายในฐานข้อมูลจะประกอบด้วยข้อมูลอะไรบ้าง แต่ละข้อมูลมีความสัมพันธ์กันอย่างไร ดังนั้นแบบจำลองในกลุ่มนี้จึงประกอบสัญลักษณ์ที่ใช้แทนตัวข้อมูล คุณสมบัติข้อมูลและความสัมพันธ์ต่างๆ สำหรับตัวอย่างฐานข้อมูลประเภทนี้ได้แก่ Entity-Relationship model (E-R model) และ Object-oriented model

2) แบบจำลองนำไปปฏิบัติ (Implementation model) เป็นแบบจำลองที่ถูกนำมาใช้อธิบายถึงโครงสร้างของฐานข้อมูลแต่ละประภทที่ถูกคิดค้นขึ้น ได้แก่ แบบจำลองลำดับขั้น (Hierarchical model) แบบจำลองฐานข้อมูลโครงข่าย (Network database model) และแบบจำลองฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ (Relational database model)

9.7.5 ประเภทความสัมพันธ์ของข้อมูล ในการที่จะทำความเข้าใจเกี่ยวกับแบบจำลองข้อมูลประเภทต่างๆ จำเป็นต้องมีความเข้าใจเกี่ยวกับความสัมพันธ์ในฐานข้อมูลเสียก่อน เนื่องจากความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลต่างๆ ที่จัดเก็บอยู่ในฐานข้อมูล จัดเป็นส่วนที่สำคัญที่มีผลต่อโครงสร้างฐานข้อมูล และใช้เป็นส่วนที่ใช้แบ่งฐานข้อมูลออกเป็นฐานข้อมูลประเภทต่างๆ

1) ความสัมพันธ์แบบหนึ่งต่อหนึ่ง (One-to-One) เป็นความสัมพันธ์ที่มีลักษณะไม่ซับซ้อน กล่าวคือ 1 ระเบียน ในตารางหนึ่งจะมีความสัมพันธ์กับอีกระเบียน 1 ในอีกตารางหนึ่งเท่านั้น ไม่สามารถมีเกิน 1 ได้ เช่น ตารางเลขที่เอกสารสิทธิที่ดิน กับตารางขนาดแปลงที่ดิน ดังแสดงในตัวอย่างภาพที่ 4.11

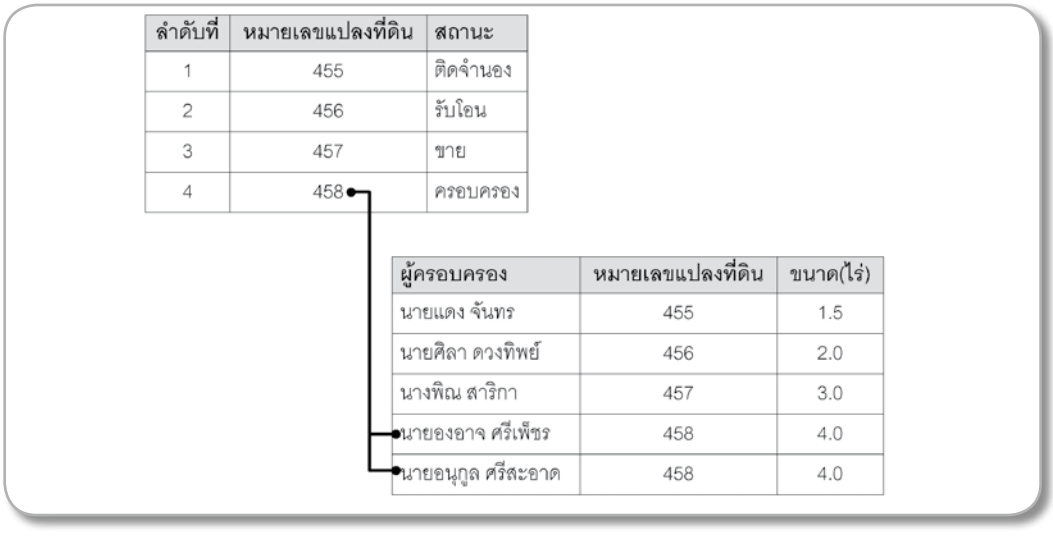
ลำดับที่	หมายเลขแปลงที่ดิน	สถานะ
1	455	ติดจำนอง
2	456	รับโอน
3	457	ขาย

หมายเลขแปลงที่ดิน	ขนาด(ไร่)	ผู้ครอบครอง
455	1.5	นายแดง จันทร
456	2.0	นายศิลา ดวงทิพย์
457	3.0	นางพิณ สาริกา

ภาพที่ 4.11 *แสดงความสัมพันธ์แบบหนึ่งต่อหนึ่ง*

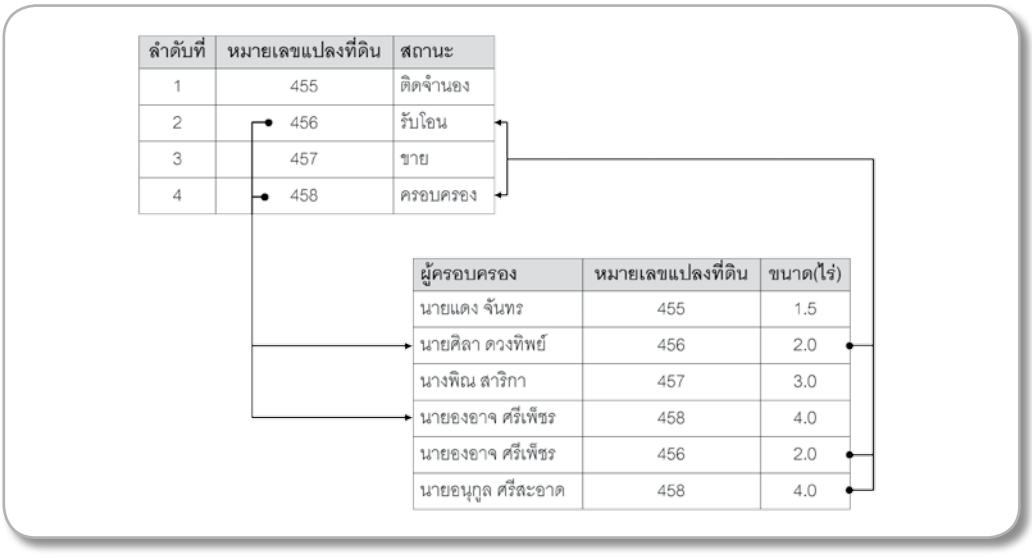
ในความเป็นจริงเราสามารถที่จะจัดทำให้ตารางดังภาพที่ 4.11 เป็นตารางเดียวกันได้ แต่ในบางกรณีอาจจะมีความจำเป็นต้องจัดทำข้อมูลแยกออกจากกันโดยอาศัยความสัมพันธ์แบบหนึ่งต่อหนึ่งเข้ามาเป็นตัวเชื่อมความสัมพันธ์ เนื่องมาจากสาเหตุบางประการ เช่น ปริมาณของข้อมูล ความเร็วในการเข้าถึงข้อมูล เป็นต้น

2) ความสัมพันธ์แบบหนึ่งต่อกลุ่ม (One-to-Many) เป็นลักษณะความสัมพันธ์ที่ระเบียนในตารางหนึ่งมีความสัมพันธ์กับระเบียนในอีกตารางหนึ่งตั้งแต่ 2 ระเบียนขึ้นไป ยกตัวอย่างเช่น บุคคลหนึ่งคนสามารถครอบครองที่ดินได้หลายแปลง ซึ่งอาจจำแนกตารางออกเป็นตารางหมายเลขเอกสารสิทธิและตารางรายชื่อผู้ครอบครองเอกสารสิทธิ ดังตัวอย่าง ภาพที่ 4.12



ภาพที่ 4.12 *แสดงความสัมพันธ์แบบหนึ่งต่อกลุ่ม*

3) ความสัมพันธ์แบบกลุ่มต่อกลุ่ม (Many-to-Many) เป็นความสัมพันธ์ที่มีลักษณะคือ ระเบียนในตารางหนึ่งมีความสัมพันธ์กับระเบียนในอีกตารางหนึ่งตั้งแต่ 2 ระเบียนขึ้นไป และในขณะเดียวกันระเบียนในตารางที่สองก็จะมีความสัมพันธ์กับระเบียนในตารางที่หนึ่งตั้งแต่ 2 ระเบียนขึ้นไปเช่นเดียวกัน ดังตัวอย่างภาพที่ 4.13



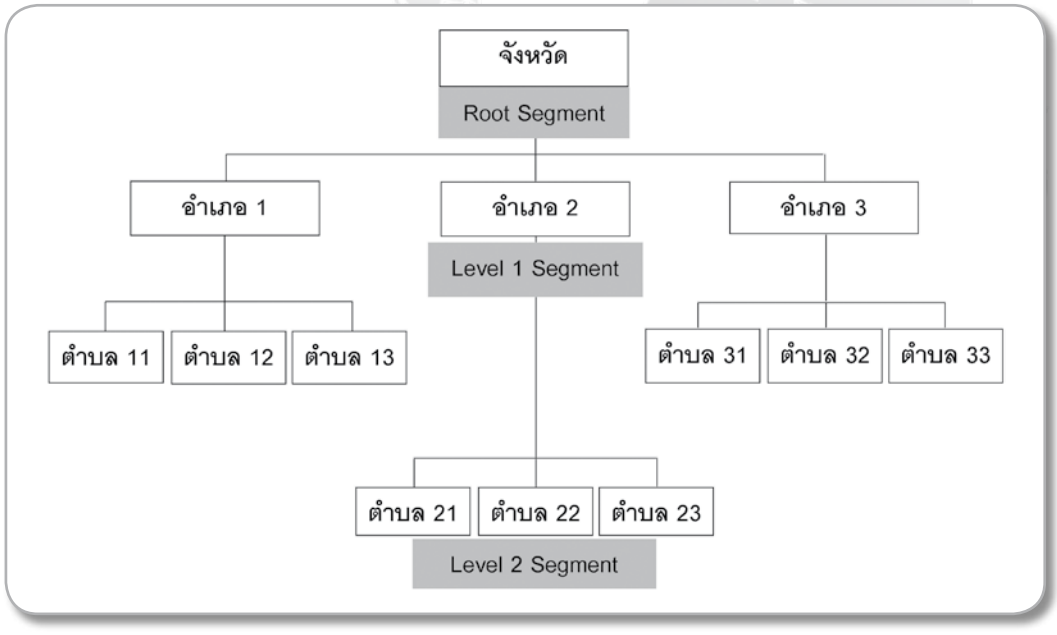
ภาพที่ 4.13 *แสดงความสัมพันธ์แบบกลุ่มต่อกลุ่ม*

จากตัวอย่างภาพที่ 4.13 จะเห็นได้ว่าเอกสารสิทธิหมายเลขที่ 456 และ 458 มีความสัมพันธ์แบบกลุ่มต่อกลุ่มกับตารางรายชื่อผู้ครอบครองเอกสารสิทธิซึ่งได้แก่ นายศิลา ดวงทิพย์ และนายองอาจ ศรีเพ็ชร ซึ่งในขณะเดียวกันในตารางรายชื่อผู้ครอบครองเอกสารสิทธิ นายองอาจ ศรีเพ็ชร และนายอนุกูล ศรีสะอาด ก็มีความสัมพันธ์กับตารางข้อมูลเอกสารสิทธิในแปลงที่ดิน 456 และ 458

9.7.6 แบบจำลองฐานข้อมูล (Database model)

1) แบบจำลองฐานข้อมูลแบบลำดับขั้น (Hierarchical database model) เป็นแบบจำลองฐานข้อมูลที่ถูกคิดค้นโดยบริษัท North American Rockwell ตามแนวคิดการจัดเก็บข้อมูลของโปรแกรม Generalized Update Access Method (GUAM) ที่มีการนำข้อมูลในแต่ละส่วน (Part) มารวมกันเป็นกลุ่ม (Component) และทำการรวม

ข้อมูลกลุ่มแต่ละกลุ่มทั้งหมดเป็นกลุ่มใหญ่ (Final component) นำมาใช้ในการลดความซ้ำซ้อนของข้อมูล (Data redundancy) โดยมีโครงสร้างอยู่ในรูปแบบของต้นไม้ (Tree structure) ในลักษณะ Upside-Down tree ที่จัดเก็บข้อมูลในรูปของเซกเมนต์ (Segment) ซึ่งเทียบเท่ากับระเบียนในระบบแฟ้มข้อมูล (ภาพที่ 4.14)



ภาพที่ 4.14 *แสดงแบบจำลองฐานข้อมูลแบบลำดับขั้น*

จากภาพที่ 4.14 จะพบว่า “จังหวัด” ทำหน้าที่เป็น Root segment โดยมี “อำเภอ 1” “อำเภอ 2” และ “อำเภอ 3” เป็นข้อมูลภายในของจังหวัดซึ่งอยู่ในระดับที่เรียกว่า Level 1 segment และจากระดับ Level 1 segment สามารถที่จะมีข้อมูลอื่นๆ ประกอบภายในได้อีกโดยจะถูกกำหนดให้เป็นระดับต่างๆ ต่อไป การใช้แบบจำลองฐานข้อมูลประเภทนี้ในทางปฏิบัติอาจจะพบทั้งข้อดีและข้อเสีย ซึ่งสามารถจำแนกได้ดังต่อไปนี้

<u>ข้อดีของแบบจำลองฐานข้อมูลแบบลำดับขั้น</u>

- สามารถกำหนดกฎที่ใช้ควบคุมความถูกต้องให้กับข้อมูล (Data integrity) ภายในฐานข้อมูลได้ง่าย เนื่องจากกฎเกณฑ์ที่กำหนดให้แก่ Root segment สามารถที่จะถ่ายทอดไปยัง Level segment ในระดับต่างๆ ได้โดยตรง
- มีโครงสร้างที่เหมาะต่อข้อมูลที่มีความสัมพันธ์แบบหนึ่งต่อกลุ่ม
- สามารถทำความเข้าใจเกี่ยวกับความสัมพันธ์ข้อมูลภายในได้ง่าย
- การออกแบบฐานข้อมูลไม่มีความซับซ้อน

<u>ข้อเสียของแบบจำลองฐานข้อมูลแบบลำดับขั้น</u>

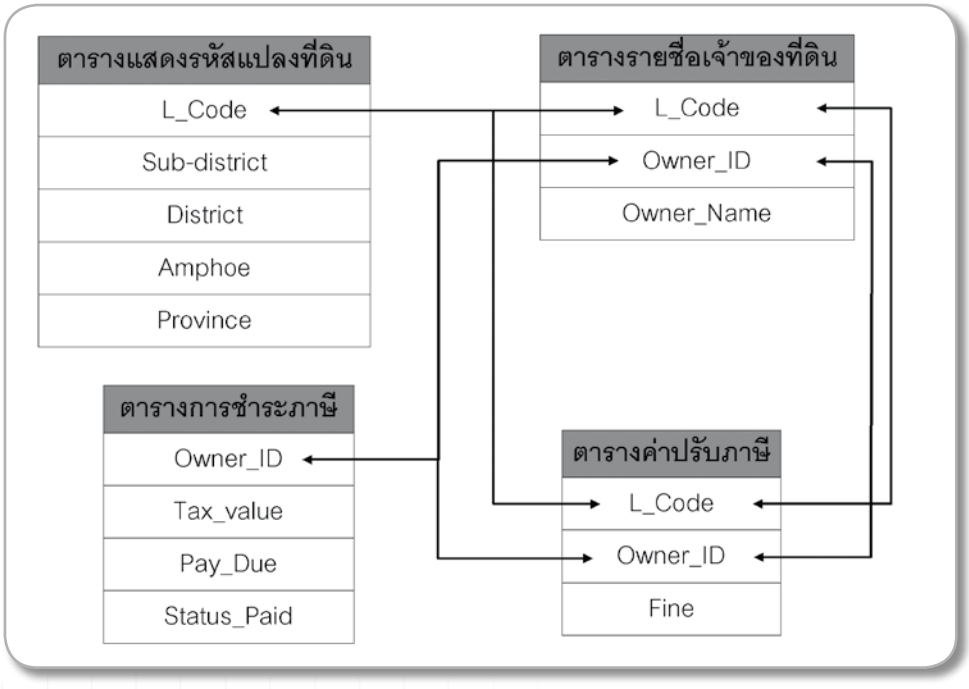
- ผู้ใช้ฐานข้อมูลจะต้องทราบถึงโครงสร้างทางกายภาพของข้อมูลที่จัดเก็บอยู่ในฐานข้อมูลจึงจะสามารถเรียกใช้ข้อมูลจากฐานข้อมูลได้
- โครงสร้างของฐานข้อมูลไม่สามารถรองรับข้อมูลที่มีความสัมพันธ์ในแบบกลุ่มต่อกลุ่มได้ อันเนื่องมาจากลักษณะของแบบจำลองประเภทนี้ที่มีการแบ่งข้อมูลออกเป็นระดับ (Level) และมีการกระจายออกเป็นระดับต่างๆ ภายในได้อีก ทำให้ความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นไม่สามารถสร้างความสัมพันธ์ข้าม Root ของตัวเองได้
- การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างกระทำได้ยาก เนื่องจากโครงสร้างลักษณะนี้มีความยืดหยุ่นค่อนข้างน้อย เช่น การลบ หรือเพิ่มจำนวนข้อมูลเข้าไป ไม่ว่าจะในระดับใดก็จะส่งผลกระทบต่อข้อมูลในส่วนอื่นๆ ตามไปด้วย

- การพัฒนาโปรแกรมเพื่อเรียกใช้ข้อมูลจากฐานข้อมูลกระทำได้ยาก เนื่องจากต้องทราบถึงโครงสร้างข้อมูลทั้งหมดเสียก่อน

- ไม่มีการกำหนดรูปแบบที่เป็นมาตรฐานให้กับโครงสร้างฐานข้อมูล จึงส่งผลให้การโอนถ่ายข้อมูลระหว่างหน่วยงานหรือระหว่างซอฟต์แวร์ที่ต่างกันกระทำได้ยาก

2) แบบจำลองฐานข้อมูลแบบเครือข่าย (Network database model) เป็นแบบจำลองของฐานข้อมูลที่อธิบายถึงฐานข้อมูล ที่มีโครงสร้างของข้อมูลที่จำแนกตามความสัมพันธ์ของข้อมูล ที่ได้รับการพัฒนามาจากฐานข้อมูลแบบลำดับขั้น โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อกำหนดให้เป็นรูปแบบของโครงสร้างข้อมูลที่เป็นมาตรฐาน รวมทั้งมุ่งหวังให้เป็นฐานข้อมูลที่สามารถรองรับข้อมูลที่มีความสัมพันธ์แบบกลุ่มต่อกลุ่มในปี ค.ศ. 1970 กลุ่มผู้พัฒนาภาษา COBOL ที่มีชื่อว่า Conference On Data System Language (CODASYL) ได้จัดตั้งทีมที่ชื่อว่า Database Task Group (DBTG) ขึ้นเพื่อร่วมกันกำหนดมาตรฐานเพื่อใช้ในการสร้าง และจัดการกับข้อมูลภายในฐานข้อมูล โดยกำหนดมาตรฐานหลักๆ ไว้ 3 ประการดังนี้

- มาตรฐานการกำหนดโครงสร้างให้ฐานข้อมูล ซึ่งต่อมาได้กลายเป็นมาตรฐานของกลุ่มคำสั่ง DDL
- มาตรฐานในการเรียกใช้ข้อมูลจากฐานข้อมูลร่วมกับคำสั่งของภาษาคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรม
- มาตรฐานการจัดการข้อมูลภายในฐานข้อมูล ซึ่งต่อมาได้กลายเป็นมาตรฐานของกลุ่มคำสั่ง DML



***ภาพที่** 4.15 แสดงแบบจำลองฐานข้อมูลแบบเครือข่าย*

ข้อดีของแบบจำลองฐานข้อมูลแบบเครือข่าย

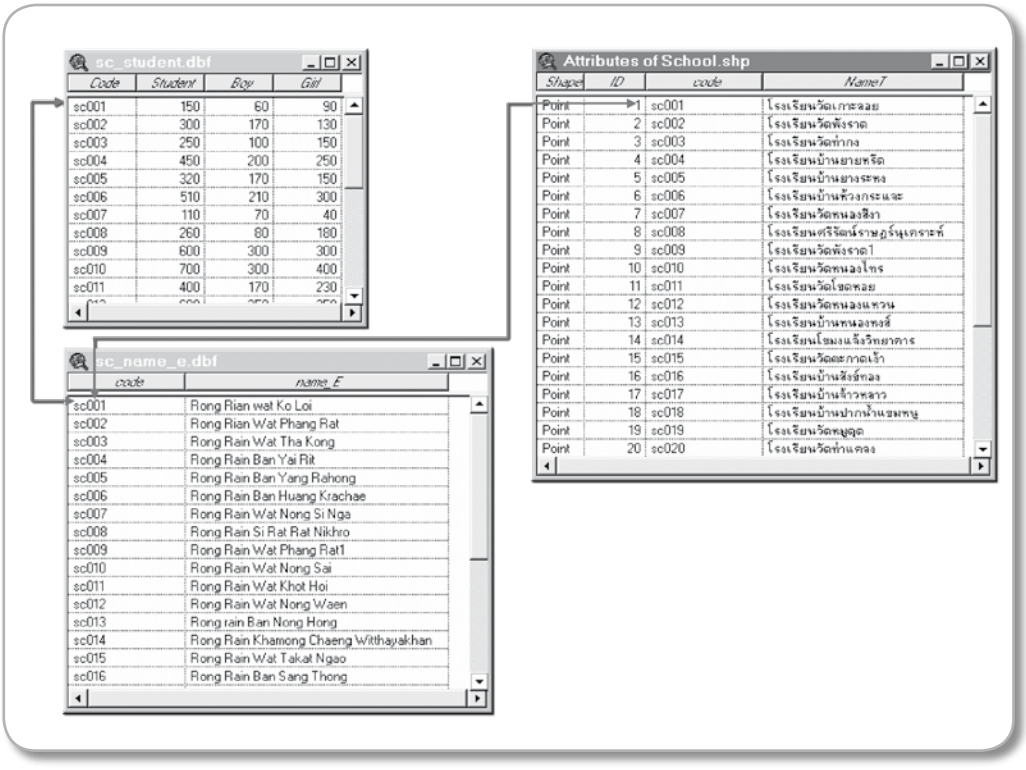
- สามารถรองรับข้อมูลที่มีความสัมพันธ์แบบกลุ่มต่อกลุ่มได้
- ความซ้ำซ้อนของข้อมูลน้อยกว่าแบบจำลองฐานข้อมูลแบบลำดับขั้น
- สามารถเชื่อมโยงความสัมพันธ์ข้อมูลแบบไปกลับได้
- มีความยืดหยุ่นในการเข้าถึงข้อมูลดีกว่าแบบจำลองฐานข้อมูลแบบลำดับขั้น

ข้อเสียของแบบจำลองฐานข้อมูลแบบเครือข่าย

- เนื่องจากสามารถเข้าถึงข้อมูลได้โดยตรงทำให้การรักษาความปลอดภัยให้แก่ข้อมูลกระทำได้ยาก
- การออกแบบฐานข้อมูลกระทำได้ยาก เนื่องจากต้องกำหนดความสัมพันธ์ของข้อมูลให้ครอบคลุมทุกข้อมูล
- การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของข้อมูลกระทำได้ยาก เนื่องจากต้องคำนึงถึงความสัมพันธ์ของข้อมูลแต่ละประเภทให้ครบถ้วน

3) แบบจำลองฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ (Relational database model) ฐานข้อมูลประเภทนี้จะมีโครงสร้างที่จัดออกเป็นหน่วยย่อยต่างๆ ในรูปแบบของตารางโดยจะประกอบไปด้วยชุดของแถว (Row) และชุดสดมภ์ (Column) ข้อมูลที่จัดเก็บอยู่ในแต่ละตารางจะเป็นเอกเทศ แต่สามารถนำมาสร้างความสัมพันธ์กันได้โดยอาศัยคีย์ (Key) เป็นตัวกำหนดความสัมพันธ์ ซึ่งประกอบไปด้วยคีย์ต่างๆ ดังนี้

- คีย์หลัก (Primary key) คือ คอลัมน์ที่มีค่าภายในระเบียนแต่ละระเบียนไม่ซ้ำกันในตารางใดๆ ซึ่งสามารถใช้คอลัมน์ที่เป็นคีย์หลักนี้เป็นตัวแทนของตารางแต่ละตารางในการเชื่อมโยงความสัมพันธ์กันระหว่างตารางได้
- คีย์คู่แข่ง (Candidate key) เป็นข้อมูลในคอลัมน์ใดหรือหลายคอลัมน์ที่เมื่อนำมารวมกันแล้วจะมีคุณสมบัติเป็นคีย์หลัก แต่ไม่ใช้ในการจัดทำเป็นคีย์หลัก เช่น คอลัมน์รหัสจังหวัดเป็นคีย์หลัก ส่วนคอลัมน์รายชื่อจังหวัดก็มีข้อมูลที่ไม่ซ้ำกันเหมือนกับรหัสจังหวัดแต่ไม่ได้นำมาใช้เป็นคีย์หลักเพื่อใช้สร้างความสัมพันธ์ระหว่างตารางจึงเป็นคีย์คู่แข่งแทน
- คีย์นอก (Foreign key) ประกอบด้วยข้อมูลลักษณะประจำหรือกลุ่มของข้อมูลลักษณะประจำในตารางหนึ่งที่มีคุณสมบัติเป็นคีย์หลัก และไปปรากฏในอีกความสัมพันธ์หนึ่ง ซึ่งคีย์นอกจัดเป็นคีย์ที่สำคัญมากในฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์เพราะว่าเป็นตัวที่ใช้ในการเชื่อมความสัมพันธ์ระหว่างตาราง
- คีย์สำรอง (Secondary key) ก็คือคีย์คู่แข่งที่ไม่ได้ถูกเลือกให้เป็นคีย์หลัก กล่าวคือ คีย์สำรองนี้เมื่อนำไปใช้ในการค้นหาข้อมูลจากความสัมพันธ์จะได้มากกว่าหนึ่งระเบียน เพราะว่าคีย์สำรองนั้นไม่มีความเป็นเอกลักษณ์ โดยสามารถเรียกคีย์สำรองนี้อีกชื่อหนึ่งว่า Alternate key



ภาพที่ 4.16 *แสดงแบบจำลองฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์*

9.7.7 ระบบการจัดการฐานข้อมูล (Database Management System : DBMS) คือโปรแกรมที่ทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการติดต่อระหว่างผู้ใช้กับฐานข้อมูล เพื่อจัดการ ควบคุมความถูกต้อง ความซ้ำซ้อน และความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลต่างๆ ภายในฐานข้อมูล ในการติดต่อกับฐานข้อมูลทั้งที่ใช้คำสั่งในกลุ่มของ DML หรือ DDL แม้กระทั่งโดยใช้โปรแกรมต่างๆ ทุกคำสั่งที่ใช้กระทำกับตัวข้อมูลจะถูกโปรแกรม DBMS นำมาแปลเป็นการกระทำ (Operation) เพื่อนำไปกระทำกับข้อมูลที่ถูกเรียกใช้ภายในฐานข้อมูลก่อนเสมอ ซึ่งภายใน DBMS ก็จะมีส่วนการทำงานด้านต่างๆ ซึ่งเป็นองค์ประกอบภายในดังต่อไปนี้

1) Database manager เป็นส่วนที่ทำหน้าที่กำหนดการกระทำต่างๆ ให้กับ File manager ซึ่งทำหน้าที่ในการบริหารและจัดการกับข้อมูลที่จัดเก็บอยู่ในฐานข้อมูลในระดับกายภาพ เพื่อไปกระทำกับข้อมูลที่อยู่ในฐานข้อมูล

2) Query processor เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ในการแปลงประโยคคำสั่งในการสืบค้นข้อมูลในฐานข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบที่ Database manager สามารถเข้าใจและนำไปประมวลผลได้

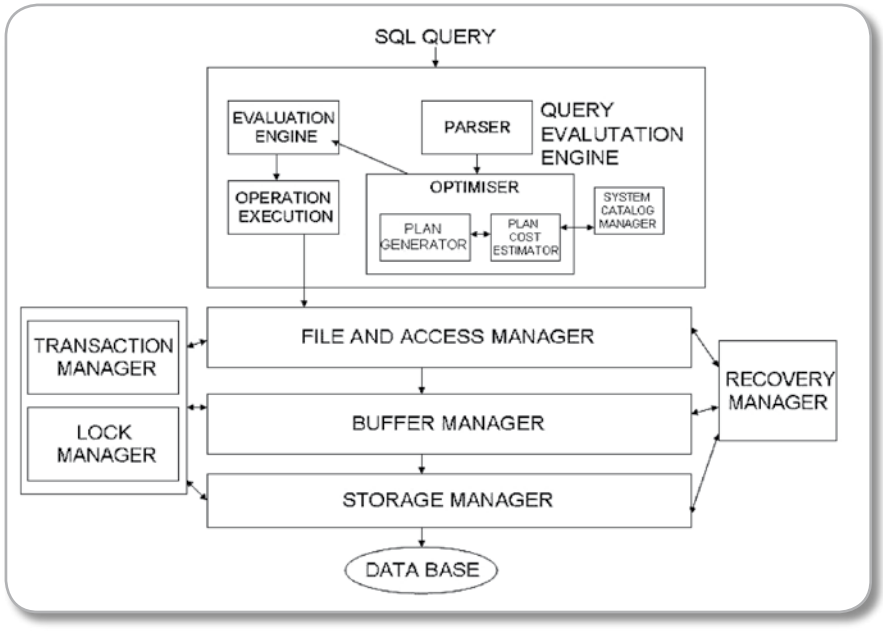
3) Structure Query Language (SQL) เป็นภาษาที่รูปแบบเป็นภาษาอังกฤษ ง่ายต่อการเรียนรู้และการเขียนโปรแกรม ซึ่งเป็นภาษาที่มีอยู่ใน DBMS หลายตัว มีความสามารถใช้นิยามโครงสร้างตารางภายในฐานข้อมูล การจัดการข้อมูล รวมไปถึงการควบคุมสิทธิการใช้งานฐานข้อมูล SQL จะประกอบด้วยภาษา 3 รูปแบบด้วยกัน แต่ละแบบก็จะมีหน้าที่เฉพาะแตกต่างกันไป

- DDL เป็นภาษาที่ใช้นิยามโครงสร้างของฐานข้อมูล เพื่อทำการสร้าง เปลี่ยนแปลง หรือยกเลิกโครงสร้างของฐานข้อมูลตามที่ได้ออกแบบไว้ ซึ่งโครงสร้างของฐานข้อมูลนี้สามารถเรียกได้อีกอย่างว่า เค้าร่าง (Schema) ดังนั้น DDL จึงเป็นภาษาที่ใช้ในการสร้างเค้าร่างนั่นเอง ตัวอย่างเช่น จะกำหนดว่าฐานข้อมูลที่สร้างมีชื่อว่าอะไร มีโครงสร้างที่ประกอบด้วยตารางที่ชื่ออะไรบ้าง แต่ละตารางประกอบด้วยเขตข้อมูลใดบ้าง เขตข้อมูลแต่ละตัวมีประเภทของข้อมูลเป็นอะไร มีความกว้างของข้อมูลเท่าใด แต่ละตารางมีการให้ดัชนี ช่วยในการค้นหาข้อมูลหรือไม่ ถ้ามีจะใช้เขตข้อมูลใดบ้างที่เป็นคีย์ เป็นต้น

- DML องค์ประกอบของภาษาในรูปแบบที่ 2 ของภาษา SQL ซึ่ง DML เป็นภาษาที่ใช้จัดการข้อมูลภายในตารางของฐานข้อมูล เช่น คำสั่งการเรียกค้นระเบียนข้อมูล (SELECT) คำสั่งการเพิ่มระเบียนข้อมูล (INSERT) คำสั่งการเปลี่ยนแปลงระเบียนข้อมูล (UPDATE) และคำสั่งลบระเบียนข้อมูล (DELETE) เป็นต้น

- ภาษาสำหรับการควบคุมข้อมูล (Data Control Language : DCL) เป็นส่วนของภาษาที่ใช้ควบคุมความถูกต้องของข้อมูล และควบคุมความปลอดภัยของข้อมูล ทำการป้องกันการเกิดเหตุการณ์ที่ผู้ใช้งานหลายคนเรียกใช้ข้อมูลพร้อมกัน โดยจะทำหน้าที่ควบคุมความถูกต้องของการใช้ข้อมูลและทำการลำดับการใช้ข้อมูลของผู้ใช้งานแต่ละคน และตรวจสอบสิทธิในการใช้ข้อมูลนั้นๆ เช่น GRANT คือ การให้สิทธิในการเข้าถึงข้อมูล REVOKE คือ การยกเลิกสิทธิในการเข้าถึงข้อมูล เป็นต้น

4) Application programs objected code เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ในการแปลงคำสั่งต่างๆ ของโปรแกรม รวมทั้งคำสั่งในกลุ่ม SQL ให้อยู่ในรูปของ Object code ที่จะส่งต่อไปให้ Database manager เพื่อกระทำกับฐานข้อมูล



***ภาพที่** 4.17 แสดงโครงสร้างของระบบการจัดการฐานข้อมูล (DBMS)*
ที่มา : http://www.cs.uwyo.edu/~yu/DBMS/images/db.jpg

9.7.8 การออกแบบฐานข้อมูล (Database design) ในการดำเนินการด้านข้อมูลให้มีประสิทธิภาพนั้นจำเป็นที่จะต้องมีระบบฐานข้อมูลที่ดีเพื่อที่จะสามารถทำให้การจัดการข้อมูลในด้านต่างๆ เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งส่วนสำคัญที่เป็นหัวใจสำคัญในการที่จะทำระบบฐานข้อมูลที่ถูกจัดสร้างขึ้นมีประสิทธิภาพมาก หรือน้อยเพียงใดก็ตามนั้นต้องมาจาก “การออกแบบฐานข้อมูล” ซึ่งในการออกแบบฐานข้อมูลที่ดีสามารถสรุปเป็นแนวทางได้ดังนี้

1) Database Initial คือ ขั้นตอนที่ผู้พัฒนาระบบฐานข้อมูลต้องวิเคราะห์ความต้องการต่างๆ ของผู้ใช้เพื่อกำหนดจุดมุ่งหมาย ปัญหา ขอบเขต และกฎระเบียบต่างๆ ของระบบฐานข้อมูลเพื่อใช้เป็นแนวทางในการออกแบบฐานข้อมูลในขั้นตอนต่อไป

2) Database design คือ ขั้นตอนที่นำเอารายละเอียดต่างๆ ที่ได้ทำการศึกษาและวิเคราะห์ความต้องการในขั้นตอนที่ 1 มากำหนดเป็นแนวทางในการออกแบบฐานข้อมูลขึ้นมาใช้งาน ซึ่งจะแบ่งการออกแบบฐานข้อมูลออกเป็น 3 ระดับ ดังนี้

- การออกแบบฐานข้อมูลระดับแนวคิด (Conceptual database design) เป็นระดับที่อธิบายถึงข้อมูลและความสัมพันธ์กันของข้อมูลในระบบที่เราวิเคราะห์มา โดยกำหนดจากความต้องการของผู้ใช้ ว่าต้องมีข้อมูลอะไรบ้าง และข้อมูลแต่ละตัวมีความสัมพันธ์กันอย่างไร และมีข้อจำกัดอะไรบ้าง โดยสิ่งที่กำหนดออกมาจากองค์ประกอบต่างๆ นั้นจะนำมาสร้างเป็นเค้าร่างของฐานข้อมูล

- การออกแบบฐานข้อมูลในระดับตรรกะ (Logical database design) การออกแบบฐานข้อมูลในระดับนี้จะอาศัยเค้าร่าง ที่ได้จากการออกแบบในระดับแนวคิดมาปรับปรุงให้มีโครงสร้างที่เป็นไปตามโครงสร้างข้อมูลของฐานข้อมูลที่จะนำมาใช้งาน แล้วนำโครงสร้างนั้นมาอิงกับแบบจำลองข้อมูล เพื่อแปลงเป็นตาราง (Relational data model) หรือความสัมพันธ์ตามแนวคิดของแบบจำลองข้อมูล จากนั้นต้องมีการปรับปรุงโครงสร้างของฐานข้อมูลให้มีความซ้ำซ้อนกันน้อยที่สุด

- การออกแบบฐานข้อมูลในระดับกายภาพ (Physical database design) การออกแบบฐานข้อมูลในระดับนี้จะเป็นการออกแบบฐานข้อมูลในระดับสุดท้าย ในขั้นตอนนี้จะเป็นการปรับปรุงเค้าร่าง ที่ได้จากการออกแบบฐานข้อมูลในระดับตรรกะเช่นเดียวกัน แต่ในระดับนี้จะเป็นการปรับปรุงเพื่อให้โครงร่างที่ได้ออกแบบมาให้เป็นไปตามโครงสร้างของโปรแกรมด้านฐานข้อมูลที่จะใช้งานจริง

3) Implementation and loading คือ ขั้นตอนที่นำเอาเค้าร่างต่างๆ ของระบบฐานข้อมูลที่ได้ออกแบบไว้มาสร้างเป็นตัวฐานข้อมูลที่จะใช้เก็บข้อมูลจริง รวมทั้งแปลงข้อมูลของระบบงานเดิม ให้สามารถนำมาใช้งานในระบบฐานข้อมูลที่พัฒนาขึ้นใหม่ได้

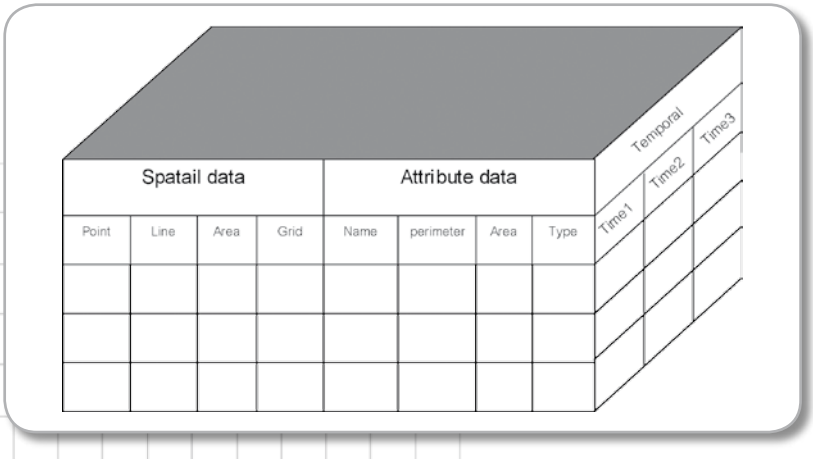
4) Testing and evaluation คือ ขั้นตอนของการทดสอบระบบฐานข้อมูลที่ได้พัฒนาขึ้น เพื่อหาข้อผิดพลาดต่างๆ รวมถึงทำการประเมินความสามารถของระบบฐานข้อมูล เพื่อนำไปใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงให้ระบบฐานข้อมูลที่พัฒนาขึ้นสามารถรองรับความต้องการของผู้ใช้ในด้านต่างๆ ได้อย่างถูกต้องและครบถ้วน

5) Operation คือ ขั้นตอนในการนำเอาระบบฐานข้อมูลที่พัฒนาขึ้นไปใช้งานจริง

6) Maintenance and evolution คือ ขั้นตอนที่เกิดขึ้นระหว่างการใช้งานระบบฐานข้อมูลจริง เพื่อบำรุงรักษาให้ระบบฐานข้อมูลทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวมทั้งเป็นขั้นตอนของการแก้ไขและปรับปรุงระบบฐานข้อมูลในกรณีที่มีการเพิ่ม หรือเปลี่ยนแปลงความต้องการของผู้ใช้ที่อาจจะส่งผลกระทบต่อระบบฐานข้อมูล

9.7.9 ฐานข้อมูลระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ (Geographic Information System Database)

1) ข้อมูลระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ มีองค์ประกอบหลัก 3 ส่วน ได้แก่ ข้อมูลเชิงพื้นที่ ข้อมูลลักษณะประจำ และช่วงเวลา (Temporal) โดยสามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบของข้อมูลภูมิศาสตร์ด้วยแผนภูมิ Geographical Data Matrix ดังภาพที่ 4.18



ภาพที่ 4.18 *แสดงความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบข้อมูลภูมิศาสตร์*
ที่มา : ดัดแปลงจาก ศรีสอาด ตั้งประเสริฐ (2541)

จากข้อมูลที่มีความสัมพันธ์กันดังกล่าวข้างต้น ได้ถูกนำมาใช้งานในระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ โดยมีการแบ่งประเภทของข้อมูลดังต่อไปนี้

- ข้อมูลเชิงพื้นที่ คือ ข้อมูลที่แสดงถึงลักษณะทางด้านกายภาพของสิ่งต่างๆ ที่ปรากฏอยู่บนพื้นผิวโลก โดยสามารถถ่ายทอดออกมาในรูปแบบการแสดงผลบนแผนที่ได้ในลักษณะของสัญลักษณ์อันประกอบด้วย จุด เส้น และพื้นที่ ข้อมูลเชิงพื้นที่ดังกล่าวต้องสามารถอ้างอิงกับพิกัดทางภูมิศาสตร์ได้ ลักษณะของข้อมูลเชิงพื้นที่ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ยังสามารถจำแนกออกได้ดังต่อไปนี้

• แรสเตอร์ (Raster) ข้อมูลแบบแรสเตอร์มีโครงสร้างเป็นช่องสี่เหลี่ยม เรียกว่า จุดภาพ หรือ กริดเซลล์ (Grid cell) เรียงต่อเนื่องกันในแนวราบและแนวดิ่ง (ภาพที่ 4.19) ในแต่ละจุดภาพสามารถเก็บค่าได้ 1 ค่า โครงสร้างข้อมูลแบบแรสเตอร์สามารถจัดเก็บข้อมูลเชิงพื้นที่โดยการแทนค่าข้อมูลจากพื้นที่จริงลงในจุดภาพซึ่งมีตำแหน่งตามแนวแกน X และ Y ตรงกัน ค่าที่เก็บในแต่ละจุดภาพสามารถเป็นได้ทั้งข้อมูลลักษณะสัมพันธ์ หรือรหัสที่ใช้อ้างอิงถึงข้อมูลลักษณะสัมพันธ์ที่เก็บอยู่ในฐานข้อมูลก็ได้

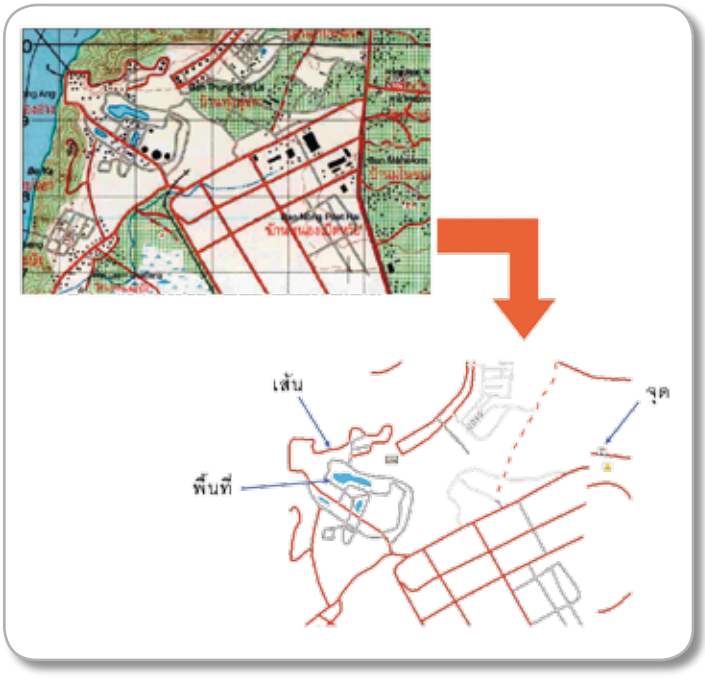
***ภาพที่** 4.19 แสดงลักษณะของข้อมูลแบบแรสเตอร์*

• เวกเตอร์ (Vector) คือ ข้อมูลที่สร้างขึ้นโดยอ้างอิงกับข้อมูลแรสเตอร์เพื่อใช้เป็นตัวแทนของสิ่งที่ปรากฏอยู่บนพื้นที่จริงโดยจะแสดงในรูปแบบของจุด เส้น และพื้นที่ (ภาพที่ 4.20) ซึ่งในทางคณิตศาสตร์คุณสมบัติของเวกเตอร์ต้องประกอบด้วย จุดเริ่มต้น ขนาด และทิศทาง

จุด เป็นหน่วยย่อยที่สุดของเวกเตอร์ ซึ่งมีจุดเริ่มต้น โดยขนาดและทิศทางมีค่า 0 จุดเป็นเพียงตำแหน่งซึ่งไม่สามารถวัดพื้นที่ได้

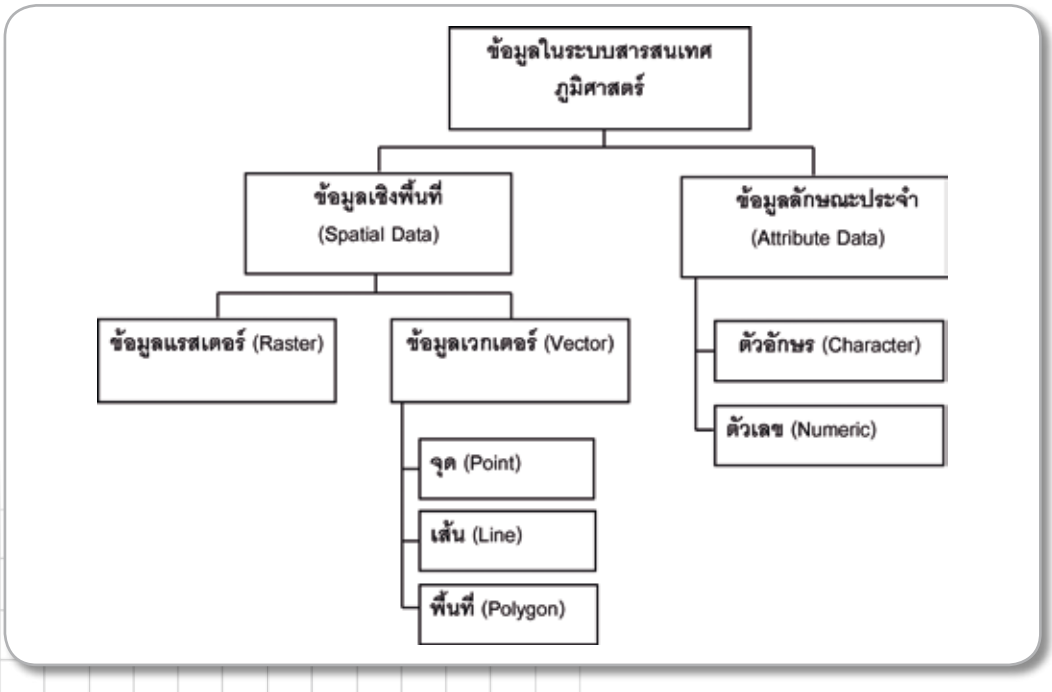
เส้น ประกอบด้วยเวกเตอร์ซึ่งมีลักษณะเป็นเส้นตรงเรียงต่อเนื่องกันเป็นลำดับเส้นมีเพียง 1 มิติ คือ มีความยาว แต่ไม่มีความกว้าง

พื้นที่ ประกอบด้วยเวกเตอร์ที่เรียงต่อเนื่องกันเป็นอนุกรม ซึ่งมีลักษณะเป็นเส้นปิด ดังนั้นข้อมูลประเภทอาณาบริเวณจึงสามารถวัดพื้นที่ได้



***ภาพที่** 4.20 แสดงการใช้เวกเตอร์เป็นตัวแทนข้อมูลในพื้นที่*

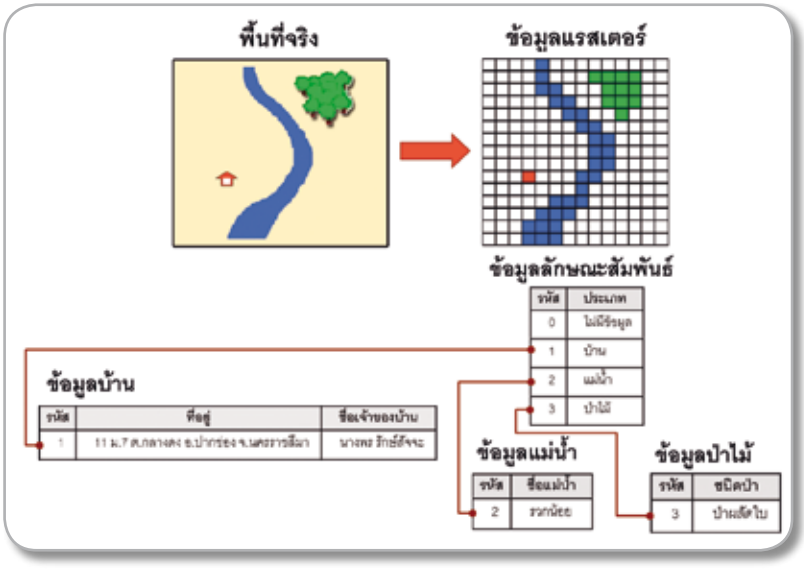
- ข้อมูลลักษณะประจำ คือ ข้อมูลที่เกี่ยวกับลักษณะหรือคุณลักษณะเฉพาะของข้อมูลเชิงพื้นที่ในแต่ละช่วงเวลา ซึ่งได้มาจากเอกสารหลักฐานที่ได้ถูกบันทึกไว้ของผู้ใช้ข้อมูล หรือได้มาจากแบบฟอร์ม ตาราง รายงาน หรือจากการวัดค่าของข้อมูลเชิงพื้นที่นั้นๆ ข้อมูลลักษณะประจำนี้จะมีลักษณะเป็นข้อความ (Character) หรือเป็นตัวเลข ซึ่งโดยทั่วไปข้อมูลลักษณะประจำในระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์จะถูกจัดเก็บในรูปแบบของตาราง และมีแบบจำลองข้อมูลเป็นแบบข้อมูลเชิงสัมพันธ์ แสดงดังภาพที่ 4.21



***ภาพที่** 4.21 แสดงรายละเอียดข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์*

9.7.10 ความสัมพันธ์ของข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ จากที่ทราบแล้วว่าข้อมูลในระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์แบ่งออกเป็นข้อมูลเชิงพื้นที่และข้อมูลลักษณะประจำ ซึ่งข้อมูลทั้งสองประเภทนี้จะเกี่ยวเนื่องสัมพันธ์กัน โดยข้อมูลลักษณะประจำจะบ่งบอกถึงลักษณะเฉพาะตัวของข้อมูลเชิงพื้นที่แต่ละชนิด ณ ช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง ซึ่งจากความสัมพันธ์ดังกล่าวนี้จะช่วยให้สามารถทำความเข้าใจสภาพพื้นที่ได้อย่างชัดเจน ช่วยให้สามารถทำการวิเคราะห์พื้นที่ในด้านต่างๆ ได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพมากขึ้น สามารถอธิบายความสัมพันธ์ของข้อมูลได้ดังต่อไปนี้

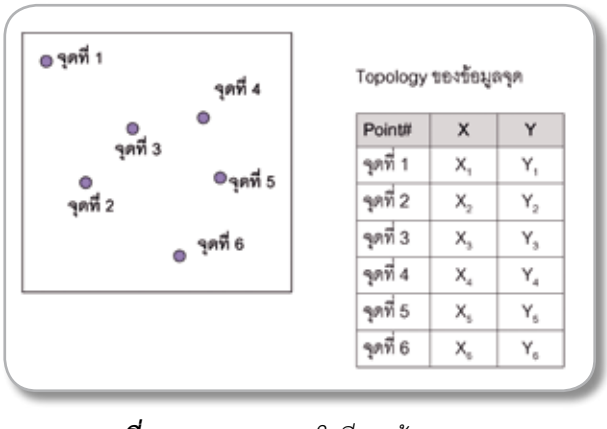
1) ความสัมพันธ์ในข้อมูลแบบแรสเตอร์ เป็นความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นระหว่างข้อมูลที่เป็นโครงสร้างของข้อมูลซึ่งได้แก่ กริดเซลล์ กับข้อมูลตัวเลขที่บรรจุอยู่ในกริดเซลล์ ซึ่งทำให้สามารถแปลความหมายข้อมูลจากแรสเตอร์ได้โดยอาศัยการเรียงตัวกันของกริดเซลล์ที่มีค่าตัวเลขเป็นค่าเดียวกัน ดังภาพที่ 4.22



ภาพที่ 4.22 *แสดงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลแรสเตอร์กับข้อมูลลักษณะประจำ*
ที่มา : ดัดแปลงจาก สิริพร กมลธรรม (2549)

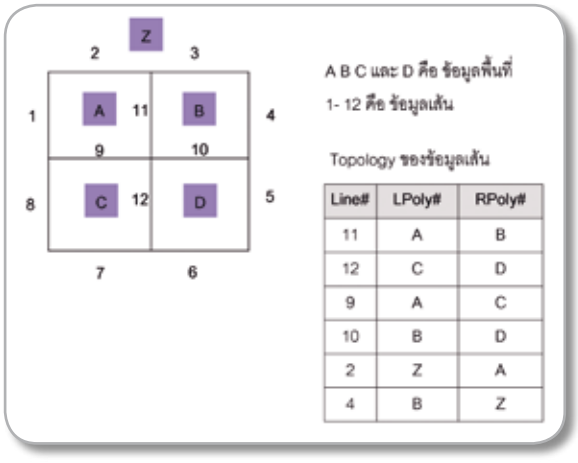
2) ความสัมพันธ์ในข้อมูลแบบเวกเตอร์ เนื่องจากข้อมูลแบบเวกเตอร์นี้เป็นข้อมูลที่สร้างขึ้นโดยใช้หลักการทางคณิตศาสตร์ ดังนั้นข้อมูลลักษณะประจำที่มีความสัมพันธ์กับข้อมูลเวกเตอร์นั้นนอกจากจะเป็นข้อมูลคำบรรยายโดยทั่วไป เช่น ชื่อสถานที่ จำนวนประชากร ระดับความสูง ประเภทการใช้ที่ดิน เป็นต้น ในข้อมูลแบบเวกเตอร์ยังมีข้อมูลลักษณะประจำที่ระบุถึงการอ้างอิงระหว่างข้อมูลเวกเตอร์ด้วยกันหรือบอกถึงตำแหน่งเริ่มต้นของข้อมูลอีกด้วย ซึ่งเรียกว่า ทอพอโลยี

- ทอพอโลยีของจุด (Point topology) เป็นข้อมูลลักษณะประจำของค่าตำแหน่งที่เกิดข้อมูลจุดซึ่งระบบในรูปแบบของคู่พิกัด X,Y



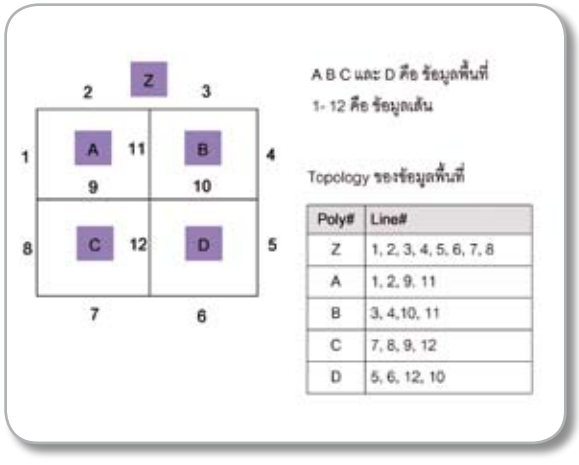
ภาพที่ 4.23 *แสดงทอพอโลยีของข้อมูลแบบจุด*

- ทอพอโลยีของเส้น (Line topology) จะเป็นข้อมูลลักษณะประจำที่อ้างอิงถึงพื้นที่ทางด้านซ้าย (Left polygon) และพื้นที่ทางด้านขวา (Right polygon) ของข้อมูลเส้นที่ถูกสร้างขึ้น โดยการอ่านค่าทอพอโลยีของข้อมูลเส้นจะอ่านจากด้านบนลงด้านล่าง หรือจากด้านซ้ายไปทางด้านขวา (ภาพที่ 4.24)



Line#	LPoly#	RPoly#
11	A	B
12	C	D
9	A	C
10	B	D
2	Z	A
4	B	Z

***ภาพที่** 4.24 แสดงทอพอโลยีของข้อมูลแบบเส้น*



Poly#	Line#
Z	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8
A	1, 2, 9, 11
B	3, 4,10, 11
C	7, 8, 9, 12
D	5, 6, 12, 10

***ภาพที่** 4.25 แสดงทอพอโลยีของข้อมูลพื้นที่*

- ทอพอโลยีของพื้นที่ (Polygon topology) จะเป็นข้อมูลลักษณะประจำของการสร้างข้อมูลแบบพื้นที่ โดยระบุว่าพื้นที่ที่ถูกสร้างขึ้นนั้นประกอบด้วยข้อมูลเส้นใดๆ บ้าง (ภาพที่ 4.25)

9.8 มาตรฐานข้อมูลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS data standards)

9.8.1 ความเป็นมา

มาตรฐานในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เป็นที่ต้องการและมีความจำเป็นเนื่องจากระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์สามารถที่จะรวมการปฏิบัติการในด้านการจัดเก็บ จัดการ และการวิเคราะห์ข้อมูลร่วมกับฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ได้หลายอย่าง รวมทั้งข้อมูลจากแหล่งต่างๆ กัน ซึ่งเป็นลักษณะพิเศษของเทคโนโลยีนี้ (Enabling technology) และมีความสามารถแตกต่างจากเทคโนโลยีสารสนเทศชนิดอื่น การประยุกต์แบบบูรณาการเช่นนี้ต้องการเครื่องอำนวยความสะดวกในการทำงานร่วมกัน (Interoperability) และการทำงานร่วมกันในลักษณะนี้ ต้องอาศัยความมีมาตรฐาน (Standards) เป็นตัวช่วย

ความท้าทายคือ การที่จะให้วงการอุตสาหกรรม รัฐบาล และกลุ่มผู้ใช้ต่างๆ หันมาร่วมกันใช้มาตรฐานซึ่งจะสามารถช่วยให้เกิดการใช้งานร่วมกันอย่างบูรณาการในกลุ่มผู้ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เหล่านี้

ปัจจัยที่นำมาซึ่งการพัฒนาและกำหนดมาตรฐานระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์นั้นอาจมาจากหลายทาง แต่ที่เกี่ยวข้องและควรนำมาพิจารณาได้แก่ แนวโน้มและความก้าวหน้าของเทคโนโลยี (Trend of technology) การประยุกต์ใช้และกลุ่มผู้ใช้ (Applications and users) กับข้อมูลเชิงพื้นที่

1) ความก้าวหน้าด้านเทคโนโลยี โดยทั่วไปแล้วระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์มีความสามารถในการเก็บรวบรวมข้อมูล วิเคราะห์ข้อมูล และแสดงผลลัพธ์เชิงพื้นที่ นอกเหนือไปจากความสามารถในการแสดงแผนที่แล้ว ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ยังสามารถทำการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ และตอบคำถามที่ซับซ้อนได้ ซึ่งทำให้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ มีความแตกต่างจากเครื่องมือคอมพิวเตอร์สำหรับทำแผนที่เพียงอย่างเดียว ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์มีความสามารถในการใช้ข้อมูลเชิงพื้นที่ร่วมกันได้จากหลายแหล่ง ปัจจุบันนี้เทคโนโลยีสารสนเทศภูมิศาสตร์ เทคโนโลยีระบบกำหนดตำแหน่งจุดพิกัดวัตถุบนโลก และเทคโนโลยีการรับรู้จากระยะไกล ได้ก้าวหน้าไปมาก มีการใช้งานร่วมกันอย่างได้ผลดีและเป็นที่นิยมสำหรับกลุ่มผู้ใช้ที่จะนำมาใช้งานร่วมกันเพื่อบริหารจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ความก้าวหน้าของเทคโนโลยีด้านคอมพิวเตอร์ รวมทั้ง ฮาร์ดแวร์ ซอฟต์แวร์ ที่มีราคาถูกลงมากนั้น

ได้ผลักดันให้มีการใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์มากขึ้นเป็นประวัติการณ์ ความสามารถของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์จึงได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวาง และรวมอยู่ในใจกลางของเทคโนโลยีสารสนเทศ (Information technology)

เทคโนโลยีการรับรู้จากระยะไกลด้วยดาวเทียม โดยใช้เครื่องบันทึกข้อมูลหลายอย่าง ทำให้ได้ข้อมูลเชิงพื้นที่ในรูปแบบที่หลากหลาย ทั้งข้อมูลเชิงแสง (Optical data) และข้อมูลจากเรดาร์ สามารถใช้งานได้หลายอย่าง รวมทั้งการทำแผนที่ให้เป็นปัจจุบัน และสร้างฐานข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial databases) ได้ การพัฒนาดาวเทียมรายละเอียดสูง ในช่วงต้นปี ค.ศ. 1998 ซึ่งมีรายละเอียดจุดภาพประมาณ 1 เมตร นั้นสามารถให้ข้อมูลรายละเอียดสูงสนับสนุนโครงการที่มีโครงสร้างขนาดใหญ่ทั่วโลก

การพัฒนาคอมพิวเตอร์ฮาร์ดแวร์และคอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์ เพื่อสนองการประยุกต์ใช้ที่หลากหลายนำไปสู่ที่มาของการเกิดระบบเปิด (Open systems) และความต้องการการทำงานในลักษณะร่วมกันได้

ความต้องการการทำงานร่วมกันได้ดังกล่าวทำให้เกิดการร่วมมือจัดตั้งองค์กรที่ชื่อว่า Open Geospatial Consortium (OGC) ซึ่งเปลี่ยนชื่อมาจาก Open GIS Consortium (OGC) เมื่อไม่นานมานี้ และมีสมาชิกเข้ามาร่วมจากหลายสาขา รวมทั้งบริษัทผู้จำหน่ายฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ บริษัทวิศวกรรมระบบ บริษัทติดตั้งและเชื่อมต่อระบบ ตลอดจนองค์กรทางวิชาการและหน่วยงานภาครัฐทั่วโลก ซึ่งขณะนี้มีถึง 330 แห่ง และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ เป้าหมายของ OGC เพื่อพัฒนาข้อกำหนดของฮาร์ดแวร์ และซอฟต์แวร์ของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เพื่อให้เป็นมาตรฐานอุตสาหกรรมที่มีกำเนิดมาจากกลุ่มผู้ผลิต (de facto industry standards) โดยที่ OGC หวังจะให้เป็นมาตรฐานนานาชาติโดยผ่านองค์กรพัฒนามาตรฐานสากลอย่างเป็นทางการต่อไป

ปัจจุบันนี้มาตรฐานภูมิสารสนเทศ กำลังได้รับการพัฒนาในระดับชาติและระดับนานาชาติอย่างต่อเนื่อง องค์กรพัฒนามาตรฐานระดับชาติของประเทศต่างๆในปัจจุบันนี้ ไม่เฉพาะที่จะพัฒนามาตรฐานภายในประเทศเท่านั้น ยังมีการร่วมมือกับองค์กรพัฒนามาตรฐานระดับภูมิภาคและระดับนานาชาติด้วย จะเห็นได้จากการที่บุคลากรที่มีความเชี่ยวชาญจากหลายประเทศเข้าร่วมการพัฒนาระดับนานาชาติ เช่น ในกรณีของคณะกรรมการวิชาการที่ 211 (Technical Committee 211) ขององค์การพัฒนามาตรฐานนานาชาติ (International Standards Organization : ISO) และ Open Geospatial Consortium (OGC) ปัจจุบันนี้ OGC และ ISO/TC211 ได้หันมาทำความร่วมมือกันเพื่อการพัฒนามาตรฐานภูมิสารสนเทศ ซึ่งจะทำให้ความพยายามของทั้งสององค์กรบรรลุความสำเร็จตามเป้าหมาย เพื่อสนองต่อความต้องการของเวทีอุตสาหกรรมและกลุ่มผู้ใช้

2) การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีและกลุ่มผู้ใช้ (GIS applications and users) ได้มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นในด้านนี้เป็นอย่างมาก ที่เห็นได้ง่ายคือจำนวนผู้ใช้เพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมากในช่วงเวลาที่ผ่านมา กลุ่มผู้ใช้เหล่านี้มีความรู้ในเรื่องคอมพิวเตอร์ค่อนข้างสูง และให้ความหวังที่จะได้ใช้ข้อมูลเชิงพื้นที่เพิ่มขึ้น ความหวังเหล่านี้จึงได้นำไปสู่การใช้งานร่วมกันระหว่างคอมพิวเตอร์ฮาร์ดแวร์ ซอฟต์แวร์ และข้อมูลเชิงพื้นที่ กล่าวโดยรวมแล้วจะเห็นได้ว่าการประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพิ่มขึ้นเป็นอย่างมาก และจำนวนกลุ่มของผู้ใช้ก็เพิ่มขึ้นมากเช่นกัน

ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้ในหลายสาขากว้างไกลไปกว่าสาขา Earth sciences โดยทั่วไป ปัจจุบันนี้มีฟังก์ชันของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์อยู่ในซอฟต์แวร์ Spreadsheet ใน Relational database technology และอยู่ใน SQL เป็นที่หวังได้ว่าระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์อาจถูกกลืนเข้าไปเป็นส่วนหนึ่งของเทคโนโลยีสารสนเทศ อย่างไรก็ตามพื้นฐานการใช้งานในด้านการบริหารจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

และการประยุกต์ใช้ด้าน Earth sciences อื่นๆ ก็ยังคงดำเนินต่อไป การบูรณาการระหว่างเทคโนโลยีสารสนเทศภูมิศาสตร์ ระบบกำหนดจุดพิกัดบนโลก และการรับรู้จากระยะไกล มีเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ การบูรณาการในลักษณะนี้ทำให้เกิดเทคโนโลยีที่ใหญ่และกว้างขึ้น ซึ่งเป็นที่ยอมรับกันในชื่อใหม่ว่า Geoinformatics/Geo-Informatics หรือ Geomatics ซึ่งเชื่อกันว่าจะสามารถตอบสนองต่อการแก้ปัญหาระดับโลกได้

การบูรณาการของเทคโนโลยีระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์กับเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง พร้อมไปกับการเพิ่มขึ้นของกลุ่มผู้ใช้อาจทำให้เพิ่มโอกาสที่จะแก้ปัญหาระดับโลกนี้ได้ อย่างไรก็ตามการที่จะประสบความสำเร็จในการบูรณาการนี้ได้ขึ้นอยู่กับการพัฒนาและการนำมาตรฐานไปใช้งานในทุกสาขาวิชาการพร้อมทั้งการยอมรับของกลุ่มผู้ใช้

3) ข้อมูลเชิงพื้นที่ ข้อมูลเชิงพื้นที่ได้เข้ามามีส่วนในชีวิตประจำวันมากขึ้นกว่าเดิมเป็นอย่างมาก และถือได้ว่าเป็นข้อมูลเชิงกรอบงาน (Framework) เช่น ข้อมูลด้านรังวัดและถือครองที่ดิน (Cadastral) ข้อมูลด้านน้ำ (Hydrography) และข้อมูลด้านการขนส่ง (Transportation) ซึ่งเป็นชุดข้อมูลเชิงพื้นที่ที่ใช้สร้างชุดข้อมูลเชิงพื้นที่อื่นๆ ด้วย นอกเหนือจากนี้แล้วการใช้ข้อมูลเชิงพื้นที่โดยผ่านการอ้างอิงทางภูมิศาสตร์จะเพิ่มขีดการใช้งานออกไปสู่การประยุกต์ใช้ด้านเศรษฐกิจ สังคม และประชากรอีกด้วย การใช้ข้อมูลเชิงพื้นที่จากภาพถ่ายจากดาวเทียมในรูปแบบเชิงตัวเลขเป็นแหล่งใหญ่ของข้อมูลเชิงพื้นที่ด้วย

ในประเทศที่มีความก้าวหน้าด้านระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ได้มีการเปลี่ยนแปลงจากการทำแผนที่กระดาษมาเป็นการสร้างฐานข้อมูลเชิงพื้นที่ในเชิงตัวเลขเพิ่มขึ้น ปัจจุบันนี้ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีที่สามารถทำให้การจัดทำและการใช้ข้อมูลเชิงพื้นที่มีราคาลดลง ยิ่งทำให้ความต้องการที่จะใช้ข้อมูลร่วมกันจากแหล่งที่มาของข้อมูลหลายแหล่ง ดังนั้น ประเด็นของการมีข้อมูล การเข้าถึงข้อมูล การบริหารจัดการ และการบูรณาการของข้อมูลเชิงพื้นที่เป็นความท้าทายของกลุ่มผู้ใช้ ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ซึ่งประกอบไปด้วยผู้ผลิตข้อมูล ผู้ค้าซอฟต์แวร์ ผู้บูรณาการระบบ (System integrator) และผู้ใช้ระบบ เป็นต้น ในระดับนานาชาติเท่าที่เห็นมาปรากฏว่ามีการตอบสนองต่อการท้าทายเหล่านี้โดยการจัดตั้งกลุ่มโครงสร้างข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial Data Infrastructure : SDI) ขึ้นมาเพื่อรองรับการเปลี่ยนแปลงที่เกี่ยวข้องต่างๆ ในอนาคต

ในระดับประเทศแล้วจะเห็นว่ามีหลายประเทศกำลังดำเนินการจัดตั้งโครงสร้างระดับชาติที่จะมารองรับการดำเนินงานด้านข้อมูลเชิงพื้นที่ที่เรียกว่า National Spatial Data Infrastructure (NSDI) ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อรวบรวม จัดการ และใช้งานร่วมกันของข้อมูลเชิงพื้นที่เพื่อการประยุกต์ใช้ในหลายสาขาและหลายกลุ่มผู้ใช้ ในขณะเดียวกัน การพิจารณาจัดตั้ง Regional Spatial Data Infrastructure (RSDI) และ Global Spatial Data Infrastructure (GSDI) ก็ได้รับการเอาใจใส่อย่างใกล้ชิดจากกลุ่มผู้เกี่ยวข้องด้วยเช่นกัน

การยอมรับความสำคัญของข้อมูลเชิงพื้นที่ และการยอมรับให้เป็นข้อมูลพื้นฐานและเป็นทรัพย์สินขององค์กรทำให้เห็นความสำคัญและได้มีการพัฒนา SDI ขึ้นมาในระดับต่างๆ ซึ่งจะทำให้เห็นความสำคัญของมาตรฐานระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เด่นชัดขึ้น

9.9 มาตรฐานระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS standards)

การตระหนักถึงเรื่องมาตรฐานระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เกิดจากแนวโน้มการเบนทิศทางเข้ามาร่วมกันของเทคโนโลยี การประยุกต์ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ และกลุ่มผู้ใช้ รวมทั้งข้อมูลเชิงพื้นที่ การจัดตั้งคณะกรรมการวิชาการที่ 211 ขององค์การมาตรฐานสากลในเดือนพฤศจิกายน ค.ศ.1994 นั้น มีส่วนกระตุ้นให้เกิดกิจกรรมเกี่ยวกับ

การพัฒนามาตรฐานภูมิสารสนเทศทั่วโลก รองรับด้วยการเกิดการจัดตั้งกรรมการมาตรฐานระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในองค์กรอาชีพระดับชาติ ระดับภูมิภาค และระดับนานาชาติขึ้นเรื่อยๆ เพื่อร่วมในการพัฒนามาตรฐานดังกล่าว การเข้ามามีส่วนร่วมในระดับประเทศผ่านองค์กรระดับชาติ สำหรับองค์กรระดับภูมิภาคและระดับนานาชาตินั้น ทำได้โดยการมีสถานภาพเป็นสมาชิกสมทบ ซึ่งไม่สามารถออกเสียงในกระบวนการนี้ แต่สามารถร่วมประชุมและพัฒนาได้

มาตรฐานระบบสารสนเทศ หมายถึง มาตรฐานของเทคโนโลยีสารสนเทศ และ/ หรือมาตรฐานข้อมูลเชิงพื้นที่ การพัฒนามาตรฐานระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์สะท้อนแนวโน้มของโลกแห่งมาตรฐาน นั่นคือ (1) การพัฒนามาตรฐานที่เกิดจากการคาดการล่วงหน้า (Anticipatory development) (2) การเพิ่มการมีส่วนร่วมของกลุ่มผู้ใช้ และ (3) การบูรณาการของมาตรฐาน (Integration of standards) การพัฒนามาตรฐานที่ดำเนินการตามหลักดังกล่าวจะเป็นสิ่งที่ประกันได้ว่าได้มาตรฐานที่มีความเหมาะสม

มาตรฐานระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์อาจได้มาโดยการรับเอามาโดยตรง (Adoption) หรือการดัดแปลง (Adaptation) มาจากสิ่งที่มีอยู่แล้ว เช่น มาตรฐานการประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ในมาตรฐานเทคโนโลยีสารสนเทศ (Information technology standard) ตัวอย่างการรับมาใช้ ได้แก่ การใช้ SQL เป็นมาตรฐาน ส่วนการดัดแปลง SQL ให้ใช้ได้กับการประยุกต์ใช้ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เป็นตัวอย่างของการดัดแปลงของมาตรฐานในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์นั้น ยังมีมาตรฐานข้อมูลเชิงพื้นที่ด้วย มาตรฐานข้อมูลเชิงพื้นที่กำหนดขึ้นมาเพื่อการกำหนด อธิบาย และดำเนินการเกี่ยวกับข้อมูลเชิงพื้นที่ ตัวอย่างของข้อมูลเชิงพื้นที่ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ได้แก่ มาตรฐานการโอนย้ายข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial Data Transfer Standard : SDTS) และมาตรฐานองค์ประกอบหรือเนื้อหา (Content standard) สำหรับ Digital geospatial metadata เป็นต้น

ในการพัฒนามาตรฐานนั้น โดยปกติแล้วจะพิจารณาการรับเอามาตรฐานที่มีอยู่แล้วมาใช้หรือดัดแปลงแก้ไขมาตรฐานที่มีอยู่เพื่อนำมาใช้ให้เหมาะกับแต่ละสถานการณ์ ส่วนการพัฒนาขึ้นมาใหม่ทั้งหมดนั้น เป็นวิธีการสุดท้ายที่ควรจะทำเนื่องจากเวลาที่ต้องใช้ในกระบวนการนี้ยาวนาน มาตรฐานต้องมีอยู่เมื่อต้องการใช้ ดังนั้นการพัฒนามาตรฐานควรเกิดขึ้นจากการคาดการณ์ไปข้างหน้า แล้วพัฒนาให้เกิดขึ้นแทนที่จะให้เกิดความต้องการแล้วจึงพัฒนาเพราะจะไม่ทันเวลาที่สำคัญ การรวมเอามาตรฐานอื่นๆ มาร่วมพิจารณาในระหว่างการพัฒนามาตรฐานนั้นเป็นการทำให้แน่ใจว่ามาตรฐานที่จะเกิดขึ้นสามารถใช้ร่วมกันได้ และจะทำให้มีการย้ำเน้น (Confirm) กับมาตรฐานต่างๆ ที่สามารถใช้ในการดำเนินการได้อย่างสะดวกและมีความมั่นใจยิ่งขึ้น

วัตถุประสงค์ของการนำเสนอนี้เพื่อให้เกิดความเข้าใจเกี่ยวกับมาตรฐานระบบสารสนเทศ ความเข้าใจนี้จะใช้เป็นพื้นฐานของการมีส่วนร่วมในการพัฒนา และการใช้มาตรฐานระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เพื่อการจัดทำและบริหารจัดการข้อมูลเชิงพื้นที่เพื่อการประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาระดับโลกที่กำลังเผชิญอยู่

9.10 การเข้าไปเกี่ยวข้องกับการพัฒนามาตรฐานระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ขององค์การระหว่างประเทศ (Involvement of international organization in GIS standards and standardization)

องค์การเศรษฐกิจและสังคมแห่งสหประชาชาติสำหรับเอเชียแปซิฟิก (United Nations Economic and Social Commission for Asia and Pacific : UN-ESCAP) ร่วมกับศูนย์การรับรู้จากระยะไกลของประเทศมาเลเซีย (MACRES)ได้จัดให้มีการประชุมกลุ่มผู้เชี่ยวชาญนานาชาติเพื่อการเสนอแนวทางในการพัฒนามาตรฐานระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Expert group meeting on the development of guidelines on GIS standards and standardization procedures) ขึ้นที่กรุงกัวลาลัมเปอร์ ประเทศมาเลเซีย ระหว่าง 18-20 กันยายน ค.ศ.1995

เพื่อทบทวนมติของที่ประชุมระดับรัฐมนตรี (Ministerial conference) เกี่ยวกับการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอวกาศ (Space application) ของกลุ่มประเทศภายใต้ UN-ESCAP ที่ผ่านมาที่ประชุมได้ตั้งเป้าหมายโดยสรุป คือ

- เพื่อช่วย ESCAP ในการจัดทำชุดของแนวทางในการพัฒนามาตรฐานระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อผู้ใช้ระดับท้องถิ่น ระดับชาติ และระดับภูมิภาค ในรูปแบบของเอกสารที่ชื่อว่า “คู่มือการพัฒนามาตรฐานระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์” (GIS standards and standardization: A handbook)

- ในทัศนะที่ยอมรับว่าบทบาทของ Global spatial data infrastructure มีความสำคัญต่อการพัฒนาอย่างยั่งยืนต่อเศรษฐกิจของโลกมาก ประเทศสมาชิกควรให้ความสำคัญต่อการพัฒนาและจัดตั้ง National spatial data infrastructure อย่างจริงจัง และสนับสนุนให้มีการพัฒนา National GIS spatial data infrastructure และกิจกรรมอื่นๆ ให้สอดคล้องกับโครงสร้างระดับภูมิภาคและระดับโลกที่มีการดำเนินการไปแล้ว

- องค์กรระดับชาติควรให้ลำดับความสำคัญสูงในการพัฒนามาตรฐานระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์และการนำไปใช้อย่างเป็นระบบระเบียบ นอกจากนี้การพัฒนามาตรฐานนี้ควรเป็นไปในลักษณะที่มองการณ์ไกลด้วย

- ที่ประชุมเสนอให้มีการเชื่อมโยงอย่างเป็นทางการเกิดขึ้นระหว่างการทำงานเชิงพื้นที่ ซึ่งรวมทั้งด้านเทคโนโลยีด้านการรับรู้จากระยะไกล ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก และระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เป็นแนวปฏิบัติในการจัดตั้งโครงสร้างระบบ Geomatics/Geo-Informatics สำหรับเอเชีย และแปซิฟิก

- ในประเทศที่กำลังพัฒนาผู้เชี่ยวชาญที่มีส่วนร่วมในการพัฒนามาตรฐานระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ระดับชาติควรมีส่วนร่วมอย่างเป็นทางการในกิจกรรมของ ISO/TC 211 โดยเฉพาะอย่างยิ่งการประชุมต่างๆ เกี่ยวกับการกำหนดมาตรฐาน

- จากการที่ทราบว่ามีคณะทำงานระดับภูมิภาคเกี่ยวกับ เทคโนโลยีด้านการรับรู้จากระยะไกล ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ และระบบกำหนดตำแหน่งบนโลกเกิดขึ้นแล้ว ที่ประชุมจึงเสนอว่าคณะทำงานดังกล่าวควรทำหน้าที่ดูแลเรื่องมาตรฐานระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในระดับภูมิภาคอย่างมีลำดับความสำคัญสูง

- นอกจากคู่มือการพัฒนามาตรฐานสารสนเทศภูมิศาสตร์แล้ว ESCAP และองค์กรอื่นที่สนใจ ควรพัฒนาคู่มืออื่นๆ ที่เป็นอนุกรม ที่กล่าวถึงประเด็นการเริ่มต้นใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ สารสนเทศ และระบบเครือข่ายสารสนเทศ และประเด็นอื่นๆ ที่เห็นว่าสำคัญเพื่อส่งเสริมการพัฒนาระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ให้เกิดการพัฒนาในระดับภูมิภาค

- ในการจัดเตรียมคู่มือดังกล่าวให้ประเทศที่กำลังพัฒนา ในภูมิภาคขอความร่วมมือทางวิชาการและการสนับสนุนของผู้เชี่ยวชาญจากประเทศที่พัฒนาแล้ว

- ให้ UN-ESCAP จัดทำบัญชีรายชื่อ (Inventory) เกี่ยวกับกิจกรรมด้านต่างๆ เกี่ยวกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ในภูมิภาค รวมถึงโครงการและสิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆ การศึกษาและการอบรม บุคลากร และอื่นๆ เพื่อเพิ่มความรู้ความเข้าใจในสถานภาพเพื่อก่อให้เกิดการสนับสนุนกิจกรรมต่างๆ ที่ยังขาดอยู่ โดยอาศัยความร่วมมือในด้านเทคโนโลยีสารสนเทศภูมิศาสตร์ในภูมิภาคนี้

9.11 หลักการหรือแนวคิดเกี่ยวกับมาตรฐาน (The concept of standard)

วัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอว่ามาตรฐานและกรรมวิธีการเข้าสู่มาตรฐานนั้นมีอะไรได้รับการพัฒนาขึ้นมาบ้าง และทำไมมาตรฐานและกระบวนการเหล่านี้จึงมีความสำคัญในการพัฒนาและปฏิบัติการด้านระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

ในปัจจุบัน ยังมีความไม่เข้าใจเป็นอย่างมากในกลุ่มผู้ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เกี่ยวกับบทบาทและเนื้อหาของมาตรฐานสารสนเทศภูมิศาสตร์ สาเหตุใหญ่เกิดจากความเห็นที่แคบๆ ที่มองว่ามาตรฐานระบบ

สารสนเทศภูมิศาสตร์ ก็คือรูปแบบของการแลกเปลี่ยนหรือโอนถ่ายข้อมูลเพียงอย่างเดียว (Data transfer formats) แม้ว่าจะเป็นความจริง แต่ก็ไม่ใช่เพียงสิ่งเดียวของการพิจารณาการพัฒนามาตรฐานสารสนเทศภูมิศาสตร์

ด้วยวิสัยทัศน์ที่กว้างไกล เทคโนโลยีสารสนเทศปัจจุบันนี้ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการมี “มาตรฐาน” เพราะมิฉะนั้นแล้ว การสื่อสารจะเป็นไปได้ยากหรือไม่ได้เลย เนื่องจากไม่สามารถควบคุมเครื่องมือ อุปกรณ์ ภาษาพูด ภาพและเสียง และสัญญาณภาพซึ่งอาจเป็นเพียงกองขยะที่ประกอบไปด้วยเลข 0 และ 1 เท่านั้น เป็นที่ชัดแจ้งว่าประเด็นของมาตรฐานข้อมูลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์นั้นมีมากกว่ารูปแบบของข้อมูลเท่านั้น ดังนั้นจึงเป็นการดีและมีประโยชน์หากว่าได้มีการตรวจสอบดูหลักการของมาตรฐานของเทคโนโลยีสารสนเทศ ถ้ามีความเข้าใจถึงหลักการของมาตรฐานและการเข้าสู่มาตรฐานด้วยแล้ว ความเป็นห่วงในเรื่องมาตรฐานระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ และความเกี่ยวข้องกับมาตรฐานอุตสาหกรรมอื่นๆ ก็สามารถที่จะนำมาพิจารณาและทบทวนได้

9.11.1 มาตรฐานคืออะไร? (What is a standard?)

คำว่า “มาตรฐาน” ได้มีการบัญญัติไว้ในพจนานุกรมของ Oxford ว่า คือ “บางสิ่งบางอย่างซึ่งใช้เพื่อการทดสอบหรือการวัด หรือการกำหนดน้ำหนัก ความยาว คุณภาพ หรือเพื่อให้ได้มาซึ่งการบรรลุวัตถุประสงค์ และถึงความสำเร็จมากที่สุด” มาตรฐาน คือ ส่วนหนึ่งของการดำรงชีวิตประจำวัน ตัวอย่างเช่น เราวัดระยะทาง น้ำหนัก และปริมาตรโดยใช้หน่วยของมาตรฐานเป็นมาตราเมตริก หรือเป็นหน่วยของมาตรฐานอังกฤษ แต่ในคู่มือนี้เราจะเกี่ยวข้องเฉพาะมาตรฐานที่เกี่ยวโดยตรงหรือโดยอ้อมต่อเทคโนโลยีสารสนเทศเท่านั้น

การที่จะทำความเข้าใจกับมาตรฐานและเทคโนโลยีสารสนเทศ เราอาจพิจารณากรณีของภาษา ซึ่งเป็นหลักการในการที่คนเราจะใช้พูดต่อกันและกันนั้น ใช้หลักการของเสียงประกอบขึ้นเป็นคำ ซึ่งสามารถใช้กับหลักการบางอย่าง ด้วยคำพูดผู้พูดสามารถอ้างถึงสิ่งต่างๆ ในจักรวาลได้โดยจะมีความกำกวมเพียงเล็กน้อยเท่านั้น คุณสมบัติส่วนใหญ่ของภาษาใช้ได้กับมาตรฐานสารสนเทศ รวมทั้งความสามารถในการสื่อสารต่างๆ ด้วย แม้กระนั้นก็ตามภาษาและมาตรฐานสารสนเทศก็มีความแตกต่างกัน มนุษย์มีความอดทนและความยืดหยุ่นต่อความคลุมเครือได้ดีกว่าเครื่องมือ (Machine) เพราะว่ามาตรฐานของเครื่องมือจะต้องคงเส้นคงวาและไม่กำกวม หลักเกณฑ์สองอย่างจะต้องมีส่วนคล้ายคลึงกันมากที่สุดจึงจะสามารถแลกเปลี่ยนกันได้ ภาษาเป็นเรื่องเกี่ยวกับอินทรียภาพ มีวิวัฒนาการ และเป็นสากล ส่วนมาตรฐานเป็นเรื่องเกี่ยวกับระบบและใช้ได้เฉพาะกับเครื่องมือเฉพาะอย่างเท่านั้น มาตรฐานจะเกิดขึ้นได้หลังจากได้วิวัฒนาการขึ้นมา (Evolved) แล้วมีการสร้างและมีการพิสูจน์แล้วเท่านั้น (Invented and proved)

9.11.2 ทำไมจึงต้องมีและใช้มาตรฐาน? (Why standards?)

เครื่องมือที่ใช้สำหรับการที่จะสื่อสารด้วยภาษาคอมพิวเตอร์ที่เป็นระบบบิต ที่ประกอบด้วยเลข 1 และ 0 จะต้องมีวิธีการที่จะจัดรูปแบบ (Arrange) จำแนก (Classify) และแปลตีความ (Interpret) บิตเหล่านี้อย่างเป็นระบบที่คงเส้นคงวา ส่วนใหญ่แล้วเครื่องมือเชิงตัวเลข (Digital device) มีวิธีการทำงานเป็นแบบเฉพาะตัว เช่น ตัวเลขบางอย่างอาจใช้แทนภาพ เสียง หรือคำสั่งก็ได้ แต่บทบาทต่างๆ จะดูเด่นชัดขึ้นเมื่อเครื่องมืออย่างหนึ่งจะต้องทำงานร่วมกับเครื่องมืออีกอย่างหนึ่ง นั่นก็คือการสื่อสารระหว่างเครื่องมือสองอย่างจะต้องเริ่มต้นขึ้น ข้อมูลข้อสนเทศจากเครื่องมือหนึ่งจะต้องเป็นที่เข้าใจของอีกเครื่องหนึ่งด้วย ซึ่งจะเป็นไปได้โดยวิธีใดวิธีหนึ่งใน 3 วิธี คือ

1) เครื่องมือทั้งสองจะต้องใช้วิธีการแปลตีความบิตที่เหมือนกัน
2) เครื่องมืออีกเครื่องหนึ่งต้องยอมใช้ “มาตรฐาน” หรือ “วิธีการ” ของอีกเครื่องหนึ่ง

3) จะต้องมีผู้แปลอยู่ระหว่างเครื่องมือทั้งสองเพื่อทำการแปลข้อมูลที่ไม่สอดคล้องกันให้สอดคล้องกัน ถ้าวิธีใดวิธีหนึ่งไม่ได้เตรียมไว้ จะทำให้เครื่องมือทั้งสองไม่สามารถเข้าใจซึ่งกันและกันได้

มาตรฐานเป็นเครื่องมือซึ่งสามารถทำให้การสื่อสารเป็นที่เข้าใจกันได้ โดยวิธีการกำหนดความหมายให้แก่ บิต และไบต์ ((Byte) อย่างเป็นระเบียบ

มาตรฐานควรคงเส้นคงวา ไม่กำกวม และกว้างขวางเพียงพอที่จะครอบคลุมสิ่งที่ต้องการสื่อสาร และยืดหยุ่นเพียงพอที่จะผนวกเอาข่าวสารอื่นที่ไม่ได้อยู่ในความคิดลงไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ

มาตรฐานเป็นจุดศูนย์กลางของสารสนเทศ แม้ว่าจะอยู่ภายในขอบเขตขององค์กรเดียวก็ตาม ได้มีการถกเถียงกันอย่างกว้างขวางว่าหน้าที่หลักของเจ้าหน้าที่ข้อมูล (Information officer) ขององค์กร คือ การจัดให้มีมาตรฐานเพื่อให้เกิดความสอดคล้องและเกิดการเชื่อมประสาน (Interface) กันได้เหลือเพียงแต่ให้ส่วนที่ทำงานต่างๆ ได้เลือกฮาร์ดแวร์ ซอฟต์แวร์ และข้อมูลเอาเอง

9.11.3 ข้อดีหรือข้อได้เปรียบของการมีมาตรฐาน (Advantages of standards)

มาตรฐานสามารถช่วยแก้ปัญหาบางอย่างได้ เช่น การนำเสนอได้อย่างมีประสิทธิภาพ หรือสามารถบริหารจัดการระบบสื่อสาร และสามารถทำให้ได้ประโยชน์ เช่น สามารถใช้ในการปฏิบัติการร่วมกันได้ สามารถนำไปใช้ในที่ต่างๆ ได้ ใช้ง่าย สามารถเลือกได้และมีผลดีทางเศรษฐกิจ (Economy of scale) ซึ่งจะเกิดมีได้ก็ต่อเมื่อมีหลายๆ ระบบดำเนินการต่างๆ ไปในทางเดียวกัน

9.11.4 ความสามารถดำเนินการร่วมกันได้ การนำไปใช้ในที่ต่างๆ ได้ และการแลกเปลี่ยนข้อมูล (Interoperability, portability and data exchange)

แม้ว่าทั้งสามคำจะมีความคล้ายคลึงกัน แต่ก็ไม่เหมือนกันในแง่ของมาตรฐาน Interoperability คือ ความสามารถในการสื่อสารกันได้ระหว่างระบบต่างๆ ถ้าภายใต้ภาวะแวดล้อมของการทำงานหนึ่งมีสภาพของฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ที่เหมือนกัน ก็จะไม่มีปัญหาเรื่องการทำงานร่วมกัน อย่างไรก็ตาม ลักษณะที่เป็นหนึ่งเดียวกันเช่นนี้จะหาได้ยากมากในความเป็นจริง โดยเฉพาะอย่างยิ่งภายในองค์กรที่ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ มาตรฐานหลายตัวจะเกี่ยวกับการที่เครื่องมือชนิดหนึ่งต้องการที่จะสื่อสารกับเครื่องมืออีกชนิดหนึ่งเท่านั้นเอง

Portability คือ ลักษณะหรือความสามารถที่จะใช้ซอฟต์แวร์ที่เขียนขึ้นสำหรับเครื่องมือชนิดหนึ่งกับเครื่องมืออีกชนิดหนึ่งได้ เป็นการเปรียบเทียบถึงความคล่องตัวในการใช้งาน ลักษณะเช่นนี้มีความสำคัญมากในการพิจารณาเลือกภาษาสำหรับการเขียนโปรแกรม (Programming language) ในคอมพิวเตอร์และระบบปฏิบัติการของคอมพิวเตอร์ (Computer operating system) คุณค่าของซอฟต์แวร์จะมีเพิ่มขึ้นถ้าฟังก์ชันของซอฟต์แวร์นั้นๆ สามารถใช้ได้โดยโปรแกรมอื่นอย่างคงเส้นคงวา คุณค่าของคำว่า การนำไปใช้ในที่ต่างๆ ได้ จะอยู่ที่ความสามารถในการประหยัดค่าใช้จ่ายได้ และความมีมาตรฐานสามารถเพิ่มคุณค่าให้คำว่าการนำไปใช้ในที่ต่างๆ อีกด้วย

คำว่าการนำไปใช้ในที่ต่างๆ ได้ ไม่เหมือนกับคำว่า การดำเนินงานร่วมกันได้เสียทีเดียว เพราะการนำไปใช้ในที่ต่างๆ ได้นั้น ผู้เขียนโปรแกรมสามารถเขียนรหัสสำหรับระบบหนึ่งแล้วสามารถเปลี่ยนให้ใช้กับอีกระบบหนึ่งได้ ส่วนการดำเนินงานร่วมกันได้นั้น ผู้ใช้สามารถเข้าถึงระบบหนึ่งได้โดยไม่ต้องคำนึงถึงเรื่องของฮาร์ดแวร์หรือซอฟต์แวร์ (คือใช้ร่วมกันได้โดยตรง)

Data exchange หรือความสามารถในการแลกเปลี่ยนข้อมูลเป็นสิ่งที่กล่าวถึงกันมากว่าเป็นความจำเป็นของการมีมาตรฐาน ตัวอย่างของการแลกเปลี่ยนข้อมูลที่เห็นได้ชัดในระยะเริ่มต้นได้แก่ความพยายามในการที่จะ

ให้โปรแกรมใน Word processor ที่ต่างชนิดกันสามารถที่จะเข้าใจและแลกเปลี่ยนเอกสารซึ่งกันและกันได้ ในการนี้จะต้องใช้ความพยายามส่วนใหญ่ในการแปลความหมายของข้อมูลหรือเอกสารซึ่งผลิตโดยโปรแกรมหนึ่งให้ใช้ได้กับอีกโปรแกรมหนึ่งซึ่งเป็นสิ่งที่ทำให้เกิดค่าใช้จ่ายส่วนใหญ่ในการพัฒนาซอฟต์แวร์ ดังนั้นมาตรฐานที่ใช้ในการแสดงลักษณะที่ไม่ใช่ตัวอักษร (Non-text features) ให้เป็นที่เข้าใจระหว่างเครื่องมือหลายชนิดจึงเป็นสิ่งที่มีคุณค่ามากในการใช้เพื่อการแลกเปลี่ยนข้อมูลเพื่อให้เกิดการมีประสิทธิภาพและคงเส้นคงวาได้

9.11.5 การมีทางเลือกและความมีคุณค่าทางเศรษฐกิจ (More choice and economies of scale)

มาตรฐานสามารถขยายวงของการเลือกออกไปได้ในระดับหนึ่งในขณะที่ต้องจำกัดในอีกระดับหนึ่ง ตัวอย่างที่เห็นได้ในเวลาที่ผ่านมาคือการแข่งขันกันในตลาดของผู้ผลิตเครื่องบันทึกวิดีโอที่เรียกว่า Video Cassette Recorder (VCR) มีการแข่งขันกัน 2 รูปแบบคือ VHS และ Betamax ก่อนที่ VHS จะเป็นผู้ชนะและใช้ในท้องตลาดเป็นมาตรฐานนั้น (ตอนปลายทศวรรษที่ 1980) วิดีโอที่เป็นเรื่องที่คนนิยมจะต้องผลิตอยู่ทั้งสองรูปแบบคือ ทั้ง VHS และ Betamax ทำให้เพิ่มรายจ่ายทั้งในการผลิตและการเผยแพร่ อีกทั้งยังยุ่งยากแก่ผู้ใช้ด้วย

มาตรฐานของความสามารถใช้ร่วมกัน (Interface standards) ได้เปิดให้มีทางเลือกที่จะใช้ระบบต่างๆ ที่ไม่เหมือนกันได้ ซึ่งสมัยก่อนนั้นจะต้องซื้อเพียงอย่างใดอย่างหนึ่งเพียงอย่างเดียว ตัวอย่างของการเลือกที่จะใช้ระบบต่างๆ ร่วมกันได้นั้น จะเห็นได้ง่ายๆ เช่น เราสามารถที่จะแต่งเอกสารโดยใช้ Microsoft word program บนคอมพิวเตอร์ที่ใช้ Intel pentium เป็น CPU และใช้ฮาร์ดดิสก์ของ Seagate ใช้ Matrox graphic card ใช้มอนิเตอร์ของ Sony ใช้คีย์บอร์ดของ IBM และเมาส์ของ Microsoft เป็นต้น แล้วส่งเอกสารที่แต่งเสร็จแล้วไปพิมพ์บนเครื่องพิมพ์ของ Hewlett-Packard หรืออาจส่งไปให้ผู้ร่วมงานโดยผ่านทางอินเทอร์เน็ตเพื่อขอความเห็น ซึ่งเขาอาจใช้โปรแกรม Word perfect ในเครื่องของเขาก็ได้ จะเห็นได้ว่าฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ที่กล่าวถึงทั้งหลายนั้น สามารถทำงานร่วมกันได้ดี ต้องขอบคุณฝ่ายที่ทำให้เกิดมาตรฐานที่เรียกว่า “PC-clone standards” โดยมาตรฐานของ PC-clone นี้เป็นสิ่งที่เปิดเผย การเชื่อมประสานระหว่างระบบกลไก ระบบไฟฟ้า ระบบอิเล็กทรอนิกส์ และซอฟต์แวร์อย่างคงเส้นคงวา และมีขายในสาธารณะอย่างแพร่หลาย ทำให้ผู้ใช้สามารถใช้วัสดุอุปกรณ์ให้เหมาะสมกับการใช้งานทั้งในส่วนตัวหรือในองค์กร โดยที่การที่จะซื้อเครื่องมือใหม่ๆ ผู้ใช้มีโอกาสที่จะเลือกองค์ประกอบต่างๆ ได้ตามคุณสมบัติการใช้งานตาม Functionality ของเครื่อง และตามขีดความสามารถและราคาที่ดีที่สุด (Performance/Price) โดยไม่ต้องเป็นห่วงในเรื่องของยี่ห้อเพราะว่าความสอดคล้องต่างๆ ขององค์ประกอบกับคอมพิวเตอร์ที่จะใช้นั้นแทบจะเรียกได้ว่ารับประกันได้เลยทีเดียว

ผลิตภัณฑ์มาตรฐานโดยทฤษฎีแล้วจะขึ้นอยู่กับการแข่งขันกันมาก ควรทำให้ราคาถูกลง อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติแล้ว ความคิดเช่นนี้อาจไม่จริงเสมอไป เนื่องจากว่ามาตรฐานนั้นได้รับการพัฒนาออกมาเพื่อรองรับทางเลือกได้มากกว่าผลิตภัณฑ์ที่ผลิตขึ้นมาโดยเฉพาะ (Proprietary products) เป็นที่น่าสังเกตและเป็นความจริงในทางปฏิบัติที่ว่าการเข้าสู่ความเป็นมาตรฐานนั้น ผู้ปฏิบัติอาจต้องเสียค่าใช้จ่ายมาก โดยเงินที่เสียเพิ่มมาจะเป็นการซื้อระบบมาตรฐาน และการดัดแปลงหรือเปลี่ยนแปลงผลิตภัณฑ์หรือการให้บริการให้มีความสอดคล้องและเข้ากันได้กับมาตรฐานที่ต้องการใช้ที่ได้รับการรับรอง คุณค่าของมาตรฐานอยู่ที่การคงไว้ซึ่งการมีทางเลือกในอนาคต

ทางเลือกและความมีคุณค่าทางเศรษฐกิจมีความสัมพันธ์กันอย่างหนาแน่น นั่นคือการครอบคลุมการตลาดด้วยราคาเดียวจะง่ายและถูกกว่าหลายราคาที่แตกต่างกันออกไป อันเนื่องมาจากความแตกต่างของสินค้า มาตรฐานที่ครอบคลุมกว้างๆ จะเป็นการง่ายต่อการพัฒนาซอฟต์แวร์ออกมาให้ใช้ได้กับเครื่องมืออุปกรณ์หลายประเภท

9.11.6 ความง่ายต่อการเรียนรู้ (Ease of learning)

การใช้รูปแบบร่วมกันในหลายฮาร์ดแวร์หรือซอฟต์แวร์จะทำให้ผู้ใช้ซึ่งรู้จักระบบหนึ่งเรียนรู้อีกระบบหนึ่งได้ง่าย ตัวอย่างเช่น มาตรฐานที่เรียกว่า Graphical User Interface (GUIs) ประสบความสำเร็จในการทำให้ Microsoft windows และ Apple macintosh สามารถใช้ซอฟต์แวร์ด้านกราฟิกร่วมกันได้

ความง่ายต่อการเรียนรู้มีผลในทางการใช้คอมพิวเตอร์มาก มาตรฐานของ User interface นั้นประสบความสำเร็จได้ง่าย 2 ประการ คือ (1) ธรรมชาติของมนุษย์มีความยืดหยุ่น ดังนั้นมาตรฐาน User interface จึงไม่จำเป็นต้องมีความสมบูรณ์ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ (2) ธรรมชาติของมนุษย์มีความเชื่องช้า การกดปุ่มคีย์ หรือผลลัพธ์จากจอสามารถเปลี่ยนให้เป็นแบบที่นิยมกันได้โดยไม่ได้สังเกตว่าต้องการเวลาเพิ่มขึ้น ตัวอย่างเช่น ระบบปฏิบัติการ UNIX สามารถเปลี่ยนให้คล้ายกับ Microsoft windows ได้ หรือเครื่อง Macintosh สามารถใช้แทนระบบ UNIX ได้ด้วย

9.11.7 ข้อเสียเปรียบของมาตรฐาน (Drawbacks of standards)

มาตรฐานบางตัวไม่สามารถแก้ไขปัญหาได้อย่างเรียบร้อยเนื่องจากการสูญเสียเนื้อหาไปในระหว่างกระบวนการจัดทำ บางตัวก็ไม่ประสบความสำเร็จในการทำตลาดเนื่องจากผู้ใช้ไม่มีความสนใจเนื่องจากเห็นว่าได้ไม่เท่าที่เสียไป เป็นต้น

มาตรฐานไม่มีความสมบูรณ์พร้อมทุกอย่างเสมอไป ตัวอย่างเช่น SQL ซึ่งออกมาใช้แล้วแต่ยังขาดฟังก์ชันที่ถือว่าเป็นพื้นฐานในการจัดการฐานข้อมูล (Date, 1989) ทำให้บริษัทผู้จัดจำหน่ายต้องปรับปรุงแก้ไขอีกเป็นอันมาก ทำให้การใช้ SQL ไม่ได้รับความนิยมเท่าที่ควร กระบวนการในการจัดทำมาตรฐานอาจถูกใช้เป็นเครื่องมือในการทำโทษผู้ที่มีส่วนช่วยในการทำมาตรฐาน บริษัทคู่แข่งอาจใช้เวทีนี้ดัดแปลงข้อเสนอเพื่อลดความได้เปรียบของกลุ่มริเริ่มก็ย่อมทำได้

กระบวนการพัฒนามาตรฐานอาจมีส่วนปิดกั้นความคิดสร้างสรรค์ โดยอาจหยุดการค้นคว้าหาผลลัพธ์ที่ดีกว่า ถ้า Apple คอมพิวเตอร์ใช้มาตรฐานของ DOS ซึ่งเข้ามาแทนระบบปฏิบัติการ CP/M เก่า Apple ก็จะไม่สามารถนำเอาความคิดใหม่ๆ ในการนำเอา Macintosh เข้ามาสู่ตลาดได้เลย ถ้า Microsoft windows ไม่ปรับเอาความคิดใหม่ๆ ของ Apple มาใช้ ก็จะไม่สามารถเข้าสู่ตลาดได้ หรือไม่ก็จะล่าช้ากว่าที่เป็นไปแล้ว

มาตรฐานเป็นอุปสรรคหรือปิดกั้นการแข่งขันหรือไม่? งานเบื้องต้นของกระบวนการจัดทำมาตรฐานก็คือนำเอาคู่แข่งทางอุตสาหกรรมเข้ามาร่วมกันเพื่อวัตถุประสงค์ของการจำกัดวงของตลาดลง โดยส่วนใหญ่แล้วนี่เป็นการสร้างข้อกำหนดขึ้นมาเพื่อจะตรวจสอบว่าผลิตภัณฑ์ไม่มีมาตรฐาน บริษัทอุตสาหกรรมมักจะได้รับคำกล่าวหาว่าใช้อิทธิพลที่จะทำให้เกิดมาตรฐานเพื่อให้เกิดความได้เปรียบคู่แข่ง และให้เกิดการผูกขาดโดยให้มีมาตรฐานเป็นทางการหรือเป็นมาตรฐานที่ยอมรับโดยปริยาย (de facto standards) ในทางกลับกัน การพัฒนามาตรฐานส่วนเชื่อมประสานระหว่างระบบย่อยๆ จะทำให้บริษัทมีแนวความคิดใหม่ๆ ที่จะผลิตชิ้นส่วนประกอบออกมา แทนที่จะหาวิธีแข่งขันในการผลิตออกมาทั้งระบบ วิธีการนี้จะลดค่าใช้จ่ายในการเข้าสู่ตลาดใหม่ๆ และส่งเสริมให้เกิดโอกาสแก่ผู้ที่จะเข้ามาร่วมในการแข่งขันกันในระดับชิ้นส่วน

9.11.8 อะไรมีส่วนทำให้ได้มาตรฐานที่ดี (What makes a good standard?)

