การวางโครงการชลประทาน

(IRRIGATION PROJECT PLANNING)

โดย

รศ.อดุล วรรณจนา

ชป.บ., MS.

ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

2538

สารบัญ

			หน้า
บทที่ 1	หลักการวางโครงการ		1
	1.1	ความเป็นมาของการวางแผนโครงการ	1
	1.2	โครงการ	2
	1.3	การวางแผนโครงการ	4
	1.4	วัฏจักรของการวางแผนโครงการ	4
	1.5	องค์ประกอบสำคัญในการจัดเตรียมและวิเคราะห์โครงการ	9
	1.6	ประโยชน์ของการวางแผนโครงการ	11
บทที่ 2	การศึกษาและวางแผนโครงการชลประทาน		12
	2.1	วัตถุประสงค์ของการพัฒนาโครงการชลประทาน	12
	2.2	สาเหตุของการพัฒนาโครงการ	12
	1.3	ข้อมูลสำหรับศึกษาและพิจารณาโครงการ	13
	1.4	ขั้นตอนการพิจารณาวางแผนโครงการ	16
	1.5	ระดับการศึกษาและวางแผนโครงการ	21
บทที่ 3	การศึกษาอุทกวิทยาของแหล่งน้ำ		
	3.1	ปริมาณน้ำท่า	29
		3.1.1 การคำนวณหาปริมาณน้ำเฉลี่ยโดยตรง	30
		3.1.2 การหาค่าปริมาณน้ำเฉลี่ยโดยทางอ้อม	32
		3.1.2.1 Intrpolation or etrapolation of stream-flow records	32
		3.1.2.2 Mean monthly discharge correlation	34
		3.1.2.3 Regional precipitation-runoff relation	35
		3.1.2.4 Specific Yield Map	35
		3.1.3 การประยุกต์ข้อมูลน้ำท่ากับงานวางโครงการ	43
	3.2	ปริมาณน้ำน้อย	44
	3.3	การศึกษาปริมาณน้ำของ	44
		3.3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำสูงสุดและพื้นที่รับน้ำ	45

	3.3.2	การวิเคราะห์ความถี่ของการเกิดจากข้อมูลน้ำท่า	47
	3.3.3	การวิเคราะห์ Flood frequency จากข้อมูลน้ำฝน	48
	3.3.4	ปริมาณน้ำนองสูงสุดจาก Rational formula	52
	3.3.5	Inflow flood hydrograph	55
3.4	การตกตะกอน		55
	3.4.1	องค์ประกอบสำคัญที่มีผลต่อการตกตะกอน	56
	3.4.2	ผลกระทบของการตกตะกอน	56
	3.4.3	การสำรวจหาปริมาณตะกอน	57
	3.4.4	การคำนวณปริมาณตะกอน	60
3.5	คุณภาพของน้ำชลประทาน		61
	3.5.1	ความเข้มขนของเกลือทั้งหมด	62
	3.5.2	ความเข้มข้นของโซเดียม	66
	3.5.3	Bicarbonate	72
	3.5.4	Boron	72
บทที่ 4	**การประเมินพื้นที่เพื่อการชลประทาน**		
4.1	คำนำ		73
4.2	การศึกษาและจำแนกประเภทที่ดิน		73
4.3	ชนิดของการสำรวจ		74
	4.3.1	การสำรวจเบื้องต้น	75
	4.3.2	การสำรวจเพื่อศึกษาความเหมาะสม	75
	4.3.3	การสำรวจชั้นรายละเอียด	75
4.4	การจำแนกประเภทที่ดินเพื่อการชลประทาน		76
	4.4.1	กลุ่มที่ดินที่ใช้ปลูกพืชได้	76
	4.4.2	กลุ่มที่ดินที่ไม่เหมาะสมต่อการปลูกพืช	79
4.5	ปัจจัยหลักที่ใช้ในการจำแนกประเภทที่ดิน		80
	4.5.1	การศึกษาสภาพดิน	81
	4.5.2	สภาพภูมิประเทศ	85
	4.5.3	สภาพการระบายน้ำ	85
4.6	ประโยชน์ของการจำแนกประเภทที่ดิน		86

บทที่ 5 การประเมินความต้องการใช้น้ำของโครงการ

5.1	คำนำ	87
5.2	ปริมาณน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภค และอุตสาหกรรม	87
5.3	ความต้องการน้ำชลประทาน	88
5.4	ความต้องการน้ำชลประทานสูงสุด	89
5.5	ความต้องการใช้น้ำของพืช	91
5.6	ความต้องการน้ำเพื่อเตรียมแปลงและตกกล้า	97
5.7	ปริมาณฝนใช้การ	97
5.8	ประสิทธิภาพการชลประทาน	98
5.9	การสูญเสียน้ำในอ่างเก็บน้ำ	103
5.10	การคำนวณปริมาณน้ำเพื่อการเพาะปลูกของโครงการ	104
5.11	Reservoir Operation Study	104

บทที่ 6 การศึกษาด้านธรณีวิทยา

6.1	การสำรวจธรณีวิทยาบริเวณที่สร้างเขื่อน	114
6.2	คุณสมบัติของชั้นหินชนิดต่าง ๆ	116
6.2.1	หินอัคนี	116
6.2.2	หินแปร	116
6.2.3	หินตะกอน	117
6.3	การสำรวจธรณีวิทยาบริเวณอ่างเก็บน้ำ	124
6.4	การสำรวจแห่งธรณีวิทยาแหล่งวัสดุก่อสร้าง	126
6.4.1	การสำรวจเบื้องต้นแหล่งวัสดุ	127
6.4.2	การสำรวจขั้นรายละเอียดแหล่งวัสดุ	127
6.4.3	ความสำคัญของสภาพธรณีวิทยาต่อการประเมินปริมาณวัสดุก่อสร้าง	128
6.4.4	ชนิดและคุณสมบัติของวัสดุก่อสร้าง	132

บทที่ 7 การพิจารณาเลือกเขื่อนและอาคารประกอบ

7.1	คำนำ	137
7.2	การจำแนกชนิดของเขื่อน	137
7.3	องค์ประกอบทางกายภาพที่มีอิทธิพลต่อการเลือกชนิดเขื่อน	139

7.4 เขื่อนดินถม 142

7.4.1 ชนิดของเขื่อนดินถม 142

7.4.2 ภูมิประเทศบริเวณที่ก่อสร้าง 144

7.4.3 สภาพธรณีวิทยาและฐานราก 144

7.4.4 รูปร่างและขนาดของเขื่อนดินถม 145

7.5 เขื่อนหินถม 147

7.5.1 ชนิดของเขื่อนหินถม 145

7.5.2 ภูมิประเทศบริเวณที่ก่อสร้าง 149

7.5.3 สภาพธรณีวิทยาและฐานราก 149

7.5.4 อาคารระบายน้ำล้นและประตูระบาย 149

7.5.5 สภาพภูมิอากาศ 149

7.6 เขื่อนคอนกรีต 150

7.6.1 Concrete Arch Dam 150

7.6.2 Concrete Buttress Dam 152

7.6.3 Concrete Gravity Dam 153

7.7 อาคารระบายน้ำล้น 154

7.7.1 Survice Spillway 154

7.7.2 Emergency spillway 155

7.7.3 ส่วนประกอบของอาคารระบายน้ำล้น 155

7.7.4 รูปแบบของอาคารระบายน้ำล้น 156

บทที่ 8 การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

8.1 คำนำ 158

8.2 ปัญหาสิ่งแวดล้อมและความต้องการ 158

8.3 การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม 160

8.3.1 Ecological component 160

8.3.2 Physical Component 161

8.3.3 Cultural Component 161

8.3.4 Recreational Component 162

8.4 บรรทัดฐานของการประเมิน 162

	8.5	ผลประโยชน์และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม	163
	8.6	วิธีการประเมินผล	164
	8.7	การวิเคราะห์และแสดงผล	168
บทที่ 9		**การวิเคราะห์โครงการ**	
	9.1	คำนำ	170
	9.2	เกณฑ์การเปรียบเทียบค่าลงทุนและผลประโยชน์	170
	9.3	การวิเคราะห์ด้านการเงิน	173
	9.4	การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐกิจ	173
	9.5	ความแตกต่างระหว่างการวิเคราะห์ด้านการเงินและด้านเศรษฐกิจ	174
	9.6	การประเมินค่าลงทุน	174
	9.7	การประเมินผลประโยชน์ตอบแทน	176
	9.8	วิธีการประเมินโครงการ	178
		9.8.1 การประเมินแบบไม่ปรับค่าเวลา	178
		จัดลำดับโดยการตรวจสอบ	178
		ระยะคืนทุน	180
		ผลตอบแทนต่อหน่วยค่าลงทุน	180
		9.8.2 การประเมินแบบปรับค่าเวลา	181
		วิธีหามูลค่าปัจจุบันสุทธิ	186
		วิธีหาอัตราผลตอบแทนของโครงการ	188
		วิธีหาอัตราผลตอบแทนต่อค่าใช้จ่าย	190
		วิธีหาอัตราผลตอบแทนต่อค่าลงทุน	191
	9.9	การคัดเลือกโครงการเพื่อดำเนินการ	193
	9.10	ข้อเปรียบเทียบวิธีการประเมินโครงการ	195
	9.11	Sensitivity Analysis	197
	9.12	Switching Value	201
	9.13	การตัดสินใจเลือกโครงการเป็นอิสระต่อกัน	205
บรรณานุกรม			206

บทที่ 1
หลักการวางโครงการ

1.1 ความจำเป็นของการวางแผนโครงการ

เราคงเคยได้ยินได้ฟังหรือพบเห็นมาแล้วว่า มีโครงการจำนวนไม่น้อยที่ได้เริ่มขึ้นมาโดยไม่มีการวางแผนหรือศึกษาโครงการอย่างรอบคอยเลย แต่ก็สามารถดำเนินการไปได้ประสบความสำเร็จและมีกำไรงาม ในทางตรงกันข้ามมีโครงการอีกไม่น้อยที่ได้มีการวางแผนและเตรียมงานเป็นอย่างดี แต่ไม่สามารถดำเนินการได้หรือประสบความสำเร็จตามที่ได้คาดหมายไว้ เมื่อเป็นเช่นนี้แล้วทำไมจึงต้องทำการวางแผนโครงการด้วย ถ้าพิจารณาให้ละเอียดแล้วจะเห็นได้ว่าโครงการที่ประสบความสำเร็จโดยมิได้ทำการศึกษาเลยนั้น ส่วนมากเป็นเพราะความโชคดีมากกว่าฝีมือของเจ้าของโครงการ เช่นภาวะการตลาด หรือราคาสินค้าช่วยอำนวยให้ขายได้ดี เจ้าของกิจการมีทุนเดิมไม่ต้องกู้เสียดอกเบี้ย วัตถุดิบหาง่ายและไม่มีคู่แข่งเป็นต้น สำหรับโครงการที่ล้มเหลวทั้ง ๆ ที่มีการศึกษาอย่างละเอียดแล้วนั้นอาจเป็นเพราะความโชคร้ายคือภาวะการตลาดไม่อำนวย ผู้ดำเนินการไม่มีความสามารถหรือทำการวิเคราะห์ผิดพลาดมาแต่ต้นแล้วเป็นต้น

ในปัจจุบันทรัพยากรมีน้อยลง กิจการต่างๆเจริญเติบโตและขยายตัวขึ้นอย่างรวดเร็ว จำนวนคู่แข่งขันเพิ่มมากขึ้น ส่วนตลาดสินค้าก็เริ่มคับแคบลง อีกทั้งเทคโนโลยีต่างๆ ได้ถูกพัฒนาไปอย่างรวดเร็ว ในสภาพอย่างนี้จะเห็นได้ว่าความโชคดีที่เคยมีนับวันจะลดน้อยลงเรื่อยๆ ซึ่งอาจจะกล่าวได้ว่า โอกาสที่จะประสบความสำเร็จโดยมิได้มีการศึกษาโครงการให้รอบคอบนั้นนับวันแต่จะมืดมนลง และแม้แต่โครงการใหญ่ที่เคยประสบความสำเร็จก็ยังเริ่มมองหาผู้มีฝีมือและนักวิชาการเข้ามาช่วย

การวางแผนโครงการมิได้เป็นหลักประกันว่าโครงการจะต้องประสบความสำเร็จเสมอไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นอีกหลายอย่าง แต่การวางแผนโครงการและศึกษาโดยละเอียดรอบคอบ จะช่วยทำให้มองเห็นภาพของการดำเนินการได้แจ่มชัดขึ้น สามารถมองเห็นอุปสรรคและปัญหาต่าง ๆก่อนดำเนินการและสามารถเตรียมการป้องกันแก้ไขได้ เป็นการปิดโอกาสการเสี่ยงให้น้อยลงการศึกษาและวางแผนโครงการที่ได้ผลดีและถูกต้อง จะต้องทำการศึกษาเก็บข้อมูล วิเคราะห์และตัดสินใจอย่างมีเหตุมีผล และทำการเป็นขั้นตอน ซึ่งจะกล่าวต่อไป

1.2 โครงการ (Project)

การให้คำจำกัดความของคำว่าโครงการ เพื่อให้ครอบคลุมโครงการแต่ละประเภท ซึ่งมีเป้าหมายและกิจกรรมที่แตกต่างกันนั้น ทำได้ค่อนข้างยาก อย่างไรก็ตามได้มีผู้ให้คำจำกัดความของโครงการไว้ในลักษณะต่างๆ กัน พอสรุปได้ดังนี้

1) โครงการเป็นหน่วยองค์การหนึ่งที่มุ่งกระทำการ เพื่อให้บรรจุถึงวัตถุประสงค์และเป้าหมายตามที่ได้กำหนดไว้

2) โครงการคือกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการใช้ทรัพยากร เพื่อหวังผลประโยชน์ตอบแทนทั้งทางตรงและทางอ้อม

3) โครงการเป็นหน่วยของกิจกรรมที่เล็กที่สุดที่จะสามารถแบ่งออกได้ เพื่อการวิเคราะห์ วางแผน และนำไปปฏิบัติได้

4) โครงการคือกิจกรรมที่มีการลงทุนด้านทรัพยากร และสามารถทำการวิเคราห์ประเมินผล และบริหารงานได้โดยอิสระ

5) โครงการคือกิจกรรมที่มีการกำหนดระยะเวลา มีจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุด

จากคำจำกัดความของโครงการที่ได้กล่าวมาพอที่จะสรุปรวมเข้าด้วยกันได้ดังนี้ คือ โครงการหมายถึง กิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการใช้ทรัพยากร มีการลงทุนและหวังผลประโยชน์ตอบแทน เป็นหน่วยงานอิสระที่สามารถวิเคราะห์ วางแผน และนำไปปฏิบัติ มีการกำหนดจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุด เพื่อให้การดำเนินงานบรรลุถึงวัตถุประสงค์และเป้าหมายที่ได้กำหนดไว้

โครงการแต่ละโครงการจะประกอบด้วยคุณลักษณะสำคัญ อย่างน้อย 5 ประการด้วยกันคือ 1) วัตถุประสงค์ (Objective) 2) ความมีเอกเทศ (Discreteness) 3) กำหนดรูปแบบการปฏิบัติงานที่สอดคล้องกลมกลืน (Coherent organized action) 4) สถานที่ตั้ง (Location) 5) มีจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุด (Scheduled beginning and terminal points)

โครงการจะต้องกำหนดวัตถุประสงค์หรือเป้าหมายไว้ให้ชัดเจนและเข้าใจง่ายเพื่อใช้เป็นแนวทางในการวางแผนโครงการ การดำเนิงาน และการติดตามประเมินผลโครงการ แต่ละโครงการอาจจมีวัตถุประสงค์มากกว่าหนึ่งวัตถุประสงค์ แต่วัตถุประสงค์นั้นๆ จะต้องไม่ขัดแย้งกัน ตัวอย่างเช่น โครงการมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มผลผลิตและเพิ่มการว่าจ้างแรงงาน จะเห็นว่าโครงการนี้มีสองวัตถุประสงค์ด้วยกัน แต่วัตถุประสงค์ทั้งสองนั้นจะขัดแย้งกันในทางปฏิบัติ เพราะถ้าใช้วิธีการผลิตแบบใช้แรงงานสูง ซึ่งมีผลทำให้การว่าจ้างแรงงานขยายตัวเพิ่มขึ้น แต่การเพิ่มผลผลิตจะเป็นไปอย่างเชื่องช้า ในกรณีเช่นนี้จะต้องมีการตัดสินใจในระดับนโยบายขั้นสูงสุดว่าจะเลือกวัตถุประสงค์ใดเป็นหลัก หรือจะประณีประนอมกันในอัตราส่วนเท่าใด เพื่อให้

โครงการสามารถดำเนินการไปได้อย่างถูกต้อง นอกจากจะต้องกำหนดวัตถุประสงค์ของโครงการให้ชัดเจนเข้าใจง่ายแล้ว ยังต้องสามารถนำปปฏิบัติให้สำเร็จได้อีกด้วย โดยคำนึงถึงทรัพยากร ความสามารถในการดำเนินงาน ผลประโยชน์ที่ได้รับ และระยะเวลาที่กำหนดไว้ การกำหนดวัตถุประสงค์ไว้สูงเกินไป หรือเลื่อนลอยไม่สามารถนำไปปฏิบัติได้ นอกจากจะไม่เกิดประโยชน์แล้วยังเกิดโทษด้วย ทำให้สูญเสียเวลา ทรัพย์สิน และทรัพยากรไปโดยเปล่าประโยชน์

โครงการต้องการมีความเป็นเอกเทศในตัวเอง สามารถทำการวิเคราะห์ วางแผน ติดตามประเมินผล และกำหนดขอบเขตการบริหารได้โดยอิสระ หากโครงการใดมีลักษณะต้องสัมพันธ์หรือต้องพึ่งพาอาศัยโครงการอื่น หรือถ้าขาดโครงการอื่นแล้ว จะไม่สามารถปฏิบัติให้บรรลุวัตถุประสงค์ได้ ในกณีนี้จะต้องมีการรวมงานทั้งสองเข้าเป็นโครงการเดียวกัน

การดำเนินงานของโครงการจะต้องกำหนดรูปแบบการดำเนินงานให้สอดคล้องกันเป็นขั้นเป็นตอนอย่างเหมาะสม สามารถปฏิบัติงานได้อย่างต่อเนื่องตั้งแต่เริ่มโครงการจนแล้วเสร็จมีการพิจารณาตัดสินใจร่วมกันในปัญหาและความผันแปรต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น ตลอดระยะเวลาการดำเนินงาน และผลของการพิจารณาตัดสินใจจะต้องไม่ขัดแย้งกันเช่น การเลือกใช้เทคนิคการผลิตจะต้องสอดคล้องกับขนาดการผลิต ขนาดการผลิตจะต้องสอดคล้องกับความต้องการของตลาดเป็นต้น นอกจากนี้แล้วยังจัดการด้านงบประมาณรายรับรายจ่ายให้สอดคล้องกับขั้นตอนการดำเนินงานของโครงการด้วย กระบวนการดำเนินงานที่สอดคล้องกลมกลืนกันจะทำให้การบริหารและการดำเนินงานสำเร็จตามเป้าหมายที่วางไว้

การกำหนดที่ตั้งของโครงการ เป็นสิ่งสำคัญของกระบวนการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของโครงการ จะมีผลกระทบโดยตรงต่อค่าใช้จ่ายและผลประโยชน์ตอบเทนที่จะได้รับจากโครงการ โดยปกติการพิจารณาเลือกที่ตั้งโครงการจะต้องพิจารณาหลายด้านด้วยกันเช่น แหล่งวัตถุดิบ การเคลื่อนย้ายวัตถุดิบ แรงงาน การสื่อสาร ไฟฟ้า ประปา การขนส่งผลผลิต และแหล่งที่ขายผลผลิตหรือใช้บริการจากโครงการเป็นต้น ถ้าไม่กำหนดที่ตั้งโครงการที่แน่นอนแล้ว การวิเคราะห์ค่าใช้จ่าย ผลตอบแทน และผลกระทบของโครงการจะทำได้ยาก อย่างไรก็ตามหลักการพิจารณาเลือกที่ตั้งโครงการอาจจะแตกต่างกันออกไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะและวัตถุประสงค์ของโครงการเป็นหลัก

โครงการทุกโครงการจะต้องมีกำหนดจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดโครงการ หรืออายุโครงการไว้ กิจกรรมใดก็ตามที่มีการดำเนินงานติดต่อกันไปเรื่อย ๆ ไม่มีเวลาสิ้นสุดจะไม่ถือว่าเป็นโครงการ แต่จะเป็นลักษณะการบริหารงานตามปกติ ดังเช่นหน่วยงานของรัฐทั่วไป การกำหนดเวลาอาจจะแบ่งออกเป็นช่วง ๆ ตามลักษณะของโครงการได้เช่น ช่วงระยะเวลาก่อสร้าง ซึ่งเป็น

ช่วงที่ต้องการมีการลงทุนสูงและไม่มีผลตอบแทน และช่วงการดำเนินงานหลังจากสร้างเสร็จแล้ว เป็นช่วงเวลาที่ได้รับผลประโยชน์ตอบแทนเป็นต้น การกำหนดจุดสิ้นสุดของโครงการให้ผลตอบแทนได้นั่นเองเช่น เขื่อนเก็บกักน้ำมีอายุการใช้งาน 50 ปี โรงผลผลิตกระแสไฟฟ้ามีอายุการใช้งาน30 ปี เป็นต้น แม้บางโครงการจะกำหนดอายุการใช้งานได้ยาก แต่ก็จำเป็นต้องกำหนดไว้ มิฉะนั้นจะไม่สามารถทำการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายและผลตอบแทนได้ ซึ่งไม่สามารถบอกได้ว่าโครงการนั้น ๆ คุ้มค่าหรือมีความเหมาะสมหรือไม่เพียงใด

1.3 การวางแผนโครงการ (Project Planning)

การวางแผนโครงการคือ การศึกษาการวิเคราะห์ข้อมูลของปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องและกำหนดเป็นนโยบาย วัตถุประสงค์และวิธีการปฏิบัติ เพื่อใช้เป็นแนวทางให้โครงการดำเนินไปอย่างมีระบบ สามารถควบคุมและติดตามผลการดำเนินงานได้ ซึ่งจะช่วยให้การดำเนินงานบรรลุวัตถุประสงค์ได้อย่างรวดเร็ว และมีประสิทธิภาพ

การวางแผนเป็นการกำหนดแผนการงานที่จะกระทำในอนาคตไว้ล่วงหน้า เกี่ยวข้องกับการคาดคะเน หรือทำนายเหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้นในวันข้างหน้า ซึ่งมีความเสี่ยงและความไม่แน่นอน มีการตัดสินใจ การดัดแปลง และปรับปรุงแก้ไข เกิดขึ้นต่อเนื่องตลอดเวลา ดังนั้น ในการพิจารณาวางแผนจึงจำเป็นต้องใช้ผู้ที่มีความรู้และความชำนาญในด้านต่าง ๆ มาร่วมกันพิจารณาและตัดสินใจร่วมกัน การวางแผนจะทำให้มองเห็นภาพพจน์ของโครงการได้ชัดเจน ทำให้ผู้มีอำนาจในการตัดสินใจสามารถตัดสินใจได้ในปัจจุบันว่า โครงการใดสมควรจะดำเนินการหรือไม่ โครงการใดควรจะชะลอไว้ก่อน หรือโครงการใดควรระงับ

1.4 วัฏจักรของการวางแผนโครงการ (Cycle of Project Planning)

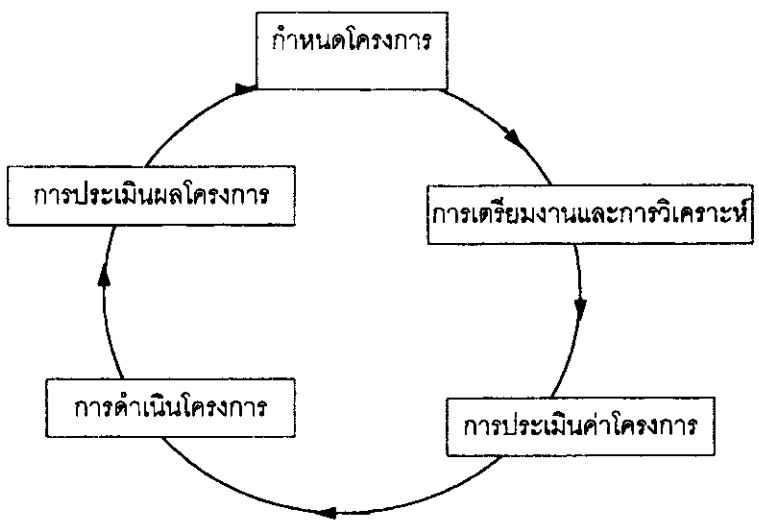
โครงการเป็นกิจกรรมที่ต้องมีการลงทุนและมีความสลับซับซ้อนอยู่มาก ฉนั้นการวางแผนโครงการจึงควรกระทำอย่างรอบคอบเป็นขั้นตอน ตั้งแต่เริ่มความคิดที่จะมีโครงการ วิเคราะห์และเตรียมงาน การดำเนินงาน การติดตามและประเมินผล ขั้นตอนดังกล่าวนี้เรียกว่า วัฏจักรหรือวงจร การวางแผนโครงการ (Cycle of Project Planning) ในแต่ละขั้นตอนของวงจรนี้จะดำเนินการไปอย่างต่อเนื่อง มีการดัดแปลง ปรับปรุง แก้ไข ให้สอดคล้องเหมาะสมระหว่างทรัพยากร การดำเนินการ และผลตอบแทน ตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้

ได้มีผู้เสนอวัฏจักรของการวางแผนโครงการไว้หลายรูปแบบ แต่เนื้อหาสาระของขั้นตอนทั้งหมดจะคล้ายกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์และขนาดของโครงการ ซึ่งอาจจะ

ขยายสาระสำคัญของโครงการบางส่วนให้ละเอียดยิ่งขึ้น โดยทั่วไปการวางแผนโครงการจะแบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอน ดังนี้

1) การกำหนดโครงการ (Project identification)
2) การเตรียมงานและการวิเคราะห์ (Preparation and analysis)
3) การประเมินค่าโครงการ (Appraisal)
4) การดำเนินโครงการ (Implementation)
5) การประเมินผลโครงการ (Evaluation)

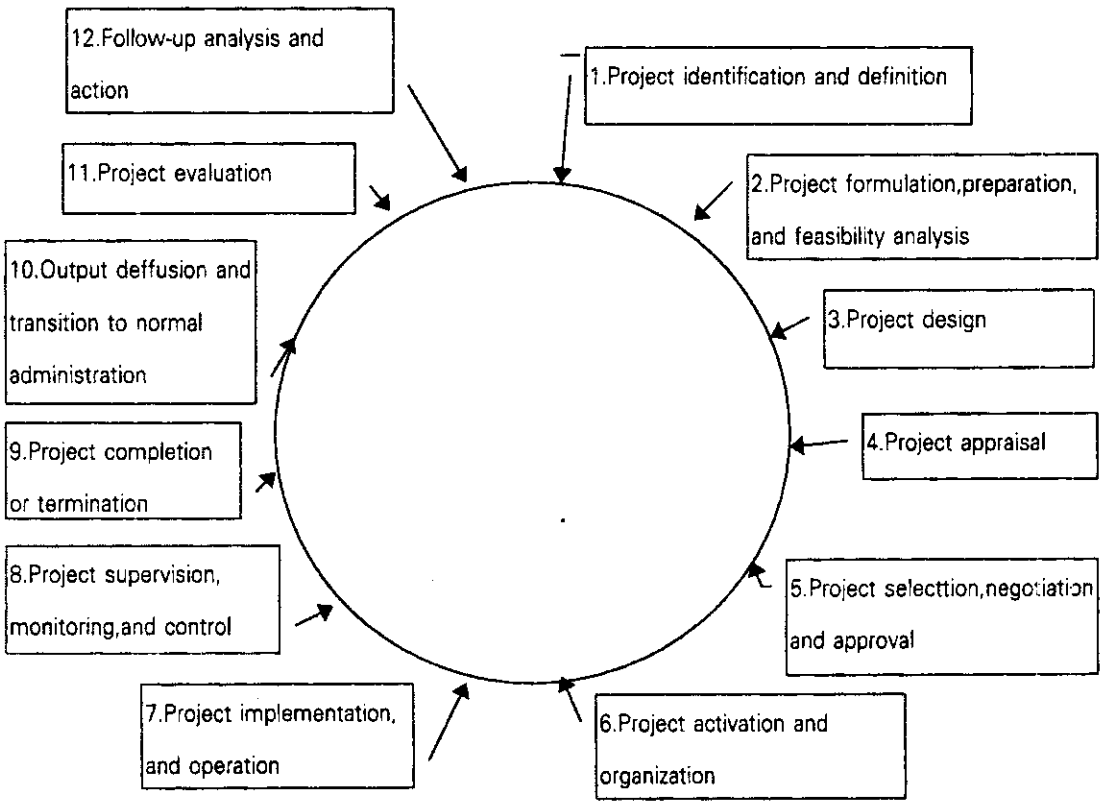
วงจรการวางแผนโครงการทั้ง 5 ขั้นตอนจะมีความสัมพันธ์และต่อเนื่องกัน ดังแสดงในรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 วงจรการวางแผนโครงการ

อย่างไรก็ตาม วงจรของการวางแผนโครงการอาจจะขยายขั้นตอนไปได้หลายรูปแบบ ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของโครงการนั้น ๆ ว่าจะเน้นส่วนใดเป็นสำคัญ ดังในรูปที่ 1.2

Denis A Rondonelli ได้ขยายขั้นตอนการวางแผนโครงการออกเป็น 12 ขั้นตอน และเรียกวงจรนี้ว่า Project Planning and management cycle



รูปที่ 1.2 วงจรการวางแผนและจัดการโครงการ

การกำหนดโครงการ (Planning identification)

สิ่งแรกของการพิจารณาวางแผนโครงการก็คือ การกำหนดโครงการหรือระบุชนิดและความต้องการโครงการของตลาดหรือประชากร โดยทำการศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นในอดีตปัญหาที่กำลังเผชิญในปัจจุบัน และแนวโน้มที่อาจจะเกิดขึ้นในอนาคต เพื่อที่จะกำหนดโครงการที่สร้างขึ้นมาให้สามารถแก้ปัญหาหรือตอบสนองได้ตรงตามความต้องการ การรวบรวมข้อมูลและหาแนวทางการแก้ไขสามารถทำได้หลายทางเช่น จากผลการวิจัยความต้องการของประชากรจากนโยบายของรัฐบาล จากการเรียกร้องของประชาชน จากคำบอกเล่าหรือคำแนะนำของผู้มีประสบการณ์ในสาขาต่าง ๆ เหล่านั้น

การเตรียมงานและการวิเคราะห์ (Preparation and analysis)

เป็นขั้นตอนการเตรียมและวิเคราะห์เพื่อวางแผนโครงการ หลังจากที่ได้กำหนดและศึกษาความต้องการแล้ว โดยกำหนดวัตถุประสงค์และเป้าหมายของโครงการ ให้ตรงกับความต้องการหรือสามารถแก้ปัญหานั้นได้ การกำหนดวัตถุประสงค์และเป้าหมายจะต้องพิจารณาถึงทรัพยากรที่มีอยู่และข้อจำกัดอื่น ๆ ด้วย ทำการรวบรวมข้อมูลต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น ทรัพยากรที่มีอยู่ วัตถุที่จะหามา เครื่องจักรเครื่องมือที่ใช้ แรงงาน ผลกระทบของโครงการต่อสิ่งแวดล้อม ค่าลงทุนและผลประโยชน์ตอบแทนที่ได้รับ หลังจากได้ข้อมูลแล้วก็จะทำการวิเคราะห์โดยวิธีการคำนวณหรือสถิติ หรือความรู้อื่น ๆ เข้ามาช่วย เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ออกมาถูกต้อง และเชื่อถือได้ การได้ข้อมูลไม่เพียงพอ หรือวิเคราะห์ข้อมูลผิดพลาด อาจทำให้วางแผนโครงการผิดพลาดและล้มเหลวได้ นอกจากข้อมูลทางด้านเทคนิคแล้ว การวางแผนโครงการจะต้องพิจารณาถึงองค์ประกอบอื่น เช่น การเมือง เศรษฐกิจและสังคมของประเทศด้วย จากนั้นก็สรุปเป็นแผนงาน (Plan formulation) สำหรับเป็นแผนการปฏิบัติงานเพื่อเสนอผู้มีอำนาจในการตัดสินใจต่อไป

การประเมินค่าโครงการ (Project Appraisal)

เป็นขั้นตอนสำหรับประเมินค่าของโครงการว่าคุ้มค่าควรดำเนินการหรือไม่ โดยพิจารณาแผนโครงการทั้งหมดที่ได้วางไว้ทั้งหมด จากวัตถุประสงค์เป้าหมาย ทรัพยากร การดำเนินงาน ค่าลงทุน และผลประโยชน์ที่ได้รับทั้งทางตรงและทางอ้อม ว่ามีความถูกต้องและเหมาะสมเพียงใด ในกรณีที่เป็นโครงการที่ต้องใช้เงินกู้มาดำเนินการ แหล่งเงินทุนมักจะส่งเจ้าหน้าที่มาทำการประเมินโครงการเอง และผลการประเมินจะต้องให้ผลประโยชน์ตอบแทนคุ้มค่าสามารถใช้เงิน

คืนได้ตามกำหนดจึงจะได้รับอนุมัติ อย่างไรก็ตาม การประเมินโครงการควรทำอย่างละเอียดและตรงไปตรงมา เพื่อให้สามารถมองเห็นจุดบกพร่องและสามารถแก้ให้เหมาะสมก่อนดำเนินการ

การดำเนินโครงการ (Implementation)

เมื่อพิจารณาแผนงานโครงการและประเมินว่ามีความเหมาะสมแล้วขั้นต่อไปก็คือนำเอาแผนโครงการไปดำเนินการ หลักการดำเนินงานและการจัดการโครงการเป็นเรื่องที่กว้างขวางเกินกว่าจะกล่าวในที่นี้ได้ อย่างไรก็ตามควรจะยึดถือแผนโครงการควรจะยืดหยุ่นได้ ผู้จัดการโครงการจะต้องมีความสามารถในการตัดสินใจและแก้ปัญหาเกี่ยวกับสถานะการที่เปลี่ยนไป เช่น การเปลี่ยนทางด้านเทคนิค ราคาวัสดุ ราคาผลผลิต สถานะการตลาด รวมทั้งการผันแปรทางด้านการเมือง สามารถจะปรับแผนการดำเนินงานให้เข้ากับสถานการณ์ต่างๆ และดำเนินโครงการไปได้ราบรื่น

การวิเคราะห์โครงการทั่วไปจะแบ่งระยะการดำเนินโครงการออกเป็น 3 ช่วง ช่วงแรกจะเป็นช่วงของการลงทุน ทำการก่อสร้างและลงทุนเกี่ยวกับเครื่องมือต่าง ๆ ช่วงที่สองเป็นช่วงที่เริ่มพัฒนาหลังจากช่วงของการลงทุนเสร็จสิ้นลง และเริ่มดำเนินกิจการในช่วงนี้ อาจจะมีการกู้ยืมเงินมาเพื่อดำเนินกิจการ อาจต้องใช้เวลาในการรอเก็บเกี่ยวผลประโยชน์และปรับกิจการ ช่วงสุดท้าย จะเป็นช่วงที่มีการพัฒนาแล้ว โครงการให้ผลประโยชน์ตอบแทนเต็มที่ไปจนสิ้นสุดอายุโครงการ การวิเคราะห์ด้านการเงินและด้านเศรษฐกิจของโครงการจะกระทำตามช่วงเวลาต่าง ๆ เหล่านี้

การประเมินผลโครงการ (Evaluation)

การประเมินผลโครงการเป็นขั้นตอนสุดท้ายของการวางโครงการ ผู้ประเมินจะพิจารณาอย่างเป็นระบบถึงองค์ประกอบต่าง ๆ ที่ทำให้โครงการประสบความสำเร็จและผิดพลาดเพื่อปรับปรุงและวางแผนที่ดีสำหรับอนาคต การประเมินผลเป็นเครื่องมือตรวจสอบการดำเนินโครงการที่ได้ทำไปนั้นถูกต้อง เหมาะสม และมีประสิทธิภาพเพียงใด การประเมินผลอาจกระทำได้หลายครั้งในช่วงเวลาต่าง ๆ เช่น ช่วงที่โครงการประสบปัญหาและต้องการปรับปรุงแผนงานในช่วงที่การก่อสร้างเสร็จหรือในช่วงที่กำลังดำเนินการอยู่ เพื่อให้ทราบว่าโครงการที่ทำอยู่นั้นถูกต้องตามแผนและตรงตามวัตถุประสงค์หรือไม่ วิธีที่ปฏิบัติอยู่ถูกต้องหรือไม่ และก้าวหน้าไปแค่ไหน และขั้นสุดท้ายก็คือการประเมินผลเมื่อสิ้นสุดโครงการ เพื่อดูว่าโครงการที่ทำขึ้นนั้นสามารถแก้ปัญหาหรือให้ผลประโยชน์ตอบสนองความต้องการหรือไม่เพียงใด

1.5 องค์ประกอบสำคัญในการจัดเตรียมและวิเคราะห์โครงการ

(Aspects of Project Preparation and Analysis)

การศึกษารายละเอียดในการจัดเตรียมและวิเคราะห์โครงการนั้น ผู้ที่มีหน้าที่รับผิดชอบจะต้องศึกษารายละเอียดและพิจารณาถึงองค์ประกอบต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับโครงการ เพื่อหาแนวทางในการวางแผนดำเนินโครงการที่เหมาะสมที่สุด องค์ประกอบเหล่านี้มักจะมีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน การพิจารณาตัดสินในองค์ประกอบหนึ่งจะมีผลกระทบไปถึงองค์ประกอบอื่นด้วย ดังนั้นการพิจารณาองค์ประกอบควรจะกระทำร่วมกันทุกขั้นตอนของการวางโครงการ Ripman (1964) ได้กำหนดองค์ประกอบสำคัญที่ต้องศึกษารายละเอียดสำหรับการจัดเตรียมและวิเคราะห์โครงการไว้ 6 ประการด้วยกันคือ

1) การศึกษาด้านเทคนิค (Technical Study)
2) การศึกษาเกี่ยวกับสถาบัน-องค์การ-และการจัดการ (InstitutionalOrganizational - Managerial Study)
3) การศึกษาด้านสังคม (Social Study)
4) การศึกษาด้านการค้า (Commercial Study)
5) การศึกษาด้านการเงิน (Financial Study)
6) การศึกษาด้านเศรษฐกิจ (Economics Study)

การศึกษาด้านเทคนิค

เป็นการศึกษาเปรียบเทียบทางเลือกด้านเทคนิคต่าง ๆ อย่างรอบคอบ เพื่อเลือกเทคนิคที่ดีประหยัดและเหมาะสมที่สุดสำหรับใช้กับโครงการเช่น การศึกษาด้านวิศวกรรม ได้แก่ การเลือกทำเลที่ตั้งโครงการ การวางผังโรงงาน การจัดสถานที่ทำงาน การกำหนดเครื่องจักรที่เหมาะสม ตลอดจนการจัดระบบสาธารณูปโภคต่าง ๆ ด้วย นอกจากนี้ยังต้องศึกษาด้านการดำเนินการและปัจจัยการผลิต เช่น การใช้วัตถุดิบและปัจจัยเหมาะสมพอเพียงกระบวนการผลิตตลอดจนการขนย้ายและการเก็บรักษาผลผลิตที่ดี การศึกษาด้านเทคนิคไม่ได้มุ่งหวังจะใช้เทคนิคที่ก้าวหน้าหรือดีที่สุด แต่ต้องเป็นเทคนิคที่เหมาะสมกับสถานการณ์และคุ้มค่าที่สุด บางครั้งอาจต้องพิจารณาลดหย่อนเทคนิคที่ดีเลิศลงมา เพื่อให้เหมาะสมกับความจำเป็น

การศึกษาเกี่ยวกับสถาบัน-องค์การและการจัดการ

เป็นการศึกษาเกี่ยวกับสถาบันที่เกี่ยวข้อง เช่น สถาบันของรัฐ สถาบันการเงิน สถาบันส่วนท้องถิ่น ซึ่งมีส่วนช่วยให้การสนับสนุนโครงการตลอดจนขนบธรรมเนียม ประเพณี และวัฒนธรรมของผู้ใช้ผลผลิตและบริการของโครงการ นอกจากนี้ยังต้องศึกษาด้านการบริหารเพื่อพิจารณาว่ามีการเตรียมงานด้านองค์กรดีเพียงใด ทั้งระยะที่กำลังก่อสร้าง ติดตั้งเครื่องจักรและระยะการดำเนินการ มีการจัดวางระบบงาน รวมทั้งค่าใช้จ่าย ค่าตอบแทนเจ้าหน้าที่ฝ่ายต่าง ๆ และอัตรากำลังที่จะใช้เพื่อเตรียมรับงานในที่จะใช้เพื่อเตรียมรับงานในช่วงต่าง ๆ ของโครงการได้ทันที

การศึกษาด้านสังคม

เป็นการศึกษาสภาพวะทั่วไปของสังคม หรือกลุ่มประชากรเป้าหมายที่ จะได้รับผลประโยชน์หรือใช้บริการของโครงการ เช่น จำนวนประชากร การศึกษา การเคลื่อนย้ายที่อยู่ แนวโน้มในการพัฒนาท้องถิ่น อาชีพพื้นฐาน การดำรงชีพ บทบาทของผู้นำท้องถิ่น และการยอมรับของสังคมเป็นต้น

การศึกษาด้านการค้า

ด้านการศึกษาสภาพการทางด้านการค้าและการตลาด ซึ่งจะมีผลกระทบโดยตรงต่อผลผลิตและการใช้บริการของโครงการ ได้แก่ ความต้องการตลาดในปัจจุบัน และแนวโน้มในอนาคต ระบบการตลาดในปัจจุบัน ราคาปัจจัยการผลิตและผลผลิต ยุทธศาสตร์ทางการตลาด การส่งเสริมการตลาด การคาดคะเนจำนวนขาย ตลาดเป้าหมาย แนะนโยบาย ทางด้านราคาของรัฐบาล เป็นต้น

การศึกษาด้านการเงิน

เป็นการศึกษาทางด้านการเงินเกี่ยวกับการวิเคราะห์สถานะการเงินของโครงการและตรวจสอบค่าใช้จ่ายของโครงการทั้งที่ใช้จ่ายไปแล้วและที่วางแผนไว้ ตลอดจนพิจารณาเงินทุนสำหรับก่อสร้างและเงินทุนหมุนเวียนดำเนินการต่อไปในอนาคต และจัดทำแผนการเงินเพื่อมองหาแหล่งเงินทุนต่อไป นอกจากนี้ยังต้องศึกษาถึงผลตอบแทนในช่วงต่าง ๆ ซึ่งใช้เป็นเงินทุนหมุนเวียนได้ การศึกษาด้านการเงินนี้จำเป็นทราบข้อมูลต่าง ๆ เช่น ราคาตลาด รายได้ทางการเงิน ระบบภาษี เงินอุดหนุน แหล่งเงินกู้ และอัตราดอกเบี้ย เป็นต้น

การศึกษาด้านเศรษฐกิจ

การศึกษาและพิจารณาทางด้านเศรษฐกิจหรือเศรษฐศาสตร์เป็นการพิจารณาผลประโยชน์ตอบแทนของโครงการมีผลต่อระบบเศรษฐกิจและสังคมส่วนรวมของประเทศอย่างไรส่วนใหญ่จะใช้พิจารณาโครงการของรัฐบาล และเป็นโครงการขนาดใหญ่หรือเป็นโครงการที่มีความเร่งด่วนในการพัฒนาประเทศ ข้อมูลที่ต้องใช้ในการวิเคราะห์ด้านเศรษฐกิจก็คือ ภาษี เงินอุดหนุน อัตราแลกเปลี่ยนเงินตรา ภาวะการแข่งขันของตลาด ค่าเสียโอกาส ราคาเงารายการสินค้าที่มีการซื้อขายภายในและนอกประเทศ และอัตราเงินเฟ้อ เป็นต้น

1.6 ประโยชน์ของการวางแผนโครงการ

การศึกษาและวางแผนโครงการจัดทำขึ้นเพื่อดูว่าโครงการนั้นให้ผลประโยชน์ตอบแทนคุ้มค่าต่อเศรษฐกิจและสังคมหรือไม่เพียงใด การดำเนินงานจะมีอุปสรรคและข้อจำกัดใดบ้าง มีวิธีการแก้ไขปรับปรุงอย่างไรจึงจะสามารถดำเนินการได้ นอกจากนี้ยังเป็นข้อกำหนดของแหล่งเงิน เงินช่วยเหลือ เพื่อแสดงให้เห็นว่าการดำเนินการโครงการดังกล่าว ได้ประโยชน์คุ้มค่าการลงทุนหรือไม่ โดยการวัดผลประโยชน์ในเชิงปริมาณเป็นหลัก ซึ่งสถาบันระหว่างประเทศได้กำหนดเงื่อนไขและวิธีการขึ้นมาใช้และเป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไป

ผลประโยชน์ของการศึกษาและวางแผนโครงการสามารถสรุปได้ดังนี้

1) ทำให้การพัฒนาเป็นไปอย่างเหมาะสมและมีการใช้ทรัพยากรอย่างถูกต้องประหยัด และมีประสิทธิภาพ

2) ทำให้การดำเนินงานของโครงการดำเนินไปอย่างมีระบบและต่อเนื่อง

3) ทำให้มองเห็นภาพและแผนของโครงการอย่างชัดเจนตลอดทุกขั้นตอน

4) ทำให้ทราบผลกระทบของโครงการต่อสภาพแวดล้อม เศรษฐกิจ และสังคมทั้งภายในและภายนอกโครงการ

5) ทำให้ทราบปัญหาที่แท้จริงและสามารถควบคุมการดำเนินงานที่มีอยู่ในแผนรวมให้สำเร็จตามเป้าหมายโดยเร็ว

6) ทำให้สะดวกในการแก้ไขและปรับปรุงแผนระหว่างการดำเนินงาน และทราบถึงผลกระทบจากการแก้ไขและปรับปรุง

บทที่ 2
การศึกษาและวางแผนโครงการชลประทาน

2.1 วัตถุประสงค์ของการพัฒนาโครงการชลประทาน

วัตถุประสงค์หลักของการพัฒนาโครงการชลประทานคือ การเพิ่มผลผลิตทางด้านการเกษตร และเพิ่มรายได้ให้กับเกษตรกร เพื่อสร้างงานให้ประชากรทั้งในเขตและนอกเขตพื้นที่โครงการ เป็นการปรับปรุงฐานะความเป็นอยู่ทางด้านเศรษฐกิจและสังคมของประชากรในพื้นที่โครงการในเขตใกล้เคียงและประเทศชาติโดยส่วนรวม นอกจากนี้แล้วการพัฒนาโครงการชลประทานยังมีวัตถุประสงค์ เพื่อทำให้สิ่งแวดล้อมโดยส่วนรวมได้รับผลกระทบในทางที่เป็นประโยชน์อีกด้วย

วัตถุประสงค์สำคัญของประเทศชาติในการพัฒนาโครงการชลประทานและการพัฒนาแหล่งน้ำ อาจสรุปได้ 4 อย่างด้วยกันคือ 1) เพื่อการพัฒนาเศรษฐกิจของชาติ 2) เพื่อยกระดับความเป็นอยู่และคุณภาพชีวิตของสังคมให้สูงขึ้น 3) เพื่อปรับปรุงสิ่งแวดล้อมของชาติให้ดีขึ้น 4) เพื่อกระจายการพัฒนาสู่ท้องถิ่น

2.2 สาเหตุของการพัฒนาโครงการ

สาเหตุหรือที่มาของการพัฒนาโครงการนั้น แยกออกได้เป็น 2 ประการใหญ่ ๆ ด้วยกันคือ 1) เกิดจากความต้องการของราษฎร เป็นตัวกำหนดความต้องการในการพัฒนา 2) เกิดจากสภาพทรัพยากรธรรมชาติเหมาะสมและอำนวยให้ในการพัฒนา

สาเหตุประการแรกเกิดจากปัญหาทางด้านเศรษฐกิจ สังคม และด้านการเมืองทำให้ราษฎรเดือดร้อนและทุกข์ยาก รัฐบาลจำเป็นที่จะต้องพัฒนาโครงการชลประทานขึ้นมาเพื่อแก้ไขและบรรเทาปัญหาความเดือดร้อนเฉพาะหน้าของราษฎร หรือเพื่อแก้ปัญหาทางด้านสังคม ปัญหาทางด้านการเมือง และปัญหาเกี่ยวกับความมั่นคงปลอดภัยของประเทศเป็นหลัก โครงการประเภทนี้ส่วนใหญ่จะเป็นโครงการขนาดเล็ก (Small Scale) หรือเป็นโครงการชลประทานประเภทบรรเทาทุกข์ กรมชลประทานได้มีข้อกำหนดสำหรับโครงการชลประทานขนาดเล็กไว้ดังนี้คือมีพื้นที่ได้รับประโยชน์ไม่เกิน 1,000 ไร่ หรือมีราคาก่อสร้างไม่เกิน 10 ล้านบาท สามารถทำการก่อสร้างให้แล้วเสร็จในเวลา 1 ปี หรืออย่างมากไม่เกิน 2 ปี ปัจจุบันรัฐบาลมีนโยบายให้มีโครงการประเภทนี้แผ่กระจายไปทุกจังหวัดหรือทุกอำเภอเท่าที่จะเป็นไปได้ โดยพิจารณาให้สอดคล้องกับแผนพัฒนาจังหวัด หรือแผนพัฒนาอำเภอ และเป็นเรื่องการขาดแคลนน้ำ เพื่อการเกษตรเป็นหลัก

ประการที่สองเกิดจากสภาพทรัพยากรธรรมชาติเหมาะสมและอำนวยให้เกิดการพัฒนา เพื่อวัตถุประสงค์ในการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมของประเทศโดยส่วนรวมเป็นหลัก เช่น การมีแหล่งทรัพยากรน้ำบริบูรณ์ มีที่ดินอุดมสมบูรณ์เหมาะสมอย่างยิ่งสำหรับทำการเกษตรไม่ต้องลงทุนในการพัฒนามากนัก และประชากรในพื้นที่มีสภาพเศรษฐกิจและสังคมที่สามารถรับการพัฒนาได้เป็นต้น โครงการชลประทานประเภทนี้ส่วนมากจะเป็นโครงการขนาดเล็ก (Medium Scale) และโครงการขนาดใหญ่ (Large Scale) ซึ่งบางครั้งเรียกว่าโครงการชลประทานประเภทเพิ่มผลผลิต โดยปกติโครงการชลประทานประเภทนี้จะมีพื้นที่ได้รับประโยชน์หลายอำเภอหรือหลายจังหวัด ใช้ค่าลงทุนในการก่อสร้างสูง และใช้เวลาในการก่อสร้างนานเกิน 3 ปี การศึกษาและวางแผนโครงการจะต้องทำด้วยความละเอียดรอบคอบ ถึงความเป็นไปได้ของโครงการทางด้านวิศวกรรม และต้องมีความเหมาะสมทางเศรษฐกิจรวมทั้งพิจารณาด้านสังคม การเมือง และความมั่นคงปลอดภัยของประเทศด้วย

2.3 ข้อมูลสำหรับศึกษาและพิจารณาโครงการ

การรวบรวมศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลที่เกี่ยวข้องโดยละเอียดและถูกต้อง จะทำให้สามารถมองเห็นสถานะการณ์และความต้องการที่แท้จริง ช่วยในการวางแผนงาน การประเมินค่าทรัพยากร ช่วงเวลาการทำงานและค่าใช้จ่ายได้อย่างถูกต้อง ข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการศึกษาพิจารณาโครงการชลประทานดังที่กล่าวต่อไปนี้เป็นรายการข้อมูลที่สำคัญที่ไม่ควรมองข้าม แม้ว่าบางข้อมูลอาจจะไม่จำเป็นสำหรับบางโครงการก็ตาม

2.3.1 ภูมิประเทศ (Geography)

-แผนที่ภูมิประเทศ (Topographic Maps)

-แผนที่ภาพถ่ายทางอากาศ (Arial Photograph)

-แผนที่แสดง Infrastructure (บ้านเรือน ถนน ไฟฟ้า ฯลฯ)

2.3.2 แหล่งน้ำ (Water Resources)

-ปริมาณน้ำจากแหล่งน้ำผิวดิน (Surface Water)

-ลักษณะของพื้นที่รับน้ำ (Watershed Characteristics)

-ข้อมูลการวัดปริมาณน้ำ สถานีวัดน้ำ

-ข้อมูลปริมาณน้

-การกัดเซาะและการตกตะกอน (Erosion and Sedimentation)

-ปริมาณน้ำจากแหล่งน้ำใต้ดิน (Ground Water)

-ลักษณะของชั้น Aguifer

-ระดับของน้ำใต้ดิน

-คุณภาพของน้ำและการทำน้ำสะอาด

-ปริมาณความต้องการใช้น้ำของโครงการ

-สิทธิการใช้น้ำจากแหล่งน้ำ

2.3.3 อุตุนิยมวิทยา (Meteorology)

-สถานีวัดน้ำฝน

-ข้อมูลน้ำฝน

-การระเหย (Evaporation)

-การระเหยและการคายน้ำ (Evapotranspiration)

-ขนาดและทิศทางลม

-แสงแดด (Sunlight)

-อุณหภูมิ (Temperature)

2.3.4 พื้นที่ดิน (Land Resources)

-การจำแนกพื้นที่ดิน (Land Classification)

-การใช้พื้นที่ (Land Use)

-ขีดความสามารถในการพัฒนาที่ดิน

-การระบายน้ำ

2.3.5 ธรณีวิทยา (Geology)

-แผนที่ธรณีวิทยา

-การก่อตัวของชั้นดิน (Formations)

-ลักษณะของฐานราก (Foundation Characteristics)

2.3.6 การเกษตรกรรม (Agriculture)

-การใช้พื้นที่ในการเพาะปลูก

-พืชที่ปลูก

-ราคาของที่ดิน

-สิทธิการครอบครองที่ดินและการเช่าที่ดิน

-ผลผลิตทางด้านการเกาตร

-เครดิตการเกษตร

-ปัญหาและอุปสรรคต่าง ๆ

2.3.7 สังคม (Social)

-จำนวนประชากร (ปัจจุบันและอนาคต)

-ลักษณะของประชากร (เชื้อชาติ ขนบธรรมเนียมประเพณีและ

-วัฒนธรรม การศึกษา ฯลฯ

-การตั้งรกรากและการย้ายถิ่นฐาน

-การบริการสังคมด้านพื้นฐาน

-รายได้การจ้างแรงงานและสภาพเศรษฐกิจ

-ความต้องการในการพัฒนาและการยอมรับวิธีการเกษตรแผนใหม่

2.3.8 การเงิน (Financial)

-แหล่งเงินทุน

-ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างและดำเนินการ

-การใช้คืนเงินทุน

-อัตราดอกเบี้ย

-กระแสการเงินหมุนเวียน

2.3.9 เศรษฐกิจ (Economics)

-สภาพเศรษฐกิจในปัจจุบันและการใช้ทรัพยากร

-สภาพเศรษฐกิจในอนาคตถ้าไม่มีโครงการ

-สภาพเศรษฐกิจในอนาคตเมื่อมีโครงการ และผลกระทบต่อท้องถิ่นและส่วนรวมของประเทศ

-บรรทัดฐาน (Criteria) สำหรับการกำหนดโครงการ

-ความจำเป็นในการพัฒนาด้านเศรษฐกิจ

2.3.10 กฎหมาย (Legal Consideration)

-กฎหมายเกี่ยวกับสิทธิในการใช้น้ำ

-การซื้อที่ดินและการชดใช้ค่าเสียหาย

-การเคลื่อนย้ายประชากรออกจาพื้นที่

-การออกกฎหมายเวณคืนที่ดิน

2.3.11 สิ่งแวดล้อม (Environment)

-ด้านภายภาพ (Pphysical Resource) ได้แก่ ผลกระทบโดยตรงต่อแหล่งน้ำธรรมชาติ สภาพทางธรณีวิทยา

-ด้านนิเวศน์วิทยา (Ecological Resource) ได้แก่ ผลกระทบทางด้านป่าไม้ สัตว์น้ำ สัตว์ป่า และการอนุรักษ์ธรรมชาติ

-ด้านการดำรงชีพของมนุษย์ (Human Uses) ได้แก่ ผลกระทบทางด้านผลประโยชน์ที่ได้รับเช่น การชลประทาน การประปา การป้องกันอุทกภัย และการคมนาคมทางน้ำ ที่พักผ่อนหย่อนใจ

-ด้านคุณค่าของชีวิตมนุษย์ (Human Life) ได้แก่ ผลกระทบทางด้านเศรษฐกิจและสังคม เช่น ผลผลิตของการเกษตรเพิ่มขึ้น ผลผลิตทางการประมง ปัญหาการอพยพและจัดหาที่ดินให้ใหม่ เพิ่มพูนรายได้ วิธีการดำรงชีวิต โบราณสถาน โบราณวัตถุ

2.4. ขั้นตอนการพิจารณาวางแผนโครงการ (Steps of the project formulation process

ลำดับขั้นตอนการพิจารณาวางแผนโครงการอาจจะแบ่งออกเป็นหลายขั้น ดังได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 1 ในที่นี้จะกล่าวถึงขั้นตอนสำหรับการศึกษาและพิจารณาความเป็นไปได้ของโครงการชลประทานที่สำคัญ 6 ขั้นตอนคือ

1) กำหนดวัตถุประสงค์ (Define Objectives)
2) กำหนดเป้าหมาย (Goals Setting)
3) ประเมินค่าทรัพยากร (Appraisal of Available Resources)
4) กำหนดแผนโครงการ (Plans Formulation)
5) ประเมินแผนโครงการ (Plans Evaluation)
6) เลือกแผนโครงการเพื่อดำเนินการ (Select and Implement Pian)

2.4.1 กำหนดวัตถุประสงค์ (define Objectives)

โครงการชลประทานสามารถกำหนดขึ้นในรูปแบบต่างๆ กันเพื่อให้สามารถดำเนินการบรรลุวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกันเช่น การสร้างเป็นอ่างเก็บน้ำเพื่อเก็บน้ำไว้ในฤดูแล้ง การสร้างฝายทดน้ำเพื่อผันน้ำเข้าช่วยพื้นที่เพาะปลูกเมื่อฝนขาดช่วง หรือสร้างโครงการสูบน้ำเพื่อช่วยเสริมน้ำฝนในท้องถิ่นที่ไม่มีแหล่งน้ำผิวดิน เป็นต้น การกำหนดรูปแบบ การก่อสร้างและการ

ดำเนินโครงการชลประทานนี้จะถูกกำหนดโดยที่มีอำนาจในการตัดสินใจ และความสำเร็จของโครงการจะขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ที่มีเหตุสัมพันธ์กับทรัพยากรที่สามารถนำมาใช้ได้

วัตถุประสงค์หลักของโครงการชลประทานก็คือ การจัดหาน้ำเพื่อใช้ในการเพาะปลูก และเพื่อเพิ่มผลผลิตทางด้านเกษตร นอกจากนี้ยังรวมไปถึงการยกระดับ การดำรงชีพ (Improving Living Conditions) ปรับปรุงประสิทธิภาพเศรษฐกิจของชาติ (Improving National Economic Efficiency) ปรับปรุงดุลย์การแลกเปลี่ยนต่างประเทศ (Improving Foreign Exchange Balances) ปรับปรุงการกระจายของประชากร (Improving Distribution of Population) และการป้องกันและส่งเสริมสภาพแวดล้อมธรรมชาติ (Protecting and Enhancing the National Environment)

การกำหนดวัตถุประสงค์ของโครงการจะต้องสอดคล้องและตอบสนองนโยบาย (Policy) ของการพัฒนาหรือความต้องการของประชากร วัตถุประสงค์ของโครงการสามารถปรับปรุงหรือแก้ไขให้เหมาะสม และสามารถนำไปปฏิบัติให้บังเกิดผลสำเร็จได้ หลังจากที่ได้ศึกษาและวิเคราะห์ปัจจัยด้านทรัพยากร เศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อมแล้ว

2.4.2 กำหนดเป้าหมาย (Goal Setting)

การกำหนดเป้าหมายของโครงการ คือ การกำหนดวัตถุประสงค์ในเชิงปริมาณ (Quantity) ภายในช่วงเวลาของการดำเนินโครงการ (Implementation tiem-table) เป้าหมายจะเป็นตัวกำหนดพื้นฐานสำหรับการประเมินผล สมรรถนะของการดำเนินการความสำเร็จ และความก้าวหน้าของโครงการ ฉะนั้นหากไม่ได้กำหนเป้าหมายไว้แล้ว จะไม่สามารถทำการวัดหรือประเมินผลได้ว่าโครงการนั้นประสบความสำเร็จมากน้อยเพียงใดและสมควรจะปรับปรุงแก้ไขหรือไม่อย่างไร

การกำหนดเป้าหมายที่เป็นจริง (Realistic Goals) หรือสามารถนำไปปฏิบัติให้บรรลุผลสำเร็จได้จริงนั้น จะต้องทำการศึกษาปัจจัยและสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้อง เช่น กฎหมาย ระเบียบข้อบังคับ ทรัพยากรที่นำมาใช้ได้ กำลังคนแหล่งเงินทุนและเงินหมุนเวียน สิ่งเหล่านี้จะสะท้อนให้เห็นถึงผลกระทบต่อการดำเนินโครงการให้บรรลุเป้าหมายที่แท้จริง หลังจากที่ได้ศึกษาปัจจัยและสิ่งแวดล้อมแล้วพบว่ามีขีดจำกัด ข้อบังคับ และอุปสรรค ทำให้ไม่สามารถดำเนินการให้บรรลุประสงค์ได้ อาจจำเป็นต้องแก้กฎหมายและระเบียบข้อบังคับต่างๆ หรือมิฉะนั้นก็ต้องปรับปรุงแก้ไขวัตถุประสงค์และเป้าหมายให้เหมาะสม

เป้าหมายสูงสุดของการพัฒนาก็คือ การนำเอาวิทยาการที่ทันสมัยมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาทรัพยากรที่มีอยู่อย่างมีประสิทธิภาพเพื่อก่อให้เกิดการพัฒนาทางด้านเศรษฐกิจและ

สังคมโดยส่วนรวมสูงสุด ความสำเร็จของโครงการจะเป็นเครื่องชี้ความสามารถของผู้บริหารและความสำเร็จของแผนพัฒนา

2.4.3 การประเมินค่าทรัพยากร (Appraisal of Available Resources)

เป็นขั้นตอนของการเก็บรวบรวม ศึกษา และวิเคราะห์ข้อมูลของทรัพยากร และองค์ประกอบต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับโครงการ ดังในหัวข้อที่ได้กล่าวมาแล้ว ซึ่งไม่ควรจำกัดขอบเขตเฉพาะข้อมูลในพื้นที่โครงการเท่านั้น แต่ควรจะเป็นข้อมูลภายนอกที่มีผลหรือได้รับผลกระทบจากโครงการด้วย เพื่อให้สามารถมองเห็นส่วนที่นำมาใช้ประโยชน์ ขีดจำกัดและข้อจำกัดที่มีอยู่ทำให้สามารถใช้วางแผนได้อย่างถูกต้องต่อไป

การวางแผนรวบรวมและศึกษาข้อมูล ควรครอบคลุมวัตถุประสงค์โครงการ การกำหนดขอบเขตและความละเอียดข้อมูลควรกำหนดให้เหมาะสมกับระดับของการศึกษา (Stage of study) ซึ่งจะมีการแบ่งระดับการศึกษาออกเป็นหลายระดับ ดังจะกล่าวในรายละเอียดในหัวข้อต่อไป รวมทั้งมีการจัดการข้อมูล (Data Management) ที่ดี การจัดการข้อมูลเป็นหัวใจของการวางแผนโครงการ ถ้าข้อมูลที่ได้ไม่ถูกต้องหรือไม่เหมาะสม (inaccurcy of inappropriate) แล้ว แม้จะมีวิธีการวางแผนดีอย่างไร ก็จะไม่สามารถดำเนินโครงการให้สำเร็จได้ หรือล้มเหลวในที่สุด การจัดการข้อมูลเกี่ยวข้องกับการกำหนดแหล่งรวบรวมข้อมูลและเปลี่ยนให้เป็นข้อมูลที่ใช้ประโยชน์ได้ กระบวนการจัดการข้อมูล แบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอนด้วยกันคือ

1. การรวบรวมข้อมูล (Collecting) ซึ่งก่อนทำการจะต้องรู้เป้าหมายที่แน่ชัดในสิ่งต่อไปนี้ คือ ปริมาณ (Quantity) ซึ่งขึ้นอยู่กับขอบเขตและรายละเอียดที่ต้องการศึกษา คุณภาพ (Quality) ข้อมูลมีความต่อเนื่อง และเป็นตัวแทน เหตุการณ์เพียงใด เวลา (Timing) ได้แก่ วันที่ช่วงเวลาของการเก็บข้อมูล และสถานที่ (Location) ของข้อมูลควรจะเก็บจากที่ใดบ้าง

2. การจัดหมวดหมู่ (Cataloging) ได้แก่ ระบบการรวบรวมและจัดหมวดหมู่เพื่อสะดวกในการค้นหา เก็บรักษา และนำมาใช้ต่อไห

3. การประเมินข้อมูล (Evaluation) คือ การประเมินผล หรือตรวจสอบในด้านของความถูกต้อง (Accuracy) และปริมาณพอเพียง (Adequacy) การตรวจสอบข้อมูลล่าช้าหรือผิดพลาดทำให้เสียเวลาและผลเสียต่อโครงการ

4. การผลิตข้อมูล (Processing) หรือขั้นตอนการทำข้อมูลดินให้เป็นข้อมูลที่ใช้ประโยชน์ได้ การคำนวณ การใช้วิธีการทางสถิติ การพล็อตกราฟ และทำตาราง เป็นต้น เพื่อให้มองสถานการณ์ที่เป็นจริงได้ชัดเจน

5. การวิเคราะห์ (Analysis) เป็นขั้นตอนของการแปรความหมายจากข้อมูลทำการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อดูแนวโน้มความสัมพันธ์ และการจำลองสถานการณ์ เช่นการที่ flood flow frequency เป็นต้น

ผู้ที่ทำการศึกษาและประเมินค่าทรัพยากรนี้ ควรเป็นคณะของผู้เชี่ยวชาญหรือผู้มีความรู้ในสาขาต่าง ๆ ร่วมกัน เช่น วิศวกรวางแผน วิศวกรชลประทาน วิศวกรแหล่งน้ำ นักธรณีวิทยา นักวิชาการเกษตรสาขาต่าง ๆ นักเศรษฐศาสตร์ นักสังคมสงเคราะห์ และนักวิชาการด้านอนุรักษ์ธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อม เป็นต้น ผู้ที่มีความชำนาญญจะสามารถมองเห็นคุณลักษณะข้อมูลที่แท้จริง รู้ว่าส่วนใดเป็นจุดวิกฤต และสามารถกำหนดขอบเขตของการศึกษา ข้อมูลเพิ่มเติมในขั้นต่อไปได้อย่างถูกต้อง คณะของผู้ทำการนี้ควรปฏิบัติงานไปพร้อม ๆ กัน มีการวิเคราะห์สรุปผล และตัดสินร่วมกัน ไม่ควรแยกกันหรือต่างคนต่างทำ เพราะข้อมูลจากทรัพยากรต่าง ๆ เหล่านั้นมีความสัมพันธ์ และมีผลกระทบซึ่งกันและกัน

2.4.4 การกำหนดแผนโครงการ (Plans Farmulation)

เมื่อได้ศึกษาถึงปัญหา ความต้องการและปริมาณค่าทรัพยากรที่มีอยู่อย่างละเอียดแล้ว ขั้นต่อไปก็คือ การกำหนดรูปแบบและแผนพัฒนาโครงการที่เหมาะสม เพื่อนำเอาทรัพยากรที่มีอยู่มาใช้ให้เกิดประโยชน์ ตามวัตถุประสงค์และความต้องการ แนวทางการกำหนดรูปแบบโครงการอาจกระทำได้หลายวิธี เช่นพิจารณาปรับปรุงโครงการชลประทานมีอยู่ให้ดีขึ้น โดยวิธีการปรับปรุงด้านการบริหารและการจัดการ การสร้างอาคารเพิ่มเติมหรือโครงการใหม่ และการแบบผสมผสานกัน เป็นต้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับข้อจำกัดของทรัพยากร เทคนิคการวางแผน เศรษฐกิจและเงินทุน การยอมรับ กฎหมายและการบริหารโครงการ อย่างไรก็ตามการกำหนดรูปแบบและแผนการการดำเนินโครงการควรมีการพิจารณาอย่างกว้างขวาง เพื่อกำหนดรูปแบบและแนวทางที่เป็นไปได้ไว้เป็นแผนเผื่อเลือก (Alternative Plans) แล้วนำมาพิจารณาหรือหารายละเอียดเพิ่มเติม เพื่อคัดเลือกแผนที่เหมาะสมที่สุดสำหรับดำเนินการต่อไป

การกำหนดและวางแผนโครงการเป็นกระบวนการที่ต้องทำซ้ำ (Iterative process) เพื่อพิจารณาปรับปรุงให้เหมาะสมกับวัตถุประสงค์และทรัพยากรที่มีอยู่ การพิจารณาแต่ละรอบจะเพิ่มรายละเอียดมากขึ้น และแผนที่คิดว่าเป็นไปไม่ได้บางแผนจะถูกกำจัดออก ในที่สุดจะเลือกแผนเพียง 2-3 แผนเท่านั้น ซึ่งจะนำไปพิจารณาตัดสินใจในขั้นต่อไป ในกรณีที่ยังไม่แน่ใจว่าแผนนั้นว่าเหมาะสมหรือไม่ ควรเก็บไว้ก่อนจนกว่าจะหารายละเอียดเพิ่มเติมให้แน่ชัดบางครั้งแผนที่เห็นว่าไม่เหมาะสมในเบื้องต้นอาจจะเป็นแผนที่ดีที่สุดก็ได้

