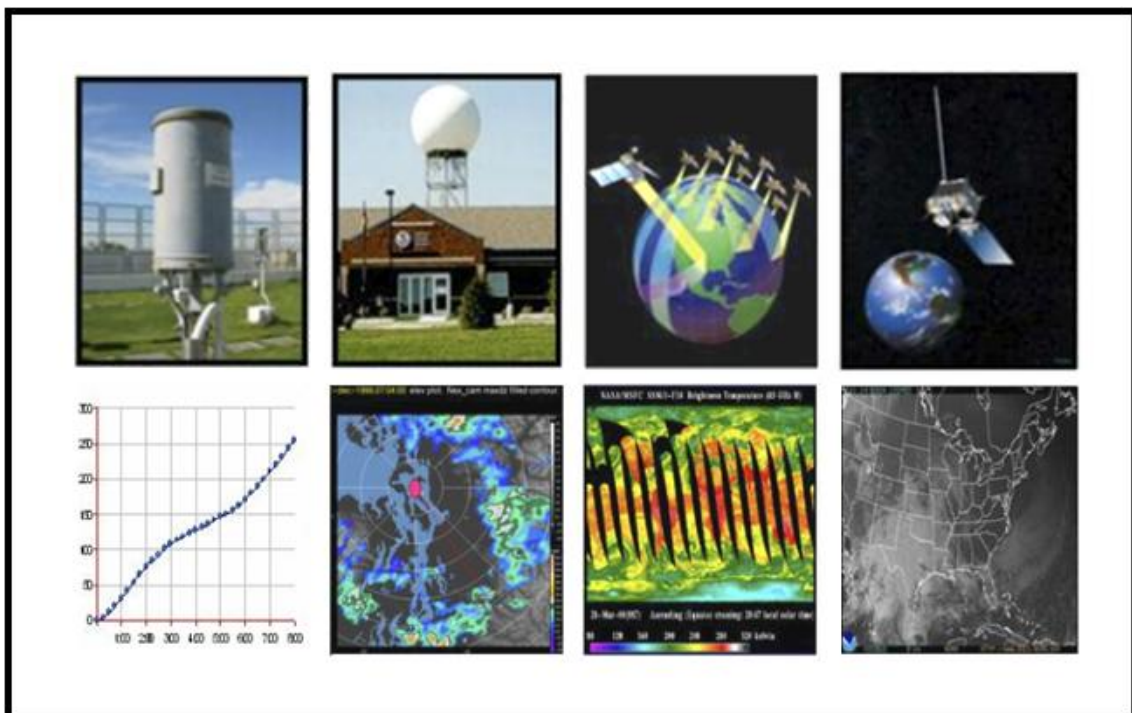


การประเมินและพยากรณ์น้ำฝน จากข้อมูลระยะไกล



จัดทำโดย



รศ.ดร.สุจริต คุณชนกุลวงศ์ และคณะ
หน่วยปฏิบัติการวิจัยระบบการจัดการแหล่งน้ำ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เมษายน 2550

การประเมินและพยากรณ์น้ำฝนจากข้อมูลระยะไกล

เลขมาตรฐานหนังสือ : ISBN 978-974-9897-14-0

โดย รศ.ดร. สุจิต คุณชนกุลวงศ์ และคณะ

ปีที่พิมพ์ เมษายน 2550

สงวนลิขสิทธิ์ตามพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2537



หน่วยปฏิบัติการวิจัยระบบการจัดการแหล่งน้ำ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โทรศัพท์ 0-2218-6425-6 โทรสาร 0-2218-6425

เว็บไซต์ : www.waterCU.eng.chula.ac.th

อีเมล : waterCU@eng.chula.ac.th

หนังสือเล่มนี้จัดพิมพ์ขึ้นด้วยความปรารถนาให้เป็นสื่อเพื่อเผยแพร่

ความรู้เรื่องการประเมินและพยากรณ์น้ำฝนจากข้อมูลระยะไกล

แก่ผู้สนใจ นักเรียน นักศึกษา และนักวิจัย

ภายใต้การสนับสนุนการพิมพ์จาก กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คำนำ

ข้อมูลปริมาณน้ำฝนและตำแหน่งการเกิดฝนมีความสำคัญอย่างมากในงานวิศวกรรม การจัดการ และการออกแบบวางแผน ข้อมูลฝนเหล่านี้ในอดีตเราสามารถหามาได้จากเครื่องมือตรวจวัดน้ำฝนภาคพื้นดิน ซึ่งมีการบันทึกมาเป็นเวลานานและสามารถให้ข้อมูลปริมาณฝนที่ตกแต่ละพื้นที่ได้อย่างต่อเนื่อง อย่างไรก็ตาม เครื่องมือตรวจวัดดังกล่าวยังมีข้อจำกัดอยู่มากหากต้องการข้อมูลฝนเชิงพื้นที่ที่มีความละเอียดสูงและเป็นปัจจุบัน ในหลายสิบปีมานี้ เทคโนโลยีการเก็บข้อมูลระยะไกล ได้เข้ามามีบทบาทในการตรวจวัดฝน ซึ่งในประเทศไทยเองก็ได้มีการนำเรดาร์ตรวจอากาศและดาวเทียมอุตุนิยมวิทยามาใช้ตรวจจับฝน สถานีเรดาร์จะสามารถเก็บข้อมูลฝนที่ตกในพื้นที่ได้ไกลเป็นร้อยกิโลเมตร ส่วนดาวเทียมอุตุนิยมวิทยานั้นจะสามารถให้ข้อมูลที่ครอบคลุมทั้งโลกหรือทวีปได้อีกด้วย ข้อมูลระยะไกลเหล่านี้ได้เริ่มมีบทบาทสำคัญต่อการวัดปริมาณฝน รวมไปถึงการพยากรณ์ฝนล่วงหน้าทั้งในระยะเวลาสั้นเป็นรายชั่วโมง ถึงระยะยาวเป็นหลายสิบปีในอนาคต

ในการส่งเสริมเพื่อให้เกิดความรู้ความเข้าใจและการนำข้อมูลระยะไกลมาใช้ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด มูลนิธิอุทกศาสตร์และสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) ได้จัดการประชุมทางวิชาการขึ้นเมื่อเดือนมกราคม 2549 เรื่องวิวัฒนาการของเทคนิคการจัดการและวิเคราะห์ข้อมูลในศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับโลก การประชุมดังกล่าวได้เสนอเทคนิคทางด้านสารสนเทศและระบบเซนเซอร์เพื่อใช้ประกอบการบริหารจัดการน้ำในประเทศ โดยมีการยกตัวอย่างงานวิจัยจากประเทศสหรัฐอเมริกาและโครงการวิจัยภายในประเทศ และต่อเนื่องมาถึงการประชุมวิชาการเมื่อเดือนตุลาคม 2549 ที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในหัวข้อการจัดการทรัพยากรน้ำและบทบาททางสังคม ก็ได้มีการนำเสนอตัวอย่างการใช้เทคนิคหาความเร็วในการทำนายฝนจากข้อมูลเรดาร์ ด้วยเล็งเห็นถึงความสำคัญและประโยชน์ในการนำเสนอความรู้ความเข้าใจในเรื่องการประเมินและพยากรณ์ฝนจากข้อมูลระยะไกลแก่ผู้สนใจ โดยทั่วไป คณะผู้ศึกษาจึงได้ทำโครงการศึกษาเพื่อรวบรวมและจัดทำเอกสารทางวิชาการเพื่อเผยแพร่แนวทางการตรวจวัดข้อมูลฝนที่มีในปัจจุบัน โดยการใช้ข้อมูลระยะไกล อันประกอบด้วยเรดาร์ตรวจอากาศ และดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา ข้อมูลการตรวจวัดฝนในประเทศไทย เทคนิคการพยากรณ์น้ำฝนระยะสั้น ระยะกลาง และระยะยาวที่ใช้ในต่างประเทศ รวมไปถึงการวิจัยที่มีการนำเทคนิคดังกล่าวมาใช้เพื่อพยากรณ์ฝนในประเทศไทย นอกจากนี้ยังได้นำเสนอแนวทางในการปรับปรุงการพยากรณ์ในระยะสั้นในพื้นที่กรุงเทพมหานคร รวมทั้งแนวคิดในการเชื่อมระบบทำนาย เซนเซอร์ และการบริหารจัดการน้ำเป็นแนวทางในการวิจัยในอนาคต

คณะผู้ศึกษาหวังเป็นอย่างยิ่งว่า เอกสารการประเมินและพยากรณ์น้ำฝนจากข้อมูลระยะไกลนี้ จะให้ข้อมูลพื้นฐานและแนวทางการใช้ประโยชน์จากข้อมูลระยะไกลทั้งจากสถานีเรดาร์และดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา ให้แก่ผู้ที่มีความสนใจทั่วไปและนักวิจัย เพื่อส่งเสริมความรู้ความเข้าใจและเป็นประโยชน์ในการนำไปประกอบการศึกษาวิจัยในอนาคตต่อไป

คณะผู้ศึกษา

20 เมษายน 2550

คณะผู้ศึกษา

รศ.ดร.สุจิต	คุณชนกดวงศรี	หัวหน้าโครงการ
		นักวิจัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ดร.วิรัช	นัฏรตรงค์	นักวิจัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
นางสาวอรอนงค์	วรรณราช	นักวิจัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาและจัดทำเอกสาร เรื่อง "การประเมินและพยากรณ์น้ำฝนจากข้อมูลระยะไกล" สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์ข้อมูลและเอกสารประกอบจากหลายหน่วยงาน อาทิเช่น กรมอุตุนิยมวิทยา สำนักฝนหลวงและการบินเกษตร สำนักการระบายน้ำ กรุงเทพมหานคร สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) และบริษัท ทีม คอนซัลติ้ง เอนจิเนียริง แอนด์ แมเนจเมนต์ จำกัด คณะผู้วิจัยขอขอบคุณหน่วยงานต่างๆเหล่านี้มา ณ โอกาสนี้ นอกจากนี้คณะผู้วิจัยขอขอบคุณห้องปฏิบัติการวิจัยระบบการจัดการแหล่งน้ำ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในความอนุเคราะห์คอมพิวเตอร์และโปรแกรมในการวิเคราะห์และประมวลผลข้อมูล ขอขอบคุณคุณธรรมมนัส ชื่นเสนาะ คุณพรพิมล พิพัฒน์ถาวรสุข กองสารสนเทศระบายน้ำ สำนักระบายน้ำ ในความอนุเคราะห์ข้อมูลเรดาร์จากสถานีภามิเจริญและเอกสารประกอบ และขอขอบคุณ Mr. Sai Ravela ในความช่วยเหลือในเรื่องของการแก้สมการปัวซอง (Poisson) และอนุเคราะห์โปรแกรม Field Alignment [3] ทำที่ที่สุดนี้คณะผู้ศึกษาขอขอบคุณกองทุนรัชดาภิเษกสมโภช จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในการสนับสนุนค่าจัดพิมพ์และเผยแพร่เอกสารสู่หน่วยงานและประชาชนที่สนใจ

สารบัญ

หน้า

1.	ความสำคัญของฝนและการเกิดฝน	1
1.1	วัฏจักรอุทกวิทยาและความสำคัญของฝน.....	1
1.2	ฝนและการเกิดฝน.....	2
1.3	ลักษณะฝนในประเทศไทย.....	4
2.	แนวทางการตรวจวัดข้อมูลฝน	6
2.1	การตรวจวัดข้อมูลฝนด้วยเครื่องวัดน้ำฝนภาคพื้นดิน.....	6
2.2	การตรวจวัดน้ำฝนด้วยเรดาร์ตรวจอากาศ.....	8
2.3	การตรวจวัดน้ำฝนด้วยดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา.....	16
2.4	ข้อดีข้อเสียของเครื่องมือตรวจวัดน้ำฝนแบบต่างๆ.....	23
3.	ข้อมูลระยะไกลในประเทศไทยเพื่อการตรวจวัดน้ำฝน	25
3.1	ข้อมูลโครงข่ายเรดาร์ในประเทศไทย.....	25
3.2	ข้อมูลของดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาที่ประเทศไทยรับสัญญาณ.....	27
3.3	การประมาณปริมาณฝนจากข้อมูลตรวจวัดระยะไกลในประเทศไทย.....	28
4.	เทคนิคการพยากรณ์น้ำฝน	31
4.1	การพยากรณ์น้ำฝนระยะสั้น.....	32
4.2	การพยากรณ์น้ำฝนระยะกลาง.....	39
4.3	การพยากรณ์น้ำฝนระยะยาว.....	42
5.	การประยุกต์ใช้ข้อมูลระยะไกลเพื่อการพยากรณ์ฝนในประเทศไทย	44
5.1	การพยากรณ์ฝนในประเทศไทย.....	44
5.2	แนวทางการปรับปรุงการพยากรณ์ฝนในพื้นที่กรุงเทพมหานครจากสถานีเรดาร์.....	46
6.	ข้อสรุปการใช้เทคโนโลยีข้อมูลระยะไกล	52
7.	แนวคิดและข้อเสนอแนะเพื่องานวิจัยในอนาคต	55
	เอกสารอ้างอิง.....	56
	ภาคผนวก การหาสมการความเร็วด้วยเทคนิค MVA.....	60

สารบัญรูป

		หน้า
รูปที่ 1-1	วัฏจักรอุทกวิทยา.....	1
รูปที่ 1-2	ลักษณะวิธีการเกิดฝนที่เกิดจากการพาความร้อน.....	2
รูปที่ 1-3	ลักษณะวิธีการเกิดฝนที่เกิดจากการเคลื่อนที่ผ่านภูเขา.....	3
รูปที่ 1-4	ร่องมรสุมและทางเดินพายุจรที่พัดผ่านประเทศไทย.....	4
รูปที่ 1-5	แผนที่เส้นชั้นน้ำฝนรายปีเฉลี่ยของประเทศไทย.....	5
รูปที่ 2-1	เครื่องวัดน้ำฝนแบบถ้วยกระดก.....	6
รูปที่ 2-2	เครื่องวัดน้ำฝนแบบชั่งน้ำหนัก.....	7
รูปที่ 2-3	เครื่องวัดน้ำฝนแบบลูกกลอย.....	7
รูปที่ 2-4	ปริมาณฝนเชิงพื้นที่เมื่อวันที่ 14 กย. 2548 เวลา 01:15 น. จากการหาค่าเฉลี่ยด้วยวิธีเอสเซนโพลีกอนจากสถานีวัดน้ำฝนภาคพื้นดินในพื้นที่กรุงเทพมหานคร.....	8
รูปที่ 2.5	คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ความถี่และความยาวคลื่นต่างๆ.....	8
รูปที่ 2-6	แนวทางการตรวจวัดสภาพอากาศในแนวราบ (ซ้าย) และแนวตั้ง (ขวา) เพื่อให้ได้ข้อมูลการตรวจวัดแบบปริมาตร (Volume Scan).....	9
รูปที่ 2-7	สถานีเรดาร์จะรับคลื่นสัญญาณที่ส่งออกไปและสะท้อนกลับเมื่อกระทบสิ่งกีดขวาง.....	9
รูปที่ 2-8	ความเร็วในแนวรัศมีที่วัดได้จากสถานีเรดาร์แบบดอปเปลอร์.....	10
รูปที่ 2-9	ปรากฏการณ์ดอปเปลอร์ เสียงที่กำเนิดจากรถไฟมีความถี่ปกติเมื่ออยู่นิ่ง (ซ้าย) และเปลี่ยนแปลงไปเมื่อรถไฟวิ่งเข้าหรือออกจากผู้สังเกต (ขวา).....	10
รูปที่ 2-1	คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าใน 2 แนวแกน ซึ่งจะสะท้อนและกระจายในลักษณะที่ต่างกันตามรูปร่างของสิ่งกีดขวาง (ที่มา: Light and EM Wave by I. Bras).....	11
รูปที่ 2-11	เรดาร์แบบ S-BAND ที่สถานีอมก๋อย.....	12
รูปที่ 2-12	ข้อมูลแบบพีพีไอ (PPI) จากการตรวจวัดที่มุมในแนวตั้งมุมเดียว ซึ่งความสูงจะเปลี่ยนไปตามระยะทาง.....	12
รูปที่ 2-13	ข้อมูลแบบความสูงคงที่ (CAPPI) จากการตรวจวัดที่มุมในแนวตั้งหลายมุมและเลือกเฉพาะข้อมูลที่มีความสูงที่ต้องการ.....	13
รูปที่ 2-14	ตัวอย่างภาพความเข้มสัญญาณการสะท้อนกลับ (dBZ).....	15

สารบัญรูป (ต่อ)

		หน้า
รูปที่ 2-15	ตัวอย่างภาพความสนามความเร็วจากสถานีเรดาร์ดอปเปอ์	15
รูปที่ 2-16	ตัวอย่างภาพแสดงความเข้มฝนในประเทศสหรัฐอเมริกา จากเครือข่ายสถานีเรดาร์ NEXRAD	15
รูปที่ 2-17	วงโคจรของดาวเทียมค้างฟ้า	16
รูปที่ 2-18	ตำแหน่งของดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาแบบวงโคจร	17
รูปที่ 2-19	วงโคจรของดาวเทียมชนิดวงโคจรใกล้ขั้วโลก	17
รูปที่ 2-20	แนวการเคลื่อนที่ในหนึ่งรอบของดาวเทียมชนิดวงโคจรใกล้ขั้วโลก	18
รูปที่ 2-21	โครงการ Global Precipitation Measurement (GPM) เพื่อการศึกษาฝนและสภาพ อากาศทั่วโลก	18
รูปที่ 2-22	อุณหภูมิยอดเมฆจากดาวเทียม GOES-8 ด้วยคลื่นความถี่ที่ตามองเห็น	19
รูปที่ 2-23	ภาพอุณหภูมิยอดเมฆจากดาวเทียม GOES-8 ด้วยคลื่นอินฟราเรดที่ความถี่ (a) 12, (b) 3.9, (c) 10.7, และ (d) 6.7 ไมครอน	20
รูปที่ 2-24	ดาวเทียมตรวจสอบสภาพอากาศด้วยคลื่นไมโครเวฟแบบ Passive (ซ้าย) และแบบ Active (ขวา)	21
รูปที่ 2-25	เปรียบเทียบภาพเมฆจากดาวเทียม GOES ในคลื่นความถี่ visible และข้อมูลฝนจาก ดาวเทียม TRMM ในคลื่นความถี่ Microwave ทั้งแบบ Active และ Passive	22
รูปที่ 2-26	เปรียบเทียบข้อมูลฝนที่ตรวจได้จากสถานีเรดาร์ตรวจอากาศภาคพื้นดิน NEXRAD และข้อมูลจาก AMSR-E ที่ติดตั้งบนดาวเทียม Aqua	22
รูปที่ 3-1	โครงข่ายเรดาร์และตัวอย่างภาพเรดาร์ในความรับผิดชอบของกรมอุตุนิยมวิทยา	25
รูปที่ 3-2	ตัวอย่างภาพจากเรดาร์ในความรับผิดชอบของกรมอุตุนิยมวิทยา	26
รูปที่ 3-3	ตัวอย่างภาพจากเรดาร์รวมทั้งอยู่ในความรับผิดชอบของสำนักฝนหลวงและการบิน เกษตร	26
รูปที่ 3-4	โครงข่ายเรดาร์ในความรับผิดชอบของสำนักฝนหลวงและการบินเกษตร	26
รูปที่ 3-5	ตัวอย่างภาพจากเรดาร์ภามิเจริญในความรับผิดชอบของกรุงเทพมหานคร	27
รูปที่ 3-6	ตัวอย่างภาพจากข้อมูลดาวเทียม MTSAT ของประเทศญี่ปุ่นที่อุตุนิยมวิทยาได้ ดำเนินการรับสัญญาณ	27

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4-1	ตัวอย่างการพยากรณ์ฝนของประเทศสหรัฐอเมริกาผ่านทางอินเทอร์เน็ต..... 31
รูปที่ 4-2	ตัวอย่างเครื่องมือวัดความเร็วลมที่ติดตั้งบนสถานี..... 33
รูปที่ 4-3	ตัวอย่างข้อมูลความเร็วในแนวรัศมีที่ได้จากสถานีเรดาร์แบบดอปเปอร์ในทิศทาง เข้าหรือออกจากสถานี..... 33
รูปที่ 4-4	การหาเวกเตอร์ความเร็วด้วยวิธีการหาจุดศูนย์กลางมวล จากภาพถ่ายสองภาพที่ เวลาต่อเนื่องกัน..... 34
รูปที่ 4-5	การหาเวกเตอร์ความเร็วด้วยวิธีการหาความสัมพันธ์เชิงพื้นที่สูงสุดจากภาพถ่าย สองภาพที่เวลาต่อเนื่องกัน..... 35
รูปที่ 4-6	ตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงของกลุ่มฝนจากภาพถ่ายสถานีเรดาร์ภายีเจริญ, กรุงเทพฯ ระหว่างเวลา 16:11น. ถึง 18:41น. ณ วันที่ 15 ตุลาคม 2548..... 37
รูปที่ 4-7	ขอบเขตมวลอากาศที่เคลื่อนที่เข้าหากัน (ซ้าย) และผลการพยากรณ์ฝนด้วย แบบจำลอง ANC เมื่อพิจารณาเส้นขอบเขตดังกล่าว (ขวา)..... 38
รูปที่ 4-8	ตัวอย่างการผลการพยากรณ์น้ำฝนสะสมล่วงหน้า 24 ชั่วโมง ที่ความละเอียด 30 กม. ด้วยแบบจำลอง MM5..... 40
รูปที่ 4-9	ความสามารถหรือความถูกต้องในการพยากรณ์ฝนจากแบบจำลองระยะกลาง (Model) แบบจำลองระยะสั้น (Nowcast) และความถูกต้องทางทฤษฎี..... 41
รูปที่ 4-10	ปรากฏการณ์เอลนีโญ (ซ้าย) ที่อุณหภูมิมหาสมุทรแปซิฟิกเพิ่มสูงขึ้นกว่าปกติ มีส่วนให้ปริมาณฝนที่ตกในประเทศไทยลดต่ำลงในขณะที่ปรากฏการณ์ลานีญา (ขวา) ที่อุณหภูมิในมหาสมุทรแปซิฟิกต่ำกว่าปกติ มีส่วนให้ปริมาณน้ำฝนใน ประเทศไทยเพิ่มสูงขึ้น..... 42
รูปที่ 4-11	ปริมาณน้ำฝนที่เปลี่ยนไปจากค่าเฉลี่ยอันเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ โลกในอีกประมาณ 50 ปีข้างหน้า..... 43
รูปที่ 5-1	ตัวอย่างการพยากรณ์ฝนล่วงหน้า 1-3 ชั่วโมง ในเขตกรุงเทพมหานคร ของสำนัก การระบายน้ำกรุงเทพมหานคร..... 44
รูปที่ 5-2	ผลการพยากรณ์ฝนล่วงหน้า 1 ชั่วโมง ในเขตกรุงเทพมหานคร..... 45

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 5-3 ตัวอย่างเปรียบเทียบข้อมูลฝนจากสถานีเรดาร์ เมื่อเวลา 20:30 น. – 23:30 น. วันที่ 13 กันยายน 2548 (บน) กับผลการพยากรณ์ล่วงหน้า 1-3 ชั่วโมง จากข้อมูลฝน ณ เวลา 20:30 น. (ล่าง) ของพื้นที่กรุงเทพมหานคร.....	46
รูปที่ 5-4 สนามความเร็ว (ขวา) ระหว่างภาพที่เวลา t1 (ซ้าย) และภาพที่เวลา t2 (กลาง) ที่คำนวณได้จากวิธี MVA.....	49
รูปที่ 5-5 ตัวอย่างการพยากรณ์น้ำฝน 1-2 ชั่วโมงล่วงหน้า ด้วยสนามความเร็วจากวิธี MVA	50
รูปที่ ผ-1 แนวความคิดของเทคนิค Field Alignment.....	56
รูปที่ ผ-2 ผลการทดสอบหาค่าสนามความเร็วด้วยวิธี MVA (a) และ (b) ข้อมูลนำเข้า ณ เวลาที่ 1 และ 2, (c) สนามความเร็วจริง และ (d) สนามความเร็วที่คำนวณจาก MVA.....	60
รูปที่ ผ-3 แสดงผลการเคลื่อนที่ของมวลฝนสังเคราะห์ด้วยสนามความเร็วจากวิธี MVA - (a) และ (b) ข้อมูลนำเข้า ณ เวลาที่ 1 และ 2, (c) สนามความเร็ว MVA และ (d) ข้อมูลจากการเคลื่อนที่ภาพ ณ เวลาที่ 1 ไปด้วยสนามความเร็วที่ได้.....	61

สารบัญตาราง

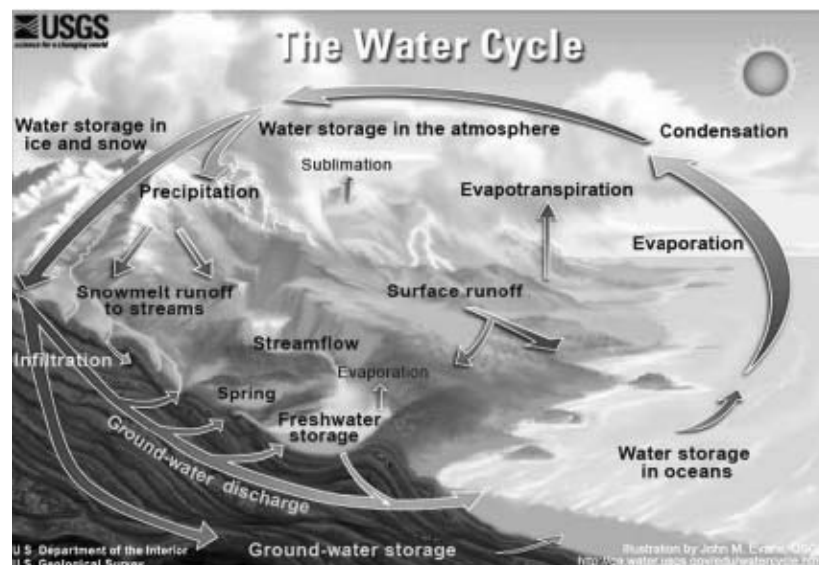
	หน้า
ตารางที่ 2-1 ค่าคงที่ a และ b ในสมการ Z-R ที่นิยมใช้ในต่างประเทศ.....	14
ตารางที่ 2-2 สรุปข้อดี ข้อเสียและลักษณะข้อมูลฝนจากเครื่องตรวจวัดประเภทต่างๆ.....	24

1. ความสำคัญของฝนและการเกิดฝน

1.1 วัฏจักรอุทกวิทยาและความสำคัญของฝน

วัฏจักรอุทกวิทยาหรือวัฏจักรของน้ำ(Hydrologic cycle) หมายถึง วงจรการหมุนเวียนของน้ำที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติโดยไม่มีการสูญหายไปไหน น้ำจากแหล่งต่าง ๆ จะมีการถ่ายเทหมุนเวียนกันไปมาตลอดเวลา น้ำจากทะเล มหาสมุทรมีการระเหยขึ้นไปบนบรรยากาศ พืชคายน้ำทางปากใบ แสงแดดทำให้เกิดการระเหยของน้ำจากแหล่งต่าง ๆ กลายเป็นไอลอยขึ้นสู่อากาศเบื้องบนซึ่งมีอุณหภูมิต่ำลง ไอน้ำจึงเกิดการควบแน่นกลายเป็นเมฆ และในที่สุดเมฆฝนที่มีน้ำหนักมากนั้นจะลดระดับการลอยตัวต่ำลง โดยแรงดึงดูดของโลก และได้รับความร้อนเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนกลุ่มไอน้ำละลายตัวกลายเป็นฝน หิมะ หรือลูกเห็บตกลงมาบนพื้นผิวโลก

เมื่อฝนตกลงมาจากฟ้า น้ำฝนส่วนหนึ่งจะค้างอยู่ตามใบและลำต้นพืชอาจมากหรือน้อยขึ้นกับปริมาณพืชคลุมดิน น้ำบางส่วนจะถูกขังอยู่ตามแหล่งน้ำหรือที่ลุ่ม หรือซึมซับอยู่ในบริเวณที่มีฝนตก น้ำเหล่านี้อาจกลับคืนสู่บรรยากาศโดยการระเหย (Evaporation) หรือการคายน้ำของพืช (Transpiration) น้ำบางส่วนอาจซึมลงไปดิน (Infiltration) ไปรวมเป็นแหล่งน้ำบาดาล (Ground Water Resource) ส่วนที่เหลือจะไหลอยู่บนผิวดินในรูปของน้ำท่า (Surface Runoff) กลายเป็นแหล่งน้ำผิวดิน บางส่วนอาจกลับสู่บรรยากาศ โดยการระเหยและการคายน้ำของพืชขณะที่อยู่บนดินหรือในดินบ้าง แต่ในที่สุดทั้งน้ำบาดาลและน้ำท่าส่วนที่เหลือก็จะไหลลงสู่ทะเลและมหาสมุทร และระเหยกลับขึ้นมาใหม่หมุนเวียนเป็นวัฏจักร (ดังแสดงในรูปที่ 1-1) เช่นนี้ตลอดไปไม่มีที่สิ้นสุด



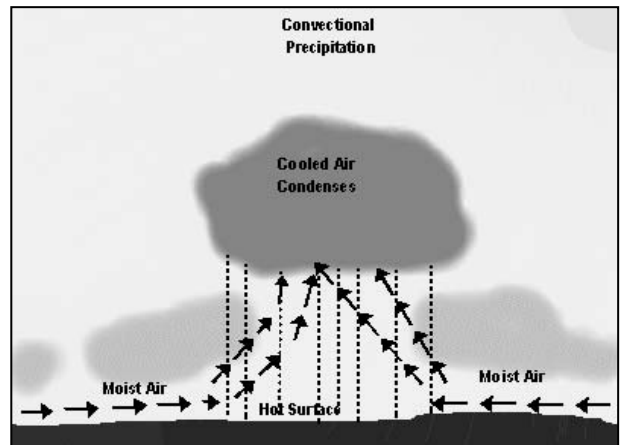
รูปที่ 1-1 วัฏจักรอุทกวิทยา (ที่มา: U.S. Geological Survey)

ฝน ถือได้ว่าเป็นจุดเริ่มต้นของวัฏจักรอุทกวิทยาก่อนที่จะหมุนเวียนไปเป็นน้ำท่าและหมุนเวียนไปตามวัฏจักรอุทกวิทยา ฝนเป็นปัจจัยที่สำคัญเป็นอันดับแรกในงานด้านอุทกวิทยา วิศวกรรมและการบริหารจัดการน้ำฝนทำให้เกิดน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน ที่มนุษย์สามารถนำมาใช้อุปโภค-บริโภค และเพื่อการดำรงชีวิตอื่นๆ ซึ่งทุกกิจกรรมของมนุษย์ล้วนต้องพึ่งพาน้ำทั้งสิ้น การเก็บกักน้ำตามแหล่งน้ำธรรมชาติ รวมถึงสร้างแหล่งเก็บกักน้ำเพิ่มเติมและการจัดการบริหารน้ำนั้นวันมีความสำคัญเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณน้ำที่มีมากหรือน้อยเกินไปสามารถก่อให้เกิดโทษได้ เช่นการที่ฝนตกมากเกินไปทำให้น้ำท่ามีปริมาณมากและเป็นสาเหตุให้เกิดน้ำท่วมหรือดินถล่มในทางตรงกันข้าม ฝนที่ตกน้อยเกินไปเป็นสาเหตุให้เกิดความแห้งแล้งและภาวะขาดแคลนน้ำ ซึ่งเหตุการณ์ฝนมากหรือน้อยเกินไปนี้ หากเราสามารถทราบข้อมูลที่เป็นปัจจุบันอย่างสมบูรณ์และถูกต้อง รวมถึงการพยากรณ์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงได้ล่วงหน้าจะทำให้สามารถบริหารจัดการเพื่อรับมือกับเหตุการณ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ด้วยเหตุนี้การตรวจวัดและการพยากรณ์ฝนจึงเป็นสิ่งจำเป็นในงานด้านบริหารจัดการแหล่งน้ำ

1.2 ฝนและการเกิดฝน

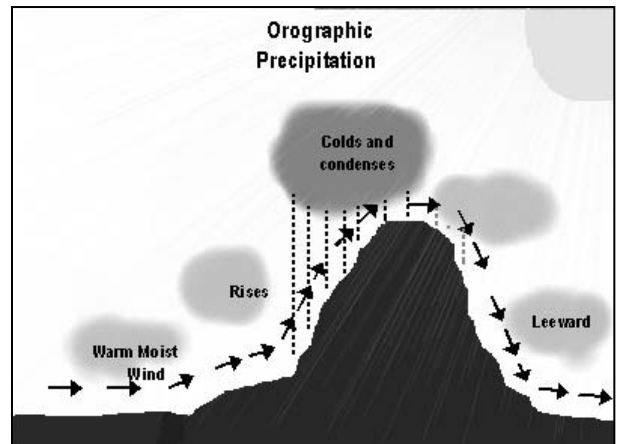
ฝนหรือน้ำจากอากาศ หมายถึง การที่ไอน้ำที่อยู่ในบรรยากาศซึ่งเย็นตัวลงและควบแน่นรวมกันทำให้มีขนาดโตขึ้น และมีน้ำหนักมากขึ้นจนไม่สามารถลอยอยู่ในบรรยากาศจึงตกลงสู่พื้นดิน มวลน้ำดังกล่าวรวมเรียกว่า Precipitation ตกลงมาสู่พื้นดินในลักษณะต่างๆ ทั้งของเหลว คือ ฝน (rain) หรือเป็นของแข็ง เช่น ลูกเห็บ(hail) และหิมะ(snow) เป็นต้น สำหรับสาเหตุการเกิดของฝนสามารถจำแนกได้เป็น 4 วิธี คือ

(1) ฝนเกิดจากการพาความร้อน (Convective Precipitation) หรือ ฝนจากกระแสอากาศไหลลอยขึ้นในแนวตั้ง เป็นฝนที่ส่วนใหญ่จะเกิดในฤดูร้อนที่ท้องฟ้าแจ่มใส พื้นดินได้รับความร้อนเต็มที่ ทำให้อากาศบริเวณนั้นร้อนกว่าบริเวณใกล้เคียงส่งผลให้มวลอากาศที่ร้อนและเบาถูกยกตัวสูงขึ้น มวลอากาศที่ลอยตัวขึ้นจะเริ่มเย็นตัวลง โดยไม่รับหรือสูญเสียความร้อนและไม่มีการควบแน่น เมื่อมวลอากาศลอยถึงระดับความสูงที่อุณหภูมิเท่ากับอากาศโดยรอบจะกลั่นตัวเป็นละอองน้ำและรวมตัวกันเป็นเมฆที่ก่อตัวในแนวตั้ง ดังแสดงในรูปที่ 1-2 โดยมีฝนตกลงมาจากฐานเมฆ ฝนประเภทนี้เป็นฝนที่ตกในช่วงเวลาสั้นๆ อาจตกหนักได้แต่ก็หยุดเร็วและตกเฉพาะแห่งในบริเวณแคบๆ



รูปที่ 1-2 ลักษณะวิธีการเกิดฝนที่เกิดจากการพาความร้อน
(ที่มา : <http://www.grc.k12.nf.ca/climatecanada>)

(2) ฝนที่เกิดจากการเคลื่อนที่ผ่านภูเขา (Orographic Precipitation) การเกิดฝนแบบนี้จะเกี่ยวข้องกับภูมิประเทศที่มีการยกตัวสูงขึ้นอย่างฉับพลัน โดยมวลอากาศจะเคลื่อนที่ผ่านภูเขา และถูกบังคับให้ยกตัวขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 1-3 ด้านที่อากาศถูกยกขึ้น จะเย็นตัวลงแบบไม่ได้รับและสูญเสียความร้อน ถ้าเย็นตัวลงเพียงพอก็จะเกิดฝนได้ มวลอากาศหลังจากผ่านภูเขาไปทางด้านหลัง จะร้อนขึ้นแบบไม่ได้รับและสูญเสียความร้อนเช่นเดียวกันแต่ไม่มีความชื้นหลงเหลืออยู่ที่สามารถจะทำให้เกิดฝน จึงเกิดความแห้งแล้ง แถบของความแห้งแล้งนี้เรียกว่า เขตเงาฝน ซึ่งมักเกิดด้านหลังของภูเขา ฝนประเภทนี้ส่วนมากมักตกเพียงเบาบางทางด้านต้นลมของภูเขา แต่จะมีฝนตกหนักถึงหนักมากถ้ามีลักษณะของกระแสลมวน กำลังแรงหรือการยกตัวของอากาศขึ้นสู่เบื้องบนอย่างรวดเร็วมาประกอบ



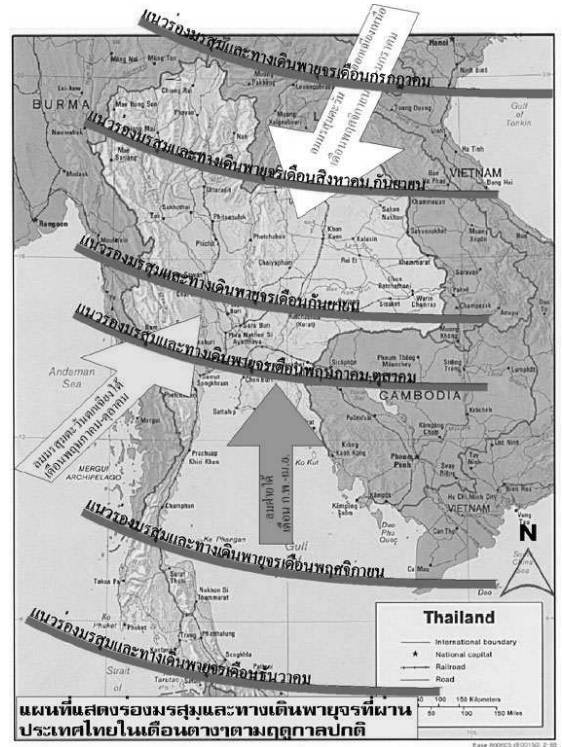
รูปที่ 1-3 ลักษณะวิธีการเกิดฝนที่เกิดจากการเคลื่อนที่ผ่านภูเขา (ที่มา : <http://www.grc.k12.nf.ca/climatecanada>)

(3) ฝนมรสุม เป็นฝนที่เกิดขึ้นเนื่องจากอิทธิพลของร่องมรสุมซึ่งเป็นแนวปะทะระหว่างอากาศซีกโลกเหนือ และซีกโลกใต้ ที่คาดไปรอบๆ โลก เกิดขึ้นเนื่องจากโลกที่หมุนรอบตัวเองจากทิศตะวันตกไปทิศตะวันออก และที่ละจุดต่ำประมาณ 0-30 องศาเหนือและใต้นั้น โลกจะหมุนเร็วกว่ามวลอากาศที่ห่อหุ้มโลกอยู่ จึงเกิดลักษณะลมจากฝ่ายตะวันออกขึ้น เรียกว่า ลมสินค้า จากเส้นศูนย์สูตรขึ้นไปทางซีกโลกเหนือ เรียกว่าลมสินค้าตะวันออกเฉียงเหนือ ส่วนในซีกโลกใต้ เรียกว่า ลมสินค้าตะวันออกเฉียงใต้ ลมทั้งสองชนิดพัดสอบเข้าหากันในแนวใกล้เส้นศูนย์สูตร หรือเรียกว่า แนวลมพัดสอบในเขตร้อน หรือ ร่องความกดอากาศต่ำ เพราะเป็นแนวที่มีความกดอากาศต่ำ มวลอากาศมีการยกตัวขึ้นสู่เบื้องบน มีการก่อดวงของเมฆจึงทำให้มีฝนตกชุก โดยเฉพาะเมื่อมีกระแสลมวนอยู่ในแนวนี้ด้วยจะทำให้มีฝนตกหนักได้ ซึ่งแนวร่องนี้จะเคลื่อนออกจากเส้นศูนย์สูตรไปทางซีกโลกเหนือหรือใต้ตามฤดูกาล ซึ่งจะทำให้เกิดฝนตกในบริเวณร่องมรสุม และเกิดฝนทิ้งช่วงในพื้นที่ที่ร่องความกดอากาศเคลื่อนที่ผ่านไป

(4) ฝนจากพายุหมุนเขตร้อน (Cyclonic Precipitation) เป็นฝนที่เกิดจากอิทธิพลของพายุหมุนเขตร้อน ลักษณะของพายุหมุนเขตร้อนจะมีลมพัดเวียนเข้าหาศูนย์กลางคล้ายวงก้นหอย ที่ศูนย์กลางพายุเป็นบริเวณที่มีความกดอากาศต่ำสุด พายุหมุนเขตร้อนจะมีความกดอากาศต่ำมากที่สุดที่ศูนย์กลาง จึงมีเมฆชั้นต่ำก่อตัวในแนวคิ่งหนาแน่นโดยรอบ เมื่อพายุนี้เคลื่อนผ่านไปทีใดจะทำให้ที่นั้นมีฝนตกหนักหรือหนักมากติดต่อกันหลายวัน และมีลมแรง ฝนที่ตกจะเป็นฝนที่ตกในบริเวณกว้าง และมีปริมาณมาก