มาตรฐานที่ดีสามารถแก้ปัญหาได้อย่างครบถ้วนและเกิดประโยชน์ในสาขาที่มีการใช้งานร่วมกัน ช่วงเวลาและความครบถ้วนและครอบคลุมของมาตรฐานเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เป็นมาตรฐานที่ดี

1) ช่วงเวลาที่ถูกต้องและเหมาะสม (Correct timing)

เรื่องความเหมาะสมของช่วงเวลาเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งสำหรับการที่จะมีมาตรฐานใดๆ ถ้าไม่มีการวางแผนอย่างรอบคอบแล้ว มาตรฐานที่พัฒนาออกมาจะต้องเป็นอย่างใดอย่างหนึ่งคือ ถ้าไม่ช้าเกินไปก็เร็วเกินไป ไม่พอดีกับความต้องการ ถ้าออกมาเร็วเกินไปก็จะไม่กระจ่างว่าอะไรคือสิ่งที่ต้องการจริงๆ และจะเป็นการเสี่ยงต่อหลายๆ อย่างที่อาจจะเป็นสิ่งที่ต้องการจริงๆ และจะเป็นการเสี่ยงต่อหลายๆ อย่างที่อาจเป็นสิ่งที่ไม่ดี ในทางกลับกัน หากมาตรฐานออกมาช้าเกินไป ก็จะมีการจับกลุ่มกันเพื่อวัตถุประสงค์ในด้านผลประโยชน์เกิดขึ้น ซึ่งจะมีบางกลุ่มที่ไม่เต็มใจที่จะยอมรับมาตรฐานที่แตกต่างไปจากรูปแบบที่เขาเหล่านั้นต้องการ

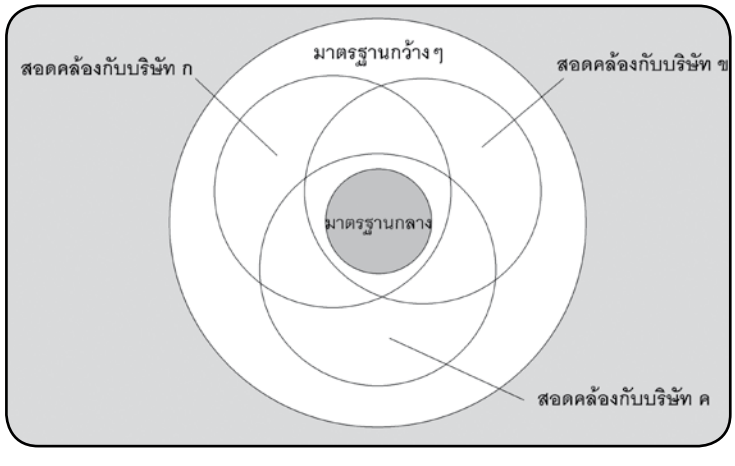
มาตรฐานที่เป็นทางการมักจะมีความก้าวหน้ามากเกินไป และมักจะช้ากว่ากำหนดเสมอ กำหนดการสำหรับการพัฒนามาตรฐานนั้นยากที่จะควบคุมได้ เพราะปัญหานี้ไม่ใช่ปัญหาที่จะบอกได้โดยประเด็นทางเทคโนโลยี และการไม่ลงรอยกันระหว่างผู้เชี่ยวชาญเท่านั้น ยังจะต้องขึ้นอยู่กับการผลักดันด้านความต้องการ (Demand push) อีกด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งจากกลุ่มผู้มีอิทธิพลในตลาดเชิงพาณิชย์ด้วย

2) ความกว้างและความถูกต้องของมาตรฐาน (Correct comprehensiveness)

มาตรฐานส่วนใหญ่ต้องการระดับของความกว้างอย่างเหมาะสม (ภาพที่ 4.26) ในกรณีนี้จะเห็นว่ามีความต้องการวิธีการที่คงเส้นคงวาในการแสดงข่าวสาร ในขณะเดียวกันก็ต้องการช่องว่างที่จะหาวิธีในการแสดงผลที่ใหม่ๆ ได้ด้วย

มาตรฐานที่ดีควรจะต่อยอดไปได้อีก ควรจะคาดการณ์ล่วงหน้าและพร้อมที่จะรองรับเทคโนโลยีได้โดยปราศจากการทำให้ระบบและซอฟต์แวร์ที่ใช้เกิดการล้าสมัย มาตรฐานที่ดีนั้นควรมีความโปร่งใส และควรจะให้การเข้าถึงข้อมูลหลายชนิด หรือเครื่องมือต่างๆ โดยที่ผู้ใช้ไม่จำเป็นต้องรู้กระบวนการทั้งหมด

มาตรฐานที่ดีไม่ควรมีความสลับซับซ้อน มาตรฐานที่ใช้ทรัพยากรด้านคอมพิวเตอร์มาก ต้องการซอฟต์แวร์มากในการใช้ และต้องใช้จ่ายอย่างมากในการบำรุงรักษาจะต้องใช้ความพยายามเป็นอย่างมากในการขายเพื่อนำไปใช้ และก็จะใช้ทรัพยากรทุกด้านอย่างมากต่อไป ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ไม่เหมาะสม



ภาพที่ 4.26 *แสดงให้เห็นว่ามาตรฐานอย่างกว้างๆ นั้นมีได้อย่างไร*
แหล่งที่มา: ดัดแปลงจาก Libicki, 1995

9.11.9 อะไรมีส่วนทำให้มาตรฐานประสบความสำเร็จ? (What makes a successful standard?)

มาตรฐานที่ประสบความสำเร็จ คือ มาตรฐานที่ได้รับการยอมรับจากกลุ่มผู้ใช้หรือตลาดการค้า

มาตรฐานคือ ผลลัพธ์ที่ได้มาจากแหล่งที่หลากหลายซึ่งประกอบไปด้วยกลุ่มผู้ใช้ กลุ่มบริษัทผู้ขาย รัฐบาล กลุ่มที่รวมตัวกันเพื่อกิจกรรมบางอย่าง (Consortia) และมหาวิทยาลัย

กรรมวิธีที่เป็นทางการ (Formalization) เกิดขึ้นโดยผ่านคณะกรรมการระดับชาติหรือระดับนานาชาติ และบ่อยครั้งต้องการการอนุมัติโดยรัฐบาล องค์กรระดับชาติที่มักมีส่วนเกี่ยวข้องกับการพัฒนามาตรฐาน ตัวอย่างเช่น สถาบันมาตรฐานแห่งชาติของอเมริกัน (American National Standard Institute : ANSI) สถาบันมาตรฐานแห่งชาติ (National Institute of Standards : NIST, US) Deutsche Institute for Normung (DIN, Germany) และระบบมาตรฐานของญี่ปุ่น (Japan's Standard System) คณะกรรมการนานาชาติที่เกี่ยวข้องกับการทำมาตรฐานเทคโนโลยีสารสนเทศ ได้แก่ International Telecommunication Union (ITU) International Organization for Standardization (ISO) The European Computer Manufacturers Association (ECMA) และ Comete European de Normalisation Electro-technique (CEN/CENELEC)

มาตรฐานที่ดีต้องเป็นที่ต้องการของทั้งบริษัทผู้ขายอุปกรณ์ (Vendors) และกลุ่มผู้ใช้ กลุ่มบริษัทผู้ขายจะให้คำปรึกษาเกี่ยวกับสิ่งต่างๆ ที่เป็นไปได้และสะดวกสบาย ในขณะที่กลุ่มผู้ใช้ให้คำแนะนำเกี่ยวกับความจำเป็นและความพอเพียง ไม่ว่าจะเป็นกรณีใดก็ตาม มาตรฐานที่ประสบความสำเร็จจะต้องผ่านการตรวจสอบของตลาด ซึ่งผลการทดสอบอาจไม่ทราบล่วงหน้าได้

สิ่งที่จะบอกถึงความสำเร็จของมาตรฐานได้นั้น ก็เปรียบได้เหมือนกับสิ่งที่บอกความสำเร็จของเทคโนโลยี ถ้าทุกอย่างเหมือนกัน มาตรฐานที่ใช้ได้ดีและเร็วกว่าจะเป็นฝ่ายที่ชนะและคงอยู่ต่อไป

9.12 มาตรฐานระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์คืออะไร? (What is GIS standard?)

มาตรฐานระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ หมายถึง มาตรฐานที่ใช้ได้กับข้อมูลภูมิศาสตร์หรือข้อมูลเชิงพื้นที่ (Geographic data or Spatial data) คำนิยามที่ง่ายและได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางของข้อมูลภูมิศาสตร์ คือ ข้อมูลที่สามารถอ้างอิงเชิงพื้นที่ได้ (Spatially referenced data) ด้วยคำจำกัดความเช่นนี้ ข้อมูลภูมิศาสตร์จะต้องสามารถแสดงให้เห็นได้บนพื้นผิว (Surface) ของโลกโดยมีจุดพิกัดอ้างอิงได้ (เช่น เส้นรุ้ง เส้นแวง เป็นต้น)

โดยปกติแล้ว ข้อมูลภูมิศาสตร์ประกอบด้วยองค์ประกอบ 4 อย่าง คือ

- ตำแหน่งของสิ่งของ
- ความสัมพันธ์ของสิ่งของกับสิ่งที่อยู่ใกล้เคียง
- คำอรรถาธิบาย และ
- เวลาที่เกิดเหตุการณ์ต่างๆ ขึ้น

ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เป็นระบบที่ได้รับการออกแบบมาเพื่อให้สามารถจัดการกับข้อมูลที่มีความซับซ้อนได้ เพราะฉะนั้นย่อมเป็นที่เข้าใจได้ว่าเกือบทุกระบบของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ใช้ข้อมูลเฉพาะอย่างรวมทั้งรูปแบบ (Format) เพื่อให้สามารถใช้ได้กับข้อมูลภูมิศาสตร์ที่มีความยุ่งยากและสลับซับซ้อนเป็นคุณสมบัติประจำตัวเสมอ ด้วยเหตุผลเช่นนี้เองการถ่ายทอดข้อมูลจากเครื่องมือชนิดหนึ่งไปสู่อีกชนิดหนึ่งจะทำได้โดยใช้ซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นมาเป็นพิเศษ วิธีการเช่นนี้ทำให้ประสบปัญหามากมาย เช่น การสูญเสียค่าใช้จ่ายที่เป็นทั้งเงินและเวลาในการพัฒนาสิ่งเหล่านี้

ความพยายามในระยะแรกของการที่จะพัฒนามาตรฐานสารสนเทศภูมิศาสตร์เป็นทั้งสิ่งที่ท้าทายและได้รับการต่อต้านด้วยเหตุผลดังต่อไปนี้

- การมีความเข้าใจที่ไม่เหมือนกันในการยอมรับเอาแบบจำลองข้อมูลชนิดที่เป็นของร่วมกัน และคำนิยามของแบบจำลองข้อมูลเชิงพื้นที่ที่ใช้โดยกลุ่มผู้ขายต่างๆ ก็แตกต่างกันออกไป ดังนั้น ข้อตกลงร่วมกันเรื่องโครงสร้างของข้อมูลเชิงพื้นที่ก็ไม่เกิด

- ไม่มีระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ที่มีอยู่ในท้องตลาดใดๆ ที่จะสามารถประยุกต์ใช้ได้ในทุกกรณี ในความเป็นจริงแล้วความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เชิงสหสาขา (Multidisciplinary) นั้นมีมากมาย ทำให้มีข้อมูลและรูปแบบของการปฏิบัติการของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์มากมาย ให้มีความยุ่งยากในการที่จะสร้างมาตรฐานอย่างหนึ่งขึ้นมาให้ใช้ได้กับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ทุกรูปแบบ

- ส่วนใหญ่พบว่าเมื่อพูดถึงมาตรฐานสารสนเทศภูมิศาสตร์นั้น หมายถึง มาตรฐานของการประยุกต์ใช้งาน ตัวอย่างเช่น ปัญหาในการจัดทำฐานข้อมูลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ระดับภูมิภาคเป็นเรื่องของการจำแนก (Classification) ข้อมูล และเป็นการให้คำจำกัดความ (Definition fields) เป็นจำนวนไม่น้อยเลย เป็นต้นว่าการจำแนกดิน หรือการจำแนกการใช้ที่ดินก็มีรูปแบบที่ต่างกันออกไปในประเทศต่างๆ กัน เมื่อผนวกสิ่งเหล่านี้เข้ากับเรื่องของภาษาพูดและภาษาเขียนที่แตกต่างกันออกไปแล้ว มาตรฐานสารสนเทศภูมิศาสตร์จึงไม่มีปัญหา แต่ก่อนที่จะมีการริเริ่มก็ตามเพื่อให้เกิดความเข้าใจยิ่งขึ้น การพิจารณาลักษณะและธรรมชาติของสารสนเทศภูมิศาสตร์อาจให้ความกระจ่างขึ้นได้

9.12.1 สารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic information)

ความหมายโดยกว้างๆ ของสารสนเทศภูมิศาสตร์ หมายถึง สารสนเทศใดๆ ที่สามารถจัดทำดัชนีโดยการแสดงเชิงภูมิศาสตร์ได้ (Indexed by geographic descriptor) ตัวแสดงเชิงภูมิศาสตร์ (Geographic descriptor) ที่ว่านี้ คือ ระบบจุดพิกัดซึ่งกำหนดค่าตำแหน่งของวัตถุต่างๆ บนโลกได้ ทั้งแบบสัมบูรณ์ (Absolute) และแบบสัมพันธ์ (Relative)

สารสนเทศภูมิศาสตร์ประกอบไปด้วยองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกัน 4 ประการ คือ

- ตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ (Geographic position)
- ความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ (Spatial relationship)
- ข้อมูลอรรถาธิบาย (Attributes)
- เวลาที่เหตุการณ์เหล่านั้นเกิดขึ้น (Temporal representation)

ตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ หมายถึง ระบบจุดพิกัด (Coordinate system) เช่น ละติจูด หรือลองจิจูดตามที่ใช้กันอยู่ในภูมิภาคต่างๆ

ความสัมพันธ์เชิงพื้นที่นั้น หมายถึง ความสัมพันธ์ของข้อมูลเชิงพื้นที่ที่มีซึ่งกันและกันตามระบบทอพอโลยีที่ใช้กัน ตัวอย่างเช่น ความสัมพันธ์ระหว่างจุด เส้น และพื้นที่ หรือพื้นที่ต่างๆ ซึ่งเป็นรูปแบบของข้อมูลแผนที่ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

ข้อมูลเชิงอรรถาธิบายจะสามารถบอกเกี่ยวกับข้อมูลภูมิศาสตร์หรือข้อมูลเชิงพื้นที่ที่เกี่ยวข้อง ข้อมูลเชิงอรรถาธิบายและข้อมูลเชิงพื้นที่จะต้องมีการเชื่อมโยง (Link) กันอย่างเป็นระเบียบภายในฐานข้อมูลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

มาตรฐานสารสนเทศภูมิศาสตร์ จะต้องสามารถรองรับองค์ประกอบทั้ง 4 ที่กล่าวข้างต้นของข้อมูลภูมิศาสตร์ เพื่อความคงเส้นคงวาและคุณภาพของการแลกเปลี่ยนข้อมูล พร้อมด้วยการใช้งานร่วมกันได้ของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

9.12.2 องค์ประกอบของมาตรฐานสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Components of a GIS standard)

แม้ว่าองค์ประกอบของมาตรฐานภูมิศาสตร์ที่แตกต่างกันจะแตกต่างกันก็ตาม แต่ก็ยังมีส่วนที่น่าจะพิจารณาร่วมกันซึ่งพบอยู่ในมาตรฐานที่มีอยู่แล้วและที่กำลังจะเกิดขึ้นในอนาคต เราจะใช้ตัวอย่างของกรณีของสหรัฐอเมริกาเป็นตัวอย่างเพื่อแสดงให้เห็นความเป็นมา นั่นคือในกรณีของ SDTS

SDTS ประกอบไปด้วย 3 ส่วนที่เห็นได้ชัด

- ข้อกำหนดตามแบบตรรกะ (Logical specifications)
- ลักษณะเด่นเชิงพื้นที่ (Spatial features)
- การนำไปปฏิบัติให้ได้ผล (Implementation)

แต่ละส่วนมีความเกี่ยวข้องกัน แต่ค่อนข้างจะเป็นอิสระซึ่งแต่ละส่วนจะดำเนินการไปเพื่อการถ่ายทอดข้อมูลที่ต้องการ

1) ข้อกำหนดตามแบบตรรกะ

ในส่วนที่หนึ่งของ SDTS ซึ่งเกี่ยวกับข้อกำหนดตามแบบตรรกะ ใช้ในการถ่ายทอดข้อมูลโดยตรง และข้อกำหนดตามแบบตรรกะนี้ จะประกอบไปด้วย 5 ส่วน คือ

- ส่วนที่ 1 : บทนำ ประกอบไปด้วยรายละเอียดและขอบเขตของมาตรฐานความสอดคล้อง (Conformance) ข้ออ้างอิง และคำนิยาม (Reference and Definitions)

- ส่วนที่ 2 : หลักการของข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial data records) บ่งบอกถึงแบบจำลองแนวความคิดของข้อมูลเชิงพื้นที่ ซึ่งจะเป็นพื้นฐานของมาตรฐานการถ่ายทอดข้อมูลเชิงพื้นที่ แบบจำลองแนวความคิดนี้ จะกำหนดรูปแบบไว้แบบทั่วไปกว้างๆ เพื่อรองรับได้กับแบบจำลองต่างๆ ของผู้ใช้แบบจำลองแนวความคิดของมาตรฐานการถ่ายทอดข้อมูลเชิงพื้นที่ยังประกอบไปด้วยอีก 3 ส่วน คือ

  • แบบจำลองที่ใช้อธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในโลกของความเป็นจริง ซึ่งประกอบไปด้วยส่วนที่เกี่ยวข้องเชิงพื้นที่ พร้อมด้วยส่วนอรรถาธิบาย

  • แบบจำลองของวัตถุเชิงพื้นที่ (Spatial objects) ที่มีมิติในลักษณะต่างๆ เช่น เป็น 0 1 และ 2 มิติ (Two-dimensional) ซึ่งแสดงรูปร่างของวัตถุในโลกของความเป็นจริง

  • แบบจำลองของการอรรถาธิบายความสัมพันธ์ของวัตถุเชิงพื้นที่กับเหตุการณ์เชิงพื้นที่ (Spatial objects and Spatial phenomena)

- ส่วนที่ 3 : คุณภาพของข้อมูล บ่งชี้ให้เห็นลักษณะเป็นรายงานเกี่ยวกับคุณภาพของข้อมูล เพื่อให้ผู้ใช้ได้ประเมินความเหมาะสมในการนำมาใช้ในเรื่องของคุณภาพข้อมูลนั้น จะแบ่งย่อยออกไปได้อีกถึง 5 ส่วน คือ
    - แหล่งกำเนิด หรือแหล่งที่มา (Lineage)
    - ความถูกต้องเชิงตำแหน่ง (Positional accuracy)
    - ความถูกต้องเชิงอรรถาธิบาย (Attribute accuracy)
    - ความคงเส้นคงวาเชิงตรรกะ (Logical consistency)
    - ความครบถ้วนสมบูรณ์ (Completeness)
- ส่วนที่ 4 และส่วนที่ 5 : เป็นส่วนที่บ่งชี้ถึงการถ่ายทอดข้อมูลที่เป็นมาตรฐาน ของมาตรฐานการถ่ายทอดข้อมูลเชิงพื้นที่ ส่วนที่ 4 ประกอบด้วยหลักการทั่วไป และข้อกำหนดที่เกี่ยวกับมอดูล (Module) ต่างๆ ในส่วนที่ 5 มีการสร้างรูปแบบของการถ่ายทอดข้อมูล และมีการแสดงข้อกำหนดของชุดการถ่ายทอดข้อมูลด้วย การถ่ายทอดข้อมูลตามมาตรฐานการถ่ายทอดข้อมูลเชิงพื้นที่ ทำเป็นมอดูล ซึ่งประกอบด้วย ระเบียน เขตข้อมูลและเขตข้อมูลย่อยต่างๆ ในมาตรฐานการถ่ายทอดข้อมูลเชิงพื้นที่ มีทั้งหมด 34 มอดูล ซึ่งมีรายละเอียดของเขตข้อมูลและเขตข้อมูลย่อย ซึ่งแสดงสารสนเทศหลากชนิด เป็นต้นว่า คุณภาพข้อมูลระดับโลก รูปลักษณ์ที่เด่น และพจนานุกรมข้อมูลเชิงพื้นที่ พิกัดอ้างอิง วัตถุเชิงพื้นที่ ข้อมูลเกี่ยวกับคำอรรถาธิบาย และสัญลักษณ์ต่างๆ

2) คำนิยามของลักษณะเด่นเชิงพื้นที่ (Definition of spatial features)

ส่วนนี้ของมาตรฐานมีวัตถุประสงค์เพื่อตอบสนองความต้องการของการที่จะต้องมีคำนิยามร่วมกันและสอดคล้องกันของลักษณะเด่นเชิงพื้นที่ (Spatial features) ในกระบวนการของการถ่ายทอดข้อมูล แบบจำลองที่เป็นพื้นฐานพร้อมด้วยคำนิยามจะใช้เป็นรากฐานของการแลกเปลี่ยนข้อมูลด้านแผนที่เชิงเลขที่มีอยู่ ลักษณะข้อมูลเชิงพื้นที่และคำอรรถาธิบายพร้อมด้วยคำนิยาม คำนิยามของลักษณะเชิงพื้นที่มีประมาณ 2,600 คำ ซึ่งแบ่งออกเป็นผู้ใช้ 200 ชนิด คำอรรถาธิบาย จำนวน 244 ชนิด และคำศัพท์ต่างๆ 1,200 ชนิด ส่วนนี้ของมาตรฐานประกอบด้วยคำนำ และส่วนที่รวมอยู่ในแบบจำลองแนวความคิด ขอบเขต และสาขาการประยุกต์ใช้ ความสัมพันธ์กับมาตรฐานอื่นๆ ข้ออ้างอิง ความสอดคล้องและสถานภาพปัจจุบัน ฯลฯ

3) การเริ่มนำเอามาตรฐานไปใช้ (Implementation)

ในขณะที่ส่วนที่ 1 และส่วนที่ 2 ของมาตรฐานการถ่ายทอดข้อมูลเชิงพื้นที่ ได้เกี่ยวข้องกับมาตรฐานในระดับเชิงตรรกะและเชิงแนวความคิด และส่วนที่ 3 กล่าวถึงการนำมาตรฐานมาใช้จริงด้านกายภาพ โดยใช้มาตรฐาน ISO 8211 ที่มีอยู่ ส่วนที่ 3 นี้ จะบอกถึงการที่เขตข้อมูลและเขตข้อมูลย่อยในมาตรฐานการถ่ายทอดข้อมูลเชิงพื้นที่จะปรับเข้าสู่ ISO 8211 ได้อย่างไร

มาตรฐาน ISO 8211 (รู้จักกันในนามของ ANSI/ISO 8211 และ FIPS 123) เป็นรูปแบบทั่วไปของการแลกเปลี่ยนข้อมูลทุกชนิดไม่เฉพาะแต่ข้อมูลเชิงพื้นที่เท่านั้น ISO 8211 สามารถดำเนินการหรือหาวิธีดำเนินการในการถ่ายทอดข้อมูล และคำจำกัดความระหว่างระบบคอมพิวเตอร์ที่ไม่เหมือนกัน แต่ผู้ใช้จะต้องให้คำจำกัดความและความหมายของแต่ละรายการของข้อมูลที่ต้องการ มาตรฐานการแลกเปลี่ยนข้อมูลเชิงพื้นที่ ถือได้ว่าเป็นผู้ใช้มาตรฐาน ISO 8211 เนื่องจากมาตรฐานการแลกเปลี่ยนข้อมูลเชิงพื้นที่ออกแบบมาเพื่อให้ส่วนที่ 1 และส่วนที่ 2 เป็นอิสระจากส่วนที่ 3 ดังนั้น มาตรฐานการแลกเปลี่ยนข้อมูลเชิงพื้นที่ สามารถเปลี่ยนแปลงหรือดัดแปลงส่วนที่ 3 ให้ปรับใช้รูปแบบที่แตกต่างจากของ ISO 8211 ถ้าจำเป็น โดยไม่มีผลกระทบใดๆ กับส่วนที่ 1 และส่วนที่ 2

9.13 มาตรฐานสารสนเทศภูมิศาสตร์มีความสัมพันธ์กับมาตรฐานอื่นอย่างไรบ้าง? (How are GIS standards related to other standards?)

มาตรฐานสารสนเทศภูมิศาสตร์ไม่ใช่เป็นมาตรฐานเพียงอย่างเดียวที่มีอยู่และสำเร็จในตัว หรืออีกนัยหนึ่งเราสามารถพูดได้ว่า มาตรฐานสารสนเทศภูมิศาสตร์จะไม่สามารถทำงานได้เองโดยมิได้เกี่ยวข้องหรืออ้างอิงกับมาตรฐานอุตสาหกรรมอื่นๆ ในเทคโนโลยีสารสนเทศที่มีใช้อยู่ก่อนแล้ว ก่อนอื่นข้อมูลที่จะใช้ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ จะต้องสอดคล้องกับมาตรฐานที่ใช้ในอุตสาหกรรมคอมพิวเตอร์ (นั่นคือสอดคล้องกับรหัส ASCII) ก่อนที่จะเข้าสู่มาตรฐานของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

มาตรฐานที่เป็นทางการด้านระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ได้รับการพัฒนาขึ้นมาโดยมีการประสานความร่วมมือกับมาตรฐานอื่นของเทคโนโลยีสารสนเทศ ตัวอย่างเช่น มาตรฐานการถ่ายทอดข้อมูลเชิงพื้นที่ของสหรัฐอเมริกานั้น ก็ได้รับการนำมาใช้ร่วมกับมาตรฐานการแลกเปลี่ยนข้อมูลทั่วไปของ ISO หมายเลขที่ ISO 8211 คณะกรรมการ ISO/TC 211 ซึ่งเป็นกรรมการวิชาการว่าด้วยสารสนเทศภูมิศาสตร์ก็มีการประสานงานใกล้ชิดกับคณะกรรมการของ ISO คณะอื่นๆ รวมทั้ง ISO/TC 82 ว่าด้วยการเหมืองแร่ (Mining), ISO/TC 184/5C4 ว่าด้วยระบบอัตโนมัติด้านอุตสาหกรรมและการปฏิบัติการร่วม (Industrial automation system and integration), ISO/TC 204 ว่าด้วยสารสนเทศการขนส่งและระบบควบคุม (Transportation information and control systems), ISO/IEC/JTC1/ISC21/WG3 OS1 ว่าด้วยการจัดการข้อมูลและ ODP (Data management and ODP), ISO/IEC/JTC1/SC30 Open EDI และ CEN/TC287 ว่าด้วยสารสนเทศภูมิศาสตร์

เพื่อให้เกิดการปฏิบัติการร่วมกันได้ ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์จะต้องสอดคล้องกับมาตรฐานอุตสาหกรรมคอมพิวเตอร์ ตัวอย่างเช่น ในการที่จะให้มั่นใจว่าระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ใช้ได้กับหลายระบบบนคอมพิวเตอร์หลายรูปแบบ (Platforms) และโครงข่ายชนิดต่างๆ จะต้องใช้มาตรฐานที่เรียกว่า Network protocol standards (TCP/IP) และซอฟต์แวร์ที่เป็นมาตรฐาน เรียกว่าการเชื่อมประสานโปรแกรมประยุกต์ (Applications Programs Interface : API) ที่เรียกว่า Object Linking and Embedding (OLE)

คุณภาพและส่วนประกอบของข้อมูลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เกี่ยวข้องอย่างใกล้ชิดกับสาขาของการศึกษาและการใช้งาน ดังนั้น มาตรฐานข้อมูลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์จะไม่สามารถพัฒนาไปได้หากปราศจากการพิจารณามาตรฐานเหล่านั้นให้สอดคล้องกับสาขาการใช้งาน ความจริงแล้วส่วนใหญ่ของกระบวนการจัดทำมาตรฐานข้อมูลนั้นเกี่ยวข้องกับการทำมาตรฐานสารสนเทศภูมิศาสตร์ จากประสบการณ์พบว่ามีปัญหาในการทำมาตรฐานเกี่ยวกับดินในระดับภูมิภาค เนื่องจากในแต่ละประเทศใช้ระบบการจำแนกดินไม่เหมือนกัน และไม่สอดคล้องกันด้วย ซึ่งเป็นรายงานจาก Asian Development Bank (ADB) ในปี ค.ศ. 1996

การพัฒนามาตรฐานข้อมูลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์นั้น จะต้องมีส่วนที่เกี่ยวข้องกับสาขาต่อไปนี้

- ระบบจุดพิกัดของแผนที่ และระบบเส้นโครงแผนที่ที่ใช้
- คุณภาพของข้อมูลแผนที่ (ตำแหน่งและข้อมูลอรรถาธิบาย)
- ชื่อสถานที่ (ที่เป็นไปตามการกำหนดอย่างเป็นทางการ)
- ระบบการจำแนกทรัพยากรที่เกี่ยวข้อง เช่น ดิน พืชพรรณ การใช้ที่ดิน และอื่นๆ

- ส่วนของข้อมูลที่ใช้เพื่อการอรรถาธิบายข้อมูลแผนที่ (เช่น ข้อมูลการสำรวจประชากร และการใช้ที่ดิน เป็นต้น)

การจัดทำมาตรฐานของข้อมูลดังกล่าวเหล่านี้มีความสำคัญและเป็นความต้องการเบื้องต้นในการนำไปสู่กระบวนการการทำมาตรฐานระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ หากข้อมูลเหล่านี้ไม่เป็นมาตรฐานอยู่ก่อนแล้ว ก็ไม่มีประโยชน์ที่จะทำมาตรฐานระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อให้ใช้ในการจัดการกับข้อมูลเหล่านี้

9.14 การดำเนินการพัฒนามาตรฐานระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS standardization approaches)

กระบวนการพัฒนามาตรฐานระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ประกอบด้วยองค์ประกอบ 2 ประการ คือ

- มาตรฐานการแลกเปลี่ยนข้อมูล
- มาตรฐานการใช้งานร่วมกันได้

แม้ว่าในเบื้องแรกนั้น ความสามารถในการแลกเปลี่ยนข้อมูลจะมีเหตุผลสำคัญและเป็นความต้องการเร่งด่วนของการพัฒนามาตรฐาน แต่ในที่สุดแล้วความสามารถในการใช้งานร่วมกันของระบบต่างๆ คือเป้าหมายที่เป็นที่สุดของกระบวนการพัฒนามาตรฐาน

9.14.1 การแลกเปลี่ยนข้อมูล

ภายในเนื้อหาของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์นั้น การแลกเปลี่ยนข้อมูล คือ กระบวนการของการสื่อสารของข้อมูลซึ่งถือได้ว่ามีการ “นำเข้า” และ “ส่งออก” ของข้อมูล (Import and export of data) การแลกเปลี่ยนข้อมูลไม่ใช่กระบวนการที่ได้รับผลตอบแทนเท่าเทียมกันโดยตรง (Reciprocal) คือ ไม่ใช่เอาข้อมูลมาแลกกับข้อมูลโดยตรง แต่มักจะเกี่ยวกับกรณีที่ผู้ใช้นำเข้าข้อมูลที่ซื้อจากผู้ขาย ที่อาจเป็นองค์กรของรัฐเอง หรืออาจเป็นผู้ขายที่เป็นเอกชนและดำเนินการในลักษณะการค้า เป็นต้น

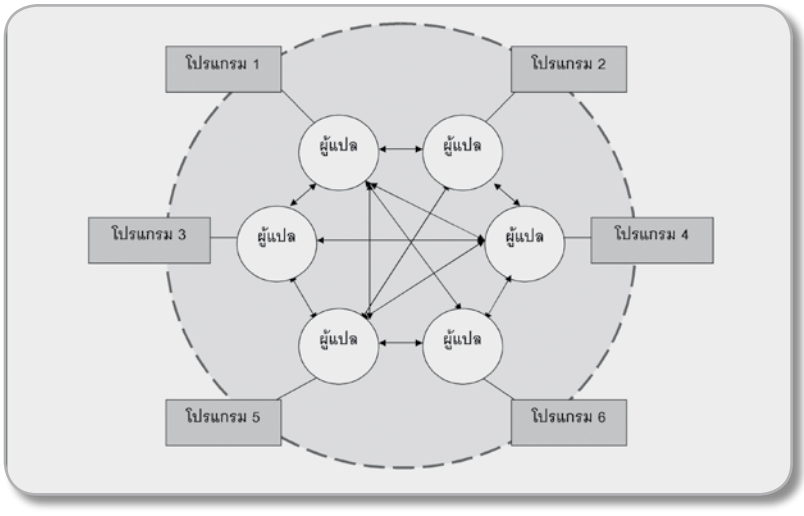
นอกเหนือจากการแลกเปลี่ยนข้อมูลกันอย่างเป็นระบบดังกล่าวแล้ว ยังมีความต้องการที่จะแลกเปลี่ยนข้อมูลกันโดยวิธีที่ไม่เป็นทางการ และไม่เป็นระบบมากมาย ความต้องการที่จะได้ข้อมูลจากแหล่งต่างๆ หรือการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ที่แตกต่างกัน ทำให้เกิดลักษณะที่ท้าทายหลายประการ ในทัศนะของผู้ใช้ความท้าทายดังกล่าวจะเกี่ยวข้องกับความยุ่งยากที่จะนำเอาข้อมูลจากหลายแหล่งมาใช้ร่วมกัน (นำข้อมูลที่แตกต่างกันมาบูรณาการ) เพราะความแตกต่างเหล่านี้จะมีผลโดยตรงต่อการนำเข้าหรือส่งออกของข้อมูล ซึ่งผู้ใช้จะต้องมีความเข้าใจเป็นอย่างดีหากว่าจะให้การแลกเปลี่ยนหรือถ่ายทอดข้อมูลประสบความสำเร็จด้วยดี

ปัจจุบันนี้ ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์มีการแลกเปลี่ยนข้อมูล หรือการถ่ายทอดข้อมูลระหว่างระบบที่ไม่เหมือนกันอยู่ 3 วิธี

- การแลกเปลี่ยนข้อมูลโดยใช้ระบบแปลข้อมูลที่พัฒนาขึ้นมาอย่างมีลิขสิทธิ์ หรือมีเจ้าของ (Proprietary translators)
- การแลกเปลี่ยนข้อมูลโดยใช้มาตรฐานอุตสาหกรรมที่ยอมรับกันเองโดยปริยาย (Industry’s de facto standards)
- การแลกเปลี่ยนข้อมูลโดยใช้มาตรฐานที่พัฒนาขึ้นมาอย่างเป็นทางการ (Formal standards)

1) การแลกเปลี่ยนข้อมูลโดยใช้ระบบแปลข้อมูลที่พัฒนาขึ้นมาอย่างมีลิขสิทธิ์ วิธีการแลกเปลี่ยนข้อมูลหรือถ่ายทอดข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ที่แพร่หลายและรู้จักกันดีในปัจจุบัน คือ การนำเข้า และส่งออกข้อมูล

โดยใช้ผู้แปล ของระบบทั้งสองที่นำมาแลกเปลี่ยนกัน ในภาพที่ 4.27 จะเป็นการแสดงการแลกเปลี่ยนข้อมูลโดยกระบวนการนี้ ซึ่งแสดงให้เห็นรูปแบบของการเคลื่อนไหลของข้อมูล (Data flow) ระหว่างระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์โดยผ่านทาง “ผู้แปล” ของแต่ละระบบที่เกี่ยวข้อง



ภาพที่ 4.27 *การแลกเปลี่ยนข้อมูลโดยใช้ “ผู้แปล” ที่พัฒนามาเป็นกรณีพิเศษ*
แหล่งที่มา: GIS Standards and standardization, UN/ESCAP, New York, 1998

การดำเนินงานด้วยวิธีดังกล่าวข้างต้นได้รับความนิยมสำหรับผู้ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในปัจจุบันเป็นอย่างมาก เนื่องจากมีข้อดีดังนี้

- ความรวดเร็ว การมีอยู่และพร้อมที่จะใช้เครื่องมือที่ใช้ในการสื่อสารหรือที่เรียกว่า “ผู้แปล” นั้นสามารถที่จะพัฒนาขึ้นมาได้ทันทีที่รู้รูปแบบของข้อมูลที่เกี่ยวข้อง โดยไม่ต้องคอยให้มีข้อตกลงของการพัฒนามาตรฐาน บางทีการพัฒนาโปรแกรมในแบบที่เรียกว่า “Quick and dirty” ก็สามารถนำมาใช้ได้ชั่วคราวเพื่อการแลกเปลี่ยนข้อมูลกันระหว่างสองรูปแบบ โดยไม่กระทบกระเทือนต่อการแลกเปลี่ยนของส่วนอื่น

- เป็นการถูกผลักดันเชิงพาณิชย์ ฉะนั้นการพัฒนาตัว “ผู้แปล” นี้จะมีแรงขับเคลื่อนโดยความต้องการของตลาด เพื่อการแข่งขันที่จะต้องพร้อม บริษัทผู้ขายระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์จะต้องใช้ความพยายามให้เกิดการแลกเปลี่ยนข้อมูลขึ้นได้โดยง่ายระหว่างระบบของเขากับระบบอื่นๆ

- การพัฒนา “ผู้แปล” เพื่อใช้กับข้อมูลเพียง 2 รูปแบบนั้น เป็นสิ่งที่ง่ายโดยจะมีข้อกำหนดต่างๆ และรูปแบบของข้อมูลก็จะสามารถปรับเข้าหากันได้โดยบริษัทผู้ขาย 2 บริษัทเท่านั้น แทนที่จะเป็นหลายบริษัท

- ผู้ใช้จะรู้สึกว่าง่ายในการแลกเปลี่ยนข้อมูลในลักษณะที่เรียกว่า “การดำเนินงานเบ็ดเสร็จในจุดเดียว” (One-stop operation) คือ การแปลโดยตรงเข้าสู่รูปแบบเป้าหมายได้เลยโดยไม่ต้องใช้ระบบ 2 จังหวะ ซึ่งต้องการตัวกลางหรือตัวร่วมเพิ่มขึ้นมาอีกจังหวะหนึ่ง

อย่างไรก็ตามวิธีการนี้ก็มีข้อเสียที่เห็นได้ชัดเช่นกัน คือ

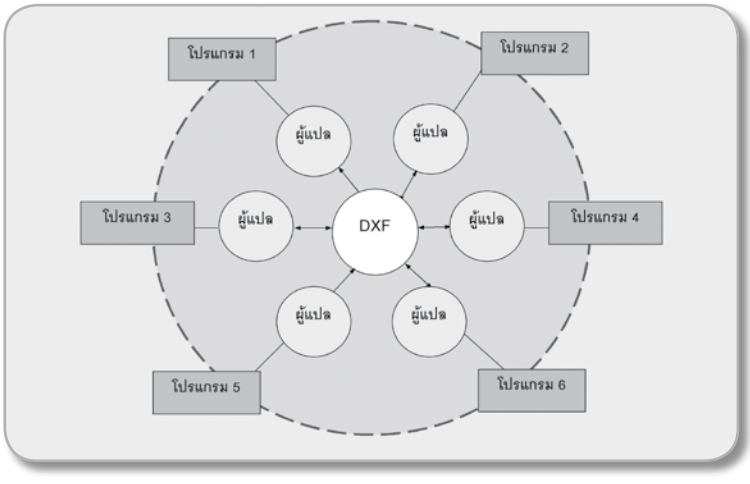
- ถ้าต้องพัฒนา “ผู้แปล” สำหรับทุกๆ ระบบจะต้องเสียค่าใช้จ่ายสูง ดังนั้นเห็นได้ว่าบริษัทผู้ขายจะพยายามหลีกเลี่ยงไม่พัฒนา “ผู้แปล” สำหรับข้อมูลที่ไม่ได้รับความนิยมในท้องตลาดเพื่อเป็นการประหยัดค่าใช้จ่าย

- บริษัทผู้ขายต้องติดตามการเปลี่ยนแปลงที่จะเกิดขึ้นกับรูปแบบของข้อมูลของกันและกันอยู่เป็นประจำ ดังนั้นจึงไม่เป็นการผิดปกติที่จะพบว่า “ผู้แปล” ของบริษัทหนึ่งจะล้าสมัยและไม่สอดคล้องกับรูปแบบในปัจจุบันที่ผู้ใช้ปลายทางของระบบใช้อยู่

- บางทีพบว่าข้อกำหนด และแบบจำลองข้อมูลของสองระบบไม่สอดคล้องกัน ทำให้เกิดข้อมูลเสียหายขึ้นได้ (Loss of data) เพราะระบบไม่เข้าใจกัน

- การที่บริษัทผู้ขายให้บริการข้อมูลในทุกๆ รูปแบบลิขสิทธิ์นั้นเป็นการยาก และไม่คุ้มค่า สำหรับทั้งผู้ใช้และผู้ขายด้วย

2) การแลกเปลี่ยนข้อมูลโดยใช้มาตรฐานอุตสาหกรรมที่ยอมรับกันโดยปริยาย (Industry's de facto standards) วิธีการนี้ก็มีความนิยมกันมากเช่นกัน และบางทีก็ถือว่าเป็นการใช้งานได้ดีในการใช้มาตรฐานภายใต้สิ่งแวดล้อมของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ที่ไม่ยุ่งยากนัก วิธีการนี้เรียกว่า Industry's de facto standard มีการใช้รูปแบบต่างๆ ตามที่บริษัทผู้ขายใช้อยู่ในซอฟต์แวร์ของเขาเพื่อเป็นตัวกลาง หรือตัวร่วมระหว่างรูปแบบของระบบที่เกี่ยวข้อง (รูปแบบของบริษัทผู้ขายที่มีการใช้กันบ่อยๆ เช่น โปรแกรม AutoCAD Drawing Exchange Format DXF และโปรแกรม Generate และ ECO Format ของ ArcInfo เป็นต้น การแลกเปลี่ยนข้อมูลก็สามารถทำได้โดยการ "นำเข้า-ส่งออก" ข้อมูลให้ไปสู่รูปแบบที่เป็นกลางเหล่านี้ก่อน ภาพที่ 4.28 แสดงให้เห็นลักษณะของการไหลเลื่อนของข้อมูลระหว่างระบบโดยวิธีการนี้



***ภาพที่** 4.28 การแลกเปลี่ยนข้อมูลโดยใช้มาตรฐานอุตสาหกรรมที่ยอมรับโดยปริยายกรณีของ Autodesk's DXF*
แหล่งที่มา: *GIS Standards and standardization, UN/ESCAP, New York, 1998*

การยอมรับให้เป็นมาตรฐานอุตสาหกรรมชนิด de facto standard ได้นั้นจะต้องมีข้อมูลที่มีรูปแบบดังต่อไปนี้

- โปรแกรมซอฟต์แวร์จะต้องมีการใช้กันอย่างแพร่หลาย ในลักษณะที่เรียกว่าเป็นเจ้าตลาดเป็นระยะเวลาที่ยาวนาน อย่างไรก็ตามอาจไม่ต้องเป็นเจ้าตลาดในปัจจุบันนี้ก็ได้ตราบใดที่ครั้งหนึ่งเคยเป็นเจ้าตลาดมาแล้วก็ยังใช้ได้ ตัวอย่างที่ดี ได้แก่ รูปแบบ DBF ของ DBase's ซอฟต์แวร์ ซึ่งเคยเป็นเจ้าตลาดในช่วงทศวรรษที่ 1980 มาก่อน DBase สามารถสร้างตัวเองให้เป็น de facto standard สำหรับคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (PCs) ในเรื่องของระบบการจัดการฐานข้อมูล (PC-based Database Management System : DBMS) ถึงแม้ว่า DBase จะไม่ได้เป็นคู่แข่งที่สำคัญในเรื่องโปรแกรมสำหรับคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลเพื่อการจัดการฐานข้อมูล (PC-based DBMS) แล้วก็ตาม แต่ DBF ก็ยังคงเป็นหนึ่งในรูปแบบที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนข้อมูลอย่างแพร่หลายเช่นเดียวกัน

- โปรแกรมซอฟต์แวร์และรูปแบบที่ใช้จะต้องเป็นที่เปิดเผย และมีให้กลุ่มผู้ใช้ได้โดยไม่ต้องมีค่าใช้จ่ายพิเศษหรือน้อยที่สุด

- ต้องมีความง่ายพอที่จะนำไปใช้ได้ เนื่องจากมาตรฐานชนิด de facto standards ไม่ใช่มาตรฐานที่เป็นทางการ และไม่มีใบรับรองซึ่งเป็นข้อตกลงทางอุตสาหกรรม จึงต้องให้มีความง่ายและคุ้มค่าที่จะนำไปใช้

- ต้องมีความคงเส้นคงวา ให้เวลาที่เพียงพอแก่อุตสาหกรรมและตลาดที่จะรับเอาไปใช้ แต่ถ้าในทางตรงกันข้าม หากบริษัทผู้ขายหรือจำหน่ายทำการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของข้อมูลอยู่เรื่อยๆ กลุ่มผู้ใช้จะไม่เต็มใจที่จะใช้รูปแบบของข้อมูลเพื่อเป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนข้อมูลด้วยเกรงว่า “ผู้แปล” อาจไม่ทันสมัยไปเสียแล้วก็ได้

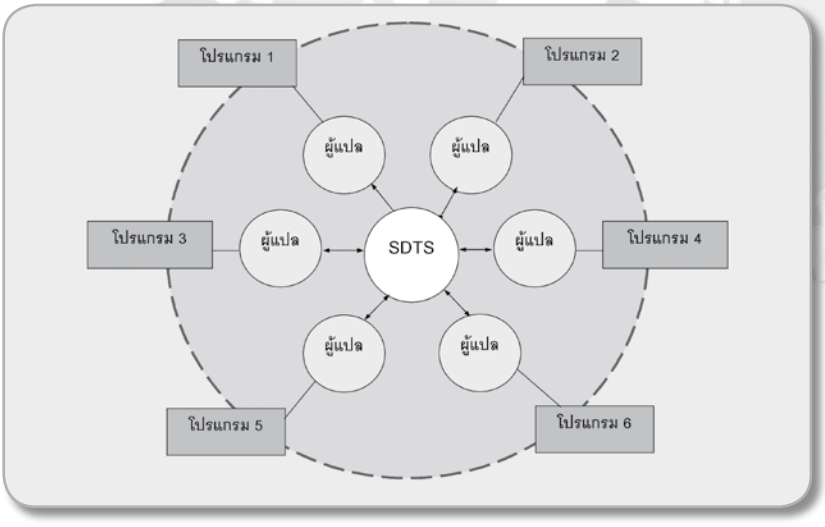
ข้อได้เปรียบของการใช้ de facto standards คือ

- มาตรฐานชนิดนี้มีอยู่แล้วในขณะนี้ และพร้อมที่จะนำมาใช้ได้ทันที
- มาตรฐานนี้มีความคุ้มค่า เพราะไม่จำเป็นต้องพัฒนา “ผู้แปล” ให้กับระบบอื่นๆ ทั้งหมด ความจริงแล้วในแต่ละระบบอาจมี “ผู้แปล” ให้กับระบบอื่นๆ เพื่อให้เข้ากับ de facto standard อยู่แล้ว ดังนั้นการรับเอามาตรฐานแบบ de facto ไปใช้นั้นจะไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายใดๆ เพิ่มขึ้นอีก
- เนื่องจากมาตรฐานแบบ de facto ได้รับการสนับสนุนจากซอฟต์แวร์โปรแกรมที่ได้รับความนิยมสูง การสนับสนุนจากตลาดจึงมีความพร้อมเป็นอย่างดี

ปัญหาของมาตรฐานชนิด de facto ประกอบด้วย

- เนื่องจากมาตรฐานชนิดนี้ขึ้นอยู่กับซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นเป็นลักษณะเฉพาะ แทนที่จะได้จากข้อตกลงของกลุ่มอุตสาหกรรม ผู้ใช้เกิดความกลัวต่อการผูกขาด จึงไม่เต็มใจที่จะรับเอามาตรฐานชนิดนี้มาใช้ในทันทีทันใด
- มาตรฐานแบบ de facto ขาดความสมบูรณ์แบบ และบางทีก็ไม่ดีพอ ข้อจำกัดจากประสบการณ์ของผู้พัฒนาระบบนี้รุ่นแรกๆ และความต้องการในการประยุกต์ใช้ ทำให้มาตรฐานแบบ de facto ไม่สามารถครอบคลุมในทุกๆ ระบบและการประยุกต์ใช้ได้ ตัวอย่างเช่น Autodesk’s DXF ได้เป็น de facto standard ที่ได้รับการนำไปใช้เป็นรูปแบบของการแลกเปลี่ยนข้อมูลของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ อย่างไรก็ตาม DXF สามารถจัดการกับข้อมูลเชิงอรรถาธิบายที่เกี่ยวกับวัตถุเชิงพื้นที่ซึ่งมักจะเกิดผลที่ยุ่งยาก และการสูญเสียข้อมูลส่วนหนึ่งไประหว่างกระบวนการของการแลกเปลี่ยนข้อมูล
- เนื่องจากมาตรฐาน de facto standard ยังไม่ได้รับการสนับสนุนจากข้อตกลงด้านอุตสาหกรรมทั้งในด้านข้อกำหนดและด้านแบบจำลองข้อมูล และอื่นๆ การรับเอามาตรฐานนี้ไปใช้ทำโดยบริษัทผู้ขายต่างๆ กัน ทำให้เกิดการสูญเสียข้อมูล เนื่องจากระดับการนำไปใช้ไม่เหมือนกันและข้อจำกัดของ “ผู้แปล” ที่ไม่เสมอต้นเสมอปลายนั่นเอง

3) การแลกเปลี่ยนข้อมูลโดยใช้มาตรฐานที่เป็นทางการ (Data exchange using formal standards) วิธีการที่ดีและควรทำในการแลกเปลี่ยนข้อมูล คือ การใช้มาตรฐานที่เป็นทางการ การริเริ่มที่จะรับเอามาตรฐานแบบเป็นทางการได้ดำเนินไปอย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะอย่างยิ่งตั้งแต่ได้พิมพ์มาตรฐานของ FIPS 173-SDTS รูปร่างของเลื่อนไหลของข้อมูลระหว่างระบบมีความคล้ายคลึงมาตรฐานแบบ de facto standard ซึ่งไม่ได้รับการสนับสนุนของความตกลงทางอุตสาหกรรม การดำเนินการนี้ทำได้โดยอาศัยมาตรฐานแบบเป็นทางการ ซึ่งได้รับการสนับสนุนที่มีผลทางกฎหมายและตามข้อตกลงด้านอุตสาหกรรม และดำเนินโดยเจ้าหน้าที่ระดับชาติและระดับนานาชาติ แสดงโดยภาพที่ 4.29



ภาพที่ 4.29 *การแลกเปลี่ยนข้อมูลโดยการใช้มาตรฐานอย่างเป็นทางการ (ตัวอย่างกรณีของ SDTS)*
แหล่งที่มา: GIS Standards and standardization, UN/ESCAP, New York, 1998

อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันนี้การใช้มาตรฐานที่เป็นทางการในด้านระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์นั้นยังจำกัดอยู่มาก ส่วนใหญ่แล้วสาเหตุเนื่องมาจาก

- การพัฒนามาตรฐานข้อมูลภูมิศาสตร์ยังไม่เสร็จสมบูรณ์ แม้ว่ามาตรฐานที่เป็นความพยายามของ ISO/TC 211 นั้นจะมีออกมาแล้วจำนวนหนึ่งก็ตาม แต่ต้องรอเวลาอีกสักปีสองปีจึงอาจเห็นมาตรฐานที่เป็นทางการมาใช้เพิ่มขึ้น

- มาตรฐานระดับชาติที่มีอยู่มีข้อจำกัดในการนำไปใช้ในระดับนานาชาติ และโดยไม่มีข้อยกเว้นมาตรฐานต้องปรับเปลี่ยนให้เป็นมาตรฐานเฉพาะแห่งหรือตามแหล่งที่ตั้ง

- ทางด้านตลาดยังไม่พร้อมที่จะโถมตัวเข้ามาสู่มาตรฐานเป็นทางการเพราะว่าอนาคตของมาตรฐานระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ปัจจุบันยังเป็นที่สงสัยอยู่จนกว่าการพัฒนามาตรฐานระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในระดับนานาชาติจะแล้วเสร็จสมบูรณ์

4) มาตรฐานข้อมูลของข้อมูล (Metadata standards)

Metadata หรือ ข้อมูลของข้อมูล (Data about data) อธิบายเกี่ยวกับข้อมูลในด้านต่างๆ เช่น ตำแหน่งที่ตั้ง แหล่งที่มา เนื้อหา คุณภาพ และลักษณะของข้อมูลปัจจุบัน ระบบฐานข้อมูลของ Metadata ได้รับการออกแบบมาเพื่อการจัดการ Metadata คือ จัดหาสิ่งอำนวยความสะดวกเพื่อการนำเข้า ทำให้เป็นปัจจุบัน สืบค้น และรายงานข้อมูลของข้อมูล

โดยทั่วไปแล้ว Metadata มักใช้กันอยู่ในสองระดับ ระดับแรกเป็น Metadata ที่ใช้อธิบายการจัดเก็บข้อมูลที่มีส่วนที่เหมือนกัน เช่น อนุกรมของแผนที่ภูมิประเทศ หรือการจัดเก็บรายงานการสำรวจภาคสนาม เป็นต้น ในระดับนี้จะมีภาพของการที่มีข้อมูลเหล่านี้อยู่ พร้อมด้วยเนื้อหาของชุดข้อมูล ในระดับที่สองจะมีรายละเอียดเพิ่มขึ้นเกี่ยวกับข้อมูลแต่ละอย่าง

ในปัจจุบันนี้ องค์กรระดับนานาชาติและระดับภูมิภาคที่ตื่นตัวในการพัฒนามาตรฐานการอธิบายข้อมูล (Metadata base standards) ได้แก่ The United Nations Environmental Program (UNEP) The Consortium for International Earth Science Information Network (CIESIN) และ The European Environment Agency (EEA)

ในระยะเวลาที่ผ่านมายังไม่มีการใช้ Metadata อย่างกว้างขวางเลย แม้ว่ารูปแบบของ Metadata ที่ใช้อยู่กำลังจะหันไปทางความเป็นมาตรฐานแล้วก็ตาม สำหรับการแลกเปลี่ยน Metadata กันนั้น ในระยะเริ่มแรกทางองค์การ NASA ได้พัฒนารูปแบบที่เรียกว่า Directory Interchange Format (DIF) เพื่อใช้แลกเปลี่ยน Metadata ที่เกี่ยวกับภาพถ่ายจากดาวเทียม และได้รับการยอมรับให้เป็นมาตรฐาน de facto standard DIF นี้จะมีตัว Syntax ซึ่งช่วยประกันว่า Metadata นี้จะมีความสมบูรณ์และไม่กำกวมมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ ซึ่งก็ได้รับการนำไปใช้เพื่อการแลกเปลี่ยน Metadata ในทุกๆ ระดับการใช้งาน

อย่างไรก็ตาม สิ่งที่ขาดหายไปจริงๆ คือ คำนิยามของเนื้อหาของ Metadata (Content of metadata) ที่พัฒนาขึ้นมาโดยกลุ่มใหญ่ๆ ที่แม้ว่าจะใช้โครงสร้างและหลักการที่คล้ายกันหลายอย่าง แต่คำจำกัดความของเนื้อหาระวางและรหัสข้อมูลจะมีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด แม้ว่าผู้ที่ใช้เป็นบุคคลธรรมดาจะรับรู้ว่า Metadata ที่ได้รับอาจเป็นที่เข้าใจได้ดี แต่เครื่องมือที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนข้อมูลจะรับได้ยากถ้าคำจำกัดความของการแปลความหมายข้อมูลไม่มีความแม่นยำตรงไปตรงมาและมีความกำกวม

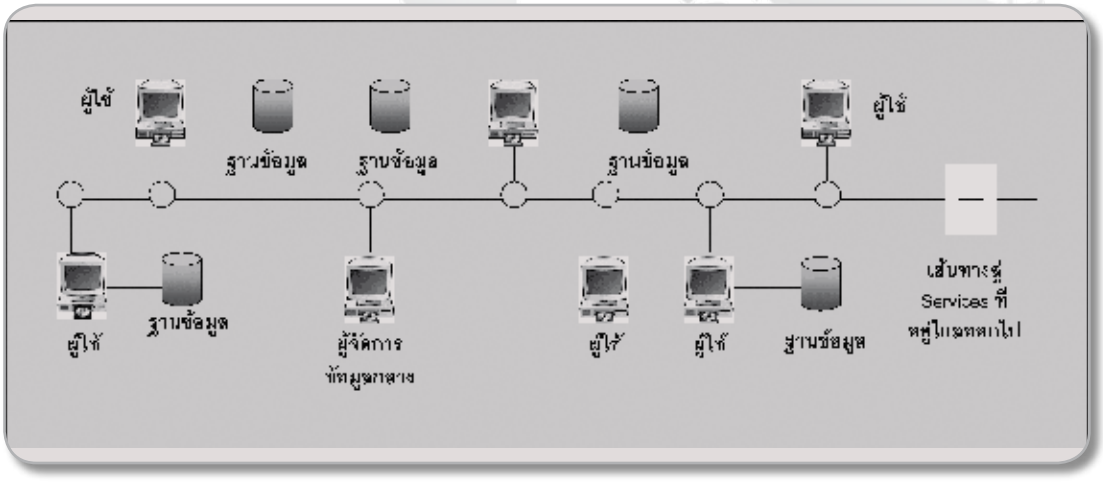
ข้อมูลที่ใช้อธิบายชุดข้อมูลนับวันจะมีความสำคัญยิ่งขึ้นในการบอกที่อยู่และเข้าถึงข้อมูลทุกชนิด เค้าร่างระดับแนวคิดที่เป็นมาตรฐานสำหรับ Metadata ของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ จะเพิ่มขีดความสามารถของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในการที่จะให้ใช้ได้กับการประยุกต์ใช้มากกว่าหนึ่งสาขา ด้วยเค้าร่างดังกล่าวนี้ผู้ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์สามารถเพิ่ม Metadata ได้อย่างคงเส้นคงวา และสามารถตรวจสอบให้เข้ากับข้อมูลที่สร้างขึ้นใหม่ได้ พร้อมทั้งสามารถประเมินข้อมูลที่เลือกมาจากแหล่งอื่นได้อย่างถูกต้องและรวดเร็ว ผู้พัฒนาระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์และซอฟต์แวร์สามารถที่จะใช้เค้าร่างนี้ในการหาวิธีการในการจัดการกับ Metadata ได้อีกด้วย

ขณะนี้ Metadata กำลังได้รับการพัฒนาอยู่ในแผนงานขององค์การมาตรฐานอุตสาหกรรมนานาชาติที่เรียกว่า ISO/TC211 มาตรฐานของข้อมูลเพื่ออธิบายข้อมูลอยู่ภายใต้คณะทำงานที่ 3 ที่ชื่อ Geo-Spatial Data Administration ของ ISO/TC211 เป้าหมายของโปรแกรมงานก็เพื่อผลิตเค้าร่างของ Metadata ของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ซึ่งรวมไปถึงข้อมูลที่เกี่ยวกับความทันสมัย (Currency) ความถูกต้อง (Accuracy) ส่วนประกอบ และข้อมูลเชิงอรรถาธิบาย แหล่งที่มา ราคา พื้นที่ที่ครอบคลุมและความเหมาะสมในการใช้งาน คณะทำงานได้พัฒนามาถึงขั้นประกาศใช้เป็นมาตรฐานการอธิบายข้อมูลขององค์กรมาตรฐานนานาชาติแล้วเมื่อปี ค.ศ. 2003 (ISO 19115:2003) ได้มีหลายประเทศให้การตอบรับและนำไปปฏิบัติเป็นมาตรฐานสำหรับประเทศของตนเอง และในส่วนของประเทศไทยก็ได้ประกาศเป็นมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแล้ว เมื่อปี พ.ศ. 2548 (มอก. 19115:2548) เนื่องจากมาตรฐานการอธิบายข้อมูลดังกล่าวมีขอบเขตกว้าง ทาง ISO/TC211 ยังได้ทำการพัฒนาต่อไปเพื่อให้ครอบคลุมและอธิบายข้อมูลได้อย่างกว้างขวาง รวมทั้งข้อมูลจากการรับรู้จากระยะไกลและข้อมูลที่เกี่ยวข้อง ที่เรียกว่า ข้อมูลแบบแรสเตอร์และข้อมูลแบบตาราง และกำลังประกาศใช้เป็นมาตรฐานออกมาเรื่อยๆ

9.14.2 ความสามารถใช้งานร่วมกันได้

เป้าหมายสุดท้ายของการพัฒนามาตรฐาน คือการทำให้เกิดบรรยากาศของความสามารถใช้งานร่วมกันได้ของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS interoperability) คือ ส่วนประกอบของซอฟต์แวร์ที่สามารถปฏิบัติการที่สนองตอบต่อกันของระบบสองระบบเพื่อเอาชนะกระบวนการปรับเปลี่ยน (Conversion) ของข้อมูลหรืออุปสรรคของการส่งออก/นำเข้า และการเข้าถึงระบบต่างๆ เนื่องจากการใช้วิธีการและข้อมูลที่แตกต่างกัน (Reterogeneous data and heterogeneous processing environment) บรรยากาศของการแบ่งปัน (Share) ข้อมูลสำหรับระบบสารสนเทศ

ภูมิศาสตร์ ได้แก่ การใช้ระบบกระจายเครือข่ายคอมพิวเตอร์ (Distributed Computing Platform : DCP) ซึ่งช่วยให้โปรแกรมการประยุกต์ใช้มีปฏิสัมพันธ์กัน แม้ว่าจะอยู่บนคอมพิวเตอร์ที่ไม่เหมือนกันก็ตาม ดังภาพที่ 4.30

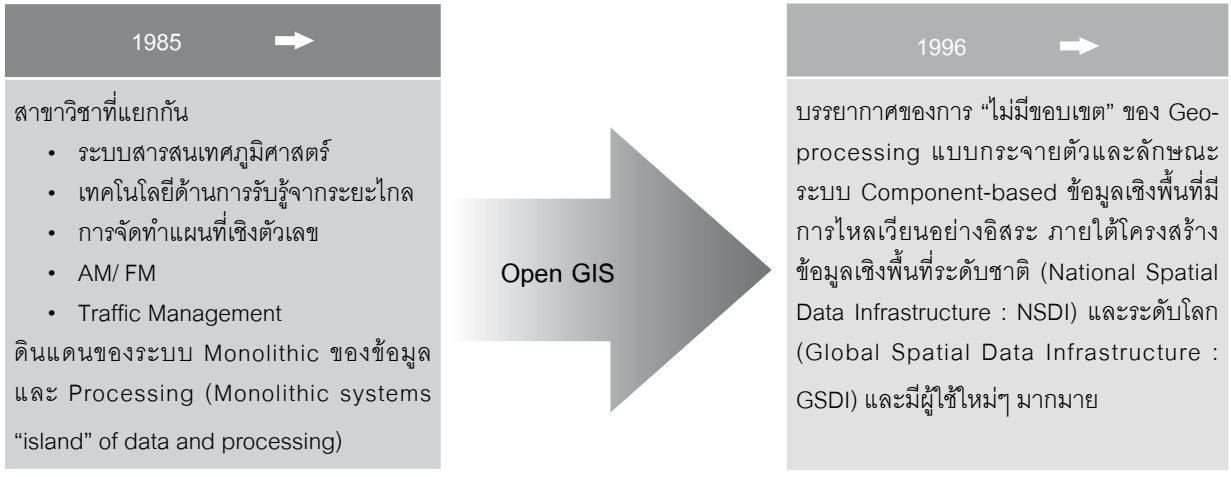


ภาพที่ 4.30 *แสดง The Distributed Computing Platform (DCP) environment*
แหล่งที่มา: ดัดแปลงจาก Zhou and Evans, 1993

DCP ตอบสนองต่อประเด็นของโครงข่าย (Networking) การคมนาคมระหว่างระบบคอมพิวเตอร์ที่แตกต่างกัน ยี่ห้อต่างกัน ลักษณะความปลอดภัย ลักษณะการกระจายข้อมูลที่แตกต่างกัน และความแตกต่างของการใช้ที่มีประเด็นของ Client/ Server ที่แตกต่างกัน ซึ่งประเด็นเหล่านี้จะอยู่นอกเหนือขอบเขตของการพัฒนามาตรฐานของ ISO

หลักการของกรรมวิธีที่เรียกว่า Open geo-processing ถูกเสนอขึ้นมาโดยองค์กรที่เรียกว่า Open GIS Consortium (ปัจจุบันเปลี่ยนชื่อเป็น Open Geospatial Consortium : OGC) ในการพัฒนาระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์นั้น พบว่าอุปสรรคทางเทคโนโลยี (Technology barrier) มีอยู่ภายในกลุ่มของ Geo-processing กับกลุ่มอื่นภายในอุตสาหกรรมเทคโนโลยีสารสนเทศ (Information technology industry) ระบบ Geo-processing ทั่วไป (เช่น ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เทคโนโลยีด้านการรับรู้จากระยะไกล การประมวลผลภาพ และการจัดทำแผนที่เชิงตัวเลข) เรียกรวมๆ ว่า Monolithic Stovepipe หรือ Closed systems หมายความว่า สาขาดังกล่าวนี้ได้รับการพัฒนาขึ้นมาในช่วงเวลาที่ระบบเปิดหรือ Openness นั้นยังไม่เป็นที่รู้จัก เพราะบรรยากาศของการบริการของระบบมาตรฐานนั้นยังไม่เกิดขึ้น ระบบ Geo-processing ในสมัยต้นๆ นั้น ต้องอาศัยการพัฒนาขึ้นมาแบบเฉพาะกิจให้ได้เค้าร่างเพื่อทำหน้าที่แสดงข้อมูล (Display) การเชื่อมประสานผู้ใช้ การสื่อสารข้อมูล และการจัดเก็บข้อมูล (Data communication and data storage) ดังนั้น จะเห็นได้ว่า ยุคของระบบปิด (Self-enclosed proprietary system) ได้ครองโลกของ Geo-processing มาเป็นเวลานานจนถึงเมื่อไม่นานมานี้เองจึงมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น (ภาพที่ 4.31)

องค์กรที่ใช้วิธีการ Geo-processing และเทคโนโลยีสารสนเทศเดิมๆ มีการใช้งานในด้าน Monolithic ที่ค่อนข้างเด่นชัด และส่วนมากจะขึ้นอยู่กับชนิดของ Platform ที่ใช้ ซึ่งจำกัดความสามารถที่จะใช้คอมพิวเตอร์หรือข้อมูลร่วมกันได้ มีบ่อยครั้งที่เกิดความซ้ำซ้อนของฟังก์ชัน และฐานข้อมูลในแต่ละการประยุกต์ใช้ เนื่องจากมีการเชื่อมประสานงานผู้ใช้ที่หลากหลาย จำเป็นต้องมีการอบรมผู้ใช้อย่างมาก การประยุกต์ใช้เหล่านี้ยังขาดสิ่งอำนวยความสะดวกที่จะรองรับวิธีการ และข้อมูลใหม่ที่เกิดขึ้น ข้อบกพร่องเหล่านี้จำกัดศักยภาพของเทคโนโลยีด้าน Geo-processing



ภาพที่ 4.31 *Open geo-processing ได้สลายอุปสรรคต่างๆ ที่จำกัดวงของ Geo-processing ให้อยู่อย่างโดดเดี่ยวในระบบ Monolithic (จาก Open GIS Consortium : OGC, 1996)*

โดยวิธีที่แตกต่างจาก Geo-processing แบบเดิมๆ Open geo-processing มีความสามารถที่จะสร้างพื้นฐานของเทคโนโลยีที่ผู้พัฒนาซอฟต์แวร์สามารถสร้างการประยุกต์ด้าน Geo-processing และองค์ประกอบของซอฟต์แวร์ที่มีคุณลักษณะต่อไปนี้

1) สามารถใช้ร่วมกันได้ ทำให้เกิดมาตรฐานการเชื่อมประสานงานกับข้อมูลภูมิศาสตร์และการบริการด้าน Geo-processing

2) ให้การสนับสนุนด้านสารสนเทศแก่ชุมชนให้เกิดการใช้ข้อมูลร่วมกันให้มีปัญหาน้อยที่สุด

3) ทำให้เกิดวิธีการที่จะให้การประยุกต์ใช้ทั้งหมดใช้ประโยชน์จากมาตรฐานการเชื่อมประสานและมาตรฐานการส่งผ่านข้อมูล (Protocols) ที่จะเข้าถึงข้อมูลภูมิศาสตร์และการบริการของ Geo-processing

4) มีความน่าเชื่อถือ (Reliable) ให้ระดับของการจัดการและคุณภาพสูง (High level of manageability and integrity)

5) ง่ายต่อการใช้ (Easy to use) โดยอาศัยกฎและวิธีการที่คงเส้นคงวาในการใช้ข้อมูลทางภูมิศาสตร์และ Geo-processing services

6) ลักษณะของการใช้ร่วมกัน ใช้ซอฟต์แวร์ที่เรียกว่า “Plug-and-play” ซึ่งสามารถวางรูปแบบเพื่อการประยุกต์ใช้ Geo-processing หรือบรรยากาศที่เป็นมาตรฐานของคอมพิวเตอร์ไม่ว่าฐานข้อมูลจะมีขนาดเท่าใดก็ตาม

7) การร่วมมือกัน (Cooperation) สนับสนุนการใช้ทรัพยากรคอมพิวเตอร์และข้อมูลร่วมกัน พร้อมด้วยการร่วมมืออย่างใกล้ชิดกับเทคโนโลยีสารสนเทศอื่นๆ ด้วย

8) สามารถลดหรือเพิ่มขนาดได้ (Scalable) ประกอบไปด้วย Geo-processing software ที่เรียกว่า “Plug-and-play” ซึ่งสามารถวางรูปแบบเพื่อการประยุกต์ใช้ Geo-processing หรือบรรยากาศที่เป็นมาตรฐานของคอมพิวเตอร์ ไม่ว่าฐานข้อมูลจะมีขนาดใดก็ตาม

9) ขยายกิจกรรมหรือขอบเขตได้ (Extensible) สามารถรองรับซอฟต์แวร์ Geo-processing ใหม่ๆ และข้อมูลภูมิศาสตร์ชนิดใหม่ๆ ได้เช่นเดียวกับเทคโนโลยีใหม่ๆ ที่ Geo-processing เปิด

10) มีความสอดคล้อง (Compatible) ทำให้สามารถช่วยให้ผู้ใช้รักษาการลงทุนในข้อมูลและซอฟต์แวร์โดยการบูรณาการซอฟต์แวร์ Geo-processing ที่มีอยู่ให้เข้ากับข้อมูลและเทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อการประยุกต์ใช้ภายใต้วิธีการ Geo-processing ได้อย่างแนบเนียน

11) สามารถนำไปใช้ได้อย่างง่ายดาย (Implementable) การที่จะทำให้เกิดวิธีการของ Geo-processing ได้นั้นจะต้องดำเนินการตามวัตถุประสงค์ของเทคโนโลยีต่อไปนี้

- การรวมเอาข้อมูลภูมิศาสตร์เข้าเป็นแบบจำลองเดียว (Unification of geographic data models)
- การรวมเอาการบริการ Geo-processing เข้าด้วยกัน (Unification of geo-processing services)
- การร่วมใช้ข้อมูล และ Geo-processing resources ของกลุ่มผู้ใช้ข้อมูลและการแบ่งปันทรัพยากรที่ใช้เพื่อดำเนินกรรมวิธีข้อมูล
- พัฒนาการดำเนินการให้เป็นหนึ่งเดียว (Unified approach) เพื่อทำให้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์การรับรู้จากระยะไกล และ Geo-processing ด้านต่างๆ เข้าด้วยกันในโครงสร้างของการร่วมกันแบบเบ็ดเสร็จ (Shared overall geo-processing framework)

9.15 กิจกรรมที่นำไปสู่ความเป็นมาตรฐาน (Standardization activities)

9.15.1 ความพยายามในการพัฒนามาตรฐาน (Standardization efforts)

ในขณะที่แหล่งที่มาและปริมาณของข้อมูลเชิงตัวเลขด้านพื้นที่ (Digital spatial data) เพิ่มขึ้นอย่างมากมายนั้น ความต้องการที่จะถ่ายทอดข้อมูลระหว่างระบบที่ไม่ใช้งานด้านสื่อสาร (Non-communicating systems) นั้นก็มีเพิ่มขึ้นและมีความจำเป็นขึ้นด้วย ดังนั้นเพื่อให้การพัฒนาเทคโนโลยีระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เกิดความต่อเนื่องและก้าวไปข้างหน้า การพัฒนามาตรฐานจึงเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ มีความพยายามเกิดขึ้นในหลายองค์กรและในหลายส่วนของโลก ซึ่งจะได้นำแนวความคิดและความพยายามมานำเสนอเป็นตัวอย่างต่อไป

1) ความริเริ่มในตอนต้น : สหรัฐอเมริกา

ความริเริ่มในสมัยต้นๆ ของการพัฒนามาตรฐานเน้นหนักอยู่ที่รูปแบบของการแลกเปลี่ยนข้อมูล ความพยายามอยู่ที่การ “นำเข้า/ส่งออก” ข้อมูลโดยใช้รูปแบบที่ใช้ร่วมกัน เช่น ในสหรัฐอเมริกาใช้ Topology Integration Geographic Encoding and Referencing Format (TIGER) ของ Bureau of Census และที่ United States Geological Survey (USGS) ใช้รูปแบบเฉพาะด้านของแบบจำลองความสูงเชิงตัวเลข เป็นต้น

ได้มีความพยายามที่จะพัฒนารูปแบบที่เป็นกลางเพื่อการแลกเปลี่ยนข้อมูลกัน (Neutralized data exchange format) เพื่อป้องกันการผูกขาดของบริษัทผู้ค้า ผลก็คือรูปแบบของข้อมูลบางอย่างได้เกิดขึ้นและเป็นอิสระจากบริษัทผู้ค้าระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เช่น USGS Digital Line Graph-DGL format

ความพยายามเบื้องต้นส่วนใหญ่จะเกี่ยวกับความต้องการด้านการใช้ข้อมูลร่วมกันและการแจกจ่ายข้อมูล แต่ก็ได้มองข้ามคำนิยามที่ชัดเจนเกี่ยวกับโครงสร้างของแบบจำลองของข้อมูลภูมิศาสตร์ และก็ไม่ได้พิจารณาเรื่องที่สำคัญในประเด็นการพัฒนามาตรฐานข้อมูลเพื่อการแผนที่ (Cartographic data sources) เนื่องจากรูปแบบสำหรับการแลกเปลี่ยนข้อมูลส่วนใหญ่นั้นถูกพัฒนาขึ้นมาโดยบริษัทผู้ค้าเพื่อการแลกเปลี่ยนข้อมูลของบริษัทเอง ซึ่งมีมุมมองในวงแคบในส่วนของข้อมูลที่ใช้ โครงสร้างของข้อมูลและแบบจำลองที่เกี่ยวข้องเท่านั้น ซึ่งอาจมีความแตกต่างกัน ซึ่งอาจก่อให้เกิดความไม่สอดคล้องและไม่สมบูรณ์ของการแปลข้อมูลซึ่งอยู่ในรูปแบบที่แตกต่างกัน

มาตรฐานการถ่ายทอดข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial Data Transfer Standard, SDTS)

มาตรฐานการถ่ายทอดข้อมูลเชิงพื้นที่ของสหรัฐอเมริกา (US Spatial Data Transfer Standard) หรือ Federal Information Processing Standard (FIPS) publication ที่ 173 ได้ให้ข้อเสนอเพื่อแก้ไขปัญหาในการถ่ายทอดข้อมูลเชิงพื้นที่อย่างเต็มรูปแบบ SDTS คือ ผลงานที่พัฒนามาเป็นเวลานานถึง 9 ปี ซึ่งต้องเกี่ยวข้องกับภาครัฐ ภาคเอกชน และสถาบันการศึกษาเป็นจำนวนมาก แต่ความสำเร็จวันนี้ก็ตั้งอยู่บนรากฐานที่ได้วางไว้ก่อนหน้านี้แล้ว (Fegeas et al, 1992) สำนักงานสำรวจทรัพยากรธรณีแห่งสหรัฐอเมริกา (USGS) ทำหน้าที่เป็นผู้นำในด้านการพัฒนาการให้คำจำกัดความ และการบำรุงรักษามาตรฐานแห่งชาติว่าด้วย Earth science ในเดือนกุมภาพันธ์ ค.ศ. 1980 โดยการลงนามในบันทึกความเข้าใจกับสำนักงานมาตรฐานแห่งชาติ (National Bureau of Standards) ซึ่งในปัจจุบันนี้เรียกว่า สถาบันแห่งชาติว่าด้วยมาตรฐานและเทคโนโลยี (National Institute of Standards and Technology : NISI) ภายใต้บันทึกความเข้าใจนั้น USGS ได้เริ่มทำงานในหลายๆ ด้านที่เกี่ยวกับมาตรฐานการแลกเปลี่ยนข้อมูลเชิงพื้นที่โดยผ่านทางคณะทำงานมาตรฐาน (Standard Working Group : SWG) ของ Federal Interagency Coordinating Committee เกี่ยวกับ Digital Cartography (FICCDC) ความพยายามอย่างหนึ่งได้เริ่มต้นขึ้นในปี ค.ศ. 1982 เมื่อคณะกรรมการแห่งชาติของสหรัฐอเมริกา ซึ่งประกอบไปด้วยสมาชิกจากภาคเอกชน ภาครัฐ และสถาบันการศึกษาได้เริ่มการปฏิบัติงานการพัฒนามาตรฐานข้อมูลเชิงตัวเลขเพื่อการทำแผนที่ (Digital cartographic data standard) คณะกรรมการแห่งชาตินี้ได้รับการแต่งตั้งขึ้นมาภายใต้สภาการสำรวจและทำแผนที่แห่งสหรัฐอเมริกา (American Congress on Surveying and Mapping : ACSM) ภายใต้การสนับสนุนจาก USGS

มาตรฐานข้อมูลเชิงตัวเลขเพื่อการทำแผนที่ ซึ่งเสนอโดยคณะทำงานมาตรฐานข้อมูลเชิงตัวเลขเพื่อการทำแผนที่ (Digital Cartographic Data Standards Task Force) ในปี ค.ศ.1988 นั้นเป็นผลงานร่วมกันของ FICCDC-SWG และคณะผู้แทนอื่นๆ ในแวดวงของข้อมูลเชิงพื้นที่ มาตรฐานที่ได้เสนอขึ้นมาได้รับการนำไปทดสอบและทดลองใช้โดยกลุ่มผู้ใช้ในภาคเอกชน และภาครัฐระหว่างปี ค.ศ.1988 และต้นปี ค.ศ.1989 และในระหว่างปี ค.ศ.1989 และ ค.ศ.1990 คณะกรรมการทบทวนผลงาน ซึ่งประกอบไปด้วยผู้เชี่ยวชาญจากภาครัฐ สถาบันการศึกษา และภาคเอกชน ได้เสนอส่วนที่เพิ่มขึ้นมา พร้อมทั้งข้อแก้ไขใหม่ๆ จากการทดสอบที่ผ่านมา ในช่วงเวลาของการพัฒนานี้ ชื่อของมาตรฐานได้ถูกเปลี่ยนไปเป็น SDTS เพื่อสะท้อนให้เห็นถึงการเน้นถึงความต้องการในการถ่ายทอดข้อมูลระหว่างระบบข้อมูลเชิงพื้นที่ที่ต่างกันรวมทั้งระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ในช่วงต้นปี ค.ศ.1991 SDTS ได้ถูกเสนอขึ้นไปยังสำนักงานมาตรฐานแห่งชาติสหรัฐอเมริกา (National Bureau of Standards) เพื่อขอให้อนุมัติให้เป็น Federal Information Processing Standard : FIPS) หลังจากเปิดให้มีการทบทวนแบบเปิดซองสาธารณะเพื่อให้มีการแสดงความคิดเห็นและเสนอแนะได้มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยแล้ว SDTS ก็ถูกนำขึ้นเสนอต่อ NIST และได้รับการอนุมัติเมื่อวันที่ 29 กรกฎาคม ค.ศ. 1992 ให้เป็น Federal Information Processing Standard : FIPS โดยแสดงรายละเอียดในสิ่งที่ตีพิมพ์ที่ 173

อีกหนึ่งองค์กรที่ทำหน้าที่เป็นหน่วยงานกลางด้านข้อมูลภูมิศาสตร์ของสหรัฐอเมริกา คือ Federal Geographic Data Committee (FGDC) มีบทบาทที่สำคัญทำหน้าที่เป็นแกนหลักในการประสานและพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานข้อมูลเชิงพื้นที่แห่งชาติ หรือที่เรียกว่า National Spatial Data Infrastructure: NSDI และการกำหนดมาตรฐานด้านการอธิบายข้อมูลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ หรือ Metadata รวมทั้งการจัดทำมาตรฐานเกี่ยวกับการทดสอบและอธิบายความถูกต้องทางตำแหน่งของข้อมูลภูมิสารสนเทศ คณะกรรมการ FGDC ได้มีชุดมาตรฐานที่ใช้งานแล้วคือ SDTS Content standard for digital geospatial metadata Content standard for orthoimagery และ Geospatial positioning accuracy standards. (http://fgdc.gov)

2) คณะกรรมการวิชาการที่ 211 ขององค์การมาตรฐานนานาชาติ ISO (ISO/TC 211)

คณะกรรมการวิชาการที่ 211 ขององค์การมาตรฐานนานาชาติ (International Standard Organization : ISO)/(ISO/TC 211) เป็นองค์กรสากลซึ่งทำหน้าที่เกี่ยวกับการพัฒนาและกำหนดมาตรฐานข้อมูลภูมิศาสตร์ หรือ Geomatics เป็นการพัฒนามาตรฐานสารสนเทศภูมิศาสตร์นานาชาติที่ได้รับการแต่งตั้งขึ้นมา วัตถุประสงค์ของ ISO/TC 211 ก็เพื่อการจัดทำชุดของโครงสร้างของมาตรฐาน (Structured set of standards) ซึ่งเป็นชุดมาตรฐานหมายเลข 19100 ของสารสนเทศที่เกี่ยวข้องกับวัตถุหรือปรากฏการณ์ที่มีส่วนโดยตรงหรือโดยอ้อมกับตำแหน่งบนผิวโลก ISO/TC211 นี้ ได้รับการจัดตั้งขึ้นเมื่อปี พ.ศ.2537 โปรแกรมนี้มีผู้เข้ามีส่วนร่วมเป็นจำนวนมาก เรียกว่าเป็นสมาชิกหลายประเภท คือ ประเภทร่วมทำงาน (Participating Member : P-Member) ปัจจุบันมีสมาชิกประเภทนี้ 30 ประเทศ รวมทั้งประเทศไทย ประเภทสมาชิกสังเกตการณ์ (Observing Member : O-Member) จำนวน 23 ประเทศ และมีองค์กรอื่นๆ ทั้งภายในและภายนอก เป็นสมาชิกประเภท Liaisons ซึ่งมีทั้ง External liaison และ Internal liaison จำนวนมากกว่า 17 องค์กร ซึ่งเป็นทั้งตัวแทนประเทศต่างๆ ในโลก พร้อมทั้งองค์กรระดับนานาชาติหลายองค์กร และที่สำคัญได้แก่ Digital Geographic Information Group (EPSG), International Association of Geodesy (IAG), International Cartographic Association (ICA), International Federation of Surveyors (FIG), International Hydrographic Bureau (IHB), International Society of Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS), Open GIS Consortium (OGC) และ United Nations Economic Commission for Europe (UNECE).