แผนการดำเนินโครงการควรพิจารณาถึง เวลาที่เหมาะสม (Timing) ระดับความพร้อม (Staging) และขนาดที่เหมาะสม (Siting) โครงการอาจจะมีความเหมาะสมแต่ไม่ใช่ในเวลาปัจจุบัน หรือในปัจจุบันยังไม่มีความต้องการใช้เต็มความสามารถของโครงการ (Full Capacity) การเลื่อนเวลาการก่อสร้างอาจให้ผลประโยชน์ตอบแทนสูงกว่า บางโครงการสามารถแบ่งการก่อสร้างหรือการดำเนินการออกเป็นหลายระยะตามจำเป็น แม้การยืดเวลาในการก่อสร้างจะต้องใช้เงินค่าลงทุนทั้งหมดสูงกว่า แต่เมื่อคิดผลประโยชน์ตอบแทนต่อค่าลงทุนแล้วอาจจะดีกว่านอกจากนี้ยังแล้วการแบ่งระยะการดำเนินการจะทำให้รู้ถึงความไม่แน่นอนที่เกิดขึ้นได้ ทำให้สามารถปรับปรุงแก้ไขให้เหมาะสมได้ หรือเมื่อถึงเวลานั้นอาจจะไม่ต้องการโครงการอีกแล้วก็เป็นได้ การเลือกขนาดโครงการควรเหมาะสม เช่น การสร้างอ่างเก็บน้ำควรเหมาะสมกับปริมาณน้ำในพื้นที่รับน้ำ ความต้องการใช้น้ำและระบบส่งน้ำไปยังพื้นที่ต่าง ๆ ด้วย บางครั้งการสร้างอ่างเก็บน้ำขนาดเล็กหลายยแห่งจะดีกว่าสร้างอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่แห่งเดียวก็ได้

2.4.5 การประเมินแผนโครงการ (Plans evaluation)

การประเมินแผนโครงการบางส่วนจะกระทำไปพร้อมกันในขั้นตอนของการงางแผนโครงการ เพื่อคัดเลือกเป็นแผนเผื่อเลือก (Alternative plans) ไว้ในขั้นนี้จะเป็นการประเมินแผนโครงการแผนทั้งหมดที่วางไว้โดยละเอียดอีกครั้ง เพื่อเปรียบเทียบกัน ซึ่งจะต้องทำการวิเคราะห์แสดงข้อดีและข้อเสียของแต่ละแผน มีการตัดสินใจในวัตถุประสงค์ที่จัดแย้งกันว่าควรจะกำหนดไว้ที่ใดจึงจะเหมาะสม ผลประโยชน์ตอบแทนและผลกระทบของโครงการจะประเมินออกมาในรูปของความสัมฤทธิ์ผล (effectiveness) ความสมบูรณ์ (Compppleteness) ประสิทธิภาพ (efficiency) และการยอมรับ (acceptability)

การประเมินผลทางด้านเศรษฐกิจ การเงิน สิ่งแวดล้อม และสังคมเป็นประเด็นสำคัญสำหรับการประเมินแผนโครงการ การวิเคราะห์ด้านเศรษฐกิจและการเงินมีความเกี่ยวข้องและคล้ายคลึงกันในแนวทางของการตัดสินใจ อย่างไรก็ตามทั้งสองประเด็นนี้มีความแตกต่างกัน การวิเคราะห์ทางเศรษฐกิจเป็นประเมินผลตอบแทน หรือกำไรที่เกิดกับส่วนรวมข้องประเทศ ส่วนการวิเคราะห์ด้านการเงินเป็นการตรวจสอบผลตอบแทนต่อโครงการ หรือเจ้าของกิจการ รวมทั้งกระแสการเงินของโครงการด้วย สำหรับการวิเคราะห์สิ่งแวดล้อมและสังคมนั้นก็เพื่อตรวจสอบดูผลประโยชน์และผลกระทบของโครงการต่อสิ่งแวดล้อมและสังมมากน้อยเพียงใด และเป็นพื้นฐานสำหรับการพิจารณาแผนที่ดีที่สุดต่อไป

2.4.6 การเลือกแผนและดำเนินการ (Select and implement plan)

เป็นขั้นตอนขั้นสุดท้ายของกระบวนการวางแผนโครงการ ผู้มีอำนาจในการตัดสินใจจะพิจารณาแผนและผลการประเมินแผนต่าง ๆ ทำการเปรียบเทียบและตัดสินใจเลือกแผนที่ดีที่สุดแนวทางในการพิจารณาเลือกแผนก็คือจะต้องเป็นแผนโครงการที่ให้ผลตามวัตถุประสงค์ เป็นที่ยอมรับ มีแนวทางในการปฏิบัติยืดหยุ่นมากที่สุด มีผลกระทบต่อสิ่งแวล้อมน้อยที่สุด และให้ผลประโยชน์ตอบแทนในด้านเศรษฐกิจและการเงินสูงที่สุด อย่างไรก็ตามแผนที่ดีที่สุดนั้นมิได้หมายความว่าจะต้องให้ผลตอบแทนสูงสุดและมีผลเสียน้อยที่สุดเสมอไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของโครงการ และการตัดสินใจว่าควรจะอยู่ที่จุดใด

แผนที่คัดเลือกไว้ จะนำไปดำเนินการต่อไปในขั้นออกแบบรายละเอียดทำการก่อสร้าง ดำเนินการ ตามวงจรของโครงการที่ได้กล่าวมาแล้ว

2.5 ระดับการศึกษาและวางแผนโครงการ (Levels of Study)

ในการศึกษาและวางแผนโครงการโดยทั่วไป แบ่งออกเป็นหลายระดับโดยเริ่มจากการศึกษาและพิจารณาอย่างกว้าง ๆ ค่อนข้างหยาบจากข้อมูลที่สามารถรวบรวมได้ง่ายและรวดเร็วแล้วพิจารณาถึงแนวทางปฏิบัติที่พอเป็นไปได้ในรูปแบบต่าง ๆ กัน แล้วจึงค่อย พิจารณาเปรียบเทียบข้อดีข้อเสีย เพื่อกำหนดให้แคบลง พร้อมทั้งทำการศึกษาในแต่ละด้านให้ละเอียดขึ้น ซึ่งจะต้องมีการสำรวจ รวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลให้ได้รายละเอียดตื้นตามลำดับจนกระทั่งได้แผนที่ดีและเหมาะสมที่สุด

การศึกษาและวางแผนโครงการ โดยทั่วไปแบ่งออกได้เป็น 3 ระดับ คือ 1) Preliminary Study 2) Reconnaisace Study และ 3) Feasibility Study บางโครงการ การศึกษาและวางแผนอาจดำเนินการต่อเนื่องกันไปโดยไม่มีการแยกอย่างเด่นชัด แต่บางโครงการอาจจะจัดทำเป็นตอน ๆ เพื่อพิจารณาและตัดสินใจเป็นขั้น ๆ เมื่อมองเห็นทางเป็นไปได้ จึงทำการศึกษาและรวบรวมข้อมูลรายละเอียดเพิ่มเติมตามความเหมาะสมในแต่ละขั้นตอนทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาด ความยุ่งยากซับซ้อนของโครงการ และข้อมูลที่มีอยู่ว่ามีความเหมาะสมและเชื่อถือได้เพียงใด

2.5.1 Preliminary Study

เป็นขั้นเริ่มต้นของการวางแผนโครงการ เมื่อมีแนวความคิดหรือความต้องการที่จะพัฒนาโครงการขึ้นในบริเวณพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่ง ก็จะเริ่มทำการเก็บและรวบรวมข้อมูลต่าง ๆ ที่มี

อยู่และสามารถหาได้มาทำการศึกษาและพิจารณาจุดประสงค์ของการศึกษาและวางแผนในขั้นนี้ก็คือ

1. พิจารณาปัญหาและความต้องการ (Identification of Problems and Needs)

2. พิจารณาแนวทางการพัฒนาและความเป็นไปได้(Identification of Development Concept and Possibilities)

3. พิจารณาวางแผนโครงการเบื้องต้น (Preliminary plan Formulation)

4. กำหนดขอบเขตของการศึกษาและรวบรวมข้อมูลต่อไป (Define Scope of Further Studies and Data Collection)

การพิจารณาปัญหาและความต้องการ

ในการศึกษาและพิจารณาปัญหาและความต้องการ สามารถจัดทำได้โดยอาศัยเอกสารที่มีอยู่ การสังเกตุในสนาม การประชุมปรึกษาหารือกับเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้อง รวบรวมข้อมูลระดับจังหวัดและท้องถิ่น และสัมภาษณ์ราษฎรในเขตพื้นที่ หรือประชากรในระดับผู้นำ เพื่อให้ทราบปัญหาและข้อเท็จจริงในสนาม จากนั้นทำการวิเคราะห์ปัญหาที่แท้จริงจากข้อมูลที่รวบรวมมา พร้อมทั้งวิเคราะห์ข้อมูลหลักอื่น ๆ ประกอบ เช่น มีปัญหาน้ำท่วม ทำให้ไม่สามารถทำการเพาะปลูกได้ผล ความแห้งแล้งในตอนฝนทิ้งช่วง และการขาดแคลนน้ำในฤดูแล้ง สมควรจะต้องสอบถามถึงระดับน้ำท่วมระยะเวลาในการท่วม ช่วงเวลาที่น้ำท่วม และความเสียหายที่เกิดขึ้นในบริเวณต่าง ๆ จากนั้นทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางอุทกวิทยา เพื่อตรวจสอบอย่างกว้าง ๆ เพิ่มเติมก็จะทราบถึงความถี่ของน้ำท่วม และฝนแล้ง ซึ่งเป็นตัววัดถึงปัญหาและความต้องการเป็นต้น นอกจากนั้นข้อมูลทางด้านผลผลิตและรายได้ก็จะเป็นตัวชี้บอกเมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่อื่น ๆ ในบริเวณใกล้เคียง

จากการตรวจสอบข้อมูลจะทราบได้ว่า ปัญหาและความต้องการนั้นเกิดขึ้นในบริเวณนั้นจริงหรือไม่ ปัญหาใดเป็นปัญหาหลักและปัญหาใดเป็นปัญหารอง ในบางครั้งการแก้ปัญหาไม่สามารถทำได้ทั้งหมด เนื่องจากประมาณจำกัดหรือการแก้ปัญหาหลักเพียงอย่างเดียวแล้วก็สามารถทำให้สภาพของเศรษฐกิจและสังคมดีขึ้นมากพอสมควร และการดำเนินการเพื่อแก้ปัญหารองนั้น ผลประโยชน์ที่ได้รับทางด้านเศรษฐกิจและสังคมไม่คุ้มค่ากับการลงทุน ก็สามารถจำกัดขอบเขตการพัฒนาลงได้

ในบางกรณี เมื่อได้ศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลทางอุทกวิทยาแล้วอาจจะทราบว่าปัญหาที่เกิดขึ้นนั้นเป็นเฉพาะปี มิได้เป็นปัญญหาที่เกิดขึ้นระยะยาว ซึ่งแท้จริงแล้วไม่มีความจำเป็นต้องมีโครงการก็ได้ หรืออาจจะมีวิธีแก้ปัญหาโดยวิธีอื่นที่ลงทุนน้อยกว่า

ในบางกรณี เมื่อได้ศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้น อาจทราบว่าปัญหาที่ต้องการมิได้จำกัดอยู่แต่เพียงบริเวณที่ทราบมา แต่ขยายกว้างออกไปครอบคลุมพื้นที่กว้างกว่าหลายเท่าตัวหรือทั้งลุ่มน้ำ การวางแผนโครงการก็สามารถกำหนดแนวทางและขอบเขตได้ถูกต้อง

การพิจารณาแนวทางการพัฒนาและความเป็นไปได้

ในขั้นตอนนี้เป็นการกำหนดแนวทาง และวิธีการแก้ปัญหาอย่างกว้าง ๆ อันจะเป็นแนวความคิดที่จะได้ดำเนินการศึกษาและพิจารณาในขั้นรายละเอียดต่อไป ข้อมูลที่ใช้ส่วนมากจะเป็นข้อมูลที่มีอยู่แล้วหรือหาได้จากหน่วยงานต่าง ๆ เช่น แผนที่มาตราส่วน 1:50,000 แผนที่แสดงการจำแนกที่ดิน ของกรมพัฒนาที่ดิน ข้อมูลด้านอุทกวิทยาจากสถานีในโครงการหรือสถานีใกล้เคียง ข้อมูลชนิดพืชที่ปลูก ระยะเวลาการปลูก ผลผลิต และอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องจากหน่วยงานในจังหวัด หรือสัมภาษณ์ประชาชนในเขตพื้นที่โครงการ

จากข้อมูลที่ได้จะนำมาพิจารณาปัญหา และหาแนวทางแก้ไขอย่างกว้าง ๆ โดยพิจารณาถึงแนวทางที่เป็นไปได้ทั้งหมด เพื่อนำมาเปรียบเทียบและศึกษาโยละเอียดต่อไปตัวอย่าง เช่น การป้องกันน้ำท่วมในบริเวณหนึ่งอาจทำได้โดยวิธีการสร้างเขื่อนเก็บกักน้ำไว้ตอนบนของพื้นที่ การสร้างผนังกั้นน้ำ และการขุดลอกร่องน้ำให้กว้างหรือลึกขึ้นเป็นต้น ลักษณะของโครงการอาจทำได้โดยการก่อสร้างเป็นอ่างเก็บน้ำ ฝายทดน้ำ หรือโครงการสูบน้ำ ซึ่งขึ้นอยู่กับความเหมาะสมหลายประการร่วมกัน

ในการพิจารณาแนวทางการพัฒนานั้น จะต้องมีการพิจารณาเปรียบเทียบความเป็นไปได้ และข้อดีข้อเสียต่าง ๆ ควบคู่กันไป บางแนวทางที่เห็นว่าไม่ดีหรือไม่เหมาะสมก็ตัดทิ้งไป

การพิจารณาวางแผนโครงการเบื้องต้น

เมื่อได้ทราบถึงปัญหาและความต้องการและการพิจารณาหาแนวทางแก้ไขได้แล้วก็จะนำมาพิจารณากำหนดวางแผนโครงการในแนวทางที่เห็นว่าเหมาะสม และเป็นไปได้ในระดับนี้แนวทางที่เป็นไปได้อาจจะมีหลายแนวทางก็ได้ หรือในแนวทางหนึ่ง ๆ อาจจะมีองค์ประกอบที่สามารถดำเนินตามแนวทางได้มากกว่า 1 วิธีก็เป็นได้ การจะตัดสินลงไปว่าวิธีใดดีหรือไม่ดีเพียงใดขึ้นอยู่กับรายละเอียยดของข้อมูล อย่างไรก็ตามหากมีรายละเอียดไม่เพียงพอก็ไม่ควรจะตัดทางเลือก (Alternatives) ที่เป็นไปได้เหล่านั้นทิ้งไป จนกว่าจะได้ศึกษารายละเอียดเพิ่มเติมในภายหลัง

การกำหนดขอบเขตการศึกษาและรวบรวมข้อมูลต่อไป

ตามปกติแล้วการศึกษาในระดับนี้ จะมีข้อมูลไม่เพียงพอสำหรับการวางแผนในขั้นรายละเอียด จึงไม่สามารถจะกำหนดแผนหรือวิธีการที่แน่ชัดลงไปได้แต่จะสามารถมองเห็นแนวทางที่เป็นไปได้ แล้วได้ทราบว่าต้องการข้อมูลส่วนใดเพิ่มเติมเมื่อใช้ในการศึกษาและวางแผนขั้น

ต่อไป ฉนั้นในการศึกษาในระดับนี้จึงสามารถกำหนดแนวทางและขอบเขตการศึกษา เพื่อวางแนวในขั้นรายละเอียดต่อไป และประเภทข้อมูลที่ต้องสำรวจและรวบรวมเพิ่มเติม

การจัดทำรายงานเบื้องต้น

เมื่อได้ศึกษาและวางแผนแล้วควรจัดทำรายงานสรุปผลขึ้นไว้ เพื่อใช้เป็นประโยชน์และแนวทางในการพิจารณาศึกษาและวางแผนขั้นต่อไป โดยระบุถึงข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาและวางแผน ปัญหาและความต้องการ แนวทางที่ได้พิจารณาไปแล้วทั้งหมด แนวทางที่ควรจะได้ศึกษาและวางแผนในขั้นต่อไป และรายละเอียดของข้อมูลที่จำเป็นต้องศึกษาเพิ่มเติม สิ่งเหล่านี้จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับการศึกษาและวางแผนในขั้นต่อไป

2.5.2 Reconnaisace Study

การศึกษาโครงการในระดับ Reconnaisance Study หรือบางครั้งเรียกว่า Pre-feasibility Study เป็นขั้นตอนต่อจาก Pre-liminary เพื่อเก็บข้อมูลและรายละเอียดเพิ่มเติมในด้านต่าง ๆ ให้มากขึ้น ให้สามารถมองเห็นความเป็นไปได้ของโครงการว่ามีมากน้อยเพียงใดหรือไม่ จุดประสงค์ของการศึกษาขั้น Reconnaisance หรือ Pre-feasibility Study ก็คือ

1. พิจารณาและทบทวนแนวทางและแผนโครงการที่จัดทำไว้ในเบื้องต้น
2. ศึกษาและวางแผนโครงการในขั้นรายละเอียดเพิ่มขึ้นในทุกด้านที่เกี่ยวข้อง
3. พิจารณาความเหมาะสมโครงการในขั้นต้นทางด้านเศรษฐกิจและสังคม
4. ศึกษาผลกระทบของโครงการต่อสิ่งแวดล้อมในขั้นต้น (สำหรับโครงการใหญ่)
5. กำหนดขอบเขตของการศึกษา วางแผน และสำรวจในขั้น Feasibility

การพิจารณาและทบทวนแนวทางและแผนโครงการ

ก่อนทำการสำรวจและเก็บข้อมูลเพิ่มเติมที่ได้กำหนดไว้ในรายงานการศึกษาเบื้องต้น ควรมีการทบทวนแนวทางแผนโครงการที่ได้จัดทำไว้ เพื่อดูว่ามีความเหมาะสมเพียงใด จำเป็นต้องมีการปรับปรุงแก้ไขอย่างไร โดยเฉพาะเกี่ยวกับข้อมูลพื้นฐานที่เป็นตัวกำหนดแนวทางและแผน ตลอดจนสมมุติฐานที่ได้กำหนดขึ้นว่ามีความเป็นไปได้หรือผิดพลาดประการใด และส่วนใดควรจะมีการศึกษาเพิ่มเติมให้ละเอียดมากขึ้นเป็นพิเศษ ในการศึกษาขั้น Reconnaisance และ Pre-feasibility

การศึกษาและวางแผนโครงการ

การศึกษาและวางแผนโครงการในขั้นนี้จะเป็นการดำเนินการในรายละเอียดมากขึ้นโดยจะทำการสำรวจและเก็บข้อมูลในส่วนที่เห็นว่าจำเป็นและสำคัญต่อความเป็นไปได้ของโครงการโดยวิธีที่ไม่ยุ่งยากและสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายมากนัก เพื่อให้ข้อสงสัยต่าง ๆ กระจ่างชัดขึ้น

ตัวอย่างของการสำรวจและเก็บข้อมูลเพิ่มเติมได้แก่

1. **ด้านวิศวกรรม**

-การเลือกทำเลที่ตั้งหัวงาน และการสำรวจรูปตัดของอาคารที่ Site ต่าง ๆ เพื่อเปรียบเทียบความเหมาะสมในเบื้องต้น

-ทำการสำรวจทางธรณีวิทยาบริเวณฐานรากที่ตั้งเขื่อน ด้วยการสังเกตุหรือเจาะหลุมสำรวจถ้าจำเป็น

-รวบรวมข้อมูลสถิติน้ำฝน น้ำท่า จากสถานีใกล้เคียงหรือในโครงการมาทำการวิเคราะห์เพิ่มเติม

-ประเมินปริมาณน้ำที่ต้องการใช้และโครงการในช่วงเวลาต่าง ๆ

-สำรวจขอบเขตพื้นที่เพาะปลูกและที่มีปัญหาน้ำท่วม

2. **ด้านการเกษตร**

-การทำ Spot Checks สำหรับคุณภาพดินในบริเวณโครงการ

-ทำการสำรวจการใช้ที่ดินจากแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศ

-สอบถามและเก็บข้อมูลด้านผลผลิต พืชที่ปลูก ปัจจัยการผลิต ราคาฤดูกาลเพาะปลูก จากหน่วยงานในเขตโครงการจากเกษตรเกษตรกรในพื้นที่โครงการ

-เก็บข้อมูลด้านการเกษตรต่าง ๆ จากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในส่วนกลางและสถานีทดลอง

3. **ด้านเศรษฐกิจ**

-รวบรวมข้อมูลด้านเศรษฐกิจการเกษตร เช่น ราคาต้นทุน การผลิต และราคาซื้อขายผลผลิตในเขตโครงการและพื้นที่ใกล้เคียง

-ศึกษารายงานด้านเศรษฐกิจการเกษตรของโครงการในบริเวณใกล้เคียงเพื่อนำมาเปรียบเทียบเป็นรูปแบบ

ความละเอียดของการศึกษาและวางแผนในขั้นนี้ จะทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้านต่าง ๆ เท่าที่สามารถทำได้ พร้อมทั้งอาศัยประสบการณ์ของการวางแผนที่ผ่านมาเป็นส่วนประกอบทำการพิจารณาวางแผนโครงการจากข้อมูลและผลการวิเคราะห์ เปรียบเทียบผลดี ผลเสีย และความเป็นไปได้ เพื่อให้ได้แนวทางและแผนโครงการที่เป็นประโยชน์ที่สุด

พิจารณาความเหมาะสมโครงการด้านเศรษฐกิจและสังคม

ปัญหาทางด้านเศรษฐกิจและสังคมมีความสำคัญต่อความเป็นไปได้ของโครงการจำเป็นต้องนำมาพิจารณาควบคู่กันไปทางด้านวิศวกรรมและด้านอื่น เมื่อได้มีการพิจารณาวาง

แผนโครงการที่เห็นว่าเหมาะสมในขั้นนี้แล้ว ควรพิจารณาทางด้านเศรษฐกิจและสังคมด้วย โดยใช้ข้อมูลด้าน ราคา ค่าใช้จ่าย และผลประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการมาทำการคำนวณและวิเคราะห์ Internal Rate of Return, Present Value หรือ Benefit Cost Ration ซึ่งใช้เป็นเกณฑ์กำหนดทั่วไป ดูว่าโครงการมีความเหมาะสมเพียงใด ส่วนความเหมาะสมด้านสังคมก็คือ การพิจารณาว่าโครงการนั้นตรงกับจุดประสงค์และความต้องการของประชาชนหรือไม่เพียงใด มีผลประโยชน์และผลเสียต่อประชากรในเขตโครงการ และพื้นที่ใกล้เคียงมากน้อยเพียงใด

พิจารณาผลกระทบทางโครงการต่อสิ่งแวดล้อม

เป็นการพิจารณาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเมื่อมีโครงการแล้ว เช่น บริเวณที่ถูกน้ำท่วม ป่าไม้ บ้านเรือน และพื้นที่ทำกินของราษฎร เป็นต้น นอกจากนี้ยังต้องพิจารณาถึงค่าชดเชยในการอพยพราษฎร การชดเชยค่าเสียหาย และการจัดตั้งนิยมใหม่ด้วย

อย่างไรก็ตาม การศึกษาด้านสิ่งแวดล้อมนี้จะทำเฉพาะโครงการใหญ่ ๆ ตามข้อกำหนดของสำนักงานสิ่งแวดล้อมแห่งชาติได้กำหนดว่า โครงการชลประทานที่มีขนาดพื้นที่ตั้งแต่ 80,000 ไร่ ขึ้นไป หรืออ่างเก็บน้ำที่มีขนาดความจุตั้งแต่ 100 ล้านลูกบาศก์เมตร หรือมีพื้นที่อ่างเก็บน้ำมากกว่า 15 ตารางกิโลเมตรขึ้นไป จะต้องมีการศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเพื่อพิจารณาถึงความเหมาะสมของโครงการ และในปัจจุบันสถาบันเงินกู้ระหว่างประเทศก็ได้กำหนดให้มีการศึกษาด้านสิ่งแวดล้อมนี้ด้วย

2.5.3 Feasibility Study

การศึกษาและวางแผนในขั้น Feasibility Study นี้ เป็นการศึกษาและวางแผนขั้นรายละเอียดและกว้างขวางในทุกด้าน เพื่อให้ได้โครงการที่มีความเหมาะสมที่สุด ก่อนดำเนินโครงการ

จุดประสงค์ของการศึกษาระดับนี้ก็เพื่อให้ทราบถึงความเหมาะสมทางด้านวิศวกรรมเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อมว่ามีมากน้อยเพียงใด สมควรตัดสินใจดำเนินโครงการหรือไม่ และเพื่อกำหนดโครงการและแผนการดำเนินงานด้านต่าง ๆ ให้บรรลุถึงเป้าหมายของโครงการได้ ในกรณีเป็นโครงการที่ต้องกู้เงินลงทุน การศึกษา Feasibility Study นี้ จะเป็นเอกสารที่สถาบันเงินกู้ใช้ในการพิจารณาจัดสรรเงินทุนสำหรับดำเนินโครงการ และยึดถือเป็นเอกสารประกอบการติดตามและประเมินผลโครงการต่อไป

การศึกษาและวางแผนในขั้น Feasibility Study นี้มีขั้นตอนและวิธีการศึกษาคล้ายคลึงกับขั้น Reconnaisance แต่จะมีการสำรวจเก็บรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์มากขึ้นดังตัวอย่างต่อไปนี้

1. **ด้านวิศวกรรม**

-กำหนดจุดที่ตั้งหัวงานและแนวทำนบดิน โดยพิจารณาจากแผนที่รายละเอียดที่ได้สำรวจเพิ่มเติม

-กำหนดชนิดของตัวเขื่อนเช่น เขื่อนดินหรือฝาย ให้เหมาะสม

-กำหนด Site Plan สำหรับสร้างอาคารประกอบเช่น ทางระบายน้ำล้น ประตูระบาย และสถาที่ทำการ เป็นต้น

-สำรวจขอบเขตพื้นที่โครงการและพื้นที่ชลประทานให้แน่ชัด

-ออกแบบอาคารและระบบเบื้องต้น และประมาณราคาค่าก่อสร้าง

2. **ด้านอุทกวิทยาและแหล่งน้ำ**

-หาปริมาณน้ำในช่วงเดือนต่าง ๆ ที่ไหลเข้าอ่าง

-ปริมาณการใช้น้ำเพื่อการเพาะปลูกและอื่น ๆ เป็นรายเดือน

-เลือกขนาดของ Flood เพื่อใช้ในการคำนวณออกแบบอาคารต่าง ๆ เช่น ทางระบายน้ำล้น

-ทำการศึกษาและหาอัตราการเกิดตะกอนในอ่างเก็บน้ำในแต่ละปี เพื่อหาระดับของ Dead Storage

-หาขนาดและความจุของอ่างเก็บน้ำ กำหนดระดับเก็บกัก ระดับช่อง Spillway และระดับหลังทำนบเขื่อน

-ปริมาณน้ำที่ต้องสูญเสียไปเนื่องจากการระเหยและการรั่วซึม

-ทำ Reservoir Operation Study

3. **ด้านการเกษตร**

-คุณภาพดินและการจำแนกดินในเขตพื้นที่โครงการ

-การใช้ที่ดินในเขตโครงการ พืชชนิดต่าง ๆ ที่ปลูก จำนวนเนื้อที่ปลูกทั้งหมดในปัจจุบัน

-คาดคะเนประเภทและเนื้อที่เพาะปลูกของพืชชนิดต่าง ๆ ในอนาคตเมื่อไม่มีโครงการและมีโครงการ

-ปัจจัยการผลิตและผลผลิตของพืชชนิดต่าง ๆ ในปัจจุบัน

-คาดคะเนการใช้ปัจจุบันการผลิตและผลผลิตของพืชชนิดต่าง ๆ ในอนาคตเมื่อไม่มีโครงการและเมื่อมีโครงการ

-ระบบทางการเกษตรในโครงการในปัจจุบัน ซึ่งรวมถึงการวิจัย ส่งเสริม สถาบันเงินทุน และสถาบันการตลาด

4. **ด้านสังคม**

-สภาพสังคมในปัจจุบัน เช่น จำนวนประชากร ขนาดที่ทำกิน การถือครองที่ดิน ความนึกคิด ความเชื่อถือ การประกอบอาชีพทางการเกษตร การรวมกลุ่มประกอบกิจกรรมต่าง ๆ

-การเปลี่ยนแปลงสภาพสังคมเมื่อมีและไม่มีโครงการ

-การจัดตั้งกลุ่มต่าง ๆ ที่เหมาะสมกับการพัฒนาโครงการ

-วิธีการปรับปรุงระบบการเกษตรต่าง ๆ ในด้านสังคม

-วิธีการพัฒนาสังคมเพื่อให้สอดคล้องกับการพัฒนาโครงการ

-การพิจารณาลักษณะสังคมในการอพยพ และจัดที่อยู่ที่ทำกินใหม่ให้แก่ประชาชนที่ต้องอพยพจากโครงการอ่างเก็บน้ำ

5. **ด้านเศรษฐกิจ**

-พิจารณาเปรียบเทียบทางด้านเศรษฐกิจควบคู่กับด้านวิศวกรรม และสังคมในการเลือก Alternatives ของโครงการ และองค์ประกอบต่าง ๆ (Components) ของโครงการ

-วิเคราะห์วางแผนทางเศรษฐกิจสำหรับพืชที่ปลูกเมื่อมีโครงการ เช่นปลูกพืชให้ราคาสูง หรือวางแผนปลูกหลายครั้ง เป็นต้น

-เปรียบเทียบผลประโยชน์ที่ได้รับก่อนมีโครงการและหลังมีโครงการ

-ปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลทำให้ราษฎรมีรายได้เพิ่มขึ้น มีการกินดีอยู่ดี อันเป็นผลเสียเนื่องมาจากการมีโครงการ

-ทำการวิเคราะห์ด้านเศรษฐกิจและการเงินของโครงการ การพิจารณาโดยทั่วไปนิยมใช้การวิเคราะห์แบบ Internal rate of return หรือ Net present value หรือ Benefit cost ratio ซึ่งแต่ละแบบจะมีข้อดีและข้อเสียต่างกันไป วิธีการคำนวณจะกล่าวในตอนหลังต่อไป

บทที่ 3
การศึกษาอุทกวิทยาของแหล่งน้ำ

การวางแผนโครงการชลประทาน จำเป็นต้องทราบข้อมูลทางแหล่งน้ำที่โครงการจะนำมาใช้โดยเฉพาะบริเวณที่เลือกตั้งเป็นหัวงาน การศึกษาและทำนายเหตุการณ์เกี่ยวกับแหล่งน้ำต้องอาศัยความรู้ด้านอุทกวิทยา และข้อมูลต่าง ๆ มาทำการวิเคราะห์และประเมินค่าต่าง ๆ ที่น่าจะเกิดขึ้นและมีผลกระทบต่อโครงการ เช่น ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านหัวงานแต่ละปี (Annual Discharge) การแผ่กระจายของน้ำ ปริมาณน้ำท่วม (Flood) ปริมาณน้ำ (Low Flow) การกัดเซาะหรือปริมาณตะกอนที่ไหลมากับน้ำ และคุณภาพของน้ำ เป็นต้น ข้อมูลเหล่านี้นำมาใช้ประกอบการพิจารณาเลือกที่ตั้งหัวงาน ขนาดของอาคาร ความจุอ่างเก็บน้ำ อาคารประกอบ ปริมาณน้ำที่สามารถนำมาใช้ได้ และกำหนดพื้นที่ส่งน้ำเพื่อศึกษาความเหมาะสมและความเป็นไปได้ของโครงการต่อไป

ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาและวิเคราะห์ที่ดีที่สุดควรเป็นข้อมูลที่ทำการวัดและเก็บบันทึกจริงบริเวณที่ตั้งหัวงานอย่างต่อเนื่องกัน และครอบคลุมเหตุการณ์ต่าง ๆ ของลุ่มน้ำเป็นเวลาไม่น้อยกว่า 20 ปี อย่างไรก็ตามข้อมูลที่สมบูรณ์ดังกล่าวจะหาได้ยาก โดยเฉพาะข้อมูลการวัดปริมาณน้ำท่า ซึ่งมักจะทำการวัดและบันทึกไว้เฉพาะลำน้ำสายสำคัญ ๆ เท่านั้น ดังนั้นในการพิจารณาวางแผนโครงการทั่วไป โดยเฉพาะโครงการขนาดกลางและขนาดเล็กมักต้องทำการวิเคราะห์และประเมินค่าต่าง ๆ ทางอุทกวิทยาจากข้อมูลของสถานีวัดน้ำใกล้เคียง หรือข้อมูลน้ำฝนซึ่งอยู่ในบริเวณใกล้เคียงและอยู่ในลุ่มน้ำเดียวกัน ซึ่งได้ง่ายและมีช่วงเวลายาวกว่า

รายละเอียดวิธีการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลทางอุทกวิทยา สามารถค้นคว้าและศึกษาจากหนังสือเกี่ยวกับ Hydrology ซึ่งมีผู้เขียนไว้หลายเล่ม ในที่นี้จะกล่าวทบทวนเฉพาะบางส่วนที่จำเป็นเพื่อเป็นแนวทางในการวิเคราะห์เท่านั้น

3.1. ปริมาณน้ำท่า (Discharge or Streamflow)

ปริมาณน้ำท่าที่ไหลมาในลำน้ำและผ่านบริเวณที่ตั้งหัวงานในช่วงเวลาต่าง ๆ เป็นข้อมูลพื้นฐานสำคัญสำหรับงานวางโครงการชลประทานและโครงการพัฒนาแหล่งน้ำอื่น ๆ เป็นข้อมูลที่บ่งบอกถึงปริมาณน้ำที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ในช่วงเวลาต่าง ๆ และใช้เป็นข้อมูลสำหรับวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อให้ทราบถึงลักษณะการเกิดและความผันแปรของปริมาณน้ำในรอบปีต่าง ๆ ตั้งแต่ปีแห้งแล้งรุนแรงไปจนถึงปีที่มีน้ำท่วมสูงสุด เนื่องจากปริมาณน้ำในลำน้ำแต่ละสายมี

ค่าไม่คงที่ จะผันแปรตามช่วงเวลาและตามความยาวของลำน้ำช่วงต่าง ๆ การวัดปริมาณน้ำจึงนิยมวัดออกมาในรูปของปริมาณน้ำเฉลี่ย (Average Yield) ที่ทำการวัดในช่วงเวลาหนึ่งเฉพาะสถานที่ เช่น ปริมาณน้ำเฉลี่ยรายวัน ปริมาณน้ำเฉลี่ยรายเดือน ปริมาณน้ำเฉลี่ยรายปีและปริมาณน้ำเฉลี่ยช่วงยาว เป็นต้น

การหาค่าปริมาณน้ำท่าของโครงการที่ดีที่สุดก็คือ การวิเคราะห์จากข้อมูลน้ำท่าที่ทำการวัดจริงบริเวณที่ตั้งหัวงานถ้าหากมีข้อมูลเพียงพอ อย่างไรก็ตาม วิธีการประเมินน้ำท่าสามารถทำได้โดยอาศัยข้อมูลน้ำฝนหรือข้อมูลการวัดน้ำจากสถานีอื่นซึ่งมีอยู่หลายวิธีด้วยกัน คือ

3.1.1 **การหาค่าปริมาณน้ำเฉลี่ยโดยตรง** (Direct Determination of Average Yield)

การหาค่าปริมาณน้ำเฉลี่ยโดยตรงก็คือ การคำนวณหาค่าปริมาณน้ำจากข้อมูลที่ได้จากการวัดน้ำในลำน้ำบริเวณที่ตั้งหัวงานเป็นเวลาติดต่อกันเป็นเวลานานนั่นเอง การจะหาปริมาณน้ำได้นั้นจำเป็นต้องอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำและอัตราการไหลของลำน้ำสายนั้น ๆ เป็นหลัก ซึ่งการหาปริมาณน้ำโดยวิธีนี้แบ่งออกเป็น 3 ระยะคือ การวัดระดับน้ำ การวัดปริมาณน้ำ และการหาความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำและปริมาณน้ำ

การวัดระดับน้ำ (Stage Measurement)

คือการตรวจวัดระดับขึ้นลงของน้ำในลำน้ำในช่วงเวลาต่าง ๆ เครื่องมือที่ใช้วัดระดับน้ำมีทั้งแบบธรรมดาซึ่งต้องอาศัยคนอ่านจากไม้ระดับหรือเทป และแบบอัตโนมัติ ซึ่งจะบันทึกการขึ้นลงของระดับน้ำลงบนกระดาษกราฟ ลำน้ำที่มีระดับน้ำเปลี่ยนแปลงขึ้นลงเร็ว จำเป็นต้องมีการอ่านระดับน้ำบ่อยครั้ง อาจเป็นทุก ๆ ชั่วโมง ลักษณะเช่นนี้ควรใช้เครื่องมือวัดน้ำแบบอัตโนมัติจะเหมาะสมกว่า ส่วนลำน้ำที่มีระดับเปลี่ยนแปลงขึ้นลงช้าใช้เครื่องมือวัดระดับน้ำแบบธรรมดาก็เพียงพอ อ่านระดับน้ำทุก ๆ 6 ชั่วโมงก็ได้ แล้วหาค่าเฉลี่ยในแต่ละวัน เป็นค่าระดับเฉลี่ยประจำวัน

การวัดปริมาณน้ำ (Discharge Measurement)

การวัดปริมาณน้ำในลำน้ำนิยมวัดเป็นอัตราการไหล ลบ.ฟุต/วินาที หรือ ลบ.เมตร/วินาที การวัดปริมาณน้ำไหลในลำน้ำสามารถทำได้หลายวิธี เช่น วิธีวัดความเร็ว พื้นที่หน้าตัดวิธีทุ่นลอย วิธีเจือจางสาร และวิธีคำนวณจากสูตร เป็นต้น วิธีที่ใช้กันมากที่สุดก็คือ วิธีวัดความเร็วพื้นที่หน้าตัด (Velocity-Area Method) ซึ่งสามารถทำได้สะดวก โดยทำการหาพื้นที่หน้าตัดของลำน้ำและหาความเร็วแลี่ยของน้ำที่ไหลผ่านพื้นที่หน้าตัดของลำน้ำนั้น ปริมาณน้ำที่ต้องการทราบก็คือผลคูณของพื้นที่หน้าตัดของลำน้ำและความเร็วเฉลี่ยของน้ำ อย่างไรก็ตาม ปริมาณน้ำที่วัดได้ในแต่

ละครั้งนั้น เป็นปริมาณน้ำที่ไหลมาในขณะที่ทำการวัดเท่านั้นหากต้องการทราบปริมาณน้ำที่ไหลมาทั้งหมดตลอดวันจะต้องนำเอาค่าปริมาณน้ำที่วัดได้มาคำนวณหาปริมาณน้ำทั้งวันต่อไป

ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำและปริมาณน้ำ (Stage-Discharge Relation)

จากการวัดปริมาณน้ำของลำน้ำในช่วงเวลาต่าง ๆ และที่ระดับน้ำแตกต่างกันสูงบ้างต่ำบ้าง แล้วนำค่าปริมาณน้ำและระดับน้ำที่วัดได้นี้ไปพล็อตลงในกระดาษกราฟ ก็จะได้กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำและปริมาณน้ำของลำน้ำนั้น ซึ่งเรียกว่า Stage Discharge charge relation curve หรือ Rating Curve กราฟที่ได้นั้นจะมีรูปโค้งเมื่อพล็อตลงในกระดาษกราฟธรรมดา และจะเป็นเส้นตรงเมื่อพล็อตลงในกระดาษ Log-Paper จาก Curve แสดงความสัมพันธ์นี้สามารถหาค่าปริมาณน้ำเมื่อน้ำในลำน้ำมีระดับต่าง ๆ กันได้เช่น เมื่อทราบค่าระดับน้ำเฉลี่ยทั้งวันก็สามารถนำค่าระดับน้ำเฉลี่ยไปอ่านจาก Curve ออกมาเป็นค่าปริมาณน้ำเฉลี่ยทั้งวันได้ ค่าปริมาณน้ำเฉลี่ยแต่ละวันนี้เองเป็นค่าที่ต้องการทราบ สำหรับใช้พิจารณาการเกิดและความผันแปรของน้ำท่าในลุ่มน้ำ

การคำนวณหาปริมาณน้ำเฉลี่ยเริ่มจากการหาค่าปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวัน (Mean Daily Discharge) ก่อน แล้วจึงนำค่าปริมาณน้ำเฉลี่ยรายวันนี้ไปคำนวณหาปริมาณน้ำเฉลี่ยรายเดือนและรายปีต่อไป

จากข้อมูลการวัดน้ำท่าที่ได้ทำการวัดต่อเนื่องกันเป็นเวลานานนี้ สามารถนำมาประมวลผลได้ในรูปแบบต่าง ๆ กันเพื่อนำไปใช้ตามวัตถุประสงค์ต่าง ๆ ต่อไป ดังต่อไปนี้

1. ระดับน้ำเฉลี่ยรายวัน ระดับน้ำสูงสุด ระดับน้ำต่ำสุด และระดับน้ำเฉลี่ยรายเดือน
2. ปริมาณน้ำเฉลี่ยรายวัน ปริมาณน้ำสูงสุด ปริมาณน้ำต่ำสุด ปริมาณน้ำเฉลี่ยรายเดือน และปริมาณน้ำเฉลี่ยรายปี
3. กราฟแสดงปริมาณน้ำเฉลี่ยรายวัน (Hydrograph)
4. ปริมาตรน้ำรายเดือนของทุกเดือนที่มีการสำรวจ
5. ปริมาตรน้ำทั้งปีของทุกปีที่มีการสำรวจ
6. กราฟปริมาตรน้ำทับทวี (Mass Curve) และโค้งช่วงเวลาที่มีปริมาณน้ำเท่ากับหรือมากกว่าค่าหนึ่ง ๆ (Duration Curve) ของแต่ละปีน้ำ
7. กราฟระดับน้ำเฉลี่ยประจำวัน และกราฟระดับน้ำสูงสุด-ต่ำสุด รายวัน
8. โค้งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำกับปริมาณน้ำ (Rating Curve)

3.1.2 การหาค่าปริมาณน้ำเฉลี่ยโดยทางอ้อม

(Indirect determination of Average Yeild)

การประเมินค่าปริมาณน้ำโดยทางอ้อมเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ ในงานวางแผนและออกแบบโครงการพัฒนาแหล่งน้ำและโครงการชลประทาน เพราะข้อมูลการวัดปริมาณน้ำช่วงยาวในบริเวณที่ทำการก่อสร้างมักจะไม่มีในสภาพความเป็นจริงเกือบทุกอย่าง โดยเฉพาะโครงการขนาดกลางและโครงการขนาดเล็ก มักจะต้องประเมินค่าปริมาณน้ำจากสถานีอื่นที่ได้ทำการสำรวจไว้แล้ว อาจจะเป็นสถานีในลำน้ำเดียวกันด้านเหนือน้ำหรือด้านท้ายน้ำ หรือจากลำน้ำอื่นในลุ่มน้ำเดียวกัน หรือแม้แต่สถานีอื่นที่อยู่นอกลุ่มน้ำ ความถูกต้องของค่าที่ประเมินมาได้นั้นอยู่กับระยะห่างระหว่างจุดที่ต้องการหากับสถานีวัดน้ำที่นำข้อมูลมาและสภาพของลุ่มน้ำถ้าสถานีวัดน้ำอยู่ห่าง 2-3 กิโลเมตรและอยู่ในพื้นที่ลุ่มน้ำเดียวกันที่มีขนาดใหญ่ ค่าปริมาณน้ำที่ประเมินออกมาจะมีความถูกต้องมาก หรือถูกต้องใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้จริง

วิธีการประเมินค่าปริมาณน้ำมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี ทั้งในรูปแบบของ Mathemacical Model ที่มีความสลับซับซ้อนต้องการข้อมูลมากมาย พร้อมทั้งต้องการ Computerized-Facilities เข้าช่วยกับ Model ง่าย ๆ ที่ต้องการข้อมูลที่มีอยู่ทั่วไปเพียงไม่กี่ตัว และสามารถคำนวณได้ด้วยมือ สำหรับในที่นี้จะกล่าวเฉพาะวิธีการประเมินค่าปริมาณน้ำด้วยการวิเคราะห์จากปริมาณน้ำฝนและปริมาณน้ำท่าที่มีอยู่แล้วเป็นหลัก คือ

-Interpolation or Extrapolation of Streamflow records

-Mean monthly Discharge Correlation

-Regional Precipitation-runoff Relation

-Specific Yield Map and Precipitation

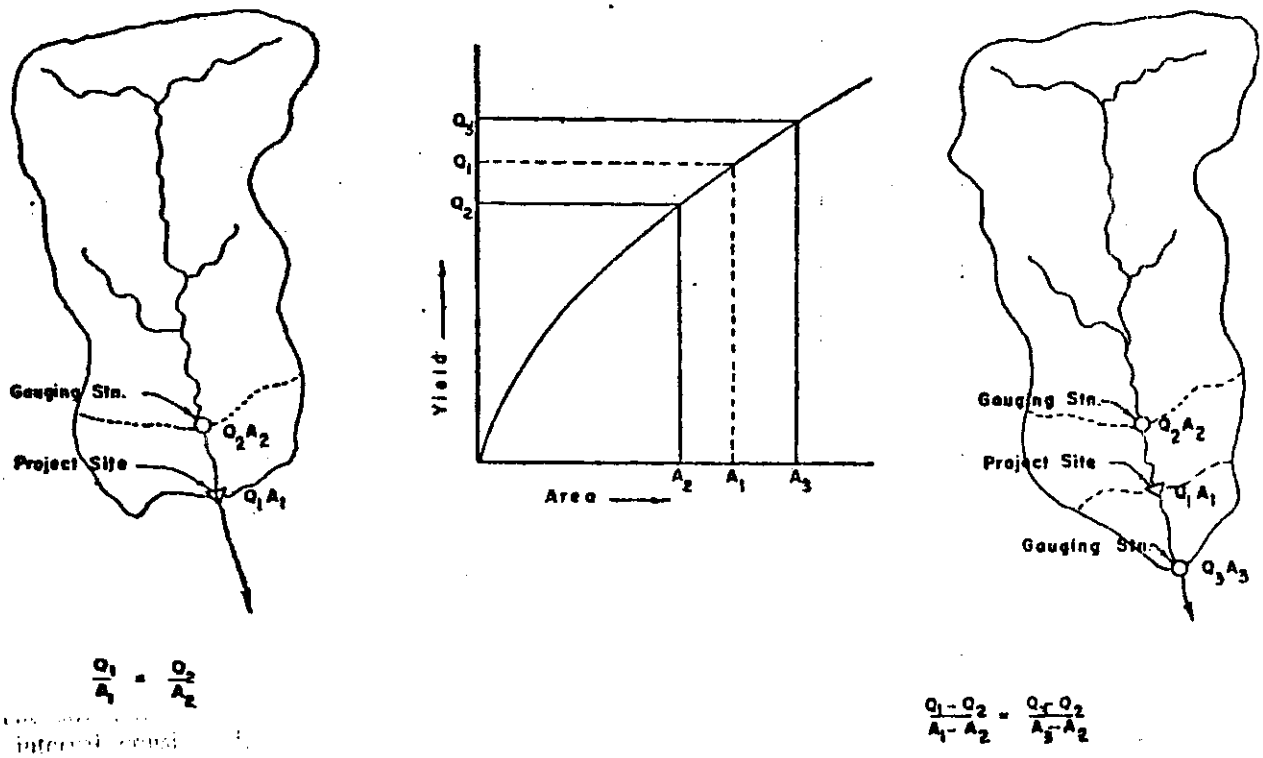
3.1.2.1 ประเมินค่าปริมาณน้ำจากสถานีวัดน้ำในลำน้ำเดียวกัน

(Interpolation or extrapolation of Streamflow)

ถ้ามีสถานีวัดน้ำหนึ่งอยู่ในตำบลใกล้เคียงและตั้งอยู่ในลำน้ำเดียยวกันกับบริเวณที่จะทำการก่อสร้างเขื่อน เราอาจสมมติค่า Specific Yield บริเวณที่ก่อสร้างเขื่อนและสถานีวัดน้ำมีค่าเท่ากัน ในกรณีเช่นนี้ถ้าให้ A_1 เป็นพื้นที่ลุ่มน้ำที่บริเวณก่อสร้าง A_2 เป็นพื้นที่ลุ่มน้ำที่สถานีวัดน้ำ และให้ Q_1 และ Q_2 เป็นปริมาณน้ำเฉลี่ยที่ไหลผ่านบริเวณก่อสร้างเขื่อนและสถานีวัดน้ำ ตามลำดับ (ดูรูป 3.1 A) เราสามารถเขียนสมการแสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$Q_1 = \frac{Q_2 A_1}{A_2}$$

ถ้าความถูกต้องของค่าที่ประเมินมาโดยวิธีนี้จะขึ้นอยู่กับพื้นที่ที่เพิ่มขึ้นคือ ถ้าพื้นที่ที่เพิ่มขึ้นน้อยกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่เดิม ค่าที่ประเมินได้จะมีความถูกต้อง จะอยู่ในเกณฑ์ที่เชื่อถือได้



รูปที่ 3.1 Yield in term of drainage area

ในกรณีที่บริเวณก่อสร้างเขื่อนตั้งอยู่ระหว่างสถานีวัดน้ำของสถานีที่มีข้อมูลปริมาณน้ำแล้วเราสามารถสมมิตได้ว่า ค่า Specific Yield มีค่าสม่ำเสมอในพื้นที่ระหว่างสองสถานี ถ้าให้ A_1 และ Q_1 เป็นพื้นที่ลุ่มน้ำและปริมาณน้ำเฉลี่ยบริเวณที่สร้างเขื่อน ให้ A_2, Q_2 และ A_3, Q_3 เป็นพื้นที่ลุ่มน้ำ และปริมาณน้ำเฉลี่ยที่สถานีวัดน้ำด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำ ตามลำดับ (ตามรูป 3.1 B) สามารถเขียนสมการแสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้

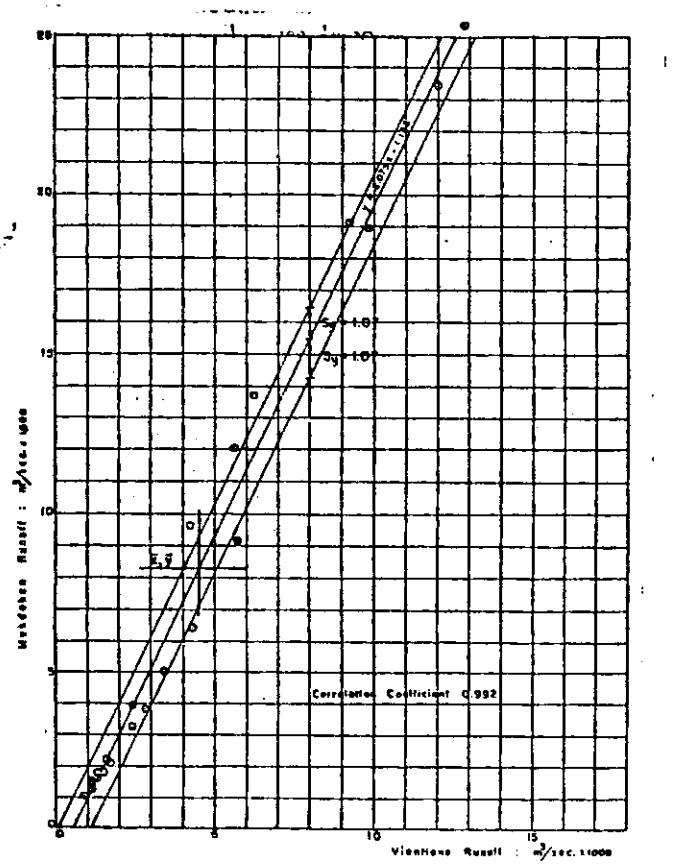
$$Q_1 = Q_2 + \frac{A_1 - A_2}{A_3 - A_2}(Q_3 - Q_2)$$

ค่าปริมาณน้ำเฉลี่ยที่คำนวณได้จากสมการนี้จะถูกต้องใช้การได้เพียงใดนั้นไม่เพียงแต่ขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ของขนาดของพื้นที่ลุ่มน้ำที่เพิ่มขึ้น ($A_3 - A_2$) เมื่อเทียบกับพื้นที่ A_2 เพียงอย่างเดียว ยังขึ้นอยู่กับบริเวณที่ก่อสร้างเขื่อนอยู่ใกล้กับสถานีวัดน้ำมากเพียงใดถ้าบริเวณที่ทำการก่อสร้างอยู่ใกล้กับสถานีวัดน้ำมากเพียงใด ค่าที่ได้จะมีความถูกต้องมากขึ้นเท่านั้น

3.1.2.2 Mean Monthly Discharge Correlation

ในกรณีที่มีสถานีวัดน้ำในบริเวณใกล้เคียงที่มีข้อมูลการวัดน้ำ ซึ่งได้ทำการวัดติดต่อกันเป็นเวลานาน (Long termerecord) และบริเวณที่จะทำการก่อสร้างหัวงาน (Site) ได้ทำการวัดปริมาณน้ำอยู่บ้างแต่มีช่วงสั้น ในกรณีนี้อาจทำการ Generate ข้อมูลที่ site ได้ โดยอาศัยวิธีทางสถิติเช่น Simple Linear Regression หาสมการแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำที่วัดได้ทั้งสองสถานี และหาค่า Correlation coefficient (r) เพื่อตรวจสอบว่าค่าทั้งสองมีสัมพันธ์กันเพียงใด อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับหรือไม่

หากสถานีวัดน้ำทั้งสองอยู่ใกล้กันหรือในพื้นที่รับน้ำที่มีสภาพคล้ายคลึงกันอาจนำข้อมูลปริมาณน้ำที่วัดได้ทั้งสองมาพล็อตโดยตรง จะได้กราฟแสดงความสัมพันธ์จะออกเป็นรูปที่ค่อนข้างเป็นเส้นตรง ดังในรูปที่ 3.2.



รูปที่ 3.2 Correlation of mean montly discharges of the Mekhong river at Vientiane and Mukdahan 1960-61

3.1 2.3 Regional Precipitation-runoff relation

ในเขตชุ่มชื้น (Humid region) ที่มีฝนตกสม่ำเสมอทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำ การสูญเสียส่วนใหญ่จะขึ้นอยู่กับ อุณหภูมิ และสภาพทางธรณีวิทยา (Geology) ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยช่วงยาว และปริมาณน้ำท่า จะมีความสัมพันธ์กันในรูปเส้นตรง (Linear) เมื่อนำปริมาณน้ำท่าเป็นหน่วยความลึกมาพล็อตกับปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย จะได้กราฟเป็นตัวแทนความสัมพันธ์ของแต่ละลุ่มน้ำออกมา รูปของเส้นตรงที่มีลาดเท่ากับ 1 เมื่อต้องการทราบปริมาณน้ำในบริเวณที่ไม่มีสถานีวัดน้ำ สามารถหาได้โดยนำค่าปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยในช่วงเวลาที่ต้องการไปอ่านค่าปริมาณน้ำจากกราฟที่สร้างขึ้น

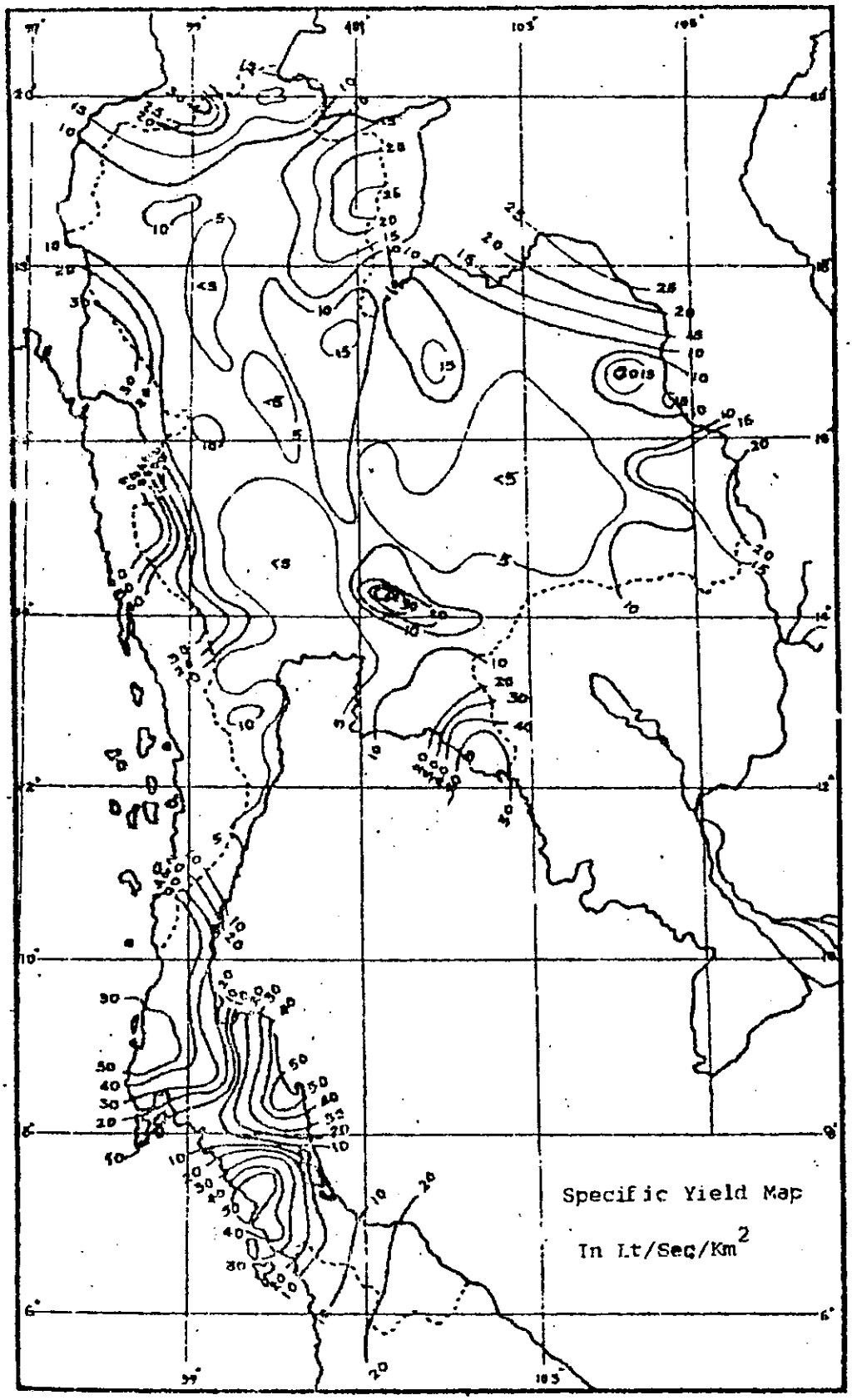
ในเขตแห้งแล้ง (Arid region) ที่มีการกระจายของฝนไม่สม่ำเสมอค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่า (Runoff Coefficient) มีความผันแปรมากเนื่องมาจาก Evaporation และ Infiltration ในลักษณะเช่นนี้ เมื่อนำค่าปริมาณน้ำท่าและปริมาณน้ำฝนไปพล็อตลงในกระดาษกราฟ จะได้จุดพล็อตที่กระจายมาก ยากที่จะลากเส้นกราฟแสดงความสัมพันธ์ได้ กรณีนี้นิยมใช้ตรวจสอบความสัมพันธ์และหาสมการของเส้นกราฟโดยวิธีทางสถิติ (Statistical Technique) สมการนี้จะแสดงในรูปของสมการ Simple Linear Regression

ข้อมูลที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์นี้อาจเป็นข้อมูลปริมาณน้ำท่ากับปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยทั่วทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำ หรือกับปริมาณน้ำฝนจากสถานีใดสถานีหนึ่งก็ได้ทั้งนี้จะต้องตรวจสอบค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ (Correlation Coefficient) ว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้หรือไม่ก่อนนำไปใช้งาน

3.1.2.4 Specific Yield Map and Precipitation

Specific Yield Map and Precipition คือแผนที่แสดงเส้น Iso-Yield ซึ่งแสดงค่าของปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยที่เกิดขึ้นต่อหนึ่งหน่วยบา ต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่รับน้ำ ค่า Specific Yield นี้คืออัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำท่าเฉลี่ย (Runoff) และปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย (Precipitation) ที่เกิดขึ้นในพื้นที่รับน้ำนั้น ๆ จากการคำนวณและรวบรวมค่า Specific Yield ของลุ่มน้ำต่าง ๆ แล้วนำมาพล็อตในแผนที่ ลากเส้นผ่านจุดที่มีค่า Specific Yield เท่ากัน เป็นเส้น Iso-Yield จะได้เป็นแผนที่ Specific Yield Map (รูป 3.3) สามารถนำไปใช้หาค่าปริมาณน้ำเฉลี่ยในรอบปีบริเวณ Site ที่ทราบพิกัดแล้วได้หน่วยที่ใช้กำหนดค่า Specific Yield คือ ลบ.ฟุต ต่อวินาที ต่อตารางไมล์หรือ ลิตร/วินาที/ตร.กม.

ค่า specific Yield นี้จะผันแปรแตกต่างกันไปตามสภาพของพื้นที่รับน้ำซึ่งขึ้นอยู่กับแฟคเตอร์ต่าง ๆ เช่น การปกคลุมพื้นที่ลาดภูมิประเทศ ลักษณะเนื้อดิน อุณหภูมิและความชื้น เป็นต้น ดังตัวอย่างในตารางที่ 3.1



รูปที่ 3.3 Specific Yield Map

ตารางที่ 3.1 Average Yield และ Specific Yield ของแม่น้ำโขง ปี 2473-2504

Gaging Station	Drainage Area Km.^{2}	Yield, m.^{3} /sec	Specific Yield Lit/sec/Km.^{2}
Vientiane	299,000	4,210	14.08
Mukdahan	391,000	8,240	21.07
Kratie	646,000	13,910	21.53

Source : Calculated from figures in Hydrologic Data, Mekong River Basin in Thailand

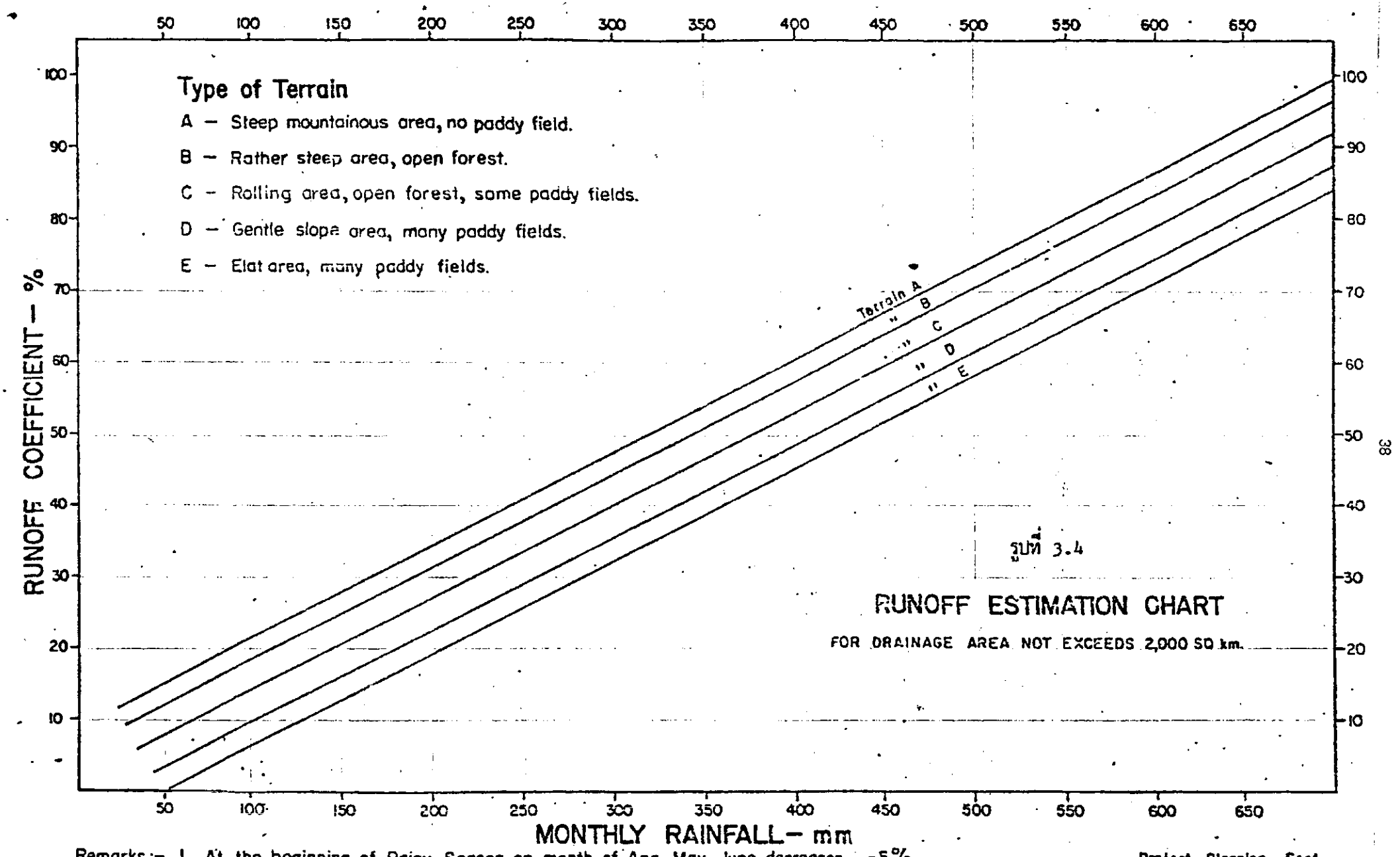
Prepared by Harza Engineering Co.

จากตารางแสดงให้เห็นความผันแปรของค่าเฉลี่ย Yield และ Specific Yield ของแม่น้ำโขงตอนล่าง ระหว่างปี พ.ศ. 2473-2504 ที่ Kratie (547 กม. จากทะเล) ค่าปริมาณน้ำท่าเฉลี่ย 13,910 ม.^{3}/วินาที ที่ Vientiane (1606 กม. จากทะเล) ค่าปริมาณน้ำท่าเฉลี่ย 4,210 ม.^{3}/วินาที ระหว่างสองจุดนี้ค่า Specific Yield เพิ่มขึ้นจาก 14.08 ลิตร/วินาที/กม.^{2} เป็น 21.53 ลิตร/วินาที/กม.^{2} (เพิ่มขึ้น 7.45) แต่ค่า Specific Yield สำหรับพื้นที่ที่เพิ่มขึ้นคือ 27.95 ลิตร/วินาที/กม.^{2} และสำหรับค่า Specific Yield ของพื้นที่ที่เพิ่มขึ้นระหว่าง Mukdahan และ Vientiane คือ 43.80 ลิตร/วินาที/กม.^{2}

Specific Yield Map สามารถนำไปใช้เป็นหลักในการคำนวณหาการกระจายของน้ำท่ารายเดือนได้ ในกรณีที่ต้องการทราบปริมาณน้ำท่ารายเดือน สำหรับการพิจารณาโครงการที่เป็นอ่างเก็บน้ำ ในกรณีนี้จำเป็นต้องทราบปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือน (Mean Monthly Precipitation) ที่ตกลงในพื้นที่รับน้ำ และต้องทราบค่าสัมประสิทธิ์น้ำ (Runoff Coefficient ของลุ่มน้ำนั้นด้วย ค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่า (Roc) ก็คืออัตราส่วนระหว่างประมาณน้ำท่า (Runoff) กับปริมาณน้ำฝน (Precipitation) ที่ทำให้เกิดน้ำท่านั้น ซึ่งจะมีค่าผันแปรไปตามสภาพของลุ่มน้ำและปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมา

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Runoff Coefficient กับปริมาณน้ำฝนที่ตกในลุ่มน้ำต่าง ๆ ในประเทศไทย (จากกองวางโครงการฯ กรมชลประทาน) ได้จำแนกไว้เป็น 5 แบบ ตามสภาพของลุ่มน้ำ คือ Terrain A, B, C, D และ E (รูป 3.4) เมื่อทราบพิกัดจุดที่ตั้งของหัวงาน และต้องการหาปริมาณน้ำที่จะไหลเข้าจากกราฟ โดยมีวิธีการและขั้นตอนดังนี้

1. ทำการหาพื้นที่ลุ่มน้ำ (Catchment Area) เหมือนจุดที่ตั้งหัวงาน จากแผนที่ภูมิประเทศ



รูปที่ 3.4

RUNOFF ESTIMATION CHART

FOR DRAINAGE AREA NOT EXCEEDS 2,000 SQ km.

Remarks :— 1. At the beginning of Rainy Season on month of Apr, May, June decreases -5%

2. At the end of Rainy Season on month of Sept Oct. increases 5%

Project Planning Sect.