1.3 ลักษณะฝนในประเทศไทย

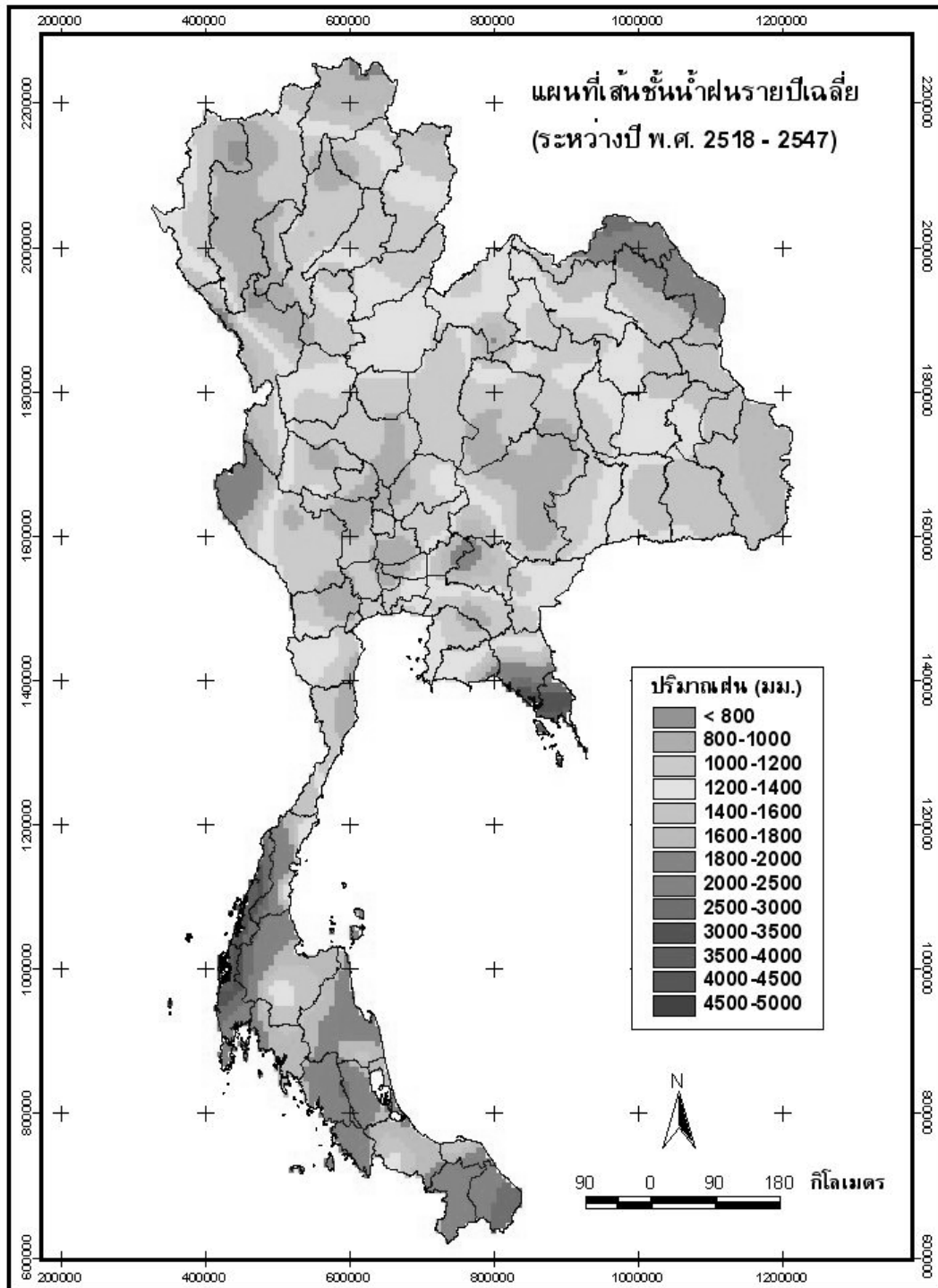
ประเทศไทยจัดเป็นประเทศที่ฝนตกชุก มีฤดูฝนยาวนาน มีความอุดมสมบูรณ์ในเรื่องน้ำ เนื่องจากตั้งอยู่ในภูมิประเทศที่เหมาะสมคืออยู่ในเขตร้อนชื้นใกล้เส้นศูนย์สูตร และอยู่ภายใต้อิทธิพลของลมมรสุม (ดังแสดงร่องมรสุมและทางเดินพายุจรที่พัดผ่านประเทศไทยในรูปที่ 1-4) นอกจากนี้อาณาเขตทางด้านเหนืออยู่ติดกับประเทศใกล้เคียงที่มีภูเขาล้อมรอบ ทำให้พายุหมุนเขตร้อนที่เคลื่อนเข้าสู่ประเทศไทยส่วนใหญ่อ่อนกำลังลงจนเป็นเพียงพายุดีเปรสชันที่ก่อให้เกิดฝนมากกว่าที่จะก่อให้เกิดความเสียหายที่เกิดจากลมที่พัดแรงจัด ประเทศไทยจะสิ้นสุดฤดูร้อนและเข้าสู่ฤดูฝนประมาณกลางเดือนพฤษภาคมเป็นต้นไปจนถึงประมาณกลางเดือนตุลาคมจึงถือว่าสิ้นสุดฤดูฝนและเข้าสู่ฤดูหนาว ซึ่งช่วงดังกล่าวจะมีลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้พัดพาความชื้นมาปกคลุมประเทศไทย (วิทย์, 2542)



รูปที่ 1-4 ร่องมรสุมและทางเดินพายุจรที่พัดผ่านประเทศไทย (ที่มา : กรมอุตุนิยมวิทยา)

ปริมาณฝนรวมตลอดปีเฉลี่ยทั่วประเทศไทยมีค่าประมาณ 1,580 มิลลิเมตร ดังแสดงปริมาณฝนเฉลี่ยในประเทศไทยในรูปที่ 1-5 ปริมาณฝนในแต่ละพื้นที่ผันแปรตามฤดูกาลและเปลี่ยนแปลงไปตามลักษณะภูมิประเทศ โดยบริเวณประเทศไทยตอนบนปกติจะแห้งแล้ง และมีฝนน้อยในฤดูหนาว เมื่อเข้าสู่ฤดูร้อนปริมาณฝนจะเพิ่มขึ้นบ้าง พร้อมทั้งมีพายุฟ้าคะนอง และเมื่อเข้าสู่ฤดูฝนปริมาณฝนจะเพิ่มขึ้นมาก โดยจะมีปริมาณฝนมากที่สุด ในเดือนสิงหาคมหรือกันยายน ภาคใต้มีฝนชุกเกือบตลอดปียกเว้นฤดูร้อน พื้นที่บริเวณภาคใต้ฝั่งตะวันตก ซึ่งเป็นด้านรับลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ จะมีปริมาณฝนมากกว่าภาคใต้ฝั่งตะวันออกในช่วงฤดูฝน โดยมีปริมาณฝนมากที่สุดในเดือนกันยายน (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2548)

สำหรับสาเหตุการเกิดฝนในประเทศไทย เกิดขึ้นได้จากสาเหตุหลายประการ สามารถจำแนกชนิดของฝนออกเป็นสาเหตุการเกิดได้เป็น 4 ประเภท ดังได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 1.2 คือ ฝนภูเขา (Orographic Precipitation) ฝนเนื่องจากการพาความร้อน (Convective Precipitation) ฝนมรสุม (Monsoon Precipitation) ฝนจากพายุหมุนเขตร้อน (Cyclonic Precipitation) สำหรับองค์ประกอบและปัจจัยอื่นๆ ที่สนับสนุนให้เกิดฝนตก และเกิดขึ้นเป็นประจำ ได้แก่ ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้และมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ หย่อมความกดอากาศต่ำ บริเวณความกดอากาศสูง คลื่นกระแสลมตะวันตก และคลื่นกระแสลมตะวันออกเฉียงเหนือ



รูปที่ 1-5 แผนที่เส้นชั้นน้ำฝนรายปีเฉลี่ยของประเทศไทย (ที่มา กรมทรัพยากรน้ำ, 2548)

2. แนวทางการตรวจวัดข้อมูลฝน

ข้อมูลปริมาณน้ำฝนและตำแหน่งการเกิดฝนมีความสำคัญอย่างมากในงานวิศวกรรม การจัดการ และการออกแบบวางแผน ข้อมูลฝนเหล่านี้สามารถหามาได้จากเครื่องมือตรวจวัดน้ำฝนที่มีอยู่อย่างมากมาย ตั้งแต่เครื่องตรวจวัดปริมาณน้ำฝนอย่างง่ายโดยใช้ภาชนะรอง ไปจนถึงการใช้ดาวเทียมในการหาปริมาณและตำแหน่งการเกิดฝน เครื่องมือตรวจวัดฝนสามารถแบ่งกว้างๆ ได้เป็น 3 กลุ่มตามชนิดของเครื่องตรวจวัด คือ (1) การตรวจวัดน้ำฝนด้วยเครื่องวัดน้ำฝนภาคพื้นดิน (Rain Gauge) (2) การตรวจวัดน้ำฝนด้วยสถานีเรดาร์ตรวจอากาศภาคพื้นดิน (Ground-based Weather Radar Station) และ (3) การตรวจวัดน้ำฝนด้วยดาวเทียมอวกาศ (Weather Satellite) นอกจากนี้ความแตกต่างของเครื่องตรวจวัดและวิธีการตรวจวัดแล้วข้อมูลฝนที่ตรวจวัดได้ยังมีความแตกต่างกันในเรื่องความละเอียด ลักษณะของข้อมูล และความถูกต้อง ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 การตรวจวัดข้อมูลฝนด้วยเครื่องวัดน้ำฝนภาคพื้นดิน

การตรวจวัดน้ำฝนด้วยเครื่องวัดน้ำฝนภาคพื้นดิน (Rain Gauge) เป็นเครื่องมือการตรวจวัดที่มีการใช้งานกันมานานที่สุด และเป็นวิธีการพื้นฐานที่เรียบง่ายที่สุด กล่าวคือเครื่องมือดังกล่าวจะทำการบันทึกค่าปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมาในภาชนะต่อหนึ่งหน่วยเวลาโดยตรง

(ก) ลักษณะและประเภทของเครื่องตรวจวัดข้อมูลฝนภาคพื้นดิน

เครื่องมือวัดน้ำฝนภาคพื้นดินนี้ แบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ

- เครื่องวัดน้ำฝนแบบไม่บันทึกข้อมูลต่อเนื่อง (Non-recording Rain Gauge) มีลักษณะเป็นกระบอกตวงใช้วัดปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมาในแต่ละครั้งเท่านั้น ไม่สามารถวัดข้อมูลปริมาณฝนอย่างต่อเนื่องได้ ข้อมูลน้ำฝนที่ได้จึงเป็นปริมาตรฝนที่ตกลงในภาชนะต่อช่วงเวลาที่มีการเก็บข้อมูล เครื่องวัดน้ำฝนแบบไม่อัตโนมัติที่นิยมใช้ได้แก่ เครื่องวัดน้ำฝนมาตรฐานขนาด 8 นิ้ว (Standard 8-inch Rain Gauge)

- เครื่องวัดน้ำฝนแบบบันทึกข้อมูลต่อเนื่อง (Recording Rain Gauge) เป็นเครื่องมือวัดที่สามารถบันทึกปริมาณฝนตามเวลาได้อย่างต่อเนื่อง โดยจะบันทึกค่าปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมาในภาชนะต่อหน่วยเวลาที่กำหนด ตัวอย่างของเครื่องวัดน้ำฝนแบบบันทึกต่อเนื่องที่นิยมใช้ในงานอุทกวิทยามี 3 ชนิด ได้แก่ เครื่องวัดน้ำฝนแบบถ้วยกระดก (Tipping Bucket Rain Gauge) (รูปที่ 2-1) เครื่องวัดน้ำฝนแบบชั่งน้ำหนัก (Weighting Bucket Rain Gauge) (รูปที่ 2-2) เครื่องวัดน้ำฝนแบบลูกลอย (Float Type Rain Gauge) (รูปที่ 2-3)



รูปที่ 2-1 เครื่องวัดน้ำฝนแบบถ้วยกระดก



รูปที่ 2-2 เครื่องวัดน้ำฝนแบบชั่งน้ำหนัก



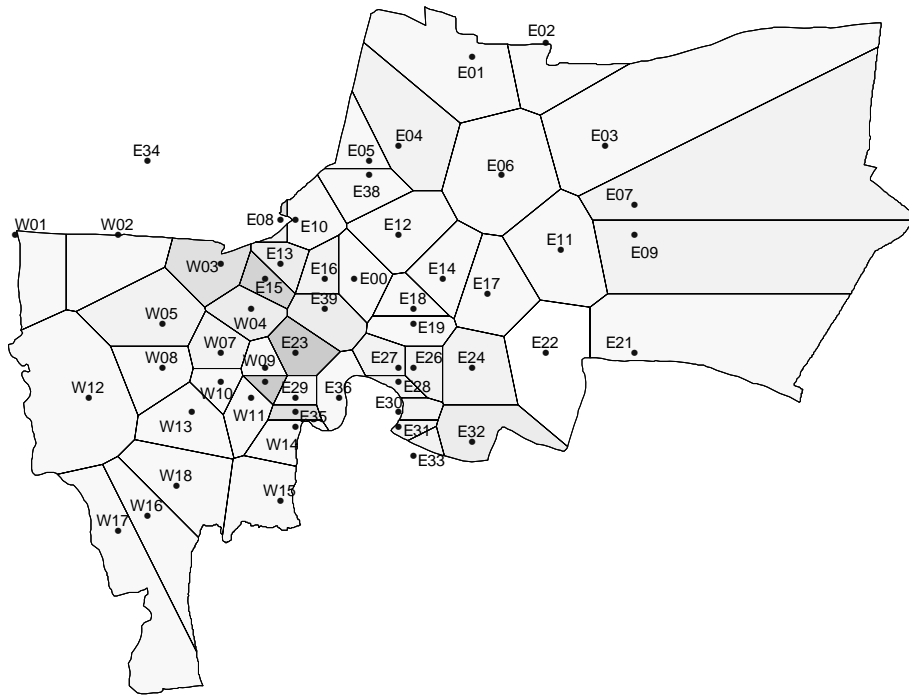
รูปที่ 2-3 เครื่องวัดน้ำฝนแบบลูกกลิ้ง

(ข) ข้อมูลฝนจากเครื่องตรวจวัดข้อมูลฝนภาคพื้นดิน

การวัดข้อมูลฝนด้วยเครื่องวัดน้ำฝนภาคพื้นดิน (Rain Gauge) นี้สามารถวัดปริมาณฝนที่ตกลงในตำแหน่งที่มีการติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดในหน่วยความลึกของน้ำฝนต่อหน่วยเวลา เช่น มิลลิเมตรต่อชั่วโมง (mm/hr) หรือ นิ้วต่อชั่วโมง เป็นต้น การตรวจสอบปริมาณน้ำฝนด้วยวิธีดังกล่าวอาจมีความคลาดเคลื่อนได้บ้างเนื่องจากผลของลม อุปกรณ์ที่ไม่สมบูรณ์ หรือตำแหน่งการติดตั้งมีการบดบังโดยต้นไม้หรืออาคาร เป็นต้น แต่เนื่องจากข้อมูลที่วัดได้เป็นปริมาณน้ำฝนที่ตกลงสู่พื้นโดยตรง ค่าปริมาณน้ำฝนที่ได้จากเครื่องวัดน้ำฝนจึงมีความถูกต้องค่อนข้างสูง เมื่อเทียบกับเครื่องตรวจวัดกลุ่มอื่นๆ เมื่อใช้แสดงปริมาณน้ำฝนที่ตกในตำแหน่งที่สถานีวัดน้ำฝนตั้งอยู่ นอกจากนี้ข้อมูลจากสถานีตรวจวัดแบบอัตโนมัติ ยังมีความถี่ในการตรวจวัดและเก็บข้อมูลสูงอีกด้วย เช่น สามารถเก็บบันทึกข้อมูลฝนสะสมทุก 15 นาที เป็นต้น

อย่างไรก็ดีหากต้องการข้อมูลน้ำฝนเชิงพื้นที่หรือการกระจายของฝน จำเป็นต้องใช้ข้อมูลฝนจากสถานีตรวจวัดหลายๆสถานี มาทำการวิเคราะห์และหาค่าเฉลี่ยเชิงพื้นที่ (Spatial Interpolation) เพื่อคาดคะเนปริมาณฝนในบริเวณที่ไม่ได้มีการติดตั้งเครื่องตรวจวัด หรืออาจใช้การกำหนดพื้นที่โดยวิธีทฤษฎีโพลิกอน (Thiessen Polygon) และใช้ค่าน้ำฝนที่วัดได้จากสถานีตรวจวัดในพื้นที่ย่อยแทนปริมาณน้ำฝนทั้งหมดที่ตกในพื้นที่ดังกล่าว ดังแสดงในรูปที่ 2-4 ด้วยเหตุนี้ความถูกต้องและความละเอียดของข้อมูลการกระจายน้ำฝนหรือปริมาณน้ำฝนเชิงพื้นที่จากสถานีวัดน้ำฝนจึงขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของสถานีวัดน้ำฝนเป็นสำคัญ ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งเก็บข้อมูลและการบำรุงรักษาสถานีจำนวนมากเหล่านี้อาจไม่คุ้มค่า โดยเฉพาะในพื้นที่ที่เข้าถึงได้โดยยาก หรือในบริเวณมหาสมุทร

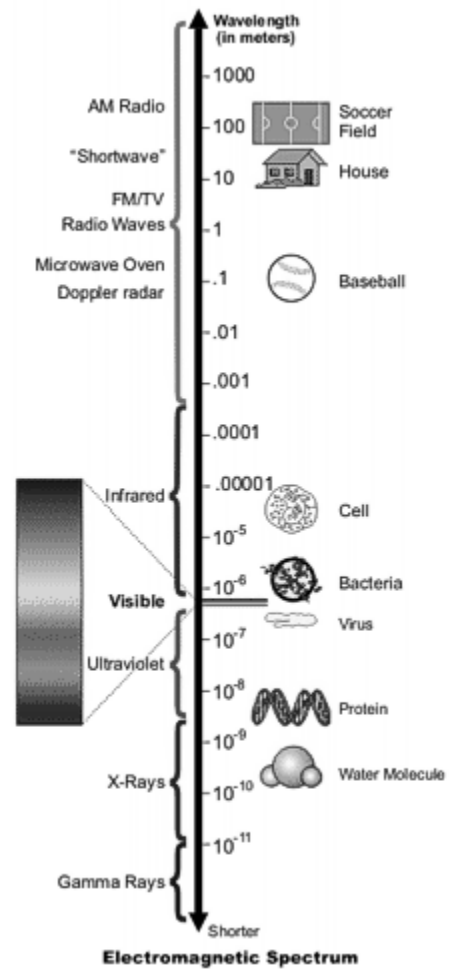
เครื่องมือวัดน้ำฝนภาคพื้นดินนี้ ยังคงใช้งานกันอย่างแพร่หลาย ในปัจจุบัน เพื่อหาข้อมูลปริมาณน้ำฝนในพื้นที่ขนาดเล็ก หรือใช้เพื่อการปรับแก้ค่าน้ำฝนจากเครื่องมือวัดอื่นๆ เช่น สถานีเรดาร์ตรวจอากาศ หรือดาวเทียมตรวจอากาศ เป็นต้น เนื่องจากข้อมูลดังกล่าวมีความถูกต้องสูงและมีค่าใช้จ่ายน้อยสำหรับพื้นที่ขนาดเล็ก สำหรับข้อมูลฝนเชิงพื้นที่ในพื้นที่ขนาดใหญ่ เช่นระดับภูมิภาค ระดับประเทศ หรือระดับโลก โดยมากจะนิยมใช้ข้อมูลฝนจากเครื่องตรวจวัดภาคพื้นดินมาประกอบกับข้อมูลฝนเชิงพื้นที่จากแหล่งอื่นๆ ดังที่จะได้กล่าวต่อไป



รูปที่ 2-4 ปริมาณฝนเชิงพื้นที่เมื่อวันที่ 14 กันยายน 2548 เวลา 01:15 น. จากการหาค่าเฉลี่ยด้วยวิธี ซีเอสเซน โพลีگونจากสถานีวัดน้ำฝนภาคพื้นดินในพื้นที่กรุงเทพมหานคร

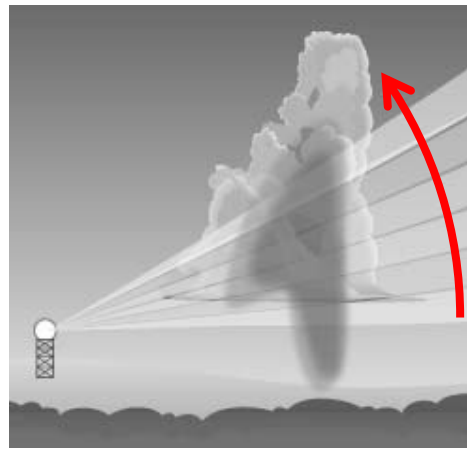
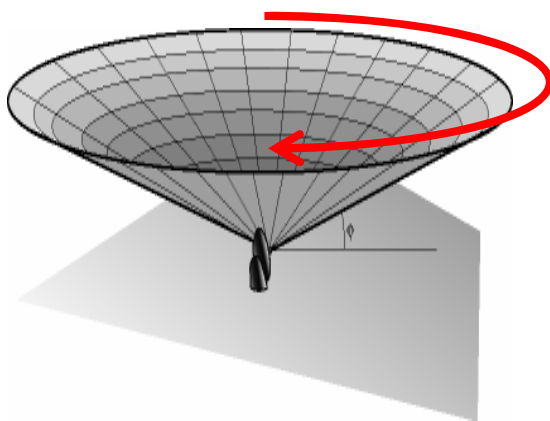
2.2 การตรวจวัดน้ำฝนด้วยเรดาร์ตรวจอากาศ

เรดาร์ (RADAR: **RA**dio **D**etection **A**nd **R**anging) เป็นหนึ่งในอุปกรณ์การตรวจวัดระยะไกล (Remote Sensing Instruments) เริ่มแรกได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อประโยชน์ทางการทหารในช่วงสงครามโลกครั้งที่ 2 โดยมีหลักการทำงานเริ่มจากภาคส่ง (Transmitter) ผลิตคลื่นวิทยุออกไปในอากาศ (รูปที่ 2-5) เมื่อคลื่นกระทบเป้าซึ่งมีขนาดประมาณ 1 ใน 10 เท่าของความยาวคลื่น ตามกฎการกระเจิงคลื่นของเรย์ลี (Rayleigh's Scattering Law) คลื่นบางส่วนจะสะท้อนกลับมายังจานสายอากาศ (Antenna) และถูกส่งไปยังระบบประมวลผลเพื่อคำนวณหาค่าตำแหน่งของสิ่งกีดขวางนั้นๆ ในสมัยนั้นมีการค้นพบว่าเรดาร์ที่ใช้เพื่อค้นหาตำแหน่งเครื่องบินไม่สามารถใช้งานได้ดีเมื่อมีพายุฝนฟ้าคะนอง จากข้อสังเกตดังกล่าว นักวิทยาศาสตร์จึงได้ประยุกต์ใช้หลักการของเรดาร์เพื่อตรวจวัดมวลน้ำในอากาศในเวลาต่อมา



รูปที่ 2-5 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ความถี่และความยาวคลื่นต่างๆ

สำหรับเรดาร์ตรวจอากาศนั้นมักจะใช้คลื่นในช่วงไมโครเวฟ (Microwave) ที่มีความยาวคลื่นประมาณ 1 – 15 เซนติเมตร ซึ่งสามารถสะท้อนและตรวจสอบอนุภาคของน้ำฝน หิมะ หรือลูกเห็บที่มีขนาดประมาณ 0.1-1.5 เซนติเมตรได้ตามกฎการกระเจิงคลื่น การตรวจวัดแบบสมบูรณซ์ของสถานีเรดาร์ตรวจอากาศที่เรียกว่า การตรวจวัดแบบปริมาตร (Volume Scan) จะส่งและรับคลื่นในมุมแนวราบ (Azimuth) รอบสถานีเป็นมุม 360 องศา ที่มุมแนวตั้ง (Elevation Angle) คงที่ค่าหนึ่งจากนั้นจะเปลี่ยนมุมแนวตั้งไปเรื่อยๆ ตามที่กำหนดไว้จนครบดังรูปที่ 2-6 ซึ่งโดยทั่วไปจะประกอบไปด้วย 10 – 15 มุมตั้ง ข้อมูลที่ได้นี้จะสามารถนำไปคำนวณเพื่อหาตำแหน่ง ความเข้ม การกระจายและลักษณะฝนใน 3 มิติเหนือพื้นที่ศึกษาได้ นอกจากการตรวจวัดแบบปริมาตรซึ่งใช้เวลาประมาณ 6 – 10 นาทีแล้ว ยังสามารถบังคับให้เครื่องเรดาร์ตรวจวัดเฉพาะแถบ หรือที่มุมใดมุมหนึ่งได้อีกด้วย

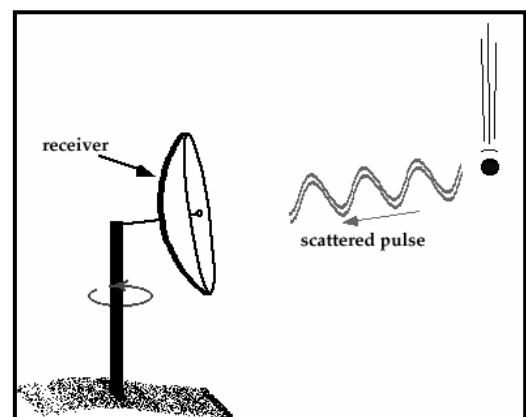


รูปที่ 2-6 แนวทางการตรวจวัดสภาพอากาศในแนวราบ (ซ้าย) และแนวตั้ง (ขวา) เพื่อให้ได้ข้อมูลการตรวจวัดแบบปริมาตร (Volume Scan) (Source: NOAA / Jetstream - <http://www.srh.noaa.gov/jetstream>)

(ก) ลักษณะและประเภทของเครื่องตรวจวัดข้อมูลฝนด้วยเครื่องเรดาร์ตรวจอากาศ

สถานีเรดาร์ตรวจอากาศในปัจจุบันสามารถแบ่งได้เป็น 3 รุ่น ได้แก่ (1) สถานีเรดาร์ตรวจอากาศแบบดั้งเดิม (Conventional Weather Radar) (2) สถานีเรดาร์ตรวจอากาศแบบดอปเปลอร์ (Doppler Weather Radar) และ (3) สถานีเรดาร์แบบดอปเปลอร์โพลาไรเซชัน (Polarization Doppler Weather Radar)

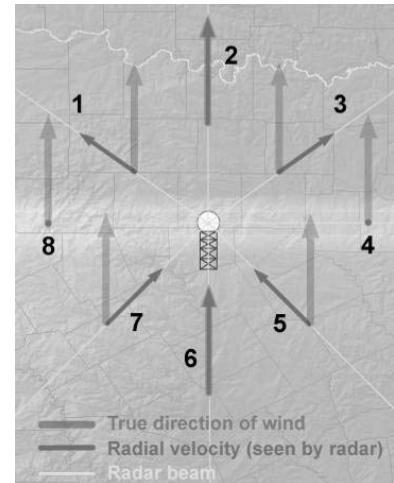
(1) สถานีเรดาร์ตรวจอากาศแบบดั้งเดิม (Conventional Weather Radar) เป็นสถานีเรดาร์ตรวจอากาศในยุคแรก ตั้งแต่ในสมัยสงครามโลกครั้งที่สอง ถึงประมาณปลายศตวรรษที่ 20 สถานีเรดาร์ในสมัยแรกนี้สามารถคำนวณหาค่าตำแหน่งของฝนหรือสิ่งกีดขวางอื่นๆ (เช่น ลูกเห็บ หิมะ) และความเข้มหรือความหนาแน่นของสิ่งกีดขวางนั้นๆ ดังแสดงดังรูปที่ 2-7 โดยการหาค่าตำแหน่ง



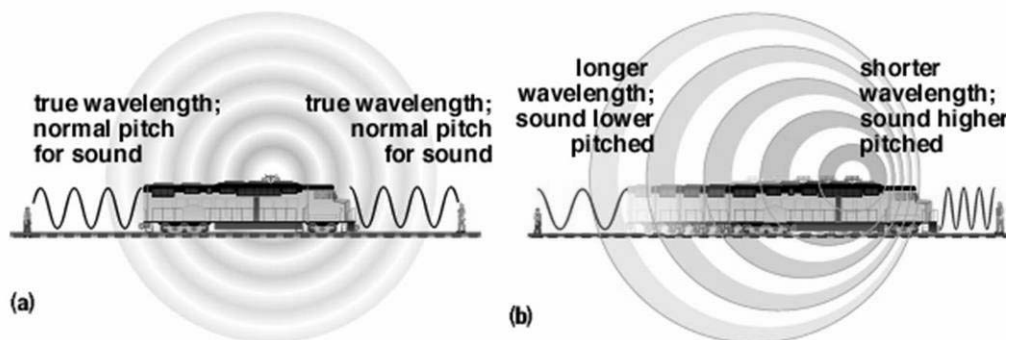
รูปที่ 2-7 สถานีเรดาร์จะรับคลื่นสัญญาณที่ส่งออกไปและสะท้อนกลับเมื่อกระทบสิ่งกีดขวาง

สามารถทำได้โดยจับเวลาการเดินทางไปกลับของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งมีความเร็วเท่าความเร็วแสงหรือประมาณ 300,000 กิโลเมตรต่อวินาที เพื่อใช้คำนวณหาระยะห่างของกลุ่มฝนจากสถานีเรดาร์ เมื่อนำไปวิเคราะห์กับมุมในแนวระนาบ (Azimuth) และแนวตั้ง (Elevation Angle) ของจานรับส่งสัญญาณ จะสามารถหาตำแหน่งของกลุ่มฝนนั้นๆ ได้ ในขณะที่เดียวกันก็จะทราบความหนาแน่นของกลุ่มฝนจากความเข้มของสัญญาณที่รับได้อีกด้วย

(2) สถานีเรดาร์ตรวจอากาศแบบดอปเปลอร์ (Doppler Weather Radar) เป็นสถานีเรดาร์ตรวจอากาศที่พัฒนามาจากสถานีเรดาร์ในยุคแรก โดยนอกจากจะสามารถหาตำแหน่งและความเข้มของกลุ่มฝนได้แล้ว ยังสามารถตรวจวัดความเร็วการเคลื่อนที่ของกลุ่มฝนที่มีการเคลื่อนที่เข้าหรือออกจากสถานีเรดาร์ การเคลื่อนที่ที่ได้นี้เรียกว่าความเร็วในแนวรัศมี (Radial Velocity) ดังแสดงด้วยลูกศรสีม่วงเข้าและออกจากสถานีเรดาร์ในรูปที่ 2-8 สังเกตว่าความเร็วในแนวรัศมีนี้เป็นเพียงแค่ส่วนหนึ่งของความเร็วทั้งหมด (ลูกศรสีขึ้นในรูปที่ 2-8) การหาความเร็วดังกล่าวนี้อาศัยหลักการของปรากฏการณ์ดอปเปลอร์ (Doppler Effect) ที่กล่าวว่าความถี่ของคลื่นจะเพิ่มขึ้นเมื่อวัตถุเคลื่อนที่เข้าหาผู้สังเกตและลดลงเมื่อวัตถุเคลื่อนที่ออกจากผู้สังเกต ปรากฏการณ์ดังกล่าวมีลักษณะคล้ายกับการที่เราได้ยินเสียงรถ หรือหัวรถไฟแหลมขึ้น (ความถี่เพิ่มขึ้น) เมื่อรถพยับบาลวิ่งเข้าหาและทุ้มต่ำลง (ความถี่ลดลง) เมื่อรถวิ่งห่างจากเราออกไป ดังแสดงในรูปที่ 2-9 สถานีเรดาร์ตรวจอากาศแบบดอปเปลอร์เป็นที่นิยมใช้ในปัจจุบัน เช่น ระบบเครือข่ายเรดาร์ของประเทศสหรัฐอเมริกาที่มีชื่อว่า NEXRAD ซึ่งประกอบด้วยสถานีเรดาร์แบบดอปเปลอร์ทั้งหมด หรือเครือข่ายสถานีเรดาร์ของประเทศไทยเอง ทั้งในส่วนของกรมอุตุนิยมวิทยา สำนักฝนหลวง และสำนักกระแสน้ำกรุงเทพมหานคร หลายแห่งก็ได้รับการปรับปรุงเป็นสถานีเรดาร์แบบดอปเปลอร์แล้ว

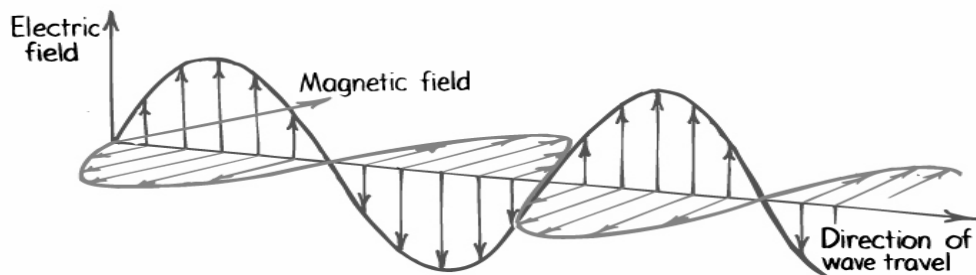


รูปที่ 2-8 ความเร็วในแนวรัศมีที่วัดได้จากสถานีเรดาร์แบบดอปเปลอร์



รูปที่ 2-9 ปรากฏการณ์ดอปเปลอร์ เสียงที่กำเนิดจากรถไฟมีความถี่ปกติเมื่ออยู่นิ่ง (ซ้าย) และเปลี่ยนแปลงไปเมื่อรถไฟวิ่งเข้าหรือออกจากผู้สังเกต (ขวา) (ที่มา <http://www.bramboroson.com/>)

(3) สถานีเรดาร์ตรวจอากาศแบบดอปเปอร์โพลาไรเซชัน (Polarization Doppler Weather Radar) สถานีเรดาร์ตรวจอากาศดังกล่าวพัฒนามาจากสถานีเรดาร์ตรวจอากาศแบบดอปเปอร์ ซึ่งสามารถหาตำแหน่ง ความเข้ม และความเร็วการเคลื่อนที่ของสิ่งกีดขวางได้ และได้เพิ่มประสิทธิภาพในการจำแนกชนิดของสิ่งกีดขวางให้มีความถูกต้องมากขึ้น หลักการโพลาไรเซชันกล่าวว่าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าประกอบด้วยคลื่นในสองแนวแกน ดังแสดงในรูป 2-10 และคลื่นในแต่ละแนวแกนสามารถสะท้อนหรือกระเจิงแสงจากสิ่งกีดขวางที่มีรูปร่างต่างกัน ได้ไม่เหมือนกัน ดังนั้นจึงสามารถใช้แยกแยะเห็น ซึ่งมีลักษณะเป็นทรงกลมออกจากหยดน้ำซึ่งเป็นวงรีได้ ในปัจจุบัน สถานีเรดาร์แบบดังกล่าวยังอยู่ในระหว่างการทดลองและพัฒนา โดยยังไม่ได้นำมาติดตั้งเป็นที่แพร่หลายเท่าใดนัก แต่มีแนวโน้มว่าจะมีบทบาทมาแทนสถานีเรดาร์แบบดอปเปอร์ที่ใช้ในปัจจุบันในอนาคตอันใกล้



รูปที่ 2-1 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าใน 2 แนวแกน ซึ่งจะสะท้อนและกระจายในลักษณะที่ต่างกันตามรูปร่างของสิ่งกีดขวาง (ที่มา: Light and EM Wave by I. Bras)

สถานีเรดาร์ตรวจอากาศทั้งสามประเภทนี้ยังสามารถแบ่งออกตามความถี่ของคลื่นไมโครเวฟที่นิยมใช้ได้เป็น 3 คลื่นความถี่ คือ สถานีเรดาร์ตรวจอากาศแบบ X-Band, C-Band, และ Z-Band ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

(1) สถานีเรดาร์ตรวจอากาศแบบ X - BAND ใช้คลื่นไมโครเวฟที่มีความยาวคลื่น 2.75-4.84 cm (ความถี่ 6.2-10.9 GHz) เรดาร์แบบ X-Band มีขนาดเล็ก เหมาะในการตรวจฝนกำลังอ่อนถึงกำลังปานกลางได้ดี แต่เนื่องจากมีความยาวคลื่นสั้น เมื่อคลื่นของเรดาร์กระทบเป้าหรือสิ่งกีดขวาง จะมีการสูญเสียพลังงานมากทำให้เป้าฝนที่ปรากฏบนจอเรดาร์มีรูปร่างผิดเพี้ยนไปจากความเป็นจริงมาก เรดาร์ชนิดนี้มีรัศมีทำการประมาณ 100 กม. รัศมีหวังผล 60 กม.