ภายใต้โปรแกรมการทำงานของ ISO/TC 211 นี้ รูปแบบการทำงานในระยะเริ่มแรกประกอบด้วยคณะทำงาน 5 คณะที่ได้จัดตั้งขึ้นมาเพื่อทำหน้าที่ในการจัดทำมาตรฐานที่เกี่ยวข้องตามหัวข้อเรื่อง แต่ละคณะทำงานดังต่อไปนี้

- Framework and reference model
- Geospatial models and operations
- Geospatial data administration
- Geospatial services
- Profiles and functional standards

คณะทำงานเหล่านี้จะเริ่มลงมือปฏิบัติงานด้านมาตรฐานเกี่ยวกับหัวข้อที่ได้ตั้งไว้แล้ว 20 หัวข้อระหว่างปี ค.ศ. 1996 และ ค.ศ. 1997 และได้กำหนดไว้ว่าจะได้มาตรฐานออกมาในรูปของสิ่งพิมพ์ในปลายปี ค.ศ. 1999 (Tom, 1995)

คณะทำงานได้มีการประชุมใหญ่ (Plenary meeting) ปีละสองครั้งเพื่อพิจารณาผลการพัฒนามาตรฐานของแต่ละคณะทำงานที่ได้รับมอบหมายไปอย่างเป็นขั้นตอน เอกสารมาตรฐานที่พิจารณากันนั้นมีลำดับความก้าวหน้าตามลำดับดังนี้ คือ

- เอกสารยกร่างครั้งแรก (Working Draft : WD)
- เอกสารร่างคณะทำงาน (Committee Draft : CD)
- เอกสารร่างมาตรฐานสากล (Draft International Standard : DIS)
- เอกสารร่างฉบับสมบูรณ์ของมาตรฐานสากล (Final Draft International Standard : FDIS)
- เอกสารมาตรฐานสากล (International Standard : IS)

ปัจจุบันนี้คณะกรรมการ ISO/TC211 ได้ประกาศมาตรฐานภูมิสารสนเทศระดับนานาชาติแล้วกว่า 30 มาตรฐาน (http://www.isotc211.org)

3) Open Geospatial Consortium : OGC (Formerly Open GIS Consortium : OGC)

การรวมกลุ่มกันอย่างเปิดเผยในรูปบริษัทที่เรียกว่า The Open Geospatial Consortium, Inc (OGC) เป็นการรวมตัวด้านอุตสาหกรรมระดับนานาชาติที่ประกอบด้วยองค์กรภาครัฐ ภาคเอกชน และมหาวิทยาลัยจำนวน 336 แห่งทั่วโลก เพื่อร่วมกันพัฒนาข้อกำหนดในการเชื่อมต่อแบบเปิด (Open interface specifications) ซึ่งเป็นที่รู้จักกันในนาม Open GIS (Geospatial) specifications

กลุ่ม OCG เล็งเห็นว่าข้อมูลเชิงพื้นที่ และ Geo-processing resources จะสามารถนำมารวมกันได้อย่างสมบูรณ์ในวงการคอมพิวเตอร์ และซอฟต์แวร์เชิงพาณิชย์ที่แพร่หลายให้สามารถทำงานร่วมกันได้อย่างทั่วถึงในโครงสร้างสารสนเทศ (Information infrastructure)

พันธกิจของ OCG มีดังต่อไปนี้

- มีส่วนทำให้ผู้นำพัฒนาและผู้ใช้ทรัพยากรสารสนเทศภูมิศาสตร์มาร่วมกัน ซึ่งประกอบไปด้วยบริษัทผู้ค้า กลุ่มผู้บูรณาการระบบ กลุ่มสถาบันการศึกษา หน่วยงานภาครัฐ และองค์กรพัฒนามาตรฐานเพื่อการพัฒนาร่วมกันเพื่อให้เกิดข้อกำหนดที่จะให้เกิดการทำงานร่วมกันได้ของ Geo-processing technology พร้อมด้วยการทำงานเพื่อส่งเสริมให้มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่สามารถรับประกาศนียบัตรในการใช้งานร่วมกันได้

- ประสานเทคโนโลยีด้าน Geo-processing และมาตรฐานเทคโนโลยีสารสนเทศเข้าด้วยกันโดยตั้งอยู่บนพื้นฐานของระบบที่กระจายและเป็นระบบเปิด (Distributed and open system) และภายในกรอบงานขององค์ประกอบของระบบ (Component-ware frameworks)

- จัดให้เกิดเวทีทางอุตสาหกรรมที่ส่งเสริมกิจกรรมด้านความร่วมมือเพื่อริเริ่มการพัฒนาระบบ Geo-processing ที่มีการกระจายตัว (Distributed geo-processing) (Open GIS Consortium, 1996)

OCG เป็นองค์กรที่มีลักษณะพิเศษเฉพาะตัวที่ต้องเป็นสมาชิก และไม่หวังกำไร อุทิศตนเพื่อการพัฒนา Geo-processing ให้เป็นระบบเปิด OGC ได้รับความเห็นชอบอย่างเป็นเอกฉันท์เพื่อให้พัฒนาข้อกำหนดเพื่อให้เกิดความสามารถทำงานร่วมกันได้ของข้อมูลเชิงพื้นที่แบบระบบเปิด (Open Geodata Interoperability Specification : OGIS) ซึ่งว่าด้วยกรอบงานและรายละเอียดของข้อกำหนดของซอฟต์แวร์ที่จะทำให้กรรมวิธี Geo-processing สามารถทำงานร่วมกันได้อย่างแท้จริง OGIS กำลังจะก้าวไปสู่มาตรฐานอย่างเป็นทางการได้ ในสหรัฐอเมริกา Federal Geographic Data Committee (FGDC) และ National Spatial Data Infrastructure (NSDI) ได้กล่าวถึงการนำเอา OGIS ไปใช้ตั้งแต่ปี ค.ศ.1994 มาแล้ว OGIS ก็มีความสัมพันธ์ใกล้ชิดกับ ISO/TC 211 และ X3L1 ของ American National Standard Institute (ANSI) เป็นอย่างดี

นับตั้งแต่การจัดตั้งขึ้นมา OGC ได้รวบรวมชื่อผู้ที่ข้ามามีส่วนร่วมอย่างเป็นทางการมากกว่า 50 องค์กร รวมทั้งบริษัทผู้ค้าที่สำคัญของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ผู้ค้าคอมพิวเตอร์ ผู้ค้าฐานข้อมูล ผู้ทำการบูรณาการระบบ บริษัทด้านโทรคมนาคม องค์กรภาครัฐ และสถาบันการศึกษาต่างๆ

เอกสารหลักที่จะเสนอเป็นมาตรฐานของ OGIS ขณะนี้กำลังเวียนเพื่อขอความเห็นโดยผ่านทางอินเทอร์เน็ต (OGC, 1996)

ปัจจุบัน OGC ได้ผลิตมาตรฐานออกมามากมาย แต่กำลังหันมาร่วมมือกับ ISO/TC211 อย่างใกล้ชิด เพราะทางออกสู่สากลที่ดีที่สุดในปัจจุบันนี้คือทาง ISO/TC211 นั่นเอง ตัวอย่างของมาตรฐานหรือข้อกำหนดภายใต้ OGC มีดังนี้ (http://www.geospatial.org)

- Open Geospatial Catalog Service Interface Specification (CAT)
- Open Geospatial Coordinate Transformation Services Specification (CT)
- Open Geospatial Geography Markup Language (GML)
- Open Geospatial Grid Coverages (Grid Image, DEM) Specifications (GC)
- Open Geospatial Simple Features Specification (SFS)
- Open Geospatial Web Map Server Interface Specification (WMS)

9.15.2 กรณีศึกษา: ประสบการณ์ของภูมิภาค (Regional experiences)

ในปี ค.ศ. 1994 ที่ประชุมแผนที่แห่งสหประชาชาติสำหรับเอเชียและแปซิฟิก ครั้งที่ 13 ที่กรุงปักกิ่ง สาธารณรัฐประชาชนจีน ได้มีมติให้แต่งตั้งคณะกรรมการถาวร สำหรับโครงสร้างระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ในเอเชียและแปซิฟิก คณะกรรมการนี้มีสมาชิก 55 ราย ซึ่งประกอบด้วยผู้แทนระดับประเทศและระดับภูมิภาคในเอเชียและแปซิฟิก และได้ตั้งวัตถุประสงค์ไว้ดังต่อไปนี้

- เพื่อร่วมมือในการพัฒนาโครงสร้างสารสนเทศระดับภูมิภาค
- เพื่อมีส่วนร่วมในการพัฒนาโครงสร้างสารสนเทศภูมิศาสตร์ระดับโลก (Global geographic information infrastructure)
- เพื่อแลกเปลี่ยนประสบการณ์ และให้คำปรึกษาในประเด็นที่มีความสนใจร่วมกัน

การจัดตั้งคณะกรรมการถาวรของโครงสร้างระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์สำหรับเอเชียและแปซิฟิกนั้น สะท้อนให้เห็นความพยายามในระยะยาวที่จะพัฒนามาตรฐานสารสนเทศภูมิศาสตร์ในภูมิภาค ในช่วงเวลาดังกล่าวนี้ ประเทศในแถบเอเชียและแปซิฟิกมีความเจริญก้าวหน้าด้านเทคโนโลยีสารสนเทศอุตสาหกรรมและโครงสร้างทางเศรษฐกิจและสังคมมาก ดังนั้นการดำเนินการเกี่ยวกับการพัฒนามาตรฐานระดับชาติ และระดับภูมิภาคจึงเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้

ผลจากการสำรวจเกี่ยวกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในประเทศแถบเอเชียและแปซิฟิก โดยสำนักงานพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมสำหรับเอเชียและแปซิฟิกแห่งสหประชาชาติ สรุปได้ดังต่อไปนี้

- ผลการสำรวจโดย ESCAP ใน 20 ประเทศมี 51 องค์กร ตอบคำถาม และในจำนวนนี้มีองค์กรจากภาครัฐ 30 แห่ง และจากสถาบันการศึกษาและสถาบันวิจัย 21 แห่ง องค์กรส่วนใหญ่ที่เกี่ยวข้องดำเนินกิจการเกี่ยวกับการสำรวจและทำแผนที่และการบริหารจัดการทรัพยากรธรรมชาติ
- การแลกเปลี่ยนข้อมูลนั้นเกิดขึ้นภายในองค์เดียวกันเป็นส่วนใหญ่ จำนวนกว่าครึ่งขององค์กรจะไม่มีการแลกเปลี่ยนข้อมูลกับองค์กรภายนอก
- องค์กรที่มีการแลกเปลี่ยนข้อมูลนั้น ทำในระดับที่มีข้อมูลไม่มากและไม่บ่อย ประมาณ 1/3 ของจำนวนองค์กรมีการแลกเปลี่ยนข้อมูลภายในและเกิดขึ้นบ่อยในปริมาณที่ไม่มาก
- มีการใช้สื่อในการจัดเก็บทั้งภายในและภายนอก มีการใช้ Wide area network เป็นจำนวนน้อย ประมาณ 1/3 ของ Local area network ใช้สำหรับการแลกเปลี่ยนข้อมูลภายใน

- ASCII และ DXF เป็นรูปแบบที่ใช้กันเป็นส่วนมากในการแลกเปลี่ยนข้อมูล ยังไม่มีความเข้าใจมาตรฐานสารสนเทศภูมิศาสตร์อย่างแท้จริง และยังไม่นำมาใช้ มีเพียงจำนวนน้อยมากขององค์กรที่ใช้มาตรฐานไม่ว่าจะเป็นระดับชาติ หรือระดับภูมิภาคก็ตาม ยังไม่มีองค์กรใดใช้ SDTS

- เกือบ 2/3 ขององค์กรแสดงให้เห็นว่า ได้วางแผนที่จะให้มาตรฐานการแลกเปลี่ยนข้อมูลอย่างใดอย่างหนึ่ง ภายใน 3 ปีข้างหน้า อย่างไรก็ตาม เพียงครึ่งหนึ่งเท่านั้นที่เชื่อว่าแผนที่วางไว้จะถูกนำมาใช้จริงมีจำนวนน้อยกว่าครึ่งที่บอกว่าจะใช้มาตรฐานโดยการดัดแปลง SDTS

ปรากฏว่าผู้ใช้ส่วนใหญ่มีความพอใจกับซอฟต์แวร์ที่ได้ติดตั้งเพื่อใช้ในกิจกรรมระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง Intergraph MGE ArcInfo MapInfo และ IDRISI แต่ไม่ได้พูดถึงความพึงพอใจกับซอฟต์แวร์ ILWIS หรือ GenaMap ปัญหาที่กลุ่มผู้ใช้พบในซอฟต์แวร์เพื่อระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ประกอบไปด้วย (1) การขาดขีดความสามารถระดับสูง (2) ราคาแพง (3) ข้อจำกัดของขีดความสามารถในการใช้งานกับฐานข้อมูลขนาดใหญ่ และ (4) ขาดการสนับสนุนทางเทคนิคและด้านวิชาการ

ในภูมิภาคเอเชียและแปซิฟิกมีการดำเนินการเกี่ยวกับการมีมาตรฐานด้วยวิธีที่แตกต่างกัน ตัวอย่างของ 3 วิธีการที่แตกต่างกันสำหรับการดำเนินการให้มีมาตรฐานระดับชาติและระดับภูมิภาคมีดังต่อไปนี้

- การปรับเปลี่ยนมาตรฐานที่ผู้อื่นทำขึ้นให้เข้ากับสภาพของประเทศของตน (Adaptation of foreign standards) เช่น ประเทศออสเตรเลีย

- พัฒนามาตรฐานระดับชาติขึ้นมาเอง เช่น สาธารณรัฐประชาชนจีน

1) ออสเตรเลีย

องค์กรที่เรียกว่า Standard Australia ได้จัดตั้งคณะกรรมการ IT/4 เพื่อกิจการด้านสารสนเทศภูมิศาสตร์ในปี 1987 รับผิดชอบในการพัฒนามาตรฐานสารสนเทศภูมิศาสตร์และสารสนเทศที่ดิน รวมทั้งการถ่ายทอดข้อมูลด้วย คณะอนุกรรมการ IT/4/2 Geographical Data Exchange Formats ได้พัฒนามาตรฐานออสเตรเลียขึ้นมามีรหัส AS 2482-1989 เกี่ยวกับ Interchange of Feature Coded Digital Mapping

วิธีการดำเนินการเพื่อให้ได้มาซึ่งมาตรฐานออสเตรเลียเพื่อการแลกเปลี่ยนข้อมูลในประเทศ ใช้วิธีการปรับเปลี่ยนมาตรฐานต่างชาติที่มีอยู่แล้ว ตัวอย่างเช่น มาตรฐาน AS 2842 (หรือเรียกว่า SDTS แบบออสเตรเลีย หรือ ASDTS) เป็นมาตรฐานเลียนแบบ (Clone) ของ SDTS ของสหรัฐอเมริกา ซึ่งมีแง่มุมที่ได้แปลงให้เป็นแบบออสเตรเลียดังต่อไปนี้

- Reference standards (มาตรฐานอ้างอิง) มาตรฐานอ้างอิงบางอย่างที่มีอยู่ใน SDTS ไม่สามารถใช้ได้ในกรณีของออสเตรเลียจึงต้องใช้ทางเลือกใหม่เข้ามาแทนเพื่อใช้เป็นมาตรฐานสำหรับออสเตรเลีย ตัวอย่างนี้ คือ การจัดทำมาตรฐานออสเตรเลียที่ AS 3654 Information Processing ซึ่งเป็นตัวเลียนแบบของ ISO 8211

- Coordinated systems (ระบบจุดพิกัด) ในกรณีนี้ มาตรฐานของออสเตรเลียจะต้องอ้างอิงถึง Australian Map Grid (AMG) และ Australian Geodetic Datum (AGD) ในระบบจุดพิกัด

- Entity and attribute definitions (คำจำกัดความของตัวข้อมูลคำอรรถาธิบาย)

คำจำกัดความของคำว่า Topographic features และ Hydrographic features ที่ใช้กันในสหรัฐอเมริกา ไม่ตรงทีเดียวกับที่จะนำมาใช้กับประเทศออสเตรเลีย ดังนั้นจะต้องหาคำนิยามใหม่ที่จะใช้ในประเทศออสเตรเลีย สำหรับคำเหล่านี้และคำอื่นๆ อีกที่เกี่ยวกับลักษณะทางภูมิศาสตร์ แต่ยังอยู่ในรูปแบบที่จะเข้ากันได้กับรูปแบบของ SDTS

มาตรฐานเลขที่ AS 2482 เป็นรูปแบบและรหัสแบบ Unstructured ของข้อมูลจุดและข้อมูลภูมิศาสตร์แบบเวกเตอร์ วัตถุประสงค์ของมาตรฐานนี้ก็เพื่อหาวิธีการทำแผนที่และข้อมูลการสำรวจ ที่จัดเก็บที่มาตราส่วนที่แตกต่างกันโดยวิธีการและเครื่องมือต่างชนิดกันโดยองค์กรที่ต่างกันให้มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนกันเอง และกับกลุ่มอื่นที่มีความสนใจในสิ่งเดียวกันหรือเหมือนกัน

มาตรฐานดังกล่าวได้รับการออกแบบอย่างมีหลักการประมาณปี ค.ศ.1975 แต่ยังขาดความสามารถหลายอย่างที่ต้องการเพื่อให้ตอบสนองต่อความต้องการของระบบสมัยใหม่ ตัวอย่างเช่น มาตรฐานไม่สามารถแสดงเกี่ยวกับแผนที่ของบริเวณที่ทำโมเสก (ข้อมูลพื้นที่) ข้อมูลกริด หรือข้อมูลแรสเตอร์ สิ่งเหล่านี้เป็นสาเหตุที่สำคัญที่ทำให้มีการเปลี่ยนมาตรฐานเกิดขึ้น

การที่ประเทศออสเตรเลียประสบความสำเร็จโดยวิธีดัดแปลงมาตรฐานที่มีอยู่แล้วเพื่อกิจการการทำแผนที่และการสำรวจ ทำให้กลุ่มผู้ใช้ในประเทศคอยดูว่าเมื่อไรวิธีเดียวกันนี้จะถูกนำมาใช้ในต่างประเทศบ้าง

2) สาธารณรัฐประชาชนจีน

การที่เป็นประเทศที่มีประชากรหนาแน่นที่สุดในโลกและมีประวัติอันยาวนานด้านวัฒนธรรม สาธารณรัฐประชาชนจีนประสบกับความท้าทายมาตลอดยุคใหม่เกี่ยวกับการจัดการทรัพยากรมนุษย์และสิ่งแวดล้อม เทคโนโลยีสารสนเทศภูมิศาสตร์ได้เข้ามาสู่สาธารณรัฐประชาชนจีนกว่าสองทศวรรษมาแล้วและได้กลายเป็นสาขาวิชาการที่ขยายตัวอย่างรวดเร็วที่สุดสาขาหนึ่งตั้งแต่บัดนั้นเป็นต้นมา (He and Jiang, 1995) หน่วยงานภาครัฐและสถาบันวิจัยหลายแห่งได้เข้าสู่กระบวนการการทำวิจัยด้าน ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ทำการพัฒนาและประยุกต์ใช้ระบบนี้ ผลที่ได้ก็คือการเกิดมีข้อมูลเชิงพื้นที่ขึ้นเป็นปริมาณมากมาย ทำให้มีการคิดกันในประเทศว่าการพัฒนามาตรฐานระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้เริ่มตั้งแต่มีการนำเอาระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เข้ามาในประเทศเลยทีเดียว

เนื่องจากความสลับซับซ้อนและความยุ่งยากของการพัฒนามาตรฐานที่จะเกิดขึ้นในสาธารณรัฐประชาชนจีนเพราะประวัติอันยาวนานของประเทศจำนวนประชากรมาก มีวัฒนธรรมที่หลากหลายทำให้การพัฒนามาตรฐานโดยวิธีปรับเปลี่ยนมาตรฐานต่างประเทศที่มีอยู่เป็นไปได้ยากในทางปฏิบัติ ความยากทางเทคนิคได้แก่ การนำเอาอักษรภาษาจีนเข้าไปรวมในกรรมวิธีการทำแผนที่เชิงตัวเลขและฐานข้อมูล ซึ่งจะเป็นข้อขัดข้องในการที่จะปรับเปลี่ยนมาตรฐานต่างประเทศมาเป็นมาตรฐานของตนโดยตรง ดังนั้น จึงมีการพัฒนามาตรฐานระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ขึ้นอย่างเต็มรูปแบบ เริ่มตั้งแต่กลางปี ค.ศ. 1980 การพัฒนามาตรฐานได้เน้นในส่วนต่างๆ ดังต่อไปนี้ (Jiang, 1995)

- ดำเนินการยุบรวมระบบจุดพิกัดของชาติให้เหลือเพียงระบบเดียวในงานด้านระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์
- ดำเนินการยุบรวมการจำแนกประเภทสารสนเทศทรัพยากรและสิ่งแวดล้อมของชาติให้เป็นหนึ่งเดียว (Unification of data classification)
- ดำเนินการยุบรวมระบบรหัสข้อมูลระดับชาติให้เหลือเพียงหนึ่งเดียว

- ยุบรวมรูปแบบเพื่อการถ่ายทอดข้อมูลให้เหลือเพียงหนึ่งเดียว ตั้งแต่ปี ค.ศ.1991 เป็นต้นมา มาตรฐานแห่งชาติที่สำคัญหลายอย่างได้รับการตีพิมพ์ออกมาแล้ว เป็นต้นว่า ระบบกริดทางภูมิศาสตร์ (Geographic grid) การจำแนกประเภทและรหัสของทรัพยากรป่าไม้แห่งชาติ (Classification and codes for forest resources) ระบบรหัสชื่อแม่น้ำของจีน (Coding system of river names of China) การจำแนกประเภทและรหัสของรูปร่างวัตถุในแผนที่ภูมิประเทศ (Classification and codes for features of topographic maps) กฎเกณฑ์ของรหัสรูปร่างวัตถุภูมิศาสตร์ในเมือง (Rules for urban geographical features) และอื่นๆ อีก มาตรฐานทางเทคนิคก็ได้รับการเสนอให้จัดทำโดยสำนักงานการสำรวจและแผนที่แห่งชาติ เช่น การควบคุมและประเมินคุณภาพ รูปแบบการบันทึกข้อมูลเชิงตัวเลขการสำรวจภาคสนาม ข้อมูลตัวเลขทางโฟโตแกรมเมตรี และการทำสำมะโนต่างๆ รูปแบบการถ่ายทอดข้อมูล กฎเกณฑ์การปรับให้เป็นปัจจุบันของข้อมูล ระบบสัญลักษณ์สำหรับการทำแผนที่เชิงตัวเลข และพจนานุกรม (ดิกชันนารี) ข้อมูลสำหรับสารสนเทศด้านการสำรวจและการทำแผนที่

การใช้วิธีการพัฒนาแบบเต็มรูปแบบมีความต้องการทรัพยากรสูงในแง่ของบุคลากรและเวลา ซึ่งจะทำให้เสียเวลาไปเป็นอันมากในการที่จะได้ใช้มาตรฐานเพื่อการเข้าถึงและใช้ข้อมูลร่วมกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในประชาคมที่ใหญ่มากๆ เช่น ประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน

3) ประเทศอิหร่าน (Islamic republic of Iran)

ในปี 1993 รัฐสภาอิสลามแห่งประเทศอิหร่านได้มอบหมายให้ศูนย์การแผนที่แห่งชาติอิหร่านออกแบบนำเอาระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์แห่งชาติมาปฏิบัติ ความต้องการที่สำคัญเบื้องแรกของการเกิดระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์แห่งชาติ คือ ความต้องการมาตรฐานข้อมูลเชิงตัวเลขใหม่ ซึ่งครอบคลุมการทำแผนที่เชิงตัวเลขและระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อใช้แทนมาตรฐานการทำแผนที่เดิมที่มีอยู่ ด้วยเหตุผลนี้จึงได้เกิดมีคณะกรรมการแห่งชาติว่าด้วยมาตรฐานสำหรับข้อมูลเชิงพื้นที่ขึ้นในปี ค.ศ. 1994 โดยมีเป้าหมายที่จะพัฒนามาตรฐานสำหรับฐานข้อมูลภูมิประเทศแห่งชาติ และแผนที่ฐานที่มาตราส่วน 1: 25,000 คณะกรรมการนี้มีการทำงานใกล้ชิดกับคณะกรรมการระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์แห่งชาติและผู้ใช้เพื่อประกันการประสานงานอย่างมีประสิทธิภาพกับองค์กรภาครัฐอื่นๆ (Radjabifard, 1995)

มาตรฐานข้อมูลเชิงพื้นที่แบบตัวเลขของศูนย์การแผนที่แห่งชาติครอบคลุมเรื่องต่างๆ เช่น การจัดเก็บข้อมูล ระบบจุดพิกัดและระบบระวางแผนที่ แบบจำลองเชิงความคิด โครงสร้างข้อมูล รูปแบบข้อมูล รูปแบบการแลกเปลี่ยนข้อมูล รหัสรูปร่าง การนำเสนอแผนที่ ข้อมูลของข้อมูล พจนานุกรมข้อมูล (Data dictionary) และสื่อในการจัดเก็บ (Storage media) อย่างไรก็ตามการที่จะให้เป็นไปตามความต้องการ การแลกเปลี่ยนข้อมูลอย่างทันทีทันใดนั้นได้มีการใช้มาตรฐานอุตสาหกรรมชนิดที่เรียกว่า de facto standard (ตัวอย่างเช่น ใช้ Microstation data format, DGN ของ Intergraph เพื่อใช้กับข้อมูลกราฟิก และใช้ Oracle สำหรับข้อมูลอรรถาธิบาย

การจัดทำมาตรฐานข้อมูลเชิงพื้นที่ของประเทศอิหร่านนั้นยังอยู่ในขั้นเริ่มต้น วิธีการดำเนินการส่วนใหญ่ทำโดยใช้รูปแบบร่วมกันและคำจำกัดความของเนื้อหาของข้อมูล แทนที่จะเป็นการพัฒนามาตรฐานจากไม่มีอะไรเลย และในทางตรงข้ามก็ไม่ได้พยายามที่จะรับเอามาตรฐานต่างประเทศที่มีอยู่มาใช้โดยตรงด้วย จึงเห็นว่าคงจะต้องใช้เวลากว่าจะได้มาตรฐานสารสนเทศภูมิศาสตร์ระดับชาติในที่สุด

4) ประเทศไทย

ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เป็นที่รู้จักกันในประเทศไทยเป็นระยะเวลานานแล้ว การแพร่หลายของเทคโนโลยีเป็นไปอย่างช้าๆ มีผู้รู้อยู่ในวงการศึกษา และหน่วยงานภาครัฐเพียงส่วนน้อยที่มีการประยุกต์ใช้ในระยะแรกเริ่ม ต่อมาประเทศไทยได้รับอิทธิพลจากการขยายตัวของเทคโนโลยีสารสนเทศ ประกอบกับการขยายตัวอย่างรวดเร็วของวิทยาการคอมพิวเตอร์ ทั้งฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ ที่มีขีดความสามารถสูงขึ้น และราคาลดลง ประกอบกับการทำการตลาดของผู้ขายซอฟต์แวร์ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์แบบเชิงรุก ทำให้มีผู้ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก แต่ผู้ใช้เหล่านี้ยังขาดความพร้อมในเรื่องบุคลากร และความชำนาญงานในการใช้เครื่องมือที่เกี่ยวข้อง ยังผลให้เกิดการใช้งานอย่างไม่มีทิศทางและผิดพลาด มีการทำงานซ้ำซ้อน ขาดการร่วมมือ และร่วมงานกัน ทำงานในลักษณะต่างคนต่างทำ เกิดความซ้ำซ้อนของงานทำให้สูญเสียทรัพยากรมากมาย

กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมในขณะนั้น ได้เล็งเห็นความสำคัญของการพัฒนาระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์อย่างเป็นระบบระเบียบและมีทิศทาง จึงได้ตั้งคณะกรรมการประสานและส่งเสริมการพัฒนาระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ขึ้นที่สำนักงานปลัดกระทรวงฯ และมีปลัดกระทรวงฯ เป็นประธาน มีอนุกรรมการหลายคณะเพื่อดำเนินกิจกรรมเฉพาะด้าน รวมทั้งคณะอนุกรรมการมาตรฐานระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ซึ่งได้ปฏิบัติหน้าที่เกี่ยวกับการพัฒนามาตรฐานสารสนเทศภูมิศาสตร์มาอย่างต่อเนื่อง

สรุปงานของคณะอนุกรรมการมาตรฐานระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ของกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม มีดังนี้

- ว่าจ้างที่ปรึกษาเพื่อศึกษา “มาตรฐานระบบข้อมูล ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์” เมื่อปี พ.ศ.2537-2538 เพื่อศึกษามาตรฐานระบบข้อมูลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ของประเทศในลักษณะการจำแนกมาตรฐาน (Standard classification scheme) จำนวน 10 ชั้นข้อมูล พร้อมด้วยตัวอย่างมาตรฐาน มาตราส่วน 1:50,000

- ว่าจ้างที่ปรึกษา “ศึกษาปรับปรุงมาตรฐานข้อมูลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์” เมื่อปี พ.ศ.2540-2541 เป็นการอธิบายข้อมูลทั่วประเทศ มาตราส่วน 1:250,000

- เสนอให้สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.) สมัครเป็นสมาชิกคณะกรรมการวิชาการที่ 211 ขององค์การกำหนดมาตรฐานสากล (International Standard Organization (ISO)) ซึ่งเรียกว่า ISO/TC211 เพื่อเข้าร่วมพัฒนามาตรฐานระดับนานาชาติ ระหว่างปี พ.ศ.2540-2541 ซึ่งได้รับการตอบรับให้เป็นสมาชิกร่วมพัฒนา (Participating Member : P-Member) เมื่อปี พ.ศ.2541 และ สมอ. ได้แต่งตั้งคณะกรรมการวิชาการที่ 904 ของ สมอ. ขึ้นมาเพื่อประสานงานกับ ISO/TC211 ในการพัฒนามาตรฐานภูมิสารสนเทศ ตามคำสั่งของกระทรวงอุตสาหกรรม ที่ 45/2541 (9 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2541) เพื่อทำหน้าที่จัดทำร่างมาตรฐานระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ และปฏิบัติหน้าที่ทางวิชาการอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง เพื่อเสนอต่อกรรมการมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของกระทรวงฯ ต่อไป องค์ประกอบของคณะกรรมการวิชาการที่ 904 ส่วนใหญ่มาจากภาครัฐ แต่มีส่วนน้อยที่มาจากภาคอุตสาหกรรมและภาคการศึกษา และที่ผ่านมาประเทศไทยได้เข้าร่วมการประชุมระดับ Plenary ตั้งแต่ครั้งที่ 7 เมื่อ ปี พ.ศ.2541 เป็นต้นมาจนบัดนี้การประชุมครั้งที่ 23 ได้เสร็จสิ้นไปแล้วในปี พ.ศ.2549

- ว่าจ้างที่ปรึกษา “ศึกษาโครงการพัฒนามาตรฐานวิธีการอธิบายข้อมูลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์” เมื่อปี พ.ศ.2541-2542 ซึ่งเป็นที่มาของมาตรฐานการอธิบายข้อมูลภูมิสารสนเทศตามแบบของ ISO/TC211 ที่ทาง สมอ. ได้ประกาศเป็นมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมไปแล้ว เมื่อไม่นานมานี้ (มอก. 19115: 2548)

ต่อมาในปี พ.ศ.2543 ได้มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น คือรัฐบาลได้จัดตั้งสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (สทอภ.) ขึ้นเพื่อรับผิดชอบงานด้านการรับรู้จากระยะไกล และระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ โดยรวมเอางานด้านระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ จากกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมมารวมอยู่ที่ สทอภ. ตั้งแต่บัดนั้นเป็นต้นมา

งานที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนามาตรฐานระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ที่ สทอภ. ที่ผ่านมาสรุปได้ดังนี้

- เป็นเลขานุการคณะกรรมการระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์แห่งชาติ
- ตั้งคณะทำงานกำหนดมาตรฐานภูมิสารสนเทศ
- จัดทำมาตรฐานอธิบายข้อมูล Metadata ของประเทศไทย (ปรับจาก ISO 19115)
- สำรวจสถานภาพหน่วยงานด้านภูมิสารสนเทศ
- สำรวจระบบจำแนกและวิเคราะห์ข้อมูลภูมิสารสนเทศ
- จัดทำเว็บไซต์ด้านมาตรฐานข้อมูล
- พัฒนาระบบ Web Map Server
- จัดทำ NSDI และ Clearing house ของประเทศไทย

ติดตามการพัฒนามาตรฐานภูมิสารสนเทศอย่างต่อเนื่อง และมีแผนร่วมมือกับ สมอ. ในงานพัฒนามาตรฐานดังกล่าว

ปัญหาบางประการในการพัฒนามาตรฐานภูมิสารสนเทศสำหรับประเทศไทย

- ระดับความรู้ความเข้าใจในหลักการพื้นฐานของเทคโนโลยียังไม่กว้างไกลและแพร่หลาย
- ความซับซ้อนและความหลากหลายของมาตรฐานภูมิสารสนเทศ
- ขาดกลไกที่มีประสิทธิภาพในการพัฒนามาตรฐานภูมิสารสนเทศ
- ขาดบุคลากรที่มีความเชี่ยวชาญและขาดการสนับสนุนอย่างต่อเนื่อง
- ขาดความร่วมมืออย่างจริงจังในกลุ่มองค์กรที่เกี่ยวข้อง
- ฯลฯ

บทสรุป

มาตรฐานมีความสำคัญและจำเป็นสำหรับเทคโนโลยีสารสนเทศในปัจจุบัน ความเป็นมาตรฐานจะทำให้มีความได้เปรียบในแง่ที่สามารถใช้งานร่วมกันได้ การใช้ซอฟต์แวร์/ฮาร์ดแวร์สะดวกขึ้น

การแลกเปลี่ยนข้อมูลมีทางเลือกมาก มีคุณค่าทางเศรษฐกิจ และเรียนรู้ได้ง่าย การที่มาตรฐานที่มีประโยชน์อย่างสมบูรณ์นั้นจะต้องเกิดขึ้นในช่วงเวลาที่เหมาะสม และมีเนื้อหาที่ครอบคลุมกว้างขวาง

มาตรฐานระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ หมายถึง มาตรฐานที่ใช้ได้กับข้อมูลภูมิศาสตร์ มาตรฐานสารสนเทศภูมิศาสตร์ตามปกติแล้วต้องมีองค์ประกอบหลัก 3 ประการ คือ

- ข้อกำหนดเชิงตรรกะ
- แบบจำลองข้อมูล
- วิธีการนำไปปฏิบัติจนได้ผล

มาตรฐานสารสนเทศภูมิศาสตร์ที่ประสบความสำเร็จต้องดำเนินการอย่างใกล้ชิดกับมาตรฐานอุตสาหกรรมอื่นที่เกี่ยวข้องในเทคโนโลยีสารสนเทศปัจจุบัน

การดำเนินการเพื่อให้ได้มาซึ่งมาตรฐานนั้นสามารถนำไปใช้งานสองลักษณะคือ (1) การแลกเปลี่ยน (2) การใช้งานร่วมกันได้

ปัจจุบันนี้ วิธีการดำเนินการเพื่อให้ได้มาตรฐานการแลกเปลี่ยนข้อมูลกันนั้นมีความเป็นไปได้ คือ ใช้วิธีการพัฒนาแบบบริษัทที่มีลิขสิทธิ์ การพัฒนาแบบถือเอาตามแนวปฏิบัติของผู้ผลิต และการพัฒนาแบบลงมือทำเป็นทางการ แต่ละวิธีการดำเนินการนั้นก็มีทั้งข้อดีและข้อเสีย อย่างไรก็ตามถ้าเวลาสามารถอำนวยให้ได้ การดำเนินการแบบที่มีการยอมรับและครอบคลุมอย่างกว้างขวางชนิดที่มีการแลกเปลี่ยนข้อมูลอย่างเป็นทางการน่าจะเป็นวิธีการที่นำมาใช้อย่างเป็นทางการ และที่สุดแล้วก็จะถึงการมีความสามารถในการใช้งานร่วมกันได้ ซึ่งเป็นเป้าหมายของการพัฒนามาตรฐานระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

ได้มีการทบทวนการทำมาตรฐานระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ที่ได้ทำไปแล้วหลายหน่วยงาน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง FIPS-SDTS, ISO/TC 211 และ OGC ตัวอย่างบางอย่างในประเทศเอเชียและแปซิฟิกก็ได้รับการทบทวน ซึ่งมีการดำเนินการ 3 ประการ คือ (1) การปรับเปลี่ยนมาตรฐานต่างประเทศให้เป็นของตนเอง (2) การพัฒนามาตรฐานของชาติ และ (3) การใช้มาตรฐานตามแนวปฏิบัติของผู้ผลิต

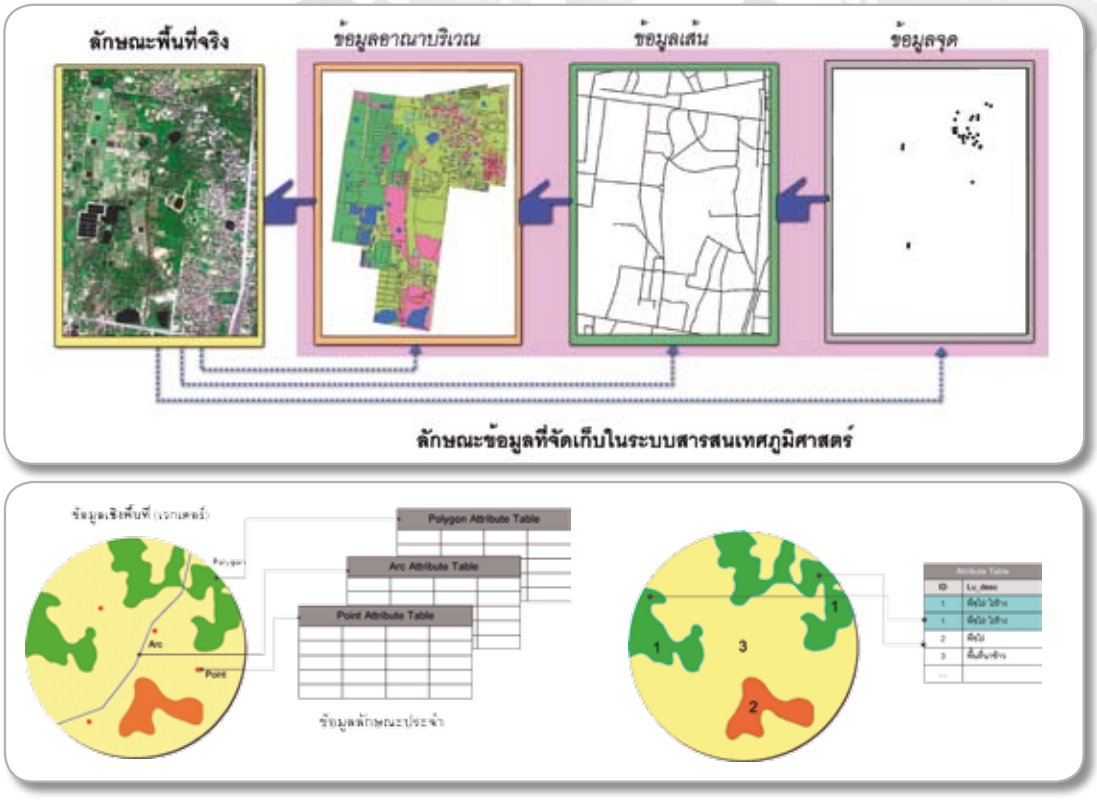
10. การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่

10.1 ลักษณะทั่วไปของข้อมูลเชิงพื้นที่

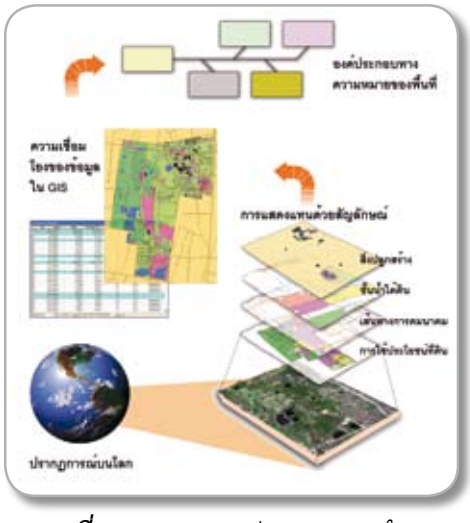
การประกอบแบบจำลองเชิงพื้นที่ เป็นการสร้างสิ่งที่ใช้เป็นตัวแทนปรากฏการณ์ที่เราสนใจ ซึ่งวิธีการที่จะช่วยให้เข้าใจระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ได้ดีที่สุดคือการผสมผสานข้อมูลที่เกี่ยวข้องเชิงพื้นที่ เช่น ข้อมูลประชากร เส้นทางคมนาคม สิ่งปกคลุมพื้นผิว ทรัพยากรป่าไม้ หรือแหล่งน้ำ เป็นต้น ภายในชั้นข้อมูลเหล่านี้อาจแสดงลักษณะแทนด้วยจุด เช่น การแสดงตำแหน่งของสิ่งปลูกสร้าง อาคาร สถานีตรวจวัดน้ำฝน-น้ำท่า หรือที่ตั้งจังหวัด ลักษณะเส้น เช่น ถนน แม่น้ำ แนวส่งก๊าซธรรมชาติ ส่วนอาณาบริเวณเป็นขอบเขตที่คำนวณวัดเป็นพื้นที่ได้ เช่น ขอบเขตการปกครอง ขอบเขตลุ่มน้ำ ขอบเขตป่าไม้ เป็นต้น ความโดดเด่นของข้อมูลเหล่านี้ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ คือ เราสามารถสำรวจตรวจค้นในเชิงโต้ตอบ (Interactive) ผ่านระบบคอมพิวเตอร์และซอฟต์แวร์ โดยวัตถุประสงค์ของการประกอบแบบจำลองเชิงพื้นที่โดยทั่วไปก็เพื่อให้เกิดความเข้าใจพื้นที่มากยิ่งขึ้นนั่นเอง ลักษณะของข้อมูลที่จัดเก็บภายในระบบสารสนเทศ ส่วนใหญ่สร้างขึ้นจากการจำลองสภาพปรากฏการณ์จริงของพื้นที่ และจัดการให้อยู่ในรูปข้อมูลภูมิศาสตร์อย่างเป็นระบบเพื่อให้การเรียกใช้งานสะดวก และมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะในปัจจุบันพัฒนาการทางเทคโนโลยีทำให้กระบวนการสร้างฐานข้อมูลและการจัดการสามารถกระทำได้ง่าย ทั้งยังมีคุณภาพมากยิ่งขึ้น ต่างจากในอดีตซึ่งการสร้างข้อมูลแต่ละชั้นต้องใช้ระยะเวลานาน ข้อมูลถูกจัดเก็บไว้ในรูปของกระดาษหรือแผ่นใส ทำให้สิ้นเปลืองพื้นที่ในการจัดเก็บ การเลือกใช้งานลำบาก มีปัญหาในการใช้ข้อมูลร่วมกัน เมื่อระยะเวลาผ่านไปนานๆ ข้อมูลอาจลบเลือน และสูญหายไปตามกาลเวลา

***ภาพที่** 4.32 แสดงแนวคิดที่มาของการประกอบแบบจำลองเชิงพื้นที่*

ภายในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ข้อมูลจะถูกจัดเก็บแยกเป็นชั้น นิยมเรียกว่า ชั้นแผนที่ (Map layers) ที่พร้อมใช้งาน โดยทั่วไปจัดเก็บตามกลุ่มความคล้ายคลึงกันของข้อมูล เช่น ข้อมูลด้านอุทกวิทยา (ข้อมูลเส้นทางการระบายน้ำ แหล่งน้ำ และชั้นน้ำใต้ดิน) ข้อมูลลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดิน (พื้นที่อยู่อาศัย เกษตรกรรม ป่าไม้ สิ่งปลูกสร้าง) เส้นทางการคมนาคม (ถนนสายหลัก-สายรอง) ข้อมูลดิน (ชนิดของดิน กลุ่มดิน) เป็นต้น ข้อมูลดังกล่าวอาจจัดเก็บในรูปข้อมูลเวกเตอร์ หรือแรสเตอร์ ก็ได้ (ดังที่ได้กล่าวถึงไว้ในตอนต้น) ตัวอย่างลักษณะข้อมูลจุด เส้น และอาณาบริเวณ แสดงดังภาพที่ 4.32



***ภาพที่** 4.33 แสดงลักษณะของข้อมูลจุด เส้น และอาณาบริเวณ*



***ภาพที่** 4.34 แสดงการประกอบแบบจำลองปรากฏการณ์เชิงพื้นที่เข้ามาอยู่ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์*

หัวใจสำคัญของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ คือ ข้อมูลเชิงพื้นที่จะถูกเชื่อมโยงความสัมพันธ์เข้ากับข้อมูลลักษณะประจำ เมื่อเข้าสู่กระบวนการทำงานในคอมพิวเตอร์ ช่วยให้เราตอบคำถามที่ผู้คนสนใจได้ง่ายยิ่งขึ้น ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์จึงเป็นเสมือนเครื่องมือที่ช่วยในการวินิจฉัยโลกจากมุมมองการบิน (Investigating the world on the fly)

การทำงานของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์นับแต่อดีตมาจนถึงปัจจุบัน แบ่งลักษณะการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ออกเป็น 2 รูปแบบ คือ รูปแบบทำด้วยมือ (Manual approach) หรือแผนที่ทำด้วยกระดาษ และคอมพิวเตอร์ (Computer approach)

10.1.1 รูปแบบทำด้วยมือ เป็นวิธีการที่ใช้กันในอดีต จัดทำข้อมูลด้วยการคัดลอกลายลงบนกระดาษหรือแผ่นใส การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีหลายตัวกระทำโดยการซ้อนทับแผ่นใสลงบนเครื่องฉายแผ่นใสหรือโต๊ะแสงลอกลาย ซึ่งมีข้อจำกัดในเรื่องของจำนวนแผ่นใสที่ใช้ซ้อนทับและปริมาณแสงสว่างที่ใช้ส่องผ่าน และสิ้นเปลืองพื้นที่จัดเก็บข้อมูลมาก

10.1.2 รูปแบบทำด้วยคอมพิวเตอร์ เป็นการศึกษาและวิเคราะห์โดยจัดทำฐานข้อมูลด้วยระบบคอมพิวเตอร์ ตั้งแต่กระบวนการนำเข้า จัดเก็บ แก้ไข แสดงผล การวิเคราะห์ และจัดเก็บข้อมูลเป็นเชิงเลข การวิเคราะห์ปัจจัยหลายตัวสามารถกระทำได้ง่าย มีฟังก์ชันการทำงานที่ใช้หลักเกณฑ์ทางคณิตศาสตร์ ตรรกศาสตร์ มาช่วยในการกำหนดคุณสมบัติของชั้นข้อมูลในการวิเคราะห์ การทำงานจึงใช้ระยะเวลาในการทำงานรวดเร็ว ใช้เนื้อที่ในการจัดเก็บข้อมูลน้อยกว่าวิธีการแรก นอกจากนั้นยังสามารถนำชั้นข้อมูลที่ได้จัดเก็บไว้แล้วมาแก้ไข หรือใช้งานร่วมกับชั้นข้อมูลอื่นๆ ในโอกาสอื่นสะดวก สรุปข้อดีและข้อเสียของการทำงานด้วยรูปแบบทำด้วยมือ และคอมพิวเตอร์ ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงข้อดี-ข้อเสียของการทำงานด้วยรูปแบบทำด้วยมือ และคอมพิวเตอร์

รูปแบบทำด้วยมือ	รูปแบบคอมพิวเตอร์
ข้อดี - ง่ายต่อการแจกจ่าย - ง่ายต่อการนำไปใช้ - มีความคุ้นเคยในการใช้ประโยชน์ - ง่ายต่อการเคลื่อนย้าย - ใช้เทคโนโลยีน้อย	ข้อดี - การจัดเก็บชั้นแผนที่และฐานข้อมูลขนาดใหญ่มีประสิทธิภาพ - การค้นคืนและปรับให้เป็นปัจจุบันได้เร็ว - การดูแลรักษา และการไปใช้มีราคาต่ำ - ข้อมูลกราฟิก และข้อมูลลักษณะประจำสามารถผสานรวมกันได้เป็นหนึ่งเดียว - การออกแบบกราฟิก และการจัดองค์ประกอบข้อมูลเป็นแบบโต้ตอบ - กระบวนการวิเคราะห์ทำได้ง่ายในเชิงปฏิบัติ - มาตราส่วนนำเข้าเป็นอิสระ
ข้อเสีย - กระดาษไม่มีเสถียรภาพ - มีค่าใช้จ่ายสูงในการผลิตข้อมูล และปรับข้อมูลให้เป็นปัจจุบัน - มีข้อจำกัดในการแสดงผล และใช้งาน - การจัดเก็บและค้นคืนไม่มีประสิทธิภาพ - ยากต่อการปรับข้อมูลให้เป็นปัจจุบัน เนื่องจากใช้เวลามาก และค่าใช้จ่ายสูง	ข้อเสีย - มีค่าใช้จ่ายในการได้มาซึ่งข้อมูลเบื้องต้นสูง - มีความต้องการการดูแลรักษาอย่างต่อเนื่อง - มีค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนข้อมูลเริ่มต้น และทำฐานข้อมูลสูง - บุคลากรที่ชำนาญการหายาก - มีความยากในการถ่ายโอนข้อมูลเนื่องจากมาตรฐานที่ไม่ตรงกันระหว่างหน่วยงาน - มีต้นทุนเพิ่มต่อหน่วยสูงสำหรับการประยุกต์ในบางเรื่อง

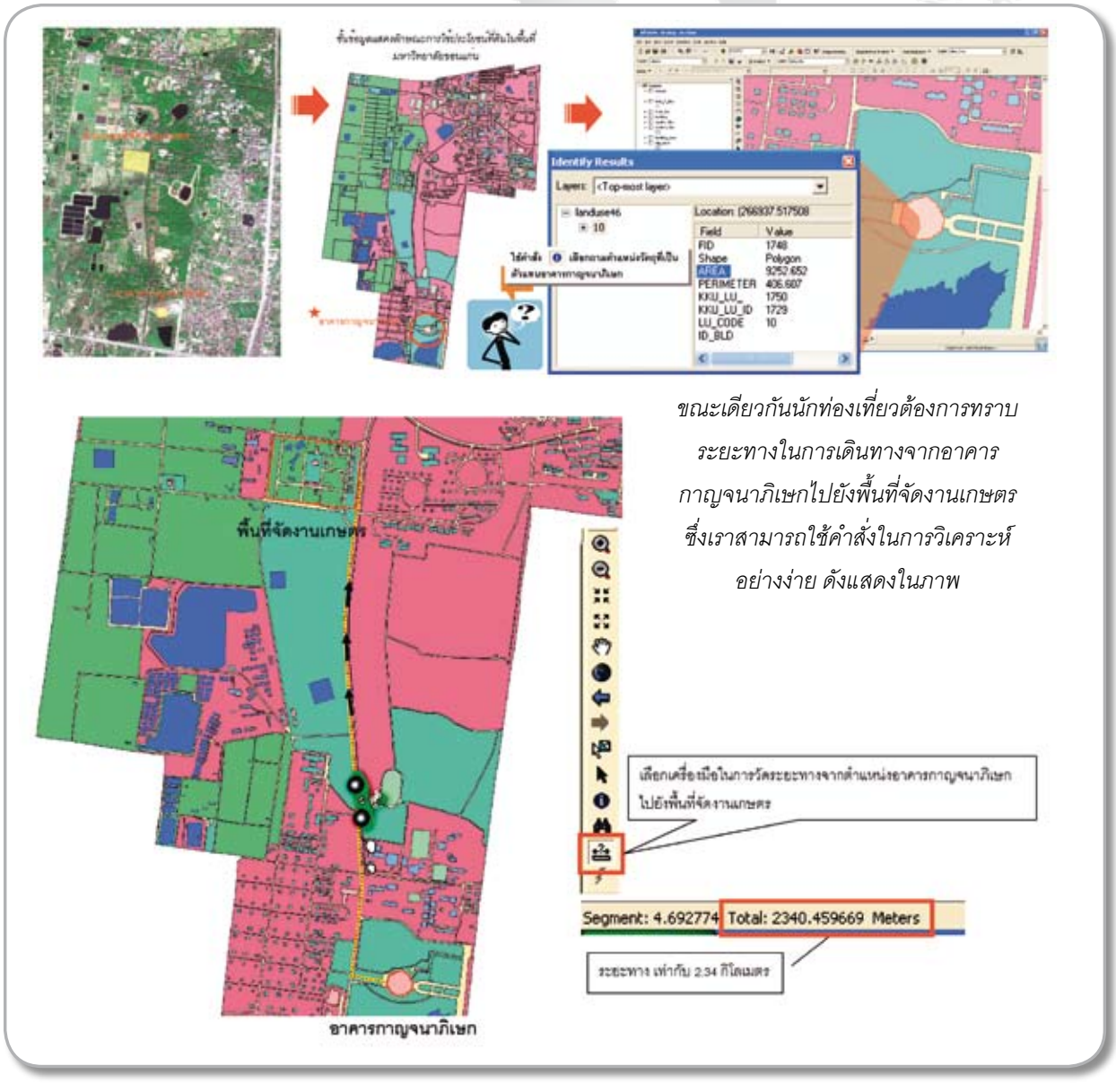
การทำงานด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์แตกต่างจากการทำแผนที่ตรงสมรรถนะในการแปลงรูปข้อมูลทางพื้นที่ให้สามารถตอบคำถามที่เราสงสัยได้ ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์สามารถปฏิบัติการทางทอพอโลยี และข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับพื้นที่ทางภูมิศาสตร์ ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์จึงเป็นการรวมทั้งสมรรถนะในการทำแผนที่ และการวิเคราะห์เข้าไว้ด้วยกัน

10.2 ฟังก์ชันของการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่

ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาตั้งแต่ระดับง่ายไปถึงยาก ซึ่งโดยทั่วไปเป็นการแสดงผลระหว่างความสัมพันธ์ของทอพอโลยีกับข้อมูลลักษณะประจำ โดยไม่ต้องผ่านขั้นตอนการทำงานที่ยุ่งยาก เช่น การระบุลักษณะประจำของกราฟิก การวัดระยะทาง การคำนวณพื้นที่ เป็นต้น หรือแม้กระทั่งการวิเคราะห์ที่มีความ

ซับซ้อนมากขึ้น การค้นหาผลการซ้อนทับปัจจัย การวิเคราะห์เส้นทางเข้าถึงที่ใกล้ที่สุด การประเมินค่าใช้จ่ายในการเดินทาง การวิเคราะห์พื้นที่เหมาะสมในการสร้างสิ่งปลูกสร้าง หรือการพยากรณ์แนวโน้มความเปลี่ยนแปลง เป็นต้น

ต้องการทราบขนาดพื้นที่ของอาคารกาญจนาภิเษก มหาวิทยาลัยขอนแก่น
โดยมีชั้นข้อมูลที่แสดงลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินในมหาวิทยาลัยขอนแก่นอยู่แล้วสามารถสอบถามข้อมูลได้อย่างง่ายดังนี้



ขณะเดียวกันนักท่องเที่ยวต้องการทราบระยะทางในการเดินทางจากอาคารกาญจนาภิเษกไปยังพื้นที่จัดงานเกษตร ซึ่งเราสามารถใช้คำสั่งในการวิเคราะห์อย่างง่าย ดังแสดงในภาพ

***ภาพที่** 4.35 แสดงลักษณะการวิเคราะห์ข้อมูลอย่างง่ายด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์*

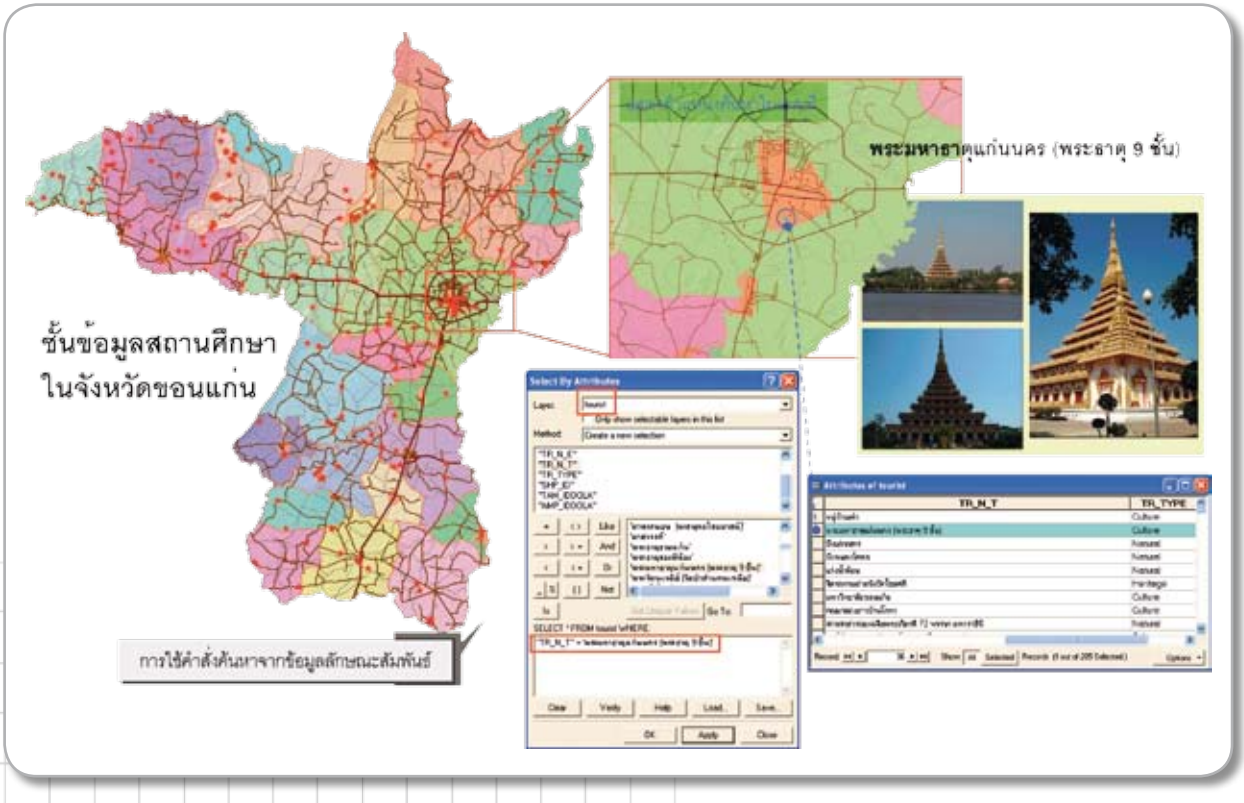
รูปแบบการทำงานข้างต้น ผู้ใช้งานจะเป็นฝ่ายตั้งคำถามและเลือกใช้ความสามารถในการทำงานของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ในการเข้าถึงกระทั่งตอบคำถามที่ได้ตั้งไว้ ทั้งนี้ฟังก์ชันการทำงานหลักของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ สามารถแบ่งออกตามลักษณะการทำงานได้ 4 กลุ่มหลัก คือ การค้นข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial search) การซ้อนทับเชิงพื้นที่ (Spatial overlay) การสร้างแนวกันชน (Buffer operation) และการประมาณค่าเชิงพื้นที่ (Spatial interpretation) โดยในแต่ละฟังก์ชัน สามารถจำแนกลักษณะการทำงานที่มีความคล้ายคลึงกันออกไปได้อีกมากมาย ดังรายละเอียดต่อไปนี้

10.2.1 การค้นข้อมูลเชิงพื้นที่

การค้นข้อมูลเชิงพื้นที่ถือเป็นพื้นฐานของการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ ซึ่งนักวิเคราะห์จะต้องการทราบข้อมูลต่างๆ เพื่อใช้ในการประกอบการตัดสินใจ ไม่ว่าจะเป็นการสอบถามเพื่อทราบรายละเอียดเกี่ยวกับตำแหน่งพิกัดทางภูมิศาสตร์ การสอบถามโดยการตั้งเงื่อนไข (Condition) แนวโน้มการเปลี่ยนแปลง (Trends) รูปแบบการเปลี่ยนแปลง (Pattern) การประกอบแบบจำลอง (Modeling) ทั้งนี้การค้นข้อมูลเชิงพื้นที่ แบ่งออกเป็นการค้นหาจากข้อมูลลักษณะประจำ การค้นหาจากข้อมูลเชิงพื้นที่โดยตรง และการวิเคราะห์เชิงบูรณาการข้อมูลเชิงพื้นที่ร่วมกับข้อมูลลักษณะประจำ (Integrated analysis of the spatial and non-spatial data)

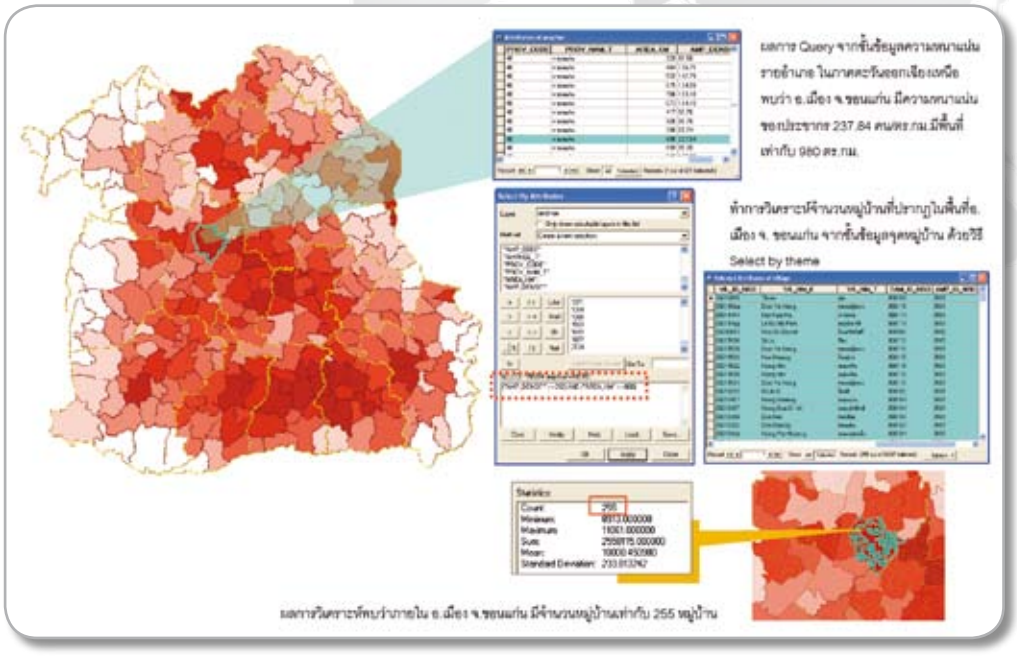
1) การค้นหาจากข้อมูลลักษณะประจำ

เป็นการค้นหาโดยตั้งคำถามให้ระบบช่วยสอบถาม (Query) ซึ่งอาจเป็นคำถามอย่างง่าย โดยระบุสิ่งที่ต้องการถามจากลักษณะที่ผู้ศึกษาทราบ เช่น ต้องการทราบสถานที่ตั้งของมหาวิทยาลัยขอนแก่นจากชั้นข้อมูลจุดที่ตั้งสถานศึกษาในจังหวัดขอนแก่น เป็นต้น แสดงลักษณะการตั้งคำถามอย่างง่ายดังภาพที่ 4.36 ผลที่ได้จะถูกแสดงให้เด่นชัดในกราฟิกหรือแผนที่ ทำให้ผู้สอบถามสามารถทราบข้อมูลที่ต้องการค้นคืน รวมถึงตำแหน่งที่ตั้งตามระบบพิกัด การค้นหาอาจเพียงต้องการทราบข้อมูลรายละเอียดของสิ่งที่ถาม หรือเพื่อแก้ไข ปรับข้อมูลให้เป็นปัจจุบัน แต่อย่างไรก็ตามมีบางครั้งที่ผู้ศึกษาไม่ทราบค่าของข้อมูลที่ต้องการโดยตรง หรือภายในชั้นข้อมูลมิได้มีค่าที่แสดงลักษณะที่ต้องการโดยตรง ผู้ศึกษาจำเป็นต้องสร้างคำสืบค้นที่ทำให้เข้าถึงสิ่งที่ต้องการโดยทางอ้อม โดยกำหนดจากคุณลักษณะอื่นๆ เท่าที่ทราบ ลักษณะของคำถามดังกล่าวอาจใช้สมการทางคณิตศาสตร์ หรือตรรกศาสตร์แบบบูล (Boolean logic) เพื่อเป็นตัวช่วยระบุสิ่งที่ต้องการให้ตรงเป้าหมาย แสดงตัวอย่างการสืบค้นดังภาพที่ 4.37 ซึ่งต้องการหาอำเภอที่มีความหนาแน่นของประชากรมากกว่า 200 คน/ตารางกิโลเมตร และมีพื้นที่มากกว่า 900 ตารางกิโลเมตร และจำนวนหมู่บ้านในอำเภอดังกล่าว



ภาพที่ 4.36 *แสดงการค้นหาจากข้อมูลลักษณะประจำ*

ต้องการทราบอำเภอในภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่มีความหนาแน่นของประชากรในพื้นที่ มากกว่า 200 คน/ตารางกิโลเมตร และมีขนาดพื้นที่อำเภอมากกว่า 900 ตารางกิโลเมตร โดยต้องการทราบจำนวนหมู่บ้านทั้งหมดในอำเภอดังกล่าวด้วย

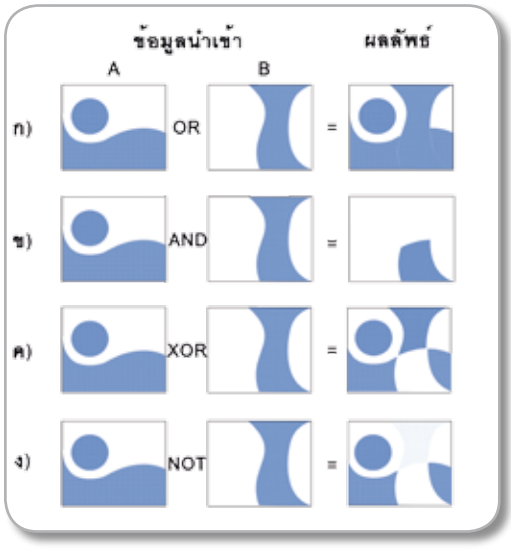


***ภาพที่** 4.37 แสดงลักษณะการค้นหาข้อมูลที่ซับซ้อนมากขึ้น*

การค้นหาและวิเคราะห์ข้อมูลในระบบสารสนเทศ นิยมใช้ภาษาสอบถามเชิงโครงสร้าง (Standard Query Language : SQL) ซึ่งประกอบด้วย ตัวดำเนินการคำนวณ (Arithmetic operator) ตัวดำเนินการสัมพันธ์ (Relational operator) และตัวดำเนินการตรรกะแบบบูล (Boolean logical operator) โดยลักษณะของตัวดำเนินการแต่ละประเภทแสดงดังต่อไปนี้

ตัวดำเนินการ	สัญลักษณ์ที่ใช้
คณิตศาสตร์	บวก (+) ลบ (-) คูณ (×) หาร (/)
สัมพันธ์	= ≥ ≤ > <
ตรรกะแบบบูล	OR AND XOR NOT

ตัวดำเนินการแบบบูล ได้แก่ AND OR NOT และ XOR ซึ่งเป็นตัวดำเนินการที่ยอมรับกันอย่างกว้างขวาง เพื่อแสดงเงื่อนไขเชิงตรรกะ เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ตามเป้าหมาย (ภาพที่ 4.38) ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลนำเข้าและข้อมูลผลลัพธ์



***ภาพที่** 4.38 แสดงความหมายของตัวดำเนินการ Boolean*

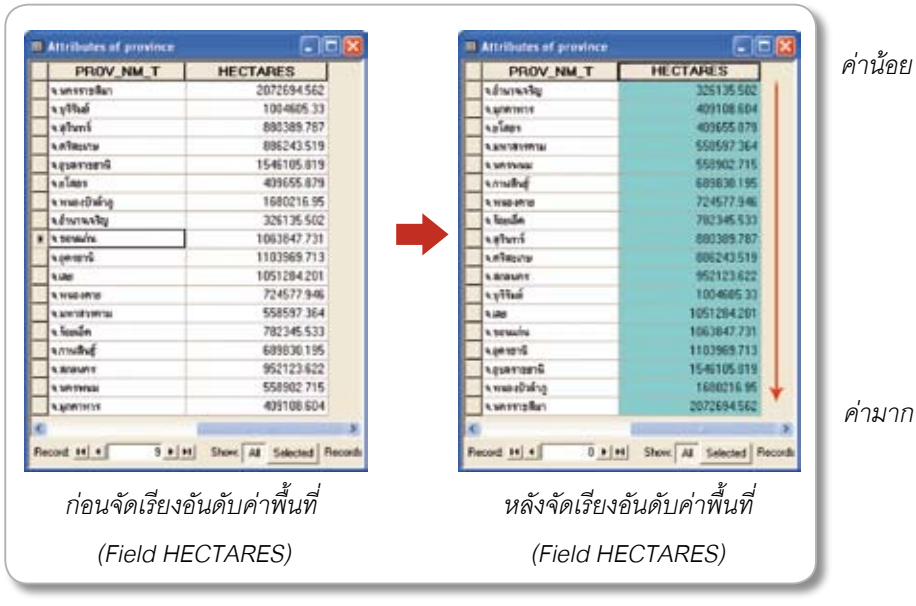
OR หมายถึง การยูเนียน (Union) ข้อมูลนำเข้า ดังภาพที่ 4.38ก

AND หมายถึง การอินเตอร์เซกชัน (Intersection) ของข้อมูลนำเข้า ดังภาพที่ 4.38ข

XOR หมายถึง ผลลัพธ์อันเกิดจากข้อมูลนำเข้า ในส่วนที่ไม่เกิดการอินเตอร์เซกชัน ดังภาพที่ 4.38ค

NOT หมายถึง ผลลัพธ์อันเกิดจากส่วนใดส่วนหนึ่งของข้อมูลนำเข้าที่ไม่ตัดกัน ซึ่งจะขึ้นกับการกำหนดลำดับ ดังภาพที่ 4.38ง

นอกจากการใช้คำสั่งสืบค้นแล้วในกรณีที่ไม่สามารถระบุลักษณะของข้อมูลที่ต้องการสืบค้นได้อาจจำเป็นต้องใช้เทคนิคบางประการเข้าช่วยในการค้นหา ดังเช่น ตัวอย่างในภาพที่ 4.39 ซึ่งแสดงการจัดเรียงลำดับ (Sorting) พื้นที่จังหวัดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือจากน้อยไปมาก การเรียงเลขใหม่ (Renumbering) หรือการจัดกลุ่มย่อยใหม่ (Subseting) โดยการเลือกใช้วิธีการใดก็ขึ้นกับความเหมาะสมและความต้องการ เนื่องจากค่าในเขตข้อมูลของข้อมูลลักษณะประจำจะมีรูปแบบที่แตกต่างกันออกไป ทำให้ไม่สามารถเลือกใช้คำถามที่เหมือนกันในการเข้าถึงได้ โดยลักษณะของข้อมูลสามารถแบ่งออกเป็น 4 ระดับ (Four levels of measurement) อ้างอิงตาม Steven (1946)



ภาพที่ 4.39 *แสดงเทคนิคช่วยในการค้นหาการจัดเรียงอันดับ*

ตารางที่ 4.2 แสดงลักษณะของข้อมูล

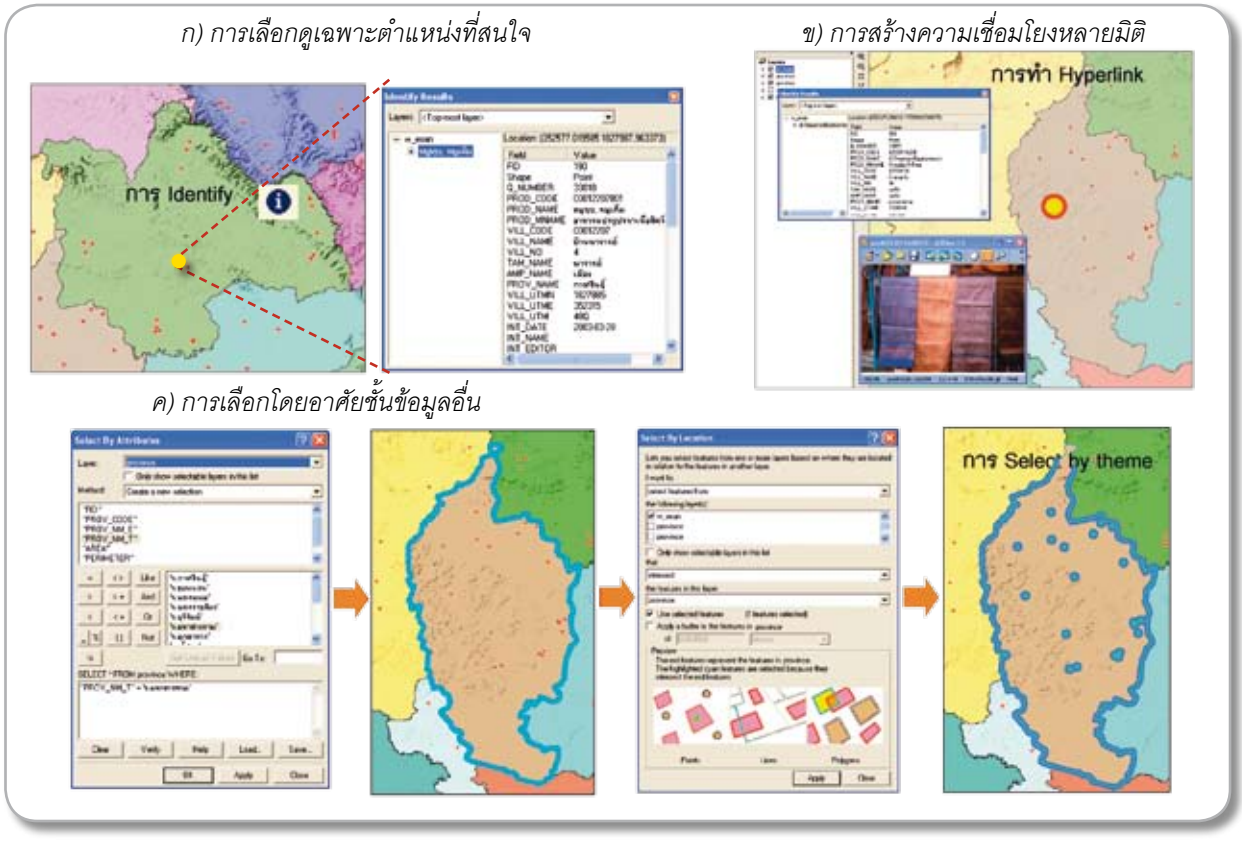
มาตรอันดับ	ลักษณะ	ตัวอย่าง
นามมาตรา (Nominal)	เป็นข้อมูลเชิงคุณลักษณะ (Qualitative) ไม่สามารถเรียงลำดับ หรือใช้ตัวดำเนินการคำนวณในการทำงานได้	ลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดิน เช่น น้ำ ที่อยู่อาศัย ทุ่งหญ้า พื้นที่ป่า ฯลฯ
มาตรจัดอันดับ (Ordinal)	เป็นข้อมูลเชิงคุณลักษณะที่เรียงลำดับได้ แต่ไม่สามารถใช้ตัวดำเนินการคำนวณในการทำงานได้	ผลการวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยง แบ่งเป็น เสี่ยงสูงมาก เสี่ยงสูง เสี่ยงปานกลาง และเสี่ยงต่ำ เป็นต้น
อันตรภาค (Interval)	เป็นข้อมูลเชิงปริมาณ (Quantities) สามารถเปรียบเทียบความแตกต่างของ มาตราส่วน (Scale) ขนาด (Size) ได้ อย่างไรก็ตามสัดส่วนของของค่า 2 ค่าจะไม่มีความหมาย (Meaningful notion) กล่าวได้ว่าข้อมูลในอันดับนี้ไม่มีค่าศูนย์ที่แท้จริง	อุณหภูมิ เช่น อุณหภูมิจังหวัดขอนแก่นเท่ากับ 40˚C อุณหภูมิจังหวัดเลยเท่ากับ 20˚C แต่เราไม่สามารถบอกได้ว่าอุณหภูมิจังหวัดขอนแก่นสูงกว่าจังหวัดเลยเป็น 2 เท่า

มาตรอัตราส่วน (Ratio)	เป็นข้อมูลเชิงปริมาณที่สามารถเปรียบเทียบความแตกต่างของมาตราส่วน ขนาด และขนาดของความรุนแรงได้ นอกจากนั้นยังสามารถเปรียบเทียบสัดส่วนของข้อมูลได้ (Ratio measurement) สามารถใช้ตัวดำเนินการทางคณิตศาสตร์ในการวิเคราะห์ได้	การเปรียบเทียบขนาดของพื้นที่ระหว่างอำเภอหรือจังหวัด

ดัดแปลงจาก Steven (1946)

2) การค้นหาจากข้อมูลเชิงพื้นที่

เป็นการค้นหาข้อมูลโดยเลือกจากส่วนที่เป็นข้อมูลกราฟิก เพื่อแสดงข้อมูลรายละเอียดของสิ่งที่ต้องการทราบ วิธีการค้นหาลักษณะนี้มีหลายรูปแบบ เช่น การเลือกดูเฉพาะตำแหน่งที่สนใจ การเลือกโดยอาศัยชั้นข้อมูลอื่น (Select by theme/ Select by location) การสร้างความเชื่อมโยงหลายมิติ (Hyperlink) เป็นต้น แสดงดังภาพที่ 4.40



ภาพที่ 4.40 *แสดงการค้นหาข้อมูลเชิงพื้นที่ลักษณะต่างๆ*

ข้อสังเกต ความแตกต่างของการเลือกใช้วิธี ค้นหาด้วย *Select by theme* กับ *Select by attribute* คือ

Select by location **ใช้เมื่อ**: ทราบตำแหน่ง> ไม่ทราบข้อมูล

Select by attribute **ใช้เมื่อ**: ทราบข้อมูลชื่อหรือรหัส > ไม่ทราบตำแหน่ง

ในกรณีที่ต้องการทราบลักษณะประจำของหมู่บ้าน ให้เลือกตำแหน่งหมู่บ้านแล้วแสดงข้อมูลลักษณะประจำของหมู่บ้าน (ดังภาพที่ 4.40ก)

ในกรณีที่ต้องการทราบลักษณะประจำอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องให้เลือกตำแหน่งหมู่บ้านแล้วแสดงลักษณะประจำของหมู่บ้าน แล้วเชื่อมโยงไปยังข้อมูลอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับหมู่บ้านนั้นซึ่งเป็นการเชื่อมโยงข้อมูลหลายมิติ (ดังภาพที่ 4.40ข)

ในกรณีที่ต้องการทราบหมู่บ้านที่ไม่มีขอบเขตจังหวัด ให้เลือกพื้นที่จังหวัดแล้วแสดงขอบเขตจังหวัดที่ต้องการ แล้วนำขอบเขตของจังหวัดนั้นมาเลือกหมู่บ้านที่อยู่ในจังหวัดนั้น (ดังภาพที่ 4.40ค)

3) การค้นหาจากข้อมูลเชิงพื้นที่ร่วมกับข้อมูลลักษณะประจำ

เป็นการใช้งานที่ใกล้เคียงกับลักษณะความเป็นจริง ที่บางครั้งอาศัยการสอบถามจากข้อมูลเชิงพื้นที่หรือลักษณะประจำอย่างเดียวยังไม่เพียงพอ จึงต้องบูรณาการระหว่างข้อมูลเชิงพื้นที่และข้อมูลลักษณะประจำร่วมกัน วิธีการดังกล่าวจะมีความยืดหยุ่นในการเข้าถึงข้อมูลที่ต้องการได้ดียิ่งขึ้น

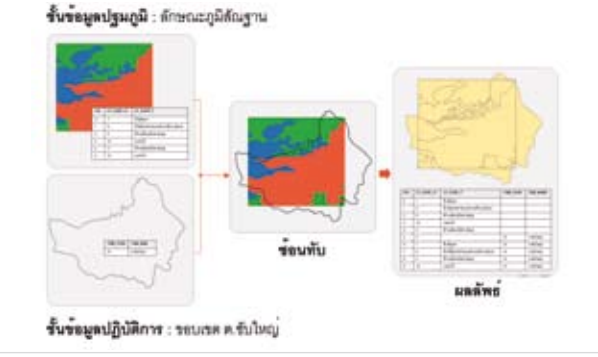
10.2.2 การซ้อนทับเชิงพื้นที่

การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ส่วนใหญ่ ผู้ศึกษาจำเป็นต้องวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยมากกว่า 1 ปัจจัย วิธีการที่นิยมใช้ตอบโจทย์ปัญหาเชิงพื้นที่ลักษณะดังกล่าว คือ “การซ้อนทับชั้นข้อมูล” ซึ่งเป็นการกระทำระหว่างชั้นข้อมูลมากกว่าหรือเท่ากับ 2 ชั้นข้อมูลขึ้นไป ตามเงื่อนไขที่ได้จากการวิเคราะห์ซึ่งอาจจะเป็นแบบคณิตศาสตร์หรือตรรกศาสตร์ เพื่อได้มาซึ่งผลลัพธ์ที่ต้องการบนพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่ง แต่ละชั้นข้อมูลจำเป็นต้องมีระบบพิกัดตรงกัน ผลจากการซ้อนทับจะได้ชั้นข้อมูลใหม่ที่สามารถตอบโจทย์ที่ผู้ศึกษาต้องการ

การซ้อนทับชั้นข้อมูลสามารถจำแนกเป็นการซ้อนทับที่กระทำกับข้อมูลประเภทเวกเตอร์ ประกอบด้วย การซ้อนทับแบบยูเนียน แบบอินเตอร์เซกชัน แบบเอกลักษณ์ (Identity) แบบผนวก (Append) การซ้อนทับเพื่อปรับให้เป็นปัจจุบัน (Update) การตัดข้อมูล (Clip) และการลบข้อมูล (Erase) ในขณะที่ข้อมูลประเภทแรสเตอร์ก็สามารถดำเนินการซ้อนทับได้เช่นเดียวกัน โดยมีลักษณะการดำเนินการที่แตกต่างกัน แต่ให้ผลการซ้อนทับที่มีความหมายลักษณะเดียวกัน เช่น การซ้อนทับที่มีน้ำหนักแต่ละชั้นข้อมูลต่างกัน (Weighted overlay) และผลรวมของน้ำหนัก (Weighted sum) เป็นต้น ในที่นี้จึงได้แสดงรายละเอียดการซ้อนทับแยกตามชนิดของข้อมูลเวกเตอร์ และแรสเตอร์ตามลำดับ

1) การซ้อนทับชั้นข้อมูลประเภทเวกเตอร์ (Vector overlay) องค์ประกอบที่สำคัญในการซ้อนทับชั้นข้อมูลเวกเตอร์ ประกอบด้วยชั้นข้อมูลปฐมภูมิ (Primary layer) ชั้นข้อมูลที่ใช้ปฏิบัติการ (Operation layer) และผลที่ได้จากการซ้อนทับ (Result layer) สำหรับลักษณะของการซ้อนทับ ชั้นข้อมูลนำเข้าจะถูกแบ่งออกเป็นส่วนตามจุดที่ตัดกับชั้นข้อมูลที่ใช้ซ้อนทับ เกิดเป็นพื้นที่ใหม่ (New area) และแสดงในชั้นข้อมูลผลลัพธ์ อย่างไรก็ตามสามารถซ้อนทับชั้นข้อมูลที่มีลักษณะเป็น เส้น และจุด ได้เช่นเดียวกัน หากข้อมูลนำเข้ามีลักษณะเป็นเส้น ตำแหน่งของเส้นที่ตัดกับชั้นข้อมูลซ้อนทับจะกลายเป็นชิ้นส่วนของเส้นใหม่ที่ถูกแสดงไว้ในชั้นข้อมูลผลลัพธ์ เช่นเดียวกับชั้นข้อมูลนำเข้าที่มีลักษณะเป็นจุด ตำแหน่งของจุดที่ปรากฏอยู่ในชั้นข้อมูลที่ใช้ซ้อนทับจะถูกแสดงเป็นจุดที่มีความหมายใหม่ในชั้นข้อมูลผลลัพธ์ (ตารางที่ 4.3) ผลจากการซ้อนทับ ข้อมูลลักษณะประจำที่สร้างขึ้นมาใหม่จะแสดงค่าทั้งส่วนที่เป็นค่าของชั้นข้อมูลนำเข้าและชั้นข้อมูลซ้อนทับไว้คู่กัน

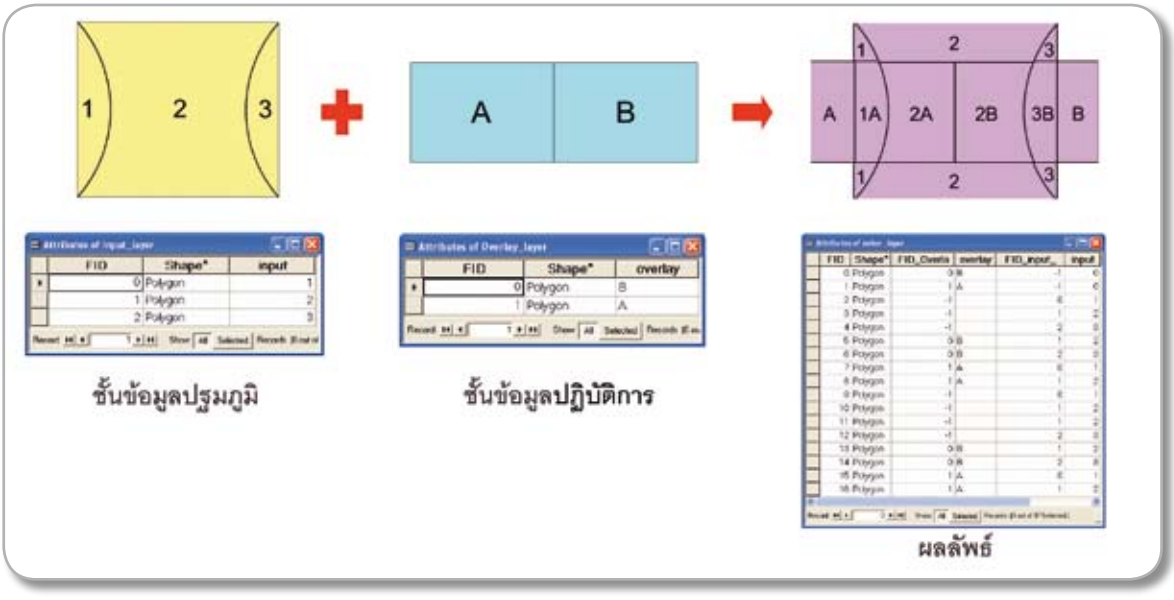
ตารางที่ 4.3 แสดงลักษณะการซ้อนทับชั้นข้อมูล ประเภทจุด เส้น และอาณาบริเวณ

ลักษณะการซ้อนทับ	รายละเอียด	ตัวอย่าง
จุดในอาณาบริเวณ (Point-in-Polygon)	ชั้นข้อมูลนำเข้า = จุด ชั้นข้อมูลซ้อนทับ = อาณาบริเวณ ผลที่ได้จากการซ้อนทับ คือ กลุ่มของจุด และข้อมูลลักษณะประจำของพื้นที่ซึ่งมีจุดปรากฏ	
เส้นในอาณาบริเวณ (Line-in-Polygon)	ชั้นข้อมูลนำเข้า = เส้น ชั้นข้อมูลซ้อนทับ = อาณาบริเวณ ผลที่ได้คือชั้นข้อมูลส่วนของเส้นที่ไปปรากฏอยู่ในพื้นที่ ร่วมกับข้อมูลลักษณะสัมพันธ์ของอาณาบริเวณที่มีเส้นปรากฏอยู่	
อาณาบริเวณบนอาณาบริเวณ (Polygon-on-Polygon)	ชั้นข้อมูลนำเข้า = อาณาบริเวณ ชั้นข้อมูลซ้อนทับ = อาณาบริเวณ เป็นกระบวนการรวมอาณาบริเวณที่ซ้อนทับกันระหว่างชั้นข้อมูลนำเข้า เพื่อสร้างชั้นข้อมูลอาณาบริเวณใหม่พร้อมกับข้อมูลลักษณะประจำซึ่งผสานรวมระหว่างชั้นข้อมูลนำเข้าทั้งสองชั้นข้อมูล	

การซ้อนทับข้อมูลประเภทเวกเตอร์มีด้วยกันหลายวิธีดังที่ได้กล่าวถึงบ้างแล้วในขั้นต้น แต่ละวิธีถูกสร้างเพื่อให้ผลการวิเคราะห์ที่แตกต่างกันออกไป ดังนั้นจึงได้อธิบายรายละเอียดของแต่ละวิธีพอสังเขปดังต่อไปนี้

- การซ้อนทับแบบยูเนียน

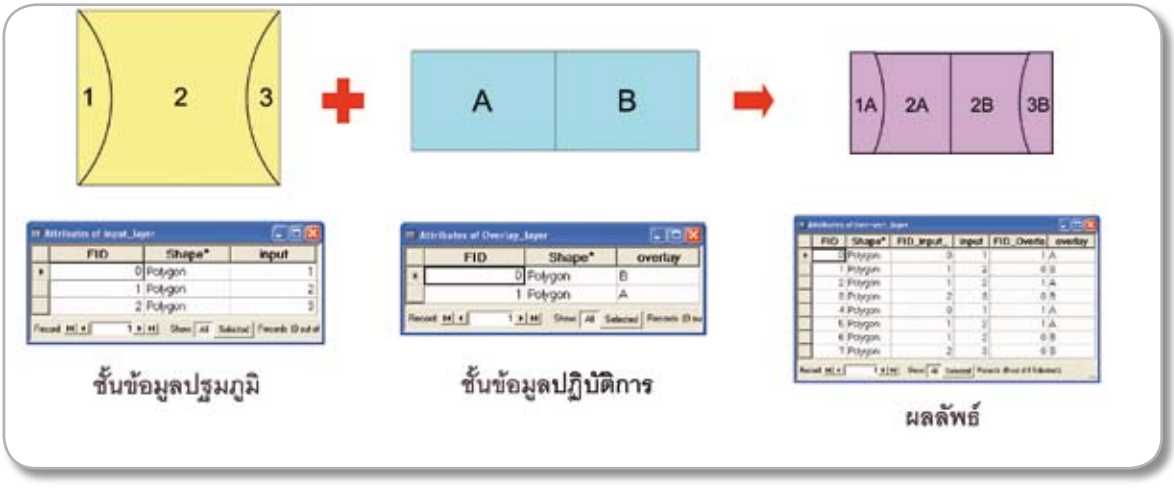
การซ้อนทับด้วยวิธียูเนียนเป็นการกระทำระหว่างชั้นข้อมูลนำเข้าสองชั้นข้อมูล ผลลัพธ์ที่ได้จะรวมคุณลักษณะทั้งหมดของชั้นข้อมูลนำเข้าทั้งสองไว้ด้วยกันทั้งในส่วนที่เป็นกราฟิก และข้อมูลลักษณะประจำบริเวณที่เกิดจากการตัดกันของข้อมูลจะถูกแสดงเป็นพื้นที่ใหม่พร้อมๆ กับการสร้างค่ารหัสตัวแทนขึ้นใหม่ การซ้อนทับแบบยูเนียนนี้จะใช้กับชั้นข้อมูลที่เป็นอาณาบริเวณเท่านั้น ทั้งนี้การเลือกชั้นข้อมูลนำเข้าหรือชั้นข้อมูล ที่ใช้ซ้อนทับสามารถสลับกันได้โดยไม่มีผลต่อผลลัพธ์ แสดงตัวอย่างดังภาพที่ 4.41



ภาพที่ 4.41 *แสดงแนวคิดการซ้อนทับแบบยูเนียน*

- การซ้อนทับแบบอินเตอร์เซกชัน

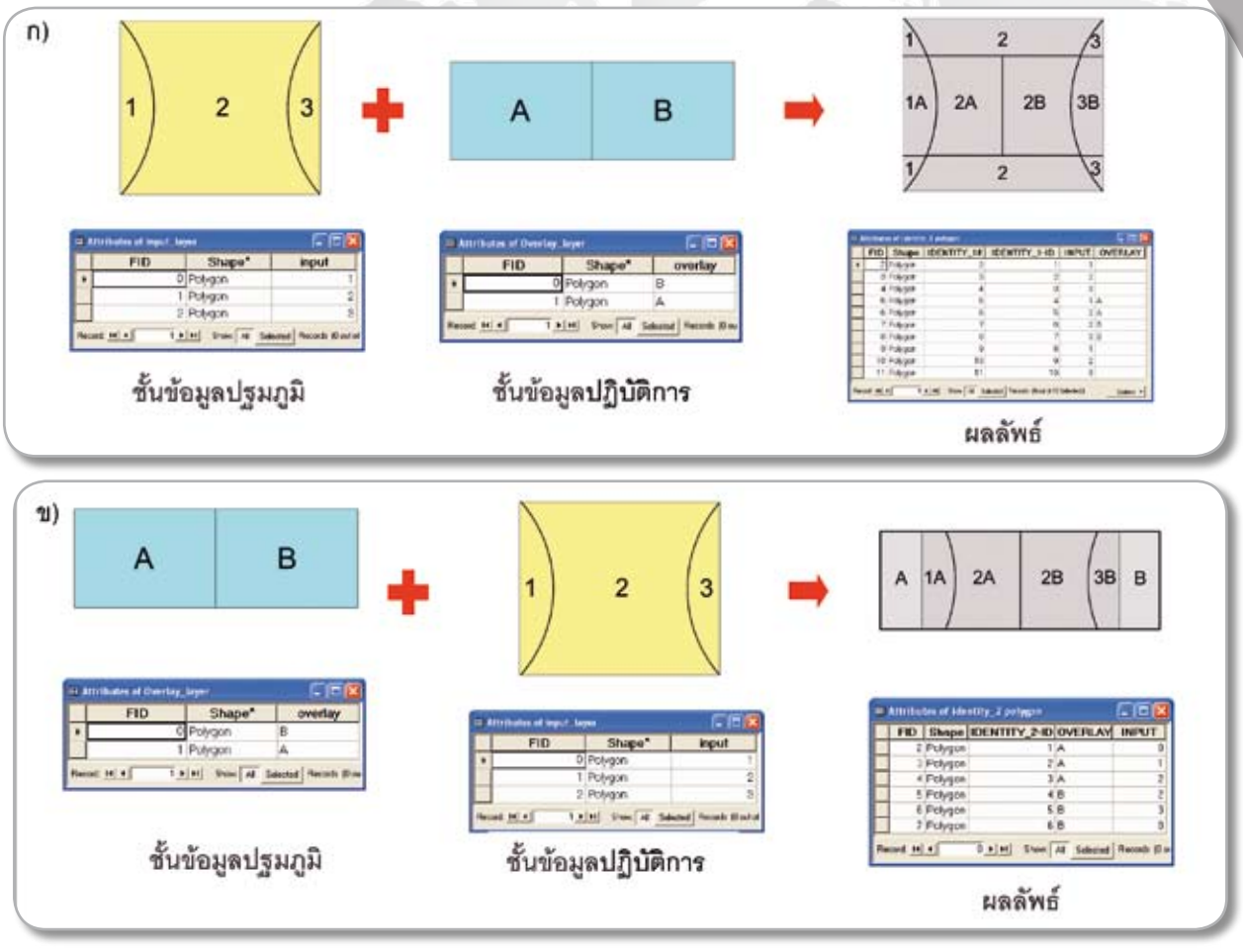
เป็นการซ้อนทับระหว่างชั้นข้อมูลสองชั้นข้อมูล ผลที่ได้จะแสดงเพียงรายละเอียดของส่วนที่ตัดกัน (ซ้อนทับ) ระหว่างชั้นข้อมูลนำเข้า และชั้นข้อมูลซ้อนทับ การเลือกชั้นข้อมูลนำเข้าหรือชั้นข้อมูลที่ใช้ซ้อนทับสามารถสลับกันได้โดยไม่มีผลต่อผลลัพธ์ แสดงตัวอย่างดังภาพที่ 4.42



ภาพที่ 4.42 *แสดงแนวคิดการซ้อนทับแบบอินเตอร์เซกชัน*

- การซ้อนทับแบบเอกลักษณ์

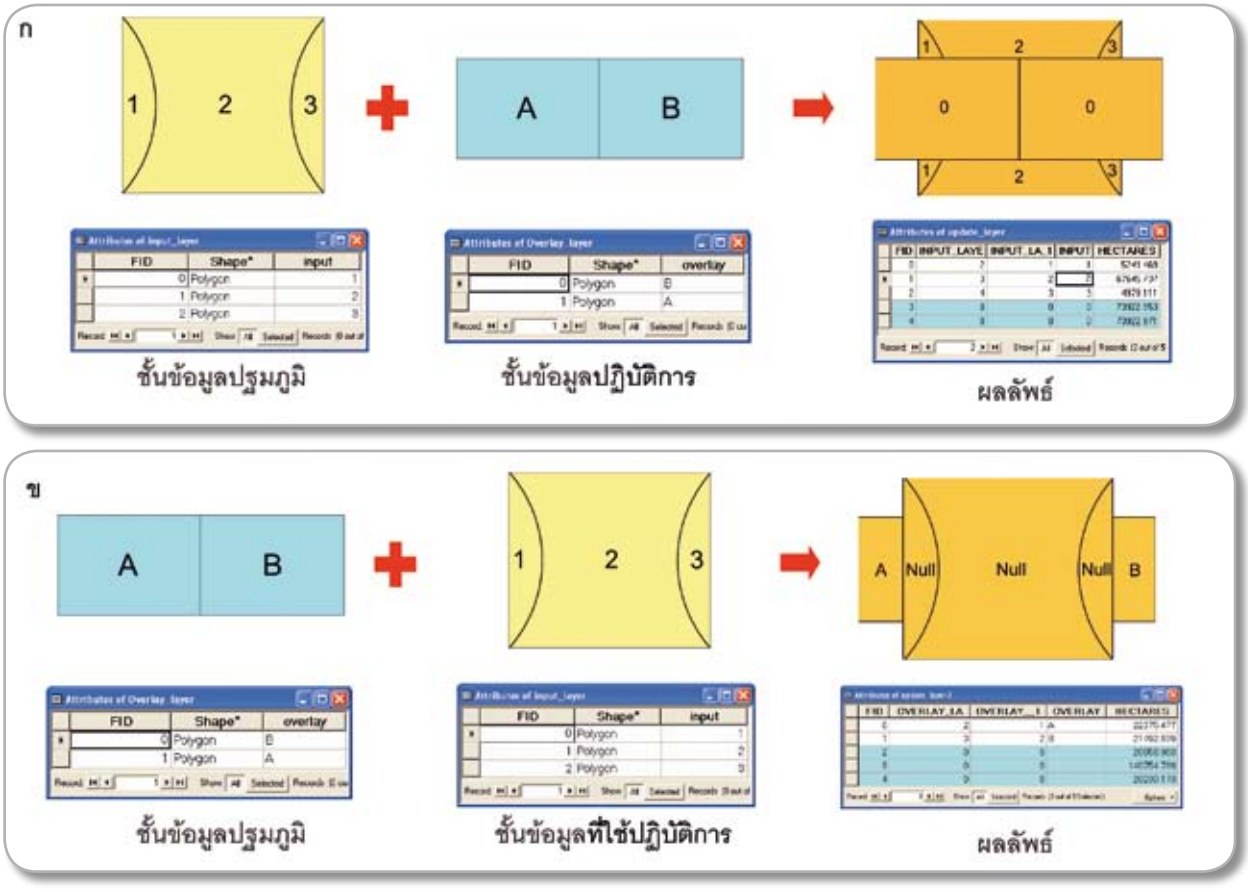
เป็นฟังก์ชันการซ้อนทับที่ยังคงรักษาคุณลักษณะของชั้นข้อมูลนำเข้าไว้ แต่จะดึงเอาเอกลักษณ์ของชั้นข้อมูลที่นำมาซ้อนทับในบริเวณที่ทับกับชั้นข้อมูลนำเข้ามาแสดงในชั้นข้อมูลผลลัพธ์ด้วย ดังนั้นการเลือกลำดับข้อมูลนำเข้าและชั้นข้อมูลที่นำมาซ้อนทับจึงมีความสำคัญ เนื่องจากจะให้ผลลัพธ์ที่แตกต่างกัน แสดงลักษณะการซ้อนทับดังภาพที่ 4.43 จะเห็นได้ว่าในภาพที่ 4.43ก จะยังคงรักษาชั้นข้อมูลปฐมภูมิทั้งหมดไว้ คือยังคงมีพื้นที่ (1 2 และ 3) เนื่องจากชั้นข้อมูลปฐมภูมิมีขนาดใหญ่กว่าชั้นข้อมูลปฏิบัติการ ส่วนในภาพที่ 4.43ข ยังคงพื้นที่ข้อมูลชั้นปฐมภูมิเช่นกัน แต่ชั้นข้อมูลปฏิบัติการในส่วนที่ล้ำออกไปจากชั้นข้อมูลปฐมภูมิจะถูกลบออก



***ภาพที่** 4.43 แสดงแนวคิดของการซ้อนทับแบบเอกลักษณ์*

- การซ้อนทับเพื่อปรับให้เป็นปัจจุบัน

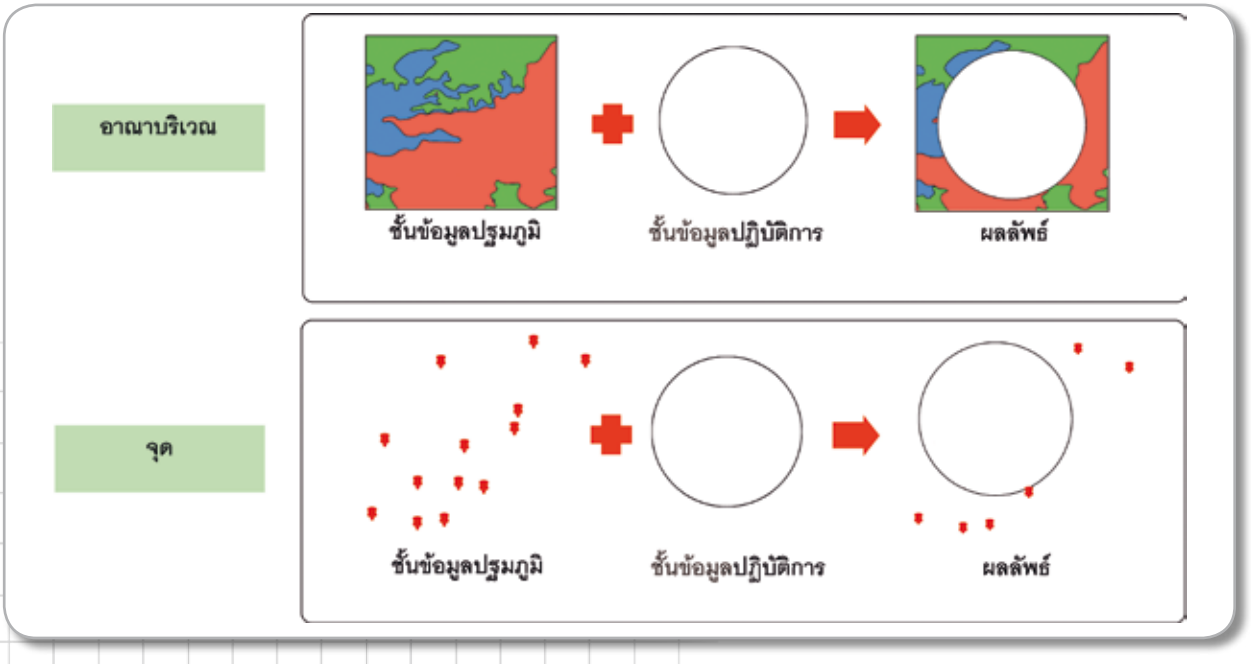
เป็นการปรับแก้ข้อมูลพื้นที่บางส่วนโดยการแทนที่พื้นที่ในชั้นข้อมูลปฐมภูมิด้วยชั้นข้อมูลปฏิบัติการ ชั้นข้อมูลผลลัพธ์ที่ได้จะมีเฉพาะเขตค่าข้อมูลของชั้นข้อมูลปฐมภูมิปรากฏอยู่เท่านั้น ซึ่งในบริเวณพื้นที่ที่เป็นชั้นข้อมูลปฏิบัติการจะถูกแทนที่ด้วยค่าว่าง (Blank) สำหรับข้อมูลอักษร (String) หรือค่า 0 สำหรับข้อมูลเชิงตัวเลข (Numeric) พร้อมคำนวณพื้นที่และเส้นรอบรูปใหม่เพื่อปรับปรุงฐานข้อมูลแผนที่ผลลัพธ์ นิยมใช้การซ้อนทับลักษณะนี้เพื่อปรับปรุงแผนที่ให้ทันสมัยได้มีการจัดเก็บเพิ่มเติมเฉพาะส่วน โดยลบข้อมูลเก่าออกแล้วแทนที่ด้วยข้อมูลใหม่ ดังภาพที่ 4.44ก แสดงการแทนที่ชั้นข้อมูลปฐมภูมิซึ่งเป็นค่าตัวเลขด้วยชั้นข้อมูลปฏิบัติการ ผลที่ได้จะแสดงรูปร่างพื้นที่ใหม่โดยส่วนที่เป็นบริเวณชั้นข้อมูลปฏิบัติการแสดงค่าเป็น 0 ส่วนภาพที่ 4.44ข แสดงการแทนที่ชั้นข้อมูลปฐมภูมิซึ่งเป็นค่าตัวอักษรด้วยชั้นข้อมูลปฏิบัติการ ผลที่ได้จะแสดงรูปร่างพื้นที่ใหม่โดยส่วนที่เป็นบริเวณชั้นข้อมูลปฏิบัติการแสดงค่าเป็นค่าว่าง



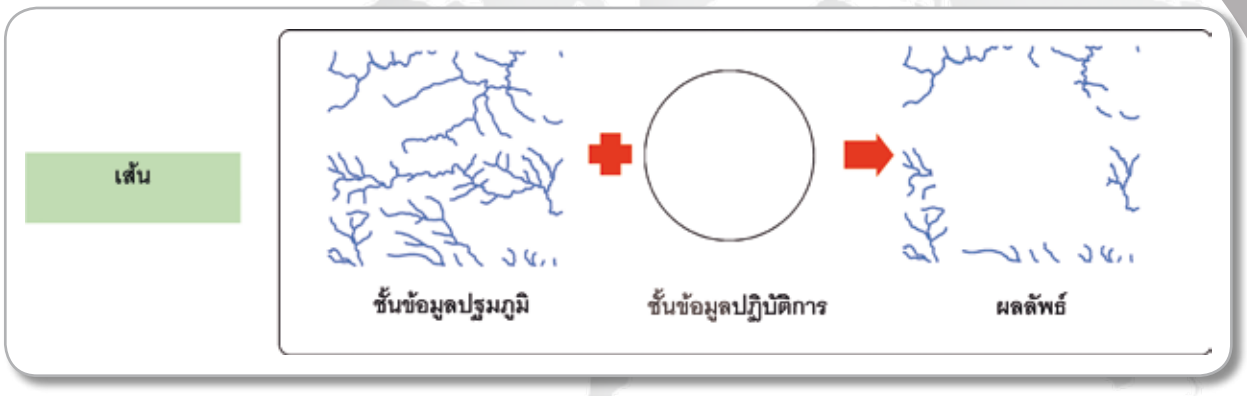
***ภาพที่** 4.44 แสดงแนวคิดของการซ้อนทับเพื่อปรับให้เป็นปัจจุบัน*

- การลบข้อมูล

เป็นการซ้อนทับที่กระทำเพื่อลบส่วนของข้อมูลโดยอาศัยชั้นข้อมูลปฏิบัติการเพื่อเป็นกรอบการลบ บริเวณที่ถูกลบค่าออกคือตำแหน่งที่มีพื้นที่ซ้อนทับกันอยู่ภายในชั้นข้อมูลที่นำมาปฏิบัติการ การลบข้อมูลลักษณะนี้สามารถกระทำได้กับข้อมูลที่เป็นอาณาบริเวณ จุด และเส้น ดังแสดงในภาพที่ 4.45



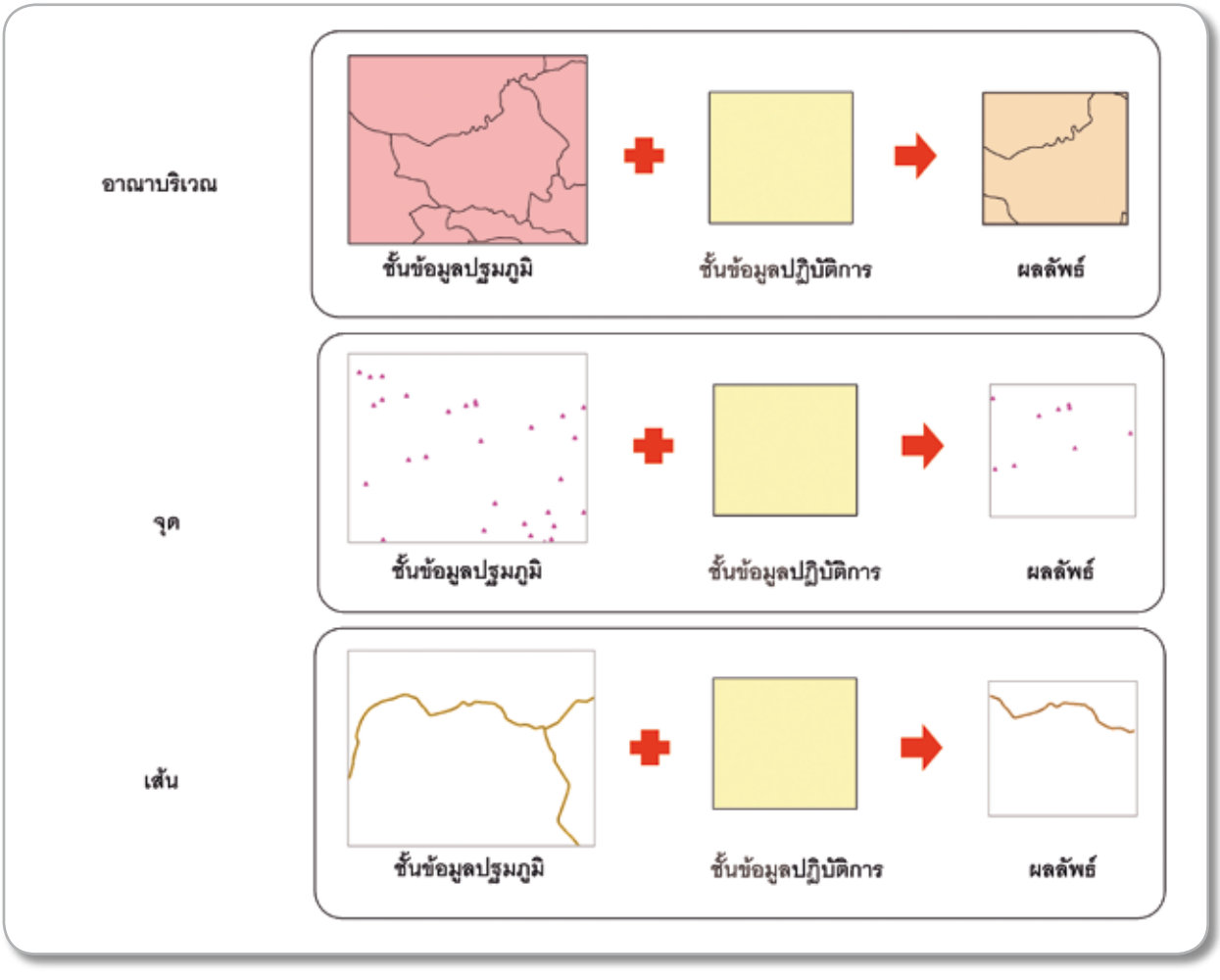
***ภาพที่** 4.45 แสดงแนวคิดของการซ้อนทับแบบลบข้อมูล*