2. คำนวณหาปริมาณน้ำฝนที่ตกลงในพื้นที่ในแต่ละเดือนด้วยวิธี Thiessen Polygon หรือวิธีอื่น โดยใช้ข้อมูลจากสถานีวัดน้ำฝนในพื้นที่ลุ่มน้ำ หรือสถานีใกล้เคียงที่ใช้เป็นตัวแทนได้

3. นำค่าปริมาณน้ำฝนในแต่ละเดือนที่หาได้ ไปอ่านค่าจากกราฟ ได้ค่า Runoff Coefficient ของแต่ละเดือน (เลือกใช้ Terrain ที่เหมาะสมกับสภาพพื้นที่รับน้ำ)

4. คำนวณหาปริมาณน้ำท่าในแต่ละเดือน โดยเอาค่า Runoff Coefficient ที่อ่านได้คูณด้วยปริมาณน้ำฝน คูณด้วยพื้นที่ลุ่มน้ำ จะได้ปริมาตรของน้ำท่าในแต่ละเดือน จากนั้นหาปริมาณน้ำท่าในรอบปีได้โดยเอาปริมาณน้ำท่าแต่ละเดือนมกราคมเข้าด้วยกัน

5. ทำการตรวจสอบค่า Runoff Coefficient ที่ได้กับค่า Runoff Coefficient ของสถานีวัดน้ำในบริเวณใกล้เคียง (ถ้ามี) รวมทั้งตรวจสอบค่า Specific Yield จากการคำนวณกับแผนที่ Specific Yield ด้วยว่า ค่าปริมาณน้ำในรอบปีที่คำนวณได้นั้นมีความแตกต่างกันมากน้อยเพียงใด หากมีค่าแตกต่างกันมากให้ทำการหาค่า Runoff Coefficient ใหม่ ด้วยการเปลี่ยยน Terrain แล้วทำการตรวจสอบจนกว่าจะได้ค่าใกล้เคียง

6. ทำการหากการกระจายของน้ำท่ารายเดือน (Monthly runoff Distribution) โดยเปรียบเทียบกับการแผ่กระจายของน้ำท่ารายเดือนของสถานีวัดน้ำในบริเวณใกล้เคียงด้วยวิธีกราฟเมื่อได้ค่าที่เหมาะสมแล้วทำเป็น โดยให้น้ำท่ารวมทั้งปีเป็น 100 % ส่วนค่าเฉลี่ยน้ำท่ารายเดือนรวมกันแล้วจะต้องเท่ากับ 100 %

การปรับค่าการแผ่กระจายของปริมาณน้ำรายเดือนควรพิจารณาจากสภาพของลุ่มน้ำดังต่อไปนี้

ก.) ถ้าเป็นลุ่มน้ำขนาดเล็ก ภูมิประเทศเป็นป่าที่ถูกทำลายแล้ว และไม่มีพื้นที่เพาะปลูกในเขตลุ่มน้ำ ลุ่นน้ำนั้นจะเป็นแบบ Ephemeral Stream คือ มีน้ำไหลมากเมื่อฝนตกเมื่อฝนหยุดก็ไม่มีน้ำไหลหรือมีเพียงเล็กน้อย ลำน้ำแบบนี้ลักษณะการแผ่กระจายของน้ำท่าจะใกล้เคียงกับลักษณะการแผ่กระจายของฝน

ข.) ถ้าเป็นลุ่มน้ำขนาดกลาง สภาพภูมิประเทศเป็นป่าสภาพดี และป่าถูกทำลายบ้างแล้ว มีพื้นที่เพาะปลูกประปราย ลุ่มน้ำแบบ Intermittent คือ มีน้ำไหลเฉพาะช่วงฤดูฝน ส่วนนอกฤดูฝนจะมีปริมาณน้ำเพียงเล็กน้อยหรือน้ำแห้ง ลำน้ำแบบนี้มีลักษณะการแผ่กระจายของน้ำท่าใกล้เคียงกับการแผ่กระจายของน้ำจากสถานีวัดน้ำในบริเวณใกล้เคียง ซึ่งมีสภาพของลุ่มน้ำแบบเดียวกัน

ค.) ถ้าเป็นลุ่มน้ำขนาดใหญ่ สภาพภูมิประเทศเป็นป่าสภาพดีและป่าถูกทำลายบ้างแล้ว มีพื้นที่เพาะปลูกส่วนใหญ่ ลุ่มน้ำเป็นแบบ Perenial Stream คือ มีน้ำไหลตลอดปี การแผ่กระจายของลำน้ำแบบนี้จะเป็นไปตามธรรมชาติเหมือนลำน้ำขนาดใหญ่ทั่วไป ปกติแล้วลำน้ำประเภทนี้จะมีสถานีวัดน้ำอยู่แล้วจึงไม่ค่อยมีปัญหาในการหาการแผ่กระจายของน้ำประจำเดือน

7.เมื่อหาเปอร์เซ็นต์ Monthly distribution ได้แล้ว ก็สามารถแผ่กระจายของปริมาณน้ำรายเดือนได้ โดยถือยอดปริมาณน้ำทั้งปีเท่าเดิม

ตัวอย่าง การคำนวณหาปริมาณน้ำท่าจากสถิติน้ำฝน และการหาการแผ่กระจายของน้ำท่ารายเดือน บริเวณที่ตั้งโครงการอ่างเก็บน้ำในจังหวัดเชียงใหม่ พิกัด Lat 180° 47′ N Long 98° 59′ E สภาพภูมิประเทศพื้นที่รับน้ำค่อนข้างลาดชันและมีสภาพเป็นป่าเปิด

ตารางที่ 3.2 การคำนวณปริมาณน้ำไหลเข้าอ่าง ฯ โดยใช้ค่า R.O.C

เดือน	น้ำฝนเฉลี่ย มม.	พื้นที่ลุ่มน้ำ KM^2	R.O.C %	ปริมาณน้ำไหลลงอ่าง x 1000 $ม.^3$	หมายเหตุ
เม.ย.	42.5	42	11.5 - 5 = 6.5	116.03	ใช้
พ.ค.	111.0	42	20.5 - 4 = 16.5	769.23	Terrain B
มิ.ย.	117.5	42	21.5 - 3 = 18.5	912.98	
ก.ค.	133.5	42	23.5	1317.65	
ส.ค.	217.0	42	34.0	3263.20	
ก.ย.	234.5	42	36.5 + 5 = 41.5	4087.34	
ต.ค.	109.8	42	20.5 + 5 = 25.4	1171.35	
พ.ย.	25.0	42	9.0	94.50	
ธ.ค.	7.50	42	0	0	
ม.ค.	3.70	42	0	0	
ก.พ.	2.5	42	0	0	
มี.ค.	12.0	42	10.0	126.00	
	1,017			11,858.26	

Check : Specific Yield = $\frac{11858.26}{31536 \times 42} \times 1000 =$ 8.95 ลิตร/วินาที/$กม.^2$

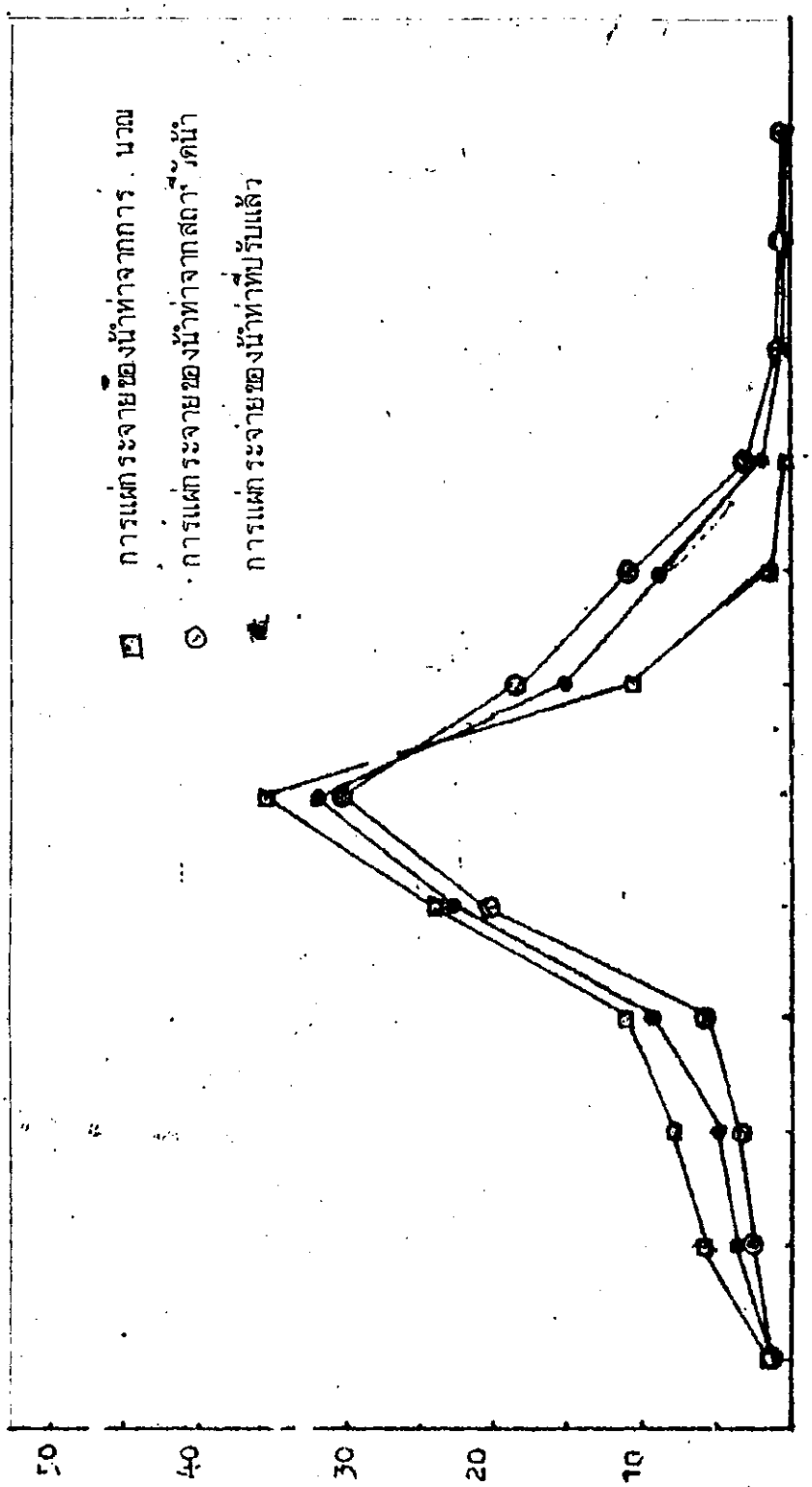
จาก Specific Yield Map = 10 ≈ 8.95 " OK

ตารางที่ 3.3 หาการแผ่กระจายของน้ำต้นทุนรายเดือน

เดือน	% การแผ่	กระจาย	ปรับ % การ	ปริมาณน้ำไหล
	น้ำท่าจากสถานี P.5	น้ำท่าที่คำนวณได้	แผ่กระจาย	ลงอ่าง ($ม^2$)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
เม.ย.	0.9	0.98	0.90	106.72
พ.ค.	2.15	6.49	3.00	355.75
มิ.ย.	2.89	7.70	3.80	450.61
ก.ค.	6.02	11.11	9.00	1067.24
ส.ค.	21.44	27.52	23.00	2727.40
ก.ย.	30.50	34.47	32.30	3830.22
ต.ค.	19.14	9.88	15.00	1778.74
พ.ย.	11.42	0.80	9.30	1102.82
ธ.ค.	2.95	0	2.00	237.17
ม.ค.	1.11	0	1.00	118.58
ก.พ.	0.72	0	0.00	0.00
มี.ค.	0.66	1.06	0.70	8.301
	100	100	100	11858.26

(2) *การแผ่กระจายของน้ำท่าจากสถานีวัดน้ำ P.5 ในแม่น้ำปิง*

(3) *การแผ่กระจายของน้ำท่าที่คำนวณได้จากตารางที่ 1*



รูปที่ 3.5 กราฟแสดงการรับการแห่กระจายน้ำท่า

3.1.3 การประยุกต์ข้อมูลน้ำท่ากับงานวางโครงการ

ผลของการวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่าที่ได้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการพิจารณาความสามารถของโครงการชลประทานประเภทต่าง ๆ ได้ดังนี้

1) **โครงการประเภทรับน้ำนอง**

โครงการชลประทานประเภทนี้เป็นโครงการช่วยเสริมน้ำฝนในช่วงฤดูกาลเพาะปลูก โดยอาศัยระดับน้ำในแม่น้ำลำธารที่สูงขึ้นตามธรรมชาติ กล่าวคือ เมื่อมีน้ำในแม่น้ำลำธารไหลมาก ระดับน้ำก็จะสูงขึ้นเรื่อย ๆ จนสามารถไหลเข้าคลองส่งน้ำที่ขุดขึ้นไว้ ลักษณะการขึ้นลงของระดับน้ำสามารถดูได้จากกราฟระดับน้ำ การพิจารณาจากกราฟระดับน้ำในฤดูกาลส่งน้ำจะทราบได้ว่าระยะเวลาใดจะมีน้ำสูงพอที่ไหลเข้าคลองส่งน้ำได้ เป็นเวลานานเท่าใดเพียงพอกับระยะเวลาทำการเพาะปลูกหรือไม่ และสามารถคำนวณหาพื้นที่เพาะปลูกที่เหมาะสมได้

2) **โครงการประเภททดน้ำ**

โครงการประเภททดน้ำที่ใช้ฝายหรือประตูระบายเป็นอาคารทดน้ำให้ระดับน้ำสูงขึ้นแล้วไหลเข้าคลองส่งน้ำไป ปริมาณน้ำที่มีมากบ้างน้อยบ้างเป็นประจำวันนั้น จะแสดงถึงเกณฑ์ของปริมาณน้ำที่เราจะชักเข้าไปได้ในเขตโครงการ ตัวอย่างเช่น ถ้าโครงการนั้นกำหนดจะปลูกข้าวในฤดูน้ำซึ่งจะต้องทำการส่งน้ำได้ทุกขณะตลอดฤดูกาลเพาะปลูกแล้ว เราก็จะพิจารณาจากกราฟปริมาณน้ำเฉลี่ยรายวันได้ว่า ปริมาณน้ำจำนวนเท่าใดที่เราจะสามารถชักเข้าคลองไปใช้ได้โดยไม่ขาดตลอดฤดูกาลเพาะปลูก หรือถ้าเรายอมให้ข้าวได้รับน้ำไม่เต็มที่ได้บ้างในระยะไม่เกิน 7 วันแล้ว ปริมาณน้ำจำนวนเท่าใดที่เราอาจชักเข้าคลองไปได้ตลอดระยะการเพาะปลูกดังนี้เป็นต้น ปริมาณน้ำจำนวนที่เราอาจชักเข้าคอลงไปได้ตลอดฤดูกาลเพาะปลูกนี้เองที่เป็นข้อกำหนดเนื้อที่ของโครงการที่เราจะทำการชลประทานได้

เนื่องจากปริมาณน้ำท่าแต่ละวันละเดือนของลำน้ำสายหนึ่ง ๆ เปลี่ยนแปลงมากบ้างน้อยบ้างอยู่เสมอ ดังนั้นถ้าเรามีกราฟปริมาณน้ำเฉลี่ยรายวันหลาย ๆ ปี ก็อาจใช้ตรวจสอบหาเกณฑ์ของปริมาณน้ำที่อาจชักเข้าคลองไปใช้ได้นั้นแน่นอนยิ่งขึ้น คือประกันได้ว่าในระยะหลาย ๆ ปีก็จะไม่เกิดการขาดแคลนน้ำสำหรับโครงการนั้น ๆ

3) **โครงการประเภทเก็บกักน้ำ**

โดยปกติแล้วโครงการประเภททดน้ำจะสามรถใช้น้ำท่าอันมีมาตามธรรมชาติของลำน้ำสายหนึ่ง ๆ ได้เพียงจำนวนจำกัดเท่านั้น ทั้งนี้เพราะต้องถือเอาปริมาณน้ำจำนวนน้อยซึ่งไม่มีช่วงขาดมาเป็นเกณฑ์กำหนดเนื้อที่โครงการ ในระยะที่มีปริมาณน้ำมากกว่าเกณฑ์ก็จะต้องปล่อยให้ล้นฝาย หรือระบายทิ้งทางประตูระบายไปเสีย ดังนั้นในบริเวณที่มีทำเลเหมาะสมก็มัก

นิยมสร้างเป็นโครงการประเภทเก็บกักน้ำขึ้นแทน โครงการแบบนี้จะสามารถใช้น้ำท่าอันมีมาตามธรรมชาติของลำน้ำสายหนึ่ง ๆ ได้มากขึ้น เพราะสามารถเก็บกักน้ำที่เหลือใช้ในฤดูน้ำเอาไว้ใช้ในระยะน้ำน้อยหรือแห้งแล้งได้อีก การพิจารณากำหนดโครงการแบบนี้จำเป็นต้องมีสถิติปริมาณน้ำเป็นรายเดือน สำหรับใช้พิจารณาให้เหมาะสมกับความต้องการใช้น้ำ เพราะการใช้น้ำนั้นต้องระบายออกจากอ่างตลอดเวลาอาจทั้งในฤดูน้ำและฤดูแล้ง ส่วนปริมาณน้ำที่เหลือใช้จะมีก็ในระยะฤดูน้ำเท่านั้น ในฤดูแล้งต้องชักน้ำจากอ่างออกมาตลอดเวลา เมื่อกำหนดโครงการขึ้นแล้วจึงจำเป็นต้องตรวจสอบให้ทราบว่า การชักน้ำจากอ่างออกมาใช้ในฤดูแล้งนั้น สามารถทำได้ตลอดฤดูแล้งทุกๆ ปีหรือไม่หรือจะมีน้ำขาดช่วงใดบ้างเป็นจำนวนเท่าใด มีน้ำล้นอ่างมากน้อยเพียงใด การทดสอบนี้ จะทำให้สามารถกำหนดขนาดของโครงการให้เหมาะสมกับปริมาณน้ำของแหล่งน้ำนั้นๆ ได้ดีขึ้น

3.2. ปริมาณน้ำน้อย (Low Flow)

ในการพัฒนาโครงการชลประทานซึ่งต้องอาศัยปริมาณน้ำ จากแม่น้ำธรรมชาติช่วงเวลาที่มีน้ำน้อย (Low Flow) ซึ่งปกติจะเป็นช่วงที่ขาดฝนจะเป็นช่วงวิกฤต และผลกระทบต่อโครงการมาก โดยเฉพาะโครงการที่ไม่มีการเก็บกักน้ำ ฉนั้นเพื่อลดการเสี่ยงการขาดน้ำในช่วงฤดูแล้ง และหลีกเลี่ยงการออกแบบอาคารที่มีขนาดใหญ่เกินไป จึงมีความจำเป็นต้องทำการวิเคราะห์ความถี่ของการเกิดน้ำน้อของลำน้ำสายนั้นเพื่อประกอบการพิจารณาและตัดสินใจการคาดคะเนลักษณะการเกิดน้ำน้อยในลุ่มน้ำที่ไม่มีข้อมูลการวัดน้ำจะทำได้ยาก เนื่องจากรายละเอียดของพื้นที่รับน้ำและสภาพทางธรณีวิทยาจะมีผลมากต่อค่าของปริมาณน้ำน้อย

อย่างไรก็ตาม ในระดับของการศึกษาโครงการเบื้องต้น อาจทำการประเมินค่าโดยอาศัยข้อมูลของสถานีอื่นที่อยู่ในลุ่มน้ำเดียวกันได้ การประเมินค่าปริมาณน้ำน้อยต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่รับน้ำในช่วงเวลา 1 สัปดาห์ 1 เดือน 1 ฤดูกาลหรือ 1 ปี ที่ Return Period ต่างๆ สามารถวิเคราะห์ได้จากข้อมูลการวัดน้ำของลุ่มน้ำนั้นๆ วิธีการวิเคราะห์ปริมาณน้ำน้อย สามารถทำได้หลายวิธี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะและปริมาณของข้อมูล วิธีหนึ่งที่นิยมใช้กันมากก็คือ Gunbel Type III ซึ่งมีวิธีการคำนวณที่ง่าย มีความเชื่อถือได้สูง และเหมาะสำหรับประเมินความถี่จากข้อมูลปริมาณน้ำน้อยรายปี (Annual Minimum Flow)

3.3. การศึกษาปริมาณน้ำนอง (Flood Study)

การศึกษาเพื่อหาปริมาณน้ำนอง (Flood) ที่จะเกิดขึ้นในอนาคตมีความสำคัญและจำเป็นสำหรับการออกแบบอาคารต่าง ๆ เช่น ฝายประตูระบาย Coffer Dam และ Spillway เป็นต้น

เพื่อให้ได้ขนาดและความแข็งแรงของอาคารดังกล่าวพอเหมาะกับขนาดของ Flood ที่คาดว่าจะเกิดขึ้น และมีความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์ การออกแบบโดยใช้ขนาดของ Flood เล็กเกินไปอาจเกิดความเสียหายต่อโครงการและทรัพย์สิน จากการพังทลายของอาคาร ในทางตรงกันข้ามหากใช้ขนาด Flood ใหญ่เกินไปจะทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายเกินความจำเป็น

การหาขนาดและโอกาสการเกิดของ Flood สามารถทำได้โดยการวิเคราะห์ข้อมูลทางอุทกวิทยาทางสถิติ วิเคราะห์ความถี่การเกิดซ้ำ (Frequency Analysis) ซึ่งการเกิดซ้ำของเหตุการณ์ทางอุทกวิทยา (Hydrologic Events) สามารถแสดงได้ 2 ลักษณะคือ (1) Return Period, or Recurrence Interval (T) กำหนดเป็นรอบเวลาเฉลี่ยเป็นปีของโอกาสการเกิดซ้ำต่อหนึ่งครั้ง เช่น 5 Year Flood หมายถึงปริมาณน้ำนองสูงสุดที่มีโอกาสเกิดขึ้น 5 ปีต่อครั้ง และ(2) Probapility, or Percent Chance of Occurrence (P) แสดงโอกาสการเกิดซ้ำเป็น เช่น 20 % Probability Flood หมายถึงโอกาสการเกิดน้ำนองสูงสุดเท่ากับ 20 ครั้ง ในจำนวนน้ำนอง 100 ครั้ง

การคำนวณหาขนาดปริมาณน้ำนองสูงสุด สำหรับการออกแบบสามารถกระทำได้หลายวิธี ขึ้นอยู่กับข้อมูลอุทกวิทยาจะหาได้ เช่น

- จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำสูงสุดกับพื้นที่รับน้ำ
- จากข้อมูลปริมาณน้ำท่า (Streamflow Record)
- จากข้อมูลปริมาณน้ำฝน (Rainfall Record)
- จากสูตร Rational Formula

3.3.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำสูงสุดและพื้นที่รับน้ำ

ในกรณีที่เป็นลุ่มน้ำขนาดเล็กถึงขนาดกลาง และต้องการผลเพื่องานออกแบบโดยรีบด่วนอาจใช้กราฟสำเร็จรูปซึ่งได้ทำการวิเคราะห์ไว้แล้วสำหรับแต่ละลุ่มน้ำ ดังในรูปที่ 3.6 เป็นกราฟตัวอย่างแสดงการวิเคราะห์ของลุ่มน้ำมูล (โดยกองอุทกวิทยา กรมชลประทาน)

เส้นกราฟต่าง ๆ ในรูปได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำสูงสุดกับพื้นที่ลุ่มน้ำเป็นค่าที่ได้จากการสำรวจวัดจริงที่จุดต่าง ๆ หลายแห่งบนลุ่มน้ำที่มีขนาดพื้นที่แตกต่างกัน แต่อยู่ในโซนเดียวกัน แล้วลากเส้นครอบคลุม (Evelope Line) ค่าสูงสุดของจุดต่างๆไว้ เส้นครอบคลุมนี้จะเป็นแนวชี้บอกถึงค่าปริมาณน้ำสูงสุดที่เคยเกิดขึ้นมาแล้วเท่าที่มีสถิติการสำรวจอยู่ แต่เนื่องจากงานออกแบบอาคารจำเป็นต้องมีข้อมูลกำหนดที่จะใช้ในการออกแบบ จึงต้องอาศัยวิธีการทางสถิติคำนวณหาค่าความถี่ของการเกิดซ้ำในรูปที่ต่าง ๆ ขึ้น แล้วลากเส้นค่าที่มีรอบปีการเกิดเท่ากันไว้ดังแสดงในรูปที่ 3.6

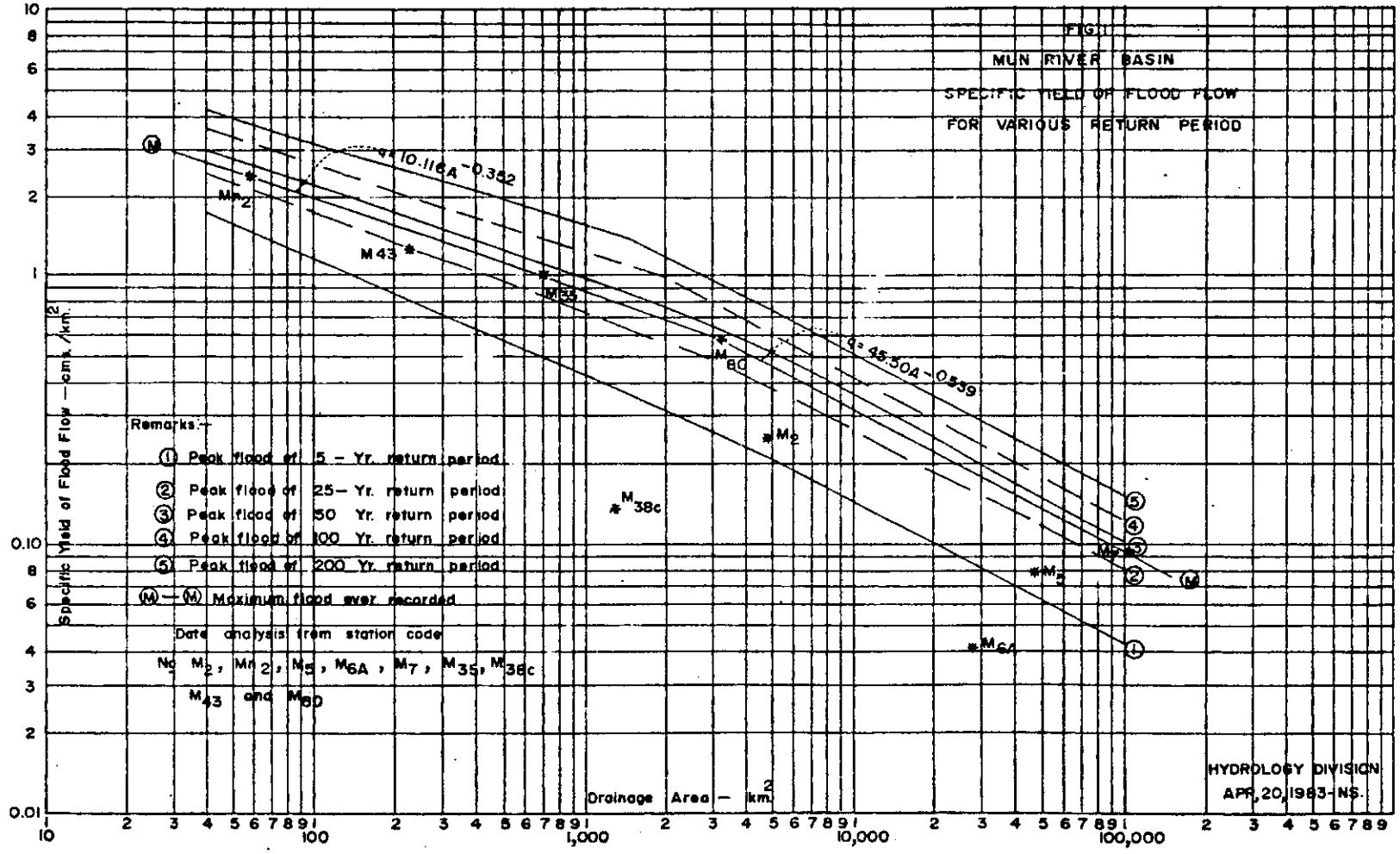


Fig. 3.6 MUN RIVER BASIN SPECIFIC YIELD OF FLOOD FLOW FOR VARIOUS RETURN PERIOD

การเลือกค่าที่จะใช้สำหรับงานออกแบบ พิจารณาจากความเป็นไปได้ของการเสี่ยงในแต่ละพื้นที่โครงการว่ามีมากน้อยเพียงใด เช่น ถ้าเป็นโครงการขนาดเล็กอาจเลือกความถี่ของการเกิดในรอบ 25 ปี เป็นต้น

3.3.2 **การวิเคราะห์ความถี่ของการเกิดจากข้อมูลน้ำท่า**

สำหรับโครงการที่ตั้งอยู่ในบริเวณที่มีข้อมูลน้ำท่า (Stream Flow Record) ติดต่อกันเป็นเวลานาน สามารถทำการวิเคราะห์ขนาดและโอกาสการเกิดของ Flood ได้โดยตรงจากข้อมูลน้ำท่า โดยใช้ข้อมูลปริมาณน้ำสูงสุดที่เกิดขึ้นในแต่ละปี โดยไม่คำนึงถึงว่าจะมีปริมาณเท่าใด และเกิดขึ้นในช่วงไหนของปี แต่ที่สำคัญก็คือข้อมูลที่นำมาใช้จะต้องเป็นข้อมูลที่ถูกต้องและมีจำนวนมากพอสมควร ซึ่งสามารถนำมาใช้ทำการวิเคราะห์ทางสถิติได้

การวิเคราะห์เพื่อหาโอกาสการเกิดซ้ำของ Flood มีอยู่หลายวิธีด้วยกัน เช่นวิธีของ Hazen Gumbel เป็นต้น ในที่นี้จะยกตัวอย่างวิธีการหาแบบ Percent Chance คือนำข้อมูลปริมาณน้ำสูงสุดในแต่ละปีมาเรียงตามลำดับจากมากไปหาน้อย (Order Number) และกาเปี้ยดที่มาโอกาสจะเกิดขึ้นได้ (Percent Chance) ของแต่ละค่าเหล่านั้น โดยกำหนดให้ค่าสูงสุดมี Order Number เท่ากับ 1 และค่ารองลงไปมีค่า Order Number เท่ากับ 2.3 ..... ลงไปตามลำดับ ค่าเปอร์เซนต์ที่อาจจะเกิดได้คิดจากสูตร

$$P = \frac{(2m-1)}{2N} \times 100$$

เมื่อ P = Percent Chance หรือเปอร์เซนต์ที่อาจเกิดขึ้นได้

m = Order number

N = จำนวนค่าปริมาณน้ำสูงสุดทั้งหมด

เกณฑ์การเลือก Flood ในรอบปีต่างๆ ที่ใช้ในการออกแบบ

Return Period (ปี)	ใช้ในงานออกแบบ
10	-Cffer Dam เขื่อนขนาดกลาง
20	-Coffer Dam เขื่อนขนาดใหญ่ -ท่อระบายน้ำลอดถนน
30	-ฝายกึ่งถาวร
50	-ฝายถาวร
100	-ประตูระบาย -Survice Spillway เขื่อนขนาดกลางและขนาดใหญ่
500	-Emergency Spillway และ ปตร.เขื่อนขนาดใหญ่
1000	-Emergency Spillway ของเขื่อนขนาดใหญ่

กองวางโครงการ กรมชลประทาน

3.3.3 การวิเคราะห์ Flood Frequency จากข้อมูลน้ำฝน

โครงการชลประทานจำนวนมากทำการก่อสร้างในบริเวณที่ไม่มีข้อมูลการวัดน้ำท่า (Streamflow Record) มาก่อน โดยเฉพาะโครงการขนาดกลางและขนาดเล็ก การประเมินค่าการเกิดน้ำนอง (Flood Frequency) จำเป็นต้องทำการวิเคราะห์จากข้อมูลอื่น เช่น

(1) คำนวณหาจากสูตร Flood formula ($Q_p = CA_d^n$)

(2) ทำการวิเคราะห์ Rainfall Frequency และทำการคำนวณหาปริมาณของ Flood จาก Design Rainfall และ

(3) ทำการประเมินค่าโอกาสการเกิดของ Flood จากสถานีวัดน้ำบริเวณใกล้เคียง

ในที่นี้จะกล่าวถึงวิธีการวิเคราะห์ Flood Frequency จากข้อมูลน้ำฝนซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้กันมาก เพราะสามารถหาข้อมูลน้ำฝนได้ง่ายและให้ความถูกต้องค่อนข้างสูง

3.3.3.1 ความสัมพันธ์ของค่าความเข้มของฝน-ช่วงเวลา-และความถี่ของการเกิด (Rainfall Intensity-Duration-Frequency)

การวิเคราะห์ Rainfall Frequency ค่อนข้างซับซ้อน เนื่องจากฝนที่ตกลงในพื้นที่รับน้ำมีอัตราและปริมาณที่แตกต่างกัน และมีช่วงเวลา (Duration) ที่แตกต่างกันด้วย เช่น ช่วงเวลา 20 นาที และช่วงเวลา 5 วัน เป็นต้น การคิดปริมาณน้ำฝนในช่วงเวลานาน (Long Duration) ในช่วงเวลานี้อาจจะมีบางช่วงที่ไม่มีฝนเลย อย่างไรก็ตามการศึกษาข้อมูลน้ำฝนในช่วงยาวสามารถหากราฟแสดงปริมาณน้ำฝนและความเข้มของฝนในช่วงเวลาต่างกัน และที่ Return Period ต่าง ๆ กันได้ ความเข้มของฝนคือปริมาณน้ำฝนหารด้วยช่วงเวลา

ขั้นตอนการหา Rainfall Intensity-Duration-Frequency Curve กระทำได้ดังนี้คือ

1.) กำหนดช่วงเวลาที่จะคำนวณหาความเข้มของฝนที่ตก เช่น 1/2, 1, 2, 3 ชั่วโมง เป็นต้น

2.) นำค่าน้ำฝนในช่วงเวลาเดียวกันที่กำหนดแล้วทุกปีไปหาโอกาสเกิดค่าสูงสุดในรอบปีต่าง ๆ

3.) นำค่าที่คำนวณหาได้ไปพล็อตลงใน Log-log paper

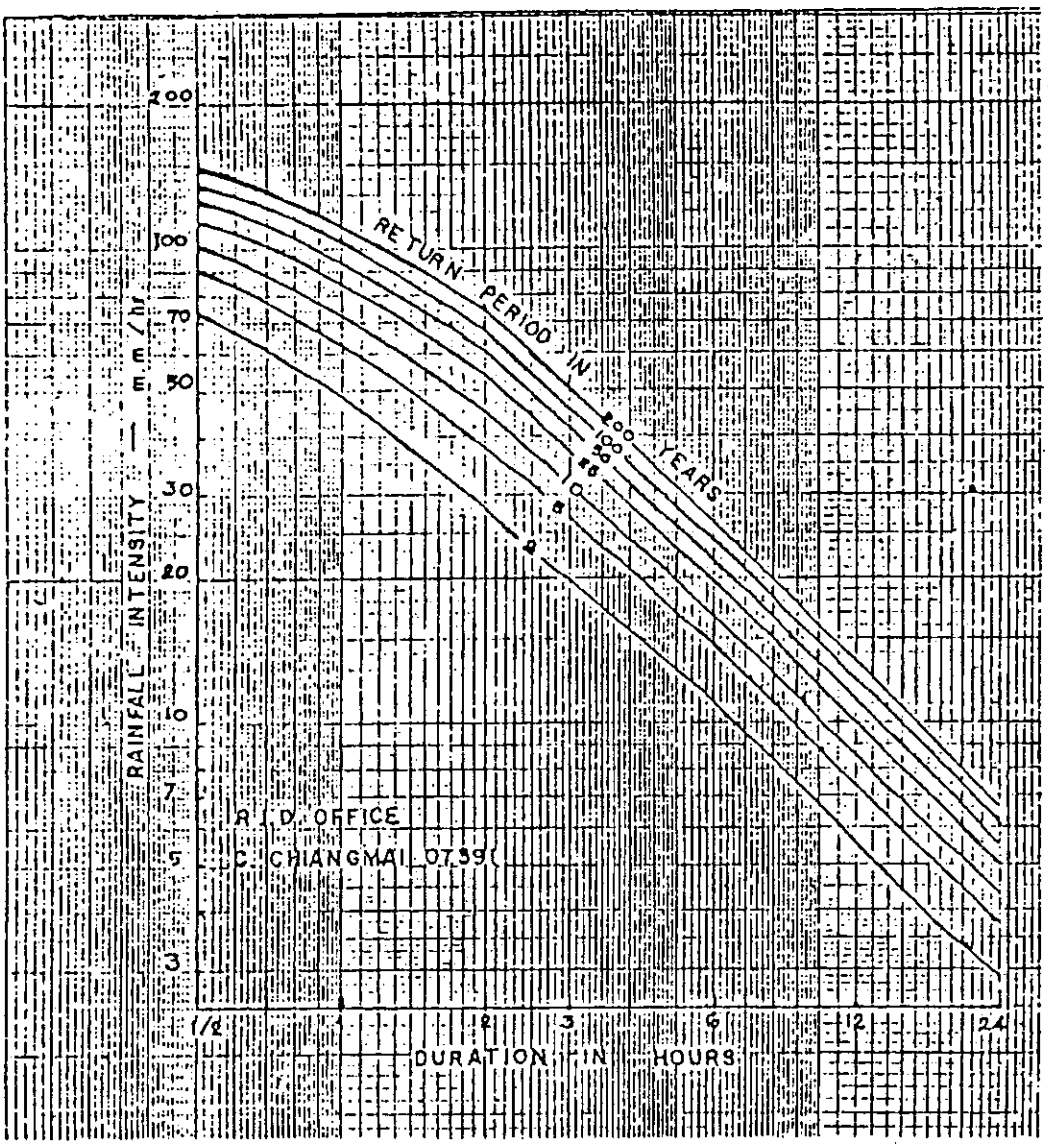
จะได้กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความเข้มของฝน-ช่วงเวลา และความถี่ของการเกิด (Rainfall Intensity-Duration Frequency Curves) ดังรูปกราฟนี้สามารถแสดงในรูปสมการดังนี้

$$I = X^*D^{-Y}$$

เมื่อ I = ความเข้มของฝน

D = ช่วงเวลาฝนตก

X,Y = ค่าคงที่สำหรับกราฟ



รูปที่ 3.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่าความเข้มของฝน-ช่วงเวลาและความถี่ของการเกิด

3.3.3.2 การกำหนดค่าโดยสัญญลักษณ์ P (R,D)

เพื่อความสะดวกจะกล่าวถึงปริมาณน้ำฝนที่ Return Period ต่าง ๆ และ Duration ต่าง ๆ กัน จึงได้กำหนดลักษณ์สำหรับใช้เรียกใช้ดังนี้คือ P (R,D)

เมื่อ R = Return Period (ปี)

D = ช่วงเวลาฝนเป็นชั่วโมงเป็น เช่น Time of Concentration (T_C) หรือ Duration of Critical Storm (D_C)

P = ใช้แทน Parameter ที่เกี่ยวข้องกับส่วนที่ต้องการศึกษา เช่น

I = ความเข้มของฝน (มม./ชม.)

D = ความลึกของฝน (มม.)

Q = ปริมาณน้ำท่าจากฝน (ม.^{3}/วินาที)

V = ปริมาตรน้ำนอง (ม.^{3})

ตัวอย่าง

I (5, 12) หมายถึงความเข้มของฝนเป็น มม./ชม. สำหรับฝนที่มี Return Period 5 ปี และมี Duration 12 ชม.

I (50, T_C) หมายถึงความเข้มของฝนที่ Return Period 50 ปี และมี Duration เท่ากับ Time of Concentration

Q (100, D_C) หมายถึงปริมาณน้ำท่าที่เกิดจาก Critical Storm สำหรับ Return Period 100 ปี

3.3.3.3 **ความเสี่ยง (Risk)**

ค่าที่ให้ในแต่ละ Frequency และ Return Period นั้นเกี่ยวข้องกับการเสี่ยงทั้งสิ้น การออกแบบโดยใช้ค่าเกี่ยวกับความเสี่ยงนี้เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลกระทบต่อราคาของอาคาร ถ้าใช้ค่าความเสี่ยงสูง (ที่ Return Period ต่ำ) จะทำให้ราคาของอาคารค่าควรจะเลือกใช้ค่าความเสี่ยงเท่าใดนั้นขึ้นอยู่กับความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับชีวิตและทรัพย์สินที่จะเกิดเนื่องจากการพังทะลายของอาคาร สำหรับโครงการขนาดเล็กที่อยู่ห่างไกลจากทรัพย์สินและชุมชนอาจใช้ค่าความเสี่ยงสูงในการออกแบบ การพังทะลาย (Failure) ของอาคารนี้หมายถึงการพังทะลายของตัวอาคาร ทำให้เกิดน้ำท่วม บ้านเรือนพังทะลาย และหมายถึงการที่น้ำท่วมบ้านเรือนทรัพย์สิน พื้นที่เพาะปลูก และอื่น ๆ โดยที่ตัวอาคารมิได้พังทะลาย และเกิดการออกแบบที่ใช้ค่าความเสี่ยงสูงเกินไป

ดังนั้นในการเลือกค่าความเสี่ยงในการออกแบบจึงขึ้นอยู่กับชีวิตและทรัพย์สินเป็นหลักเช่น การระบายน้ำในเมืองใช้ค่า P(2, D_C) หรือ P(5, D_C) ฝายขนาดเล็กใช้ D(25, D_C) อ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่ใช้ P(1000, D_C) เป็นต้น

ในการออกแบบระบบระบายน้ำในพื้นที่เพาะปลูก พิจารณาถึงความสามารถในการทนน้ำท่วมของพืชโดยไม่เกิดความเสียหาย เป็นค่า Duration ที่ใช้ในการออกแบบ เช่น นาข้าวใช้ P(5, 72) เป็นต้น

ความทนต่อน้ำท่วมของพืชชนิดต่าง ๆ แสดงไว้ในตาราง

ตารางที่ 3.4 Flood Tolerance of Agriculture Crops

Crop Type	Tolerance (hrs.)
Coconut, rubber, oil plam, orchards	72
Paddy field (total submerce)	72
Paddy field (total submerce) Banana Cocoa	48
Coffee, papaya Maize, sorghum	48
Pine-apple	24
Tobacco, Vegetable	Very low

เปอร์เซ็นต์องความเสี่ยงของอาคารต่าง ๆ สามารถคำนวณหาได้จากสูตร

$$Pr = [1 - (1-1/T)^R]*100\ \%$$

เมื่อ Pr = เปอร์เซ็นต์องความเสี่ยง

T = Return Period ของการเกิด

R = อายุการใช้งานของอาคารหรือโครงการ

ตารางข้างท้ายนี้แสดงเปอร์เซนต์ของความเสี่ยงที่ Return Period ต่าง ๆ กัน

ตารางที่ 3.5 PERCENTAGE OF RISKS FOR DIFFERENT RETURN PERIODS

No. of Year	Return period T years							
In Period (R)	5	10	20	50	100	200	500	1000
1	20	10	5	2	1	0.5	0.2	0.1
2	33	19	10	4	2	1	0.4	0.2
3	45	27	14	6	3	1.5	0.6	0.3
5	63	41	22	10	5	2.5	1	0.5
10	87	65	40	18	9	5	2	1
20	98	88	64	33	17	10	4	2
30	99.9	96	78	45	24	14	6	3
60	-	99.8	95	70	43	26	11	6
100	-	-	99.4	87	60	39	18	9
200	-	-	-	98.2	74	63	33	18
500	-	-	-	-	99.1	92	63	39
1000	-	-	-	-	-	99.3	96	63

3.3.4 ปริมาณน้ำนองสูงสุดจาก RATIONAL FORMULA

ในพื้นที่รับน้ำขนาดเล็ก (Small catchments) ซึ่งมีพื้นที่ไม่เกิน 50 ตร.กม. ปริมาณน้ำนองสูงสุด (Peak Runoff) สามารถคำนวณหาได้จากสูตร

3.3.4.1 Rational Formula

ปริมาณน้ำนองสูงสุดจากพื้นที่รับน้ำขนาดเล็ก (มีพื้นที่ไม่เกิน 50 ตร.กม.) ซึ่งไม่มีการเก็บกักน้ำ จะเกิดขึ้นเมื่อฝนมี Duration เท่ากับ Time of concentration (T_C) ของพื้นที่รับน้ำนั้น และสามารถคำนวณได้จากสูตร

$$Q = 0.278\ CIA$$

Q = ปริมาณน้ำนองสูงสุด (Peak Discharge) (ม.^{3}/วินาที)

I = ความเข้มของฝน (Rainfall Intensity) มม./ชม.

A = พื้นที่รับน้ำ (Catchment Area) ตร.กม.

C = Runoff Coefficient

จากสูตร Rational Formula นี้เขียนโดยใช้สัญญลักษณ์ที่กล่าวมาแล้วได้ดังนี้

$$Q(R,T_C) = C \times I(R, T_C) \times A$$

จากข้อสมมุติฐาน (Assumptions) ของสูตรนี้ ปริมาณน้ำนองสูงสุดเมื่อมีฝนมี Duration เท่ากับ Time of Concentration (T_C) เมื่อฝนมี Duration ยาวกว่า Time of Concentration ปริมาณน้ำนองสูงสุดจะเกิดขึ้นที่เวลา T_C และคนมีปริมาณเท่ากันตลอดไปจนฝนหยุด ถ้าสมมติให้ความเข้มของฝนเท่ากันตลอด นั่นคือค่าปริมาณน้ำนองสูงสุดจะยังคงมีค่าเท่ากับ Q = 0.278 CIA

3.3.4.2 **Runoff Coefficient (C)**

อัตราของปริมาณน้ำนองจะเป็นสัดส่วนกับอัตราของฝน สำหรับแต่ละพายุฝนหนึ่ง สัดส่วนนี้จะขึ้นอยู่กับขนาดพื้นที่รับน้ำ รูปร่างพื้นที่รับน้ำ ภูมิประเทศ ต้นไม้ และปกคลุมพื้นที่ผิว พื้นที่รับน้ำ ฯลฯ สัดส่วนดังกล่าวนี้เรียกว่า Runoff Coefficient ซึ่งอาจจะมีค่าตั้งแต่ 0.01 สำหรับพื้นที่ราบมีต้นไม่หนาแน่น จนถึง 0.95 สำหรับพื้นที่ราบเรียบและทึบน้ำ (Imprevious) เช่น ผิวถนนและหลังคาบ้าน เป็นต้น

สำหรับชนิดของพื้นที่รับน้ำที่พบส่วนมากในการพิจารณาโครงการชลประทานจะมีลักษณะเป็นป่าโปร่ง พื้นที่บางส่วนได้ถูกพัฒนาเป็นพื้นที่เพาะปลูกแล้ว ค่าที่กำหนดขึ้น (ดังตารางท้ายนี้) ตามค่าความลาดเทเฉลี่ยของพื้นที่รับน้ำ สามารถนำมาใช้ในการคำนวณได้สำหรับการพิจารณาออกแบบอ่างเก็บน้ำ

Catcment Slope (%)	Runoff Coefficient (C)
0-2	0.3
2-4	0.4
>4	0.5

ค่า Runoff Coefficient สำหรับพื้นที่ผิวน้ำในอ่างเก็บน้ำจะมีค่าเท่ากับ 1.0 สิ่งนี้อาจจะมีผลทำให้ค่าของปริมาณน้ำนองผิวไปมาก ถ้าพื้นที่ผิวน้ำในอ่างเก็บน้ำใหญ่เกิน 10 %ของพื้นที่รับน้ำ ในกรณีนี้อาจทำการปรับค่า Runoff Coefficient เสียใหม่โดยใช้สูตรดังนี้

$$C = 1/A*[(A-S)*C+S]$$

เมื่อ S = Water Surface Area

A = Catchment Area

C = Runoff Coefficient

3.3.4.3 **Time of Concentration (T_C)**

Time of Concentration สำหรับพื้นที่ผิวน้ำก็คือ เวลาที่น้ำไหลจากจุดไกลสุดในพื้นที่รับน้ำมาถึงจุด Outlet หรือ Point of Interest การหาค่า T_C ของพื้นที่รับน้ำ สามารถคำนวณหาได้หลายวิธี ในที่นี้จะกล่าวถึงวิธีการหาค่า T_C จากค่าความเร็วเฉลี่ยของน้ำในพื้นที่รับน้ำ ซึ่งทำได้ง่ายและให้ผลถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับ เหมาะสำหรับพื้นที่รับน้ำขนาดเล็ก ในตารางท้ายนี้เป็นค่าความเร็วเฉลี่ยของน้ำไหลลงมาตามลำน้ำธรรมชาติในพื้นที่รับน้ำ ค่านี้จะขึ้นอยู่กับค่าความลาดเฉลี่ยของลำน้ำ ซึ่งใกล้เคียงกับค่าความลาดเทเฉลี่ยของพื้นที่ลุ่มน้ำ

Average Gradient of the Stream (%)	Average Velocity (m/sec.)
0-1	0.45
1-2	0.60
2-4	0.90
4-6	1.20
> 6	1.50

หมายเหตุ Slope ที่ใช้ในตารางนี้คือ Slope เดียวกันกับในตารางที่ใช้หาค่า Runoff coefficient

ถ้ากำหนดให้ L คือ ความยาวสุดของลำน้ำ (Watercourse) เป็นเมตร และ

V คือ ความเร็วเฉลี่ย เป็นเมตร/วินาที (จากตารางข้างบน)

Time of Concentration คำนวณหาได้จากสูตรดังนี้

$$T_C = \frac{6}{V \times 60} + 15 \quad \text{(นาที)}$$

เวลา 15 นาทีที่เพิ่มเข้าไป สมการเผื่อไว้สำหรับ Inlet Time ซึ่งเป็นเวลาสำหรับน้ำไหลจากปากแม่น้ำผ่านพื้นที่ผิวน้ำราบในอ่างเก็บน้ำไปถึงหัวเขื่อน หรือ Spillway (Outlet) โดยปกติ Inlet time นี้สามารถคำนวณได้จากขนาดความยาวของพื้นที่ผิวน้ำในอ่างเก็บน้ำ โดยทั่วไปจะใช้เวลา 2-20 นาที สำหรับอ่างเก็บน้ำขนาดเล็ก

3.3.4.4 **ความเที่ยงตรงของ Rational Formula**

Rational Formula เป็นสูตรที่ใช้ได้สะดวก ง่าย และให้ผลเป็นที่น่าพอใจ สำหรับพื้นที่รับน้ำขนาดเล็กไปถึง 4 ตารางกิโลเมตร (1000 เอเคอร์) อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันเป็นที่ยอมรับกันว่า Rational Formula นี้ให้ผลเป็นที่เชื่อถือได้ในพื้นที่ขนาดใหญ่ขึ้นไปจนถึงไม่เกิน 50 ตร.กม. สำหรับพื้นที่ขนาดใหญ่ Rational Formula จะให้ค่าที่สูงเกินไป และนิยมให้หาโดยวิธีอื่นแทน

ความจริงแล้วความถูกต้องของสูตรนี้ขึ้นอยู่กับการพิจารณาเลือกใช้ค่า Runoff Coefficient และค่าอัตราความเข้มของฝนที่ใช้แทนค่าในสูตร ซึ่งเป็นที่แน่นอนว่าการพิจารณาเลือกใช้ค่าต่าง ๆ และผลที่ได้จากการคำนวณจะแตกต่างกันไป อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่า Rational Formula จะมีข้อเสียดังกล่าว วิศวกรส่วนใหญ่ยังคงนิยมใช้กันมากกว่าวิธีอื่น เมื่อใช้กับพื้นที่ขนาดเล็ก โดยกำหนดมาตรฐานค่าของ C. และรอบปีการเกิดของฝน เพื่อให้ค่าความผิดพลาดน้อยลง

3.3.5 Inflow Flood Hydrograph

จากวิธีการคำนวณและเลือกใช้ปริมาณน้ำสูงสุดที่เกิดขึ้นในรอบปีต่าง ๆ เพื่อใช้ในการคำนวณออกแบบ (Design Flood) ดังที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น เป็นค่าที่บอกเฉพาะค่าปริมาณน้ำสูงสุดที่เกิดขึ้นเพียงอย่างเดียว แต่งานออกแบบเก็บกักหรือทางระบายน้ำล้น (Spillway) จำเป็นต้องรู้ค่าปริมาณของ Inflow หรือขนาดของ Flood ขณะที่เกิด Flood ด้วย นั่นก็คือรูปร่างของ Flood Hydrograph นั่นเอง

ในการเลือก Flood Hydrograph สามารถหาได้จาก Unit Hydrograph สำหรับพื้นที่ซึ่งมีข้อมูลการวัดน้ำเพียงพอและนิยมใช้ Synthetic unit hydrograph ในพื้นที่ไม่มีข้อมูลการวัดน้ำซึ่งมีอยู่หลายวิธีเช่น วิธี Synder's method, Taylor and Schwarz และ Triangular method เป็นต้น แล้วนำ Synthetic unit hydrograph นี้ไป Combine กับ Design flood หรือ Design storm rainfall ที่เลือกไว้ จะได้ค่า Inflow ในช่วงเวลาต่าง ๆ สามารถนำไปใช้ในการคำนวณออกแบบอาคารต่าง ๆ ได้ในการคำนวณหาขนาดของอาคารระบายน้ำล้น (Spillway) จะต้องทำ Flood Routing ผ่านอ่างเก็บน้ำและอาคารอีกตอนหนึ่ง จึงจะสามารถกำหนดขนาดทางระบายน้ำล้นและความสูงของสันเขื่อนจากสันของทางระบายน้ำล้นได้

3.4. การตกตะกอน (Sedimentation)

ตะกอนที่ไหลมาตามน้ำมีความสำคัญต่องานชลประทาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งโดยโครงการชลประทานประเภทอ่างเก็บน้ำ เพราะจะมีผลต่ออายุการใช้งานของโครงการ และระบบชลประทานที่เกี่ยวข้อง ตะกอนที่ไหลมากับน้ำแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ (1) Bed load ได้แก่ ตะกอนที่มีขนาดใหญ่เช่น กรวด ทราย ตะกอนชนิดนี้จะไหลกลิ้งมาตามท้องลำน้ำ และไปตกจมอยู่บริเวณปากลำน้ำที่บรรจบกับอ่างเก็บน้ำ (2) Suspended load คือตะกอนขนาดเล็กส่วนใหญ่จะเป็นพวก Silt และ Clay จะไหลปนมากับน้ำในลักษณะแขวนลอย ตะกอนชนิดนี้จะตกจมอยู่ทั่วไปในอ่างเก็บน้ำ โดยเฉพาะบริเวณที่มีน้ำนิ่ง

3.4.1 **องค์ประกอบสำคัญที่มีผลต่อการรตกตะกอน**

องค์ประกอบที่มีผลต่อการปริมาณการตกตะกอนได้แก่

1. ฝน หมายถึงทั้งปริมาณและความเข้มของฝนที่ตก

2. ลักษณะของดินและความแน่นของผิวดิน ถ้าเป็นดินร่วนและเม็ดดินมีขนาดเล็กจะถูกพาได้ง่าย

3. สภาพการปกคลุมของพื้นที่เช่น ถ้าเป็นป่าทึบจะมีตะกอนน้อยกว่าป่าโปร่ง

4. สภาพภูมิประเทศถ้าลาดชันมากน้ำจะไหลแรง การกัดเซาะจะเกิดขึ้นมาก

5. ลักษณะการใช้ที่ดินถ้ามีการปลูกพืชคลุมดินอยู่เสมอ อัตรการกัดเซาะก็จะน้อยลง

องค์ประกอบต่าง ๆ ที่ได้กล่าวมาจะเห็นได้ว่าปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นจะผันแปรไปตามสภาพการณ์ต่าง ๆ ที่ไม่แน่นอน และมีการเปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลา ฉะนั้นในการคำนวณหาปริมาณตะกอนจึงเป็นเรื่องที่ยุ่งยากและได่ผลไม่แน่นอน ได้มีผู้พยายามศึกเพื่อหาสูตรที่ใช้ในการคำนวณและหาความสัมพันธ์ของปริมาณตะกอนกับปริมาณน้ำฝนขึ้นมาใช้บ้าง แต่ก็ได้ผลไม่ถูกต้องนัก เพียงแต่ใช้เป็นแนวทางในการคาดคะเนเพื่อประกอบในการพิจารณาวางแผนเท่านั้น

3.4.2 **ผลกระทบของการตกตะกอน (Effects of Sedimentation)**

ตะกอนที่ไหลมากับน้ำและตกจมอยู่ตามจุดต่าง ๆ มีผลกระทบต่อโครงการชลประทานสรุปได้ดังนี้

1. แม่น้ำ ตะกอนที่ตกจมในลำน้ำหรือแม่น้ำจะทำให้แม่น้ำนั้นตื้นเกินไป เป็นเหตุให้น้ำมีระดับสูง และเกิดน้ำท่วมบ่อยครั้งขึ้น และยังเป็นเหตุทำให้เกิดการกัดเซาะตลิ่งหรือเกิดเป็นลำน้ำสายใหม่ขึ้น

2. คลองส่งน้ำ เมื่อส่งน้ำชลประทานที่มีตะกอนสูงเข้าคลอง จะทำให้คลองส่งน้ำตื้นเขิน เป็นเหตุให้ความสามารถในการส่งน้ำลดน้อยลง และต้องเสียค่าใช้จ่ายในการขุดลอกสูง

3. อ่างเก็บน้ำ การตกจมของตะกอนในอ่างเก็บน้ำจะทำให้ความจุของอ่างลดลง ตะกอนที่ตกจมลงในอ่างเก็บน้ำส่วนใหญ่จะไหลมากับน้ำในฤดูฝน และมีบางส่วนที่เกิดจากการกัดเซาะของตลิ่ง ตะกอนขนาดใหญ่จะตกจมบริเวณตอนเหนือของอ่าง ตะกอนที่มีขนาดเล็กจะตกจมบริเวณตัวเขื่อน ประตูระบาย และทั่วบริเวณพื้นที่เก็บน้ำของอ่าง และตอนขนาดเล็กบางส่วนจะไหลไปกับน้ำที่ระบายทิ้งทางด้านท้ายเขื่อน

4. อาคาร ตะกอนที่ตกจมบริเวณอาคารชลประทานเช่น ฝาย ประตูอัดน้ำ และบานระบาย จะทำให้มีปัญหาในการรทำงานหรือปิด-เปิดบาน ตะกอนที่ตกจมเป็นสันสูงด้านเหนือ

น้ำจะกีดขวางทางน้ำทำให้น้ำไหลเข้าสู่อาคารรได้น้อยลง ส่วนตะกอนที่ตกจมด้านท้ายอาคารจะทำให้ลำน้ำท้ายอาคารตื้นเขินไม่สามารถระบายน้ำได้

5. คลองระบายน้ำ ตะกอนที่ตกจมในคลองระบายน้ำจะทำให้คลองตื้นไม่สามารถระบายน้ำออกได้ทัน เกิดปัญหาน้ำท่วมพื้นที่เพาะปลูกทำให้เกิดความเสียหาย

3.4.3 การสำรวจหาปริมาณการตกตะกอน

วิธีการประเมินค่าปริมาณตะกอนที่ตกจมในอ่างเก็บน้ำทั่ว ๆ ไปมี 2 วิธีคือ

1. เก็บตัวอย่างตะกอนที่ลอยมากับน้ำ
2. สำรวจปริมาณตะกอนจากอ่างเก็บน้ำ

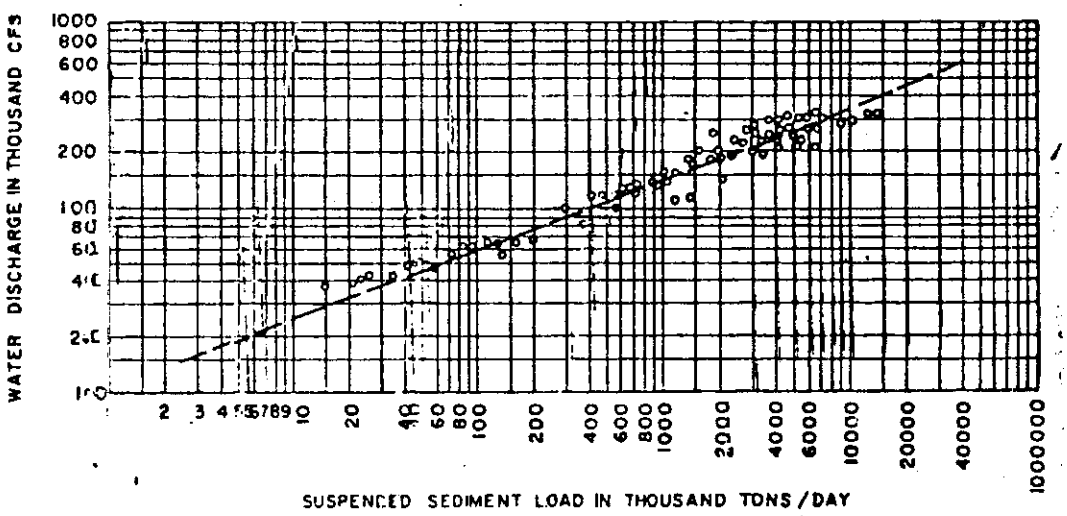
(1) วิธีเก็บตัวอย่างตะกอนที่ลอยมากับน้ำ (Sampling of Suspended Load) เป็นวิธีการหาปริมาณตะกอนในลำน้ำโดยตรง ซึ่งอาจแบ่งขั้นตอนไปดังนี้

ขั้นที่ 1 เก็บตัวอย่างน้ำจากลำน้ำที่มีอัตราการไหลต่างกัน แล้วนำมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักตะกอน (นน.แห้ง) และปริมาณน้ำที่เก็บมา เมื่อรู้เปอร์เซนต์ของตะกอนโดยน้ำหนักและอัตราการไหลของน้ำในลำน้ำขณะเก็บตัวอย่างก็สามารถคำนวณปริมาณของตะกอนออกมาเป็นตันต่อวันได้ นำค่าน้ำหนักของตะกอนต่อวันมาพล็อตกับค่าปริมาณน้ำไหลขณะเก็บตัวอย่าง จะได้กราฟ Sediment rating curve (รูปที่ 3.8)

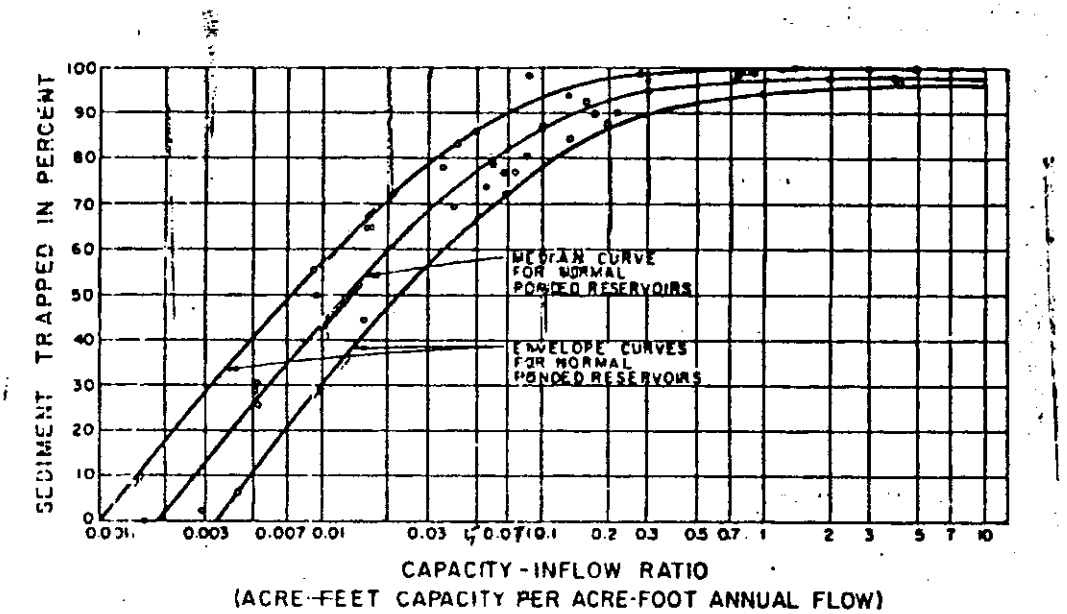
ขั้นที่ 2 ทำการคำนวณหาน้ำหนักตะกอนทั้งหมดสำหรับปีเฉลี่ยโดยใช้ Sediment rating curve ร่วมกับ Flow-duration-curve ของน้ำท่าปีเฉลี่ย ซึ่งแสดงเปอร์เซนต์ของเวลาและปริมาณน้ำท่า โดยการนำเอาจำนวนวันคูณด้วยน้ำหนักตะกอนต่อวันแล้วนำปริมาณตะกอนที่เกิดในแต่ละช่วงเวลามารวมกัน จะได้เป็นปริมาณตะกอนเฉลี่ยที่ไหลมากับน้ำเฉลี่ยในแต่ละปี

ขั้นที่ 3 ทำการหาปริมาณณตะกอนที่ตกลงในอ่างเก็บน้ำเป็นเปอร์เซนต์ของตะกอนที่ไหลมาทั้งหมดที่วัดได้ ซึ่งเรียกว่า Trap Efficiency Brune ได้ทำการศึกษาจากอ่างเก็บน้ำหลายแห่ง และได้พบว่าเปอร์เซนต์การตกตะกอน (Trap Efficiency) จะมีความสัมพันธ์กับอัตราส่วนของความจุอ่างเก็บน้ำ (Reservoiir Capacity) และปริมาณน้ำที่ไหลเข้ามาในแต่ละปี (Annul Inflow) ดังแสดงไว้เป็นกราฟใน รูป 3.9

จากรูปจะเห็นว่าค่า Trap Efficiiency จะมีค่าประมาณ 80 % (เส้นกลาง) เมื่อความจุของอ่างเก็บ 6% ของปริมาณน้ำไหลเข้าในหนึ่งปี


WATER DISCHARGE IN THOUSAND CFS
1000
800
600
400
200
100
80
60
40
20
10
2 3 4 5 6 7 8 9 10 20 40 60 80 100 200 400 600 800 1000 2000 4000 6000 10000 20000 40000 1000000
SUSPENDED SEDIMENT LOAD IN THOUSAND TONS / DAY

รูปที่ 3.8


SEDIMENT TRAPPED IN PERCENT
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0.003 0.007 0.01 0.03 0.07 0.1 0.2 0.3 0.5 0.7 1 2 3 5 7 10
MEDIAN CURVE FOR NORMAL PONDED RESERVOIRS
ENVELOPE CURVES FOR NORMAL PONDED RESERVOIRS
CAPACITY - INFLOW RATIO
(ACRE-FEET CAPACITY PER ACRE-FOOT ANNUAL FLOW)

รูปที่ 3.9

จากขั้นตอนทั้งหมดที่ได้กล่าวมาจะสามารถหาปริมาณตะกอนที่ตกจมในอ่างแต่ละปีได้ปริมาณตะกอนทั้งหมดที่คาดว่าจะตกจมในอ่างตลอดอายุการใช้งานสามารถคำนวณได้เมื่อทราบอายุการใช้งานของอ่างเก็บน้ำนั้น การเปลี่ยนปริมาณตะกอนจากน้ำหนักเป็นปริมาตรจะทำได้เมื่อรู้ค่า Unit weight ของตะกอน ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดและชนิดตะกอน จากตัวอย่างที่ได้ศึกษาพบว่าค่า Unit weight ของตะกอนจะมีค่าระหว่าง 30-100 ปอนด์/ลบ.ฟุต โดยทั่วไปจะใช้ค่า 70 ปอนด์/ตร.ฟุต เมื่อไม่รู้ค่า Unit weight ที่แน่นอน

(2) สำรวจปริมาณตะกอนจากอ่างเก็บน้ำ

อัตราการตกตะกอนในอ่างเก็บน้ำ อาจจะคำนวณได้จากข้อมูลที่ได้ทำการวัดโดยตรงจากอ่างเก็บน้ำที่ได้สร้างขึ้นแล้ว ปริมาณตะกอนที่ตกสะสมในอ่างเก็บน้ำแต่ละปีจะหาได้จากการสำรวจทางภูมิประเทศและอุทกวิทยาและคำนวณปริมาณตะกอนออกมาเป็น เอเคอร์-ฟุต ต่อ ตร.ไมล์ต่อปี หรือปริมาตร/พื้นที่รับน้ำ/ปี ค่า Unit weight จะหาได้จากตัวอย่างตะกอนที่ได้เก็บขึ้นมา

จากการสำรวจอ่างเก็บน้ำมากกว่า 1,000 แห่ง โดยหน่วยงานรัฐบาลของสหรัฐอเมริกา ในช่วงเวลา 3 ปี ตั้งแต่ปี 1949 ได้ข้อมูลสรุปโดยแยกเป็น Hymiif Region และ Semiarid Region ดังตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 Rate of Reservoir Sedimentation (Acre-Feet per sq.mile per year)

	Humid	Region	Semiarid	Region
Drainage Area (Sq.mile)	Lower Range	Upper Ragne	Lower Range	Upper Range
10	0.4	1.5	0.8	3.5
100	0.3	1.2	0.6	2.5
1000	0.2	0.8	0.4	1.7
5000	0.18	0.7	0.3	1.0
10000	-	-	0.2	0.9

การนำผลไปใช้จะต้องพิจารณาถึงองค์ประกอบต่าง ๆ เหล่านี้

-ขนาดของพื้นที่รับน้ำ (Drainage Area)

-สภาพทางอุทกวิทยา โดยเฉพาะปริมาณน้ำฝน

-สภาพทางกายภาพของพื้นที่รับน้ำเช่น ภูมิประเทศ ปฐพีวิทยา และธรณีวิทยา การปกคลุมพื้นที่และการใช้ที่ดิน

-Trap efficiency หรืออัตราส่วนของ Reservoir Capacity และ annual Inflow

-และความยาวของข้อมูลที่ได้ทำการศึกษา ไม่ควรน้อยกว่า 10 ปี องค์ประกอบต่าง ๆ ที่ได้กล่าวมาจะต้องมีสภาพที่ใกล้เคียงกัน

3.4.4 การคำนวณปริมาณตะกอน

จากการสำรวจและเก็บข้อมูลการวัดปริมาณตะกอนจากแม่น้ำสายต่าง ๆ ในประเทศไทยและในประเทศเพื่อนบ้านใกล้เคียง การชลประทานได้พัฒนาเป็นสูตรการคำนวณหาปริมาณตะกอนขึ้นใช้สำหรับโครงการชลประทานขนาดกลางและขนาดเล็กดังนี้

$$V = C*d*A*n*10^3$$

เมื่อ V = ปริมาณตะกอนที่ตกจมในอ่าง (ม.^{3})

C = Coefficient of terrain's Slope

d = อัตราการกัดเซาะผิวดิน (มม./ปี/ตร.กม.)