(2) สถานีเรดาร์ตรวจอากาศแบบ C - BAND ใช้คลื่นไมโครเวฟที่มีความยาวคลื่น 4.84-7.69 cm. (ความถี่ 3.9-6.2 GHz) เรดาร์แบบ C-Band มีขนาดปานกลาง เหมาะในการตรวจฝนกำลังปานกลางถึงกำลังแรง และสามารถตรวจฝนกำลังอ่อนได้ คลื่นที่ความถี่ดังกล่าวเมื่อกระทบเป้าจะมีการสูญเสียพลังงานบางส่วนซึ่งอาจทำให้ฝนที่ปรากฏบนจอเรดาร์มีรูปร่างผิดเพี้ยนไปจากความเป็นจริงไปบ้าง เรดาร์ชนิดนี้มีรัศมีทำการประมาณ 450 กม. รัศมีหวังผล 230 กม. สถานีเรดาร์ตรวจอากาศในประเทศไทยส่วนใหญ่จะเป็นแบบ C-Band

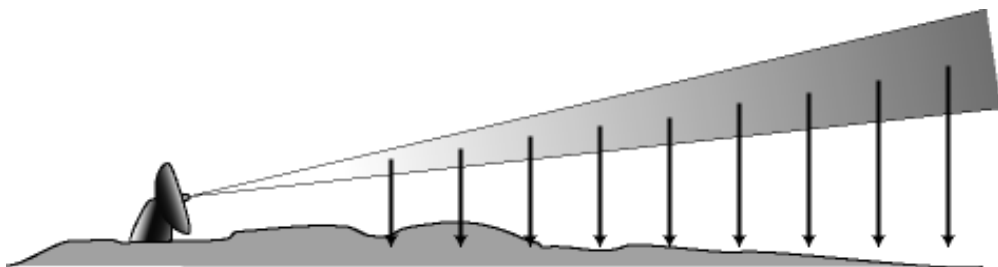
(3) สถานีเรดาร์ตรวจอากาศแบบ S - BAND ใช้คลื่นไมโครเวฟที่มีความยาวคลื่น 7.69 - 19.3 cm (ความถี่ 1.55-3.9 GHz) เรดาร์แบบ S-Band นี้มีขนาดใหญ่ เหมาะในการตรวจฝนกำลังแรงถึงกำลังแรงมาก สามารถตรวจฝนกำลังอ่อนและกำลังปานกลางได้แต่ไม่คืนัก เรดาร์ดังกล่าวมีราคาสูงที่สุดทั้งในเรื่องการติดตั้ง การดำเนินการตรวจสอบสภาพอากาศและการบำรุงรักษา แต่เนื่องจากการสูญเสียพลังงานเมื่อกระทบเป้าหมายน้อยทำให้รูปร่างฝนที่ปรากฏบนจอเรดาร์ผิดเพี้ยนไปเพียงเล็กน้อยหรือไม่ผิดเลย นอกจากนี้เรดาร์ชนิดดังกล่าวยังมีรัศมีทำการสูงถึงประมาณ 550 กม. และมีรัศมีหวังผลสูงถึง 230 กม. ตัวอย่างของสถานีเรดาร์แบบ S-Band ในประเทศไทยได้แก่ที่สถานีอมก๋อย จังหวัดเชียงใหม่ ดังแสดงในรูปที่ 2-11



รูปที่ 2-11 เรดาร์แบบ S-BAND ที่สถานีอมก๋อย (ที่มา: สำนักฝนหลวงและการบินเกษตร)

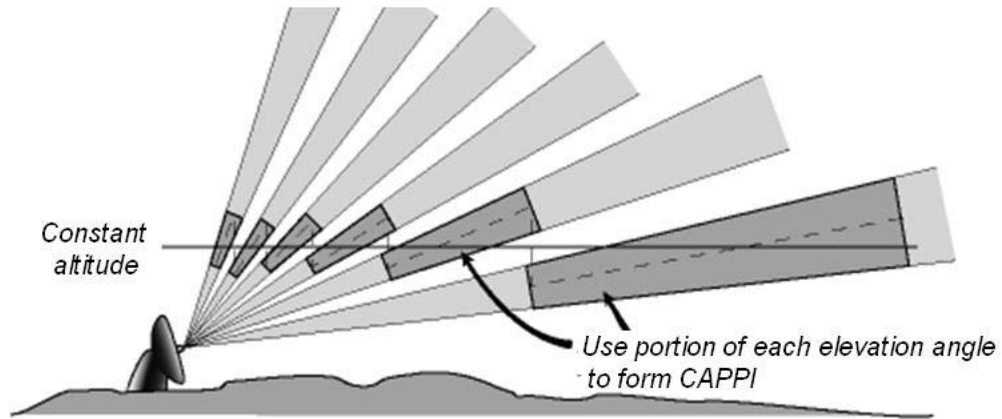
(ข) ข้อมูลฝนจากสถานีเรดาร์ตรวจอากาศภาคพื้นดิน

ข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดด้วยสถานีเรดาร์นี้เป็นข้อมูลของคลื่นสะท้อน (Radar Reflectivity) ที่สะท้อนจากเป้า โดยจะทำการเก็บข้อมูลในแต่ละรอบของการตรวจวัดที่มุมในแนวคิ่งต่างๆ กัน ซึ่งเรียกว่า ข้อมูลแบบ PPI (Plan Position Indicator) (แสดงในรูปที่ 2-12) มักนิยมใช้แสดงข้อมูลที่มุมในแนวคิ่งที่น้อยที่สุดที่ไม่คิดเนินเขา เพื่อแสดงกลุ่มฝนที่ฐานเมฆ ข้อมูลประเภทนี้สามารถแสดงได้จากมุมในการตรวจวัดเพียงมุมเดียว ซึ่งทำให้สะดวกและประหยัดในการดำเนินการ แต่ค่าที่ตรวจวัดได้จะมีระยะในแนวคิ่งต่างกันขึ้นอยู่กับระยะทางและขนาดมุมในแนวคิ่ง เนื่องจากพฤติกรรมของกลุ่มฝนมักขึ้นอยู่กับระดับความสูง ดังนั้นการใช้ข้อมูลแบบ PPI จึงทำให้ยากในการศึกษาตัวแปรทางอุณหภูมิต่ำที่สนใจ หรืออาจทำให้การแปลผลการตรวจวัดผิดเพี้ยนไปได้ เช่น คิดว่าค่าการสะท้อนจากมวลน้ำแข็งที่ระดับสูง คือ มีปริมาณฝนที่ตกมากซึ่งไม่ถูกต้อง



รูปที่ 2-12 ข้อมูลแบบพีพีไอ (PPI) จากการตรวจวัดที่มุมในแนวคิ่งมุมเดียว ซึ่งความสูงจะเปลี่ยนไปตามระยะทาง (ที่มา: http://www.grahi.upc.edu/menu/curs/html_pages/trasp2.html)

ข้อมูลอีกลักษณะหนึ่งเรียกว่าข้อมูลแบบ CAPPI (Constant Altitude Plan Position Indicator) ซึ่งจะแสดงตัวแปรที่ต้องการที่ค่าความสูงคงที่ โดยคัดเลือกค่าตรวจวัดที่ความสูงเดียวกันจากข้อมูลของมุมในแนวตั้งหลายๆ มุม ดังแสดงในรูปที่ 2-13 โดยส่วนมากข้อมูลที่มีความสูงคงที่จะมีลักษณะและพฤติกรรมที่ง่ายต่อการศึกษาและนิยมนำมาใช้เพื่อปรับค่าและคาดคะเนปริมาณน้ำฝน แต่ข้อมูลแบบ CAPPI จำเป็นต้องทำการตรวจวัดหลายมุม ซึ่งอาจเสียค่าใช้จ่ายสูงและใช้เวลาในการตรวจวัดนานขึ้น



รูปที่ 2-13 ข้อมูลแบบความสูงคงที่ (CAPPI) จากการตรวจวัดที่มุมในแนวตั้งหลายมุมและเลือกเฉพาะข้อมูลที่มีความสูงที่ต้องการ (ที่มา: http://www.grahi.upc.edu/menu/curs/html_pages/trasp2.html)

ข้อมูลความเข้มฝนในรูปแบบของคลื่นสะท้อนจากเม็ดฝนในอากาศนี้ (Radar Reflectivity) ไม่สามารถบอกปริมาณฝนที่ตกลงสู่พื้นดินได้โดยตรงเช่นเดียวกับการใช้สถานีวัดน้ำฝนภาคพื้นดิน การที่จะแปลงค่าคลื่นสะท้อนหรือค่า Z ซึ่งมีหน่วยเป็น mm^6/m^3 หรือเดซิเบล ($\text{dBZ} = 10 \log Z$) มาเป็นปริมาณน้ำฝนหรือค่า R ในหน่วยความลึกต่อเวลา เช่น มิลลิเมตรต่อชั่วโมง จำเป็นต้องใช้ความสัมพันธ์กับการกระจายของเม็ดฝน (Drop Size Distribution) Marshall และคณะ (ค.ศ. 1947) ได้ทำการทดลองและแสดงให้เห็นว่าเมื่อไม่มีผลของแรงในแนวตั้ง (1 วัน) ปริมาณน้ำฝนที่ตกลงในพื้นที่ (Rain-rate, R) จะสามารถประมาณได้จากค่าสัญญาณการสะท้อนกลับ (Z) ตามสมการ Z-R Relationship ดังต่อไปนี้

$$Z = aR^b \quad (2.1)$$

โดยที่ R คือความเข้มฝนมีหน่วยเป็น มิลลิเมตรต่อชั่วโมง (mm/hr) และ Z คือค่าสัญญาณการสะท้อนกลับจากคลื่นเรดาร์ มีหน่วยเป็น mm^6/m^3 * ค่าคงที่ a และ b เป็นค่าที่ขึ้นอยู่กับ การกระจายของขนาดเม็ดน้ำ (drop size distribution) ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงไปตามลักษณะของฝน พื้นที่และช่วงเวลา ในทางปฏิบัติจะนิยมใช้ค่า a และ b เป็นค่าคงที่สำหรับแต่ละสถานีเรดาร์หรือใช้ค่าเดียวกันภายในพื้นที่ลักษณะใกล้เคียงกัน หรืออาจปรับแก้ตามลักษณะฝนที่เกิดขึ้น ดังที่แสดงในตารางที่ 2-1

*หมายเหตุ: ความเข้มฝนที่นิยมนำมาแสดงส่วนใหญ่จะอยู่ในหน่วยเดซิเบล (dBZ) ซึ่งมีค่าเท่ากับ $\text{dBZ} = 10 \log (Z)$

ตารางที่ 2-1 ค่าคงที่ a และ b ในสมการ Z-R ที่นิยมใช้ในต่างประเทศ

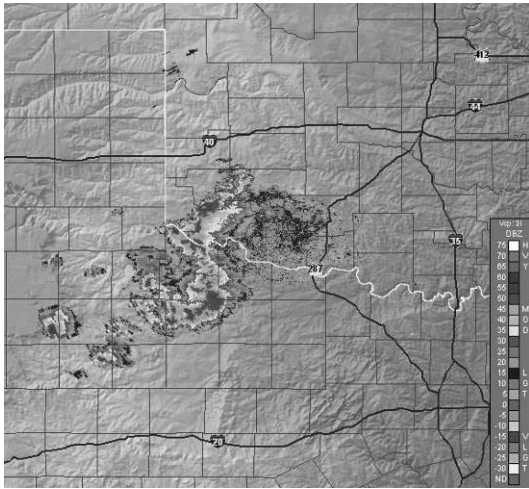
Z-R relationship	เหมาะสำหรับ	สามารถใช้ได้กับ
Marshall-Palmer ($Z=200R^{1.6}$)	ฝนแบบ Stratiform* โดยทั่วไป	
East-Cool Stratiform ($Z=130R^{2.0}$)	ฝนแบบ Stratiform ในฤดูหนาวของฝั่งตะวันออกของประเทศสหรัฐอเมริกา	ฝนที่เกิดจากการเคลื่อนที่ผ่านภูเขาทางฝั่งตะวันออกของประเทศสหรัฐอเมริกา
West-Cool Stratiform ($Z=75R^{2.0}$)	ฝนแบบ Stratiform ในฤดูหนาวของฝั่งตะวันตกของประเทศสหรัฐอเมริกา	ฝนที่เกิดจากการเคลื่อนที่ผ่านภูเขาทางฝั่งตะวันตกของประเทศสหรัฐอเมริกา
WSR-88D Convective ($Z=300R^{1.4}$)	ฝนแบบ Convective** ในฤดูร้อน Summer deep convection	ฝนใดๆ ที่ไม่ใช่แบบ Convective ในเขตร้อน (tropical)
Rosenfeld Tropical ($Z=250R^{1.2}$)	Tropical convective systems	

หมายเหตุ: * ฝนแบบ Stratiform มีลักษณะฝนเม็ดเล็กๆ ที่อัตราการตกค่อนข้างคงที่ และไม่รุนแรง ครอบคลุมพื้นที่เป็นบริเวณกว้าง
 ** ฝนแบบ Convective มีลักษณะเป็นเม็ดฝนขนาดใหญ่ อัตราการตกสูง และไม่คงที่ มักเกิดจากการพัฒนาความชื้นในแนวตั้ง
 (ที่มา <http://www.roc.noaa.gov>)

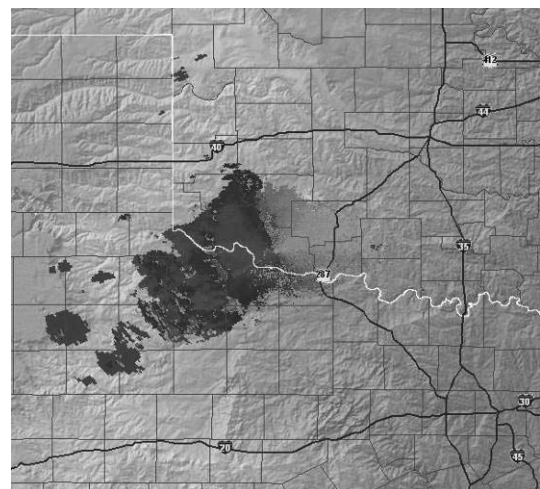
ข้อมูลฝนที่ได้จากการแปลงค่าการสะท้อนกลับของสัญญาณเรดาร์นี้ สามารถนำเสนอได้ในเชิงพื้นที่ที่มีความละเอียดสูง เช่น ความละเอียด 500x500 ตารางเมตรต่อจุด และที่ความถี่การตรวจวัดสูง เช่น ทุก 10 นาที ไปจนถึงรายชั่วโมงและรายวัน นอกจากนี้ข้อมูลฝนเชิงพื้นที่ที่ได้จากสถานีเรดาร์ตรวจอากาศยังสามารถนำไปใช้งานได้ทันที เนื่องจากการจัดเก็บเป็นข้อมูลดิจิทัลและส่งข้อมูลมายังส่วนกลางภายในระยะเวลาอันรวดเร็ว นอกจากนี้ข้อมูลฝนแล้วสถานีเรดาร์ตรวจอากาศแบบคอปเปอร์ในปัจจุบันยังให้ค่าสนามความเร็ว (เคลื่อนที่เข้าหรือออกจากสถานีเรดาร์) ด้วยดังแสดงในรูปที่ 2-14 และ 2-15 ข้อมูลที่ได้จากสถานีเรดาร์ตรวจอากาศดังกล่าวจึงมีประโยชน์อย่างมากกับงานที่ต้องใช้ข้อมูลเชิงพื้นที่ที่เป็นปัจจุบัน (Real Time) เพื่อการเตือนภัยและการดำเนินการผันน้ำเพื่อป้องกันน้ำท่วม อีกทั้งยังสามารถใช้เพื่อนำเข้าแบบจำลองทางอุตุนิยมวิทยาเพื่อพยากรณ์น้ำฝนในอนาคตได้อีกด้วยรูปที่ 2-16 แสดงตัวอย่างเครือข่ายของข้อมูลเรดาร์ NEXRAD ที่ใช้ในประเทศสหรัฐอเมริกาเพื่อการวิจัย วางแผน และดำเนินการจัดการทรัพยากรน้ำ การพยากรณ์และการเตือนภัย เป็นต้น

อย่างไรก็ดี ข้อมูลฝนที่ได้จากสถานีเรดาร์ตรวจอากาศนี้ก็มีข้อเสียในเรื่องความถูกต้องของข้อมูล เนื่องจากค่าที่สามารถวัดได้ไม่ใช่ปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมาถึงพื้นดิน โดยตรงเช่นเดียวกับที่วัดได้ด้วยเครื่องวัดน้ำฝนภาคพื้นดิน ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องติดตั้งเครื่องมือวัดน้ำฝนภาคพื้นดินควบคู่ไปด้วย เพื่อตรวจสอบและปรับแก้ปริมาณน้ำฝนที่คำนวณได้จากสถานีเรดาร์ นอกจากนี้เรดาร์ยังไม่สามารถตรวจจับฝนที่มีปริมาณน้อยได้อย่างถูกต้อง การตรวจวัดฝนโดยใช้เรดาร์ยังต้องการผู้เชี่ยวชาญที่มีความรู้ทางด้านเทคโนโลยีที่ซับซ้อน และมีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งและบำรุงรักษาสูงอีกด้วย นอกจากนี้ทั้งสถานีเรดาร์ตรวจอากาศและเครื่องวัดน้ำฝนภาคพื้นดิน ยังไม่สามารถติดตั้งในมหาสมุทรได้ นับว่าเป็นข้อจำกัดที่สำคัญของเครื่องตรวจวัดภาคพื้นดิน ทั้งนี้ข้อมูลจากบริเวณมหาสมุทรมีความสำคัญในการพยากรณ์การเคลื่อนตัวของพายุ ซึ่งมักมีต้นกำเนิดในมหาสมุทร

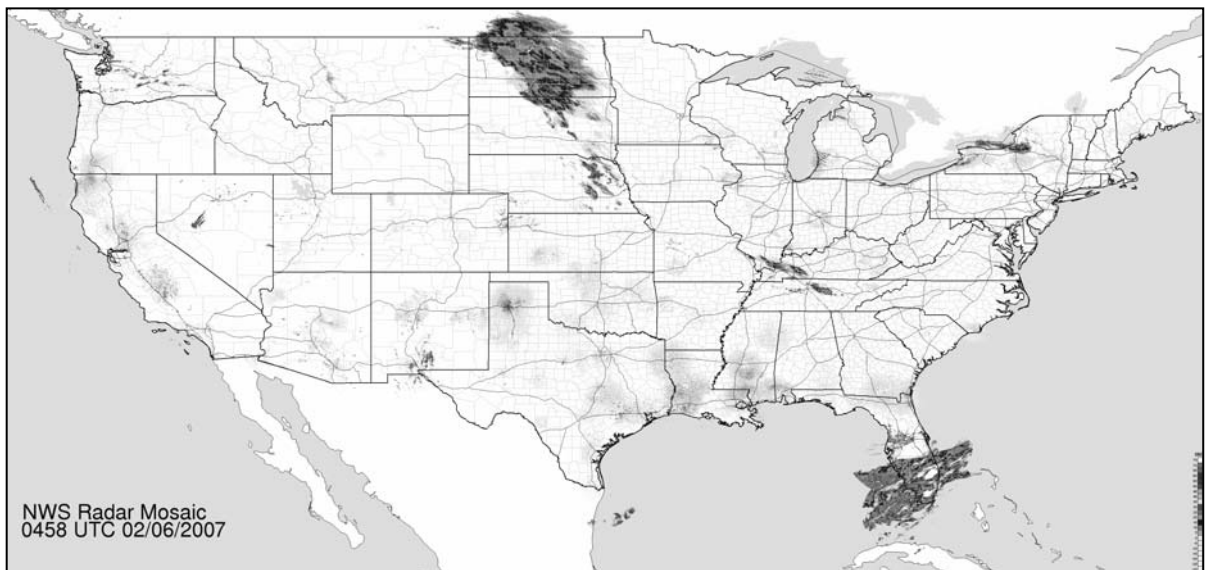
และสามารถสร้างความเสียหายอย่างมากทั้งแก่ชีวิตและทรัพย์สินอีกด้วย ด้วยเหตุจึงได้มีการพัฒนาดาวเทียมตรวจอากาศ เพื่อให้สามารถให้ข้อมูลที่ครอบคลุมพื้นที่มหาสมุทรได้ ดังจะได้อีกต่อไป



รูปที่ 2-14 ตัวอย่างภาพความเข้มสัญญาณการสะท้อนกลับ (dBZ) (ที่มา <http://www.srh.noaa.gov>)



รูปที่ 2-15 ตัวอย่างภาพความสนามความเร็วจากสถานีเรดาร์ คอปเปอร์ (ที่มา <http://www.srh.noaa.gov>)



รูปที่ 2-16 ตัวอย่างภาพแสดงความเข้มฝนในประเทศสหรัฐอเมริกา จากเครือข่ายสถานีเรดาร์ NEXRAD (ที่มา <http://www.srh.noaa.gov/ridge/radarImg/>)

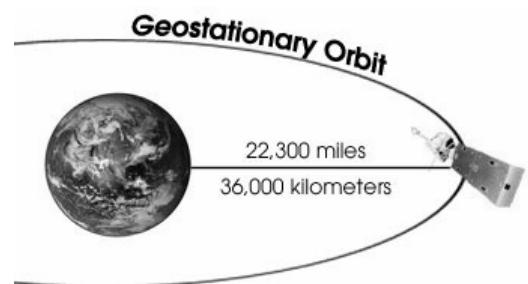
2.3 การตรวจวัดน้ำฝนด้วยดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา

ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาเป็นดาวเทียมที่ให้ข้อมูลเกี่ยวกับสภาพภูมิอากาศโดยใช้หลักการการปลดปล่อยพลังงาน (Emission) การดูดซับ (Absorption) และการสะท้อนกลับ (Reflection) ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ความยาวคลื่นหรือความถี่ต่างๆ จากสิ่งกีดขวางที่สนใจในอากาศ หลักการทำงานของดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาจะคล้ายกับสถานีเรดาร์ตรวจอากาศภาคพื้นดิน แต่จะแตกต่างกันเรื่องของตำแหน่งของเครื่องตรวจวัด อย่างไรก็ตามคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ดาวเทียมรับได้จะถูกส่งมายังเครื่องรับที่ภาคพื้นดินเพื่อนำไปประมวลผลและใช้งานได้ทันที เช่นเดียวกัน ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาสามารถตรวจวัดข้อมูลอากาศในที่ๆ เข้าถึงได้ยาก และในมหาสมุทรได้ ดังนั้นจึงเป็นแหล่งข้อมูลสำคัญสำหรับพื้นที่ที่ไม่สามารถตรวจวัดได้ด้วยเครื่องตรวจวัดน้ำฝนและสถานีเรดาร์ตรวจอากาศภาคพื้นดิน

(ก) ลักษณะและประเภทของดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา

ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาในปัจจุบันสามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มตามลักษณะวงโคจรของดาวเทียม ได้แก่ ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยานิควงโคจรสูง (High-Orbital Satellite) และชนิดวงโคจรต่ำ (Low-Orbital Satellite) โดยมีรายละเอียดดังนี้

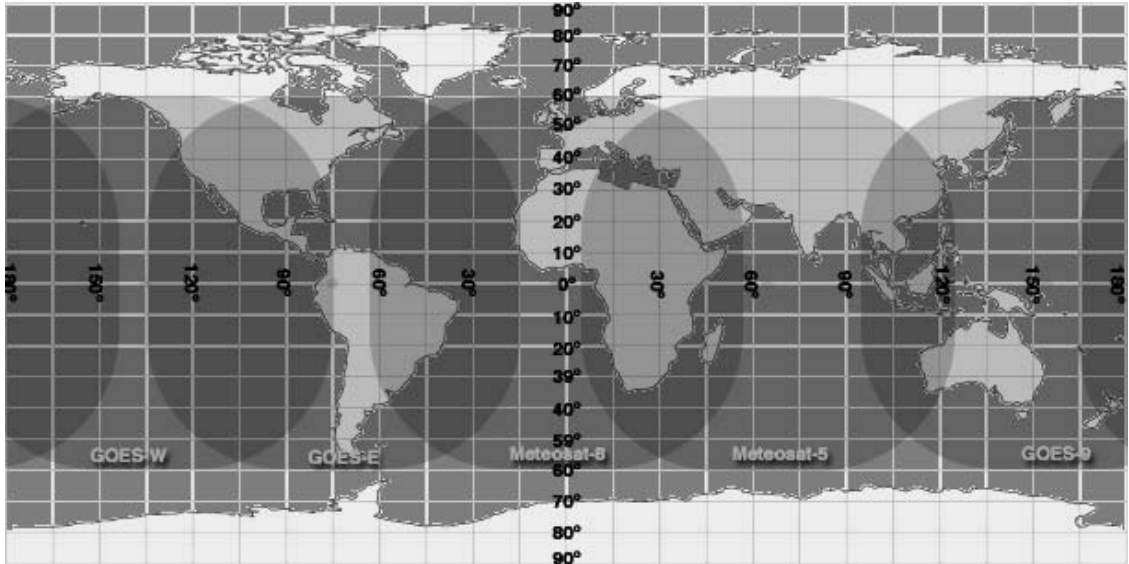
1. ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยานิควงโคจรสูง (High-Orbital Satellite) หรือที่รู้จักกันในนามของดาวเทียมชนิดวงโคจรค้างฟ้า (Geostationary Meteorological Satellite) ดาวเทียมดังกล่าวมีความสูงจากพื้นดินประมาณ 36,000 กิโลเมตร โคจรไปในทิศทางเดียวกับการหมุนของโลกและใช้เวลา 24 ชั่วโมงในการโคจรรอบโลกซึ่งเท่ากับที่โลกหมุนรอบตัวเอง (รูปที่ 2-17) ทำให้เสมือนว่าดาวเทียมลอยอยู่บนตำแหน่งเดิมของโลกเสมอ ดังนั้นจึงสามารถตรวจสอบสภาพอากาศ



รูปที่ 2-17 วงโคจรของดาวเทียมค้างฟ้า
(ที่มา: <http://cimss.ssec.wisc.edu/>)

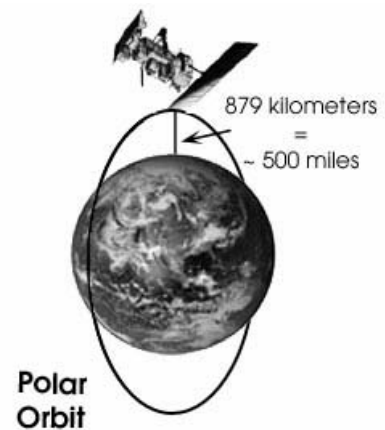
เหนือพื้นที่หนึ่งในโลกได้อย่างต่อเนื่องที่ความถี่สูง เช่น ทุก 5 หรือ 10 นาที และให้ข้อมูลเชิงพื้นที่จากมุมมองเดียวกัน (Perspective) จึงไม่ต้องมีการปรับแก้เมื่อต้องเปรียบเทียบข้อมูล อย่างไรก็ตามเนื่องจากดาวเทียมดังกล่าวอยู่ไกลจากโลกมาก จึงจำเป็นต้องติดตั้งเครื่องมือที่ตรวจจับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electro-magnetic wave) ที่มีความถี่และพลังงานสูง เช่น คลื่นความถี่ที่ตามองเห็น (Visible) หรืออินฟราเรด (Infrared) เพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่ที่เพียงพอต่อการใช้งาน และไม่สามารถให้ข้อมูลที่มีความละเอียดสูงมากๆ ได้ ซึ่งความละเอียดโดยทั่วไปของดาวเทียมประเภทดังกล่าว อยู่ที่ประมาณ 1-4 กิโลเมตร นอกจากนี้การที่ดาวเทียมประเภทนี้ประจำอยู่บริเวณเส้นศูนย์สูตรทำให้ข้อมูลการตรวจวัดในพื้นที่ใกล้ขั้วโลกมีการบิดเบี้ยวไปจากพิกัดปกติสูงและมีความละเอียดต่ำ

ปัจจุบันมีดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาชนิดวงโคจรค้างฟ้ากระจายอยู่หลายจุดรอบโลกดังแสดงในรูปที่ 2-18 ตัวอย่างของดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาแบบค้างฟ้าในปัจจุบันได้แก่ GOES-E, GOES-W, GOES-9, METEOSAT-5 และ METEOSAT-8 ดาวเทียมเหล่านี้มีประโยชน์อย่างมากในการศึกษาและพยากรณ์การเคลื่อนตัวของพายุและพฤติกรรมของบรรยากาศชั้นสูง

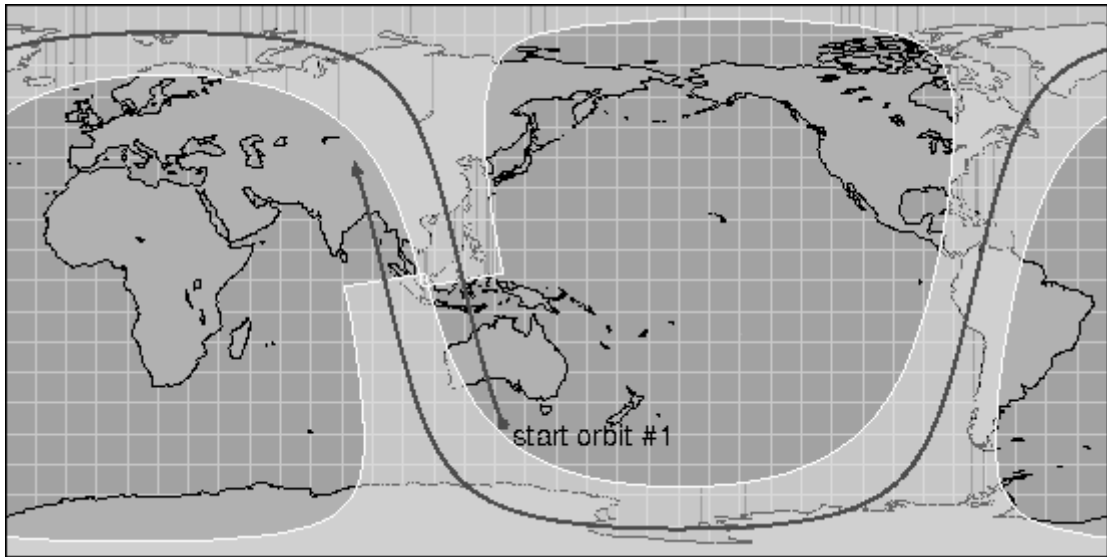


รูปที่ 2-18 ตำแหน่งของดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาแบบวงโคจรค้างฟ้าที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน (ที่มา: <http://asd-www.larc.nasa.gov/>)

2. ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาชนิดวงโคจรต่ำ (Low-Orbital Satellite) เป็นดาวเทียมที่มีวงโคจรต่ำกว่าดาวเทียมประเภทแรกมาก ทำให้สามารถตรวจจับสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่และมีพลังงานต่ำ เช่น คลื่นไมโครเวฟ ได้ที่ความละเอียดซึ่งเพียงพอต่อการใช้งาน และเมื่อติดตั้งเครื่องมือรับคลื่นความถี่และมีพลังงานสูง เช่น ความถี่ที่ตามองเห็นและอินฟราเรด จะให้ข้อมูลเชิงพื้นที่ที่มีความละเอียดสูงมากถึงหน่วยเซนติเมตร ดาวเทียมประเภทดังกล่าวมักมีลักษณะวงโคจรใกล้ขั้วโลก (Polar-Orbit Satellite) โดยจะมีความสูงจากพื้นประมาณ 850-880 กิโลเมตร (รูปที่ 2-19) โคจรรอบโลกหนึ่งรอบใช้เวลาประมาณ 102 นาที หรือในหนึ่งวันดาวเทียมจะโคจรรอบโลกประมาณ 14 รอบและจะเคลื่อนที่ผ่านเส้นศูนย์สูตรในเวลาเดิม (ตามเวลาที่ท้องถิ่น) 2 ครั้ง โดยโคจรเคลื่อนที่จากขั้วโลกเหนือไปยังขั้วโลกใต้ (Descending) 1 ครั้ง และโคจรเคลื่อนที่จากขั้วโลกใต้ไปยังขั้วโลกเหนือ (Ascending) อีก 1 ครั้ง ข้อมูลภาพที่ได้จะมีลักษณะเป็นแถบของข้อมูล (Track) ตามแนวการเคลื่อนที่ของดาวเทียมที่พาดผ่าน ดังแสดงในรูปที่ 2-20 ตัวอย่างของดาวเทียมประเภทนี้ได้แก่ Defense Meteorological Satellite Program (DMSP), Landsat, SPOT, และ NOAA Polar-orbiting Operational Environmental Satellites (NPOES) เป็นต้น



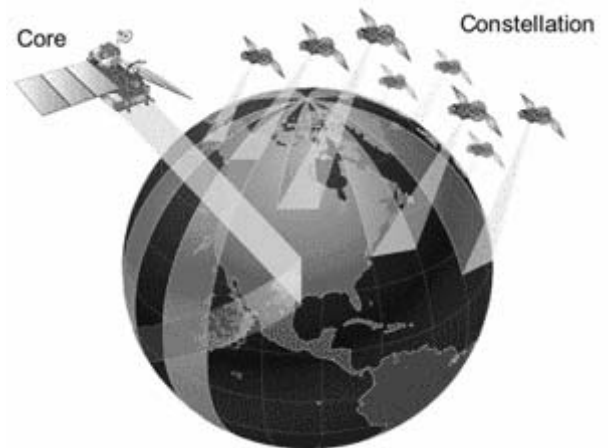
รูปที่ 2-19 วงโคจรของดาวเทียมชนิดวงโคจรใกล้ขั้วโลก (ที่มา: <http://cimss.ssec.wisc.edu>)



รูปที่ 2-20 แนวการเคลื่อนที่ในหนึ่งรอบของดาวเทียมชนิดวงโคจรใกล้ขั้วโลก (ที่มา <http://www.ncar.ucar.edu/>)

นอกจากดาวเทียมที่มีวงโคจรใกล้ขั้วโลกแล้ว ยังมีดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาวงโคจรต่ำบางดวงที่ไม่ได้มีวงโคจรเข้าใกล้ขั้วโลก เช่น The Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) ที่มีวงโคจรบริเวณเส้นศูนย์สูตรระหว่างละติจูดที่ 35 องศาเหนือและ 35 องศาใต้ ดาวเทียมดังกล่าวมีความสูงจากพื้นโลกประมาณ 350 กิโลเมตร ใช้เวลาประมาณ 91 นาทีในการโคจรรอบโลกหนึ่งรอบ และสามารถโคจรได้ประมาณ 16 รอบในหนึ่งวัน ดาวเทียม TRMM นี้บรรทุกเครื่องมือหลักสองชิ้น คือ Microwave Imager (TMI) และ Precipitation Radar (PR) ข้อมูลที่ได้จาก TRMM มีความสำคัญอย่างมากในการศึกษาเกี่ยวกับฝนและสภาพภูมิอากาศในพื้นที่มรสุมเขตร้อนใกล้เส้นศูนย์สูตร

ดาวเทียมวงโคจรต่ำแต่ละดวงจะโคจรมาซ้ำที่ตำแหน่งเดียวกันบนโลก (Revisit) ไม่เกิน 2 ครั้งต่อวันซึ่ง เป็นความถี่ที่ต่ำมากในการตรวจวัดสภาพอากาศ ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องใช้อุปกรณ์จากดาวเทียมประเภทนี้หลายดวงประกอบกันเพื่อให้ได้ข้อมูลในเวลาที่มีความละเอียดสูงขึ้น ในปัจจุบันได้มีการศึกษาอย่างจริงจังในต่างประเทศในการที่จะใช้ประโยชน์จากดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาวงโคจรต่ำเหล่านี้ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการตรวจวัดสภาพอากาศในระดับโลก และในปี ค.ศ. 2008 องค์การอวกาศของสหรัฐอเมริกาด้วยความร่วมมือของหลายประเทศ เช่น ญี่ปุ่น และประเทศในยุโรปจะได้ส่งดาวเทียมวงโคจรต่ำหลายดวงดังแสดงในรูปที่ 2-21 เพื่อตรวจสอบและเก็บข้อมูลสภาพอากาศทั่วโลกที่ความละเอียดค่อนข้างสูง ในชื่อโครงการ Global Precipitation Measurement หรือ GPM ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อวงการอุตุนิยมวิทยาของโลกต่อไป



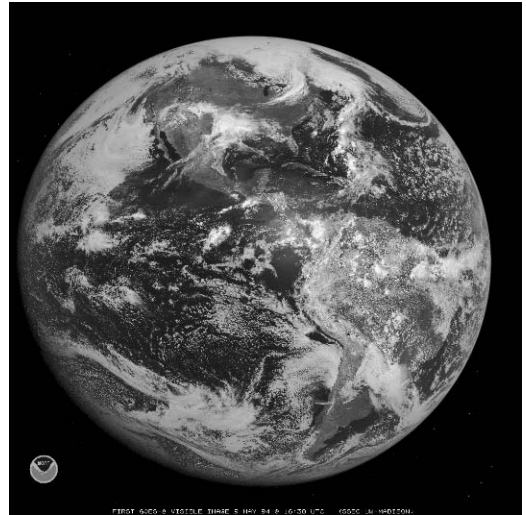
รูปที่ 2-21 โครงการ Global Precipitation Measurement (GPM) เพื่อการศึกษาฝนและสภาพอากาศทั่วโลก (ที่มา: <http://gpm.gsfc.nasa.gov/>)

(ข) ข้อมูลฝนจากดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา

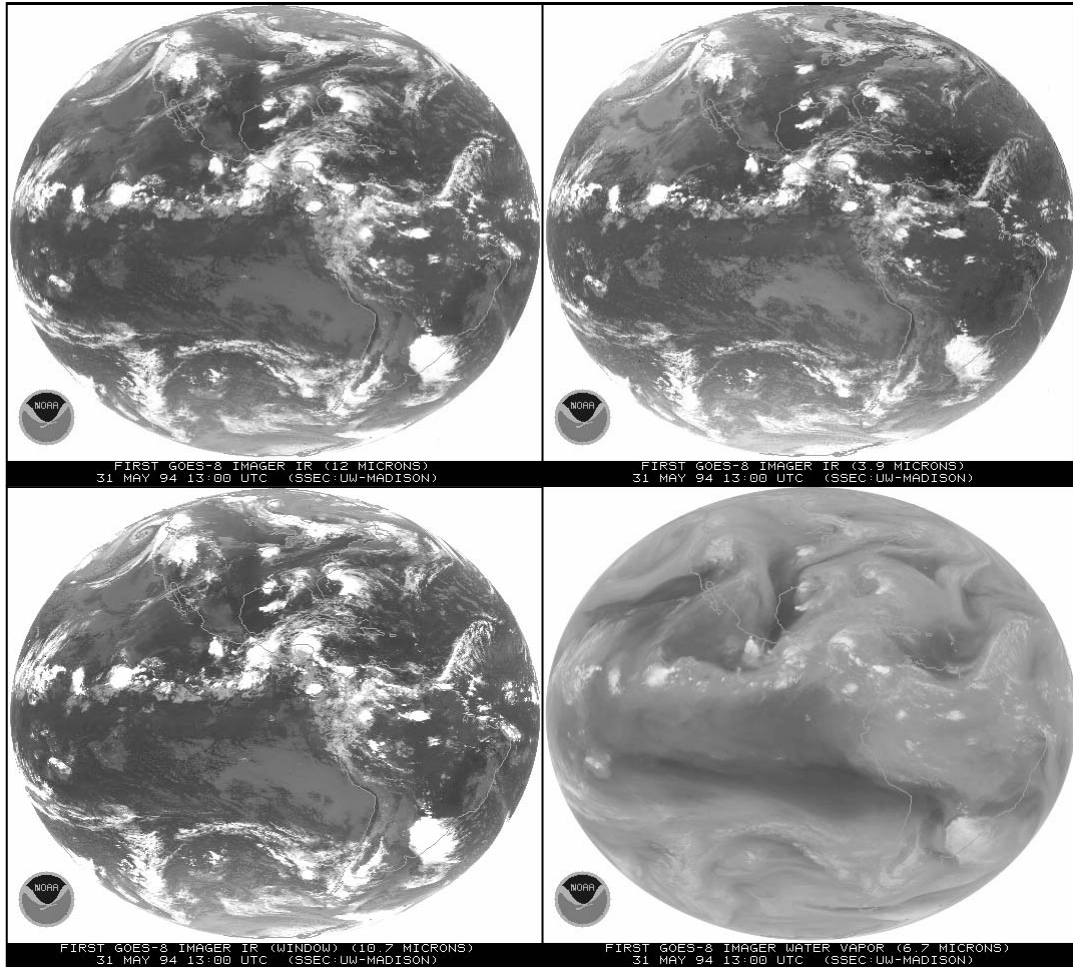
เครื่องตรวจวัดน้ำฝนที่ติดตั้งบนดาวเทียมอุตุนิยมวิทยานี้ไม่สามารถตรวจวัดปริมาณน้ำฝนที่ตกลงสู่พื้นดินได้โดยตรงเหมือนเครื่องตรวจวัดน้ำฝนภาคพื้นดิน แต่เครื่องมือดังกล่าวสามารถตรวจจับปริมาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่หรือสะท้อนออกมาจากพื้นดินและชั้นบรรยากาศต่างๆ แล้วนำมาคำนวณเพื่อหาความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำฝน ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับสถานีเรดาร์ตรวจอากาศภาคพื้นดิน ข้อมูลที่ได้จะมีความแตกต่างกันตามความยาวหรือความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เครื่องมือบนดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาเหล่านั้นรับได้ โดยสามารถแบ่งออกได้เป็นสองกลุ่มใหญ่ๆ ได้แก่ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความถี่ที่ตามองเห็นและอินฟราเรด (Visible and Infrared) และคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความถี่ไมโครเวฟ (Microwave)

เครื่องตรวจวัดสภาพภูมิอากาศที่สามารถรับคลื่นความถี่ที่ตามองเห็น (Visible) และคลื่นอินฟราเรด (Infrared) ได้นั้นสามารถนำไปติดตั้งบนดาวเทียมประเภทวงโคจรค้างฟ้า (Geostationary Satellite) ได้โดยยังสามารถให้ข้อมูลภาพที่มีความละเอียดค่อนข้างสูง คือประมาณ 1x1 ตารางกิโลเมตร สำหรับคลื่นที่ตามองเห็น และประมาณ 4x4 ตารางกิโลเมตร สำหรับคลื่นอินฟราเรด เนื่องจากคลื่นที่ความถี่ดังกล่าวมีพลังงานสูง จึงทำให้สามารถตรวจวัดสภาพอากาศบนจุดใดๆ ในโลกได้อย่างต่อเนื่อง อย่างไรก็ตาม คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ความถี่ดังกล่าวไม่สามารถทะลุเมฆที่บรรยากาศชั้นบนของโลกเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของบรรยากาศที่ชั้นล่างได้ ดังนั้นข้อมูลภาพที่ได้จากเครื่องตรวจวัดดังกล่าวมักจะเป็นอุณหภูมิยอดเมฆ ซึ่งไม่มีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณฝนที่ตกลงสู่พื้นดิน

ข้อมูลภาพที่ได้จะมีลักษณะเหมือนภาพจากกล้องดิจิทัลที่ถ่ายจากอวกาศ ดังตัวอย่างที่แสดงในรูปที่ 2-22 ซึ่งจะให้ข้อมูลที่มีความละเอียดแต่ละจุดจะได้ข้อมูลเฉพาะเวลากลางวันเท่านั้น สำหรับความถี่อินฟราเรดจะประกอบด้วยหลายความถี่ย่อย ดังตัวอย่างที่แสดงในรูปที่ 2-23 โดยในแต่ละความถี่จะมีความสัมพันธ์กับตัวแปรที่ต่างกัน เช่น ที่ความถี่ 6.7 ไมครอนจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำในอากาศมากที่สุด (Water Vapor) เป็นต้น คลื่นอินฟราเรดนี้มักจะใช้เพื่อหาข้อมูลสภาพอากาศในเวลากลางคืนที่คลื่นที่ตามองเห็นไม่สามารถให้ข้อมูลใดๆ ได้