***ภาพที่** 4.45 แสดงแนวคิดของการซ้อนทับแบบลบข้อมูล (ต่อ)*

- การตัดข้อมูล

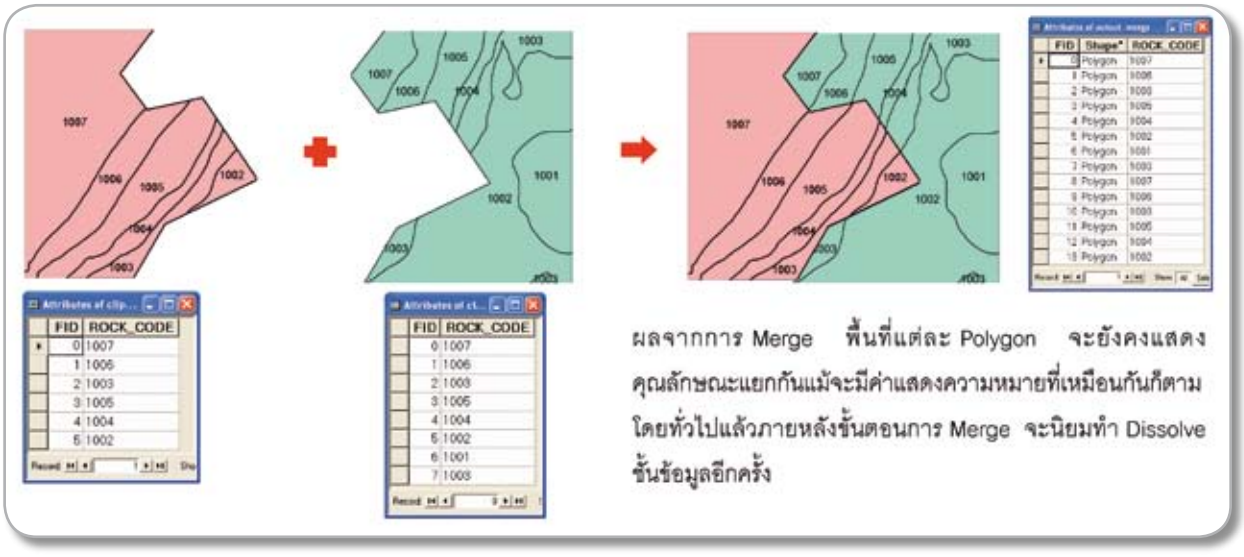
เป็นการซ้อนทับชั้นข้อมูลเพื่อลบส่วนของพื้นที่จากชั้นข้อมูลนำเข้าที่อยู่นอกเขตพื้นที่ของชั้นข้อมูลที่ต้องการนำมาซ้อนทับเพื่อตัดบางส่วนของชั้นข้อมูลนำเข้า สำหรับข้อมูลลักษณะประจำที่แสดงในผลลัพธ์จะแสดงเพียงค่าจากชั้นข้อมูลนำเข้าเท่านั้น ดังนั้นการให้ลำดับชั้นข้อมูลนำเข้ากับชั้นข้อมูลซ้อนทับจึงเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงก่อนการวิเคราะห์ สำหรับการตัดสามารถกระทำได้ทั้งข้อมูลที่เป็นอาณาบริเวณ จุด และเส้น ดังแสดงในตัวอย่างภาพที่ 4.46



***ภาพที่** 4.46 แสดงแนวคิดของการซ้อนทับเพื่อตัดข้อมูล*

- การรวมข้อมูลเข้าด้วยกัน

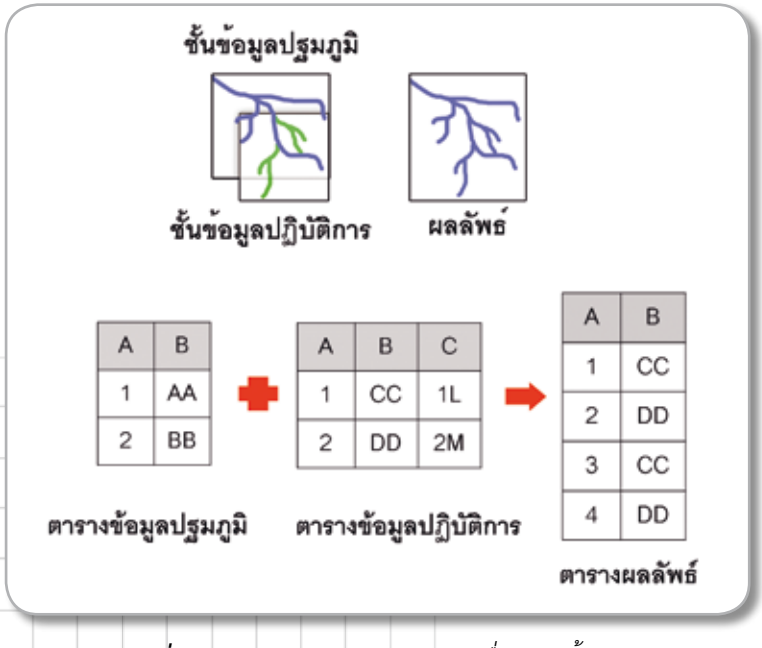
ใช้ในการรวมข้อมูลระหว่าง 2 ชั้นข้อมูล ที่มีระบบพิกัดเดียวกัน มีความต่อเนื่องกัน และค่าคุณลักษณะของข้อมูลในข้อมูลลักษณะประจำเหมือนกัน สามารถใช้คำสั่งการรวมข้อมูลได้ทั้งกับชั้นข้อมูลที่เป็นอาณาบริเวณ จุด และเส้น ผลลัพธ์ที่ได้ข้อมูลในลักษณะกราฟิก และตารางจะถูกรวมเข้าด้วยกันโดยมีลักษณะต่อเนื่องกันเหมือนข้อมูลนำเข้า แสดงการเชื่อมต่อแผนที่ดังภาพที่ 4.47



***ภาพที่** 4.47 แสดงแนวคิดการซ้อนทับเพื่อรวมข้อมูลเข้าด้วยกัน*

- การผนวกชั้นข้อมูล

การผนวกข้อมูลเป็นการดำเนินการเพื่อเชื่อมต่อชุดของชั้นข้อมูลประเภทอาณาบริเวณ จุด เส้น ตาราง รวมทั้งข้อมูลประเภทแรสเตอร์ เข้าไปยังชั้นข้อมูลอาณาบริเวณ จุด เส้น ตาราง หรือข้อมูลแรสเตอร์ที่มีอยู่แล้ว แสดงดังภาพที่ 4.48

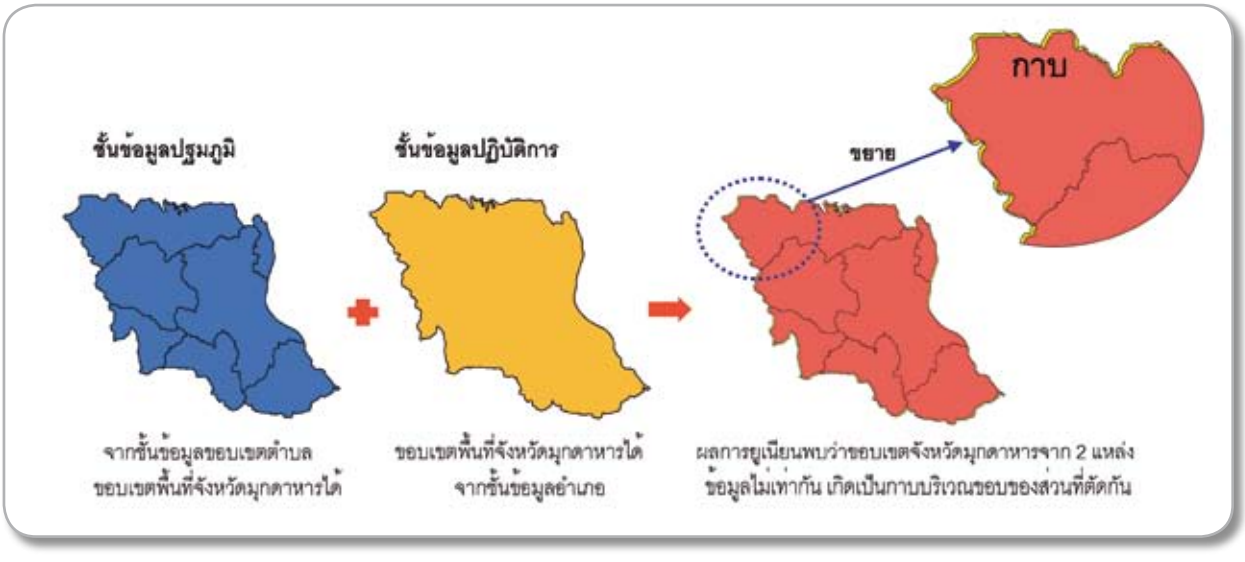


***ภาพที่** 4.48 แสดงแนวคิดการซ้อนทับเพื่อผนวกชั้นข้อมูล*

ปัญหาที่เกิดจากการซ้อนทับชั้นข้อมูลประเภทเวกเตอร์

แม้การซ้อนทับชั้นข้อมูลประเภทเวกเตอร์จะช่วยให้ได้ผลการวิเคราะห์ตามความต้องการ แต่บางครั้งผลที่ได้จากการซ้อนทับอาจยังไม่สมบูรณ์เพียงพอสำหรับการนำไปใช้โดยตรง ทำให้ต้องมีการปรับปรุงข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสมที่สุดก่อน ซึ่งปัญหาที่มักเกิดกับชั้นข้อมูลผลลัพธ์ ดังเช่น การเกิดกาบ (Sliver) หรือการที่ผลจากการซ้อนทับเกิดเป็นพื้นที่ หรือส่วนของเส้นจำนวนมากเกินไปจนทำให้การแสดงผล และการคำนวณต้องเสียเวลามาก ดังนั้นในที่นี้จึงได้แสดงรายละเอียดของปัญหาที่เกิดจากการซ้อนทับดังนี้

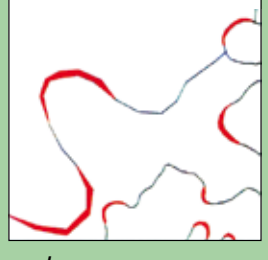
ก. การเกิดกาบ : เป็นพื้นที่ขนาดเล็ก (Tiny polygons) จำนวนมากที่เกิดขึ้นจากการซ้อนทับชั้นข้อมูลอาณาบริเวณ ที่ควรจะเป็นเส้นเดียวกันแต่มีการล้ำกัน ซึ่งอาจจะเกิดจากการมีข้อมูลประเภทเดียวกันมาจากการนำเข้าหรือแหล่งที่ต่างกัน โดยเฉพาะบริเวณแนวขอบส่วนที่ตัดกันของพื้นที่ (ภาพที่ 4.49) พื้นที่เล็กๆ ที่เกิดขึ้นโดยไม่ต้องการเหล่านี้เป็นสิ่งที่คอยรบกวนการวิเคราะห์ และอาจทำให้ผลการวิเคราะห์ผิดพลาดได้



***ภาพที่** 4.49 แสดงลักษณะการเกิดกาบ*

จากภาพที่ 4.49 หากพิจารณาชั้นข้อมูลนำเข้าและชั้นข้อมูลที่นำมาซ้อนทับเพียงอย่างใดอย่างหนึ่งอาจดูคล้ายว่าชั้นข้อมูลมีขอบเขตพื้นที่ที่เหมือนกัน (เท่ากัน) แต่เมื่อทำการซ้อนทับกันแล้วกลับพบว่ามีส่วนที่ซ้อนเหลื่อมปรากฏในชั้นข้อมูลผลลัพธ์ แสดงว่าชั้นข้อมูลมีขอบเขตพื้นที่แตกต่างกัน ปัญหาดังกล่าวอาจเกิดจากความแตกต่างของขนาด หรือตำแหน่งของชั้นข้อมูลที่เลื่อนต่างกันเล็กน้อย การเกิดกาบค่อนข้างเป็นปัญหาสำหรับการศึกษาความเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ เนื่องจากผู้ศึกษาจำเป็นต้องวิเคราะห์ให้ได้ว่าพื้นที่ขนาดเล็กที่ปรากฏ เป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่จริง หรือว่าเป็นเพียงกาบที่มาจากความแตกต่างกันของข้อมูล

ข้อสังเกตในการพิจารณาลักษณะของกาบ
- โดยทั่วไปกาบที่เกิดขึ้นจะมีขนาดเล็ก
- รูปร่างยาว และเรียวบาง
- มีจำนวนมาก และส่วนใหญ่เป็นเส้น 2 เส้นขนานกัน
- มักพบบริเวณขอบที่ตัดกันของชั้นข้อมูล

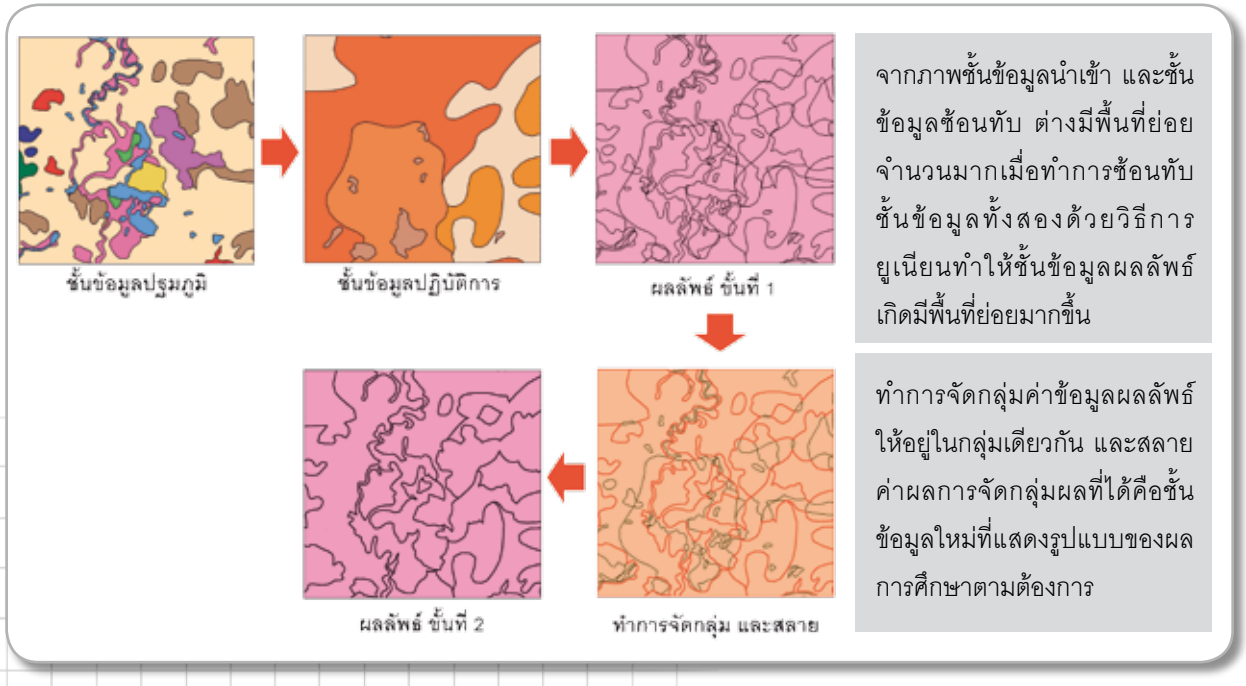


***ภาพที่** 4.50 แสดงลักษณะกาบ*

การแก้ปัญหาสามารถกระทำได้หลายวิธีการ ซึ่งอาจเป็นการปรับปรุงชั้นข้อมูลนำเข้าก่อนการซ้อนทับให้มีขอบเขต หรือพิกัดที่ถูกต้องเป็นระบบเดียวกันเสียก่อน หรือปรับปรุงข้อมูลที่ได้จากการซ้อนทับด้วยการใช้คำสั่งกำจัด (Eliminate) เพื่อลบพื้นที่ที่เป็นกาบออกไป (ภาพที่ 4.51) หรือในกรณีที่เกิดกาบไม่มากนักอาจใช้วิธีเลือก (Select) และทำการรวมเขตข้อมูลด้วยคำสั่งสลาย (Dissolve) หากพบว่าพื้นที่กาบนั้นสามารถจัดกลุ่มเข้าเป็นหมวดพื้นที่ใดของชั้นข้อมูลผลลัพธ์ได้

ภาพที่ 4.51 *แสดงการกำจัดกาบ*

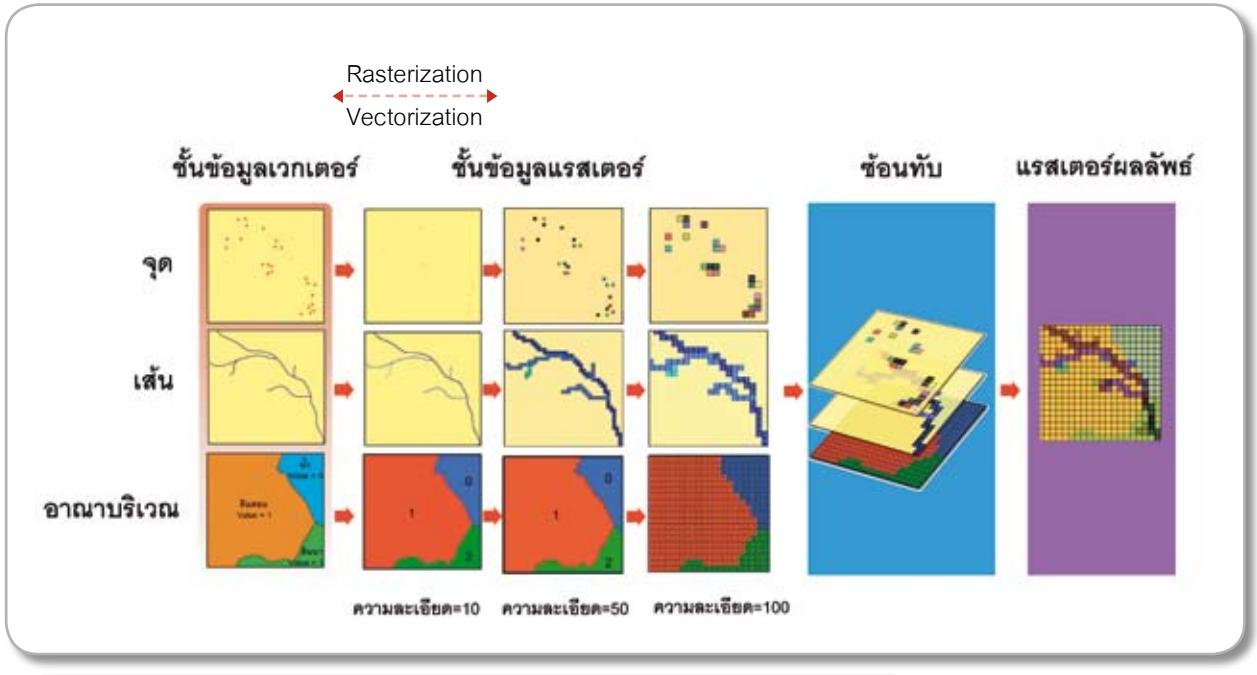
ข. การมีพื้นที่ย่อยจำนวนมากเกินไป : ผลจากการซ้อนทับชั้นข้อมูลที่มีพื้นที่ย่อยจำนวนมากเข้าด้วยกัน ทำให้ได้ผลลัพธ์ที่มีจำนวนพื้นที่ย่อยๆ เพิ่มมากขึ้น จนบางครั้งทำให้การแสดงผลต้องใช้เวลาดำเนินการนาน และการประมวลผลร่วมกับชั้นข้อมูลอื่นมีความซับซ้อนขึ้น ปัญหาดังกล่าวเราสามารถแก้ไขได้ด้วยการจัดจำแนกข้อมูลใหม่ (Reclassify) และทำการสลายพื้นที่ย่อยที่มีจำนวนมากเพื่อรวมกลุ่มข้อมูล หรือข้อมูลลักษณะประจำที่ถูกจัดให้เป็นกลุ่มเดียวกัน (ภาพที่ 4.52)

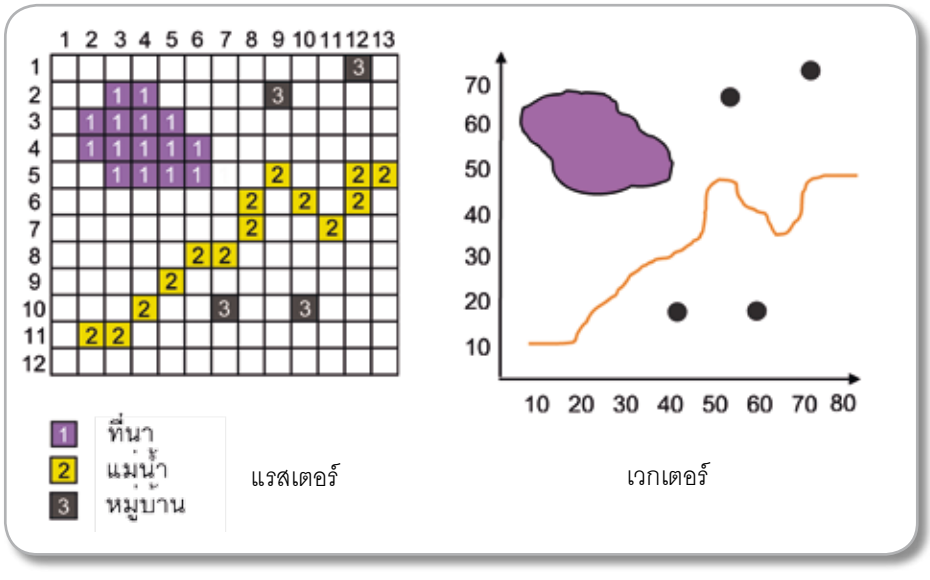


ภาพที่ 4.52 *แสดงการแก้ปัญหาจำนวนพื้นที่ย่อยมากเกินไปด้วยการจัดจำแนกข้อมูลใหม่ และสลาย*

2) การซ้อนทับชั้นข้อมูลประเภทแรสเตอร์

เป็นที่ทราบกันดีแล้วว่าลักษณะของข้อมูลที่ปรากฏอยู่ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์นั้น ประกอบด้วยข้อมูลประเภทเวกเตอร์ และแรสเตอร์ ซึ่งในบางกรณีการเลือกใช้ข้อมูลประเภทแรสเตอร์จะมีความเหมาะสมมากกว่า เนื่องจากสามารถให้ผลการวิเคราะห์ที่รวดเร็วกว่าข้อมูลเวกเตอร์ และจากข้อจำกัดของข้อมูลเวกเตอร์ คือ เมื่อซ้อนทับชั้นข้อมูลที่มากกว่า 2 ชั้น (โดยเฉพาะชั้นข้อมูลที่มีความซับซ้อนมาก) การประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์จะสิ้นเปลืองเวลานาน และต้องผ่านการปรับปรุงข้อมูลหลายครั้งกว่าจะได้ผลการศึกษาที่ต้องการ ในขณะที่ข้อมูลประเภทแรสเตอร์การวิเคราะห์ในลักษณะของการซ้อนทับสามารถกระทำได้อย่างรวดเร็ว อีกทั้งสามารถทำได้พร้อมกันหลายชั้นข้อมูลในเวลาเดียวกัน ข้อสังเกตในการซ้อนทับข้อมูลแรสเตอร์คือ ***"ชั้นข้อมูลที่นำมาซ้อนทับกันต้องอ้างอิงระบบพิกัดเดียวกันและมีขนาดจุดภาพเท่ากัน"*** จึงจะได้ผลการซ้อนทับที่มีความเหมาะสม อย่างไรก็ตามการเลือกใช้งานข้อมูลประเภทใดขึ้นกับความสะดวกของงานและรูปแบบข้อมูลที่มีการจัดเก็บอยู่ ซึ่งระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ได้พัฒนาให้สามารถแปลงข้อมูลกลับไป-กลับมา ระหว่างข้อมูลเวกเตอร์ และแรสเตอร์ได้ ดังแสดงในภาพที่ 4.53





ความแตกต่างของการแสดงค่าตำแหน่งในข้อมูลเวกเตอร์และแรสเตอร์

ภาพที่ 4.53 *รูปแบบข้อมูลเวกเตอร์ และแรสเตอร์*

ในการซ้อนทับชั้นข้อมูลประเภทแรสเตอร์นั้นค่าในจุดภาพ หรือตารางกริดของแต่ละชั้นข้อมูล จะถูกรวมเข้าด้วยกัน (Combine) โดยอาศัยตัวดำเนินการแบบเลขคณิต (Arithmetic) หรือตรรกะแบบบูล (Boolean) ในการสร้างค่าใหม่ให้แก่ชั้นข้อมูลแผนที่ผสม (Composite map) เนื่องจากค่าข้อมูลที่ถูกแสดงในจุดภาพเป็นค่าตัวเลข ดังนั้นจึงสามารถวิเคราะห์ด้วยฟังก์ชันพีชคณิตที่มีความซับซ้อนได้ เรียกลักษณะการใช้ฟังก์ชันพีชคณิตในการซ้อนทับนี้ว่า “พีชคณิตสำหรับแผนที่ (Map algebra)”

การซ้อนทับข้อมูลแรสเตอร์แบ่งออกเป็นหลายวิธีการ เช่น การซ้อนทับแบบเซลล์แรสเตอร์ (Raster cell overlay) แบบคูณและค่าสูงสุด-ต่ำสุด (Multiplication and maximum-minimum) แบบกำหนดน้ำหนัก (Overlay using weights) แบบเมทริกซ์ (Matrix recode overlay) แบบรหัส (Overlay codes) ดังรายละเอียดต่อไปนี้

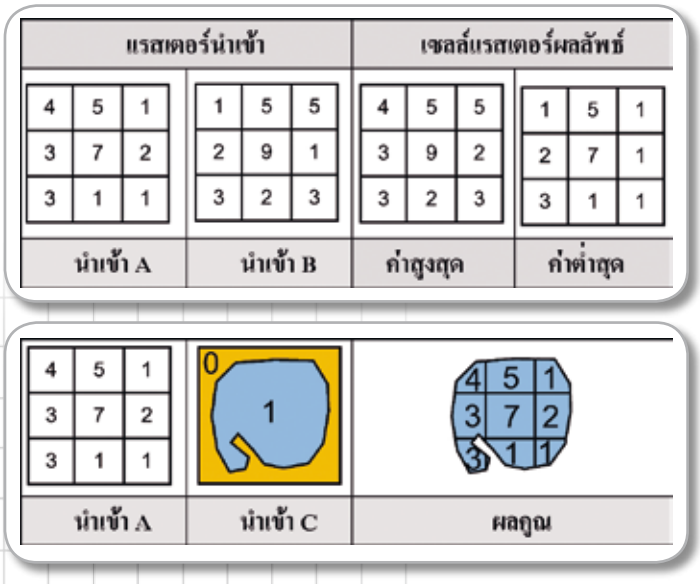
- การซ้อนทับแบบเซลล์แรสเตอร์

เป็นการซ้อนทับโดยอาศัยตัวดำเนินการเชิงคณิตศาสตร์ในลักษณะที่เรียกว่าพีชคณิตแผนที่ซึ่งโดยทั่วไปประกอบด้วย การบวก (+) ลบ (-) คูณ (×) หาร (÷) และอื่นๆ ภาพที่ 4.54

ภาพที่ 4.54 *แสดงแนวคิดการซ้อนทับชั้นข้อมูลแรสเตอร์แบบเซลล์แรสเตอร์*

- แบบคูณและค่าสูงสุด-ต่ำสุด

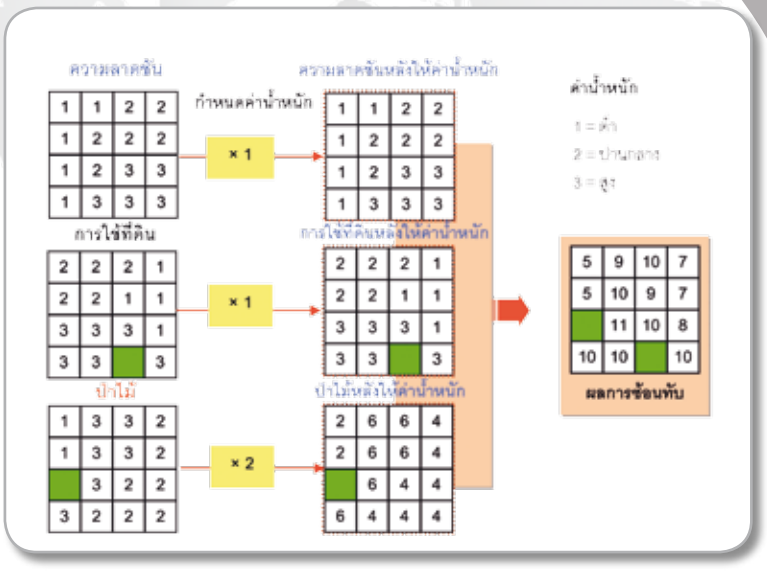
เป็นการซ้อนทับชั้นข้อมูลโดยใช้ฟังก์ชันค่าการคูณ และการเลือกแทนค่าด้วยค่าสูงสุด หรือต่ำสุดในการแสดงผล แสดงดังภาพที่ 4.55



ภาพที่ 4.55 *แสดงแนวคิดการซ้อนทับชั้นข้อมูลแรสเตอร์แบบค่าสูงสุด-ต่ำสุด และการคูณ*

- แบบกำหนดน้ำหนัก

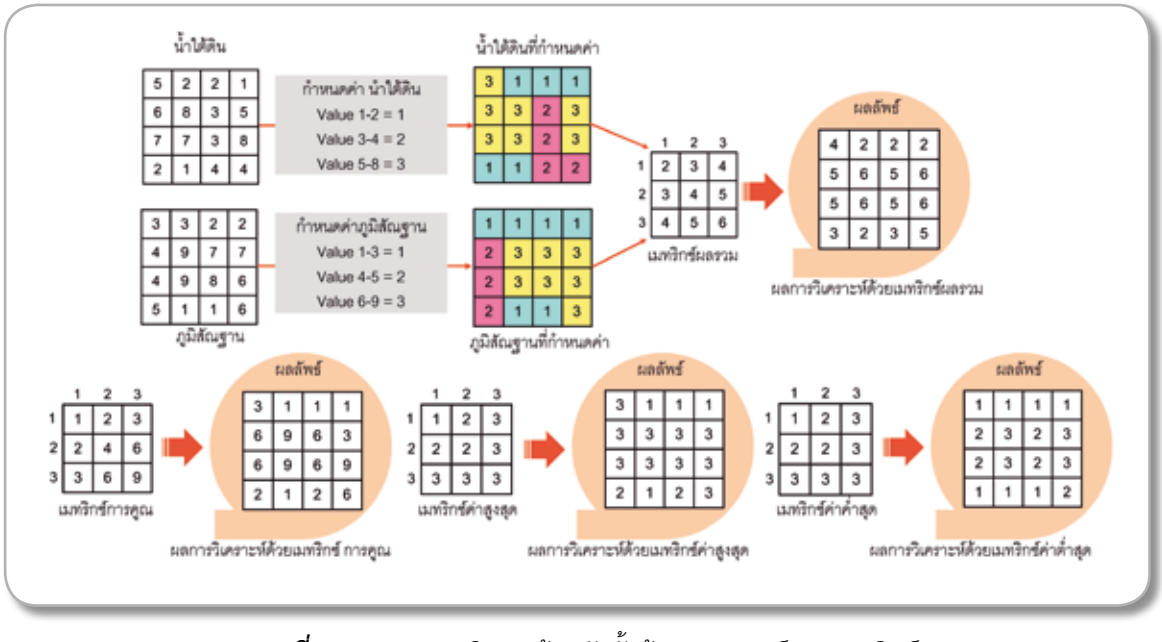
เป็นการให้ค่านัยสำคัญกับชั้นข้อมูลบางชั้น หรือบางลักษณะ (Features) เช่น เมื่อพบว่าชั้นข้อมูลหนึ่งมีความสำคัญมากกว่าอีกชั้นข้อมูล เป็นต้น ระดับความสำคัญในที่นี้ คือ การให้ค่าน้ำหนักแก่ชั้นข้อมูลหรือค่าในจุดภาพให้มีค่าเพิ่มขึ้น เป็นการเพิ่มค่าน้ำหนักให้แก่ปัจจัยที่ผู้ศึกษาให้ความสำคัญเป็นพิเศษ ดังภาพที่ 4.56 ข้อมูลนำเข้า ได้แก่ ความลาดชัน การใช้ที่ดิน และป่าไม้ น้ำหนักใช้เป็นตัวคูณคือ 1 1 และ 2 ตามลำดับ เมื่อได้ชั้นข้อมูลที่กำหนดน้ำหนักแล้วจึงรวมค่าของจุดภาพเข้าด้วยกันเป็นผลลัพธ์การซ้อนทับ



ภาพที่ 4.56 *แสดงแนวคิดการซ้อนทับชั้นข้อมูลแรสเตอร์แบบกำหนดน้ำหนัก*

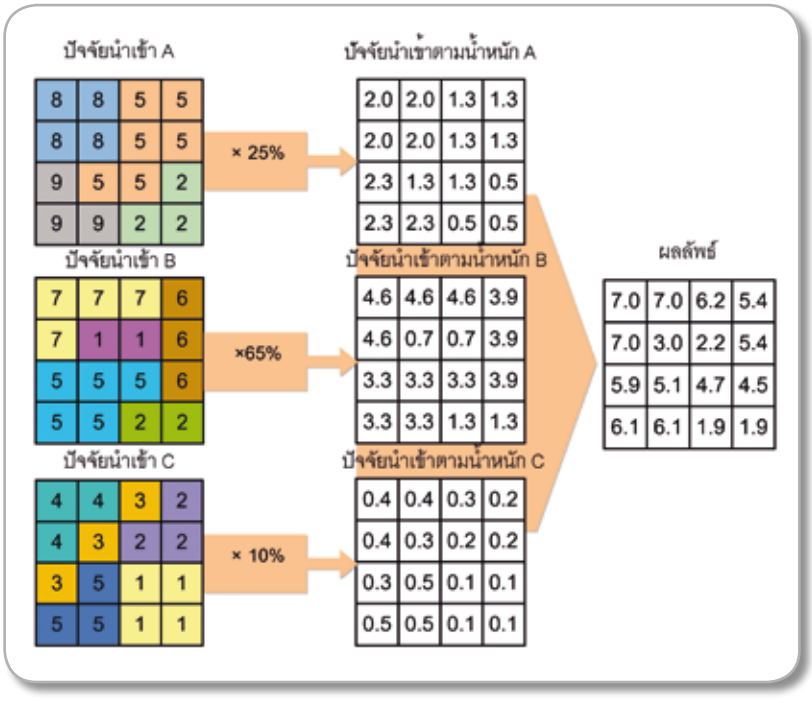
- การซ้อนทับแบบเมทริกซ์

เป็นการซ้อนทับชั้นข้อมูลแรสเตอร์โดยอาศัยตารางเมทริกซ์กำหนดค่ารหัสสำหรับการแทนค่าผลลัพธ์ ซึ่งก่อนการซ้อนทับข้อมูลแต่ละชั้นผู้ศึกษาจำเป็นต้องจัดกลุ่มข้อมูลแต่ละชั้นใหม่ก่อน ส่วนใหญ่นิยมแบ่งค่าระดับตามความเหมาะสม เช่น การแบ่งระดับที่ดินเหมาะสมกับการเพาะปลูก กำหนดค่าระดับเหมาะสมมาก (1) เหมาะสมปานกลาง (2) และเหมาะสมน้อย (3) เป็นต้น เมื่อจำแนกระดับความเหมาะสมของข้อมูลแต่ละชั้นพร้อมแล้ว จึงทำการกำหนดค่าในตารางแม่แบบเพื่อใช้ระบุค่าที่ใช้เป็นผลลัพธ์ ทั้งนี้เมทริกซ์ที่ใช้อาจกำหนดได้หลายรูปแบบ เช่น เมทริกซ์ที่มาจากการบวก ลบ คูณ และหาร ค่าระดับความเหมาะสม เมทริกซ์มาจากการเลือกค่าสูงสุด-ต่ำสุด และเมทริกซ์ที่มาจากการเลือกเฉพาะที่ (Selective) ซึ่งเมทริกซ์ประเภทนี้ต้องถูกกำหนดขึ้นจากผู้ที่มีความเชี่ยวชาญ เป็นต้น ดังแสดงตัวอย่างการซ้อนทับด้วยวิธีการซ้อนทับแบบเมทริกซ์ในภาพที่ 4.57



ภาพที่ 4.57 *แสดงแนวคิดการซ้อนทับชั้นข้อมูลแรสเตอร์ แบบเมทริกซ์*

ภาพที่ 4.57 *แสดงแนวคิดการซ้อนทับชั้นข้อมูลแรสเตอร์ แบบเมทริกซ์ (ต่อ)*



ภาพที่ 4.58 *แสดงแนวคิดการซ้อนทับชั้นข้อมูลแรสเตอร์แบบกำหนดค่าน้ำหนัก*

- การซ้อนทับแบบกำหนดน้ำหนัก

เป็นการซ้อนทับโดยกำหนดค่าอิทธิพลที่มีต่อปัจจัยแต่ละชั้นแผนที่ เนื่องจากแต่ละปัจจัยมีอิทธิพลต่อผลลัพธ์ไม่เท่ากัน การวิเคราะห์ลักษณะดังกล่าวนี้จัดว่าเป็นการซ้อนทับโดยให้ค่าน้ำหนักแก่ปัจจัยประเภทหนึ่ง แต่จะแตกต่างกันตรงค่าน้ำหนักที่ใช้ถูกแบ่งตามสัดส่วนของอิทธิพลเป็นค่าร้อยละ แนวคิดของการวิเคราะห์แสดงดังภาพที่ 4.58

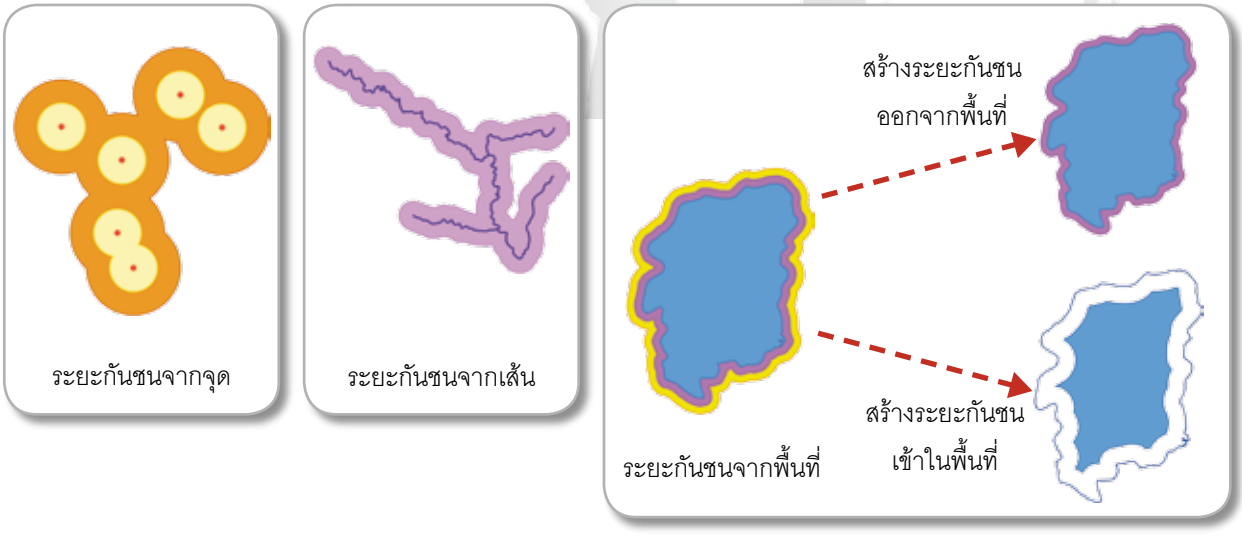
จากภาพที่ 4.58 ค่าจุดภาพของชั้นข้อมูล ผลลัพธ์เกิดจากการบวกค่าปัจจัยที่ถูกให้ค่าน้ำหนัก ทั้งนี้การกำหนดค่าอิทธิพลให้แก่ชั้นข้อมูลในการศึกษาต่างๆ จำเป็นต้องอาศัยข้อมูลที่ได้จากการค้นคว้าความสัมพันธ์ของปัจจัยที่จะมีผลต่องานวิจัยแต่ละประเภท เนื่องจากแต่ละการศึกษาค่าปัจจัยเดียวกันอาจมีน้ำหนักของอิทธิพลต่องานแตกต่างกัน จำเป็นต้องมีหลักการที่เหมาะสมสำหรับการกำหนดค่า

10.2.3 การสร้างแนวกันชน

หลักการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่อีกประเภทที่นิยมใช้กันมากเช่นกัน คือ ฟังก์ชันการหาพื้นที่ใกล้เคียง (ใกล้ชิด) ของวัตถุ ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่ม “ฟังก์ชันความใกล้เคียง (Neighborhood function)” ประเภทหนึ่ง ฟังก์ชันดังกล่าวนอกจากใช้ตอบคำถามว่าตำแหน่งไหนอยู่ที่ใดแล้ว ยังตอบได้ว่ามีสิ่งใดอยู่ใกล้กับวัตถุเป้าหมายอีกด้วย วิธีการของฟังก์ชันความใกล้เคียง ประกอบไปด้วย การคำนวณค่าที่อยู่ใกล้เคียง (Proximity computation) การคำนวณพื้นที่ส่วนที่ขยายออก (Spread computation) และการคำนวณเพื่อค้นหา (Seek computation) ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะวิธีการคำนวณค่าที่อยู่ใกล้เคียง สำหรับวิธีการคำนวณค่าที่อยู่ใกล้เคียงที่รู้จักกันดีคือการสร้างพื้นที่กันชน ซึ่งเป็นการสร้างพื้นที่ล้อมรอบตัวแทนข้อมูลเชิงพื้นที่ (จุด เส้น และอาณาบริเวณ) ด้วยระยะห่างตามที่กำหนด ผลที่ได้คือชั้นข้อมูลใหม่ที่แสดงระยะห่างออกจากลักษณะที่ระบุ นอกจากนั้นเรายังใช้พื้นที่กันชนเพื่อควบคุมความเสียดทานบนพื้นผิว (Friction surface) ภูมิประเทศ (Topography) ตัวกั้น (Barrier) และอื่นๆ ได้อีกด้วย การสร้างแนวกันชนสามารถกระทำได้กับข้อมูลที่เป็นเวกเตอร์ และแรสเตอร์ โดยมีลักษณะของพื้นที่แนวกันชนที่แตกต่างกันออกไป 3 รูปแบบ ดังต่อไปนี้

1) พื้นที่กันชนตามระยะทางที่กำหนด (At a specified distance หรือ Arbitrary buffer)

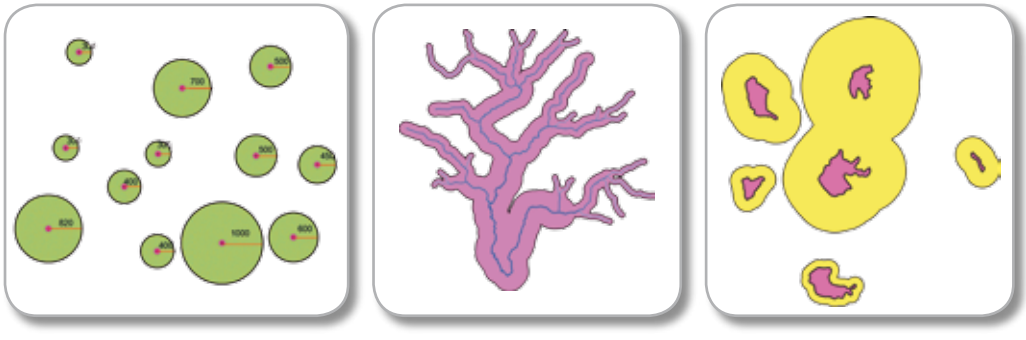
เป็นการกำหนดค่าคงที่สำหรับการสร้างระยะกันชน พื้นที่กันชนที่ถูกสร้างจะมีระยะทางออกจากวัตถุเป้าหมายเท่ากันในทุกทิศทาง (ภาพที่ 4.59) โดยวัตถุที่เป็นอาณาบริเวณสามารถเลือกสร้างระยะกันชนเข้ามาในพื้นที่ (Set back) หรือออกจากพื้นที่ก็ได้ การสร้างแนวกันชนประเภทนี้นิยมใช้เพื่อกำหนดเขตควบคุมการระบาด หรือการสร้างรัศมีพื้นที่ออกจากเขตโรงงานอุตสาหกรรม



ภาพที่ 4.59 *แสดงระยะกันชนตามระยะทางที่กำหนด*

2) พื้นที่กันชนแปรผัน (At distance from an attribute field หรือ Variable buffer)

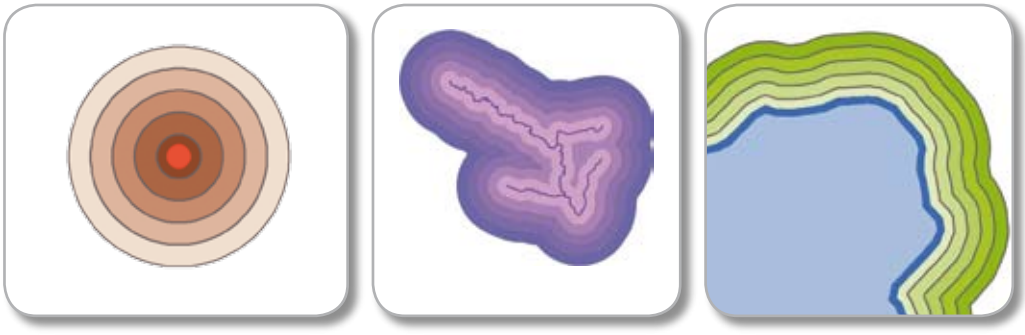
เป็นการสร้างระยะกันชนออกจากวัตถุเป้าหมาย โดยอาศัยค่าที่ระบุไว้ในเขตค่าซึ่งภายในชั้นข้อมูลเดียวกันผู้ศึกษาอาจต้องการให้มีระยะกันชนออกจากวัตถุเป้าหมายขนาดไม่เท่ากัน ยกตัวอย่างเช่น ในกรณีการแสดงพื้นที่เสี่ยงต่อเจือปนสารพิษ แต่ละจุดที่เป็นแหล่งกำเนิดมลพิษอาจมีระดับความเข้มข้นของสารที่กระจายออกมาไม่เท่ากัน ดังนั้นการแสดงระยะป้องกันจากแต่ละแหล่งกำเนิดจึงมีขนาดที่ไม่เท่ากัน ดังแสดงการสร้างระยะกันชนประเภทนี้ในภาพที่ 4.60



ภาพที่ 4.60 *แสดงระยะกันชนโดยกำหนดระยะทางจากค่าในเขตค่าของข้อมูล*

3) พื้นที่กันชนแบบวงแหวน (Multiple rings or Doughnut buffer)

เป็นการสร้างระยะกันชนออกจากวัตถุเป้าหมายหลายระดับในเวลาเดียวกัน ลักษณะของแนวกันชนประเภทนี้นิยมใช้เพื่อทดสอบระยะที่เหมาะสมของข้อมูลก่อนดำเนินการวิเคราะห์พื้นที่จริง ภาพที่ 4.61



ภาพที่ 4.61 *แสดงการสร้างระยะกันชนแบบวงแหวน*

นอกเหนือจากลักษณะพื้นที่กันชน 3 ลักษณะที่กล่าวมานี้แล้ว ยังมีวิธีสร้างพื้นที่กันชนที่แตกต่างออกไปอีก อาทิเช่น วิธีการทำพื้นที่กันชนตามสาเหตุของปัญหา (A causative buffer) ซึ่งเป็นแนวกันชนที่สร้างขึ้นโดยอาศัยความรู้พื้นฐานของผู้ศึกษาที่มีต่อวัตถุเป้าหมาย ยกตัวอย่างเช่น การแสดงแนวเขตการกระจายของมลภาวะทางอากาศจากโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งทิศทางการเคลื่อนที่ของสารพิษขึ้นกับปัจจัยลม และความเข้มข้นของสารพิษ จึงมีรูปแบบการกระจายตัวออกจากแหล่งกำเนิดไม่เท่ากันในทุกทิศทาง ดังนั้นการแสดงพื้นที่กระจายสารพิษจึงต้องคำนึงถึงปัจจัยทิศทางลมร่วมด้วย ทำให้แนวกันชนที่สร้างมีรูปร่างไม่สมมาตร

วิธีแนวกันชนวัดได้ (Measurable buffer) สร้างระยะกันชนโดยอาศัยลักษณะปรากฏการณ์จริงที่วัดได้ ระยะกันชนที่สร้างจึงสมเหตุสมผลมากกว่าการกำหนดระยะคงที่เพียงอย่างเดียว ตัวอย่างเช่น กรณีต้องการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ระหว่างปริมาณสารพิษที่ปนเปื้อนในแม่น้ำโดยเฉพาะการปนเปื้อนในบริเวณริมฝั่ง เนื่องจากเราทราบว่าต้นไม้มีความสามารถในการกรองสารพิษได้ และการกรองสารพิษจะดียิ่งขึ้นหากมีต้นไม้ในพื้นที่มาก ดังนั้นจึงได้ตรวจวัดความหนาแน่นของพืชพรรณที่มีอยู่รอบแหล่งน้ำแล้วแบ่งระดับความหนาแน่นออกเป็นกลุ่ม ความแตกต่างของกลุ่มความหนาแน่นจะเป็นเสมือนแนวที่กั้นระหว่างพื้นที่เพื่อแบ่งระดับการวิเคราะห์ให้สอดคล้องกับสภาพปรากฏการณ์จริง

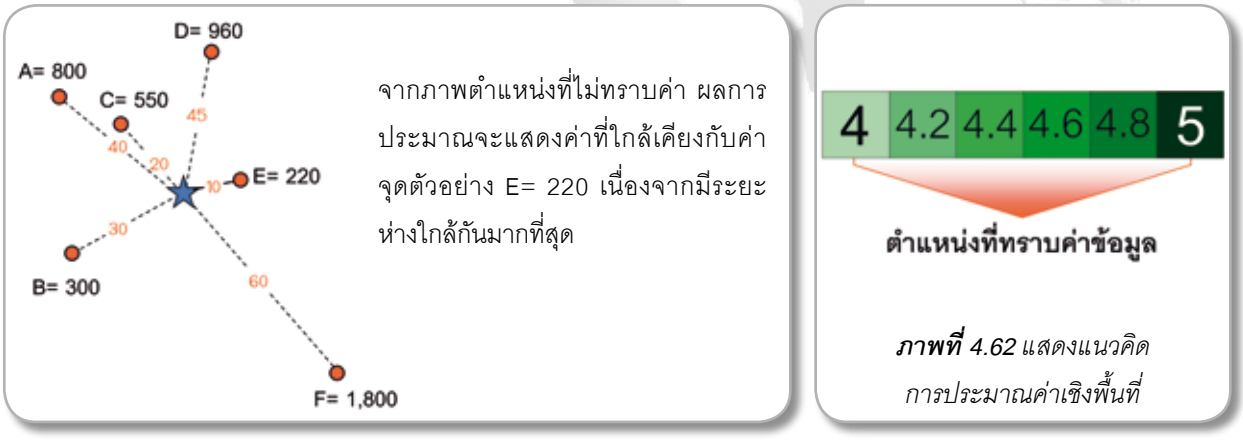
10.2.4 การประมาณค่าในช่วงเชิงพื้นที่ (Spatial interpolation)

เป็นการพยากรณ์แนวโน้มความเปลี่ยนแปลงที่ยังไม่เกิดขึ้น ในที่นี้รวมไปถึงการประมาณค่าข้อมูลที่ขาดหายไป (มีข้อมูลไม่เพียงพอ) การประมาณค่าดังกล่าวนอกจากใช้เพื่อวิเคราะห์หาค่าที่สูญหายไปแล้ว ยังใช้เพื่อจำลองความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล จึงพบว่ามีการใช้วิธีประมาณค่ากับข้อมูลหลายประเภท ดังตัวอย่างต่อไปนี้

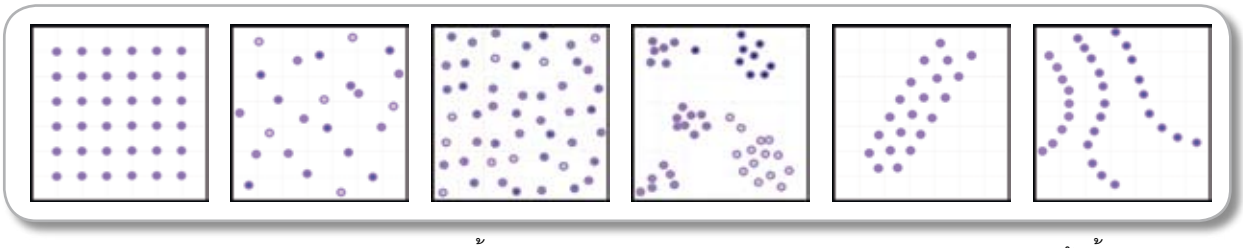
- ลักษณะภูมิประเทศ เช่น แบบจำลองความสูงเชิงพื้นที่ ความลาดชัน และทิศทางความลาดชัน
- ด้านประชากร เช่น แนวโน้มการกระจายตัวของประชากร
- ด้านเศรษฐกิจ เช่น การพยากรณ์ทิศทางการลงทุนในอนาคต
- ข้อมูลภูมิอากาศ เช่น การกระจายตัวของฝน อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ เป็นต้น

แม้จะมีการประยุกต์ใช้วิธีประมาณค่าเชิงพื้นที่เพื่อประโยชน์ที่แตกต่างกันออกไป แต่โดยทั่วไปวิธีการดังกล่าวมีความหมายและแนวคิดที่คล้ายคลึงกันในการวิเคราะห์ อธิบายความหมายของการประมาณค่าเชิงพื้นที่ได้ว่า

การประมาณค่าเชิงพื้นที่ คือ *"วิธีการทำนายค่าของพื้นที่ในตำแหน่งที่ข้อมูลมีไม่เพียงพอ โดยใช้ค่าข้อมูลที่อยู่ข้างเคียง"* ความถูกต้องของการประมาณค่าขึ้นอยู่กับจำนวนและการกระจายตัวของเซลล์ที่ทราบค่า (ภาพที่ 4.62) รวมทั้งสมการหรือฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ที่นำมาใช้ อย่างไรก็ตามการประมาณค่าโดยทั่วไปมีหลักในการดำเนินการที่คล้ายคลึงกันคือ จะอนุมานว่า *"จุดที่อยู่ใกล้กันทางพื้นที่มักมีค่าคุณสมบัติที่สนใจคล้ายคลึงกันมากกว่าจุดที่อยู่ไกลออกไป"*



ภาพที่ 4.62 *แสดงแนวคิดการประมาณค่าเชิงพื้นที่*



ปกติ (Regular) สุ่ม (Random) แบ่งชั้น (Stratified) เกาะกลุ่ม (Cluster) ตามแนวตัด (Transect) เส้นชั้น (Contour)

ภาพที่ 4.63 *การกระจายตัวของข้อมูลลักษณะต่างๆ*

การแสดงลักษณะของพื้นผิวจากการประมาณค่าโดยทั่วไปนิยมแสดง 3 ลักษณะ คือ

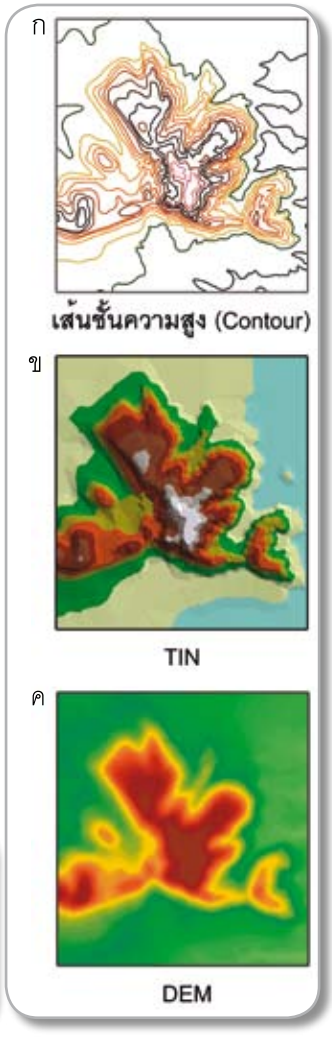
- เส้นชั้นความสูง (Contour or Isoline)
- โครงข่ายสามเหลี่ยมไม่สม่ำเสมอ (Triangulated Irregular Network : TIN)
- แบบจำลองความสูงเชิงตัวเลข (Digital Elevation Model: DEM)

ในบางครั้งมีการเรียกลักษณะพื้นผิวเหล่านี้โดยรวมว่า "แบบจำลองลักษณะภูมิประเทศเชิงตัวเลข (Digital Terrain Model : DTM)" อธิบายความแตกต่างของพื้นผิวแต่ละชนิดดังต่อไปนี้

เส้นชั้นความสูง : เป็นเส้นที่ลากผ่านจุดที่มีระดับความสูงเท่ากัน ช่วงความสูงของพื้นที่ที่แตกต่างกันจึงถูกแสดงด้วยเส้นหลายเส้น (ภาพที่ 4.64ก) ทั่วไปนิยมใช้วิธีการนี้ทำข้อมูลแผนที่ระดับความสูงและการแสดงค่าทางอุตุนิยมวิทยา เช่น อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ หรือปริมาณน้ำฝน เป็นต้น

TIN : เป็นโครงสร้างข้อมูลเวกเตอร์ที่เกิดจากการแสดงลักษณะพื้นผิวด้วยรูปสามเหลี่ยมหลายรูปซึ่งมีด้านประชิดกัน (ไม่มีการซ้อนทับ) และใช้จุดยอดร่วมกันเรียงต่อเนื่องกันไป โดยที่แต่ละจุดยอดมีค่า (x,y,z) จัดเก็บไว้ จุดยอดของสามเหลี่ยมเหล่านี้จะกระจายตัวไม่สม่ำเสมอ พื้นที่ที่มีความแตกต่างของค่า Z มากๆ จุดจะอยู่ใกล้กัน แต่พื้นที่ที่มีค่า Z ไม่แตกต่างกัน จุดจะอยู่ห่างกัน นิยมใช้พื้นผิว TIN แสดงลักษณะภูมิประเทศ และวิเคราะห์ความลาดชัน ทิศลาดเขา และปริมาตร (Volume) ดังภาพที่ 4.64ข

DEM : มีลักษณะเป็นตารางกริดที่มีขนาดเท่ากันเรียงตัวต่อเนื่องครอบคลุมทั้งพื้นที่ ค่าประจำกริดคือ ค่า Z ดังนั้นค่า Z ในพื้นที่จึงมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ ดังภาพที่ 4.64ค



***ภาพที่** 4.64 แสดงความแตกต่างของลักษณะพื้นผิวแต่ละประเภท*

* **หมายเหตุ** กระบวนการประมาณค่าคุณสมบัติในจุดที่ไม่ถูกสุ่มตัวอย่าง ภายในบริเวณที่มีจุดสำรวจครอบคลุมอยู่เรียกว่า *"การประมาณค่าในช่วง (Interpolation)"* การประมาณค่าของคุณสมบัติตรงจุดตำแหน่งที่อยู่นอกพื้นที่ที่มีการสำรวจเรียกว่า *"การประมาณค่านอกช่วง (Extrapolation)"*

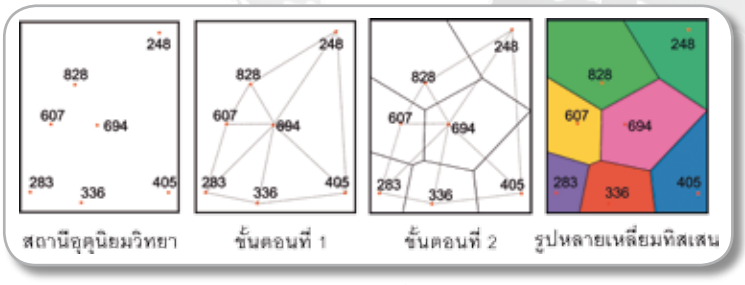
1) วิธีการประมาณค่าในช่วง มี 2 ประเภท คือ การประมาณค่าในช่วงแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete interpolation) และการประมาณค่าในช่วงแบบต่อเนื่อง (Continuous interpolation)

- การประมาณค่าในช่วงแบบไม่ต่อเนื่อง

เป็นการประมาณค่าในช่วงโดยเขียนแทนด้วยเส้นแนวเขต มีลักษณะคล้ายกับการแสดงแผนที่โคโรเพลท ข้อมูลที่อยู่ในแนวเขตเดียวกันจะมีค่าเท่ากันเมื่อนำไปสร้างเป็นแบบจำลองจะแสดงให้เห็นเป็นขั้นบันได วิธีการประมาณค่าแบบไม่ต่อเนื่อง เช่น การใช้วิธีรูปหลายเหลี่ยมทิสเสน (Thiessen polygon)

- วิธีรูปหลายเหลี่ยมทิสเสน บางครั้งอาจเรียกว่าแผนภาพรูปหลายเหลี่ยมโวโรนอย (Voronoi diagram) หรือช่องกริดดิลิกเก็ต (Dirichlet diagram) เป็นการสร้างอาณาบริเวณขึ้นรอบจุดค่าตัวอย่างแต่ละจุด เพื่อแสดงเขตที่ค่าจุดนั้นมีอิทธิพลถึง กล่าวคือทุกตำแหน่งที่อยู่ในเขตพื้นที่จะมีค่าใกล้เคียงกับค่าจุดตัวอย่างที่เป็นตัวแทนการประมาณค่าพื้นที่นั้น มากกว่าจุดที่อยู่นอกเขตพื้นที่ออกไป (ภาพที่ 4.65) วิธีการประมาณค่าแบบนี้นิยมใช้กับการวิเคราะห์ข้อมูลภูมิอากาศ อาทิเช่น ปริมาณน้ำฝน จากสถานีที่มีการกระจายตัวอยู่อย่างไม่สม่ำเสมอ นอกจากนั้นยังสามารถใช้แสดงเขตพื้นที่การค้า โรงงานอุตสาหกรรม และอื่นๆ

จากภาพที่ 4.65 *ขั้นตอนที่ 1* สร้างโครงข่ายสามเหลี่ยมจากสถานที่อยู่ใกล้เคียงกัน โดยให้ขอบเขตของรูปหลายเหลี่ยมมีระยะห่างจากจุดที่อยู่ใกล้ที่สุดเท่าๆ กัน *ขั้นตอนที่ 2* ลากเส้นตั้งฉากแบ่งครึ่งแต่ละด้านของสามเหลี่ยมเกิดเป็นเขตพื้นที่ซึ่งสามารถใช้ประเมินข้อมูลพื้นที่ที่ไม่มีการบันทึกข้อมูลได้



***ภาพที่** 4.65 การประมาณค่าในช่วงเชิงพื้นที่ด้วยวิธีรูปหลายเหลี่ยมทิสเสน*

ข้อจำกัด

1. ขนาดและรูปร่างของเขตพื้นที่จะขึ้นกับการกระจายของจุด ดังนั้นบริเวณที่มีจุดตัวอย่างมากจะมีขนาดพื้นที่เล็กแต่จะมีพื้นที่กว้างเมื่อจุดกระจายตัวห่างกัน
2. พื้นที่จากการประมาณแต่ละเขตได้จากค่าข้อมูลเพียงค่าเดียว
3. พื้นผิวที่ได้จากการประมาณมีค่าไม่ต่อเนื่องกัน (Discrete surface)

- การประมาณค่าในช่วงแบบต่อเนื่อง

เป็นวิธีการประมาณค่าในช่วงที่ผนวกเอาแนวคิดการเปลี่ยนแปลงอย่างค่อยเป็นค่อยไปของพื้นที่ กล่าวคือวิธีการประมาณค่าในช่วงแบบต่อเนื่องสามารถนิยามด้วยพื้นผิวเชิงคณิตศาสตร์เพื่อให้ได้พื้นผิวที่มีความต่อเนื่องกัน (Continuous surface) สามารถแบ่งออกเป็น ประมาณค่าในช่วงจากข้อมูลวงกว้าง หรือทั้งหมด (Global/Whole interpolation) และการประมาณค่าในช่วงข้อมูลเฉพาะที่ (Local interpolation)

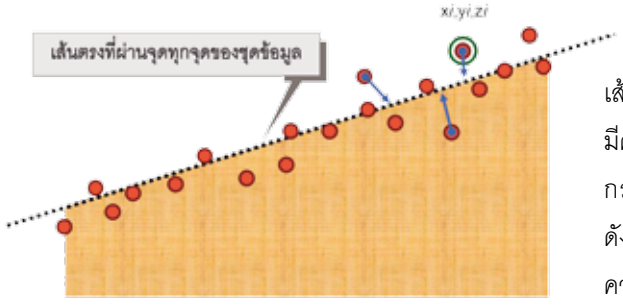
ตารางที่ 4.4 แสดงลักษณะ การประมาณค่าแบบข้อมูลวงกว้าง และแบบช่วงข้อมูลเฉพาะที่

วิธีการประมาณค่า	ลักษณะ	ตัวอย่าง
ประมาณค่าในช่วงจากข้อมูลวงกว้าง	- อาจเรียกว่า “Global polynomial interpolation” - ประมาณค่าโดยอาศัยชุดข้อมูลทั้งหมด - สมการคณิตศาสตร์ที่ใช้คือ สมการถดถอยเชิงพหุคูณ (Multiple regression method) - พื้นผิวที่ได้จากการประมาณมีลักษณะเรียบมน (Smooth) แต่อาจมีค่าโดดไปจากค่าจริง (Inexact) ค่อนข้างสูง - นิยมใช้เพื่อศึกษาแนวโน้มของค่าข้อมูล และผลกระทบที่มีต่อชุดข้อมูลก่อนทำการประมาณค่าเพื่อใช้งานจริง - พิกัดทางภูมิศาสตร์ และค่าข้อมูลลักษณะประจำ สามารถใช้เป็นส่วนหนึ่งในการวิเคราะห์การถดถอย (Regression method)	การวิเคราะห์พื้นผิวแนวโน้ม (Trend surface analysis) อนุกรมฟูเรียร์ (Fourier series)
การประมาณค่าในช่วงข้อมูลเฉพาะที่	- อาจเรียกว่า “Local polynomial interpretation” - ทำการประมาณค่าโดยอาศัยพื้นที่ขนาดเล็กที่เรียกว่า “วินโดว์ (Windows)” ค่าที่ได้จากการประมาณคือค่าตรงกลางของหน้าต่างดังกล่าว - การประมาณค่าพื้นผิวทั้งหมดจะเกิดจากวินโดว์เคลื่อนที่วนรอบจุดตัวอย่างครบทุกจุด - การประมาณค่าใช้เพื่อ : ทำนายพื้นที่รอบจุดข้อมูล/ค้นหาจุดที่อยู่ในพื้นที่โดยรอบ/เลือกฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์เพื่อแสดงความแปรปรวน	วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (Moving average) ฟังก์ชันกระดูกงู (Splines) คริกิง (Kriging)

วิธีการประมาณค่าในช่วงประเภทต่างๆ แสดงดังรายละเอียดต่อไปนี้

- การวิเคราะห์พื้นผิวแนวโน้ม

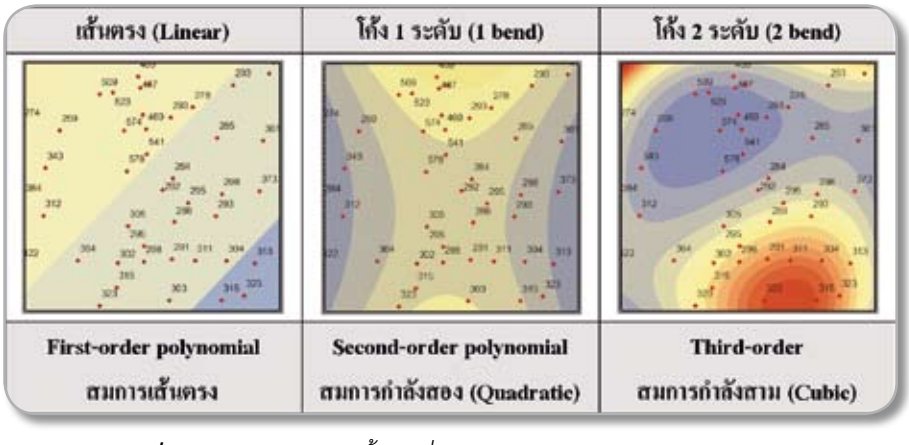
เป็นวิธีการประมาณค่าในช่วงที่ง่ายที่สุด ใช้แสดงความแปรผันของข้อมูลอย่างกว้างๆ โดยอาศัยสมการถดถอยเชิงพหุนามมีแนวคิด คือ การปรับเส้นหรือพื้นผิวพหุนามให้สอดคล้องกับจุดข้อมูล คล้ายการทาบแผ่นกระดาษให้อยู่ในแนวที่ผ่านจุดข้อมูลทุกจุด (การ Fitting) แสดงในภาพที่ 4.66



เส้นถดถอยจะถูกลากในแนวที่ผลรวมของกำลังสอง $\Sigma(Zi\text{-}Zi)^2$ มีค่าน้อยที่สุด ดังภาพด้านซ้ายเส้นประสีดำเปรียบเสมือนแผ่นกระดาษราบที่วางตัวผ่านจุดที่เหมาะสมที่สุดของชุดข้อมูล ดังนั้นค่าที่ได้จากการประมาณจะมีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่าความเป็นจริง

ภาพที่ 4.66 *แสดงแนวคิดการวิเคราะห์พื้นผิวแนวโน้ม*

จากภาพที่ 4.66 หากสามารถปรับเส้นตรงที่ลากผ่านจุดข้อมูลให้มีความโค้งตามแนวค่าข้อมูลได้ก็จะทำให้แสดงความถูกต้องของผลการประมาณได้มากขึ้น อย่างไรก็ตามเราสามารถใช้สมการพหุนามอันดับที่สูงขึ้นสำหรับการเขียนกราฟที่เข้ากับการกระจายข้อมูลที่ไม่เป็นเส้นตรงดังภาพที่ 4.67



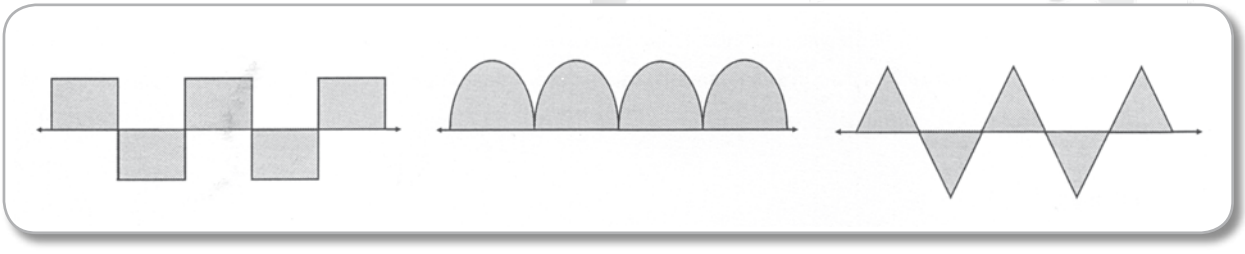
ภาพที่ 4.67 *แสดงลักษณะพื้นผิวที่ได้จากการประมาณพหุนามระดับต่างๆ*

การวิเคราะห์พื้นผิวแนวโน้มจะใช้สำหรับ

- แสดงการเปลี่ยนแปลงพื้นผิวจากบริเวณที่สนใจสู่บริเวณอื่น ดังเช่น ลักษณะการกระจายตัวของสารมลภาวะจากปล่องควันในโรงงานอุตสาหกรรม
- ใช้พิจารณาเพื่อลดผลกระทบของแนวโน้มวงกว้าง (Global trend) ก่อนทำการประมาณค่าจริง

- อนุกรมฟูเรียร์

เป็นการบรรยายความแปรผันของพื้นที่ใน 1 หรือ 2 มิติ โดยจำลองความแปรผันที่สังเกตด้วยการใช้คลื่นไซน์ และโคไซน์เชิงเส้นตรงร่วมกัน แสดงลักษณะดังภาพที่ 4.68 อนุกรมฟูเรียร์มิติเดียวถูกใช้วิเคราะห์อนุกรมเวลา และศึกษาการเปลี่ยนแปลงด้านภูมิอากาศบางประการ ส่วนอนุกรมฟูเรียร์สองมิติได้รับการพิสูจน์ว่ามีประโยชน์สำหรับการศึกษาธรณีวิทยาชั้นตะกอน อย่างไรก็ตามพบว่าลักษณะพื้นผิวส่วนใหญ่ของโลกมีความซับซ้อนเกินกว่าจะแสดงความแปรผันอย่างสม่ำเสมอได้ ยกเว้นความแปรผันที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ ดังนั้นจึงไม่ค่อยนิยมใช้วิธีการอนุกรมฟูเรียร์ในการประมาณค่า



***ภาพที่** 4.68 แสดงตัวอย่างลักษณะของอนุกรมฟูเรียร์*

- วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่

เป็นการประมาณค่าโดยใช้หลักการที่ว่า “ค่าสังเกตของตำแหน่งที่อยู่ใกล้กันย่อมมีแนวโน้มของค่าใกล้เคียงกันมากกว่าตำแหน่งที่อยู่ไกลกันออกไป” พื้นผิวที่ได้จากการประมาณค่าจะขึ้นกับฟังก์ชันหรือตัวแปรเสริม (Parameter) ของฟังก์ชันที่ใช้และโดเมนที่จุดข้อมูลตัวอย่างถูกดึงมา วิธีการค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่เป็นกลวิธีเพื่อทำให้พื้นผิวเรียบ ซึ่งค่าต่ำสุด-สูงสุดบนผิวหน้าที่ได้จากการประมาณค่าจะมีค่าไม่เกินค่า Z-value ของข้อมูลที่นำมาประมาณค่า ถือเป็นการประมาณค่าที่มีความแม่นตรง (Exact interpolators)

การคำนวณค่า ณ ตำแหน่งที่ต้องการจึงต้องคำนึงถึงตำแหน่งของข้อมูล โดยให้น้ำหนักของข้อมูลตำแหน่งที่อยู่ใกล้มากกกว่าตำแหน่งที่อยู่ไกลออกไป วิธีการคำนวณค่าน้ำหนักสามารถกระทำได้ 2 วิธี คือ การคำนวณค่าระยะทางกลับโดยน้ำหนัก (Inverse Distance Weighting : IDW) และวิธีการลดลงเชิงเส้น (Linear decrease)

ค่าระยะทางกลับโดยน้ำหนัก

อนุมานว่าตำแหน่งที่ต้องการประมาณค่าจะได้รับอิทธิพลจากข้อมูลที่อยู่ใกล้ (Local influence) มากกว่าค่าที่อยู่ไกลออกไป (ภาพที่ 4.70) มีรูปสมการทั่วไป ดังต่อไปนี้

$$\hat{Z}(s_0) = \sum_{i=1}^{N} \lambda_i Z(s_i)$$

โดย

$\hat{Z}(s_0)$ คือ ค่าที่ ณ ตำแหน่งที่ต้องการทำนาย

N คือ จำนวนจุดตัวอย่างที่อยู่รอบตำแหน่งที่ต้องการทำนายค่า

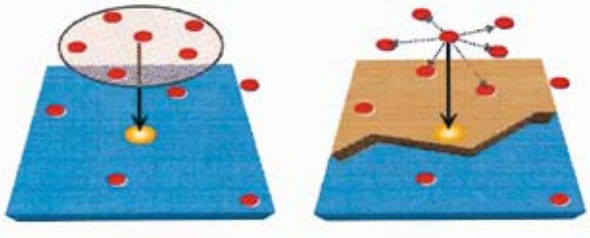
λ คือ น้ำหนักที่กำหนดให้กับค่าที่วัด

$Z(s_i)$ คือ ค่าสังเกตุที่ตำแหน่ง s_i

เราสามารถควบคุมจุดที่มีนัยสำคัญต่อการประมาณค่าโดยการกำหนดค่ายกกำลัง (Power) ซึ่งการกำหนดค่าเลขยกกำลังสูงๆ จะเป็นการเน้นย้ำให้เลือกใช้ค่าที่อยู่ใกล้จุดมากที่สุด ส่งผลให้พื้นผิวจากการประมาณมีความเรียบน้อยลง (Less smooth) ต่างจากการกำหนดค่ายกกำลังน้อยๆ ที่ให้พื้นผิวจากการประมาณเรียบมากกว่า

หมายเหตุ

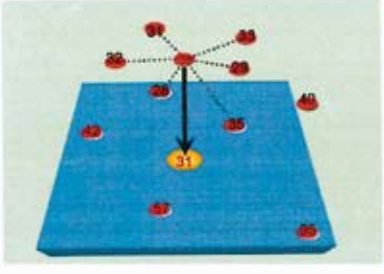
- วิธี IDW จะทำงานได้ดีที่สุดหากข้อมูลมีการกระจายตัวหนาแน่น
- การประมาณค่าจะไม่คำนึงถึงแนวโน้ม (Trend) หรืออิทธิพลของปัจจัยอื่นที่มีต่อข้อมูล
- จะไม่มีค่าที่ประมาณได้มากกว่า หรือน้อยกว่าข้อมูลตั้งต้น
- สามารถลดปัญหาการเลือกจำนวนจุดประมาณค่าด้วยการกำหนด จำนวนของจุด (Number of points) และรัศมีพื้นที่ (Sample size radius)
- สามารถป้องกันผลการประมาณค่าเกินขอบเขตที่ต้องการด้วยการกำหนดตัวกั้นของการประมาณค่าในช่วง (Interpolation barrier)



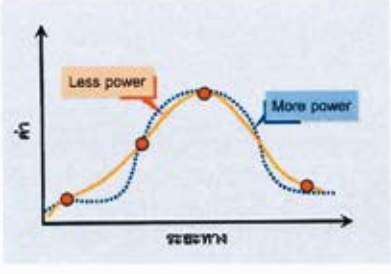
การกำหนดรัศมีประมาณค่า

การกำหนดตัวกั้น

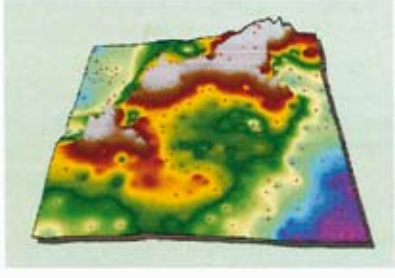
***ภาพที่** 4.69 แสดงลักษณะการกำหนดรัศมีค่า และตัวกั้นสำหรับประมาณค่า ด้วยวิธีส่วนกลับระยะทาง*



***ภาพที่** 4.70 แนวคิดการประมาณค่าด้วยวิธี IDW*



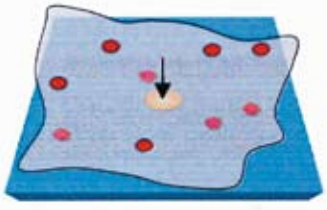
***ภาพที่** 4.71 แสดงความแตกต่างของค่ายกกำลัง*

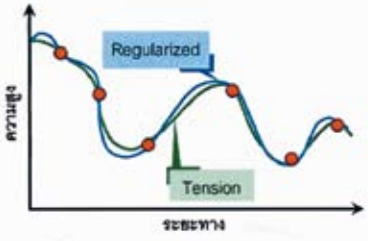


***ภาพที่** 4.72 ตัวอย่างพื้นผิวที่ถูกประมาณด้วย IDW*

- ฟังก์ชันกระดูกงู

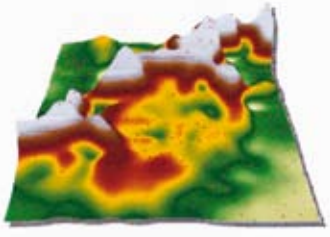
ฟังก์ชันนี้เป็นลักษณะของการประมาณค่าต่อกันเป็นช่วงที่สามารถปรับให้สอดคล้องกับจุดข้อมูลจำนวนไม่มากได้ คล้ายกับการตรึงแผ่นยาง (Rubber sheet) ผ่านจุดข้อมูลที่ทราบค่า (ภาพที่ 4.73) ผลที่เกิดจากการตรึงค่าดังกล่าวทำให้ได้ค่าจากการประมาณสูง-ต่ำเกินกว่าค่าตั้งต้น แต่จะต้องผ่านจุดที่เป็นค่าตั้งต้น ด้วยเหตุนี้จึงนิยมใช้ฟังก์ชันกระดูกงูเพื่อประมาณค่าต่ำสุด และสูงสุดที่เกินจากความเป็นจริง เช่น การค้นหาสายแร่ เป็นต้น



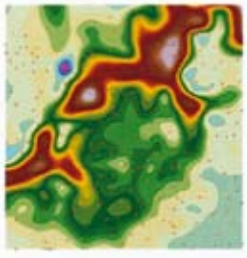


ภาพที่ 4.73 *แนวคิดการประมาณค่าด้วยวิธีฟังก์ชันกระดูกงู*

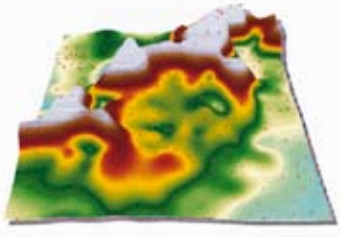
ฟังก์ชันกระดูกงูสามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ Tension และ Regularized พื้นผิวที่ได้จากการใช้ฟังก์ชันกระดูกงูชนิด Tension ค่อนข้างเรียบกว่าชนิด Regularized อาจกล่าวได้ว่าการประมาณค่าด้วยฟังก์ชันกระดูกงูชนิด Tension จะมีความยืดหยุ่นของพื้นผิวที่ได้น้อยกว่า ดังภาพที่ 4.74 และ 4.75 ทั้งนี้ข้อดีของวิธีฟังก์ชันกระดูกงู คือ สามารถประมาณค่าออกนอกช่วงค่าข้อมูลที่มีอยู่ได้



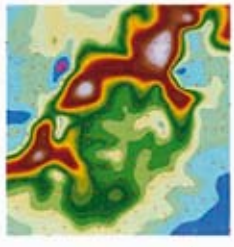
ภาพที่ 4.74 *ตัวอย่างพื้นผิวที่ถูกประมาณด้วย Spline (Regularized) มุมมอง 3 มิติ*



ภาพที่ 4.75 *ตัวอย่างพื้นผิวที่ถูกประมาณด้วย Spline (Regularized) มุมมอง 2 มิติ*



ภาพที่ 4.76 *ตัวอย่างพื้นผิวที่ถูกประมาณด้วย Spline (Tension) มุมมอง 3 มิติ*



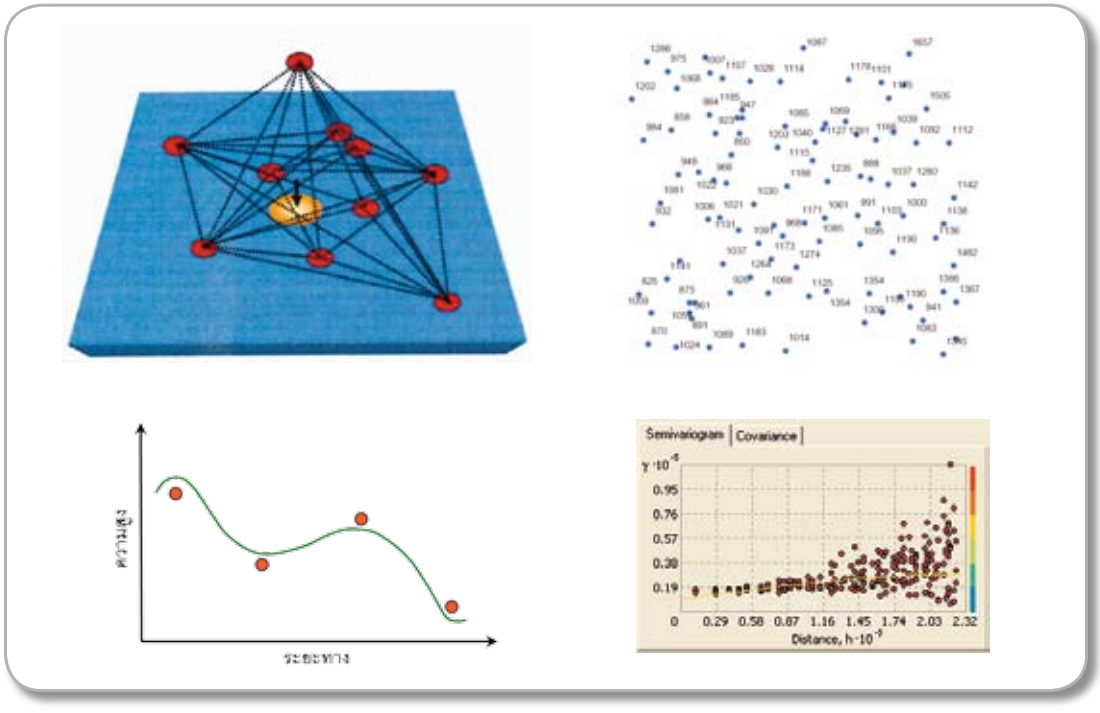
ภาพที่ 4.77 *ตัวอย่างพื้นผิวที่ถูกประมาณด้วย Spline (Tension) มุมมอง 2 มิติ*

ข้อจำกัด

- หากจุดตัวอย่างอยู่ใกล้กัน และมีความแตกต่างของค่ามาก ผลการประมาณค่าจะให้ผลลัพธ์ที่ไม่ดีนัก
- ปรากฏการณ์ที่เป็นสาเหตุให้ค่าพื้นผิวจากการคำนวณเปลี่ยนอย่างรวดเร็ว เช่น ลักษณะของหน้าผา หรือบริเวณแนวรอยเลื่อนของพื้นผิว จะไม่สามารถแสดงผลได้ดีเท่าที่ควร

- คริกิง (Kriging)

เป็นตัวประมาณค่าที่ให้ค่าการประมาณที่ค่อนข้างแม่นยำ ผลการประมาณที่ดีที่สุดจะมีค่าตรงกับข้อมูลตั้งต้น วิธีการคริกิงมีความคล้ายคลึงกับวิธีส่วนกลับระยะทางตรงที่เป็นการประมาณค่าด้วยเทคนิคค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก (Weight average technique) จากจุดข้อมูลที่อยู่รอบตำแหน่งที่ต้องการทำนายค่า แต่จะมีสมการคำนวณที่อ้างเหตุผลทางคณิตศาสตร์มากกว่า วิธีคริกิงอาศัยการวัดระยะห่างของจุดข้อมูลทุกคู่ (Pairs of sample point) (ภาพที่4.78) เพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกันเชิงพื้นที่ (Spatial autocorrelation) โดยใช้แบบจำลองเซมิแวริโอแกรม (Semi-variogram) ภาพที่ 4.79



ภาพที่ 4.78 *แนวคิดการประมาณค่าคริกิง*

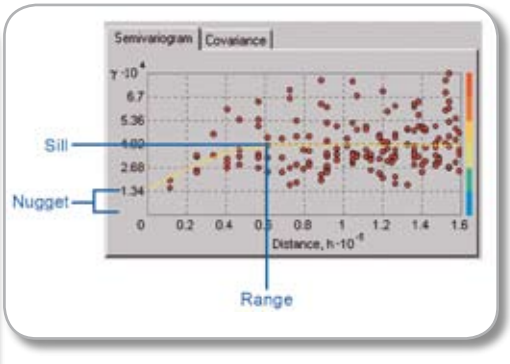
ภาพที่ 4.79 *ลักษณะการเปรียบเทียบคู่ข้อมูลในการประมาณค่าด้วยเซมิเวริโอแกรม*

จากภาพที่ 4.79 เนื่องจากการประมาณค่าคริกิงใช้หลักการเดียวกับการประมาณค่าวิธีอื่นๆ คือ สิ่งที่อยู่ใกล้กันจะมีความคล้ายคลึงกันมากกว่าสิ่งที่อยู่ห่างออกไป ดังนั้นเมื่อคู่ระยะห่างของข้อมูลถูกแสดงในเซมิเวริโอแกรม (จุดสีแดง 1 จุด แทนระยะทางระหว่างจุดข้อมูล 1 คู่) ดังนั้นจึงพบว่าจุดที่อยู่ใกล้กัน (ระยะห่างตามแกน X น้อย) ค่าความแปรปรวนที่แสดงในเซมิเวริโอแกรม (แกน Y) จะมีค่าน้อย โดยทั่วไปเมื่อแสดงกราฟเซมิเวริโอแกรมแล้ว ผู้วิเคราะห์จะพิจารณาองค์ประกอบดังต่อไปนี้

Sill คือ ค่าเซมิเวริโอแกรมสูงสุดที่ไม่เปลี่ยนแปลงอีกแม้ระยะทางเพิ่มขึ้น แสดงว่าความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล ณ ตำแหน่งนี้เป็นต้นไป ค่าความแปรปรวนของความแตกต่างทุกค่าไม่แปรผันตามระยะทางระหว่างจุดข้อมูล

Nugget คือ ค่าเซมิเวริโอแกรมที่ระยะทาง 0 (เป็นค่าที่แสดง Independent error ของชุดข้อมูล)

Range คือ ระยะทางตามแนวแกน X จากตำแหน่งที่มีค่าเซมิเวริโอแกรมต่ำสุดกระทั่งมีค่าสูงสุด (ตำแหน่ง Sill) ดังนั้นช่วงระยะ Range จะแสดงให้ทราบว่าช่วงระยะห่างเท่าใดของจุดข้อมูลที่ค่าความแตกต่างของจุดข้อมูลขึ้นกับระยะทาง

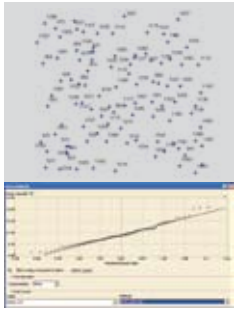


ภาพที่ 4.80 *แนวคิดการประมาณค่าคริกิง*
ที่มา : Using ArcGIS Geostatistical Analyst (ESRI, 2001)

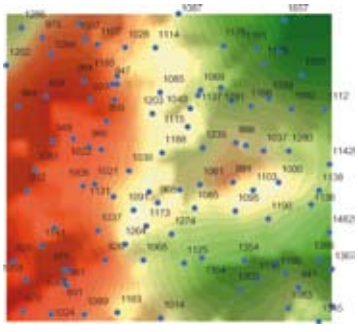
การทำนายค่าด้วยวิธีคริกิงถูกนำไปใช้กับงานหลายสาขา อาทิเช่น ด้านวิทยาศาสตร์สุขภาพ ด้านธรณีเคมี (Geochemistry) ด้านอุตุนิยมวิทยา และแบบจำลองสารมลภาวะในอากาศ เป็นต้น วิธีคริกิงที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ประกอบไปด้วย Ordinary kriging และ Universal kriging โดย

Ordinary kriging : ทำการประมาณค่าโดยสมมติว่าชุดข้อมูลปราศจากอิทธิพลของ Trend
Universal kriging : ทำการประมาณค่าโดยสมมติว่าชุดข้อมูลมี Trend อยู่

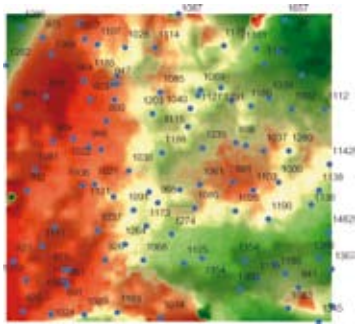
แสดงตัวอย่างลักษณะพื้นผิวที่ถูกประมาณค่าด้วยวิธีคริกิงดังภาพที่ 4.81



ลักษณะข้อมูลและการกระจายตัวแบบปกติ (Normal distribution)



คริกิง ชนิด Oridinary



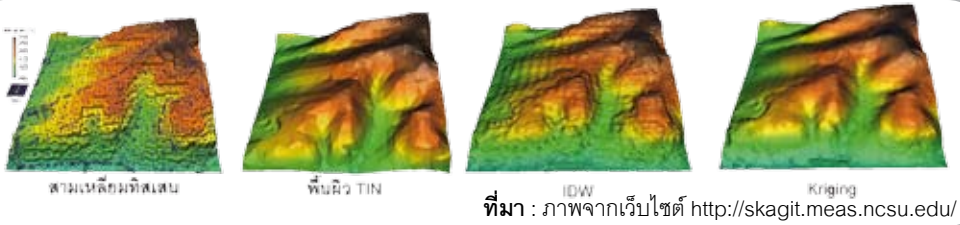
คริกิง ชนิด Universal

***ภาพที่** 4.81 แสดงลักษณะพื้นผิวที่ได้จากการประมาณค่าด้วยวิธีคริกิง*

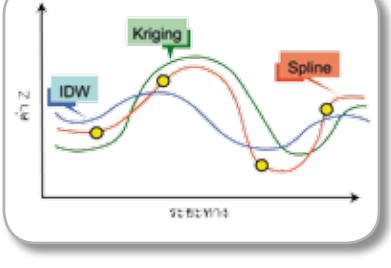
หมายเหตุ

- พื้นผิวที่ถูกประมาณจากวิธีคริกิงอาจมีค่าสูงหรือต่ำกว่าค่าเริ่มก็ได้
- การประมาณค่าด้วยวิธีคริกิงจะให้ผลที่เหมาะสมก็ต่อเมื่อข้อมูลที่นำมาใช้ถูกสุ่มมาด้วยกระบวนการเฟ้นสุ่ม (A stationary stochastic process) และข้อมูลมีการกระจายตัวอย่างปกติ (Normal distribution)
- หากข้อมูลไม่ได้มีการกระจายตัวอย่างปกติ และผลการวิเคราะห์เซมิเวริโอแกรมแล้วแสดงการกระจายข้อมูลไม่ดีพอ ไม่ควรเลือกประมาณค่าด้วยวิธีคริกิง
- ข้อดีของวิธีคริกิง คือ เป็นวิธีที่สามารถแสดงค่าความคลาดเคลื่อนจากการทำนายค่าได้ ในขณะที่วิธีอื่นไม่สามารถทำได้

จากวิธีการประมาณค่าที่ได้กล่าวถึงข้างต้นเปรียบเทียบความแตกต่างของพื้นผิวที่ประมาณค่าได้จากวิธีสามเหลี่ยมทิสเสน TIN ส่วนกลับระยะทาง ฟังก์ชันกระดูกงู และคริกิง ที่ได้จากชุดข้อมูลจุดตัวอย่างเดียวกันดังภาพที่ 4.82 และตารางสรุปที่ 4.5



ที่มา : ภาพจากเว็บไซต์ http://skagit.meas.ncsu.edu/



กราฟแสดงลักษณะความแตกต่างของพื้นผิวที่ได้จากตัวประมาณค่าท้องถิ่น (Local interpolator) ประเภท IDW Spline และ Kriging จะพบว่าวิธี IDW ค่าที่ได้จะไม่เกินกว่าค่าตั้งต้นในการประมาณ เป็นวิธีการที่เหมาะกับการประมาณปรากฏการณ์ที่มีการกระจายตัวของค่าข้อมูลขึ้นกับระยะทาง ส่วนวิธี Spline ผลจากการประมาณจะได้พื้นผิวเรียบโค้ง ซึ่งอาจได้ค่าสูงหรือต่ำเกินกว่าค่าเริ่มต้น แต่การประมาณพื้นผิวจะต้องผ่านจุดทุกจุดของค่าเริ่มต้น ในขณะที่วิธี Kriging เป็นวิธีประมาณค่าที่ซับซ้อนมาก พื้นผิวที่ได้จากการประมาณค่าอาจมีค่าสูงหรือต่ำกว่าค่าจริงแต่จะให้ค่าที่เหมาะสมที่สุด

***ภาพที่** 4.82 แสดงการเปรียบเทียบลักษณะพื้นผิวจากการประมาณค่าด้วยวิธีต่างๆ*

ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบคุณลักษณะการประมาณค่าวิธีต่างๆ

วิธี	ลักษณะแบบจำลอง	ผลลัพธ์ที่ได้	ระยะเวลาคำนวณ	ลักษณะตัวประมาณค่า	ข้อดี	ข้อเสีย
Global polynomial	แบบจำลองเชิงกำหนด	พื้นผิวจากการทำนาย	เร็ว	Inexact	ตัวแปรเสริมน้อย	ไม่สามารถประเมินผลการทำนายและค่าคลาดเคลื่อน ได้ และบางครั้งได้ค่าเกินความเป็นจริง
Local polynomial	แบบจำลองเชิงกำหนด	พื้นผิวจากการทำนาย	ปานกลาง	Inexact	ตัวแปรเสริมมาก	ไม่สามารถประเมินผลการทำนายและค่าคลาดเคลื่อนได้
IDW	แบบจำลองเชิงกำหนด	พื้นผิวจากการทำนาย	เร็ว	Exact	ตัวแปรเสริมน้อย	ไม่สามารถประเมินผลการทำนายและค่าคลาดเคลื่อนได้ และอาจพบปัญหาฟองกลม (Bulls eyes) รอบจุดตัวอย่าง
Spline	แบบจำลองเชิงกำหนด	พื้นผิวจากการทำนาย	ปานกลาง	Inexact	ยืดหยุ่น	ไม่สามารถประเมินผลการทำนายและค่า คลาดเคลื่อนได้
Kriging	เฟ้นสุ่ม (Stochastic)	- พื้นผิวจากการทำนาย - แสดงค่าผิดพลาด - แสดงค่าความน่าจะเป็น	ปานกลางถึงช้า	Exact/ Inexact	ยืดหยุ่นสูง สามารถประเมินค่าสหสัมพันธ์ของจุดข้อมูล, ค่าคลาดเคลื่อนของปัจจัย และผลการประมาณค่าได้	ต้องผ่านการวิเคราะห์หลายขั้นตอน และข้อมูลต้องมีการแจกแจงแบบปกติ

หมายเหตุ ดัดแปลงจาก ESRI

11. ความผิดพลาดในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Error in GIS)

ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ สามารถเกิดขึ้นได้ทุกขั้นตอนในกระบวนการสร้างและใช้ข้อมูลเชิงพื้นที่ จากจุดเริ่มต้นการรวบรวมข้อมูล การนำเข้าข้อมูล การสร้างฐานข้อมูล จนถึงผลการวิเคราะห์ที่สมบูรณ์ ความผิดพลาดในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ที่พบสามารถแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ความผิดพลาดที่พบในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

ขั้นตอน	ความผิดพลาด
การรวบรวมข้อมูล	- ความผิดพลาดในการรวบรวมข้อมูลภาคสนาม - ความผิดพลาดของแผนที่ที่ใช้เป็นแหล่งข้อมูล - ความผิดพลาดในการวิเคราะห์ข้อมูล การรับรู้จากระยะไกล
ข้อมูลนำเข้า	- ความไม่แม่นยำในการทำข้อมูลให้เป็นระบบดิจิทัล ข้อมูลที่เกิดจากบุคลากร และเครื่องมือ - ความไม่ถูกต้องของลักษณะข้อมูลภูมิศาสตร์ เช่น ขอบภาพชายป่า หรืออาณาบริเวณที่มีขอบเขตไม่ชัดเจน
การจัดเก็บข้อมูล	- ความแม่นยำของตัวเลขไม่เพียงพอ - ความแม่นยำเชิงพื้นที่ไม่ดีพอ

ตารางที่ 4.6 ความผิดพลาดที่พบในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (ต่อ)

ขั้นตอน	ความผิดพลาด
การจัดการและประมวลผลข้อมูล	- ช่วงชั้นการจำแนกไม่เหมาะสม - ความคลาดเคลื่อนของอาณาบริเวณ - ความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการซ้อนทับข้อมูลหลายชั้น - การเหลื่อมของขอบเขตที่เกิดจากกระบวนการซ้อนทับข้อมูล
ข้อมูลผลลัพธ์	- มาตราส่วนที่ไม่ละเอียดพอ - ความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากความไม่ถูกแม่นยำของอุปกรณ์ด้านแสดงผล - ความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากกระดาษ/สื่อ แสดงผลไม่คงตัว
การใช้ประโยชน์ผลลัพธ์	- ความเข้าใจสารสนเทศของผลลัพธ์ไม่ถูกต้อง - การใช้สารสนเทศที่ไม่เหมาะสมกับงาน

ที่มา : Aronoff (1989)

11.1 ความคลาดเคลื่อนจากการรวบรวมข้อมูล

ความคลาดเคลื่อนเกิดจากแหล่งข้อมูลที่นำเข้าสู่ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ซึ่งอาจมาจากการตรวจวัดในสนามที่ไม่มีความละเอียดเพียงพอ อุปกรณ์ไม่มีความถูกต้องหรือการบันทึกข้อมูลที่ผิดพลาด ในกรณีที่ข้อมูลจากรูปถ่ายทางอากาศ ภาพถ่ายจากดาวเทียม มักเกิดความผิดพลาดจากวิธีการทางโฟโตแกรมเมตรี (Photogrammetry) ที่ใช้ในการเขียนแผนที่ หรือวัดระดับความสูง นอกจากนี้แล้วการแปลตีความมักจะเกิดความคลาดเคลื่อนในการจำแนกและทำขอบเขตอาณาบริเวณ

11.2 ข้อมูลนำเข้า

อุปกรณ์นำเข้าข้อมูลที่ใช้นำเข้าตำแหน่งข้อมูลภูมิศาสตร์มักทำให้เกิดความผิดพลาดขึ้น เช่น กระดานป้อนข้อมูล โดยทั่วไปมีความถูกต้องในส่วนของมิลลิเมตร ความถูกต้องกระดานป้อนข้อมูลจะแปรปรวนไปตามตำแหน่ง เช่น ส่วนกลางของกระดานจะถูกต้องมากกว่าส่วนขอบกระดาน การที่ผู้ทำข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบดิจิทัลปรับแผนที่เข้ากับกระดานอาจเกิดความผิดพลาด ส่วนขอบเขตในแผนที่มีขนาดเล็กเมื่อป้อนข้อมูลจะมีพิกัดจำนวนมากมีส่วนทำให้เกิดความผิดพลาดในตำแหน่ง ไม่ว่าจะนำเข้าอย่างไรหากมีจำนวนมากความผิดพลาดก็จะเกิดขึ้นทุกกรณี ขอบเขตที่ปรากฏไม่คมพอทำให้เกิดความผิดพลาดได้ง่าย

11.3 การจัดเก็บข้อมูล

เมื่อข้อมูลมีการจัดเก็บในระบบ จำนวนหลักต้องครบถ้วน เช่นในระบบพิกัดยูนิเวอร์แซลทรานสเวิร์สเมอร์เคเตอร์จำนวนหลักต้องครบเจ็ดหลัก หรือเศษของหลักต้องแม่นยำ ดังนั้นต้องมีมากกว่า 7 หลัก การแก้ไขปัญหาในการจัดเก็บแบบนี้อาจเพิ่มการจัดเก็บจาก 64 บิต แทนที่จะเป็น 32 บิต สำหรับจำนวนตัวเลข ในกรณีการจัดเก็บข้อมูลในรูปแบบแรสเตอร์ ความละเอียดหรือผิดพลาดขึ้นอยู่กับขนาดของจุดภาพซึ่งมีความสัมพันธ์กับมาตราส่วน ไม่ว่าจะเป็นรูปแบบใด เวกเตอร์หรือแรสเตอร์ การเพิ่มความแม่นยำถูกต้อง จะต้องเพิ่มพื้นที่ในระบบคอมพิวเตอร์หรือเพิ่มค่าใช้จ่าย

11.4 การจัดการและประมวลผลข้อมูล

ในกระบวนการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์มักเกี่ยวข้องกับการซ้อนทับข้อมูลหลายชั้น หากมีจำนวนชั้นข้อมูลมากความผิดพลาดจะเพิ่มขึ้นตามลำดับ ขอบเขตของสิ่งเดียวกันอาจมีขอบเขตที่ไม่ตรงกันใน 2 ชั้นข้อมูลทำให้ความผิดพลาดเกิดขึ้นได้ รูปร่างของขอบเขตที่สลับซับซ้อนมักจะทำให้เกิดความผิดพลาดง่าย ในบางครั้งระบบการจำแนกซึ่งกำหนดขนาดเล็กที่สุดที่จัดเป็นหน่วยแผนที่ หรือหน่วยแผนที่ที่อาจมีหน่วยหลายชนิด

เมื่อซ้อนกับหน่วยที่ไม่ซับซ้อนจะทำให้เกิดความผิดพลาดขึ้นได้ เป็นต้น หรือการซ้อนทับข้อมูลที่มีมาตราส่วนต่างกัน มักจะเกิดความผิดพลาดเกิดขึ้นเสมอ

11.5 ข้อมูลพลลัพธ์

ในการพิมพ์ผลของแผนที่ ความผิดพลาดมักเกิดขึ้นบ่อยจากเครื่องพิมพ์ภาพพิมพ์ผล กระดาษที่ใช้อาจขยายตัวหรือหดตัว ทำให้ระยะทางในแผนที่เปลี่ยนไป หรือขนาดเส้นที่ลงจุดใหญ่เกินไป เมื่อเทียบกับมาตราส่วนที่ใช้

11.6 การใช้ประโยชน์พลลัพธ์

ความผิดพลาดอันเกิดจากการใช้รายงานที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์อย่างไม่ถูกต้อง ผลลัพธ์ที่ได้คือการแปลตีความผิดความหมาย ระดับความแม่นยำไม่เป็นที่ยอมรับ การวิเคราะห์ไม่เหมาะสมในการยอมรับ ความผิดพลาดนี้อาจจะไม่เกิดจากระบบแต่เกิดกับการตัดสินใจใช้ผลของการวิเคราะห์ ซึ่งอาจทำความเสียหายใหญ่หลวง นอกจากนี้ผู้ใช้ต้องมีความเข้าใจการใช้ประโยชน์ การใช้ข้อมูลกับมาตราส่วน มาตราส่วนขนาดเล็กเหมาะสำหรับผู้บริหารกำกับนโยบายมองภาพทั้งพื้นที่ มาตราส่วนขนาดใหญ่เหมาะสมกับการปฏิบัติการ เช่น การจัดทำแผนการใช้พื้นที่ระดับจังหวัด อาจใช้ข้อมูลในระดับมาตราส่วน 1: 50,000 การวางผังเมือง เทศบาล อาจใช้ข้อมูลในระดับมาตราส่วน 1: 4,000 หรือใหญ่กว่า การจัดทำโครงการชลประทานอาจใช้มาตราส่วน 1:1,000 หรือใหญ่กว่า เป็นต้น ความเหมาะสมต่างๆ เหล่านี้ ผู้ใช้ควรจะมีความเข้าใจ หากใช้มาตราส่วนขนาดใหญ่ ไม่สามารถมองภาพรวมทั้งหมดได้ หากใช้มาตราส่วนขนาดเล็กมองภาพได้แต่ไม่มีรายละเอียด เป็นต้น

บรรณานุกรม

เชาวลิต ศิลปะทอง. (2002). **มาตรฐานสารสนเทศ**. กรุงเทพฯ: สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน).