A = พื้นที่รับน้ำ (ตร.กม.)

n = อายุการใช้งานของอ่างเก็บน้ำ (ปี)

(1) ค่า Coefficient of Terrain's Slope (C)

ค่า Slope หมายถึง Slope ของพื้นที่รับน้ำไหลลงอ่างเพื่อสะดวกในการหา Slope จึงกำหนดให้ใช้ Slope ของลำน้ำบริเวณที่ตั้งหัวงานแทน ซึ่งได้กำหนดค่าไว้ดังนี้

Slope ของลำน้ำในบริเวณต่าง ๆ	C
< 1 : 200	1.00
1:200-1:500	0.90
1:500-1:1,000	0.80
> 1:1,000	0.70

(2) อัตราการกัดเซาะผิวดิน (d)

ในการคำนวณตะกอนของลำน้ำต่าง ๆ ในประเทศไทย กำหนดให้ใช้เกณฑ์อัตราการกัดเซาะผิวดินไว้ดังนี้

พื้นที่รับน้ำ กม.^{2}	อัตราการกัดเซาะผิวดิน มม./ปี/กม.^{2}		
	ป่าปกคลุมดี	ป่าถูกทำลายบางส่วน	ป่าถูกทำลายมาก 50%
น้อยกว่า 100	0.20	0.25	0.30
100-1000	0.15	0.20	0.25
มากกว่า 1000	0.10	0.15	0.20

อายุการใช้งานของอ่างเก็บน้ำพิจารณาตามความเหมาะสมตามขนาด ลักษณะการใช้งาน และค่าลงทุนของโครงการ

3.5. คุณภาพของน้ำชลประทาน (Quality of Irrigation Water)

โครงการชลประทานนอกจากจะต้องคำนึงถึงปริมาณน้ำที่จะต้องจัดหามา เพื่อช่วยเหลือในการเพาะปลูกในฤดูกาลได้ทันตามความต้องการของพืชแล้ว ยังต้องคำนึงถึงคุณภาพของน้ำที่จะนำมาใช้ในการชลประทานนั้นด้วย ปัจจุบันเป็นที่ยอมรับกันแล้วว่าคุณภาพของน้ำชลประทานมีความสำคัญยิ่ง การใช้น้ำชลประทานที่มีเกลือ (Soline Water) จะทำให้ผลผลิตลดลงถ้าน้ำที่ใช้เป็นอ่าง (Sodie Water) จะทำให้คุณสมบัติของดินเสีย ซึ่งก็จะทำให้ผลผลิตลดลงในที่สุด

ในพื้นที่ที่มีสภาพอากาศแห้งแล้ง (Arid Climetes) เกลืออาจจะเกิดขึ้นจากการสลายตัวของแร่ธาตุตามธรรมชาติจากสภาพดินฟ้าอากาศ และเกิดจากการสะสมของเกลือจากน้ำชลประทาน ทำให้ปริมาณเกลือในพื้นที่เพาะปลูกสะสมเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ ในกรณีดังกล่าวโครงการชลประทานจำเป็นต้องมีแผนการชะล้างเกลือ (Leaching) และจัดระบบระบายน้ำที่ดีไว้ด้วยเพื่อรักษาระดับปิมาณเกลือให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยและสามารถใช้พื้นที่เพาะปลูกต่อไปได้

ในปัจจุบันแหล่งน้ำมีจำกัดมากขึ้น ได้มีการนำเอาน้ำชลประทานที่ใช้แล้ว ซึ่งมักจะมีปริมาณเกลือและโซเดี่ยมสูงขึ้นกลับมาใช้อีกครั้ง ฉะนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการศึกษาเกี่ยวกับคุณภาพของน้ำและผลกระทบต่อผลผลิต รวมทั้งมีการจัดการที่เหมาะสมด้วยจึงจะสามารถนำน้ำที่ใช้แล้วกลับมาใช้อีกได้อย่างมีประสิทธิผล

คุณสมบัติของน้ำชลประทาน (Properties of Irrigation Water)

คุณสมบัติของน้ำชลประทานที่สำคัญ 4 ประการ ซึ่งจำเป็นจะต้องศึกษาก่อนนำไปใช้ในการชลประทานคือ

1. ความเข้มข้นของเกลือที่ละลายอยู่ในน้ำ (Total Concentraton of Soluble Salts) หรือ Salinity

2. ความเข้มข้นของโซเดียมที่สัมพันธ์กับประจุบวกของธาตุอื่น (Concentra-tion of Sodium Relative to Other Cations) หรือ Sodicity

3. ความเข้มข้นประจุลบของ Bicarbonate และ Carbonate

4. ความเข้มข้นของธาตุ Boron และธาตุอื่นที่เป็นพิษต่อพืช

3.5.1 ความเข้มข้นของเกลือทั้งหมด (Total Salt Concentration)

เกลือมีผลกระทบต่อความสามารถในการดูดน้ำของพืช หรือ Osmotic pressure ซึ่ง Osmotic Pressure นี้จะสัมพันธ์กับความเข้มข้นของเกลือทั้งหมดที่ละลายอยู่ในน้ำ วิธีการกำหนดค่าความเข้มข้นของเกลือทำได้ 2 วิธีคือ

1) **Total Dissolved Solids (TDS)**

ทำโดยการนำน้ำที่กรองแล้วไปทำให้แห้งใน Platinum dish แล้วนำไปชั่งหาน้ำหนักของตะกอนที่เหลืออยู่ มีหน่วยวัดเป็นมิลลิกรัมของเกลือต่อน้ำสารละลาย 1 ลิตร หรือเป็น Parts Permillion (ppm) วิธีนี้จะให้ค่าที่ถูกต้อง เมื่อน้ำนั้นไม่มีสารละลาย Bicarbonate เพราะสาร Bicarbonate จะสลายตัวไปประมาณครึ่งหนึ่งเมื่อถูกความร้อน ซึ่งจะทำให้ค่า TDS ผิดไป

2) **Electrical Conductivity, ECC**

เป็นวิธีการวัดหาปริมาณเกลือโดยวิธีวัดความต้านทานและกระแสไฟฟ้าระหว่างขั้ว Electrodes 2 อัน ที่จุ่มอยู่ในสารละลาย น้ำบริสุทธิ์จะเป็นตัวนำไฟฟ้าที่เลว หากน้ำมีสารละลายเกลืออยู่จะสามารถเป็นตัวนำไฟฟ้าได้ ซึ่งความสามารถเป็นตัวนำไฟฟ้านี้จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณของเกลือที่ละลายอยู่ในน้ำนั้น ค่าที่ใช้วัดเป็น EC และมีหน่วยเป็น mho/m หรือ Siemens/m (S, m^{-1}) ใน SI unit เพื่อความสะดวกในการใช้งานนิยมใช้หน่วยเป็น mho/cm (mho. cm^{-1}), milli mho/cm (m mho.cm^{-1}) และ micro mho/cm (μ mho. cm^{-1})

1 mho. cm^{-1} = 100 mho. m^{-1} = 100 s.m^{-1}

ค่า EC ที่วัดจากสารละลายเดียวกันจะมีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 2% เมื่ออุณหภูมิของสารละลายเพิ่มขึ้น $1^{\circ}C$ ฉะนั้นเพื่อให้ค่าที่ใช้วัดเป็นมาตรฐานเดียวกัน จึงกำหนดให้ใช้

อุณหภูมิที่ 25° C เป็นมาตรฐานในการรายงานผลการทดสอบและใช้สัญญลักษณ์เป็น $EC_{25}°$ ส่วนการวัดค่า EC ที่อุณหภูมิต่าง ๆ สามารถเปลี่ยนค่าเป็น $EC_{25}°$ ได้โดยใช้ Correction Table (Richards, 1954) หรือค่า Correction ที่กำหนดไว้สำหรับแต่ละเครื่องมือที่ใช้วัด

ค่า TDS และ $EC_{25}°$ ที่ใช้วัดหาปริมาณความเข้มข้นของเกลือในสารละลายจะมีความสัมพันธ์กันเป็นเส้นตรง (Dinear Relationship) เมื่อความเข้มข้นสูงขึ้นไปจนถึง 10 μ mho. cm^{-1} (รูป 3.10) ความสัมพันธ์นี้สามารถเขียนเป็นสูตรได้ดังนี้

$$\text{TDS (ppm)} = 640 \times \text{EC } (\mu \text{ mho. cm})$$

ความสัมพันธ์ระหว่าง Osamtic Pressure ที่จะสามารถดึงน้ำจากดินไปใช้ได้กับ EC มีลักษณะเป็นเส้นตรงดังในรูป 3.11 ซึ่งช่อง OP ที่พืชจะสามารถดูดเอาน้ำไปใช้ได้ที่ระดับ EC ต่าง ๆ กัน เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\text{OP} = 0.36 \times \text{EC } (\mu \text{ mho. cm})$$

จากการวัดหาปริมาณสารละลายของเกลือในน้ำโดยวิธี EC สามารถจำแนกคุณภาพของน้ำตามปริมาณความเข้มข้นของสารละลายเกลือออกเป็น 4 ชั้นดังนี้คือ

Electrical Conductivity micromhos/cm at 25° C	Salinity Assessment
< 250	Low Salinity
250 - 750	Medium Salinity
750 - 2250	High Salinity
> 2250	Very High Salinity

น้ำที่มี Salinity ต่ำเหมาะสมกับพืชทั่วไป แต่เมื่อระดับ Salinity สูงขึ้นความเหมาะสมจะน้อยลง สำหรับพืชที่ Sensitive ต่อเกลือ และดินที่น้ำซึมผ่านได้ยาก (Low permeability) โดยทั่วไปน้ำที่มี EC ต่ำกว่า 250 micromho/cm ใช้ได้ดีในการชลประทานทั่วไป แต่ก็อาจจะมีผลกระทบต่อพืชที่ไวต่อเกลือบ้างในช่วง 250-750 micromho/cm สำหรับน้ำที่มี EC ในช่วง 750-2250 micromho/cm สามารถนำไปใช้ทำการชลประทานได้เป็นที่น่าพอใจ ถ้ามีการจัดการและมีการจัดระบบระบายน้ำที่ดี ส่วนน้ำที่มี EC สูงกว่า 2250 micromho/cm โดยทั่วไปไม่เหมาะสำหรับการชลประทาน แต่อย่างไรก็ตามมีพืชบางชนิดที่ทนต่อเกลือ สามารถเจริญเติบโตได้ดีกับสภาพของน้ำเช่นนี้ ถ้าดินชั้นล่างมีการระบายน้ำที่ดี

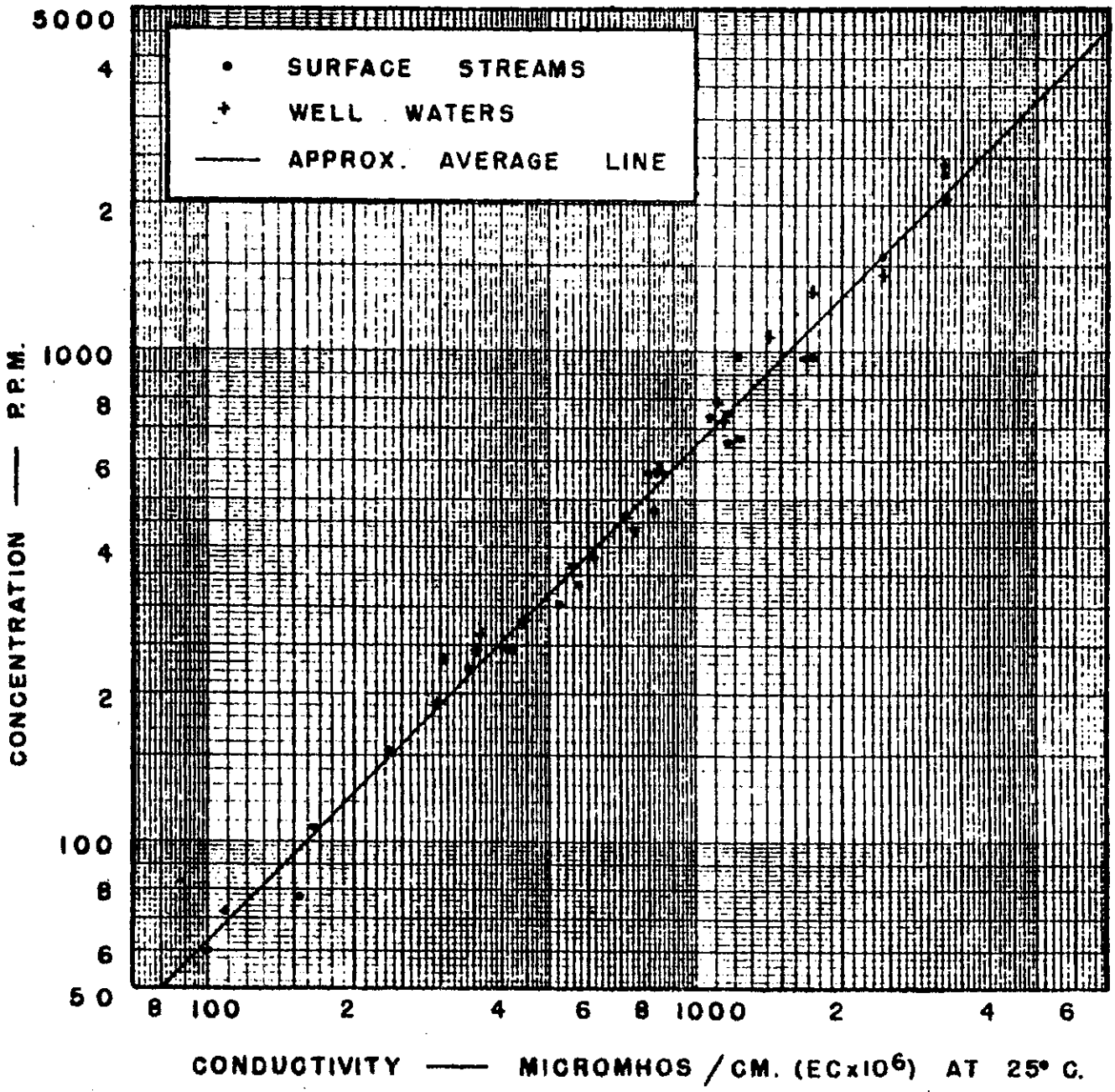


FIGURE 21.—Concentration of irrigation waters in parts per million as related to conductivity.

รูปที่ 3.10 Concentration of irrigation water in parts per million as related to conductivity

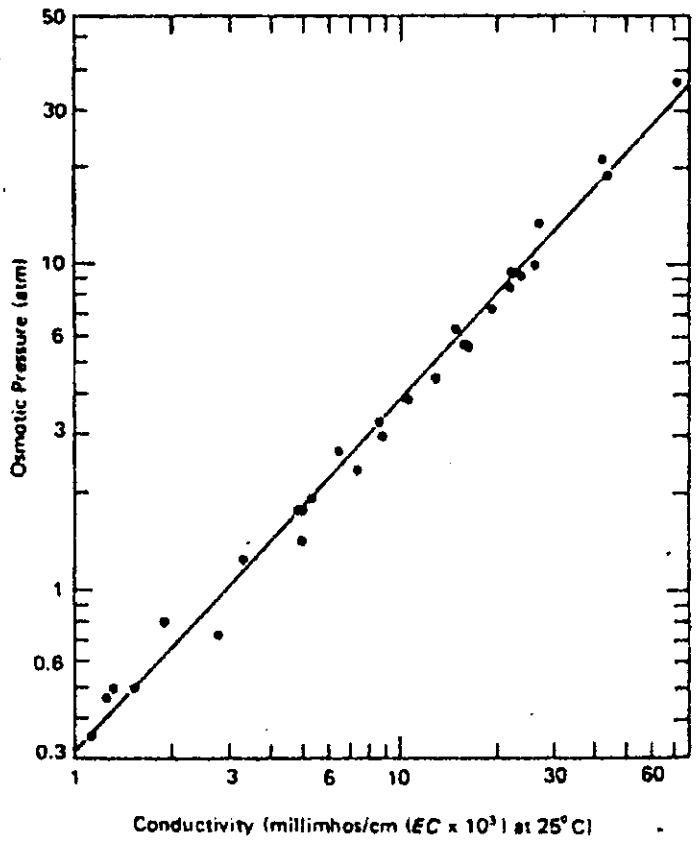


Figure II.3 Osmotic pressure of soil extracts as related to electrical conductivity.

รูปที่ 3.11

3.5.2 **ความเข้มข้นของโซเดียม** (Sodicity)

แร่ธาตุที่ละลายอยู่ในน้ำชลประทานจะมีผลต่อดินในรูปของประจุ (Ions) มากกว่า โมเลกุล (Molecules) ธาตุที่ให้ประจุบวก (Cations) หลักคือ แคลเซียม แมกเนเซียม และโซเดียม ส่วนโปแตสเซียมมีบ้างเพียงเล็กน้อย ธาตุที่ให้ประจุลบ (Anions) ส่วนใหญ่คือคาร์บอเนต ไบคาร์บอเนต ซัลเฟต และคลอไรด์ พร้อมด้วยฟลูออไรด์และไนเตรต มีปรากฏอยู่บ้างเล็กน้อย ความเป็นด่างหรืออันตรายของเกลือโซเดียม (Sodium harzard) หาได้จากความสัมพันธ์ของประจุบวกของโซเดียมและแคลเซียมกับแมกเนเซียม ถ้าสัดส่วนประจุบวกของโซเดียมสูงขึ้น อันตรายจากเกลือโซเดียมจะสูงขึ้น ในทางตรงกันข้าม ถ้าประจุบวกของแคลเซียมและแมกเนเซียมสูงขึ้น อันตรายจากเกลือโซเดียมจะลดน้อยลง อย่างไรก็ตามอันตรายจากเกลือโซเดียมยังขึ้นอยู่กับอัตราการดูดซึมของดินด้วย

เกณฑ์การวัดหาอันตรายจากเกลือโซเดียมในน้ำชลประทาน คณะทำงานของ U.S. Salinity Laboratory ได้แนะนำให้ใช้ sodium Adsorption Ration (SAR) เป็นเกณฑ์ในการวัด โดยกำหนดเป็นอัตราส่วนดังนี้

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}}$$

เมื่อ Na, Ca และ Mg คือปริมาณความเข้มข้นเป็น Meq/litre (Sodium harzard) แต่การจะกำหนดชั้นคุณภาพของน้ำชลประทานจากอันตรายโซเดียมค่อนข้างยุ่งยาก กว่าการกำหนดจากอันตรายจากเกลือ (Salinity harzard) เนื่องจากอันตรายโซเดียมนั้นขึ้นอยู่กับอัตราการดูดซึมโซเดียมของดิน หรือเปอร์เซนต์โซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangable Sodium Percentage, ESP) ซึ่งค่า ESP นี้ยังผันแปรผกผันกับค่าของ EC ด้วย

USDA ได้สร้าง Diagram สำหรับจำแนกชั้นคุณภาพของน้ำชลประทานดังในรูป 3.12 โดยใช้ Electrical Conductivity (micro mho/cm) และ Sodium Adsorption-Ration เป็นเกณฑ์กำหนด

กราฟที่แสดงในรูปสร้างจากสมการที่ได้จากการทดลอง (Empirical Equation) ดังนี้คือ

กราฟเส้นบน	: S = 43.75 - 8.87 (log C)	เมื่อ
กราฟเส้นกลาง	: S = 31.31 - 6.66 (log C)	S=Sodium Adsorption-Rotio
กราฟเส้นล่าง	: S = 18.87 - 4.44 (log C)	C=Electrical Conductivity

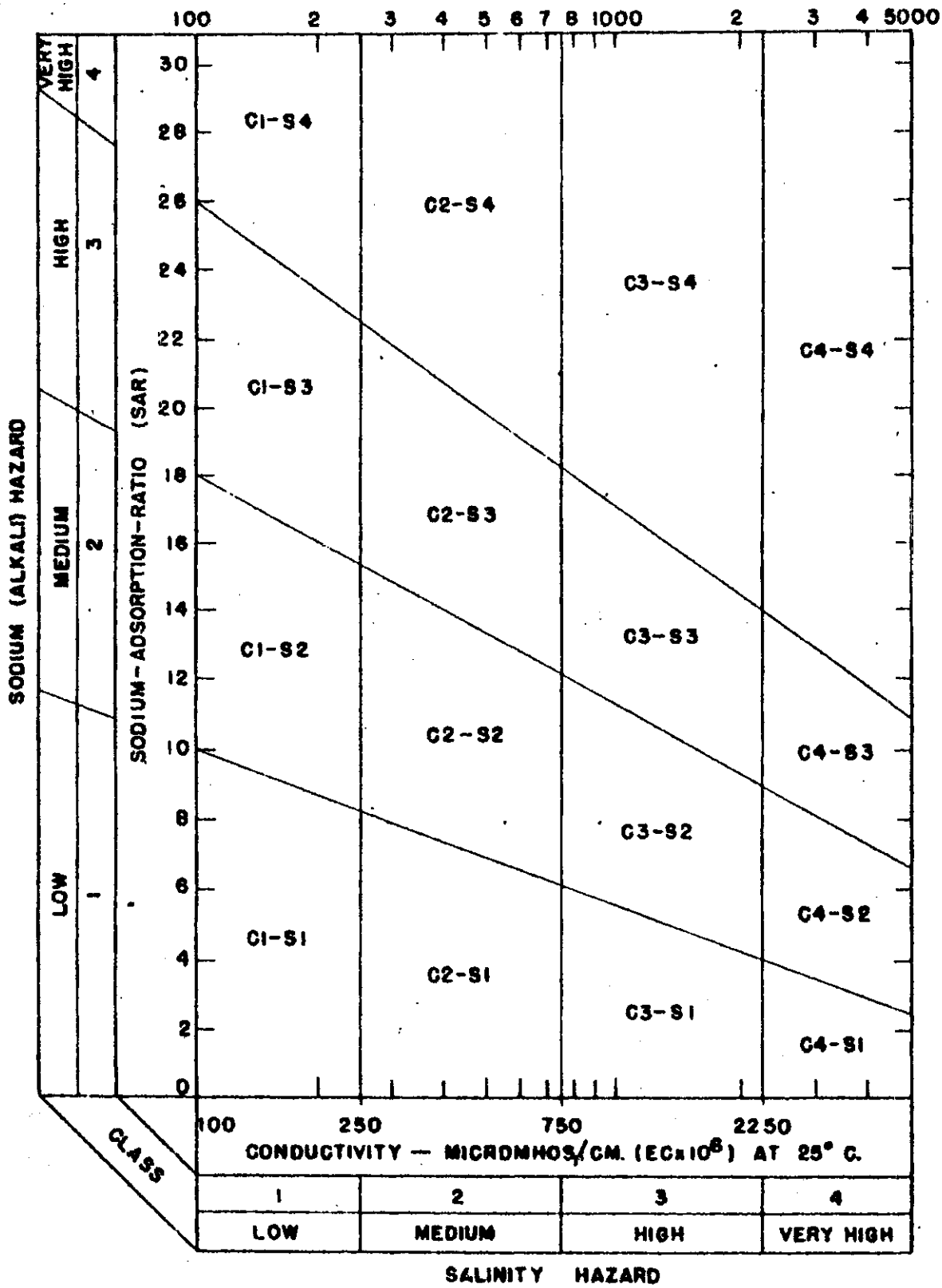


FIGURE 25.—Diagram for the classification of irrigation waters.

รูปที่ 3.12

CONDUCTIVITY:

Low-Salinity (C) สามารถใช้ทำการชลประทานได้กับพืชและดินทุกชนิดแนวโน้มในการรเกิดดินเค็มมีน้อย ยกเว้นดินที่มี Permeability ตัวมาก อาจต้องทำการ Leaching บ้าง

Medium-Salinity water (C_2) ใช้ได้กับพืชที่ทนต่อเกลือได้ปานกลาง โดยไม่ต้องมีการควบคุมปริมาณรเกลือเป็นพิเศษ ดินควรเป็นดินที่มี Permeability ค่อนข้างสูงหรือการ Leaching ระดับปานกลาง

High-Salinity Water (C_3) ไม่สามารถใช้ได้กับดินที่ระบายน้ำได้ไม่ดีและแม้จะจัดระบบระบายน้ำที่ดีก็จะต้องมีการจัดการในการควบคุมปริมาณเกลือเป็นอย่างดี พืชที่ปลูกควรเลือกพืชที่ทนต่อเกลือได้ดี (Salt-toterant Crops)

Very-high Salinity Water (C_4) ภายใต้สภาพปกติไม่ควรทำการชลประทาน แต่อาจจะใช้ได้เป็นครั้งคราวในกรณีพิเศษ เมื่อดินมี Permeability สูง มีการจัดระบบระบายน้ำเป็นอย่างดี ปริมาณน้ำที่ส่งให้ควรมีปริมาณสูงเพื่อการ Leaching ด้วย และพืชที่ปลูกต้องเป็นพืชที่ทนเกลือได้สูงด้วย

SODIUM :

การกำหนดชั้นคุณภาพของน้ำจาก SAR ขึ้นอยู่กับผลกระทบจาก Exchangable Sodium ที่มีอยู่ในดินด้วย พืชที่ไวต่อ Sodium อาจได้รับอันตรายได้หาก Sodium สะสมอยู่ในเซลของพืช แม้น้ำที่ให้จะมี Sodium น้อยกว่าเกณฑ์กำหนดก็ตาม

Low sodium Water (S_1) สามารถใช้ทำกาชลประทานกับดินทุกชนิดโอกาสเพิ่มปริมาณ Exchangable Sodium มีบ้างเล็กน้อย อย่างไรก็ตามสำหรับพืชที่ทนต่อโซเดียมอาจเป็นอันตรายได้เนื่องจากการสะสมของโซเดียม

Medium Sodium Water (S_2) จะแสดงผลชั้นอันตรายต่อดินเนื้อละเอียดซึ่งมี Cation-Exchangable-Capacity สูง โดยเฉพาะในสภาพที่มีการชะล้างต่ำเว้นแต่จะมีการใส่ยิปซั่มเพิ่มเข้าไปในดิน น้ำในชั้นนี้สามารถใช้ได้กับดินเนื้อหยาบหรือดินอินทรีย์ที่มีการระบายน้ำที่ดี

High Sodium Water (S_3) แสดงผลชั้นอันตรายต่อดินเกือบทุกชนิด ต้องการการจัดการและการระบายน้ำที่ดี การใช้ยิปซั่มเพื่อลดระดับ Exchangable Sodium อาจไม่ได้ผลดีนัก

Very High Sodium Water (S_4) โดยทั่วไปไม่เหมาะสำหรับใช้ทำการชลประทาน ยกเว้นดินที่มี Salinity ต่ำ และมีวิธีลดปริมาณโซเดียมลงได้

Table IV.3 Tolerance of various crops to exchangeable sodium percentage (*ESP*) under nonsaline conditions (Pearson, 1960)

Tolerance to *ESP* and range at which affected	Crop	Growth response under field conditions
Extremely sensitive (*ESP* = 2-10)	Deciduous fruits Nuts Citrus (*Citrus* spp.) Avocado (*Persea americana* Mill.)	Sodium toxicity symptoms even at low *ESP* values
Sensitive (*ESP* = 10-20)	Beans (*Phaseolus vulgaris* L.)	Stunted growth at low *ESP* values, even though the physical condition of the soil may be good
Moderately tolerant (*ESP* = 20-40)	Clover (*Trifolium* spp.) Oats (*Avena sativa* L.) Tall fescue (*Festuca arundinacea* Schreb.)	Stunted growth as a result of both nutritional factors and adverse soil conditions
Tolerant (*ESP* = 40-60)	Wheat (*Triticum aestivum* L.) Cotton (*Gossypium hirsutum* L.) Alfalfa (*Medicago sativa* L.) Barley (*Hordeum vulgare* L.) Tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Mill.) Beets (*Beta vulgaris* L.)	Stunted growth, usually due to adverse physical condition of soil
Most tolerant (*ESP* = more than 60)	Crested and Fairway wheatgrass (*Agropyron* spp.) Tall wheatgrass (*Agropyron elongatum* (Host) Beau.) Rhodes grass (*Chloris gayana* Kunth)	Stunted growth, usually due to adverse physical condition of soil

ตารางที่ 3.8

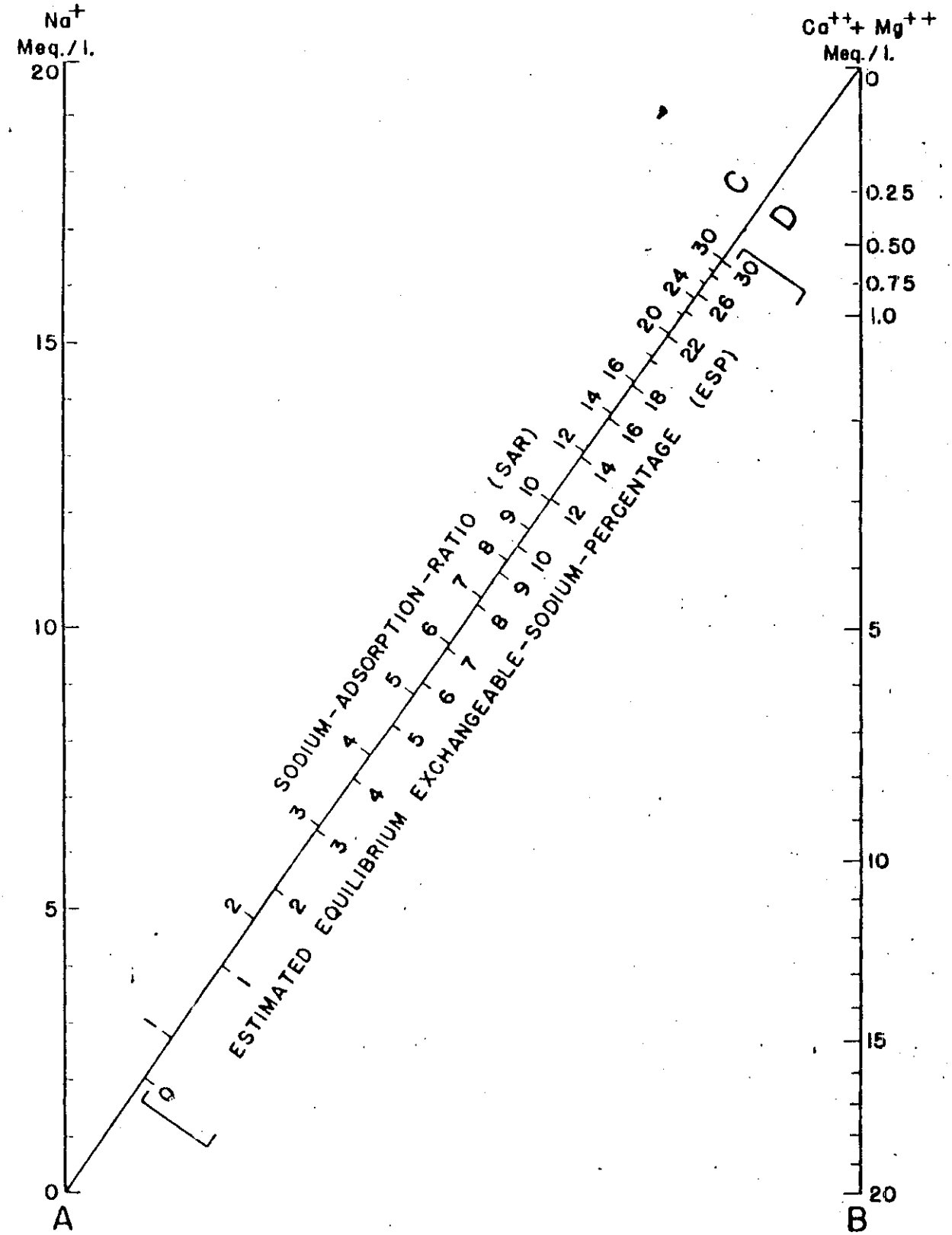


FIGURE 22.—Nomogram for determining the *SAR* value of irrigation water and for estimating the corresponding *ESP* value of a soil that is at equilibrium with the water.

รูปที่ 3.13

Table II.1 Limits of boron in irrigation water for sensitive, semi-tolerant, and tolerant crop species based on toxicity symptoms observed on plants grown in sand culture

ตารางที่ 3-9

Sensitive 0.3–1 ppm boron	Semi-tolerant 1–2 ppm boron	Tolerant 2–4 ppm boron
Citrus	Lima bean	Carrot
Avocado	Sweet potato	Lettuce
Apricot	Bell pepper	Cabbage
Peach	Oat	Turnip
Cherry	Milo	Onion
Persimmon	Corn	Broad bean
Fig	Wheat	Alfalfa
Grape	Barley	Garden beet
Apple	Olive	Mangel
Pear	Field pea	Sugar beet
Plum	Radish	Palm
Navy bean	Tomato	Asparagus
Jerusalem artichoke	Cotton	
Walnut	Potato	
	Sunflower	

In each group the crops are arranged in descending order of tolerance within the range indicated.

Table II.2 Recommended maximum concentrations of trace elements in irrigation water[1]

ตารางที่ 3-10

Elements	For waters used continuously on all soil (mg/liter)	For use up to 20 yrs. on fine-textured soils at pH 6.0 to 8.5 (mg/liter)
Aluminum	5.0	20.0
Arsenic	0.10	2.0
Beryllium	0.10	0.50
Boron	0.75	2.0 – 10.0
Cadmium	0.010	0.050
Chromium	0.10	1.0
Cobalt	0.050	5.0
Copper	0.20	5.00
Fluorine	1.0	15.0
Iron	5.0	20.0
Lead	5.0	10.0
Lithium	2.5	2.5[2]
Manganese	0.20	10.0
Molybdenum	0.010	0.050[3]
Nickel	0.20	2.0
Selenium	0.020	0.020
Vanadium	0.10	1.0
Zinc	2.0	10.0

[1] These levels will not normally have an adverse effect on plants or soils. No data available for mercury, silver, tin, titanium, tungsten.

[2] Recommended maximum concentration for citrus is 0.75 mg/liter.

[3] Only for fine-textured acid soils, or acid soils with relatively high content of iron oxide.

3.5.3 BICARBONATE:

น้ำที่มีความเข้มข้นของ Bicarbonate Ions สูง มีแนวโน้มที่จะทำให้แคลเซียมและแมกนีเซียมในน้ำตกตะกอนเป็นเกลือคาร์โบเนต ซึ่งจะทำให้สารละลายเกลือในดินเข้มข้นขึ้น อย่างไรก็ตามปฏิกิริยาเคมีนี้จะค่อยเป็นต่อไป และเมื่อปริมาณแคลเซียมและแมกนีเซียมลดลง สัดส่วนความสัมพันธ์ของโซเดียมก็จะสูงขึ้น ทำให้ดินมีสภาพเป็นดินด่าง (Sodic Soil) สูงขึ้น

การวิเคราะห์หาปริมาณไบคาร์โบเนต จะหาในรูปของตะกอน No_2Co_3 (Residual sodium Carbonate) ซึ่งการทดลองนี้ Eaton(1950) ได้สรุปน้ำที่มีปริมาณตะกอน $Na_2 Co_3$ ไว้ดังนี้

Residual Sodium Bicarbonate	
> 2.5 Meg/1	Water is Unsafe
2.5-1.25 Meg/1	Water is Marginal
> 1.25 Meg/1	Water is Safe

3.5.4 BORON:

Boron เป็นธาตุที่ละลายอยู่ในน้ำธรรมดา ในปริมาณต่าง ๆ กัน เป็นธาตุที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของพืช แต่พืชต้องการใช้ในปริมาณเพียงเล็กน้อยเท่านั้น หากมีปริมาณมากจะเป็นอันตรายต่อพืช Eaton (1954) พบว่าพืชส่วนใหญ่ที่ปลูกในดินทรายจะเจริญงอกงามดี มี Boron อยู่ระหว่าง 0.03-0.04 ppm. และเป็นอันตรายต่อพืชเมื่อมีความเข้มข้นของ Boron สูงถึง 1 ppm

อย่างไรก็ตาม ปริมาณของ Boron ที่จะเป็นอันตรายต่อพืชหรือไม่ขึ้นกับชนิดของพืชจะมีความทนทานต่อ Boron มากเพียงใด ตารางที่ 3.9 แสดงชนิดพืชทนทานต่อโบรอนที่ทำการเพาะปลูกในดินทราย เรียงจากน้อยไปหามาก

นอกจากโบรอนแล้วยังมีธาตุรองอีกหลายชนิดที่ละลายอยู่ในน้ำธรรมชาติ ซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อพืชหากปริมาณความเข้มข้นสูง ตารางที่ 3.10 แสดงชนิดของธาตุรองและปริมาณความเข้มข้นที่ยอมให้สำหรับน้ำชลประทาน

ข้อแนะนำ: อ่านรายละเอียดเพิ่มเติมจากหนังสือ

1. Diagncsis and IImprovement of Soline and Askaliisoils USDA, Agriculture Handbook No.60

2. Quality of Irrigation Water, I Shainberg, J.D. Oster IIIC Publication No.2

บทที่ 4
การประเมินพื้นที่เพื่อการชลประทาน

4.1 คำนำ

โครงการชลประทานเป็นโครงการที่ต้องลงทุนสูงทั้งในด้านทรัพยากรและการเงิน โดยมีวัตถุประสงค์หลักก็คือ เพื่อพัฒนาพื้นที่ให้สามารถทำการเพาะปลูกได้ ลดการเสื่อมโทรมของพื้นที่เนื่องจากสิ่งแวดล้อม และเพิ่มผลผลิตในพื้นที่ที่ทำการเพาะปลูกอยู่แล้วเพื่อปรับปรุงและพัฒนารายได้ของประชากรและเศรษฐกิจของประเทศให้สูงขึ้น โครงการชลประทานจะดำเนินไปสู่ความสำเร็จตามเป้าหมายและได้รับผลประโยชน์ตอบแทนได้มากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในตอนต้น ปัจจัยทางด้านดินและสภาพพื้นที่เพาะปลูกในเขตโครงการถือได้ว่าเป็นปัจจัยสำคัญอันหนึ่งที่จะมีผลต่อความสำเร็จของโครงการ กล่าวคือถ้าคุณสมบัติของดินและสภาพของพื้นที่ไม่ดี ไม่สามารถทำการเพาะปลูกได้ หรือปลูกได้เฉพาะพืชบางชนิด เนื่องจากมีข้อจำกัดรุนแรงเช่น ดินเค็มจัดเป็นกรด มีการระบายน้ำไม่ดี การปรับปรุงแก้ไขต้องลงทุนสูง ประกอบกับสภาพภูมิประเทศยากต่อการจัดระบบชลประทานแล้ว การสร้างโครงการชลประทานขึ้นมาอาจจะให้ผลไม่คุ้มค่าต่อการลงทุน โดยทำการศึกษาหาข้อมูล และวิเคราะห์คุณสมบัติด้านต่าง ๆ ของดินให้ละเอียด พร้อมทั้งศึกษาสภาพภูมิประเทศเพื่อจัดระบบการชลประทานควบคู่ไปด้วย แล้วนำผลการศึกษามาทำการประเมินและทำการจำแนกประเภทที่ดินตามความเหมาะสมออกเป็นขั้นต่าง ๆ เพื่อใช้ประกอบการพิจารณาความเหมาะสมหรือเป็นไปได้ของโครงการต่อไป

4.2 การศึกษาและจำแนกประเภทที่ดิน

การศึกษาคุณสมบัติและสภาพภูมิประเทศ เพื่อประเมินความเหมาะสมจำเป็นต้องศึกษา รวบรวมข้อมูลที่มีอยู่จากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง จากแผนที่ภูมิประเทศ แผนที่ภาพถ่ายทางอากาศการสำรวยในสนาม และการตรวจสอบในห้องปฏิบัติการ แล้วจึงนำผลการตรวจสอบด้านต่าง ๆ มาจัดเป็นกลุ่มบรรทัดฐาน (Specification) ที่กำหนดไว้เพื่อใช้ประกอบการพิจารณาวางโครงการต่อไป ขั้นตอนการปฏิบัติงานแบ่งออกกได้ดังนี้

1) ทำการตรวจสอบสภาพทั่วไปของพื้นที่ในเขตโครงการ เกี่ยวกับสภาพดิน ลักษณะของพื้นที่ สภาพภูมิประเทศ สภาพการระบายน้ำการใช้ที่ดิน พืชที่ปลูก และฤดูกาลเพาะปลูก จากข้อมูลที่โครงการมีอยู่หรือจากการสังเกตุและสอบถามผู้เกี่ยวข้อง

2) รวบรวมข้อมูลจากหน่วยงานอื่นที่เกี่ยวข้อง ซึ่งได้มีการสำรวจและบันทึกไว้แล้ว เช่น ข้อมูลกการวิเคราะห์ดิน และแผนที่หลักกรมพัฒนาที่ดิน การแปรข้อมูลจากแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศ ข้อมูลภูมิอากาศ และรายงานการสำวจที่เกี่ยวข้อง เพื่อศึกษาและใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการสำรวจพื้นที่ดินในรายละเอียดเพิ่มขึ้นในส่วนต่าง ๆ ที่ยังไม่ชัดเจนหรือไม่เพียงพอต่อไป

3) จัดทำบรทัดฐาน (Specification) สำหรับใช้เป็นเกณฑ์ในการรจำแนกประเภทที่ดิน อาจทำได้โดยศึกษาจากบรรทัดฐานของโครงการใกล้เคียงที่เคยจัดทำไว้ พิจารณาแก้ไขให้เหมาะสม และจัดทำหรือกำหนดเกณฑ์ต่าง ๆ ขึ้นไว้

4) การสำรวจในสนาม เป็นขั้นตอนของการเก็บข้อมูลจริงในสนาม หลังจากได้ศึกษาข้อมูลที่มีอยู่ และการแปลภาพถ่ายทางอากาศแล้ว เห็นว่ามีบางจุดที่สำคัญและต้องการรายละเอียดเพิ่มเติมในส่วนที่ต้องการ เช่นการเจาะดินตรวจสอบและบันทึกคุณสมบัติ เก็บตัวอย่างดินและน้ำเพื่อวิเคราะห์หาคุณภาพ ทดสอบหาค่า Infiltration เจาะหลุมสำรวจระดับน้ำใต้ดิน และจัดทำแผนที่การใช้ที่ดินเป็นต้น เพื่อนำผลเหล่านี้ไปใช้ในการจำแนกประเภทของที่ดิน ตามความเหมาะสมต่อไป

5) การตรวจสอบ ข้อมูลบางอย่างไม่สามารถทำการวิเคราะห์ได้ในสนาม จำเป็นต้องเก็บตัวอย่างมาทำการวิเคราะห์หาคุณสมบัติในห้องทดลองและนำผลมาตรวจสอบเพื่อใช้ประกอบการพิจารณา และทำการจำแนกประเภทที่ดินและวงรอบขอบเขตขั้นสุดท้ายในพื้นที่ของโครงการ

6) จัดทำแผนที่และเขียนรายงาน นำข้อมูลที่ได้ศึกษา รวบรวม และวิเคราะห์แล้วมาลงในแผนที่แสดงขอบเขตของที่ดินประเภทต่าง ๆ ไว้ พร้อมทั้งเขียนรายงานการสำรวจทั้งหมดเพื่อความสะดวกในการนำไปใช้งานต่อไป

4.3 ชนิดของการสำรวจ

การสำรวจและการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อการจำแนกประเภทที่ดินมีความสำคัญต่อการวางแผนและศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการ ในส่วนของรายละเอียด ความถูกต้องแม่นยำและการสำรวจนั้นจะแตกต่างกันออกไปตามจุดประสงค์ของผู้ใช้งานและวัตถุประสงค์ของโครงการ การสำรวจและจำแนกประเภทที่ดิน แบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทคือ 1) การสรวจเบื้องต้น (Reconnaisance Suyrveys) 2) การสำรวจเพื่อศึกษาความเหมาะสมของโครงการ (Semidetailed Surveys) 3) การสำรวจขั้นรายละเอียด (Detailed Surveys)

4.3.1 **การสำวจเบื้องต้น** (Reconnaisance Surveys)

เป็นการสำรวจเพื่อจำแนกลักษณะเด่นและสำคัญของพื้นที่ขนาดใหญ่ เพื่อใช้ในการวางแผนพัฒนาระดับชาติ หรือระดับภาค สามารถนำมาใช้ในการวางแผนโครงการขั้นแรกเพื่อพิจารณาศักยภาพของการพัฒนาการเกษตร มีรายละเอียดข้อมูลไม่มากนัก สามารถเพียงกำหนดขอบเขตพื้นที่ใช้เพื่อปลูกได้ทั่วไป หรือใช้ปลูกได้เฉพาะอย่าง และพื้นที่ที่ไม่เหมาะสมต่อการเพาะปลูก ในการพิจารณาอาศัยปัจจัยหลักเช่นเดียวกัน กับการสำรวจในขั้นศึกษาความเหมาะสมของโครงการ โดยอาศัยข้อมูลที่มีอยู่แล้วหรือข้อมูลที่เกี่ยวข้อง และแผนที่หลัก 1:50,000 อาจมีการสำรวจภาคสนามเพิ่มเติมบ้างเล็กน้อย เช่น เจาะหลุมสำรวจลึก 1.5 ม. 1 หลุมต่อพื้นที่ 4 ตารางกิโลเมตร และเจาะหลุมลึก 3-5 เมตร 1 หลุมต่อพื้นที่ 40 ตารางกิโลเมตร เป็นต้น เพื่อศึกษาแบบกว้าง ๆ เกี่ยวกับคุณสมบัติของดิน คุณภาพน้ำ และการระบายน้ำ

4.3.2 **การสำรวจเพื่อศึกษาความเหมาะสม** (Semi-detailed Surveys)

ด้านการสำวจและศึกษาข้อมูลในขั้นรายละเอียดเพิ่มขึ้นเกี่ยวกับข้อมูล คุณสมบัติของดิน ชั้นน้ำใต้ดิน สภาพการระบายน้ำ และอื่น ๆ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ละเอียดและถูกต้องเพียงพอสำหรับการพิจารณาโครงการว่ามีความเหมาะสมหรือไม่เพียงใด สมควรลงทุนหรือไม่มีพื้นที่ส่วนใดไม่เหมาะสมต่อการเกษตร พื้นที่ที่ใช้เพาะปลูกได้มีความเหมาะสมอยู่ระดับใด หากต้องการจะสร้างโครงการจะวางแผนการดำเนินงานอย่างไร จึงจะสามารถปรับปรุงพื้นที่เหล่านั้นให้มีความเหมาะสมได้ และให้ผลผลิตคุ้มค่าต่อการลงทุน ในการสำรวจขั้นนี้จำเป็นต้องใช้แผนที่ภาพถ่ายทางอากาศมาตราส่วน 1:15,000 แผนที่หลักมาตราส่วน 1:20,0000 และเจาะหลุมสำรวจมากขึ้น เช่น หลุมเจาะลึก 1.5 เมตร อย่างน้อย 2 หลุมต่อตารางกิโลเมตร หลุมเจาะลึก 3-5 เมตร อย่างน้อย 1 หลุมต่อพื้นที่ 20 ตารางกิโลเมตร และหลุมเจาะสำรวจเนื้อดินขนาด 1x2x1 เมตร จำนวน 1-2 หลุมต่อดินแต่ละประเภท

4.3.3 **การสำรวจขั้นรายละเอียด** (Detailed Surveys)

เป็นการสำรรวจเพื่อศึกษาในชั้นรายละเอียด เพื่อใช้ประกอบการศึกษาและวางแผนรายละเอียดของโครงการ จุดประสงค์เพื่อให้ได้รายละเอียดของข้อมูลที่จำเป็นก่อนการก่อสร้างสามารถกำหนดขอบเขตประเภทของที่ดินต่าง ๆ ได้ถูกต้องยิ่งขึ้น คำนวณปริมาณน้ำที่ต้องจัดสรรให้แต่ละบริเวณเพื่อการออกแบบระบบส่งน้ำและการประเมินราคา และตรวจสอบแก้ไขข้อมูลที่ได้จากการศึกษาความเหมาะสมให้ถูกต้องยิ่งขึ้น การสำรรวจในระดับนี้ต้องใช้แผนที่ภาพถ่าย

ทางอากาศมาตราส่วน 1:4,000 แผนที่หลัก มาตราส่วน 1:10,000 และหลุมเจาะมากขึ้นเช่น หลุมเจาะลึก 1.5 เมตร อย่างน้อย 8 หลุมต่อตารางกิโลเมตร และหลุมเจจาะมากขึ้นเช่น หลุมเจาะลึก 1.5 เมตร อย่างน้อย 8 หลุมต่อตารางกิโลเมตร หลุมเจาะลึก 3-5 เมตรร 1 หลุมต่อพื้นที่ 10 ตารางกิโลเมตร หลุมเจาะขนาด 1x2x2 เมตร จำนวน 1 หลุม ต่อพื้นที่ 4 ตารางกิโลเมตร เป็นต้น

4.4 การจำแนกประเภทที่ดินเพื่อการชลประทาน

ระบบการรจำแนกประเภทที่ดินเพื่อการชลประทานที่ใช้กันในประเทศต่าง ๆ ยังแตกต่างกันอยู่ แม้ฝ่ายพัฒนาน้ำและที่ดินขององค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO) ได้พยายามจัดทำหลักเกณฑ์และรูปแบบ ของการจำแนกให้เป็นระบบเดียวกันก็ตาม สำหรับประเทศไทยการจำแนกประเภทที่ดินเพื่อการรชลประทานสำหรับโครงการรชลประทานต่าง ๆ ที่ใช้อยู่เป็นระบบที่ดัดแปลงมาจากระบบการจำแนกของ USBR แห่งประเทศสหรัฐอเมริกา (ตารางที่ 4.1) หลักการส่วนใหญ่จะคล้ายคลึงกัน แต่แตกต่างกันในรายละเอียด เพื่อสอดคล้องกับสภาพการเกษตร เศรษฐกิจและสังคมของประเทศไทย ซึ่งมีหลักการคือ พิจารณาความเหมาะสมของที่ดินแปลงเดียวกันต่อการปลูกพืชไร่และข้าวในฤดูฝนและฤดูแล้ง แบ่งระดับความเหมาะสมต่อการปลูกพืชไร่และข้าวไว้ดังนี้คือ

4.4.1 **กลุ่มที่ดินที่ใช้ปลูกพืชได้** (Arable Lands)

แบ่งออกเป็น 3 ระดับคือ

ที่ดินประเภทที่ 1 เป็นดินที่มีความเหมาะสมมาก ไม่มีข้อจำกัดใด ๆ หรืออาจมีข้อจำกัดบ้างเพียงเล็กน้อย

ที่ดินประเภทที่ 2 เป็นดินที่มีความเหมาะสมปานกลาง เนื่องมาจากข้อจำกัดบางอย่างที่ไม่รุนแรงนัก ซึ่งอาจเกิดจาก สภาพดิน สภาพการระบายน้ำ หรือสภาพภูมิประเทศแต่สามารถปรับปรุงแก้ไขได้โดยเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มไม่มากนัก

ที่ดินประเภทที่ 3 เป็นที่ดินที่เกือบขาดความเหมาะสม เพราะมีข้อจำกัดรุนแรงอันเนื่องมาจากสภาพดิน สภาพการระบายน้ำ และสภาพภูมิประเทศ การปรับปรุงแก้ไข ต้องลงทุนค่อนข้างสูง แต่อยู่ในวิสัยที่สามารถทำได้และให้ผลตอบแทนคุ้มค่าการลงทุน

Table 4.3 Land classification specifications – general*

Land characteristics	Class 1 – Arable	Class 2 – Arable	Class 3 – Arable
		Soils	
Texture	Sandy loam to friable clay loam	Loamy sand to very permeable clay	Loamy sand to permeable clay
Depth:			
to sand, gravel, or cobble	36" plus – good free working soil of fine sandy loam or finer; or 42" of sandy loam.	24" plus – good free working soil of fine sandy loam or finer; 30–36" of sandy loam to loamy sand.	18" plus – good free working soil of fine sandy loam or finer; or 24–30" of coarser-textured soil.
to shale, raw soil from shale or similar material (6" less in each instance to rock and similar material).	60" plus; or 54" with minimum of 6" of gravel overlying impervious material or sandy loam throughout.	48" plus; or 42" with minimum of 6" of gravel overlying impervious material or loamy sand throughout.	42" plus; or 36" with minimum of 6" of gravel overlying impervious material or loamy sand throughout.
to penetrable lime zone	18" with 60" penetrable.	14" with 48" penetrable.	10" with 36" penetrable.
Alkalinity	pH less than 9.0 unless soil is calcareous, total salts are low and evidence of black alkali is absent.	pH 9.0 or less, unless soil is calcareous, total salts are low and evidence of black alkali is absent.	pH 9.0 or less, unless soil is calcareous, total salts are low and evidence of black alkali is absent.
Salinity	Total salts not to exceed 0.2%. May be higher in open permeable soils and under good drainage conditions.	Total salts not to exceed 0.5%. May be higher in open permeable soils and under good drainage conditions.	Total salts not to exceed 0.5% . May be higher in open permeable soils and under good drainage conditions.
		Topography	
Slopes	Smooth slopes up to 4% in general gradient in reasonably large size bodies sloping in the same plane.	Smooth slopes up to 8% in general gradient in reasonably large sized bodies sloping in the same plane; or rougher slopes which are less than 4% in general gradient.	Smooth slopes up to 12% in general gradient in reasonably large sized bodies sloping in the same plane; or rougher slopes which are less than 8% in general gradient.

Table 4.3 Continued

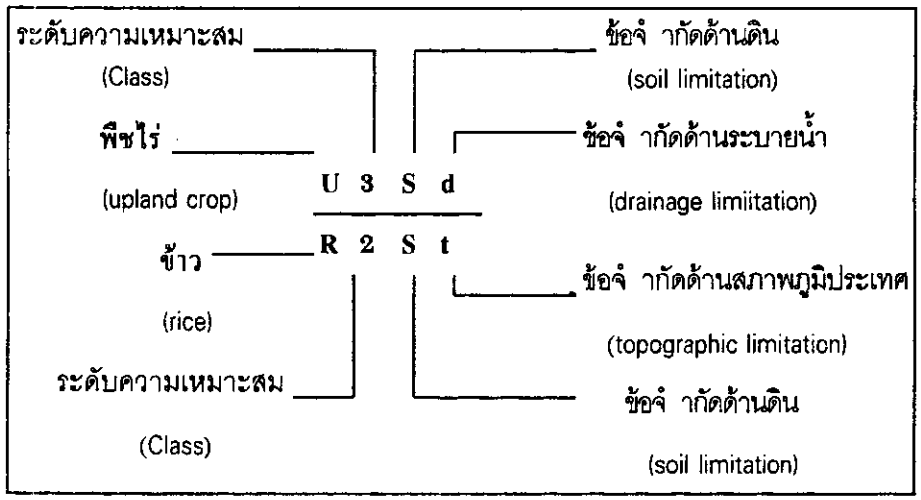
Land characteristics	Class 1 – Arable	Class 2 – Arable	Class 3 – Arable
		Topography	
Surface	Even enough to require only small amount of levelling and no heavy grading.	Moderate grading required but in amounts found feasible at reasonable cost in comparable irrigated areas.	Heavy and expensive grading required in spots but in amounts found feasible in comparable irrigated areas.
Cover (loose rocks and vegetation)	Insufficient to modify productivity or cultural practices, or clearing cost small.	Sufficient to reduce productivity and interfere with cultural practices. Clearing required but at moderate cost.	Present in sufficient amounts to require expensive but feasible clearing.
		Drainage	
Soil and topography	Soil and topographic conditions such that no specific farm drainage requirement is anticipated.	Soil and topographic conditions such that some farm drainage will probably be required by with reclamation by artificial means appearing feasible at reasonable cost.	Soil and topographic conditions such that significant farm drainage will probably be required but with reclamation by artificial means appearing expensive but feasible.
		Class 4 – Limited arable	
Includes lands having excessive deficiencies and restricted utility but which special economic and engineering studies have shown to be irrigable.			
		Class 5 – Non-arable	
Includes lands which will require additional economic and engineering studies to determine their irrigability and lands classified as temporarily non-productive pending construction of corrective works and reclamation.			
		Class 6 – Non-arable	
Includes lands which do not meet the minimum requirements of the next higher class mapped in a particular survey and small areas of arable land lying within larger bodies of non-arable land.			

*From United States Department of the Interior, Bureau of Reclamation. *Manual*, Vol. V, *Irrigated Land Use*, Part 2, *Land Classification*, 1953.

4.4.2 กลุ่มดินที่ไม่เหมาะสมต่อการปลูกพืช (Nonarable Lands)

ได้แก่กลุ่มดินประเภทที่ 4-6 จัดเป็นที่ดินที่ไม่เหมาะสมต่อการปลูกพืช เนื่องจากมีข้อจำกัดรุนแรงยากแก่การแก้ไข ที่ดินตื้นมาก ที่ดินเป็นทรายจัด ที่ดินมีกรวดหรือหินปนจำนวนมากที่ดินเปรี้ยวจัด ที่ดินเค็มจัด ที่ดินเป็นด่างจัด ที่ดินที่มีความลาดเอียงสูง และที่ดินที่มีน้ำท่วมขังตลอดเวลา เป็นต้น

ตัวอย่างรูปแบบของประเภทที่ดินตามระบบการจำแนกประเภทที่ดินของกรมชลประทานแสดงไว้ดังนี้



ตัวอย่าง การใช้ประเภทของที่ดินที่จำแนกไว้แล้วประกอบการวางแผนปลูกพืชในเขตโครงการชลประทาน

รวมประเภทที่ดินเป็นกลุ่ม	พืชที่เหมาะสม	ที่ดินแต่ละประเภทที่มีสภาพคล้ายกัน	แผนปลูกพืชที่เหมาะสม
U1/R3	พืชไร่	U1/R3s	พืชไร่ 2 ฤดู
		U2t/R3st	ไม้ผล พืชยืนต้น
U2/R3	พืชไร่	U2s/R3s	พืชไร่ 2 ฤดู
		U2st/R3st	ไม้ผล พืชยืนต้น
		U2sd/R3s	
U3/R1	ข้าว	U3s/R1	ข้าว (ฤดูฝน)-ข้าว (ฤดูแล้ง)
		U3st/R2t	ข้าว (ฤดูฝน)-ข้าว (ฤดูแล้ง)
		U3sd/R2t	ข้าว (ฤดูฝน)-ข้าว (ฤดูแล้ง)
		U3sd/R2d	ข้าวเฉพาะฤดูแล้ง
U2/R1	ข้าว	U2s/R1	ข้าว (ฤดูฝน)-ข้าว(ฤดูแล้ง)
		U2st/R2t	ข้าว (ฤดูฝน)-ข้าว(ฤดูแล้ง)
		U2sd/R2d	ข้าวเฉพาะฤดูแล้ง
U2/R2	ทั้งข้าวและพืชไร่	U2s/R2s	ข้าว (ฤดูฝน)-ข้าว(ฤดูแล้ง)
		U2st/R2st	ข้าว(ฤดูฝน)-ข้าว(ฤดูแล้ง)
		U2sd/R2s	ข้าว(ฤดูฝน)-ข้าว(ฤดูแล้ง)
U6/R6	ไม่เหมาะสม	6s	ไม่ควรใช้ปลูกพืช
		6t	
		6d	
		6st	

4.5. ปัจจัยหลักที่ใช้ในการจำแนกประเภทที่ดิน

การจำแนกประเภทที่ดินเพื่อการพิจารณาโครงการชลประทานจำเป็นต้องทราบข้อมูลเกี่ยวกับปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องและสำคัญ 3 ประการคือ สภาพดิน สภาพภูมิประเทศ และสภาพการระบายน้ำ ซึ่งข้อมูลหรือคุณสมบัติของปัจจัยบางอย่างสามารถรวบรวมและตรวจสอบได้จากสภาพพื้นที่จริงในสนาม จากแผนที่และข้อมูลที่ได้มีการสำรวจแล้วเช่น ข้อมูลจากรายงาน

การสำรวจดินในจังหวัดต่าง ๆ ของกรมพัฒนาที่ดิน ซึ่งจัดแบ่งดินออกเป็น 'ชุดดิน' (Soil Series)) และหน่วยสัมพันธ์ของชุดดิน (Association of Soil Series) รวมทั้งประเมินความเหมาะสมของดินแต่ละชุดต่อการปลูกพืชชอบสภาพน้ำไม่ท่วมขัง และความเหมาะสมต่อการทำสวนผลไม้และทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ เป็นต้น สำหรับข้อมูลอีกหลายอย่างต้องนำมาวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

4.5.1 การศึกษาสภาพดิน

ข้อมูลสภาพดินที่ต้องทำการศึกษาเพื่อนำมาพิจารณาประกอบการจำแนกประเภทที่ดิน แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ คุณสมบัติทางฟิสิกส์และคุณสมบัติทางเคมีดังหัวข้อต่อไปนี้

1) ลักษณะเนื้อดิน (Soil Texture) คุณสมบัติของเนื้อดินมีความสำคัญต่อการพิจารณาความเหมาะสมของพืช ความอุดมสมบูรณ์ ความสามารถในการเก็บธาตุอาหารและน้ำการเขตกรรม และวิธีการชลประทาน การวิเคราะห์ลักษณะของเนื้อดินสามารถทำได้ในห้องทดลอง แล้วแยกออกเป็นประเภทต่าง ๆ เช่น ดินร่วน (Loam) ดินร่วนปนทราย (Sandy Loam) ดินร่วนปนดินเหนียว (Clayey Loam) เป็นต้น

การจำแนกเนื้อดินเพื่อการพิจารณาด้านการชลประทาน นิยมจำแนกดินออกเป็น 3 กลุ่ม คือ ดินเนื้อหยาบ เนื้อปานกลาง และเนื้อละเอียด โดยแบ่งออกเป็นชั้น ๆ ในแนวดิ่ง ช่วง 1.20 เมตร ว่ามีกี่ชั้น แต่ละชั้นหนาเท่าใด นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงปริมาณหินและกรวดด้วย เพราะจะมีผลต่อความชื้นที่เก็บไว้และการไถพรวน เนื้อดินทุกประเภทสามารถทำการชลประทานได้ แต่ดินที่มีเนื้อหยาบมากหรือละเอียดมากจะมีข้อจำกัดสูง ต้องการการจัดการที่ดีและต้องใช้ค่าใช้จ่ายสูง อย่างไรก็ดีการพิจารณาความเหมาะสมจะต้องพิจารณาร่วมกับองค์ประกอบอื่น เช่น สภาพภูมิอากาศ คุณภาพน้ำชลประทาน พืชที่เหมาะสม และแผนการปลูกพืช เป็นต้น

2) โครงสร้างของดิน (Soil Structure) เป็นการศึกษาลักษณะการรวมตัวของอนุภาคดิน เป็นก้อน มีความแน่น หลวม หรือรูพรุนแตกต่างกัน การหาคุณสมบัติของโครงสร้างของดินจะหาออกมาในรูปของความแน่นรวม (Bulk Density) และการแผ่กระจายของช่องว่าง (Pore Space Distribution) เพื่อใช้ประโยชน์ในการแปลงความหมายต่อไป ดินเนื้อปานกลางกับดินเนื้อละเอียดให้ผลผลิตสูง จะมีความหนาแน่นรวมประมาณ 1.0-1.5 กรัม/ลบ.ซม. ดินเนื้อหยาบที่ให้ผลผลิตดีมีความหนาแน่นรวมประมาณ 1.1-1.65 กรัม/ลบ.ซม. ดินที่มีความหนาแน่นรวม 2 กรัม/ลบ.ซม. ถือว่าเป็นดินที่อัดแน่นจนรากไม่สามารถชอนไชผ่านได้

โครงสร้างของดินมีผลต่อการดูดซึมน้ำของดิน (Infiltration) และการยอมให้น้ำไหลผ่าน (Permeability) ซึ่งค่าทั้งสองนี้มีผลกระทบต่อระบบการส่งน้ำ วิธีการให้น้ำ และการระบายน้ำ โครงสร้างของดินสามารถปรับปรุงได้โดยทางกายภาพ เช่น การไถพรวนและทางวิธีทางเคมี เช่น การใส่ยิปซั่ม และการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ เป็นต้น

ปริมาณและลักษณะของช่องว่างภายในก้อนดิน ปกติไม่ได้ใช้เป็นเกณฑ์กำหนดใน Spacification แต่เป็นคุณสมบัติที่ต้องหาเพื่อใช้เป็นตัวประกอบในการพิจารณาคุณสมบัติอื่นๆ เช่นดินที่มีความหนาแน่นรวม 1.1 ถึง 1.6 กรัม/ลบ.ซม. จะมีความพรุน (Porosity) ประมาณ 58-39 % ช่องว่างขนาดใหญ่ในดินชั้นบนที่เหมาะสมคือประมาณ 50 % ของความพรุนทั้งหมด และดินเนื้อละเอียดส่วนใหญ่จะมีช่องว่างขนาดใหญ่ประมาณ 10-30 % ของความพรุนทั้งหมด เป็นต้น

3) ความลึกของดินที่มีผลต่อพืช (Effective Soil Depth) คือ ความลึกของดินชั้นบน (Top Soil) ที่มีความเหมาะสมต่อระบบรากพืช และมีอิทธิพลต่อการเจจริญเติบโตและผลผลิต มีอากาศถ่ายเท ระบายน้ำได้ดีและอยู่ห่างจากน้ำใต้ดิน ดินร่วนที่มีสภาพการระบายน้ำตามธรรมชาติได้ดีตลอดความลึก 150 ซม. ถือว่าเป็นดินที่มีความเหมาะสมต่อการปลูกพืชไร่มากที่สุด อย่างไรก็ตาม ในพื้นที่ที่มีการชลประทานและมีการจัดการดี พบว่าชั้นดินลึก 90 ซม. ก็สามารถปลูกพืชไร่ได้ผลดี ส่วนข้าวและหญ้าสามารถปลูกได้ดีในดินลึกเพียง 30 ซม. โดยทั่วไปเกณฑ์ความลึกของดินที่ใช้ในการจำแนกประเภทที่ดินเพื่อการปลูกพืชไร่ก็คือ ลึกกว่า 150 ซม. มีความเหมาะสมดีมาก ลึกกว่า 120 ซม. มีความเหมาะสมดี และลึกกว่า 90 ซม. พอใช้การได้

4) ความสามารถอุ้มน้ำของดิน (Available Water Holding Capacity) ความสามารถในการอุ้มน้ำไว้ของดินมีอิทธิพลต่อการถ่ายเทอากาศของดิน ปริมาณน้ำที่พืชสามารถดูดไปใช้ได้ ความถี่ของการให้น้ำ และการทนแล้งและทนน้ำท่วมของพืชบางชนิด ความสามารถในการอุ้มน้ำของดินจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับลักษณะ เนื้อดิน ความหนาแน่น อินทรีย์วัตถุ ปริมาณเกลือในดิน และอื่น ๆ

เกณฑ์กำหนดของความจุน้ำในดินที่เป็นประโยชน์ซึ่งใช้ในการพิจจารณาจำแนกประเภทที่ดินเพื่อการชลประทานมีดังนี้

ระดับความเหมาะสม	ความจุของน้ำในดินที่เป็นประโยชน์ในช่วงลึก 100 ซม.
มาก	มากกว่า 14 ซม. และเฉพาะช่วงลึก 0-30 ซม. ต้องมีมากกว่า 2.5 ซม.
ปานกลาง	9-10 ซม. และเฉพาะช่วงลึก 0-30 ซม. ต้องมีมากกว่า 2.5 ซม.
น้อย	5-9 ซม.