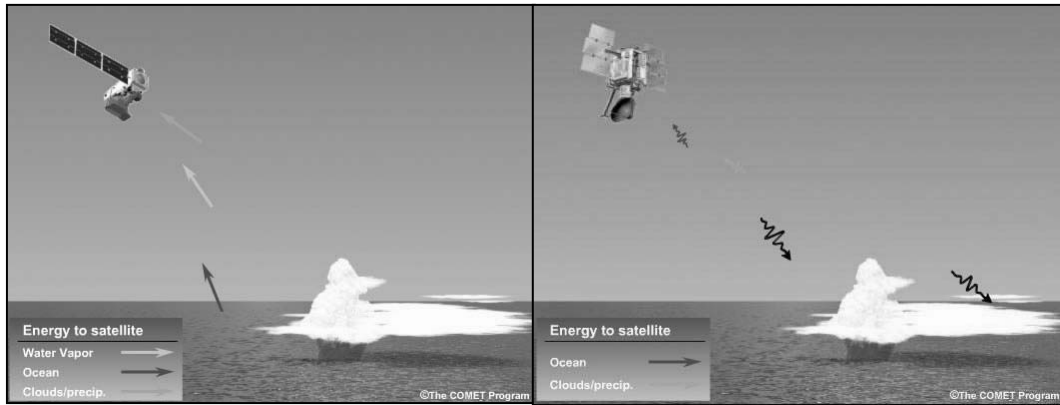


รูปที่ 2-22 อุณหภูมิยอดเมฆจากดาวเทียม GOES-8 ด้วยคลื่นความถี่ที่ตามองเห็น (ที่มา: <http://www.ssec.wisc.edu>)



รูปที่ 2-23 ภาพอุณหภูมิยอดเมฆจากดาวเทียม GOES-8 ด้วยคลื่นอินฟราเรดที่ความถี่ (a) 12, (b) 3.9, (c) 10.7, และ (d) 6.7 ไมครอน (ที่มา: <http://www.ssec.wisc.edu>)

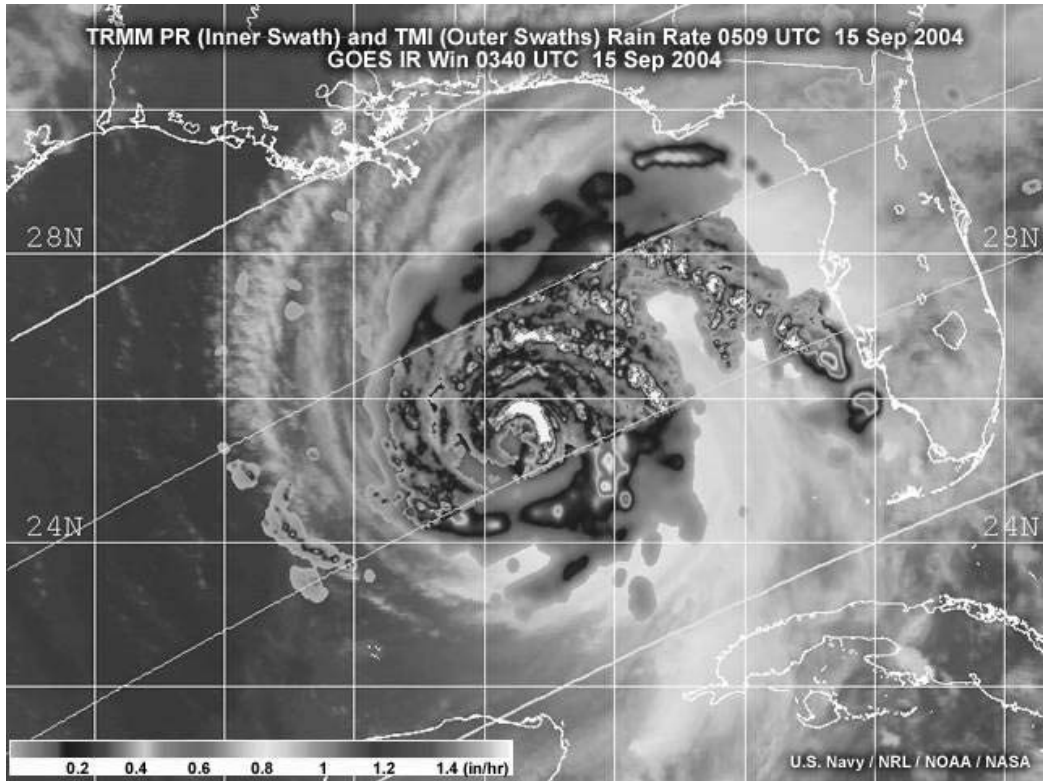
สำหรับคลื่นความถี่ไมโครเวฟนั้นเนื่องจากว่าคลื่นดังกล่าวมีความถี่และพลังงานต่ำ หากติดตั้งบนดาวเทียมประเภทวงโคจรค้างฟ้า จะทำให้ภาพที่ได้มีความละเอียดต่ำกว่าเกินกว่าจะใช้งานได้ จึงมักติดตั้งเครื่องมือดังกล่าวไว้บนดาวเทียมวงโคจรต่ำ ข้อมูลภาพเชิงพื้นที่ที่ได้จึงเป็นลักษณะของแถบข้อมูล (Track) และไม่สามารถเฝ้าติดตามและตรวจวัดสภาพอากาศที่จุดใดจุดหนึ่งบนพื้นโลกได้อย่างต่อเนื่องเหมือนดาวเทียมวงโคจรค้างฟ้า โดยส่วนใหญ่ อย่างไรก็ตามก็คลื่นไมโครเวฟนั้นมีความสามารถทะลุทะลวงเมฆชั้นสูง จึงสามารถตรวจสอบสภาพอากาศที่บริเวณบรรยากาศชั้นต่ำใกล้ผิวโลกได้ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำฝนที่ตกลงสู่พื้นผิวโลกมากกว่าข้อมูลอุณหภูมิยอดเมฆที่ตรวจสอบได้จากคลื่นความถี่ที่ตามองเห็นหรืออินฟราเรด เครื่องมือสำหรับตรวจวัดคลื่นไมโครเวฟนั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะ คือ (1) เครื่องมือที่รับคลื่นไมโครเวฟเพียงอย่างเดียว (Passive Microwave Instrument) จะตรวจสอบคลื่นไมโครเวฟที่ปล่อยออกมาจากโมเลกุลของน้ำและความชื้นในอากาศ เช่น เครื่องมือ SSM/I, AMSU, TRMM-TMI, NPOESS-CIMS เป็นต้น และ (2) เครื่องมือที่ส่งและรับคลื่นไมโครเวฟ (Active Microwave or Radar Instrument) จะทำหน้าที่ส่งคลื่นไมโครเวฟที่ความถี่ที่ต้องการมาสะท้อนกับวัตถุ เช่น ฝน ลูกเห็บ หรือละอองน้ำในอากาศ และรับคลื่นสะท้อนจากอนุภาคเหล่านั้น ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับสถานีเรดาร์ตรวจอากาศภาคพื้นดิน (รูปที่ 2-24) ตัวอย่างของเครื่องมือดังกล่าวได้แก่ TRMM-PR, RADARSAT, QUICKSAT, NPOESS-Altimeter เป็นต้น



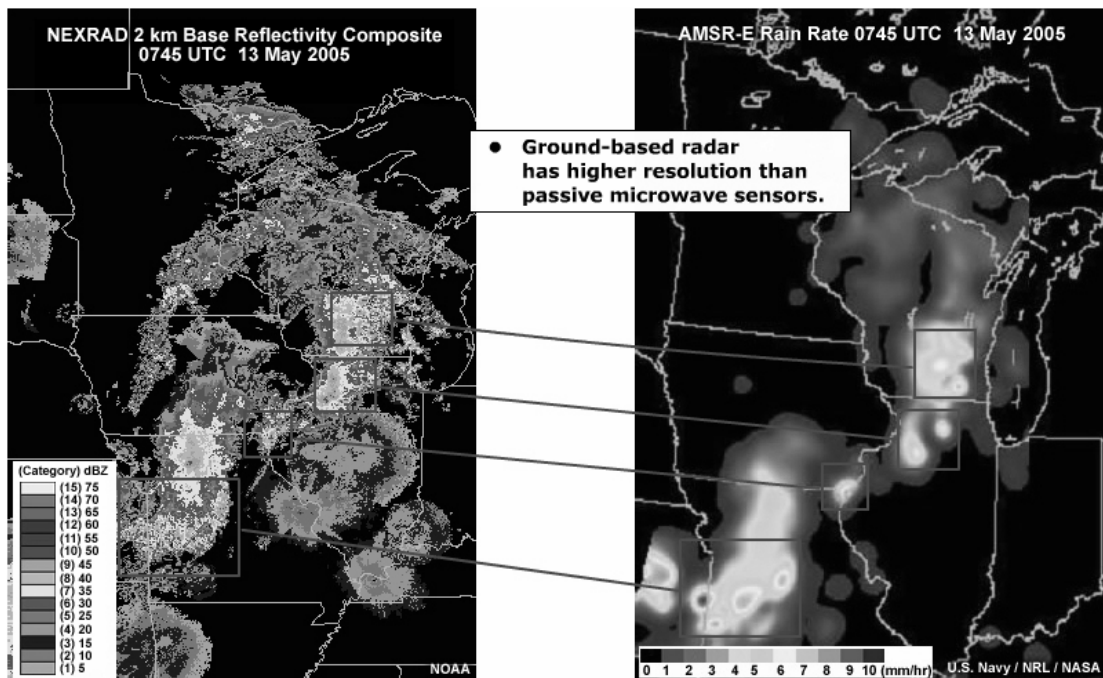
รูปที่ 2-24 ดาวเทียมตรวจสอบสภาพอากาศด้วยคลื่นไมโครเวฟแบบ Passive (ซ้าย) และแบบ Active (ขวา)
(ที่มา: The COMET Program - <http://www.comet.ucar.edu/>)

เนื่องจากคลื่นที่ทำการส่งออกไปและสะท้อนกลับมา (Active Microwave) จะมีพลังงานมากกว่าคลื่นที่ปล่อยออกมาจากอนุภาควัตถุ (Passive Microwave) ดังนั้นข้อมูลภาพที่ได้จากเครื่องมือแบบ Active Microwave จึงมีความละเอียดสูงกว่า นอกจากนี้เมื่อใช้คลื่นไมโครเวฟหลายๆ คลื่นความถี่ทั้งในแบบ Passive และ Active จะสามารถตรวจสอบสภาพอากาศที่ความสูงต่างๆกันในแนวตั้งได้อีกด้วย เครื่องตรวจวัดด้วยคลื่นไมโครเวฟนี้มีประโยชน์อย่างมากในการคาดคะเนพื้นที่ที่ฝนตก สำหรับพายุฝนที่ก่อตัวขึ้นในทะเล ซึ่งภาพถ่ายจากดาวเทียมค้างฟ้าไม่สามารถทะลวงเมฆได้ และภาพจากสถานีเรดาร์ภาคพื้นดินไม่สามารถครอบคลุมได้ถึง รูปที่ 2-25 แสดงตัวอย่างเปรียบเทียบภาพถ่ายพายุเฮอริเคนไอแวน (Ivan) บริเวณอ่าวเม็กซิโกเมื่อวันที่ 15 กันยายน 2547 จากดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา GOES ที่ติดตั้งเครื่องตรวจวัดที่ความถี่ที่ตามองเห็น และดาวเทียม TRMM ที่ติดตั้งเครื่องตรวจวัดที่ความถี่ไมโครเวฟ ทั้งแบบ Passive และ Active จะสังเกตเห็นว่าภาพถ่ายจากดาวเทียม GOES จะเห็นแค่เมฆชั้นสูง ซึ่งไม่จำเป็นว่าจะมีฝนหรือไม่ ส่วนภาพถ่ายจาก TRMM แสดงพื้นที่ที่ฝนตกอย่างชัดเจน โดยข้อมูลแบบ Active จะมีความละเอียดสูงกว่าข้อมูลแบบ Passive แต่ครอบคลุมพื้นที่น้อยกว่าเนื่องจากแถบข้อมูลมีขนาดเล็กกว่า

จะเห็นว่าข้อมูลที่ได้จากดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาสามารถใช้หาปริมาณน้ำฝนและคาดคะเนการเคลื่อนที่ของกลุ่มเมฆฝนได้ดีสำหรับพื้นที่ขนาดใหญ่ เช่นระดับภูมิภาค ระดับทวีป หรือระดับโลก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่ห่างไกลและบริเวณมหาสมุทรซึ่งไม่สามารถหาข้อมูลสภาพอากาศได้จากแหล่งอื่น แต่ข้อมูลฝนจากดาวเทียมวงโคจรต่ำที่ติดตั้งเครื่องมือซึ่งรับคลื่นไมโครเวฟยังมีข้อจำกัดในเรื่องความถี่ของข้อมูล จึงมีความจำเป็นต้องใช้ดาวเทียมหลายดวงเพื่อให้สามารถตรวจวัดและติดตามเหตุการณ์เหนือพื้นที่ศึกษาต่างๆได้อย่างทันทั่วทั้งที่ นอกจากนี้ในปัจจุบันข้อมูลฝนเชิงพื้นที่ยังมีข้อจำกัดในเรื่องความละเอียดเมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลฝนจากสถานีเรดาร์อีกด้วยดังตัวอย่างในรูปที่ 2-25 ดังนั้นข้อมูลที่ได้จากเรดาร์ตรวจอากาศยังมีความสำคัญสำหรับพื้นที่ขนาดกลางและขนาดเล็กในการคาดคะเนและพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนอยู่มาก



รูปที่ 2-25 เปรียบเทียบภาพเมฆจากดาวเทียม GOES ในคลื่นความถี่ visible และข้อมูลฝนจากดาวเทียม TRMM ในคลื่นความถี่ Microwave ทั้งแบบ Active และ Passive (ที่มา: The COMET Program - <http://www.comet.ucar.edu/>)



รูปที่ 2-26 เปรียบเทียบข้อมูลฝนที่ตรวจได้จากสถานีเรดาร์ตรวจอากาศภาคพื้นดิน NEXRAD และข้อมูลจาก AMSR-E ที่ติดตั้งบนดาวเทียม Aqua (ที่มา: The COMET Program - <http://www.comet.ucar.edu/>)

2.4 ข้อดีข้อเสียของเครื่องมือตรวจวัดน้ำฝนแบบต่างๆ

จากที่ได้กล่าวมาแล้วเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดปริมาณน้ำฝนที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมีอยู่หลายประเภท อันได้แก่ เครื่องตรวจวัดน้ำฝนภาคพื้นดิน (Rain-gauge) สถานีเรดาร์ตรวจอากาศ (Weather Radar Station) ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยานิกวงโคจรต่ำ (Low-Orbital Meteorological Satellite) ที่ตรวจวัดคลื่นไมโครเวฟ และดาวเทียมอุตุนิยมวิทยานิกวงโคจรสูง (High-Orbital Meteorological Satellite) ที่ตรวจวัดคลื่นความถี่ที่ตามองเห็น และคลื่นอินฟราเรด เครื่องตรวจวัดเหล่านี้มีคุณสมบัติ แนวทางและวิธีการในการตรวจวัดและภาคคะเนน้ำฝน ข้อมูลน้ำฝนที่ได้ ความถูกต้องและความละเอียดแตกต่างกันออกไป

ข้อมูลที่ได้จากเครื่องมือตรวจวัดน้ำฝนภาคพื้นดิน (Rain-gauge) สามารถตรวจวัดปริมาณน้ำฝนที่ตกลงในพื้นที่ย่อยๆ ได้โดยตรง ดังนั้นหากนำมาใช้เพื่อหาปริมาณน้ำฝนที่จุดใดจุดหนึ่งจะมีความถูกต้องสูง และสามารถตรวจวัดน้ำฝนได้อย่างต่อเนื่อง อย่างไรก็ตาม ใ้การที่ข้อมูลฝนเชิงพื้นที่ที่ได้จากการเฉลี่ยข้อมูลฝนจะมีความคลาดเคลื่อนหากมีจำนวนเครื่องตรวจวัดต่อพื้นที่น้อย และไม่สามารถติดตั้งเครื่องตรวจวัดดังกล่าวในมหาสมุทรหรือถิ่นทุรกันดารได้ ดังนั้นข้อมูลฝนจากเครื่องตรวจวัดภาคพื้นดินจึงเหมาะสมกับพื้นที่ศึกษาขนาดเล็กที่เข้าถึงได้ง่าย



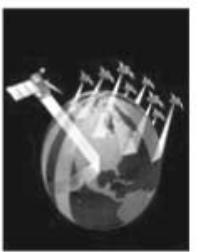

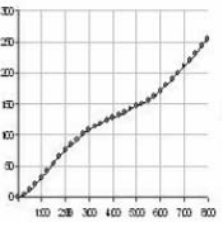
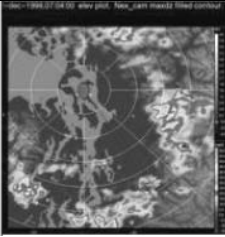
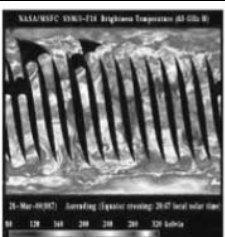
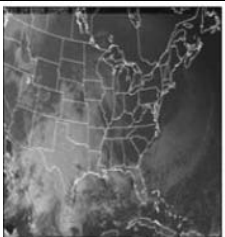
ข้อมูลฝนที่ได้จากสถานีเรดาร์ตรวจอากาศภาคพื้นดิน (Ground-based Weather Radar Station) เป็นข้อมูลที่มีความละเอียดทั้งในเชิงพื้นที่และความถี่การตรวจวัด สามารถเข้าถึงได้อย่างรวดเร็ว จึงเหมาะสมกับการใช้แบบ Real-time และการพยากรณ์ข้อมูลฝนในอนาคต อย่างไรก็ตามข้อเสียของข้อมูลฝนที่วัดอยู่ในรูปของคลื่นสะท้อนกลับของเรดาร์ที่ต้องการการปรับแก้เพื่อให้สามารถแสดงข้อมูลฝนที่ถูกต้อง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องตั้งเครื่องตรวจวัดน้ำฝนควบคู่กันไปด้วย เพราะความละเอียดและความถี่ของข้อมูล รวมทั้งความแม่นยำในการนำเสนอข้อมูลฝนเชิงพื้นที่ ข้อมูลฝนจากเรดาร์จึงมีประโยชน์มากสำหรับการวางแผน ออกแบบ การจัดการน้ำและการเตือนภัย รวมไปถึงการพยากรณ์ และการศึกษาเกี่ยวกับฝน ในพื้นที่ขนาดเล็กและขนาดกลาง หรือในพื้นที่ขนาดใหญ่หากมีการวางเครือข่ายสถานีเรดาร์ให้ครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมดได้อย่างต่อเนื่อง อย่างไรก็ตามข้อจำกัดที่สำคัญของข้อมูลจากแหล่งดังกล่าวคือบริเวณมหาสมุทรและพื้นที่กันดารที่ไม่สามารถติดตั้งสถานีเรดาร์ได้ บริเวณดังกล่าวโดยเฉพาะในมหาสมุทรมักเป็นบริเวณที่มีการก่อตัวของพายุที่มีความรุนแรงและก่อให้เกิดความเสียหายสูง ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องใช้ข้อมูลจากแหล่งอื่น อันได้แก่ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาในการศึกษาการก่อตัวของพายุ พยากรณ์และวางแผนป้องกันความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้น

ข้อมูลที่ได้จากดาวเทียมอุตุนิยมวิทยานั้นแบ่งออกได้เป็นสองประเภท คือข้อมูลจากดาวเทียมวงโคจรต่ำที่ติดตั้งเครื่องมือวัดคลื่นความถี่ไมโครเวฟ ทั้งแบบ Active และ Passive สามารถให้ข้อมูลปริมาณน้ำฝนและสภาพอากาศที่ชั้นบรรยากาศใกล้ผิวโลกได้ โดยมีความถูกต้องใกล้เคียงกับข้อมูลจากเรดาร์ตรวจอากาศ แต่ที่ความละเอียดน้อยกว่า นอกจากนั้นความถี่ในการตรวจวัดเหนือพื้นที่หนึ่งๆ ยังมีค่าต่ำ เนื่องจากดาวเทียมประเภทดังกล่าวจะโคจรผ่านเหนือพื้นที่เดิมประมาณ 2 ครั้งต่อวันเท่านั้น จึงมีความจำเป็นต้องใช้ข้อมูลจากดาวเทียมหลายดวง ในทางตรงกันข้ามข้อมูลที่ได้จากดาวเทียมวงโคจรสูง หรือดาวเทียมค้างฟ้า ที่บรรทุกเครื่องตรวจวัดคลื่นความถี่ที่ตามองเห็นและความถี่อินฟราเรด สามารถแสดงข้อมูลเมฆและบรรยากาศชั้นสูงได้อย่างต่อเนื่อง ที่ความละเอียดค่อนข้างสูง แต่เนื่องจากคลื่นความถี่ดังกล่าวไม่สามารถทะลุทะลวงเมฆและบรรยากาศชั้นสูงได้ จึงสามารถใช้เพื่อช่วยในการตรวจสอบหาการเคลื่อนที่ของเมฆ และภาคคะเนบริเวณที่อาจจะเกิดฝนได้คร่าวๆ เท่านั้น

อย่างไรก็ดี ข้อมูลจากดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาทั้งสองประเภท มีความสำคัญอย่างมากในการตรวจวัด คาดคะเน และศึกษาปริมาณน้ำฝนสำหรับพื้นที่ขนาดใหญ่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณเหนือมหาสมุทรและพื้นที่ทุรกันดารซึ่งไม่มีข้อมูลจากแหล่งอื่น

ลักษณะของข้อมูลฝนที่ได้จากเครื่องมือวัดแบบต่างๆ ได้สรุปไว้ในตารางที่ 2-2 จะเห็นได้ว่าเครื่องมือแต่ละอย่างนั้น มีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันไป และมีความเหมาะสมกับเหตุการณ์หรือพื้นที่ศึกษาต่างกันด้วย แนวทางหนึ่งซึ่งจะใช้ประโยชน์จากข้อมูลฝนที่มีอยู่อย่างมีประสิทธิภาพ คือความพยายามในการรวมข้อดีของข้อมูลฝนที่ได้จากแหล่งต่างๆ เพื่อให้ข้อมูลที่มีความถูกต้อง ละเอียดทั้งในเชิงพื้นที่และเวลา เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงที่สุด (Chatdarong, 2006)

ตารางที่ 2-2 สรุปข้อดี ข้อเสียและลักษณะข้อมูลฝนจากเครื่องตรวจวัดประเภทต่างๆ

ชนิดเครื่องมือ	 เครื่องตรวจวัดน้ำฝนภาคพื้นดิน	 สถานีเรดาร์ตรวจอากาศ	 ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาชินดวงโคจรต่ำ	 ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาชินดวงโคจรสูง
ข้อมูลที่วัด	ปริมาณฝนสะสม	การสะท้อนของฝน	การสะท้อนของฝน	อุณหภูมิยอดเมฆ
ตัวอย่างข้อมูล				
ความถูกต้องของข้อมูล	ดี (เฉพาะตำแหน่ง)	ดี	ดี	ไม่ดี
พื้นที่ครอบคลุม	เฉพาะจุด	ระดับภูมิภาค	ระดับโลก	ระดับโลก
ความถี่ในการตรวจวัด	ความถี่ตามต้องการ	ความถี่ตามต้องการ	ความถี่น้อย	ความถี่ตามต้องการ

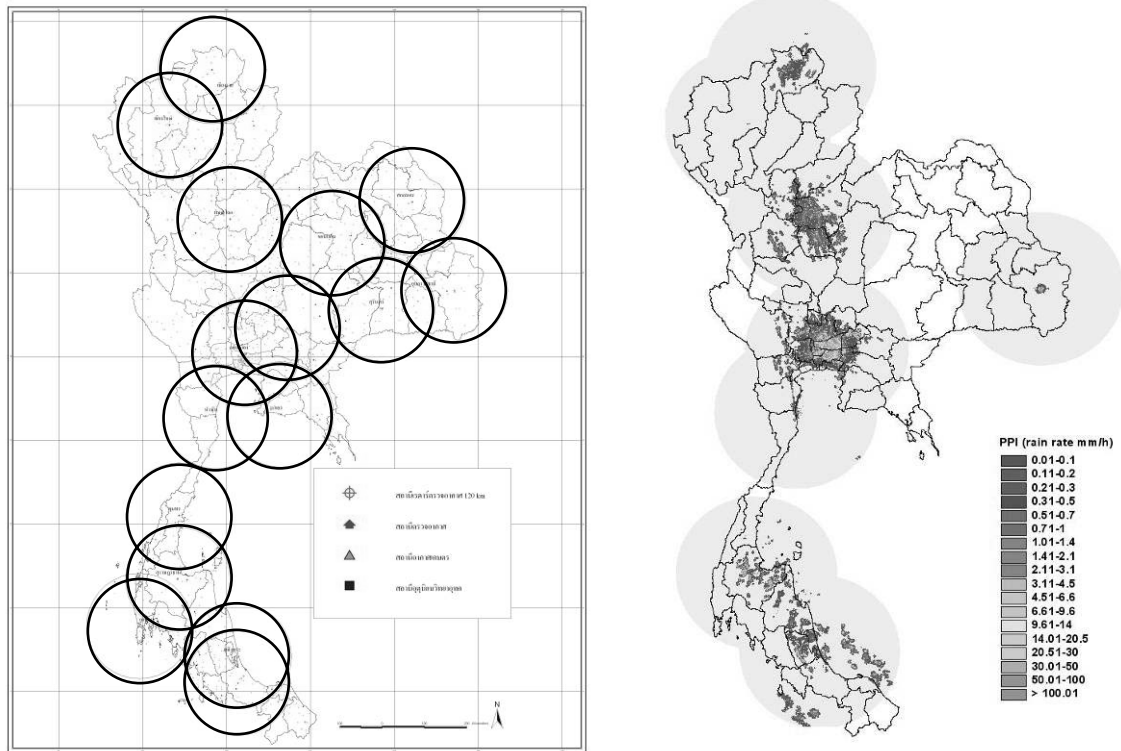
(ที่มา: Chatdarong, 2006)

3. ข้อมูลระยะไกลในประเทศไทยเพื่อการตรวจวัดฝน

3.1 ข้อมูลโครงข่ายเรดาร์ในประเทศไทย

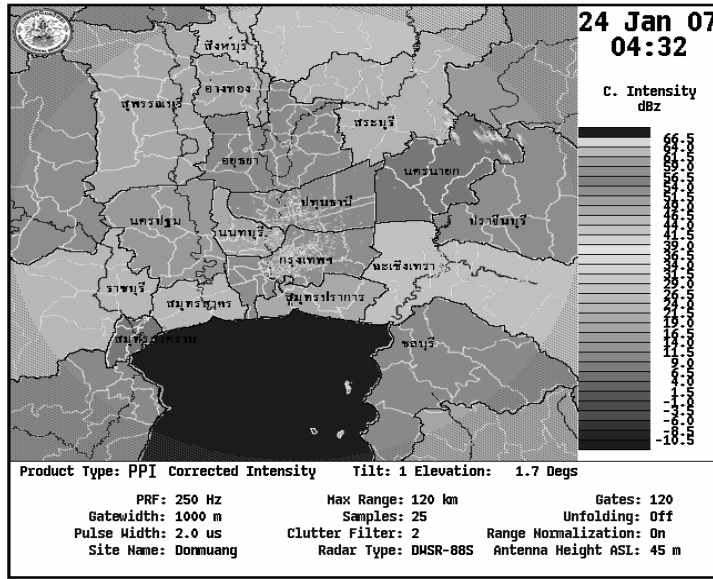
ปัจจุบันเรดาร์ได้มีการจัดตั้งโดยหลายหน่วยงาน เพื่อใช้งานตรวจวัดสภาพอากาศ ซึ่งหน่วยงานที่รับผิดชอบ ได้แก่ กรมอุตุนิยมวิทยา สำนักฝนหลวงและการบินเกษตร และสำนักการระบายน้ำ กรุงเทพมหานคร

(1) เรดาร์ในความรับผิดชอบของกรมอุตุนิยมวิทยา ซึ่งมีหน่วยงานเครือข่ายเรดาร์ ซึ่งรับผิดชอบในการรับและรวบรวมข้อมูลจากสถานีเครือข่ายเรดาร์ทุกสถานีทุก 3 ชั่วโมง และทุกชั่วโมงในกรณีเกิดพายุ รวมทั้งการผลิตภาพที่ได้รับจากสถานีเครือข่ายเรดาร์ เริ่มติดตั้งและเริ่มใช้เรดาร์ตั้งแต่ พ.ศ. 2519



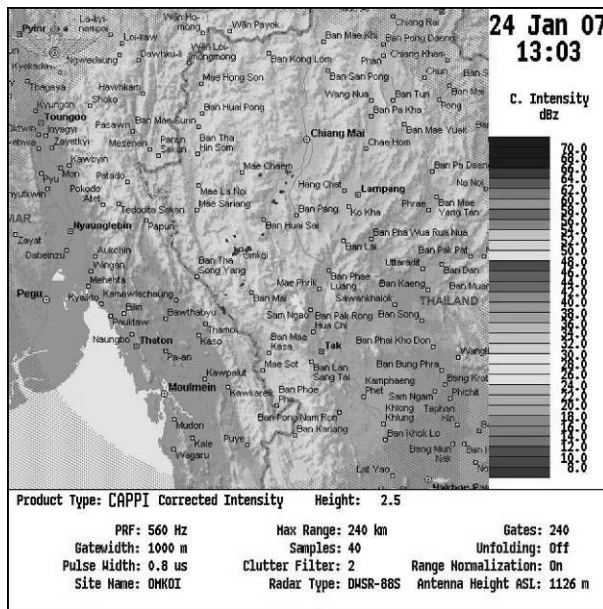
รูปที่ 3-1 โครงข่ายเรดาร์และตัวอย่างภาพเรดาร์ในความรับผิดชอบของกรมอุตุนิยมวิทยา (ที่มา: กรมอุตุนิยมวิทยา)

ปัจจุบันมีเรดาร์ทั้งหมด 23 สถานี ได้แก่ สถานีเรดาร์ตรวจอากาศเชิงราย เชียงใหม่ พิษณุโลก ขอนแก่น สกลนคร สุรินทร์ อุบลราชธานี ดอนเมือง ระยอง หัวหิน ชุมพร สุราษฎร์ธานี ภูเก็ต สทิงพระ กรุงเทพฯ แม่ฮ่องสอน นราธิวาส ระนอง ตรัง สุวรรณภูมิ เขาเจ็พ กระบี่และ Mobile radar อีก 1 ตัว นอกจากนั้นยังอยู่ระหว่างการจัดซื้ออีก 2 ตัว คือที่เพชรบูรณ์ และ เกาะสมุย

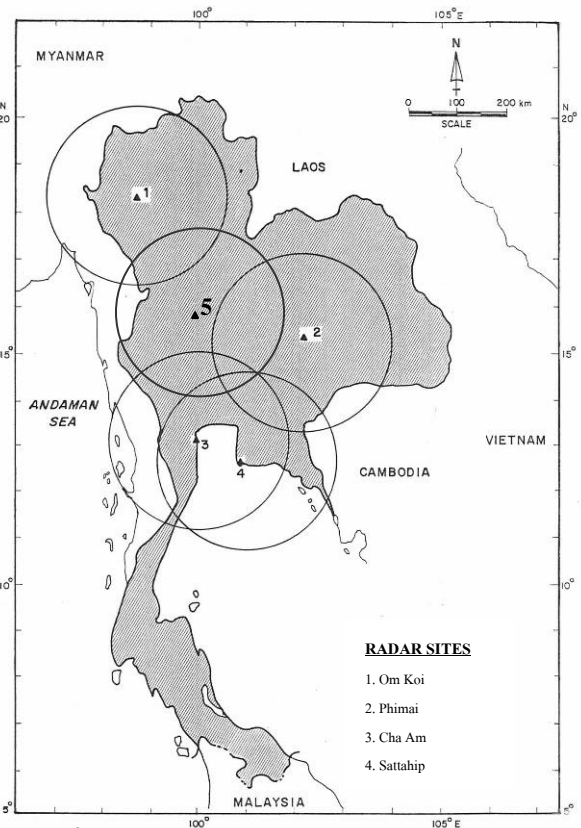


รูปที่ 3-2 ตัวอย่างภาพจากเรดาร์ในความรับผิดชอบของกรมอุตุนิยมวิทยา
(ที่มา: กรมอุตุนิยมวิทยา)

(2) เรดาร์ในความรับผิดชอบของสำนักฝนหลวงและการบินเกษตร มีเรดาร์อยู่ในความรับผิดชอบทั้งสิ้น 5 สถานี ซึ่งเริ่มติดตั้งตั้งแต่ พ.ศ. 2534 ได้แก่ สถานีเรดาร์พิมาย อมก้อย ชะอำ สัตหีบ และที่เพิ่งติดตั้ง คือเรดาร์ตาคี

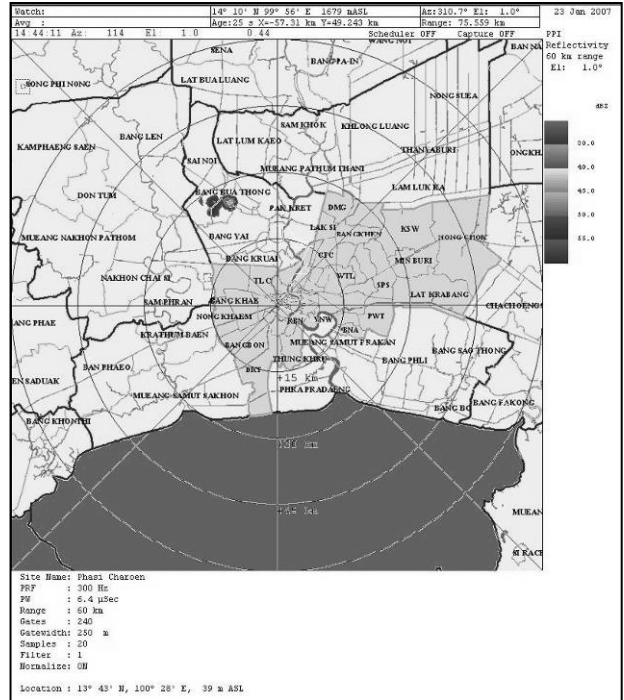


รูปที่ 3-3 ตัวอย่างภาพจากเรดาร์อมก้อยในความรับผิดชอบของ
สำนักฝนหลวงและการบินเกษตร(ที่มา: สำนัก
ฝนหลวงและการบินเกษตร)



รูปที่ 3-4 โครงข่ายเรดาร์ในความรับผิดชอบของสำนัก
ฝนหลวงและการบินเกษตร

(3) เรดาร์ในความรับผิดชอบของสำนักงานระบายน้ำกรุงเทพมหานคร มีการติดตั้งเรดาร์เพื่อตรวจวัดอากาศ จำนวน 2 แห่ง ที่สถานีเรดาร์บางนา ตั้งอยู่ที่กรมอุตุนิยมวิทยา และสถานีเรดาร์ภาษีเจริญ ตั้งอยู่ที่ศูนย์ป้องกันน้ำท่วมภาษีเจริญ ซึ่งเรดาร์จะสำรวจรายละเอียดและพฤติกรรมของฝน และนำมาใช้ในการประเมินและพยากรณ์น้ำฝนในเขตกรุงเทพมหานคร

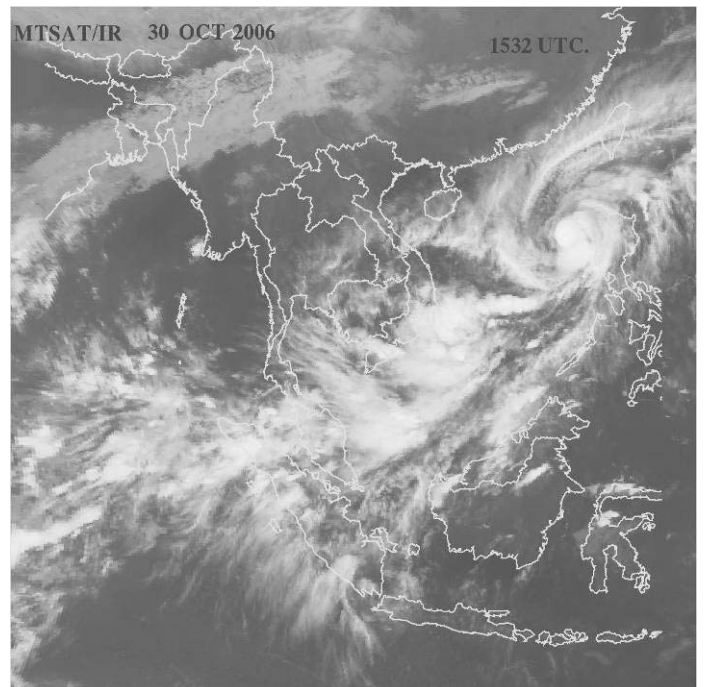


รูปที่ 3-5 ตัวอย่างภาพจากเรดาร์ภาษีเจริญในความรับผิดชอบของกรุงเทพมหานคร (ที่มา: สำนักระบายน้ำ กรุงเทพมหานคร)

3.2 ข้อมูลของดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาที่ประเทศไทยรับสัญญาณ

หน่วยงานที่รับสัญญาณของดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาหลัก ๆ ได้แก่ กรมอุตุนิยมวิทยา และสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) โดยมีรายละเอียดของการรับสัญญาณดังนี้

- กรมอุตุนิยมวิทยา มีหน่วยงานที่ดูแลการรับสัญญาณดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาโดยตรงได้แก่ งานดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา มีหน้าที่และความรับผิดชอบในการรับสัญญาณจากดาวเทียม รับและรวบรวมข้อมูล GTS รวมทั้งการผลิตภาพที่ได้รับจากดาวเทียม ในปัจจุบันทำการรับสัญญาณจากดาวเทียม 3 ดวง ได้แก่ ดาวเทียม GMS - 5 (ปัจจุบันเป็นดาวเทียม MTSAT) รับสัญญาณทุกชั่วโมง วันละ 24 ครั้ง โดยดาวเทียม NOAA - 12 และ NOAA - 14 รับสัญญาณทุก 6 ชั่วโมง วันละ 4 ครั้ง



รูปที่ 3-6 ตัวอย่างภาพจากข้อมูลดาวเทียม MTSAT ของประเทศญี่ปุ่นที่กรมอุตุนิยมวิทยาได้ดำเนินการรับสัญญาณ (ที่มา: กรมอุตุนิยมวิทยา)

- สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) เป็นอีกหน่วยงานหนึ่งที่ทำหน้าที่รับสัญญาณจากดาวเทียมเช่นกัน ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นดาวเทียมเพื่อการสำรวจทรัพยากร โดยดาวเทียมที่รับสัญญาณอยู่ในปัจจุบันได้แก่ LANDSAT-5, LANDSAT-7, ISR-1C, IRS-1D, RADARSAT-1, Terra (MODIS), IKONOS และ QuickBird ปัจจุบันหน่วยงานต่างๆ ได้เริ่มนำข้อมูลที่ได้มาประยุกต์เข้ากับงานที่เกี่ยวข้อง เช่น งานด้านป่าไม้ ด้านการเกษตร ด้านการใช้ที่ดิน ด้านธรณีวิทยา ด้านอุทกวิทยา ด้านสมุทรศาสตร์ ด้านการทำแผนที่ ด้านภัยธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เป็นต้น

3.3 การประมาณปริมาณฝนจากข้อมูลตรวจวัดระยะไกลในประเทศไทย

1) การประมาณปริมาณฝนจากข้อมูลเรดาร์ เนื่องจากเรดาร์ไม่ได้วัดปริมาณฝนโดยตรง แต่ใช้ข้อมูลที่ได้จากการวัดในรูปแบบความแรงของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่สะท้อนกลับมายังเรดาร์หลังจากกระทบเม็ดฝน ซึ่งค่าความแรงของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ได้รับจะถูกแปลงมาเป็นค่าการสะท้อนของเรดาร์ (Radar Reflectivity) ซึ่งสามารถแสดงผลเป็นชั้นสีต่างๆ ในภาพเรดาร์ และข้อมูลค่าการสะท้อนนี้จะถูกแปลงเป็นค่าความเข้มฝน (สมการ Z-R) หลังจากนั้นจะปรับแก้ฝนจากเรดาร์ให้เป็นฝนบนดิน ซึ่งได้เริ่มมีงานวิจัยเพื่อศึกษาและประยุกต์ข้อมูลดังกล่าวให้เหมาะสมกับพื้นที่ที่ติดตั้งเรดาร์ในประเทศไทย ดังนี้