เลาว์ดอน เคนเนท ซี,. และเจน พี. เลาว์ดอน. (2545). **ระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการ**. (สัลยุทธ์ สว่างวรรณ, ผู้แปล). กรุงเทพฯ: เพียร์สันเอ็ดดูเคชั่นอินโดไชน่า.

แก้ว นวลฉวี. (2001). **การพัฒนามาตรฐานระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในระดับนานาชาติและในประเทศไทย**. กรุงเทพฯ: สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน).

กลุ่มมาตรฐานข้อมูล ศูนย์ภูมิสารสนเทศ สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน). (2001). **มาตรฐานภูมิสารสนเทศของ ISO/TC211 (ISO19100)**. กรุงเทพฯ: สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน).

จิตติมา เทียมบุญประเสริฐ. (2544). **ระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการ (Management information systems)**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: โปรแกรมวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันราชภัฏสวนดุสิต.

ณัฏฐพันธ์ เขจรนันทน์, และไพบูลย์ เกียรติโกมล. (2545). **ระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการ = Management information systems**. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน).

ทิพวรรณ หล่อสุวรรณรัตน์. (2545). **ระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการ = Management information systems**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: เอส แอนด์ จี กราฟิค.

ธาริน สิทธิธรรมชารี. (2549). **สร้างระบบฐานข้อมูลอย่างมืออาชีพ Access 2003**. [ม.ป.ท.]: ซัคเซส มีเดีย จำกัด.

นิภาภรณ์ คำเจริญ. (2545). **ระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการ = Management Information Systems: MIS**. กรุงเทพฯ: เอส.พี.ซี. พริ้นติ้ง.

ปทีป เมธาคุณวุฒิ. (2544). **เทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อการบริหารสถาบันอุดมศึกษา**. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ประภาวดี สืบสนธ์. (2543). **สารสนเทศในบริบทสังคม**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: สมาคมห้องสมุดแห่งประเทศไทย.

ศรีสอาด ตั้งประเสริฐ. (2541). **ฐานข้อมูลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์**. กรุงเทพฯ: คณะอักษรศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ศุภชัย สมพานิช. (2544). **สร้างระบบงานฐานข้อมูลด้วย Visual Basic**. [ม.ป.ท.]: อินโฟเพรส.

สรรค์ใจ กลิ่นดาว. (2542). **ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์: หลักการเบื้องต้น**. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

สิริพร กมลธรรม. (2549). **ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เบื้องต้น**. จาก http://www.gistda.or.th/gistda/ Htmlgistda/Html/HtmlEducation/Data/gis_fundamental.pdf

สุเพชร จิรขจรกุล. (2549). **ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ และการใช้โปรแกรม ArcGIS desktop เวอร์ชั่น 9.1**. นนทบุรี: เอส.อาร์ พริ้นติ้ง แมสโปรดักส์ จำกัด.

สุชาดา กีระนันท์. (2542). **เทคโนโลยีสารสนเทศสถิติ: ข้อมูลในระบบสารสนเทศ**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

Alden, C.L. and James N.M. (1998). **Database system concepts, management and application**. [n.p.]: The Dryden Press Harcourt Brace Collagecpublisher.

Alter, S. (1996). **Information systems: a management perspective**. 2nd edition. Menlo Park, Calif: The Benjamin/ Cummings.

An introduction to GIS. (n.d.). Retrieved October 7, 2006, from http://www-laep.ced.berkeley.edu/classes/la132/ htdocs07/readings/Bolstad/chapt1_GISfund.pdf

Aronoff, S. (1989). **Geographic information system: a management perspective**. [n.p.]: WDL Publications, Ottawa.

Bentley, T.J. (1998). **Managing information-avoiding overload. London: The Chartered Institute of Management Accountants.**

Blachut T.J., Chrzanowski A., and Saastamoinen, J. H. (1979). **"Urban surveying and mapping"**. New York: Springer- Verlag Inc.

Burrough, P.A. (1986). **ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เพื่อการประเมินค่าทรัพยากรที่ดิน**. (ศรีสอาด ตั้งประเสริฐ, ผู้แปล). กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว.

Calverton, M.D. (2001). **An introduction to GIS and geostatistics**. Retrieved September 30, 2006, from http://www.prev.org/ssg/documents/GISIntro.pdf

Campbell, J. (1991). **"Map use and analysis"**. [n.p.]: Wm. C. Brown Publishers.

Carbo, B., Stefano, C., and Shamkant B.N. (1992). **Conceptual database design an entity-relationship approach.** [n.p.]: The Bnjamin/Cummings Publishing Company, Inc.

Dangermond, J. (1982). **A classification of software components commonly used in geographic information system.** [n.p.]: Honolulu. HI.

Davis R.E., Foote F.S., Anderson J.M., and Mikhail E.M. (1981). **"Surveying: Theory and practice"**. [n.p.]: McGraw-Hill, Inc.

Demers, M.N. (2005). **Fundamentals of geographic information systems**. 3rd edition. America: John Wiley & Sons, Inc.

ESCAP. (1995). **Report of the expert group meeting on the development of the guidelines on GIS standards and standardization procedures**. New York: United Nations Economic and Social Commission for Asia and the Pacific.

Escobar, F., Hunter, G., Bishop, I., and Zerger, A. (2001). **Introduction to GIS**. Retrieved March 27, 2007, from http://www.sli.unimelb.edu.au/GISweb/GISModule/GISTheory.pdf

ESRI. (1995). **Explore your world with a geographic information system**. America : [n.p].

ESRI. (2000). **Model builder for arcview spatial analyst 2 (an esri white paper)**. America : [n.p].

ESRI. (2001). **Using ArcGIS geostatistical analyst. united states of america**. America: [n.p.].

Freeman, H. (1974). **Computer processing of line-drawing images. computing survey.**

GDTA, GISTDA and Khon Kaen University with Support of The French Ambassy. (n.d). **Principles of GIS and complementarity with remote sensing data (training course) [Electronic version].**

GIS for Beginners. (2001).Retrieved October 7, 2006, from http://www.aag.org/sustainable/resources/student_ guide/ 3%20the%20rest/3_GIS_for_beginners.pdf

GIS standards and standardization procedures. [n.d.]. New York: United Nations Economic and Social Commission for Asia and the Pacific.

Haag, S., Cummings, M., and Dawkins, J. (2000). **Management information systems for the information age**. 2nd edition. Toronto: Irwin McGraw Hill.

Healey, R.G. (1991). **Database management systems**. [n.p.]: Longman Scientific & Technology.

Henry, F., and Abraham, S. (1991). **Database system concepts**. 2nd edition. [n.p.]: McGraw Hill. Inc.

http://ksi.cpsc.ucalgary.ca/KAW/KAW96/laresgoiti/k02.gif

http://service.nso.go.th/nso/knowledge/estat/esta1_1.html

http://www.cs.uwyo.edu/~yu/DBMS/images/db.jpg

http://www.nrru.ac.th/learning/science/sc_007/03/unit3/data1.html

http://www.thaigoogleearth.com

Hurvitz, P. (2004). **Vector analysis 2 : topological overlay**. Retrieved October 7, 2006, from http://GIS. washington.edu/ esrm250/cfr250/lessons/vector_analysis2/index.html

IEAS and IWGIS. (1997). **Proceedings of the Geo-Informatics Conference of the International Eurasian Academy of Sciences and the Fourth International Workshop on Geographical Information Systems**. Beijing, China: [n.p.].

Jan, L.H. (1998). **Relational database design clearly explained. a professional**. [n.p.]: [n.p.].

Kuhn, W. (1997). **Toward implemented geoprocessing standards: converging standardization tracts for ISO/ TC211 and OGC. ISO/TC211 N418**. [n.p.]: [n.p.].

Laudon, K.C., and Laudon, J.P. (1999). **Essentials of management information systems: transforming business and management**. New Jersey: Prentice Hall.

Lillesand, T.M., and Kiefer R.W. (1994). **"Remote sensing and image interpretation"**. America: John Wiley & Sons.

Longley et al. (2001). **Geographic information systems and science**. America: John Wiley & Sons.

MacFarlane, R. (2005). **A guide to GIS applications in integrated emergency management**. [n.p.]: Emergency Planning College, Cabinet office.

McLeod, Jr., Raymond, and George S. (2001). **Management information systems**. Upper Saddle, New Jersey: Prentice Hall International.

Micheal, N.D. (1999). **Fundamental of geographic information systems**. 2nd edition. New York: John Wiley & Sons.

Mikhail, E.M., Ackermann, F. (1976). **"Observations and least squares"**. [n.p.]: Harper & Row, Publishers, Inc.

Moffitt, F.H., and Mikhail, E.M. (1980). **"Photogrammetry"**. [n.p.]: Harper & Row, Publishers, Inc.

Nickerson, R.C. (1998). **Business and information systems**. Reading, Mass: Addison-Wesley.

O'Brien, J.A. (2001). **Introduction to information systems: essentials for the internet worked e-business enterprise**. 10th edition. Boston: McGraw-Hill/Irwin.

Open Geospatial Consortium (OGC) (2007). **Open consortium overview & vision**, from http://www.opengeospatial.org/ogc/vision/vision.htm.

Peter, R., and Carlos, C. (1995). **Database system design, implementation and management**. 2nd edition. [n.p.]: Boyd & Fraser publishing Company.

Post, A. (2000). **Management information system**. 2nd edition. [n.p.]: Saracevic.

Robinson, A., Sale, R., and Morrison, J. (1978). **"Elements of cartography"**. America: John Wiley & Sons

Schultheis, R. and Mary, S. (1998). **Management information systems: the manager's view**. 4th edition. Boston: Irwin/McGraw-Hill.

Siemer, J. (2006). **National summer institute for statistical and GIS analysis of crime and justice data: introduction to GIS**. Retrieved October 7, 2006, from http://www.uregina.ca/ arts/NSI/forms/ NSI_2006_ GIS1.pdf.

Stair, R.M. and George, W.R. (2001). **Principles of Information management system: a managerial approach**. 5th edition. Boston, M.A.: Course Technology.

Taylor, G. and Blewitt, G. (2006). **Intelligent positioning: GIS-GPS unification**. America: John Wiley & Sons.

Technical Committee 211 of the International Organization for Standardization (ISO/TC211). (2007). **ISO/ TC211 program of work**, from http://www.isotc211.org/pow.htm., and overview, via http:// www.isotc211.org/outreach/overview/overview.htm

Tom, H., (1988). **Standards: a cardinal direction for geographic information systems, in papers from the 1988 annual conference of the urban and regional information systems association**. Los Angeles, California: [n.p.]

Torge, W., and Jekeli, C. (1980). **"Geodesy: an introduction by"**. Berlin: Walter de Gruyter & Co.

Turban, E., Ephraim McLean and James, W. (2001). **Information technology for management: making connections for strategic advantage**. 2nd edition. Toronto: John Wiley & Sons.

Ullman, J.D. (1982). **Principles of database systems**. [n.p.]: Rockville, MD. Computer Science Press.

UN/ESCAP. (1998). **GIS standards and standardization: A handbook**. [n.p.]: [n.p.].

Universal of Missouri. (2002). **GIS introduction & overview**. Retrieved October 7, 2006, form http://msdisweb. missouri. edu/ presentations/intro_to_GIS/pdf/GIS_intro_over.pdf

Universal of Missouri. (2002). **The raster GIS**. Retrieved October 7, 2006, form http:// msdisweb.missouri.edu/ presentations/intro_to_GIS/pdf/Raster.pdf

University of Wisconsin. (2006). **Chapter 8 basic analysis**. Retrieved March 26, 2007, from http:// road.uww.edu/ road/zhangc/GIS370/Lecture/Chapter%208%20Basic%20Analysis.ppt.

Wood ,T. and Wood, J.B. (1981). **Consolidation of information: a handbook on evaluation restructuring and repackaging of scientific and technical information**. Paris: UNESCO.

Worboys, M. and Duckham, M. (2004). **GIS a computing perspective**. 2nd edition. New York: Washington, D.C.: CRC Press LLC.

Zwass, Vladimir. (1998). **Foundations of information systems**. Boston: Irwin/McGraw-Hill.

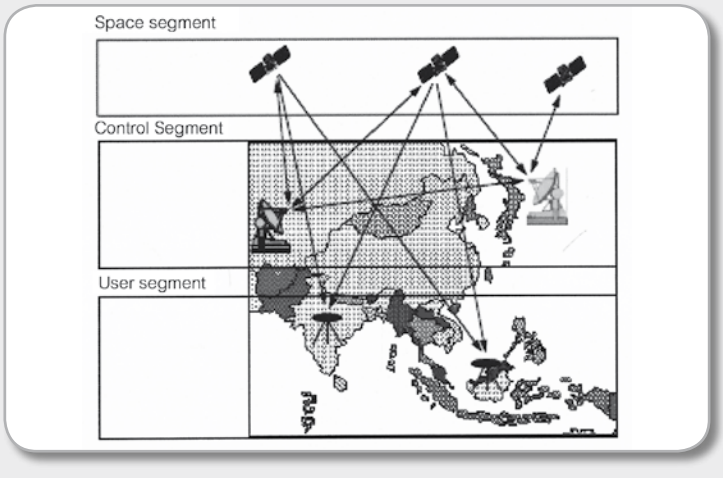
บทที่ 5

ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก (Global Positioning System : GPS)

1. บทนำ

1.1 ระบบดาวเทียมจีพีเอส (GPS systems)

ระบบดาวเทียมจีพีเอสเป็นระบบที่ใช้ในการหาพิกัดตำแหน่งโดยการรับสัญญาณจากดาวเทียมจีพีเอส ระบบดาวเทียมจีพีเอสถูกพัฒนาโดยกระทรวงกลาโหม (Department of defense) ประเทศสหรัฐอเมริกาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2516 โดยถูกออกแบบให้ใช้ประโยชน์ทางด้านการทหารเป็นหลัก แต่ก็ยอมให้พลเรือนใช้ได้บางส่วน แรงจูงใจหลักในการพัฒนาระบบนี้ก็เพื่อให้เป็นระบบที่สามารถใช้หาตำแหน่งได้ในทุกสภาพอากาศตลอด 24 ชั่วโมง และใช้ได้ทั่วโลก ผลจากการพัฒนาเทคโนโลยีและวิธีการทำงานในสนามเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการหาตำแหน่งด้วยดาวเทียมจีพีเอส ทำให้มีการใช้จีพีเอสกันอย่างแพร่หลายในงานด้านต่างๆ ของฝ่ายพลเรือน

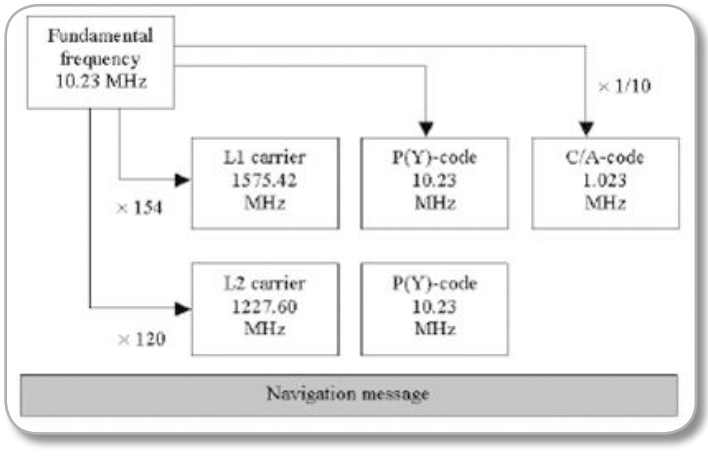


ภาพที่ 5.1 *ส่วนต่างๆ ในระบบดาวเทียมจีพีเอส (เฉลิมชนม์ สถิระพจน์, 2540)*

ระบบดาวเทียมจีพีเอสประกอบด้วยส่วนประกอบ 3 ส่วนหลัก คือ ส่วนอวกาศ (Space segment) ส่วนควบคุม (Control segment) และส่วนผู้ใช้ (User segment) โดยในแต่ละส่วนมีความสัมพันธ์กันดังนี้ ส่วนควบคุมจะมีสถานีติดตามภาคพื้นดินที่กระจายอยู่บนพื้นโลกเพื่อคอยติดตามการเคลื่อนที่ของดาวเทียม ทำให้สามารถคำนวณวงโคจรและตำแหน่งของดาวเทียมที่ขณะเวลาต่างๆ ได้ จากนั้นส่วนควบคุมก็จะทำนายวงโคจรและตำแหน่งของดาวเทียมทุกดวงในระบบล่วงหน้าแล้วส่งข้อมูลเหล่านี้ไปยังส่วนอวกาศซึ่งคือตัวดาวเทียมนั่นเอง ดาวเทียมจะทำการส่งข้อมูลเหล่านี้ออกมาพร้อมกับคลื่นวิทยุมายังโลก ในส่วนผู้ใช้เมื่อต้องการที่จะทราบตำแหน่งของจุดใดๆ ก็เพียงนำเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GPS ไปตั้งให้ตรงตำแหน่งจุดที่ต้องการหาตำแหน่ง แล้วนำข้อมูลที่ได้ไปประมวลผลก็จะทราบค่าพิกัด ณ ตำแหน่งที่ต้องการ ดูภาพที่ 5.1 ประกอบ

1.2 คลื่นสัญญาณจากดาวเทียมจีพีเอส

คลื่นสัญญาณที่ดาวเทียมจีพีเอสส่งออกมาในปัจจุบันนั้นเป็นคลื่นวิทยุที่มีสองความถี่ คือ ความถี่ 1,575.42 เมกะเฮิรตซ์ เรียกว่า คลื่น L1 มีความยาวคลื่น 19.03 เซนติเมตร และความถี่ 1,227.60 เมกะเฮิรตซ์ เรียกว่า คลื่น L2 มีความยาวคลื่น 24.42 เซนติเมตร ซึ่งคลื่นทั้งสองมีความถี่เป็น 154 เท่าและ 120 เท่าของความถี่พื้นฐานตามลำดับ(ความถี่พื้นฐานที่ถูกสร้างขึ้นมีความถี่ 10.23 เมกะเฮิรตซ์) คลื่นวิทยุดังกล่าวถูกผสมผสานรหัสและข้อมูลดาวเทียมไปกับคลื่นหรือเรียกสั้นๆ ว่า การกล้ำสัญญาณ (Modulation) ด้วยรหัสและข้อมูลดาวเทียม รหัสที่ใช้ในการกล้ำสัญญาณมีสองชนิด คือ รหัส C/A (Clear access or coarse acquisition code) ซึ่งมีความถี่ 1.023 เมกะเฮิรตซ์ หรือเทียบเท่า 1/10 เท่าของความถี่พื้นฐานและมีความยาวคลื่น 300 เมตร ส่วนรหัสอีกชนิดเรียกว่า รหัส P (Precise code) มีความถี่ 10.23 เมกะเฮิรตซ์ หรือเท่ากับความถี่พื้นฐานและมีความยาวคลื่น 30 เมตร โดยรหัส C/A นั้นเปิดให้พลเรือนใช้อย่างเสรี ในขณะที่รหัส P จะสงวนไว้ใช้เฉพาะในวงการทหารและหน่วยงานบางหน่วยงานของรัฐบาลสหรัฐอเมริกาเท่านั้น ในคลื่น L1 นั้นจะถูกกล้ำสัญญาณด้วยรหัสทั้งสองชนิด แต่คลื่น L2 จะถูกกล้ำสัญญาณเพียงรหัส P ส่วนข้อมูลดาวเทียมจะมีทั้งในคลื่น L1 และ L2 โดยข้อมูลการกำหนดดาวเทียม (Navigation message) ประกอบไปด้วย ข้อมูลวงโคจรดาวเทียม หรืออีฟิเมอริสดาวเทียม (Satellite ephemerides) ค่าแก้เวลานาฬิกาดาวเทียม (Satellite clock corrections) และสถานภาพของดาวเทียม (Satellite status) ดูภาพที่ 5.2 ประกอบ



ภาพที่ 5.2 *คลื่นสัญญาณจากดาวเทียมจีพีเอสในปัจจุบัน (Rizos, 1997)*

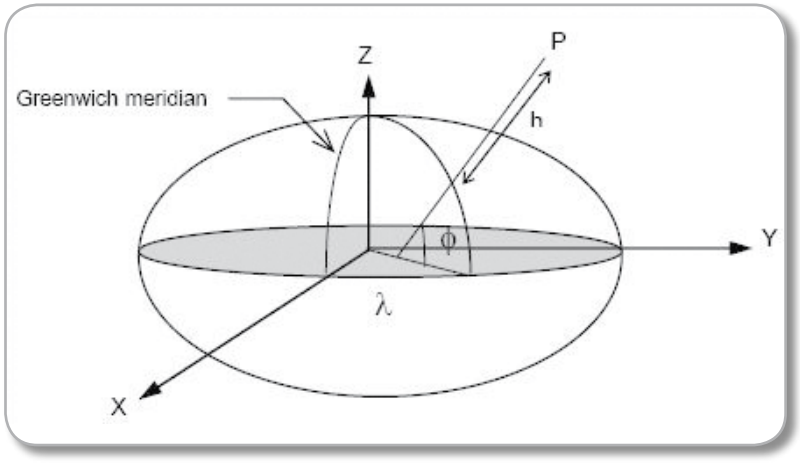
อย่างไรก็ดีคลื่นสัญญาณจีพีเอสนั้นกำลังจะมีการปรับปรุงในอนาคต รายละเอียดของโครงสร้างของคลื่นสัญญาณจีพีเอสในอนาคต รวมถึงผลกระทบด้านต่างๆ ที่จะเกิดขึ้นจากการมีคลื่นสัญญาณใหม่ได้ถูกกล่าวไว้ในเฉลิมชนม์ สถิระพจน์ (2544)

2. ระบบพิกัดและพื้นหลักฐาน (Coordinate systems and Datums)

2.1 ระบบพิกัด

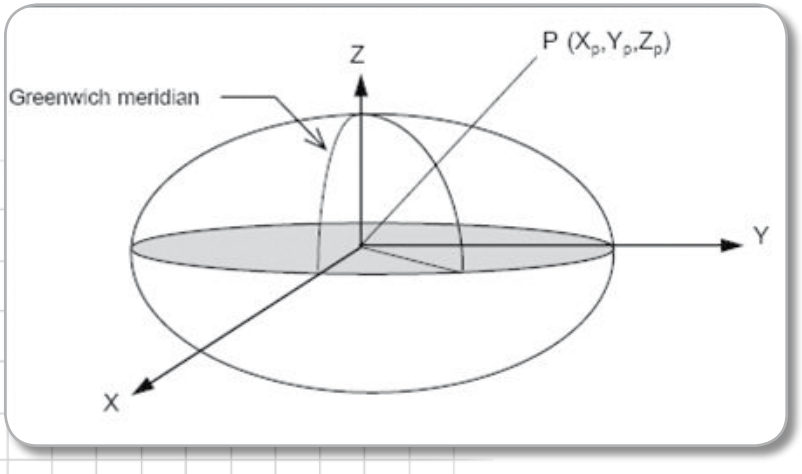
รูปทรงรีเป็นรูปทรงที่ถูกนำมาใช้ประมาณสัณฐานของโลกสำหรับงานที่ต้องการความถูกต้องสูง โดยทั่วไปมักเรียกว่า ทรงรี หรือสเฟียรอยด์ (Ellipsoid or Spheroid) ซึ่งถูกสร้างจากการหมุนวงรีรอบแกนโท (แกนหมุนของโลก) การกำหนดรูปทรงรีต้องอาศัยตัวแปรอย่างน้อย 2 ตัว คือ ค่าความยาวกึ่งแกนโท (b) และค่าความยาวกึ่งแกนเอก

(a) จากตัวแปรทั้งสอง เราสามารถคำนวณค่าตัวแปรอื่นๆ ได้ เช่น อัตราการยุบตัว (Flattening) และค่าการเยื้องศูนย์ (Eccentricity) เป็นต้น ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์สามารถหารายละเอียดได้จาก ชูเกียรติ วิเชียรเจริญ (2537) ดังนั้นในการกำหนดรูปทรงรีขึ้นมา เราจำเป็นต้องทราบตัวแปรอย่างน้อย 2 ตัวแปร จากการที่เราสร้างรูปทรงรีขึ้นจากตัวแปร 2 ตัว เราก็สามารถกำหนดค่าพิกัดที่อยู่บนรูปทรงรีได้ โดยใช้ตัวแปร 3 ตัว คือ ค่าละติจูด (ϕ) ลองจิจูด (λ) และความสูง (h) โดยที่ค่าละติจูดและลองจิจูดจะถูกกำหนดตามทิศทางของแนวเส้นตั้งฉากกับพื้นผิวทรงรี ค่าพิกัดในระบบนี้อาจถูกเรียกว่า ค่าพิกัดจีออเดติก (Geodetic coordinates) หรือค่าพิกัดภูมิศาสตร์ (Geographic coordinates) ซึ่งจะเป็นค่าพิกัดที่เป็นพื้นฐานของงานสำรวจรังวัดและทำแผนที่ ดูภาพที่ 5.3 ประกอบ



ภาพที่ 5.3 *ค่าพิกัดจีออเดติก*

ในสมัยก่อนค่าพิกัดทรงรีมักถูกใช้ในงานรังวัดภาคพื้นดินแบบดั้งเดิมโดยเฉพาะอย่างยิ่งกับงานรังวัดขั้นสูง แต่ต่อมาการคำนวณต่างๆ ที่เกี่ยวกับค่าพิกัดทรงรีได้ถูกแทนที่โดยการใช้ค่าพิกัดฉากคาร์ทีเซียน (Cartesian coordinates) ซึ่งได้จากงานรังวัดดาวเทียมจีพีเอสโดยตรง ค่าพิกัดฉากคาร์ทีเซียนอยู่ในรูป 3 มิติ คือ X Y และ Z (ค่า X และ Y ไม่ใช้ค่าพิกัดทางราบ และ Z ก็ไม่ใช้ค่าพิกัดทางดิ่ง) จุดศูนย์กำเนิดของค่าพิกัดชนิดนี้จะอยู่ที่จุดศูนย์กลางของรูปทรงรีและโดยทั่วไปจะอยู่ที่จุดศูนย์มวลสารของโลก โดยมีแกน Z วางตามแนวของแกนโทของรูปทรงรีซึ่งจะเป็นแนวเดียวกันกับแกนหมุนของโลก ส่วนแกน X จะอยู่บนระนาบศูนย์สูตรและวางตามแนวเมริเดียนที่ผ่านเมืองกรีนิช และแกน Y ตั้งฉากกับแกน X และ Z ซึ่งเป็นไปตามระบบมือขวา (โดยนิ้วหัวแม่มือเป็นทิศของแกน Z นิ้วชี้เป็นทิศของแกน X และนิ้วกลางเป็นทิศของแกน Y) ดูภาพที่ 5.4 ประกอบ



ภาพที่ 5.4 *ค่าพิกัดฉากคาร์ทีเซียน*

รายละเอียดของสูตรที่ใช้แปลงค่าพิกัดระหว่างค่าพิกัดทรงรี และค่าพิกัดฉากคาร์ทีเซียนสามารถหาอ่านได้จาก Hofmann-Wellenhof et al. (1997)

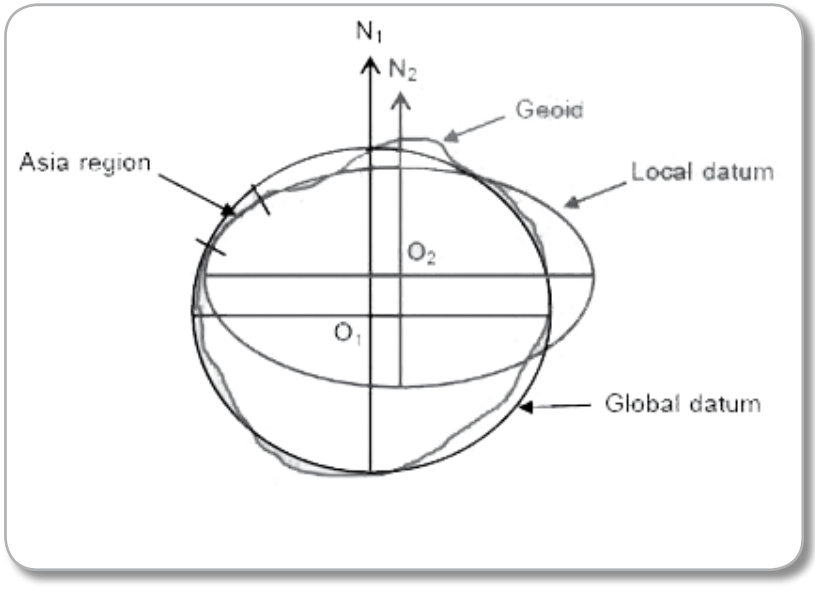
2.2 พื้นหลักฐาน

เมื่อพิจารณาพื้นหลักฐานทั่วโลกแล้ว รูปทรงรีอ้างอิงที่เหมาะสมที่สุดคือการกำหนดให้จุดศูนย์กำเนิดอยู่ที่จุดศูนย์มวลสารของโลก และให้มีขนาดและรูปร่างใกล้เคียงกับพื้นผิวจริงของโลกให้มากที่สุด พื้นหลักฐานที่มีจุดกำเนิดอยู่ที่จุดศูนย์มวลของโลก (Geocentric datum) พื้นหลักฐานนี้มีความสำคัญและจำเป็นต่อการคำนวณวงโคจรดาวเทียมเป็นอย่างมาก

ในช่วงปลายทศวรรษที่ 1960 (พ.ศ. 2503) ได้มีความพยายามที่จะกำหนดพื้นหลักฐานทั่วโลกขึ้นและได้เรียกว่าพื้นหลักฐาน World Geodetic System 1984 (WGS84) พื้นหลักฐานดังกล่าวถูกดูแลโดย The U.S. National Imagery and Mapping Agency ซึ่งมีค่าตัวแปรที่ใช้กำหนดรูปทรงรีอ้างอิงดังนี้ (Seeber, 1993) a = 6,378,137 เมตร และ f = 1/298.257223563 จากการที่ได้กำหนดให้พื้นหลักฐาน WGS84 เป็นพื้นหลักฐานทั่วโลกทำให้ผู้ใช้จีพีเอสทั้งหลายสามารถหาค่าพิกัดที่อยู่บนพื้นหลักฐาน WGS84 ได้โดยตรง ทั้งนี้เนื่องจากตำแหน่งของดาวเทียมจีพีเอสที่คำนวณได้จากข้อมูลวงโคจรดาวเทียม (Satellite orbits or ephemerides) นั้นอยู่บนพื้นหลักฐาน WGS84 เช่นกัน

อย่างไรก็ดี ในหลายประเทศได้มีการกำหนดพื้นหลักฐานท้องถิ่นขึ้น โดยการเลือกจุดศูนย์กำเนิดที่เหมาะสมสำหรับประเทศนั้นๆ ซึ่งปัจจัยหลักในการเลือกจุดศูนย์กำเนิดของพื้นหลักฐานคือ พยายามทำให้ค่าต่างระหว่างพื้นผิวจีออยด์และทรงรี (Geoid-ellipsoid separation : N) ให้มีค่าใกล้ศูนย์มากที่สุด ซึ่งเป็นการจัดวางให้รูปทรงรีอ้างอิงที่เลือกใช้แนบกับผิวจีออยด์มากที่สุดที่จุดศูนย์กำเนิดของพื้นหลักฐาน และแนวแกนโทของรูปทรงรีอ้างอิงจะวางในทิศทางที่ขนานกับแกนหมุนของโลก

การเลือกขนาดและรูปร่างของทรงรีที่นำมาใช้อ้างอิงและการกำหนดตำแหน่งของจุดศูนย์กำเนิดถือว่าเป็นการกำหนดพื้นหลักฐาน ดังนั้นความเข้าใจที่ว่ารูปทรงรีคือพื้นหลักฐานนั้นเป็นความเข้าใจที่ผิด ในหลายประเทศอาจใช้รูปทรงรีอันเดียวกันแต่มีจุดศูนย์กำเนิดที่ต่างกันก็จะถือว่าใช้พื้นหลักฐานคนละพื้นหลักฐานกัน การกำหนดจุดศูนย์กำเนิดของพื้นหลักฐานทำให้จุดศูนย์กลางของรูปทรงรีไม่ได้อยู่ที่จุดศูนย์มวลสารของโลก ภาพที่ 5.5 แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างระหว่างพื้นหลักฐานท้องถิ่นและพื้นหลักฐานทั่วโลก จากภาพที่ 5.5 จะเห็นได้ว่าจุดเดียวกันจะมีค่าพิกัดที่แตกต่างกัน (ไม่ว่าจะเป็นค่าพิกัดทรงรี หรือค่าพิกัดฉากคาร์ทีเซียน) ถ้าพื้นหลักฐานเป็นพื้นหลักฐานคนละอันกัน



ภาพที่ 5.5 *ความแตกต่างระหว่างพื้นหลักฐานท้องถิ่นและพื้นหลักฐานทั่วโลก*

ด้วยวิธีการกำหนดพื้นหลักฐานท้องถิ่นที่กล่าวมาจะเห็นได้ชัดว่าพื้นหลักฐานท้องถิ่นจะแนบกับพื้นผิวจีออยด์ในบริเวณนั้นได้ดีกว่าพื้นหลักฐานทั่วโลก การแปลงค่าพิกัดไปมาระหว่างพื้นหลักฐานมักจะถูกเรียกสั้นๆ ว่า การแปลงพื้นหลักฐาน (Datum transformation) ซึ่งโดยทั่วไปจะทำการแปลงค่าพิกัดให้อยู่ในรูปของค่าพิกัดฉากคาร์ทีเซียน และใช้พารามิเตอร์ 7 ตัว ในการแปลงระหว่างพื้นหลักฐาน ซึ่งประกอบไปด้วย ค่าการเลื่อนแกนในทั้งสามทิศทาง (dX, dY, dZ) มุมหมุนรอบแกนทั้งสาม (φ, κ, ω) และค่าอัตราส่วนย่อขยาย (Scale factor) รายละเอียดการคำนวณสามารถหาอ่านได้ในหนังสือหลายเล่ม เช่น Lliffe (2000), Hofmann-Wellenhof et al.(1997) เป็นต้น

3. วงโคจรดาวเทียม (Satellite orbits)

การประยุกต์ใช้จีพีเอสนั้นขึ้นอยู่กับการคำนวณวงโคจรของดาวเทียมอย่างมาก ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดกับวงโคจรของดาวเทียมจะมีผลโดยตรงกับค่าพิกัดที่ได้จากเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสโดยเฉพาะอย่างยิ่งกับการหาตำแหน่งแบบจุดเดี่ยว ในกรณีของการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ ค่าคลาดเคลื่อนจากวงโคจรของดาวเทียมจะมีผลต่อค่าความถูกต้องของค่าพิกัดที่ได้รับในขนาดที่น้อยลงมาก

ข้อมูลวงโคจรดาวเทียมจีพีเอสนั้นถูกบรรจุอยู่ในข้อมูลนำหน (Navigation message) ที่ถูกส่งมาจากตัวดาวเทียม ที่เรามักเรียกว่า อีฟิเมอริสดาวเทียม (Broadcast ephemeris) ซึ่งค่าความถูกต้องของตำแหน่งดาวเทียมจากอีฟิเมอริสดาวเทียมจะอยู่ระหว่าง 1-2 เมตร ในกรณีที่ผู้ใช้ต้องการค่าความถูกต้องของตำแหน่งดาวเทียมที่สูงก็สามารถเลือกใช้ข้อมูลวงโคจรดาวเทียมความละเอียดสูง (Precise orbit) ที่ถูกคำนวณโดย International GPS Service (IGS) ตารางที่ 5.1 แสดงค่าความถูกต้องของตำแหน่งดาวเทียมที่คำนวณได้จากข้อมูลวงโคจรดาวเทียมแบบต่างๆ

ตารางที่ 5.1 ค่าความถูกต้องของตำแหน่งดาวเทียมที่คำนวณจากข้อมูลวงโคจรดาวเทียมแบบต่างๆ (IGS, 2006)

ชนิดข้อมูลวงโคจรดาวเทียม	ค่าความถูกต้องของตำแหน่งดาวเทียม (ม.)
อีฟิเมอริสดาวเทียม	1.6
IGS predicted orbit	0.10
IGS rapid orbit	< 0.05
IGS final orbit	< 0.05

รายละเอียดของขั้นตอนการคำนวณตำแหน่งดาวเทียมจากข้อมูลนำหนสามารถหาอ่านได้จาก เฉลิมชนม์ สถิระพจน์ (2549)

4. สมการค่าสังเกตจีพีเอส (GPS observation equations)

ค่าที่รังวัดได้จากการรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส และนำมาใช้ประโยชน์ในการคำนวณหาตำแหน่งที่สำคัญมี 2 ชนิด คือ ซูโดเรนจ์ (Pseudorange) และเฟสของคลื่นส่ง (Carrier phase) หัวข้อย่อยถัดไปจะกล่าวถึงรายละเอียดของข้อมูลทั้งสองชนิด

4.1 ซูโดเรนจ์ (Pseudorange)

ซูโดเรนจ์ คือ ระยะทางระหว่างดาวเทียมกับเครื่องรับสัญญาณ หาค่าได้จากการถอดรหัสจากสัญญาณที่ส่งมาจากดาวเทียมเปรียบเทียบกับรหัสที่เครื่องรับสัญญาณสร้างขึ้น โดยจะทำการเลื่อนไปมาจนกระทั่งได้รหัสที่ตรงกัน ค่าเลื่อนระหว่างรหัสทั้งสอง คือ ระยะเวลาที่คลื่นวิทยุใช้ในการเดินทางจากดาวเทียมมายังเครื่องรับสัญญาณเมื่อนำความเร็วของคลื่นวิทยุคูณด้วยระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางระหว่างดาวเทียมมายังเครื่องรับสัญญาณ จะได้ระยะทางระหว่างดาวเทียมกับเครื่องรับสัญญาณซึ่งเรียกว่า 'ซูโดเรนจ์' นั่นเอง ซูโดเรนจ์ที่ได้นี้จะมีค่าคลาดเคลื่อนไปจากระยะทางจริงระหว่างดาวเทียม และเครื่องรับสัญญาณอันเนื่องมาจากความคลาดเคลื่อนหลายชนิด เช่น ความคลาดเคลื่อนวงโคจรดาวเทียม ความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาดาวเทียม และความคลาดเคลื่อนเมื่อคลื่นเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศ เป็นต้น โดยมีสมการของซูโดเรนจ์ที่ได้จากรหัสและมีหน่วยเป็นระยะทางดังนี้คือ (Leick, 2004; Satirapod, 2002; Teunissen and Kleusberg, 1998)

$$R = \rho + \Delta r + d_{ion} + d_{trop} + c\,(\Delta\delta_r - \Delta\delta^s) + dm_R + \varepsilon_R \qquad (5.1)$$

โดยที่

R	คือ	ซูโดเรนจ์ที่ได้จากการวัดรหัส (เมตร)
ρ	คือ	ระยะทางเรขาคณิตระหว่างดาวเทียมและเครื่องรับ (เมตร)
Δr	คือ	ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากวงโคจรดาวเทียม (เมตร)
d_{ion}	คือ	ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ของคลื่นส่ง (เมตร)
d_{trop}	คือ	ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ (เมตร)
c	คือ	ความเร็วของคลื่นส่งหรือความเร็วแสง (เมตร/วินาที)
$\Delta\delta_r$	คือ	ความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาเครื่องรับ (วินาที)
$\Delta\delta^s$	คือ	ความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาดาวเทียม (วินาที)
dm_R	คือ	ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการเกิดคลื่นหลายวิถี (Multipath) (เมตร)
ε_R	คือ	ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากสัญญาณรบกวนในซูโดเรนจ์ที่วัดได้ของรหัส (เมตร)

4.2 เฟสของคลื่นส่ง (Carrier phase)

สำหรับงานที่ต้องการค่าความละเอียดถูกต้องสูงในระดับเซนติเมตร จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องใช้ข้อมูลเฟสของคลื่นส่งในการประมวลผล ซึ่งการวัดเฟสของคลื่นส่งในเครื่องรับเป็นการวัดเปรียบเทียบหรือค่าต่างระหว่างเฟสของคลื่นส่งที่ดาวเทียมส่งลงมากับเฟสของคลื่นความถี่ fo ที่เครื่องรับสร้างขึ้นมา โดยคลื่นส่งที่ดาวเทียมส่งลงมานั้นแยกออกเป็นสองส่วน คือ ส่วนของคลื่นจำนวนเต็มรอบ (Integer cycle part) กับส่วนที่ไม่เต็มรอบ (Fractional part) ในการรับสัญญาณนั้นเครื่องรับสัญญาณไม่สามารถจะนับจำนวนเต็มรอบของคลื่นส่งที่ส่งลงมา จำนวนเต็มรอบสามารถหาค่าได้จากการคำนวณในภายหลัง โดยจำนวนเต็มนี้มีชื่อเรียกว่า เลขปริศนา (Ambiguity) โดยสมการค่าสังเกตของการวัดเฟสของคลื่นส่งคือ (Leick, 2004; Satirapod, 2002; Teunissen and Kleusberg, 1998)

$$\varphi = \rho + \Delta r - d_{ion} + d_{trop} + c\,(\Delta\delta_r - \Delta\delta^s) + dm_\varphi + \varepsilon_\varphi + \lambda N \qquad (5.2)$$

โดยที่

φ	คือ	ซูโดเรนจ์ที่ได้จากการวัดเฟสของคลื่นส่ง (เมตร)
ρ	คือ	ระยะทางเรขาคณิตระหว่างดาวเทียมและเครื่องรับ (เมตร)
Δr	คือ	ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากวงโคจรดาวเทียม (เมตร)
d_{ion}	คือ	ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ของคลื่นส่ง (เมตร)
d_{trop}	คือ	ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ (เมตร)
c	คือ	ความเร็วของคลื่นส่งหรือความเร็วแสง (เมตร/วินาที)
$\Delta\delta_r$	คือ	ความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาเครื่องรับ (วินาที)
$\Delta\delta^s$	คือ	ความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาดาวเทียม (วินาที)
dm_φ	คือ	ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการเกิดคลื่นหลายวิถี (เมตร)
ε_φ	คือ	ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากสัญญาณรบกวนในซูโดเรนจ์ที่วัดได้ของคลื่นส่ง (เมตร)
λ	คือ	ความยาวคลื่นของคลื่นส่ง (เมตร)
N	คือ	เลขปริศนาของคลื่นส่ง

เมื่อพิจารณาความแตกต่างระหว่างสมการ (5.1) และ (5.2) จะมีความต่างดังนี้

- เทอม λ N ที่มีเฉพาะในสมการ (5.2)
- เครื่องหมายของค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ (*dion*) ที่ตรงกันข้ามกันระหว่างสมการทั้งสอง
- ขนาดของเทอม *dm* ที่ต่างกัน โดยที่เทอม dm_R ในสมการ (5.1) จะมีขนาดตั้งแต่เมตรถึงหลายสิบเมตร ในขณะที่เทอม dm_φ ในสมการ (5.2) จะมีขนาดตั้งแต่มิลลิเมตรถึงเซนติเมตร
- ขนาดของเทอม ε ที่ต่างกัน โดยที่เทอม ε_R ในสมการ (5.1) จะมีขนาดอยู่ที่ระดับเมตร ในขณะที่เทอม ε_φ ในสมการ (5.2) จะมีขนาดอยู่ในระดับมิลลิเมตร

ด้วยเหตุนี้เราสามารถเปรียบเทียบการวัดซูโดเรนจ์กับการวัดเฟสของคลื่นส่งได้ง่ายๆ ได้ดังนี้ การหาระยะโดยวิธีซูโดเรนจ์เปรียบเสมือนการวัดระยะด้วยการใช้แถบวัดระยะแบบธรรมดาที่มีความละเอียดถึงหนึ่งเมตร ส่วนการหาระยะโดยวิธีการวัดเฟสของคลื่นส่งเปรียบเสมือนการวัดระยะด้วยการใช้แถบวัดระยะพิเศษที่ละเอียดถึงเซนติเมตร แต่จำนวนเต็มที่เป็นเมตรจะเสมือนถูกตัดออกซึ่งก็คือเป็นเลขปริศนา เราจะทราบเฉพาะเศษของเมตรที่วัดได้ ฉะนั้นจึงทำให้การวัดเฟสของคลื่นส่งได้ค่าที่ละเอียดกว่าการวัดซูโดเรนจ์

5. ค่าคลาดเคลื่อนในข้อมูลจีพีเอส (GPS observation errors)

ในงานสำรวจไม่ว่าจะทำการรังวัดด้วยอุปกรณ์ชนิดใดก็ตาม ย่อมมีค่าคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นเสมอ ในงานสำรวจรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอสก็เช่นเดียวกันก็ย่อมมีค่าคลาดเคลื่อนเกิดขึ้น โดยทั่วไปค่าคลาดเคลื่อนที่อยู่ในข้อมูลจีพีเอส สามารถจำแนกได้เป็น 4 กลุ่มใหญ่ๆ คือ ค่าคลาดเคลื่อนที่เกี่ยวข้องกับดาวเทียม (Satellite-dependent errors) ค่าคลาดเคลื่อนที่เกี่ยวข้องกับเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม (Receiver-dependent errors) ค่าคลาดเคลื่อนที่เกี่ยวข้องกับการแพร่กระจายของสัญญาณ (Signal propagation errors) และค่าคลาดเคลื่อนอื่นๆ (Other errors)

5.1 ค่าคลาดเคลื่อนที่เกี่ยวข้องกับดาวเทียม

ค่าคลาดเคลื่อนที่ถูกจัดในกลุ่มนี้จะมีค่าคลาดเคลื่อนจากวงโคจรดาวเทียมและค่าคลาดเคลื่อนจากนาฬิกาดาวเทียม มีรายละเอียดดังนี้

5.1.1 ค่าคลาดเคลื่อนจากวงโคจรดาวเทียม

ข้อมูลวงโคจรดาวเทียมนั้นถูกคำนวณขึ้นที่สถานีควบคุมหลัก โดยอาศัยข้อมูลที่รับได้จากสถานีติดตามดาวเทียมที่กระจายตัวอยู่ ซึ่งจะมีการทำนายวงโคจรดาวเทียมล่วงหน้าและส่งข้อมูลที่ทำนายไปยังตัวดาวเทียมเพื่อให้ดาวเทียมส่งมาให้กับผู้ใช้ในรูปแบบของข้อมูลนำหนที่มาพร้อมกับคลื่นสัญญาณดาวเทียม ในความเป็นจริงแล้วการทำนายวงโคจรของดาวเทียมให้สมบูรณ์นั้นเป็นไปไม่ได้ เนื่องจากมีแรงต่างๆ มากระทำกับตัวดาวเทียมมากมายหลายชนิด ด้วยเหตุนี้ตำแหน่งของดาวเทียมที่คำนวณได้จากข้อมูลวงโคจรดาวเทียมจึงยังมีค่าคลาดเคลื่อนอยู่

5.1.2 ค่าคลาดเคลื่อนจากนาฬิกาดาวเทียม

ค่าคลาดเคลื่อนจากนาฬิกาดาวเทียมเกิดจากการเทียบเวลา และความถี่มาตรฐานที่แตกต่างไปจากเวลาจีพีเอส นอกจากค่าความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาดาวเทียม (Clock error) แล้ว ยังมีความคลาดเคลื่อนระยะยาวที่เกิดจากความไม่สเถียรของมาตรฐานความถี่ที่เรียกว่า ดริฟท์ของนาฬิกา (Clock drift) และอัตราดริฟท์ของนาฬิกา (Clock drift rate) อีกด้วย โดยข้อมูลค่าความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาดาวเทียมแต่ละดวงจะอยู่ในข้อมูลนำหนที่ส่งลงมาพร้อมกับคลื่นสัญญาณดาวเทียมในรูปแบบของสัมประสิทธิ์ค่าแก้นาฬิกาดาวเทียมทั้งสามตัว เช่นเดียวกับค่าคลาดเคลื่อนจากวงโคจรดาวเทียม ค่าความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาดาวเทียมแต่ละดวงเป็นค่าที่ได้จากการคำนวณล่วงหน้าจากสถานีควบคุมหลัก

5.2 ค่าคลาดเคลื่อนที่เกี่ยวข้องกับเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม

ค่าคลาดเคลื่อนที่ถูกจัดในกลุ่มนี้จะมีค่าคลาดเคลื่อนจากนาฬิกาเครื่องรับ (Receiver clock error) ค่าคลาดเคลื่อนจากการแปรเปลี่ยนของจุดศูนย์กลางเฟสของเสาอากาศ (Antenna phase center variation error) ค่าคลาดเคลื่อนจากสัญญาณรบกวนในเครื่องรับ (Receiver noise error) และค่าคลาดเคลื่อนจากค่าพิกัดของสถานีฐาน (Base station's coordinate error)

5.2.1 ค่าคลาดเคลื่อนจากนาฬิกาเครื่องรับ

เนื่องจากความเสถียรของระบบนาฬิกาที่ใช้ในเครื่องรับนั้นมีเสถียรภาพต่ำกว่านาฬิกาที่ใช้ในดาวเทียมมาก จึงมีผลทำให้นาฬิกาของเครื่องรับผิดไปจากเวลาจีพีเอสค่อนข้างมากเมื่อเทียบกับค่าคลาดเคลื่อนจากนาฬิกาดาวเทียม ขนาดของค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจะส่งผลต่อระยะที่วัดได้เช่นเดียวกันกับกรณีของค่าคลาดเคลื่อนจากนาฬิกาดาวเทียม เพียงแต่ค่าคลาดเคลื่อนจากนาฬิกาเครื่องรับจะมีขนาดใหญ่กว่าค่าคลาดเคลื่อนจากนาฬิกาดาวเทียมมาก (อาจมากถึงระดับไมโครวินาที ซึ่งเทียบเท่าได้กับการวัดระยะที่ผิดพลาดไปประมาณ 300 เมตร) ดังนั้นค่าคลาดเคลื่อนจากนาฬิกาเครื่องรับจึงถือเป็นค่าคลาดเคลื่อนที่มีขนาดใหญ่ที่สุดสำหรับการหาตำแหน่งจุดเดี่ยว

5.2.2 ค่าคลาดเคลื่อนจากการแปรเปลี่ยนของจุดศูนย์กลางเฟสของเสาอากาศ

โดยทั่วไปข้อมูลระยะทางที่วัดได้จากสัญญาณจีพีเอสจะเป็นระยะทางที่วัดระหว่างจุดศูนย์กลางอิเล็กทรอนิกส์ของตัวส่งคลื่นสัญญาณในดาวเทียมกับจุดศูนย์กลางอิเล็กทรอนิกส์ของตัวเสาอากาศของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม ในทางอุดมคติจุดศูนย์กลางที่วัดได้ทางกายภาพควรจะเป็นจุดเดียวกันกับจุดศูนย์กลางอิเล็กทรอนิกส์ อย่างไรก็ดีในความเป็นจริงจุดทั้งสองนั้นไม่ใช่จุดเดียวกันและมีค่าต่างระหว่างสองจุดอยู่ และเนื่องจากจุดศูนย์กลางอิเล็กทรอนิกส์จะแปรเปลี่ยนตามทิศทางและความแรงของคลื่นสัญญาณที่เข้ามายังเสาอากาศ การเปลี่ยนเรขาคณิตระหว่างดาวเทียมและเครื่องรับสัญญาณก็จะส่งผลให้ตำแหน่งของจุดศูนย์กลางอิเล็กทรอนิกส์มีการแปรเปลี่ยนไปด้วย ค่าการแปรเปลี่ยนของจุดศูนย์กลางเฟสของเสาอากาศจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดและคุณภาพของเสาอากาศที่ใช้

5.2.3 ค่าคลาดเคลื่อนจากสัญญาณรบกวนในเครื่องรับ

ขนาดของค่าคลาดเคลื่อนจากสัญญาณรบกวนในเครื่องรับนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายตัว เช่น อัตราส่วนระหว่างความแรงของสัญญาณกับสัญญาณรบกวน (Signal to noise ratio) และ Tracking bandwidth เป็นต้น เราสามารถใช้กฎหัวแม่มือ (Rule of thumb) ที่กล่าวว่าค่าคลาดเคลื่อนจากสัญญาณรบกวนในเครื่องรับจะมีขนาดประมาณร้อยละ 1 ของความยาวคลื่น ดังนั้นระดับของสัญญาณรบกวนในเครื่องรับจากการวัดซูโดเรนจ์โดยใช้รหัส C/A จะอยู่ที่ประมาณ 3 เมตร (มีความยาวคลื่น ~300 เมตร) ในขณะที่ระดับของสัญญาณรบกวนในเครื่องรับจากการวัดเฟสของคลื่นส่งจะอยู่ที่ประมาณ 2 มิลลิเมตร ทั้งข้อมูลเฟสของคลื่นส่งใน L1 และ L2 (L1 มีความยาวคลื่น ~19 เซนติเมตร และ L2 มีความยาวคลื่น ~24 เซนติเมตร) สำหรับเครื่องรับแบบทั่วไป อย่างไรก็ดีด้วยนวัตกรรมใหม่ที่มาพร้อมกับเครื่องรับสัญญาณรุ่นใหม่ๆ จะพบว่าระดับของสัญญาณรบกวนในเครื่องรับจากการวัดเฟสของคลื่นส่งจะอยู่ที่ระดับที่ต่ำกว่า 1 มิลลิเมตร และระดับของสัญญาณรบกวนในเครื่องรับจากการวัดซูโดเรนจ์โดยใช้รหัส C/A จะอยู่ที่ระดับเดซิเมตร (Qiu, 1993; Seeber, 1993)

5.2.4 ค่าคลาดเคลื่อนจากค่าพิกัดของสถานีฐาน

ค่าคลาดเคลื่อนชนิดนี้เกิดเฉพาะกับวิธีการหาตำแหน่งสัมพัทธ์เท่านั้น เนื่องจากวิธีการหาตำแหน่งสัมพัทธ์จะต้องทราบตำแหน่งสัมบูรณ์อย่างน้อยหนึ่งจุด เพื่อใช้หาตำแหน่งสัมบูรณ์ของจุดอื่นๆ ซึ่งจุดที่ทราบตำแหน่งเรียกกันทั่วไปว่า สถานีฐานในการประมวลผลข้อมูลจีพีเอสเพื่อหาค่าระยะเส้นฐานจะทำการตรึงค่าพิกัดของสถานีฐานไว้ ดังนั้นค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการตรึงค่าพิกัดของสถานีฐานส่งผลให้ค่าระยะเส้นฐานที่คำนวณได้ผิดพลาดไปด้วย สำหรับผลของค่าคลาดเคลื่อนจากค่าพิกัดของสถานีฐานต่อการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์จะขึ้นกับระยะทางระหว่างเครื่องรับทั้งสอง

5.3 ค่าคลาดเคลื่อนที่เกี่ยวข้องกับการแพร่กระจายของสัญญาณ

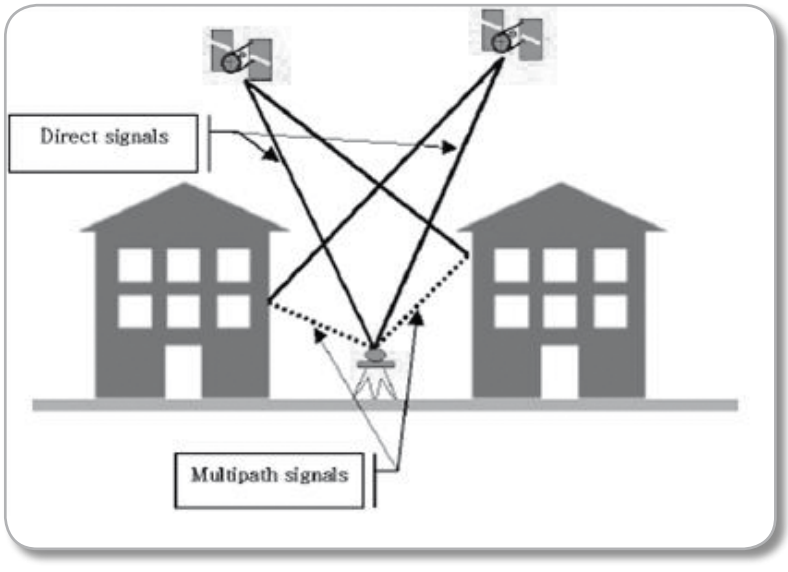
ค่าคลาดเคลื่อนที่ถูกจัดในกลุ่มนี้จะมีการล่าช้าเนื่องมาจากเดินทางของคลื่นผ่านชั้นบรรยากาศ (Atmospheric delay) และค่าคลาดเคลื่อนจากคลื่นหลายวิถี (Multipath error)

5.3.1 การล่าช้าเนื่องมาจากเดินทางของคลื่นผ่านชั้นบรรยากาศ

เมื่อคลื่นเดินทางจากดาวเทียมมายังเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม จึงเกิดการล่าช้าอันเนื่องมาจากการเดินทางของคลื่นผ่านชั้นบรรยากาศ ในทางทฤษฎีเราสมมติว่าคลื่นเดินทางในสุญญากาศโดยมีความเร็วเท่ากับความเร็วแสง แต่ในความเป็นจริงในการเดินทางของคลื่นนั้นไม่ได้ผ่านสุญญากาศโดยตลอด โดยจะต้องมีการเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศของโลกหลายๆ ชั้น ซึ่งมีชั้นบรรยากาศอยู่สองชั้นที่มีผลต่อการเดินทางของคลื่น คือ ชั้นไอโอโนสเฟียร์ (Ionosphere) และชั้นโทรโพสเฟียร์ (Troposphere)

5.3.2 ค่าคลาดเคลื่อนจากคลื่นหลายวิถี

คลื่นหลายวิถี หมายถึง การแพร่กระจายของคลื่นที่มีการสะท้อนตั้งแต่หนึ่งครั้งขึ้นไป โดยพื้นผิวที่สะท้อนอาจอยู่ในแนวดิ่ง ราบ หรือเอียง เช่น ผนังตึก ถนน ผิวน้ำ หรือยานพาหนะ เป็นต้น ภาพที่ 5.6 แสดงให้เห็นถึงแนวทางเดินของสัญญาณจีพีเอสที่เดินทางมาเข้าเครื่องรับโดยตรงและสัญญาณเกิดการสะท้อนกับพื้นผิวรอบข้างก่อนที่จะถึงเครื่องรับซึ่งก็คือคลื่นหลายวิถี



ภาพที่ 5.6 *คลื่นหลายวิถีและคลื่นสัญญาณโดยตรงจากดาวเทียม*

5.4 ค่าคลาดเคลื่อนอื่นๆ

ค่าคลาดเคลื่อนในกลุ่มนี้จะเกี่ยวข้องกับการวัดระยะด้วยการวัดเฟสของคลื่นส่งเท่านั้น โดยมีค่าคลาดเคลื่อนที่ถูกจัดอยู่ในกลุ่มนี้คือ ค่าคลาดเคลื่อนจากคลื่นหลุด (Cycle slip) และค่าเลขปริศนา (Ambiguity)

5.4.1 ค่าคลาดเคลื่อนจากคลื่นหลุด

ค่าคลาดเคลื่อนจากคลื่นหลุดเกิดจากการที่มีสิ่งกีดขวางมาบังเสาอากาศของเครื่องรับสัญญาณหรืออาจเกิดจากการที่มีคลื่นรบกวนขนาดใหญ่ เช่น การเกิดความแปรปรวนขนาดใหญ่ในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ เป็นต้น จึงทำให้ไม่สามารถรับสัญญาณดาวเทียมต่อเนื่องได้ ผลจากการเกิดคลื่นหลุดจะทำให้ค่าเลขปริศนาของคลื่นส่งเปลี่ยนไปจากเดิม โดยทั่วไปการตรวจหาและซ่อมแซมคลื่นหลุดจะทำในขั้นตอนของการประมวลผลข้อมูลเบื้องต้น

5.4.2 ค่าเลขปริศนา

ในการหาระยะที่ละเอียดถูกต้องสูงจากการวัดระยะด้วยการวัดเฟสของคลื่นส่ง นั้นจำเป็นอย่างยิ่งที่จะหาค่าเลขปริศนา (N) ซึ่งในทางทฤษฎีค่าเลขปริศนาจะต้องเป็นเลขจำนวนเต็ม มีค่าต่างกันในข้อมูลเฟสของคลื่นส่ง L1 และ L2 และยังมีค่าต่างกันสำหรับคู่ดาวเทียมและเครื่องรับแต่ละคู่ (Each satellite-receiver pair) ค่าเลขปริศนาแต่ละค่าจะเป็นค่าคงที่ตราบใดที่มีการรับสัญญาณอย่างต่อเนื่องและไม่เกิดคลื่นหลุด การหาค่าเลขปริศนาจะทำในขั้นตอนของการประมวลผลข้อมูล (หลังจากที่ได้ขจัดค่าคลาดเคลื่อนต่างๆและซ่อมแซมคลื่นหลุดในข้อมูลแล้ว) ซึ่งขั้นตอนของการหาค่าเลขปริศนาจะเรียกกันโดยทั่วไปว่า การแยกความกำกวม (Ambiguity Resolution : AR)

6. การรังวัดหาค่าพิกัดด้วยระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก (Coordinate surveying using GPS)

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงหลักการและวิธีทำงานรังวัดด้วย จีพีเอสแบบต่างๆ ซึ่งในที่นี้จะแบ่งเทคนิคการรังวัดหาค่าพิกัดด้วยจีพีเอส ออกเป็น 2 ลักษณะ คือ

6.1 การหาค่าพิกัดแบบจุดเดี่ยว (Single point positioning)

โดยทั่วไปจะเรียกวิธีการหาค่าพิกัดแบบจุดเดี่ยวโดยย่อว่า SPP วิธีนี้เป็นการใช้เครื่องรับสัญญาณเพียง 1 เครื่อง ไปวางตรงจุดที่ต้องการทราบค่าพิกัด โดยทั่วไปจะใช้ข้อมูลซูโดเรนจ์มาประมวลผลเพื่อหาค่าพิกัดแบบทันที ซึ่งข้อมูลซูโดเรนจ์เป็นข้อมูลพื้นฐานที่รับได้กับเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสทุกชนิด ดังนั้นจึงนิยมใช้เครื่องรับสัญญาณแบบมือถือ (Handheld receiver) มาหาค่าพิกัดในลักษณะนี้เนื่องจากมีราคาถูก ส่วนค่าความถูกต้องที่ได้รับจากวิธีการนี้จะอยู่ระหว่าง 10-20 เมตร

6.2 การหาค่าพิกัดแบบสัมพัทธ์ (Relative positioning)

วิธีนี้จะเป็นการใช้เครื่องรับสัญญาณอย่างน้อย 2 เครื่อง โดยเครื่องหนึ่งจะวางอยู่ที่จุดที่ทราบค่าพิกัดแล้ว เช่น หมุดหลักฐานกรมที่ดิน หรือหมุดหลักฐานกรมแผนที่ทหาร เป็นต้น ส่วนเครื่องรับอีกเครื่องจะถูกนำไปวางตรงจุดที่ต้องการทราบค่าพิกัด ผลที่ได้จากการทำงานในลักษณะนี้คือตำแหน่งเปรียบเทียบของจุดหนึ่งเทียบกับอีกจุดหนึ่งหรือเป็นเส้นฐานที่มีทิศทางระหว่างจุดที่นำเครื่องรับทั้งสองไปวาง วิธีการนี้สามารถใช้ได้กับข้อมูลซูโดเรนจ์และข้อมูลเฟสของคลื่นส่งมาประมวลผลเพื่อหาค่าพิกัด ในกรณีที่ใช้ข้อมูลซูโดเรนจ์ในการหาค่าพิกัด โดยทั่วไปเรียกวิธีนี้ว่า Pseudorange-based Differential GPS (DGPS) ค่าความถูกต้องที่ได้รับจากวิธีนี้อยู่ระหว่าง 0.5-5 เมตร และกรณีที่ใช้ข้อมูลเฟสของคลื่นส่งในการหาค่าพิกัดค่าความถูกต้องที่ได้รับจะอยู่ระหว่าง 1-5 เซนติเมตร ซึ่งการใช้ข้อมูลเฟสของคลื่นส่งมาคำนวณหาค่าพิกัดนั้นจะใช้ได้กับเครื่องรับสัญญาณแบบรังวัดเท่านั้น กรรมวิธีการรังวัดในสนามของเทคนิคการหาค่าพิกัดแบบสัมพัทธ์โดยใช้ข้อมูลเฟสของคลื่นส่งที่ใช้กันในปัจจุบันสามารถแบ่งเป็นวิธีต่างๆ ได้ดังนี้

6.2.1 วิธีการรังวัดแบบสถิต (Static survey)

วิธีการนี้ต้องใช้เครื่องรับสัญญาณอย่างน้อย 2 เครื่อง โดยเครื่องที่หนึ่งจะถูกวางไว้บนหมุดที่ทราบค่าพิกัดแล้วหรือสถานีฐาน ส่วนเครื่องรับเครื่องที่สองจะถูกนำไปวางรับสัญญาณตามจุดที่ต้องการทราบค่าพิกัดหรือสถานีจร วิธีนี้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมที่สถานีฐานและสถานีจรจะต้องรับข้อมูลจากดาวเทียมกลุ่มเดียวกันและช่วงเวลาเดียวกัน อย่างน้อย 4 ดวง และต้องตั้งอยู่กับที่เป็นระยะเวลาหนึ่งๆ โดยทั่วไปอยู่ระหว่าง 1-2 ชั่วโมง วิธีการนี้จะเป็นวิธีที่ให้ค่าความถูกต้องสูงที่สุด โดยเริ่มตั้งแต่ 5 มิลลิเมตร - 2.5 เซนติเมตร (สำหรับเส้นฐานที่ยาวไม่เกิน 20 กิโลเมตร)

6.2.2 วิธีการรังวัดแบบสถิตอย่างเร็ว (Rapid static survey)

วิธีการทำงานของวิธีนี้เหมือนกับวิธีการรังวัดแบบสถิตทุกประการ เพียงแต่ระยะเวลาในการรับสัญญาณจะสั้นลงเหลือประมาณ 10-20 นาที วิธีการนี้จะให้ค่าความถูกต้องระหว่าง 1-3 เซนติเมตร (สำหรับเส้นฐานที่ยาวไม่เกิน 15 กิโลเมตร)

6.2.3 วิธีการรังวัดแบบจลน์ในทันที (Real time kinematic survey)

วิธีการนี้มักถูกเรียกโดยย่อว่า RTK ซึ่งหลักการทำงานของวิธีการรังวัดหาค่าพิกัดแบบสัมพัทธ์ด้วยวิธีการทำงานแบบจลน์ในทันทีนั้นคล้ายคลึงกับวิธีการแบบสถิต คือ ต้องใช้เครื่องรับสัญญาณอย่างน้อย 2 เครื่อง โดยเครื่องที่หนึ่งถูกวางไว้บนหมุดที่ทราบค่าพิกัดแล้ว ส่วนเครื่องรับเครื่องที่สองถูกนำไปวางรับสัญญาณตามจุดที่ต้องการทราบค่าพิกัด แต่กรณีของวิธีการหาค่าพิกัดแบบจลน์ในทันทีนั้นสามารถเคลื่อนย้ายเครื่องรับสัญญาณเครื่องที่สองได้เมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์สื่อสารระหว่างเครื่องรับทั้งสอง ซึ่งอาจเป็นเครื่องรับและส่งคลื่นวิทยุหรือโทรศัพท์มือถือ การหาค่าพิกัดของตำแหน่งจุดต่างๆ ด้วยวิธีนี้ เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมที่สถานีฐานและสถานีจรต้องรับข้อมูลจากดาวเทียมกลุ่มเดียวกันและช่วงเวลาเดียวกันอย่างน้อย 5 ดวง และเครื่องรับสัญญาณที่ใช้จะต้องเป็นเครื่องรับสัญญาณแบบสองความถี่เท่านั้น วิธีการนี้สามารถให้ค่าความถูกต้องในระดับ 1-5 เซนติเมตร (สำหรับเส้นฐานที่ยาวไม่เกิน 15 กิโลเมตร)

จากเทคนิคการรังวัดหาค่าพิกัดด้วยจีพีเอสแบบต่างๆ ที่กล่าวมาข้างต้น สามารถสรุปรายละเอียดของกรรมวิธีการรังวัดในสนาม อุปกรณ์เครื่องมือที่ต้องใช้ และค่าความถูกต้องทางตำแหน่งที่คาดว่าจะได้รับ ได้ดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 รายละเอียดเทคนิคการรังวัดหาค่าพิกัดด้วยจีพีเอสแบบต่างๆ

วิธีการที่ใช้	อุปกรณ์ที่จำเป็นต่อการทำงาน	กรรมวิธีการทำงานในสนาม	ค่าความถูกต้องที่ ได้รับ
SPP	เครื่องรับทุกชนิด แต่ทั่วไปมักใช้แบบมือถือ	สามารถเคลื่อนย้ายเครื่องไปตามจุดที่ต้องการหาค่าพิกัดได้ และในระหว่างทำงานต้องมีดาวเทียมอย่างน้อย 4 ดวง	10-20 ม.
Static	เครื่องรับแบบรังวัดชนิดความถี่เดียว หรือสองความถี่	ตั้งเครื่องรับทั้งสองอยู่กับที่ 1-2 ชั่วโมง และในระหว่างทำงาน ต้องมีดาวเทียมอย่างน้อย 4 ดวง	5 มม.- 2.5 ซม.
Rapid Static	เครื่องรับแบบรังวัดชนิดความถี่เดียวหรือสองความถี่	ตั้งเครื่องรับทั้งสองอยู่กับที่ 10-20 นาที และในระหว่างทำงาน ต้องมีดาวเทียมอย่างน้อย 4 ดวง	1- 3 ซม.
RTK	เครื่องรับแบบรังวัดชนิดสองความถี่เท่านั้นและอุปกรณ์สื่อสาร ใช้ได้ทั้งเครื่องรับส่งวิทยุหรือโทรศัพท์มือถือ	สามารถเคลื่อนย้ายเครื่องไปตามจุดที่ต้องการหาค่าพิกัดได้ แต่ต้องรอจุดละประมาณ 1-2 นาที และในระหว่างทำงานต้องมีดาวเทียมอย่างน้อย 5 ดวง และต้องรับค่าปรับแก้จากสถานีฐานได้	1- 5 ซม.

7. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการหาตำแหน่งด้วยจีพีเอส (Mathematical models for GPS positioning)

จากที่ได้อธิบายในข้างต้นถึงชนิดของข้อมูลจีพีเอสที่นำมาใช้ในการคำนวณหาตำแหน่งและเทคนิคการรังวัดหาค่าพิกัดด้วยจีพีเอส ดังนั้นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้จึงขึ้นอยู่กับเทคนิคการรังวัดและชนิดของข้อมูลที่ใช้ ในหัวข้อนี้จะอธิบายถึงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการหาตำแหน่งจุดเดี่ยวโดยอาศัยข้อมูลซูโดเรนจ์ (Pseudorange-based point positioning) เท่านั้น

ข้อมูลซูโดเรนจ์เป็นที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในงานที่ไม่ต้องการค่าความถูกต้องทางตำแหน่งสูง หลักการพื้นฐานของการหาตำแหน่งจุดเดี่ยวโดยอาศัยข้อมูลซูโดเรนจ์จะเป็นการใช้หลักการเล็งสกัดย้อนโดยระยะทางโดยใช้สมมติฐานเบื้องต้นว่าตำแหน่งของดาวเทียม และค่าคลาดเคลื่อนจากนาฬิกาดาวเทียมเป็นค่าที่ทราบ (สามารถคำนวณได้จากค่าพารามิเตอร์ที่อยู่ในข้อมูลนำหนที่ส่งมาพร้อมกับคลื่นสัญญาณดาวเทียม) ส่วนค่าคลาดเคลื่อนจากการล่าช้าเนื่องมาจากเดินทางของคลื่นผ่านชั้นบรรยากาศได้ถูกปรับแก้ด้วยแบบจำลองมาตรฐานไปแล้วและไม่คำนึงถึงค่าคลาดเคลื่อนจากคลื่นหลายวิถี และค่าคลาดเคลื่อนจากสัญญาณรบกวนในเครื่องรับ ดังนั้นเราสามารถปรับสมการ (5.1) ให้อยู่ในรูปที่ง่ายได้ดังนี้

$$R = \rho + c\Delta\delta_r \qquad (5.3)$$

โดยที่

R	คือ	ซูโดเรนจ์ที่ได้จากการวัดรหัส (เมตร)
ρ	คือ	ระยะทางเรขาคณิตระหว่างดาวเทียมและเครื่องรับ (เมตร)
c	คือ	ความเร็วแสง (เมตร/วินาที)
$c\Delta\delta_r$	คือ	ความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาเครื่องรับ (วินาที)

เราสามารถเขียนระยะทางเรขาคณิตระหว่างดาวเทียมและเครื่องรับ (ρ) ในรูปสมการได้ดังนี้

$$\rho = \sqrt{(X^j - x_i)^2 + (Y^j - y_i)^2 + (Z^j - z_i)^2} \qquad (5.4)$$

โดยที่

X^j, Y^j และ Z^j	คือ	ค่าพิกัดฉากคาร์ทีเซียนของดาวเทียม
x_i , y_i และ z_i	คือ	ค่าพิกัดฉากคาร์ทีเซียนของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม

เมื่อแทนค่าสมการ (5.4) ในสมการ (5.3) จะได้

$$R = \sqrt{(X^j - x_i)^2 + (Y^j - y_i)^2 + (Z^j - z_i)^2} + c\Delta\delta_r \qquad (5.5)$$

จากสมการ (5.5) จะพบว่ามีตัวแปรที่ไม่ทราบค่าในแต่ละขณะเวลา (Epoch) 4 ตัว คือ x_i , y_i , z_i และ $\Delta\delta_r$

ในกรณีที่ทำการรับสัญญาณโดยที่เครื่องรับมีการเคลื่อนตัวหรือที่เรียกกันโดยทั่วไปว่า แบบจลน์ (Kinematic positioning) ทั้งค่าพิกัด 3 มิติ ของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมและค่าคลาดเคลื่อนจากนาฬิกาเครื่องรับจะมีค่าเปลี่ยนแปลงตามเวลา (ซึ่งจะมีจำนวนเท่ากับ 4 เท่าของจำนวนข้อมูลที่รับสัญญาณ) ดังนั้นจำนวนตัวแปรที่ไม่ทราบค่าทั้งหมดจะมี 4 × ne ตัว โดยที่ ne คือ จำนวนข้อมูลที่รับสัญญาณ (Number of epoch) การแก้สมการเพื่อหาตัวแปรที่ไม่ทราบค่าจึงจำเป็นต้องมีสมการค่าสังเกตให้เท่ากับหรือมากกว่าจำนวนตัวแปรที่ไม่ทราบค่า เราสามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$n_e \times n_s \geq 4 \times n_e \qquad (5.6)$$

โดยที่ n_s คือ จำนวนดาวเทียมที่รับสัญญาณได้ และ n_e คือ จำนวนข้อมูลที่รับสัญญาณ จากสมการ (5.6) จะเห็นได้ว่าหากรับสัญญาณเพียง 1 Epoch ($n_e = 1$) จะต้องมีจำนวนดาวเทียมอย่างน้อย 4 ดวง ($n_s = 1$) เพื่อที่จะสามารถคำนวณหาค่าพิกัดของเครื่องรับได้ทันทีในกรณีการทำงานแบบจลน์ถือเป็นกรณีที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง เพราะผู้ใช้สามารถหาตำแหน่งได้ในทันที (Real-time or Instantaneous)

8. การประมวลผลข้อมูลจีพีเอส (GPS data processing)

ในการประมวลผลข้อมูลจีพีเอสสามารถแบ่งได้ตามวิธีการหาตำแหน่ง และชนิดของข้อมูลที่ใช้ในการหาตำแหน่ง สำหรับงานทั่วไปที่ไม่ต้องการค่าความถูกต้องทางตำแหน่งสูง (ระดับหลายเมตร) เรามักใช้วิธีการหาตำแหน่งจุดเดี่ยวโดยอาศัยข้อมูลซูโดเรนจ์ สำหรับงานที่ต้องการค่าความถูกต้องทางตำแหน่งสูง (ระดับมิลลิเมตรถึงเซนติเมตร) จำเป็นที่จะใช้วิธีการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์และต้องนำข้อมูลเฟสของคลื่นส่งมาประมวลผล วิธีที่มักนิยมนำมาใช้ในการประมวลผลข้อมูลจีพีเอสจะเป็นการปรับแก้ด้วยกำลังสองน้อยที่สุดโดยวิธีสมการค่าสังเกต (Least squares adjustment by method of observation equations) ขั้นตอนการปรับแก้ด้วยกำลังสองน้อยที่สุดโดยวิธีสมการค่าสังเกตสามารถสรุปโดยย่อได้ดังนี้

ให้เวกเตอร์ X ประกอบด้วยพารามิเตอร์ที่ไม่ทราบค่า สามารถสร้างสมการค่าสังเกตดังนี้

$$l_i = A_i x + v_i ; i = 1,2,...,n \qquad (5.7)$$

ซึ่งมี

$l = [l_i(1), l_i(2), ..., l_i(s)]^T$;

$A = [A_i(1), A_i(2), ..., A_i(s)]^T$;

$V = [V_i(1), V_i(2), ..., V_i(s)]^T$

โดยที่

l_i คือ สมการค่าสังเกต ขนาด sx1

A_i คือ Design matrix ที่สัมพันธ์กับค่าสังเกต l_i

v_i คือ Residual vector ของค่าสังเกต l_i

s คือ จำนวน Epoch ของค่าสังเกต

ขั้นตอนต่อไปเป็นการกำหนดแบบจำลองสโตคาสติกซึ่งจะกล่าวในรายละเอียดในหัวข้อถัดไป

โดยที่ Weight matrix

$$W = C^{-1} \tag{5.8}$$

จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในสมการ (5.7) และแบบจำลองสโตคาสติกสมการ (5.8) สามารถหาค่าประมาณของพารามิเตอร์ที่ต้องการ (Unknown Parameters) และเศษเหลือของค่าสังเกต (Residuals of the measurements) ได้ดังนี้

$$\hat{x} = [A^T W A]^{-1} A^T W l \tag{5.10}$$

$$\hat{v} = l - A\hat{x} \tag{5.11}$$

วิธีการปรับแก้ด้วยกำลังสองน้อยที่สุดโดยวิธีสมการค่าสังเกตได้ถูกนำไปใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในซอฟต์แวร์จีพีเอสเชิงพาณิชย์

9. การปรับแก้โครงข่าย (Network adjustment)

โดยทั่วไปการทำงานสำรวจรังวัดดาวเทียมจีพีเอสจะเกี่ยวข้องกับการใช้เครื่องรับสัญญาณจำนวนหนึ่งมาทำการหาค่าพิกัดของจุดที่ต้องการทราบค่าพิกัดซึ่งโดยมากจะมีจำนวนจุดที่มากกว่าจำนวนเครื่องรับสัญญาณที่มีอยู่ พื้นที่ในการทำงานอาจมีตั้งแต่ขนาดเล็กๆ มีความกว้างและยาวไม่กี่กิโลเมตรไปจนถึงพื้นที่ขนาดใหญ่ที่มีความกว้างและยาวหลายร้อยกิโลเมตร ในงานสำรวจรังวัดเพื่อสร้างหมุดควบคุมหลักจะเกี่ยวข้องกับการรังวัดเส้นฐานที่มีความยาวในระดับสิบถึงหลายสิบกิโลเมตร และต้องการค่าความถูกต้องทางตำแหน่งในระดับมิลลิเมตรหรือเซนติเมตร เรามักจะใช้การหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ด้วยวิธีการรังวัดแบบสถิตในการสร้างเส้นฐาน เช่นเดียวกับงานสำรวจรังวัดภาคพื้นดินทั่วไป การทำงานสำรวจรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอสก็ต้องการการตรวจสอบและการตรวจสอบก็ต้องอาศัยข้อมูลที่มีมากกว่าความต้องการขั้นต่ำ ในกรณีนี้ก็เช่นกันเรามักทำการออกแบบการทำงานให้มีการสร้างเส้นฐานที่มากกว่าความต้องการขั้นต่ำหรือเรียกสั้นๆ ว่า เส้นฐานเผื่อ (Redundant baseline) และเพื่อให้การตรวจสอบผลลัพธ์ทำได้ง่ายยิ่งขึ้นก็ควรจะมีการออกแบบลักษณะการต่อเชื่อมของเส้นฐานให้เป็นโครงข่ายที่มีจำนวนรูปปิดย่อยๆ (Small loops) อยู่ภายในให้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ อย่างไรก็ดีในการออกแบบโครงข่ายที่เหมาะสมควรจะคำนึงถึงปัจจัยอื่นๆ เช่น ค่าใช้จ่ายและระยะเวลาการทำงานในภาคสนาม เป็นต้น เมื่อนำเส้นฐานที่ได้มาประกอบกันเป็นโครงข่ายก็จะต้องมีขั้นตอนการปรับแก้โครงข่ายด้วยกำลังสองน้อยที่สุดโดยวิธีสมการค่าสังเกต

9.1 การสร้างเส้นฐานจากข้อมูลรังวัด

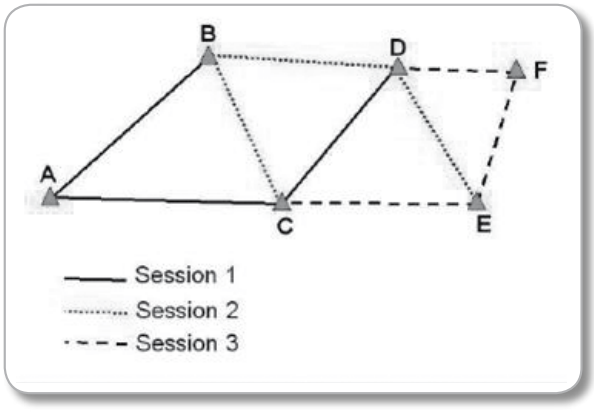
ในทางทฤษฎีการสร้างเส้นฐานจากข้อมูลที่มีอยู่นั้นควรที่สร้างเฉพาะเส้นฐานที่เป็นอิสระต่อกัน (Independent baselines) เท่านั้น (i.e. เฉลิมชนม์ สถิระพจน์ (2546); Hofmann-Wellenhof, et al. (1997) และ Rizos (1997)) และจำนวนเส้นฐานที่เป็นอิสระต่อกันเป็นดังสมการ

$$\text{จำนวนเส้นฐานที่เป็นอิสระต่อกัน} = (s - 1) \tag{5.11}$$

ด้วยเหตุนี้การสร้างโครงข่ายจีพีเอสจะทำได้โดยการสร้างเส้นฐานที่เป็นอิสระต่อกันจากแต่ละช่วงการรับสัญญาณมาเชื่อมต่อกัน ภาพที่ 5.7 แสดงตัวอย่างของการสร้างเส้นฐานที่เป็นอิสระต่อกันจากแต่ละช่วงการรับสัญญาณและประกอบรวมเป็นโครงข่าย โดยสมมติให้มีจำนวนเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม 4 เครื่อง และแบ่งการรับสัญญาณดาวเทียมออกเป็น 3 ช่วง การรับสัญญาณ โดยแต่ละช่วงการรับสัญญาณมีการตั้งเครื่องรับสัญญาณดังนี้

- ช่วงการรับสัญญาณที่ 1 ทำการตั้งเครื่องรับสัญญาณที่จุด A B C และ D
- ช่วงการรับสัญญาณที่ 2 ทำการตั้งเครื่องรับสัญญาณที่จุด B C D และ E (ย้ายเครื่องที่ A ไปตั้งที่ E)
- ช่วงการรับสัญญาณที่ 3 ทำการตั้งเครื่องรับสัญญาณที่จุด C D E และ F (ย้ายเครื่องที่ B ไปตั้งที่ F)

จากสมการ (5.11) เราสามารถเลือกเส้นฐานที่เป็นอิสระต่อกันในแต่ละช่วงการรับสัญญาณได้ 3 เส้นฐาน เส้นฐานที่เป็นอิสระต่อกันในแต่ละช่วงการรับสัญญาณแสดงในภาพที่ 5.7



***ภาพที่** 5.7 การสร้างโครงข่ายจีพีเอสจากเส้นฐานที่เป็นอิสระต่อกันจากแต่ละช่วงการรับสัญญาณ*

9.2 หลักการของการปรับแก้โครงข่าย

จากการที่ได้ทำการประมวลผลเส้นฐาน ซึ่งถือว่าเป็นการปรับแก้หลักไปแล้ว ในการปรับแก้ลำดับที่สองหรือการปรับแก้โครงข่ายจะใช้ผลลัพธ์ที่ได้จากการปรับแก้หลักมาเป็นข้อมูลนำเข้าหรือค่าสังเกต วิธีการที่ใช้ในการปรับแก้โครงข่ายก็ยังเป็นการปรับแก้ด้วยกำลังสองน้อยที่สุดโดยวิธีสมการค่าสังเกต อย่างไรก็ดีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวข้องนั้นจะมีความเรียบง่ายกว่าการประมวลผลเส้นฐานด้วยข้อมูลเฟสของคลื่นส่งมาก ในความจริงแล้วขั้นตอนและวิธีการปรับแก้โครงข่ายจีพีเอสนั้นมีความคล้ายคลึงกับการปรับแก้โครงข่ายงานรังวัดภาคพื้นดินมาก ผู้อ่านสามารถหารายละเอียดขั้นตอนการปรับแก้โครงข่ายได้จาก เฉลิมชนม์ สถิระพจน์ (2549)

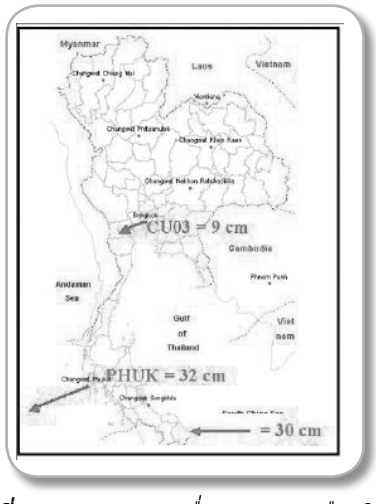
10. แนวโน้มและการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีระบบดาวเทียมนำหนของโลก (Trends and applications of Global Navigation Satellite System technology)

ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมาเทคโนโลยีด้านการสำรวจรังวัดด้วยดาวเทียมได้มีการขยายตัวอย่างรวดเร็ว จนได้มีการกำหนดคำเฉพาะขึ้นมาที่มีชื่อว่า Global Navigation Satellite System หรือเรียกโดยย่อว่า GNSS เพื่อให้ครอบคลุมกว้างมากขึ้นโดยมิได้จำกัดเฉพาะระบบดาวเทียมจีพีเอสเพียงอย่างเดียว อย่างไรก็ดีจีพีเอสเป็นองค์ประกอบ

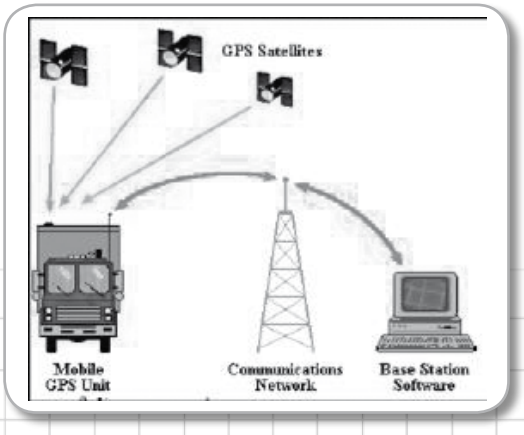
หลักของ GNSS ดังนั้นจึงสามารถใช้จีพีเอสเป็นตัวอย่างที่ใช้ในการอธิบายหลักการการทำงานของ GNSS ได้เป็นอย่างดี นอกเหนือไปจากจีพีเอสแล้ว ระบบดาวเทียมที่ถูกสร้างโดยประเทศรัสเซีย ซึ่งเรียกโดยย่อว่า GLONASS และระบบดาวเทียม GALILEO ซึ่งกำลังจะถูกสร้างโดยกลุ่มประเทศในยุโรป ก็ยังเป็นส่วนหนึ่งของระบบ GNSS นอกจากนี้ GNSS มิได้จำกัดอยู่เพียงแต่ระบบดาวเทียมทั้งสามนี้เท่านั้น การเพิ่มประสิทธิภาพของระบบดาวเทียมที่มีอยู่เดิมด้วยการใช้ระบบอื่นเข้ามาช่วย เช่น การใช้เครื่องส่งสัญญาณดาวเทียมภาคพื้นดิน (Pseudolite) และการใช้ Navigation System (INS) ก็ถือว่าเป็นส่วนหนึ่งของระบบ GNSS ด้วย (เฉลิมชนม์ สถิระพจน์, 2545) เนื่องจาก GNSS มีข้อได้เปรียบหลายๆ ข้อเหนือวิธีการอื่น จึงทำให้มีการใช้ GNSS อย่างแพร่หลาย ดังนั้นในหัวข้อนี้จะยกตัวอย่างของการประยุกต์ใช้ GNSS ในงานด้านต่างๆ

GNSS สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานที่หลากหลายตั้งแต่ งานที่ต้องการค่าความถูกต้องทางตำแหน่งในระดับมิลลิเมตรถึงหลายเมตร ดังเช่น งานรังวัดเพื่องานควบคุมและทำแผนที่ งานที่ต้องการจับการเคลื่อนตัวของโครงสร้างทางวิศวกรรม งานที่ต้องการจับการเคลื่อนตัวของเปลือกโลก หรือไม่ว่าจะเป็นการควบคุมเครื่องจักรกลในการทำการเกษตรกรรม งานที่ต้องการติดตามรถยนต์ เรือ หรือเครื่องบิน (Vehicle tracking) งานที่ต้องการหาตำแหน่งของผู้ใช้มือถือ (Mobile positioning) ภาพที่ 5.8 ถึง 5.10 แสดงตัวอย่างการประยุกต์ใช้ GNSS ในงานด้านต่างๆ ที่กล่าวมาในข้างต้น

ภาพที่ 5.8 *การตรวจจับการเคลื่อนตัวของสะพานด้วย GPS (Ashkenazi et al., 1997)*



ภาพที่ 5.9 *การหาการเคลื่อนตัวของเปลือกโลกในประเทศไทยภายหลังเหตุการณ์แผ่นดินไหวครั้งใหญ่เมื่อวันที่ 26 ธ.ค. 2547 ด้วยจีพีเอส (Satirapod et al., 2005)*



ภาพที่ 5.10 *การใช้เทคโนโลยี GNSS กับงานติดตามยานพาหนะ (เฉลิมชนม์ สถิระพจน์, 2545)*

บรรณานุกรม

เฉลิมชนม์ สถิระพจน์. (2540). **การศึกษาเปรียบเทียบความถูกต้องที่ได้รับจากฮาร์ดแวร์และซอฟแวร์จีพีเอสเชิงพาณิชย์ วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต**. กรุงเทพฯ: ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ, บัณฑิตวิทยาลัย, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

_____. (2544). คลื่นสัญญาณ GPS ใหม่สำหรับพลเรือนและการยกเลิก SA ให้ประโยชน์อะไรกับเราบ้าง. **วารสารสมาคมสำรวจข้อมูลระยะไกลและสารสนเทศภูมิศาสตร์**, 2 (3), 33-39.

_____. (2545). แนวโน้มและการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี GNSS ในปัจจุบัน. **วารสารสมาคมสำรวจข้อมูลระยะไกลและสารสนเทศภูมิศาสตร์**, 3 (1), 31-36.

_____. (2546). **การสำรวจรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอสเบื้องต้น**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

_____. (2549). **เอกสารคำสอนวิชางานรังวัดดาวเทียมจีพีเอสขั้นสูง** (Advanced GPS Satellite Surveying). กรุงเทพฯ: ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ชูเกียรติ วิเชียรเจริญ. (2537). **ยีออเดซี**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

Ashkenazi, V., Dodson, H., Moore, T. and Roberts, G.W. (1997). **Monitoring the movements of bridges by GPS**, 10th edition. Kansas City, Missouri: [n.p.].

Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H. and Collins, J. (1997). **Global Positioning System: Theory and practice**. 4th edition. New York: Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.

IGS. (2006). **IGS web site**. Retrieved November 9, 2006, from: http://igscb.jpl.nasa.gov/components/prods.html

Leick, A. (2004). **GPS satellite surveying**. 3rd edition. New York: John Wiley & Sons.

Lliffe, J. (2000). **Datums and map projections for remote sensing, GIS, and surveying**. Scotland, UK: Whittles Publishing.

Qiu, W. (1993). **An analysis of some critical error sources in static GPS surveying**, UCGE Report Number 20054, The University of Calgary, 102pp.

Rizos, C. (1997). **Principles and practice of GPS surveying**. [n.p.]: Monograph 17, School of Geomatic Engineering, The University of New South Wales.

Satirapod C., Wicheanjaroen C., Trisirisatayawong I., Vigny C., and Simons W. (2005). **Surface displacement due to banda-aceh earthquake and its effect on Geo-Informatic work in Thailand**, Proceedings of the IEEE IGARSS 2005. Seoul, Korea: [n.p.].

Satirapod, C. (2002). **Improving the GPS data processing algorithm for precise static relative positioning, PhD thesis**. Sydney, Australia: School of Surveying and Spatial Information Systems, The University of New South Wales.

Seeber, G. (1993). **Satellite geodesy: foundations, methods & applications**. Berlin: Walter de Gruyter.

Teunissen, P.J.G., and Kleusberg, A. (1998). **GPS for Geodesy**. New York: Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.