5) อัตราการไหลซึมของน้ำเข้าไปในดิน (Infiltration) อัตราการไหลซึมของน้ำเข้าไปในดินมีความสำคัญต่อการพิจารณาเลือก วิธีการชลประทาน การออกแบบชลประทาน และการจัดการที่เหมาะสม อัตราการไหลซึมของน้ำเข้าไปในดินในช่วงแรกจะมีค่าสูง แล้วค่อย ๆ ลดลงจนมีค่าเกือบคงที่ อัตราเกือบคงที่นี้เรียกว่า Basic Infiltration Rate ในการหาค่าโดยประมาณมักจะใช้ค่าอัตราการดูดซึมที่ชั่วโมงที่ 6 ดินที่มีค่า BIR สูง ควรทำการชลประทานแบบฝนโปรยหรือน้ำหยด (Sprinkler or Drip) ไม่ควรทำการชลประทานแบบร่องคูหรือแบบท่วมผิวดิน

เกณฑ์การกำหนดอัตราการไหลของน้ำเข้าไปในดิน ประกอบการพิจารณามีดังนี้

มากกว่า 12.5 ซม./ชม.	-ไม่ควรใช้การชลประทานแบบ
0.7-3.5 ซม./ชม.	-เหมาะสมต่อการชลประทานแบบ
0.1-0.2 ซม./ชม.	-อาจมีน้ำขังและมีโอกาสสูญเสียน้ำจากผิวดิน
ต่ำกว่า 0.1 ซม./ชม.	.-เหมาะแก่การปลูกข้าว

6) ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) คือการวัดหาระดับความรุนแรงของความเป็นกรดเป็นด่างของดิน โดยเทียบเป็นค่า pH ของดิน การวัดค่า pH ของดินสามารถทำได้ในสนามโดยใช้เครื่องมือวัดแบบกระเป๋าหิ้วหรือใช้น้ำยาเปลี่ยนสี (Indicator Dye Method) ยี่ห้อต่าง ๆ หรือนำตัวอย่างดินมาวิเคราะห์ในห้องทดลอง แล้วนำค่าที่วัดได้มาตรวจสอบเพื่อพิจารณาความเหมาะสมและวางแผนการดำเนินการปลูกพืชและหาทางแก้ไขปรับปรุงต่อไป

7) ความจุในการแลกเปลี่ยนอนุมูลบวก (Cation Exchange Capacity) ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนอนุมูลบวกเป็นตัวบ่งชี้ความสามารถในการยึดเกาะและปลดปล่อยธาตุอาหารของพืชและชนิดของดินเหนียวในดิน กล่าวคือดินที่มีค่าความจุในการแลกเปลี่ยนอนุมูลบวกสูงมักถือว่าเป็นดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ตามธรรมชาติสูง

การจำแนกประเภทที่ดินเพื่อการชลประทานมักใช้ค่า C.F.C. เป็นเกณฑ์กำหนดใน Specification ด้วย โดยทั่วไปถือว่าดินชั้นบน (0-30 ซม.) ที่มีค่า C.F.C. มากกว่า 10 meg/100 gm. of soil เป็นดินที่เมื่อทำการชลประทานแล้วจะให้ผลผลิตสูง แต่ถ้ามีค่าต่ำกว่า 3 meg/100 gm. of soil แสดงว่ามีความอุดมสมบูรณ์ตามธรรมชาติต่ำ ไม่ควรนำมาทำการชลประทาน

เกลือละลายน้ำส่วนเกินนี้จะเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายในดิน ทำให้การดูดซึมน้ำเข้าสู่รากพืชโดยขบวนการ Osmosis ลดลง นอกจานี้อนุมูลบางอย่างเช่น โซเดียมคลอไรด์และซัลเฟตยังเป็นพิษต่อพืชโดยตรง

8) เปอร์เซนต์โซเดียมที่แลกเปลี่ยน (Exchangeable Sodium Percentage-ESP)

$$ESP = \frac{\text{Exchangeable Sodium (meq / 100 gm. of soil}}{\text{Cation Exchange Capacity (meq / 100 gm. of soil}} \times 100$$

ดินที่มีค่า ESP เกิน 30 เปอร์เซนต์ถือว่าเป็นดินที่ไม่เหมาะสมต่อการชลประทาน อนุมูล Na ในดินจะทำลายโครงสร้างของดิน ทำให้ดินแน่นทึบไม่มีโครงสร้าง อัตราการไหลของน้ำลงในดินจะลดลง ดินจะเละและลื่อนทำให้ส่งน้ำได้ยาก นอกจากนี้อนุมูล ยังเป็นพิษต่อพืชบางชนิดได้เช่น มันสำปะหลังและถั่วต่าง ๆ ค่าของ ESP ที่ใช้เป็นเกณฑ์กำหนดในการพิจารณาจำแนกประเภทที่ดินมีดังนี้

ค่า ESP	ต่ำกว่า 10	แสดงว่ามีปริมาณน้อย
ค่า ESP	15-30	แสดงว่ามีปริมาณปานกลาง
ค่า ESP	เกิน 30	แสดงว่ามีปริมาณสูง

9) สภาพความเค็ม (Salinity) สภาพความเค็มหมายถึง สภาพที่มีปริมาณเกลือละลายในปริมาณมากจนเป็นอันตรายต่อพืชที่ปลูก ในเขตชลประทานสามารถจะชะล้างเกลือส่วนเกินออกจากดินได้ถ้ามีน้ำเพียงพอและมีระบบระบายน้ำที่ดี เกณฑ์ที่ใช้พิจารณาปริมาณเกลือในดินมีดังนี้

ค่า EX x 10^3 ที่ $25^{\circ}C$ (mmho/cm)	เกลือ (%)	ผลต่อการเจริญเติบโต
0-4	0-0.15	ไม่กระทบกระเทือนต่อการเจริญเติบโตของพืช
4-8	0.15-0.35	พืชส่วนใหญ่ได้รับผลกระทบกระเทือน
8-15	0.35-0.65	พืชทนความเค็มเท่านั้นจะเจริญได้
มากกว่า 15	มากกว่า 0.65	พืชน้อยชนิดที่เจริญเติบโตได้

เกลือละลายน้ำส่วนเกินนี้จะเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายในดิน ทำให้การดูดซึมน้ำเข้าสู่รากพืชโดยขบวนการ Osmosis ลดลง นอกจากนี้อนุกูลบางอย่างเช่นโซเดียมคลอไรด์และซัลเฟต ยังเป็นพิษต่อพืชโดยตรง

10) สารพิษ

พืชแต่ละชนิดมีความทนทานต่อสารพิษที่แตกต่างกัน เมื่อพืชได้รับสารพิษจะแคระแกรนหรือแสดงลักษณะถูกสารพิษ หรือแสดงอาการขาดธาตุอาหาร ในการจำแนกประเภทที่ดินเพื่อการชลประทานควรให้ความสนใจสารพิษในดินในเขตพื้นที่โครงการด้วย สารพิษเหล่านี้ได้แก่ โซเดียม อลูมิเนียม โบรอน นิเกิล และโครเมียม เป็นต้น

4.5.2 **สภาพภูมิประเทศ** (Topography)

สภาพภูมิประเทศหมายถึง ลักษณะความลาดเอียง ขนาดความลาดเอียง ความราบเรียบ หรือขรุขระของผิวดิน ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญต่อการพิจารณาความเหมาะสมของที่ดินต่อการชลประทานดังต่อไปนี้

วิธีการชลประทาน เช่น พื้นที่ราบเรียบมีความลาดเอียง 0.1-2 % เหมาะสมที่สุดสำหรับการให้น้ำทางผิวดิน ถ้าความลาดเอียงของผิวดินเพิ่มขึ้นเป็น 2-7 % จะมีการสูญเสียน้ำจากผิวดินมาก ดินซึมน้ำได้น้อย และผลผลิตจะลดลง พื้นที่ที่มีความลาดเอียงสูงมากและมีผิวดินขรุขระเหมาะกับการให้น้ำแบบ Sprinkler หรือ Drip ในกรณีที่ใช้พื้นที่ปลูกไม้ผลเป็นต้น

นอกจากนี้แล้วสภาพของภูมิประเทศยังเป็นตัวบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพของการชลประทานอันตรายจากการกัดเซาะของผิวดินขณะส่งน้ำ และความจำเป็นที่จะต้องทำการปรับพื้นที่ซึ่งจะต้องเสียค่าใช้จ่ายในการลงทุนสูงขึ้น ในการที่จะพัฒนาระบบชลประทานให้ได้ผลและมีประสิทธิภาพสูง

4.5.3 **การระบายน้ำ** (Drainage)

สภาพการระบายน้ำของพื้นที่ที่ดีนั้นจะต้องสามารถระบายน้ำส่วนเกินออกไปได้ทันตามจังหวะที่ต้องการ หรือสามารถรักษาระดับน้ำใต้ดินไว้ในระดับต่ำกว่าบริเวณเขตรากพืชและสามารถทำการชะล้างเกลือที่มีอยู่ในดินให้อยู่ในระดับสมดุลย์ได้ หากมีการระบายน้ำที่ไม่ดีผลผลิตพืชจะลดลง ต้นทุนการผลิตและการจัดการจะสูงขึ้น อาจเกิดการสะสมเกลือจนเป็นอันตรายต่อพืชและทำให้ดินเสื่อมโทรม

การพิจารณาสภาพการระบายน้ำของที่ดินในการจำแนกประเภทที่ดินเพื่อการชลประทานต้องมีข้อมูลสภาพการระบายน้ำตามธรรมชาติของดิน เนื้อดิน โครงสร้างของดิน ความลึกของชั้นดินทึบน้ำ ความลึกของน้ำใต้ดิน การขึ้นลงและคุณภาพของน้ำใต้ดิน สภาพการท่วมของน้ำผิวดิน ความลึกและระยะเวลาการท่วม เพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบการออกแบบระบบระบายน้ำ

4.6 ประโยชน์ของการจำแนกประเภทที่ดิน

ข้อมูลการจำแนกประเภทที่ดินเพื่อการชลประทานมีประโยชน์ต่อการวางแผนโครงการชลประทาน สรุปได้ดังนี้

1) สามารถแยกประเภทของที่ดินในเขตโครงการชลประทานออกเป็นพื้นที่ที่ไม่เหมาะสมต่อการเพาะปลูก (Non-Arable Lands) เนื่องจากมีข้อจำกัดรุนแรงและพื้นที่ที่ได้เพาะปลูกได้ (Arable Lands) ทั้งยังสามารถจำแนกได้ว่ามีความเหมาะสมแค่ไหน

2) ใช้เป็นข้อมูลประกอบการคาดคะเนการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำใต้ดิน การสะสมเกลือและด่างภายหลังทำการชลประทานติดต่อกันหลายปี

3) ใช้ประกอบการพิจารณาวางแผนปลูกพืช คาดคะเนผลผลิตของดิน เพื่อประกอบการพิจารณาความเหมาะสมของโครงการ

4) ใช้ประกอบการคำนวณหาปริมาณน้ำที่ต้องการใช้ ขอบเขตพื้นที่ส่งน้ำ การวางแนวและออกแบบคลองส่งน้ำ ตลอดจนการวางแผนการส่งน้ำ

5) ใช้ประกอบการพิจารณาวางแผนพัฒนาการเกษตรชลประทาน เช่น การก่อสร้างระบบส่งน้ำ การระบายน้ำ และทางลำเลียงในแปลงนา

บทที่ 5
การประเมินความต้องการใช้น้ำของโครงการ

5.1 คำนำ

ความต้องการใช้น้ำของโครงการเป็นปัจจัยหลักสำหรับ การวางแผน การออกแบบ และการดำเนินงานระบบการชลประทานและการพัฒนาแหล่งน้ำ การศึกษาข้อมูลโดยละเอียดของปริมาณน้ำทั้งหมด ความผันแปรของขอบเขต และช่วงเวลาความต้องการต่างๆ มีความจำเป็นสำหรับการประเมินความเพียงพอของแหล่งน้ำ การประเมินปริมาณน้ำที่ต้องการเก็บกักไว้ในอ่างเก็บน้ำและขนาดของระบบส่งน้ำ นอกจากนี้ข้อมูลความต้องการน้ำนี้ยังใช้ในการกำหนดนโยบายและวางแผนจัดการโครงการให้มีการใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด

การประเมินความต้องการใช้น้ำผิดพลาดจะนำไปสู่ความล้มเหลวและสิ้นเปลืองน้ำโดยเปล่าประโยชน์ เป็นผลทำให้ไม่สามารถควบคุมความชื้นในเขตรากพืชได้ ทำให้เกิดปัญหาน้ำขังตาย การชะล้างปุ๋ยและแร่ธาตุออกไปจากดิน นอกจากนี้ยังนำไปสู่การออกแบบระบบและขนาดอ่างเก็บน้ำที่ไม่เหมาะสม ทำให้ส่งน้ำให้กับพื้นที่ได้น้อยลงและการใช้น้ำมีประสิทธิภาพต่ำ

ความต้องการใช้น้ำของโครงการอาจแยกออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ ความต้องการใช้น้ำเพื่อการชลประทานและความต้องการใช้น้ำเพื่อทำการอื่น เช่น เพื่อการอุปโภคบริโภค การประปา โรงงานอุตสาหกรรม และอื่น ๆ เป็นต้น ในบทนี้จะกล่าวถึงการประเมินความต้องการใช้น้ำเพื่อการชลประทานเป็นหลัก

5.2 ปริมาณน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภคและอุตสาหกรรม

โครงการชลประทานนอกจากจะเก็บกักน้ำไว้เพื่อส่งให้กับพื้นที่เพาะปลูกในยามฝนแล้งแล้ว ในบางครั้งจำเป็นที่จะต้องส่งไปให้กับกิจการอื่นในบริเวณใกล้เคียงอีกด้วย เช่น เพื่อการประปา เพื่อการอุปโภคบริโภคของชุมชน และโรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น หากเป็นโครงการขนาดใหญ่ปริมาณการเก็บกักน้ำสูง ปริมาณการใช้น้ำเพียงเล็กน้อย เช่นเพื่อการอุปโภคบริโภคของชุมชนอาจจะไม่มีการสำคัญมากนัก แต่ถ้าเป็นโครงการขนาดเล็กจะมีความสำคัญมากต่อการกำหนดขนาดของอ่างเก็บน้ำสำหรับปริมาณน้ำเพื่อการประปา และโรงงานอุตสาหกรรม ขึ้นอยู่กับขนาดของโรงงาน และช่วงเวลาการใช้น้ำซึ่งจะหาข้อมูลได้จากการประปาและโรงงานแต่ละแห่ง

ปริมาณการใช้น้ำของคนและสัตว์เลี้ยงในชุมชนจะประเมินค่าได้โดยอาศัยหลักเกณฑ์ดังนี้ อัตราการใช้น้ำของคนมักจะผันแปรตามความอุดมสมบูรณ์ของน้ำ ถ้ามีน้ำอุดมสมบูรณ์แต่ละคนอาจใช้น้ำมากถึงวันละ 200 ลิตร ในท้องถิ่นที่มีน้ำจำกัดจะใช้น้ำประมาณวันละ

60 ลิตรต่อคน วัวควายใช้ตัวละ 50 ลิตรต่อวัน หมูใช้ตัวละ 20 ลิตรต่อวัน และไก่ใช้ตัวละประมาณ 0.15 ลิตรต่อวัน

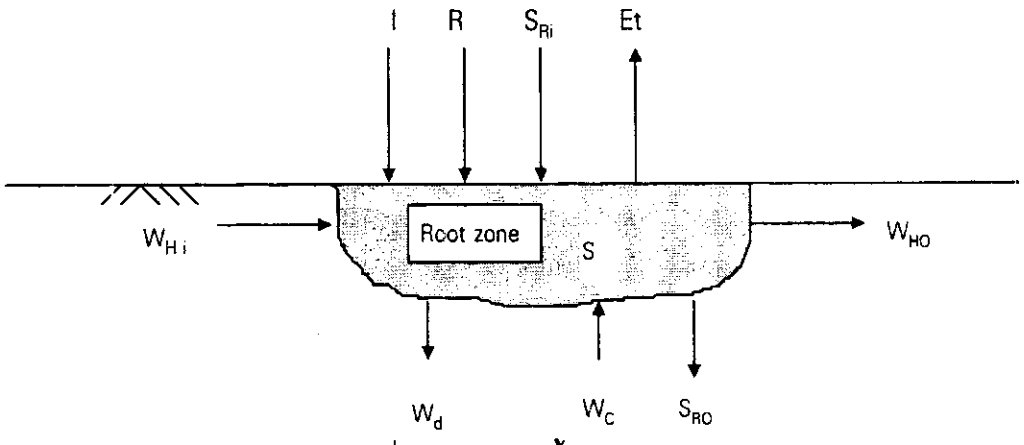
5.3 ความต้องการน้ำชลประทาน (Irrigation Water Requirements)

ความต้องการน้ำชลประทานหมายถึง ปริมาณน้ำชลประทานที่ต้องส่งให้กับพื้นที่เพาะปลูกให้เพียงพอกับความต้องการใช้น้ำของพืช (Evapotranspiration) รวมทั้งปริมาณน้ำที่ต้องใช้ในการชะล้างเกลือ และอื่น ๆ เพื่อการเจริญเติบโตที่ดินของพืช จากคำจำกัดความจะเห็นได้ว่าน้ำชลประทานมีประโยชน์สำหรับการควบคุมความชื้นในเขตรากพืชให้มีอยู่ในสภาพที่เหมาะสม ควบคุมปริมาณเกลือ ป้องกันน้ำแข็ง และปรับสภาพสิ่งแวดล้อมให้เหมาะสม

สำหรับการวางแผนและออกแบบโครงการการศึกษาความต้องการน้ำชลประทานเกี่ยวข้องกับขนาดปริมาณน้ำและความผันแปรในฤดูกาลต่างๆ และช่วงเวลาที่ต้องการชลประทานสูงสุด ความต้องการน้ำในช่วงฤดูกาลต่าง ๆ ใช้สำหรับการประเมินและวางแผนโครงการรวม ช่วงเวลาต้องการน้ำสูงสุดใช้เป็นข้อมูลพื้นฐาน ในการคำนวณหาขนาดของระบบส่งน้ำและประเมินปริมาณน้ำของแปลงน้ำว่ามีเพียงพอในช่วงที่มีการใช้น้ำสูงสุดหรือไม่ อย่างไรก็ตาม ความต้องการน้ำชลประทานทั้งหมดที่กล่าวมา มีความจำเป็นต้องทราบเพื่อการประเมินผลทางด้านเศรษฐกิจและวางแผนการใช้น้ำให้เกิดประโยชน์สูงสุด

ความต้องการน้ำชลประทานที่ช่วงเวลาหนึ่ง ๆ สามารถประเมินได้จากสูตรสมดุลย์น้ำ (Water Balance Equation) ดังนี้

$$(I + P + W_C + W_{Hi} + S_{Ri}) - (ET + W_d + S_{Ro} + W_{Ho}) = S \quad \text{.....(1)}$$



รูปที่ 5.1 สมดุลย์น้ำในเขตรากพืช

เมื่อ

I	=	ปริมาณความต้องการน้ำชลประทาน
R	=	ปริมาณน้ำฝน
W_C	=	น้ำที่ไหลซึมเข้าสู่เขตรากพืช
W_{Hi}, W_{Ho}	=	น้ำที่ไหลผ่านเข้าและออกในขอบเขตรากพืช
S_{Ri}, S_{RO}	=	น้ำที่ไหลเข้าและออกในเขตรากพืชในรูปของ Surface runoff
ET	=	การระเหย-คายน้ำ (Evapotranspiration)
Wd	=	ปริมาณน้ำที่ซึมออกนอกเขตรากในแนวดิ่ง
S	=	ปริมาณน้ำที่เก็บในเขตรากพืช

ถ้ากำหนดให้ปริมาณน้ำที่ไหลออกจากเขตรากพืชทั้งหมด ยกเว้น ET เป็น losses = Z และ $S_{Ri} + W_{Hi} - S = Ws$ สมการ (1) สามารถเป็นรูปสมการใหม่ได้คือ

$$I = ET - R_e - W_c - W_s + Z \quad \text{.....(2)}$$

$$I = \frac{ET - R_e - W_c - W_s}{E_a} = \frac{I_n}{E_a} \quad \text{.....(3)}$$

เมื่อ

I	=	ปริมาณความต้องการน้ำชลประทานทั้งหมด (Irrigation. Water Requirement)
R_e	=	ปริมาณฝนใช้การ (Effective Rainfall)
W_s	=	ปริมาณน้ำในเขตรากพืชที่เปลี่ยนแปลง
I_n	=	ปริมาณความต้องการน้ำชลประทานสุทธิ
Z	=	ปริมาณน้ำชลประทานสูญเสีย
E_a	=	ประสิทธิภาพการให้น้ำ(Water Application Efficiency)

5.4 ความต้องการน้ำชลประทานสูงสุด

การออกแบบระบบชลประทาน ควรยึดพื้นฐานการวิเคราะห์ความต้องการน้ำในช่วงฤดูแล้งหรือช่วงที่ขาดฝน ในช่วงแล้งนี้ส่วนประกอบของสมการสมดุลย์น้ำจะไม่มีอิทธิพลต่อความชื้นในเขตราก ดังนั้นสูตร IWR จึงลดลงเป็น

$$I = \frac{E_T}{E_a} \qquad \text{.....(4)}$$

ในการประเมินค่าการออกแบบความต้องการน้ำสูงสุด ควรกำหนดช่วงเวลาของการวิเคราะห์ให้เหมาะสม การใช้ช่วงวิเคราะห์สั้นเกินไป จะทำให้ได้ค่าความต้องการน้ำสูงสุดสูง ซึ่งทำให้การออกแบบระบบใหญ่และราคาแพงเกินไป ในทางตรงข้ามถ้าวิเคราะห์ช่วงเวลายาวจะได้ค่าความต้องการน้ำสูงสุดต่ำ ระบบชลประทานจะมีขนาดเล็ก ซึ่งอาจจะส่งน้ำได้ไม่เพียงพอ ในทางปฏิบัติการประเมินค่าความต้องการน้ำสูงสุดจะใช้ช่วงเวลา 10 วัน หรือ 1 เดือน แต่ 1 เดือน อาจจะนานเกินไปสำหรับพืชไร่บางชนิด อย่างไรก็ตามช่วงเวลาที่ดีที่สุดควรเป็นช่วงเดียวกันกับช่วงเวลาการชลประทาน (Irrigation Interval)

ข้อมูลปริมาณน้ำที่ต้องการที่ระดับต่าง ๆ ของการวางแผนและออกแบบแสดงไว้ในตารางที่ 5.1

Table5.1 Water supply data needed at different project phases (after Doorenbos and Pruitt)

Phase	Data application	Data required
Reconnaissance	present hydrologic budget; identification of irrigable areas;	Average seasonal water supply
Project identification	location of project; selection of irrigable areas, project size, preliminary determination of main work; predicted water demand; predicted future hydrological budget;	Seasonal supply of main crops
Feasibility study	determination of project size; alternative proposals for water supply facilities and system system; hydraulic criteria; selection of cropping patterns; optimization of scheme water distribution; sizing and costing of main engineering work; phasing of project development;	Monthly or 10-day total supply

Phase	Data application	Data required
Detailed project design	final design of distribution system; net work and hydraulic structure; detailed cropping pattern; detail delivery schedules; irrigation methods and practices;	5 - to 10-day peak supply
Project implementation	review of scheme water scheduling; check on crop water needs; evaluation of water application methods; water use efficiency studies;	5 - to 10-day peak supply
Project operation	monitoring of field water balances;detailed operation scheduling; training of farmers in water application and scheduling;	water budget in farmer's field

5.5 ความต้องการใช้น้ำของพืช (Evapotranspiration)

ความต้องการใช้น้ำของพืช (evapotranspiration 6-2 consumptive use) หมายถึง ปริมาณน้ำที่พืชต้องการใช้ ในการคายน้ำและเก็บไว้ในเซลล์ของต้นพืช รวมทั้งความชื้นที่ระเหยจากผิวดินและส่วนต่าง ๆ ของต้นพืช กำหนดเป็นความลึกของน้ำที่ใช้ในช่วงเวลาหนึ่ง

ความต้องการใช้น้ำของพืชสามารถทำการหาได้หลายวิธี เช่น Soil moisture measurement, Lysimeters and tanks, mass transfer method, infrared radiometry, chamber methods, energy balance method, combination methods, empirical formulae, และ pan evaporation

ข้อมูลที่วิเคราะห์จากการวัดจริงในสนามจะเป็นข้อมูลที่เชื่อถือได้มากที่สุด และไม่เพียงแต่นำไปใช้สำหรับการคำนวณออกแบบระบบชลประทานเท่านั้น แต่ยังนำไปใช้ในการปรับเทียบกับค่าที่ได้จาก empirical formulae และการคำนวณหาค่า Crop Coefficient ไปอีกด้วย

การคำนวณหาค่าความต้องการน้ำของพืช

เพื่อการคำนวณออกแบบ ส่วนใหญ่นิยมคำนวณหาค่าความต้องการน้ำของพืช โดยใช้ Empirical formulae และ Pan evaporation ซึ่งวิธีดังกล่าวเป็นวิธีการประเมินค่า Potential evapotranspiration ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อมีความชื้นเพียงพอสำหรับให้พืชใช้ตลอดเวลา

เนื่องจากมีความแตกต่างกันระหว่างลักษณะของพืชแต่ละชนิด อัตราการเจริญเติบโต และขบวนการลดลงของความชื้นในดิน จึงทำให้ค่า Potential Evapotranspiration ของพืชแต่ละชนิดไม่เท่ากัน อย่างไรก็ตามเราสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่าง Potential Evapotranspiration ของพืชอ้างอิง (Reference Crop) กับพืชอื่นได้จากสมการดังนี้

$$ETc = Kc\ ETp \quad \text{.....} \quad (5)$$

เมื่อ ETc = Crop Evapotranspiration

ETp = Potential Evapotranspiiration (Reference Crop)

Kc = Crop Coefficient

พืชชนิดต่างสามารถใช้เป็นพืชอ้างอิง (Reference Crop) ในการหา Potential evapotranspiration ได้ ดังเช่น Doorenbos and Pruitt ใช้ grass เป็นพืชอ้างอิง และ Jensen and Haise ใช้ Alfalfa เป็นต้น

ค่า ETp ของพืชอ้างอิงจะมีค่าแตกต่างกันไปตามสภาพของภูมิอากาศ ในแต่ละท้องถิ่น ส่วนค่า Kc จะขึ้นอยู่กับชนิดของพืช และอายุการเจริญเติบโตและจะมีค่าคงที่สำหรับพืชชนิดเดียวกัน ที่มีอายุเท่ากันละสามารถนำไปใช้ได้ทั่วไป ไม่ว่าจะปลูกในที่ใด ตารางที่ 5.1 แสดงค่า Crop Coefficient ของพืชบางชนิดที่อายุการเจริญเติบโตต่าง ๆ

วิธีการคำนวณหาค่า Potential Evapotranspiration (ETp) การใช้ข้อมูลภูมิอากาศสามารถทำได้หลายวิธี ตามที่ได้มีผู้ทำการทดลองและสร้างเป็นสูตรสำหรับใช้ในการคำนวณขึ้นไว้ เช่น วิธีของ Thornthwaite and Holzmar, Blaney-Criddle, Jensen-Haise, Makkink และ Penman เป็นต้น แต่ละสูตรมีข้อดีและข้อจำกัด และมีความเหมาะสมกับสภาพของแต่ละท้องถิ่นต่างกัน ก่อนนำมาใช้ควรพิจารณาศึกษาให้ละเอียด สำหรับประเทศไทยได้มีผู้ทำการทดลองและทดสอบการคำนวณโดยใช้สูตรต่าง ๆ แล้ว พบสูตรที่คำนวณจาก วิธีของ Penman ให้ถูกต้องใกล้เคียงความจริงมากที่สุด ตารางที่ 5.3 เป็นค่า ETp ที่ได้จากการคำนวณโดยวิธีของ Penman ในจังหวัดต่าง ๆ ในประเทศไทย

การคำนวณหาปริมาณความต้องการใช้น้ำของพืชจากถาดวัดการระเหย (Pan evaporation) เป็นอีกวิธีหนึ่งที่นิยมใช้กันมาก และให้ผลที่เชื่อถือได้ ถ้ามีการติดตั้งที่ถูกต้องในสถานที่ที่เหมาะสม ถาดวัดการระเหยที่ใช้กันอยู่มีอยู่หลายชนิด แต่ที่นิยมใช้กันมากก็คือ ถาดวัดการระเหย Class-A ค่าการระเหยที่วัดได้จากถาดวัดการระเหย สามารถนำมาใช้คำนวณปริมาณความ

ต้องการใช้น้ำของพืชได้ 2 วิธี คือ เทียบเป็นค่า ETp ก่อนโดยใช้ค่า Kp ซึ่งเป็นค่า pan coefficient ของถาดแต่ละชนิด คูณด้วยค่าการระเหยที่วัดได้ แล้วคูณด้วยค่า Kc ของพืชแต่ละชนิดตามที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น จะได้ค่า ETc ตามที่ต้องการ หรืออีกวิธีหนึ่งก็คือ ทำการหาค่า Crop Coefficient สำหรับถาดวัดการระเหย (Kcp) ก่อนแล้วนำไปคูณกับค่าการระเหยที่วัดได้ จะได้ค่า ET ของพืชที่ต้องการ

ตารางที่ 5.2 (Crop Coefficient) (Kc)

อายุ เดือน	ข้าว 1	ข้าว 2	ข้าวโพด	ถั่ว	ยาสูบ	ผัก	ผลไม้
1	1.00*	1.00*	0.3	0.3	0.4	0.7	0.7
2	1.00	1.10	0.4	0.5	0.7	0.7	0.7
3	1.15	1.15	1.10	1.0	1.0	0.7	0.7
4	1.17	1.17	0.90	0.9	0.9	0.7	0.7
5	1.17	1.00					0.7
6	1.00						0.7
7							0.7
8							0.7
9							0.7
10							0.7
11							0.7
12							0.7

ข้าว 1 = ข้าวพันธุ์พื้นเมือง

ข้าว 2 = ข้าวพันธุ์ กข.

* = ระยะเวลาเตรียมแปลง

ตารางที่ 5.3 ปริมาณการใช้น้ำของพืชมาตรฐานต่าง ๆ ทั่วประเทศ

ที่	สถานี	เดือน											
		มค.	กพ.	มีค.	เมย.	พค.	มิย.	กค.	สค.	กย.	ตค.	พย.	ธค.
1	เชียงราย	93	125	151	169	158	143	135	124	128	122	105	91
2	แม่ฮ่องสอน	102	134	166	185	161	139	131	123	125	123	112	97
3	เชียงใหม่	104	134	164	179	160	144	135	122	124	123	110	96
4	แม่สะเรียง	108	139	173	191	166	135	127	120	125	127	117	103
5	ลำปาง	109	139	167	184	167	151	144	132	130	125	113	100
6	น่าน	102	133	162	177	158	144	135	124	126	126	112	97
7	แพร่	108	137	170	188	168	145	142	130	128	125	115	103
8	อุตรดิตถ์	114	140	165	180	160	140	133	124	128	132	123	109
9	ตาก	115	147	182	198	167	150	144	134	128	121	112	103
10	พิษณุโลก	113	138	165	175	159	143	136	126	128	129	121	108
11	แม่สอด	117	146	177	190	163	135	128	118	127	130	123	110
12	เพชรบูรณ์	118	143	176	180	160	140	132	122	123	131	124	112
13	เขื่อนภูมิพล	116	153	186	197	166	148	143	141	130	125	116	106
14	เลย	119	146	172	183	167	155	153	143	139	139	124	109
15	อุดรธานี	112	137	165	174	158	144	140	128	131	134	121	107
16	นครพนม	113	133	157	166	155	134	132	122	127	132	121	107
17	สกลนคร	114	138	163	173	154	143	141	129	132	135	122	108
18	มุกดาหาร	119	140	167	172	156	141	136	128	135	135	127	114
19	ขอนแก่น	117	143	168	177	162	148	147	133	132	131	126	113

ตารางที่ 5.3 (ต่อ) ปริมาณการใช้น้ำของพืชมาตรฐานต่าง ๆ ทั่วประเทศ

ที่	สถานที่	เดือน											
		มค.	กพ.	มีค.	เมย.	พค.	มิย.	กค.	สค.	กย.	ตค.	พย.	ธค.
20	ร้อยเอ็ด	119	140	165	171	159	147	143	130	129	132	126	114
21	อุบลราชธานี	125	145	166	168	155	140	140	129	129	134	132	120
22	สุรินทร์	119	139	162	162	150	137	135	125	124	126	119	110
23	นครราชสีมา	120	143	163	168	158	151	146	134	132	127	122	112
24	ชัยม่วง	113	131	147	153	145	142	137	125	125	119	112	105
25	ชัยภูมิ	125	150	172	179	172	150	144	133	130	135	130	119
26	นครสวรรค์	122	149	179	187	167	152	144	134	127	126	121	113
27	ลพบุรี	131	152	177	179	161	148	141	132	131	133	131	128
28	สุพรรณบุรี	129	147	174	182	168	155	149	142	134	132	128	121
29	ปราจีนบุรี	132	147	161	162	152	136	132	158	127	131	134	128
30	กาญจนบุรี	125	151	177	182	163	148	144	135	133	127	121	116
31	ดอนเมือง	130	148	169	170	158	150	145	133	132	131	126	119
32	กรุงเทพมหานคร	120	136	153	156	144	136	132	126	123	120	119	113
33	อรัญประเทศ	126	148	166	166	158	144	137	129	131	130	126	117
34	ชลบุรี	131	149	168	171	153	149	143	136	131	131	131	130
35	สัตหีบ	140	156	171	170	152	158	151	146	139	133	137	139
36	จันทบุรี	128	134	139	146	132	123	121	115	117	123	128	127
37	คลองใหญ่(ตราด)	124	130	137	137	129	120	119	112	116	121	122	123
38	เกาะสีชัง	133	150	166	171	156	152	146	139	134	137	135	132

ตารางที่ 5.3 (ต่อ) ปริมาณการใช้น้ำของพืชมาตรฐานต่าง ๆ ทั่วประเทศ

ที่	สถานที่	เดือน											
		มค.	กพ.	มีค.	เมย.	พค.	มิย.	กค.	สค.	กย.	ตค.	พย.	ธค.
39	หัวหิน	127	145	165	167	152	146	139	132	132	127	125	123
40	ประจวบคีรีขันธ์	125	141	159	164	154	145	142	137	140	129	128	127
41	ชุมพร	117	133	152	154	139	130	127	150	128	121	113	111
42	สุราษฎร์ธานี	120	143	158	155	142	136	135	131	114	123	110	107
43	นครศรีธรรมราช	116	137	157	153	143	140	142	135	101	124	110	107
44	สงขลา	103	144	153	147	135	133	135	133	79	124	113	116
45	นราธิวาส	121	136	151	154	138	135	133	131	57	127	115	110
46	ระนอง	130	145	158	153	130	118	117	113	109	115	108	120
47	ภูเก็ต	143	159	167	155	132	132	133	132	82	126	124	132
48	สนามบินภูเก็ต	134	150	157	148	137	127	128	125	88	120	120	123
49	ตรัง	140	158	166	155	131	121	128	123	72	122	117	123

ที่มา : ฉลอง เกิดพิทักษ์. 2526. <u>การจัดการน้ำในลุ่มน้ำของประเทศไทย</u> พระนคร : ห้างหุ้นส่วนจำกัด ฟิสิกส์เซ็นเตอร์การพิมพ์.

5.6 ความต้องการน้ำเพื่อเตรียมแปลง และตกกล้า

สำหรับพื้นที่ปลูกข้าว การเตรียมแปลงก่อนการหว่านหรือปักดำ และการตกกล้าเป็นสิ่งจำเป็นและต้องใช้น้ำจำนวนมาก วัตถุประสงค์ของการเตรียมแปลงก็เพื่อกำจัดวัชพืช ทำให้ดินอ่อนนุ่ม สะดวกต่อการไถคราด และทำให้พื้นที่ให้เรียบสะดวกต่อการส่งน้ำและระบายน้ำ ระยะเวลาในการเตรียมแปลงจะใช้เวลาประมาณ 30 วัน ปริมาณน้ำที่ต้องการใช้ในการเตรียมแปลงขึ้นอยู่กับชนิดของดิน ความชื้นในดิน การรั่วซึม และการระเหย โดยทั่วไปในประเทศไทยการเตรียมแปลงปลูกข้าวจะใช้น้ำประมาณ 200-300 มม. ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับแต่ละท้องถิ่นและฤดูกาล

ช่วงเวลาการตกกล้าจะเป็นช่วงเดียวกับการเตรียมแปลง ซึ่งใช้เวลาประมาณ 30 วัน เช่นกัน ปริมาณน้ำที่ใช้การตกกล้าทั้งหมด ซึ่งได้แก่น้ำที่ใช้สำหรับเตรียมแปลงและเลี้ยงต้นกล้ารวมทั้งสิ้นประมาณ 600 มม. แต่พื้นที่ตกกล้า 1 ไร่ สามารถนำกล้าไปใช้ปักดำในพื้นที่ได้ประมาณ 15 ไร่ ฉนั้นการคิดปริมาณน้ำส่วนนี้มักนิยมคิดรวมกับปริมาณน้ำที่ใช้ในการเตรียมแปลงของพื้นที่ทั้งหมด นั่นคือปริมาณน้ำส่วนที่ใช้ตกกล้าจะมีค่าประมาณ 40 มม. ของพื้นที่เพาะปลูกทั้งหมด

5.7. ปริมาณฝนใช้การ (Effective Rainfall)

ปริมาณฝนใช้กาคือ ปริมาณน้ำฝนส่วนหนึ่งจากฝนทั้งหมดที่ตกลงในพื้นที่ และสามารถใช้ให้เป็นประโยชน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพตามวัตถุประสงค์ สำหรับด้านการชลประทาน ปริมาณฝนใช้การ หมายถึงปริมาณน้ำฝนที่ตกลงในแปลงเพาะปลูก และประโยชน์ต่อการเตรียมแปลง พืชดูดขึ้นไปใช้เพื่อการเจริญเติบโตและเพื่อการระเหยในแปลง ปริมาณฝนใช้การจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายประการเช่น อัตราและปริมาณของฝนที่ตก สภาพภูมิอากาศ ลักษณะเนื้อดิน สภาพของแปลงเพาะปลูก ชนิดของพืชที่ปลูกความชื้นในดินก่อนฝนตก วิธีการชลประทานและการจัดการเป็นต้น

วิธีการประเมินปริมาณฝนใช้การ ในขั้นของการวางโครงการนิยมประเมินจากค่าสัมประสิทธิ์จากการทดลอง (Empirical Coefficient) ดังนั้นสมการการคำนวณหาปริมาณฝนใช้การจะอยู่ในรูปของ $R_e = \alpha R$ เมื่อ R คือปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย และ α คือค่าสัมประสิทธิ์ A.J.P. Ponrajah, 1984 ได้เสนอสูตรสำหรับคำนวณหาปริมาณฝนใช้การไว้ดังนี้

นาข้าว	R_e	=	0.67(R-1)	นิ้ว		(6)
	เมื่อ	Max.R_e	9	นิ้ว		
พืชไร่	R_e	=	0.67(R-0.25)	นิ้ว		(7)
	เมื่อ	Max.R_e	3	นิ้ว		

R = ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือน (ในกรณีที่ทำ Operation Study ในรอบ 1 ปี ควรใช้ R = 75 % Probability Monthly Rainfall)

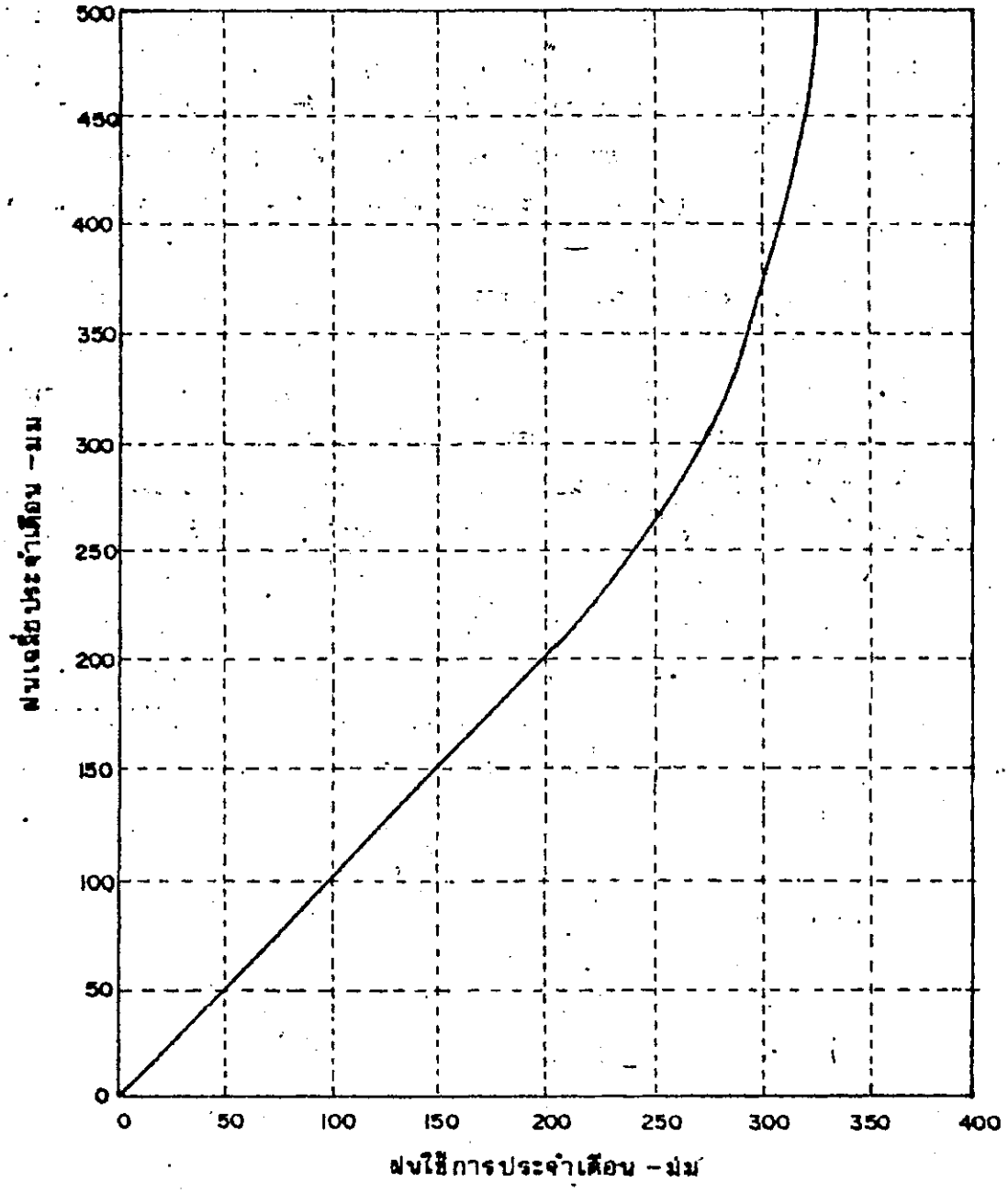
อย่างไรก็ตามวิธีการประเมินปริมาณฝนใช้การมีหลายวิธี แตกต่างกันไป บางวิธีประเมินจากการวัดการเปลี่ยนแปลงความชื้นในดิน และส่วนประกอบของสมดุลย์น้ำ (Water Balance) และบางวิธีประเมินจากสมดุลย์ของปริมาณน้ำฝนที่ตก น้ำชลประทาน และปริมาณการใช้น้ำของพืช

สำหรับพืชไร่ กระทรวงเกษตรของสหรัฐอเมริกา (USDA) ได้แสดงตารางการคำนวณหาฝนใช้การไว้ในตารางที่ 5.4 ซึ่งได้จากการวิเคราะห์สถิติน้ำฝนและคำนวณสมดุลย์ของความชื้นในดิน โดยสมมุติว่าในขณะที่ถึงเวลาที่จะต้องให้น้ำแก่พืชนั้น ดินในเขตรากสามารถเก็บน้ำไว้ได้ 75 มม. แต่ถ้าดินเก็บน้ำไว้ได้ต่างจากนี้จะต้องตัวคูณปรับแก้จากบรรทัดสุดท้ายคูณเข้าอีกทีหนึ่ง เช่าหรับในประเทศไทยยังไม่มีการศึกษาจริงจัง จึงยังคงใช้วิธีของ USDA ไปพลางก่อน ซึ่งเข้าใจว่าค่าเฉลี่ยที่ได้ใกล้เคียงความจริง เพราะการวิเคราะห์เพื่อสร้างตารางนี้ได้รวมเอาตัวเลขจากเขตชุ่มชื้นไปพิจารณาด้วย

การคำนวณฝนใช้การสำหรับนาข้าวทำได้หลายวิธี วิธีที่แนะนำโดยบริษัทที่ปรึกษา ECI (Engineering Consultant, Inc) ซึ่งได้ทำการศึกษาฝนใช้การสำหรับนาข้าวในโครงการชลประทานน้ำพอง ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย มีข้อแนะนำว่าถ้าปริมาณฝนเฉลี่ยตลอดเดือนมีค่าไม่เกิน 200 มม. ให้นับเป็นฝนใช้การได้ทั้งหมด แต่ถ้าปริมาณฝนเฉลี่ยมากกว่า 200 มม. ฝนใช้การจะลดลงตามส่วน ดังแสดงไว้ในรูปที่ 5.2

5.8. ประสิทธิภาพการชลประทาน (Irrigation Efficiency)

ในการส่งน้ำจากแหล่งน้ำที่หัวงานของโครงการไปตามคลองส่งน้ำจนถึงแปลงเพาะปลูก และเข้าไปขังในเขตรากพืชตามปริมาณที่ต้องการนั้นจะมีการสูญเสียน้ำส่วนหนึ่งไปอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้เช่น การรั่วซึมในคลองหรือคูส่งน้ำ การรั่วซึมในแปลง และการไหลออกนอกแปลงเพาะปลูกเป็นต้น จำนวนน้ำที่สูญเสียไปนี้นิยมวัดในรูปของประสิทธิภาพของโครงการชลประทานซึ่งมีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ของอัตราส่วนระหว่างน้ำสุทธิที่ต้องส่งให้พืช (Net Water Requirement) ต่อปริมาณน้ำทั้งหมดที่ต้องส่งจากหัวงาน (Gross Water Application) เขียนเป็นสมการได้ดังนี้



รูปที่ 5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างฝนเฉลี่ยประจำเดือน และฝนใช้การสำหรับนาข้าวซึ่งแนะนำโดยบริษัทวิศวกรที่ปรึกษา (ENGINEERING CONSULTANTS, INC)

ตารางที่ 5.4 Average monthly effective rainfall as related to ET(crop) and mean monthly rainfall (USDA, SCS 1969)[1,2,16]

Monthly mean rainfall (mm)	12.5	25	37.5	50	62.5	75	87.5	100	112.5	125	137.5	150	162.5	175	187.5	200
	Average monthly effective rainfall*															
Average monthly ET (crop) mm	25	8	16	24												
	50	8	17	25	32	39	46									
	75	9	18	27	34	41	48	56	62	69						
	100	9	19	28	35	43	52	59	66	73	80	87	94	100		
	125	10	20	30	37	46	54	62	70	76	85	92	98	107	116	120
	150	10	21	31	39	49	57	66	74	81	89	97	104	112	119	127	133
	175	11	23	32	42	52	61	69	78	86	95	103	111	118	126	134	141
	200	11	24	33	44	54	64	73	82	91	100	109	117	125	134	142	150
	225	12	25	35	47	57	68	78	87	96	106	115	124	132	141	150	159
	250	12	25	37	50	61	72	84	92	102	112	121	132	140	150	158	167

*Where soil water storage at time of irrigation (d) is greater or smaller than 75 mm. the correction factor to be used is given in Table 5.6.

ตารางที่ 5.5 Multiplication factors to relate monthly effective rainfall (obtained from Table 5.5) to net depth of application (d)

d (mm)	Factor	d (mm)	Factor	d (mm)	Factor
10.00	0.620	31.25	0.818	70.00	0.990
12.50	0.650	32.50	0.826	75.00	1.000
15.00	0.676	35.00	0.842	80.00	1.004
17.50	0.703	37.50	0.860	85.00	1.008
18.75	0.720	40.00	0.876	90.00	1.012
20.00	0.728	45.00	0.905	95.00	1.016
22.50	0.749	50.00	0.930	100.00	1.020
25.00	0.770	55.00	0.947	125.00	1.040
27.50	0.790	60.00	0.963	150.00	1.060
30.00	0.808	65.00	0.977	175.00	1.070

$$E_i = \frac{W_n}{W_g} \times 100 \quad \text{.....} \quad (8)$$

เมื่อ E_i = ประสิทธิภาพของการชลประทาน (Irrigation Efficiency)

W_n = ปริมาณน้ำสิทธิที่ต้องการ (Net Water Requirement)

W_g = ปริมาณน้ำทั้งหมดที่ต้องส่งจากหัวงาน (Gross Water Application)

ประสิทธิภาพการชลประทานอาจแยกติดจากประสิทธิภาพของแต่ละส่วนได้เช่น ประสิทธิภาพของคลองส่งน้ำ ประสิทธิภาพคูส่งน้ำ ประสิทธิภาพของการส่งน้ำ และประสิทธิภาพของการแผ่กระจาย เป็นต้น แล้วจึงนำประสิทธิภาพที่ได้นั้นมาคูณเข้าด้วยกันเป็นประสิทธิภาพรวมในจุดที่ต้องการทราบ ดังนั้น

ประสิทธิภาพการส่งน้ำ $E_c = \frac{W_t}{W_g} \times 100$ ..... (9)

ประสิทธิภาพคูส่งน้ำ $E_b = \frac{W_p}{W_f} \times 100$ ..... (10)

ประสิทธิภาพการให้น้ำ $E_a = \frac{W_n}{W_p} \times 100$ ..... (11)

ประสิทธิภาพการชลประทานทั้งหมด $E_i = E_a \cdot E_b \cdot E_c$ ..... (12)

เมื่อ W_n = ปริมาณน้ำสุทธิที่ต้องการ

W_f = ปริมาณน้ำที่ได้รับที่แปลงเพาะปลูก

W_p = ปริมาณน้ำที่ส่งเข้าแปลงเพาะปลูก

W_g = ปริมาณน้ำทั้งหมดที่ส่งเข้าระบบส่งน้ำ

ค่าประสิทธิภาพต่าง ๆ ของงานชลประทานแสดงไว้ในตารางที่ 5.6 สามารถใช้เป็นแนวทางในการคำนวณหาประสิทธิภาพของโครงการชลประทานในระดับงานวางโครงการได้

ตารางที่ 5.6 ประสิทธิภาพการส่งน้ำ (E_c) ประสิทธิภาพของคูส่งน้ำ (E_b) ประสิทธิภาพของระบบส่งน้ำ ($E_s = E_b.E_c$) และประสิทธิภาพการให้น้ำ (E_a) สำหรับวิธีการส่งน้ำ ขนาดของพื้นที่ ลักษณะของดินและวิธีการให้น้ำแบบต่าง ๆ

	ประสิทธิภาพ
ประสิทธิภาพการส่งน้ำ(Conveyance Efficiency, E_c)	
ส่งน้ำแบบคลอดเวลา การเปลี่ยนแปลงอัตราการส่งน้อย	90%
ส่งน้ำแบบหมุนเวียน โครงการขนาด 20,000 - 40,000 ไร่	
พื้นที่หมุนเวียน 500 - 2,000 ไร่ มีการจัดการดี	80%
ส่งน้ำแบบหมุนเวียนในโครงการขนาดใหญ่มาก (มากกว่า 60,000 ไร่)	
หรือโครงการเล็ก (น้อยกว่า 6,000 ไร่) การจัดการไม่ดีพอ	65 - 70 %
ประสิทธิภาพของคูส่งน้ำ (Field Canal Efficiency, E_b)	
สำหรับพื้นที่รับน้ำมากกว่า 125 ไร่: คลองดิน	80%
คลองดาดหรือท่อส่งน้ำ	90%
สำหรับพื้นที่รับน้ำน้อยกว่า 125 ไร่: คลองดิน	70%
คลองดาดหรือท่อส่งน้ำ	80%
ประสิทธิภาพของระบบส่งน้ำ ($E_s=E_b.E_c$)	
สำหรับการส่งน้ำแบบหมุนเวียนที่มีการจัดการและการประสานงาน	
ก. ดี	65%
ข. พอใช้	55%
ค. เกือบพอใช้	40%
ง. เลว	30%
ประสิทธิภาพการให้น้ำ(Application Efficiency, E_a)	
ให้น้ำทางผิวดิน:	
ดินทราย	55%
ดินร่วน	70%
ดินเหนียว	60%
แบบท่วมเป็นผืนยาว (Graded Border)	60 - 75%
แบบท่วมเป็นอ่างหรือเป็นผืนราบ(Basin and Level Border)	60 - 80%
แบบท่วมจากคูตามเส้นขอบเนิน (Contour Ditch)	50 - 55%
แบบร่องคู(Furrow)	55 - 70%
แบบร่องคูเล็ก (Corrugation)	50 - 70%
ให้น้ำใต้ผิวดิน	ไม่เกิน 80%
ให้แบบฉีดฝอย(Sprinkler)	
อากาศร้อนและแห้ง	60%
อากาศอบอุ่นปานกลาง	70%
อากาศชุ่มชื้นและเย็น	80%
การให้น้ำสำหรับนาข้าว	32%

5.9 การสูญเสียน้ำในอ่างเก็บน้ำ

การสูญเสียน้ำในอ่างเก็บน้ำมีผลทำให้ปริมาตรของน้ำที่เก็บกักไว้มีปริมาณลดน้อยลงทำให้มีน้ำไม่เพียงพอสำหรับใช้งานในช่วงฤดูแล้ง ฉะนั้นในการคำนวณหาปริมาตรเก็บกักของอ่างเก็บน้ำจะต้องรวมปริมาณน้ำเพื่อการสูญเสียในอ่างเก็บน้ำนี้ไว้ด้วย การสูญเสียน้ำในอ่างเก็บน้ำเกิดขึ้นได้ 2 ทางคือ การสูญเสียเนื่องจากการระเหยจากผิวน้ำ (Evaporation) และการสูญเสียเนื่องจากการรั่วซึม (Percolation & Seepage)

การสูญเสียเนื่องจากการระเหยจากผิวน้ำ (Evaporation)

ปริมาณน้ำที่สูญเสียไปเนื่องจากการระเหยขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวน้ำและอัตราการระเหยพื้นที่ผิวน้ำหมายถึง พื้นที่ของผิวน้ำที่มีการเก็บน้ำในเวลานั้น ๆ สามารถหาได้จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความจะและพื้นที่ของอ่าง ๆ (Capacity & Area) สำหรับอัตราการระเหยของน้ำขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศในขณะนั้น เช่น อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และแรงลมเป็นต้น จากการศึกษาและทดลองพบว่าอัตราการระเหยจากผิวน้ำจะมีความสัมพันธ์กับค่าอัตราการระเหยจากถาดวัดการระเหย (Class-A Pan) แต่จะมีค่าน้อยกว่า กล่าวคือมีค่าประมาณ 0.6-0.8 เท่าของอัตราการระเหยจากถาดวัดการระเหย Class-A Pan จากการศึกษาทดลองในประเทศไทยพบว่าค่าอัตราการระเหยจากผิวน้ำที่เหมาะสมจะมีค่าประมาณ 0.72 ของอัตราการระเหยจากถาดวัดการระเหย Class-A Pan

ในการคำนวณหาปริมาณการสูญเสียน้ำเนื่องจากการระเหยจากผิวน้ำในอ่างเก็บน้ำนี้ หากเป็นอ่างเก็บน้ำขนาดเล็กหรือต้องการเก็บน้ำไว้เพียงบางส่วนหรืออ่างเก็บน้ำที่มีน้ำล้นอยู่เกือบตลอดฤดูฝน ในกรณีนี้การคิดปริมาณน้ำที่สูญเสียการระเหยจะคิดเฉพาะเวลาในช่วงฤดูแล้งเท่านั้น สำหรับอ่างเก็บน้ำขนาดกลางหรือขนาดใหญ่โดยปกติจะออกแบบไว้ให้เก็บน้ำได้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ ฉนั้นในช่วงฤดูฝนจะมีน้ำไหลข้าม Spillway เพียงช่วงระยะเวลาสั้น ๆ หรือบางปีอาจจะไม่มีน้ำไหลข้าม Spillway เลย ฉนั้นในการคิดปริมาณน้ำที่สูญเสียจากการระเหย จึงเป็นช่วงเวลาทั้งปี

สำหรับค่าอัตราการระเหยจากถาดวัดการระเหย Class-A Pan จะหาได้จากข้อมูลของกรมอุตุนิยมวิทยาหรือสถานีวัดอากาศทั่วไป

การสูญเสียน้ำเนื่องจากการรั่วซึม (Percolation & Seepage)

ปริมาณน้ำที่สูญเสียเนื่องจากการรั่วซึมนี้เกิดจากการรั่วซึมของน้ำทางแนวดิ่งและทางด้านข้างผ่านคันดินและตลิ่ง ปริมาณการรั่วซึมจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับสภาพทางธรณีวิทยาของพื้นดินกับอ่างและตลิ่งเช่น ลักษณะการเรียงตัวของชั้นหินหรือชั้นดิน ลักษณะของดินและหิน

รอยแตก และรอยแตกแยกต่าง ๆ การวัดค่าอัตราการรั่วซึมนี้จะทำได้ยากและไม่มีข้อมูลเกี่ยวกับการรั่วซึมที่ถูกต้อง ในงานโครงการนิยมใช้ค่าโดยประมาณ เป็นความลึกของน้ำเฉลี่ยในอัตรา 1-3 มม./วัน

5.10 การคำนวณปริมาณน้ำเพื่อการเพาะปลูกของโครงการ

ในการคำนวณหาปริมาณน้ำเพื่อการเพาะปลูกในพื้นที่เขตโครงการเพื่องานวางโครงการนิยมหาปริมาณความต้องการใช้น้ำเป็นรายเดือนตลอดทั้งปี เพื่อนำค่าความต้องการน้ำรายเดือนไปคำนวณหาปริมาตรเก็บกักของอ่างเก็บน้ำหรือปริมาณน้ำที่จะต้องผันจากห้วงงานเข้าคลองส่งน้ำต่อไป

ตารางที่ 5.7 เป็นแบบฟอร์มและตัวอย่างการคำนวณหาปริมาณความต้องการใช้น้ำรายเดือนของโครงการ ซึ่งต้องอาศัยข้อมูลต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. แผนการปลูกพืชของโครงการ (Cropping Pattern)
2. ชนิดของพืชที่ปลูก
3. ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชแต่ละชนิด (Crop Coefficient)
4. การใช้น้ำของพืชอ้างอิง (Potential Evapotranspiration)
5. การใช้น้ำของพืชที่แท้จริง (Evapotranspiration)
6. ปริมาณฝนเฉลี่ยในแต่ละเดือน (Average Monthly Rainfall)
7. การรั่วซึมเลยเขตรากพืช (Percolation)
8. ประสิทธิภาพของโครงการชลประทาน (Irrigation Efficiency)

5.11 OPERATION STUDY

Operation Study คือ การศึกษาเกี่ยวกับปริมาณน้ำต้นทุนของโครงการและปริมาณความต้องการใช้น้ำตามวัตถุประสงค์ของโครงการทั้งหมด ซึ่งรวมถึงเพื่อการชลประทาน การไฟฟ้าพลังน้ำ การอุปโภคบริโภค อุตสาหกรรม การป้องกันน้ำท่วม ฯลฯ ในลักษณะการดำเนินงานจริง โดยใช้ข้อมูลต่าง ๆ ที่รวบรวมและทำการวิเคราะห์แล้ว ในที่นี้จะกล่าวถึงปริมาณความต้องการใช้น้ำเพื่อการชลประทานเป็นหลัก

วิธีการจะเริ่มศึกษาปริมาณน้ำที่ไหลเข้าสู่ห้วงงานและปริมาณที่ส่งออกเข้าสู่ระบบส่งน้ำเป็นรายเดือนตลอดทั้งปี หรือตลอดฤดูกาลเพาะปลูก ถ้าผลการศึกษาแสดงออกมาว่ามีปริมาณน้ำเพียงพอทุกเดือนที่ต้องการใช้น้ำ โครงการนั้นก็ควรจะเป็นโครงการชลประทานประเภท

การคำนวณปริมาณน้ำที่ต้องส่งให้แปลงเพาะปลูก

โครงการ.....ตำบล.....อำเภอ.....จังหวัด.....

ที่	รายการ	ที่มา	หน่วย	มิย.	กค.	สค.	กย.	ตค.	พย.	ธค.	มค.	กพ.	มีค.	เมย.	พค.	รวม
1	แผนการปลูกพืช	กำหนดให้	-													
2	ระยะเวลาเจริญเติบโตของพืช	กำหนดให้	-													
3	Crop Factor (Kc)	กำหนดให้	มม./วัน													
4	Evapotranspiration	จากการคำนวณ	มม./วัน													
5	ET crop	3 x 4	มม./วัน													
6	Percolation (P)	ดูหมายเหตุ	มม./วัน													
7	ET crop + P	5 + 6	มม./วัน													
8	ปริมาณน้ำที่พืชต้องใช้	7 x จำนวนวัน	มม./เดือน													
9	ฝนเฉลี่ย	จากสถิติ	มม./เดือน													
10	Effective Rainfall (Re)	จาก CURVE	มม./เดือน													
11	ET crop + P-Re	8 - 10	มม./เดือน													
12	Irrigation Efficiency	ดูหมายเหตุ	%													
13	จำนวนน้ำที่ต้องสูงเข้าเติม	13 ÷ 14	มม./เดือน													
14	ปริมาณน้ำที่ต้องส่งเข้าเติม	15 x 1.6	$ม^3$/เดือน/ไร่													
15	อัตราการ	16 x 1,000 / n x 24x3600	ล./วินาที/ไร่													

หมายเหตุ .- 1. เมื่อปลูกข้าวฤดู Percolation Rate ดังนี้

ก.	ภาคกลาง	1.0	มม./วัน
ข.	ภาคอีสาน	2.0	มม./วัน
ค.	ภาคอื่น ๆ	1.5	มม./วัน

2. Irrigation Efficiency ให้ใช้ดังนี้

ก.	คลองดิน	40 %
ข.	คลองคอน	50 %

การคำนวณหาปริมาณความต้องการน้ำชลประทาน

สำหรับแปลงเพาะปลูก

โครงการ..... ตำบล..... อำเภอ..... จังหวัด .....

รายการ	หน่วย	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	หมายเหตุ
1 แผนการปลูกพืช	-	ตบ.	----- ข้าว	----------					------ถั่วเหลือ----------					กำหนดให้
2 ระยะเวลาเจริญเติบโต	-	30	31	31	30	31			31	28	31	30		กำหนดให้
3 Kc	มม/วัน	1.00	1.00	1.15	1.17	1.00			0.30	0.50	1.00	0.90		กำหนดให้
4 ETp	มม/วัน	4.80	4.35	3.94	4.13	3.98			3.55	4.79	5.29	5.67		คำนวณ
5 ETc	มม/วัน	4.80	4.35	4.53	4.83	3.98			1.07	2.40	5.29	5.10		R3*R4
6 Percolation (P)	มม/วัน	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50			0	0	0	0		-
7 ETc + P	มม/วัน	6.30	5.85	6.03	6.33	5.48			1.07	2.40	5.29	5.10		R5+R6
8 ปริมาณน้ำที่ต้องการ	มม/ด.	189.0	181.4	187.0	190.0	169.9			33.0	67.1	164.0	153.1		R7*วัน
9 ฝนเฉลี่ยรายเดือน	มม/ด	117.5	133.5	217.0	234.5	109.8			3.7	2.5	12.0	42.5		ข้อมูล
10 ฝนใช้การ (RE)	มม/ด	62.0	72.7	128.6	140.4	56.8			0	0	4.02	24.45		สูตร/กราฟ
11 ETc+P-Re	มม/ด	127.0	108.7	58.3	49.6	113.1			33.0	67.1	160.0	128.6		R8-R10
12 Irr.Eff	%	50	50	50	50	50			50	50	50	50		-
13 ความต้องการน้ำ ชป.	มม/ด.	254.1	217.3	116.6	99.2	226.1			66.0	134.1	319.9	257.3		R11/R12
14 ปริมาณน้ำ ชป.	ม/ด/ร	406.5	347.7	186.6	158.7	361.8			105.6	214.6	511.9	411.6		R13*1.6
15 ค่าชลภาระ	ล/ว/ร	0.157	0.130	0.070	0.061	0.135			0.039	0.089	0.191	0.159		คำนวณ

หมายเหตุ 1. เมื่อปลูกข้าวคิด Percolation rate ดังนี้

ภาคกลาง 1.0 มม./วัน

ภาค ตอน. 2.0 มม./วัน

ภาคอื่นๆ 1.5 มม./วัน

2. ค่า Irrigation Efficiency ใช้ดังนี้

ก. คลองดิน 40 %

ข. คลองดาด 50 %

เขื่อนทดน้ำหรือฝาย หรืออาจจะไม่ต้องการโครงการเลยก็ได้ ถ้าปรากฏว่าปริมาณน้ำฝนที่ตกลงในพื้นที่มีเพียงพอและมีช่วงฝนตกสม่ำเสมอ ถ้าหากผลการศึกษาแสดงการขาดน้ำในบางเดือน โดยเฉพาะในฤดูแล้งซึ่งจำเป็นต้องใช้ในการปลูกพืชไร่ ก็ควรจะพิจารณาสร้างโครงการเป็น โครงการประเภทอ่างเก็บน้ำ เพื่อเก็บกักน้ำในช่วงฤดูฝน ซึ่งมีน้ำเหลือใช้ไว้สำหรับเดือนที่ขาดแคลนน้ำ

การศึกษาการดำเนินการของโครงการอ่างเก็บน้ำเรียกว่า Reservoir Operation Study ซึ่งหลังจากการศึกษานี้แล้วจะทำให้สามารถหาขนาดที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำ กับพื้นที่เพาะปลูกและแผนการปลูกพืช ในพื้นที่โครงการได้ โดยปกติแล้วถ้าปริมาณน้ำต้นทุนมีน้อยแต่มีพื้นที่เพาะปลูกจำนวนมาก ปริมารน้ำจะเป็นตัวกำหนดขนาดของพื้นที่โครงการ (Irrigation Area) ในกรณีพื้นที่เพาะปลูกมีจำนวนจำกัด แต่มีปริมาณน้ำต้นทุนสูง ปริมาณพื้นที่จะเป็นตัวกำหนดขนาดของอ่างเก็บน้ำ อย่างไรก็ตามการวางแผนการปลูกพืช (Cropping Pattern) ก็มีบทบาทสำคัญในการกำหนดขนาดของอ่างเก็บน้ำ

การวางแผนการปลูกพืช (Cropping Pattern) และจำนวนครั้งของการเพาะปลูก (Intensity) ในรอบปี พิจารณาจากความเหมาะสมของพื้นที่ดิน พืช การแผ่กระจายของฝนและความต้องการในผลผลิต ซึ่งจะแตกต่างกันออกไปในแต่ละท้องถิ่น อย่างไรก็ตาม ในตัวอย่างที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้ จะเป็นการวางแผนการปลูกพืชสำหรับข้าวในฤดูฝน และปลูกข้าวนาปรังและพืชไร่ในฤดูแล้ง สำหรับพื้นที่ปลูกข้าวนาปรังและพืชไร่ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำที่เหลือจากการทำนาปี

5.11.1 **ความสมดุลย์ของน้ำ** (Water balance)

ในการศึกษาถึงความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำต้นทุนกับปริมาณความต้องการใช้น้ำนี้ Water balance equation ได้สร้างขึ้นมาเพื่อใช้ประกอบการพิจารณาดังนี้

Storage at the beginning of the month + inflow - Demand - Losses - Spillage

= Storage at the end of the month

= Storage at the beginning of the next month

Inflow คือปริมาณน้ำที่ได้จากฝนที่ตกในพื้นที่รับน้ำของโครงการและปริมาณน้ำที่ผันมาจากแหล่งอื่น รวมทั้งปริมาณน้ำที่ระบายพื้นที่เพาะปลูกส่วนบน (ถ้ามี)

Demand คือปริมาณน้ำที่ต้องการใช้จากประตูส่งน้ำของหัวงาน (Head Regulator) ทั้งหมด ได้แก่ ปริมาณน้ำที่ต้องใช้สำหรับการอุปโภค-บริโภค การเพาะปลูก รวมทั้งส่วนที่สูญเสียไปในระบบส่งน้ำ และในแปลงเพาะปลูก

Losses คือ ปริมาณน้ำที่ต้องสูญเสียไปในอ่างเก็บน้ำ ก่อนส่งเข้าประตูส่งน้ำ ได้แก่ การสูญเสียน้ำเนื่องจากการระบายจากผิวน้ำและการรั่วซึม (Evaporation and Seepage) ในอ่างเก็บน้ำ

Spillage คือ ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำที่ถูกระบายออกผ่าน Spillway ในเดือนที่มี Inflow มาก และมีปริมาณน้ำเกินระดับเก็บกักปกติ (Full Supply Level)

5.11.2 **การทำ Reservoir Operation Study (ROS)**

การศึกษาการดำเนินการของโครงการ มีวิธีการและขั้นตอนในการทำ (ROS) ดังนี้ (ดูตารางแสดงการทำ ROS ท้ายบทนี้ประกอบ)

1. เตรียมข้อมูลสำหรับทำ ROS

1.1 Average Average annual Discharge ($m.^3$)

1.2** Dead Storage ($m.^3$)

1.3 Monthly rainfall, (mm) - Row 1

1.4 Monthly evaporation and seepage (mm) - Row 2

1.5 Monthly inflow ($m.^3$) - row4

1.6 Requirement for rice ($m.^3$/rai) - Row 10

1.7 Requirement for up-land crop ($m.^3$/rai) - Row 11

1.8 Requirement for water supply ($m.^3$) - Row 14

1.9 Requirement for factory ($m.^3$) - Row 15

1.10 Area-Capacity curve

2. การคำนวณเพื่อหาพื้นที่เพาะปลูก

ในการคำนวณหาพื้นที่เพาะปลูกให้ดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้

2.1 คำนวณหาปริมาณน้ำเพื่อใช้ในการทำนาในพื้นที่โครงการในแต่ละเดือน โดยใช้ค่า Row 10 คูณด้วยพื้นที่ปลูกข้าว (Irr.A)

พื้นที่ชลประทานได้จากสูตร $= \dfrac{AAD - DS - (Row\ 14) - Row\ 15)}{(Row)\ 10}$

Irr.A = พื้นที่ชลประทานกดเพียง 80 % โดยประมาณ (ไร่)

DS. = Dead Storage. ($m.^3$)

A.A.D = Average Annual Discharge ($m.^3$)

** Dead Storage คือปริมาตรของอ่างเก็บน้ำที่ต้องเผื่อไว้สำหรับการตกตะกอนตลอดอายุการใช้งานของโครงการ และประตูส่งน้ำหรือ outlet จะถูกกำหนดไว้ที่ระดับผิวน้ำของ Dead Storage

2.2 คำนวณหาปริมาณการใช้น้ำของพืชฤดูแล้งในแต่ละเดือน (จะทำเมื่อทำ ROS ไปแล้ว 1 รอบ) โดยใช้ค่า Row 11 คูณด้วย พื้นที่ปลูกพืชฤดูแล้ง)

พื้นที่ปลูกพืชฤดูแล้ง = $\frac{\text{ปริมาณน้ำเหลือเกิน D.S.-ปริมาณน้ำ D.S. (ดูตาราง ROSรอบที่ 1 ประกอบ)}}{\Sigma \text{Row } 11}$

2.3 หาปริมาณความต้องการใช้น้ำทั้งหมด (Row 16) ของโครงการแบ่งออกเป็น 2 ตอนคือ

-ในการทำ Ros รอบแรก

Row 16 = Row 12 + Row 14 + Row 15

-ในการทำ Ros รอบต่อไป

Row 16 = Row 12 + Row 13 + Row 14 + Row 15

3. วิธีการเริ่มคำนวณ ROS

ในการคำนวณ ROS แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ

3.1 เริ่มทำ ROS จากระดับน้ำในอ่างน้อยที่สุด (เท่ากับ Dead Storage) เดือนที่เริ่มต้นการทำ ROS คือเดือนแรกที่มี Inflow มากกว่า Outflow โดยกำหนดให้ปริมาณน้ำในอ่างปลายเดือนที่ผ่านมาเท่ากับ Dead Storage ปกติจะเป็นปลายฤดูแล้ง หรือต้นฤดูฝน

3.2 ทำ ROS จากระดับน้ำในอ่างมากที่สุด คืออยู่ที่ระดับเก็บกักปกติของอ่าง เดือนที่เริ่มต้นการทำ ROS คือ เดือนที่มีปริมาณน้ำในอ่างเหลือมากที่สุด (พิจารณาจากค่า Inflow ลบด้วย Outflow) ปกติจะเป็นเดือนที่อยู่ช่วงปลายฤดูฝนหรือต้นฤดูแล้ง