การแปลงค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ (Radar Reflectivity) เป็น ค่าความเข้มฝน ด้วยสมการ Z-R โดย $Z = aR^b$ ซึ่งค่าพารามิเตอร์ a และ b จะขึ้นอยู่กับลักษณะการกระจายตัวของเม็ดฝนที่สำรวจ จึงทำให้ค่าพารามิเตอร์ a และ b มีค่าเปลี่ยนแปลงทั้งในเชิงพื้นที่และเวลา โดยทั่วไปนิยมใช้ค่าที่แตกต่างกัน 2 สมการ สำหรับฝนชนิด Convective และ Stratiform ซึ่งถ้าใช้ในพื้นที่ที่ต่างกันก็จะมีค่าพารามิเตอร์ของสมการแตกต่างกันอีกด้วย การหาค่าสมการ Z-R จะต้องมีการสอบเทียบโดยใช้ข้อมูล Reflectivity และข้อมูลฝนจากสถานีวัดน้ำฝนในตำแหน่งที่สอดคล้องกัน และ minimize ค่า Root mean square error (RMSE) ระหว่างข้อมูลฝนจากเรดาร์และฝนจากสถานี ดังนั้นในช่วงเริ่มต้นของการเก็บข้อมูลเรดาร์ในประเทศไทยจึงใช้สมการ Z-R คือ $Z = 200R^{1.6}$ ซึ่งเป็นสมการที่เหมาะสมสำหรับฝนที่มีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ (Stratiform Rainfall)

สำหรับการหาสมการ Z-R ที่เหมาะสมกับแต่ละพื้นที่ จำเป็นต้องใช้ข้อมูลจากเรดาร์และฝนจากสถานีภาคพื้นดินหลายๆ เหตุการณ์ จึงจำเป็นต้องเก็บรวบรวมข้อมูลดังกล่าวก่อน ซึ่งในปัจจุบันทางหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เช่น กรมอุตุนิยมวิทยา เริ่มเก็บข้อมูลเรดาร์ในรูปแบบที่สามารถนำมาใช้ในการศึกษา นอกเหนือจากการเป็นแบบภาพอย่างเดียว เพื่อที่จะใช้คำนวณสมการ Z-R ในอนาคต และได้เริ่มมีการหาค่าสมการ Z-R ของเรดาร์บ้างแล้ว เช่น เรดาร์อมก้อย จังหวัดเชียงใหม่ (อยู่ในความรับผิดชอบของสำนักฝนหลวงและการบินเกษตร) ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีภูเขาโดยรอบ ธนพล (2549) ได้ศึกษาและพบว่าสมการ $Z = 18.05R^{1.45}$ เหมาะสมกับเรดาร์อมก้อยซึ่งทำให้การแปลงค่าการสะท้อนกลับเป็นปริมาณฝนมีค่าใกล้เคียงกับฝนที่วัดโดยสถานีภาคพื้นดินมากที่สุด จากการคัดเลือกข้อมูลจากสถานีเรดาร์ในบริเวณและเวลาที่สอดคล้องกับข้อมูลของสถานีวัดน้ำฝนภาคพื้นดินมากที่สุด ณัฏฐวัฒน์

และนพคุณ (2006) ได้ประยุกต์ใช้แนวทางการศึกษาดังกล่าวเพื่อทำการปรับแก้ค่าคงที่ในสมการความสัมพันธ์ของ Z-R กับข้อมูลจากสถานีเรดาร์ภาคพื้นดินในพื้นที่กรุงเทพมหานคร และได้ค่าสมการเป็น $Z = 296.56R^{1.4253}$

นอกจากการแปลงค่าที่ได้จากการตรวจวัดเป็นฝนด้วยสมการ Z-R แล้ว ได้มีการศึกษาว่าฝนที่ได้จากการตรวจวัดโดยเรดาร์ให้ค่าความถูกต้องเพียงใด โดยในระยะแรกนี้ใช้ข้อมูลฝนจากสถานีภาคพื้นดินเป็นตัวตรวจสอบศิริลักษณ์ (2549) ได้ศึกษาผลกระทบของการตรวจสอบคุณภาพข้อมูลฝนจากสถานีวัดน้ำฝนต่อปริมาณฝนจากเรดาร์ในพื้นที่กรุงเทพมหานคร โดยคำนวณปริมาณฝนที่ตรวจวัดด้วยเรดาร์แล้วนำมาปรับแก้ค่าฝนจากเรดาร์ (บนฟ้า) ให้เทียบเท่าฝนบนดินตามตำแหน่งที่ตั้งของสถานีวัดน้ำฝนบนดิน ซึ่งก่อนที่จะนำค่าจากสถานีวัดน้ำฝนภาคพื้นดินไปใช้ในการคำนวณจะทำการตรวจสอบความน่าเชื่อถือและคุณภาพของข้อมูลก่อนนำไปใช้ในการปรับแก้ค่าฝนจากเรดาร์ ซึ่งผลที่ได้ทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนของปริมาณฝนสะสมจากเรดาร์กับค่าปริมาณฝนสะสมจากสถานีวัดบนพื้นดินน้อยลง อย่างไรก็ตาม แม้ว่าจะมีการศึกษาเกี่ยวกับเทคนิคการปรับแก้ข้อมูลฝนจากสถานีเรดาร์อยู่มาก แต่ปัญหาเรื่องความถูกต้องในการวัดฝนที่ตกจริงเหนือพื้นดินด้วยเรดาร์นั้นยังไม่มีข้อยุติ จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมในเรื่องดังกล่าวอีกมาก

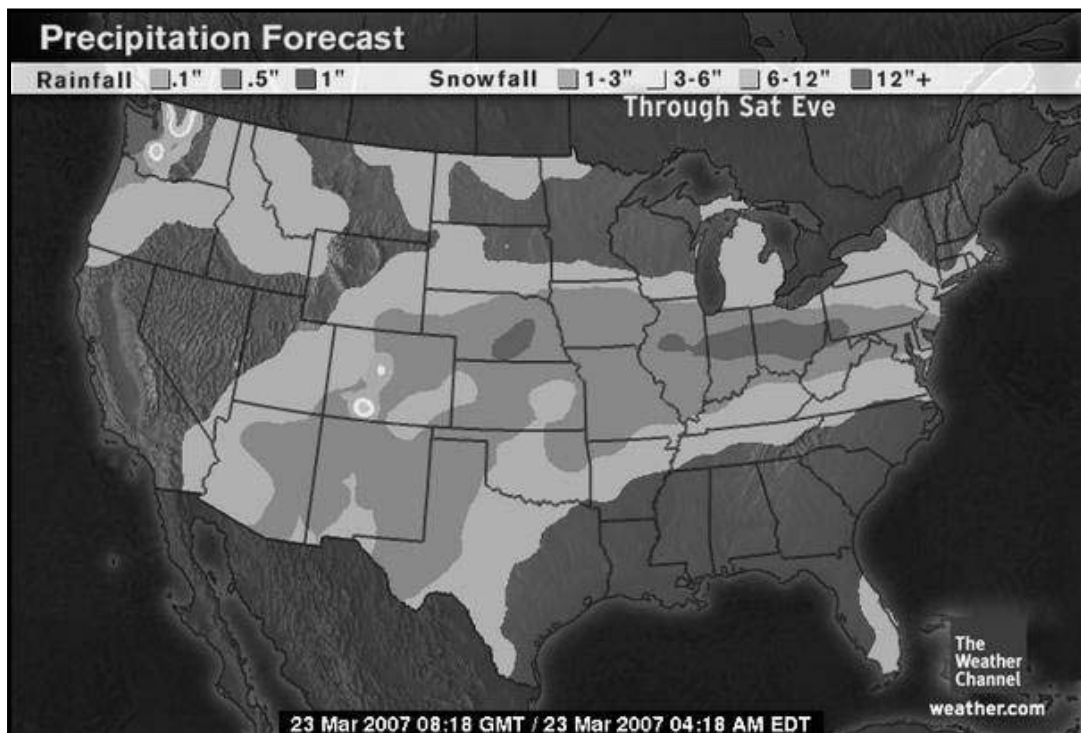
2) การประมาณปริมาณฝนจากข้อมูลดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา เป็นการนำข้อมูลที่ได้จากดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา มาแปลงเป็นข้อมูลเทียบกับข้อมูลจากสถานีวัดน้ำฝนที่พื้นดิน โดยการวิจัยในประเทศไทยส่วนใหญ่จะใช้ข้อมูลจากดาวเทียม GMS-5 (Geostationary Meteorological Satellite 5) ของประเทศญี่ปุ่น ซึ่งสามารถดาวน์โหลดข้อมูลได้จาก website ข้อมูลที่นำมาใช้เป็นข้อมูลอุณหภูมิยอดเมฆ ที่ช่วงคลื่นความร้อน มาหาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิยอดเมฆกับข้อมูลน้ำฝนจากเครื่องวัดน้ำฝนอัตโนมัติ โดยมีการศึกษาไว้หลายครั้ง เช่น การวิจัยเรื่องการคาดคะเนปริมาณน้ำฝนจากข้อมูลดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาบริเวณประเทศไทย ได้ทำการศึกษาไว้โดย วีระศักดิ์ และคณะ (2537) ได้ทำการคาดคะเนปริมาณน้ำฝน จากข้อมูลดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาบริเวณประเทศไทย โดยหาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิยอดเมฆจากดาวเทียม GMS-4 และ GMS-5 ช่วงคลื่นความร้อน (Infrared; IR) กับข้อมูลน้ำฝนจากเครื่องวัดน้ำฝนอัตโนมัติ โดยพิจารณาเฉพาะกลุ่มเมฆที่ก่อตัวในแนวตั้งซึ่งเกิดขึ้นจากการพาความร้อนของอากาศ (Convective cloud) ซึ่งจะมีปริมาณน้ำฝนแปรผัน โดยตรงกับ ความสูงของยอดเมฆ และสรุปได้ว่า ข้อมูลดาวเทียมใช้คาดคะเนปริมาณน้ำฝนและอัตราฝนตกได้ดีสำหรับกลุ่มเมฆฝนที่ตกปานกลางถึงหนักมากในทั่วทุกภาคและคาดคะเนได้ดีสำหรับฝนตกโดยทั่วไปเฉพาะเมฆฝนในช่วงฤดูร้อนและกลุ่มฝนบริเวณภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคกลาง

ธนิต (2547) และ มณฑล (2547) ได้ศึกษาการประมาณปริมาณฝนด้วยดาวเทียมสำหรับกรุงเทพมหานคร โดยใช้ข้อมูลดาวเทียม GMS-5 (Geostationary Meteorological Satellite 5) ของประเทศญี่ปุ่นเพื่อหาความสัมพันธ์กับปริมาณฝนภาคพื้นดิน ในช่วงเดือน ต.ค. 2543 ถึง มี.ค. 2544 วิธีการประมาณปริมาณฝนจากข้อมูลดาวเทียมมีอยู่หลายวิธี เช่น การประมาณฝนโดยคลื่นไมโครเวฟ ซึ่งอาศัยการเกิดปฏิกิริยาตอบสนองต่อหยดน้ำและเกล็ดน้ำแข็ง ที่มีต่อการแผ่คลื่นรังสีไมโครเวฟ เหมาะกับการประมาณฝนในบริเวณเหนือพื้นผิวมหาสมุทรมากกว่าประมาณฝน

เหนือพื้นดิน การประมาณฝนโดยวิธี Climate Prediction Center เป็นการประมาณฝนเพื่อใช้ตรวจสอบสภาพความแห้งแล้งโดย USAID ของสหรัฐอเมริกา สามารถประเมินฝนได้ทั้งฝนที่เกิดจากเมฆเย็นที่เกิดจากการยกตัวของมวลอากาศในแนวตั้ง และฝนที่เกิดจากเมฆอุ่น (Stratified clouds) การประมาณปริมาณน้ำฝนโดยวิธี ORSTOM ซึ่งจะใช้ข้อมูลภูมิที่ผิวดินจากภาพของดาวเทียม METEOSAT) เพื่อทำการประมาณฝน การประมาณฝนโดยวิธี TAMSAT ใช้ข้อมูลภาพคลื่นอินฟราเรดจากดาวเทียมทุกครึ่งชั่วโมง โดยหาความสัมพันธ์ ระหว่างปริมาณฝน (มม.) กับค่าช่วงเวลาเมฆเย็น การประมาณปริมาณฝนโดยวิธีใช้อัตราการลดอุณหภูมิตามความสูง เป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝน (มม.) กับอุณหภูมียอดเมฆจากภาพถ่ายดาวเทียม สำหรับงานวิจัยได้เลือกวิธีการประมาณปริมาณฝนจากดาวเทียมอุตุนิยมหาวิทยาลัยที่เหมาะสมกับพื้นที่กรุงเทพมหานคร ได้แก่ วิธี TAMSAT เป็นการหาความสัมพันธ์ในรูปสมการเชิงเส้น ระหว่างปริมาณฝน (มม.) กับระยะเวลาที่อุณหภูมียอดเมฆเย็นกว่าเกณฑ์อุณหภูมิจัดค่าคลาดเคลื่อนไม่เกิน 15% และวิธีใช้อัตราการลดอุณหภูมิตามความสูง เป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝน (มม.) กับอุณหภูมียอดเมฆในรูปสมการถดถอยไม่เชิงเส้นตรง คลาดเคลื่อนไม่เกิน 17%

4. เทคนิคการพยากรณ์น้ำฝน

ข้อมูลฝนเชิงพื้นที่ที่มีความละเอียดและถูกต้องสมบูรณ์ที่ได้จากการตรวจวัดที่เป็นปัจจุบันจากเครื่องตรวจวัดระยะไกล (Remote Sensing) มีประโยชน์อย่างมากในการจัดการทรัพยากรน้ำ อย่างไรก็ตามข้อมูลที่ตรวจวัดได้ในปัจจุบันเพียงอย่างเดียวจะไม่เพียงพอในการกำหนดนโยบายและการวางแผนการจัดการอย่างมีประสิทธิภาพ ด้วยเหตุนี้จึงมีความจำเป็นต้องทราบข้อมูลฝนในอนาคตที่มีความสมบูรณ์และถูกต้อง เนื่องจากข้อมูลการพยากรณ์ฝนเป็นที่ต้องการสำหรับหน่วยงานทั้งของรัฐ เอกชน หรือแม้แต่บุคคลธรรมดาทั่วไป จึงได้มีผู้ศึกษาวิจัยและเสนอแนวทางต่างๆมากมาย รวมทั้งนำเสนอข้อมูลการพยากรณ์ในรูปแบบที่สามารถเข้าถึงได้ง่าย ดังเช่นข้อมูลการพยากรณ์กระจายตัวของฝน ที่ปรากฏตามวิทยุ โทรทัศน์ หรือในอินเทอร์เน็ต ดังรูป 4-1 ถึงแม้ว่าข้อมูลเหล่านี้จะเข้าถึงได้โดยง่ายแต่ข้อมูลดังกล่าวยังมีข้อจำกัดอยู่มาก ทั้งในเรื่องของความถูกต้องและรายละเอียดของปริมาณน้ำฝน ตำแหน่ง และระยะเวลา จึงจำเป็นที่ผู้สนใจควรจะได้เข้าใจถึงหลักการ วิธีการ และข้อจำกัดในการพยากรณ์น้ำฝนให้ถ่องแท้ เพื่อให้สามารถนำความรู้ความเข้าใจที่ได้ ไปประยุกต์และเลือกใช้ข้อมูลได้อย่างเหมาะสมต่อไป



รูปที่ 4-1 ตัวอย่างการพยากรณ์ฝนของประเทศสหรัฐอเมริกาผ่านทางอินเทอร์เน็ต (ที่มา: <http://www.weather.com/>)

การพยากรณ์น้ำฝนนั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทตามระยะเวลาในการพยากรณ์ อันได้แก่ การพยากรณ์น้ำฝนระยะสั้น การพยากรณ์น้ำฝนระยะกลาง และการพยากรณ์ระยะยาว โดยการพยากรณ์ทั้งสามประเภทนี้นอกจากจะแตกต่างกันในเรื่องของระยะเวลาการพยากรณ์แล้ว ยังแตกต่างกันในเรื่องของลักษณะการพยากรณ์ ชนิดของแบบจำลองที่ใช้ความถูกต้องของการพยากรณ์ และอื่นๆ อีกมากมาย การเลือกใช้ข้อมูลการพยากรณ์ที่ถูกต้องและเหมาะสม จึงจำเป็นต้องเข้าใจถึงลักษณะและข้อจำกัดของการพยากรณ์เหล่านี้

4.1 การพยากรณ์น้ำฝนระยะสั้น

การพยากรณ์น้ำฝนระยะสั้น หรือ Nowcasting นั้นเป็นการพยากรณ์ฝนในระยะเวลาตั้งแต่ 0 ถึง 6 ชั่วโมงล่วงหน้า ซึ่งการพยากรณ์ในระยะเวลาจำกัดนี้เท่านั้นที่เราสามารถที่จะคาดคะเนการเปลี่ยนแปลงของฝนเชิงพื้นที่ที่มีความละเอียดสูง เป็นปัจจุบัน (Real-time) และมีความน่าเชื่อถืออย่างเพียงพอได้ ทั้งนี้เนื่องมาจากฝนเป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติที่มีความสลับซับซ้อนและการเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยและยากต่อการวิเคราะห์และจำลอง โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากต้องการทราบข้อมูลเชิงพื้นที่ อันได้แก่ ขนาด ลักษณะ ตำแหน่ง และความเข้มฝนที่มีความละเอียดสูงและถูกต้อง ซึ่งมีความจำเป็นอย่างมากสำหรับการจัดการระบบระบายน้ำ การเตือนภัยน้ำท่วมฉับพลันและการเตือนภัยดินถล่ม เป็นต้น

แบบจำลองที่นิยมใช้ในการพยากรณ์น้ำฝนระยะสั้นเชิงพื้นที่นั้น ส่วนใหญ่มีพื้นฐานมาจากการวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของภาพถ่าย (Image Extrapolation) ซึ่งเป็นแนวความคิดที่มีมาเกือบ 50 ปีแล้ว (Ligda 1953) วิธีการดังกล่าวจะนำข้อมูลฝนเชิงพื้นที่ในปัจจุบัน เช่น ภาพฝนจากภาพถ่ายเรดาร์ มาเคลื่อนที่ไปในอนาคตด้วยสนามของความเร็วเพื่อประมาณค่าตำแหน่งและปริมาณฝนที่ตก ณ เวลาที่ต้องการ การพยากรณ์น้ำฝนโดยพิจารณาการเคลื่อนที่ของฝนเป็นหลักจะมีความถูกต้องสูงสำหรับการพยากรณ์ฝนในระยะเวลานั้นมากที่ไม่เกิน 1 ชั่วโมง และเหมาะกับฝนที่มีลักษณะการพัดพาในแนวราบ เช่น การพยากรณ์การเคลื่อนที่แนวพายุฝน (Frontal Storm System) ทั้งนี้เนื่องจากอิทธิพลของการเกิดขึ้นของกลุ่มฝนใหม่ รวมไปถึงการขยายตัวและการสลายตัวของกลุ่มฝนก็ยังไม่มีมากนักเมื่อเปรียบเทียบกับเคลื่อนที่ ความถูกต้องในการพยากรณ์ลักษณะนี้จึงขึ้นอยู่กับการคาดคะเนสนามของความเร็วที่ใช้ในการเคลื่อนตัวของภาพฝนในปัจจุบันเป็นหลัก แม้ว่าการทำนายฝนในลักษณะดังกล่าวนี้จะสามารถทำได้อย่างแม่นยำเพียงในระยะเวลาอันสั้นแต่ผลการพยากรณ์ที่ได้นี้มีประโยชน์อย่างมหาศาลและสามารถนำไปใช้ได้จริงมาแล้วในต่างประเทศ (National Research Council 1995) เพื่อการลดอัตราการสูญเสียชีวิตและทรัพย์สินอันเนื่องมาจากภัยธรรมชาติ เช่น ในเหตุการณ์น้ำท่วมฉับพลัน และดินถล่ม เป็นต้น

1) สนามความเร็วและการเคลื่อนที่ของกลุ่มฝน

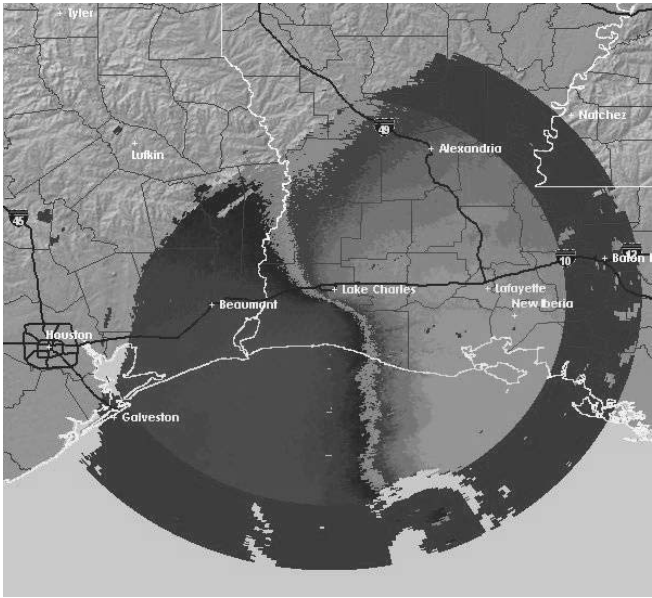
จากที่ได้กล่าวมาแล้วว่าความถูกต้องในการพยากรณ์ระยะสั้นที่เน้นการเคลื่อนที่ของกลุ่มฝนเป็นหลักจะขึ้นอยู่กับความถูกต้องของการคาดคะเนสนามความเร็ว โดยทั่วไปข้อมูลสนามความเร็วที่ใช้ในการเคลื่อนที่กลุ่มฝนนี้สามารถหาได้จาก 2 แนวทาง คือ (1) จากการเก็บข้อมูลภาคสนามและ (2) จากการใช้เทคนิคการเคลื่อนตัวของกลุ่มภาพฝนในอดีต สำหรับแนวทางการเก็บข้อมูลภาคสนามนั้นทำได้โดยการออกสำรวจและเก็บข้อมูลตัว

แปรที่มีความเกี่ยวข้องเนื่องกับการเคลื่อนที่ของฝนเพิ่มเติม เช่น การเก็บความเร็วลม ณ สถานีอุตุนิยมวิทยา ด้วยเครื่องวัดความเร็วลมดั่งรูปที่ 4-2 หรือการปล่อยบอลลูนเพื่อเก็บค่าความเร็วลมและความชื้นที่ระดับต่างๆ เป็นต้น วิธีการดังกล่าวค่อนข้างจะยุ่งยากและเสียค่าใช้จ่ายสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากต้องการสนามความเร็วที่มีความละเอียดสูง ซึ่งต้องทำการเก็บข้อมูลภาคสนามจำนวนมาก นอกจากนี้ยังไม่มีหลักประกันว่าสนามความเร็วที่ได้จากตัวแปรอื่นๆ ที่วัดมาได้ เช่น สนามความเร็วของลมจะมีค่าเท่ากับสนามความเร็วที่กลุ่มฝนได้เคลื่อนที่ไปด้วย (Tatehira and Nakayama 1976)



รูปที่ 4-2 ตัวอย่างเครื่องมือวัดความเร็วลมที่ติดตั้งบนสถานี

การเก็บข้อมูลความเร็วจากภาคสนามในปัจจุบันสามารถทำได้โดยการใช้เทคโนโลยีเรดาร์แบบดอปเปลอร์ (Doppler Weather Radar) สถานีเรดาร์แบบดอปเปลอร์นั้นนอกจากจะให้ข้อมูลคลื่นการสะท้อนที่สามารถแปลงเป็นปริมาณน้ำฝนได้แล้ว ยังให้ข้อมูลความเร็วในแนวรัศมีที่สามารถนำมาคำนวณหาค่าสนามความเร็วได้อีกด้วยดั่งแสดงในรูปที่ 4-3 การเก็บข้อมูลความเร็วในแนวรัศมีนี้สามารถทำได้อย่างรวดเร็ว สะดวกและไม่เสียค่าใช้จ่ายเพิ่มเติมจากการเก็บข้อมูลภาพฝนด้วยเรดาร์ อย่างไรก็ตามวิธีการคาดคะเนสนามความเร็วที่ถูกต้องทางทฤษฎี

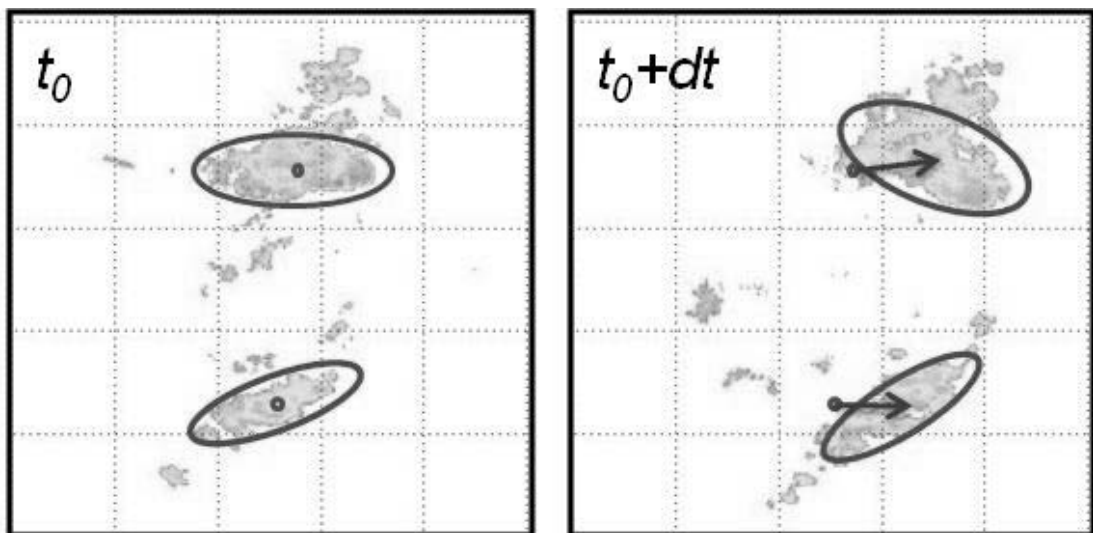


รูปที่ 4-3 ตัวอย่างข้อมูลความเร็วในแนวรัศมีที่ได้จากสถานีเรดาร์แบบดอปเปลอร์ในทิศทางเข้าหรือออกจากสถานี (ที่มา: <http://www.srh.noaa.gov/jetstream/>)

สามารถทำได้ก็ต่อเมื่อมีความเร็วในแนวรัศมีจากสถานีเรดาร์แบบดอปเปลอร์สองสถานีเท่านั้น เนื่องจากเราไม่สามารถหาความเร็วในแนวตั้งฉากกับรัศมีจากสถานีเรดาร์แห่งเดียวได้ และเนื่องจากพื้นที่ที่มีข้อมูลเรดาร์จากสองสถานีดังที่ได้กล่าวไปนี้มีอยู่น้อย โดยเฉพาะในประเทศไทย การหาสนามความเร็วจากข้อมูลดังกล่าวโดยตรงนี้จึงมีข้อจำกัดอยู่มาก อย่างไรก็ตามแนวทางวิจัยใหม่ๆ ในต่างประเทศได้เสนอแนะการคาดคะเนสนามความเร็วจากสถานีเรดาร์แบบดอปเปลอร์เพียงสถานีเดียวและสามารถให้ผลเป็นที่น่าพอใจ (Sun and Crook 2001) แนวทางดังกล่าวจึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจและควรทำการศึกษาเพื่อประยุกต์ใช้กับประเทศไทยได้ต่อไป

สำหรับวิธีการที่สองในการหาสนามความเร็วคือการใช้เทคนิคการเคลื่อนตัวของภาพและหาสนามความเร็วจากภาพถ่ายสองภาพหรือมากกว่าในอดีต เพื่อพยากรณ์การเคลื่อนตัวของภาพในอนาคต วิธีการดังกล่าวเป็นที่นิยมใช้กันโดยมากในแบบจำลองการเคลื่อนตัว (Image Extrapolation Techniques) ทั้งนี้เนื่องจากมีความสะดวกไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มเติมในการออกภาคสนามสำรวจและจัดเก็บตัวแปรอื่นๆ เพิ่มเติม เทคนิคในการหาสนามความเร็วจากภาพถ่ายนี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ลักษณะ คือ (1) เทคนิคการเคลื่อนที่ของจุดศูนย์กลางมวล หรือ Centroidal Techniques (2) เทคนิคความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ หรือ Maximum-Correlation Techniques และ (3) เทคนิคการแก้สมการวัตถุประสงค์ หรือ Variational Techniques

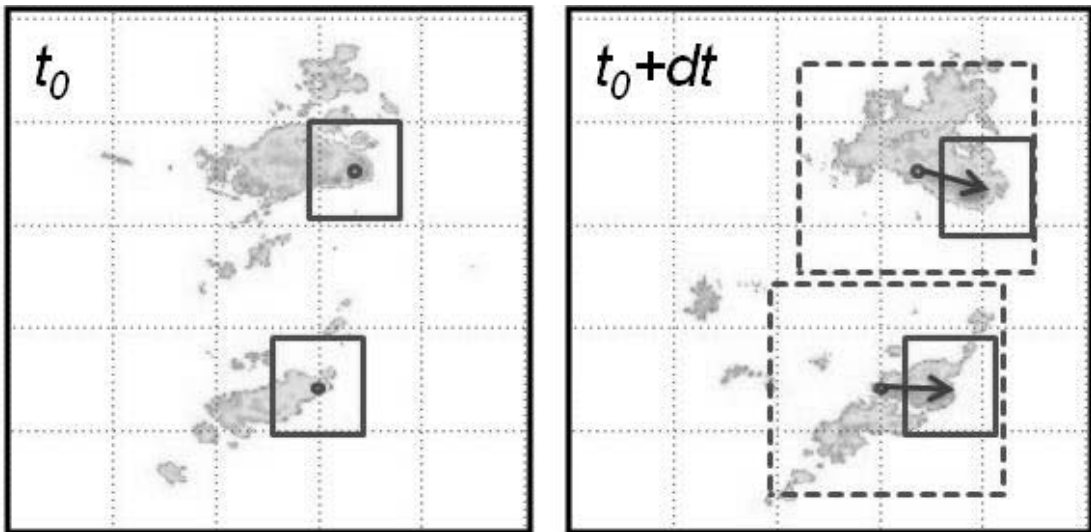
การหาสนามความเร็วโดยเทคนิคการเคลื่อนที่ของจุดศูนย์กลางมวล (Centroidal Techniques) ทำได้โดยกำหนดขอบเขตของกลุ่มฝนจากภาพถ่ายและหาจุดศูนย์กลางมวลของแต่ละกลุ่มฝนนั้น เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบจุดศูนย์กลางมวลของภาพถ่าย ณ เวลาต่างๆ ต่อเนื่องกันตั้งแต่สองภาพขึ้นไปจะสามารถกำหนดทิศทางและขนาดการเคลื่อนที่ของจุดศูนย์กลางมวลของแต่ละกลุ่มฝนได้ ดังแสดงในรูปที่ 4-4 สนามความเร็วดังกล่าวสามารถนำมาวิเคราะห์และใช้เคลื่อนที่กลุ่มฝนต่อไปได้ในอนาคตเพื่อการพยากรณ์ (Barclay and Wilk 1970) วิธีการหาจุดศูนย์กลางมวลนี้เป็นที่นิยมในอดีตเนื่องจากเข้าใจและตรวจสอบได้โดยง่าย แต่การเขียนโปรแกรมเพื่อกำหนดขอบเขตของกลุ่มฝนที่มีความแตกต่างกันทั้งเรื่องของพื้นที่ ความเข้มฝน และลักษณะฝนนั้นทำได้ยาก นอกจากนี้วิธีการดังกล่าวยังมีปัญหาในการกำหนดขอบเขตและบ่งชี้กลุ่มฝนเมื่อกลุ่มฝนมีการขยายตัว หดตัว แยกตัว หรือรวมตัวกัน อีกทั้งการกำหนดการเคลื่อนที่ของจุดศูนย์กลางมวลเพียงอย่างเดียวทำให้ไม่สามารถวิเคราะห์การหมุนตัวของกลุ่มฝนรอบจุดศูนย์กลางมวลได้



รูปที่ 4-4 การหาเวกเตอร์ความเร็วด้วยวิธีการหาจุดศูนย์กลางมวล จากภาพถ่ายสองภาพที่เวลาต่อเนื่องกัน

เทคนิคที่สองในการหาสนามความเร็วใช้การหาความสัมพันธ์เชิงพื้นที่สูงสุด (Maximum Correlation Techniques) โดยเริ่มจากการกำหนดพื้นที่ย่อยของภาพถ่ายฝน เช่น กำหนดพื้นที่ย่อยขนาด 10 x 10 ช่องจาก

ภาพถ่ายที่มีขนาดทั้งหมด 1000 x 1000 ช่อง และกำหนดพื้นที่ในการหา (Search Radius) ซึ่งเป็นตัวจำกัดความเร็วสูงสุด จากนั้นจึงทำการสุ่มเคลื่อนที่พื้นที่ย่อยดังกล่าวไปในสองมิติและหาความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ (Spatial Correlation) ระหว่างพื้นที่ย่อยของภาพแรกที่เคลื่อนที่ไปแล้วกับภาพที่เวลาถัดมาภายในพื้นที่ในการหาที่กำหนดไว้ ความเร็วลักษณะใดทำให้ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ย่อยในภาพแรกหลังเคลื่อนที่กับภาพที่เวลาถัดมามีค่าสูงสุดคือความเร็วของพื้นที่ย่อยนั้นๆ ดังแสดงในรูปที่ 4-5 วิธีการดังกล่าวสามารถให้สนามความเร็วที่มีความละเอียดได้โดยกำหนดให้พื้นที่ย่อยมีการเหลื่อมล้ำกัน (Bellon and Austin 1978) วิธีการดังกล่าวสามารถจำลองการหมุนของกลุ่มฝนได้ และไม่จำเป็นต้องกำหนดขอบเขตของกลุ่มฝนซึ่งเป็นข้อจำกัดสำคัญของวิธีการหาจุดศูนย์กลางมวล อย่างไรก็ตามการเคลื่อนที่ที่เร็วเกินไปจะขึ้นอยู่กับข้อกำหนดพื้นที่ย่อยและพื้นที่ในการหา รวมทั้งการเหลื่อมล้ำกันของพื้นที่ย่อย จึงทำให้สนามความเร็วที่ได้มีค่าไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับผู้ทำการคำนวณ นอกจากนี้สนามความเร็วที่ได้มักไม่มีความต่อเนื่องเนื่องจากความเร็วที่ได้จากแต่ละพื้นที่ย่อยอาจไม่สัมพันธ์กันกับพื้นที่ย่อยข้างเคียง ข้อจำกัดดังกล่าวนี้อาจแก้ไขได้โดยการเฉลี่ยสนามความเร็วเชิงพื้นที่หรือการกำหนดข้อจำกัดเพื่อนำเสนอความสัมพันธ์ระหว่างสนามความเร็วในแต่ละพื้นที่ย่อย (Li, Schmid and Joss 1995) เป็นต้น



รูปที่ 4-5 การหาเวกเตอร์ความเร็วด้วยวิธีการหาความสัมพันธ์เชิงพื้นที่สูงสุด จากภาพถ่ายสองภาพที่เวลาต่อเนื่องกัน

เทคนิคกลุ่มสุดท้ายในการหาสนามความเร็วจากภาพถ่ายสองภาพหรือมากกว่านี้คือการใช้เทคนิคการแก้สมการวัตดูประสงค์ (Variational Techniques) วิธีการดังกล่าวจะกำหนดสมการวัตดูประสงค์จากลักษณะของสนามความเร็วจริงที่ต้องการ เช่น กำหนดจากความแตกต่างของภาพกลุ่มฝนเมื่อเคลื่อนที่ไปด้วยสนามความเร็ว ความต่อเนื่องของสนามความเร็ว หรือข้อมูลสนามความเร็วในอดีต เป็นต้น จากนั้นจึงแก้สมการหาสนามความเร็วที่ทำให้ค่าสมการวัตดูประสงค์ที่กำหนดนี้มีค่าน้อยที่สุด (หรือมากที่สุดขึ้นอยู่กับข้อกำหนดสมการ) ในปัจจุบันเทคนิคดังกล่าวเริ่มเป็นที่นิยมในการใช้เพื่อหาสนามความเร็วเนื่องจากสามารถให้สนามความเร็วที่มีความถูกต้องและสมจริงค่อนข้างสูง สามารถแสดงการเคลื่อนที่อย่างละเอียดและมีความต่อเนื่อง ไม่มีความจำเป็นที่จะต้องหาขอบเขตของกลุ่มฝน นอกจากนี้การกำหนดสมการวัตดูประสงค์ยังง่ายต่อการประยุกต์และพัฒนาให้รวมถึงปัจจัย

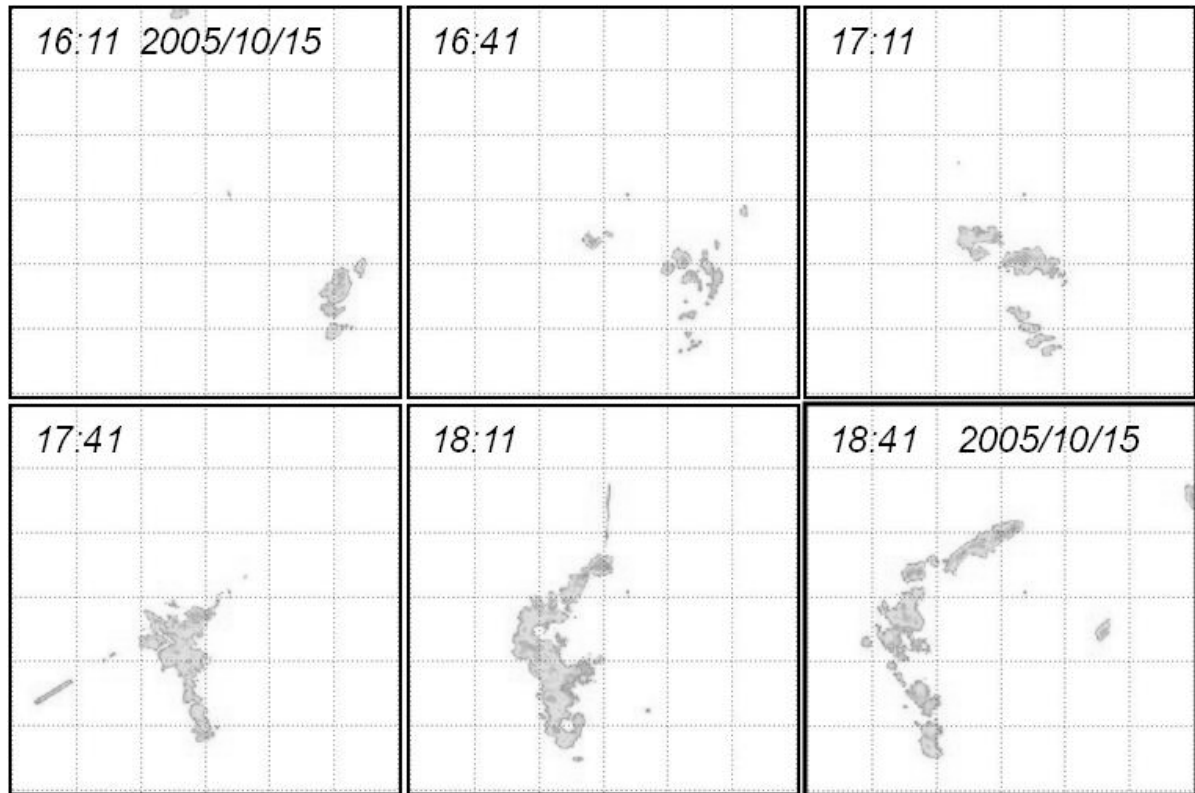
อื่นๆที่อาจมีผลต่อสนามความเร็วได้ ตัวอย่างของวิธีการที่ใช้เทคนิคดังกล่าวได้แก่ วิธี Optical Flow (Bowler, Pierce and Seed 2004), วิธี Calibration Alignment Algorithm (Grassotti, Iskenderian and Hoffman 1999), และวิธี Field Alignment (Ravela & Chatdarong 2006) เป็นต้น ซึ่งเทคนิคดังกล่าวสมควรที่จะได้รับการศึกษาและพัฒนาเพื่อนำมาใช้เพื่อหาสนามความเร็วในประเทศไทยต่อไป (ตัวอย่างของเทคนิคดังกล่าวจะได้นำเสนอในหัวข้อที่ 5.2 เรื่องการปรับปรุงการพยากรณ์น้ำฝนในพื้นที่กรุงเทพมหานครจากสถานีเรดาร์ที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน)