บทที่ 6

การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ

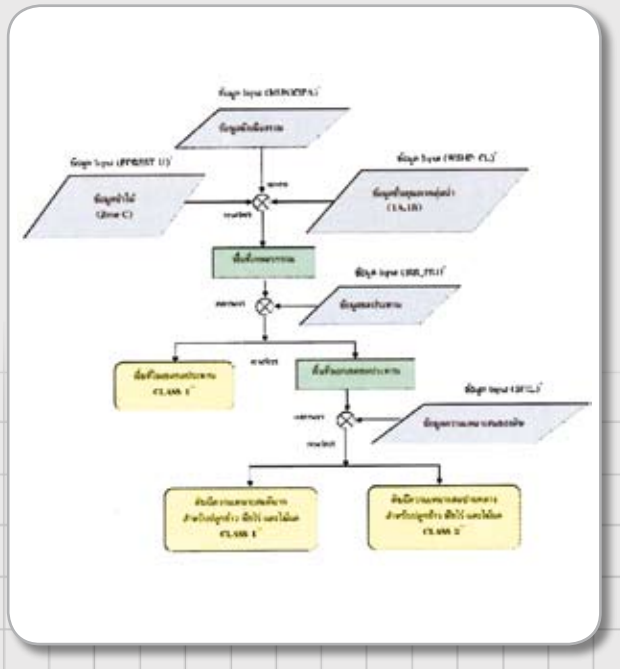
การทำงานด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์มิใช่สิ่งแปลกใหม่ในยุคปัจจุบัน นับตั้งแต่อดีตมนุษย์รู้จักใช้ศาสตร์ด้านนี้มาเป็นระยะเวลามากกว่า 2 ทศวรรษ ในยุคแรกเริ่มระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ถูกนำมาใช้กับงานด้านโบราณคดี และสัตววิทยา ต่อมาพบว่ามีการใช้เพื่อกิจการทางทหาร เช่น การนำทาง และการจัดทำแผนที่ เป็นต้น แม้ในอดีตจะใช้เพื่อการศึกษาอย่างง่ายแต่ก็มีรูปแบบการทำงานที่อยู่ภายใต้แนวคิดเดียวกันกับปัจจุบัน นับเนื่องมาจนถึงปัจจุบันระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ได้กลายเป็นส่วนหนึ่งของงานหลายสาขา ด้วยความก้าวหน้าของเทคโนโลยีส่งผลให้นานาประเทศเล็งเห็นความสำคัญของการใช้งานด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์มากขึ้น แรงสนับสนุนของรัฐบาลเป็นสิ่งผลักดันให้หน่วยงานทั้งภาครัฐ และเอกชน นำระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เข้าไปสู่กระบวนการทำงานอย่างเป็นมาตรฐาน จนกลายเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับงานศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการจัดการเชิงพื้นที่ และด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงเป็นการสมควรอย่างยิ่งสำหรับกลุ่มเยาวชนรุ่นใหม่ที่ควรมีความรู้ความเข้าใจในสาขาวิชานี้ เพื่อมิให้ล้าหลังไปกว่าประเทศอื่น

เนื่องจากเทคโนโลยีระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานต่างๆ ได้หลายแขนง ซึ่งในบทนี้ยกตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานเพียงบางส่วนเพื่อให้ผู้อ่านได้มองเห็นภาพการใช้งานที่เกิดขึ้นจริง โดยแบ่งออกเป็นงานด้านเกษตรกรรม ป่าไม้ สิ่งแวดล้อม ภัยพิบัติ และโรคระบาดวิทยา ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. ด้านการใช้ที่ดิน และเกษตรกรรม

1.1 การใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อวิเคราะห์หาพื้นที่คุ้มครองเกษตรกรรม

วัตถุประสงค์ของการศึกษาเพื่อแสดงเขตคุ้มครองเกษตรกรรม โดยมีสมมติฐานว่าพื้นที่ดินดีน้ำดี และพื้นที่ที่รัฐได้สร้างสาธารณูปโภคแล้ว และอยู่นอกเขตอนุรักษ์



ข้อมูลนำเข้าได้แก่ ชั้นข้อมูลผังเมือง ชั้นข้อมูลป่าอนุรักษ์ ชั้นข้อมูลคุณภาพลุ่มน้ำ ชั้นข้อมูลชลประทาน และชั้นข้อมูลความเหมาะสมของดิน ซึ่งมีรายละเอียดของการวิเคราะห์ตามขั้นตอนดังภาพที่ 6.1

หมายเหตุ * ชั้นข้อมูลที่ในการวิเคราะห์/ ศึกษา
Class 1 = พื้นที่คุ้มครองเกษตรกรรมชั้นที่ 1 (เหมาะสมมาก)
Class 2 = พื้นที่คุ้มครองเกษตรกรรมชั้นที่ 2 (เหมาะสมปานกลาง)

ที่มา : ศูนย์ภูมิสารสนเทศเพื่อการพัฒนาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มหาวิทยาลัยขอนแก่น (2549)

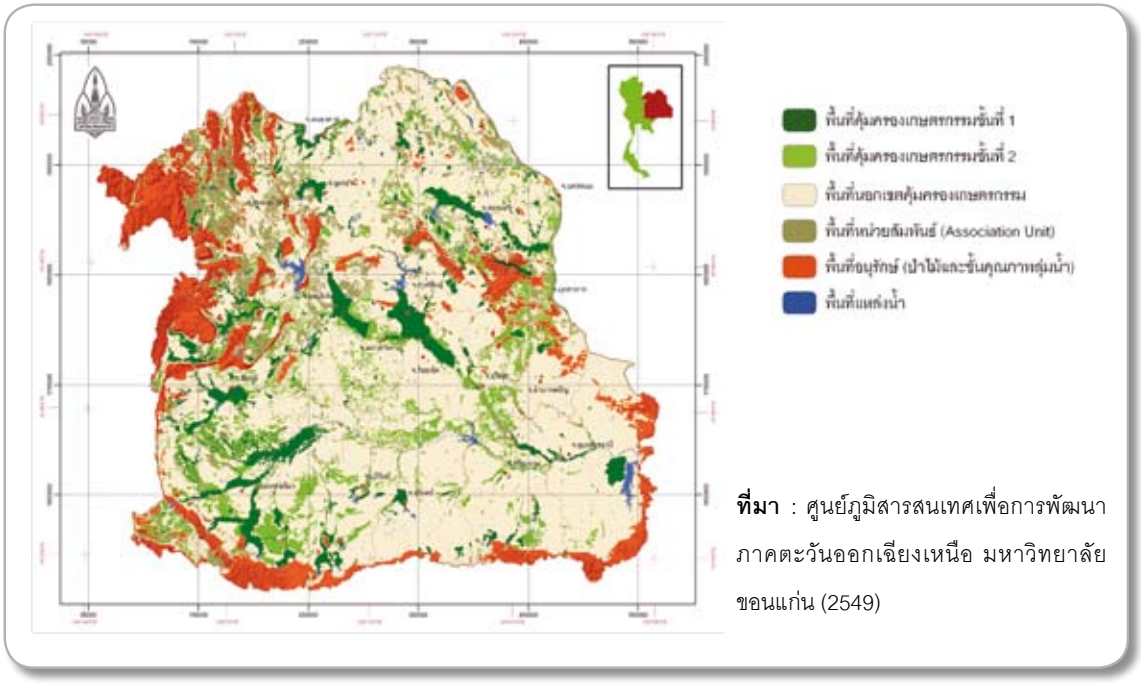
วิธีการนี้ได้ใช้ฟังก์ชันระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ได้แก่ ยูเนียน เลือกใหม่ และอินเตอร์เซกชัน

ภาพที่ 6.1 *แสดงขั้นตอนการศึกษาพื้นที่คุ้มครองเกษตรกรรม*

และแสดงผลในรูปแบบแผนที่ดังภาพที่ 6.2 และคำอธิบายตามตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 แสดงการกำหนดเงื่อนไขที่ใช้วิเคราะห์พื้นที่คุ้มครองเกษตรกรรม

หน่วยแผนที่	เงื่อนไข
พื้นที่คุ้มครองเกษตรกรรมชั้นที่ 1	บริเวณที่อยู่ในเขตพื้นที่ชลประทาน และ/หรือ ดินมีความเหมาะสมสำหรับการปลูกข้าว พืชไร่ และไม้ผลในระดับเหมาะสมมาก (ชั้นที่ 1)
พื้นที่คุ้มครองเกษตรกรรมชั้นที่ 2	บริเวณที่ดินมีความเหมาะสมสำหรับการปลูกข้าว พืชไร่ และไม้ผลในระดับเหมาะสมมาก (ชั้นที่ 2)
พื้นที่นอกเขตคุ้มครองเกษตรกรรม	บริเวณที่ดินมีความเหมาะสมสำหรับการปลูกข้าว พืชไร่ และไม้ผลในระดับอื่นๆ
พื้นที่ไม่ได้จำแนกเขตคุ้มครองด้านเกษตรกรรม	บริเวณที่อยู่ในพื้นที่ป่าอนุรักษ์ (ป่าโซนซี) พื้นที่ชั้นคุณภาพลุ่มน้ำชั้นที่ 1A และ 1B และพื้นที่เทศบาล
แหล่งน้ำ	บริเวณที่เป็นแหล่งน้ำ



ที่มา : ศูนย์ภูมิสารสนเทศเพื่อการพัฒนาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มหาวิทยาลัยขอนแก่น (2549)

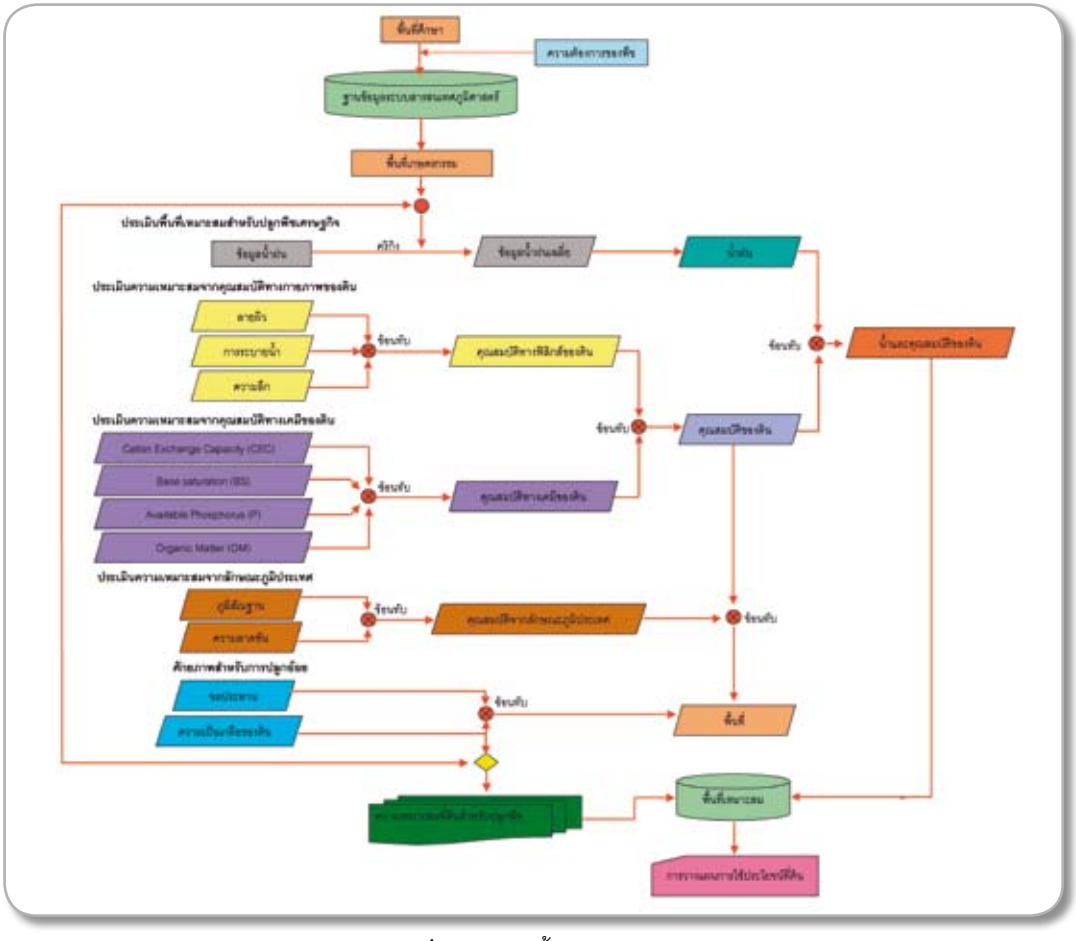
***ภาพที่** 6.2 แผนที่แสดงพื้นที่คุ้มครองเกษตรกรรมภาคตะวันออกเฉียงเหนือ*

1.2 การประเมินที่ดินสำหรับหาความเหมาะสมของพืช

ในที่นี้นำเสนอการวิเคราะห์ความเหมาะสมของที่ดินจังหวัดขอนแก่นสำหรับ ข้าว อ้อย มันสำปะหลัง และยางพารา วัตถุประสงค์เพื่อบูรณาการคุณภาพที่ดิน ที่มีผลกระทบต่อพืชต่างๆ โดยเปรียบเทียบความต้องการของพืชกับคุณภาพที่ดิน โดยใช้วิธีของ FAO

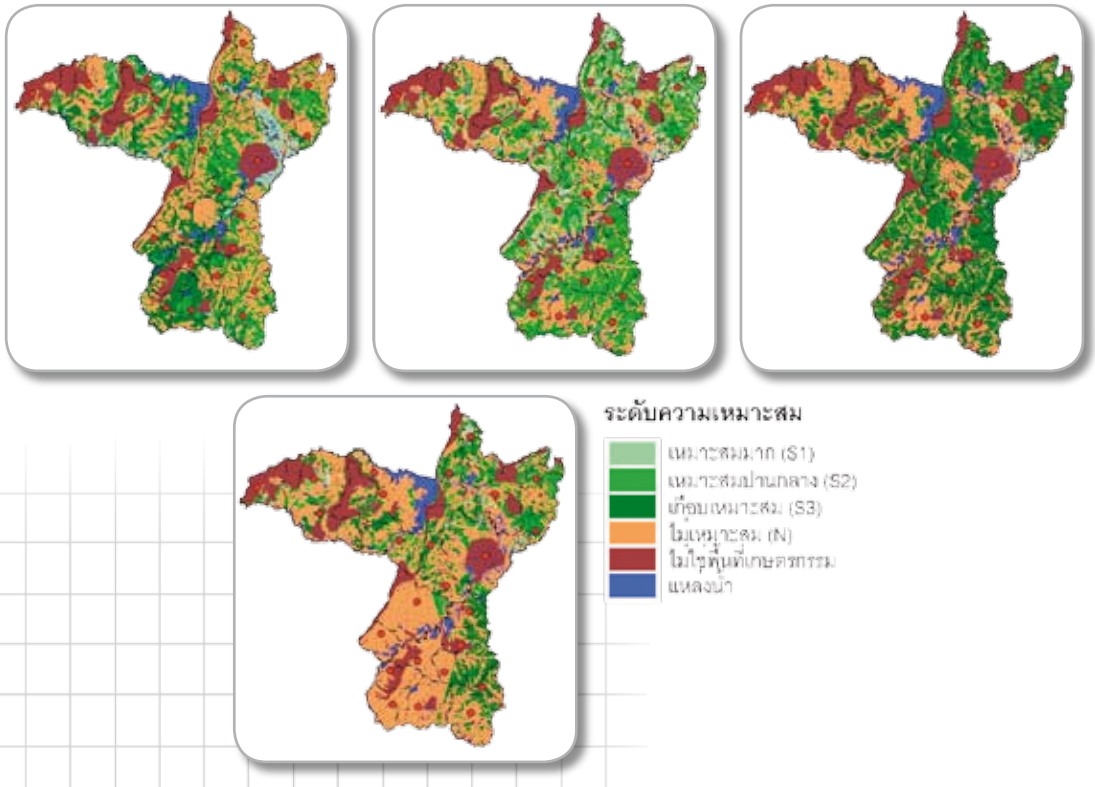
วิธีการศึกษา

1) วิเคราะห์ความต้องการคุณภาพที่ดินหรือปัจจัยของพืชแต่ละชนิด
2) จัดสร้างฐานข้อมูลของคุณภาพที่ดิน
3) บูรณาการคุณภาพที่ดินด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ตามเงื่อนไขของแบบจำลอง
4) เปรียบเทียบคุณภาพที่ดินกับความต้องการของพืช
5) จัดทำแผนที่ความเหมาะสมของพืช



ภาพที่ 6.3 *แสดงขั้นตอนการศึกษา*

ที่มา : Paiboonsak, S. and Mongkolsawat, C. (2004)



ภาพที่ 6.4 *แผนที่แสดงพื้นที่เหมาะสมสำหรับปลูกข้าว อ้อย มันสำปะหลัง และยางพารา*

ที่มา : Paiboonsak, S. and Mongkolsawat, C. (2004)

จะเห็นได้ว่าในการวิเคราะห์ครั้งนี้ได้ใช้ฟังก์ชันในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ คือ การประมาณค่าในช่วง โดยใช้การวิเคราะห์น้ำฝน และการซ้อนทับแบบคณิตศาสตร์ ด้วยการคูณ

1.3 การกำหนดเขตเกษตรเศรษฐกิจสำหรับสินค้าเกษตร

การศึกษาและวิเคราะห์วางแผนการผลิตทางการเกษตร ให้สอดคล้องกับสภาพดิน ฟ้า อากาศ แหล่งน้ำ ประเภทของเกษตรกรรม รายได้ และความต้องการของตลาด โดยการนำเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศมาเป็นเครื่องมือในการกำหนดเขตเกษตรเศรษฐกิจ

วัตถุประสงค์ : เพื่อกำหนดเขตเศรษฐกิจสำหรับสินค้าเกษตร

วิธีการศึกษา การกำหนดเขตเกษตรเศรษฐกิจสำหรับสินค้าเกษตร มีขั้นตอนในการดำเนินงาน 4 ขั้นตอน ได้แก่

1) การกำหนดเป้าหมายการผลิต พิจารณาแหล่งผลิต แนวโน้ม และความต้องการของตลาด

2) จัดสรรพื้นที่ให้เหมาะสมกับเป้าหมายการผลิต โดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ วิเคราะห์จาก 9 ปัจจัย คือ ลุ่มน้ำ ชุดดิน ปริมาณน้ำฝน เขตชลประทาน การใช้ประโยชน์ที่ดินปัจจุบัน ขอบเขตการปกครอง เส้นทางคมนาคม ขอบเขตป่าไม้ตามกฎหมาย และระดับความสูงของพื้นที่

3) การวิเคราะห์หาความเหมาะสมของพื้นที่

- วิเคราะห์ระดับความเหมาะสมของดินและความสูงของพื้นที่ที่มีต่อการปลูกแต่ละชนิด
- วิเคราะห์ระดับความเหมาะสมของปริมาณน้ำที่มีต่อการปลูกแต่ละชนิด
- วิเคราะห์ระดับความเหมาะสมของดินและน้ำต่อการปลูกพืช
- วิเคราะห์และกำหนดเขตพื้นที่ตามระดับความเหมาะสม โดยจำแนกพื้นที่ออกเป็น 4 เขต คือ เขตเกษตรกรรม (Agricultural zone) เขตป่าเศรษฐกิจ (Economic forest zone) เขตป่าอนุรักษ์ (Conservative forest zone) และเขตอื่นๆ (Other zone) สำหรับเขตเกษตรกรรมได้จำแนกความเหมาะสมเป็น 4 ระดับ คือ พื้นที่เหมาะสมที่สุดในเขตเกษตรกรรม พื้นที่เหมาะสมปานกลางในเขตเกษตรกรรม พื้นที่เหมาะสมเล็กน้อยในเขตเกษตรกรรม พื้นที่ไม่เหมาะสม

4) วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัจจัยทางกายภาพและปัจจัยทางเศรษฐกิจ เพื่อจัดทำแผนที่แสดงระดับของศักยภาพในการผลิตสินค้าเกษตรแต่ละชนิด

- พื้นที่ความเหมาะสมทางกายภาพ ในอำเภอนั้นมีพื้นที่ที่เหมาะสมที่สุด และเหมาะสมปานกลางกับการปลูกปาล์มน้ำมัน
  - ระดับที่ 1 (2 คะแนน) มีความเหมาะสมที่สุด ตั้งแต่ 25,000 ไร่ ขึ้นไป
  - ระดับที่ 2 (1 คะแนน) มีความเหมาะสมปานกลาง ตั้งแต่ 25,000 ไร่ ขึ้นไป
- พื้นที่ปลูกในปัจจุบัน ในอำเภอนั้นมีพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันในปัจจุบัน
  - ระดับที่ 1 (2 คะแนน) ตั้งแต่ 20,000 ไร่ ขึ้นไป
  - ระดับที่ 2 (1 คะแนน) ตั้งแต่ 2,000-19,999 ไร่
- ผลผลิตต่อไร่ พื้นที่ที่มีการปลูกปาล์มน้ำมันมีผลผลิตต่อไร่
  - ระดับที่ 1 (2 คะแนน) ตั้งแต่ 2,500 กิโลกรัมต่อไร่ ขึ้นไป
  - ระดับที่ 2 (1 คะแนน) ตั้งแต่ 2,000-2,499 กิโลกรัมต่อไร่

ระยะทางห่างจากโรงงาน พื้นที่ที่มีการปลูกปาล์มน้ำมันมีระยะทางห่างจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

- ระดับที่ 1 (2 คะแนน) ไม่เกิน 50 กิโลเมตร
- ระดับที่ 2 (1 คะแนน) ตั้งแต่ 51-100 กิโลเมตร

5) การกำหนดค่าถ่วงน้ำหนัก

เนื่องจากองค์ประกอบทั้ง 3 ประเภทดังกล่าวข้างต้นมีระดับความสำคัญที่จะนำมาพิจารณาไม่เท่ากัน จึงได้กำหนดค่าถ่วงน้ำหนัก ดังนี้

- ปัจจัยที่ 1 พื้นที่เหมาะสมทางกายภาพ = 0.40
- ปัจจัยที่ 2 พื้นที่ปลูกในปัจจุบัน = 0.20
- ปัจจัยที่ 3 ผลผลิตต่อไร่ = 0.20
- ปัจจัยที่ 4 ระยะทางห่างจากโรงงาน = 0.20

รวม = 1.00

เมื่อเอาคะแนนคูณด้วยน้ำหนักในแต่ละอำเภอ ถ้าคะแนนอยู่ระหว่าง 1.5-2 คะแนน กำหนดให้อยู่ในศักยภาพอันดับที่ 1 ถ้าคะแนนอยู่ระหว่าง 1-1.49 คะแนน กำหนดให้อยู่ในศักยภาพอันดับที่ 2 จากนั้นจึงพิจารณาผลผลิตในแต่ละศักยภาพให้สอดคล้องกับเป้าหมายการผลิต

ตารางที่ 6.2 เกณฑ์การให้น้ำหนัก คะแนนของปัจจัยต่างๆ ของสินค้าเกษตรจำนวน 12 สินค้า

ชนิดสินค้า	พื้นที่ความเหมาะสมทางกายภาพ (ไร่)	พื้นที่ปลูกในปัจจุบัน (ไร่)	ผลผลิตต่อไร่ (กก./ไร่)	ระยะทางห่างจากโรงงาน (กม.)
ข้าวนาปี				
• ระดับที่ 1 • ระดับที่ 2 ค่าถ่วงน้ำหนัก (%)	เหมาะสมที่สุด > 30,000 ปานกลาง > 30,000 30%	> 25,000 15,000-24,999 40%	> 342 300-341 30%	
ข้าวนาปรัง				
• ระดับที่ 1 • ระดับที่ 2 ค่าถ่วงน้ำหนัก (%) • ระดับที่ 1 • ระดับที่ 2 ค่าถ่วงน้ำหนัก (%)	เหมาะสมที่สุด > 25,000 ปานกลาง 15,000-24,999 20% *พื้นที่รับน้ำชลประทาน (ไร่)* > 25,000 10,000-24,999 40%	> 25,000 15,000-24,999 20%	> 800 600-799 20%	
ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์				
<u>รุ่น 1</u> • ระดับที่ 1 • ระดับที่ 2 <u>รุ่น 2</u> •ระดับที่ 1 •ระดับที่ 2 ค่าถ่วงน้ำหนัก (%)	เหมาะสมที่สุด > 10,000 ปานกลาง > 10,000 เหมาะสมที่สุด > 10,000 ปานกลาง > 10,000 30%	> 10,000 5,000-9,999 > 6,000 3,000-5,999 40%	> 650 500-649 > 650 500-649 30%	- - - -

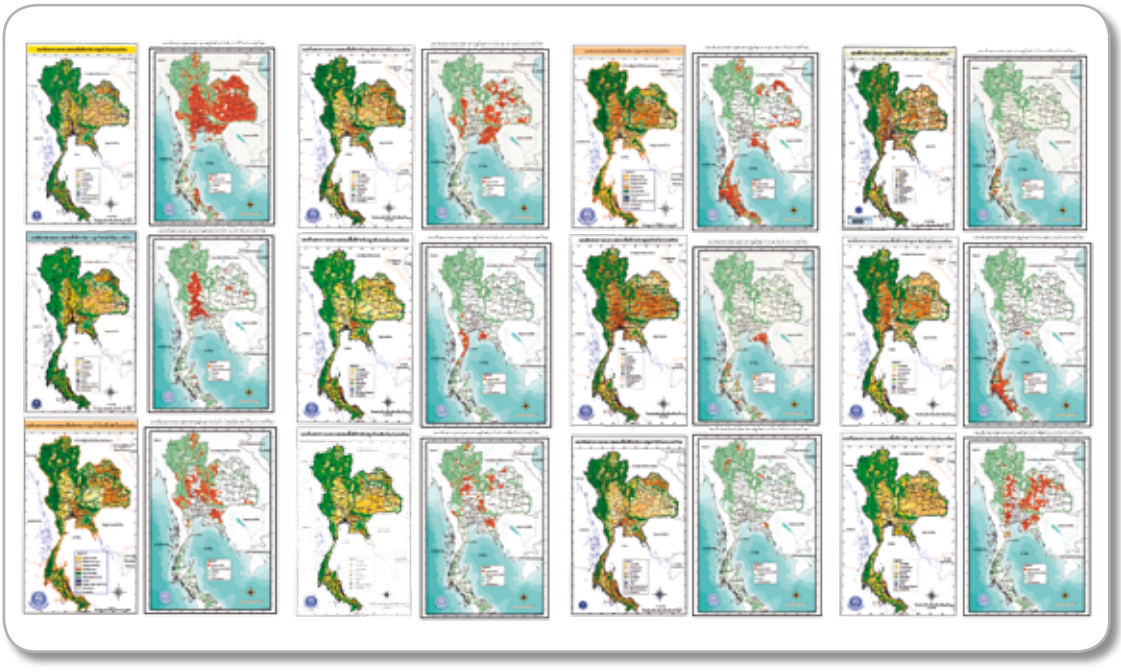
ตารางที่ 6.2 เกณฑ์การให้น้ำหนัก คะแนนของปัจจัยต่างๆ ของสินค้าเกษตรจำนวน 12 สินค้า (ต่อ)

ชนิดสินค้า	พื้นที่ความเหมาะสมทางกายภาพ (ไร่)	พื้นที่ปลูกในปัจจุบัน (ไร่)	ผลผลิตต่อไร่ (กก./ไร่)	ระยะทางห่างจากโรงงาน (กม.)
มันสำปะหลัง				
• ระดับที่ 1 • ระดับที่ 2 ค่าถ่วงน้ำหนัก (%)	เหมาะสมที่สุด > 20,000 ปานกลาง > 20,000 40%	> 20,000 10,000-19,999 20%	> 3,000 2,500-2,999 20%	ไม่เกิน 50 51-100 20%
อ้อยโรงงาน				
• ระดับที่ 1 • ระดับที่ 2 ค่าถ่วงน้ำหนัก (%)	เหมาะสมที่สุด > 5,000 ปานกลาง > 5,000 40%	>10,000 2,000-9,999 20%	>9,000 8,000-8,999 20%	ไม่เกิน 50 51-100 20%
สับปะรดโรงงาน				
• ระดับที่ 1 • ระดับที่ 2 ค่าถ่วงน้ำหนัก (%)	เหมาะสมที่สุด > 5,000 ปานกลาง > 5,000 40%	>850 100-849 20%	>4,000 3,000-3,999 20%	ไม่เกิน 50 51-100 20%
ถั่วเหลือง				
รุ่นที่ 1 • ระดับที่ 1 • ระดับที่ 2 รุ่นที่ 2 • ระดับที่ 1 • ระดับที่ 2 ค่าถ่วงน้ำหนัก (%)	 เหมาะสมที่สุด > 10,000 ปานกลาง > 10,000 เหมาะสมที่สุด > 10,000 ปานกลาง > 10,000 30%	 >3,000 1,000-2,999 >3,000 1,000-2,999 40%	 >240 220-239 >260 220-259 30%	 - - - - -
ยางพารา				
• ระดับที่ 1 • ระดับที่ 2 ค่าถ่วงน้ำหนัก (%)	เหมาะสมที่สุด > 10,000 ปานกลาง > 10,000 30%	>10,000 5,000-9,999 40%	>270 230-249 30%	- - -
ปาล์มน้ำมัน				
• ระดับที่ 1 • ระดับที่ 2 ค่าถ่วงน้ำหนัก (%)	เหมาะสมที่สุด > 25,000 ปานกลาง > 25,000 40%	>20,000 2,000-19,999 20%	>2,500 2,000-2,499 20%	ไม่เกิน 50 51-100 20%
ทุเรียน				
• ระดับที่ 1 • ระดับที่ 2 ค่าถ่วงน้ำหนัก (%)	เหมาะสมที่สุด > 10,000 ปานกลาง > 10,000 30%	>5,000 1,000-4,999 40%	>1,600 1,000-1,599 30%	- - -
ลำไย				
• ระดับที่ 1 • ระดับที่ 2 ค่าถ่วงน้ำหนัก (%)	เหมาะสมที่สุด > 10,000 ปานกลาง > 10,000 30%	>5,000 1,000-4,999 40%	>750 650-749 30%	- - -
กาแฟ	สูงกว่าระดับทะเลปานกลาง 700 เมตร			
พันธุ์อาราบิก้า ระดับที่ 1 ระดับที่ 2 พันธุ์โรบัสต้า ระดับที่ 1 ระดับที่ 2 ค่าถ่วงน้ำหนัก (%)	 เหมาะสมที่สุด > 10,000 ปานกลาง > 5,000 เหมาะสมที่สุด > 10,000 ปานกลาง > 5,000 30%	 >3,000 800-2,999 >7,000 1,000-6,999 40%	 >190 100-189 >250 200-249 30%	 - - - - -

ผลการศึกษา

ผลการกำหนดเขตเศรษฐกิจสินค้าเกษตรได้ดำเนินการกำหนดเขตเศรษฐกิจเป็น 2 ลักษณะ คือ

1) การกำหนดเขตเกษตรเศรษฐกิจเป็นรายสินค้า (Commodities approach) ดังแสดงในภาพที่ 6.5
2) การกำหนดเขตเกษตรเศรษฐกิจตามศักยภาพการผลิตของพื้นที่ (Area approach) ดังแสดงในภาพที่ 6.6
3) แผนที่เขตเกษตรเศรษฐกิจสำหรับพืชแต่ละชนิด



ภาพที่ 6.5 *แผนที่แสดงความเหมาะสมของพื้นที่ และแผนที่เขตเกษตรเศรษฐกิจสำหรับพืชแต่ละชนิด*

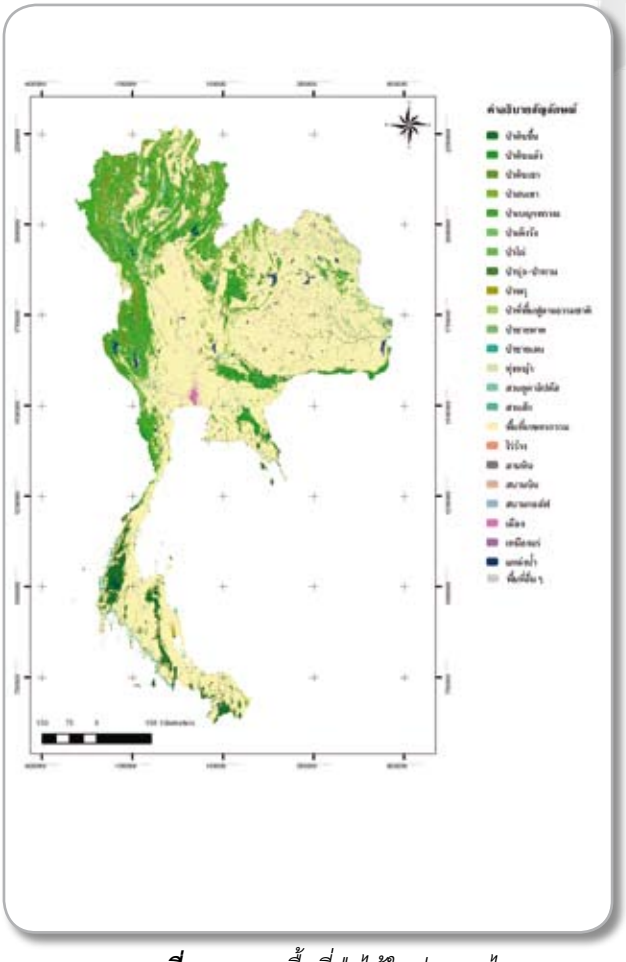
ภาพที่ 6.6 *เขตเกษตรเศรษฐกิจระดับตำบลตามศักยภาพการผลิตของพื้นที่ ของจังหวัดกำแพงเพชร*

2. ด้านป่าไม้

2.1 พื้นที่ป่าไม้

ในการวิเคราะห์ป่าไม้ได้ทำการตีความจากภาพถ่ายจากดาวเทียม และสร้างฐานข้อมูล นำเข้าสู่ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ตรวจสอบภาคสนาม และแสดงสถิติที่เกี่ยวข้องซึ่งเป็นการใช้ และแสดงสารสนเทศอย่างง่าย

ตารางที่ 6.3 แสดงพื้นที่ป่าไม้แยกตามประเภท พ.ศ. 2543



***ภาพที่** 6.7 แสดงพื้นที่ป่าไม้ในประเทศไทย*

ประเภทป่าไม้ และพื้นที่อื่นๆ	พื้นที่ (ตร.กม.)	ร้อยละ (%)
ป่าดิบชื้น	15,503.36	3.02
ป่าดิบแล้ง	22,842.12	4.45
ป่าดิบเขา	14,389.86	2.80
ป่าสนเขา	462.72	0.09
ป่าเบญจพรรณ	87,643.04	17.08
ป่าเต็งรัง	18,512.37	3.61
ป่าไผ่	1,502.46	0.29
ป่าบุ่ง-ป่าทาม	253.70	0.05
ป่าพรุ	303.80	0.06
ป่าที่พื้นฟูตามธรรมชาติ	2,833.76	0.55
ป่าชายหาด	125.77	0.02
ป่าชายเลน	2,480.11	0.48
ทุ่งหญ้า	1,511.54	0.29
สวนยูคาลิปตัส	1,504.60	0.29
สวนสัก	1,967.44	0.38
พื้นที่เกษตรกรรม	327,369.43	63.80
ไร่ร้าง	2,258.87	0.44
ลานหิน	358.05	0.07
สนามบิน	116.30	0.02
สนามกอล์ฟ	95.83	0.02
เมือง	3,950.04	0.77
เหมืองแร่	177.45	0.03
แหล่งน้ำ	6,842.60	1.33
พื้นที่อื่นๆ	109.79	0.02
รวม	513,115.00	100.00

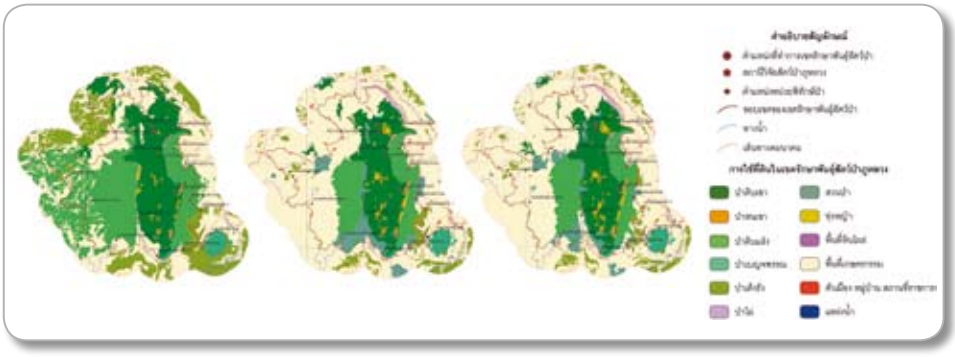
หมายเหตุ : คำนวณพื้นที่จากชั้นข้อมูลชนิดป่าไม้ พ.ศ. 2543 โดยกรมอุทยานสัตว์ป่าและพรรณพืช

2.2 การเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ป่าไม้

วัตถุประสงค์ของการศึกษาเพื่อแสดงความเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ป่า ในอดีตและปัจจุบัน ในที่นี้ได้แสดงพื้นที่เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าภูหลวงและแนวกันชน 5 กิโลเมตร

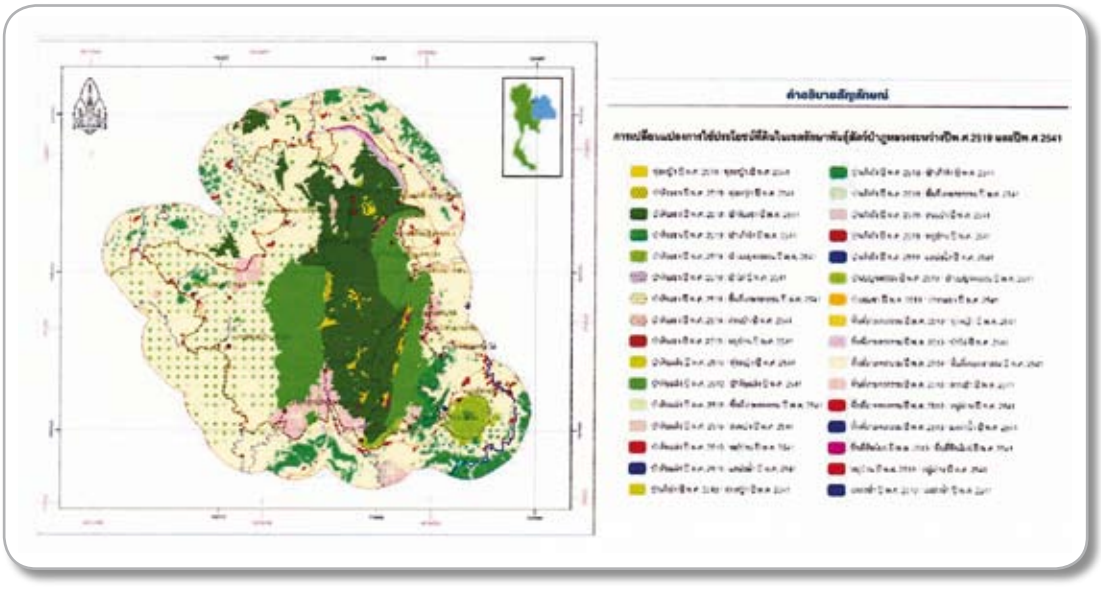
วิธีการศึกษา

ใช้ภาพถ่ายจากดาวเทียมแลนด์แซท/ รูปถ่ายทางอากาศ 3 เวลา ได้แก่ ภาพถ่ายดาวเทียมที่บันทึกภาพในปี พ.ศ. 2519 2541 และ 2548 แก้ไขความคลาดเคลื่อนเชิงเรขาคณิต และปรับให้มีค่าพิกัดตรงกันทั้ง 3 วันที่ หลังจากนั้นแปลตีความด้วยสายตา และสำรวจภาคสนาม สร้างแผนที่ทั้ง 3 ปี แล้วสร้างฐานข้อมูลทั้ง 3 ปี ด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เช่นเดียวกันการศึกษาพื้นที่ป่าไม้ที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น จากนั้นวิเคราะห์ด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์โดยวิธีซ้อนทับแบบยูเนียน แล้วจึงวิเคราะห์ความเปลี่ยนแปลงเทียบระหว่างปี 2519 กับ 2541 และ 2541 กับ 2548 ทำสถิติของการเปลี่ยนแปลงแต่ละชั้นข้อมูล รายงานผลการใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละปี พร้อมทั้งแผนที่การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินดังกล่าว



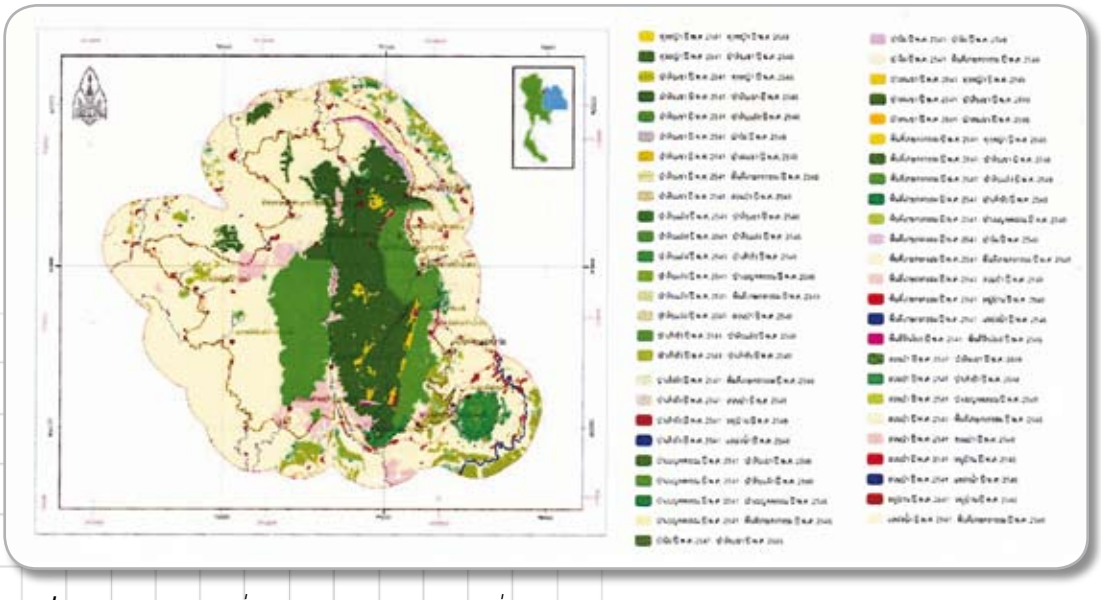
***ภาพที่** 6.8 แสดงลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินในเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าภูหลวง*

ที่มา : ศูนย์ภูมิสารสนเทศเพื่อการพัฒนาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มหาวิทยาลัยขอนแก่น (2549)



***ภาพที่** 6.9 แสดงการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าภูหลวง ระหว่างปี พ.ศ. 2519-2541*

ที่มา : Mongkolsawat, C., Putklang, W., Suwanweerakamtorn, R. and Ratanasermpong, S. (2005)



***ภาพที่** 6.10 แสดงการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าภูหลวง ระหว่างปี พ.ศ. 2541-2548*

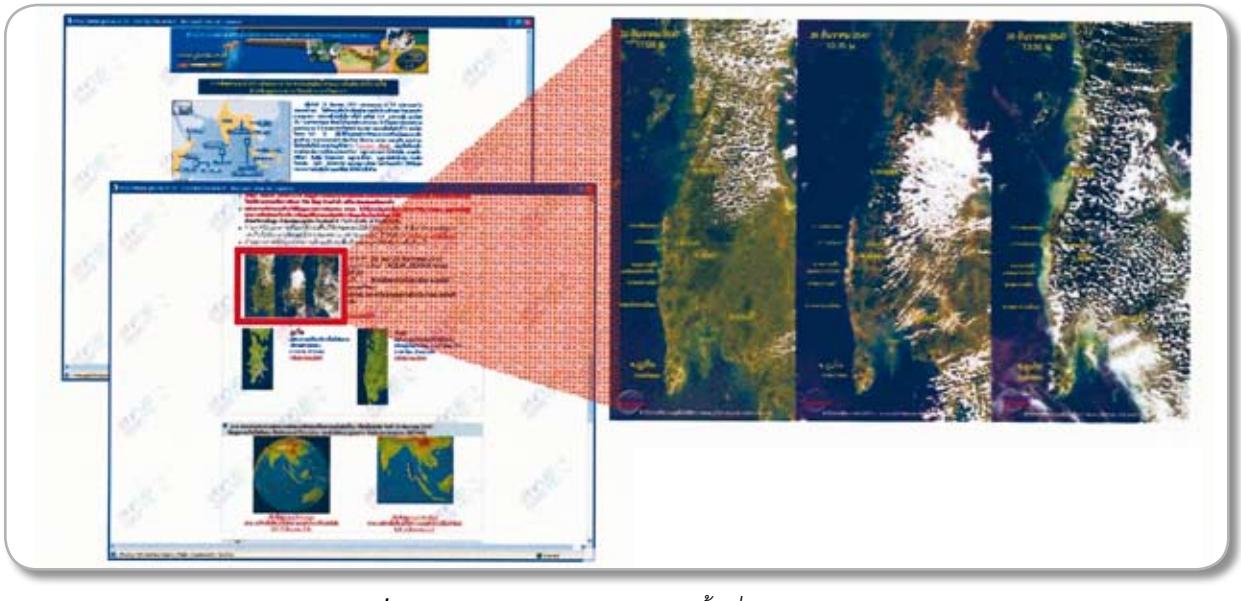
ที่มา : Mongkolsawat, C., Putklang, W., Suwanweerakamtorn, R. and Ratanasermpong, S. (2005)

3. ด้านภัยพิบัติ

3.1 สึนามิ

ปัจจุบันงานศึกษาที่เกี่ยวข้องกับภัยพิบัติโดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์มีอยู่มากมายหลายรูปแบบ ซึ่งอาจเป็นการศึกษาเพื่อประเมินความเสียหายของพื้นที่ เช่น การประเมินมูลค่าความเสียหายของพื้นที่ทางการเกษตร ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับสิ่งปลูกสร้าง อาคาร และสถานที่ต่างๆ รัฐบาลจะสามารถใช้ข้อมูลเหล่านี้ประกอบการตัดสินใจให้ความช่วยเหลือแก่ผู้ที่ได้รับผลกระทบที่แท้จริง ตัวอย่างเช่น กรณีการเกิดสึนามิถือเป็นภัยพิบัติที่ไม่เคยปรากฏในประเทศไทยมาก่อน จึงสร้างความเสียหายอย่างใหญ่หลวงต่อชีวิตและทรัพย์สิน และเนื่องจากพื้นที่ประสบภัยเป็นแหล่งท่องเที่ยวที่สำคัญประกอบกับมีผู้ได้รับผลกระทบจำนวนมาก การตรวจติดตามและประเมินความเสียหายอย่างเร่งด่วนจึงเป็นสิ่งจำเป็น ในช่วงเวลานั้นรัฐบาลได้ใช้ข้อมูลจากการรับรู้ระยะไกลและระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ประเมินความเสียหายของพื้นที่ และอาคาร พร้อมจัดทำระบบ Internet mapping สำหรับการบอกแจ้งข้อมูลผู้ประสบภัย

การศึกษาของ Marghany, M. and Hashim, M. (2006) ได้ใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม QuickBird ตรวจสอบการเคลื่อนตัวของคลื่นสึนามิเข้าสู่ชายฝั่งของประเทศอินโดนีเซีย และจำลองขนาดคลื่นสึนามิในช่องแคบมะละกา (Malacca straits) ผลการศึกษาสามารถแสดงแนวการเคลื่อนที่ของคลื่นน้ำเข้าสู่ชายฝั่ง และการเปลี่ยนแปลงภายหลังจากเกิดสึนามิ ช่วยให้การประเมินมูลค่าความเสียหายและการวางแผนป้องกันกระทำได้ง่ายขึ้น นอกจากนั้นแบบจำลองยังช่วยประมาณระยะเวลาการเคลื่อนตัวของคลื่นน้ำไปสู่พื้นที่อื่น จึงเป็นการดีที่จะใช้ข้อมูลในลักษณะเดียวกันนี้ ร่วมกับการทำงานด้วยระบบสารสนเทศเพื่อประกอบการติดตามและป้องกันการเกิดสึนามิต่อไป เช่นเดียวกับในประเทศไทย หน่วยงาน สทอภ. ได้จัดแสดงพื้นที่ประสบภัยสึนามิ ซึ่งสามารถประเมินมูลค่าความเสียหายได้ง่าย และมีความถูกต้อง แสดงตัวอย่างดังภาพที่ 6.11

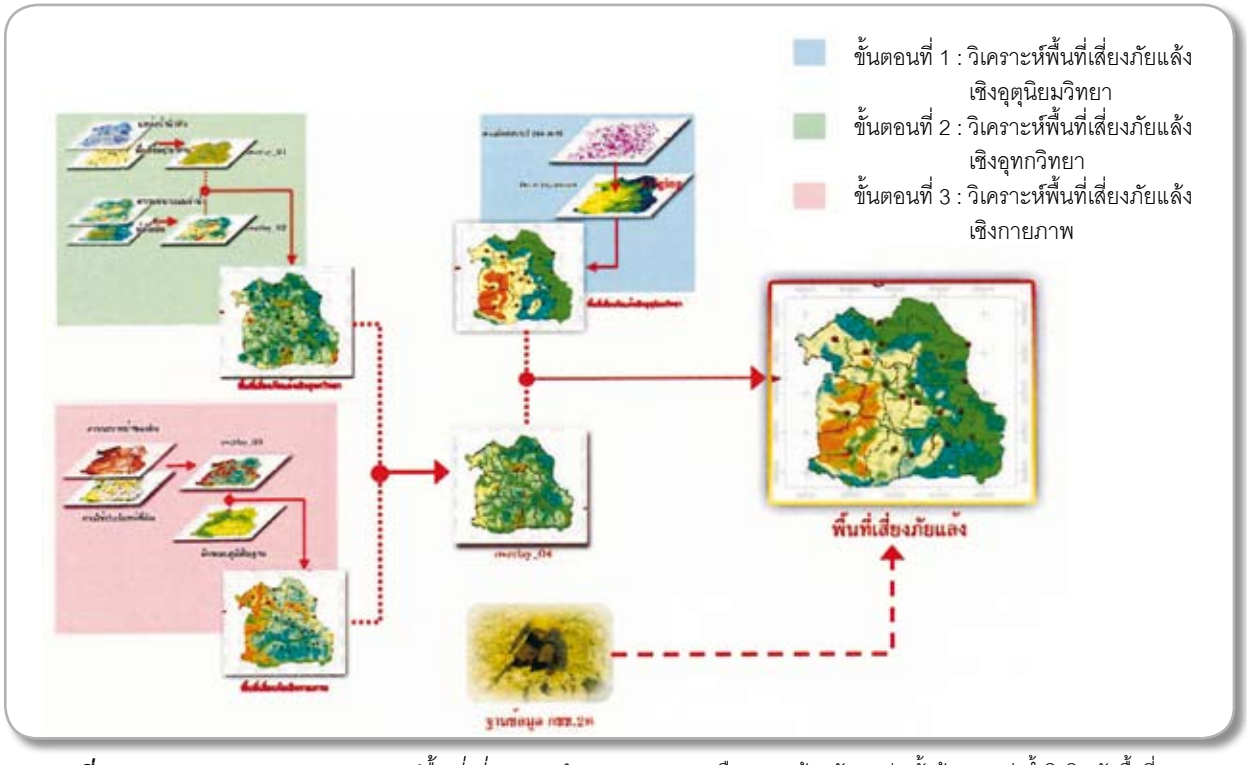


***ภาพที่** 6.11 แสดงตัวอย่างการติดตามพื้นที่เสียหายจากสึนามิ*
จากเว็บไซต์ WWW.GISTDA.OR.TH

นอกจากนั้นระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ยังถูกใช้เพื่อพยากรณ์ความรุนแรงของภัยพิบัติที่อาจเกิดขึ้น ตัวอย่างเช่น การจัดทำแบบจำลองวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงภัยแล้ง และน้ำท่วม โดยศูนย์ภูมิสารสนเทศเพื่อการพัฒนาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

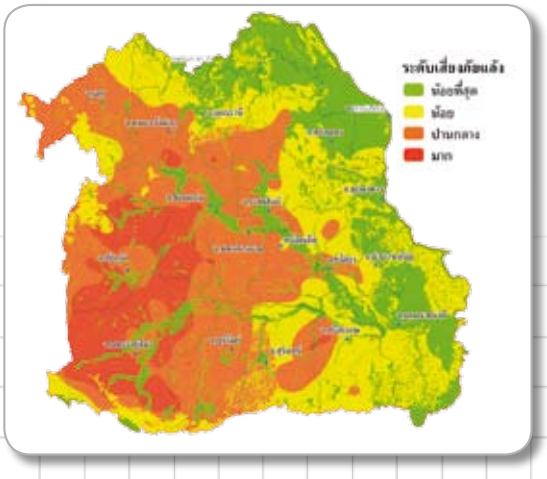
3.2 พื้นที่เสี่ยงภัยแล้ง

การจัดทำพื้นที่เสี่ยงภัยแล้งในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เนื่องจากภาคตะวันออกเฉียงเหนือเป็นภูมิภาคที่ประสบปัญหาความแห้งแล้งประจำทุกปี สาเหตุหลักมาจากสภาพภูมิประเทศ และภูมิอากาศ ซึ่งจะเกิดฝนแล้งในระหว่างเดือนกุมภาพันธ์-เมษายน และสภาพแห้งแล้งจากฝนทิ้งช่วงเป็นช่วงสั้น คือ ระหว่างเดือนมิถุนายน-กรกฎาคม ผลจากภาวะความแห้งแล้งจะทำให้เกิดไฟป่า พายุฤดูร้อน ทำให้เกิดความเสียหายต่อการดำรงชีพ และผลผลิตทางการเกษตร ทางศูนย์ภูมิสารสนเทศเพื่อการพัฒนาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ได้จัดทำแบบจำลองพื้นที่เสี่ยงภัยแล้ง วิเคราะห์ภัยแล้งใน 3 ด้าน คือ พื้นที่เสี่ยงภัยแล้งเชิงกายภาพ เชิงอุตุนิยมวิทยา และเชิงอุทกวิทยา ก่อนนำลักษณะความแห้งแล้งของแต่ละด้านมาวิเคราะห์ร่วมกันด้วยซ้อนทับแบบกำหนดค่าน้ำหนัก แสดงภาพรวมวิธีการศึกษาดังภาพที่ 6.12



ภาพที่ 6.12 *แสดงแนวทางการวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงภัยแล้ง*
ที่มา : ศูนย์ภูมิสารสนเทศเพื่อการพัฒนาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มหาวิทยาลัยขอนแก่น (2549)

Overlay_01 คือ ผลการซ้อนทับระหว่างชั้นข้อมูลแหล่งน้ำผิวดิน กับพื้นที่ชลประทาน
Overlay_02 คือ ผลการซ้อนทับระหว่างชั้นข้อมูลความหนาแน่นลำน้ำ กับน้ำใต้ดิน
Overlay_03 คือ ผลการซ้อนทับระหว่างชั้นข้อมูลการระบายน้ำของดิน กับการใช้ประโยชน์ที่ดิน
Overlay_04 คือ ผลการซ้อนทับระหว่างชั้นข้อมูลพื้นที่เสี่ยงภัยแล้งเชิงอุทกวิทยา กับพื้นที่เสี่ยงภัยแล้งเชิงกายภาพ

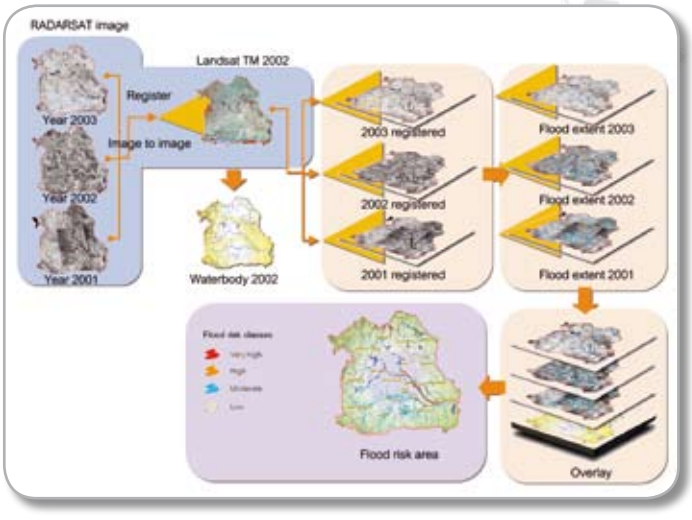


ภาพที่ 6.13 *พื้นที่เสี่ยงภัยแล้งภาคตะวันออกเฉียงเหนือ*
ที่มา : ศูนย์ภูมิสารสนเทศเพื่อการพัฒนาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มหาวิทยาลัยขอนแก่น (2549)

ผลการศึกษาสามารถแบ่งระดับความเสี่ยงออกเป็น 4 ระดับ คือ เสี่ยงมาก ปานกลาง น้อย และน้อยที่สุด คิดเป็นพื้นที่เท่ากับ 18,957.22, 54,199.16, 46,285.13 และ 49,383.83 ตารางกิโลเมตร โดยพื้นที่เสี่ยงภัยแล้งได้รับอิทธิพลจากปัจจัยความแห้งแล้งเชิงอุตุนิยมวิทยามาก เนื่องจากเป็นตัวกำหนดปริมาณน้ำเข้าในพื้นที่ สำหรับบริเวณที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดภัยแล้งมากปรากฏในพื้นที่จังหวัดนครราชสีมา ชัยภูมิ และพื้นที่บางส่วนของจังหวัดขอนแก่น แสดงดังภาพที่ 6.13

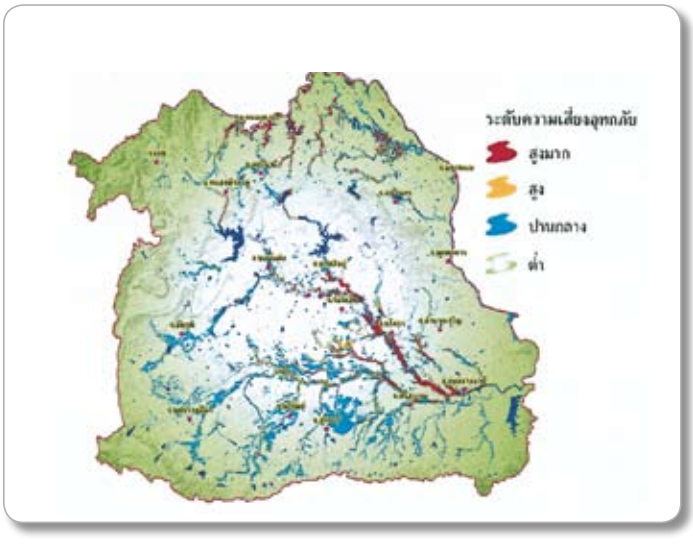
3.3 พื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดอุทกภัย

การจัดทำพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดอุทกภัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ นับแต่อดีตมาสภาวะน้ำท่วมที่เกิดขึ้นในพื้นที่มักเกิดขึ้นในพื้นที่ซ้ำซาก โดยเฉพาะบริเวณลำน้ำขนาดใหญ่ และด้วยผลจากการสร้างสิ่งปลูกสร้าง รวมไปถึงการเข้าไปตั้งถิ่นฐานที่อยู่อาศัยของประชาชนใกล้แหล่งน้ำมากขึ้น จึงทำให้สภาวะน้ำท่วมมีความรุนแรงขึ้นตามลำดับ ส่งผลให้รัฐบาลต้องเสียค่าใช้จ่ายจำนวนมากในการเข้าช่วยเหลือผู้ประสบภัย ซึ่งในอดีตการจัดทำบัญชีพื้นที่ประสบอุทกภัยเป็นไปด้วยความยากลำบาก ใช้เวลาดำเนินการนาน และบางครั้งไม่เข้าถึงผู้ประสบภัยที่แท้จริง ด้วยเหตุนี้ศูนย์ภูมิสารสนเทศเพื่อการพัฒนาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จึงได้จัดทำการประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดอุทกภัยโดยวิเคราะห์จากประวัติการเกิดน้ำท่วม 3 ปี คือ พื้นที่ประสบอุทกภัย พ.ศ. 2544 2545 และ 2546 (ตีความพื้นที่น้ำท่วมจากภาพถ่ายดาวเทียมเรดาร์แซท) จากความซ้ำซากของตำแหน่งที่เกิดน้ำท่วม จึงสามารถแบ่งระดับความเสี่ยงของการเกิดอุทกภัยออกเป็น 4 ระดับ คือ เสี่ยงอุทกภัยสูงมาก เสี่ยงสูง เสี่ยงปานกลาง และเสี่ยงต่ำ โดยมีขั้นตอนการศึกษาพอสังเขปดังภาพที่ 6.14



ภาพที่ 6.14 *แสดงขั้นตอนการศึกษาพอสังเขป*
ที่มา : ศูนย์ภูมิสารสนเทศเพื่อการพัฒนาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มหาวิทยาลัยขอนแก่น (2549)

ผลการวิเคราะห์แสดงพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดอุทกภัยในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ แสดงให้เห็นว่าพื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดอุทกภัยในระดับเสี่ยงสูงมาก และเสี่ยงสูง ปรากฏตามแนวลำน้ำขนาดใหญ่ คือแม่น้ำชี และแม่น้ำมูล โดยเฉพาะตำแหน่งที่เป็นจุดบรรจบของลำน้ำบริเวณแม่น้ำชีสบมูล เป็นต้น สำหรับสัดส่วนพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดอุทกภัย ระดับเสี่ยงสูงมาก สูง ปานกลาง และต่ำ เท่ากับ 1.08 2.3 7.76 และ 88.79 จากพื้นที่ทั้งภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ได้รับผลกระทบมากคือพื้นที่เกษตรกรรมประเ ภทนาข้าวมากที่สุด เนื่องจากพื้นที่เพาะปลูกนาข้าวเป็นบริเวณที่มีระดับความสูงต่ำ ส่วนใหญ่มีลักษณะภูมิสัณฐานเป็นที่ราบน้ำท่วมถึง หรือที่ราบขั้นบันไดระดับต่ำ โดยจังหวัดที่มีพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดอุทกภัยที่ระดับเสี่ยงสูงมากที่สุด คือ จังหวัดร้อยเอ็ด แสดงดังภาพที่ 6.15 พื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมจะถูกนำไปใช้ในการวางแผนป้องกันอุทกภัยที่จะเกิดขึ้น โดยให้ความสำคัญกับจังหวัดที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดอุทกภัยสูง



ภาพที่ 6.15 *แสดงพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดอุทกภัย ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ*
ที่มา : ศูนย์ภูมิสารสนเทศเพื่อการพัฒนาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มหาวิทยาลัยขอนแก่น (2549)

3.4 การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีจากดาวเทียมและระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในการกำหนดเขตพื้นที่น้ำท่วม ในภาคใต้ฝั่งตะวันออกตอนบน (จังหวัดชุมพร สุราษฎร์ธานี และนครศรีธรรมราช)

ภาคใต้ฝั่งตะวันออกตอนบนของประเทศไทย ช่วงเดือนตุลาคมถึงเดือนมกราคม น้ำฝนที่มีปริมาณมากไม่สามารถระบายออกสู่ทะเลได้ทัน ทำให้เกิดน้ำท่วมฉับพลัน การศึกษาพื้นที่มีโอกาสเกิดน้ำท่วมโดยใช้เทคโนโลยีจากดาวเทียมและระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ โดยวิธีการกำหนดค่าถ่วงน้ำหนัก และการให้คะแนนตามลำดับความสำคัญของปัจจัยทางกายภาพที่มีผลต่อการเกิดน้ำท่วม สามารถใช้เป็นแนวทางในการกำหนดเขตพื้นที่น้ำท่วม และจัดทำแผนที่พื้นที่ที่มีโอกาสเกิดน้ำท่วม อันจะเป็นประโยชน์ในด้านการวางแผนป้องกัน และลดความสูญเสียต่อชีวิตและทรัพย์สินได้

<u>วัตถุประสงค์</u>

- เพื่อกำหนดขอบเขตพื้นที่น้ำท่วมในพื้นที่ภาคใต้ฝั่งตะวันออกตอนบนโดยใช้ข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียม
- วิเคราะห์พื้นที่ที่มีโอกาสเกิดน้ำท่วมระดับต่างๆ โดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์
- เพื่อกำหนดแนวทางในการป้องกันและบรรเทาผลกระทบจากการเกิดน้ำท่วม

<u>วิธีการ</u>

การกำหนดเขตพื้นที่น้ำท่วมพื้นที่ที่มีโอกาสเกิดน้ำท่วม ได้แก่ ที่ราบน้ำท่วมถึง ที่ลุ่มที่เป็นนาข้าว บึง และพรุ ที่ราบน้ำท่วมถึง ลานตะพักลำน้ำระดับต่ำ และริมฝั่งแม่น้ำสายใหญ่ที่มีน้ำตลอดปี จากภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT 7 ETM

- การกำหนดปัจจัยทางกายภาพ ที่คาดว่าจะมีผลต่อการเกิดน้ำท่วม ประกอบด้วย 8 ปัจจัย ได้แก่ ปริมาณน้ำฝน ขนาดของพื้นที่ลุ่มน้ำ ความหนาแน่นของทางน้ำ ความลาดชันของสภาพพื้นที่ลุ่มน้ำ การใช้ประโยชน์ที่ดิน เนื้อดิน และความลึกของดิน

- การวิเคราะห์พื้นที่ที่มีโอกาสเกิดน้ำท่วม โดยกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักของแต่ละปัจจัยอยู่ระหว่าง 1-8 ตามลำดับความสำคัญ ถ้าค่าถ่วงน้ำหนักมากแสดงว่าปัจจัยมีความสำคัญเกี่ยวข้องกับการเกิดน้ำท่วมมาก ถ้าค่าถ่วงน้ำหนักน้อยแสดงว่าปัจจัยมีความสำคัญและเกี่ยวข้องกับสาเหตุการเกิดน้ำท่วมน้อย แสดงการกำหนดค่าน้ำหนักดังตารางที่ 6.4

ตารางที่ 6.4 ปัจจัย ประเภทข้อมูล ค่าถ่วงน้ำหนัก และค่าคะแนนที่ใช้ในการศึกษา

ปัจจัย	ประเภทข้อมูล	ค่าถ่วงน้ำหนักของปัจจัย	ค่าคะแนนของประเภทข้อมูล
ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยมากที่สุดในรอบวัน	• 80 มม./วัน • 61-80 มม./วัน • 40-60 มม./วัน	8	4 3 2
ขนาดของพื้นที่ลุ่มน้ำ	• 3,000 ตร.กม. • 2,001-3,000 ตร.กม. • 1,001-2,000 ตร.กม. • < = 1,000 ตร.กม.	7	5 4 3 2
ความหนาแน่นของทางน้ำ	• < 1 กม./ตร.กม. • 1-2 กม./ตร.กม. • 2-3 กม./ตร.กม.	6	4 3 2

ตารางที่ 6.4 ปัจจัย ประเภทข้อมูล ค่าถ่วงน้ำหนัก และค่าคะแนนที่ใช้ในการศึกษา (ต่อ)

ปัจจัย	ประเภทข้อมูล	ค่าถ่วงน้ำหนักของปัจจัย	ค่าคะแนนของประเภทข้อมูล
ความลาดชันของสภาพพื้นที่ลุ่มน้ำ	• < 3 % • 3-8 % • 9-16 %	5	6 5 4
ความลาดชันของสภาพพื้นที่ลุ่มน้ำ	• 17-35 % • > 35 %	5	3 2
ความลาดชันของทางน้ำสายหลัก	• 2-3 % • 1-2 % • < 1 %	4	4 3 2
เนื้อดิน	• ดินเหนียว ดินเหนียวปนทราย และดินเหนียวปนทรายแป้ง • ดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง ดินร่วนเหนียวปนทราย ดินร่วนปนทรายแป้ง และดินร่วนปนเหนียว • ดินร่วน ดินร่วนปนทราย ดินทรายปนดินร่วน • ดินทราย ดินทรายหยาบ และดินทรายละเอียด	2	5 4 3 2
ความลึกของดิน	• ดินลึก (> 100 ซม.) • ดินลึกปานกลาง (51-100 ซม.) • ดินตื้น (25-50 ซม.) • ดินตื้นมาก (< 25 ซม.)	1	5 4 3 2

วิเคราะห์พื้นที่ที่มีโอกาสเกิดน้ำท่วม ด้วยวิธีการซ้อนทับข้อมูลของปัจจัยที่กำหนดไว้ แล้วคำนวณค่าคะแนนรวมของแต่ละปัจจัย โดยสมการ

$$Wt = (M_1W_1) + (M_2W_2) + (M_3W_3) + \ldots + (M_nW_n)$$

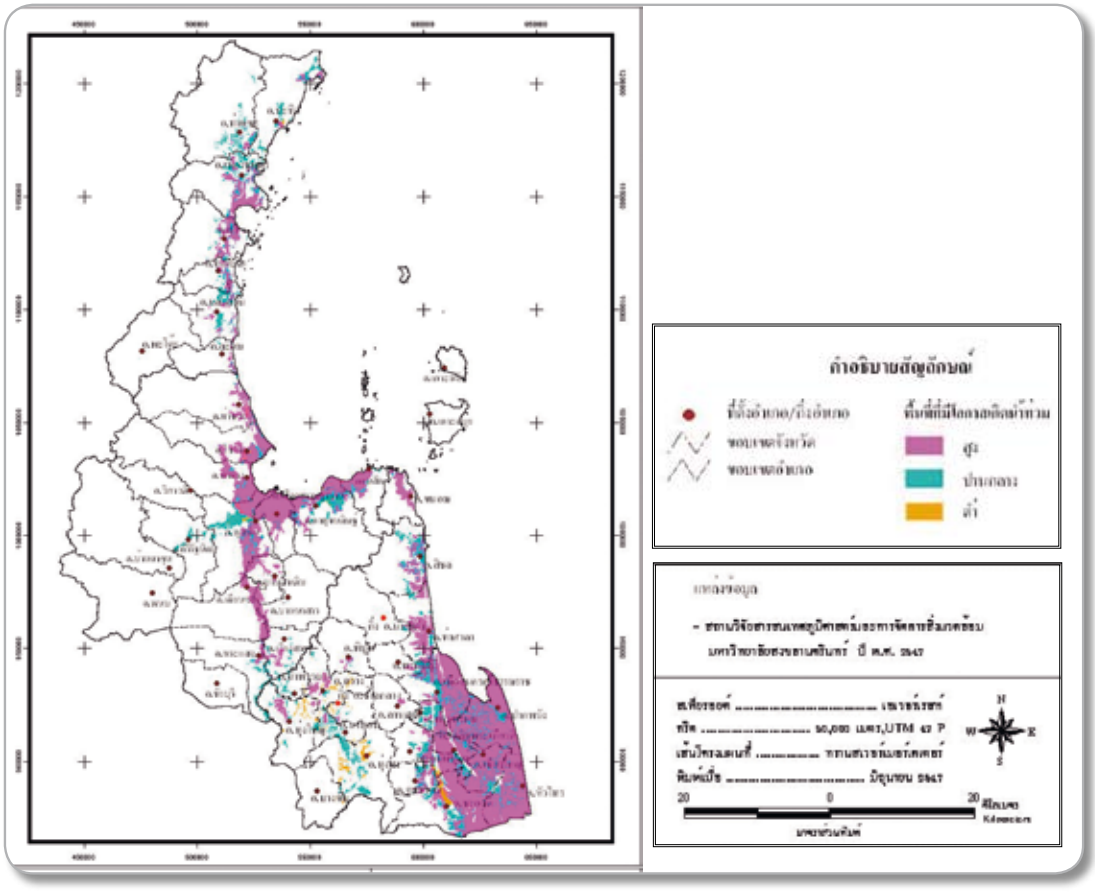
โดย

Wt = ระดับโอกาสที่จะเกิดน้ำท่วม โดยเป็นค่าคะแนนรวมของแต่ละปัจจัย

$M_1, M_2, M_3 \ldots M_n$ = ค่าคะแนนของปัจจัยที่ 1, 2, 3 ... ถึง n

$W_1, W_2, W_3 \ldots W_n$ = ค่าถ่วงน้ำหนักของปัจจัยที่ 1, 2, 3 ... ถึง n

จากสมการสามารถจัดกลุ่มค่าคะแนนรวมโดยอาศัยค่าเฉลี่ย (Mean) แล้วนำค่าการกระจายของข้อมูล (Standard deviation) มากำหนดค่าพิสัย (Range) โดยแบ่งระดับโอกาสที่เกิดน้ำท่วมออกเป็น 3 ระดับ คือ พื้นที่ที่มีโอกาสเกิดน้ำท่วมสูง ปานกลาง และต่ำ ซึ่งมีระดับคะแนนมากกว่า >127 ระหว่าง 113 ถึง 127 และน้อยกว่า 113 ตามลำดับ



ภาพที่ 6.16 *แผนที่พื้นที่ที่มีโอกาสเกิดน้ำท่วมในภาคใต้ฝั่งตะวันออกตอนบน*

สรุป

การศึกษาพื้นที่ที่มีโอกาสเกิดน้ำท่วมโดยใช้เทคโนโลยีข้อมูลจากดาวเทียมและระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในพื้นที่ภาคใต้ฝั่งตะวันออกตอนบน พบว่าจังหวัดชุมพรมีพื้นที่ที่มีโอกาสเกิดน้ำท่วมสูง 167,081 ไร่ พื้นที่ที่มีโอกาสเกิดน้ำท่วมปานกลาง 146,175 ไร่ และพื้นที่ที่มีโอกาสเกิดน้ำท่วมต่ำ 3,838 ไร่ จังหวัดสุราษฎร์ธานีพื้นที่ที่มีโอกาสเกิดน้ำท่วมสูง ปานกลาง และต่ำ โดยมีพื้นที่ 685,781 ไร่ 186,125 ไร่ และ 15,306 ไร่ ตามลำดับ และพื้นที่ที่มีโอกาสเกิดน้ำท่วมสูง ปานกลาง และต่ำในจังหวัดนครศรีธรรมราช มีพื้นที่ 1,483,988 ไร่ 412,213 ไร่ และ 67,944 ไร่ ตามลำดับ โดยพื้นที่ทางด้านตะวันออกของพื้นที่ศึกษาซึ่งติดกับทะเลจะมีโอกาสเกิดน้ำท่วมสูง เนื่องจากเป็นที่ราบและเป็นพื้นที่รับน้ำขนาดใหญ่ เมื่อฝนตกหนักในพื้นที่สูงทางด้านตะวันตก น้ำจะไหลลงจากพื้นที่รับน้ำตอนบนตามลำน้ำซึ่งน้ำไหลเร็วและมีปริมาณมาก ทำให้พื้นที่รับน้ำด้านล่างมีโอกาสเกิดน้ำท่วมสูง แต่สภาพความเป็นจริงในปัจจุบันบางพื้นที่อาจจะไม่ประสบปัญหาน้ำท่วมเพราะได้มีการแก้ไขปัญหาบ้างแล้ว เช่น บริเวณพื้นที่อำเภอเมืองชุมพรมีการผันน้ำและเปลี่ยนเส้นทางการไหลของน้ำโดยการพัฒนาพื้นที่หนองใหญ่ (แก้มลิงธรรมชาติ) และการขุดคลองหัววังพนังตัก ซึ่งทั้งสองโครงการมีผลให้น้ำไม่ท่วมเมืองชุมพรตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2541

3.5 กษัยการของดิน

ศูนย์ภูมิสารสนเทศเพื่อการพัฒนาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ได้ทำการศึกษาพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดการชะล้างพังทลายของดินในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ การวิเคราะห์ดัดแปลงจากสมการการสูญเสียดิน (USLE)

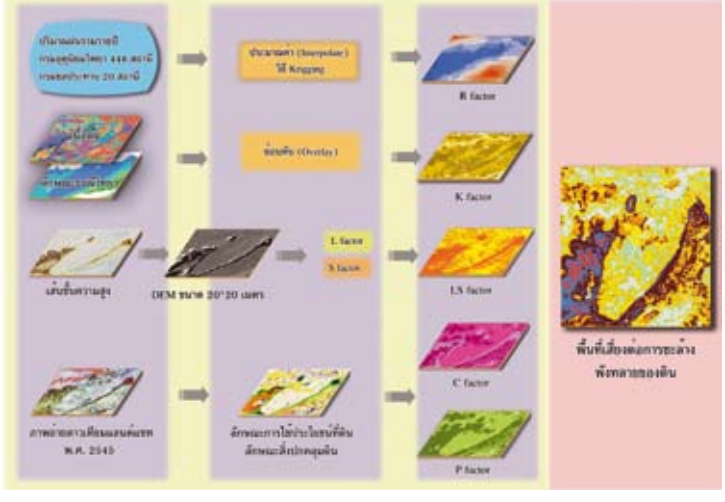
$$A = RKLSCP$$

โดยที่ A = การสูญเสียดิน (ตัน/เฮกแตร์/ปี)
R = ปัจจัยการชะล้างพังทลายของฝน
K = ปัจจัยความคงทนต่อการถูกชะล้างพังทลายของดิน
LS = ปัจจัยความลาดชัน และความยาวของความลาดชัน
C = ปัจจัยพืชพรรณที่ปกคลุมดิน
P = ปัจจัยการป้องกันการพังทลายของดิน

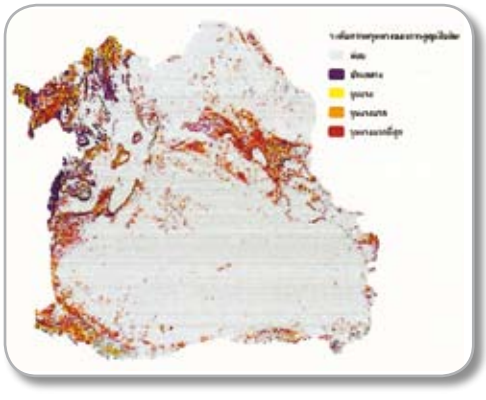
กำหนดคุณลักษณะปัจจัยแต่ละชนิดในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์อันประกอบด้วย ปัจจัยการชะล้างพังทลายของฝน (R) ปัจจัยความคงทนต่อการถูกชะล้างพังทลายของดิน (K) ปัจจัยความลาดชัน และความยาวของความลาดชัน (LS) ปัจจัยพืชพรรณปกคลุมดิน (C) และปัจจัยการป้องกันการพังทลายของดิน (P) ชั้นข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาและแสดงดังตารางที่ 6.5 โดยมีขั้นตอนการศึกษาพอสังเขปดังภาพที่ 6.15

ตารางที่ 6.5 แสดงรายการข้อมูลในการศึกษา

ชั้นข้อมูล	มาตราส่วน
สภาพภูมิอากาศ	-
เนื้อดิน	1: 50,000
ลักษณะธรณีวิทยา	1: 250,000
เส้นชั้นความสูง	1: 50,000
ลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดิน	1: 50,000



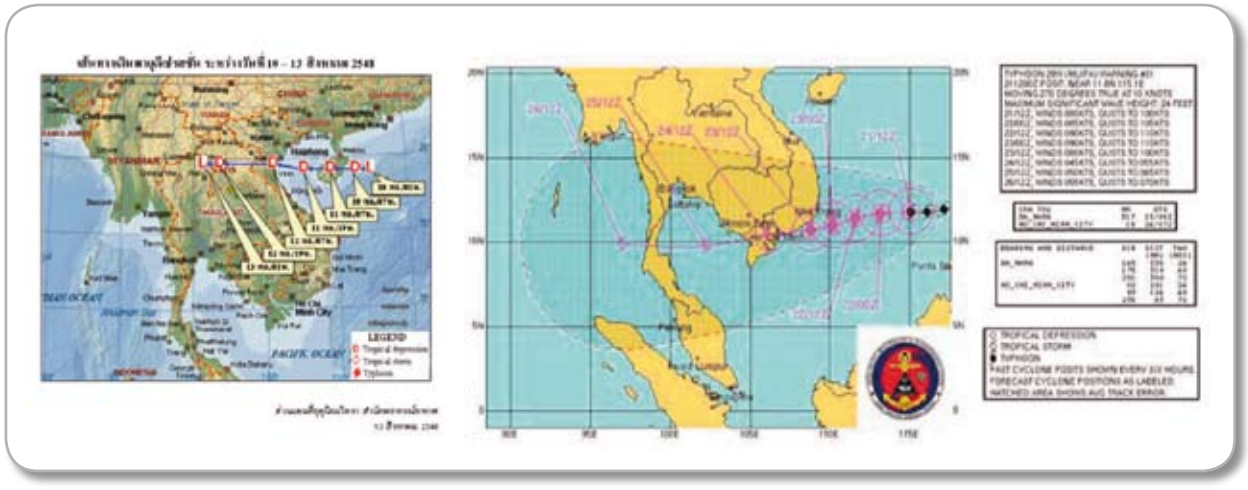
***ภาพที่** 6.17 แสดงขั้นตอนการศึกษา*
ที่มา : ศูนย์ภูมิสารสนเทศเพื่อการพัฒนาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มหาวิทยาลัยขอนแก่น (2549)



***ภาพที่** 6.18 แสดงพื้นที่เสี่ยงต่อกษัยการ*
ที่มา : ศูนย์ภูมิสารสนเทศเพื่อการพัฒนาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มหาวิทยาลัยขอนแก่น (2549)

3.6 การประยุกต์ใช้เพื่อติดตามพายุไต้ฝุ่นในประเทศไทย

ดังเช่น ผลการศึกษาของ Prukpitikul, S., Buakaew, V., and Kesdech W. (2006) ได้ติดตามการเคลื่อนตัวของพายุไต้ฝุ่น 3 ลูก คือ Linda, Muifa and Tropical storm washi โดยผสมผสานการใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ กับข้อมูลการศึกษาสิ่งแวดล้อมทางทะเล แสดงดังภาพที่ 6.19

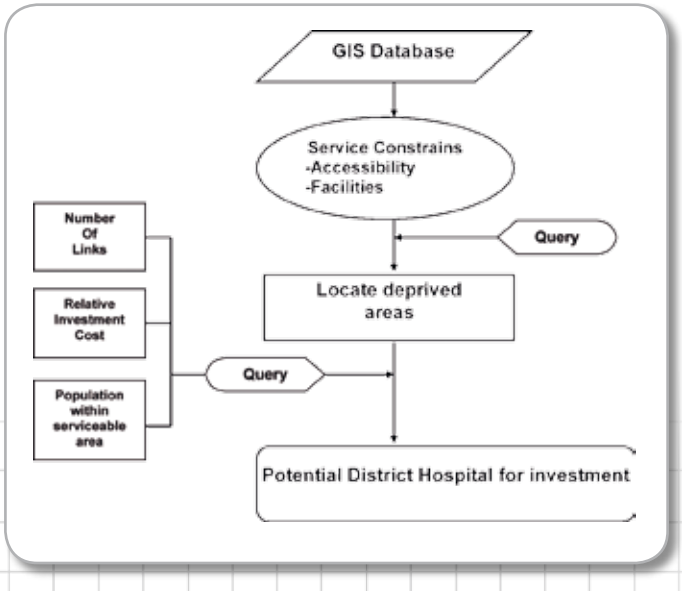


***ภาพที่** 6.19 แสดงตัวอย่างลักษณะการติดตามพายุไต้ฝุ่น*
ที่มา : Prukpitikul, S., Buakaew, V., and Kesdech W. (2006)

4. ด้านโรคระบาดวิทยา

4.1 การใช้งานเพื่อวางแผนด้านสาธารณสุข

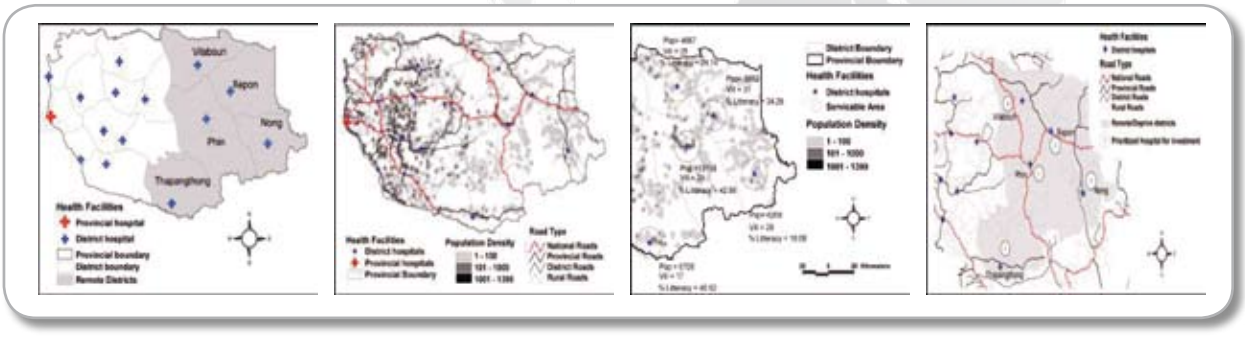
ปัจจุบันระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ได้กลายเป็นที่รู้จักกันมากขึ้น ทำให้มีการศึกษาที่แตกต่างกันออกไปหลายแขนง สำหรับงานด้านระบาดวิทยาถือเป็นอีกศาสตร์หนึ่งที่เริ่มมีการใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เข้ามาประยุกต์ใช้ในการศึกษา เนื่องจากโปรแกรมทางด้านสารสนเทศได้ปรับปรุงให้มีฟังก์ชันช่วยในการทำงานและวิเคราะห์ที่เหมาะกับศาสตร์ที่แตกต่างกันออกไป การวิเคราะห์ด้านระบาดวิทยาส่วนใหญ่นิยมศึกษาการกระจายตัว ความหนาแน่น แนวโน้มการแพร่กระจายของโรค เพื่อนำมาใช้ในการกำหนดพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดโรค และควบคุมมิให้มีการแพร่ขยายต่อไป ตัวอย่างของการศึกษาด้านนี้ ดังเช่น การศึกษาการกระจายตัวของโรคพยาธิใบไม้ในตับ การวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงต่อการระบาดของโรคไข้หวัดนก โรคไข้มาลาเรีย โรคฉี่หนู และอื่นๆ



***ภาพที่** 6.20 แสดงวิธีการศึกษาพอสังเขป*
ที่มา : Prathumchai, K. (2004)

งานด้านสาธารณสุขกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ได้แก่ การศึกษาของ Prathmchai, K. (2004) ได้ประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในการวางแผนด้าน Healthcare ในประเทศลาว เนื่องจากพื้นที่บางส่วนของประเทศลาวยังคงประสบปัญหาความขาดแคลนของบริการสาธาณสุข เนื่องจากข้อจำกัดหลายประการในการเข้าถึงสถานที่ ผู้ศึกษาจึงพยายามพัฒนาระบบฐานข้อมูลสารสนเทศ สำหรับการวางแผนให้บริการด้านสาธารณสุขแก่ประชาชนในพื้นที่เข้าถึงยากในจังหวัด Savanakhet ทำการศึกษาโดยรวบรวมข้อมูลที่จำเป็น เช่น ข้อมูลตำแหน่งโรงพยาบาล พื้นที่ให้บริการ ความสามารถในการให้บริการ สิ่งอำนวยความสะดวก และจำนวนผู้ป่วยต่อพนักงานสาธารณสุข วิเคราะห์ข้อมูลที่เกี่ยวข้องเหล่านี้ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ดังแสดงในภาพที่ 6.20

เกณฑ์พิจารณาตำแหน่งอำเภอที่มีความขาดแคลนโรงพยาบาล คือ ระยะเวลาในการเดินทางไปโรงพยาบาล (Travel time) อุปกรณ์ทางการแพทย์ (Facilities) เมื่อได้พื้นที่อำเภอขาดแคลนแล้วขั้นตอนต่อมาคือการประเมินหาระบบงานที่เหมาะสมกับพื้นที่ มูลค่าการลงทุน และจำนวนผู้ป่วยต่อการให้บริการ ภาพที่ 6.21



ภาพที่ 6.21 *แสดงลักษณะของผลการศึกษา โดย ก) การกระจายตัวของเขตควบคุม ข) ความหนาแน่นของประชากรและชนิดเส้นทางคมนาคม ค) ข้อมูลเชิงสังคม (จำนวนประชากร และจำนวนหมู่บ้าน) ง) ศักยภาพของโรงพยาบาลในแต่ละเขต*
ที่มา : Prathumchai, K. (2004)

ผลการศึกษานี้ได้แสดงให้เห็นถึงคุณประโยชน์ในการใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เป็นเครื่องมือช่วยในการวินิจฉัยการกระจายตัวของสถานพยาบาล และวิเคราะห์มูลค่าการลงทุนสถานพยาบาลในอนาคต

4.2 การศึกษาด้านโรคระบาด : โรคฉี่หนู

งานวิจัยของ Moukomla, S. et al (2007) ได้ทำการศึกษาพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดโรคฉี่หนู ในจังหวัดนครราชสีมา โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ การสำรวจด้านพิษวิทยา ออกสำรวจภูมิประเทศ และการพัฒนาแบบจำลอง ใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม IKONOS ในการจัดทำแผนที่พื้นที่ได้รับผลกระทบระดับหมู่บ้าน และใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์กับระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก จัดเตรียมชั้นข้อมูล และประเมินปัจจัยเชิงพื้นที่ที่เกี่ยวข้อง วิเคราะห์ความเสี่ยงต่อการเกิดโรคฉี่หนูจากแบบจำลองด้านสิ่งแวดล้อม ดังสมการที่ 1 แสดงผลการศึกษาดังภาพที่ 6.22 และแบ่งระดับการเกิดโรคฉี่หนูออกเป็น 5 ระดับ คือ เสี่ยงสูงมาก (Very high) สูง (High) ปานกลาง (Moderate) เล็กน้อย (Slight) และต่ำ (Low)

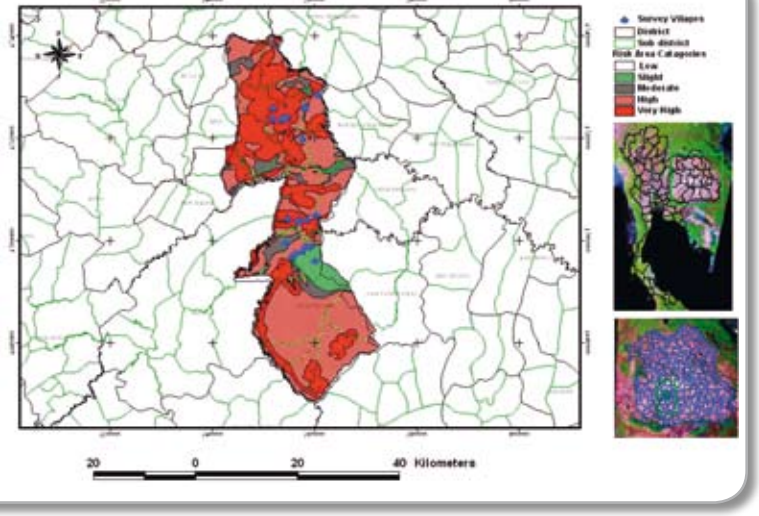
$$PSA = G_1W_1+G_2W_2+...+G_nW_n$$

W = weighted coefficient
G = geographic parameter

สมการที่ 1 ใช้ในการวิเคราะห์

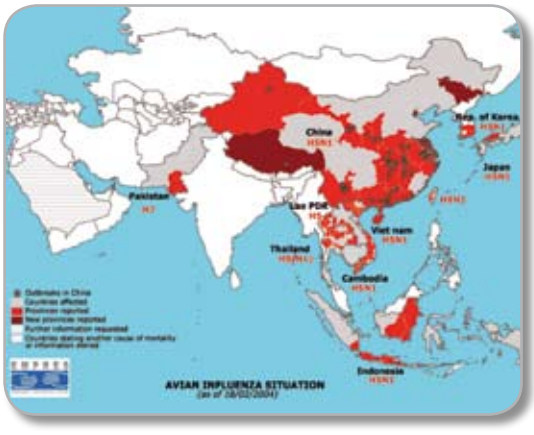
ตารางที่ 6.6 แสดงผลการวิเคราะห์

Categories	Area(SqKm)
Very High	39.8
High	58.2
Moderate	8.7
Slight	5.2
Low	3.1
Total	**115.0**



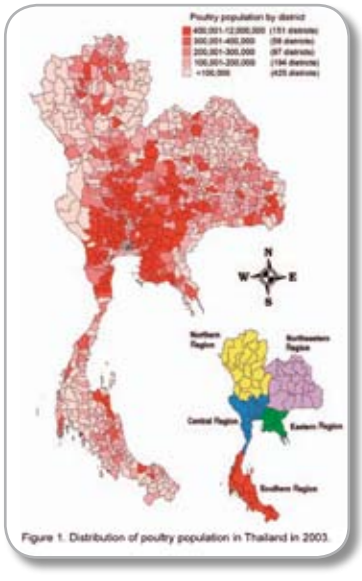
ภาพที่ 6.22 *แสดงผลการวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดโรคฉี่หนูในจังหวัดนครราชสีมา*
ที่มา : Moukomla, S. et al (2007)

4.3 การศึกษาด้านโรคระบาด : โรคไข้หวัดนก

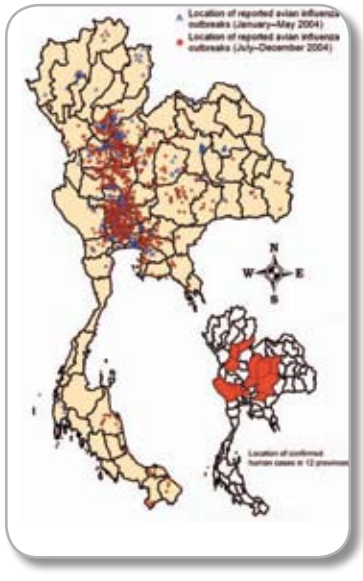


ภาพที่ 6.23 *แสดงประเทศในแถบเอเชียที่พบการระบาดของโรค ระหว่าง พ.ศ. 2546-2547*
ที่มา : Yalan, L., Lei, Y, Xiaobo, W., Chunsheng, X. (2005)

งานศึกษาด้านการระบาดของโรคไข้หวัดนก ดังที่ทราบกันดีว่าในช่วงปี พ.ศ. 2546-2547 ประเทศในแถบเอเชียร่วม 10 ประเทศ (เวียดนาม จีน อินโดนีเซีย ญี่ปุ่น เกาหลี ลาว มาเลเซีย ไทย ปากีสถาน และกัมพูชา) (ภาพที่ 6.23)ได้เกิดวิกฤตการณ์การระบาดของโรคไข้หวัดนกซึ่งส่งผลกระทบต่อประชาชน และระบบเศรษฐกิจ การระบาดเกิดจากนกที่ติดเชื้ออพยพเข้ามาในพื้นที่ และแพร่กระจายเชื้อโรคสู่สัตว์ปีกที่เป็นสัตว์เศรษฐกิจอย่างรวดเร็ว ในขณะที่ประเทศในภูมิภาคดังกล่าวยังไม่คุ้นเคยกับโรคนี้มาก่อน การควบคุมและป้องกันจึงกระทำได้ล่าช้า อย่างไรก็ตามภายหลังพ้นวิกฤตการณ์นี้ นานาประเทศได้ให้ความสำคัญกับโรคนี้มากขึ้น ได้มีการผลิตวัคซีน หาแนวทางการป้องกัน และมาตรการกำจัดสัตว์ปีกที่เหมาะสมมาใช้ในการควบคุมโรคที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต ได้มีการแสดงผลการระบาดที่เกิดใน พ.ศ. 2546 ดังงานวิจัยของ Tiensin, T., et al (2005) รวบรวมข้อมูลการระบาดที่เกิดขึ้นภายในประเทศไทย จัดเก็บเป็นระบบฐานข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ แสดงตำแหน่งที่พบการระบาดและผู้ป่วยติดเชื้อ พร้อมแสดงให้เห็นแนวโน้มการเกิดโรคดังภาพที่ 6.24 และ 6.25



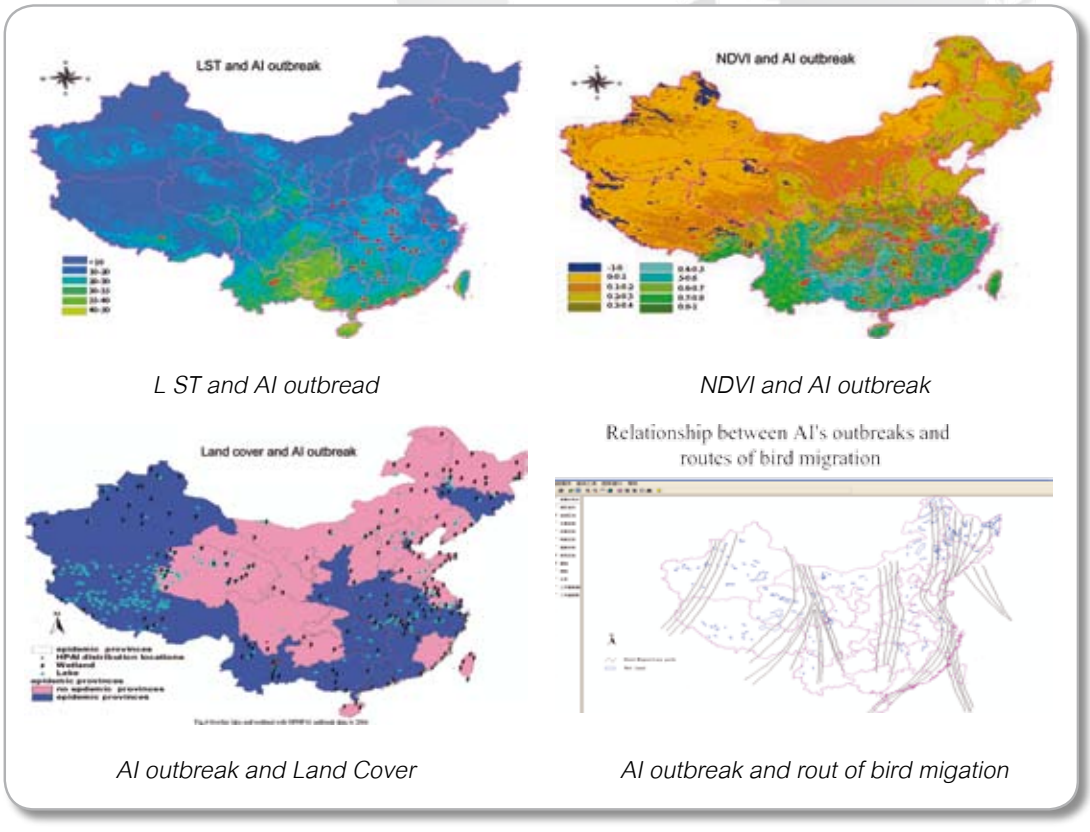
ภาพที่ 6.24 *แสดงการกระจายตัวของสัตว์เลี้ยงในประเทศไทย พ.ศ. 2546*
ที่มา : Tiensin, T., et al (2005)



ภาพที่ 6.25 *แสดงบริเวณที่พบว่ามีการระบาดของโรค*
ที่มา : Tiensin, T., et al (2005)

ต่อมาจึงพบว่ามีการวิจัยด้านไข้หวัดนกมากขึ้น โดยมีความพยายามที่จะศึกษาและแสดงพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดโรคจากแบบจำลองต่างๆ อาศัยข้อมูลที่เคยมีการเก็บรวบรวมไว้ ดังเช่น การศึกษาของ Yalan, L., Lei, Y., Xiaobo, W., and Chunsheng, X. (n.d.) ซึ่งได้วิเคราะห์รูปแบบการเกิดโรคไข้หวัดนกในประเทศจีน โดยวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของการเกิดโรคกับลักษณะทางสิ่งแวดล้อม ข้อมูลที่นำมาใช้ศึกษา ประกอบด้วย ข้อมูลแผนที่ภูมิประเทศ (แม่น้ำ แหล่งน้ำ พื้นที่ชุ่มน้ำ ถนน เมือง) ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม NOAA/AVHRR (ความแยกชัด 1.1 กิโลเมตร บันทึกภาพ พ.ศ. 2546) ข้อมูลการอพยพของนก และข้อมูลการรายงานตำแหน่งระบาด (ช่วงเวลา ขอบเขต และระดับ

ความรุนแรง) ทั้งนี้ผู้ศึกษาได้จัดเตรียมข้อมูลให้อยู่ในรูปการแสดงผลเชิงพื้นที่และวิเคราะห์ข้อมูลทั้งหมดภายใต้ระบบสารสนเทศภูมิศาตร์ ได้ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์กับปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมดังภาพที่ 6.26



ภาพที่ 6.26 *แสดงลักษณะการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของการเกิดหวัดนกกับปัจจัยต่างๆ*
ที่มา : Yalan, L., Lei, Y., Xiaobo, W., and Chunsheng, X. (n.d.)