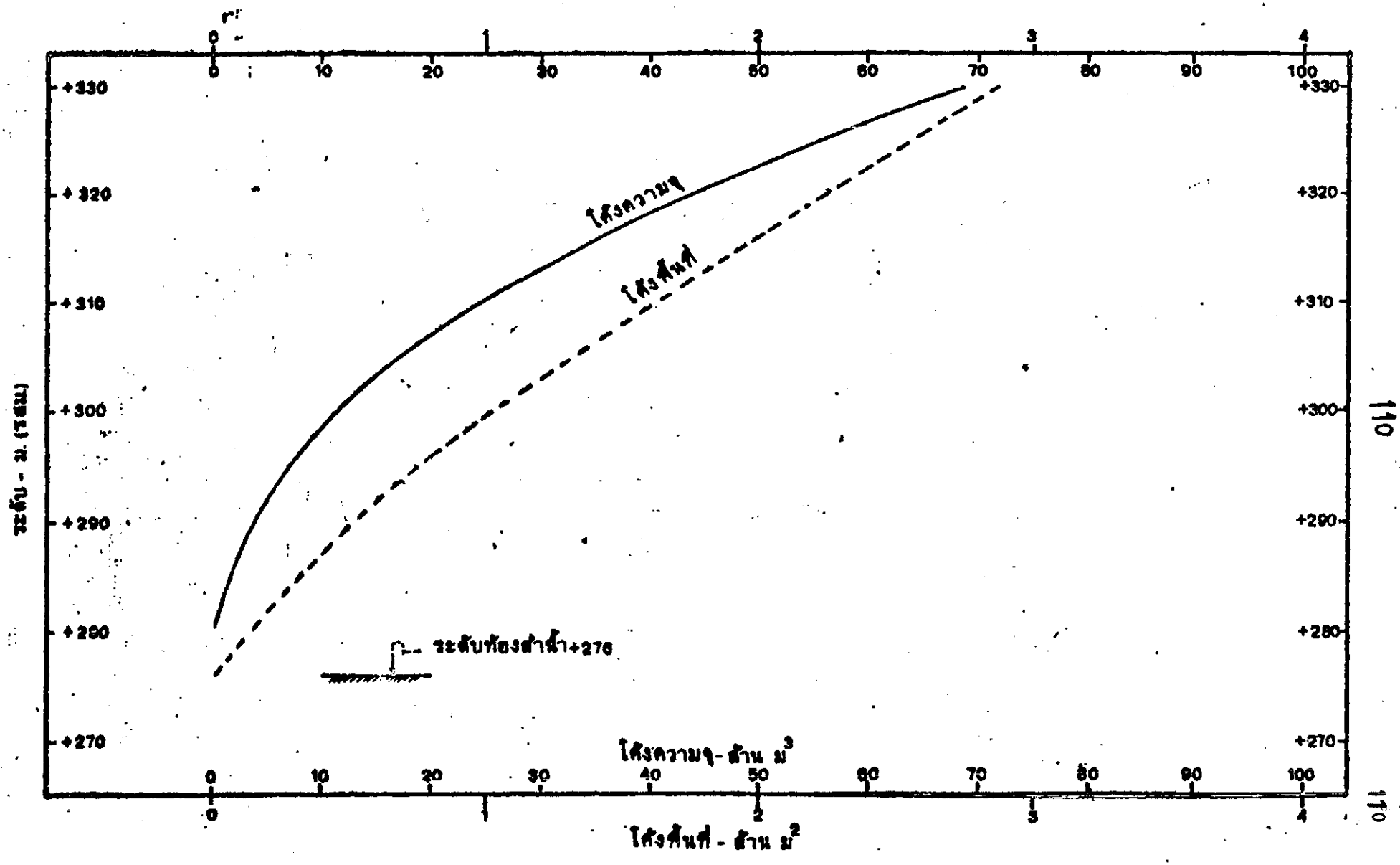
4. การพิจารณาขนาดของอ่างและการใช้น้ำที่เหมาะสม

จากการทำ ROS ที่ใช้ กล่าวมาข้างต้น ผลที่ได้ออกมาอ้างอยู่ในเกณฑ์ต่อไปนี้

4.1 จะต้องไม่มีเดือนใดขาดน้ำ (Shortage)

4.2 น้ำที่ล้น Spillway ในแต่ละเดือนต้องไม่มากกว่า 3% ของความจุของอ่าง (ในกรณีที่ Inflow มีจำกัด)

4.3 การใช้น้ำของอ่างขึ้นอยู่กับพื้นที่เพาะปลูก ในการทำ ROS ถ้ามีน้ำ Spill มากเกินไป ให้เพิ่มพื้นที่เพาะปลูกในฤดูฝนหรือฤดูแล้งให้มากขึ้น


โค้งความจุ
โค้งพื้นที่
ระดับท้องลำน้ำ+276
ระดับ - ม. (รทก.)
+330
+320
+310
+300
+290
+280
+270
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
โค้งความจุ - ล้าน ม.3
0
1
2
3
4
โค้งพื้นที่ - ล้าน ม.2

RESERVOIR OPERATION STUDY

AAD — El Rood

Project	Avg.Annual Runoff Volume	50750000	m^3	Reservoir Capacity	.....	m^3
Changwat	Est.Max. Flood Dischage	.....	m^3/s	Dead Storage	1415000	m^3
Drainage Area	Spillway Crest	.....	m.s.l	F.S.L. Area	.....	m^2

No.	Items		oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep
1	Average Rainfall	(mm.)	97.6	15.2	3.2	2.7	3	4.8	27.7	188.5	278.7	310	342.4	222.6
2	Evaporation & Seepage	(mm.)	140.2	142.2	138.6	137	151.5	200.8	214.7	167.2	126.9	120.7	108.1	115.6
3	Q/Start Period (R19)	1000m^3												
4	Inflow from Runoff	1000m^3	9714	5175	2996	2014	1195	1117	1017	2086	3205	4020	7530	10681
5	Water Surface Area	1000m^2												
6	Rain on (R1xR5)/1000	1000m^3												
7	Eva & Se (R2xR5)/1000	1000m^3												
8	Net Q. (R4+R6-R7)	1000m^3												
9	Total Q./period(R3+R8)	1000m^3												
10	Requirment,rice/rai	m^3	342								271	156	141	242
11	Requirment,U-crop/rai	m^3				397	152	371	522	39				
12	Q.Req. rice-rai	1000m^3	11970	0	0	0	0	0	0	0	9485	5460	4935	8470
13	Q.Req. U-crop-rai	1000m^3												
14	Q.Req. Water Supply	1000m^3												
15	Q.Req. Factories	1000m^3												
16	Total Q. Required	1000m^3	11970	0	0	0	0	0	0	0	9485	5460	4935	8470
17	Shortage(ifR9-R16<DS)	1000m^3												
18	Spill(ifR9-R16>Res.Ca)	1000m^3												
19	Carriy Over to Next Mo.	1000m^3												

Irrigable Area = $\frac{\text{AAD} - \text{DS} - \text{sum(R14)} - \text{sum(R15)}}{\text{sum(R10)}}$ = 42825.52 / 35000 Rais (Approx. 80% for Rice)

111

144

RESERVOIR OPERATION STUDY

Project	Avg.Annual Runoff Volume	50750000	m^3	Reservoir Capacity	..... m^3
Changwat	Est.Max. Flood Dischage	.....	m^3/s	Dead Storage	1415000 m^3
Drainage Area	Spillway Crest	.....	m.s.l	F.S.L. Area	..... m^2

No.	Items		oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep
1	Average Rainfall	(mm.)	97.6	15.2	3.2	2.7	3	4.8	27.7	188.5	278.7	310	342.4	222.6
2	Evaporation & Seepage	(mm.)	140.2	142.2	138.6	137	151.5	200.8	214.7	167.2	126.9	120.7	108.1	115.6
3	Q/Start Period (R19)	1000m^3	6358	4071	9173	12046	13917	14939	15819	16603	18716	12645	1415	4085
4	Inflow from Runoff	1000m^3	9714	5175	2996	2014	1195	1117	1017	2086	3205	4020	7530	10681
5	Water Surface Area	1000m^2	735.0	573.0	908.0	1066.0	1160.0	1209.0	1250.0	1286.0	1377.0	1097.0	322.0	574.0
6	Rain on (R1xR5)/1000	1000m^3	71.7	8.7	2.9	2.9	3.5	5.8	34.6	242.4	383.8	340.1	110.3	127.8
7	Eva & Se (R2xR5)/1000	1000m^3	103.0	81.5	125.8	146.0	175.7	242.8	268.4	215.0	174.7	132.4	34.8	66.4
8	Net Q. (R4+R6-R7)	1000m^3	9683	5102	2873	1871	1023	880	783	2113	3414	4228	7605	10742
9	Total Q./period(R3+R8)	1000m^3	16041	9173	12046	13917	14939	15819	16603	18716	22130	16873	9020	14828
10	Requirment,rice/rai	m^3	342								271	156	141	242
11	Requirment,U-crop/rai	m^3				397	152	371	522	39				
12	Q.Req. rice-rai	1000m^3	11970	0	0	0	0	0	0	0	9485	5460	4935	8470
13	Q.Req. U-crop-rai	1000m^3												
14	Q.Req. Water Supply	1000m^3												
15	Q.Req. Factories	1000m^3												
16	Total Q. Required	1000m^3	11970	0	0	0	0	0	0	0	9485	5460	4935	8470
17	Shortage(ifR9-R16<DS)	1000m^3												
18	Spill(ifR9-R16>Res.Ca)	1000m^3												
19	Carriy Over to Next Mo.	1000m^3	4071	9173	12046	13917	14939	15819	16603	18716	12645	11413	4085	6358

Irrigable Area: Up-land Crop = $\frac{(11413 - 1415)}{\Sigma \text{Row } 11}$ = 6751 Rais

= 6600 Rais (Use)

112

142

RESERVOIR OPERATION STUDY

Project	Avg.Annual Runoff Volume	50750000	m^3	Reservoir Capacity	12000000 m^3
Changwat	Est.Max. Flood Dischage	.....	m^3/s	Dead Storage	1415000 m^3
Drainage Area	Spillway Crest	.....	m.s.l	F.S.L. Area	..... m^2

No.	Items		oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep
1	Average Rainfall	(mm.)	97.6	15.2	3.2	2.7	3	4.8	27.7	188.5	278.7	310	342.4	222.6
2	Evaporation & Seepage	(mm.)	140.2	142.2	138.6	137	151.5	200.8	214.7	167.2	126.9	120.7	108.1	115.6
3	Q/Start Period (R19)	1000m^3	6535	4248	9350	12000	11251	11270	9702	7040	8896	2825	1592	4263
4	Inflow from Runoff	1000m^3	9714	5175	2996	2014	1195	1117	1017	2086	3205	4020	7530	10681
5	Water Surface Area	1000m^2	735.0	573.0	908.0	1066.0	1160.0	1209.0	1250.0	1286.0	1377.0	1097.0	322.0	574.0
6	Rain on (R1xR5)/1000	1000m^3	71.7	8.7	2.9	2.9	3.5	5.8	34.6	242.4	383.8	340.1	110.3	127.8
7	Eva & Se (R2xR5)/1000	1000m^3	103.0	81.5	125.8	146.0	175.7	242.8	268.4	215.0	174.7	132.4	34.8	66.4
8	Net Q. (R4+R6-R7)	1000m^3	9683	5102	2873	1871	1023	880	783	2113	3414	4228	7605	10742
9	Total Q./period(R3+R8)	1000m^3	16218	9350	12223	13871	12273	12150	10485	9153	12310	7052	9198	15005
10	Requirment,rice/rai	m^3	342								271	156	141	242
11	Requirment,U-crop/rai	m^3				397	152	371	522	39				
12	Q.Req. rice-rai	1000m^3	11970	0	0	0	0	0	0	0	9485	5460	4935	8470
13	Q.Req. U-crop-rai	1000m^3	0	0	0	2620	1003	2449	3445	257	0	0	0	0
14	Q.Req. Water Supply	1000m^3												
15	Q.Req. Factories	1000m^3												
16	Total Q. Required	1000m^3	11970	0	0	2620	1003	2449	3445	257	9485	5460	4935	8470
17	Shortage(ifR9-R16<DS)	1000m^3												
18	Spill(ifR9-R16>Res.Ca)	1000m^3			131									
19	Carriy Over to Next Mo.	1000m^3	4248	9350	12000	11251	11270	9702	7040	8896	2825	1592	4263	6535

Q req U-crop = Ucrop/rai x Ucrop area (6600 rai)

บทที่ 6
การศึกษาทางด้านธรณีวิทยา

การศึกษาสภาพทางธรณีวิทยาบริเวณที่จะทำการสร้างเขื่อน อ่างเก็บน้ำและอาคารประกอบอื่น ๆ มีความสำคัญและจำเป็นสำหรับงานวางโครงการ ข้อมูลทางธรณีวิทยาจะเป็นตัวบ่งบอกถึงความแข็งแรงของฐานราก รอยแตก รอยร้าว ซึ่งเป็นสาเหตุของการรั่วซึม และแหล่งวัสดุก่อสร้างที่จะนำมาใช้ ข้อมูลเหล่านี้จะนำมาใช้ในการพิจารณากำหนดชนิดและรูปร่างของอาคารได้อย่างเหมาะสมและประหยัด การสำรวจและศึกษาทางธรณีวิทยาสำหรับงานวางโครงการชลประทานแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ การสำรวจธรณีวิทยาบริเวณที่สร้างเขื่อน การสำรวจธรณีวิทยาบริเวณอ่างเก็บน้ำ และการสำรวจธรณีวิทยาแหล่งวัสดุก่อสร้าง

6.1. การสำรวจธรณีวิทยาบริเวณที่สร้างเขื่อน (Geology of the Dam Sites)

การสำรวจธรณีวิทยาบริเวณที่สร้างเขื่อนก็เพื่อให้ทราบถึงสภาพโครงสร้างของชั้นหินในแนวที่จะสร้างตัวเขื่อนและอาคารประกอบเช่น แนววางตัวของชั้นหิน (Strike) ความลึกของหินฐานราก (Bed rock) รอยเคลื่อนตัวของชั้นหิน (Fault) รอยร้าว (Crack) รอยแตก (Joint) รอยแตกในเนื้อหิน (Fractures) และการโค้งของหินเปลือกโลก (Folds) ข้อมูลเหล่านี้จะทำให้ทราบถึงคุณสมบัติของชั้นหินฐานรากเช่น สภาพการรับน้ำหนักและการรั่วซึมของน้ำ นอกจากนี้ยังทำให้ทราบถึงคุณสมบัติของดินและหินในบ่อก่อสร้างว่ามีความเหมาะสมจะนำมาใช้เป็นวัสดุก่อสร้างได้หรือไม่

ข้อมูลทางธรณีวิทยาที่ต้องการสามารถหาได้จากแผนที่ธรณีวิทยา จากการขุด test pitch, trench หรือเจาะ ซึ่งถ้าต้องการสำรวจให้ได้ข้อมูลละเอียดครบถ้วนแล้วจะต้องใช้เวลามาก ฉะนั้นในการสำรวจเพื่อใช้ในการวางโครงการ การออกแบบ และการก่อสร้างจะแบ่งการสำรวจออกเป็นขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. การสำรวจขั้นต้น (Reconnaissance Stage) มีจุดมุ่งหมายเพื่อรวบรวมข้อมูลมาใช้ประกอบการพิจารณาวางโครงการ การออกแบบขั้นมูลฐาน และการประเมินราคาขั้นต้นของโครงการและใช้เป็นข้อมูลสำหรับการสำรวจในขั้นต่อไป

2. การสำรวจขั้นความเหมาะสม (Feasibility Stage) มีจุดมุ่งหมายเพื่อให้ได้ข้อมูลเพิ่มเติมจากการสำรวจขั้นต้นในบางส่วนยังไม่ละเอียดพอ อาจจะต้องมีการสำรวจในสนาม มีการ

ขุดหรือเจาะดินในบางจุดที่สงสัยเพื่อให้ได้ข้อมูลที่แน่นอน เพราะการสำรวจในขั้นจะเป็นพื้นฐานในการออกแบบและประเมินราคาของโครงการ

3. การสำรวจขั้นออกแบบรายละเอียด (Specification Stage) ถึงแม้ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจขั้นความเหมาะสมจะสามารถออกแบบโครงสร้างต่าง ๆ ได้ แต่ผลการสำรวจธรณีวิทยาที่ได้มาอาจจะยังไม่ละเอียดพอสำหรับดำเนินงานก่อสร้างเช่น ความลึกของชั้นหินอาจจะไม่เป็นไปตามแบบที่กำหนดไว้ ฉะนั้นจึงจำเป็นต้องมีการสำรวจหาข้อมูลเพิ่มเติมเพื่อใช้ประกอบการประมูลจ้างเหมาก่อสร้างต่อไป

4. การสำรวจในระหว่างก่อสร้าง (Construction Stage) มีจุดมุ่งหมายเพื่อให้ได้รายละเอียดเพิ่มเติมในขณะก่อสร้าง เช่น อาจจะต้องมีการแก้ไขแบบหรือย้ายตำแหน่งงานก่อสร้างบางส่วน หากพบจุดบกพร่องทางธรณีวิทยา

จากขั้นตอนการสำรวจที่ได้กล่าวข้างต้น จะเห็นได้ว่าข้อมูลที่จำเป็นสำหรับงานในขั้นวางโครงการชลประทานนั้นได้ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจในขั้นที่ 1 และขั้นที่ 2 ซึ่งมีขั้นตอนการสำรวจหาข้อมูลพอสรุปได้ดังนี้คือ

1) แปลข้อมูลจากภาพถ่ายทางอากาศ (Aerial Photograph) ซึ่งเป็นแผนที่แสดงภาพสามมิติ จะสามารถทราบโครงสร้างทางธรณีวิทยาและการเรียงตัวของหิน รวมทั้งแหล่งแร่ต่าง ๆ ได้อย่างคร่าว ๆ นำข้อมูลที่ได้มาลงในแผนที่ภูมิประเทศเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการสำรวจภาคสนามต่อไป

2) การสำรวจภาคสนาม โดยใช้แผนที่ภูมิประเทศที่แสดงสภาพทางธรณีวิทยาจากการแปลงภาพถ่ายข้างต้นเป็นพื้นฐานในการตรวจสอบในสนาม อาจต้องมีการขุดเจาะตามจุดต่าง ๆ ดูลักษณะการเรียงตัวของชั้นหิน (Strike) โครงสร้างและข้อมูลอื่น ๆ เพื่อให้ได้ข้อมูลทางธรณีวิทยาที่ถูกต้องแน่ชัดยิ่งขึ้น แล้วนำข้อมูลมาเขียนลงในแผนที่ พร้อมทั้งแสดงตำแหน่งของหลุมเจาะ (DH) และ (AH) ไว้ด้วย เพื่อใช้เป็นข้อมูลต่อไป

3) ทำแผนที่ธรณีวิทยา หลังจากที่รวบรวมข้อมูลจากภาพถ่ายทางอากาศและจากการสำรวจในสนาม นำมาไว้ในแผนที่ภูมิประเทศแผ่นเดียวกัน พร้อมแสดงสัญลักษณ์การเรียงตัวของชั้นหิน และลักษณะทางโครงสร้างธรณีวิทยาไว้อย่างชัดเจน แผนที่ธรณีวิทยาขนาดใหญ่มักจะระบายสีชั้นหินที่ต่างอายุกันด้วยสีต่าง ๆ เพื่อให้สามารถทราบทันทีว่าหินชุดใดเกิดก่อนหรือเกิดหลัง

6.2 คุณสมบัติของชั้นหินชนิดต่าง ๆ

6.2.1 หินอัคนี (Igneous Rock)

ปกติหินอัคนีมีทั้งที่เย็นตัวภายใต้เปลือกโลกและที่เย็นตัวนอกเปลือกโลกเช่น แกรนิต บะซอลต์ แอนดิไซด์ ไรโอไลท์ ถ้าเป็นหินสด (Fresh Rocks) จะเป็นหินที่มีความแข็งแรงสูงมาก โดยเฉลี่ยแล้วจะสูงกว่าคอนกรีต แต่ความแข็งแรงของหินอัคนีนี้จะลดลงไปถ้าเป็นหินค่อนข้างผุหรือเป็นหินที่อยู่บริเวณเปลือกโลกที่มีการเคลื่อนตัวมาก ซึ่งเป็นผลทำให้เกิด Cracks, Joints และ Fractures เป็นจำนวนมาก ฉะนั้นควรจะสร้างเขื่อนบริเวณที่เป็นหินสดและพยายามหลีกเลี่ยงบริเวณที่เป็น Fracture Zone ทั้งนี้เพราะนอกจากจะมีความแข็งแรงน้อยลง บริเวณรอยแตกยังเป็นช่องทางทำให้น้ำซึมผ่านได้ง่าย ทำให้อัตราการรั่วซึมสูง การอัดซีเมนต์เพื่อปิดรอยแตก (Grout) อาจจะกระทำได้เป็นบางส่วน และต้องใช้ค่าใช้จ่ายสูงบริเวณหินอัคนีซึ่งผุพังเนื่องจากความร้อน (Thermal Decomposition) เป็นอีกบริเวณหนึ่งที่ควรหลีกเลี่ยง ทั้งนี้เพราะเฟลด์สปาร์ซึ่งเป็นแร่ประกอบที่สำคัญของหินอัคนีจะสลายตัวกลายเป็นดิน ซึ่งอ่อนและสลายตัวได้ง่ายเมื่อถูกน้ำไหลผ่าน ความแข็งแรงของหินอัคนีบริเวณนี้จะลดลงหากจำเป็นต้องใช้เป็นที่ก่อสร้าง ส่วนของหินที่ผุพังนี้จะต้องขุดออกให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้

หินอัคนีที่เกิดจากการเย็นตัวนอกผิวโลกเช่น แอนดิไซด์ หรือบะซอลท์ โดยปกติจะมีความแข็งแรงค่อนข้างสูง แต่มักเป็นพวกที่มี Joints และ Fractures ตลอดจนมีความพรุนค่อนข้างสูง ซึ่งเป็นผลจากการเย็นตัวอย่างรวดเร็วของลาวา ดังนั้นการสร้างเขื่อนบริเวณหินอัคนีที่เย็นตัวนอกผิวโลกนี้มักจะมีปัญหาเกี่ยวกับการรั่วซึมของน้ำสูง ควรศึกษาให้ละเอียด

6.2.2 หินแปร (Metamorphic Rocks)

หินแปรโดยทั่ว ๆ ไปจะไม่มีแนวการเรียงตัวของแร่ (Foliation) และเป็นหินที่มีความแข็งแรงสูง หินแปรมีหลายจำพวกด้วยกันเช่น Quartzite, Marble และ Gneiss เป็นต้น

Quartzite เป็นหินแปรที่มีความแข็งแรงมากที่สุด เพราะเป็นหินที่แปรเปลี่ยนมาจากหินทราย ในขบวนการแปรเปลี่ยนสภาพหินทรายเป็น Quartzite นั้น เม็ดทรายซึ่งมีส่วนประกอบของซิลิกา (Sio_2) จะเกิดจากการตกผลึกใหม่หลอมตัวจับกันแน่น ซิลิกานอกจากจะแข็งแรงแล้วยังทนทานต่อขบวนการผุพังทั้งหลายด้วย จึงเหมาะอย่างยิ่งสำหรับใช้เป็นฐานราก

Marble (หินอ่อน) เป็นหินแปรอีกชนิดหนึ่งที่ไม่มีการเรียงตัวของแร่ และมีความแข็งแรงค่อนข้างสูง แต่ไม่เหมาะสำหรับใช้เป็นฐานรากตัวเขื่อนมากนัก เพราะหินอ่อนประกอบด้วยแร่ แคลไซต์ เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งสามารถละลายน้ำได้ ซึ่งจะก่อให้เกิดปัญหาการรั่วซึมของน้ำตลอด

จนลดความแข็งแรงของหินอ่อนลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในแนวที่เป็นรอยต่อของชั้นหินเดิมของหินปูนจะเกิดเป็น Weak Zone และเป็นร่องทำให้เกิดเป็นรูโพรงหรือช่องว่างได้

Gneiss เป็นหินแปรอีกชนิดหนึ่งซึ่งโดยธรรมชาติแล้วจะมีความแข็งแรงสูง แต่เนื่องจากเป็นหินแปรที่มีแนวการวางตัวของแร่ ซึ่งอาจก่อให้เกิดเป็น Weak Zone ทำให้ความแข็งแรงลดลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งแนวที่ขนานไปกับแนวการวางตัวของแร่ นอกจากนี้แล้วแนวการวางตัวของแร่นี้ยังเป็นแนวที่ทำให้อัตราการผุพังทำลายของ Gneiss สูงขึ้นด้วย

6.2.3 **หินตะกอน (Sedimentary Rocks)**

หินตะกอนหรือหินชั้น เกิดจากการทับถมอัดตัวของอนุภาคต่าง ๆ บนผิวโลก ผ่านขบวนการทำให้แข็งตัว มีลักษณะเป็นชั้นและมักจะโผล่ขึ้นมาให้เห็นเหนือผิวดิน หินตะกอนมีคุณสมบัติตามลักษณะของหินซึ่งแยกออกได้เป็น 3 พวกใหญ่ ๆ คือ Sandstone and related rocks, Carbonate rocks และ Clayey or Shaly rocks

Sandstone and related rock เป็นหินตะกอนที่เกิดจากการอัดตัว (Compaction) และการเชื่อมประสาน (Cementation) ของเม็ดทรายต่าง ๆ เข้าด้วยกันเช่นหินทราย เป็นต้น ความแข็งแรงและการรั่วซึมน้ำของหินตะกอนนี้ขึ้นอยู่กับระดับของการเชื่อมประสาน (Degree of Cementation) และชนิดของสารเชื่อมประสาน (Nature of cementing materials) ซึ่งเป็นสารละลายของแคลไซต์ ออกไซด์ ของเหล็ก ซิลิกา และ วัสดุประเภทดินเหนียว

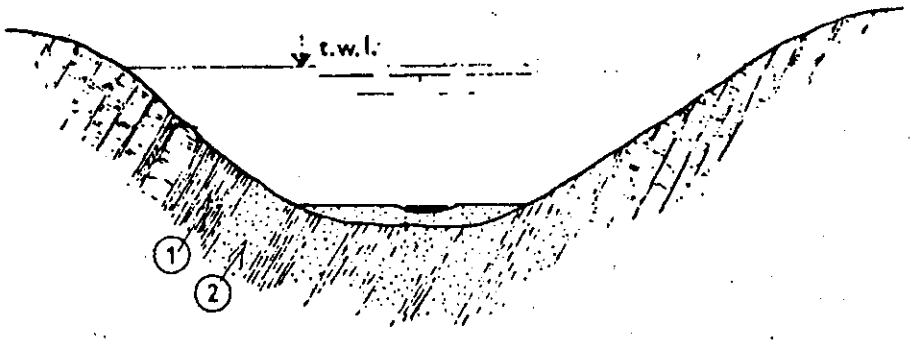
โดยปกติหินทราย ถ้าเป็นหินสด (Fresh Rock) จะมีความแข็งแรงสูงกว่าคอนกรีต แต่ความแข็งแรงอาจจะลดลงได้ถ้ามีดินเหนียวหรือชั้นหินดินดานแทรกสลับอยู่ ขนาดของการเชื่อมประสานและชนิดของการเชื่อมประสานนอกจากจะมีผลต่อความแข็งแรงแล้ว ยังมีผลต่อความพรุนและความซึมได้ ซึ่งจะมีผลต่อความสามารถในการเก็บน้ำของตัวเขื่อนอีกด้วย

นอกจากนี้คุณสมบัติของหินตะกอนยังขึ้นอยู่กับสภาพโครงสร้างทางธรณีวิทยา โดยเฉพาะอย่างยิ่งการวางตัวของชั้นหิน (Strike) และค่ามุมเอียง (Dip) ซึ่งจะมีผลต่อความแข็งแรง ความสามารถในการเก็บกักน้ำ ตลอดจนการเคลื่อนตัวของหินบริเวณที่สร้างเขื่อนด้วย

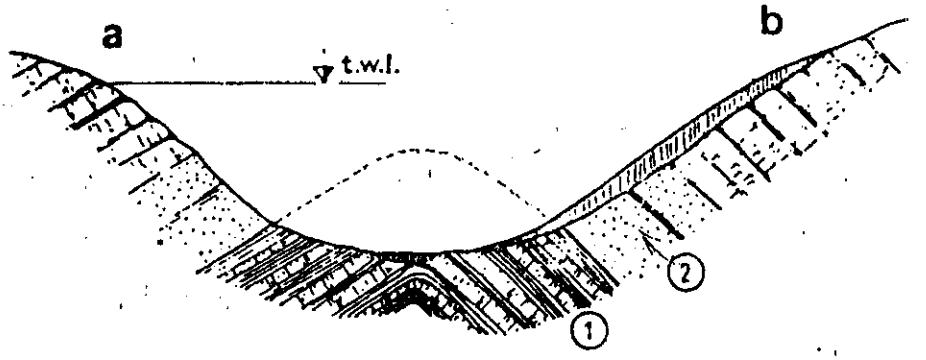
แนวการวางตัวของชั้นหินแยกได้เป็น 2 ลักษณะคือ

ก. แนวการวางตัวของชั้นหินขนานไปกับหุบเขา (Strike of bed parallel to valley course) ในกรณีที่แนวชั้นหินขนานกับหุบเขาและเอียงทำมุมสูง (รูป 6.1) จะมีการสูญเสียน้ำเนื่องจากการรั่วซึมสูง ทั้งนี้เพราะน้ำจะซึมผ่านออกทางชั้นหินเนื้อพรุนซึ่งเป็นแนวยาวมาก ขนานไปกับ

แนวของหุบเขา ตลอดแนวบริเวณที่ใช้เป็นอ่างเก็บน้ำ การแก้ปัญหาโดยการอัดน้ำปูนซีเมนต์ (Grout) ทำได้ยากและสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายสูง ในกรณีที่การวางตัวของชั้นหินอยู่ในแนวระนาบหรือในลักษณะของ Anticline (รูปที่ 6.2) ก็จะเกิดปัญหาเช่นเดียวกัน ดังนั้นการเลือกสร้างเขื่อนในบริเวณที่มีลักษณะเช่นนี้จำเป็นต้องพิจารณาถึงปริมาณน้ำที่จะสูญเสียไปและความมั่นคงของตัวเขื่อนด้วย

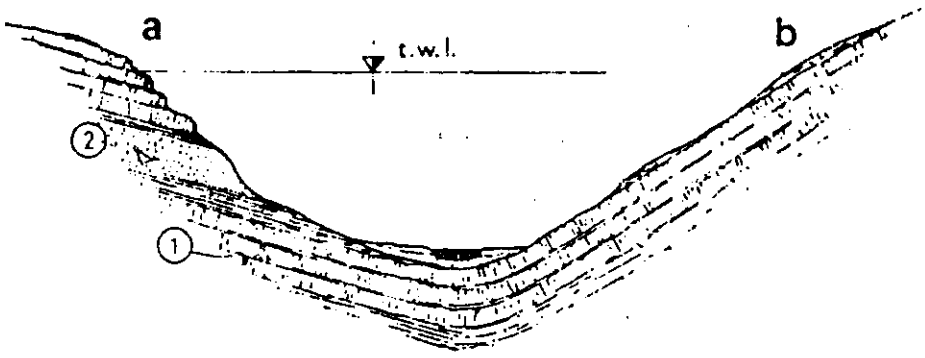


รูปที่ 6.1 แนวชั้นหินขนานกับหุบเขาและเอียงทำมุมสูง



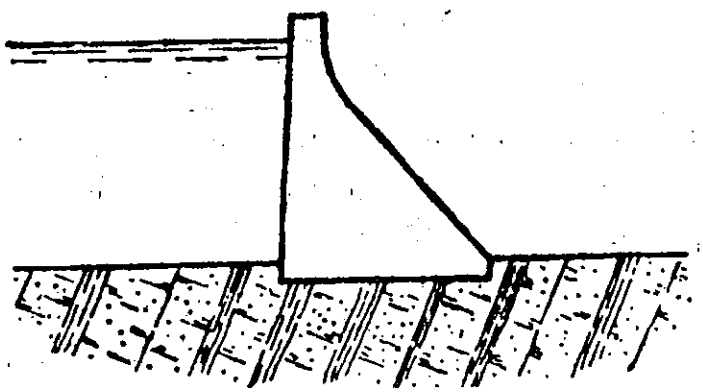
รูปที่ 6.2 แนวชั้นหินขนานกับหุบเขาและมีโครงสร้างแบบ Anticlinal Bend

ในกรณีการวางตัวของชั้นหินเป็นลักษณะ Syncline (รูป 6.3) แม้จะมีทิศทางของแนวการวางตัวขนานไปกับแนวของหุบเขาก็ตาม สภาพทางธรณีวิทยาจะเหมาะสมกว่า 2 กรณีที่กล่าวมาข้างต้น ปัญหาการสูญเสียน้ำจากการรั่วซึมจะมีน้อยลง แต่สิ่งที่ควรคำนึงถึงและป้องกันก็คือ ปัญหาความมั่นคงของตลิ่งทั้งสองด้านของหุบเขา โดยเฉพาะส้นเขื่อน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่ามุมเอียงของชั้นหินและการแทรกสลับอยู่ของชั้นหินดินดานหรือดินเหนียวตามแนวสัมผัสมักจะเป็น Weak Zone ซึ่งการเลื่อนตัวของหินเกิดขึ้นได้ง่ายและรับแรงเฉือนได้ต่ำ



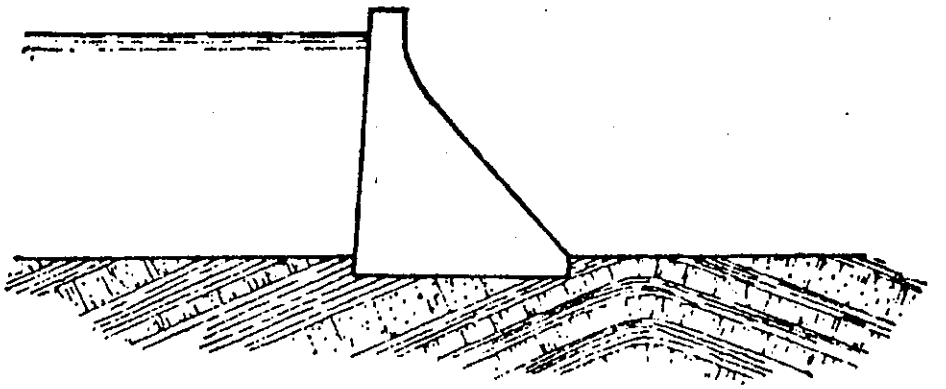
รูปที่ 6.3 แนวชั้นหินขนานกับหุบเขาและมีโครงสร้างแบบ Synclinal Bend

ข. การเรียงตัวของชั้นหินตั้งฉากกับหุบเขา (Strike of bed perpendicular to valley course) โดยทั่ว ๆ ไปการเรียงตัวของหินในแนวตั้งฉากหรือเกือบตั้งฉากกับหุบเขา สภาพทางธรณีวิทยาจะมีความเหมาะสมสำหรับสร้างเขื่อนมากกว่าการวางตัวขนานกับหุบเขา เนื่องจากมีการสูญเสียน้ำเนื่องจากการรั่วซึมน้อย และมีความสามารถในการรับน้ำหนักได้สูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งค่ามุมเอียงของชั้นหินเอียงทำมุมขึ้นเหนือน้ำ (Dip upstream) และมีชั้นของหินเนื้อแน่นที่น้ำซึมผ่านไม่ได้แทรกสลับอยู่ (รูปที่ 6.4) จะเป็นบริเวณที่มีความเหมาะสมในการสร้างเขื่อนมาก



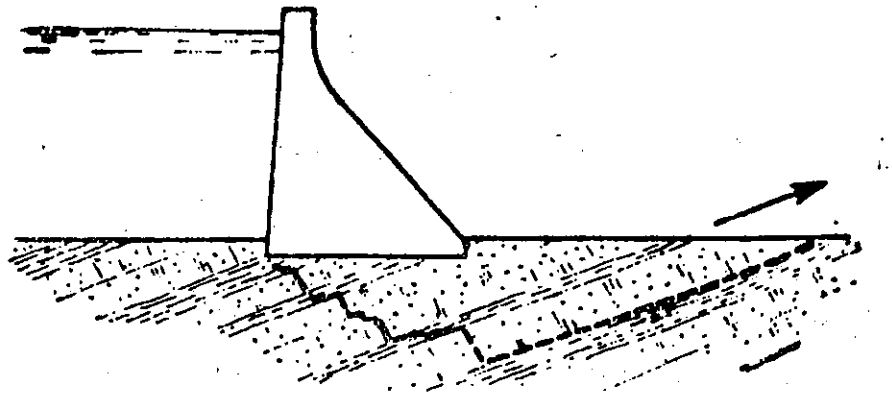
รูปที่ 6.4 ชั้นหินเอียงทำมุมขึ้นเหนือน้ำ

ในกรณีที่ลักษณะธรณีวิทยาโครงสร้างเป็นแบบ Anticlinal structure กล่าวคือ มีแนวการเอียงตัวของชั้นหินทำมุมทั้งขึ้นเหนือน้ำและลงใต้น้ำ (Dip upstream and down-stream) โดยมีแนวการวางตั้งฉากกับหุบเขาแล้ว ตำแหน่งที่เหมาะสมที่จะสร้างสันเขื่อนก็คือบริเวณส่วนที่ชั้นหินเอียงทำมุมขึ้นเหนือน้ำ (Dip upstream) (รูปที่ 6.5) การวางตัวของชั้นหินตามธรรมชาติเช่นนี้จะเป็นตัวช่วยป้องกันการสูญเสียของน้ำเนื่องมาจากการรั่วซึม และเพิ่มความสามารถในการรับน้ำหนักของชั้นหินตามธรรมชาติของมันเอง



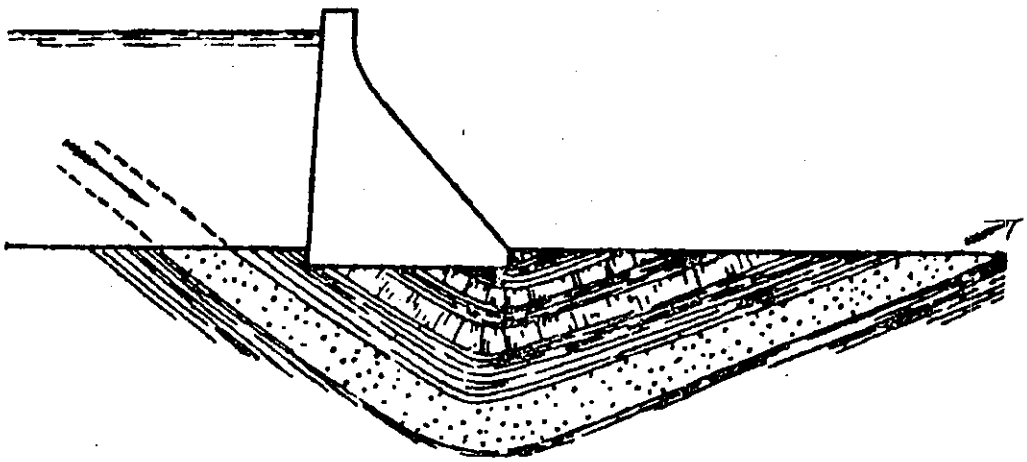
รูปที่ 6.5 โครงสร้างชั้นหินแบบ Anticline

ในกรณีที่มีหินตะกอนพวกหินดินดานและหินทรายสลับกันอยู่ และมีแนวการเอียงตัวทำมุมขึ้นเหนือน้ำแต่ว่าค่ามุมเอียงตัวน้อย ปัญหาที่ควรคำนึงถึงก็คือความมั่นคงของหินฐานรากในบริเวณสันเขื่อน น้ำหนักของตัวเขื่อนที่กดทับลงบนหินฐานรากอาจจะก่อให้เกิดการเคลื่อนที่ของหินไปตามแนวหรือรอยต่อของชั้นหิน และอาจจะเป็นอันตรายต่อตัวเขื่อนได้ในที่สุด (รูปที่ 6.6)



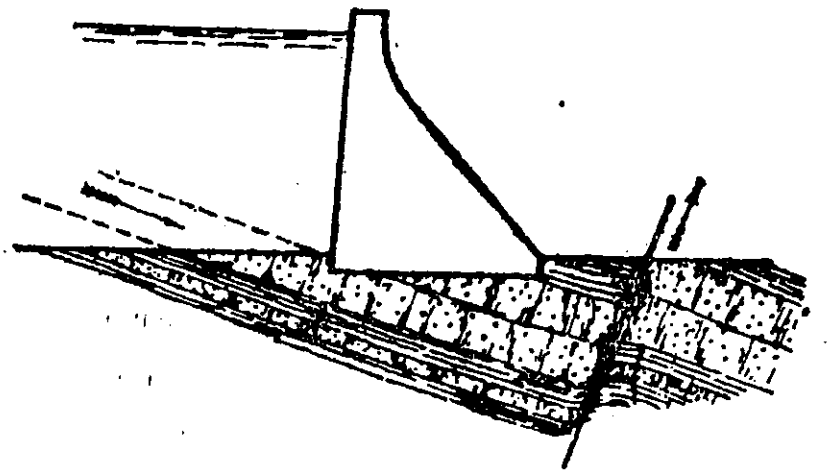
รูปที่ 6.6 แนวชั้นหินเอียงตัวขึ้นเหนือน้ำแต่มีค่ามุมเอียงตัวน้อย

ในกรณีที่ชั้นมีแนวการวางตัวตั้งฉากกับหุบเขาและเอียงทำมุมลงใต้น้ำ (Downstream) ค่ามุมการเอียงตัวของชั้นหินจะมีความสำคัญมาก และจะเป็นตัวประกอบการพิจารณาว่า สภาพธรณีวิทยาในบริเวณนั้นเหมาะสมหรือไม่ กล่าวคือถ้าค่ามุมการเอียงตัวมีค่าสูงการสร้างเขื่อนในบริเวณนั้นก็อาจจะเหมาะสมทั้งในแง่ของความสามารถในการรับน้ำหนักและความสามารถในการกักเก็บน้ำ ในขณะเดียวกันถ้าค่ามุมการเอียงตัวต่ำ ประกอบกับมีการเปลี่ยนค่ามุมการเอียงตัวในบริเวณที่จะสร้างเขื่อนในลักษณะของ Syncline (รูปที่ 6.7) ลักษณะเช่นนี้จะก่อให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับการรั่วซึมของน้ำ ซึ่งจะเกิดขึ้นมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความพรุนและความซึมได้ของชั้นหินในบริเวณนั้นเป็นสำคัญ



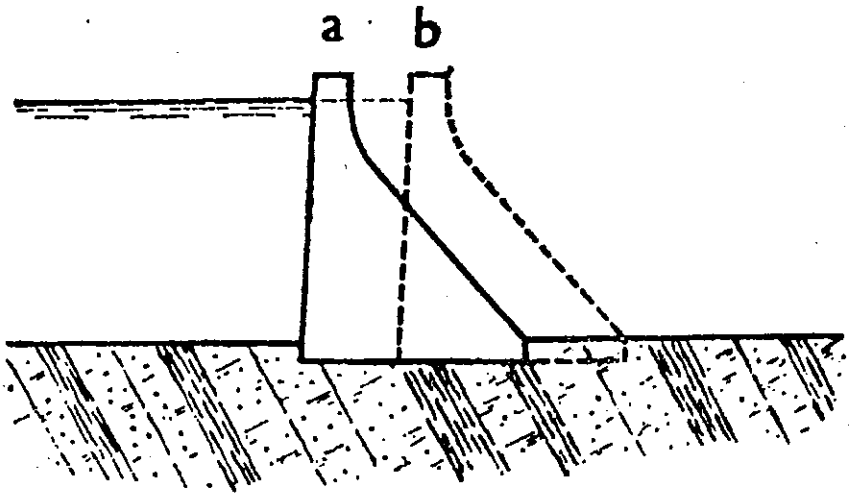
รูปที่ 6.7 โครงสร้างของชั้นหินแบบ Syncline

ในกรณีที่ชั้นหินเรียงทำมุมลงใต้น้ำ และเปลือกโลกในบริเวณนั้นเคยเกิดการเคลื่อนไหวมาก่อน (Technically Disturbed) การศึกษาและกำหนดตำแหน่งของรอยเลื่อนในบริเวณนั้น ๆ เป็นสิ่งที่จำเป็น เพราะว่าอาจจะก่อให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับการรั่วซึมของน้ำโดยไหลผ่านชั้นหินเนื้อพรุนและออกตามรอยเชื่อม (รูปที่ 6.8)



รูปที่ 6.8 การซึมของน้ำผ่านรอยแตกและรอยเลื่อน

บริเวณที่มีชั้นหินเนื้อพรุนและชั้นหินเนื้อแน่นแทรกสลับกันอยู่ และเอียงทำมุมลงใต้น้ำ ถ้ากำหนดตำแหน่งที่เหมาะสมของตัวเขื่อนได้ถูกต้อง อาจช่วยลดผลที่เกิดขึ้นเนื่องจาก Uplift pressure ที่ทำต่อตัวเขื่อนได้ ตำแหน่งที่เหมาะสมของเขื่อนควรจะเป็นตำแหน่งที่ฐานเขื่อนด้านเหนือน้ำ (Upstream face) อยู่บนชั้นหินเนื้อแน่นมากกว่าจะอยู่บนชั้นหินเนื้อพรุน (รูปที่ 6.9)



รูปที่ 6.9 การเลือกตำแหน่งฐานเขื่อนเพื่อลด Uplift Pressure

โดยสรุปแล้วบริเวณที่ประกอบด้วยหินอัคนีที่มีการเอียงตัวลงท้ายน้ำ (Dip downstream) จะเป็นบริเวณที่อาจจะเกิดปัญหาในการเลือกตำแหน่งสร้างเขื่อนมากกว่าบริเวณที่ชั้นหินเอียงตัวขึ้นเหนือน้ำ (Upstream)

Carbonate Rocks

Carbonate Rocks คือหินจำพวกหินปูน ซึ่งได้แก่ หินปูน หินโคโลไมต์ และหินปูนโคโลมิติก โดยทั่วไปหินจำพวกนี้จะมีเนื้อแน่น มีความสามารถในการรับน้ำหนักได้สูง และแข็งแรงกว่าคอนกรีต แต่ธรรมชาติของ Carbonate rocks เป็นหินที่สามารถละลายน้ำได้ดังนั้นความสามารถในการรับน้ำหนักและความแข็งแรงจะลดลงถ้ามีช่องว่างและรอยแตกเกิดขึ้นจำนวนมากในลักษณะที่เรียกว่า Karstified กล่าวคือในรอยแตกและรูโพรง เมื่อมีน้ำไหลผ่านและหมุนเวียนเกิดขึ้น จะทำให้รูและช่องว่างนั้นขยายตัวใหญ่ขึ้นเรื่อย ๆ เนื่องจากหินบางส่วนถูกชะล้างออกไปกับน้ำที่ไหลผ่าน ทำให้เกิดปัญหาการรั่วซึมของน้ำ และการรับน้ำหนักของหิน นอกจากนี้แล้วช่องว่างที่เกิดขึ้นอาจจะเกิดปัญหาเกี่ยวกับ Uplift pressure ภายใต้ตัวเขื่อนอีกด้วย การทราบขนาดของ Uplift pressure เป็นสิ่งสำคัญที่จะต้องนำไปใช้ในการคำนวณปริมาณของวัสดุที่จะต้องใช้ในการก่อสร้างอีกด้วย

การศึกษาเพื่อกำหนดตำแหน่งของช่องว่างต่าง ๆ ในหินจำพวกนี้ทำได้ยาก การก่อสร้างตัวเขื่อนในบริเวณหินปูนนี้โดยปกติจะทำการปรับปรุงฐานรากโดยวิธีอัดฉีดน้ำปูน (Grout) เข้าไปเพื่ออุดช่องว่างและรูโพรงต่าง ๆ ให้เป็นแผ่นคอนกรีตทึบน้ำ เพื่อลดการรั่วซึมของน้ำไว้ก่อน แม้จะไม่รู้ตำแหน่งที่แน่นอนก็ตาม เมื่อสร้างเสร็จและเริ่มเก็บน้ำแล้วก็จะมีการศึกษาถึงปัญหาการรั่วซึม ตลอดจนทิศทางและบริเวณที่มีการรั่วซึม หากพบว่ามีการรั่วซึมสูงก็จะทำให้การอัดฉีดน้ำปูนกันอีกครั้ง อย่างไรก็ตามการปรับปรุงฐานรากโดยวิธีอัดฉีดน้ำปูนต้องเสียค่าใช้จ่ายสูง ดังนั้นถ้าเป็นไปได้ควรหลีกเลี่ยง โดยเฉพาะถ้าเป็นเขื่อนขนาดเล็กอาจจะไม่คุ้มกับการลงทุน

Clayey or Shaly Rocks

คือหินที่มีลักษณะการเกิดจากการตกตะกอนของตะกอนพวกดินเหนียวหรือดินดานและเกิดการอัดแน่นเชื่อมประสานและแข็งตัวกลายเป็นหินเช่น Shaly marl, bentonite clay, slaty shale เป็นต้น โดยทั่วไปหินดินเหนียว (Claystone) ความสามารถในการรับน้ำหนักจะขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่มันอุ้มอยู่ ถ้าอยู่ในสภาพที่แห้งจะมองดูว่าเป็นหินค่อนข้างแข็ง แต่เมื่อมีปริมาณน้ำเพิ่มขึ้นจะอ่อนตัวและจะแสดงการเปลี่ยนรูปเป็น Plastic เมื่อมีน้ำหนักกดทับอยู่ ซึ่งอาจจะเป็นสาเหตุทำให้เกิดการเคลื่อนตัวได้เนื่องจากคุณสมบัติที่เปลี่ยนไปตามปริมาณน้ำที่มันอุ้มอยู่ การทำการปรับปรุงฐานรากจึงต้องทำด้วยความระมัดระวังและใช้วิธีที่เหมาะสม

หินดินดาน (shaly rocks) มีลักษณะเป็นชั้นบาง ๆ มีคุณสมบัติในการรับน้ำหนักและมีความแข็งแรงใกล้เคียงกับคอนกรีตทั่วไป โดยธรรมชาติของหินดินดานเกือบทั้งหมดจะเป็นพวกที่น้ำซึมผ่านไม่ได้หรือได้เพียงเล็กน้อย ยกเว้นหินดินดานที่มีชั้นของหินทรายแทรกสลับอยู่ซึ่ง

อาจจะเกิดปัญหาการรั่วซึมและเกิดการเคลื่อนที่ของหินตามแนวรอยซ่องระหว่างชั้นของหินทั้งสองได้ โดยทั่วไปหินดินดานจะมีสภาพทางธรณีวิทยาที่เหมาะสมสำหรับสร้างเขื่อนมากกว่าหินดินเหนียวที่กล่าวมาข้างต้น

6.3 การสำรวจธรณีวิทยาบริเวณอ่างเก็บน้ำ (Geology of the Reservoir Area)

ในกรณีสร้างเขื่อนหรืออ่างเก็บน้ำในบริเวณใด ๆ ก็ตาม สิ่งสำคัญประการหนึ่งที่ต้องคำนึงถึงก็คือ ลักษณะและสภาพโครงสร้างทางธรณีวิทยาบริเวณพื้นที่ที่ใช้เก็บน้ำ (Reservoir Area) หลังเขื่อน เพราะมีผลกระทบโดยตรงต่อการรั่วซึมและอายุการใช้งานของอ่างเก็บน้ำ การศึกษาและสำรวจสภาพธรณีวิทยาบริเวณอ่างเก็บน้ำมีจุดมุ่งหมายสำคัญ 4 ประการ คือ

1. การรั่วซึมของน้ำจากอ่างเก็บน้ำ (Leakage)
2. การพังทะลายของตลิ่งอ่างเก็บน้ำ (Peripheral Landslides)
3. อัตราการตกตะกอนของอ่างเก็บน้ำ (Siltation of Reservoir)
4. ผลกระทบต่อคุณค่าทางเศรษฐกิจ (Economic Effects)

การรั่วซึมของน้ำจากอ่างเก็บน้ำ (Leakage)

ปัญหาการรั่วซึมของน้ำจากอ่างเก็บน้ำมักจะเกิดขึ้นในสภาพที่ชั้นดินฐานรากเป็น Limestone, Vocalnic rock หรือชั้นหินทรายและกรวด (Previous Layers) นอกจากนี้แล้วยังขึ้นอยู่กับลักษณะการเรียงตัวของชั้นหิน รอยแตก รอยแยก และระดับของน้ำใต้ดินด้วยการไหลซึมของน้ำจากอ่างเก็บน้ำเกิดขึ้นได้ 2 ทางคือ การไหลซึมผ่านตามซ่องว่างหรือชั้นหินที่น้ำซึมผ่านได้ลอดใต้เขื่อนออกไป และไหลผ่านตลิ่งทั้งสองข้างของอ่างเก็บน้ำออกไปสู่หุบเขาบริเวณข้างเคียง

การรั่วซึมของน้ำผ่านเนื้อดินหรือชั้นดินลอดใต้เขื่อนหรือคันดินนอกจากจะสูญเสียน้ำแล้วยังอาจจะเกิดปัญหาการกัดเซาะได้ กล่าวคือเมื่อน้ำไหลผ่านชั้นดินที่มีเนื้อละเอียด แรงที่เกิดขึ้นเนื่องจากการไหลของน้ำจะกัดพาและดันเม็ดดินให้หลุดไปกับน้ำ (Piping) ด้านท้ายเขื่อนทำให้เกิดเป็นรูโพรง ซึ่งอาจจะทำให้ตัวเขื่อนเกิดพังทะลายได้

การไหลซึมของน้ำผ่านตลิ่งขอบอ่างขึ้นอยู่กับคุณสมบัติที่ยอมให้น้ำซึมผ่านได้และแนวการวางตัวของชั้นหิน ปริมาณการสูญเสียน้ำจะมากที่สุดถ้าชั้นหินที่น้ำซึมผ่านได้วางตัวอยู่ในแนวราบ เพราะบริเวณที่น้ำสามารถไหลซึมออกไปจะมีมากตลอดแนวของขอบอ่างเก็บน้ำ นอกจากนี้แล้วยังขึ้นอยู่กับระดับน้ำใต้ดินของพื้นที่ขอบอ่าง โดยปกติพื้นที่ขอบอ่างที่เป็นไหล่เขาสูงจะมีระดับน้ำใต้ดินอยู่สูงกว่าระดับน้ำในอ่าง ในกรณีเช่นนี้จะไม่มีปัญหาการรั่วซึม แต่จะมีน้ำไหล

เข้าอ่างในขณะที่ระดับน้ำในอ่างลดลง แต่ในสภาพที่เป็นเนินเขาเตี้ยมักจะมีระดับน้ำใต้ดินต่ำกว่าระดับน้ำในอ่างเสมอ จึงเป็นสาเหตุให้น้ำซึมออกจากอ่างได้ง่าย

การพิจารณาเลือกที่ตั้งหัวเขื่อนควรกระทำควบคู่ไปกับการพิจารณาสภาพของพื้นที่อ่างเก็บน้ำ ทั้งนี้เพราะในบางกรณีสภาพทางธรณีวิทยาของบริเวณที่สร้างเขื่อนอาจจะเหมาะสม แต่สภาพทางธรณีวิทยาบริเวณพื้นที่อ่างเก็บน้ำอาจจะไม่เหมาะสมก็เป็นได้

การพังทะลายของตลิ่ง (Landslides)

การพังทะลายของตลิ่งขอบอ่างขึ้นอยู่กับสภาพและคุณสมบัติของดินและหินในบริเวณดังกล่าว การศึกษาสภาพธรณีวิทยาความลาดชันของตลิ่งและสิ่งปกคลุมจะประเมินค่าการพังทะลายของตลิ่งได้

ความมั่นคงของดินและหินของตลิ่งขอบอ่างเป็นผลเนื่องมาจากการเก็บกักน้ำและการเปลี่ยนแปลงระดับของน้ำในอ่าง น้ำที่ซึมเข้าไปในเนื้อดินและชั้นหินจนถึงจุดอิ่มตัวจะทำให้เกิดแรงกดดันหรือมีน้ำหนักเพิ่มขึ้น ขณะเดียวกันแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคดินและหินจะลดลงทำให้เกิดการพังทะลายขึ้น นอกจากนี้แล้วการพังทะลายยังเกิดจากกระแสคลื่นของน้ำอันเนื่องมาจากลมพัด และเรือที่แล่นไปมาในอ่างเก็บน้ำ คลื่นนี้จะพัดไปกระทบฝั่งและเกิดการกัดกร่อนทำให้ตลิ่งพัง

การศึกษาความมั่นคงของตลิ่งควรให้ความสนใจอย่างมาก โดยเฉพาะบริเวณที่ราบว่าเคยเกิดการเคลื่อนตัวหรือมีการพังทะลายมาก่อน เพราะการพังทะลายของตลิ่งอาจมีผลกระทบกระเทือนถึงโครงสร้างอาคาร และยังทำให้ปริมาตรการเก็บกักน้ำของอ่างลดลงทำให้อายุการใช้งานของอ่างเก็บน้ำสั้นลง

อัตราการตกตะกอนของอ่างเก็บน้ำ (Siltation of Reservoir)

การสร้างอ่างเก็บน้ำเป็นการเปลี่ยนแปลงธรรมชาติ บริเวณอ่างเก็บน้ำจะกลายเป็นทะเลสาบซึ่งมีน้ำนิ่ง เมื่อน้ำไหลมาถึงบริเวณอ่างเก็บน้ำ ความเร็วของน้ำจะลดลงทำให้ตะกอนที่ไหลมากับน้ำจะตกจมลงในอ่างเก็บน้ำ อัตราการตกตะกอนในอ่างเก็บน้ำขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างด้วยกันเช่น ขนาดและรูปร่างของตะกอน ปริมาณน้ำที่ไหล สภาพภูมิอากาศ และสภาพทางธรณีวิทยาของพื้นที่รับน้ำ และความลาดเอียงของทางน้ำ เป็นต้น อัตราการตกตะกอนสูงจะทำให้อายุการใช้งานของอ่างเก็บน้ำลดลง เนื่องจากปริมาณน้ำที่คาดหมายว่าจะนำไปใช้ประโยชน์ได้ถูกแทนที่โดยตะกอนที่ตกจมอยู่ ดังจะเห็นได้จากอ่างเก็บน้ำขนาดเล็กหลายแห่งที่มีอายุการใช้งานสั้นกว่าที่คาดหวังไว้ เนื่องจากการคำนวณอัตราการตกตะกอนผิดพลาด

การศึกษาสำรวจปริมาณและอัตราการตกตะกอนในอ่างเก็บน้ำเป็นสิ่งที่กระทำได้ค่อนข้างยาก เพราะปริมาณตะกอนที่ไหลเข้ามาในแต่ละปีไม่เท่ากันผันแปรไปตามสภาพของปัจจัยต่าง ๆ จำเป็นต้องใช้เวลาในการเก็บข้อมูลด้วยการเก็บตัวอย่างตะกอนตามแนวตัดขวางของลำน้ำ และการสำรวจปริมาณตะกอนที่ตกจมในอ่างเก็บน้ำตามจุดต่าง ๆ ที่เพิ่มขึ้นในแต่ละปี การป้องกันการตกตะกอนในอ่างเก็บน้ำอาจจะกระทำได้ในรูปของบ่อดักทรายตามทางน้ำสายสำคัญก่อนจะไหลลงสู่อ่างเก็บน้ำ หรืออาจจะทำได้โดยสร้าง by-pant ผ่านบริเวณอ่างเก็บน้ำออกไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งในฤดูน้ำหลากซึ่งมีปริมาณตะกอนสูง

ผลกระทบต่อคุณค่าทางเศรษฐกิจ (Economic Effects)

ก่อนที่จะกำหนดตำแหน่งที่สร้างเขื่อนและอ่างเก็บน้ำควรจะสำรวจสภาพเศรษฐกิจเสียก่อน โดยเฉพาะแหล่งแร่ต่าง ๆ ในพื้นที่บริเวณอ่างที่น้ำท่วมเพื่อเปรียบเทียบคุณค่าทางเศรษฐกิจสูงเมื่อเปรียบเทียบคุณค่าที่ได้จากการสร้างเขื่อน อาจจะต้องเลือกกำหนดการสร้างเขื่อนออกไปเพื่อทำการขุดแร่นั้นขึ้นมาใช้ประโยชน์ก่อน

ระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำอาจมีผลกระทบต่อระดับน้ำใต้ดิน และพืชพันธุ์บางชนิดในบริเวณอ่างเก็บน้ำ ตลอดจนประสิทธิภาพของการใช้ที่ดินอาจลดลง กล่าวคือน้ำที่ไหลซึมออกจากอ่างเก็บน้ำบางส่วนจะไหลลงไปใต้ดิน ทำให้ระดับน้ำใต้ดินสูงขึ้น ทำให้ที่ดินบริเวณนั้นเสียไปใช้ปลูกพืชไม่ได้

6.4 การสำรวจธรณีวิทยาของแหล่งวัสดุก่อสร้าง

การสำรวจหาแหล่งวัสดุที่จะนำมาใช้ในงานก่อสร้างของโครงการมีความสำคัญมาก วัสดุก่อสรร้างที่จะนำมาใช้จะต้องเป็นวัสดุที่มีคุณภาพดี มีปริมาณมากพอและอยู่ไม่ห่างไกลเกินไป ถ้าเป็นไปได้ควรเป็นพื้นที่ในอ่างเก็บน้ำ หรือจากบ่อก่อสร้างการขนส่งวัสดุก่อสร้างจากที่อื่นที่มีระยะทางไกล จะทำให้ราคาค่าก่อสร้างของโครงการสูงเกินไป ไม่คุ้มค่า ในหลาย ๆ แห่ง ชนิดของเขื่อนที่สร้างขึ้นจะถูกกำหนดจากวัสดุก่อสร้างที่หาได้ในบริเวณนั้น

โดยทั่วไปการสำรวจสภาพธรณีวิทยาของแหล่งวัสดุก่อสร้างจะมีหลักการคล้ายกับการสำรวจเพื่องานอื่น ๆ ซึ่งแบ่งการสำรวจออกเป็น 2 ขั้นตอนคือ การสำรวจเบื้องต้น และการสำรวจขั้นรายละเอียด

6.4.1 การสำรวจเบื้องต้นของแหล่งวัสดุ

มีจุดประสงค์และวิธีการดำเนินการสำรวจดังนี้

1. ทำการสำรวจเพื่อหาข้อมูลเกี่ยวกับวัสดุก่อสร้างต่าง ๆ ในบริเวณใกล้เคียงกับบริเวณที่ก่อสร้างให้มากที่สุด ข้อมูลเหล่านี้หาได้จากแผนที่ธรณีวิทยา และรายงานสภาพธรณีวิทยาของบริเวณนั้น ซึ่งปกติจะให้ข้อมูลเกี่ยวกับชนิดของหินที่โผล่ขึ้นเหนือผิวดิน ทำให้พิจารณาความเหมาะสมที่จะนำมาให้เป็นวัสดุก่อสร้างได้อย่างคร่าว ๆ

2. ทำการสำรวจคุณภาพ และคุณสมบัติของหินในสนาม พร้อมทั้งเก็บตัวอย่างมาทำการศึกษา และทดสอบความแข็งแรงด้วย

3. ทำการศึกษา วัดหาค่าแนวการวางตัว (strike) และแนวเอียงตัว (Dip) ของชั้นหิน เพื่อคำนวณหาปริมาณอย่างคร่าว ๆ ในบริเวณที่ไม่มีหินโผล่ (outcrops) อาจจะต้องมีการเจาะหลุมสำรวจช่วย

4. หาระยะทางจากตำแหน่งของวัสดุก่อสร้าง และตำแหน่งที่จะทำการก่อสร้างตลอดจนหาวิธีการขนส่งที่รวดเร็วและประหยัด

การสำรวจในขั้นต้นนี้สามารถทำได้รวดเร็ว และไม่สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายมากนัก ควรกระทำควบคู่กันไปหลาย ๆ แหล่ง แล้วนำข้อมูลที่ได้มาเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของวัสดุก่อสร้างในแต่ละแห่ง เพื่อคัดเลือกแหล่งที่ดีที่สุด เพื่อดำเนินการสำรวจในขั้นรายละเอียดต่อไป

6.4.2 การสำรวจขั้นรายละเอียดของแหล่งวัสดุ

จุดประสงค์ของการสำรวจขั้นรายละเอียดของวัสดุก่อสร้าง ก็เพื่อที่จะหารูปร่างที่แน่นอน ความหนา และการแผ่กระจายของแหล่งวัสดุ ชนิดและความหนาของวัสดุที่ปกคลุมจนเก็บตัวอย่างมาเพื่อตรวจสอบคุณสมบัติด้านต่าง ๆ ที่จำเป็นให้แน่ชัด มีวิธีการดำเนินการดังนี้

1. ทำการรังวัด และทำแผนที่ภูมิประเทศบริเวณแหล่งวัสดุก่อสร้าง เพื่อใช้เป็น Base map ของแปลงนั้น โดยทั่วไปจะใช้มาตราส่วน 1:5,0000 หรือ 1:1,000

2. ทำแผนที่ธรณีวิทยา โดยบันทึกข้อมูลต่าง ๆ ลงใน Base map เช่น ตำแหน่งที่หินโผล่ การวางตัวของหิน รอยแตก รอยเลื่อน และการแผ่กระจายของวัสดุปกคลุมให้ละเอียดที่สุดเท่าที่ทำได้ นอกจากนี้แล้วให้บันทึกสภาพอุทกวิทยา (Hydrological Conditions) เช่น ระดับน้ำใต้ดิน ทิศทางการไหล ตำแหน่งของชั้นหินอุ้มน้ำ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการพิจารณาเหมืองหิน (Quarry) ที่จะนำมาใช้เป็นวัสดุก่อสร้างได้

3. การสำรวจใต้ผิวดิน (Subsurface exploration) โดยการเจาะบ่อสำรวจ เป็นวิธีที่ต้องใช้ค่าใช้จ่ายสูง แต่เป็นการตรวจสอบที่ให้ผลที่ถูกต้องแน่นอน ทำให้การประเมินปริมาณสำรอง (reserves) ได้ถูกต้องแน่นอน ซึ่งถ้าอาศัยข้อมูลจากการสำรวจธรณีวิทยาบนผิวดินอย่างเดียวอาจจะผิดพลาด ทำให้งานต้องหยุดชะงักลงได้

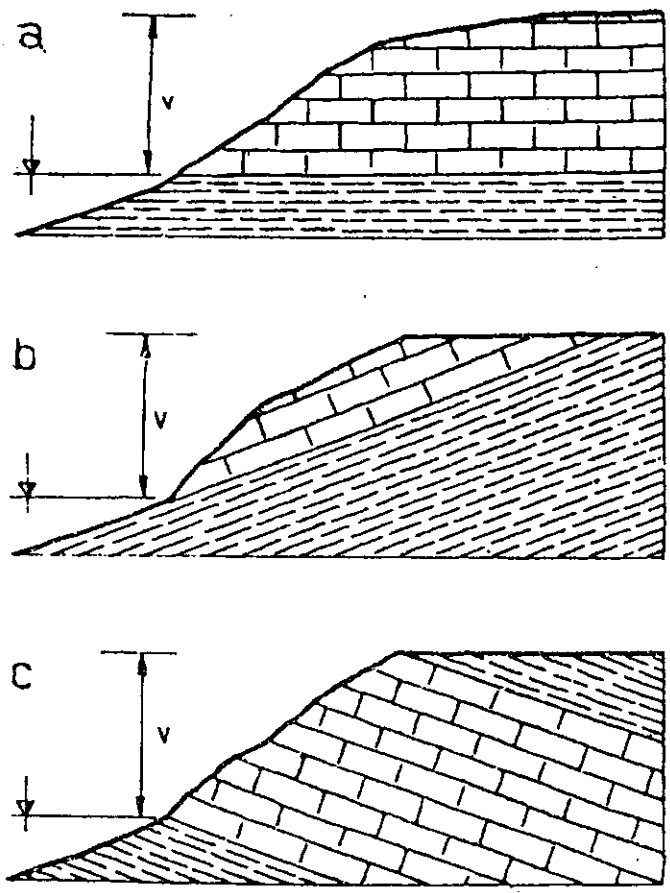
4. การเก็บตัวอย่างวัสดุก่อสร้าง ซึ่งใช้เป็นตัวแทนของวัสดุในแหล่งนั้นมาทำการตรวจวิเคราะห์หาคุณสมบัติทางกายภาพด้านต่าง ๆ ในห้องปฏิบัติการ

5. ทำการประเมินผลของการสำรวจ โดยใช้ข้อมูลต่าง ๆ ที่ได้ศึกษามาประกอบกันเพื่อประเมินหาปริมาณสำรองที่แน่นอนของแหล่งวัสดุ ที่จะนำมาใช้เป็นวัสดุก่อสร้าง พร้อมทั้งลงตำแหน่งในแผนที่ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการขุดเจาะต่อไป

6.4.3 ความสำคัญของภาพธรณีวิทยาต่อการประเมินปริมาณวัสดุก่อสร้าง

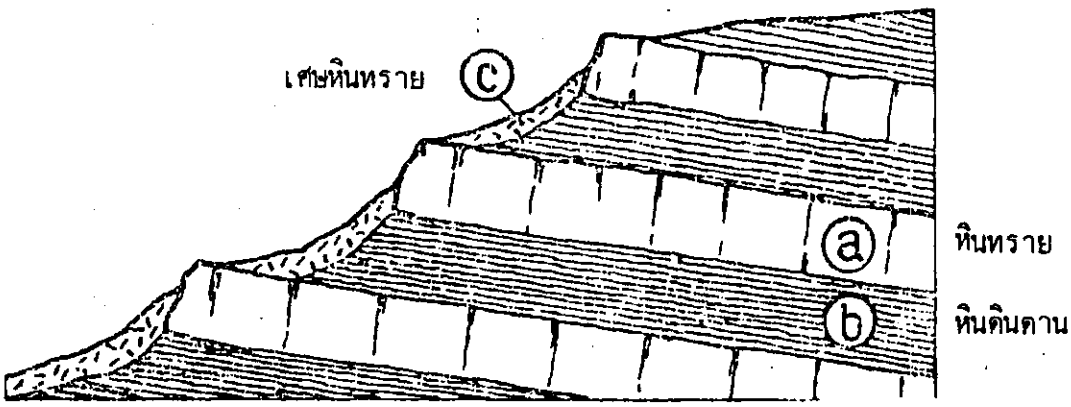
การศึกษาและทำความเข้าใจสภาพธรณีวิทยาของแหล่งวัสดุต่าง ๆ มีความสำคัญต่อการประเมินหาปริมาณของแหล่งวัสดุ ที่จะนำไปใช้งาน การประเมินปริมาณวัสดุผิดพลาดจะเกิดผลเสียหายต่องานก่อสร้าง อาจทำให้งานต้องหยุดชะงักลง และต้องเสียเวลา เสียค่าใช้จ่ายสูงในการหาแหล่งวัสดุใหม่ หรือขนส่งมาจากแหล่งอื่นที่ไกลออกไป แหล่งวัสดุที่ดีควรอยู่ใกล้บริเวณงานก่อสร้าง มีปริมาณมากพอตามความต้องการและวัสดุต้องมีคุณภาพดี การประเมินปริมาณแหล่งวัสดุที่ผิดพลาดอาจเกิดขึ้นดังกรณีต่าง ๆ ดังนี้