จากแนวทางที่ได้กล่าวมาแล้วทั้งหมด เราสามารถที่จะหาสนามความเร็วในการเคลื่อนที่ของกลุ่มฝนได้ ค่าสนามความเร็วที่ได้นี้สามารถนำมาวิเคราะห์และคาดการณ์การเคลื่อนที่ของกลุ่มฝนในอนาคต เพื่อใช้ในการพยากรณ์น้ำฝนระยะสั้นต่อไปได้ อนึ่งข้อมูลสนามความเร็วที่ได้ไม่ว่าจากการสำรวจภาคสนาม หรือการใช้เทคนิคการหาสนามความเร็วจากภาพนั้นแสดงการเคลื่อนที่ของกลุ่มฝนในอดีต ซึ่งไม่จำเป็นว่าจะต้องมีขนาดและทิศทางคงที่ต่อไปในอนาคต ดังนั้นจึงควรระมัดระวังในการนำสนามความเร็วที่ได้มาประยุกต์ใช้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่สนามความเร็วมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว

2) การเกิดใหม่ การขยายตัวและการสลายตัวของกลุ่มฝน

จากที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นว่าการพยากรณ์ฝนที่ระยะเวลายาวนานกว่า 1 ชั่วโมงโดยพิจารณาเพียงการเคลื่อนที่ของฝนเพียงอย่างเดียว จะให้ผลการพยากรณ์ที่มีความผิดพลาดสูง (Wilson, Crook, et al. 1998) ทั้งนี้เนื่องมาจากในระยะเวลาดังกล่าวนอกจากกลุ่มฝนจะมีการเคลื่อนที่แล้วยังมีผลของการเปลี่ยนแปลงด้วย เช่น การเกิดกลุ่มฝนใหม่ การที่กลุ่มฝนเก่าขยายตัว หรือสลายตัวไป เป็นต้น วิวัฒนาการของกลุ่มฝนนี้จะมีความสำคัญเหนือผลการเคลื่อนที่เมื่อเวลาในการพยากรณ์มากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับฝนที่เกิดจากการพัดขึ้นในแนวโค้ง หรือ ฝนแบบ Convective ที่มักจะเกิดในพื้นที่เขตร้อนชื้นดังเช่นในประเทศไทย ซึ่งกลุ่มฝนดังกล่าวจะมีการเกิดขึ้นและสลายตัวไปอย่างรวดเร็ว ดังแสดงตัวอย่างภาพถ่ายกลุ่มฝนจากสถานีเรดาร์ภานีเจริญเมื่อช่วงเย็นของวันที่ 15 ตุลาคม 2548 ที่แสดงในรูปที่ 4-6 พบกลุ่มฝนเริ่มก่อตัวขึ้นเมื่อเวลาประมาณ 16 นาฬิกาจนถึงเวลาประมาณ 19 นาฬิกา ผลของการขยายตัวของกลุ่มฝนนี้มีความสำคัญและไม่อาจจำลองได้จากการเคลื่อนที่ของกลุ่มฝนในอดีตเพียงอย่างเดียว ดังนั้นการพยากรณ์ฝนระยะสั้นที่ยาวนานกว่า 1 ชั่วโมงนี้จึงจำเป็นต้องคำนึงถึงการเกิด การขยายตัวและการสลายตัวของกลุ่มฝนด้วยเป็นสำคัญ

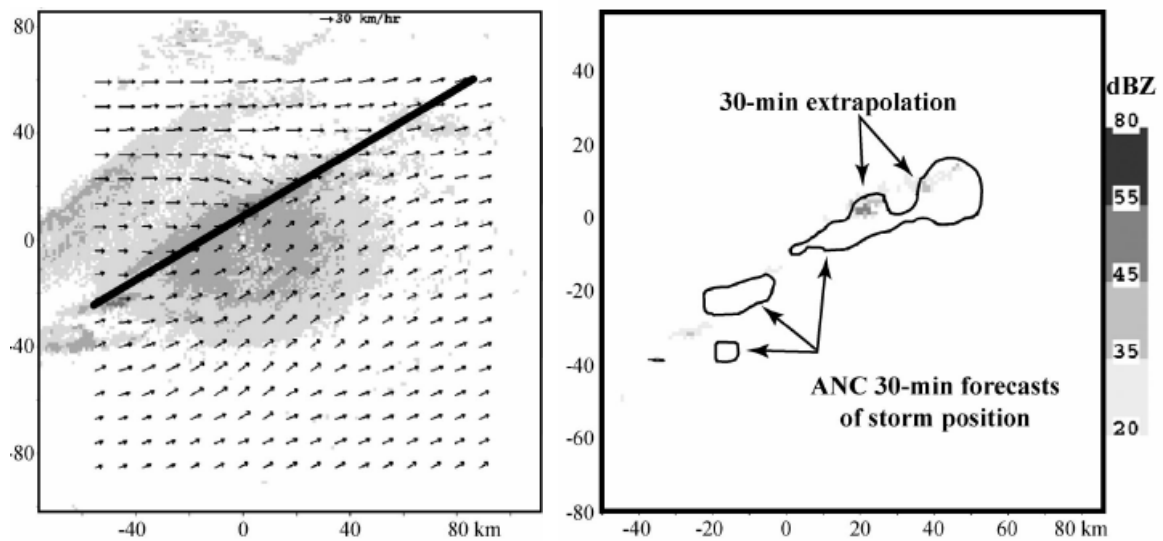
จากการศึกษาของ Wilson และ Schreiber (ค.ศ. 1986) ได้แสดงให้เห็นว่าการเกิดขึ้นของกลุ่มฝนใหม่ในแต่ละเหตุการณ์ฝนโดยมากจะเกิดขึ้นในบริเวณแนวขอบเขตที่มีการเคลื่อนที่ของมวลอากาศมาชนกัน (Convergence Boundary Layer) ความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของกลุ่มฝนเดิมได้ กล่าวคือ หากแนวฝนเดิมอยู่ในบริเวณขอบเขตแนวมวลอากาศที่มีการเคลื่อนที่เข้าหากันจะมีโอกาสที่จะขยายตัวสูงในทางตรงกันข้ามแนวฝนที่อยู่นอกขอบเขตดังกล่าวมักมีการสลายตัวไป ขอบเขตการเคลื่อนที่ของมวลอากาศนี้สามารถหาได้จากการเก็บข้อมูลสนามความเร็วภาคสนาม หรือใช้ข้อมูลความเร็วจากสถานีเรดาร์สามารถตรวจวัดการเคลื่อนที่ของอนุภาคขนาดเล็กในอากาศได้



รูปที่ 4-6 ตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงของกลุ่มฝนจากภาพถ่ายสถานีเรดาร์ภายในกรุงเทพมหานคร
ระหว่างเวลา 16:11น. ถึง 18:41น. ณ วันที่ 15 ตุลาคม 2548

สมมุติฐานที่เกี่ยวกับขอบเขตการเคลื่อนตัวของแนวอากาศต่อการเกิดกลุ่มฝนใหม่ การเพิ่มขึ้นและการสลายตัวของกลุ่มฝนเดิมได้ถูกนำมาใช้เพื่อพัฒนาแบบจำลองการพยากรณ์ฝนในระยะสั้นให้มีความถูกต้องมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับการพยากรณ์ในช่วงเวลายาวกว่า 30 นาทีหรือ 1 ชั่วโมงขึ้นไป ดังแสดงในรูปที่ 4-7 โดยส่วนมากแบบจำลองการพยากรณ์ฝนนี้มักจะเป็นการผสมผสานระหว่างแบบจำลองการเคลื่อนตัวของกลุ่มฝน และแบบจำลองขอบเขตมวลอากาศ โดยจะให้ความสำคัญกับการเคลื่อนตัวมากในกรณีที่ต้องการพยากรณ์ฝนในระยะสั้น และให้ความสำคัญกับการเกิดขึ้นใหม่ของฝนในกรณีที่ต้องการพยากรณ์ในระยะยาวขึ้น

แบบจำลองที่คำนึงถึงการเคลื่อนตัวควบคู่ไปกับการเกิด การขยายตัวและการสลายตัวของกลุ่มฝนนั้นยังมีอยู่อย่างจำกัด โดยอ้างอิงจากงานวิจัยของ Mueller และคณะ (ค.ศ. 2003) ในปัจจุบันมีเพียง 4 แบบจำลองที่คำนึงถึงปัจจัยดังกล่าว อันได้แก่ แบบจำลอง GANDOLF (Pierce and Hardaker 2000) และแบบจำลอง Nimrod (Golding 1998) ที่ใช้ในกรมอุตุนิยมวิทยาของประเทศไทย แบบจำลองอิตาลี (Baldi, et al. 2002) ที่ใช้ในเพื่อหน่วยงานการบินของประเทศสหรัฐอเมริกา และแบบจำลอง ANC (Mueller, et al. 2003) ของศูนย์วิจัยสภาพอากาศแห่งชาติของประเทศสหรัฐอเมริกา นอกจากนี้แบบจำลองที่กล่าวมานี้แบบจำลองที่เหลือส่วนมากจะเน้นการเคลื่อนตัวของกลุ่มฝนเท่านั้นเป็นหลักเพียงอย่างเดียว เนื่องจากความง่ายและสะดวกในการใช้งาน ตัวอย่างแบบจำลองการเคลื่อนตัวของกลุ่มฝนที่ใช้ในประเทศสหรัฐอเมริกา เช่น แบบจำลอง SCIT (Johnson, et al. 1998) และแบบจำลอง TITAN (Dixon and Wiener 1993) เป็นต้น ซึ่งผู้ใช้ควรระมัดระวังหากนำแบบจำลองในกลุ่มหลังนี้มาทำการพยากรณ์ฝนในระยะเวลายาวเกิน 1 ชั่วโมง



รูปที่ 4-7 ขอบเขตมวลอากาศที่เคลื่อนที่เข้าหากัน (ซ้าย) และผลการพยากรณ์ฝนด้วยแบบจำลอง ANC เมื่อพิจารณาเส้นขอบเขตดังกล่าว (ขวา) (ที่มา: Mueller และคณะ, 2003)

การพยากรณ์ฝนเชิงพื้นที่ในระยะสั้นเป็นสิ่งที่ยากและท้าทาย ในปัจจุบันถึงแม้จะมีแบบจำลองการพยากรณ์ฝนในลักษณะต่างๆ นำเสนอออกมาอย่างมากมาย แต่ยังไม่มียแบบจำลองใดสามารถพยากรณ์ฝนเชิงพื้นที่ที่มีความละเอียดและความถูกต้องสูงได้ แม้แต่ในประเทศที่มีความเจริญก้าวหน้าทางเทคโนโลยีและมากไปด้วยเงินทุนสำหรับการวิจัยอย่างเช่นในประเทศสหรัฐอเมริกาหรือประเทศในสหภาพยุโรปเองก็ยังไม่สามารถให้ข้อมูลการพยากรณ์ฝนเชิงพื้นที่ในระยะสั้นที่ถูกต้องแก่ประชาชนได้ (Mass 2003) การที่จะพยากรณ์ฝนที่ถูกต้องได้นั้นต้องเข้าใจถึงปัจจัยที่มีผลต่อการก่อตัวและการเปลี่ยนแปลงของกลุ่มฝนอย่างลึกซึ้งซึ่งรวมไปถึงต้องสามารถตรวจวัดตัวแปรพื้นฐานทางอุตุนิยมวิทยาที่เกี่ยวข้องกับการเกิดฝนได้อย่างละเอียดสมบูรณ์และถูกต้องซึ่งอาจจะสามารถเป็นไปได้ในอนาคตอันใกล้

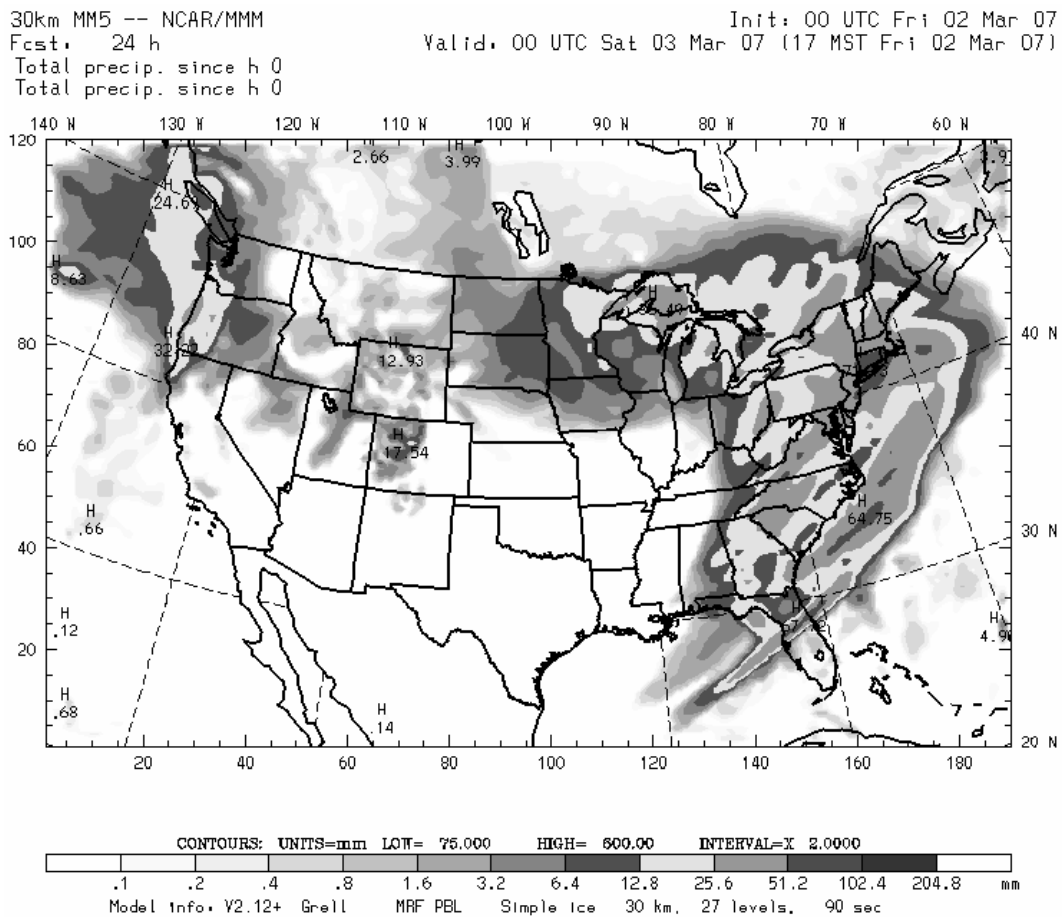
4.2 การพยากรณ์น้ำฝนระยะกลาง

การพยากรณ์น้ำฝนในระยะกลางนั้นไม่มีคำจำกัดความที่ตายตัว แต่โดยทั่วไปแล้วหมายถึงการพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนเชิงพื้นที่ที่คาดว่าจะตกในระยะเวลาประมาณไม่เกิน 7 วันล่วงหน้า สำหรับระยะเวลายาวนานกว่านี้ ความถูกต้องในการพยากรณ์เชิงพื้นที่มักจะต่ำมากจนไม่สามารถนำมาใช้งานได้ ทั้งนี้เนื่องจากฝนเป็นตัวแปรที่มีความซับซ้อน ขึ้นอยู่กับตัวแปรและปัจจัยต่างๆ มากมาย นอกจากนี้ยังเป็นปรากฏการณ์ซึ่งมีช่วงระยะเวลานับและเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว อนึ่งระยะเวลาการเปลี่ยนแปลงของเหตุการณ์ฝนยังขึ้นอยู่กับความละเอียดเชิงพื้นที่ของตัวแปรฝนด้วย กล่าวคือ เหตุการณ์ฝนที่ความละเอียดสูงจะมีความไม่ต่อเนื่องสูงทั้งเชิงพื้นที่และเวลา รวมทั้งมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะและพฤติกรรมอย่างรวดเร็วกว่าเมื่อพิจารณาเหตุการณ์ฝนที่ความละเอียดต่ำ เช่น เหตุการณ์ฝนจากการเฉลี่ยปริมาณน้ำฝนเชิงพื้นที่ ดังนั้นความละเอียดในการพยากรณ์น้ำฝนจะลดลงตามระยะเวลา ส่งผลให้การพยากรณ์น้ำฝนในระยะกลางส่วนมากมีความละเอียดและความถูกต้องต่ำกว่าการพยากรณ์ฝนเชิงพื้นที่ในระยะสั้น การพยากรณ์ระยะกลางนี้มักใช้ในการวางแผนการจัดการทั่วไปและมักเป็นที่นิยมของประชาชนทั่วไป เนื่องจากมีระยะเวลาพอสมควรในการเตรียมตัว และไม่มีความต้องการข้อมูลที่ละเอียดหรือถูกต้องมากนัก

การพยากรณ์น้ำฝนในระยะกลางนี้ส่วนมากจะทำโดยการใช้แบบจำลองสภาพอากาศ หรือที่เรียกว่าแบบจำลองอุตุนิยมวิทยา (NWP: Numerical Weather Prediction Model) แบบจำลองเหล่านี้ใช้ความสัมพันธ์ทางฟิสิกส์ที่ซับซ้อนเพื่อคำนวณหาการเปลี่ยนแปลงของฝนจากตัวแปรอื่นๆที่เกี่ยวข้อง ดังนั้นแบบจำลองดังกล่าวจึงต้องการตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยาจำนวนมาก เช่น ความเร็วลม ความกดอากาศ ปริมาณละอองน้ำในอากาศ อุณหภูมิ สภาพพื้นที่ สิ่งปกคลุมดิน ความสูง และรังสีดวงอาทิตย์ เป็นต้น นอกจากนี้เนื่องจากแบบจำลองสภาพอากาศต้องเกี่ยวข้องกับสมการที่ซับซ้อนเป็นจำนวนมาก จึงจำเป็นต้องใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูงในการคำนวณ รวมไปถึงต้องใช้เวลานานในการคำนวณสูง และต้องจ้างบุคลากรที่ผู้เชี่ยวชาญเพื่อให้สามารถพยากรณ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ตัวอย่างของแบบจำลองสภาพอากาศที่นิยมใช้ในต่างประเทศได้แก่ แบบจำลอง MM5: Fifth-Generation NCAR / Penn State Mesoscale Model (Mesoscale and Microscale Meteorology Division, NCAR 2006) ของ National Center for Atmospheric Research (NCAR) , แบบจำลอง ETA (Black 1994; Rogers และคณะ 1996) ของ National Center for Environmental Prediction (NCEP), และแบบจำลอง Regional Atmospheric Modeling System (RAMS) (Orlandi and al. 2004) เป็นต้น

หลักการการทำงานของแบบจำลองสภาพอากาศจะเริ่มจากการจำลองสภาพอากาศด้วยแบบจำลองระดับโลก (Global Model) ที่ความละเอียดต่ำก่อน จากนั้นหากต้องการข้อมูลการพยากรณ์ฝนที่มีความละเอียดสูงขึ้นจึงใช้แบบจำลองในระดับภูมิภาค (Regional Model) คำนวณโดยกำหนดค่าขอบเขตจากผลการพยากรณ์ด้วยแบบจำลองระดับโลกที่ความละเอียดต่ำกว่า และหากยังต้องการข้อมูลที่มีความละเอียดสูงขึ้นก็จำเป็นต้องใช้แบบจำลองระดับประเทศหรือท้องถิ่นต่อไป โดยใช้ค่าของเขตจากแบบจำลองระดับกว้างกว่าเป็นค่าเริ่มต้น ซึ่งค่าขอบเขตนี้มีความสำคัญมากในการพยากรณ์ฝนระยะกลางด้วยแบบจำลองสภาพอากาศเนื่องจากฝนเป็นเหตุการณ์ที่มีความแปรปรวนสูงมาก (Chaotic System) การเปลี่ยนแปลงของค่าขอบเขตเพียงเล็กน้อยสามารถทำให้ผลการพยากรณ์

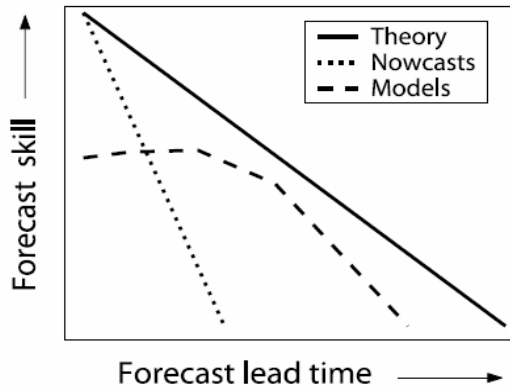
แตกต่างกันอย่างมากได้ (Sutton 1954) ดังนั้นจะเห็นว่าการพยากรณ์ฝนด้วยแบบจำลองสภาพอากาศที่ความละเอียดสูงขึ้นนั้น เป็นงานที่ต้องใช้ทรัพยากรและเวลาเป็นอย่างมาก ยกตัวอย่างเช่น ผลการพยากรณ์ล่วงหน้า 24 ชั่วโมงของตัวแปรน้ำฝนสะสมจากแบบจำลอง MM5 ดังแสดงในรูปที่ 4-8 ที่ความละเอียด 30 กม. จำเป็นต้องใช้เวลาในการพยากรณ์กว่า 3 ชั่วโมงและต้องใช้เครื่องซูเปอร์คอมพิวเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูงมากในการคำนวณเท่านั้น



รูปที่ 4-8 ตัวอย่างการผลการพยากรณ์น้ำฝนสะสมล่วงหน้า 24 ชั่วโมง ที่ความละเอียด 30 กม. ด้วยแบบจำลอง MM5 (ที่มา: Mesoscale and Microscale Meteorology Division, NCAR 2006)

นอกจากนี้การพยากรณ์ฝนในระยะกลางยังมีความเกี่ยวข้องกับการพัฒนาระบบการพยากรณ์ฝนในระยะสั้นอย่างมาก ในอดีตการพยากรณ์ฝนในระยะสั้นจะเน้นการเคลื่อนที่ของกลุ่มฝนเป็นหลัก แต่ในปัจจุบันเริ่มมีแนวความคิดที่จะประยุกต์ใช้แนวคิดจากแบบจำลองการพยากรณ์น้ำฝนระยะกลางนี้เข้ามาเพื่อปรับปรุงการพยากรณ์ระยะสั้นให้มีความถูกต้องมากขึ้น โดยทั่วไปแล้วความถูกต้องในการพยากรณ์ (Forecast Skill) จะลดลงตามเวลาในการพยากรณ์ สำหรับการพยากรณ์ฝนในระยะสั้นด้วยแบบจำลองการเคลื่อนตัวของฝนโดยมากจะมีความถูกต้องมากในระยะแรกเนื่องจากแบบจำลองไม่ต้องอ้างอิงค่าขอบเขตมากนัก แต่ความถูกต้องจะลดลงอย่างรวดเร็ว ในขณะที่การพยากรณ์ด้วยแบบจำลองสภาพอากาศหรือ NWP จะมีความผิดพลาดบ้างในช่วงแรก

เนื่องจากข้อจำกัดของการคำนวณและความถูกต้องของค่าขอบเขตเริ่มต้น แต่เมื่อเวลาผ่านไปจะมีความถูกต้องมากกว่า ความถูกต้องของแบบจำลองระยะสั้นและแบบจำลองสภาพอากาศระยะกลางได้แสดงไว้ในรูปที่ 4-9 จะเห็นว่าความถูกต้องของการพยากรณ์สภาพอากาศถูกจำกัดด้วยค่าทางทฤษฎีเนื่องจากความไม่แน่นอนของปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดฝนเอง ทำให้ไม่สามารถพยากรณ์ฝนเชิงพื้นที่ในระยะยาวให้มีความถูกต้องเพียงพอได้



รูปที่ 4-9 ความสามารถหรือความถูกต้องในการพยากรณ์ฝนจากแบบจำลองระยะกลาง (Model) แบบจำลองระยะสั้น (Nowcast) และความถูกต้องทางทฤษฎี (ที่มา: Lin et al., 2005)

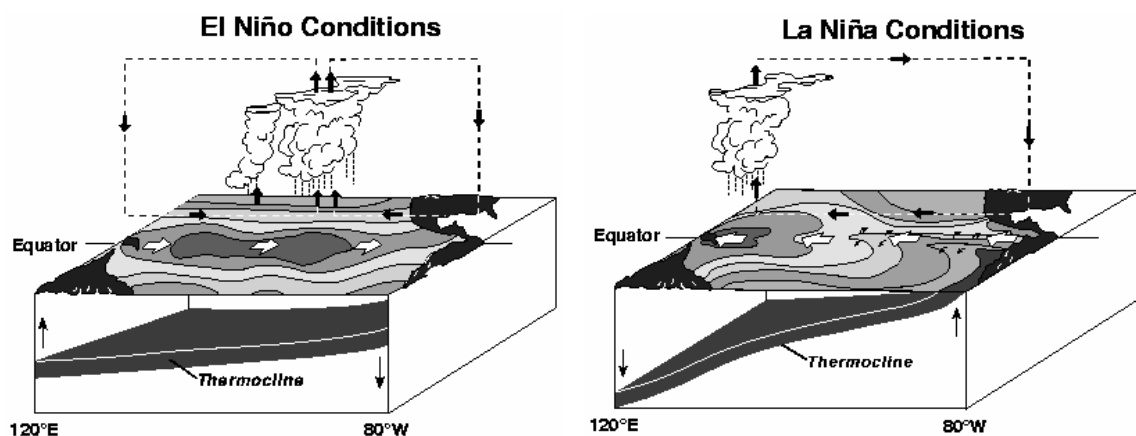
นอกจากแบบจำลอง NWP จะสามารถพยากรณ์น้ำฝนแล้ว แบบจำลองดังกล่าวยังสามารถพยากรณ์ตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยาอื่นๆ ได้อีกด้วย เช่น ความกดอากาศ, อุณหภูมิ, ระดับความชื้น, กลุ่มเมฆฝน, การเคลื่อนตัวของพายุ เป็นต้น การพยากรณ์ตัวแปรเหล่านี้โดยทั่วไปจะมีความแม่นยำมากกว่าการพยากรณ์ฝน ทั้งนี้เนื่องมาจากว่าตัวแปรเหล่านี้มีความแปรปรวนน้อยกว่าฝน ในปัจจุบันข้อมูลต่างๆ เหล่านี้มักจะถูกนำมารวมกัน แล้วพิจารณาโดยผู้เชี่ยวชาญ เพื่อทำการสรุปและพยากรณ์อีกครั้งหนึ่ง แผนที่การพยากรณ์สภาพอากาศที่ปรากฏในรูปที่วี หรือ

อินเตอร์เน็ต เช่นในรูปที่ 4-1 นั้น โดยส่วนมากจะได้มาจากวิจรณ์ญาณของผู้เชี่ยวชาญซึ่งรวบรวมข้อมูลจากหลายแหล่งแล้วทำการวิเคราะห์และนำเสนอการพยากรณ์สภาพอากาศโดยรวม เนื่องจากข้อจำกัดทางด้านความถูกต้องและความละเอียดของแบบจำลอง มีแต่เพียงส่วนน้อยเท่านั้นที่ผลการพยากรณ์จากแบบจำลองสภาพอากาศจะถูกนำมาใช้งานโดยตรง ซึ่งแตกต่างกับการพยากรณ์ฝนในระยะสั้นที่นิยมนำผลการพยากรณ์ที่ได้ไปประยุกต์ใช้งานเข้ากับระบบการจัดการ หรือเตือนภัยอัตโนมัติได้ทันที

4.3 การพยากรณ์น้ำฝนระยะยาว

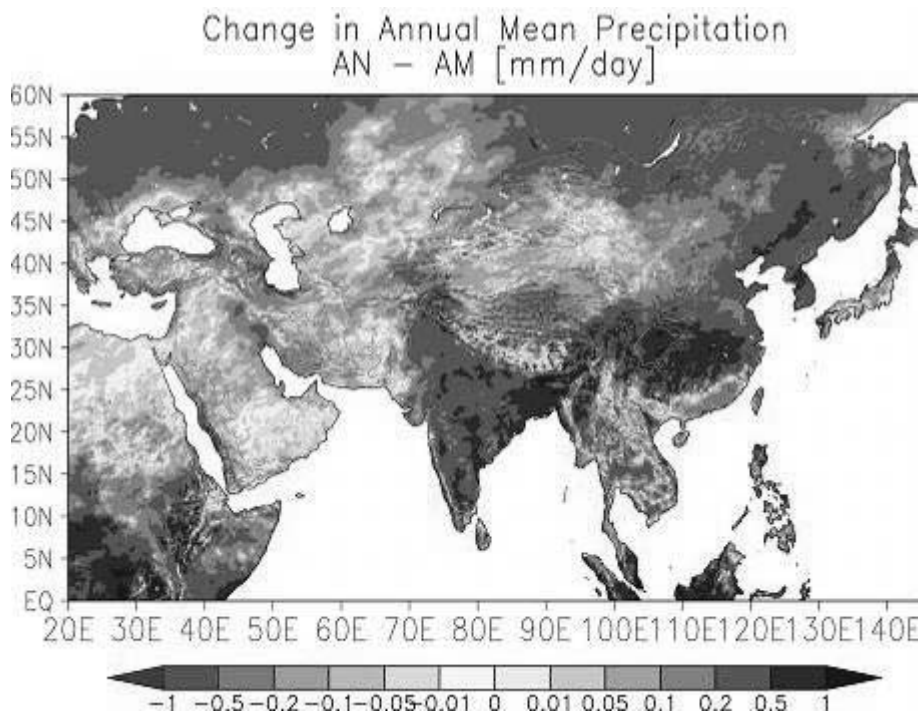
การพยากรณ์ฝนในระยะยาวนั้นหมายถึงการคาดการณ์ลักษณะฝนในระยะเวลารายฤดู หรือรายปี จากที่ได้กล่าวไปแล้วว่าความแปรปรวนของเหตุการณ์ฝนและความสามารถในการพยากรณ์ของฝนจะแปรผกผันกับความละเอียดและระยะเวลาในการพยากรณ์ ดังนั้นการพยากรณ์ฝนในระยะยาวส่วนใหญ่มักจะมีค่าความละเอียดต่ำ โดยมักจะพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำฝนไปจากค่ามาตรฐาน เช่น การพยากรณ์ว่าในปีหน้าปริมาณฝนในประเทศไทยอาจจะมากกว่าปกติ หรือ ปริมาณฝนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือจะน้อยกว่าค่าเฉลี่ย เป็นต้น ข้อมูลดังกล่าวแม้ว่าจะมีความละเอียดต่ำแต่ก็มีความสำคัญอย่างยิ่งในการกำหนดแผนการจัดการทรัพยากรน้ำในระยะยาว เช่น การวางแผนการเพาะปลูก การกำหนดนโยบายการผันน้ำ การเตรียมการก่อสร้างสาธารณูปโภคเพื่อบรรเทาภัยธรรมชาติ อันได้แก่ น้ำแล้ง หรือน้ำท่วมล่วงหน้า เป็นต้น

การพยากรณ์ฝนในระยะยาวโดยใช้แบบจำลองฝน เพื่อทำนายการเคลื่อนที่และการเปลี่ยนแปลงของฝนเชิงพื้นที่ที่ความละเอียดและความถูกต้องสูงนั้นไม่สามารถทำได้ (Sutton 1954) โดยมากแล้วการพยากรณ์ในระยะยาวนี้หาจากความสัมพันธ์ระหว่างฝนและตัวแปรที่สนใจ เช่น อุณหภูมิพื้นผิวทะเล ความกดอากาศ Southern Oscillation Index (SOI) หรือปรากฏการณ์ที่เกี่ยวข้องกับความแปรปรวนของสภาพอากาศของโลก (Global Climate Variation) เช่น ปรากฏการณ์เอลนีโญ (El Niño) ที่อุณหภูมิของมหาสมุทรแปซิฟิกมีอุณหภูมิสูงขึ้นกว่าปกติ มีผลทำให้สภาพอากาศในเขตเอเชียตะวันออกเฉียงใต้และทวีปออสเตรเลียโดยรวมแห้งแล้งขึ้น และทำให้เกิดฝนตกหนักในทวีปอเมริกาฝั่งตะวันตก ในทางตรงกันข้ามปรากฏการณ์ลานีญา (La Niña) ที่อุณหภูมิของอากาศและผิวทะเลเฉลี่ยของมหาสมุทรแปซิฟิกลดลงส่งผลให้เกิดฝนตกหนักกว่าปกติในทวีปเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เป็นต้น (รูปที่ 4-10) รายละเอียดเพิ่มเติมเกี่ยวกับปรากฏการณ์ดังกล่าวและผลต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศโลกสามารถหาอ่านได้จากเว็บไซต์ (National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) 2007) หรือเอกสารเกี่ยวกับการศึกษาความแปรปรวนของสภาพภูมิอากาศของโลกอื่นๆ



รูปที่ 4-10 ปรากฏการณ์เอลนีโญ (ซ้าย) ที่อุณหภูมิมหาสมุทรแปซิฟิกเพิ่มสูงขึ้นกว่าปกติ มีส่วนให้ปริมาณฝนที่ตกในประเทศไทยลดต่ำลง ในขณะที่ปรากฏการณ์ลานีญา (ขวา) ที่อุณหภูมิในมหาสมุทรแปซิฟิกต่ำกว่าปกติ มีส่วนให้ปริมาณน้ำฝนในประเทศไทยเพิ่มสูงขึ้น (ที่มา: NOAA - http://www.pmel.noaa.gov/tao/el_nino/nino-home.html)

การพยากรณ์ในระยะยาวนี้บางครั้งอาจรวมไปถึงการศึกษาเรื่องการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศโลกด้วย (Global Climate Change) เช่น การใช้แบบจำลอง General Circulation Model (GCM) เพื่อทำการศึกษาผลกระทบของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หรือก๊าซเรือนกระจกต่างๆ ต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำฝนและน้ำท่าในพื้นที่ต่างๆ ของโลก ตามข้อสมมุติฐานต่างๆ เช่น กำหนดให้อัตราการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมีค่าคงที่และเท่ากับค่าในปัจจุบัน เป็นต้น แบบจำลองเหล่านี้สามารถให้ค่าการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศจากกรณีศึกษาต่างๆ ในระยะยาว เช่น 50 ปี หรือ 100 ปีล่วงหน้าได้ ดังตัวอย่างที่แสดงในรูปที่ 4-11 อย่างไรก็ตามก็ดียังไม่มีข้อสรุปที่แน่ชัดเกี่ยวกับความถูกต้องและผลที่แท้จริงจากสถานะการเปลี่ยนแปลงของโลก นอกจากนี้ข้อมูลเหล่านี้มักจะมีความละเอียดต่ำ จึงอาจจำเป็นต้องสังเคราะห์ข้อมูล หรือปรับปรุงแบบจำลองให้มีความละเอียดเพิ่มขึ้น ถึงกระนั้นข้อมูลระยะยาวเหล่านี้มีประโยชน์อย่างมากในการวางกรอบแนวทางการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมของประเทศและของโลก เพื่อไม่ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่รุนแรงและมีผลกระทบต่อการดำเนินชีวิตของสิ่งมีชีวิตทั้งหลายในโลก



รูปที่ 4-11 ปริมาณน้ำฝนที่เปลี่ยนไปจากค่าเฉลี่ยอันเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศโลกในอีกประมาณ 50 ปีข้างหน้า (ที่มา: Kitoh, Nohara, and Hosaka ,2006)

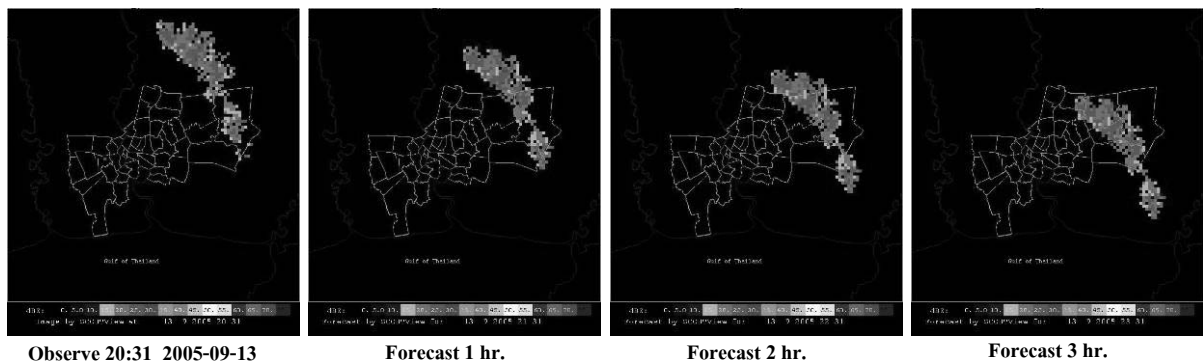
5. การประยุกต์ใช้ข้อมูลระยะไกลเพื่อการพยากรณ์ฝนในประเทศไทย

การประยุกต์ใช้ข้อมูลด้านเทคโนโลยีระยะไกลในช่วงที่ผ่านมา มีหลายหน่วยงานที่นำข้อมูลที่ตรวจวัดและรวบรวมไว้ทั้งข้อมูลจากเรดาร์และข้อมูลจากดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาไปประยุกต์ใช้งาน เช่น กรมอุตุนิยมวิทยา สำนักฝนหลวงและการบินเกษตร สำนักการระบายน้ำ กรุงเทพมหานคร และการศึกษาวิจัยในระดับมหาวิทยาลัย เป็นต้น โดยการประยุกต์ใช้นอกจากการประมาณปริมาณฝนจากข้อมูลระยะไกลที่ได้กล่าวไว้ใน บทที่ 3 แล้ว ยังมีการนำผลจากข้อมูลตรวจวัดระยะไกลมาใช้ในการพยากรณ์ฝน โดยมีรายละเอียดดังนี้

5.1 การพยากรณ์ฝนในประเทศไทย

1) การพยากรณ์ฝนในระยะสั้น

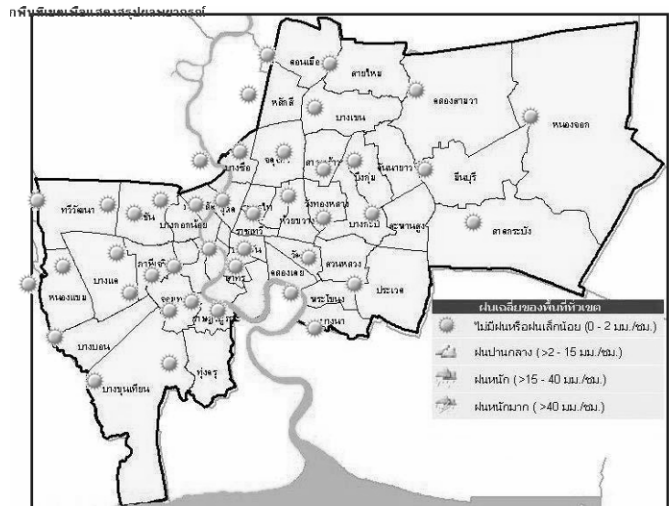
การพยากรณ์ฝนในระยะสั้น จะใช้ข้อมูลจากการตรวจวัดด้วยเรดาร์ โดยแปลงค่าความเข้มของคลื่นการสะท้อนเป็นค่าความเข้มฝนที่ตก จากนั้นจะใช้แบบจำลองเพื่อพยากรณ์ฝนที่จะตกในชั่วโมงต่อไป ซึ่งปัจจุบันเริ่มใช้ในกรุงเทพมหานคร โดยสำนักการระบายน้ำ กรุงเทพมหานคร (2548) การศึกษาดังกล่าวใช้ข้อมูลการตรวจวัดจากเรดาร์ภานีเจริญในเขตกรุงเทพมหานคร เพื่อประเมินปริมาณน้ำฝนจากสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อนกลับและปริมาณน้ำฝน โดยใช้ข้อมูลฝนสะสมรายชั่วโมงจากสถานีวัดน้ำฝนเป็นค่าปรับแก้ จากนั้นจึงนำข้อมูลฝนเชิงพื้นที่ดังกล่าวเข้าแบบจำลอง SCOUT เพื่อพยากรณ์น้ำฝนในระยะเวลา 1, 2, และ 3 ชั่วโมงล่วงหน้า ข้อมูลการตรวจวัดปริมาณน้ำฝนและการพยากรณ์น้ำฝนนี้จะได้นำไปใช้เพื่อการบริหารจัดการน้ำท่วมในเขตกรุงเทพมหานครต่อไป



รูปที่ 5-1 ตัวอย่างการพยากรณ์ฝนล่วงหน้า 1-3 ชั่วโมง ในเขตกรุงเทพมหานคร ของสำนักระบายน้ำกรุงเทพมหานคร (ที่มา: สำนักการระบายน้ำ กรุงเทพมหานคร)

2) การพยากรณ์ฝนในระยะกลาง

การพยากรณ์ฝนในระยะกลาง จะพยากรณ์ในรูปแบบของฝน ความเร็วลม เป็นต้น ล่วงหน้า 1-10 วัน โดยใช้แบบจำลองเพื่อการพยากรณ์อากาศ เช่น แบบจำลอง MM5 โดยใช้ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาจากสถานีตรวจอากาศทั่วโลก เช่น ฝน ความกดอากาศ ทิศทางและความเร็วลม อุณหภูมิ เป็นต้น และใช้ข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียมและเรดาร์มาซ้อนทับเป็นตัวอย่างในการแปลผลและอธิบายความหมายของข้อมูล โดยปัจจุบันกรมอุตุนิยมวิทยาเป็นหน่วยงานที่ทำการพยากรณ์ข้อมูลดังกล่าว