ผลการศึกษาที่ได้แสดงให้เห็นว่าการระบาดมีความเกี่ยวข้องกับเส้นทางการอพยพของนกมากที่สุด โดยจะพบการแพร่กระจายเชื้อออกจากพื้นที่ชุ่มน้ำ ที่มีพืชพรรณปกคลุมดี (NDVI>0.6) และอุณหภูมิพื้นผิวระหว่าง 20-30 องศาเซลเซียส

5. แผนที่จัดเก็บภาษี

การจัดเก็บภาษีบำรุงท้องที่โดยใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ

การจัดเก็บภาษีท้องถิ่น ยังไม่ได้พัฒนาให้สามารถจัดเก็บได้อย่างมีประสิทธิภาพอย่างครบถ้วน เนื่องจากบุคลากรยังขาดความรู้ความเข้าใจในขั้นตอน วิธีการการจัดเก็บภาษี และขาดเครื่องมืออุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจสอบเร่งรัดการจัดเก็บรายได้ของท้องถิ่น โดยเฉพาะที่เกี่ยวข้องกับภาษีโรงเรือนและที่ดิน ภาษีบำรุงท้องที่ ภาษีป้าย และทะเบียนทรัพย์สิน

<u>วัตถุประสงค์</u> : นำเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศมาใช้จัดทำระบบแผนที่ภาษี เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดเก็บภาษี

<u>การจัดทำระบบแผนที่ภาษี</u>

1) รวบรวมข้อมูลจากเอกสาร
2) สำรวจข้อมูลภาคสนาม เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องทันสมัย

3) นำเข้าข้อมูลสู่ระบบเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ ทั้งข้อมูลเชิงพื้นที่ และข้อมูลเชิงพิกัดได้แก่ พื้นที่แปลงที่ดิน โรงเรือนหรือสิ่งปลูกสร้าง และตำแหน่งที่ตั้งป้าย ขอบเขตการปกครอง เส้นทางคมนาคม ประเภทการใช้ที่ดิน และแหล่งน้ำ เป็นต้น

4) วิเคราะห์และแสดงผลข้อมูลด้วยระบบโปรแกรมแผนที่ภาษี โดยการซ้อนทับข้อมูลเชิงพื้นที่ และแสดงผลของข้อมูลตามรูปแบบรายงานการเสียภาษี

***ภาพที่** 6.27 แสดงรูปลักษณ์ของโปรแกรมแผนที่ภาษีเชิงเลข TAX MAP 2.5*

งานวิจัยนี้ได้ทำโปรแกรมแสดงข้อมูลแผนที่เชิงเลข และการเรียกเก็บภาษีโรงเรือน และที่ดิน ภาษีบำรุงท้องที่ และภาษีป้ายในระดับท้องถิ่นสำหรับเทศบาล ตำบล องค์การบริหารส่วนตำบล โปรแกรมนี้พัฒนาจาก Microsoft visual basic ร่วมกับโปรแกรม Map object เป็นเครื่องมือในการพัฒนาโปรแกรม ซึ่งจัดเก็บระบบฐานข้อมูล Access โปรแกรมรับข้อมูลเชิงพื้นที่ในรูปแบบ Geo-Tiff และข้อมูลพิกัดในรูปของ .shp ที่ได้จากระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ โปรแกรมนี้มีเมนูที่ใช้ในการจัดการด้านฐานข้อมูล การเข้าชำระภาษี การแก้ไขข้อมูล จัดทำรายการแจ้งการชำระภาษี จัดทำรายงานภาษีรายได้ประจำปี และใบเสร็จรับเงิน และมีไอคอน ใช้จัดการเกี่ยวกับแผนที่ โดยสามารถย่อ ขยาย ค้นหา และเรียกดูรายละเอียดข้อมูล

6. การจัดการชายฝั่งทะเล

การติดตามการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ของป่าชายเลนในลุ่มน้ำปากพนังด้วยข้อมูลดาวเทียม LANDSAT 5 TM และระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

Assessment of Mangrove Spatial Change Using LANDSAT 5 TM data and GIS in Pakphanang Basin

ภาคใต้ของประเทศไทยมีพื้นที่ป่าชายเลนเหลืออยู่มากที่สุด แต่หลายปีที่ผ่านมาได้มีการทำลายป่าชายเลนลงเป็นจำนวนมาก ทำให้ต้องมีการฟื้นฟูพื้นที่ป่าชายเลนให้กลับมามากขึ้น จึงจำเป็นต้องทำการศึกษาสภาพความเปลี่ยนแปลงของพื้นที่

วัตถุประสงค์

1) ใช้เทคโนโลยีข้อมูลจากดาวเทียมและระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ติดตามการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ของป่าชายเลนในลุ่มน้ำปากพนัง

2) ใช้เป็นแนวทางในการจัดระบบการใช้ที่ดินที่เหมาะสมของพื้นที่

ข้อมูลนำเข้า

1) แผนที่ภูมิประเทศ มาตราส่วน 1:50,000 ปี พ.ศ. 2517 และ พ.ศ. 2542

2) ข้อมูลเชิงตัวเลขภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT 5 TM วันที่ 30 พฤษภาคม 6 มิถุนายน ปี พ.ศ. 2538 และ 8 มกราคม 9 พฤษภาคม ปี พ.ศ. 2542

วิธีการศึกษา

1) เตรียมข้อมูลเชิงตัวเลขภาพถ่ายดาวเทียม ปรับแก้ความคลาดเคลื่อนเชิงเรขาคณิต และความคมชัดของข้อมูล

2) นำข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมมาสร้างภาพสีผสม ดูความสัมพันธ์ระหว่างสีของภาพถ่ายดาวเทียมกับป่าชายเลนและประเภทข้อมูลของสิ่งปกคลุมดินอื่นๆ

3) แปลภาพถ่ายดาวเทียมด้วยสายตาปี พ.ศ. 2538 และ 2542

4) สำรวจข้อมูลในสภาพพื้นที่

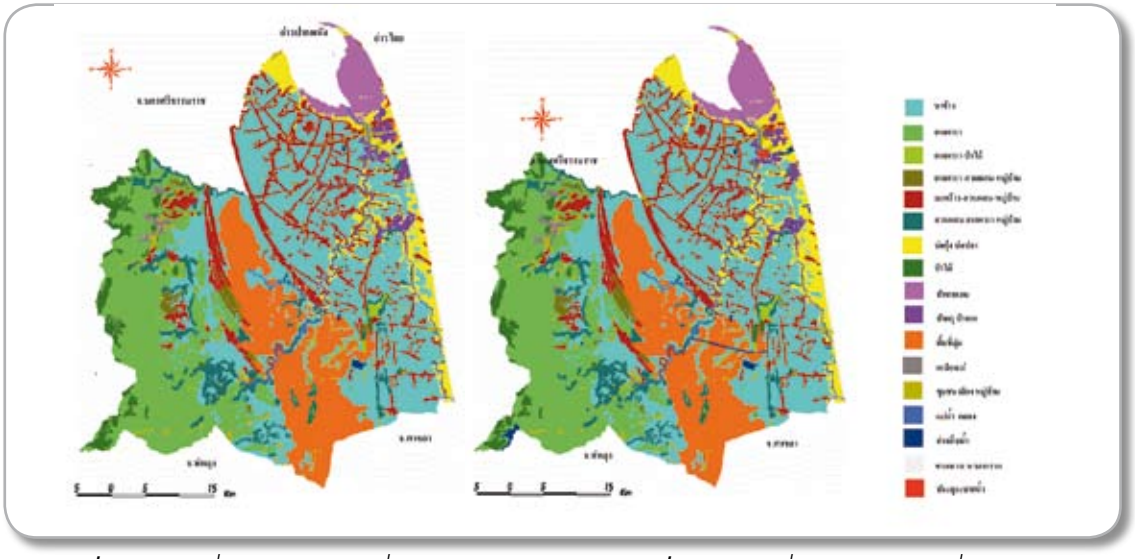
5) วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน โดยวิธีการซ้อนทับข้อมูล วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินทั้ง 2 ช่วงเวลา (พ.ศ. 2538 และ 2542)

ผลการศึกษา

- ภาพสีผสมข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมดังภาพที่ 6.28 แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินปี พ.ศ. 2538 และ 2542 ดังแสดงในภาพที่ 6.29 และ 6.30 ตามลำดับ

- การเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ป่าชายเลนในลุ่มน้ำปากพนังระหว่างปี พ.ศ. 2538 และ 2542 ดังแสดงในตารางที่ 6.7

ภาพที่ 6.28 *แสดงภาพถ่ายจากดาวเทียม LANDSAT 5 TM แบนด์ 4-5-3 (แดง-เขียว-น้ำเงิน)*
บันทึกภาพวันที่ 9 พฤษภาคม 2542
แสดงพื้นที่ป่าชายเลนบริเวณอ่าวปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช



ภาพที่ 6.29 *แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2538*

ภาพที่ 6.30 *แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2542*

ตารางที่ 6.7 การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในลุ่มน้ำปากพนังระหว่างปี พ.ศ. 2538-2542

ประเภทการใช้ที่ดิน	พื้นที่ (ตร.กม.)		พื้นที่เปลี่ยนแปลง (ตร.กม.)
	2538	2542	2538 - 2542
ป่าไม้	67.69	65.02	-2.67
ยางพารา	627.52	624.92	-2.6
นาข้าว	1,329.95	1,306.11	-23.84
บ่อกุ้ง-บ่อปลา	175.54	205.73	30.19
ป่าชายเลน	84.82	86.11	1.29
ยางพารา- สวนผสม- หมู่บ้าน	19.61	19.57	-0.04
สวนผสม- ยางพารา- หมู่บ้าน	90.71	90.79	0.08
มะพร้าว- สวนผสม- หมู่บ้าน	210.90	205.31	-5.59
พื้นที่ลุ่ม ป่าพรุ ป่าจาก	448.16	441.47	-6.69
เหมืองแร่	8.70	9.66	0.96
ชุมชน เมือง หมู่บ้าน	31.73	32.35	0.62
แม่น้ำ, คลอง	16.07	17.50	1.43
อ่างเก็บน้ำ	3.09	8.95	5.86
ชายหาด หาดทราย	7.87	7.25	-0.62
อื่น ๆ	-	1.79	-
รวม	3,122.36 **	3,122.53 ***	

** และ *** พื้นที่รวมได้จากการแปลภาพถ่ายจากดาวเทียม ปี พ.ศ. 2538 และ 2542 ทั้งนี้ ความแตกต่างของพื้นที่รวมของแต่ละปีไม่เท่ากัน เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของพื้นที่ดินเลนงอกใหม่และป่าชายเลนโดยเฉพาะรอบบริเวณอ่าวปากพนัง

สรุป

ภาพถ่ายจากดาวเทียมในปี พ.ศ. 2538 และ 2542 แสดงถึงภาพรวมของการใช้ที่ดินหลัก คือ พื้นที่ป่าไม้ ยางพารา นาข้าว ป่าชายเลน และพื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ข้อมูลจากดาวเทียมและระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์สามารถศึกษาและติดตามการเปลี่ยนแปลงของทรัพยากรธรรมชาติซึ่งมีผลต่อสภาพแวดล้อมของลุ่มน้ำปากพนัง โดยเฉพาะป่าชายเลนในอ่าวปากพนังที่มีการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ตามความต้องการใช้ที่ดินเพิ่มขึ้น ป่าชายเลนและป่าจาก บริเวณพื้นที่ราบติดชายทะเล และบริเวณที่ราบลุ่มได้ถูกบุกรุกและลักลอบตัดไม้เพื่อทำฟืนและเผาถ่านและใช้พื้นที่เป็นที่อยู่อาศัยและเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (Coastal Resource Institute, 1991) เนื่องจากให้ผลตอบแทนที่สูงกว่ามาก (ปรีชา และคณะ, 2538) จึงเกิดการแพร่ขยายของพื้นที่นากุ้งอย่างรวดเร็วจากปี พ.ศ. 2531 ซึ่งมีพื้นที่ 20.86 ตารางกิโลเมตร เป็น 175.54 ตารางกิโลเมตร ในปี พ.ศ. 2538 และเพิ่มเป็น 205.73 ตารางกิโลเมตร ในปี พ.ศ. 2542

(เชาวน์ และคณะ) ผลจากการขยายพื้นที่นากุ้ง ก่อให้เกิดผลกระทบต่อคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของดิน และสิ่งแวดล้อมตลอดจนการแพร่กระจายของความเค็มไปสู่พื้นที่นาข้าวและแหล่งน้ำธรรมชาติที่อยู่ใกล้เคียง ทำให้ข้าวเจริญเติบโตไม่ดีและมีผลผลิตต่ำ (ประมุข และคณะ, 2538 ; Tanavud et al., 2001) ดินที่ผ่านการทำนากุ้งที่เสื่อมโทรมควรได้รับการฟื้นฟูเพื่อใช้ประโยชน์อย่างอื่น (สุกาญจนวดี, 2539 ; ไชยสิทธิ์, 2544) สำหรับพื้นที่ป่าเลนบริเวณปากอ่าวปากพนังกลับมีพื้นที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากมีตะกอนดินทับถมในอ่าว โดยมีผู้ประเมินว่ามีตะกอนดินทับถมในอ่าวประมาณ 1.2 ล้านตัน/ปี โดยที่ 70 % ไหลลงสู่อ่าวในฤดูฝน ทำให้อ่าวตื้นเขินเกิดเป็นสันดอน กลายเป็นพื้นที่ดินเลนงอกใหม่ทุกปี (นพรัตน์, 2540) ประกอบกับหน่วยงานของรัฐมีโครงการปลูกป่าชายเลนในบริเวณพื้นที่ดินเลนงอกใหม่ ทำให้พื้นที่ป่าชายเลนบริเวณอ่าวปากพนังจึงเพิ่มขึ้นทุกปี ซึ่งเป็นผลดีต่อระบบนิเวศและสภาพแวดล้อมเป็นอย่างยิ่ง ดังนั้นการติดตามตรวจสอบอย่างต่อเนื่องจึงมีความจำเป็นต่อการวางแผนการจัดการทรัพยากรธรรมชาติอย่างเหมาะสม ข้อมูลจากดาวเทียมสำรวจทรัพยากรธรรมชาติให้ข้อมูลที่ทันสมัย และต่อเนื่องสม่ำเสมอร่วมกับเทคโนโลยีของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์จะเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการศึกษาติดตาม ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของทรัพยากรและสิ่งแวดล้อมต่างๆ รวมถึงการกำหนดเขตประเภทการใช้ที่ดินให้เหมาะสมและให้เกิดประโยชน์สูงสุดในพื้นที่ลุ่มน้ำปากพนัง

7. การประยุกต์เพื่อสาธารณูปโภค

การพัฒนาฐานข้อมูลเชิงแผนที่ระบบส่งไฟฟ้า โดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ผ่านระบบอินทราเน็ตของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

งานระบบส่งไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย มีองค์ประกอบหลัก 3 ส่วน คือ 1) สายส่งไฟฟ้า (Transmission Line) 2) เสาไฟฟ้า (Tower) และ 3) สถานีไฟฟ้า (Substation) การปฏิบัติงานเพื่อบำรุงรักษาระบบ จำเป็นต้องใช้ข้อมูลที่เกี่ยวข้องจำนวนมาก ดังนั้นหากนำข้อมูลดังกล่าวมาจัดเก็บในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์จะทำให้มีความสะดวกและรวดเร็วขึ้นในการสืบค้น แสดงผลข้อมูล สะดวกต่อการปรับปรุงข้อมูลให้ทันสมัย และสามารถพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ใช้งานเฉพาะทางได้

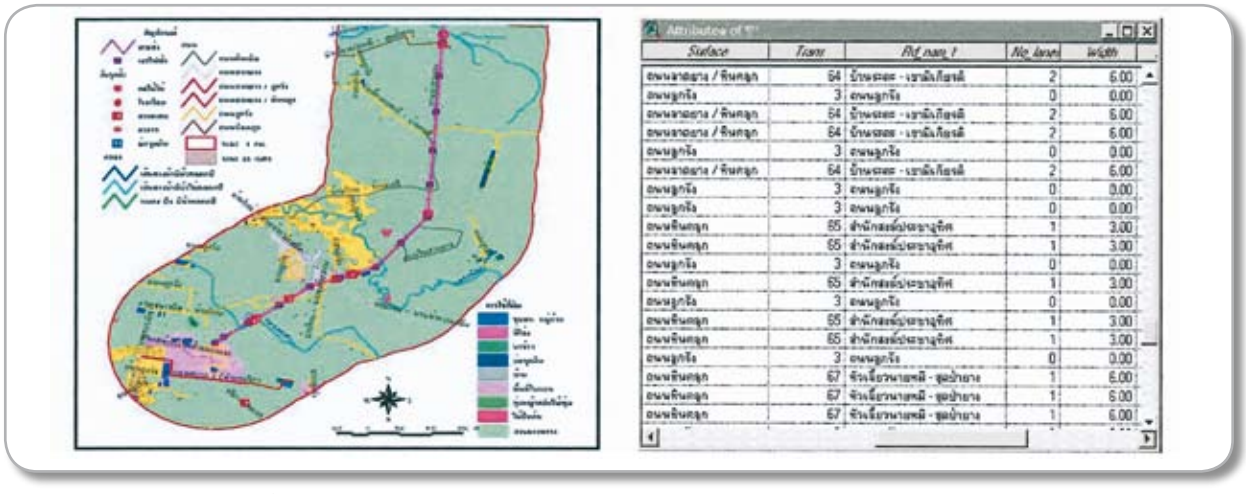
<u>ข้อมูลนำเข้า</u>

1) ข้อมูลระบบส่ง เช่น ตำแหน่งเสาไฟฟ้า แนวสายส่งไฟฟ้า แผนผังสถานีไฟฟ้า
2) ข้อมูลองค์ประกอบทางภูมิศาสตร์ ในมาตราส่วน 1:50,000
3) ข้อมูลองค์ประกอบทางภูมิศาสตร์ครอบคลุมพื้นที่ใต้แนวสายส่งในระยะ1 กิโลเมตร
4) แผนที่และภาพถ่าย ประกอบด้วย แผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน 1:50,000
5) ภาพถ่ายทางอากาศมาตราส่วน 1:25,000

<u>วิธีการศึกษา</u>

1) เก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง
2) การจัดการแผนที่
3) การสำรวจข้อมูลภาคสนาม

4) การแปลงข้อมูลแผนที่เป็นข้อมูลดิจิตอล นำมาทำการออกแบบโครงสร้างฐานข้อมูล (Database structure) เพื่อสร้างความเชื่อมโยงของข้อมูลเชิงพื้นที่ เข้ากับข้อมูลลักษณะประจำในรูปแบบตารางข้อมูลเชิงสัมพันธ์ (Relational database)



ภาพที่ 6.31 *ข้อมูลเชิงพื้นที่จากการถ่ายภาพทางอากาศ*

ภาพที่ 6.32 *ข้อมูลเชิงบรรยายชั้นข้อมูลภาคสนาม*

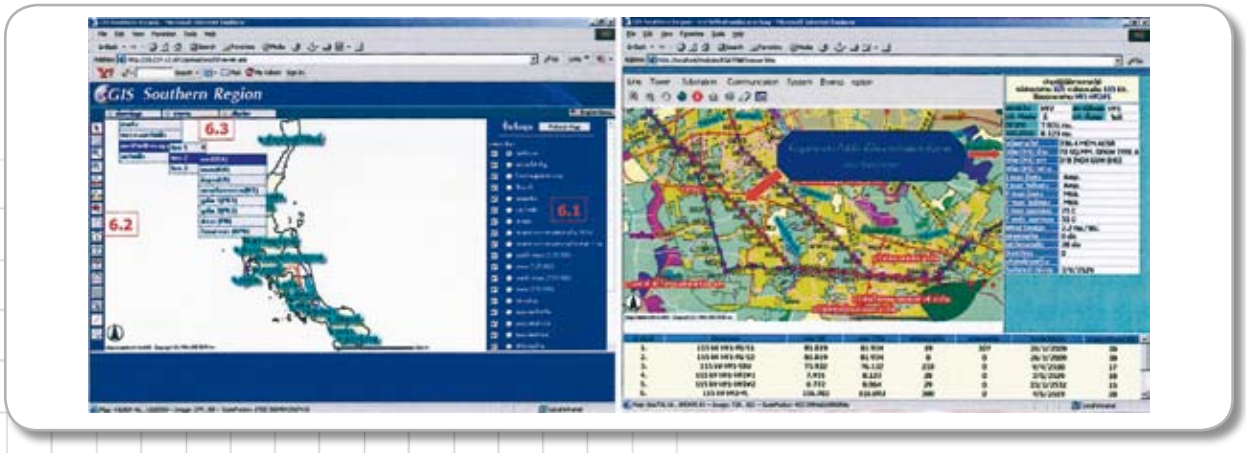
5) การพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ Web Map Application ใช้ระบบจัดการข้อมูลทาง Internet ผู้ใช้สามารถกระทำผ่านเครื่อง Clients

ผลการศึกษา

ผลการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ฐานข้อมูลเชิงแผนที่ระบบส่งไฟฟ้าโดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ผ่านระบบอินทราเน็ตของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย มีองค์ประกอบหลักของโปรแกรมประยุกต์ ซึ่งประกอบด้วย ฟังก์ชั่นการทำงาน ดังต่อไปนี้คือ

1) ตัวเลือกในการแสดงผล และตัวเลือกในการระบุข้อมูล ในชั้นข้อมูลต่างๆ

- ตัวเลือกที่ 1 (เครื่องหมายสี่เหลี่ยม) แสดงผลข้อมูลภาพในส่วนของแผนที่ เมื่อกดปุ่ม Refresh จะแสดงผล
- ตัวเลือกที่ 2 (เครื่องหมายวงกลม) แสดงผลชั้นข้อมูลที่ต้องการการระบุข้อมูลโดยการกดปุ่ม Identify บน Toolbar ทางด้านซ้ายมือของโปรแกรมแล้วทำการคลิกที่สัญลักษณ์ของชั้นข้อมูลบนแผนที่ จะปรากฏตารางข้อมูลทางด้านล่างของแผนที่เพื่อแสดงรายละเอียดของสัญลักษณ์เหล่านั้น



ภาพที่ 6.33 *หน้าจอหลักของโปรแกรมประยุกต์*

ภาพที่ 6.34 *การสืบค้นข้อมูลโดยโปรแกรมประยุกต์*

2) แถบเครื่องมือ (Toolbar)

ประกอบด้วย ICON ต่างๆ บนแถบเครื่องมือ ซึ่งมีฟังก์ชั่นการทำงาน ดังนี้

- เป็นเครื่องมือชี้
- เป็นเครื่องมือขยายแผนที่
- เป็นเครื่องมือย่อส่วนแผนที่
- แสดงผลแผนที่ทั้งหมด
- แสดงผลเฉพาะชั้นข้อมูลที่เลือก
- เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการเลื่อนแผนที่
- ใช้แสดงผลแผนที่กลับไปหน้าก่อน
- ใช้ในการระบุข้อมูลในชั้นข้อมูลที่เลือก
- ใช้ในการระบุข้อมูลเสาไฟฟ้า
- ใช้ในการระบุข้อมูลสายไฟฟ้า
- ใช้ในการวัดระยะข้อมูล
- ยกเลิกการวัดระยะ
- กำหนดหน่วยแผนที่
- ใช้ในการเลือกข้อมูลเพื่อแสดงรายละเอียดของข้อมูลตรงด้านล่างของโปรแกรม

โดยเครื่องมือต่างๆ ที่ได้พัฒนาขึ้นเพื่อสะดวกต่อผู้ใช้งานที่มีความคุ้นเคยกับพื้นที่ที่รับผิดชอบให้สามารถค้นหาข้อมูลที่ต้องการได้อย่างรวดเร็วยิ่งขึ้น

3) ฟังก์ชันในการค้นหาข้อมูล การสรุปรายงาน และการเชื่อมโยง

ฟังก์ชันการค้นหาข้อมูลมี 4 ช่องทาง ดังนี้

- ค้นหาจากสายส่งโดยการระบุโซน และแรงดัน ที่ต้องการค้นหา และกดปุ่มตกลง โปรแกรมจะแสดงผลรายละเอียดข้อมูลที่ค้นหาด้านล่างของแผนที่

- ค้นหาจากแนววางเสาไฟฟ้าโดยการระบุโซนที่ต้องการค้นหา และกดปุ่มตกลง โปรแกรมจะแสดงผลรายละเอียดข้อมูลที่ค้นหาด้านล่างของแผนที่

- ค้นหาจากสถานีไฟฟ้าแรงสูง โดยแบ่งการค้นหาออกเป็นโซน 1 2 และ 3 โดยในแต่ละโซนจะมีสถานีไฟฟ้าแรงสูงต่างๆ จากนั้นทำการเลือกสถานีไฟฟ้าแรงสูงที่ต้องการค้นหาข้อมูล

- ค้นหาจากเสาไฟฟ้า การค้นหาข้อมูลจากเสาไฟฟ้าสามารถค้นหาได้ 2 แบบ คือ

  - ค้นหาตามระยะทางสะสมของสายส่ง โดยการระบุสายส่ง ระยะทางสะสม และช่วงระยะของเสาไฟฟ้าที่ต้องการค้นหา กดปุ่มตกลง จะปรากฏรายละเอียดข้อมูลทางด้านล่างของแผนที่ และเมื่อคลิกเลือกรหัสเสาไฟฟ้าที่อยู่ด้านล่าง จะปรากฏข้อมูลรายละเอียดเพิ่มเติมขึ้นบริเวณด้านขวามือของแผนที่

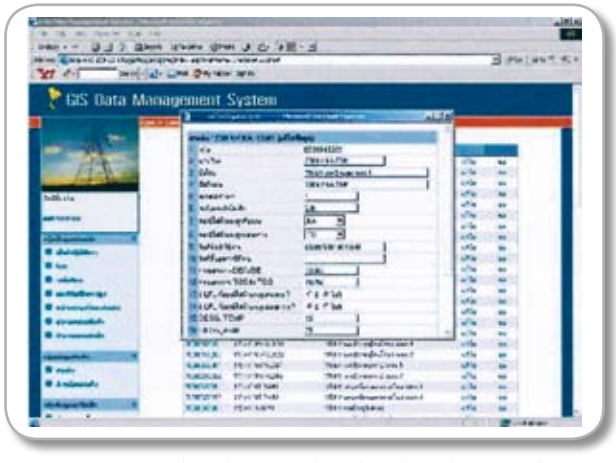
• ค้นหาตามระยะทางสะสมของแนววางเสาไฟฟ้า โดยการระบุระยะทางสะสมและช่วงระยะของเสาไฟฟ้าที่ต้องการค้นหา กดปุ่มตกลง จะปรากฏรายละเอียดข้อมูลทางด้านล่างของแผนที่ และเมื่อคลิกเลือกรหัสเสาไฟฟ้าที่อยู่ด้านล่าง จะปรากฏข้อมูลรายละเอียดเพิ่มเติมบริเวณด้านขวามือของแผนที่ โดยเมนูต่างๆ ที่ได้พัฒนาขึ้นเพื่อสะดวกต่อผู้ใช้งานที่ไม่มีความคุ้นเคยกับพื้นที่ที่รับผิดชอบ ให้สามารถค้นหาข้อมูลที่ต้องการได้อย่างรวดเร็วยิ่งขึ้น

4) ฟังก์ชันการสรุปรายงาน เป็นการรายงานสรุปเกี่ยวกับข้อมูลต่างๆ ของระบบส่งไฟฟ้า ประกอบด้วย

- สายส่ง เป็นส่วนของรายงานสรุปจำนวนสายส่งตามความรับผิดชอบของหน่วยงานระดับต่างๆ
- แนวเดินเสาไฟฟ้า เป็นส่วนของรายงานสรุปจำนวนแนวเดินเสาไฟฟ้าตามความรับผิดชอบของหน่วยงานระดับต่างๆ
- เสาไฟฟ้า เป็นส่วนของรายงานสรุปจำนวนเสาไฟฟ้าตามความรับผิดชอบของหน่วยงานระดับต่างๆ
- สถานีไฟฟ้าแรงสูง เป็นสรุปการรายงานผลต่างๆ ของสถานีไฟฟ้าแรงสูงที่อยู่ในความรับผิดชอบของฝ่าย
- เหตุการณ์ขัดข้องในระบบเป็นรายงานสรุปเหตุการณ์ขัดข้องต่างๆ ในระบบส่งไฟฟ้า

5) ฟังก์ชันเชื่อมโยง เป็นการเชื่อมโยงโปรแกรมไปยังระบบงานต่างๆ ในระบบส่งไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย เพื่อทำการแก้ไขข้อมูลและเรียกดูข้อมูลที่ต้องการได้ ในกรณีที่ผู้ใช้งานมี Username และ Password จะสามารถแก้ไขข้อมูลได้ โดยมีองค์ประกอบดังต่อไปนี้คือ

- การจัดการข้อมูลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์
- ดัชนีสมรรถนะระบบไฟฟ้า
- แลกเปลี่ยนข้อมูล Power system operation
- ระบบงาน CIM - แบบฟอร์มแจ้งสายส่ง Trip
- รายงานสายส่ง Trip
- การทดสอบ Map function



ภาพที่ 6.35 *การเชื่อมโยงข้อมูล GIS กับงานระบบส่ง*

ภาพที่ 6.36 *การเชื่อมโยงข้อมูล GIS กับโทรศัพท์เคลื่อนที่*

สรุป

ผลจากการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ฐานข้อมูลเชิงแผนที่ระบบส่งไฟฟ้าโดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ผ่านระบบอินทราเน็ตของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย สามารถทำให้งานบำรุงรักษาระบบส่งของฝ่าย

ปฏิบัติการภาคใต้มีความสะดวกและคล่องตัวมากยิ่งขึ้น เนื่องจากการจัดเก็บข้อมูลเป็นระบบการสืบค้น สอบถามข้อมูลทำได้สะดวก และการแสดงผลข้อมูลต่างๆ สามารถแสดงผลได้อย่างรวดเร็ว ทั้งในรูปแบบข้อมูลเชิงพื้นที่และข้อมูลเชิงบรรยาย (เชิงคุณสมบัติ) ทำให้ผู้ใช้สามารถนำไปปฏิบัติงานได้จริง ในการบำรุงรักษาสายส่ง ทั้งงานแก้ไขปรับปรุงข้อมูลในสำนักงานและการออกสำรวจภาคสนามทำให้การปฏิบัติงานของบุคลากรและหน่วยงานมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ซึ่งในปัจจุบันทางการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย โดยฝ่ายปฏิบัติการภาคใต้ได้นำโปรแกรมนี้ไปใช้งานจริงและได้พัฒนาสมรรถนะโปรแกรมให้มีความสามารถในการใช้งานเพิ่มมากขึ้น รวมทั้งกำหนดเป้าหมายในการปรับปรุงระบบฐานข้อมูลให้ครอบคลุมพื้นที่ภาคใต้ทั้งหมดภายในปี พศ. 2550

8. ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต (Internet GIS)

เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศได้มีการพัฒนาให้มีสมรรถนะมากยิ่งขึ้น ทั้งในด้านฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ ปัจจุบันมีหลายหน่วยงานได้นำเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศมาใช้เป็นเครื่องมือ ทำหน้าที่จัดเก็บ จัดการ และวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ ซึ่งเป็นข้อมูลที่มีความซับซ้อนไปตามสภาพพื้นที่และมีจำนวนหรือปริมาณข้อมูลมาก โดยจัดเก็บไว้เป็นระบบหรือเก็บไว้ในรูปแบบฐานข้อมูลเชิงพื้นที่ (ทั้งข้อมูลแผนที่และคุณสมบัติที่เกี่ยวข้อง) เฉพาะด้าน ข้อมูลประเภทเดียวกันก็ได้จัดเก็บไว้ในกลุ่มเดียวกัน

แต่การจัดเก็บฐานข้อมูลยังคงเป็นการจัดเก็บแบบแยกส่วน หมายความว่า แต่ละหน่วยงานต่างจัดเก็บกันเอง ถึงแม้ว่าจะอยู่ในกรมกองเดียวกันก็ตาม สิ่งที่กระทำได้ คือ การสำเนาข้อมูลให้กับหน่วยงานที่ต้องการ หรืออาจจะเชื่อมต่อระหว่างหน่วยงานโดยระบบ Local Area Network (LAN) แต่มีข้อจำกัดที่ต้องเป็นหน่วยงานใกล้กันหรือภายในตึกเดียวกัน ข้อมูลบางประเภทจำเป็นที่จะต้องให้หน่วยงานในพื้นที่ หรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลได้ใช้หรือปรับปรุงให้เป็นปัจจุบันตามการเปลี่ยนแปลงข้อมูลและเวลา ในลักษณะนี้ยังไม่สามารถกระทำได้ ฉะนั้นการเข้าถึงข้อมูลแบบเวลาจริงจึงมีความจำเป็นมาก ทั้งยังช่วยลดต้นทุนการจัดเก็บข้อมูล และยังได้ข้อมูลที่เป็นปัจจุบันตลอดเวลา

ปัจจุบันการพัฒนาเครือข่ายผ่านอินเทอร์เน็ต ได้พัฒนาให้มีสมรรถนะมากยิ่งขึ้น สามารถรับ-ส่งข้อมูลได้หลายรูปแบบและเป็นจำนวนมาก สามารถเข้าถึงข้อมูลได้รวดเร็ว และมีโปรแกรมสนับสนุนให้สามารถนำข้อมูลเชิงพื้นที่แสดงผลได้หลายรูปแบบ ฉะนั้นจึงมีการพัฒนาโปรแกรมระบบภูมิสารสนเทศผ่านอินเทอร์เน็ตขึ้นมา ให้ประชาชนหรือผู้ที่สนใจได้เข้ามาใช้ฐานข้อมูลผ่านทางอินเทอร์เน็ต กอปรด้วยจังหวัดขอนแก่นได้จัดทำฐานข้อมูลไว้เป็นระบบจึงได้ใช้ฐานข้อมูลของจังหวัดขอนแก่นเป็นกรณีศึกษา ซึ่งนับว่าเป็นความท้าทายในยุคของ ICT ที่จะมีการแสดงข้อมูลภูมิศาสตร์ ที่มีพิกัดตำแหน่งเชื่อมโยงกับคำอธิบาย นำเสนอผ่านอินเทอร์เน็ต ตอบสนองการบริการแก่ผู้สนใจ ตลอดจนผู้ใช้สามารถบูรณาการข้อมูลเชิงพื้นที่จากหลายชั้นข้อมูล ตามความต้องการใช้ประโยชน์ พิมพ์ผลที่ได้รับเพื่อใช้ทำรายงานจัดทำเอกสารที่บอกตำแหน่งสถานที่ที่มีสัดส่วนของโลกแห่งความจริง

<u>วัตถุประสงค์</u>

เพื่อพัฒนาโปรแกรมระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ผ่านอินเทอร์เน็ต ให้มีสมรรถนะ แสดงข้อมูลเชิงพื้นที่พร้อมคำอธิบาย พิกัดตำแหน่ง ดัชนีพื้นที่ มาตราส่วน และสามารถค้นหา สอบถาม เพื่อดูรายละเอียดข้อมูลจากฐานข้อมูลผ่านอินเทอร์เน็ต

หลักการ

ระบบภูมิสารสนเทศผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต หมายถึง ระบบที่สามารถแสดงผลข้อมูลเชิงพื้นที่เป็นชั้นๆ หรือหลายชั้นพร้อมกันตามเงื่อนไขที่ผู้ให้บริการกำหนด แสดงข้อมูลคุณลักษณะ พิกัดตำแหน่ง ดัชนีพื้นที่ มาตราส่วน และสามารถค้นหา สอบถาม เพื่อดูรายละเอียดข้อมูลจากฐานข้อมูลผ่านอินเทอร์เน็ต โดยมีองค์ประกอบหลักที่สำคัญดังนี้

1) การจัดการระบบของผู้ให้บริการ

- เครื่องแม่ข่ายหรือเซิร์ฟเวอร์ พร้อมซอฟต์แวร์ระบบปฏิบัติการ ซึ่งจะต้องมีชุดคำสั่งหรือโปรแกรมที่สามารถทำให้เครื่องเซิร์ฟเวอร์ทำหน้าที่เป็นเว็บเซิร์ฟเวอร์
- ข้อมูลเชิงพื้นที่และข้อมูลเชิงคุณลักษณะที่สัมพันธ์กัน
- ซอฟต์แวร์ที่ทำหน้าที่เป็นตัวแสดงผลข้อมูลเชิงพื้นที่ผ่านอินเทอร์เน็ต เช่น ArcIMS Minnesota หรือ Mapserver เป็นต้น

2) การใช้งานของผู้ใช้บริการ

- ผู้ใช้บริการหรือผู้ใช้งานอินเทอร์เน็ตทั่วไป
- เครื่องคอมพิวเตอร์ที่สามารถติดต่อกับเครือข่ายอินเทอร์เน็ตได้ พร้อมเบราว์เซอร์ เช่น Microsoft Internet Explorer เป็นต้น

กรณีศึกษาการพัฒนาโปรแกรมระบบภูมิสารสนเทศผ่านอินเทอร์เน็ต

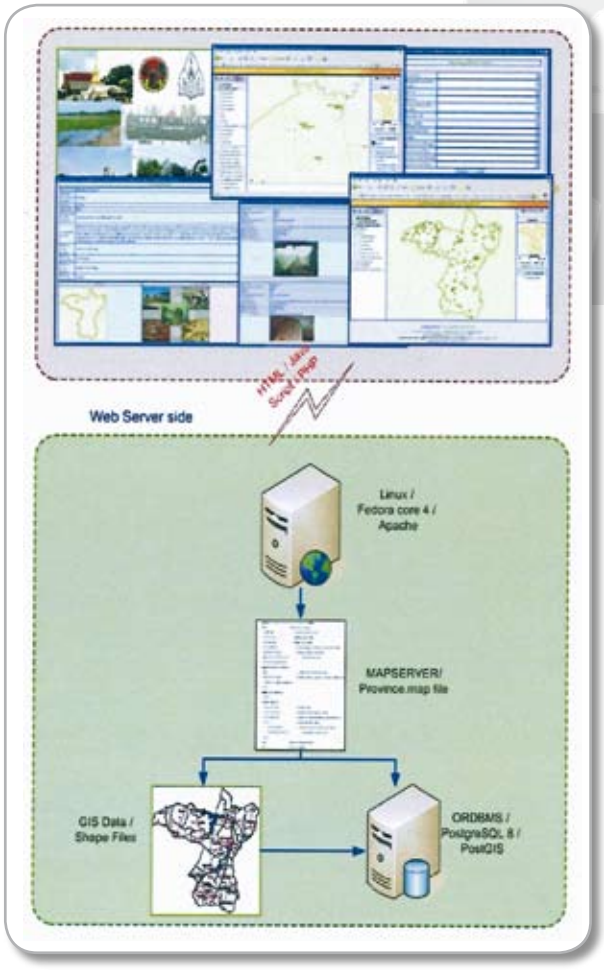
การพัฒนาโปรแกรมภูมิสารสนเทศผ่านอินเทอร์เน็ตที่ใช้เครื่องมือที่เรียกว่า รหัสเปิด (Open source) ซึ่งเป็นระบบเปิดที่ผู้ใช้งานหรือนักพัฒนาระบบสามารถดาวน์โหลดโปรแกรมพร้อมรหัสต้นฉบับใช้ได้โดยไม่เสียค่าใช้จ่ายในการศึกษานี้ได้เลือกใช้รหัสเปิดหลายตัว ได้แก่

- Linux/ Fedora core 4/ Apache เป็นระบบปฏิบัติการที่เป็นเว็บเซิร์ฟเวอร์
- PostgreSQL 8.0.3 เป็นระบบจัดการฐานข้อมูลเชิงวัตถุสัมพันธ์
- Minnesota Mapserver 4.6.0 เป็นโปรแกรมที่ใช้กำหนดการแสดงข้อมูลเชิงพื้นที่ผ่านอินเทอร์เน็ต
- PHP เป็นภาษาที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรมบนฝั่งเซิร์ฟเวอร์
- HTML / Java Script เป็นภาษาที่ใช้ในการสร้างเว็บเพจ หรือแสดงผลข้อมูลในฝั่งลูกข่าย

เครื่องมือที่กล่าวข้างต้นจะมีความสัมพันธ์เชื่อมโยงกัน เพื่อพัฒนาให้สามารถนำข้อมูลเชิงพื้นที่แสดงผลผ่านอินเทอร์เน็ตได้ตามหลักการที่แสดงดังภาพที่ 6.37 โดยเริ่มจากการออกแบบหน้าตาเว็บไซต์ให้ผู้ใช้งานอินเทอร์เน็ตสามารถเรียกดูข้อมูลเชิงพื้นที่ได้ง่าย ด้วยฟังก์ชันทั่วไปของการแสดงผลข้อมูลเชิงพื้นที่ ได้แก่

- การแสดงชั้นข้อมูลหลายชั้นข้อมูลพร้อมกัน ด้วยสัญลักษณ์ที่เข้าใจง่ายและมีการบอกความหมายไว้ข้างภาพข้อมูลทุกชั้นข้อมูล
- การย่อ/ ขยาย/ เลื่อนภาพข้อมูล
- การดูรายละเอียดของข้อมูลได้ทุกตำแหน่งพื้นที่
- การค้นหาข้อมูลที่ต้องการจากฐานข้อมูล แล้วขยายเข้าไปยังพื้นที่นั้นๆ ให้อัตโนมัติ
- แสดงดัชนีพื้นที่ให้รู้ว่าอยู่ ณ ตำแหน่งใดของจังหวัด

- แสดงมาตราส่วนที่สอดคล้องกับพื้นที่จริง เมื่อมีการย่อหรือขยายภาพข้อมูล
- แสดงค่าพิกัดตำแหน่งภูมิศาสตร์แบบ UTM Zone 48 ทุกตำแหน่งพื้นที่ที่เมาส์ชี้ในภาพข้อมูล



ภาพที่ 6.37 *หลักการการพัฒนา Internet GIS*
ที่มา : ศูนย์ภูมิสารสนเทศเพื่อการพัฒนาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มหาวิทยาลัยขอนแก่น (2549)

เมื่อผู้ใช้งานอินเทอร์เน็ตมีการคลิกเพื่อเรียกฟังก์ชันข้างต้น ระบบจะส่งผ่านความต้องการของผู้ใช้มายังเครื่องเซิร์ฟเวอร์ ซึ่งเครื่องนี้จะใช้ระบบปฏิบัติงาน Linux/Fedora Core 4 และลงโปรแกรม Apache เพื่อทำหน้าที่เป็นเว็บเซิร์ฟเวอร์ ช่วยส่งความต้องการนี้ไปยัง Mapserver ซึ่งจะมีไฟล์หลักนามสกุล .map เรียกว่าเป็น MapServer configuration file ในที่นี้คือ Province.map โดยภายในไฟล์นี้จะกำหนดลักษณะการแสดงข้อมูลเชิงพื้นที่ในรูปแบบที่เป็นวัตถุ (Object) ในแต่ละวัตถุจะกำหนดลักษณะที่แตกต่างกัน วัตถุที่สำคัญใน Province.map คือ วัตถุที่เกี่ยวกับชั้นข้อมูล (Layer object) เนื่องจากวัตถุนี้จะเป็นตัวอ้างถึงข้อมูลเชิงพื้นที่ และถ้ามีการค้นหาหรือการดูรายละเอียดข้อมูลจากฐานข้อมูล วัตถุนี้จะเป็นตัวกำหนดสคริปต์ HTML (ภายในมี Java script ร่วมด้วย) ทำหน้าที่เป็นที่พักข้อมูลชั่วคราวเรียกว่า Template เพื่อส่งต่อค่าข้อมูลไปยังสคริปต์ PHP ให้ที่ทำการเชื่อมโยงไปยังฐานข้อมูล PostgreSQL โดยภายในฐานข้อมูลนี้ได้มีการนำเข้าข้อมูลเชิงพื้นที่ด้วยฟังก์ชันเสริมคือ PostGIS และข้อมูลที่เป็น Lookup file (.dbf) แล้วกำหนดความสัมพันธ์ของข้อมูลเหล่านี้ตามหลักการจัดการฐานข้อมูลไว้แล้ว

เมื่อ Mapserver ประมวลผลจะทำให้วัตถุที่เกี่ยวกับชั้นข้อมูลข้างต้น มีความสัมพันธ์สอดคล้องกับวัตถุอื่นได้แก่ คำอธิบายสัญลักษณ์ของชั้นข้อมูล ดัชนีพื้นที่และมาตราส่วน โดยหลังจากประมวลผลเสร็จแล้ว วัตถุเหล่านี้จะถูกนำไปใช้ในวัตถุที่เกี่ยวกับเว็บ (Web object) ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นตัวเรียกสคริปต์การแสดงผลข้อมูลเชิงพื้นที่บนอินเทอร์เน็ตในฝั่งลูกข่ายด้วยภาษา HTML ร่วมกับ Java Script

ผลการพัฒนาระบบโปรแกรมภูมิสารสนเทศผ่านอินเทอร์เน็ต ได้มีการใช้งานจริงโดยใช้ข้อมูลเชิงพื้นที่จังหวัดขอนแก่น ทั้งหมด 63 ชั้นข้อมูล หลังจากติดตั้งระบบโปรแกรมที่พัฒนาแล้ว ผู้ใช้อินเทอร์เน็ตสามารถเข้าถึงระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์จังหวัดขอนแก่น ผ่านอินเทอร์เน็ตได้ที่

http://mapserv.kku.ac.th/40/ หรือ
http://www.khonkaenpoc.com/khonkaen/index.php (KK GIS)

บรรณานุกรม

กรมการปกครอง กระทรวงมหาดไทย. (2540). **เอกสารประกอบการอบรมโครงการฝึกอบรมเจ้าหน้าที่จัดเก็บรายได้สุขาภิบาล ประจำปีงบประมาณ 2540.**

กรมชลประทาน. (2541). โครงการพัฒนาพื้นที่ลุ่มน้ำปากพนังอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดนครศรีธรรมราช. สำนักงานโครงการพัฒนาพื้นที่ลุ่มน้ำปากพนัง. **วารสารวิชชา, 19 (2)**, 1-7.

กระทรวงมหาดไทย. (2539). **ข้อมูลและการใช้แผนที่เพื่อการวางแผนพัฒนาจังหวัด กรุงเทพมหานคร**.[ม.ป.ท.]: สำนักงานปลัดกระทรวงมหาดไทย กระทรวงมหาดไทย.

กฤติมา ลี่รัตนวิสุทธิ์. (2542). **การวางแผนการใช้ที่ดินเพื่อบรรเทาความเสียหายจากอุทกภัยในพื้นที่ลุ่มน้ำชุมพร วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต**. กรุงเทพฯ: สาขาการวางแผนภาค จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

จังหวัดชุมพร. (2547). **โครงการพัฒนาพื้นที่ หนองใหญ่ตามพระราชดำริ**. Retrieved March 2, 2004, from http://chaipat.or.th/data/King-project.html

จุมพล สวัสดิยากร. (2535). **การวิเคราะห์ลักษณะทางอุทกวิทยาและผลกระทบที่เกิดจากอุทกภัยในพื้นที่ลุ่มน้ำตาปี**. กรุงเทพฯ: คณะกรรมการอุทกวิทยาแห่งชาติ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.

เชาวน์ ยงเฉลิมชัย, ดนุพล ตันนโยภาส, อานันต์ คำภีระ, และสุชาดา ยงสถิตศักดิ์. (2543). **การวิเคราะห์ข้อมูลการใช้ที่ดินลุ่มน้ำปากพนังโดยเทคนิคดาวเทียมและระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์**. [ม.ป.ท.]: สำนักวิจัยและพัฒนามหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

เชาวน์ ยงเฉลิมชัย, สุชาดา ยงสถิตศักดิ์, และอานันต์ คำภีระ. (2547). **การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีจากดาวเทียมและระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในการกำหนดเขตพื้นที่น้ำท่วมในลุ่มน้ำตาปี จังหวัดสุราษฎร์ธานี**. [ม.ป.ท.]: ศูนย์ภูมิภาคเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศภาคใต้ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

เว็บไซต์สำนักงานสถิติแห่งชาติ กระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร (http://www.nso.go.th).

ไชยสิทธิ์ เอนกสัมพันธ์. (2544). ผลกระทบจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำในพื้นที่น้ำจืดต่อทรัพยากรดินและแนวทางการฟื้นฟูที่ดิน. **วารสารดินและปุ๋ย**, 23 (4), 119-137.

นพรัตน์ บำรุงรักษ์. (2540). **การปลูกป่าชายเลนบนหาดเลนงอกใหม่ของอ่าวปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช**. รายงานการสัมมนาระบบนิเวศป่าชายเลนแห่งชาติครั้งที่ 10 การจัดการและการอนุรักษ์ป่าชายเลน: บทเขียนในรอบ 20 ปี. ระหว่างวันที่ 25-28 สิงหาคม 2540 ณ โรงแรม เจ.บี. อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา.

นุชนาถ ประสิทธิ์วัฒนชัย, กิตตินันท์ วรอนุวัฒนกุล, และปนัญญา ธเนศวร. (2536). **แผนการใช้ที่ดินลุ่มน้ำปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช**. [ม.ป.ท.]: กองวางแผนการใช้ที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

ประมุข แก้วเนียม, มานพ อิสสะรีย์, สุชาติ สัยละมัย, สุรชัย รัตนเสริมพงศ์, และอานันต์ สุธีมีชัยกุล. (2538). **การศึกษาผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมจากการทำนากุ้งโดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียม อำเภอเมือง ปากพนัง เชียรใหญ่ และหัวไทร จังหวัดนครศรีธรรมราช และอำเภอระโนด จังหวัดสงขลา**. กรุงเทพฯ: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม.

ปริญญา นุตาลัย, และวันชัย โสภณสกุลรัตน์. (2532). สภาพทางธรณีวิทยาที่มีผลต่อการเกิดดินถล่มและอุทกภัย. **ในเอกสารประกอบการสัมมนาทางวิชาการการป้องกันอุทกภัยภาคใต้ (เล่มที่ 2). วันที่ 17-18 สิงหาคม 2532**. [ม.ป.ท.]: สถาบันวิจัยจุฬาภรณ์ ร่วมกับ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ปรีชา วทัญญู, ไพบูลย์ ศรีนิลทา, วิฑูรย์ คุณสมบัติ, และสวาสดิ์ พงศ์สุวรรณ. (2538). **การศึกษาผลกระทบการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินจากการทำนาข้าว เป็นการเลี้ยงกุ้งกุลาดำในเขตพื้นที่ทะเลหลวง สาขา 4 อำเภอระโนด จังหวัดสงขลา**. [ม.ป.ท.]: กองวางแผนการใช้ที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

พงศ์กฤษณ์ เสนีวงศ์. (2535). **แนวทางป้องกันและลดความสูญเสียจากอุทกภัย แผ่นดินเลื่อน แผ่นดินถล่ม**. กรุงเทพฯ: กรมอุตุนิยมวิทยา.

พูลศิริ โชคสมบูรณ์กุล. (2541). **การกำหนดพื้นที่เสี่ยงภัยพิบัติทางธรรมชาติบริเวณลุ่มน้ำปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต**. กรุงเทพฯ: สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม โครงการสหวิทยาการ ระดับบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

มูลนิธิชัยพัฒนา. (2547). **อุทกวิภาคประสิทธิ**. Retrieved March 2, 2004, from http://chaipat.or.th/journal/journaltp.html

วิชาญ อมรากุล. (2548). ระบบภูมิสารสนเทศเพื่อการจัดเก็บภาษีบำรุงท้องที่และทะเบียนทรัพย์สิน. **วารสารสมาคมสำรวจข้อมูลระยะไกลและสารสนเทศภูมิศาสตร์แห่งประเทศไทย**, 6 (3).

ศูนย์ข้อมูลสนเทศ สำนักงานปลัดกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. (2543). **รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการระบบสารสนเทศพื้นที่เสี่ยงภัยแล้ง**. ขอนแก่น: [ม.ป.พ.].

ศูนย์ภูมิสารสนเทศเพื่อการพัฒนาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. (2549). **ภาคตะวันออกเฉียงเหนือศักยภาพเชิงพื้นที่เพื่อการพัฒนา**. ขอนแก่น: หจก.ขอนแก่นการพิมพ์.

ศูนย์สารสนเทศการเกษตร. (2544). **รายงานผลการสำรวจข้าวนาปี ปีเพาะปลูก 2544/45**. กรุงเทพฯ: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (เอกสารโรเนียว).

_____. (2547). **สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปี 2546**. เอกสารสถิติการเกษตร เลขที่ 411 กรุงเทพมหานคร: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร.

สถิพรรณ จันทรัตน์, สถาพร ไพบูลย์ศักดิ์, พงษ์ศักดิ์ จำปาเทศ และอุราวรรณ จันทร์เกษ. (2549). **ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ผ่านอินเทอร์เน็ต**. ขอนแก่น : [ม.ป.ท.].

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2545). **แผนยุทธศาสตร์สินค้าเกษตร ปี พ.ศ 2545-2549**. [ม.ป.ท.]: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร.

_____. (2546). **การกำหนดเขตเกษตรเศรษฐกิจสำหรับสินค้าเกษตรกรุงเทพมหานคร**. [ม.ป.ท.]: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร.

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. (2540). **คำบรรยายเรื่องการสำรวจจากระยะไกล**. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว.

สุกาญจนวดี มณีรัตน์. (2539). ผลกระทบต่อสมบัติบางประการของดินในการพัฒนาที่ดินชายทะเลเพื่อการเลี้ยงกุ้ง. **วารสารอนุรักษ์ดินและน้ำ**, 12 (1),:15-25.

สุพรรณ กาญจนสุธรรม. (2535). **หลักการวิเคราะห์ข้อมูลดาวเทียมด้วยคอมพิวเตอร์และระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์**. กรุงเทพฯ: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร.

_____. (2547). **การกำหนดเขตเศรษฐกิจของข้าวหอมมะลิในบริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือ**. กรุงเทพฯ: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร.

_____. (2547). **การจัดทำฐานข้อมูลเชิงพื้นที่ด้านเศรษฐกิจทรัพยากรธรรมชาติทางการเกษตร**. กรุงเทพฯ: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร.

Coastal Resource Institute. (1991). **Coastal management in Pak Phanang : A historical perspective of the resources and issues**. [n.p.]: Prince of Songkla University.

Lillesand, T.M., and Kiefer, R.W. (1994). **Remote sensing and image interpretation**. 3rd edition. America: John Wiley & Son.

Marghany, M.and Hashim, M. (2006). Simulation of Tsunami Wave Spectra on Sri-Lanka and Indonesia. **ACRS 2006**. The 27th Asian Conference on Remote Sensing. Mongolia : [n.p.].

Mongkolsawat C, Paiboonsak S. (2006). GIS-based Land Evaluation for Combining Economic Crop as a model for Agricultural Land Use Planning. **Proceedings of The 27th Asian Conference on Remote Sensing of Mongolia, October 5-16, 2006**.

Mongkolsawat C., Paiboonsak S., Chanket U. (2006). Soil Erosion Risk Northeast Thailand : A Spatial Modeling. **In Proceedings of International Conference on Space Technology and Geo-Informatics 2006, 5-8 November 2006, Chonburi ,Thailand.**

Mongkolsawat C., Putklang W., Suwanweerakamtorn R. and Ratanasermpong S. (2005). Forest Change Detection Using Multi-temporal Remotely Sensed Data in Phuluang Wildlife Sanctuary, Northeast, Thailand. **Proceedings of the 26th Asian Conference on Remote Sensing**, Hanoi, November 7-11, 2005.

Mongkolsawat, C., Paiboonsak, S., Uttha, T. and Chanket, U. (2004). Application of GIS to the Protection of Agricultural Areas in Northeast Thailand. **Journal of Remote Sensing and GIS Association of Thailand**. Vol. 5 No.2 May-August 2004, P.25-34.

Moukomla, S., Lawawirojwong, S., Fungladda, W., Kaewkungwal, J., and Okanurak, K. (2006). **Use of GIS to find the risk area of Leptospirosis, Nakornratchasrima, Thailand**. ACRS 2006. The 27th Asian Conference on Remote Sensing. Mongolia : [n.p.].

Paiboonsak, S., and Mongkolsawat, C. (2004). **Agricultural land use planning in Khon Kaen province: GIS aplication**. 25th ACRS 2004. Proceedings of The 25th Asian Conference on Remote Sensing Volume 2. (pp. 1470-1475). Bangkok: Geo-Informatics and Space Technology Development Agency (Public Organization).

Prathumchai, K. (2004). **Applications of GIS in healthcare Planning- A case study in Lao PDR**. 25th ACRS 2004. Proceedings of The 25th Asian Conference on Remote Sensing Volume 2. (pp. 1111-1116). Bangkok: Geo-Informatics and Space Technology Development Agency (Public Organization).

Prukpitikul, S., Buakaew, V. and Kesdech, W. (2006). **Application of RS/GIS for monitoring typhoon and strom in Thailand**. ACRS 2006. The 27th Asian Conference on Remote Sensing. Mongolia : [n.p.].

Tanavud, C., Yongchalermchai, C., Bennui, A. and Sukboon, O. (2001). The expansion of inland shrimp farming and its environmental impacts in Songkla Lake Basin. **Journal of Kasetsart (Nat. Sci.)**.

Tiensin, T., et al. (2005). Highly pathogenic Avian Influenza H5N1, Thailand, 2004. **Emerging Infectious Diseases**, 11(11). Retrieved August 18, 2006, from web http://www.cdc.gov/ncidod/EID/vol11no11/05-0608.htm

Umor, S.M., Hassan, B. and Ahmad, N. (2005). **Identify the risk area of dengue outbreak identify the risk area of dengue outbreak using remote sensing and GIS technologies**. Retrieved March 28, 2007. from http://e-geoinfo.net/HealthGIS/ppt/final%20-%20dengue%20risk%20areas-heath%20gis.pdf

Yalan, L., Lei, Y., Xiaobo, W., and Chunsheng, X. (2005). **Spatial Analysis for the Location of Outbreaks and the Spread Pattern of Avian Influenza in China Using Remote Sensing and GIS**, Retrieved August 19, 2006, from http://j-geoinfo.net/HealthGIS/FISH_prog.htm

ศัพทานุกรม

Index	ดัชนี	หน้า
A causative buffer	พื้นที่กันชนตามสาเหตุของปัญหา	200
A stationary stochastic process	กระบวนการเฟ้นสุ่ม	209
Absorption	การดูดกลืน	49
Across track scanner	เครื่องกราดภาพขวางแนวโคจร	71
Active electronic sensors	ระบบแอ็กทิฟอิเล็กทรอนิกส์	70
Active remote sensing system	การรับรู้จากระยะไกลแบบแอ็กทิฟ	2
Additive color composite	สีผสมเชิงบวก	76
Additive primary colors	แม่สีบวก	76
Aerial photographs	รูปถ่ายทางอากาศ	2
Affine transformation	การแปลงพิกัดแบบสัมพันธ์	121
Alber's conic equal area projection	เส้นโครงแผนที่คงรูปอัลเบอร์	12
Along track scanner	เครื่องกราดภาพตามแนวโคจร	71
Alternate key	คีย์สำรอง	137
Ambiguity	กำกวม	223
Ambiguity Resolution : AR	การแยกความกำกวม	228
Analogue data	ข้อมูลเชิงอุปมาน	120
Annotated maps	แผนที่ผสม	20
Antenna	สายอากาศ	73
Antenna gain	อัตราการขยายจากสายอากาศ	102
Append	การซ้อนทับแบบผนวก	186
Approximate contour	เส้นชั้นความสูงประมาณ	29
Area features	ลักษณะเชิงพื้นที่	120
Arithmetic operator	ตัวดำเนินการคำนวณ	183
Arrays of pixel	เก็บเป็นแบบแถวจุดภาพ	3
Astronomical satellites	ดาวเทียมดาราศาสตร์	54
At a specified distance or Arbitrary buffer	พื้นที่กันชนตามระยะทางที่กำหนด	199
Atmospheric window	หน้าต่างบรรยากาศ	49
Attribute data	ข้อมูลลักษณะประจำ	4
Azimuth direction	ทิศทางแอซิมัท	102
Azimuth Resolution	ความแยกชัดด้านแอซิมัท	106

ศัพทานุกรม (ต่อ)

Index	ดัชนี	หน้า
Backscatter	พลังงานที่กระจัดกระจายกลับ	48
Band	ช่วงคลื่น	44
Band Interleaved by Line : BIL	แบบแบนด์แทรกสลับโดยเส้น	75
Band Interleaved by Pixel : BIP	แบบแบนด์แทรกสลับโดยจุดภาพ	74
Band Sequential : BSQ	แบบเรียงลำดับแบนด์	75
Bar scale	มาตราส่วนรูปแท่ง	24
Base line and Township line	เส้นฐานและเส้นเขตเมือง	17
Beam width	ความกว้างของลำแสง	104
Bi-Linear interpolation : BL	การประมาณค่าแบบเส้นคู่	85
Black body	เทหวัตถุสีดำ	47
Boolean logical operator	ตัวดำเนินการตรรกะแบบบูล	182
Border line	เส้นขอบระวาง	36
Broadcast ephemeris	อีฟิเมอริสดาวเทียม	222
Buffer operation	การสร้างแนวกันชน	181

ศัพทานุกรม (ต่อ)

Index	ดัชนี	หน้า
Cadastral map	แผนที่โฉนดที่ดิน	21
Candidate key	คีย์คู่แข่ง	137
Carrier phase	เฟสของคลื่นส่ง	222
Cartesian coordinates	ค่าพิกัดฉากคาร์ทีเซียน	220
Central conical projection or Tangent cone	แบบกรวยสัมผัส	12
Central meridian	เส้นเมริเดียนกลาง	13
Centroid method	วิธีจุดรวมมวล	101
Charge Coupled Device : CCD	เครื่องรับรู้แบบอุปกรณ์ถ่ายเทประจุ	68
Choropleth map	แผนที่โคโรเพลท	21
Clip	การซ้อนทับเพื่อตัดข้อมูล	186
Clock drift	ดริฟท์ของนาฬิกา	225
Clock drift rate	อัตราดริฟท์ของนาฬิกา	225
Clock error	ค่าความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาดาวเทียม	225
Clustering	การจับกลุ่มของข้อมูล	100
Color composite	ภาพสีผสม	76
Column	ชุดสดมภ์	137
Combine	รวมเข้าด้วยกัน	196
Communications satellites	ดาวเทียมสื่อสาร	54
Composite map	ชั้นข้อมูลแผนที่ผสม	196
Computer approach	แผนที่ทำด้วยกระดาษ และคอมพิวเตอร์	179
Concave slope	ความลาดเว้า	31
Conceptual database design	การออกแบบฐานข้อมูลระดับแนวคิด	140
Conceptual model	แบบจำลองแนวคิด	133
Conceptual record	ระเบียนระดับแนวคิด	132
Conceptual schema	โครงสร้างระดับแนวคิด	132
Conic projection	เส้นโครงแผนที่แบบกรวย	11
Conical scanners	เครื่องกราดภาพทรงกรวย	72
Continuous interpolation	การประมาณค่าในช่วงแบบต่อเนื่อง	202
Continuous surface	พื้นผิวที่มีความต่อเนื่องกัน	203

ศัพทานุกรม (ต่อ)

Index	ดัชนี	หน้า
Contour or Isoline	เส้นชั้นความสูง	29
Contrast stretching	การยืดภาพเพื่อเน้นความชัดเจน	87
Control Ground Segment : CGS	ส่วนควบคุมภาคพื้นดิน	67
Control segment	ส่วนควบคุม	218
Convex slope	ความลาดนูน	31
Convolution filtering	การกรองแบบวนรอบ	90
Convolution kernel	กระบวนการที่ใช้ส่วนกลางแบบวนรอบ	90
Coordinate systems and Datums	ระบบพิกัดและพื้นหลักฐาน	219
Corner reflectors	ตัวสะท้อนมุม	110
Cosmic rays	รังสีคอสมิก	44
Cubic Convolution interpolation : CC	การประมาณค่าแบบการประสานเชิงลูกบาศก์	85
Cylindrical equal area projection	เส้นโครงแผนที่คงพื้นที่แบบทรงกระบอก	13
Cylindrical projection	เส้นโครงแผนที่แบบทรงกระบอก	11

ศัพทานุกรม (ต่อ)

Index	ดัชนี	หน้า
Data acquisition	การได้มาของข้อมูล	43
Data analysis	การวิเคราะห์ข้อมูล	43
Data Base Management System : DBMS	ระบบจัดการฐานข้อมูล	138
Data Control Language : DCL	ภาษาสำหรับการควบคุมข้อมูล	139
Data input system	ระบบนำเข้าข้อมูล	120
Data integrity	กฎที่ใช้ควบคุมความถูกต้องให้กับข้อมูล	135
Data layer	ชั้นข้อมูล	123
Data manipulation	กรรมวิธีจัดการข้อมูล	125
Data model	แบบจำลองข้อมูล	132
Data redundancy	ปัญหาการซ้ำซ้อนของข้อมูล	128
Database model	แบบจำลองฐานข้อมูล	134
Database system	ระบบฐานข้อมูล	129
Datum transformation	การแปลงพื้นหลักฐาน	222
Declination diagram	แผนภาพเดคลิเนชัน	24
Depression angle	มุมก้ม	105
Depression contour	เส้นชั้นความสูงของแอ่ง	30
Dielectric constant	ค่าคงที่ของความสามารถในการเป็นฉนวน	110
Dielectric properties	คุณสมบัติในการเป็นฉนวน	109
Diffuse reflection or Lambertian reflection	การสะท้อนแสงแพร่	51
Digital analysis	การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงเลข	43
Digital Elevation Model: DEM	แบบจำลองความสูงเชิงตัวเลข	58
Digital number	จำนวนตัวเลข	80
Digital Terrain Model : DTM	แบบจำลองลักษณะภูมิประเทศเชิงตัวเลข	201
Dihedral corner reflector	ตัวสะท้อนมุมสองหน้า	110
Dirichlet diagram	ช่องกริดดิลิกเก็ต	202
Discrete interpolation	การประมาณค่าในช่วงแบบไม่ต่อเนื่อง	202
Dissolve	การรวมเขตข้อมูลด้วยคำสั่งสลาย	194
Distortion	การบิดเบี้ยว	10
Dot map	แผนที่จุด	21

ศัพทานุกรม (ต่อ)

Index	ดัชนี	หน้า
Earth observation satellites	ดาวเทียมสำรวจทรัพยากรโลก	54
Eccentricity	ค่าการเยื้องศูนย์	220
Economic map	แผนที่เศรษฐกิจ	21
Edge enhancement or High pass filter	ตัวกรองผ่านความถี่สูง	92
Electromagnetic energy	พลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	43
Electromagnetic spectrum	ลักษณะของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	44
Electromagnetic theory	ทฤษฎีของการแผ่พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า	44
Eliminate	คำสั่งกำจัด	194
Ellipsoid	ทรงรี	10
Ellipsoid or Spheroid	ทรงรี หรือสเฟียรอยด์	219
Enhanced Thematic Mapper Plus : ETM+	ระบบธีแมติกแมพเพอร์เพิ่มสมรรถนะ	57
Equatorial orbit	วงโคจรระนาบศูนย์สูตร	55
Erase	การซ้อนทับเพื่อลบข้อมูล	186
Exact interpolators	การประมาณค่าที่มีความแม่นตรง	205
External distortion	ความบิดเบี้ยวภายนอก	82
External level	สถาปัตยกรรมในระดับภายนอก	131
External record	ระเบียนภายนอก	131
External schema	โครงสร้างของข้อมูลในระดับภายนอก	131

ศัพทานุกรม (ต่อ)

Index	ดัชนี	หน้า
False origin	จุดกำเนิดสมมติ	17
Far range edge	ขอบพิสัยไกล	104
Flattening	การยุบตัว	220
Foreign key	คีย์นอก	137
Foreshortening	การย่นระยะของภาพเรดาร์	107
Fourier series	อนุกรมฟูเรียร์	203
Furthest neighbor method	วิธีตำแหน่งไกลที่สุด	101

ศัพทานุกรม (ต่อ)

Index	ดัชนี	หน้า
Gall's stereographic cylindrical projection	เส้นโครงแผนที่ทรงกระบอกแบบกอลล์	13
Gamma ray	รังสีแกมม่า	45
General Land Office grid system	ระบบพิกัดแผนที่ GLO	17
Geocentric datum	จุดศูนย์มวลของโลก	221
Geocoding	ตำแหน่งจริงบนพื้นผิวของโลก	123
Geodetic coordinates	พิกัดจีออเดติก	220
Geographic coordinates	ค่าพิกัดภูมิศาสตร์	220
Geographic coordinates systems	ระบบพิกัดภูมิศาสตร์	15
Geographic Information Data	ข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์	120
Geographic Information System : GIS	ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์	1
Geographic position	ตำแหน่งทางภูมิศาสตร์	155
Geoid-ellipsoid separation : N	พื้นผิวจีออยด์ และทรงรี	221
Geo-information technology	เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ	1
Geometric correction	การตรวจแก้เชิงเรขาคณิต	81
Geometric coordinate transformation	การคำนวณความสัมพันธ์ของพิกัด	84
Geometric correction	การตรวจแก้เชิงเรขาคณิต	3
Geometric distortion	การบิดเบี้ยวทางเรขาคณิต	81
Geo-referenced data	ระบบพิกัดทางภูมิศาสตร์บนพื้นโลก	4
Geo-stationary orbit	วงโคจรค้างฟ้า	55
Geo-stationary satellite	ดาวเทียมค้างฟ้า	55
GIS data standards	มาตรฐานข้อมูลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์	144
Global Positioning System : GPS	ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก	1
Global trend	แนวโน้มวงกว้าง	204
Global/ Whole interpolation	ประมาณค่าในช่วงจากข้อมูลวงกว้าง หรือทั้งหมด	203
Gnomonic projection	เส้นโครงแผนที่แบบโนมอน	11
GPS observation errors	ค่าคลาดเคลื่อนในข้อมูลจีพีเอส	222
GPS systems	ระบบดาวเทียมจีพีเอส	218
GRANT	การให้สิทธิในการเข้าถึงข้อมูล	139
Graphic data	ข้อมูลที่เป็นข้อมูลเชิงภาพ	120

ศัพทานุกรม (ต่อ)

Index	ดัชนี	หน้า
Graphic scale	มาตราส่วนเส้น	24
Graphic table	ตารางข้อมูลที่เชื่อมโยงกับกราฟิก	128
Gray scale stretching	การขยายระดับค่าสีเทา	87
Grid cell	ตารางข้อมูลย่อย	120
Grid interval	ช่วงระยะกริด	20
Grid north	ทิศเหนือกริด	24
Grid square	สี่เหลี่ยมกริด	19
Grid zone	เขตกริด	17
Ground Control Point : GCP	จุดควบคุมภาคพื้นดิน	83
Ground coordinate system	ระบบพิกัดมาตรฐานของภูมิประเทศ	120
Ground range	แนวพิสัยราบ	104

ศัพทานุกรม (ต่อ)

Index	ดัชนี	หน้า
Haze	การสลัวของแสง	49
Haze compensation	ค่าการสะท้อนที่บิดเบือนของสภาวะอากาศ	80
Hierarchical clustering	การรวมกลุ่มแบบลำดับชั้น	100
Hierarchical database model	แบบจำลองฐานข้อมูลแบบลำดับขั้น	134
Hierarchical model	แบบจำลองลำดับขั้น	133
High frequency kernel	ตัวกรองความถี่สูง	91
Histogram equalization	ความเท่ากันของแผนภูมิภาพ	87
Homogeneous	ลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน	96
Homolosine projection	เส้นโครงแผนที่แบบโฮโมโลไซน์	14
Horizontal : H	แนวนอน	104
Horizontal scale	มาตราส่วนตามแนวราบ	27
Hyperlink	การสร้างความเชื่อมโยงหลายมิติ	185

ศัพทานุกรม (ต่อ)

Index	ดัชนี	หน้า
Identity	การซ้อนทับแบบเอกลักษณ์	186
Image classification	การจำแนกประเภทข้อมูลภาพ	93
Image enhancement	การเน้นข้อมูลภาพ	86
Image Ground Segment : IGS	ส่วนรับภาพภาคพื้นดิน	67
Image histogram	แผนภูมิภาพ	75
Image noise	การรบกวนในข้อมูลภาพ	91
Image processing	การประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์	78
Image to image correction	การตรวจแก้ระหว่างภาพกับภาพ	83
Image to map correction	การปรับแก้ระหว่างภาพกับแผนที่	83
Imaging radar	ระบบถ่ายภาพเรดาร์	73
Implementation model	แบบจำลองนำไปปฏิบัติ	133
Incident angle	มุมตกกระทบ	59
Incident energy	พลังงานทั้งหมดที่มาตกกระทบ	47
Inclined orbit	วงโคจรเอียง	55
Index contour	เส้นชั้นหลัก	29
Information extraction	การสกัดสารสนเทศ	1
Infrared	อินฟราเรด	2
Input devices	อุปกรณ์นำเข้าข้อมูล	121
Inset map	แผนที่แทรก	37
Intensity	ค่าความเข้ม	71
Interactive	สำรวจตรวจค้นในเชิงโต้ตอบ	178
Intermediate contour	เส้นชั้นความสูงรอง	29
Internal distortion	ความบิดเบี้ยวภายใน	81
Internal level	สถาปัตยกรรมระดับภายใน	132
Internal record	ระเบียนภายใน	132
Internal schema	โครงสร้างภายใน	132
International space station	สถานีอวกาศนานาชาติ	54
International Standards Organization : ISO	องค์การพัฒนามาตรฐานนานาชาติ	145
Interoperability	การทำงานร่วมกัน	144

ศัพทานุกรม (ต่อ)

Index	ดัชนี	หน้า
Interpretation	การแปลตีความ	1
Intersection	การซ้อนทับแบบอินเตอร์เซกชัน	184
Inverse Distance Weighting : IDW	การคำนวณค่าระยะทางกลับโดยน้ำหนัก	205
Isopleth map	แผนที่เส้นค่าเท่า	21

ศัพทานุกรม (ต่อ)

Index	ดัชนี	หน้า
Kernel	ส่วนกลาง	90
Kriging	คริกิง	203
Lambert conformal projection	เส้นโครงแผนที่คงรูปแลมเบิร์ต	12
Layover	การวางทับ	107
Least square method	วิธีการกำลังสองน้อยที่สุด	83
Left polygon	พื้นที่ทางด้านซ้าย	144
Light Detection and Ranging : Lidar	ไลดาร์	73
Line map	แผนที่ลายเส้น	20
Line scanners	เครื่องกราดภาพลายเส้น	71
Line topology	ทอพอโลยีของเส้น	144
Linear combination	ผลบวกเชิงเส้น	87
Linear contrast stretch	การเน้นความคมชัดเชิงเส้น	87
Linear features	ลักษณะเชิงเส้น	120
Line-in-Polygon	เส้นในอาณาบริเวณ	187
Local coordinate system	ระบบพิกัดสมมติ	120
Local incident angle : LIA	มุมตกกระทบเฉพาะที่	105
Local influence	อิทธิพลจากข้อมูลที่อยู่ใกล้	206
Local interpolator	ตัวประมาณค่าท้องถิ่น	209
Logical database design	การออกแบบฐานข้อมูลในระดับตรรกะ	140
Look angle	มุมมอง	105
Look Up Table : LUT	ตารางค้นหา	87
Low pass or Smoothing filter	ตัวกรองความถี่ต่ำหรือตัวกรองทำให้เรียบ	90

ศัพทานุกรม (ต่อ)

Index	ดัชนี	หน้า
Magnetic azimuth	มุมแอซิมัทแม่เหล็ก	32
Magnetic north	ทิศเหนือแม่เหล็ก	24
Manual approach	รูปแบบทำด้วยมือ	179
Many-to-Many	ความสัมพันธ์แบบกลุ่มต่อกลุ่ม	134
Map algebra	พีชคณิตสำหรับแผนที่	196
Map and Map projection	เส้นโครงแผนที่และระบบพิกัด	1
Map layers	ชั้นแผนที่	178
Map layout	การวางแบบแผนที่	35
Mathematical or Conventional projection	เส้นโครงแผนที่ทางคณิตศาสตร์	11
Maximum likelihood classifier	กฎการตัดสินใจเพื่อการจำแนกข้อมูลภาพแบบความน่าจะเป็นไปได้สูงสุด	100
Mean vector	เวกเตอร์ค่าเฉลี่ย	98
Measurable buffer	วิธีแนวกันชนวัดได้	200
Median filter	ตัวกรองแบบค่ากึ่งกลาง	80
Mercator projection	เส้นโครงแผนที่ทรงกระบอกแบบเมอร์เคเตอร์	13
Meridian	เส้นเมริเดียน	10
Meteorological satellites	ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา	54
Microwave	ช่วงคลื่นไมโครเวฟ	2
Mie scattering	การกระจัดกระจายแบบมี	2
Miniaturized satellites	ดาวเทียมขนาดเล็ก	54
Minimum distance to means	กฎการตัดสินใจเพื่อการจำแนกข้อมูลภาพแบบระยะห่างต่ำสุด	98
Mode filter	ตัวกรองแบบฐานนิยม	91
Modulation	การกล้ำสัญญาณ	219
Mollweide homolographic projection	เส้นโครงแผนที่แบบมอลล์ไวด์โฮโมโลกราฟิก	14
Moving average	ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่	203
Multipath error	ค่าคลาดเคลื่อนจากคลื่นหลายวิถี	226
Multiple rings or Doughnut buffer	พื้นที่กันชนแบบวงแหวน	199
Multi-resolution	การให้ความละเอียดภาพหลายระดับ	78
Multispectral Scanner : MSS	ระบบเครื่องกราดภาพหลายสเปกตรัม	57

ศัพทานุกรม (ต่อ)

Index	ดัชนี	หน้า
Nadir	แนวดิ่งใต้ดาวเทียม	69
Navigation message	ข้อมูลการกำหนด	219
Navigation satellites	ดาวเทียมนำร่อง	54
Near infrared	ช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้	45
Near range edge	ขอบพิสัยใกล้	104
Nearest Neighbor interpolation : NN	การประมาณค่าจากตำแหน่งใกล้ที่สุด	85
Nearest neighbor method	วิธีตำแหน่งใกล้ที่สุด	100
Neat line	ขอบระวางแผนที่	36
Neighborhood function	ฟังก์ชันความใกล้เคียง	198
Network database model	แบบจำลองฐานข้อมูลโครงข่าย	133
Non systematic correction	การตรวจแก้แบบไม่มีระบบ	83
Non-graphic table	ตารางข้อมูลที่ไม่เชื่อมโยงกับกราฟิก	128
Non-hierarchical clustering	การรวมกลุ่มแบบไม่เป็นลำดับชั้น	100
Nonlinear contrast stretch	การเน้นความคมชัดไม่ใช่เชิงเส้น	87
Non-selective scattering	การกระจัดกระจายแบบไม่เจาะจง	2
Normal distribution	ข้อมูลมีการกระจายตัวอย่างปกติ	200
Normalized Difference Vegetation Index	NDVI	89

ศัพทานุกรม (ต่อ)

Index	ดัชนี	หน้า
One-to-Many	ความสัมพันธ์แบบหนึ่งต่อกลุ่ม	133
One-to-One	ความสัมพันธ์แบบหนึ่งต่อหนึ่ง	133
Open systems	ระบบเปิด	145
Operating System : OS	ระบบปฏิบัติการ	6
Optical sensor	เครื่องรับรู้ข้อมูลเชิงแสง	60
Optical wavelength	ช่วงคลื่นเชิงแสง	45
Origin of latitude	ศูนย์กำเนิดของละติจูด	15
Origin of longitude	ศูนย์กำเนิดของลองจิจูด	16
Orthographic projection	เส้นโครงแผนที่แบบออร์โทกราฟ	11
Panchromatic	ระบบแพนโครมาติก	3
Parallax and Radar Interferometry	พาราแลกซ์	108
Parallelepiped classification or Box classifier	กฎการตัดสินใจเพื่อการจำแนกข้อมูลภาพแบบสี่เหลี่ยมคู่ขนาน	99
Passive electronic sensors	ระบบแพสซิฟอิเล็กทรอนิกส์	70
Passive remote sensing system	การรับรู้จากระยะไกลแบบแพสซิฟ	2
Photographic IR band	ช่วงคลื่นอินฟราเรด	46
Photographic UV band	ช่วงคลื่นไวโอเลตภาพถ่าย	45
Photomap	แผนที่รูปถ่าย	20
Physical database design	การออกแบบฐานข้อมูลในระดับกายภาพ	140
Piecewise linear contrast stretch	การเน้นความคมชัดเชิงเส้นต่อเนื่อง	87
Pixel	จุดภาพ	3
Pixel value	ค่าของจุดภาพ	3
Planar, Azimuthal or Zenithal projections	เส้นโครงแผนที่แบบระนาบสัมผัส	11
Planimetric map	แผนที่แบบราบ	21
Point feature	ลักษณะที่เป็นจุด	120
Point topology	ทอพอโลยีของจุด	143
Point-in-Polygon	จุดในอาณาบริเวณ	187
Polar orbit	วงโคจรผ่านขั้วโลก	55
Polarization	โพลาไรเซชัน	64
Polyconic projection	แบบหลายกรวย	12
Polygon-on-Polygon	อาณาบริเวณบนอาณาบริเวณ	187
Power transmitted	พลังงานที่ส่งออก	13
Pre- processing	การเตรียมข้อมูลก่อนการประมวลผล	3

ศัพทานุกรม (ต่อ)

Index	ดัชนี	หน้า
Precise orbit	ข้อมูลวงโคจรดาวเทียมความละเอียดสูง	222
Primary data	ข้อมูลปฐมภูมิ	125
Primary Key	คีย์หลัก	137
Principal meridian and Range line	เส้นเมริเดียนหลักและเส้นพิสัย	18
Principle Component Analysis: PCA	การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก	88
Proximity computation	การคำนวณค่าที่อยู่ใกล้เคียง	198
Pseudo color	การแสดงผลแบบสีเทียม	77
Pseudolite	เครื่องส่งสัญญาณดาวเทียมภาคพื้นดิน	234
Pseudorange	ซูโดเรนจ์	222
Quadrangle	แผนที่รูปสี่เหลี่ยม	18
Query language	ภาษาสำหรับการสืบค้นข้อมูล	131

ศัพทานุกรม (ต่อ)

Index	ดัชนี	หน้า
RADAR : Radio Detection And Ranging	ระบบเรดาร์	3
Radiometer	เรดิโอมิเตอร์	48
Radiometric correction	การตรวจแก้คลื่นรังสี	3
Range and Azimuth	พิสัย และแอซิมัท	104
Range direction	ทิศทางพิสัย	102
Rapid static survey	วิธีการรังวัดแบบสถิตอย่างเร็ว	229
Raster cell overlay	การซ้อนทับแบบเซลล์แรสเตอร์	196
Rayleigh scattering	การกระจัดกระจายแบบเรย์ลี	2
Real and Synthetic Aperture Radars: RAR and SAR	เรดาร์ช่องเปิดจริง และเรดาร์ช่องเปิดสังเคราะห์	106
Real time kinematic survey	วิธีการรังวัดแบบจลน์ในทันที	229
Receiver	เครื่องรับสัญญาณ	101
Receiver noise error	ค่าคลาดเคลื่อนจากสัญญาณรบกวนในเครื่องรับ	225
Receiver-dependent errors	ค่าคลาดเคลื่อนที่เกี่ยวข้องกับเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม	224
Reclassify	การจัดจำแนกข้อมูลใหม่	194
Reconnaissance satellites	ดาวเทียมจารกรรม	54
Record	ระเบียน	131
Rectified image	ข้อมูลที่ปรับแก้	83
Reference image	ข้อมูลอ้างอิง	83
Reflected energy peak	การสะท้อนพลังงานสูงสุด	45
Reflected IR band	ช่วงคลื่นอินฟราเรดชนิดสะท้อน	46
Reflection	การสะท้อนพลังงาน	50
Refraction	การหักเห	49
Relational database model	แบบจำลองฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์	133
Relational operator	ตัวดำเนินการสัมพันธ์	183
Relative positioning	การหาค่าพิกัดแบบสัมพัทธ์	228
Remote Sensing : RS	เทคโนโลยีทางด้านการรับรู้จากระยะไกล	1
Remotely sensed data	ข้อมูลจากการรับรู้ระยะไกล	74
Renumbering	การเรียงเลขใหม่	184
Repetitive coverage	การบันทึกข้อมูลซ้ำบริเวณ	78
Representative fraction	มาตราส่วนสัดส่วน	24
REVOKE	การยกเลิกสิทธิในการเข้าถึงข้อมูล	139
Roughness characteristics	ความขรุขระของพื้นที่	109
Row	ชุดของแถว	137

ศัพทานุกรม (ต่อ)

Index	ดัชนี	หน้า
Satellite clock corrections	ค่าแก้เวลานาฬิกาดาวเทียม	219
Satellite data storage	การเก็บบันทึกข้อมูลจากดาวเทียม	74
Satellite orbit	วงโคจรของดาวเทียม	54
Satellite orbits or Ephemerides	ข้อมูลวงโคจรดาวเทียม	221
Satellite-dependent errors	ค่าคลาดเคลื่อนที่เกี่ยวข้องกับดาวเทียม	224
Scale factor	ค่าอัตราส่วนย่อขยาย	222
Scattering	การกระจัดกระจาย	2
Secant conical projection	แบบกรวยตัด	12
Secondary data	ข้อมูลทุติยภูมิ	125
Secondary key	คีย์สำรอง	137
Semi-variogram	แบบจำลองเซมิแวริโอแกรม	207
Sensing system	ระบบการรับรู้	48
Sensor systems	ระบบเครื่องรับรู้	70
Shuttle Imaging Radar : SIR	กระสวยถ่ายภาพจากเรดาร์	101
Signal enhancement	การเน้นสัญญาณ	109
Signal propagation errors	การแพร่กระจายของสัญญาณ	224
Sine curves	ส่วนโค้งของไซน์	14
Sinkhole	หลุมยุบ	30
Sinusoidal projection	เส้นโครงแผนที่แบบโค้งไซน์ไซนูซอยดัล	14
Slant range and Ground range	พิสัยตามแนวเอียงและตามแนวราบ	106
Sliver	กาบ	193
Software package	ซอฟต์แวร์สำเร็จ	6
Soil Adjustment Vegetation Index	SAVI	89
Space segment	ส่วนอวกาศ	218
Space stations	สถานีอวกาศ	54
Spatial autocorrelation	ความสัมพันธ์ระหว่างกันเชิงพื้นที่	207
Spatial characteristics	ลักษณะเชิงพื้นที่ของวัตถุบนพื้นผิวโลก	43
Spatial data	ข้อมูลเชิงพื้นที่	120
Spatial Data Transfer Standard : SDTS	มาตรฐานการโอนย้ายข้อมูลเชิงพื้นที่	147
Spatial enhancement	การเน้นข้อมูลแบบเชิงพื้นที่	90
Spatial interpolation	การประมาณค่าในช่วงเชิงพื้นที่	200
Spatial overlay	การซ้อนทับเชิงพื้นที่	181
Spatial relationship	ความสัมพันธ์เชิงพื้นที่	155

ศัพทานุกรม (ต่อ)

Index	ดัชนี	หน้า
Spatial resolution	ความละเอียดภาพของข้อมูลเชิงพื้นที่	71
Spatial search	การค้นข้อมูลเชิงพื้นที่	181
Special map	แผนที่พิเศษ	21
Spectral characteristics	การสะท้อนช่วงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	43
Spectral enhancement	การเน้นข้อมูลเชิงคลื่น	86
Spectral radiance	ค่าการแผ่รังสีตามช่วงคลื่น	80
Spectral signature	ลายเซ็นเชิงคลื่น	52
Specular reflectors	การสะท้อนแสงตรง	51
Spin scanners	เครื่องกราดภาพแบบหมุนรอบ	71
Splines	ฟังก์ชันกระดูกงู	203
Spread computation	การคำนวณพื้นที่ส่วนที่ขยายออก	198
Standard parallel	เส้นขนานหลัก	12
Static survey	วิธีการรังวัดแบบสถิต	228
Statistical map	แผนที่สถิติ	21
Stereo pair	การถ่ายภาพคู่ภาพถ่ายทรวดทรง	69
Stereographic projection	เส้นโครงแผนที่แบบสเตริโอกราฟ	11
Strength	ความเข้ม	101
Strip/ Noise	ลายเส้นปะปน	80
Subseting	การจัดกลุ่มย่อยใหม่	184
Subtractive color composite	สีผสมเชิงลบ	76
Subtractive primary color	แม่สีลบ	76
Sun-synchronous orbit	วงโคจรแบบสัมพันธ์กับดวงอาทิตย์	54
Supervised classification	การจำแนกประเภทข้อมูลภาพแบบควบคุม	93
Supplemental contour	เส้นชั้นความสูงแทรก	29
System parameters	พารามิเตอร์ของระบบ	102
System software	ซอฟต์แวร์ระบบ	6
Systematic correction	การตรวจแก้แบบมีระบบ	83

ศัพทานุกรม (ต่อ)

Index	ดัชนี	หน้า
Tangent correction	การตรวจแก้เชิงสัมผัสผิว	83
Target parameters	พารามิเตอร์ด้านสิ่งแวดล้อมของพื้นที่เป้าหมาย	102
Temporal characteristics	ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของวัตถุตามช่วงเวลา	43
Thailand Earth Observation Satellite	THEOS	67
Thematic map	แผนที่เฉพาะเรื่อง	123
Thematic mapper : TM	ระบบธีแมติกแมพเพอร์	57
Thermal infrared	ช่วงคลื่นอินฟราเรดความร้อน	2
Thiessen polygon	รูปหลายเหลี่ยมทิสเสน	202
Tiny polygons	พื้นที่ขนาดเล็ก	193
Topographic map	แผนที่ภูมิประเทศ	21
Tracking bandwidth	สัญญาณรบกวน	226
Transformation	การแปลงข้อมูล	84
Transformation Vegetation Index	TVI	90
Transmission	การส่งผ่านพลังงาน	50
Transmitter	เครื่องส่งสัญญาณ	101
Trend surface analysis	การวิเคราะห์พื้นผิวแนวโน้ม	203
Triangulated Irregular Network : TIN	โครงข่ายสามเหลี่ยมไม่สม่ำเสมอ	201
Trihedral corner reflector	ตัวสะท้อนสามหน้า	110
True north	ทิศเหนือจริง	24

ศัพทานุกรม (ต่อ)

Index	ดัชนี	หน้า
Ultraviolet	ช่วงคลื่นอัลตราไวโอเลต	2
Uniform slope	ความลาดเป็นแบบลาดสม่ำเสมอ	31
Union	การซ้อนทับแบบยูเนียน	184
Universal Polar Stereographic : UPS	ยูนิเวอร์ซัลโพลาร์สเตริโอกราฟิก	17
Universal Transverse Mercator : UTM	ยูนิเวอร์แซลทรานสเวิร์สเมอร์เคเตอร์	15
Unsupervised classification	การจำแนกประเภทข้อมูลภาพแบบไม่ควบคุม	93
Update	การซ้อนทับเพื่อปรับให้เป็นปัจจุบัน	186
UTM coordinates systems	ระบบพิกัดยูทีเอ็ม	16
Variable scale	มาตราส่วนชนิดแปรตาม	36
Vector data	ข้อมูลแบบเชิงเส้น	120
Vegetation index	ดัชนีพืชพรรณ	89
Vertical : V	ทิศทางการแผ่กระจายทั้งแนวตั้ง	104
Vertical scale	มาตราส่วนตามแนวดิ่ง	27
Visible light	ช่วงคลื่นตามองเห็น	45
Visual center	จุดศูนย์กลางเชิงทัศน์	36
Visual interpretation	ประกอบด้วย การแปลตีความข้อมูลด้วยสายตา	43
Volume scattering	การกระจัดกระจายเชิงปริมาตร	111
Voronoi diagram	รูปหลายเหลี่ยมโวโรนอย	202
Ward method	วิธีวอร์ด	101
Water absorption bands	ช่วงคลื่นดูดกลืนน้ำ	52
Wien's displacement law	กฎการแทนที่ของเวียน	48
X-ray	รังสีเอกซ์	45

ภาคผนวก

Projections

truly representing the surface of the entire Earth. However, a map or parts of a map can show one or more—but never all—of the following: True directions. True distances. True areas. True shapes.

tances and areas are grossly distorted near th map's polar regions.

On an equidistant map, distances are true only along particular lines such as those radiating

The Globe

Directions—True.
Distances—True.
Shapes—True.
Areas—True.

Great circles—The shortest distance between any two points on the surface of the Earth can be found quickly and easily along a great circle.

Disadvantages:
Even the largest globe has a very small scale and shows relatively little detail.

Costly to reproduce or update.

Difficult to carry around.

Bulky to store.

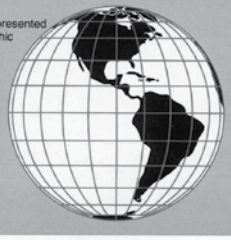
On the globe:
Parallels are parallel and are spaced equally on meridians. Meridians and other arcs of great circles are straight lines (if looked at perpendicularly to the Earth's surface). Meridians converge toward the poles and diverge toward the Equator.

Meridians are equally spaced on the parallels, but their distance apart decreases from the Equator to the poles. At the Equator, meridians are spaced the same as parallels. Meridians at 60° are half as far apart as parallels. Parallels and meridians cross at right angles. The area of the surface bounded by any two parallels and two meridians (a given distance apart) is the same anywhere between the same two parallels.

The scale factor at each point is the same in any direction.

After Robinson and Sale, *Elements of Cartography* (3rd Edition, John Wiley & Sons, Inc., 1969, p. 212).

Globe, as represented by Orthographic projection—equatorial aspect



Mercator

Used for navigation or maps of equatorial regions. Any straight line on map is a **rhumb line** (line of constant direction). **Directions** along a rhumb line are true between *any* two points on map, but a rhumb line usually is *not* the shortest distance between points. (Sometimes used with Gnomonic map on which any straight line is on a great circle and shows shortest path between two points.)

Distances are true *only* along Equator, but are reasonably correct within 15° of Equator; special scales can be used to measure distances along other parallels. Two particular parallels can be made correct in scale instead of the Equator.

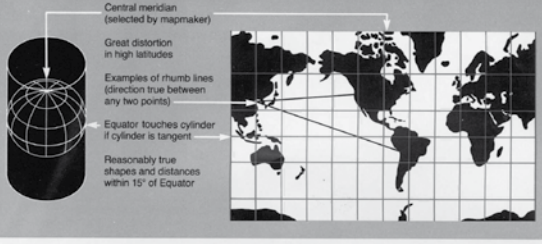
Areas and shapes of large areas are distorted. **Distortion** increases away from Equator and is extreme in polar regions. Map, however, is **conformal** in that angles and shapes within any small area (such as that shown by a USGS topographic map) are essentially true.

The map is **not** perspective, equal area, or equidistant.

Equator and other parallels are straight lines (spacing increases toward poles) and meet meridians (equally spaced straight lines) at right angles. Poles are not shown.

Presented by Mercator in 1569.

Cylindrical—Mathematically projected on a cylinder tangent to the Equator. (Cylinder may also be secant.)



Transverse Mercator

Used by USGS for many quadrangle maps at scales from 1:24,000 to 1:250,000; such maps can be joined at their edges only if they are in the same zone with one central meridian. Also used for mapping large areas that are mainly north-south in extent.

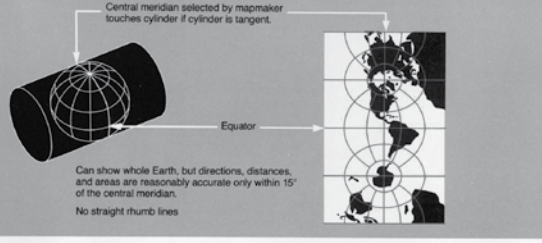
Distances are true *only* along the central meridian selected by the mapmaker or else along two lines parallel to it, but all distances, directions, shapes, and areas are reasonably accurate within 15° of the central meridian. **Distortion** of distances, directions, and size of areas increases rapidly outside the 15° band. Because the map is **conformal,** however, shapes and angles within any small area (such as that shown by a USGS topographic map) are essentially true.

Graticule spacing increases away from central meridian. Equator is straight. Other parallels are complex curves concave toward nearest pole.

Central meridian and each meridian 90° from it are straight. Other meridians are complex curves concave toward central meridian.

Presented by Lambert in 1772.

Cylindrical—Mathematically projected on cylinder tangent to a meridian. (Cylinder may also be secant.)



Oblique Mercator

Used to show regions along a **great circle** other than the Equator or a meridian, that is, having their general extent oblique to the Equator. This kind of map can be made to show as a straight line the shortest distance between any two preselected points along the selected great circle.

Distances are true *only* along the great circle (the line of tangency for this projection), or along two lines parallel to it. Distances, directions, areas, and shapes are fairly accurate within 15° of the great circle. **Distortion** of areas, distances, and shapes increases away from the great circle. It is excessive toward the edges of a world map except near the path of the great circle.

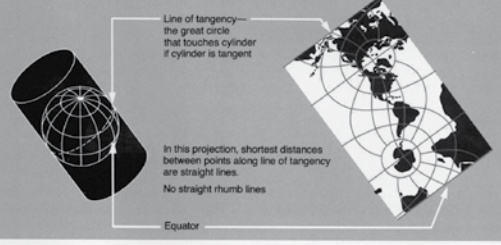
The map is **conformal,** but **not** perspective, equal area, or equidistant. Rhumb lines are curved.

Graticule spacing increases away from the great circle but conformality is retained. Both poles can be shown. Equator and other parallels are complex curves concave toward nearest pole. Two meridians 180° apart are straight lines; all others are complex curves concave toward the great circle.

Developed 1900-50 by Rosenmund, Laborde, Hotine et al.

Cylindrical—Mathematically projected on a cylinder tangent, (or secant) along any great circle but the Equator or a meridian.

Directions, distances, and areas reasonably accurate only within 15° of the line of tangency.



Space Oblique Mercator

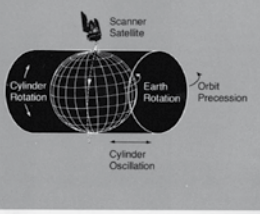
This new space-age conformal projection was developed by the USGS for **use in Landsat images** because there is no distortion along the curved groundtrack under the satellite. Such a projection is needed for the continuous mapping of satellite images, but it is useful only for a relatively narrow band along the groundtrack.

Space Oblique Mercator maps show a satellite's groundtrack as a curved line that is continuously true to scale as orbiting continues.

Extent of the map is defined by orbit of the satellite.

Map is basically **conformal,** especially in region of satellite scanning.

Developed in 1973-79 by A. P. Colvocoresses, J. P. Snyder, and J. L. Junkins.



Gnomonic

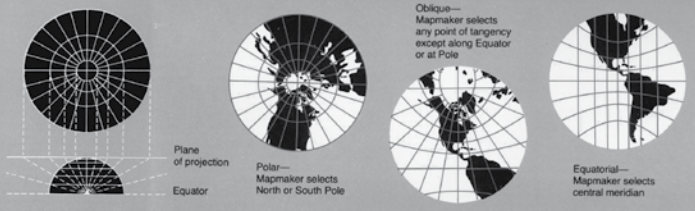
Used along with the Mercator by some navigators to find the shortest path between two points. Used in seismic work because seismic waves tend to travel along great circles.

Any straight line drawn on the map is on a **great circle,** but **directions** are true *only* from center point of projection. **Scale** increases very rapidly away from center point. **Distortion** of shapes and areas increases away from center point.

Map is perspective (from the center of the Earth onto a tangent plane) but **not** conformal, equal area, or equidistant.

Considered to be the oldest projection. Ascribed to Thales, the father of abstract geometry, who lived in the 6th century B.C.

Azimuthal—Geometrically projected on a plane. Point of projection is the center of a globe.

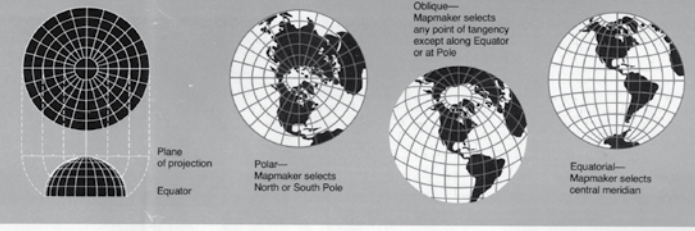


Azimuthal Equidistant

Used by USGS in the *National Atlas of the United States of America* and for large-scale mapping of Micronesia. Useful for showing airline distances from center point of projection. Useful for seismic and radio work. Oblique aspect used for atlas maps of continents and world maps for radio and aviation use. Polar aspect used for world maps, maps of polar hemispheres, and United Nations emblem.

Distances and **directions** to *all* places true *only* from center point of projection. Distances correct between points along straight lines through center. All other distances incorrect. Any straight line drawn through center point is on a **great circle. Distortion** of areas and shapes increases away from center point.

Azimuthal—Mathematically projected on a plane tangent to any point on globe. Polar aspect is tangent only at pole.



Lambert Azimuthal Equal Area

Used by the USGS in its National Atlas and Circum-Pacific Map Series. Suited for regions extending equally in all directions from center points, such as Asia and Pacific Ocean.

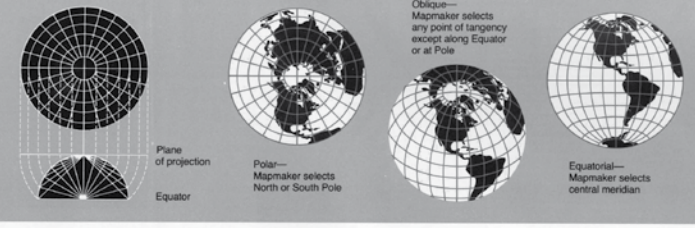
Areas on the map are shown in true proportion to the same areas on the Earth. Quadrangles (bounded by two meridians and two parallels) at the same latitude are uniform in area.

Directions are true *only* from center point. **Scale** decreases gradually away from center point. **Distortion** of shapes increases away from center point. Any straight line drawn through center point is on a **great circle.**

Map is equal area but **not** conformal, perspective, or equidistant.

Presented by Lambert in 1772.

Azimuthal—Mathematically projected on a plane tangent to any point on globe. Polar aspect is tangent only at pole.



Albers Equal Area Conic

Used by USGS for maps showing the conterminous United States (48 states) or large areas of the United States. Well suited for large countries or other areas that are mainly east-west in extent and that require equal-area representation. Used for many thematic maps.

Maps showing adjacent areas can be joined at their edges only if they have the same standard parallels (parallels of no distortion) and the same scale.

All areas on the map are proportional to the same areas on the Earth. **Directions** are reasonably accurate in limited regions. **Distances** are true on both standard parallels. Maximum scale error is 1¼% on map of conterminous States with standard parallels of 29½°N and 45½°N. **Scale** true only along standard parallels.

USGS maps of the conterminous 48 States, if based on this projection, have standard parallels 29½°N and 45½°N. Such maps of Alaska use standard parallels 55°N and 65°N, and maps of Hawaii use standard parallels 8°N and 18°N.