ในกรณีที่แหล่งวัสดุก่อสร้างเป็นหินตะกอน โดยปกติการประเมินปริมาณสำรองและทำได้ไม่ยาก เมื่อทราบความหนา และการกระจายของหิน อย่างไรก็ตามการวางตัวของหินตะกอนเป็นปัจจัยสำคัญที่จำทำให้การประเมินประมาณสำรองผิดพลาด หากมีการสำรวจและการศึกษาไม่ละเอียดพอ ดังรูปที่ 6.10 ซึ่งแสดงรูปตัดขวางของแหล่งวัสดุที่เป็นหินตะกอน โดยมีทิศทางการเอียงตัวต่างกัน จะเห็นได้ว่าถึงแม้ว่าจะมองหินที่โผล่ขึ้นมาจะสูงเท่ากัน แต่ปริมาณจริง ๆ นั้นจะแตกต่างกัน ในกรณี (a) ซึ่งหินตะกอนวางตัวอยู่ในแนวราบ จะให้ปริมาณวัสดุมากกว่าเมื่อขุดลึกเท่ากัน ส่วนในกรณี (c) แม้จะมีปริมาณวัสดุมาก แต่จะมีปัญหาในการเปิดเหมือง เพื่อขุดเอาวัสดุออกมาใช้ และต้องเสียค่าใช้จ่ายสูงกว่า



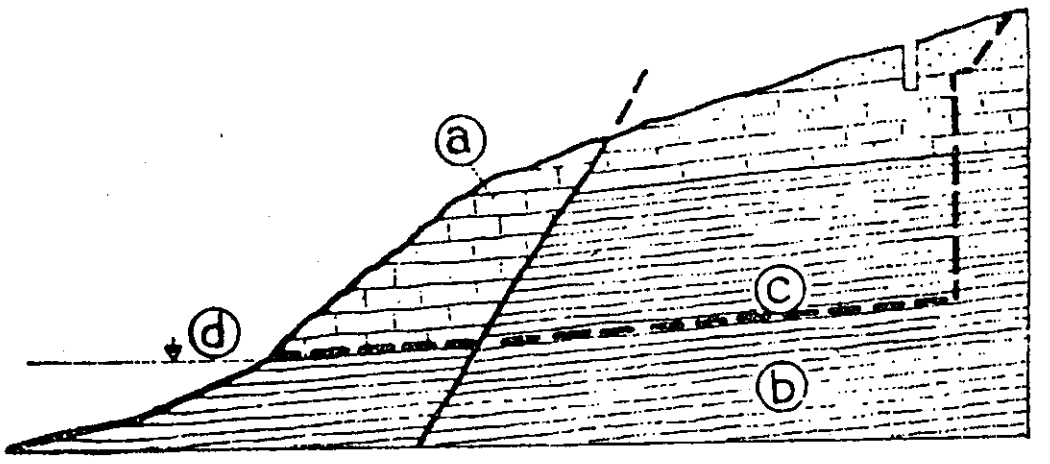
รูปที่ 6.10 ความสำคัญของการเอียงตัวของชั้นหินต่อการประเมินปริมาณของหิน

ในกรณีที่วัสดุก่อสร้างเป็นหินทราย และมีหินที่มีคุณสมบัติไม่เหมาะสม เช่น หินดินดานแทรกตัวอยู่ การศึกษารายละเอียดของความหนาของชั้นหินที่ไม่เหมาะสม เป็นสิ่งจำเป็น มิฉนั้นจะทำให้การประเมินอัตราส่วนของปริมาณหินที่เหมาะสม ต่อปริมาณหินที่ไม่เหมาะสม ผิดพลาดไปได้ ดังรูปที่ 6.11 จะเห็นว่า อัตราส่วนของหินที่ไม่เหมาะสมเป็นวัสดุก่อสร้างมีมากทำให้การขุดตักเอาหินวัสดุก่อสร้างไปใช้ ไม่มีประสิทธิภาพ และเสียค่าใช้จ่ายสูง



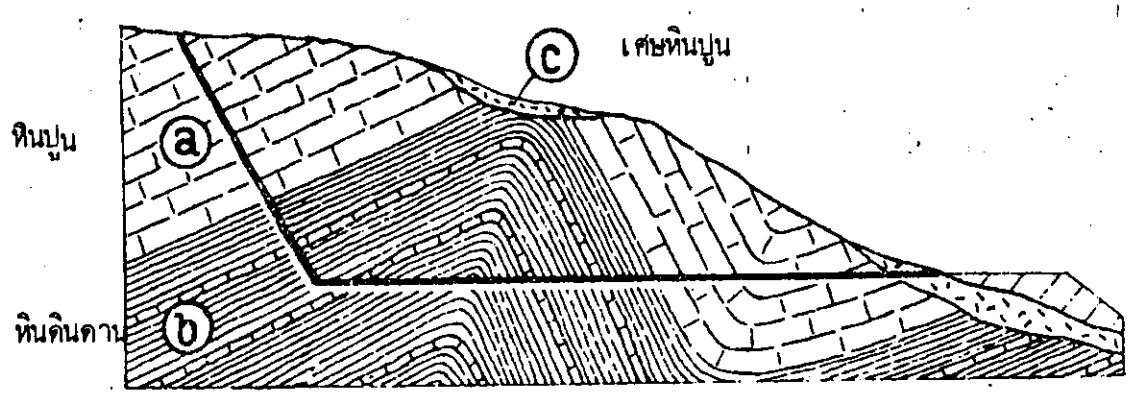
รูปที่ 6.11 การเรียงตัวสลับของชั้นหิน อาจทำให้การประเมินปริมาณวัศดุผิดพลาด

การแปลความหมายของธรณีโครงสร้างไม่ถูกต้อง ทำให้การประเมินปริมาณสำรองของหินวัสดุก่อสร้างผิดพลาด ดังในรูปที่ 6.12 ถึงแม้ว่าในบริเวณนี้จะมีการเจาะบ่อสำรวจบ้าง แต่การแปรความหมายผิดพลาดทำให้ไม่ทราบว่าโครงสรร้างของหินบริเวณนั้นถูกรอยเลื่อนบังคับอยู่ หินที่โผล่ขึ้นมาตามผิวดินจะเป็นหินวัสดุก่อสร้างทั้งหมด แต่โดยแท้จริงแล้ว บางส่วนของหินวัสดุก่อสร้างจะถูกลากเคลื่อนผ่านแนวของรอยเลื่อน ทำให้การประเมินค่าความหนาของหินวัสดุก่อสร้างผิดไป ความเสียหายจะเกิดขึ้น และทราบได้เมื่อทำการเปิดเหมืองไปแล้ว



รูปที่ 6.12 การเลื่อนของหินทำให้การประเมินปริมาณวัศดุผิดพลาด

การแปลความหมาย สภาพธรณีโครงสร้างไม่ถูกต้องอีกกรณีหนึ่งที่อาจจะเกิดขึ้นได้ และทำให้การประเมินปริมาณวัสดุก่อสร้างผิดพลาด ดังในรูปที่ 6.13 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงลักษณะโครงสร้างของหิน เป็นแบบ anticline และมีชั้นหินที่ไม่เหมาะสมแทรกตัวอยู่ใต้ ทำให้การประเมินผิดพลาดได้ หากไม่มีการเจาะบ่อสำรวจดูให้ละเอียด



รูปที่ 6.13 การประเมินปริมาณวัศดุผิดพลาดเนื่องจากโครงสร้างของหิน

จากตัวอย่างที่กล่าวมาข้างต้น ปัญหามักจะเกิดขึ้นในกรณีที่หินวัสดุก่อสร้างเป็นหินตะกอน ในกรณีที่หินวัสดุก่อสร้างเป็นหิน อัคนี เช่น หินแกรนิต ไรโอไลต์ ปัญหาในการประเมินปริมาณวัสดุจะมีไม่มากนัก ทั้งนี้เพราะโดยธรรมชาติของการเกิดของหินอัคนีจะมีรูปร่างและขนาดค่อนข้างใหญ่ และมีโครงสร้างไม่ยุ่งยากมาก การคำนวณจึงไม่ยุ่งยาก ปัญหาจะเกิดขึ้นบ้างในบริเวณที่มีรอยเลื่อน หรือบริเวณที่หินเกิดผุพังไปแล้ว ซึ่งจึงเป็นต้องทราบความลึก ความกว้าง และการแผ่กระจาย เพื่อเป็นข้อมูลประกอบในการประเมินปริมาณวัสดุต่อไป

ในการเปิดเหมืองหินเพื่อใช้เป็นวัสดุก่อสร้าง นอกจากจะต้องศึกษาโครงสร้างของหินให้ละเอียดแล้ว ยังต้องคำนึงถึงชนิดและคุณสมบัติของวัสดุที่ปกคลุมอยู่ด้วย วัสดุที่ปกคลุมอาจจะเป็นส่วนของหินที่ผุพัง เป็นดิน กรวด ทราย และอื่น ๆ ซึ่งไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ ถ้าหากชั้นวัสดุปกคลุมหนามากอาจจะทำให้ค่าใช้จ่ายในการขุดลอกและขนย้ายสูง จนไม่คุ้มค่ากับการเปิดเหมือง นั้น ๆ ก็ได้

6.4.4 ชนิดและคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง

วัสดุสำคัญที่ใช้ในงานก่อสร้างตัวเขื่อน และอาคารประกอบ ได้แก่ ดินสำหรับถมตัวเขื่อน วัสดุผสมคอนกรีต หินสำหรับทำตัวเขื่อน (Rock-fill) และสำหรับป้องกันสิ่งพัง (Riprap) นอกจากนี้ยังมีดินเหนียวสำหรับทำ Blanket และอื่น ๆ ในที่นี้จะกล่าวเฉพาะวัสดุที่จำเป็นจริง ๆ และใช้เป็นจำนวนมากเท่านั้น

ดินถมตัวเขื่อน (Embankments)

ดินเกิดจากขบวนการสลายตัวของหิน และแร่ธาตุต่าง ๆ ตามธรรมชาติในเนื้อดิน แต่ละชนิดจะมีส่วนผสมของอนุภาคของเม็ดดินขนาดต่าง ๆ กันในสัดส่วนที่แตกต่างกันออกไปแล้วแต่ชนิดของดิน โดยทั่วไปขนาดของอนุภาคของดินจะถูกแบ่งออกเป็น sand, silt และ clay ในงานทางวิศวกรรมเราไม่ค่อยคำนึงถึงเปอร์เซ็นต์ส่วนผสมมากนัก แต่ต้องการทราบถึงคุณสมบัติทางกายภาพของดิน เช่น Unit weight, permeability, shear strength, Compressibility และ Settlement

ดินที่มีคุณสมบัติเหมาะสมสำหรับการสร้างเขื่อนได้ดีนั้น ควรจะเป็นดินที่มีส่วนผสมของดินเหนียว ตะกอนทรายละเอียด ทราย และกรวดในสัดส่วนที่พอเหมาะ เมื่อทำการบดอัดแน่นแล้ว น้ำซึมผ่านได้น้อยที่สุด ลาดของเขื่อนจะต้องมีความมั่นคงแข็งแรงไม่ทลายลงได้ง่าย สามารถทำการบดอัดได้ง่าย และเมื่อสร้างเสร็จแล้วจะเกิดการทรุดตัวน้อยที่สุดหรือไม่ทรุดตัวเลย ดินที่มีคุณสมบัติดีมีลักษณะพอสรุปได้ดังนี้

1. ดินที่บดอัดแน่นแล้วน้ำรั่วซึมผ่านได้ยากโดยทั่วไปจะมีอนุภาคของดินละเอียดผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ผสมอยู่ไม่น้อยกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ส่วนที่เหลือเป็นทรายตะกอนทรายละเอียด หรือมีกรวดบ้างเล็กน้อย

2. ดินลาดเขื่อนที่อิ่มตัวด้วยน้ำ และไม่เลื่อนทะลายลงได้ง่ายนั้นจะต้องมีทรายและกรวดขนาดต่าง ๆ ผสมอยู่เป็นจำนวนมากพอที่จะทำให้มีความฝืดที่เกิดจากการเสียดสีของอนุภาคทราย และกรวดซึ่งสัมผัสกันแน่นเหล่านั้นมากพอสำหรับด้านทานแรงเฉือนที่เกิดจากน้ำหนักดินตัวเขื่อนและน้ำที่กดทับอยู่ได้

3. ดินซึ่งมีคุณสมบัติในการก่อสร้าง หรือบดอัดได้ง่าย จะต้องไม่มีความชื้นมากเกินไป หรือจับตัวเป็นก้อนแข็งเมื่อแห้ง และไม่ควรมีส่วนผสมของดินเหนียวสูง จะทำการบดอัดให้แน่นได้ยาก ขณะยังเปียกอยู่จะเกิดติดเครื่องมือขณะทำการบดอัด และเมื่อแห้งจะหดตัวเกิดเป็นรอยแตกเป็นเหตุให้น้ำรั่วซึมผ่านได้

ตารางที่ 5.1 คุณสมบัติสำคัญของดินชนิดต่าง ๆ ในการสร้างเขื่อนดิน

ชนิดของดิน	สัญญลักษณ์ของดินทางด้านวิศวกรรม	คุณสมบัติสำคัญในการก่อสร้างตัวเขื่อน				ความเหมาะสมในการใช้งาน				
						ถมตัวเขื่อน			ฐานรากของเขื่อน	
		การรั่วซึมเมื่อบดอัดแน่นแล้ว	การต้านทานแรงเฉือนของดินบดอัดแน่นและอิ่มตัวด้วยน้ำ	การยุบตัวเมื่อบดอัดแน่นแล้วและดินอิ่มตัวด้วยน้ำ	การก่อสร้างและบดอัดแน่นได้ง่าย	ทั้งเขื่อน	แกนเขื่อน	หุ้มแกนเขื่อน	การรั่วซึมมีความสำคัญ	การรั่วซึมไม่มีความสำคัญ
กรวดมีขนาดเล็กใหญ่คละกัน กรวดผสมกับทราย โดยมีตะกอนละเอียดเล็กน้อยหรือไม่มีเลย	*GW*	รั่วซึม	ดีมาก	ไม่ยุบตัว	ดีมาก	—	—	1	—	1
กรวดมีขนาดสม่ำเสมอ กรวดผสมทราย โดยมีตะกอนละเอียดเล็กน้อยหรือไม่มีเลย	*GP*	รั่วซึมมาก	ดี	ไม่ยุบตัว	ดี	—	—	2	—	3
กรวดผสมตะกอนทรายละเอียด กรวดมีขนาดไม่คละกัน ผสมทราย และตะกอนทรายละเอียด	*GM*	รั่วซึมน้อยถึงทึบน้ำ	ดี	ไม่ยุบตัว	ดี	2	4	—	2	4
กรวดผสมดินเหนียว กรวดมีขนาดไม่คละกัน ผสมทรายและดินเหนียว	*GC*	ทึบน้ำ	ดีถึงพอใช้	น้อยมาก	ดี	1	1	—	1	6
ทรายมีขนาดเล็กใหญ่คละกัน ทรายผสมกรวด โดยมีตะกอนละเอียดเล็กน้อยหรือไม่มีเลย	*SW*	รั่วซึม	ดีมาก	ไม่ยุบตัว	ดีมาก	—	—	3 ถ้ามีกรวด	—	2
ทรายมีขนาดสม่ำเสมอ ทรายผสมกรวด โดยมีตะกอนละเอียดเล็กน้อยหรือไม่มีเลย	*SP*	รั่วซึม	ดี	น้อยมาก	พอใช้	—	—	4 ถ้ามีกรวด	—	5
ทรายผสมตะกอนทรายละเอียด ทรายมีขนาดไม่คละกัน ผสมตะกอนทรายละเอียด	*SM*	รั่วซึมน้อยถึงทึบน้ำ	ดี	น้อย	พอใช้	4	5	—	4	7

ชนิดของดิน	สัญญลักษณ์ของดินทางด้านวิศวกรรม	คุณสมบัติสำคัญในการก่อสร้างตัวเขื่อน				ความเหมาะสมในการใช้งาน				
						ฉมตัวเขื่อน			ฐานรากของเขื่อน	
		การรั่วซึมเมื่อบดอัดแน่นแล้ว	การต้านทานแรงเฉือนของดินบดอัดแน่นและอิ่มตัวด้วยน้ำ	การยุบตัวเมื่อบดอัดแน่นแล้วและดินอิ่มตัวด้วยน้ำ	การก่อสร้างและบดอัดแน่นได้ง่าย	ทั้งเขื่อน	แกนเขื่อน	หุ้มแกนเขื่อน	การรั่วซึมมีความสำคัญ	การรั่วซึมไม่มีความสำคัญ
ทรายผสมดินเหนียว ทรายมีขนาดไม่คละกันผสมดินเหนียว	*SC*	ทึบน้ำ	ดีถึงพอใช้	น้อย	ดี	3	2	—	3	8
ตะกอนทรายละเอียดที่ไม่มีอินทรีย์วัตถุปนทรายละเอียด หินฝุ่น ตะกอนทรายละเอียด หรือทรายละเอียดผสมดินเหนียว โดยมีความเหนียวน้อย	*ML*	รั่วซึมน้อยถึงทึบน้ำ	พอใช้	ปานกลาง	พอใช้	6	6	—	6	9
ดินเหนียวที่มีความเหนียวน้อยถึงปานกลาง ดินเหนียวผสมกรวด ดินเหนียวปนทราย หรือดินเหนียวปนตะกอนทรายละเอียด ไม่มีอินทรีย์วัตถุ	*CL*	ทึบน้ำ	พอใช้	ปานกลาง	ดีถึงพอใช้	5	3	—	5	10
ตะกอนทรายละเอียดปนอินทรีย์วัตถุ หรือตะกอนทรายละเอียดปนดินเหนียวมีความเหนียวน้อย	*OL*	รั่วซึมน้อยถึงทึบน้ำ	เลว	ปานกลาง	พอใช้	8	8	—	7	11
ตะกอนทรายละเอียด ตะกอนทรายละเอียด หรือดินทรายละเอียดผสมไมก้า โดยไม่มีอินทรีย์วัตถุ	*MH*	รั่วซึมน้อยถึงทึบน้ำ	พอใช้ถึงเลว	มาก	เลว	9	9	—	8	12
ดินเหนียวล้วน ไม่มีอินทรีย์วัตถุ มีความเหนียวมาก	*CH*	ทึบน้ำ	เลว	มาก	เลว	7	7	—	9	13
ดินเหนียวปนอินทรีย์วัตถุมีความเหนียวปานกลางถึงมาก	*OH*	ทึบน้ำ	เลว	มาก	เลว	10	10	—	10	14

หมายเหตุ เบอร์ 1 หมายถึงดีที่สุด

4. ตัวเขื่อนจะทรุดตัวลงได้น้อยหลังจากทำการก่อสร้างเสร็จแล้วนั้น ดินที่ใช้ทำตัวเขื่อนต้องเป็นดินที่มีดินเหนียว ตะกอนทรายละเอียด ทราย และกรวดผสมกันในสัดส่วนที่พอเหมาะ โดยที่ไม่มีดินเหนียวมากเกินไป หรือมีสารอินทรีย์ปนอยู่

งานก่อสร้างเขื่อนดินมีความสำคัญมาก ก่อนจะเลือกดินสำหรับถมตัวเขื่อนจะต้องนำตัวอย่างดินจากแหล่งดินมาทำการวิเคราะห์หาคุณสมบัติของดินให้ละเอียดเสียก่อน การวิเคราะห์ตัวอย่างดินทำได้ 2 วิธีคือ ใช้วิธีสังเกตและสัมผัสด้วยมือ ซึ่งวิธีนี้จะต้องอาศัยประสบการณ์และความชำนาญมากเป็นพิเศษ เหมาะสำหรับงานสร้างเขื่อนดินขนาดเล็กมีระดับเก็บกักน้ำไม่สูงมากนัก ส่วนอีกวิธีหนึ่งก็คือ นำดินตัวอย่างไปวิเคราะห์ในห้องทดลอง โดยใช้เครื่องมือสำหรับวิเคราะห์หาคุณสมบัติของดินโดยเฉพาะ วิ่งให้ผลที่แน่นอนและถูกต้อง เหมาะสำหรับงานสร้างเขื่อนขนาดใหญ่

ตาราง 5.1 เป็นการจำแนกดินโดยวิธี Unified soil classification system ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง ได้แยกแสดงคุณสมบัติของดินชนิดต่าง ๆ ไว้ให้เลือกใช้ตามความเหมาะสม

Rockfill and Riprap

การสร้างเขื่อนโดยใช้หินถม (Rockfill) เป็นดินเขื่อนนิยมสร้างในบริเวณที่มีหินจำนวนมาก หรือไม่สามารถหาดินที่คุณสมบัติเหมาะสมในบริเวณใกล้เคียงมาถมบดอัดเป็นตัวเขื่อนได้ หรือในท้องถิ่นมีฝนตกชุกเป็นเวลานานไม่สามารถทำการบดอัดดินได้ น้ำหนักของหินที่ถมตัวเขื่อนทำให้เขื่อนมีความมั่นคง (Stable) สูง และไม่มีปัญหาเกี่ยวกับ Uplift pressure แต่มีปัญหาในเรื่องการรั่วซึมของน้ำ ซึ่งในการออกแบบมักใช้แกนเขื่อนเป็นดินอัดแน่น น้ำซึมผ่านไม่ได้ (Impervious Zone) หรือดาดผิวน้ำลาดดาดหน้าของคันเขื่อนด้วยวัสดุที่น้ำซึมผ่านไม่ได้ (Membrane)

ในสมัยแรก ๆ หินที่ใช้ถมตัวเขื่อนมักจะใช้หินที่มีคุณภาพสูง มีความแข็งแรง และทนทานต่อสภาพดินฟ้าอากาศ แต่ในปัจจุบันเทคนิคในการบดอัดก้าวหน้าขึ้นมาก สามารถจะนำหินที่มีคุณภาพต่ำ เช่น Sandstone มาถมเขื่อนได้ โดยใช้เป็น Random Zone ซึ่งอยู่ภายในตัวเขื่อนไม่สัมผัสกับอากาศ หรือน้ำโดยตรง แต่สำหรับ Zone ที่ภายนอกควรเป็นหินที่มีคุณภาพดี แข็งแรง ทนต่อการสึกกร่อน เนื่องจากการเปลี่ยนของอากาศ ฝน และแรงกระทบของคลื่น

นอกจากหินที่ใช้ในการถมตัวเขื่อน แล้วในกรณีที่สร้างเป็นเขื่อนดินก็ยังมีความจำเป็นต้องใช้หินทิ้ง (Riprap) เพื่อป้องกันการกัดเซาะลาดตลิ่งของคันเขื่อน (Slope Protection) เนื่องมา

จากน้ำฝน และแรงกระแทกของคลื่นลดแรงกระแทกของน้ำที่ตกลงมาจาก Spillway และใช้สำหรับลดความเร็วของน้ำ (energy-dissipating) เพื่อไม่ให้เกิดการกัดเซาะทางด้านท้ายน้ำ

หินทิ้ง (riprap) ควรจะเป็นหินที่มีความแข็งแรงทนทานต่อแรงกระแทกได้ดี ไม่ควรใช้หินที่แตกง่าย เช่น Shall และ Siltstone

Concrete Aggregate

คอนกรีตเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับงานก่อสร้างตัวเขื่อน อาคารประกอบและอาคารต่าง ๆ คอนกรีตจะมีคุณสมบัติทนทาน และสามารถใช้งานได้นานเพียงใดนั้น ส่วนหนึ่งจะขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้ผสมคอนกรีต (Aggregate) ได้แก่ ทรายหินหรือกรวด ซึ่งเป็นมวลที่ผสมอยู่ในเนื้อคอนกรีตมากถึงประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์

วัสดุที่ใช้ผสมคอนกรีตควรอยู่ในบริเวณใกล้เคียง จะทำให้ราคาค่าก่อสร้างถูกลง สำหรับคุณภาพของวัสดุผสม จำเป็นต้องตรวจสอบคุณสมบัติต่าง ๆ ให้ละเอียดก่อนนำไปใช้งาน คุณสมบัติของวัสดุผสมคอนกรีตที่ดีสรุปได้ดังนี้

1. Strength มีความแข็งแรงสูงกว่าคอนกรีต สามารถรับแรงกดและแรงกระแทกได้ดี ไม่สึกกร่อนได้ง่าย การทดสอบความทนทานต่อการสึกกร่อนของหิน สามารถทดสอบโดยใช้เครื่องมือชนิดต่าง ๆ เช่น Los Angeles Abrasion Test.

2. Workability ความสามารถในการทำงานได้ดีของคอนกรีต ขึ้นอยู่กับรูปร่าง ขนาด และส่วนคละ (Gradation) ของวัสดุผสม ถ้าใช้วัสดุผสมที่มีขนาดและรูปร่างไม่เหมาะสม หรือส่วนคละไม่ดี จะทำให้ต้องใช้ซีเมนต์ และน้ำในอัตราส่วนที่สูง เพื่อให้สามารถทำงานได้ ทำให้สิ้นเปลือง และอาจทำให้กำลังของคอนกรีตลดลง

3. Contaminating Substance วัสดุผสมคอนกรีตจะต้องปราศจากสิ่งเจือปนหรือสิ่งสกปรกต่าง ๆ ที่เป็นสาเหตุให้กำลังของคอนกรีตลดลง เช่น เปลือกหอย ถ่านหิน เศษหญ้าหรือเศษไม้ ดิน โคลน ฝุ่น ผงละเอียดและอื่น ๆ สิ่งเจือปนเหล่านี้จะทำให้คอนกรีตลดกำลัง และมีอายุการใช้งานสั้นกว่าปกติ

4. Soundness มีความอยู่ตัวทนทานต่อสภาพของดินฟ้าอากาศไม่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาตร หรือแตกสลายได้ง่าย เมื่อถูกความร้อน ความหนาวหิมะและความเปียกชื้นตามธรรมชาติ

5. Chemical Suitability วัสดุผสมคอนกรีตจะต้องไม่ทำปฏิกิริยาเคมีกับปูนซีเมนต์ วัสดุผสมในบางท้องถิ่นจะมีสารบางชนิดผสมเมื่อนำไปผสมคอนกรีตจะเกิดปฏิกิริยาเคมีกับด่างในปูนซีเมนต์ ทำให้เกิดการขยายตัว ทำให้คอนกรีตแตกร้าว

บทที่ 7
การพิจารณาเลือกเขื่อนและอาคารประกอบ

7.1 คำนำ

เป็นการยากที่จะกำหนดลงไปให้แน่ชัดว่าควรจะสร้างเขื่อนชนิดใดชนิดหนึ่งที่มีความเหมาะสมและประหยัดที่สุดลงบน site ที่เลือกไว้ ยกเว้นบางกรณี หรือบางแห่งเท่านั้นที่ผู้ที่มีประสบการณ์และความชำนาญจะบอกได้ว่าควรเป็นชนิดใด โดยทั่วไปการเลือก การออกแบบ และการประเมินราคาตัวเขื่อนในเบื้องต้น จะพิจารณาเลือกจากหลาย ๆ ชนิดเท่าที่คิดว่าเป็นไปได้แล้วตัดสินใจเลือกชนิดที่เหมาะสมที่สุดโดยพิจารณาจาก ราคาใช้จ่าย และองค์ประกอบอื่น ๆ ที่ได้จากการศึกษาหาข้อมูลและจากการให้คำปรึกษาหาข้อมูลและจากการให้คำปรึกษาของวิศวกรที่มีความชำนาญและประสบการณ์ ในทำนองเดียวกันการเลือกอาคารประกอบที่สำคัญก็จำเป็นจะต้องพิจารณาเลือกชนิดที่เหมาะสมและสามารถก่อสร้างลงบนฐานรากบริเวณที่ตั้งตัวเขื่อนนั้น

ในหลายแห่งที่ค่าก่อสร้างอาคารระบายน้ำล้น ประตูระบายปากคลอง และปัญหาการผันน้ำออกระหว่างงานก่อสร้าง มีความสำคัญต่อการเลือกชนิดของเขื่อน ในขณะที่บางแห่งการเลือกชนิดเขื่อนขึ้นอยู่กับ แรงงาน และเครื่องมือ ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องพิจารณาเมื่อระยะเวลาเป็นตัวกำหนด นอกจากนี้ยังต้องการความสะอาดของเส้นทางที่จะเข้าไปทำงานยังอาจเป็นตัวกำหนดชนิดของเขื่อนด้วย

การเลือกชนิดเขื่อนที่ดีและเหมาะสมที่สุดในแต่ละแห่ง (site) จะต้องพิจารณาโดยละเอียด ถึงลักษณะเฉพาะของเขื่อนแต่ละชนิด ซึ่งมีความสัมพันธ์กับคุณสมบัติทางกายภาพของ site และการดัดแปลงให้ใช้งานได้ตามวัตถุประสงค์พร้อมทั้งประหยัด ปลอดภัย และเหมาะกับข้อจำกัดอื่น ๆ การตัดสินใจเลือกครั้งสุดท้ายจะกระทำหลังจากที่ได้พิจารณาถึงสิ่งต่าง ๆ เหล่านี้โดยละเอียดแล้วโดยทั่วไปแล้วราคาก่อสร้างจะเป็นแฟคเตอร์สำคัญประการหนึ่งในการตัดสินใจ

7.2 การจำแนกชนิดของเขื่อน (Classification of types)

เขื่อนอาจแบ่งออกเป็นชนิดต่าง ๆ ได้หลายแบบ ขึ้นอยู่กับจุดมุ่งหมายของการแบ่ง แต่ในที่นี้เพื่อความสะดวกในการพิจารณา จะแบ่งออกเป็น 3 ประเภทใหญ่ คือ แบ่งตามลักษณะของการใช้งาน (Use) การออกแบบทางชลศาสตร์ (Hydraulic design) และวัสดุที่ใช้ก่อสร้าง (Materials)

1. <u>การแบ่งประเภทตามลักษณะการใช้งาน</u>

เขื่อนอาจแบ่งออกตามลักษณะการใช้งาน หรือหน้าที่ของเขื่อนที่สร้างขึ้นได้ 3 ประเภท คือ เขื่อนเก็บกักน้ำ (Storage dam) เขื่อนทดน้ำ (Diversion dam) และเขื่อนกักน้ำ (Detention dam)

เขื่อนเก็บกักน้ำ (Storage dam) คือ เขื่อนที่สร้างขึ้นเพื่อเก็บกักน้ำในช่วงเวลาที่มีน้ำมากเกินความต้องการไว้ใช้ในช่วงเวลาที่ขาดแคลนน้ำ ช่วงเวลาที่มีน้ำมากเกินความต้องการนั้นอาจจะเป็นช่วงฤดูการ ช่วงเวลาหนึ่งปี หรือช่วงเวลาหลายปีก็ได้ เช่น เขื่อนเก็บน้ำขนาดเล็ก จะเก็บน้ำในช่วงฤดูฝนไว้ใช้ในฤดูแล้งของแต่ละปี และเขื่อนขนาดใหญ่จะเก็บน้ำทิ้งหมดไว้เพื่อใช้งานต่อเนื่องตลอดไปเป็นต้น เขื่อนเก็บ-น้ำยังอาจแบ่งออกตามลักษณะจุดประสงค์ของการเก็บน้ำ เช่น เขื่อนไฟฟ้าพลังน้ำ เขื่อนชลประทาน เขื่อนเก็บน้ำ เพื่อการประปา เป็นต้น

เขื่อนทดน้ำ Diversion dam) เป็นเขื่อนที่สร้างขวางทางที่เพื่อทดน้ำให้มีระดับสูงขึ้นและไหลเข้าคลอง หรือคูส่งน้ำให้ไหลเข้าไปยังจุดที่ต้องการใช้น้ำ สร้างขึ้นเพื่อใช้สำหรับการชลประทาน เพื่อการประปา และเพื่อใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม

เขื่อนกักน้ำ (Detention dam) คือ เขื่อนที่สร้างขึ้นเพื่อชะลอหรือกักน้ำไว้ในขณะที่เกิดน้ำนอง ไม่ให้เกิดอันตรายจากจุดอุทกภัย ทางด้านท้ายน้ำเขื่อนกักน้ำแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ตามวัตถุประสงค์ของการใช้งาน ประเภทแรก คือเก็บกักน้ำบางส่วนไว้ชั่วคราว ขณะที่มีน้ำมาก แล้วค่อย ๆ ระบายทิ้งไปในภายหลัง ในอัตราที่ลำน้ำด้านท้ายสามารถรับได้ และอีกประเภทหนึ่งก็คือ กักน้ำไว้ให้นานที่สุด แล้วปล่อยให้น้ำไหลซึมเข้าไปในผั่ง หรือไหลซึมเข้าไปในดิน เพื่อเพิ่มระดับน้ำใต้ดิน เขื่อนชนิดนี้บางครั้งเรียกว่า Water-Spreading dam หรือ dike นอกจากนี้เขื่อนกักน้ำยังถูกสร้างขึ้นเพื่อใช้ดักตะกอน (trap Sediment) ซึ่งเรียกว่า Debris dams

2. <u>การแบ่งตามการออกแบบทางชลศาสตร์</u> (Hydraulic design)

การแบ่งประเภทเขื่อนตามลักษณะการออกแบบทางชลศาสตร์ แบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ Overflow และ non-Overflow dams

Overflow dams คือ เขื่อนที่ออกให้น้ำไหลข้ามสันเขื่อนออกไปทางด้านท้ายน้ำ สันเขื่อนที่ปล่อยให้น้ำไหลข้ามไปนั้นจะต้องก่อสร้างด้วยวัสดุที่แข็งแรง และทนต่อการกัดเซาะ เช่น คอนกรีต ดิน และเหล็ก เป็นต้น

Non-Overflow dams คือ เขื่อนที่ออกแบเพื่อเก็บน้ำแต่ไม่ให้น้ำไหลข้ามตัวเขื่อน เขื่อนชนิดนี้สามารถเลือกใช้วัสดุในการก่อสร้างได้หลายชนิด เช่น เขื่อนดิน เขื่อนหินทิ้ง เป็นต้น

การสร้างเขื่อนบางแห่งอาจจะออกแบบทั้งแบบ Overflow และ Non Overflow อยู่ในเขื่อนเดียวกันก็ได้ เช่น ออกแบบเป็นตัวเขื่อนคอนกรีตในส่วนที่ยอมให้น้ำไหลข้ามต่อกับตัวเขื่อนดินในช่วงที่ไม่ยอมให้น้ำไหลข้ามได้เป็นต้น

3. **การแบ่งตามวัสดุก่อสร้าง** (Materials)

วิธีการแบ่งชนิดของเขื่อน เพื่อจุดประสงค์ในการพิจารณาวิธีการออกแบบนิยมแบ่งตามวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างเช่น Earthfill, Rockfill, Concrete gravity, Concrete arch,concrete buttress และ Timber dams. เป็นต้น ในที่นี้จะกล่าวเฉพาะเขื่อนขนาดเล็กที่นิยมสร้างกันทั่วไป

7.3 องค์ประกอบทางกายภาพที่มีอิทธิพลต่อการเลือกชนิดเขื่อน

องค์ประกอบทางกายภาพ (physical factors) ของบริเวณที่ก่อสร้างมีบทบาทสำคัญในการกำหนดชนิด และลักษณะของตัวเขื่อน และอาคารประกอบ ที่เหมาะสมสามารถทำการก่อสร้างได้สะดวก ใช้งานได้ตามวัตถุประสงค์ มีความปลอดภัย และประหยัดค่าใช้จ่าย แฟคเตอร์ที่สำคัญ และจำเป็นต้องศึกษาและพิจารณาก่อนตัดสินใจเลือก ก็คือ

1. สภาพภูมิประเทศ (Topography)

สภาพภูมิประเทศจะเป็นสิ่งแรกที่บอกได้อย่างกว้าง ๆ ในการเลือกชนิดของเขื่อนที่เหมาะสม บริเวณลำน้ำแคบ ๆ ที่ไหลผ่านหุบเขาสูง และทั้งสองฝั่งของตลิ่งเป็นหิน สภาพแข็งแรง ควรเลือกสร้างเขื่อนคอนกรีตชนิดน้ำไหลข้าม (concrete Overflow dam) ในบริเวณพื้นที่ค่อนข้างราบ มีร่องน้ำกว้าง และไม่ลึกมากนัก ควรสร้างเป็นเขื่อนดินถม (Earthfill dam) และออกแบบก่อสร้าง Spillway แยกย้ายไปเป็นคนละส่วนกับตัวเขื่อน สำหรับสภาพภูมิประเทศที่อยู่ระหว่าง. สภาพที่กล่าวมา ควรพิจารณาถึงแฟคเตอร์อื่นประกอบ โดยยึดถือหลักความเหมาะสมต่อสภาพธรรมชาติและความปลอดภัยเป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจตำแหน่งของ spillway เป็นสิ่งสำคัญอีกประการหนึ่งที่จะถูกกำหนดโดยสภาพของภูมิประเทศฉนั้นก่อนจะตัดสินใจเลือกตัวเขื่อนควรจะพิจารณาถึงความเหมาะสมในการสร้าง Spillway ประกอบไปด้วยเสมอ

2. สภาพธรณีวิทยาและฐานราก (Geology and foundation Condition)

สภาพของฐานรากขึ้นอยู่กับลักษณะทางธรณีวิทยา และความหนาของชั้นหิน ซึ่งเคลื่อนตัว และรอยแตกร้าวของชั้นหิน คุณสมบัติของฐานรากจะเป็นตัวกำหนดชนิดของเขื่อน อย่างไรก็ตามข้อจำกัดต่าง ๆ เหล่านี้สามารถปรับปรุง แก้ไขให้เหมาะสมได้ ทั้งนี้จะต้องคำนึงถึงความสูงของตัวเขื่อนที่ต้องการด้วย สภาพของฐานรากชนิดต่าง ๆ สามารถแบ่งออกได้ดังต่อไปนี้

ฐานรากหินทึบ (Solid Rock foundations) เป็นฐานรากที่มีสภาพความแข็งแรงสูง สามารถรับน้ำหนักได้มาก มีความทนทานต่อการกัดกร่อน และรั่วซึมได้ดี ฐานรากชนิดนี้ มีความเหมาะสมกับเขื่อนเกือบทุกชนิด แฟคเตอร์สำคัญในการพิจารณาเลือกชนิดเขื่อนขึ้นอยู่กับการเลือกวัสดุ วิธีการก่อสร้าง และค่าใช้จ่ายทั้งหมดจะมีข้อจำกัดอยู่บ้างในเรื่องการกำจัดเศษหินที่แตกแยกและผุพังออกไป และการอัดฉีดน้ำปูนซีเมนต์เข้าไปในรอยแตกร้าวของหิน เพื่ออุดรูรั่วป้องกันการไหลผ่านของน้ำตลอดแนวสันเขื่อน

ฐานรากเป็นกรวด (Gravel foundations) ถ้าหากเป็นกรวดที่อัดตัวกันแน่น มีความเหมาะสมสำหรับสร้าง เขื่อนดินถม เขื่อนหินถม และเขื่อนคอนกรีตต่ำ ฐานรากที่เป็นกรวดมักจะมีปัญหาการรั่วซึมของน้ำผ่านฐานราก ในอัตราสูงจะต้องระมัดระวัง และหาวิธีแก้ไขปรับปรุงเพื่อสะกัดกั้นหรือลดการรั่วซึมให้น้อยลง

ฐานรากเป็นทรายและดินตะกอน (Sand and silt foundations) ฐานรากชนิดนี้สามารถใช้สร้างเขื่อนคอนกรีตต่ำ และเขื่อนดินถมได้ ถ้าออกแบบให้เหมาะสม แต่ไม่เหมาะสำหรับสร้างเขื่อนหินถม ปัญหาสำคัญก็คือ การทรุดตัวของฐานราก การป้องกันน้ำไหลลอดใต้เขื่อน มีการสูญเสียน้ำจากการรั่วซึมสูง และปัญหาการป้องกันการกัดเซาะบริเวณท้ายเขื่อนเนื่องจากการรั่วซึม (piping)

ฐานดินเหนียว (Clay foundations) สามารถใช้ก่อสร้างเขื่อนดินถมได้แต่ต้องมีการปรับปรุงฐานรากให้ดีเป็นพิเศษ ปัญหาสำคัญก็คือการทรุดตัวของฐานราก เนื่องจากดินเหนียวไม่แน่นพอ และมีความชื้นสูงโดยทั่วไปไม่เหมาะสมสำหรับสร้างเขื่อนคอนกรีต และเขื่อนหินถม

ฐานรากไม่แน่นอน (Nonuniform foundations) สภาพของฐานรากที่ไม่แน่นอน อาจจะเกิดขึ้นได้ในท้องที่บางแห่ง ซึ่งสภาพของฐานรากไม่เป็นชนิดใดชนิดหนึ่ง ดังที่กล่าวมาข้างต้น สภาพฐานรากอาจเป็นลักษณะผสมระหว่าง หินและดินอ่อนนุ่ม และมีความจำเป็นต้องทำการก่อสร้างเขื่อน ดินสภาพฐานรากเช่นนี้จำเป็นต้องออกแบบเป็นพิเศษสำหรับแต่ละแห่ง โดยวิศวกรที่มีความรู้และความชำนาญ

3. <u>วัสดุก่อสร้าง</u> (Materials available)

วัสดุที่จะนำมาใช้ในการก่อสร้างตัวเขื่อนและอาคารประกอบ ซึ่งได้แก่ ดิน หิน และวัสดุผสมคอนกรีต มีความสำคัญต่อการเลือกชนิดของเขื่อน ถ้าหากวัสดุที่มีคุณสมบัติ และมีปริมาณเพียงพอในบริเวณที่สร้างเขื่อน หรือบริเวณใกล้เคียงได้ จะลดค่าขนส่งลงได้มาก ทำให้ประหยัดค่าก่อสร้างตัวเขื่อน ดังนั้นถ้าไม่มีข้อจำกัดอย่างอื่นแล้ว การเลือกชนิดของเขื่อนจะขึ้นอยู่กับวัสดุก่อสร้างที่หาได้ในบริเวณใกล้เคียง เช่น ถ้ามีแหล่งหินและทราย ที่มีคุณภาพดีควรเลือกสร้าง

เขื่อนคอนกรีต ถ้ามีดินที่มีคุณภาพดี ซึ่งอาจจะได้จากบ่อก่อสร้างอื่น และสามารถนำมาใช้ถมเป็นตัวเขื่อนได้ ก็ควรสร้างเป็นเขื่อนดินเพราะนอกจากจะไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการขนย้ายดินที่ขุดขึ้นมาไปทิ้งแล้ว ยังสามารถนำมาใช้ก่อสร้างเป็นตัวเขื่อนได้อีก ซึ่งให้ประโยชน์ทั้งสองด้านเป็นต้น อย่างไรก็ตามจะต้องพิจารณาถึงค่าใช้จ่ายอื่นประกอบด้วย เช่น ค่าใช้จ่ายในเรื่องเครื่องจักรเครื่องมือ แรงงานที่ต้องใช้ เป็นต้น

4. ขนาดและที่ตั้งของทางระบายน้ำล้น (Spillway size and location)

อาคารระบายน้ำล้นเป็นอาคารสำคัญและจำเป็นสำหรับการสร้างเขื่อน บ่อยครั้งที่ขนาดและที่ตั้งของอาคารระบายน้ำล้น เป็นแฟคเตอร์สำคัญในการเลือกชนิดของเขื่อนการเลือกชนิดของอาคารระบายน้ำล้น ขึ้นอยู่กับขนาดของ flood ที่ต้องการระบายผ่านตัวอาคารในลำน้ำที่มี flood ขนาดใหญ่ อาคารระบายน้ำจะเป็นอาคารหลัก และมีความสำคัญมากกว่าการเลือกชนิดของเขื่อน

ราคาค่าก่อสร้างทางระบายน้ำล้นขนาดใหญ่ จะมีอัตราส่วนค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับราคาค่าใช้จ่ายของโครงการทั้งหมด ในกรณีเช่นนี้ควรรวมเอาทางระบายน้ำล้นไว้กับตัวเขื่อนเป็นสิ่งที่ดีที่สุด เช่น การสร้างเป็นเขื่อนคอนกรีตน้ำล้นข้าม (Concrete Overflow Dam) ซึ่งตัวเขื่อนจะทำหน้าที่เป็นทั้งตัวเขื่อนกั้นน้ำและเป็นทางระบายน้ำล้นไปในตัวเมื่อมีน้ำมากและต้องการระบาย อย่างไรก็ตาม ในทางปฏิบัติการสร้าง Overflow Concrete Spillway ในเขื่อนดินถมและหินถมไม่นิยมทำกันเนื่องจากอาจจะมีปัญหาเกี่ยวกับการทรุดตัวไม่เท่ากันของตัวเขื่อนและอาคาร หลังจากที่มีการเก็บน้ำเต็มที่แล้ว

ในกรณีที่มี flood น้อยและต้องการอาคารระบายน้ำล้นขนาดเล็กและภูมิประเทศอำนวยให้ อาจสร้างเป็นเขื่อนดินโดยสร้างอาคารระบายน้ำไว้บนตลิ่งปลายเขื่อนด้านใดด้านหนึ่งนอกตัวเขื่อน โดยขุดเป็นร่องน้ำระบายน้ำที่ล้นผ่านอาคารลงสู่ลำน้ำธรรมชาติด้านท้ายเขื่อน ในกรณีนี้ควรพิจารณาวัสดุที่ขุดจากบ่อก่อสร้างนี้ด้วย ซึ่งอาจจะนำไปใช้ถมตัวเขื่อนได้ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายลงได้

5. ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Environmental effects)

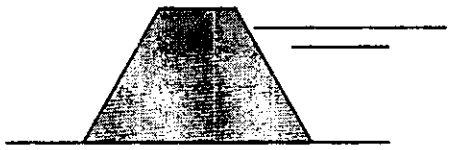
ในช่วง 2-3 ทศวรรษที่ผ่านมา การพิจารณาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม มีบทบาทสำคัญต่อการพิจารณาเลือกสร้างเขื่อน ได้มีการออกกฎหมายบังคับเกี่ยวกับสิ่งก่อสร้างที่อาจจะมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมขึ้น จุดมุ่งหมายก็เพื่อป้องกันและรักษาสภาพสิ่งแวดล้อมซึ่งจะมีผลกระทบจากชนิดของเขื่อน ขนาด และตำแหน่งของ spillway และอาคารประกอบอื่น ๆ ผลกระทบของโครงการหรืออาคารต่างๆ จะเป็นปัจจัยสำคัญในการกำหนดชนิดของเขื่อนและอาคารที่เหมาะสม

7.4 เขื่อนดินถม (Earthfill Dam)

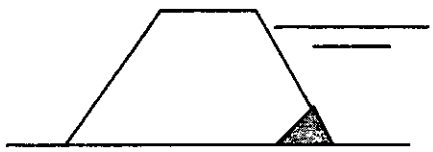
เขื่อนดินถมเป็นเขื่อนที่นิยมสร้างกันโดยทั่วไป เนื่องจากวัสดุที่ใช้ส่วนใหญ่เป็นวัสดุที่มีอยู่ตามธรรมชาติ ขบวนการก่อสร้างก็ไม่ยุ่งยากซับซ้อน และสามารถสร้างได้บนฐานรากเกือบทุกชนิด เหมาะสมอย่างยิ่งสำหรับใช้เป็นที่เก็บกักน้ำที่มีความสูงไม่มากนัก

7.4.1 ชนิดของเขื่อนดิน (Type of earthfill dam)

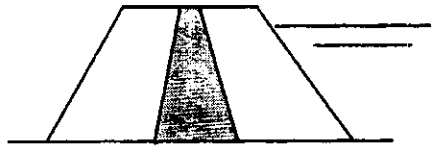
ชนิดของเขื่อนดินถมแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด ใหญ่ ๆ ด้วยกันคือ Homogeneous, Modified Homogenous และ Zoned type (ดังรูป 7.1) การเลือกชนิดของเขื่อนดินถม ขึ้นอยู่กับแหล่งวัสดุ หรือชนิดของดินที่สามารถหาได้ในบริเวณก่อสร้างและสภาพของฐานรากเป็นสำคัญ การเลือกใช้จึงต้องพิจารณาให้เหมาะสม



(a) Homogeneous



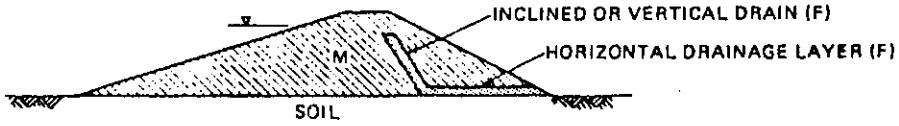
(b) Modified Homogeneous



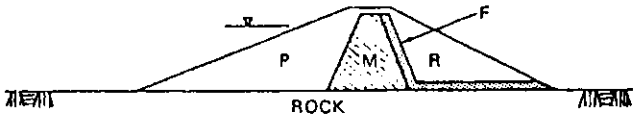
(c) Zoned

Homogeneous Type คือ เขื่อนดินถมที่ถมอัดด้วยดินชนิดเดียวกันเป็นส่วนใหญ่หรือทั้งหมด ดินที่นำมาบดอัดเป็นตัวเขื่อนต้องมีคุณสมบัติทึบน้ำหลังจากบดอัดได้ที่แล้วลาดของตลิ่งคันเขื่อนค่อนข้างราบเพื่อป้องกันการพังทะลายของตลิ่ง เหมาะสำหรับบริเวณฐานรากที่เป็นดินแน่นทึบและเป็นเนื้อเดียวกัน นิยมใช้สร้างเขื่อนดินที่ไม่ต้องการความสูงมาก และไม่สามารถหาดินชนิดอื่นที่สามารถนำมาใช้หุ้มเปลือกนอกของตัวเขื่อนได้ ดินที่เหมาะสมสำหรับสร้างเขื่อนชนิดนี้ได้แก่ ดิน GC, CM และ SC

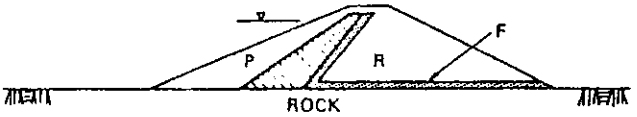
Modified Homogeneous type คือ เขื่อนดินถมที่ถมบดอัดด้วยดินชนิดเดียวกันเกือบทั้งหมดคล้ายกับ Homogeneous type ยกเว้นด้านท้ายเขื่อนถมด้วยกรวด หิน หรือ ทรายหยาบทำหน้าที่ลดแรงดันของน้ำที่ซึมผ่านตัวเขื่อนและเกิดปัญหากัดเซาะท้ายเขื่อน (piping) อันเป็นเหตุทำให้เขื่อนพังได้ กรณีเช่นนี้จะเกิดขึ้นเมื่อเก็บน้ำระดับสูงมาก ๆ



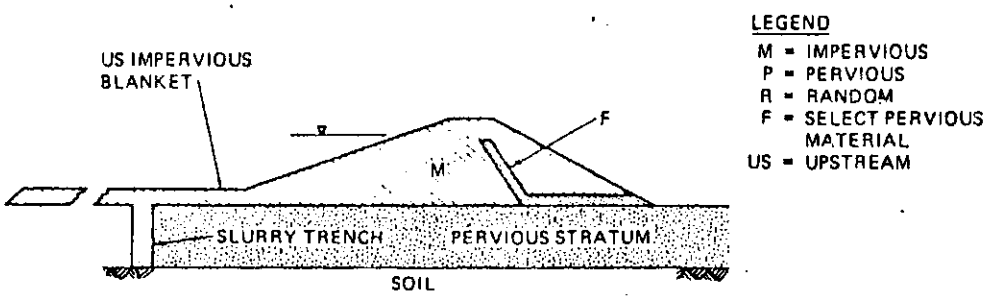
a. Homogeneous dam with internal drainage on impervious foundation



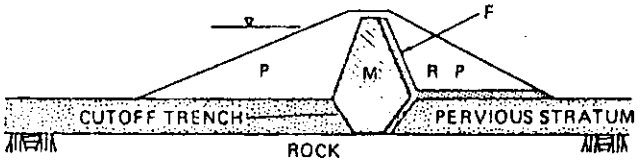
b. Central core dam on impervious foundation



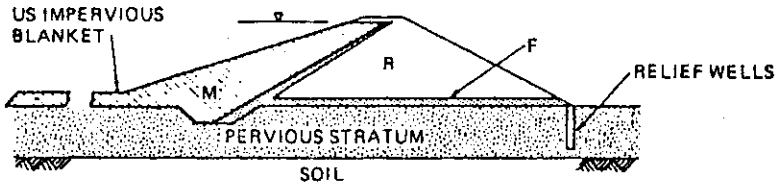
c. Inclined core dam on impervious foundation



d. Homogeneous dam with internal drainage on pervious foundation



e. Central core dam on pervious foundation



f. Dam with upstream impervious zone on pervious foundation

รูปที่ 7.2 รูปตัดเขื่อนดินถมบนฐานรากชนิดต่าง ๆ

Zone type คือ เขื่อนดินถมที่มีแกนอยู่ส่วนกลางตัวเขื่อน แกนเขื่อนจะมีความทึบน้ำสูง ป้องกันไม่ให้น้ำไหลผ่านตัวเขื่อน หรือผ่านไปได้น้อย ความหนาของแกนทึบน้ำอาจจะมากหรือน้อยกว่าความสูงของตัวเขื่อนก็ได้ และอาจเป็นแนวตรงหรือเอียงก็ได้ ขึ้นอยู่กับการการออกแบบให้เหมาะสมกับฐานราก (ดังรูป 7.2) ส่วนเปลือกนอกที่ใช้หุ้มแกนใช้ดินต่างชนิดกัน โดยทั่วไปจะเป็นดินเนื้อหยาบและน้ำซึมผ่านได้ค่อนข้างสูง (Previous soil) เหตุที่ให้ดินเนื้อหยาบและน้ำซึมผ่านได้ค่อนข้างสูง (Previous soil) เหตุที่ให้ดินเนื้อหยาบทำเปลือกนอกของตัวเขื่อนก็เพราะสามารถทำการบดอัดได้ง่าย และมีคุณสมบัติในการรับแรงเฉือนได้สูง ทำให้ตั่งมีความแข็งแรงมากขึ้นและสามารถออกแบบลาดตลิ่งด้านเหนือและท้ายน้ำได้ชันกว่า ทำให้ขนาดของเขื่อนเล็กลง

7.4.2 **ภูมิประเทศบริเวณที่ก่อสร้าง** (Site topography)

เขื่อนดินถมสามารถสร้างได้ในสภาพภูมิประเทศเกือบทุกชนิด โดยเฉพาะบริเวณหุบเขาที่กว้าง และมีท้องลำน้ำค่อนข้างราบ ไม่นิยมสร้างบริเวณที่เป็นช่องแคบลึก และมีตลิ่งทั้งสองค่อนข้างชัน เนื่องจากสภาพดังกล่าวมักจะหาดินซึ่งเป็นวัสดุสำคัญสำหรับทำตัวเขื่อนได้ยาก และไม่สะดวกในการขนย้ายวัสดุจากที่อื่นเข้าไปยังที่ก่อสร้าง นอกจากนี้ยังมีปัญหาการทำงานไม่สะดวกเพราะเขื่อนดินต้องการใช้เครื่องจักรเครื่องมือในการขนวัสดุและการทำการบดอัดจำนวนมาก บริเวณที่เป็นหุบเขาควรก่อสร้างเขื่อนคอนกรีต จะทำได้ง่ายและประหยัดกว่าเขื่อนดิน

7.4.3 **สภาพธรณีวิทยาและฐานราก** (Geology and foundation Conditions)

สภาพทางธรณีวิทยาของบริเวณที่ก่อสร้าง ของอ่างเก็บน้ำและสภาพฐานรากมีอิ ทธิพลมากต่อการเลือกชนิดของเขื่อน จำเป็นต้องศึกษาอย่างละเอียดก่อนตัดสินใจ ซึ่งจะมีผลต่อความแข็งแรงและรั่วซึมของน้ำ สภาพโดยทั่วไปที่เหมาะสมสำหรับสร้างเขื่อนดินก็คือ 1) เมื่อดินชั้นบนของ Bedrock มีความหนามาก 2) หินฐานรากไม่แข็งแรงพอที่จะรับน้ำหนักของเขื่อนคอนกรีต 3) ลาดตลิ่งมีชั้นดินหนาหรือมีหินที่ไม่แข็งแรง 4) มีทำเลสำหรับสร้าง Spillway เหมาะสม และ 5) มีดินที่มีคุณภาพเหมาะอย่างเพียงพอ

สภาพฐานรากบริเวณที่ก่อสร้าง ซึ่งหมายถึงบริเวณท้องน้ำและตลิ่งทั้งสองฝั่งตลอดแนวที่จะสร้างเขื่อน จะต้องมีฐานแข็งแรงสามารถรับน้ำหนักของตัวเขื่อนได้ภายใต้สภาพต่าง ๆ ในขณะที่แห้งและชุ่มน้ำ และยอมให้น้ำซึมผ่านได้น้อย ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้สูญเสียน้ำและเป็นอันตรายต่อตัวเขื่อน สภาพของฐานรากไม่เหมาะสม จำเป็นต้องมีการปรับปรุงแก้ไขให้ดีซึ่งสามารถทำได้หลายวิธีขึ้นอยู่กับสภาพของฐานรากแต่ละชนิด

ฐานรากที่เป็นหิน โดยทั่วไปไม่มีปัญหาในด้านการรับน้ำหนักแต่มักจะมีปัญหาการรั่วซึมของน้ำ การสำรวจฐานรากที่เป็นหินต้องทำด้วยความรอบคอบ เพื่อตรวจสอบหาอัตราการรั่ว

ซึมซึ่งอาจจะเกิดจากรอยแตก รอยต่อ และรูโพรงของชั้นหิน หากพบว่ามีการรั่วซึมสูงเกินไป จะต้องทำการอุดรูรั่วเหล่านั้น โดยการอัดฉีดน้ำปูนซีเมนต์ด้วยแรงดันเท่ากับความสูงของน้ำที่เก็บกักเข้าไปอุดแทรกในช่องว่างจนเต็มคลองแนวเขื่อนเป็นม่านทึบ ป้องกันมิให้น้ำไหลผ่านออกไปได้

ฐานราก เป็นกรวดทราย ที่เกิดจากการกัดพาและทับถมกัน จะมีลักษณะเป็นชั้นกรวด ทราย และทรายละเอียดสลับกันไป มักจะมีปัญหาสำคัญ 2 ประการคือ มีการรั่วซึมของน้ำสูงหรือไม่สามารถเก็บน้ำไว้ได้เพียงพอ และการไหลของน้ำผ่านชั้นดินทรายอาจเกิดการกัดพาเม็ดดินบริเวณท้ายเขื่อนหลุดออกไปทำให้เกิดรูโพรงและเป็นอันตรายต่อตัวเขื่อน การปรับปรุงฐานรากเพื่อป้องกันการรั่วซึม สามารถกระทำได้หลายวิธีเช่น การขุดร่องแกนถึงชั้นดินทึบน้ำ (cutoff trench) การตอกเข็มพืด (Sheet pile) และการปูด้วยดินทึบน้ำ (earth blanket) เป็นต้น แต่ก่อนตัดสินใจทำการปรับปรุง ควรพิจารณาถึงปริมาณน้ำที่สูญเสียไปกับปริมาณน้ำที่ต้องการใช้งาน ทำการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายที่ต้องทำการปรับปรุงฐานรากกับประโยชน์ที่จะได้รับคุ้มค่าหรือไม่เพียงใด จะทำให้สามารถเลือกวิธีการปรับปรุงฐานรากได้ถูกต้องและเหมาะสมปัญหาการกัดพาดินบริเวณท้ายเขื่อนสามารถป้องกันได้ การออกแบบระบบการลดแรงดันน้ำที่ซึมออกทางด้านท้ายเขื่อน โดยการสร้างเป็น drain blanket หรือ toe drain ซึ่งปูด้วยวัสดุเนื้อหยาบ ซึ่งจะทำหน้าที่ดักน้ำและลดแรงดันของน้ำที่ไหลผ่านใต้เขื่อนมา และระบายทิ้งไปโดยไม่กัดเซาะดินท้ายเขื่อน

ฐานรากดินตะกอนและดินเหนียว ปกติฐานรากชนิดนี้เป็นดินเนื้อละเอียด จึงมักไม่มีปัญหาด้านการรั่วซึม แต่จะมีปัญหาด้านการรับน้ำหนักและความมั่นคงของตัวเขื่อน ดังนั้นในการสำรวจเพื่อหาความแข็งแรงของฐานรากจึงต้องทำด้วยความรอบคอบ วิธีการหาความแน่นของฐานรากโดยวิธี Standard penetration test เป็นวิธีที่นิยมใช้กันทั่วไป จำนวนครั้งในการตอกทดลองต่อระยะหนึ่งฟุต (Blow count) จะบอกถึงความแน่นของฐานราก การออกแบบลาดตลิ่งด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำควรลาดมากขึ้น เพื่อให้มีพื้นที่ฐานรับน้ำหนักมากขึ้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความสูงของตัวเขื่อนด้วย

7.4.4 รูปร่างและขนาดของเขื่อนดิน

ก่อนเริ่มงานออกแบบขนาดและรูปร่างของเขื่อนดินจะต้องทำการศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวกับเขื่อนให้ละเอียดถี่ถ้วนเสียก่อน ซึ่งได้แก่

-1) ปริมาณและคุณสมบัติที่เหมาะสมของดินที่จะนำมาถมเป็นตัวเขื่อน

2.) สภาพดินฐานรากมีความแน่นคงที่จะรับน้ำหนักตัวเขื่อนได้พอหรือไม่ การรั่วซึมผ่านของน้ำมีมากน้อยเพียงใด เพื่อจะได้ทำการออกแบบฐานรากและตัวเขื่อนให้ถูกต้อง

-3.) การก่อสร้างเขื่อนจะใช้เครื่องจักรหรือแรงคน ขนาดของเขื่อนจะต้องเหมาะสมกับเครื่องจักรเครื่องมือ

-4.) ค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการก่อสร้าง เช่น การขุด การขน และการบดอัด

-5.) สภาพดินฟ้าอากาศในท้องถิ่น โดยเฉพาะช่วงฤดูแล้ง เพื่อจะได้ทราบจำนวนวันที่สามารถทำงานได้เต็มที่

โดยทั่งไป ขนาด ลักษณะ และรูปร่างของเขื่อนดินจะต้องคำนึงถึงความมั่นคงแข็งแรงเป็นหลัก ซึ่งมีหลักเกณฑ์และรายละเอียดดังนี้

1. ระดับความสูงของสันเขื่อน

เพื่อความปลอดภัยของตัวเขื่อน ระดับของสันเขื่อนจะต้องสูงพอที่จะไม่เกินน้ำไหลข้ามตัวเขื่อนไปได้ ซึ่งจะต้องพิจารณาถึงระดับน้ำในเขื่อนสูงสุดขณะที่เกิด flood ความสูงของคลื่นเนื่องมาจากความเร็วลม และความยาวของอ่างเก็บน้ำสำหรับเขื่อนดินเตี้ย (Low dam) ในงานระดับวางโครงการกำหนดระดับของสันเขื่อนเหนือระดับน้ำสูงสุดไว้ดังนี้

ความยาวของผิวน้ำจากที่ตัวเขื่อน (เมตร)	ระดับสันเขื่อนเหนือระดับน้ำสูงสุด (เมตร)
1.00	1.00
1.50	1.20
4.00	1.50
8.00	2.00

นอกเหนือจากระดับสันเขื่อนที่กำหนดไว้นี้ ควรเพิ่มขนาดความสูงของตัวเขื่อนไว้เพื่อการทรุดตัวของฐานราก และตัวเขื่อนอีก ประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ ของความสูงของตัวเขื่อน

2. ความกว้างของสันเขื่อน

โดยปกติความกว้างของสันเขื่อนดินที่ก่อสร้างด้วยเครื่องจักรควรจะมีความสะดวกในการทำงาน ซึ่งไม่ควรกว้างน้อยกว่า 4.00 เมตร และไม่ควรเกิน 6.00 เมตร ส่วนเขื่อนดินขนาดเล็กที่ก่อสร้างด้วยแรงคน และไม่ต้องการใช้สันเขื่อนเป็นทางรถข้ามอาจจะลดขนาดความกว้างเหลือ 2.50 เมตรก็ได้ เพื่อลดปริมาตรของดินถมตัวเขื่อน

3. ลาดตลิ่งด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำ

การกำหนดลาดเขื่อนด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำโดยทั่วไปจะต้องกำหนดให้พอเหมาะที่ลาดของเขื่อนจะมีความมั่นคงแข็งแรงอยู่ได้ตลอดเวลา โดยไม่มีการเลื่อนทะลายลงในขณะก่อสร้าง ในขณะเก็บกักน้ำไว้สูงสุด และในขณะน้ำในอ่างเก็บน้ำลดลงอย่างรวดเร็ว

ลาดของเขื่อนดินขนาดเล็กที่ถือว่ามีความมั่นคงแข็งแรงที่สุดและใช้กันทั่วไปก็คือ 1:3 สำหรับลาดด้านเหนือน้ำและ 1:2.5 สำหรับลาดด้านท้ายน้ำทั้งนี้ลาดของเขื่อนอาจจะเปลี่ยนแปลงไปตามลักษณะและคุณสมบัติทางกายภาพของดินถมและฐานราก

7.5. เขื่อนหินถม (Rockfil Dam)

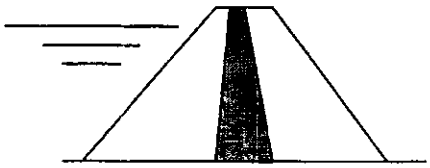
เป็นเขื่อนที่สร้างขึ้น หินขนาดต่าง ๆ ถมอัดแน่น เพื่อให้เกิดความมั่นคง (Stability) และสร้างผนังที่น้ำซึมผ่านไม่ได้ (Impervious membrane) เพื่อเก็บกักน้ำ ผนังกั้นน้ำนี้อาจสร้างปิดลาดคันเขื่อน ด้านเหนือน้ำด้วยวัสดุกันน้ำได้ เช่น Impervious soil, concrete slab และ asphaltic concrete เป็นต้น หรืออาจสร้างเป็นแกนคันกันน้ำ (core) อยู่ภายในตัวเขื่อนก็ได้

เขื่อนหินมีความเหมาะสม สามารถก่อสร้างได้ง่ายและประหยัด ภายใต้สภาพต่าง ๆ ดังนี้คือ 1) เพื่อสามารถหาหินปริมาณมากมาใช้งานได้ ซึ่งอาจจะได้จากบริเวณใกล้เคียง หรือจากบ่อก่อสร้าง 2) สภาพที่เขื่อนดินทำได้ยาก และต้องการวิธีการก่อสร้างและเครื่องมือที่ซับซ้อน3) ช่วงเวลาสำหรับการก่อสร้าง มีน้อยเนื่องจากภูมิอากาศไม่อำนวย 4) และเมื่อต้องการปรับระดับของสันเขื่อนให้สูงขึ้นในอนาคต นอกจากนี้เขื่อนหินถมยังสามารถทำการก่อสร้างหรือถมหินไปพร้อมกับการอัดฉีดน้ำปูนได้ ไม่มีปัญหาเกี่ยวกับ Uplift pressure และไม่มีปัญหาการกัดเซาะท้ายเขื่อน เนื่องจากการรั่วซึมของน้ำผ่านตัวเขื่อน

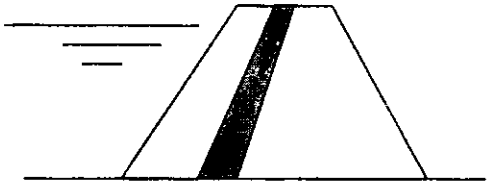
ข้อเสียของเขื่อนหินถมคล้ายคลึงกับเขื่อนดินถม คือ จะเกิดความเสียหายหรือพังทะลายเมื่อมีน้ำไหลข้ามตัวเขื่อน ในกรณีที่ทางระบายน้ำล้นมีขนาดใหญ่ไม่พอ ยกเว้นในกรณีที่เป็นเขื่อนทดน้ำและมีความสูงไม่มากนัก นอกจากนี้เขื่อนหินถมต้องการฐานรากที่มีความแข็งแรงไม่ทรุดตัว อันเป็นสาเหตุทำให้ผนังแตกร้าวและไม่สามารถเก็บกักน้ำไว้ได้ ดังนั้นฐานรากที่เหมาะสมสำหรับสร้างเขื่อนหินถม ก็คือฐานรากที่เห็นหิน และกรวดทรายอัดแน่น นิยมสร้างในบริเวณที่มีหินคุณภาพดีมากพอ ในบริเวณที่ไม่สามารถหาหินที่เหมาะสมมาสร้างเป็นเขื่อนดินถมหรือในบริเวณที่การก่อสร้างเขื่อนคอนกรีต มีราคาสูงเกินไป

7.5.1 ชนิดของเขื่อนหินถม

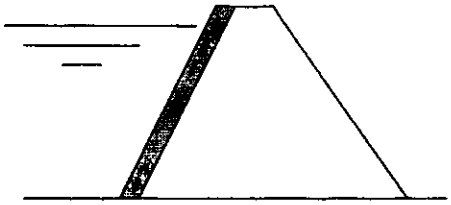
เขื่อนหินถมสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด ตามลักษณะของผนังหรือแกนกั้นน้ำ คือ 1) Central core 2) Sloping core 3) Diaphragm (ดังรูปที่ 7.3) แต่ละชนิดมีข้อดีและข้อเสียต่างกัน การเลือกใช้ขึ้นอยู่กับวัสดุที่หาได้และสภาพของฐานราก



(a) Central Core



(b) Sloping Core



(c) Diaphragm

รูปที่ 7.3 ชนิดของเขื่อนหินถม

Central core และ Sloping core เป็นเขื่อนหินถมที่มีแกนหรือผนังกั้นน้ำอยู่ในตัวเขื่อน วัสดุที่ใช้ทำแกนนิยมใช้เป็นแกนดินอัดแน่น Central core เป็นแกนดินที่สร้างไว้ตรงกลางเขื่อนและอยู่ในแนวดิ่งหรือตั้งตรง ส่วน Sloping core เป็นแกนดินที่สร้างเอียงตามลาดด้านเหนือน้ำ โดยทั่วไปถ้าสภาพภูมิประเทศ และฐานรากอำนวยให้จะนิยมสร้างเขื่อนที่มีแกนตั้งตรงมากกว่าแกนเอียง เนื่องจากสภาพทำการก่อสร้างได้ง่ายกว่า และใช้วัสดุน้อยกว่า อย่างไรก็ตาม แกนเอียง มีความเหมาะสมในกรณีที่แนวการอัดฉีดน้ำปูนซีเมนต์กับแนวศูนย์กลางเขื่อนไม่อยู่ในแนวเดียวกัน นอกจากนี้การออกแบบแกนเอียงยังมีส่วนเพิ่มแรงต้านทานการเคลื่อนตัวได้มากกว่า ข้อดีของการสร้างแกนเขื่อนภายในก็คือ พื้นที่ผิวของแกนสัมผัสกับน้ำน้อยกว่า และสามารถป้องกันอันตรายหรือผลกระทบจากสภาพอากาศภายนอกได้ดี ส่วนข้อเสียก็คือ ต้องทำการถมตัวเขื่อนไปพร้อมกับบดอัดแกนเขื่อน ทำการตรวจสอบแกนเขื่อนได้ยาก และมีแรงต้านการเคลื่อนตัวของเขื่อนน้อย