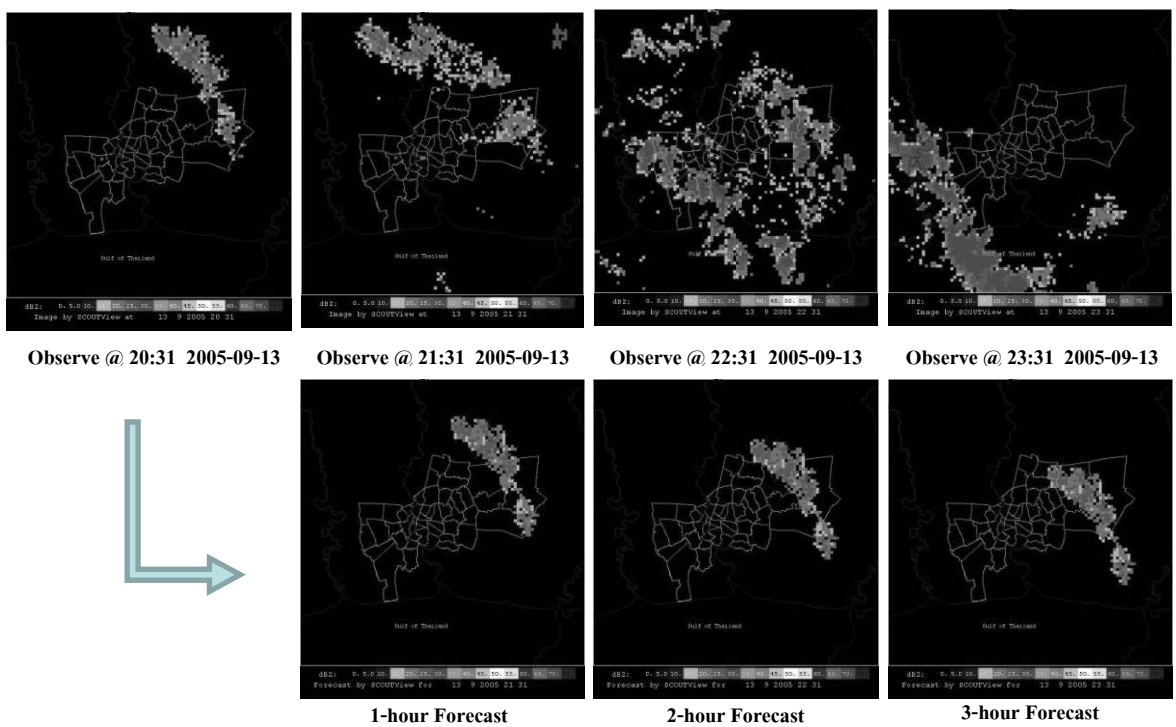
รูปที่ 5-2 ผลการพยากรณ์ฝนล่วงหน้า 1 ชั่วโมง ในเขตกรุงเทพมหานคร (ที่มา: สำนักการระบายน้ำ)

3) การพยากรณ์ฝนในระยะยาว

การพยากรณ์ฝนในระยะยาว ได้จากการนำสถิติข้อมูลในอดีตที่รวบรวมทั้งจากสถานีภาคพื้นดิน และจากการตรวจวัดระยะไกล เช่น ข้อมูลภูมิอากาศ (ความกดอากาศ) อุณหภูมิผิวน้ำทะเลที่วัดโดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียมประกอบกับหุ่นวัดทางสมุทรศาสตร์ และระดับความสูงของผิวน้ำในมหาสมุทรซึ่งวัดโดยดาวเทียมกับสถานีวัดระดับน้ำตามเกาะและชายฝั่ง มาใช้ในการพยากรณ์ข้อมูลอากาศในอนาคต โดยใช้แบบจำลองการหมุนเวียนของมวลอากาศโลก (General Circulation Models) พยากรณ์ในรูปแบบของอุณหภูมิ ปริมาณฝน ความเร็วลม เป็นต้น โดยสามารถพยากรณ์การเกิดปรากฏการณ์ที่มีผลกระทบต่อปริมาณฝน ได้แก่ ปรากฏการณ์เอลนีโญ ที่ทำให้ปริมาณฝนในประเทศไทยน้อยกว่าปกติจนเกิดภัยแล้ง และ ปรากฏการณ์ลานีญา ที่ทำให้ปริมาณฝนในประเทศไทยหนาแน่นมากกว่าปีปกติจนเกิดน้ำท่วม ซึ่งสามารถพยากรณ์ได้ล่วงหน้า 6-12 เดือน นอกจากนี้การคำนวณจากแบบจำลองดังกล่าวจะสามารถพยากรณ์อากาศล่วงหน้าระยะยาวในกรณีที่โลกร้อนขึ้น ว่าใน 50 ปี หรือ 100 ปี ข้างหน้าว่าปริมาณฝนและข้อมูลภูมิอากาศอื่นๆ มีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร โดยปัจจุบันหน่วยงานหลักที่มีการศึกษาวิจัยในการพยากรณ์อากาศระยะยาว ได้แก่ ศูนย์เครือข่ายงานวิเคราะห์วิจัยและฝึกอบรมการเปลี่ยนแปลงของโลกแห่งภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (START)

5.2 แนวทางการปรับปรุงการพยากรณ์น้ำฝนในพื้นที่กรุงเทพมหานครจากสถานีเรดาร์

ในปัจจุบันการพยากรณ์น้ำฝนในระยะสั้น โดยใช้ข้อมูลการตรวจวัดด้วยเรดาร์นั้น ได้ดำเนินการศึกษาและเริ่มประยุกต์ใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการระบายน้ำในความดูแลของสำนักกระบายน้ำ กรุงเทพมหานคร ตามที่ได้นำเสนอไปแล้วเบื้องต้น อย่างไรก็ตามวิธีการในการพยากรณ์ฝนระยะสั้นดังกล่าวนี้ยังมีข้อจำกัดอยู่บางประการที่อาจส่งผลกระทบต่อความถูกต้องในการพยากรณ์ ข้อจำกัดประการแรกคือวิธีการในการหาสนามความเร็วและการเคลื่อนที่ของกลุ่มฝน โดยในการศึกษาดังกล่าวอ้างอิงเทคนิคจุดศูนย์กลางมวล (Centroidal Method) เพื่อหาขนาดและทิศทางของการเคลื่อนที่รวมของมวลฝน และกำหนดให้มวลฝนทั้งหมดเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกัน แนวทางดังกล่าวจำเป็นต้องใช้การฝึกแบบจำลองด้วยข้อมูลฝนในอดีตจำนวนมากซึ่งค่อนข้างยุ่งยาก นอกจากนี้การกำหนดให้มวลฝนทั้งหมดเคลื่อนที่ไปด้วยความเร็วและทิศทางเดียวกันอาจไม่เหมาะสมหากเกิดการหมุนตัว รวมตัว หรือมวลฝนแยกตัวจากกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากขยายพื้นที่ศึกษาให้มีขนาดใหญ่ขึ้น นอกจากนี้ข้อจำกัดประการที่สองคือวิธีการพยากรณ์ฝนที่ได้ศึกษานั้นยังไม่คำนึงถึงการเกิดของกลุ่มฝนใหม่ การขยายตัวและการสลายตัวของกลุ่มฝนเดิม ข้อจำกัดทั้งสองนี้ทำให้การพยากรณ์ฝนระยะสั้นจากสถานีเรดาร์ในกรุงเทพมหานครมีความมีความคลาดเคลื่อนสูง ดังตัวอย่างที่แสดงในรูปที่ 5-3 ซึ่งเปรียบเทียบผลการพยากรณ์ 1 – 3 ชั่วโมงล่วงหน้า (ล่าง) กับภาพถ่ายเรดาร์ที่วัดได้จริง (บน) เมื่อวันที่ 13 กันยายน 2548 ซึ่งจะเห็นว่าตำแหน่ง ลักษณะ และความเข้มฝนที่ได้จากการพยากรณ์และที่วัดจริงมีความแตกต่างกันอยู่มาก



รูปที่ 5-3 ตัวอย่างเปรียบเทียบข้อมูลฝนจากสถานีเรดาร์ เมื่อเวลา 20:30 น. – 23:30 น. วันที่ 13 กันยายน 2548 (บน) กับผลการพยากรณ์ล่วงหน้า 1-3 ชั่วโมง จากข้อมูลฝน ณ เวลา 20:30 น. (ล่าง) ของพื้นที่กรุงเทพมหานคร (ที่มา: สำนักการระบายน้ำ กรุงเทพมหานคร)

สำหรับแนวทางในการปรับปรุงการพยากรณ์น้ำฝนในพื้นที่กรุงเทพมหานครจากสถานีเรดาร์ที่ได้ทำการศึกษาไว้เบื้องต้น Chatdarong(2006b, 2007) ได้เสนอให้มีการพัฒนาการหาสนามความเร็วและการเคลื่อนที่ของกลุ่มฝนเดิม ให้มีความถูกต้องและมีประสิทธิภาพสูงขึ้น โดยปรับปรุงเทคนิคการหาสนามความเร็วที่อ้างอิงจุดศูนย์กลางมวลมาใช้วิธีการแก้สมการวัตถุประสงค์ ซึ่งได้กล่าวไปแล้วในหัวข้อที่ 4.1 ส่วนการปรับปรุงแบบจำลองให้คำนึงถึงการเกิดใหม่ เพิ่มขนาดและสลายตัวของกลุ่มฝน มีความจำเป็นต้องรวบรวมข้อมูลเพิ่มเติม เช่น ขอบเขตการเคลื่อนที่ของมวลอากาศ ความชื้นในอากาศ ความเร็วลมในการเคลื่อนที่แนวตั้ง เป็นเรื่องที่จะทำการศึกษาและเสนอแนวทางต่อไปในอนาคต

ข้อมูลสนามความเร็วเป็นข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญในแบบจำลองตัวแปรทางอุณหภูมิมิที่ใช้ในการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ หาดำแหน่งและการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลเชิงพื้นที่ที่สนใจ เช่นการนำไปใช้เพื่อการพยากรณ์ฝนระยะสั้น เป็นต้น การหาสนามความเร็วนั้นสามารถหาได้จาก 2 แหล่ง คือ จากภาคสนาม และจากการใช้เทคนิควิเคราะห์ความเร็วจากภาพถ่าย ในทางปฏิบัติ การออกภาคสนามไปเก็บข้อมูลเพิ่มเติมที่มีความละเอียดนั้นต้องใช้ใช้เวลาและค่าใช้จ่ายสูง จึงเสนอให้ใช้แนวทางในการวิเคราะห์หาสนามความเร็วจากภาพถ่ายเรดาร์ที่มีอยู่แล้วสำหรับเทคนิคในการหาสนามความเร็วจากภาพถ่ายนี้ ได้เสนอให้ใช้วิธีการแก้สมการวัตถุประสงค์ (Variational Technique) ซึ่งมีความสะดวก รวดเร็ว และให้สนามความเร็วที่มีความละเอียดสูง สอดคล้องกับความเป็นจริงมากกว่าเทคนิคการวัดการเคลื่อนที่ของศูนย์กลางมวล (Centroidal Technique) หรือเทคนิคการหาความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ (Correlation Technique) ตามที่ได้กล่าวไปแล้ว

สำหรับวิธีการหาสนามความเร็วด้วยเทคนิคการแก้สมการวัตถุประสงค์ได้เสนอให้ใช้วิธีการที่เรียกว่า Multi-resolution Viscous Alignment (MVA) โดยวิธี MVA นี้ได้ใช้หลักการของ Bayesian ในการแก้ปัญหาการเคลื่อนที่ โดยประยุกต์มาจากแบบจำลอง Field Alignment ที่ใช้ในการวิจัยของ Ravela และคณะ (2006) เพื่อการปรับแก้และรวบรวมข้อมูล (Data Assimilation) และในงานวิจัยของ Chatdarong (2006) และ Ravela & Chatdarong (2006) เพื่อหาความเร็วลมจากอนุกรมยอคเมฆ วิธีการดังกล่าวสามารถใช้หาสนามความเร็วจากภาพถ่ายสองภาพที่ระยะเวลาห่างกันค่อนข้างมากหรือเมื่อเหตุการณ์มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้วิธี MVA ยังใช้งานได้ง่าย รวดเร็ว และไม่ต้องฝึกให้โปรแกรมเรียนรู้จากข้อมูลเก่าๆในอดีตอีกด้วย

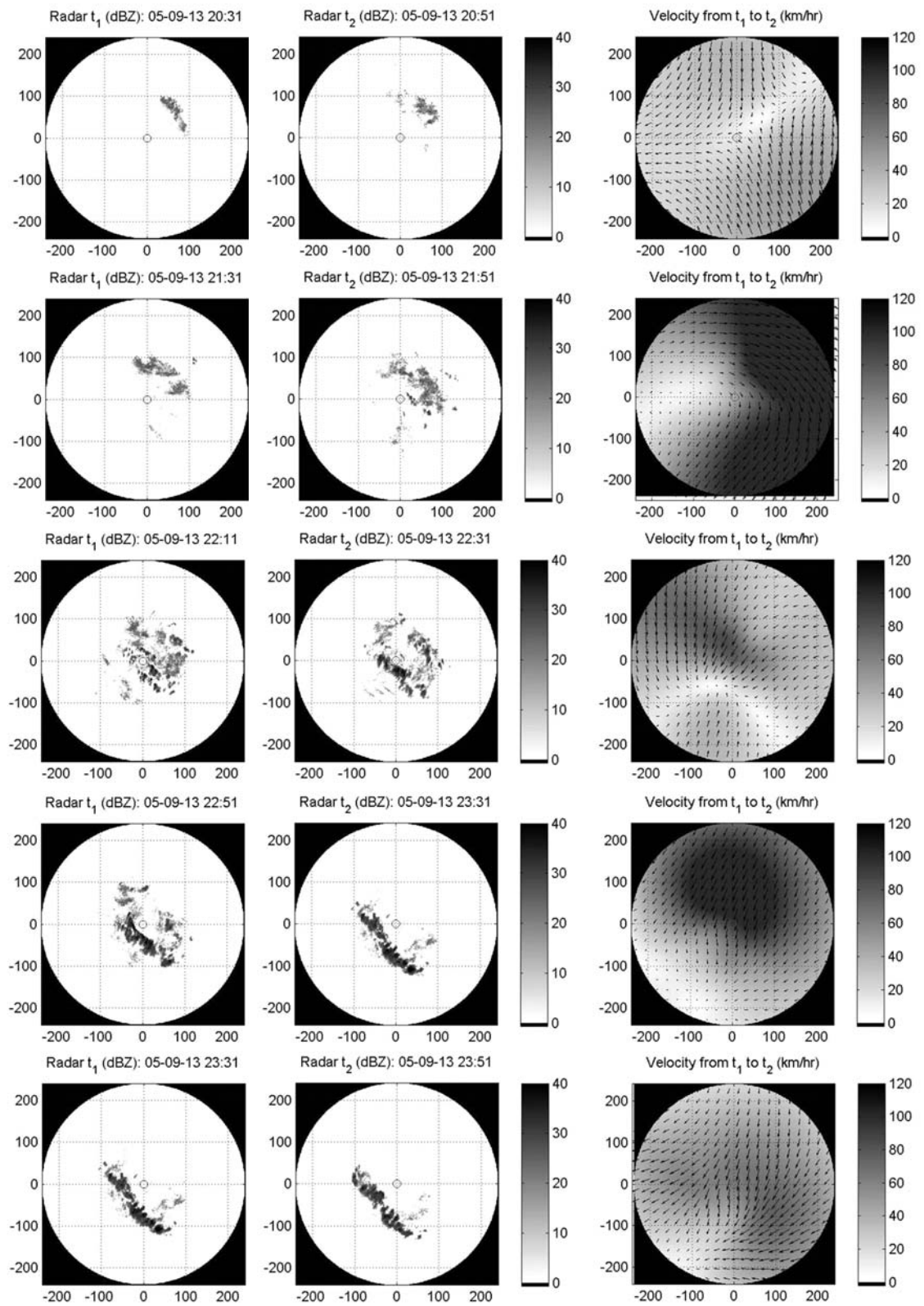
หลักการทำงานโดยสังเขปของวิธีการ MVA เริ่มจากการนำเข้าข้อมูลภาพสองภาพที่เวลาต่อเนื่องกัน เช่น ภาพฝนที่เวลา t_1 และภาพฝนที่เวลา t_2 ที่ 10 นาทีต่อมา เป็นต้น การกำหนดสมการวัตถุประสงค์ซึ่งเป็นหัวใจหลักของเทคนิคดังกล่าวจะใช้ผลรวมของ 2 ฟังก์ชันอันได้แก่ (1) ฟังก์ชันความแตกต่างของภาพฝนที่เวลา t_1 หลังการเคลื่อนที่ไปด้วยสนามความเร็วเปรียบเทียบกับภาพฝนที่ เวลา t_2 และ (2) ฟังก์ชันค่าความต่อเนื่องของสนามความเร็ว โดยฟังก์ชันที่ 1 จะมีค่าน้อยเมื่อภาพทั้งสองซ้อนทับกันได้สนิท และฟังก์ชันที่ 2 จะมีค่าน้อยเมื่อสนามความเร็วมีค่าต่อเนื่องและไม่กระจกระบายไปในทิศทางต่างๆ โดยทั่วไปทั้งสองฟังก์ชันนี้จะมีความสัมพันธ์ที่ตรงกันข้ามกัน กล่าวคือ หากต้องการให้ภาพสองภาพวางซ้อนทับกันได้พอดีก็มักต้องใช้สนามความเร็วที่กระจกระบายในการเคลื่อนย้ายจุดแต่ละจุดไปในตำแหน่งที่เหมาะสม ในทางตรงกันข้ามหากต้องการให้สนามความเร็ว

มีความต่อเนื่อง การซ้อนทับกันของภาพหลังการเคลื่อนที่มักไม่ทับกันสนิท ดังนั้นสนามความเร็วที่จะทำให้ค่าสมการวัตถุประสงค์ที่เกิดจากสองฟังก์ชันนี้รวมกันมีค่าต่ำที่สุดจำเป็นต้องมีความต่อเนื่องพอสมควรและทำให้ภาพสองภาพเมื่อมีการเคลื่อนที่ไปแล้วซ้อนทับกันได้สนิทเพียงพอ

สมการวัตถุประสงค์นี้จะอยู่ในรูปของสมการปัวร์ซอง (Poisson) สองมิติแบบไม่เป็นเส้นตรง (Non-linear Equation) ซึ่งไม่สามารถแก้สมการ โดยตรง ได้ จึงจำเป็นต้องใช้วิธีประมาณด้วยวิธีการแก้สมการซ้ำ (Numerical Iteration Method) วิธีซึ่งเปรียบได้กับการขยับรูปไปที่ละน้อยในทิศทางที่ทำให้ค่าสมการวัตถุประสงค์มีค่าต่ำลง โดยทำซ้ำๆ ไปเรื่อยๆ จนกว่าค่าสมการวัตถุประสงค์จะคงที่ ผลรวมของการเคลื่อนที่ทั้งหมดคือคำตอบของสนามความเร็วที่ทำให้ค่าสมการวัตถุประสงค์มีค่าน้อยที่สุด ผู้สนใจสามารถอ่านรายละเอียดของการหาสนามความเร็วด้วยวิธี MVA และตัวอย่างการตรวจสอบความถูกต้องได้ในภาคผนวก ก

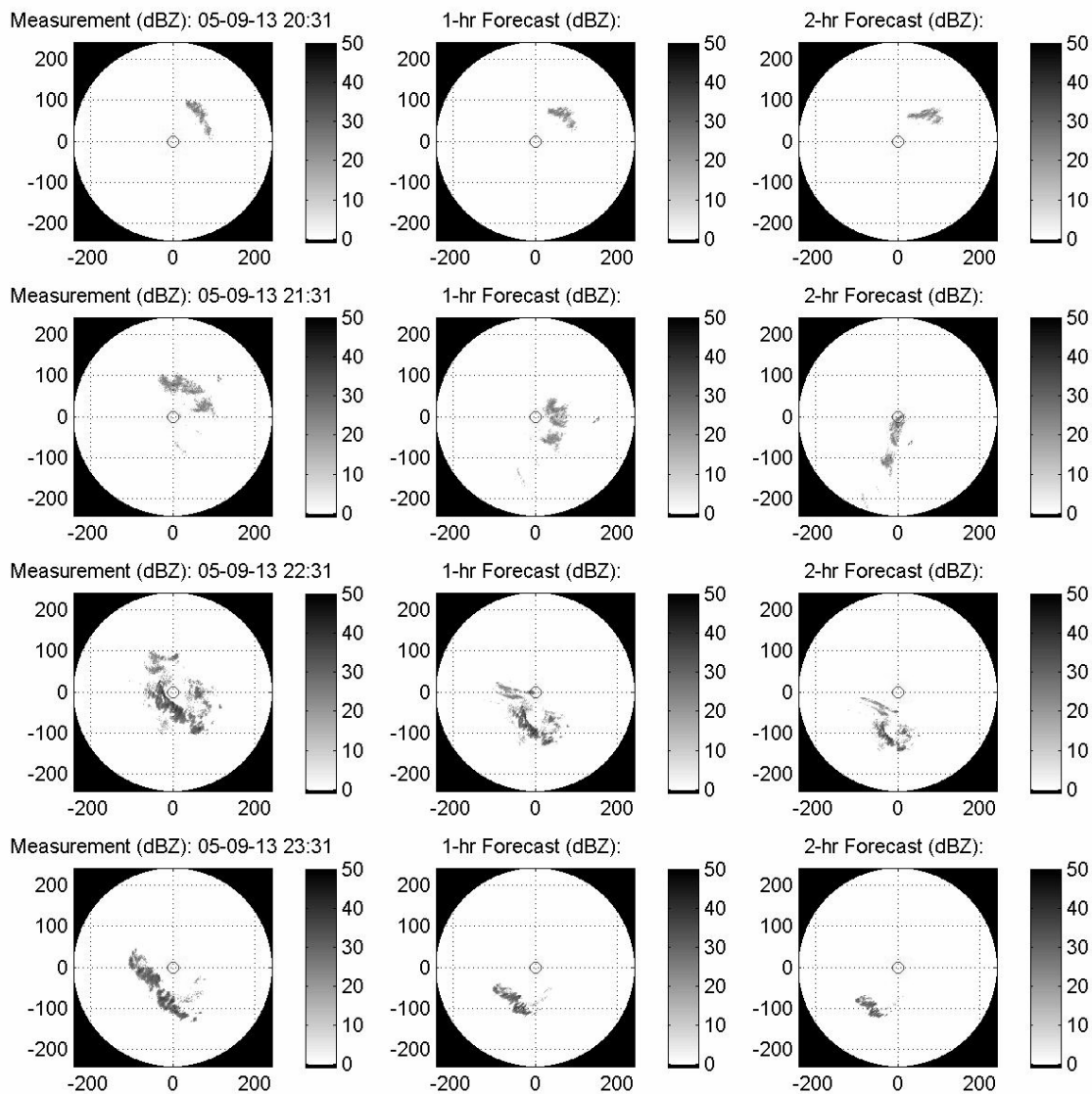
สนามความเร็วที่ได้จากวิธี MVA จะมีความละเอียดสูง มีความต่อเนื่อง และสอดคล้องกับการเคลื่อนที่ของกลุ่มฝน แต่วิธีการดังกล่าวไม่สามารถหาการเคลื่อนที่โดยตรงเมื่อไม่มีข้อมูลโดยตรงได้ ดังนั้นจึงอาจมีความคลาดเคลื่อนในพื้นที่ที่ไม่มีกลุ่มฝนเนื่องจากวิธีการดังกล่าวจะใช้การประมาณเชิงพื้นที่เพื่อคาดคะเนสนามความเร็วในพื้นที่ดังกล่าวที่ทำให้เกิดความต่อเนื่องที่สุด รูปที่ 5-4 แสดงตัวอย่างของสนามความเร็วที่คำนวณได้จากวิธี MVA ของภาพถ่ายฝนจากสถานีเรดาร์ภายีเจริญ กรุงเทพมหานคร ระหว่างเวลาประมาณ 20:30 น. ถึงเวลา 23:51 น. วันที่ 13 กันยายน 2548 ที่มีทิศทางการเคลื่อนที่เฉลี่ยไปทางตะวันตกเฉียงใต้จะเห็นว่าสำหรับภาพฝนภายหลัง 23 นาฬิกาที่กลุ่มฝนมีการเคลื่อนที่ในแนวราบเป็นหลัก สนามความเร็วที่ได้จะมีขนาดและทิศทางใกล้เคียงกันในเวลาที่ต่อเนื่องกันและจะมีความต่อเนื่องในการพยากรณ์ฝนสูง ในทางตรงกันข้ามเมื่อสังเกตเหตุการณ์ฝนก่อนเวลา 23 นาฬิกาที่กลุ่มฝนมีการก่อตัวและขยายตัวมาก เทคนิค MVA จะให้สนามความเร็วที่กระจายออกจากจุดศูนย์กลาง (Divergence) เพื่อพยายามชดเชยการเกิดขึ้นของกลุ่มฝนใหม่ด้วยการเคลื่อนที่ในแนวราบ ในทางกลับกันหากฝนมีการสลายตัว เทคนิค MVA จะให้สนามความเร็วที่มีการลู่เข้า (Convergence) เพื่อลดฝนด้วยการเคลื่อนที่ในแนวราบเช่นกัน

สนามความเร็วที่ได้จากวิธี MVA มีความสอดคล้องทางทฤษฎีซึ่งแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงจากภาพที่เวลา t_1 เป็นภาพที่เวลา t_2 แต่หากจะใช้ความเร็วดังกล่าวในการพยากรณ์ฝนจำเป็นจะต้องทำการวิเคราะห์และปรับแก้ข้อมูลในอดีตเหล่านี้ให้สามารถใช้แทนการเคลื่อนที่ในอนาคตได้อย่างเหมาะสม ทั้งนี้การปรับแก้พื้นฐานสามารถทำได้โดยการเฉลี่ยค่าสนามความเร็วแบบถ่วงน้ำหนักตามเวลาในอดีต วิธีการดังกล่าวจะให้ความถูกต้องสูงในกรณีที่กลุ่มฝนมีการคงรูปและมีการเคลื่อนที่ในแนวราบเป็นหลัก สำหรับในกรณีที่กลุ่มฝนมีการเกิดใหม่ ขยายตัวหรือหดตัวอย่างเห็นได้ชัดสนามความเร็วที่ได้จากช่วงเวลาต่างๆ จะมีความแปรปรวนสูง ดังนั้นการพยากรณ์ฝนระยะสั้นอาจมีความผิดพลาดได้ง่าย



รูปที่ 5-4 สนามความเร็ว (ขวา) ระหว่างภาพที่เวลา t_1 (ซ้าย) และภาพที่เวลา t_2 (กลาง) ที่คำนวณได้จากวิธี MVA

ตัวอย่างการพยากรณ์ฝนโดยการใช้สนามความเร็วจากวิธี MVA จากข้อมูลเรดาร์ภณีเจริญเมื่อวันที่ 13 กันยายน 2548 แสดงในรูปที่ 5-5 โดยในสดมภ์ซ้ายสุดแสดงข้อมูลตรวจวัดจากสถานีเรดาร์ตรวจอากาศ ณ เวลาต่างๆ สดมภ์กลางและขวาแสดงข้อมูลฝนล่วงหน้าในระยะเวลา 1 และ 2 ชั่วโมงด้วยวิธี MVA จากข้อมูลตรวจวัดด้านซ้ายมือ ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบผลการพยากรณ์กับภาพถ่ายฝนจริง จะเห็นว่า การพยากรณ์ฝนด้วยวิธี MVA สามารถให้ผลเป็นที่น่าพอใจ เมื่อกลุ่มฝนมีการเคลื่อนที่ในแนวราบเป็นหลัก อนึ่งเนื่องจากสนามความเร็วที่ได้จากวิธี MVA ไม่ได้เป็นไปในทิศทางเดียวแต่มีการลู่เข้าหรือลู่ออกได้ ดังนั้นมวลฝน ณ เวลาต่างๆ สามารถมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น หรือลดลงได้ ไม่เหมือนกับวิธีการหาจุดศูนย์กลางมวลที่กลุ่มฝนจะมีมวลเท่ากันตลอด นอกจากนี้วิธี MVA ยังสามารถแสดงการหมุนของกุ่มฝนได้ซึ่งไม่สามารถทำได้โดยใช้วิธีการหาศูนย์กลางมวลเดิมซึ่งปัจจัยเหล่านี้จะมีความสำคัญมากขึ้นหากประยุกต์ใช้กับพื้นที่ที่มีขนาดใหญ่ขึ้น เช่นในระดับภาค หรือระดับประเทศ เป็นต้น



รูปที่ 5-5 ตัวอย่างการพยากรณ์น้ำฝน 1-2 ชั่วโมงล่วงหน้า ด้วยสนามความเร็วจากวิธี MVA

การใช้เทคนิค Multi-resolution Viscous Alignment (MVA) ในการคำนวณหาสนามความเร็วเพื่อพยากรณ์การเคลื่อนที่ของฝนในระยะสั้นนั้น เป็นแนวทางเลือกหนึ่งซึ่งจะช่วยปรับปรุงระบบการพยากรณ์น้ำฝนในพื้นที่กรุงเทพมหานครจากสถานีเรดาร์ด้วยวิธีการกำหนดจุดศูนย์กลางมวลที่ใช้อยู่ในปัจจุบันได้ เนื่องจากสนามความเร็วที่ได้จากวิธี MVA นี้มีความละเอียดสูง มีความต่อเนื่อง สอดคล้องกับความเป็นจริง และสามารถคำนึงถึงผลการหมุนของกลุ่มฝนได้ อีกทั้งยังสะดวกและรวดเร็วกว่าเนื่องจากไม่จำเป็นต้องฝึกแบบจำลองด้วยข้อมูลในอดีต นอกจากนี้ยังมีความยืดหยุ่นที่จะสามารถปรับเปลี่ยนหรือแก้ไขได้ เช่น หากมีข้อมูลสนามความเร็วเบื้องต้นก็สามารถรวมเข้าไปในสมการวัตถุประสงค์ได้โดยง่าย ดังนั้นวิธีการ MVA นี้ น่าจะสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการพยากรณ์น้ำฝนระยะสั้นได้ในเบื้องต้น อย่างไรก็ตามวิธีการพยากรณ์ที่แม่นยำขึ้นนั้นจำเป็นต้องพิจารณาถึงผลของการเกิดกลุ่มฝนใหม่ การเพิ่มขึ้นและลดลงของกลุ่มฝนเก่าด้วย โดยเฉพาะในการพยากรณ์ฝนที่ระยะเวลายาวนานกว่า 1 ชั่วโมงที่ยังเป็นข้อจำกัดของแบบจำลองการเคลื่อนที่ฝนในปัจจุบัน ดังนั้นจึงควรได้มีการศึกษาและพัฒนาแบบจำลองให้คำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงของกลุ่มฝน เพื่อให้การพยากรณ์น้ำฝนระยะสั้นมีประสิทธิภาพและความถูกต้องเพิ่มขึ้นต่อไป

6. ข้อสรุปการใช้เทคโนโลยีข้อมูลระยะไกล

การใช้เทคโนโลยีข้อมูลระยะไกลได้เข้ามามีบทบาทในการพยากรณ์ฝน เริ่มตั้งแต่การนำมาใช้ในการตรวจวัดปริมาณน้ำฝน ซึ่งการตรวจวัดน้ำฝนแบบดั้งเดิมจะใช้เครื่องตรวจวัดน้ำฝนภาคพื้นดิน (Rain-gauge) ซึ่งสามารถตรวจวัดปริมาณน้ำฝนจริงที่ตกลงในพื้นที่เล็กๆ ได้ดี แต่เมื่อเทคโนโลยีข้อมูลระยะไกลได้เริ่มเข้ามามีบทบาท การตรวจวัดน้ำฝนจึงสามารถตรวจวัดได้จากสถานีเรดาร์ตรวจอากาศภาคพื้นดิน (Ground-based Weather Radar Station) ซึ่งสามารถวัดข้อมูลที่มีความละเอียดทั้งในเชิงพื้นที่และความถี่การตรวจวัด แต่มีข้อจำกัดของการเก็บข้อมูลในบริเวณมหาสมุทรและพื้นที่กันดารที่ไม่สามารถติดตั้งสถานีเรดาร์ได้ นอกจากนี้เรดาร์ตรวจอากาศภาคพื้นดินแล้วยังมีการตรวจวัดโดยใช้ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา ซึ่งสามารถให้ข้อมูลปริมาณน้ำฝนและสภาพอากาศที่ชั้นบรรยากาศใกล้ผิวโลกได้ โดยมีความถูกต้องใกล้เคียงกับข้อมูลจากเรดาร์ตรวจอากาศ แต่ที่ความละเอียดน้อยกว่า ซึ่งเครื่องมือแต่ละชนิดมีข้อดี-ข้อเสียและความเหมาะสมในการใช้ประโยชน์แตกต่างกันไป

การใช้เทคโนโลยีระยะไกลในประเทศไทย ในรูปแบบของการตรวจวัดและการนำข้อมูลมาใช้ในการประมาณปริมาณฝน สามารถสรุปได้ดังนี้

1) ข้อมูลระยะไกลที่ประเทศไทยมีการตรวจวัด ประกอบด้วย ข้อมูลจากเรดาร์ตรวจอากาศซึ่งมีการจัดตั้งโดยหลายหน่วยงาน เพื่อใช้งานตรวจวัดสภาพอากาศ หน่วยงานที่รับผิดชอบ ได้แก่ กรมอุตุนิยมวิทยามีเรดาร์จำนวน 23 สถานี สำนักฝนหลวงและการบินเกษตรมีเรดาร์จำนวน 5 สถานี และสำนักการระบายน้ำกรุงเทพมหานครมีเรดาร์ จำนวน 1 สถานี สำหรับข้อมูลอีกแหล่ง คือ ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาซึ่งประเทศไทยดำเนินการรับสัญญาณจากดาวเทียมหลายดวง ได้แก่ ดาวเทียม GMS - 5 (ปัจจุบันเป็นดาวเทียม MTSAT), ดาวเทียม NOAA - 12 , NOAA - 14 , LANDSAT-5, LANDSAT-7, ISR-1C, IRS-1D, RADARSAT-1, Terra (MODIS), IKONOS และ QuickBird หน่วยงานที่รับสัญญาณ ได้แก่ กรมอุตุนิยมวิทยา และ สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน)

2) การนำข้อมูลระยะไกลมาใช้ในการประมาณปริมาณฝน ประกอบด้วย การประมาณปริมาณฝนจากข้อมูลเรดาร์ จะใช้การแปลงค่าการสะท้อนของเรดาร์ (Radar Reflectivity) ซึ่งสามารถแสดงผลเป็นชั้นสีต่างๆ ในภาพเรดาร์ เป็นค่าความเข้มฝน ด้วยสมการ Z-R ซึ่งค่าที่ได้จะทำให้ทราบปริมาณฝนที่ตกในพื้นที่ สำหรับการประมาณปริมาณฝนโดยใช้ข้อมูลดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา เป็นการนำข้อมูลที่ได้จากดาวเทียมอุตุนิยมวิทยามาแปลงเป็นข้อมูลฝนโดยเทียบกับข้อมูลจากสถานีวัดน้ำฝนที่พื้นดิน โดยข้อมูลที่ได้จะเป็นข้อมูลในระดับโลก/ทวีป ซึ่งจะมีความคลาดเคลื่อนสูงหากนำมาใช้ประมาณฝนในพื้นที่เล็กๆ

สำหรับการพยากรณ์น้ำฝนนั้น เป็นการนำผลที่ได้จากตรวจวัดและผลการประมาณฝนที่ตรวจวัดได้มาใช้ โดยการพยากรณ์ปริมาณฝนที่จะตกในช่วงเวลาต่อไปเพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ในการบริหารจัดการน้ำ สามารถสรุปเทคนิคที่ใช้พยากรณ์ฝนใน 3 ระยะ (ระยะสั้น ระยะกลาง และระยะยาว) ได้ดังนี้

1) เทคนิคการพยากรณ์น้ำฝนระยะสั้น เป็นการพยากรณ์ฝนในระยะเวลาตั้งแต่ 0 ถึง 6 ชั่วโมงล่วงหน้า ซึ่งการพยากรณ์ในระยะเวลาจำกัดนี้เท่านั้นที่เราสามารถที่จะคาดคะเนการเปลี่ยนแปลงของฝนเชิงพื้นที่ที่มีความละเอียดสูง แบบจำลองที่นิยมใช้ในการพยากรณ์น้ำฝนระยะสั้นเชิงพื้นที่นั้น ส่วนใหญ่มีพื้นฐานมาจากการวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของรูป โดยวิธีการดังกล่าวจะนำข้อมูลฝนเชิงพื้นที่ในปัจจุบัน มาเคลื่อนที่ไปในอนาคตด้วยสนามของความเร็วเพื่อประมาณค่าตำแหน่งและปริมาณฝนที่ตก ณ เวลาที่ต้องการ และนำแนวคิดการเกิดใหม่ การขยายตัวและการสลายตัวของกลุ่มฝนมาใช้เพื่อพัฒนาแบบจำลองการพยากรณ์ฝนในระยะสั้นให้มีความถูกต้องมากขึ้น ตัวอย่างของแบบจำลองการพยากรณ์น้ำฝนระยะสั้น ได้แก่ แบบจำลอง SCIT, TITAN แบบจำลอง GANDOLF และ Nimrod ที่ใช้ในกรมอุตุนิยมวิทยาของประเทศอังกฤษ แบบจำลองอัตโนมัติที่ใช้ในหน่วยงานการบินของประเทศสหรัฐอเมริกา และแบบจำลอง ANC ของศูนย์วิจัยสภาพอากาศแห่งชาติของประเทศสหรัฐอเมริกา เป็นต้น

2) เทคนิคการพยากรณ์น้ำฝนระยะกลาง เป็นการพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนที่คาดว่าจะตกในระยะเวลาตั้งแต่ 6 ชั่วโมงไปจนถึง 7 วันล่วงหน้า โดยผลการพยากรณ์น้ำฝนในระยะกลางนี้ส่วนมากมีความละเอียดต่ำกว่าการพยากรณ์ระยะสั้น และมักใช้ในการวางแผนการจัดการระยะกลาง ที่ไม่ต้องการความละเอียดของข้อมูลมากนัก ข้อมูลประเภทนี้มักเป็นที่นิยมสำหรับประชาชนทั่วไป เพราะเป็นประโยชน์ในการวางแผนทั่วไป การพยากรณ์น้ำฝนในระยะกลางส่วนมากจะใช้แบบจำลองสภาพอากาศ หรือที่เรียกว่าแบบจำลองอุตุนิยมวิทยา (Numerical Weather Prediction Model) และมักนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ร่วมกับปัจจัยอื่นด้วยผู้เชี่ยวชาญเพื่อสรุปผลอีกครั้งก่อนนำไปใช้งาน ตัวอย่างแบบจำลองที่เป็นที่นิยมใช้ในต่างประเทศ ได้แก่ แบบจำลอง Fifth-Generation NCAR / Penn State Mesoscale Model (MM5) , แบบจำลอง Eta Model , และแบบจำลอง Regional Atmospheric Modeling System (RAMS) เป็นต้น

3) เทคนิคการพยากรณ์น้ำฝนระยะยาว เป็นการคาดการณ์ลักษณะฝนในระยะเวลารายฤดู หรือรายปี โดยจะพิจารณาถึงความเป็นไปได้ในการที่ฝนในพื้นที่หนึ่งๆ จะเปลี่ยนแปลงไปจากค่ามาตรฐาน หรือค่าเฉลี่ย การพยากรณ์ในระยะยาวนี้ ในบางครั้งอาจรวมไปถึงการศึกษาเรื่องการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศโลก เช่น การใช้แบบจำลอง General Circulation Model (GCM) เพื่อทำการศึกษาผลกระทบของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หรือก๊าซเรือนกระจกต่างๆ ต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำฝนและน้ำท่าในพื้นที่ต่างๆ ของโลก ตามข้อสมมุติฐานต่างๆ แบบจำลองเหล่านี้สามารถให้ค่าการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศจากกรณีศึกษาต่างๆ ในระยะยาว เช่น 50 ปี หรือ 100 ปีล่วงหน้า เพื่อวางกรอบแนวทางการจัดการทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม

จากเทคนิคการพยากรณ์ฝนทั้ง 3 ระยะดังกล่าว ได้มีการประยุกต์ใช้ข้อมูลระยะไกลเพื่อการพยากรณ์ฝนในประเทศไทยโดยหลายหน่วยงาน เช่น กรมอุตุนิยมวิทยา สำนักฝนหลวงและการบินเกษตร สำนักการระบายน้ำ กรุงเทพมหานคร และการศึกษาวิจัยในระดับมหาวิทยาลัย โดยมีตัวอย่างการประยุกต์ใช้ดังนี้