Map is **not** conformal, perspective, or equidistant.

Presented by H. C. Albers in 1805.

Conic—Mathematically projected on a cone conceptually secant at two standard parallels.

Lambert Conformal Conic

Used by USGS for many 7.5- and 15-minute topographic maps and for the State Base Map series. Also used to show a country or region that is mainly east-west in extent.

One of the most widely used map projections in the United States today. Looks like the Albers Equal Area Conic, but graticule spacings differ.

Retains conformality. **Distances** true *only* along standard parallels; reasonably accurate elsewhere in limited regions. **Directions** reasonably accurate. **Distortion** of shapes and areas minimal at, but increases away from standard parallels. **Shapes** on large-scale maps of small areas essentially true.

Map is **conformal** but **not** perspective, equal area, or equidistant.

For USGS Base Map series for the 48 conterminous States, standard parallels are 33°N and 45°N (maximum scale error for map of 48 States is 2½%). For USGS Topographic Map series (7.5- and 15-minute), standard parallels vary. For aeronautical charts of Alaska, they are 55°N and 65°N; for the *National Atlas of Canada,* they are 49°N and 77°N.

Presented by Lambert in 1772.

Conic—Mathematically projected on a cone conceptually secant at two standard parallels.

Miller Cylindrical

Used to represent the entire Earth in a rectangular frame. Popular for world maps. Looks like Mercator but is not useful for navigation. Shows poles as straight lines.

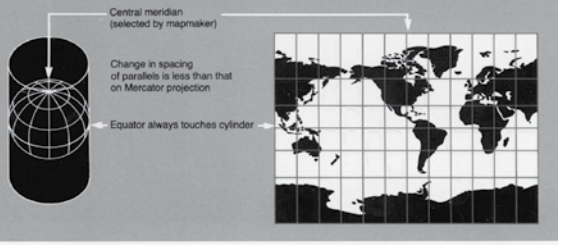
Avoids some of the scale exaggerations of the Mercator but shows neither shapes nor areas without distortion.

Directions are true only along the Equator. **Distances** are true only along the Equator. **Distortion** of distances, areas, and shapes is extreme in high latitudes.

Map is **not** equal area, equidistant, conformal or perspective.

Presented by O. M. Miller in 1942.

Cylindrical—Mathematically projected onto a cylinder tangent at the Equator.



Robinson

Uses tabular coordinates rather than mathematical formulas to make the world "look right." Better balance of **size and shape** of high-latitude lands than in Mercator, Van der Grinten, or Mollweide. Soviet Union, Canada, and Greenland truer to size, but Greenland compressed.

Directions true along all parallels and along central meridian. **Distances** constant along Equator and other parallels, but scales vary. **Scale** true along 38° N & S, constant along any given parallel, same along N & S

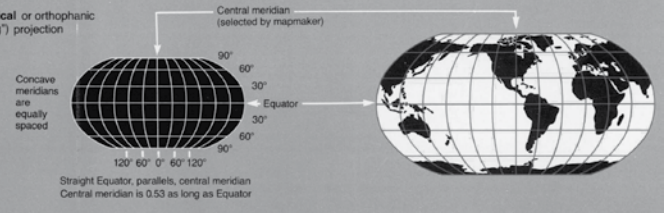
parallels same distance from Equator. **Distortion:** All points have some. Very low along Equator and within 45° of center. Greatest near the poles.

Not conformal, equal area, equidistant, or perspective.

Used in *Goode's Atlas,* adopted for *National Geographic's* world maps in 1988, appears in growing number of other publications, may replace Mercator in many classrooms.

Presented by Arthur H. Robinson in 1963.

Pseudocylindrical or orthophanic ("right appearing") projection



Straight Equator, parallels, central meridian
Central meridian is 0.53 as long as Equator

Sinusoidal Equal Area

Used frequently in atlases to show distribution patterns. Used by the USGS to show prospective hydrocarbon provinces and sedimentary basins of the world. Has been used for maps of Africa, South America, and other large areas that are mainly north-south in extent.

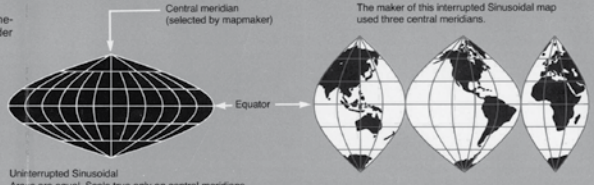
An easily plotted equal-area projection for world maps. May have a single central meridian or, in interrupted form, several central meridians.

Graticule spacing retains property of equivalence of area. **Areas** on map are proportional to same areas on the Earth. **Distances** are correct along all parallels and the central meridian(s). **Shapes** are increasingly distorted away from the central meridian(s) and near the poles.

Map is **not** conformal, perspective, or equidistant.

Used by Cossin and Hondius, beginning in 1570. Also called the Sanson-Flamsteed.

Pseudocylindrical—Mathematically based on a cylinder tangent to the Equator.



Uninterrupted Sinusoidal
Areas are equal. Scale true only on central meridians
and on all parallels.

Orthographic

Used for perspective views of the Earth, Moon, and other planets. The Earth appears as it would on a photograph from deep space. Used by USGS in the *National Atlas of the United States of America.*

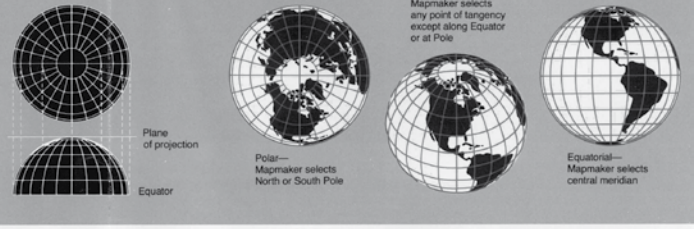
Directions are true *only* from center point of projection. **Scale** decreases along all lines radiating from center point of projection. Any straight line through center point is a great circle. **Areas and shapes** are distorted by perspective; distortion

increases away from center point.

Map is **perspective** but **not** conformal or equal area. In the polar aspect, distances are true along the Equator and all other parallels.

The Orthographic projection was known to Egyptians and Greeks 2,000 years ago.

Azimuthal—Geometrically projected onto a plane. Point of projection is at infinity.



Stereographic

Used by the USGS for maps of Antarctica and American Geographical Society for Arctic and Antarctic maps. May be used to map large continent-sized areas of similar extent in all directions. Used in geophysics to solve spherical geometry problems. Polar aspects used for topographic maps and charts for navigating in latitudes above 80°.

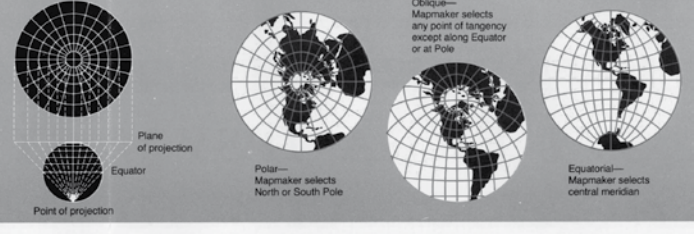
Directions true *only* from center point of projection. **Scale** increases away from center point. Any straight line through center

point is a **great circle. Distortion** of areas and large shapes increases away from center point.

Map is **conformal** and perspective but **not** equal area or equidistant.

Dates from 2nd century B.C. Ascribed to Hipparchus.

Azimuthal—Geometrically projected on a plane. Point of projection is at surface of globe opposite the point of tangency.



U.S. Department of the Interior
U.S. Geological Survey

For further information about map projections
and maps, please contact:
Earth Science Information Center
U.S. Geological Survey
507 National Center
Reston, VA 22092
703-860-6045 or 1-800-USA MAPS

uidistant Conic (Simple Conic)

d in atlases to show areas e middle latitudes. Good for wing regions within a few rees of latitude and lying on side of the Equator. (One mple, the Kavraisky No. 4, Equidistant Conic projec- in which standard parallels chosen to minimize overall r.)

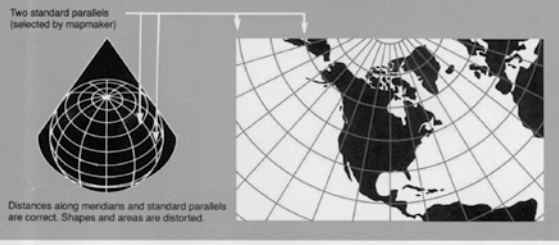
tances are true *only* along eridians and along one or

two standard parallels. **Directions, shapes and areas** are reasonably accurate, but **distortion** increases away from standard parallels.

Map is **not** conformal, perspective, or equal area, but a compromise between Lambert Conformal Conic and Albers Equal Area Conic.

Prototype by Ptolemy, 150 A.D. Improved by De l'Isle about 1745.

Conic—Mathematically projected on a cone tangent at one parallel or conceptually secant at two parallels.



lyconic

d almost exclusively for e-scale mapping in the ed States until the 1950's. nearly obsolete, and no er used by USGS for new ing in its Topographic Map s. Best suited for areas a north-south orientation.

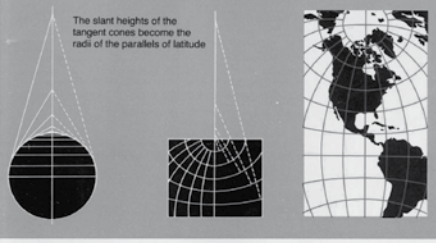
ctions are true *only* along al meridian. **Distances** are *only* along each parallel and

along central meridian. **Shapes and areas** true *only* along central meridian. **Distortion** increases away from central meridian.

Map is a compromise of many properties. It is **not** conformal, perspective, or equal area.

Apparently originated about 1820 by Hassler.

Conic—Mathematically based on an infinite number of cones tangent to an infinite number of parallels.



olar Oblique Conic Conformal

"tailor-made" projection is d to show one or both of the erican continents. Outlines in projection diagram repre- areas shown on USGS ement and Tectonic Maps of th America.

e is true along two lines nsformed standard paral-) that do not lie along any dian or parallel. Scale is pressed between these and expanded beyond n. Scale is generally good

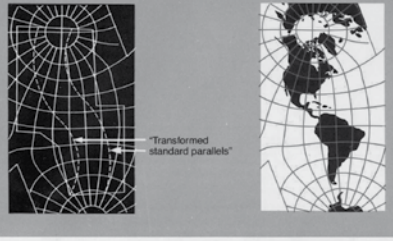
but error is as much as 10% at the edge of the projection as used.

Graticule spacing increases away from the lines of true scale but retains the property of conformality except for a small deviation from conformality where the two conic projections join.

Map is conformal but **not** equal area, equidistant, or perspective.

Presented by O. M. Miller and W. A. Briesemeister in 1941.

Conic—Mathematically based on two cones whose apexes are 104° apart and which conceptually are obliquely secant to the globe along lines following the trend of North and South America.



mmary

Yes
Partly

jection	Type	Conformal	Equal area	Equidistant	True direction	Perspective	Compromise	Straight rhumbs	World	Hemisphere	Continent/Ocean	Region/Sea	Medium Scale	Large Scale	Topographic Maps	Geological Maps	Thematic Maps	Presentations	Navigation	USGS Maps
be	Sphere	●	●	●	●				●								●	●		
cator	Cylindrical	●			○			●	○			●			●	●			●	●
nsverse Mercator	Cylindrical	●										●	●	●	●	●				●
que Mercator	Cylindrical	●										●	●	●	●					●
ce Oblique Mercator	Cylindrical	●												●	●					●
er Cylindrical	Cylindrical							●	●								●			●
binson	Pseudocylindrical							●	●								●	●		
usoidal Equal Area	Pseudocylindrical		●	○					●			●					●			●
hographic	Azimuthal				○	●				○										●
reographic	Azimuthal	●			○	●				●	●	●	●		●	●			●	●
monic	Azimuthal				○	●						○						●	●	
muthal Equidistant	Azimuthal				○	○			○	●	●	●		○	●					●
bert Azimuthal Equal Area	Azimuthal		●		○					●	●	●					●	●		●
ers Equal Area Conic	Conic		●									●	●	●			●	●		●
bert Conformal Conic	Conic	●			○							●	●	●	●	●			●	●
idistant Conic (Simple Conic)	Conic			○								●	●							
yconic	Conic			○			●							○	○		●			●
olar Oblique Conic Conformal	Conic	●										●				●				●

bove projections (except Robinson) are explained in l in *Map Projections—A Working Manual*, John P. der, Geological Survey Professional Paper 1395 shington: USGPO, 1987, 383 pp.)

Notes:

—The angle measured in degrees between ne radiating from a center point and another ting from the same point. Normally, the base ts North, and degrees are measured clock- n the base line.

—Individual azimuthal map projections are nto three aspects: the polar aspect which is at the pole, the equatorial aspect which is at the Equator, and the oblique aspect which t anywhere else. (The word "aspect" has

angles with very short sides are preserved. The size of most areas, however, is distorted.

Developable surface—A developable surface is a simple geometric form capable of being flattened without stretching. Many map projections can then be grouped by a particular developable surface: cylinder, cone, or plane.

Equal areas—A map projection is equal area if every part, as well as the whole, has the same area as the corresponding part on the Earth, at the same

the projection. It shows the correct distance between Washington and San Diego and between Washington and Seattle. But it does not show the correct distance between San Diego and Seattle. No flat map can be both equidistant and equal area.

Graticule—The graticule is the spherical coordinate system based on lines of latitude and longitude.

Great circle—A circle formed on the surface of a sphere by a plane that passes through the center of the sphere. The Equator, each meridian, and each

every map. The degree of variation depends on the projection used in making the map.

Map projection—A map projection is a systematic representation of a round body such as the Earth on a flat (plane) surface. Each map projection has specific properties that make it useful for specific purposes.

Rhumb line—A rhumb line is a line on the surface of the Earth cutting all meridians at the same angle. A rhumb line shows true direction. Parallels and meridi-

เทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศศาสตร์ (Space Technology and Geo-Informatics)

ดร. สุวิทย์ วิบูลย์เศรษฐ์ ที่ปรึกษา
รศ. ดร. ชรัตน์ มงคลสวัสดิ์ บรรณาธิการ
นางสาวทัศพร ธนจาตุรนต์ บรรณาธิการผู้ช่วย

รายนามผู้เขียนประจำบท

บทที่ 1	**บทนำ**		นางวาทินี ถาวรธรรม	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
บทที่ 2	**เส้นโครงแผนที่และระบบพิกัด**		อาจารย์จิระ ปรังเขียว อาจารย์รุ่งชล บุญนัดดา	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
บทที่ 3	**การรับรู้จากระยะไกล**	หัวข้อที่ 1-5 และ 7		สมาคมสำรวจข้อมูลระยะไกลและสารสนเทศภูมิศาสตร์แห่งประเทศไทย
		หัวข้อที่ 6	รศ. ดร. ชรัตน์ มงคลสวัสดิ์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
บทที่ 4	**หลักการเบื้องต้นระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์**	หัวข้อ 1-8	ดร. รุจ ศุภวิไล นายอดุลย์ เบ็ญนุ้ย นายอานันท์ คำภีระ	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
		หัวข้อ 9	ผศ. ดร. วัชราภรณ์ เขื่อนแก้ว อาจารย์วุฒิชัย แก้วแหวน รศ. ดร. แก้ว นวลฉวี	มหาวิทยาลัยบูรพา
		หัวข้อ 10	อาจารย์รัศมี สุวรรณวีระกำธร นางสาวทัศพร ธนจาตุรนต์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
		หัวข้อ 11	รศ. ดร. ชรัตน์ มงคลสวัสดิ์	
บทที่ 5	**ระบบกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลกจากดาวเทียม**		ผศ. ดร. เฉลิมชนม์ สถิระพจน์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
บทที่ 6	**การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ**	หัวข้อที่ 1.1, 1.2, 2.1, 2.2, 3.1, 3.2, 3.3, 3.5, 3.6, 4.1, 4.2, 4.2 และ 4.3	นางสาวทัศพร ธนจาตุรนต์ (เรียบเรียงสรุป)	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
		หัวข้อที่ 1.3	ดร. สุพรรณ กาญจนสุธรรม	สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร
		หัวข้อที่ 3.4	นางพีระพิทย์ พืชมงคล	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
		หัวข้อที่ 5	ผศ. วิชาญ อมรากุล	มหาวิทยาลัยนเรศวร
		หัวข้อที่ 6 และ 7	ดร. รุจ ศุภวิไล นายอดุลย์ เบ็ญนุ้ย นายอานันท์ คำภีระ	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
		หัวข้อที่ 8	นางสาวสถิพรรณ จันทรัตน์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น

สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) **ผู้อำนวยการผลิต**
สมาคมสำรวจข้อมูลระยะไกลและสารสนเทศภูมิศาสตร์แห่งประเทศไทย

รายนามคณะผู้เขียน

1. **ชื่อ** รศ. ดร. ชรัตน์ มงคลสวัสดิ์
   ตำแหน่ง รองศาสตราจารย์ 9
   สถาบันที่ติดต่อ ศูนย์ภูมิภาคเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
   ศูนย์คอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
   123 ถ.มิตรภาพ อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40002
   e-mail: charat@kku.ac.th
   คุณวุฒิสูงสุด ดุษฎีบัณฑิต สาขา Remote Sensing/ GIS/Land Ecosystem survey
   Institut National Polytechnique de Toulouse, FRANCE

2. **ชื่อ** นางวาทินี ถาวรธรรม
   ตำแหน่ง นักวิชาการคอมพิวเตอร์ 6
   สถาบันที่ติดต่อ กลุ่มภารกิจบริการซอฟต์แวร์และมาตรฐาน เทคโนโลยีสารสนเทศ
   ศูนย์คอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
   123 ถ.มิตรภาพ อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40002
   e-mail: wathao@kku.ac.th
   คุณวุฒิสูงสุด วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการรับรู้จากระยะไกลและ
   ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
   วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขา Environmental Management
   The Flinders University of South Australia, Australia

3. **ชื่อ** ผศ. จิระ ปรังเขียว
   ตำแหน่ง ผู้ช่วยศาสตราจารย์
   สถาบันที่ติดต่อ ภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
   239 ถ.ห้วยแก้ว อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50200
   e-mail: prangchi@hotmail.com
   คุณวุฒิสูงสุด ศิลปศาสตรมหาบัณฑิต สาขาภูมิศาสตร์ Palmerston North, New Zealand

4. **ชื่อ** ผศ. รุ่งชล บุญนัดดา
   ตำแหน่ง ผู้ช่วยศาสตราจารย์
   สถาบันที่ติดต่อ ภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
   239 ถ.ห้วยแก้ว อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50200
   e-mail: soggi002@chiangmai.ac.th
   คุณวุฒิสูงสุด วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขา Integrated Map and Geography
   Information Production

5. **ชื่อ** ดร. รุจ ศุภวิไล
ตำแหน่ง อาจารย์ระดับ 7
สถาบันที่ติดต่อ ภาควิชาโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ถ.กาญจนวนิช ต.คอหงส์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90112
e-mail: ruht.s@psu.ac.th
คุณวุฒิสูงสุด ดุษฎีบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา Ohio State University

6. **ชื่อ** นายอดุลย์ เบ็ญนุ้ย
ตำแหน่ง นักวิจัยระดับ 7
สถาบันที่ติดต่อ สถานวิจัยสารสนเทศภูมิศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม
ศูนย์ภูมิภาคเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ ภาคใต้
คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
วิทยาเขตหาดใหญ่
ถ.กาญจนวนิช ต.คอหงส์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90112
e-mail: Adul.b@psu.ac.th
คุณวุฒิสูงสุด วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

7. **ชื่อ** นายอานันท์ คำภีระ
ตำแหน่ง นักวิชาการศึกษา ระดับ 6
สถาบันที่ติดต่อ สถานวิจัยสารสนเทศภูมิศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม
ศูนย์ภูมิภาคเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ ภาคใต้
คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่
ถ.กาญจนวนิช ต.คอหงส์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90112
e-mail: anan.k@psu.ac.th
คุณวุฒิสูงสุด วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการทรัพยากรดิน
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

8. **ชื่อ** ผศ. ดร. วัชราภรณ์ เขื่อนแก้ว
ตำแหน่ง ผู้ช่วยศาสตรจารย์ ระดับ 8
รองผู้อำนวยการศูนย์ภูมิภาคเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ
ภาคตะวันออก
สถาบันที่ติดต่อ สาขาวิชาเทคโนโลยีภูมิศาสตร์ ภาควิชาภูมิศาสตร์
คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
169 ถ.ลงหาดบางแสน ต.แสนสุข อ.เมือง จ.ชลบุรี 20131
e-mail: keankeo@buu.ac.th
คุณวุฒิสูงสุด ดุษฎีบัณฑิต สาขาภูมิศาสตร์
The Australian National University, Canberra, Australia

9. **ชื่อ** นายวุฒิชัย แก้วแหวน
ตำแหน่ง อาจารย์
สถาบันที่ติดต่อ ภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
169 ถ.ลงหาดบางแสน ต.แสนสุข อ.เมือง จ.ชลบุรี 20131
e-mail: wuthichai_k@hotmail.com
คุณวุฒิสูงสุด วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีภูมิศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

10. **ชื่อ** รศ. ดร. แก้ว นวลฉวี
ตำแหน่ง ที่ปรึกษาด้านมาตรฐานภูมิสารสนเทศ
สถาบันที่ติดต่อ สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน)
196 ถ.พหลโยธิน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900
e-mail: kaew@gistda.or.th, kaew@most.go.th,
คุณวุฒิสูงสุด ดุษฎีบัณฑิต สาขา Remote Sensing and GIS Colorado State University

11. **ชื่อ** ผศ. ดร. รัศมี สุวรรณวีระกำธร
ตำแหน่ง ผู้ช่วยศาสตราจารย์
สถาบันที่ติดต่อ ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
123 ถ.มิตรภาพ อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40002
e-mail: rasamee@kku.ac.th
คุณวุฒิสูงสุด ดุษฎีบัณฑิต สาขาปฐพีวิทยา มหาวิทยาลัยขอนแก่น

12. **ชื่อ** นางสาวทัศพร ธนจาตุรนต์
ตำแหน่ง อาจารย์ระดับ 4
สถาบันที่ติดต่อ ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
123 ถ.มิตรภาพ อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40002
e-mail: t_tussaporn@hotmail.com
คุณวุฒิสูงสุด วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการรับรู้จากระยะไกลและ
ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

13. **ชื่อ** รศ. ดร. เฉลิมชนม์ สถิระพจน์
ตำแหน่ง รองศาสตราจารย์
สถาบันที่ติดต่อ ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ถ.พญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330
e-mail: Chalermchon.s@chula.ac.th
คุณวุฒิสูงสุด ดุษฎีบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสำรวจด้านงานรังวัดดาวเทียม
มหาวิทยาลัยนิวเซาท์เวลล์ นครซิดนีย์ ออสเตรเลีย

14. **ชื่อ** ดร. สุพรรณ กาญจนสุธรรม
ตำแหน่ง ผู้อำนวยการ
สถาบันที่ติดต่อ ศูนย์สารสนเทศการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร
ถ.พหลโยธิน เขตจตุจักร กทม. 10900
คุณวุฒิสูงสุด ดุษฎีบัณฑิต สาขา Remote Sensing and GIS สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย

15. **ชื่อ** นางพีระพิทย์ พืชมงคล
ตำแหน่ง นักวิจัยระดับ 7
สถาบันที่ติดต่อ สถานวิจัยสารสนเทศภูมิศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม
ศูนย์ภูมิภาคเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ ภาคใต้
คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่
ถ.กาญจนวนิช ต.คอหงส์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90112
e-mail: phiraphit.p@psu.ac .th.
คุณวุฒิสูงสุด วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

16. **ชื่อ** ผศ. วิชาญ อมรากุล
ตำแหน่ง รักษาการหัวหน้าสาขาวิชาภูมิศาสตร์
ผู้อำนวยการศูนย์ภูมิภาคเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ
ภาคเหนือตอนล่าง
สถาบันที่ติดต่อ สาขาวิชาภูมิศาสตร์ สำนักวิชาเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ
มหาวิทยาลัยนเรศวร วิทยาเขตพะเยา
19 หมู่ 2 ถนนลำปาง-พะเยา ตำบลแม่กา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา 56000
e-mail: vichan_a@hotmail.com
คุณวุฒิสูงสุด วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาภูมิศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง

17. **ชื่อ** นางสาวสถิพรรณ จันทรัตน์
ตำแหน่ง นักวิจัย
สถาบันที่ติดต่อ ศูนย์ภูมิภาคเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
123 ถ.มิตรภาพ อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40002
e-mail: satipan@hotmail.com
คุณวุฒิสูงสุด วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการรับรู้จากระยะไกลและ
ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

คำสั่ง คณะกรรมการบริหารสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ

ที่ 6 /2550

เรื่อง แต่งตั้งคณะอนุกรรมการพัฒนาภูมิสารสนเทศ

เพื่อให้การดำเนินงานด้านการพัฒนาภูมิสารสนเทศของสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) เป็นไปโดยเรียบร้อย และมีประสิทธิภาพ อาศัยอำนาจตามความในมาตรา 21 แห่งพระราชกฤษฎีกาจัดตั้งสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) พ.ศ. 2543 และมติคณะกรรมการบริหารในการประชุมครั้งที่ 10/2550 เมื่อวันที่ 27 กรกฎาคม 2550 จึงแต่งตั้งคณะอนุกรรมการพัฒนาภูมิสารสนเทศ โดยมีองค์ประกอบและอำนาจหน้าที่ ดังนี้

องค์ประกอบ

1. นายพงษ์อินทร์ รักอริยะธรรม กรรมการบริหารสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ	ประธานอนุกรรมการ
2. ผู้อำนวยการสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ	รองประธานอนุกรรมการ
3. รองผู้อำนวยการสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ	อนุกรรมการ
4. ผู้ทรงคุณวุฒิ (1-3 ท่าน ตามภารกิจที่เกี่ยวข้อง)	อนุกรรมการ
5. ผู้แทนศูนย์ภูมิภาคเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (ตามภารกิจที่เกี่ยวข้อง)	อนุกรรมการ
6. ผู้อำนวยการสำนักนโยบายและยุทธศาสตร์	อนุกรรมการ
7. ผู้อำนวยการศูนย์ข้อมูลทรัพยากรธรรมชาติจากข้อมูลดาวเทียม	อนุกรรมการ
8. ผู้อำนวยการสถาบันพัฒนาองค์ความรู้ด้านอวกาศ	อนุกรรมการ
9. ผู้อำนวยการสำนักภูมิสารสนเทศ	อนุกรรมการและเลขานุการ
10. เจ้าหน้าที่สำนักภูมิสารสนเทศ	อนุกรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ

อำนาจหน้าที่

1. เสนอแนะแนวทางการวิจัย พัฒนา และประยุกต์ด้านภูมิสารสนเทศ เพื่อใช้ในกิจการต่างๆ ในการพัฒนาประเทศ ได้แก่ การพัฒนาการประยุกต์ข้อมูล โครงสร้างพื้นฐานข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial Data Infrastructure : SDI) ฐานข้อมูล และระบบอื่นๆ รวมทั้งการวิจัยและพัฒนาที่เกี่ยวข้อง

/ข้อ2 ส่งเสริม...

2. ส่งเสริมสนับสนุนการจัดทำมาตรฐานข้อมูล ข้อมูลเพิ่มค่า และข้อมูลระบบภูมิสารสนเทศในสาขาต่างๆ ตลอดจนติดตามสถานการณ์และการกิจเร่งด่วนของรัฐบาล รวมทั้งโครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริ
3. ประสานงานกับคณะกรรมการภูมิสารสนเทศแห่งชาติ และศูนย์ภูมิภาคเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ เพื่อดำเนินงานด้านภูมิสารสนเทศที่เกี่ยวข้องกับอำนาจหน้าที่
4. กำหนดนโยบายและแนวทางการวิจัยและพัฒนา ส่งเสริม และสนับสนุนให้มีการวิจัยและพัฒนาด้านเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ
5. พิจารณาคัดเลือกข้อเสนอโครงการวิจัยและพัฒนา รวมถึงการติดตามประเมินผลให้คำปรึกษาแนะนำในการพัฒนาโครงการวิจัยให้สมบูรณ์ และพิจารณาความเหมาะสมของเงินอุดหนุนการวิจัย
6. พิจารณากลั่นกรอง แผนงาน/งาน/โครงการ ที่เกี่ยวกับอำนาจหน้าที่ เพื่อนำเสนอต่อคณะกรรมการบริหาร
7. แต่งตั้งคณะทำงาน หรือบุคคล เพื่อทำการอื่นใดอันอยู่ในอำนาจและหน้าที่
8. ปฏิบัติงานอื่นๆ ตามที่คณะกรรมการบริหารมอบหมาย

ทั้งนี้ ตั้งแต่บัดนี้เป็นต้นไป โดยให้มีวาระการดำรงตำแหน่ง 1 ปี

สั่ง ณ วันที่ 21 สิงหาคม พ.ศ. 2550

พลเอก

(วิชิต สาหรานนท์)
ประธานกรรมการบริหาร
สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ

คำสั่ง คณะกรรมการบริหารสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ

ที่ 11 /2550

เรื่อง การแก้ไขชื่อคณะอนุกรรมการพัฒนาภูมิสารสนเทศ

ตามคำสั่งคณะกรรมการบริหารสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศที่ 6/2550 ลงวันที่ 21 สิงหาคม 2550 แต่งตั้งคณะอนุกรรมการพัฒนาภูมิสารสนเทศ นั้น

โดยที่ได้มีการปรับปรุงระเบียบสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) ว่าด้วยการให้ทุนอุดหนุนวิจัย พ.ศ. 2546 ซึ่งแก้ไขเพิ่มเติมโดยระเบียบสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) ว่าด้วยการให้ทุนอุดหนุนการวิจัย (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2548 และ (ฉบับที่ 3) พ.ศ. 2550 ให้เหมาะสมยิ่งขึ้น อาศัยอำนาจตามความในมาตรา 21 แห่งพระราชกฤษฎีกาจัดตั้งสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) พ.ศ. 2543 และมติคณะกรรมการบริหารในการประชุมครั้งที่ 12/2550 เมื่อวันที่ 30 สิงหาคม 2550 จึงให้แก้ไขชื่อ "คณะอนุกรรมการพัฒนาภูมิสารสนเทศ" ตามคำสั่งคณะกรรมการบริหารสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ ที่ 6/2550 ลงวันที่ 21 สิงหาคม 2550 เป็น "คณะอนุกรรมการวิจัยและพัฒนาภูมิสารสนเทศ" โดยมีองค์ประกอบและอำนาจหน้าที่ตามเดิม

ทั้งนี้ ตั้งแต่บัดนี้เป็นต้นไป

สั่ง ณ วันที่ 31 สิงหาคม พ.ศ. 2550

พลเอก

(วิชิต สาทรานนท์)
ประธานกรรมการบริหาร
สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ

คู่มือการใช้ตำรา
เทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศศาสตร์
Space Technology and Geo-Informatics

โดยความร่วมมือระหว่าง

สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน)
กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
สมาคมสำรวจข้อมูลระยะไกลและสารสนเทศภูมิศาสตร์แห่งประเทศไทย

คำนำ

เทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศศาสตร์ได้มีการพัฒนามาอย่างต่อเนื่อง ไม่ว่าทั้งด้านฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ จากเดิมที่เป็นระบบเทคโนโลยีที่ควบคุมได้ยาก ซับซ้อน และมีราคาแพง จนกลายเป็นเทคโนโลยีที่ใช้งานได้ง่ายแต่มีสมรรถนะและประสิทธิภาพสูง ปัจจุบันนี้มีหลายหน่วยงานได้นำเทคโนโลยีนี้มาสนับสนุนการทำงาน เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพและประโยชน์สูงสุด เทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศที่กล่าวถึงนี้ประกอบด้วยเทคโนโลยี 3 ประเภทด้วยกัน ได้แก่ เทคโนโลยีการรับรู้จากระยะไกล ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ และระบบกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลกด้วยดาวเทียม โดยทั้ง 3 เทคโนโลยีนี้ ได้ให้ข้อสนเทศเชิงพื้นที่ได้รวดเร็วทันต่อสถานการณ์ที่เปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา และสามารถจัดเก็บข้อสนเทศไว้เป็นระบบ เพื่อให้ง่ายต่อการเรียกใช้งานได้สะดวกในภายหลัง นอกจากนี้สามารถทำงานหรือใช้ข้อมูลประสานกันได้เป็นอย่างดีและมีประสิทธิภาพมากในปัจจุบันนี้ จึงทำให้เข้าใจถึงองค์ประกอบเชิงพื้นที่หรือธรรมชาติได้ดีกว่าในอดีตที่ผ่านมา จนก่อให้เกิดการพัฒนาองค์ความรู้ใหม่ๆ ขึ้นมาอย่างต่อเนื่อง

สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) หรือ สทอภ. เป็นหน่วยงานระดับต้นๆ ของประเทศไทย ที่ได้นำเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศมาใช้งาน และก่อให้เกิดองค์ความรู้ในด้านนี้มากมาย นอกจากนี้ สทอภ. ได้เห็นความสำคัญของการใช้ประโยชน์เทคโนโลยีภูมิสารสนทศ จึงได้มีการพัฒนาดาวเทียมสำรวจทรัพยากรธรรมชาติดวงแรกของประเทศขึ้น เรียกดาวเทียมดวงนี้ว่า “THEOS (Thailand Earth Observation Satellite)” ซึ่งจะปล่อยขึ้นสู่วงโคจรในช่วงกลางปี พ.ศ. 2550 นอกจากนี้ สทอภ. ยังได้ตระหนักถึงการถ่ายทอดองค์ความรู้หรือศาสตร์ทางด้านเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศอย่างเป็นระบบ แก่นิสิตนักศึกษา และผู้ที่สนใจโดยทั่วไป จึงได้จัดทำตำรา พร้อมทั้งคู่มือการใช้ตำราประกอบการเรียนการสอนในด้านนี้ขึ้นมา โดยมุ่งหวังให้เป็นเอกสารสนับสนุนการเรียนการสอนระดับอุดมศึกษาในสาขาวิชาที่เกี่ยวข้องกับพื้นที่ เช่น ด้านปฐพีศาสตร์ ธรณีวิทยา ภูมิศาสตร์ หรือด้านสิ่งแวดล้อม เป็นต้น

สทอภ. จึงได้ว่าจ้างให้สมาคมสำรวจข้อมูลระยะไกลและสารสนเทศภูมิศาสตร์แห่งประเทศไทย เป็นผู้จัดทำตำราและคู่มือการใช้ตำราเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศศาสตร์ขึ้นมา เนื่องจากสมาคมประกอบด้วยบุคลากรต่างๆ ที่มีความรู้ ความสามารถ และประสบการณ์เฉพาะด้านของแต่ละศาสตร์ที่ประกอบเป็นเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศเป็นอย่างดี ที่จะช่วยให้การจัดทำตาราได้ครอบคลุมเนื้อหาพื้นฐานศาสตร์ทางด้านเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศมากสุด และสามารถใช้เป็นเอกสารประกอบการสอนได้โดยตรง

เอกสาร “คู่มือการใช้ตำราเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศศาสตร์” ฉบับนี้ ได้จัดทำขึ้นเพื่อเสนอเป็นแนวการใช้สนับสนุนการเรียนการสอน โดยได้ถือเอาเนื้อหาจากตำราเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศศาสตร์เป็นหลัก มาจัดแบ่งเป็นหัวข้อบรรยาย และหัวข้อปฏิบัติการ พร้อมแสดงจำนวนชั่วโมงประกอบแต่ละหัวข้อไว้ ทาง สทอภ. และสมาคม หวังเป็นอย่างยิ่งว่า คู่มือฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อนิสิต นักศึกษา และผู้ที่สนใจ เป็นอย่างมาก

สารบัญ

หัวข้อ	หน้า
1. วัตถุประสงค์ของคู่มือ	308
2. องค์ประกอบของตำรา	308
3. แผนการสอนประจำหน่วย	314
4. แผนการสอนภาคปฏิบัติ	321
5. ระยะเวลาการสอนทั้งภาคบรรยายและปฏิบัติ	324

1. วัตถุประสงค์ของคู่มือ

เพื่อเสนอแนวทางการใช้ “ตำราเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศศาสตร์” แก่คณาจารย์ ที่ใช้ประกอบการเรียนการสอนในระดับบัณฑิตศึกษาในสาขาวิชาที่เกี่ยวข้องกับพื้นที่ เช่น ด้านปฐพีศาสตร์ ธรณีวิทยา ภูมิศาสตร์ หรือด้านสิ่งแวดล้อม เป็นต้น เอกสารคู่มือฉบับนี้ประกอบด้วยเนื้อหาภาคบรรยาย และภาคปฏิบัติ ครอบคลุมเนื้อหาด้านเส้นโครงแผนที่ การรับรู้จากระยะไกล ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ และระบบกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลกจากดาวเทียม

2. องค์ประกอบของตำรา

องค์ประกอบหรือเนื้อหาของตำราเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศศาสตร์ ได้จัดทำเอกสารไว้เป็นบทๆ แต่ละบทประกอบด้วยหัวข้อหลัก และหัวข้อรองมีรายละเอียดดังนี้

	เนื้อหา
บทที่ 1	**บทนำ**
	1. ความหมายของเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ (Geo-information technology)
	2. องค์ประกอบของเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ
	2.1 การรับรู้จากระยะไกล
	2.2 ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์
	2.3 ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก
	3. การใช้ประโยชน์เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ
บทที่ 2	**เส้นโครงแผนที่และระบบพิกัด (Map and Map Projection)**
	1. เส้นโครงแผนที่และคุณสมบัติ
	2. ชนิดของเส้นโครงแผนที่
	2.1 เส้นโครงแผนที่ระนาบสัมผัส
	2.2 เส้นโครงแผนที่แบบกรวย
	2.3 เส้นโครงแผนที่แบบทรงกระบอก
	2.4 เส้นโครงแผนที่ทางคณิตศาสตร์
	3. การเลือกใช้เส้นโครงแผนที่ตามคุณสมบัติ
	3.1 คุณสมบัติคงพื้นที่
	3.2 คุณสมบัติรักษารูปร่าง
	3.3 คุณสมบัติคงทิศทาง
	4. ระบบพิกัดในแผนที่ (Coordinate system on maps)
	4.1 ระบบพิกัดภูมิศาสตร์ (Geographic coordinates systems)
	4.2 ระบบพิกัดยูทีเอ็ม (UTM coordinates systems)
	4.3 ระบบพิกัดแผนที่ GLO (General Land Office grid system)
	4.4 ตารางกริดทหาร (Military grid)
	5. ชนิดแผนที่และการสร้างสัญลักษณ์
	5.1 การจำแนกและชนิดของแผนที่ (Classification and type of maps)
	5.2 หลักการใช้แผนที่
	5.3 คำจำกัดความ (Definition)

หัวข้อหลัก และหัวข้อรอง (ต่อ)

	เนื้อหา	
บทที่ 2	5.4	องค์ประกอบของแผนที่ (Map components)
	5.5	ระบบอ้างอิงการกำหนดตำแหน่ง (Position reference system)
	5.6	ข้อมูลขอบระวาง (Border data)
	5.7	สารบัญระวางติดต่อ (Index to adjoining sheet)
	5.8	สารบัญแสดงเขตการปกครอง (Index to boundaries)
	5.9	มูลฐานและระดับมูลฐาน (Datum and Datum level)
	5.10	แผนภาพเดคลิเนชัน (Declination diagram)
	5.11	มาตราส่วน (Scale)
	5.12	ระดับสูง (Elevation)
	5.13	เส้นโครงแผนที่ (Projection)
	5.14	คำแนะนำระดับสูง (Elevation guide)
	5.15	ละติจูดและลองจิจูด (Latitude and Longitude)
	5.16	กริด (Grid)
	5.17	คำแนะนำผู้ใช้แผนที่ (User's guide)
	5.18	คำแนะนำการกำหนดตำแหน่งโดยใช้ค่ากริด (Grid reference box)
	6.	การสร้างสัญลักษณ์แผนที่
	6.1	ลักษณะทางกายภาพ (Physical features)
	6.2	ลักษณะทางวัฒนธรรม (Cultural feature)
	6.3	ลักษณะข้อมูลพิเศษ (Special feature)
	6.4	มาตราส่วนแผนที่ (Map scale)
	6.5	การคำนวณหามาตราส่วน (Scale calculation)
	7.	การอ่านแผนที่
	7.1	เส้นชั้นความสูง (Contour line)
	7.2	ลักษณะภูมิประเทศ
	7.3	การอ่านและการใช้แผนที่ในภูมิประเทศ
	8.	การทำแผนที่ (Mapping)
	8.1	สัญลักษณ์แผนที่ (Map symbol)
	8.2	การออกแบบแผนที่ (Map design)
	8.3	การแสดงข้อมูลประกอบแผนที่ (Map annotation)
	8.4	ความสำคัญของการออกแบบแผนที่
	9.	สรุปแผนที่และเส้นโครงแผนที่
	9.1	เส้นโครงแผนที่
	9.2	ชนิดแผนที่และการสร้างสัญลักษณ์
	9.3	การอ่านแผนที่
	9.4	การทำแผนที่

หัวข้อหลัก และหัวข้อรอง (ต่อ)

	เนื้อหา
บทที่ 3	การรับรู้จากระยะไกล (Remote Sensing : RS)
	1. พื้นฐานการรับรู้จากระยะไกล
	1.1 ความหมายของการรับรู้จากระยะไกล
	1.2 กระบวนการและองค์ประกอบการรับรู้จากระยะไกล (Processing and elements of remote sensing)
	1.3 แหล่งพลังงานและหลักการแผ่รังสี (Energy source and radiation principle)
	1.4 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างพลังงานในชั้นบรรยากาศ (Energy interactions in the atmosphere)
	1.5 ปฏิสัมพันธ์ของพลังงานกับรูปลักษณ์พื้นผิวโลก (Energy interactions with earth surface features)
	1.6 ความสะท้อนเชิงสเปกตรัมของพืชพรรณ ดิน และน้ำ (Spectral reflectance of vegetation, soil and water)
	2. ดาวเทียม (Satellites)
	2.1 ประเภทดาวเทียม (Types of satellites)
	2.2 วงโคจรของดาวเทียม (Satellite orbit)
	2.3 วิวัฒนาการของดาวเทียมสำรวจทรัพยากร
	2.4 ดาวเทียมสำรวจทรัพยากรโลก
	3. ระบบเครื่องรับรู้ (Sensor systems)
	3.1 ระบบกล้องถ่ายรูป
	3.2 ระบบแพสซิฟอิเล็กทรอนิกส์
	3.3 เครื่องรับรู้แบบแอ็กทิฟอิเล็กทรอนิกส์ (Active electronic sensors)
	4. ข้อมูลจากการรับรู้ระยะไกล (Remotely sensed data)
	4.1 ภาพและโครงสร้างของภาพ
	4.2 การเก็บบันทึกข้อมูลจากดาวเทียม (Satellite data storage)
	4.3 แผนภูมิภาพ (Image histogram)
	4.4 การแสดงภาพบนจอ (Image display)
	4.5 สี (Color)
	4.6 คุณลักษณะข้อมูลจากดาวเทียม
	5. การแปลตีความและประมวลผลข้อมูลจากดาวเทียม (Interpretation and processing of satellite data)
	5.1 การตีความด้วยสายตา
	5.2 การประมวลผลภาพด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์
	6. เรดาร์ (RADAR)
	6.1 บทนำ
	6.2 พารามิเตอร์ของระบบ
	6.3 พารามิเตอร์ด้านสิ่งแวดล้อม/ วัตถุเป้าหมาย
	6.4 สรุปการแปลตีความภาพถ่ายจากเรดาร์

หัวข้อหลัก และหัวข้อรอง (ต่อ)

เนื้อหา

7. การประยุกต์ใช้ข้อมูลจากดาวเทียม
   - 7.1 ด้านป่าไม้
   - 7.2 ด้านการเกษตร
   - 7.3 ด้านการใช้ที่ดิน
   - 7.4 ด้านธรณีวิทยา และธรณีสัณฐาน
   - 7.5 ด้านอุทกวิทยา และการจัดการทรัพยากรน้ำ
   - 7.6 ด้านสมุทรศาสตร์และทรัพยากรชายฝั่ง
   - 7.7 ด้านการทำแผนที่
   - 7.8 ด้านภัยธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม
   - 7.9 ด้านการผังเมืองและการขยายเมือง

บทที่ 4 หลักการเบื้องต้นระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

1. ประเภทข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information Data)
2. ระบบนำเข้าข้อมูล (Data input system)
3. การแปลงข้อมูล (Transformation) โดยการแปลงเป็นเลข (Digitization)
4. การนำเข้าข้อมูลแบบเชิงเส้น (Vector data input)
5. การนำเข้าข้อมูลแรสเตอร์ (Raster data input)
6. ตัวอย่างการนำเข้าข้อมูลจากแผนที่และภาพถ่ายดาวเทียม (Example of map and satellite inputs)
7. การจัดเก็บและการแก้ไขข้อมูล (Data storage and editing)
8. การนำเสนอข้อมูลในรูปแบบของแผนที่ (Map output)
9. ข้อมูล (Data)
   - 9.1 นิยามและความหมาย
   - 9.2 สารสนเทศ (Information)
   - 9.3 การจำแนกประเภทข้อมูล
   - 9.4 คุณสมบัติของข้อมูล
   - 9.5 วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล
   - 9.6 ข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์
   - 9.7 ฐานข้อมูลและระบบการจัดการฐานข้อมูล (Database and database management system)
   - 9.8 มาตรฐานข้อมูลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS data standards)
   - 9.9 มาตรฐานระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS standards)
   - 9.10 การเข้าไปเกี่ยวข้องกับการพัฒนามาตรฐานระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ขององค์การระหว่างประเทศ (Involvement of international organization in GIS standards and standardization)
   - 9.11 หลักการหรือแนวคิดเกี่ยวกับมาตรฐาน (The concept of a standard)
   - 9.12 มาตรฐานระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์คืออะไร? (What is a GIS standard?)

หัวข้อหลัก และหัวข้อรอง (ต่อ)

	เนื้อหา
	9.13 มาตรฐานสารสนเทศภูมิศาสตร์มีความสัมพันธ์กับมาตรฐานอื่นอย่างไรบ้าง? (How do GIS standards relate to other standards?)
	9.14 การดำเนินการพัฒนามาตรฐานระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS standardization approaches)
	10. การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่
	10.1 ลักษณะทั่วไปของข้อมูลเชิงพื้นที่
	10.2 ฟังก์ชันการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่
	11. ความผิดพลาดในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Error in GIS)
	11.1 ความคลาดเคลื่อนจากการรวบรวมข้อมูล
	11.2 ข้อมูลนำเข้า
	11.3 การจัดเก็บข้อมูล
	11.4 การจัดการและประมวลข้อมูล
	11.5 ข้อมูลผลลัพธ์
	11.6 การใช้ประโยชน์ผลลัพธ์
บทที่ 5	**ระบบกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลกจากดาวเทียม** (Global Positioning System : GPS)
	1. บทนำ
	1.1 ระบบดาวเทียมจีพีเอส (GPS system)
	1.2 คลื่นสัญญาณจากดาวเทียมจีพีเอส
	2. ระบบพิกัดและพื้นฐานหลัก (Coordinate systems and Datum)
	2.1 ระบบพิกัด
	2.2 พื้นหลักฐาน
	3. วงโคจรดาวเทียม (Satellite orbits)
	4. สมการค่าสังเกตจีพีเอส (GPS observation equations)
	4.1 ซูโดเรนจ์
	4.2 เฟสของคลื่นส่ง (Carrier phase)
	5. ค่าคลาดเคลื่อนในข้อมูลจีพีเอส (GPS observation errors)
	5.1 ค่าคลาดเคลื่อนที่เกี่ยวข้องกับดาวเทียม
	5.2 ค่าคลาดเคลื่อนที่เกี่ยวข้องกับเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม
	5.3 ค่าคลาดเคลื่อนที่เกี่ยวข้องกับการแพร่กระจายของสัญญาณ
	5.4 ค่าคลาดเคลื่อนอื่นๆ
	6. การรังวัดหาค่าพิกัดด้วยระบบกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลก (Coordinate surveying using GIS)
	6.1 การหาค่าพิกัดแบบจุดเดี่ยว (Single point positioning)
	6.2 การหาค่าพิกัดแบบสัมพัทธ์ (Relative positioning)
	7. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการหาตำแหน่งด้วยจีพีเอส (Mathematical models for GPS positioning)

หัวข้อหลัก และหัวข้อรอง (ต่อ)

	เนื้อหา
	8. การประมวลผลข้อมูลจีพีเอส (GPS data processing)
	9. การปรับแก้โครงข่าย (Network adjustment)
	9.1 การสร้างเส้นฐานจากข้อมูลรังวัด
	9.2 หลักการของการปรับแก้โครงข่าย
	10. แนวโน้มและการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี GNSS (Trends and applications of GNSS technology)
บทที่ 6	**การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ**
	1. ด้านการใช้ที่ดิน และเกษตรกรรม
	1.1 การใช้ระบบสารสนเทศเพื่อวิเคราะห์หาพื้นที่คุ้มครองเกษตรกรรม
	1.2 การประเมินที่ดินสำหรับหาความเหมาะสมของพืช
	1.3 การกำหนดเขตเกษตรเศรษฐกิจสำหรับสินค้าเกษตร
	2. ด้านป่าไม้
	2.1 พื้นที่ป่าไม้
	2.2 การเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ป่าไม้
	3. ด้านภัยพิบัติ
	3.1 ซึนามิ
	3.2 พื้นที่เสี่ยงภัยแล้ง
	3.3 พื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดอุทกภัย
	3.4 การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีจากดาวเทียมและระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในการกำหนดเขตพื้นที่น้ำท่วมในภาคใต้ฝั่งตะวันออกตอนบน (จังหวัดชุมพร สุราษฎร์ธานี และนครศรีธรรมราช)
	3.5 การกษัยการของดิน
	3.6 การประยุกต์ใช้เพื่อติดตามพายุไต้ฝุ่นในประเทศไทย
	4. ด้านโรคระบาดวิทยา
	4.1 การใช้งานเพื่อวางแผนด้านสาธารณสุข
	4.2 การศึกษาด้านโรคระบาด : โรคฉี่หนู
	4.3 การศึกษาด้านโรคระบาด : โรคไข้หวัดนก
	5. แผนที่จัดเก็บภาษี
	6. การจัดการชายฝั่งทะเล
	7. การประยุกต์เพื่อสาธารณูปโภค
	8. ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต (Internet GIS)

3. แผนการสอนประจำหน่วย

เนื้อหาของแต่ละบทจากตำราเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศศาสตร์นี้ ได้จัดเตรียมแผนการสอนของแต่ละบทไว้ ซึ่งประกอบด้วยเนื้อหา วัตถุประสงค์ กิจกรรมระหว่างเรียน สื่อการสอน และการประเมินผลของแต่ละบท มีรายละเอียดดังนี้

บทที่ 1	:	**บทนำ**
ตอนที่	:	1. ความหมายของเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ 2. องค์ประกอบของเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ 3. การใช้ประโยชน์เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ
วัตถุประสงค์	:	เมื่อศึกษาบทที่ 1 จบแล้ว นักศึกษาสามารถ เรียนรู้ความหมาย องค์ประกอบ และการใช้ประโยชน์ของเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ
กิจกรรมระหว่างเรียน	:	1. ทำแบบประเมินผลตนเองก่อนเรียน 2. ศึกษาเอกสารการสอน ตอนที่ 1-3 3. ปฏิบัติกิจกรรมตามที่ได้รับมอบหมายในเอกสารการสอนแต่ละตอน 4. ค้นคว้าข้อมูลเพิ่มเติมในอินเทอร์เน็ต 5. ทำแบบประเมินตนเองหลังเรียน
สื่อการสอน	:	1. เอกสารการสอน 2. แนะนำการศึกษาเพิ่มเติมจากอินเทอร์เน็ต
การประเมินผล	:	1. ประเมินผลจากแบบประเมินตนเองก่อนเรียนและหลังเรียน 2. ประเมินผลจากกิจกรรมในแบบฝึกปฏิบัติ 3. สอบไล่ประจำภาคการศึกษา

บทที่ 2	:	**เส้นโครงแผนที่และระบบพิกัด**
ตอนที่	:	1. เส้นโครงแผนที่และคุณสมบัติ 2. ชนิดของเส้นโครงแผนที่ 3. การเลือกใช้เส้นโครงแผนที่ตามคุณสมบัติ 4. ระบบพิกัดในแผนที่ 5. ชนิดแผนที่และการสร้างสัญลักษณ์ 6. การสร้างสัญลักษณ์แผนที่ 7. การอ่านแผนที่ 8. การทำแผนที่ 9. สรุปแผนที่และเส้นโครงแผนที่
วัตถุประสงค์	:	เมื่อศึกษาบทที่ 2 จบแล้ว นักศึกษาสามารถ 1. อธิบายลักษณะเส้นโครงแผนที่ และคุณสมบัติของเส้นโครงแผนที่แต่ละชนิด จากนั้นสามารถ 2. เลือกใช้ชนิดของเส้นโครงแผนที่ได้ตามความเหมาะสมของพื้นที่ 3. เข้าใจความสำคัญของระบบพิกัดแผนที่ และความแตกต่างของระบบพิกัดแต่ละชนิด 4. อธิบายการจำแนกและชนิดของแผนที่ หลักการใช้แผนที่ คำจัดกัดความองค์ประกอบแผนที่ ระบบอ้างอิงในการกำหนดตำแหน่ง 5. สามารถสร้างแผนที่ตามองค์ประกอบในข้อ 3
กิจกรรมระหว่างเรียน	:	1. ทำแบบประเมินผลตนเองก่อนเรียน 2. ศึกษาเอกสารการสอน ตอนที่ 1-9 3. ปฏิบัติกิจกรรมตามที่ได้รับมอบหมายในเอกสารการสอนแต่ละตอน 4. ค้นคว้าข้อมูลเพิ่มเติมในอินเทอร์เน็ต 5. แบ่งกลุ่มทำกิจกรรมการสร้างแผนที่ในห้องเรียน 6. ทำแบบประเมินตนเองหลังเรียน
สื่อการสอน	:	1. เอกสารการสอน 2. ตัวอย่างแผนที่ภูมิประเทศ และแผนที่เฉพาะเรื่อง 3. อุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้ในการทำแผนที่ เช่น ภาพถ่ายดาวเทียม และกระดาษไข
การประเมินผล	:	1. ประเมินผลจากแบบประเมินตนเองก่อนเรียนและหลังเรียน 2. ประเมินผลจากกิจกรรมในแบบฝึกปฏิบัติ 3. สอบไล่ประจำภาคการศึกษา

บทที่ 3	:	**การรับรู้จากระยะไกล**
ตอนที่	:	1. พื้นฐานการรับรู้จากระยะไกล 2. ดาวเทียม 3. เครื่องรับรู้ 4. ข้อมูลจากการรับรู้ระยะไกล 5. การแปลตีความและประมวลผลข้อมูลจากดาวเทียม 6. เรดาร์ 7. การประยุกต์ใช้ข้อมูลจากดาวเทียม
วัตถุประสงค์	:	เมื่อศึกษาบทที่ 3 จบแล้ว นักศึกษาสามารถ 1. อธิบายความหมาย และหลักการ รวมถึงกระบวนการสำรวจข้อมูลระยะไกล 2. สามารถจำแนก แยกแยะ ประเภท และลักษณะวงโคจรของดาวเทียมทั่วไป 3. เรียนรู้วิวัฒนาการ และคุณสมบัติที่สำคัญของดาวเทียมสำรวจทรัพยากรแต่ละดวง 4. เข้าใจ โครงสร้างภาพถ่ายดาวเทียม และรูปแบบการเก็บบันทึกข้อมูล 5. สามารถแปลความหมายภาพถ่ายดาวเทียมด้วยสายตา และวิเคราะห์ข้อมูลด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ 6. เข้าใจระบบการทำงานพื้นฐานของเรดาร์ ชนิดความยาวคลื่นและความสามารถในการทะลุทะลวง ลักษณะของข้อมูลที่ได้จากระบบเรดาร์ 7. ทราบถึงแนวทางการประยุกต์ใช้ข้อมูลดาวเทียมด้านต่างๆ เช่น ด้านป่าไม้ การเกษตร สมุทรศาสตร์ และผังเมือง เป็นต้น
กิจกรรมระหว่างเรียน	:	1. ทำแบบประเมินผลตนเองก่อนเรียน 2. ศึกษาเอกสารการสอน ตอนที่ 1-7 3. ปฏิบัติกิจกรรมตามที่ได้รับมอบหมายในเอกสารการสอนแต่ละตอน 4. ค้นคว้าข้อมูลเพิ่มเติมในอินเทอร์เน็ต 5. ทัศนศึกษาสถานีรับสัญญาณข้อมูลดาวเทียม เพื่อให้เข้าใจถึงกระบวนการประมวลผลข้อมูลดาวเทียม 6. ทัศนศึกษาสถานที่ที่มีการประยุกต์ใช้ข้อมูลดาวเทียมด้านต่างๆ 7. แบ่งกลุ่มทำกิจกรรมการแปลความหมายด้วยสายตาจากภาพถ่ายดาวเทียม 8. แบ่งกลุ่มกิจกรรมการแปลความหมายภาพถ่ายดาวเทียมด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ตาม 9. กระบวนการที่ได้เรียนรู้ 10. แบ่งกลุ่มค้นคว้าการประยุกต์ใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมต่องานด้านต่างๆ มานำเสนอในห้องเรียน 11. ทำแบบประเมินตนเองหลังเรียน

บทที่ 3	:	**การรับรู้จากระยะไกล (ต่อ)**
สื่อการสอน	:	1. เอกสารการสอน 2. ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมที่มีลักษณะเป็น Hard copy และ Digital file ที่ใช้ในการแปลความหมาย 3. อุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้ในการประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม ทั้ง Software และ Hardware
การประเมินผล	:	1. ประเมินผลจากแบบประเมินตนเองก่อนเรียนและหลังเรียน 2. ประเมินผลจากกิจกรรมในแบบฝึกปฏิบัติ 3. สอบไล่ประจำภาคการศึกษา

บทที่ 4	:	**หลักการเบื้องต้นระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์**
ตอนที่	:	1. ประเภทข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ 2. ระบบนำเข้าข้อมูล 3. การแปลงข้อมูลโดยการแปลงเป็นเลข 4. การนำเข้าข้อมูลแบบเชิงเส้น 5. การนำเข้าข้อมูลแรสเตอร์ 6. ตัวอย่างการนำเข้าข้อมูลจากแผนที่และภาพถ่ายดาวเทียม 7. การจัดเก็บข้อมูลและการแก้ไขข้อมูล 8. การนำเสนอข้อมูลในรูปแบบของแผนที่ 9. ข้อมูล 10. การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ 11. ความผิดพลาดในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์
วัตถุประสงค์	:	เมื่อศึกษาบทที่ 4 จบแล้ว นักศึกษาสามารถ 1. เข้าใจความหมายและลักษณะข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ 2. สามารถนำเข้าข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ในรูปแบบเวกเตอร์ และแรสเตอร์ 3. เข้าใจความหมายและความแตกต่างระหว่างข้อมูล และสารสนเทศ 4. สามารถออกแบบฐานข้อมูลที่ในงานภูมิสารสนเทศ 5. เรียนรู้มาตรฐานสารสนเทศภูมิศาสตร์ 6. สามารถวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ในลักษณะที่เป็นแบบจำลอง ด้วยวิธีการวิเคราะห์ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์
กิจกรรมระหว่างเรียน	:	1. ทำแบบประเมินผลตนเองก่อนเรียน 2. ศึกษาเอกสารการสอน ตอนที่ 1-11 3. ปฏิบัติกิจกรรมตามที่ได้รับมอบหมายในเอกสารการสอนแต่ละตอน 4. ค้นคว้าข้อมูลเพิ่มเติมในอินเทอร์เน็ต 5. นำเข้าข้อมูลแบบเวกเตอร์ และแรสเตอร์ 6. แบ่งกลุ่มทำโครงงานเพื่อเรียนรู้กระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ 7. ทำแบบประเมินตนเองหลังเรียน
สื่อการสอน	:	1. เอกสารการสอน 2. อุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้ในการเรียนรู้ และวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ทั้ง Software และ Hardware
การประเมินผล	:	1. ประเมินผลจากแบบประเมินตนเองก่อนเรียนและหลังเรียน 2. ประเมินผลจากกิจกรรมในแบบฝึกปฏิบัติ 3. สอบไล่ประจำภาคการศึกษา

บทที่ 5	:	**ระบบกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลกจากดาวเทียม**
ตอนที่	:	1. บทนำ 2. ระบบพิกัดและพื้นหลักฐาน 3. วงโคจรดาวเทียม 4. สมการค่าสังเกตจีพีเอส 5. ค่าคลาดเคลื่อนในข้อมูลจีพีเอส 6. การรังวัดหาค่าพิกัดด้วยระบบกำหนดตำแหน่งพื้นโลก 7. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการหาตำแหน่งด้วยจีพีเอส 8. การประมวลผลข้อมูลจีพีเอส 9. การปรับโครงข่าย 10. แนวโน้มและการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี GNSS
วัตถุประสงค์	:	เมื่อศึกษาบทที่ 5 จบแล้ว นักศึกษาสามารถ 1. เข้าใจความหมาย หลักการพื้นฐาน และวงโคจรของระบบดาวเทียมจีพีเอส 2. เรียนรู้ระบบพิกัด และพื้นหลักฐาน (Coordinate systems and Datums) 3. เรียนรู้การรังวัดค่าพิกัดด้วยจีพีเอส รวมถึงความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น 4. เรียนรู้การประมวลผลข้อมูลจีพีเอส และการปรับแก้โครงข่าย 5. เรียนรู้แนวโน้มและการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีจีพีเอส
กิจกรรมระหว่างเรียน	:	1. ทำแบบประเมินผลตนเองก่อนเรียน 2. ศึกษาเอกสารการสอน ตอนที่ 1-10 3. ปฏิบัติกิจกรรมตามที่ได้รับมอบหมายในเอกสารการสอนแต่ละตอน 4. ค้นคว้าข้อมูลเพิ่มเติมในอินเทอร์เน็ต 5. ออกสำรวจภาคสนามเพื่อทดสอบการใช้งานจีพีเอส และนำเข้าสู่กระบวนการประมวลข้อมูลจีพีเอสในห้องปฏิบัติการ
สื่อการสอน	:	1. เอกสารการสอน 2. อุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้ในการเรียนรู้ และการประมวลผลข้อมูลจีพีเอสทั้ง Software และ Hardware 3. อุปกรณ์สำรวจภาคสนาม เช่น GPS PDA แผนที่ภูมิประเทศ และภาพถ่ายดาวเทียม หรือภาพถ่ายทางอากาศ
การประเมินผล	:	1. ประเมินผลจากแบบประเมินตนเองก่อนเรียนและหลังเรียน 2. ประเมินผลจากกิจกรรมในแบบฝึกปฏิบัติ 3. สอบไล่ประจำภาคการศึกษา

บทที่ 6	:	**การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ**
ตอนที่	:	1. ด้านการใช้ที่ดิน และเกษตรกรรม 2. ด้านป่าไม้ 3. ด้านภัยพิบัติ 4. ด้านโรคระบาดวิทยา 5. แผนที่จัดเก็บภาษี 6. การจัดการชายฝั่งทะเล 7. การประยุกต์เพื่อสาธารณูปโภค 8. ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต
วัตถุประสงค์	:	เมื่อศึกษาบทที่ 6 จบแล้ว นักศึกษาสามารถ เข้าใจแนวทางการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศด้านเกษตรกรรม ป่าไม้ สิ่งแวดล้อม ภัยพิบัติ และโรคระบาดวิทยา
กิจกรรมระหว่างเรียน	:	1. ศึกษาเอกสารการสอน ตอนที่ 1-6 2. ค้นคว้าข้อมูลเพิ่มเติมในอินเทอร์เน็ต 3. จัดทำโครงงานที่มีการประยุกต์ใช้ข้อมูลทั้งด้านการรับรู้จากระยะไกล และเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ
สื่อการสอน	:	1. เอกสารการสอน 2. อุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้ในการเรียนรู้ทั้ง Software และ Hardware 3. ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม และภาพถ่ายทางอากาศ ทั้งชนิด Hardcopy และ Digital file
การประเมินผล	:	1. ประเมินผลจากแบบประเมินตนเองก่อนเรียนและหลังเรียน 2. ประเมินผลจากกิจกรรมในแบบฝึกปฏิบัติ 3. สอบไล่ประจำภาคการศึกษา

4. แผนการสอนภาคปฏิบัติ

หัวข้อที่ใช้ประกอบในการสอนภาคปฏิบัติ มีรายละเอียดดังนี้

บทที่ 1	:	**การอ่านและใช้ประโยชน์จากแผนที่ภูมิประเทศ**
วัตถุประสงค์	:	เพื่อให้นักศึกษาสามารถอ่านค่าพิกัดตำแหน่งที่สนใจบนแผนที่ รวมทั้งสามารถใช้ประโยชน์ข้อมูลจากแผนที่ได้
เนื้อหา		1. การอ่านระบบพิกัดภูมิศาสตร์ และ UTM 2. การใช้ประโยชน์จากแผนที่ภูมิประเทศ
กิจกรรมระหว่างเรียน	:	1. ศึกษาเอกสารการสอน บทที่ 1-2 2. ค้นคว้าข้อมูลเพิ่มเติมในอินเทอร์เน็ต
สื่อการสอนและอุปกรณ์	:	1. เอกสารการสอน 2. ตัวอย่างแผนที่ภูมิประเทศ และแผนที่เฉพาะเรื่อง 3. อุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้ในการทำแผนที่ เช่น ภาพถ่ายดาวเทียม และกระดาษไข
การประเมินผล	:	ประเมินผลจากกิจกรรมในแบบฝึกปฏิบัติการ
บทที่ 2	:	**การตีความหมายจากข้อมูลรูปถ่ายทางอากาศและภาพถ่ายจากดาวเทียม**
วัตถุประสงค์	:	เพื่อให้นักศึกษาสามารถจำแนกประเภท และจัดทำแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน
เนื้อหา		1. หลักการหรือระบบจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดิน 2. การต่อภาพ (รูปถ่าย) ให้เป็นภาพใหญ่ 3. การเตรียมหรือวิธีการเน้นภาพถ่ายจากดาวเทียมเพื่อใช้ตีความหมาย
กิจกรรมระหว่างเรียน	:	1. ศึกษาเอกสารการสอน บทที่ 3 2. ค้นคว้าข้อมูลเพิ่มเติมในอินเทอร์เน็ต
สื่อการสอนและอุปกรณ์	:	1. เอกสารการสอน 2. รูปถ่ายทางอากาศที่ต่อเนื่องและมีการ Overlap ไม่น้อยกว่า 60% 3. ภาพถ่ายจากดาวเทียม 4. กล้องมองภาพ 3 มิติ 5. เครื่องคอมพิวเตอร์ พร้อมโปรแกรมวิเคราะห์ภาพถ่ายจากดาวเทียม
การประเมินผล	:	ประเมินผลจากกิจกรรมในแบบฝึกปฏิบัติการ
บทที่ 3	:	**การนำเข้าข้อมูลแผนที่**
วัตถุประสงค์	:	เพื่อให้นักศึกษาสามารถนำเข้าข้อมูลประเภทเส้น จุด และพื้นที่
เนื้อหา		1. การเตรียมแผนที่ต้นฉบับ 2. วิธีการนำเข้าข้อมูลประเภทเส้น 3. วิธีการนำเข้าข้อมูลประเภทจุด 4. วิธีการนำเข้าข้อมูลประเภทพื้นที่ 5. การสร้างทอพอโลยีให้กับข้อมูลที่ได้นำเข้า
กิจกรรมระหว่างเรียน	:	1. ศึกษาเอกสารการสอน บทที่ 4 2. ค้นคว้าข้อมูลเพิ่มเติมในอินเทอร์เน็ต
การประเมินผล	:	ประเมินผลจากกิจกรรมในแบบฝึกปฏิบัติการ

บทที่ 3 (ต่อ)	:	**การนำเข้าข้อมูลแผนที่**
สื่อการสอนและอุปกรณ์	:	1. เอกสารการสอน 2. แผนที่ภูมิประเทศ หรือแผนที่เฉพาะด้าน 3. เครื่องคอมพิวเตอร์ พร้อมโปรแกรม GIS 4. เครื่อง Scanner 5. เครื่อง Digitizer
การประเมินผล	:	ประเมินผลจากกิจกรรมในแบบฝึกปฏิบัติการ
บทที่ 4	:	**การออกแบบฐานข้อมูลลักษณะสัมพันธ์**
วัตถุประสงค์	:	เพื่อให้นักศึกษา สามารถออกแบบโครงสร้างการจัดเก็บข้อมูลลักษณะสัมพันธ์ได้เป็นระบบ และเรียกใช้งานได้ง่าย
เนื้อหา		1. การวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างการจัดเก็บข้อมูล 2. การสร้างความสัมพันธ์หรือการเชื่อมโยงระหว่างไฟล์ข้อมูล
กิจกรรมระหว่างเรียน	:	1. ศึกษาเอกสารการสอน บทที่ 4 2. ค้นคว้าข้อมูลเพิ่มเติมในอินเทอร์เน็ต
สื่อการสอนและอุปกรณ์	:	1. เอกสารการสอน 2. ข้อมูลประกอบ (ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับแผนที่) 3. เครื่องคอมพิวเตอร์ พร้อมโปรแกรม GIS และโปรแกรมจัดการฐานข้อมูล เช่น Excel, Access, Foxbase, Dbase
การประเมินผล	:	ประเมินผลจากกิจกรรมในแบบฝึกปฏิบัติการ
บทที่ 5	:	**การใช้เครื่อง GPS**
วัตถุประสงค์	:	เพื่อให้นักศึกษา สามารถควบคุมและใช้ประโยชน์จากเครื่อง GPS ได้มีประสิทธิภาพ
เนื้อหา		1. การกำหนดระบบพิกัดอ้างอิงให้กับเครื่อง GPS 2. การบันทึกข้อมูลเชิงพื้นที่ ที่มีลักษณะเป็นจุด เส้น และพื้นที่ 3. การโหลดข้อมูลจากเครื่อง GPS สู่โปรแกรม GIS 4. การสร้างแผนที่ดิจิตอลจากเครื่อง GPS
กิจกรรมระหว่างเรียน	:	1. ศึกษาเอกสารการสอน บทที่ 5 2. ค้นคว้าข้อมูลเพิ่มเติมในอินเทอร์เน็ต
สื่อการสอนและอุปกรณ์	:	1. เอกสารการสอน 2. เครื่อง GPS พร้อมสาย Download ข้อมูล 3. เครื่องคอมพิวเตอร์ พร้อมโปรแกรม GIS และ GPS
การประเมินผล	:	1. ประเมินผลจากกิจกรรมในแบบฝึกปฏิบัติการ
บทที่ 6	:	**การวิเคราะห์เชิงพื้นที่ (Spatial Analysis)**
วัตถุประสงค์	:	เพื่อให้นักศึกษา สามารถใช้ฟังก์ชันการวิเคราะห์พื้นที่ได้มีประสิทธิภาพ
เนื้อหา		1. การเลือก (Selection) 2. การสร้าง Buffer 3. การซ้อนทับ (Overlay) แบบ Union, Intersect, Update, Merge
กิจกรรมระหว่างเรียน	:	1. ศึกษาเอกสารการสอน บทที่ 4 2. ค้นคว้าข้อมูลเพิ่มเติมในอินเทอร์เน็ต

บทที่ 6 (ต่อ)	:	**การวิเคราะห์เชิงพื้นที่** (Spatial Analysis)
สื่อการสอนและอุปกรณ์	:	1. เอกสารการสอน 2. เครื่องคอมพิวเตอร์ พร้อมโปรแกรม GIS
การประเมินผล	:	1. ประเมินผลจากกิจกรรมในแบบฝึกปฏิบัติการ
บทที่ 7	:	**การวิเคราะห์พื้นผิว** (Surface Analysis)
วัตถุประสงค์	:	เพื่อให้นักศึกษา สามารถใช้ฟังก์ชันการวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวได้มีประสิทธิภาพ
เนื้อหา		1. การประมาณค่าข้อมูลด้วยวิธีการ Kriging, Inverse Distance Weigth, Spline 2. การสร้างข้อมูลพื้นผิวด้วยวิธีการของ TIN, DEM 3. การสร้างข้อมูล Slope, Aspect, Hillshade
กิจกรรมระหว่างเรียน	:	1. ศึกษาเอกสารการสอน บทที่ 4 2. ค้นคว้าข้อมูลเพิ่มเติมในอินเทอร์เน็ต
สื่อการสอนและอุปกรณ์	:	1. เอกสารการสอน 2. เครื่องคอมพิวเตอร์ พร้อมโปรแกรม GIS
การประเมินผล	:	ประเมินผลจากกิจกรรมในแบบฝึกปฏิบัติการ
บทที่ 8	:	**การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ**
วัตถุประสงค์	:	เพื่อให้นักศึกษา สามารถประยุกต์ใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศกับงานเฉพาะด้านได้อย่างมีประสิทธิภาพ
เนื้อหา		การประยุกต์ใช้งานในด้านเกษตร ป่าไม้ สิ่งแวดล้อม ภัยพิบัติ และโรคระบาดวิทยา
กิจกรรมระหว่างเรียน	:	1. ศึกษาเอกสารการสอน บทที่ 6 2. ค้นคว้าข้อมูลเพิ่มเติมในอินเทอร์เน็ต
สื่อการสอนและอุปกรณ์	:	1. เอกสารการสอน 2. เครื่องคอมพิวเตอร์ พร้อมโปรแกรม GIS
การประเมินผล	:	1. ประเมินผลจากกิจกรรมในแบบฝึกปฏิบัติการ

5. ระยะเวลาในการสอนทั้งภาคบรรยายและปฏิบัติ

เอกสาร “คู่มือการใช้ตำราเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศศาสตร์” ฉบับนี้ ได้จัดทำขึ้นโดยยึดเนื้อหาตามเอกสารหลักหรือ “ตำราเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศศาสตร์” ที่มีเนื้อหาครอบคลุมค่อนข้างกว้าง ซึ่งเหมาะเป็นวิชา 3 หน่วยกิต ต่อหนึ่งภาคการศึกษา โดยแบ่งเป็นบรรยาย 2 หน่วยกิต และปฏิบัติการ 1 หน่วยกิต

การจัดทำคู่มือฉบับนี้ ได้จัดทำเป็นแนวทางสนับสนุนการสอน 1 ภาคการศึกษา (15 สัปดาห์) โดยใช้เวลาในการบรรยายทั้งหมด 30 ชั่วโมง (2 ชั่วโมงต่อสัปดาห์) และปฏิบัติการ 45 ชั่วโมง (3 ชั่วโมงต่อสัปดาห์) รายละเอียดจำนวนชั่วโมงทั้งการบรรยายและปฏิบัติการแต่ละบทมีดังนี้

5.1 จำนวนชั่วโมงของการบรรยายแต่ละบท (รวมทั้งหมด 30 ชั่วโมงต่อภาคการศึกษา)

	หัวข้อเรื่อง	จำนวนชั่วโมงบรรยาย
บทที่ 1	**บทนำ**	2
	1. ความหมายของเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ	
	2. องค์ประกอบของเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ	
	2.1 การรับรู้จากระยะไกล	
	2.2 ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์	
	2.3 ระบบกำหนดตำแหน่งพิกัดบนพื้นโลก	
	3. การใช้ประโยชน์เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ	
บทที่ 2	**เส้นโครงแผนที่และระบบพิกัด**	6
	1. เส้นโครงแผนที่และคุณสมบัติ	
	2. ชนิดของเส้นโครงแผนที่	
	2.1 เส้นโครงแผนที่ระนาบสัมผัส	
	2.2 เส้นโครงแผนที่แบบกรวย	
	2.3 เส้นโครงแผนที่แบบทรงกระบอก	
	2.4 เส้นโครงแผนที่ทางคณิตศาสตร์	
	3. การเลือกใช้เส้นโครงแผนที่ตามคุณสมบัติ	
	3.1 คุณสมบัติคงพื้นที่	
	3.2 คุณสมบัติคงรูปร่าง	
	3.3 คุณสมบัติคงทิศทาง	
	4. ระบบพิกัดในแผนที่	
	4.1 ระบบพิกัดภูมิศาสตร์	
	4.2 ระบบพิกัดยูทีเอ็ม	
	4.3 ระบบพิกัดแผนที่ GLO	
	4.4 ตารางกริดทหาร	
	5. ชนิดแผนที่และการสร้างสัญลักษณ์	
	5.1 การจำแนกและชนิดของแผนที่	
	5.2 หลักการใช้แผนที่	
	5.3 คำจำกัดความ	
	5.4 องค์ประกอบของแผนที่	

	หัวข้อเรื่อง	จำนวนชั่วโมงบรรยาย
	5.5 ระบบอ้างอิงการกำหนดตำแหน่ง	
	5.6 ข้อมูลขอบระวาง	
	5.7 สารบัญระวางติดต่อ	
	5.8 สารบัญแสดงเขตการปกครอง	
	5.9 มูลฐานและระดับมูลฐาน	
	5.10 แผนภาพเดคลิเนชั่น	
	5.11 มาตราส่วน	
	5.12 ระดับสูง	
	5.13 เส้นโครงแผนที่	
	5.14 คำแนะนำระดับสูง	
	5.15 ละติจูดและลองจิจูด	
	5.16 กริด	
	5.17 คำแนะนำผู้ใช้แผนที่	
	5.18 คำแนะนำการกำหนดตำแหน่งโดยใช้ค่ากริด	
6.	การสร้างสัญลักษณ์แผนที่	
	6.1 ลักษณะทางกายภาพ	
	6.2 ลักษณะทางวัฒนธรรม	
	6.3 ลักษณะข้อมูลพิเศษ	
	6.4 มาตราส่วนแผนที่	
	6.5 การคำนวณหามาตราส่วน	
7.	การอ่านแผนที่	
	7.1 เส้นชั้นความสูง	
	7.2 ลักษณะภูมิประเทศ	
	7.3 การอ่านและการใช้แผนที่ในภูมิประเทศ	
8.	การทำแผนที่	
	8.1 เส้นโครงแผนที่	
	8.2 การออกแบบแผนที่	
	8.3 การแสดงข้อมูลประกอบแผนที่	
	8.4 ความสำคัญของการออกแบบแผนที่	
9.	สรุปแผนที่และเส้นโครงแผนที่	
	9.1 เส้นโครงแผนที่	
	9.2 ชนิดและการสร้างสัญลักษณ์	
	9.3 การอ่านแผนที่	
	9.4 การทำแผนที่	
บทที่ 3	**การรับรู้จากระยะไกล**	6
1.	พื้นฐานการรับรู้จากระยะไกล	
	1.1 ความหมายของการรับรู้จากระยะไกล	

	หัวข้อเรื่อง	จำนวนชั่วโมงบรรยาย
	1.2 กระบวนการและองค์ประกอบการรับรู้จากระยะไกล	
	1.3 แหล่งพลังงานและหลักการแผ่รังสี	
	1.4 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างพลังงานในชั้นบรรยากาศ	
	1.5 ปฏิสัมพันธ์ของพลังงานกับรูปลักษณ์พื้นผิวโลก	
	1.6 ความสะท้อนเชิงสเปกตรัมของพืชพรรณ ดิน และน้ำ	
2.	ดาวเทียม	
	2.1 ประเภทดาวเทียม	
	2.2 วงโคจรดาวเทียม	
	2.3 วิวัฒนาการของดาวเทียมสำรวจทรัพยากร	
	2.4 ดาวเทียมสำรวจทรัพยากรโลก	
3.	ระบบเครื่องรับรู้	
	3.1 ระบบกล้องถ่ายรูป	
	3.2 ระบบแพสซิฟอิเล็กทรอนิกส์	
	3.3 เครื่องรับรู้แบบแอ็กทิฟอิเล็กทรอนิกส์	
4.	ข้อมูลจากการรับรู้ระยะไกล	
	4.1 ภาพและโครงสร้างของภาพ	
	4.2 การเก็บบันทึกข้อมูลจากดาวเทียม	
	4.3 แผนภูมิภาพ	
	4.4 การแสดงภาพบนจอ	
	4.5 สี	
	4.6 คุณลักษณะข้อมูลจากดาวเทียม	
5.	การแปลตีความและประมวลผลข้อมูลจากดาวเทียม	
	5.1 การตีความภาพด้วยสายตา	
	5.2 การประมวลผลภาพด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์	
6.	เรดาร์	
	6.1 บทนำ	
	6.2 พารามิเตอร์ของระบบ	
	6.3 พารามิเตอร์ด้านสิ่งแวดล้อม/ วัตถุเป้าหมาย	
	6.4 สรุปการแปลตีความภาพถ่ายจากเรดาร์	
7.	การประยุกต์ใช้ข้อมูลจากดาวเทียม	
	7.1 ด้านป่าไม้	
	7.2 ด้านการเกษตร	
	7.3 ด้านการใช้ที่ดิน	
	7.4 ด้านธรณีวิทยา และธรณีสัณฐาน	
	7.5 ด้านอุทกวิทยา และการจัดการทรัพยากรน้ำ	
	7.6 ด้านสมุทรศาสตร์และทรัพยากรชายฝั่ง	
	7.7 ด้านการทำแผนที่	

	หัวข้อเรื่อง	จำนวนชั่วโมงบรรยาย
	7.8 ด้านภัยธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม	
	7.9 ด้านการผังเมืองและการขยายเมือง	
บทที่ 4	**หลักการเบื้องต้นระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์**	**8**
1.	ประเภทข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์	
2.	ระบบนำเข้าข้อมูล	
3.	การแปลงข้อมูลโดยการแปลงเป็นเลข	
4.	การนำเข้าข้อมูลแบบเชิงเส้น	
5.	การนำเข้าข้อมูลแบบแรสเตอร์	
6.	ตัวอย่างการนำเข้าข้อมูลจากแผนที่และภาพถ่ายดาวเทียม	
7.	การจัดเก็บและการแก้ไขข้อมูล	
8.	การนำเสนอข้อมูลในรูปแบบของแผนที่	
9.	ข้อมูล	
	9.1 นิยามและความหมาย	
	9.2 สารสนเทศ	
	9.3 การจำแนกประเภทข้อมูล	
	9.4 คุณสมบัติของข้อมูล	
	9.5 วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล	
	9.6 ข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์	
	9.7 ฐานข้อมูลและระบบการจัดการฐานข้อมูล	
	9.8 มาตรฐานข้อมูลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์	
	9.9 มาตรฐานระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์	
	9.10 การเข้าไปเกี่ยวข้องกับการพัฒนามาตรฐานระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ของค์การระหว่างประเทศ	
	9.11 หลักการหรือแนวคิดเกี่ยวกับมาตรฐาน	
	9.12 มาตรฐานระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์คืออะไร?	
	9.13 มาตรฐานสารสนเทศภูมิศาสตร์มีความสัมพันธ์กับมาตรฐานอื่นอย่างไรบ้าง	
	9.14 การดำเนินการพัฒนามาตรฐานระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์	
10.	การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่	
	10.1 ลักษณะทั่วไปของข้อมูลเชิงพื้นที่	
	10.2 ฟังก์ชันการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่	
11.	ความผิดพลาดในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์	
	11.1 ความคลาดเคลื่อนจากการรวบรวมข้อมูล	
	11.2 ข้อมูลนำเข้า	
	11.3 การจัดเก็บข้อมูล	
	11.4 การจัดการและประมวลข้อมูล	
	11.5 ข้อมูลผลลัพธ์	
	11.6 การใช้ประโยชน์ผลลัพธ์	

	หัวข้อเรื่อง	จำนวนชั่วโมงบรรยาย
บทที่ 5	**ระบบกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลกจากดาวเทียม**	4
1.	บทนำ	
	1.1 ระบบดาวเทียมจีพีเอส	
	1.2 คลื่นสัญญาณจากดาวเทียมจีพีเอส	
2.	ระบบพิกัดและพื้นหลักฐาน	
	2.1 ระบบพิกัด	
	2.2 พื้นหลักฐาน	
3.	วงโคจรดาวเทียม	
4.	สมการค่าสังเกตจีพีเอส	
	4.1 ซูโดเรนจ์	
	4.2 เฟสของคลื่นส่ง	
5.	ค่าคลาดเคลื่อนในข้อมูลจีพีเอส	
	5.1 ค่าคลาดเคลื่อนที่เกี่ยวข้องกับดาวเทียม	
	5.2 ค่าคลาดเคลื่อนที่เกี่ยวข้องกับเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม	
	5.3 ค่าคลาดเคลื่อนที่เกี่ยวข้องกับการแพร่กระจายของสัญญาณ	
	5.4 ค่าคลาดเคลื่อนอื่นๆ	
6.	การรังวัดหาค่าพิกัดด้วยระบบกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลก	
	6.1 การหาค่าพิกัดแบบจุดเดี่ยว	
	6.2 การหาค่าพิกัดแบบสัมพัทธ์	
7.	แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการหาตำแหน่งด้วยจีพีเอส	
8.	การประมวลผลข้อมูลจีพีเอส	
9.	การปรับแก้โครงข่าย	
	9.1 การสร้างเส้นหลักฐานจากข้อมูลรังวัด	
	9.2 หลักการของการปรับแก้โครงข่าย	
10.	แนวโน้มและการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี GNSS	
บทที่ 6	**การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ**	4
1.	ด้านการใช้ที่ดิน และเกษตรกรรม	
	1.1 การใช้ระบบสารสนเทศเพื่อวิเคราะห์หาพื้นที่คุ้มครองเกษตรกรรม	
	1.2 การประเมินที่ดินสำหรับหาความเหมาะสมของพืช	
	1.3 การกำหนดเขตเกษตรเศรษฐกิจสำหรับสินค้าเกษตร	
2.	ด้านป่าไม้	
	2.1 พื้นที่ป่าไม้	
	2.2 การเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ป่าไม้	
3.	ด้านภัยพิบัติ	
	3.1 สึนามิ	
	3.2 พื้นที่เสี่ยงภัยแล้ง	
	3.3 พื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดอุทกภัย	

	หัวข้อเรื่อง	จำนวนชั่วโมงบรรยาย
	3.4 การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีจากดาวเทียมและระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในการกำหนดพื้นที่น้ำท่วมในภาคใต้ฝั่งตะวันออกตอนบน (จังหวัดชุมพร สุราษฎ์ธานี และนครศรีธรรมราช)	
	3.5 การกษัยการของดิน	
	3.6 การประยุกต์ใช้เพื่อติดตามพายุไต้ฝุ่นในประเทศไทย	
4.	ด้านโรคระบาดวิทยา	
	4.1 การใช้งานเพื่อวางแผนด้านสาธารณสุข	
	4.2 การศึกษาด้านโรคระบาด : โรคฉี่หนู	
	4.3 การศึกษาด้านโรคระบาด : โรคไข้หวัดนก	
5.	แผนที่จัดเก็บภาษี	
6.	การจัดการชายฝั่งทะเล	
7.	ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต	

5.2 จำนวนชั่วโมงของการปฏิบัติการแต่ละบท (รวมทั้งหมด 45 ชั่วโมงต่อภาคการศึกษา)

	หัวข้อเรื่อง	จำนวนชั่วโมงปฏิบัติการ
บทที่ 1	**การอ่านและใช้ประโยชน์จากแผนที่ภูมิประเทศ**	3
วัตถุประสงค์	เพื่อให้นักศึกษา สามารถอ่านค่าพิกัดตำแหน่งที่สนใจบนแผนที่ รวมทั้งสามารถใช้ประโยชน์ข้อมูลจากแผนที่ได้	
เนื้อหา	1. การอ่านระบบพิกัดภูมิศาสตร์ และ UTM 2. การใช้ประโยชน์จากแผนที่ภูมิประเทศ	
บทที่ 2	**การตีความหมายจากข้อมูลรูปถ่ายทางอากาศและภาพถ่ายจากดาวเทียม**	6
วัตถุประสงค์	เพื่อให้นักศึกษา สามารถจำแนกประเภท และจัดทำแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน	
เนื้อหา	1. หลักการหรือระบบจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดิน 2. การต่อภาพ(รูปถ่าย)ให้เป็นภาพใหญ่ 3. การเตรียมหรือวิธีการเน้นภาพถ่ายจากดาวเทียมเพื่อใช้ตีความหมาย	
บทที่ 3	**การนำเข้าข้อมูลแผนที่**	6
วัตถุประสงค์	เพื่อให้นักศึกษา สามารถนำเข้าข้อมูลประเภทเส้น จุด และพื้นที่ (Line, Point, Polygon/Area Feature)	
เนื้อหา	1. การเตรียมแผนที่ต้นฉบับ 2. วิธีการนำเข้าข้อมูลประเภทเส้น 3. วิธีการนำเข้าข้อมูลประเภทจุด 4. วิธีการนำเข้าข้อมูลประเภทพื้นที่ 5. การสร้างทอพอโลยีให้กับข้อมูลที่ได้นำเข้า	
บทที่ 4	**การออกแบบฐานข้อมูลลักษณะสัมพันธ์**	3
วัตถุประสงค์	เพื่อให้นักศึกษา สามารถออกแบบโครงสร้างการจัดเก็บข้อมูลลักษณะสัมพันธ์ได้เป็นระบบ และเรียกใช้งานได้ง่าย	
เนื้อหา	1. การวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างการจัดเก็บข้อมูล 2. การสร้างความสัมพันธ์หรือการเชื่อมโยงระหว่างไฟล์ข้อมูล	
บทที่ 5	**การใช้เครื่อง GPS**	3
วัตถุประสงค์	เพื่อให้นักศึกษา สามารถควบคุมและใช้ประโยชน์จากเครื่อง GPS ได้มีประสิทธิภาพ	
เนื้อหา	1. การกำหนดระบบพิกัดอ้างอิงให้กับเครื่อง GPS 2. การบันทึกข้อมูลเชิงพื้นที่ ที่มีลักษณะเป็นจุด เส้น และพื้นที่ 3. การโหลดข้อมูลจากเครื่อง GPS สู่โปรแกรม GIS 4. การสร้างแผนที่ดิจิตอลจากเครื่อง GPS	
บทที่ 6	**การวิเคราะห์เชิงพื้นที่ (Spatial Analysis)**	9
วัตถุประสงค์	เพื่อให้นักศึกษา สามารถใช้ฟังก์ชันการวิเคราะห์พื้นที่ได้มีประสิทธิภาพ	
เนื้อหา	1. การเลือก (Selection) 2. การสร้าง Buffer 3. การซ้อนทับ (Overlay) แบบ Union, Intersect, Update, Merge	

	หัวข้อเรื่อง	จำนวนชั่วโมงปฏิบัติการ
บทที่ 7	**การวิเคราะห์พื้นผิว** (Surface Analysis)	9
วัตถุประสงค์	เพื่อให้นักศึกษา สามารถใช้ฟังก์ชันการวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวได้มีประสิทธิภาพ	
เนื้อหา	1. การประมาณค่าข้อมูลด้วยวิธีการ Kriging, Inverse Distance Weight, Spline 2. การสร้างข้อมูลพื้นผิวด้วยวิธีการของ TIN, DEM 3. การสร้างข้อมูล Slope, Aspect, Hillshade	
บทที่ 8	**การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ**	6
วัตถุประสงค์	เพื่อให้นักศึกษา สามารถประยุกต์ใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศกับงานเฉพาะด้านได้อย่างมีประสิทธิภาพ	
เนื้อหา	การประยุกต์ใช้งานในด้านเกษตร ป่าไม้ สิ่งแวดล้อม ภัยพิบัติ และโรคระบาดวิทยา	

สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน)
กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

สถาบันพัฒนาองค์ความรู้ด้านอวกาศ

สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน)
โทรศัพท์ : 0-2940-6420-8 ต่อ 201 207 และ 208 โทรสาร : 0-2940-7307
E-mail : training@gistda.or.th Website : http://training.gistda.or.th

สทอภ. มีภารกิจการพัฒนาบุคลากรด้านการสำรวจข้อมูลระยะไกล
ด้วยดาวเทียมและภูมิสารสนเทศเพื่อให้บุคลากรมีความพร้อม
เพิ่มขีดความสามารถ และสามารถพึ่งตนเองได้ในการนำเทคโนโลยีอวกาศและ
ภูมิสารสนเทศไปประยุกต์ใช้ในภารกิจของหน่วยงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ
สทอภ. จึงตั้ง สถาบันพัฒนาองค์ความรู้ด้านอวกาศ (สพอ.) เพื่อรับผิดชอบและดำเนินการดังกล่าว

วิสัยทัศน์

เป็นสถาบันหลักของประเทศที่พัฒนาและถ่ายทอดองค์ความรู้
ด้านเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศในทุกระดับ

การบริการทางวิชาการ

- จัดฝึกอบรมด้านเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ
- จัดประชุมและสัมมนาทางวิชาการ
- สนับสนุนการวิจัยและพัฒนาองค์ความรู้
  ด้านเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ
- พัฒนาหลักสูตรการเรียนการสอนและสื่อต่างๆ
  ด้านเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ

รูปแบบการฝึกอบรม

รูปแบบการเรียนการสอนสำหรับหลักสูตรทั่วไป
และหลักสูตรเฉพาะด้านประกอบด้วย การบรรยาย
หลักการต่างๆ ของเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ
การฝึกปฏิบัติการประมวลผลข้อมูลภูมิสารสนเทศ
การวิเคราะห์ปัญหาพิเศษ การจัดทำรายงานกลุ่ม
การอภิปรายกลุ่มย่อยและการออกสำรวจภาคสนาม
ในพื้นที่ ที่ได้ทำการคัดเลือกให้สอดคล้องกับเนื้อหาในหลักสูตร
ทั้งนี้ ผู้เข้ารับการอบรมทุกท่านจะได้รับ
การดูแลจากวิทยากรที่มีความเชี่ยวชาญเฉพาะด้าน
อย่างใกล้ชิดตลอดทั้งหลักสูตรการฝึกอบรม

ทำไมต้องฝึกอบรมกับ สทอภ.

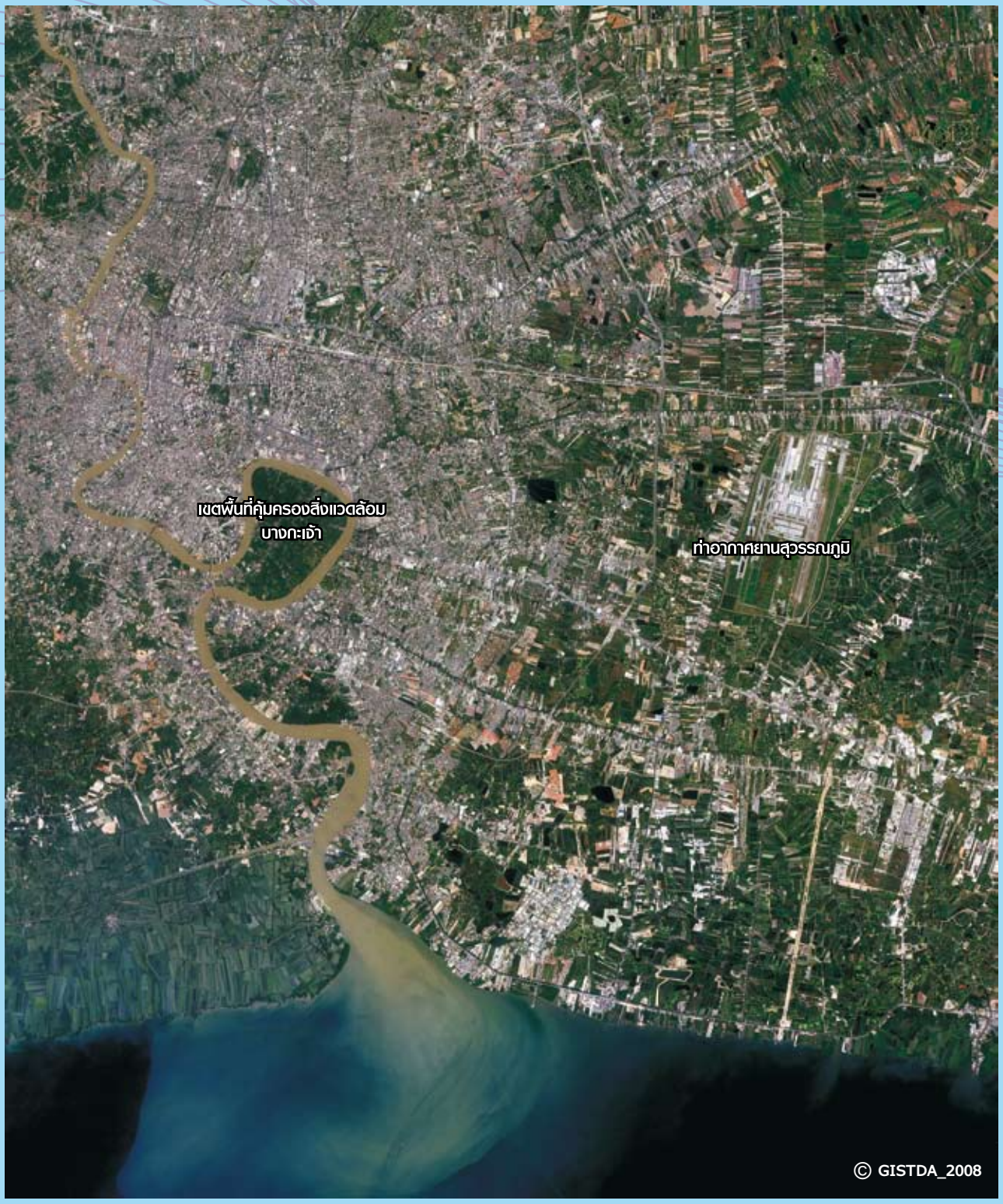
- สทอภ. เป็นหน่วยงานกลางที่ให้บริการ
  ด้านเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ
  ในระดับประเทศและระดับนานาชาติ
- สทอภ. มีบุคลากรที่มีความรู้และมีความเชี่ยวชาญ
  ด้านเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศที่พร้อม
  ให้คำปรึกษาทางวิชาการกับทุกหน่วยงาน
- สทอภ. มีเครื่องมือและอุปกรณ์ด้านเทคโนโลยี
  ภูมิสารสนเทศที่ทันสมัย
- สทอภ. มีประสบการณ์ในการจัดการฝึกอบรม
  ด้านเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศเป็นระยะเวลานาน

สิ่งอำนวยความสะดวกพื้นฐาน

- ห้องบรรยายขนาดใหญ่สามารถรองรับ
  ผู้เข้ารับการฝึกอบรมได้จำนวนมาก
- ห้องปฏิบัติการด้านเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ
  พร้อมคอมพิวเตอร์และซอฟต์แวร์จำนวน 30 ชุด
- เครื่องพิมพ์ภาพขนาดใหญ่ (Plotter) รองรับ
  การใช้งานระหว่างการฝึกอบรมในทุกหลักสูตร
- ระบบ INTERNET ความเร็วสูงสามารถใช้เป็น
  แหล่งข้อมูลได้ตลอดช่วงเวลาในการเข้ารับ
  การฝึกอบรม
- ห้องรับประทานอาหารว่างและอาหารกลางวัน
- รถยนต์ปรับอากาศชั้น 1 ในการออกภาคสนาม
  พร้อมประกันอุบัติเหตุ

สิ่งที่ได้หลังจากการเข้ารับการฝึกอบรม

- ความสามารถในการทำงานด้านเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศมีเพิ่มขึ้น
- ระยะเวลาในการปฏิบัติงานน้อยลง
- ปริมาณผลผลิตของงานเพิ่มขึ้นและมีคุณภาพมากยิ่งขึ้น
- นำความรู้ที่ได้รับจากการฝึกอบรมไปประยุกต์ใช้งาน
  ได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- ได้แลกเปลี่ยนความรู้ ความคิดเห็น ระหว่างผู้เข้ารับการฝึกอบรม
  ต่างหน่วยงานและกับวิทยากร
- สร้างเครือข่ายกลุ่มผู้ใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศให้กว้างขวางมากยิ่งขึ้น
- ได้รับการบริการให้คำปรึกษาปัญหาเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ
  ทั้งในด้านข้อมูล การประมวลผล และอื่นๆ ภายหลังจบการฝึกอบรม



ข้อมูลจากดาวเทียม THEOS ระบบหลายช่วงคลื่น (รายละเอียดภาพ 15 เมตร) เพิ่มความคมชัดด้วยระบบช่วงคลื่นขาว-ดำ (รายละเอียดภาพ 2 เมตร) บริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา บันทึกเมื่อวันที่ 4 ธันวาคม 2551 มาตราส่วน 1: 250,000 โดยประมาณ