1) การพยากรณ์ฝนในระยะสั้น มีการประยุกต์ใช้ข้อมูลจากการตรวจวัดด้วยเรดาร์ในเขตกรุงเทพมหานครเพื่อประเมินปริมาณน้ำฝนที่ตกและพยากรณ์น้ำฝนล่วงหน้า 1-3 ชั่วโมง เพื่อที่จะสามารถบริหารจัดการน้ำท่วมในเขตกรุงเทพมหานคร

2) การพยากรณ์ฝนในระยะกลาง มีการใช้แบบจำลองเพื่อการพยากรณ์อากาศล่วงหน้า 1-10 วัน เช่น แบบจำลอง MMS โดยใช้ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาจากสถานีตรวจอากาศทั่วโลก เช่น ฝน ความกดอากาศ ทิศทางและความเร็วลม อุณหภูมิ เป็นต้น และใช้ข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียมและเรดาร์มาซ้อนทับเป็นตัวช่วยในการแปลผลและอธิบายความหมายของข้อมูล โดยปัจจุบันกรมอุตุนิยมวิทยาเป็นหน่วยงานหลักที่ทำการพยากรณ์ข้อมูลดังกล่าว

3) การพยากรณ์ฝนในระยะยาว ได้จากการนำสถิติข้อมูลในอดีตที่รวบรวมทั้งจากสถานีภาคพื้นดิน และจากการตรวจวัดระยะไกล มาใช้ในการพยากรณ์ข้อมูลอากาศในอนาคตโดยใช้แบบจำลองการหมุนเวียนของมวลอากาศโลก เมื่อภาวะโลกร้อน ในรูปแบบของอุณหภูมิ ปริมาณฝน ความเร็วลม เป็นต้น โดยสามารถพยากรณ์การเกิดปรากฏการณ์ที่มีผลกระทบต่อปริมาณฝน ได้แก่ ปรากฏการณ์เอลนีโญ และปรากฏการณ์ลานีญา ซึ่งสามารถพยากรณ์ได้ล่วงหน้า 6-12 เดือน และจะสามารถพยากรณ์อากาศล่วงหน้าระยะยาวในกรณีที่โลกร้อนขึ้น เช่น 50 ปี ข้างหน้าว่าปริมาณฝน และข้อมูลภูมิอากาศอื่นๆ มีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงอย่างไร โดยปัจจุบันหน่วยงานหลักที่มีการศึกษาวิจัยในการพยากรณ์อากาศระยะยาว ได้แก่ ศูนย์เครือข่ายงานวิเคราะห์วิจัยและฝึกอบรมการเปลี่ยนแปลงของโลกแห่งภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากการทบทวนรายงานและการศึกษาด้านการประเมินและพยากรณ์ฝนในประเทศไทย และเทคนิคการพยากรณ์ที่ใช้ในโลก จะเห็นได้ว่าการพยากรณ์น้ำฝนมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการบริหารจัดการน้ำไม่ว่าจะเป็นการพยากรณ์ระยะสั้น ระยะกลาง หรือระยะยาว ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้นำไปใช้ โดยในรายงานวิจัยฉบับนี้ได้เสนอเพิ่มเติมในเรื่องการปรับปรุงการพยากรณ์น้ำฝนในระยะสั้นจากข้อมูลการตรวจวัดด้วยสถานีเรดาร์ในพื้นที่กรุงเทพมหานคร สามารถทำได้โดยปรับปรุงข้อจำกัด ได้แก่ (1) การปรับปรุงวิธีการหาสนามความเร็วและการเคลื่อนที่ของกลุ่มฝนเดิม และ (2) การเพิ่มเติมในส่วนของการเกิดใหม่ เพิ่มขนาดและสลายตัวของกลุ่มฝน โดยในเบื้องต้นได้นำเสนอเฉพาะการปรับปรุงข้อจำกัดแรกเท่านั้น โดยการปรับปรุงเทคนิคจุดศูนย์กลางมวล เป็นเทคนิคการแก้สมการวัตดูประสงค์ (Variational Technique) ซึ่งทำได้โดยไม่ต้องอาศัยข้อมูลเพิ่มเติม แตกต่างจากการปรับปรุงปัจจัยที่สองที่มีความจำเป็นที่จะต้องรวบรวมข้อมูลเพิ่มเติม เช่น ขอบเขตการเคลื่อนที่ของมวลอากาศ ความชื้นในอากาศ ความเร็วลมในการเคลื่อนที่แนวตั้ง เป็นต้น ซึ่งมีความสลับซับซ้อนและยุ่งยากกว่า โดยการปรับปรุงการหาสนามความเร็วจากเทคนิคที่ใช้ในปัจจุบัน สามารถทำได้โดยการใช้วิธีการที่เรียกว่า Multi-resolution Viscous Alignment (MVA) วิธี MVA เป็นแนวทางในการแก้ปัญหาการเคลื่อนที่ โดยใช้หลักการของ Bayesian เพื่อหาสนามความเร็วที่มีความสัมพันธ์และสอดคล้องกันในพื้นที่ สามารถใช้หาสนามความเร็วจากภาพถ่ายสองภาพที่ระยะเวลาห่างกันค่อนข้างมากหรือเมื่อเหตุการณ์มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ MVA ยังใช้งานได้ง่าย รวดเร็ว และไม่ต้องฝึกให้โปรแกรมเรียนรู้จากข้อมูลเก่าๆในอดีตอีกด้วย การพัฒนาเทคนิคในการเคลื่อนตัวของกลุ่มฝนนี้จะสามารถช่วยให้การพยากรณ์น้ำฝนระยะสั้นของกรุงเทพมหานครมีประสิทธิภาพเพิ่มสูงขึ้น อย่างไรก็ตามสิ่งที่ควรที่จะทำการศึกษาปรับปรุงแบบจำลองให้สามารถคำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงของกลุ่มฝน ได้แก่ การเกิด การขยายตัว และสลายตัว เพื่อให้การพยากรณ์มีความถูกต้องมากขึ้นต่อไป

7. ข้อเสนอแนะเพื่องานวิจัยในอนาคต

การตรวจวัดข้อมูลระยะไกล ทั้งจากเรดาร์ และดาวเทียมได้เริ่มเข้ามาในการประเมินและพยากรณ์น้ำฝนมากขึ้น ซึ่งมีงานวิจัยและการนำไปประยุกต์ใช้โดยหลายหน่วยงานในประเทศไทย ซึ่งในอนาคตความครอบคลุมและการตรวจวัดข้อมูลโดยเครื่องมือดังกล่าวจะยิ่งเพิ่มความละเอียดและความถูกต้องขึ้นตามระดับความก้าวหน้าของเทคโนโลยี แต่การนำข้อมูลที่ได้มาประยุกต์ใช้ เช่น การหาความถูกต้องในการประมาณฝน การหาความแม่นยำในการพยากรณ์ ตลอดจนการนำข้อมูลที่ได้มาปรับปรุงการบริหารจัดการน้ำ ยังมีการพัฒนาไม่มากนัก จึงขอเสนอแนะงานวิจัยในอนาคตที่ควรมีการศึกษาต่อไปได้ดังนี้

1. แนวทางการพัฒนาและปรับแก้ความถูกต้องของข้อมูลตรวจวัดระยะไกล
 - 1.1 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างมวลน้ำในอากาศที่วัดได้จากเรดาร์ เพื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลฝนที่ตกบนพื้นดิน เพื่อปรับแก้และวิเคราะห์ความถูกต้องของการนำข้อมูลเรดาร์มาใช้
 - 1.2 การศึกษาความถูกต้องของแนวทางในการนำข้อมูลความเร็วจากสถานีเรดาร์แบบคอปเปอร์มาใช้ประโยชน์
 - 1.3 การศึกษาความสัมพันธ์และการรวมข้อมูลจากแหล่งต่างๆ ที่มีลักษณะที่แตกต่างกัน เพื่อให้ข้อมูลฝนและตัวแปรอุตุนิยมวิทยาอื่นที่สมบูรณ์ และมีความถูกต้องสูงที่สุด
2. แนวทางการพัฒนาการพยากรณ์ฝน
 - 2.1 การปรับปรุงความแม่นยำของการพยากรณ์ระยะสั้น โดยใช้แบบจำลองที่คำนึงถึงการเคลื่อนที่และวิวัฒนาการของกลุ่มฝน เพื่อให้การใช้ประโยชน์ในการบริหารจัดการน้ำท่วมในเขตเมืองมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น (Chatdarong 2006b)
 - 2.2 การพัฒนาแบบจำลองระยะกลางและระยะยาวให้สามารถพยากรณ์ได้ถูกต้องมากขึ้น โดยการศึกษาความสัมพันธ์ของข้อมูลต่างๆ ในแบบจำลองให้เข้าใจมากยิ่งขึ้น และการติดตาม/ตรวจสอบผลการพยากรณ์กับข้อมูลที่จะเกิดขึ้นจริงในอนาคต
3. แนวทางการประยุกต์ข้อมูลการพยากรณ์ฝน
 - 3.1 ประยุกต์ใช้ข้อมูลการพยากรณ์ฝนที่ได้กับงานบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ ในรูปแบบของผลกระทบที่เกิดขึ้น ทั้งการป้องกันน้ำท่วมในระยะสั้น การวางแผนบริหารจัดการน้ำเป็นรายปี รวมทั้งการวางแผนในการรับสถานการณ์ในอนาคต (สุจริต 2549, Koontanakulvong 2006)
 - 3.2 ในอนาคต ควรพัฒนาระบบการพยากรณ์น้ำฝนนี้ ให้เข้ากับโครงข่ายระบบการตรวจวัดภาคพื้นดินที่มี เช่น การวัดน้ำฝน น้ำท่า หรือ ความชื้นในดิน การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน และระบบบริหารน้ำ เพื่อให้สามารถทำนายปริมาณฝน การเปลี่ยนแปลงสภาพทางอุทกวิทยาและชลศาสตร์ และผลกระทบที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในมาตรการต่างๆ เป็นระบบช่วยการตัดสินใจน้ำแบบบูรณาการ (Integrated Water Decision Support System, IWSS, with precipitation forecasting, ground sensors and impact evaluation)

เอกสารอ้างอิง

- กรมอุตุนิยมวิทยา 2549 ข้อมูลรายละเอียดเกี่ยวกับดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา แหล่งที่มา <http://www.tmd.go.th>
- กรุงเทพมหานคร 2549 ข้อมูลรายละเอียดเกี่ยวกับกรุงเทพมหานคร แหล่งที่มา <http://www.bma.go.th>
- ณรงค์ ปิยะพันธุ์ 2535 การตรวจวัดฝนและเมฆฝนด้วยเรดาร์ตรวจอากาศ กรมอุตุนิยมวิทยา เอกสารวิชาการ
- ณรงค์ ปิยะพันธุ์ 2535 การพยากรณ์อากาศในเขตร้อน กรมอุตุนิยมวิทยา เอกสารวิชาการ
- ณัฐวิวัฒน์ ดนัยคุณฤกุล และนพคุณชัยเจริญสุขเกษม 2549 การปรับแก้ค่าคงที่ในสมการความสัมพันธ์ Z-R เพื่อประมาณปริมาณน้ำฝนจากสถานีเรดาร์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- ชนิด รัชฎาภาณุ 2547 การประมาณปริมาณฝนด้วยดาวเทียมสำหรับกรุงเทพมหานครในช่วงมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ วิทยานิพนธ์ปริญญาโท บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- ม.ล. ชูชาติ กำภู (2543) ฝนของประเทศไทย, วารสารชมรมนักอุตุนิยมวิทยา ปีที่ 4 ฉบับที่ 4, หน้า 101-113
- มณฑล จิตต์เอื้ออารีกุล 2547 การประมาณปริมาณฝนด้วยดาวเทียมสำหรับกรุงเทพมหานครในช่วงมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ วิทยานิพนธ์ปริญญาโท บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- วิทย์ วรคุปต์ (2542) ฝนในประเทศไทย วารสารชมรมนักอุตุนิยมวิทยา ปีที่ 3 ฉบับที่ 1
- วิรัช ภัทรตรงค์ และ อรอนงค์ วรรณราช 2550, การหาสนามความเร็วด้วยวิธี MVA และการประยุกต์ใช้เพื่อเพิ่มความถี่ข้อมูลน้ำฝนจากสถานีเรดาร์ การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 12 มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก
- วีระศักดิ์ อุคมโชค และประเสริฐ อังสุรัตน์ 2537 การคาดคะเนปริมาณน้ำฝนจากข้อมูลดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา บริเวณประเทศไทย กองสำรวจทรัพยากรธรรมชาติด้วยดาวเทียม สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ รายงานผลการวิจัย
- ศิริลักษณ์ ชุ่มชื่น, (2549) ผลกระทบของการตรวจสอบคุณภาพข้อมูลฝนจากสถานีวัดน้ำฝนต่อปริมาณฝนจากเรดาร์, การประชุมวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 11 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- สำนักการระบายน้ำ กรุงเทพมหานคร 2548 โครงการจัดทำระบบทำนายน้ำท่วมน้ำท่วมเนื่องจากฝน พื้นที่กรุงเทพมหานครในคืนกั้นน้ำพระราชดำริ จัดทำโดย บริษัท ทีม คอนซัลติ้ง เอนจิเนียริง แอนด์ แมเนจเมนต์ จำกัด
- สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) เว็บไซต์ <http://www.gistda.or.th>
- สุจริต คุณชนกุลวงศ์ แบบจำลองการไหลของน้ำและสภาพวะสมดุล (กรณีศึกษาลุ่มน้ำป่าสัก และลุ่มน้ำคลองใหญ่) เอกสารประชุมสมัชชา วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเพื่อการพัฒนา ครั้งที่ 5 10-12 มกราคม 2549 หน้า 97-113
- Barclay, P.A., and K.E. Wilk. "Severe Thunderstorm Radar Echo Motion and Related Weather Events Hazardous to Aviation Operations." *ESSA Tech. Mem, ERLTM-NSSL*, no. 46, 1970: 63 pp.

- Bellon, A., and G.L. Austin. "The Evaluation of Two Years of Real-time Operation of a Short-term Precipitation Forecasting Procedure (SHARP)." *Journal of Applied Meteorology* 17, no. 12, 1978: 1778-1787.
- Black, T. L. "The new NMC Mesoscale Eta Model: Description and Forecast Examples." *Weather and Forecasting* 9, no. 2, 1994: 265-278.
- Boldi, R.A., M. M. Wolfson, R. J. Johnson Jr., K. E. Theriault, B. E. Forman, and C. A. Wilson. "An Automated, Operational Two Hour Convective Weather Forecasting for the Corridor Integrated Weather." *10th Conf. on Aviation, Range, and Aerospace Meteorology*. Portland, OR: Amer. Meteor. Soc, 2002: 116-119.
- Bowler, N., C. E. Pierce, and A. Seed. "Development of a Precipitation Nowcasting Algorithm Based Upon Optical Flow Techniques." *Journal of Hydrology* 288, 2004: 74-91.
- Chatdarong, Virat. "Multi-Sensor Rainfall Data Assimilation Using Ensemble Approaches." PhD Thesis, Civil and Environmental Engineering, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, 2006a: 203.
- Chatdarong, Virat. "Rainfall Nowcasting in Thailand by Remote-Sensing Measurements and Combined Physical-Extrapolating Model" Thailand-Japan Inundatory Mitigation Discourse, Hua Hin, Prachuab Kirikhan, Thailand, April 8-10, 2007.
- Chatdarong, Virat. "Short-Term Precipitation Forecasting Techniques (A Velocity Estimation Sub-model)" Water Demand & Supply Management and Community Role in the Water Resources Management Seminar, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand, Oct. 19, 2006b.
- Chumchean, S., Seed, A. and Sharma, A. "Correcting of radar mean field bias using Kalman filtering approach." Proc. 6th International Symposium on Hydrological Applications of Weather Radar, Melbourne, Australia, 2004.
- Dixon, M., and G. Wiener. "TITAN: Thunderstorm Identification, Tracking, Analysis and Nowcasting - A Radar-Based Methodology." *J. Atmos. Oceanic Technol.* 10, 1993: 785-797.
- Golding, B. W. "NIMROD: A System of Generating Automated Very Short Range Forecasts." *Meteor. Appl.* 5 1998: 1-16.
- Grassotti, C., H. Iskenderian, and R. N. Hoffman. "Fusion of Surface Radar and Satellite Rainfall Data Using Feature Calibration and Alignment." *Journal of Applied Meteorology* 38, no. 6, 1999: 677-695.
- Johnson, J. T., et al. "The Storm Cell Identification and Tracking Algorithm: An Enhanced WSR-88D Algorithm." *Weather Forecasting* 13, 1998: 263-276.
- Kitoh, A., D. Nohara, and M. Hosaka. "Impact of Global Warming on Precipitation and Streamflow Simulated by a 20-km Mesh Climate Model." *The 3rd Asia Pacific Association of Hydrology and Water Resources (APHW) Conference*. Bangkok, Thailand: National Research Council of Thailand (NRCT), 2006.
- Koontanakulvong, Sucharit, 2006: Water Situation in Thailand in the Year 2003, Water Demand & Supply Management and Community Role in the Water Resources Management Seminar, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand, Oct. 19, 2006.

- Li, L., W. Schmid, and J. Joss. "Nowcasting of Motion and Growth of Precipitation with Radar Over a Complex Orography." *Journal of Applied Meteorology* 34, 1995: 1286-1300.
- Ligda, M. G. *The Horizontal Motion of Small Precipitation Areas as Observed by Radar*. Department of Meteorology, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA: Technical Report, 21, 1953: 60.
- MaLaughlin, D. - "Data Assimilation in the Earth Sciences: Building on and going Beyond Classical Estimation Theory", the 12 Arun Sorathet Memorial Seminar, Thailand, 2006.
- Mass, C. F. "IFPS and the Future of the National Weather Service." *Wea. Forecasting* 18, 2003: 75-79.
- Mesoscale and Microscale Meteorology Division, NCAR. *MM5 Community Model*. 07 07, 2006. <http://www.mmm.ucar.edu/mm5/mm5-home.html> (accessed 03 28, 2007).
- Mueller, C., et al. "NCAR Auto-Nowcast System." *Weather and Forecasting* 18, August 2003: 545-561.
- National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). *El Nino Theme Page*. 03 28, 2007. http://www.pmel.noaa.gov/tao/el_nino/nino-home.html (accessed 03 28, 2007).
- National Research Council. *Assessment of NEXRAD Coverage and Associated Weather Services*. National Academy Press, 1995: 104.
- Orlandi, A., and et al. "Rainfall Assimilation in RAMS by Means of the Kuo-Parameterization Inversion: Method and Preliminary Results." *Journal of Hydrology (Amsterdam)* 14, no. 6, 2004: 384-411.
- Pierce, C. E., and P. J. Hardaker. "GANDOLF: A System for Generating Automated Nowcasts of Convective Precipitation." *Meteor. Appl.* 7, 2000: 341-360.
- Piman T., "Improvements in radar-measured rainfall for hydrological modeling: A case study in Mae Chaem Watershed, Thailand", A special study report, Water Engineering and Management, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand, 2005.
- Ravela, S., and V. Chatdarong, "Rainfall Advection using Velocimetry by Multi-resolution Viscous Alignment." In *arXiv:physics/0604158* v1, 2006.
- Ravela, S., K. Emanuel, and D. McLaughlin. "Data Assimilation by Field Alignment." Submitted to *Physics(D)*, 2006.
- Rogers, E., and et al. "Changes to the Operational Early Eta Analysis Forecast System at the National Center for Environmental Prediction." *Weather and Forecasting* 11, no. 3, 1996: 391-413.
- Sun, J., and N. A. Crook. "Real-Time Low-Level Wind and Temperature Analysis Using Single WSR-88D Data." *Weather and Forecasting* 16, February 2001: 117-132.
- Sutton, O. G. "The Development of Meteorology as an Exact Science." *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 80, 1954: 328-338.
- Tatehira, R., and T. Nakayama. "Objective Forecasting of Heavy Precipitation Using Numerical Prediction Model Output." *WMO Symposium on the Interpretation of Broad-Scale NWP Products for Local Forecasting Purposes*. Warsaw, 1976. 121-127.

Tikhonov, A.N., and V.Y. Arsenin. *Solutions of Ill-Posed Problems*. Wiley, New York, 1977.

Wilson, J. W., and W. E. Schreiber. "Initiation of Convective Storms by Radar-Observed Boundary Layer Convergent Lines." *Monthly Weather Review* 114, 1986: 2516-2536.

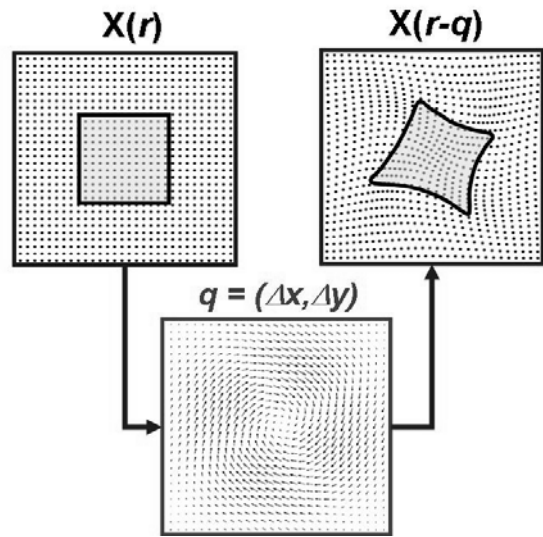
Wilson, J. W., N. A. Crook, C. K. Mueller, J. Sun, and M. Dixon. "Nowcasting Thunderstorms: A Status Report." *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 79, 1998: 2079-2099.

ภาคผนวก: การหาสนามความเร็วด้วยเทคนิค MVA

วิธี Multi-resolution Viscous Alignment (MVA) เป็นแนวทางในการแก้ปัญหาการเคลื่อนที่ โดยใช้หลักการของ Bayesian เพื่อหาสนามความเร็วที่มีความสัมพันธ์และสอดคล้องกันในพื้นที่ ในภาคผนวกนี้จะได้นำเสนอแนวทางและสมการที่ใช้เพื่อการคำนวณเพื่อหาสนามความเร็วจากภาพถ่ายสองภาพที่ตรวจวัดได้ ณ เวลาต่อเนื่องกัน (Ravela & Chatdarong, 2006 และ วิรัช 2550) โดยจะกล่าวถึงการคำนวณหลัก คือ Viscous Alignment (VA) และจะนำเสนอการประยุกต์ใช้กรณีที่มีหลายความละเอียด (Multi-resolution) ซึ่งจะช่วยให้ประสิทธิภาพในการคำนวณ จากนั้นจึงเสนอตัวอย่างการตรวจสอบความถูกต้องเป็นลำดับสุดท้าย

ก) หลักการของ Viscous Alignment

สมมติให้ $X(r)$ และ $Y(r)$ เป็นเวกเตอร์ของข้อมูลภาพในพื้นที่ Ω และ $r^T = \{r_i = (x_i, y_i)^T, i \in \Omega\}$ เป็นเวกเตอร์แสดงตำแหน่ง กำหนดให้ $q^T = \{q_i = (\Delta x_i, \Delta y_i)^T, i \in \Omega\}$ คือเวกเตอร์ของการกระจัดหรือสนามความเร็ว โดยที่ $X(r-q)$ แสดงการเคลื่อนที่ของเวกเตอร์ X ด้วยสนามความเร็ว q สนามความเร็ว q นี้สามารถมองได้ว่าเป็นการบิดเบี้ยวไปของพิกัด (x, y) จากกริดมาตรฐาน ซึ่งผลของการบิดเบี้ยวของพิกัดนี้ ทำให้ข้อมูลที่อยู่ในกริดมีการเปลี่ยนไปด้วย ดังแสดงในรูปที่ 1 โดยที่ภาพสี่เหลี่ยมตัวอย่าง $X(r)$ บนกริดปกติ (ซ้าย) เมื่อถูกบิดด้วยสนามความเร็ว $q = (\Delta x, \Delta y)$ ในทิศทางตามเข็มนาฬิกา (ล่าง) จะเกิดภาพใหม่ $X(r-q)$ (ขวา)



รูปที่ ๑-1: แนวความคิดของเทคนิค Field Alignment

เมื่อสมมติให้เวกเตอร์ Y กับ X สัมพันธ์กันในลักษณะเส้นตรงดังนี้

$$Y(r) = HX(r - q) + V \quad (๑-1)$$

โดยที่ H เป็นเมตริกการเปลี่ยนรูป (Transformation Matrix) และ V เป็นเวกเตอร์ความคลาดเคลื่อน (Gaussian Random Noise) ซึ่งมีค่าเฉลี่ย (mean) เป็นศูนย์และ Covariance matrix เป็น R ถ้าเราสมมติให้ทุกพจน์ในสมการ (๑-1) มีการกระจายแบบปกติ (Gaussian) จะสามารถเขียน Likelihood function ได้ดังนี้

$$P(\mathbf{x}, \mathbf{y} | \mathbf{q}) = \frac{\exp\left\{-\frac{1}{2}(\mathbf{Y} - \mathbf{X}(\mathbf{r} - \mathbf{q}))^T \mathbf{R}^{-1}(\mathbf{Y} - \mathbf{X}(\mathbf{r} - \mathbf{q}))\right\}}{(2\pi)^{n/2} |\mathbf{R}|^{1/2}} \quad (ก-2)$$

จาก Bayes' Rule จะได้ Posterior Distribution $P(\mathbf{q} | \mathbf{X}, \mathbf{Y})$ เป็น

$$P(\mathbf{q} | \mathbf{X}, \mathbf{Y}) \propto P(\mathbf{X}, \mathbf{Y} | \mathbf{q})P(\mathbf{q}) \quad (ก-3)$$

หากเราสมมติให้ Prior Distribution, $P(\mathbf{q})$ มีค่าเป็น

$$P(\mathbf{q}) \propto e^{-L(\mathbf{q})} \quad (ก-4)$$

โดยที่ $L(\mathbf{q})$ เป็นสมการพลังงานที่สร้างจากข้อจำกัดด้านความต่อเนื่องและความสอดคล้องในการไหล (Smooth flow field) ตามลักษณะสมการแบบ Tikhonov (Tikhonov & Arsenin, 1977) จะสามารถเขียน $L(\mathbf{q})$ เป็นค่าปรับในพจน์ของ gradient และ divergent ได้คือ

$$L(\mathbf{q}) = \frac{w_1}{2} \sum_{j \in \Omega} \text{tr}\left\{(\nabla q_j)(\nabla q_j)^T\right\} + \frac{w_2}{2} \sum_{j \in \Omega} \{\nabla \cdot q_j\}^2 \quad (ก-5)$$

สมการที่ (5) เรียกว่าข้อจำกัดอย่างอ่อน (weak constraint) ในการแก้ปัญหาการเคลื่อนที่นี้ เมื่อกำหนดให้สมการวัตถุประสงค์, J (Objective Function) เป็น log probability ของสมการที่ (ก-3) จะสามารถหาสนามความเร็วได้จาก

$$\frac{\partial J}{\partial \mathbf{q}} = \nabla \mathbf{X} \Big|_p \mathbf{H}^T \mathbf{R}^{-1}(\mathbf{H}\mathbf{X}(\mathbf{p}) - \mathbf{Y}) + \frac{\partial L(\mathbf{q})}{\partial \mathbf{q}} = 0 \quad (ก-6)$$

โดยที่ $\mathbf{p} = \mathbf{r} - \mathbf{q}$ คือตำแหน่งการไหลหลังการเคลื่อนที่ด้วยสนามความเร็ว \mathbf{q} เมื่อแทนที่ $L(\mathbf{q})$ ด้วยสมการที่ (5) และจัดรูปแบบใหม่ จะได้สนามความเร็วที่ตำแหน่ง i มีค่าเป็น

$$w_1 \nabla^2 q_i + w_2 \nabla(\nabla \cdot q_i) + \left[\nabla \mathbf{X} \Big|_p \mathbf{H}^T \mathbf{R}^{-1}(\mathbf{H}\mathbf{X}(\mathbf{p}) - \mathbf{Y}) \right]_i = 0 \quad (ก-7)$$

สมการที่ (ก-7) นี้คือสมการของสนามความเร็วเพื่อให้ตัวแปร $X(r-q)$ และ $Y(r)$ มีการซ้กันที่ที่สุด (Field Alignment Formulation) สังเกตว่าค่า q_i เป็นเวกเตอร์ในสองแนวแกนสำหรับสนามความเร็วในสองมิติ ดังนั้นสมการที่ (ก-7) จึงสามารถแยกออกได้เป็นสองสมการคือสนามความเร็วในแนวแกน x ($q_{xi} = \Delta x_i$) และสนามความเร็วในแนวแกน y ($q_{yi} = \Delta y_i$) ซึ่งแต่ละสมการมีลักษณะคล้ายกับสมการ Poisson

เนื่องจากสมการที่ (ก-7) ไม่เป็นเส้นตรงดังนั้นจึงใช้วิธีการแก้สมการแบบ Iteration Method เช่นเดียวกับการแก้สมการ Poisson โดยในรอบแรกที่ $k = 1$ จะคำนวณหาค่า q_k เมื่อกำหนดให้พจน์ที่สามของสมการที่ (ก-7) มีค่าคงที่ ค่า q_k ที่ได้นี้จะนำมาปรับแก้ค่า $X_k(r-q_k)$ สำหรับใช้ในรอบต่อไปคือ $k = 2$ ทำซ้ำไปเรื่อยๆ จนกว่าค่า q_k จะมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ หรือเมื่อความแตกต่างของ $X_k(r-q_k)$ และ $Y(r)$ ไม่ดีขึ้น หรือเมื่อจำนวนรอบเกินค่าที่กำหนด ($k > k_{max}$) เมื่อนั้นค่าสนามความเร็ว \hat{q} ที่ต้องการ จะหาได้จากผลรวมของสนามความเร็วที่ได้ในแต่ละรอบรวมกัน ($\hat{q} = \sum_k q_k$)

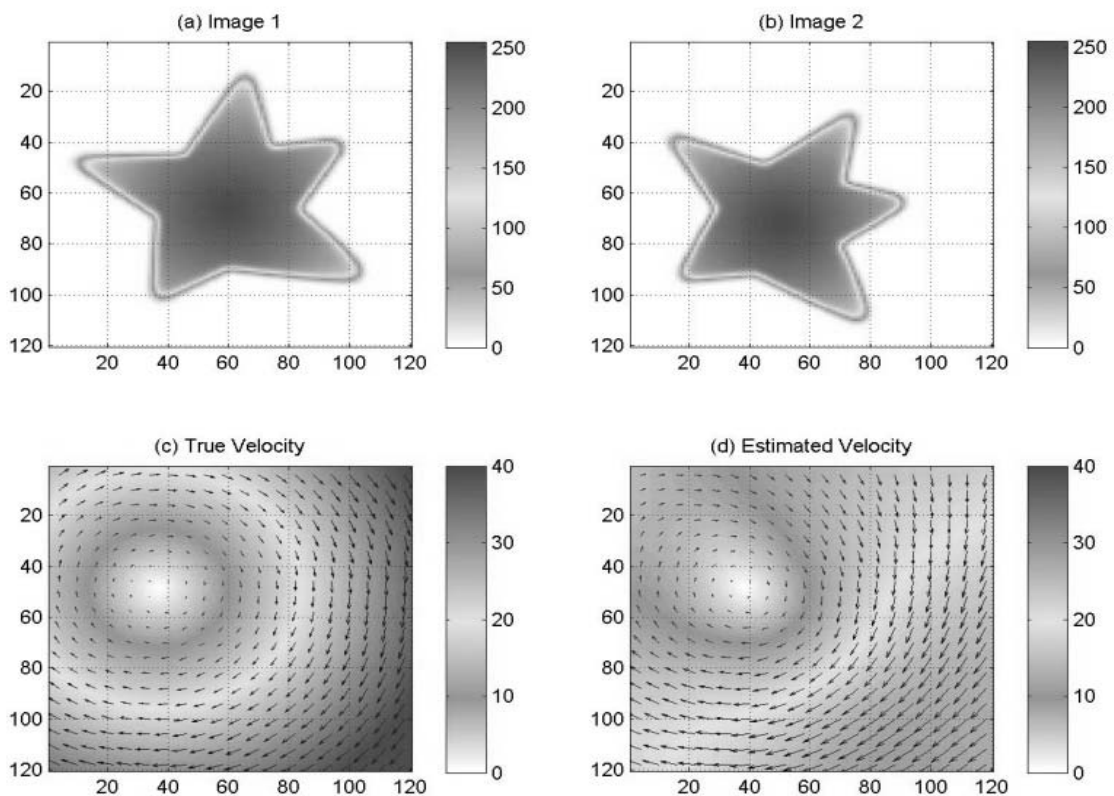
ข การแก้สมการ *Viscous Alignment* ที่หลายความละเอียด (*Multi-resolution Approach*)

เนื่องจากจำนวนรอบที่ต้องใช้ในการแก้สมการที่ (ก-7) นี้ขึ้นอยู่กับขนาดของสนามความเร็ว q ในการซ้กัน(alignment) ระหว่างภาพ $X(r)$ และ $Y(r)$ หากสนามความเร็วมีค่ามาก จำนวนรอบที่ต้องการเพื่อให้ค่า q ที่แก้ได้มีค่าเข้าใกล้ศูนย์ก็มากด้วย ทำให้ต้องใช้เวลาในการคำนวณสูง แนวทางหนึ่งซึ่งสามารถช่วยปรับปรุงข้อจำกัดดังกล่าวทำได้โดยแปลงภาพ $X(r)$ และ $Y(r)$ ให้หายากขึ้นแล้วแก้สมการหาค่า q เพื่อมาปรับแก้ $X(r-q)$ ที่ความละเอียดสูงขึ้นสำหรับใช้เป็นค่าเริ่มต้นที่ความละเอียดนี้ ทำซ้ำไปเรื่อยๆ จากความละเอียดต่ำมาสูงจนถึงความละเอียดเดิมของ $X(r)$ และ $Y(r)$ สนามความเร็วที่ต้องการจะได้จากผลรวมของสนามความเร็วจากทุก ๆ ความละเอียดดังกล่าว

การแก้สมการโดยใช้เทคนิคของภาพหายากไปถึงภาพละเอียดนี้ช่วยลดระยะเวลาการคำนวณสนามความเร็วไปได้มาก นอกจากนี้เนื่องจากเทคนิคดังกล่าวแยกพิจารณาเหตุการณ์และหาความเร็วในแต่ละความถี่ (frequency) ของข้อมูลซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก ดังนั้นจึงช่วยเพิ่มเสถียรภาพในการคำนวณหาสนามความเร็วอีกด้วย

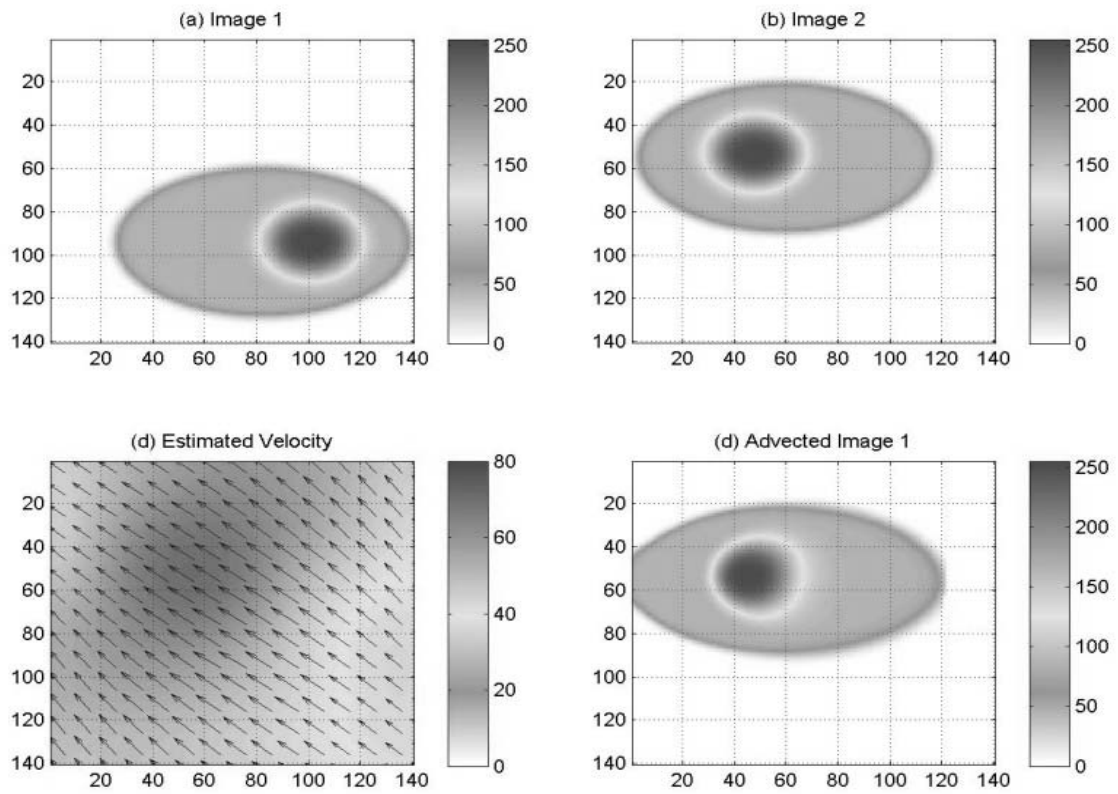
ค การทดสอบความถูกต้องของวิธีการ MVA

ความถูกต้องของสนามความเร็วที่ได้จากวิธี MVA นี้สามารถตรวจสอบได้จากการใช้ข้อมูลสังเคราะห์ที่รู้ความเร็วจริง โดยตัวอย่างในรูปที่ ก-2 กำหนดภาพที่ 1 (ก-2.a) และสนามความเร็ว (ก-2.c) มาให้ จากนั้นเคลื่อนที่ภาพที่ 1 ด้วยสนามความเร็วเพื่อให้ได้ภาพที่ 2 (ก-2.b) เปรียบเทียบสนามความเร็วนี้กับสนามความเร็วที่คำนวณได้จากวิธี MVA (ก-2.d) โดยใช้ข้อมูลภาพที่ 1 และ 2 จะได้ค่า bias ของสนามความเร็วเป็น 1.01 และค่า correlation coefficient เป็น 0.99 (จากจุดที่มีข้อมูลภาพ) จะเห็นได้ว่าสนามความเร็วมีค่าใกล้เคียงกับค่าจริงมากยกเว้นในบริเวณที่เป็นพื้นหลัง (ทั้งภาพที่ 1 และ 2 เป็นศูนย์) เพราะ MVA ไม่สามารถหาการเคลื่อนที่บริเวณที่ไม่มีข้อมูลได้



รูปที่ ก-2 ผลการทดสอบหาค่าสนามความเร็วด้วยวิธี MVA (a) และ (b) ข้อมูลนำเข้า ณ เวลาที่ 1 และ 2, (c) สนามความเร็วจริง และ (d) สนามความเร็วที่คำนวณจาก MVA

ตัวอย่างที่สอง เป็นการหาสนามความเร็วของมวลผสมสมมติที่ประกอบไปด้วยฝนเบาครอบคลุมพื้นที่กว้างและฝนหนักครอบคลุมพื้นที่เล็กๆภายในฝนเบา โดยที่ฝนทั้งสองเคลื่อนที่ไปด้วยความเร็วไม่เท่ากัน ดังแสดงในรูปที่ ก-3 ในกรณีนี้เราจะเปรียบเทียบภาพที่ 2 (รูป ก-3.b) กับค่าประมาณของภาพที่ 2 (รูป ก-3.d) จากการเคลื่อนที่ภาพที่ 1 (ก-3.a) ไปด้วยสนามความเร็ว (รูป ก-3.c) ที่ได้จากวิธี MVA เมื่อเปรียบเทียบเฉพาะจุดที่มีฝน จะได้ค่า bias เป็น 1.02 และค่า correlation coefficient เป็น 0.98 จากตัวอย่างทั้งสองจะเห็นว่าวิธี MVA สามารถใช้หาสนามความเร็วจากภาพสองภาพได้อย่างถูกต้อง แม้ว่าภาพทั้งสองจะแตกต่างกันมากหรือสนามความเร็วจะมีความซับซ้อนก็ตาม



รูปที่ ๓-3 แสดงผลการการเคลื่อนของมวลฝนสังเคราะห์ด้วยสนามความเร็วจากวิธี MVA - (a) และ (b) ข้อมูลนำเข้า ณ เวลาที่ 1 และ 2, (c) สนามความเร็ว MVA และ (d) ข้อมูลจากการเคลื่อนที่ภาพ ณ เวลาที่ 1 ไปด้วยสนามความเร็วที่ได้