Diaphragm เป็นเขื่อนหินถมที่ไม่มีแกนทึบน้ำในตัวเขื่อน แต่จะสร้างเป็นแผ่นทึบน้ำ (membrane) บนลาดตลิ่งด้านเหนือน้ำแทน เพื่อปิดกั้นน้ำไม่ให้ไหลซึมผ่านตัวเขื่อน นิยมใช้ก่อสร้างในบริเวณที่ไม่สามารถหาดินที่มีคุณภาพดีมาทำแกนได้ เขื่อนชนิดนี้มีข้อดีหลายประการ คือ 1) มีความปลอดภัยต่อการเคลื่อนตัวของตัวเขื่อนมากกว่าเขื่อนชนิดมีแกน 2) สามารถทำการถมตัวเขื่อนไปพร้อมกับการอัดฉีดน้ำปูน 3) ทำการตรวจสอบและซ่อมแซมผนังกั้นได้ง่าย 4) แผ่นผนังกั้นน้ำสามารถทำการก่อสร้างภายหลังที่ถมตัวเขื่อนเสร็จเรียบร้อยแล้ว 5) ใช้เป็นผนังป้องกันการกัดเซาะตลิ่งด้านเหนือน้ำไปในตัว นอกจากนี้แล้วยังไม่มีปัญหาเสี่ยงกับ Uplift pressure และปัญหาการกัดเซาะเนื่องจากน้ำเมื่อเทียบกับเขื่อนดินถม ซึ่งจะต้องเสียค่าใช้จ่ายในการสร้าง filter เพื่อแก้ปัญหา piping

7.5.2 **ภูมิประเทศบริเวณที่ก่อสร้าง** (Site topography)

สภาพภูมิประเทศที่เหมาะสำหรับการก่อสร้างเขื่อนหินถมก็คือ บริเวณที่เป็นหุบเขาและพื้นที่ลาดตลิ่งค่อนข้างชัน ซึ่งจะหาดินที่มีคุณภาพดีได้ยาก ยิ่งถ้าเป็นบริเวณที่ชั้นหินอยู่ตื้นหรือใกล้ผิวดินด้วยแล้วจะทำให้สามารถก่อสร้างในราคาประหยัดยิ่งขึ้น บริเวณหุบเขาแคบเหมาะสำหรับการสร้างเขื่อนหินถมชนิดมีแกน เนื่องจากแรงดันในแกนจะมีผลกระทบโดยตรงต่อฐานรากในกรณีที่ตลิ่งมีความลาดชันสูงมาก อาจจะมีปัญหาเกี่ยวกับการทรุดตัวของตัวเขื่อน ในกรณีเช่นนี้ควรพิจารณาใช้เขื่อนคอนกรีตจะเหมาะสมกว่า

7.5.3 **สภาพธรณีวิทยาและฐานราก** (Geology and foundation condition)

สภาพธรณีวิทยาและฐานราก มีความสำคัญและมีอิทธิพลต่อการเลือกชนิดของเขื่อนสภาพทางธรณีวิทยาของ site อาจจะเป็นสาเหตุที่ทำให้ต้องเลื่อนแนวแกนเขื่อน และนั่นหมายถึงการเปลี่ยนชนิดของเขื่อนด้วย ฐานรากของเขื่อนหินถมจะต้องสามารถทนทานต่อการทรุดตัวและการสลายตัวฐานรากที่เป็นกรวดและทราย สามารถใช้สร้างเขื่อนหินถมได้ แต่ต้องมีการก่อสร้าง Cutoff ให้ลึกลงไปถึงชั้นหิน ในกรณีที่ฐานรากเป็นดินเหนียวไม่ควรสร้างเขื่อนหิน

การปรับปรุงฐานรากเพื่อให้สามารถใช้งาน ให้เหมาะสมสามารถทำได้หลายวิธีเช่น การสร้าง cutoff ลงไปถึงชั้นหิน การอัดฉีดน้ำปูนซีเมนต์ใต้ cutoff หรือแนวเขื่อนเพื่อป้องกันการรั่วซึมเป็นต้น อย่างไรก็ตามการปรับปรุงฐานจะต้องดีพอ โดยคำนึงถึง criteria ต่อไปนี้ คือ มีการรั่วซึมน้อยที่สุด ป้องกันการกัดเซาะท้ายเขื่อน จำกัดการทรุดตัวของเขื่อน และมีแรงต้านทานการเคลื่อนตัวของเขื่อนอย่างเพียงพอ

5.5.4 **อาคารระบายน้ำล้นและประตูระบาย** (Spillway and outlet works)

การเลือกชนิดของอาคารระบายน้ำล้น และประตูระบายสำหรับเขื่อนหินถม มีความสำคัญมาก เช่นเดียวกับเขื่อนดินถม ซึ่งมักจะมีราคาค่าก่อสร้างสูงเมื่อเทียบกับเขื่อนคอนกรีตโดยทั่วไปนิยมสร้างทางระบายน้ำล้นแบบรางเทคอนกรีต หรือชนิดอื่น ๆ ที่ใช้กับเขื่อนดินถม สามารถเลือกใช้กับเขื่อนหินถมได้ ทั้งนี้จะต้องคำนึงถึงปริมาณวัสดุที่ต้องขุดขึ้นจากบ่อสร้าง และสามารถนำไปใช้ประโยชน์อย่างอื่น ซึ่งจะมีผลต่อค่าใช้จ่าย และสภาพแวดล้อมด้วย

7.5.5 **สภาพภูมิอากาศ** (Climatic Condition)

เขื่อนหินทิ้งสามารถใช้ได้กับสภาพภูมิอากาศที่รุนแรง หนาวจัดและฝนตกชุกได้ดี การรวมตัวเขื่อนสามารถทำงานติดต่อกันได้แม้จะมีสภาพอากาศรุนแรง ในขณะที่การสร้างเขื่อนดินถมไม่สามารถกระทำได้ เขื่อนดินถมสามารถออกแบบใช้เป็นทางระบายน้ำทิ้งในขณะที่ทำการก่อสร้างโดยให้น้ำไหลผ่านข้ามตัวเขื่อนบางช่วงได้ โดยไม่ต้องสร้างอาคารผันน้ำเพิ่มเติม นอกจากนี้ในบริเวณที่ขาดน้ำในฤดูแล้ง สามารถทำการก่อสร้างได้ในขณะที่การสร้างเขื่อนดินจะมีปัญหามาก

7.6. เขื่อนคอนกรีต (Concrete Dams)

เขื่อนคอนกรีตสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด คือ Concrete arch dam, Concrete buttress dam และ Concrete gravity dam แต่ละชนิดได้ถูกออกแบบดัดแปลง ให้เหมาะสมกับสภาพของภูมิประเทศ รูปร่างของทางน้ำ และสภาพของฐานรากในบางครั้งสามารถออกแบบเป็นแบบผสมซึ่งมีทั้งสองชนิดในเขื่อนตัวเดียวกันได้

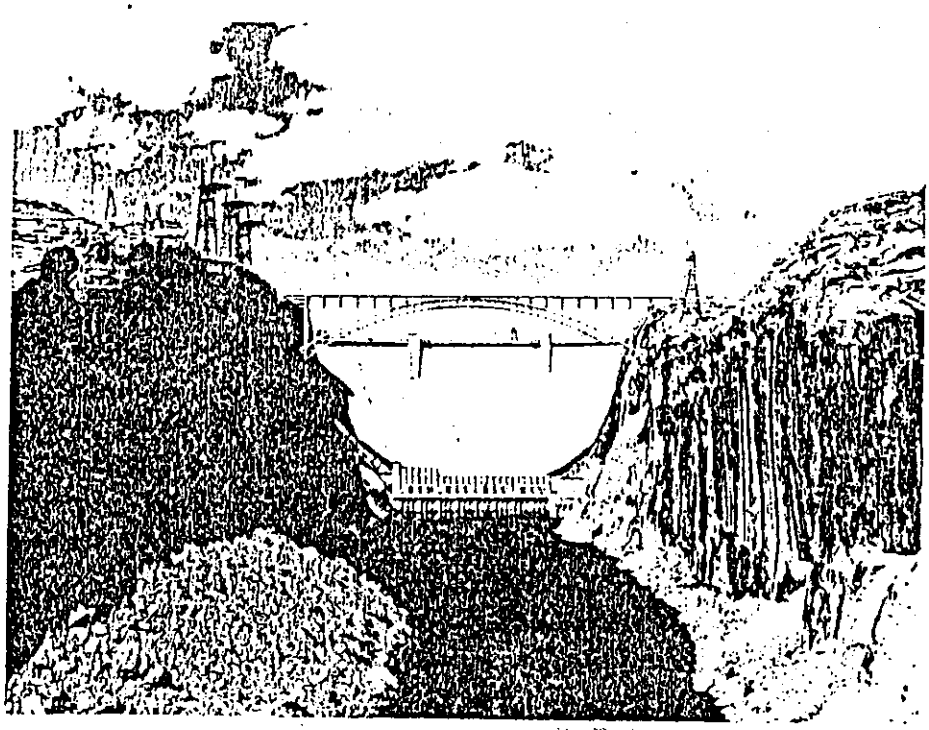
7.6.1 Concrete arch dam

มีลักษณะเป็นเขื่อนคอนกรีตโค้ง หลักการพิจารณาความเหมาะสมในเบื้องต้นจะพิจารณาอัตราส่วนของร่องน้ำ ความกว้างต่อความสูง (width-to-height ratio) อัตราส่วนที่ดีที่สุดสำหรับสร้างเขื่อนคอนกรีตโค้ง คือน้อย 3.00 สำหรับใช้ตัวเขื่อนคอนกรีตบาง (รูปที่ 7.4) อย่างไรก็ตาม เขื่อนคอนกรีตโค้ง สามารถออกแบบใช้กับช่องเขาที่กว้างกว่าซึ่งมีอัตราส่วนความกว้างต่อความสูงถึง 10:1

รูปที่ 7.4 เขื่อนคอนกรีตโค้ง(arch dam)ในช่องเขาแคบ V-shape

รูปร่างของหุบเขาเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการเลือกเขื่อนคอนกรีตโค้งที่มีผลต่อความหนาของตัวเขื่อนและความประหยัด ดังนั้นเมื่อแฟคเตอร์อย่างอื่นไม่สามารถชี้บ่งชัดได้ว่าควรเป็นเขื่อนคอนกรีตชนิดใด รูปร่างของหุบเขา (canyon shape) จึงเป็นปัจจัย สำคัญการเลือกเขื่อนคอนกรีตโค้ง หุบเขารูป V-Shape มีความเหมาะสมกว่า U-Shape เนื่องจาก เขื่อนคอนกรีตโค้งที่ออกแบบสำหรับหุบเขา V-Shape จะใช้ปริมาณคอนกรีตน้อยกว่า และการออกแบบ Stress distributions เป็นที่ยอมรับมากกว่า เพราะน้ำหนักที่กระทำบนส่วนล่างของตัวเขื่อนมากกว่า อย่างไรก็ตาม หุบเขารูป U-Shape ได้เช่นกันทั้งนี้ควรพิจารณาถึงปัจจัยอื่นประกอบด้วย (เขื่อนคอนกรีตโค้งสร้างในหุบเขา V-Shape และ U-Shape แสดงไว้ในรูป 7.4, 7.5)

สภาพบานรากสำหรับเขื่อนคอนกรีตโค้ง ควรเป็นหินที่แข็งแรง และทนทานตลอดอายุการใช้งานของตัวเขื่อน หินที่ผุกร่อนหรือถูกทำลายได้ง่าย เมื่อสัมผัสกับน้ำ บรรยากาศและความดัน ไม่เหมาะสมที่จะใช้เป็นฐานรากสำหรับเขื่อนคอนกรีตโค้ง อย่างไรก็ตาม ถ้าปรากฏว่ามีหินผุทับถมอยู่บนผิวหน้าบ้างอาจจะใช้ได้ ถ้าส่วนที่ผุและทับถมอยู่นั้นมีปริมาณไม่มากและหนาสม่ำเสมอ สามารถปรับปรุงแก้ไขได้โดยขุดลอกส่วนนี้ออกไปและนำเทคอนกรีตเข้าไปแทนที่ ในกรณีที่ฐานรากมีความแข็งหรือรับแรงได้ไม่ดี อาจทำการแก้ไขได้โดยออกแบบเพิ่มความหนาของคอนกรีตในส่วนที่สัมผัสกับหิน เพื่อเพิ่มขึ้นที่รับแรงกดขึ้น

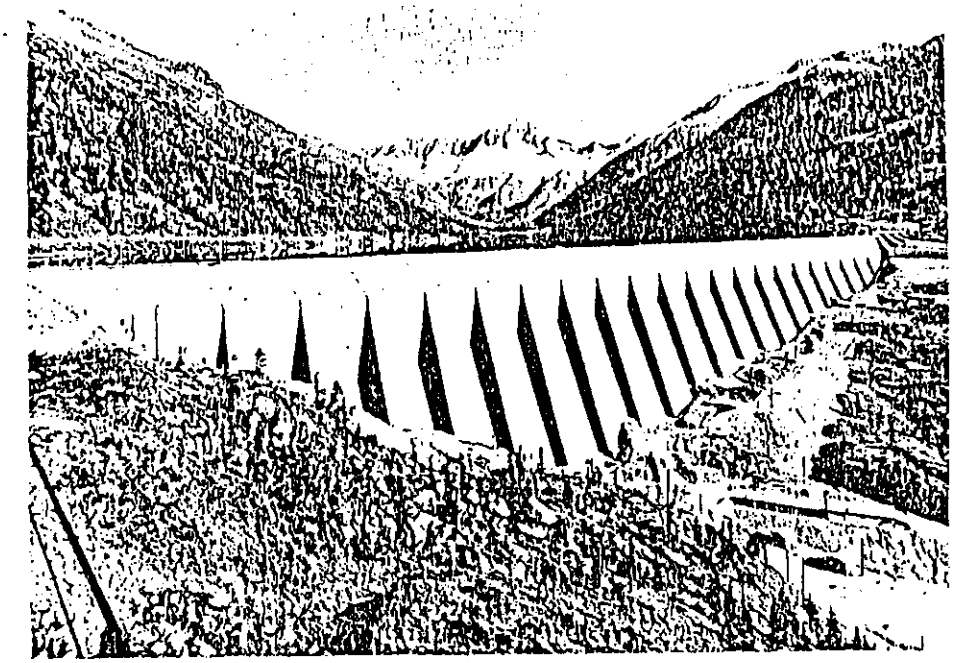


รูปที่ 7.5 เขื่อนคอนกรีตโค้งในหุบเขา U-shape

7.6.2 Concrete Buttress Dam

เป็นเขื่อนที่สร้างด้วยคอนกรีต มีลักษณะกำแพงบาง และมีครีบ (Buttress) ค้ำด้านหลัง (รูป 7.6) อาจสร้างเป็นแนวตรงหรือโค้งก็ได้ เหมาะสำหรับหุบเขาที่ค่อนข้างกว้างและมีลาดตลิ่งไม่ชันมาก ในสภาพเช่นนี้การต่อเชื่อมระหว่างหุบเขาและตัวเขื่อนจะกระทำได้ง่ายและถ้าไม่คิดถึงปัจจัยอื่น การสร้างเขื่อน Buttress Dam ในสภาพหุบเขากว้างนี้จะถูกกว่าการสร้างเขื่อนคอนกรีตล้วน (Solid Gravity Dam)

ฐานรากที่เหมาะสมโดยทั่วไปจะสร้างในบริเวณที่มีฐานรากเป็นหิน อย่างไรก็ตาม ถ้าตัวเขื่อนไม่สูงมากนัก สามารถสร้างบนฐานรากหินที่ไม่แข็งแรงมากนักหรือฐานรากเป็นดินถ้าใช้ Footing Slabs และสามารถรับน้ำอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด เมื่อเปรียบกับ Gravity Dam ใช้คอนกรีตปริมาณน้อยกว่า แต่เนื่องจากเป็นคอนกรีตบางจึงต้องมีการเสริมเหล็กและต้องใช้ไม้แบบซึ่งต้องใช้ค่าใช้จ่ายสูงขึ้น ข้อดีอีกประการหนึ่งก็คือ Buttress Dam จะไม่มีปัญหาเกี่ยวกับ Uplift Pressure ที่ฐานของตัวเขื่อน



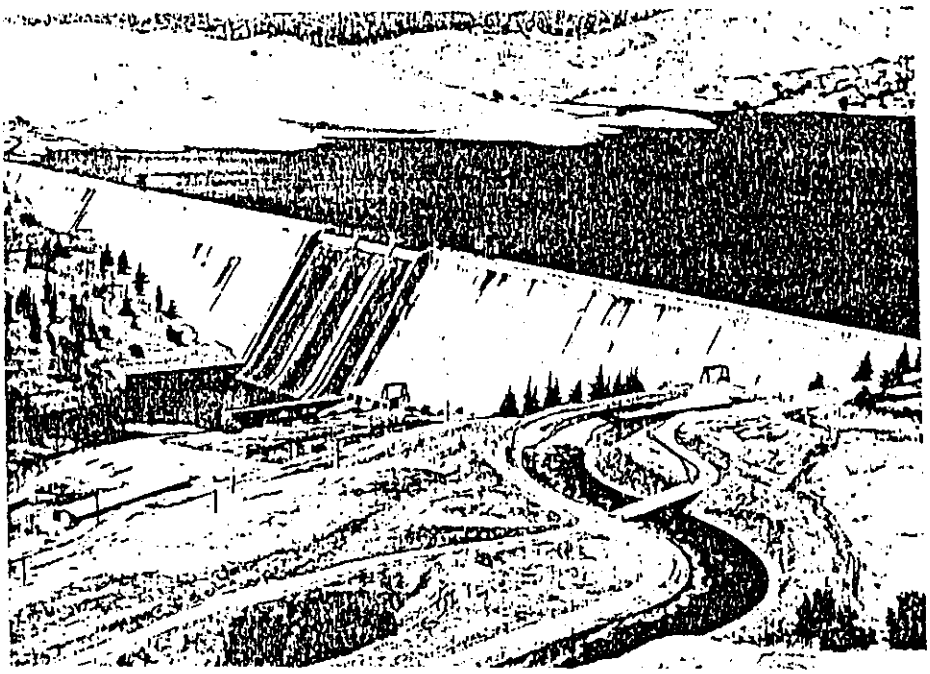
รูปที่ 7.6 เขื่อนคอนกรีตแบบ Slab and Butress (Stoney Gorge Dam)

7.6.3 Concrete Gravity Dam

เป็นเขื่อนที่สร้างด้วยคอนกรีตล้วน โดยอาศัยน้ำหนักของตัวเขื่อนเป็นตัวต้านแรงดันของน้ำทำให้เกิดความมั่นคง (Stability) สามารถสร้างได้ในสภาพหุบเขาเกือบทุกชนิดโดยเฉพาะหุบเขาที่ค่อนข้างกว้างและค่อนข้างราบ อัตราส่วน Width-to-height มากกว่า 6:1 สามารถสร้าง Gravity Dam ได้ถูกกว่า Buttress Dam

สภาพฐานรากทั่งไปสามารถสร้าง Concrete Gravity Dam ได้ ถ้าเป็นเขื่อนคอนกรีตต่ำมีความสูงไม่เกิน 50 ฟุต (15 เมตร) และมีความต่างกันของระดับด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำไม่เกิน 20 ฟุต อย่างไรก็ตาม ควรทดสอบสภาพความแน่นและความสามารถในการรับน้ำหนักของฐานก่อนในกรณีที่ต้องการสร้างเขื่อนสูงกว่า 50 ฟุต หรือระดับน้ำด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำมากกว่า 20 ฟุต ฐานรากควรเป็นหินทึบ และมีความทนทานต่อการผุกร่อน เนื่องจากการสัมผัสน้ำ บรรยากาศ และแรงดัน

ความแข็งแรงของฐานในด้านการรับน้ำหนัก (Bearing Capacity) และการต้านแรงเฉือน (Shearing Resistance) จะมีความสำคัญมากในการเลือกทำเลที่เหมาะสมโดยเฉพาะเขื่อนคอนกรีตสูง และสร้างในฐานรากที่เป็นกรวดและหินตะกอน ซึ่งอาจจะต้องมีการปรับปรุงฐานรากและค่าใช้จ่ายสูง จำเป็นต้องมีการทดสอบให้ละเอียดก่อน



รูปที่ 7.7 เขื่อนคอนกรีต Gravity Dam ในหุบเขากว้าง

7.7 อาคารระบายน้ำล้น (Spillway)

อาคารระบายน้ำล้นมีความจำเป็นต้องสร้างไว้สำหรับเขื่อนเก็บกักน้ำและเขื่อนกักน้ำเพื่อระบายน้ำส่วนเกินหรือน้ำที่ไหลมามากจนไม่มีที่สำหรับเก็บกักไว้ และไม่สามารถผันน้ำออกไปทางระบบผันน้ำอื่นได้ทัน โดยปกติน้ำส่วนเกินนี้จะถูกระบายออกทางสันเขื่อนหรืออุโมงค์ที่ได้สร้างไว้ ลงสู่ร่องน้ำธรรมชาติท้ายเขื่อน

อาคาระบายน้ำมีความสำคัญมากที่ไม่ควรมองข้ามไป เขื่อนหลายแห่งพังทะลายลงเนื่องจากการออกแบบอาคารระบายน้ำล้นมีขนาดเล็กเกินไป โดยเฉพาะเขื่อนดินถมและเขื่อนหินถมจะถูกน้ำพัดพาพังทะลายเมื่อมีน้ำไหลข้ามคันเขื่อน การออกแบบอาคารระบายน้ำล้นจะต้องถูกต้องทั้งด้านชลศาสตร์และโครงสร้าง และเลือกทำเลก่อสร้างที่เหมาะสม เพื่อที่เมื่อระบายน้ำออกไปแล้วจะไม่มีการกัดเซาะท้ายเขื่อน และช่องทางที่น้ำไหลผ่านไป ซึ่งจะต้องก่อสร้างอาคารสลายพลังงาน (Energy Dissipation) หรือหาวิธีป้องกันไว้ด้วย

การออกแบบขนาดของอาคารจำเป็นต้องทราบลักษณะการงานของอาคารอื่น ๆ ซึ่งสามารถทำหน้าที่ระบายน้ำออกไปได้เช่น ประตูระบายน้ำ เป็นต้น อาคารเหล่านี้สามารถทำการระบายน้ำส่วนหนึ่งได้ จะทำให้ขนาดของอาคารระบายน้ำล้นมีขนาดเล็กลง การเลือกขนาดที่การตัดสินใจโดยพิจารณาถึงองค์ประกอบต่าง ๆ เช่น อุทกวิทยา ชลศาสตร์ การออกแบบ ราคาและความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้น อาคารระบายน้ำล้นแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ Service Spillway และ Emergency Spillway ซึ่งจะทำหน้าที่แตกต่างกันดังต่อไปนี้ คือ

7.7.1 **Service Spillway** เป็นอาคาระบายน้ำล้นที่สร้างขึ้นเพื่อทำหน้าที่ควบคุมระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำให้อยู่ที่ระดับที่ต้องการถ้ามีปริมาณน้ำไหลมามากจนไม่สามารถจะเก็บกักไว้ได้อีก ต่อไป ปริมาณน้ำส่วนเกินจะถูกระบายทิ้งไปทางด้านท้ายน้ำ ขนาดของ Spillway จะต้องสัมพันธ์กับขนาดของ Inflow Design Flood ที่เลือกไว้ สามารถจะระบายน้ำได้ทัน และไม่เป็นอันตรายต่อตัวเขื่อนหรืออาคารอื่น ๆ เมื่อมี flood ขนาดเท่ากันหรือน้อยกว่า Flood ที่เลือกไว้

สภาพภูมิประเทศบริเวณที่ก่อสร้างจะมีอิทธิพลต่อการเลือกตำแหน่ง ชนิด และส่วนประกอบของ Spillway เช่น การสร้าง spillway ทางด้านใดด้านหนึ่งของตัวเขื่อนผ่านตลิ่งที่ลาดชันต้องพิจารณาถึงความแข็งแรงของฐานราก แนวร่องน้ำที่ต้องขุด การเทคอนกรีตและการสร้างอาคารอื่นประกอบเพื่อป้องกันการกัดเซาะเสียหาย เป็นต้น การเลือกตำแหน่งอาจจะกำหนดไว้รวมกับตัวเขื่อนหรือแยกออกเป็นอีกส่วนหนึ่งต่างหากก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับแบคทีเรียต่าง ๆ และด้านเศรษฐกิจเป็นสำคัญ

7.7.2 **Emergency Spillway** เป็นอาคารระบายน้ำฉุกเฉินที่สร้างขึ้นเพื่อเพิ่มความปลอดภัยให้กับตัวเขื่อน ในกรณีที่มี Flood มากกว่าที่ได้ออกแบบไว้สำหรับ Service Spillway และไม่สามารถระบายน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำได้ทัน ระดับสัน emergency Spillway จะอยู่ที่ระดับเก็บกักสูงสุดที่คันดิน หรืออาคารอื่นสามารถรองรับได้ เมื่อน้ำในอ่างน้ำเก็บน้ำมีระดับสูงถึงระดับนี้จะถูกระบายออกก่อนที่น้ำจะไหลข้ามคันเขื่อนอันจะทำให้ตัวเขื่อนพังทะลายได้ โดยปกติการออกแบบ Emergency Spillway มิได้ออกแบบไว้เพื่อระบายน้ำในสภาพปกติ ดังนั้นตลอดอายุการใช้งานของโครงการอาจจะไม่มีน้ำล้นออกเลยก็ได้ ตำแหน่งของ Emergency Spillway มักจะสร้างไว้คนละส่วนกับตัวเขื่อน ซึ่งอาจจะเป็นปลายด้านคันเขื่อนด้านใดด้านหนึ่งหรือช่องเขาแคบจุดใดจุดหนึ่งก็ได้

7.7.3 **ส่วนประกอบของอาคารระบายน้ำล้น** (Spillway Components)

อาคารระบายน้ำล้น ตั้งแต่ปากทางเข้าจนถึงช่วงปลายสุดที่ปล่อยน้ำลงสู่ลำน้ำเดิม แยกออกได้เป็น 3 ส่วนใหญ่ ๆ คือ

1. **อาคารควบคุมน้ำ** (Control Structure) เป็นส่วนที่มีความสำคัญมากที่สุด ทำหน้าที่ควบคุมปริมาณน้ำที่จะไหลออกจากอ่างเก็บน้ำไปสู่ลำน้ำ อาคารควบคุมน้ำจะต้องมีขนาดโตพอที่จะระบายน้ำออกได้ทันตามที่กำหนดไว้ ลักษณะอาคารอาจจะเป็นแบบมีบานควบคุมหรือไม่มีบานควบคุมก็ได้ ในกรณีที่มีลักษณะเป็นฝายไม่มีบานควบคุม ระดับของสันฝายจะกำหนดให้อยู่ระดับเก็บกักสูงสุด ส่วนรูปร่างของตัวฝายอาจเป็นแนวตรง โค้ง หรือ U-Shape ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับผู้ออกแบบและความเหมาะสมของภูมิประเทศและสภาพฐานราก ปริมาณที่ระบายออกจะมีความสัมพันธ์กับ Head และความยาวของสันฝาย หรือช่องระบายน้ำ ในกรณีที่เป็นอาคารระบายน้ำแบบน้ำไหลล้นข้าม และในกรณีที่ออกแบบเป็นท่อ (Culvert Spillway) หรือ Morning Glory ปริมาณที่ระบายออกจะผันแปรไปตามระดับน้ำ เมื่อมีระดับน้ำต่ำน้ำจะไหลข้ามปากทางเข้าแบบฝาย แต่เมื่อระดับน้ำสูงขึ้นและมีน้ำไหลเข้าเต็มท่อ การไหลของน้ำจะเป็นแบบไซฟอน และปริมาณน้ำที่ระบายจะขึ้นอยู่กับระดับต่างของผิวน้ำในอ่างเก็บน้ำและท้ายน้ำ

ลักษณะของสันฝายน้ำล้นข้ามอาจออกแบบเป็นฝายสันคม (Sharp Crested) ฝายสันโค้ง (Ogee Shape) หรือฝายสันกว้าง (Broad Crested) เช่นเดียวกันกับ Orifice อาจจะออกแบบเป็น Sharp edged, round edged หรือ Bellmouth Shape

2. **อาคารระบายน้ำ** (Drainage Channel)

เป็นส่วนที่รับน้ำจากอาคารควบคุมน้ำแล้วระบายน้ำลงสู่ทางน้ำธรรมชาติ หรือร่องระบายน้ำด้านท้ายน้ำ อาคารระบายน้ำนี้อาจเป็นผิวคอนกรีตด้านท้ายน้ำของเขื่อน เป็นร่องน้ำเปิดที่ขุดไปถมลาดของพื้นที่หรือเป็นท่อรับน้ำที่ฝังผ่านคันเขื่อน รูปตัดของอาคารระบายน้ำอาจจะเป็นรูปสี่

เหลี่ยม กลม คางหมู และรูปอื่น ๆ ได้ สิ่งสำคัญของอาคารส่วนนี้ก็คือจะต้องมีความแข็งแรงและทนทานต่อการกัดกร่อนของน้ำ เนื่องจากน้ำในช่วงนี้จะไหลด้วยความเร็วสูง

3. **อาคารท้ายน้ำ** (Terminal Structure)

เป็นส่วนสุดท้ายของอาคารระบายน้ำล้นที่น้ำจะไหลผ่านก่อนจะระบายลงสู่ลำน้ำเดิม บริเวณจะเป็นที่น้ำตกกระแทกและมีความเร็วสูง จำเป็นต้องลดความเร็วของกระแสน้ำก่อนเพื่อป้องกันการกัดเซาะ ดังนั้นตอนปลายของอาคารระบายจำเป็นต้องออกแบบเป็นอาคารสำหรับสลายพลังงาน (Energy Dissipater) ให้ความเร็วของน้ำลดลงถึงระดับหนึ่งที่จะไม่เกิดการกัดเซาะ

7.7.4 **รูปแบบของอาคารระบายน้ำ** (Spillway Type)

รูปแบบของอาคารระบายน้ำล้นมีหลายรูปแบบ มีความเหมาะสมแตกต่างกันออกไปตามสภาพภูมิประเทศ สภาพทางธรณีฐานราก และผลของการออกแบบทางชลศาสตร์ โดยทั่วไปจะแบ่งออกตามลักษณะของอาคารควบคุมน้ำลักษณะของรางน้ำและส่วนประกอบที่สำคัญดังนี้

1. **Free Overall Spillway** น้ำจะไหลข้ามสันฝายอย่างอิสระ และตกลงสู่ท้ายน้ำในแปลงในแนวตรง อาคารชนิดนี้เหมาะสำหรับเขื่อนคอนกรีตซึ่งมีระดับสันฝายไม่สูงกว่าระดับน้ำด้านท้ายมากนัก และมีการป้องกันทางด้านท้ายน้ำเป็นอย่างดี อาคารชนิดนี้ไม่เหมาะกับระดับน้ำที่สูงเกินกว่า 20 ฟุต และมีฐานรากด้านท้ายน้ำไม่แข็งแรง เพราะมีแรงตกกระแทกของน้ำค่อนข้างแรง

2. **Ogee Spillway** มีตัวอาคารควบคุมน้ำหรือสันฝายเป็นรูป S-Shaped ผิวโค้งของตัวฝายด้านท้ายน้ำมีความโค้งแนบพอดีรูปผิวน้ำด้านล่างที่น้ำไหลข้าม โครงอาคารทั้งหมดจะออกแบบติดต่อเป็นคันเดียวกัน

3. **Side Channel Spillway** มีลักษณะเป็นฝายควบคุมน้ำที่วางขนานไปตามแนวอาคารระบายน้ำ น้ำที่ไหลข้ามสันฝายจะตกลงสู่ร่องระบายน้ำลงสู่ลำน้ำเดิม รางรับน้ำอาจจะออกแบบเป็นรางเปิดตลอดแนว หรือท่อ หรืออุโมงค์ลาดเอียงตามสภาพภูมิประเทศ ทางน้ำล้นหรือตัวฝายสามารถออกแบบให้น้ำไหลล้นเข้าทางด้านใดด้านหนึ่งหรือทั้งสองด้านก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพภูมิประเทศที่ก่อสร้างจะอำนวยให้

4.**Chute Spillway** มีลักษณะเป็นรางชักน้ำจากอ่างเก็บน้ำลงสู่ลำน้ำเดิม โดยทางน้ำเปิด รางน้ำอาจวาง..... ตามตลิ่งด้านใดด้านหนึ่งของตัวเขื่อน ตัวอาคารควบคุมน้ำปากทางเข้าสามารถออกแบบเป็นฝาย Orifice หรือ มีอาคารควบคุมได้ตามต้องการ อาคารระบายน้ำล้นชนิดสามารถออกแบบใช้ได้ดีกับเขื่อนดินถมและเขื่อนหินถม และทุกสภาพของฐานราก ปัญหาสำคัญอยู่ที่การออกแบบและก่อสร้างตัวอาคาร

5. **Drop Inlet Spillway หรือ Morning Glory** มีลักษณะเป็นท่อลอดฝังใต้ตัวเขื่อน ทางรับน้ำด้านเหนือน้ำจะออกแบบเป็นฝายรูปปากแตร มีระดับเท่ากับระดับเก็บกักท่อรับน้ำด้านเหนือน้ำจะงอลงในแนวดิ่ง แล้วงอเป็นแนวราบในช่องต่อไป ฝังลอดใต้ตัวเขื่อนลงสู่ลำน้ำเดิมด้านท้ายน้ำ การทำงานของอาคารนี้แบ่งออกเป็น 2 ช่วง เมื่อน้ำที่ระบายมีน้อยน้ำไหลไม่เต็มท่อ การทำงานจะเป็นเหมือนกับ free Overall Spillway เมื่อน้ำในอ่างเก็บน้ำมีระดับสูงขึ้นและปริมาณน้ำที่ต้องระบายมีมากและมีน้ำไหลเต็มท่อ การทำงานจะมีลักษณะเป็นไซฟอนซึ่งสามารถระบายน้ำได้ในปริมาณสูง

6. **Siphon Spillway** มีลักษณะเป็นท่อปิดวางเป็นรูป U คว่ำ ระดับภายในท่อส่วนล่างจะวางไว้ที่ระดับน้ำเก็บกัก เมื่อระดับน้ำเก็บกักในอ่างเก็บน้ำขึ้นสูงถึงระดับน้ำจะไหลเข้าท่อในลักษณะ Freeflow ขณะที่น้ำไหลผ่านท่อไปสู่อ่างด้านท้ายจะเกิด Siphonic Action อากาศภายในท่อจะถูกดูดออก เกิดสูญญากาศในท่อ น้ำจะไหลเข้าท่อเต็มเกิดเป็นกาลักน้ำ หรือไซฟอน ปริมาณน้ำที่ระบายออกขึ้นอยู่กับระดับต่างของผิวน้ำด้านเหนือและท้ายน้ำ เมื่อระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำลดลงถึงระดับเก็บกัก อากาศจะไหลเข้าทางช่อง Air Inlet ที่วางไว้ระดับเก็บกัก ทำให้ Siphonic Action หยุดลง การทำงานของท่อระบายน้ำจะหยุดลงโดยอัตโนมัติ

บทที่ 8
การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

1. คำนำ

แม้ความต้องการสำคัญพื้นฐานของมนุษย์คือ อาหารและที่พักอาศัยก็ตาม แต่เมื่อเขาเหล่านั้นได้สิ่งที่ต้องการแล้วจะเริ่มมองหาสิ่งที่ต้องการในระดับสูงไปเกี่ยวกับความสวยงามของธรรมชาติความมีสุขภาพที่ดี ปลอดภัยจากมลภาวะต่าง ๆ และมีความห่วงใยต้องการจะเก็บรักษาไว้สืบต่อไป ดังนั้นในประเทศที่พัฒนาแล้วจึงเน้นเรื่องการอนุรักษ์และสงวนทรัพยากรธรรมชาติไว้เป็นสำคัญ แม้ในประเทศที่กำลังพัฒนาซึ่งมีความต้องการปัจจัยขั้นพื้นฐาน คือ อาหาร และที่พักอาศัยเป็นอันดับแรกก็ตาม แต่ก็เริ่มให้ความสนใจและห่วงใยในทรัพยากรและสิ่งแวดล้อมที่กำลังจะแปรเปลี่ยนไปมากขึ้น โครงการชลประทานหรือโครงการพัฒนาแหล่งน้ำต่าง ๆ เป็นโครงการที่พยายามเอาทรัพยากรธรรมชาติมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด แต่ขณะเดียวกันการเก็บกักน้ำและการผันน้ำเป็นการเปลี่ยนแปลงธรรมชาติที่มีอยู่ ซึ่งอาจมีผลกระทบทางด้านความเสียหายได้ ดังนั้นในการวางแผนโครงการจึงจำเป็นต้องศึกษาและประเมินผลประโยชน์และผลกระทบที่จะเกิดขึ้นไปพร้อม ๆ กัน เพื่อเปรียบเทียบกันระหว่างแผนเผื่อเลือกต่าง ๆ ขนาดของผลกระทบที่ยอมได้จะต้องอยู่บนพื้นฐานความต้องการของประชากร หรือกฎหมายที่รัฐได้กำหนดไว้

8.2. ปัญหาสิ่งแวดล้อมและความต้องการ

ในการวางรูปแบบของโครงการเพื่อป้องกันและรักษาสภาพสิ่งแวดล้อมไว้ตามความต้องการนั้น จำเป็นต้องจำแนกชนิดและปริมาณของสภาพสิ่งแวดล้อมตามที่ต้องการไว้ก่อนซึ่งพอสรุปได้ถึงปัญหาและความต้องการดังต่อไปนี้

1. การจัดหาและความอยากได้มาซึ่งพื้นที่ว่างและแหล่งน้ำ เพื่อทำเป็นที่พักผ่อนหย่อนใจในเมือง

2. การอนุรักษ์และคงไว้ซึ่งสภาพธรรมชาติของแม่น้ำ ทิวทัศน์ และป่าไม้ เพื่อสาธารณะประโยชน์ และการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ และสัตว์ป่า

3. ปกป้องทะเลสาปธรรมชาติ พร้อมจัดหาและจัดการอ่างเก็บน้ำเพื่อผลผลิตด้านชีววิทยาในเผ่าพันธุ์ที่ต้องการ

4. อนุรักษ์และคงไว้ซึ่งสภาพของปากแม่น้ำ และแหล่งน้ำเพื่อการเพาะเลี้ยงพืชและสัตว์น้ำ

5. อนุรักษ์ความสวยงามทางธรรมชาติที่สวยงามเช่น น้ำตก หุบเขา และทิวทัศน์ไว้เพื่อคนรุ่นหลังได้ชื่นชม

6. ทำการอนุรักษ์แหล่งศิลปวัฒนธรรมเช่น สถานที่ทางโบราณคดี สถานที่ทางประวัติศาสตร์ ซึ่งอาจจะเป็นอันตรายจากการใช้แหล่งน้ำและพื้นที่

7. เก็บรักษาและสงวนพื้นที่ ซึ่งแสดงและเน้นตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงทางธรณีวิทยา

8. รักษาสภาพที่อยู่อาศัยของพืชและสัตว์ที่เหมาะสมไม่ให้มีการสูญพันธุ์ เพื่อเก็บไว้ดู ศึกษา และหาผลประโยชน์ต่อไป

9. จัดการและควบคุมคุณภาพของน้ำไม่ให้ต่ำกว่ามาตรฐาน สำหรับใช้งานในด้านต่าง ๆ ทั้งในปัจจุบันและอนาคต

10. รักษาคุณภาพของพื้นที่ดินให้สามารถใช้เพาะปลูก หรือใช้ประโยชน์อย่างมีประสิทธิภาพ ไม่ให้มีการเสื่อมโทรมลงไป

ที่กล่าวมาข้างต้นเป็นส่วนหนึ่งของปัญหาและความต้องการเกี่ยวกับสภาพสิ่งแวดล้อมและเมื่อได้ทราบถึงปัญหาและขนาดของความต้องการแล้วควรนำไปพิจารณารวมกับทางด้านเศรษฐกิจและความต้องการของสังคม แล้วจึงทำการวางแผนโครงการให้เหมาะสมตามระดับความต้องการ โดยพิจารณารวมไปถึงขอบเขตการวางโครงการรวมทั้งหมดด้วย

การจำแนกปัญหาและความต้องการของสิ่งแวดล้อมสามารถทำได้ไม่ยาก แต่ที่ยากก็คือการหาปริมาณเช่น เราทราบว่ามีความต้องการสภาพป่าและธรรมชาติของลำน้ำ แต่เราจะทราบได้อย่างว่าปริมาณความต้องการนั้นมีปริมาณเท่าใด และจะประเมินหรือหาน้ำหนักของปัญหาและความต้องการนั้นอย่างไรเพื่อนำมาใช้ประกอบการวางโครงการ สิ่งที่จะชี้บอกให้ทราบได้ก็คือความต้องการอะไรมากกว่ากันในแต่ละท้องถิ่นเช่น บางประเภทอาหารและความเป็นอยู่ของประชาชนมีความสำคัญมากกว่าความต้องการสิ่งแวดล้อมที่สวยงาม การประเมินผลจะให้น้ำทางด้านอาหารและความเป็นอยู่มากกว่าการรักษาสภาพสิ่งแวดล้อม ในทางตรงกันข้ามถ้าหากสภาพสิ่งแวดล้อมมีความสำคัญเท่าเทียมหรือเกี่ยวข้องกับสภาพเศรษฐกิจของชาติ การประเมินจะให้น้ำหนักเท่ากันในการวางแผนโครงการ เป็นต้น

8.3. การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ในการจำแนกและวางรูปแบบของแผนโครงการเพื่อให้เหมาะสมกับปัญหาและความต้องการสภาพสิ่งแวดล้อมขึ้นอยู่กับการกำหนดแผนงาน โดยทั่วไปในขั้นตอนการวางรูปแบบโครงการที่เหมาะสมนั้นควรจะทำการประเมินผลแระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่จะเกิดขึ้นของแผนเผื่อเลือกไว้ทั้งหมด ซึ่งในขบวนการวางโครงการนั้นผลจากการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมนี้ ใช้เป็นพื้นฐานในการปฏิเสธหรือยอมรับโครงการของแผนเผื่อเลือกได้ก่อนจะทำการพิจารณาและวิเคราะห์โครงการในขั้นต่อไป

เพื่อความสะดวกในการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ควรพิจารณาในรูปขององค์ประกอบ และส่วนประกอบที่สำคัญของสิ่งแวดล้อม ซึ่งแยกออกได้ 4 กลุ่มด้วยกันคือ องค์ประกอบด้านนิเวศน์วิทยา (Ecological Component) องค์ประกอบด้านกายภาพ (Physical Component) องค์ประกอบด้านวัฒนธรรม (Cultural Component) และองค์ประกอบด้านสถานที่พักผ่อนหย่อนใจ (recreational Component) ทั้ง 4 กลุ่มที่ได้กล่าวมานี้เป็นการจำแนกโดย U.S. Water Resource Council แม้จะเป็นการจำแนกกลุ่มเพื่อความเหมาะสมในประเทศสหรัฐอเมริกา แต่ก็สามารถใช้เป็นแนวทางในการประเมินเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมได้ทั่วไป

8.3.1 Ecological component

องค์ประกอบนี้รวมไปถึงคุณภาพของสิ่งแวดล้อมที่มีความสำคัญในการวางแผนพัฒนาแหล่งน้ำและพื้นที่ดินซึ่งเกี่ยวกับผลด้านนิเวศน์วิทยา ปกติคุณค่าทางนิเวศน์วิทยาจะระบุไว้ในกฎหมายของรัฐ แต่สามารถจะกำหนดขึ้นโดยผู้มีอำนาจในการตัดสินใจตั้งแต่เริ่มต้นหรือในขั้นตอนของการศึกษาโครงการ องค์ประกอบของนิเวศน์วิทยาแบ่งออกเป็น 4 ส่วน คือ

1. **แหล่งชีววิทยา** (Biological Resource) ซึ่งได้แก่ แหล่งที่เป็นที่อยู่อาศัยและดำรงชีวิตของสัตว์และพืช เผ่าพันธุ์ที่ต้องอนุรักษ์ขึ้นอยู่กับกฎหมายที่ระบุไว้ การประเมินผลกระทบจะทำการศึกษาในแต่ละกลุ่มซึ่งมีผลกระทบจากโครงการต่อวงจรและการดำรงชีวิตมากน้อยเพียงใด

2. **ระบบนิเวศน์วิทยา** (Ecological Systems) ได้แก่สภาพสิ่งแวดล้อมที่อยู่รอบๆ ตัวที่เกี่ยวข้องกับองค์กรมนุษย์และความสวยงาม เช่น สภาพลุ่มน้ำ หนองบึง ที่ลุ่ม เกาะแก่งและลำน้ำสายต่าง ๆ ที่แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของระบบนิเวศน์วิทยา เมื่อสภาพธรรมชาติเหล่านั้นถูกทำลายลงทั้งขนาดและคุณภาพ จะต้องมีการตอบโต้และป้องกันผลกระทบโดยสมาคม

3. **พื้นที่ปากแม่น้ำและที่ลุ่ม** (Esturine and Wetland Area) คือ พื้นที่ปากแม่น้ำซึ่งเป็นรอยต่อระหว่างน้ำจืดและน้ำเค็ม และที่ลุ่มในพื้นที่ดินจุดต่าง ๆ ที่เป็นที่อยู่อาศัยของสัตว์และพืชชั้นต่ำทั่วไป

4. **พื้นที่ป่าและสภาพธรรมชาติ** (Wilderness and Natural Areas) ได้แก่พื้นที่ธรรมชาติ ป่าไม้ ภูเขา น้ำตกและอื่น ๆ ที่รัฐจะต้องเก็บรักษาและสงวนไว้ เพื่อความสมดุลย์ของธรรมชาติ

8.3.2 Physical Component

องค์ประกอบด้านกายภาพรวมถึง คุณภาพของสิ่งแวดล้อมต่างๆ เช่น น้ำ อากาศ พื้นที่ดิน เสียง ความสวยงามตามธรรมชาติ และสภาพทางธรณีวิทยา

คุณภาพของน้ำ หมายถึง คุณสมบัติด้านเคมี กายภาพ และสิ่งมีชีวิตที่ปะปนอยู่ในน้ำ ทั้งน้ำจืด น้ำกร่อย และน้ำเค็ม ซึ่งจะทำการวัดได้ในรูปของความเหมาะสม สำหรับการใช้งานแต่ละประเภท

คุณภาพอากาศ หมายถึง มลภาวะด้านกายภาพและเคมีของอากาศซึ่งมีผลกระทบต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิต

คุณภาพพื้นที่ดิน หมายถึง คุณสมบัติด้าน เคมี กายภาพ และจุลินทรีย์ในดินที่เกี่ยวข้องกับความเหมาะสมของพื้นที่ เพื่อการเพาะปลูกและที่พักอาศัย

คุณภาพที่มองเห็นได้ (Visual Quality) ได้แก่ ส่วนที่ตกแต่งโดยธรรมชาติ มีความสวยงาม รื่นรมย์ เป็นที่ประทับใจของมนุษย์ ผลกระทบที่เกิดขึ้นโดยการทำลาย รบกวนและบุกเข้าไปจะมีผลด้านจิตใจ

แหล่งธรณีวิทยาซึ่งเป็นแหล่งแร่ หรือแหล่งแสดงการพัฒนาของธรณีวิทยาที่น่าสนใจและใช้เป็นที่ศึกษาหาความรู้

8.3.3 Cultural Component

ได้แก่ส่วนประกอบที่เกี่ยวกับโครงสร้างของมวลมนุษย์ สถานที่ โบราณวัตถุ สถาปัตยกรรม และวัฒนธรรมต่าง ๆ อาจจะแยกออกได้เป็น 2 ส่วน คือ แหล่งทางโบราณคดี ได้แก่ วัตถุที่แสดงให้เห็น การดำรงชีวิต อาชีพ โครงร่างของมนุษย์ เผ่าพันธุ์ต่าง ๆ ในอดีตและแหล่งทางประวัติศาสตร์ ได้แก่ แหล่งแสดงกำเนิดของประเทศชาติ เมืองเก่า การพัฒนาของรัฐและสังคมที่มีความสำคัญในการศึกษาทางประวัติศาสตร์

8.3.4 **Recreation Component**

ได้แก่ส่วนประกอบที่ครอบคลุมไปถึงแหล่งน้ำ ลำน้ำ ทะเลสาป ชายหาด ทิวทัศน์ที่สวยงามตามธรรมชาติ และพื้นที่สีเขียวที่ใช้เป็นสถานที่พักผ่อนหย่อนใจและความเพลิดเพลิน รวมทั้งพื้นที่ที่รัฐเข้าไปดำเนินการและคุ้มครอง เพื่ออนุรักษ์ไว้เป็นสถานที่ท่องเที่ยวและพักผ่อนหย่อนใจ เช่น น้ำตก ถ้ำ และป่าไม้ เป็นต้น

8.4. บรรทัดฐานการประเมิน

การประเมินผลประโยชน์และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของโครงการตามองค์ประกอบและส่วนประกอบที่กล่าวมา สามารถทำการวัดโดยใช้แนวความคิด เช่น ปริมาณ คุณภาพ และความไม่สามารถเอากลับคืนมาได้ ซึ่งแยกอธิบายได้ดังนี้

ปริมาณ (Quantity) ภายในขอบเขตการปฏิบัติงานของโครงการ ควรทำการประเมินแหล่งทรัพยากรเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมในแต่ละองค์ประกอบและแสดงผลในรูปของขีดจำกัด จำนวน ปริมาณ และสถานที่ที่ยอมรับได้และรวบรวมมาพิจารณา ซึ่งไม่จำเป็นต้องคิดออกมาเป็นมูลค่าทางการเงิน

คุณภาพ (Quality) เพื่อการแสดงผลที่ถูกต้อง การตัดสินคุณภาพของแหล่งทรัพยากรจะต้องทำการประเมินและพิจารณาในแต่ละขั้นตอนที่กล่าวมา ในกรณีที่มีการกำหนดมาตรฐานไว้แล้วเช่น มาตรฐานคุณภาพน้ำเพื่อใช้ในกิจการต่าง ๆ และมลภาวะของอากาศ เป็นต้น ควรรวบรวมข้อมูลต่าง ๆ เหล่านี้มาเพื่อใช้ประกอบการพิจารณา การประเมินผลควรพิจารณาถึงแฟคเตอร์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องและทำให้คุณภาพเสื่อมลงถึงระดับต่าง ๆ ซึ่งจะมีผลต่อผู้บริโภคในปัจจุบัน และผู้ที่มีแนวโน้มจะใช้ทรัพยากรนั้น ปริมาณที่สามารถเอาไปใช้ได้และเมื่อใช้แล้วจะทำให้คุณภาพต่ำลงมากน้อยเพียงใด การแสดงผลควรอธิบายในเชิงเปรียบเทียบตามสภาพที่เกิดขึ้นจากโครงการ และสภาพที่เกิดขึ้นในสถานที่อื่น วิธีการและเทคนิคในการวิเคราะห์ควรให้ผลถูกต้องใช้การได้ และเชื่อถือได้ เพื่อให้สามารถวัดความแตกต่างกัน ระหว่างโครงการเผื่อเลือกที่ต้องการ และผลต่างที่จะเกิดขึ้นเมื่อไม่มีโครงการในอนาคต

ความไม่สามารถเอากลับคืนมาได้ (Irreversibility) ทรัพยากรบางอย่างอาจจะสูญไปและไม่สามารถนำกลับมาใช้ได้อีก หลังจากตัดสินใจดำเนินโครงการแล้ว เช่น ในกรณีสร้างอ่างเก็บน้ำบริเวณเหมืองแร่ หลังเก็บกักน้ำแล้วจะไม่สามารถขุดแร่เหล่านั้นขึ้นมาใช้ได้อีก เป็นต้น การประเมินผลกระทบในกรณีนี้พิจารณาถึงปริมาณและผลประโยชน์ที่จะได้รับจากแหล่งทรัพยากรนั้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณและความต้องการในแต่ละชนิดของทรัพยากร ทรัพยากรบางอย่างสามารถ

เคลื่อนย้ายได้ อาคารทางประวัติศาสตร์ อาจจะพิจารณาเคลื่อนย้ายไปตั้งที่ใหม่ได้โดยไม่เกิดความเสียหายและมีผลกระทบมากนัก

8.5 ผลประโยชน์และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่สำคัญก็คือ ส่วนที่ผลเกี่ยวข้องกับความเป็นอยู่ของสิ่งมีชีวิตซึ่งจะส่งผลมาถึงมนุษย์ ไม่ว่าผลกระทบนั้นมีมากน้อยระดับใดก็ตาม อย่างไรก็ดี ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่สำคัญมีความสัมพันธ์กันกับความต้องการของสังคมมนุษย์ ดังนั้นเพื่อความเหมาะสมควรพิจารณาความต้องการทางสังคมไปพร้อมกับผลกระทบที่เกิดขึ้น และแยกออกจากกันเพื่อบันทึกผลที่เกิดขึ้นในแต่ละสถานที่

โครงการชลประทานที่สร้างขึ้นอาจพิจารณาผลกระทบด้านผลประโยชน์ต่อสังคมหลายประการเช่น มีการปรับปรุงพื้นที่โดยมีระบบชลประทาน ป้องกันน้ำท่วม มีน้ำใช้เพื่อการอุปโภค-บริโภค ผลิตกระแสไฟฟ้าพลังน้ำ ปรับปรุงคุณภาพน้ำเป็นแหล่งเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ และเป็นสถานที่พักผ่อนหย่อนใจ สิ่งเหล่านี้บางส่วนอาจจะวัดในรูปของเศรษฐกิจได้

ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมส่วนใหญ่จะเกิดจากการก่อสร้างตัวเขื่อนและอ่างเก็บน้ำ ซึ่งจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับสภาพของสิ่งแวดล้อมก่อนดำเนินโครงการ ผลกระทบที่อาจจะเกิดขึ้นได้มีดังนี้

1. พื้นที่น้ำท่วมในอ่างเก็บน้ำ
    - -สูญเสียที่อยู่อาศัยของปลาและสัตว์น้ำ
    - -สูญเสียที่อยู่อาศัยของสัตว์ป่า
    - -สูญเสียแหล่งแร่
    - -สูญเสียพื้นที่บริเวณหุบเขา
    - -น้ำท่วมสถานที่ทางประวัติศาสตร์และวัตถุโบราณ
    - -น้ำท่วมแหล่งก่อตัวทางธรณีวิทยา
2. การเปลี่ยนแปลงกระแสน้ำท้ายเขื่อน
    - -ลดที่อยู่อาศัยของปลาและสัตว์น้ำ
    - -ลดปริมาณน้ำไหลท้ายเขื่อน
    - -เปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำ
    - -สูญเสียพื้นที่พักผ่อนหย่อนใจ

-สูญเสียความสวยงามพื้นที่ท้ายน้ำ

-ลดที่อยู่อาศัยของสัตว์ชายฝั่ง

3. กีดขวางการอพยพย้ายถิ่นฐานของปลาและสัตว์ป่า

-ขัดขวางการเดินทางเพื่อวางไข่ของปลา

-ขัดขวางการเดินทางย้ายที่อยู่ของสัตว์ป่า

4. ผลกระทบต่อภูมิประเทศ

-ไม่สามารถมองเห็นทิวทัศน์ใต้ผิวน้ำได้

-มีสิ่งก่อสร้างเกิดขึ้นมากมาย

-ร่องรอยของการขุดดินและการพังทะลายจากการก่อสร้าง

-เกิดความเสียหายจากการเคลียพื้นที่อ่างเก็บน้ำ

-สภาพของป่าเปลี่ยนอาจมีผลกระทบปริมาณน้ำด้านท้าย

ผลกระทบทั้งหมดที่กล่าวนี้บางอย่างสามารถหลีกเลี่ยงได้ แต่บางอย่างไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ ซึ่งก็อาจจะมีวิธีลดผลกระทบลงได้ถ้าได้มีการศึกษาและหาวิธีที่เหมาะสม

8.6. วิธีการประเมินผล

ปัญหาสำคัญที่เกี่ยวข้องกับการประเมินผลประโยชน์และผลกระทบของสิ่งแวดล้อมก็คือ ไม่สามารถประเมินหรือวัดค่าออกมาในรูปของเศรษฐกิจและตัวเงินได้ สภาพของสิ่งแวดล้อมจะมีความสำคัญระดับใดจากช่วงน้อยสุดไปจนถึงมากสุดเพียงใด ขึ้นอยู่กับสถานะการณ์เฉพาะแต่ละแห่ง และทัศนคติของผู้ที่ได้รับผลกระทบหรือประชาชนส่วนรวม ได้มีผู้เปรียบสภาพสิ่งแวดล้อมไว้เหมือนกับความสวยงาม ซึ่งจะมีความสำคัญมากน้อยเพียงใด ขึ้นอยู่กับทัศนคติและสายตาของผู้ที่มองเห็น ดังนั้นผู้ที่มีหน้าที่ประเมินและตัดสินเกี่ยวกับสภาพของสิ่งแวดล้อมจึงต้องยอมรับสภาพความจริงที่ความคิดและการตัดสินของเรานั้นไม่ถูกใจ และเป็นที่ยอมรับของผู้อื่นก็ได้

โดยปกติแล้วการประเมินผลประโยชน์และผลกระทบของสิ่งแวดล้อมจะไม่ประเมินออกมาในรูปของเศรษฐกิจและตัวเงิน แต่ก็มีข้อยกเว้นบางกรณีเช่น ในกรณีที่มีมลพิษในน้ำและในอากาศรุนแรงเกินระดับที่กำหนด ซึ่งจะเป็นอันตรายต่อผลผลิตการเกษตร การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ต่อมนุษย์และสิ่งมีชีวิต อาจจะประเมินผลกระทบออกมาในรูปตัวเงินและเศรษฐกิจที่ต้องสูญเสียไปเนื่องจากผลผลิตต่ำลง และค่าใช้จ่ายปรับปรุงคุณภาพของน้ำและอากาศให้ดีขึ้น อยู่ในระดับที่ปลอดภัยเป็นต้น

ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมาได้มีผู้คิดค้นและพัฒนาระบบการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมขึ้นมาใช้ โดยพยายามค้นหา Parameter ที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพของสิ่งแวดล้อมเข้ามาพิจารณา อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันนี้ยังไม่มีวิธีใดเป็นที่ยอมรับกันเป็นสากล เพราะแต่ละวิธีเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมแต่ละแห่งที่แตกต่างกัน และวิธีการส่วนใหญ่ใช้เทคนิคการประเมินโดยการจัดระดับ (Scaling) หรือให้น้ำหนักเป็นระดับคะแนน โดยกำหนดปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง และพยายามจัดกลุ่มของปัจจัยต่าง ๆ เหล่านั้นให้เป็นระบบ เพื่อความสะดวกในการประเมิน ประเด็นสำคัญของผู้ทำการประเมินก็คือ จะต้องเลือกวิธีที่เหมาะสมที่สามารถช่วยแยกแยะและเปรียบเทียบส่วนสำคัญออกมาให้ชัดเจนเหมาะสมกับโครงการที่พิจารณาอยู่

ตัวอย่างที่แสดงท้ายนี้เป็นวิธีการประเมินสภาพสิ่งแวดล้อมแบบต่าง ๆ ที่หน่วยงานต่าง ๆ ที่ได้กำหนดขึ้นไว้

1. **Water Resource council**

ตารางการประเมินนี้มีชื่อว่า "Water Resource Council Proposed Classification of Environmental Categories" รายการนี้ประเมินแบ่งออกเป็น 6 กลุ่มใหญ่ ๆ ซึ่งแยกออกเป็น 18 ลำดับด้วยกัน ในแต่ละลำดับประกอบด้วย 9-11 รายการย่อย สำหรับใช้เป็นแนวทางในการวิเคราะห์

WATER RESOURCE COUNCIL PROPOSED CLASSIFICATION OF ENVIRONMENTAL CATEGORIES

I. Class-Areas of Natural Beauty and Human Categories :

A. Open and Green Space

B. Wild and Scenic Rivers

C. Lakes

D. Beaches and Shores

E. Mountain and Wilderness Areas

F. Estuaries

G. Other Areas of Natural Beauty

II. **Class Archeological, Historical, and Cultural Elements Categories:**

A. Archeological Resources

B. Historical Resources

III. **Class-Biological, Geological, and Ecological Categories:**

A. Biological Resources

1. Fauna

2. Flora

B. Geological Resources

C. Ecological Systems

IV. **Quality Considerations**

A. Water Quality

B. Air Quality

C. Land quality

V. **Class-Irreversibility Considerations Category:**

A. Irreversibility

VI. **Class-Unique Resources Category:**

A. Uniqueness

Reference : Federal Register, December 21, 1971, Vol. 36, No. 245. "Water Resources Council, Proposed Principles and Standards for Planning Water and Related Land Resources, Notice of Public Review and Hearing", pages 24159 to 24162

2. Battelle Columbus Laboratories

วิธีนี้พัฒนาขึ้นมาสำหรับ USER เพื่อใช้เป็นหลักเกณฑ์และมาตรฐานสำหรับประเมินผลโครงการพัฒนาแหล่งน้ำ โดยแบ่งชั้นของ "Environmental Impacts" ไว้ดังตารางท้ายนี้ ซึ่งมี 4 องค์ประกอบหลัก รวม 18 ลำดับ ในแต่ละลำดับแยกออกเป็น 79 รายการ การประเมินแต่ละลำดับจะให้คะแนนเป็นเปอร์เซนต์ตามความสำคัญของแต่ละลำดับดังในตาราง

ENVIRONMENTAL IMPACTS[a]

	Categories	Number of items in Category	Percentage weight of Category
A.	Ecology		
	1. Species and populations	10	14.0
	2. Habitats and commentates	8[b] 1	10.0
	3. Ecosystems	1[b]	-
B	Esthetics		
	1. Land	3	3.2
	2. Air	2	0.5
	3. Water	5	5.2
	4. Biota	4	2.4
	5. Man-made objects	1	1.0
	6. Composition	2	1.0
C	Environmental Pollution		
	1. Water pollution	14	31.8
	2. Air pollution	7	5.2
	3. Land pollution	2	2.8
	4. Noise pollution	1	0.4
D	Human Interest		
	1. Education/scientific packages	4	4.8
	2. Historical packages	5	5.5
	3. Cultures	3	2.8
	4. Mood/Atmosphere	4	3.7
	5. Life Patterns	3	3.7
	Total	78	100 %

a *From Environmental Evaluation System for Water Resources Planning to Bureau of Reclamation, U.S.Dept. of Interior, Jan. 1972 by Battelle, Columbus Laboratories.*

b *Not counted in total since it is "descriptive-only" item.*

8.7. การวิเคราะห์และแสดงผล

วิธีการประเมินผลที่ได้กล่าวมาเป็นโครงร่าง (Framework) สำหรับใช้ในการประเมินผลกระทบของสิ่งแวดล้อม แม้ในบางครั้งการจัดอันดับผลกระทบของสิ่งแวดล้อมมีความยากลำบากทั้งในด้านผลประโยชน์และผลเสีย แต่ที่สำคัญก็คือผลของการประเมินที่ได้จะต้องแสดงผลจะถูกต้อง เพื่อให้สามารถตัดสินใจได้

มาตรฐานที่ใช้วัดนั้นโดยทั่วไปไม่สามารถจะวัดออกมาเป็นรูปของตัวเงินได้ ดังนั้นจึงมีผู้ศึกษาวิธีวัดออกมาในรูปแบบต่าง ๆ ดังนี้ คือ การวัดปริมาณ (Quantity Measurements) ของผลกระทบอาจวัดออกมาในรูปของปริมาณเช่น จำนวนพื้นที่ดิน (ไร่) พื้นน้ำ (ม.^{3}) ระยะทาง จำนวนคน จำนวนสัตว์ เป็นต้น การวัดคุณภาพผลกระทบต่อมนุษย์ และแฟคเตอร์เกี่ยวกับขนาดความพอใจ นิยมวัดและแสดงให้เห็นโดยการจัดเป็นระดับคะแนน จาก 0-10 ซึ่ง 0 จะมีค่าต่ำสุด หรือเลวที่สุด และ 10 จะเป็นระดับที่ดีที่สุด

สิ่งสำคัญในการวิเคราะห์สิ่งแวดล้อมไม่ว่าจะมีผลกระทบต่อระบบเศรษฐกิจหรือสังคมก็ตาม จะวิเคราะห์สิ่งแวดล้อมในสภาพปัจจุบัน (ก่อนมีโครงการ) สภาพที่ควรจะเปลี่ยนไปในอนาคตเมื่อไม่มีโครงการ และมีโครงการ ซึ่งอาจจะมีแผนเผื่อเลือกหลายแผน เพื่อให้สามารถพิจารณาผลกระทบที่แตกต่างกันได้ชัดเจน

ตัวอย่างในตารางท้ายน้ำเป็นการแสดงผลการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยวิธีของ Battelle Columbus Laboratories ซึ่งทำการประเมินให้กับ USBR

EXAMPLE MEASUREMENTS FOR THE ECOLOGICAL SYSTEMS CATEGORY

Factor - Measurements	Present Conditions	Future Conditions		
		Without	Alter. A	Alter. B
Ecosystem Types				
Grassland (acres	10,069	10,044	7,085.5	6,896
Stream (miles)	7	7	2.5	2
Lake (acres)	57	71	3,057	3,257
Ecosystem Quality				
Climax				
Grassland (acres)	73	70	70.5	67
Wetlands (acres	73	66	60	55
Stream (miles	2	2	0	0
Subclimax				
Grassland (acres)	51	55	50	48
Wetlands (acres)	44	62	45	28
Stream (miles)	5	5	2.5	2
Lake (acres)	18	18	3,018	3,257
Disclimax				
Grassland (acres)	9,945	9,419	6,965	6,781
Lake (acres)	39	53	39	39
Uniqueness				
Area (acres)	23	23	23	23
Educ. & Scientific Value				
Area (acres)	120	120	120	120
Legal & Admin. Protection				
Area Protected (acres)	50	80	4,500	5,000

EXAMPLE MEASUREMENTS FOR THE ESTUARINE AND WETLAND AREAS CATEGORY

Factor - Measurements	Present Conditions	Future Conditions		
		Without	Alter. A	Alter. B
Estuarine Areas	0	0	0	0
Wetland Types (acres)				
Inland Fresh Meadows	12	12	8	8
Inland Shallow Fresh Marshes	15	26	12	6
Inland Deep Marshes	20	20	15	11
Inland Open Fresh Water	70	70	70	70
Productivity				
Waterfowl Use (No. broods/mi^2)	11	10	4	3
Educ. & Scientific Value				
Area (acres)	22	22	16	16
Legal and Admin. Protection				
Area Protected (acres)	30	70	105	95

บทที่ 9
การวิเคราะห์โครงการ
(Project Analysis)

9.1. คำนำ

หลังจากได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการในด้านต่าง ๆ เช่น ด้านเทคนิค การตลาด สังคม และสิ่งแวดล้อมและจัดทำแผนโครงการ (Plan formulation) ขึ้นแล้ว ก่อนการตัดสินใจเลือกดำเนินการโครงการหรืออนุมัติโครงการนั้น จำเป็นต้องมีการวิเคราะห์โครงการ ด้านการเงินและเศรษฐกิจของโครงการเสียก่อน เพื่อตรวจสอบดูว่าผลจากการลงทุนโครงการไปแล้ว ผลประโยชน์ตอบแทนที่ได้รับจากโครงการนั้นคุ้มค่าหรือไม่และมากน้อยเพียงใดหากผลการวิเคราะห์ออกมาปรากฏว่าผลประโยชน์ที่ได้รับไม่คุ้มค่า หรือน้อยเกินไปโครงการนั้นอาจจะถูกระงับเลื่อนเวลาการดำเนินการออกไป หรือพิจารณาเลือกโครงการที่อื่นที่ให้ผลประโยชน์ตอบแทนมากกว่า

การวิเคราะห์โครงการเป็นการเปรียบเทียบระหว่างค่าลงทุน (Investment costs) กับผลประโยชน์ที่ได้รับเพิ่มขึ้น (Incremental benefit) ภายในช่วงเวลาต่าง ๆ ตลอดอายุของโครงการ เกณฑ์การพิจารณาความเหมาะสมหรือความเป็นไปได้ของโครงการขึ้นอยู่กับบรรทัดฐาน (Criteria) ที่กำหนดไว้ และเป้าหมายหลักของโครงการนั้น ๆ

โครงการของรัฐขนาดใหญ่ที่มีเป้าหมายเพื่อการพัฒนาเพื่อการเจริญเติบโตทางด้านเศรษฐกิจ จะพิจารณาถึงผลประโยชน์ตอบแทนที่เกิดขึ้นต่อระบบเศรษฐกิจโดยส่วนรวมของประเทศเป็นหลัก โดยไม่คำนึงถึงว่าผลประโยชน์นั้นจะอยู่กับผู้ใด สำหรับโครงการขนาดเล็กที่มีเป้าหมาย เพื่อเพิ่มผลผลิตให้กับการเติบโตของประชากรหรือช่วยเหลือบรรเทาทุกข์ของประชากรบางกลุ่ม จะให้ความสำคัญของผลประโยชน์ที่เกิดกับสังคม ซึ่งเป็นผลให้ประชากร มีความอยู่ดีกินดี มีงานทำ และคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้น มากกว่า ผลประโยชน์ตอบแทนด้านเศรษฐกิจ ส่วนรวมส่วนโครงการเอกชนนั้น จะมุ่งวิเคราะห์เฉพาะผลประโยชน์ตอบแทนโดยตรงต่อโครงการหรือเจ้าของโครงการเท่านั้น

9.2. เกณฑ์การเปรียบเทียบค่าลงทุนและผลประโยชน์

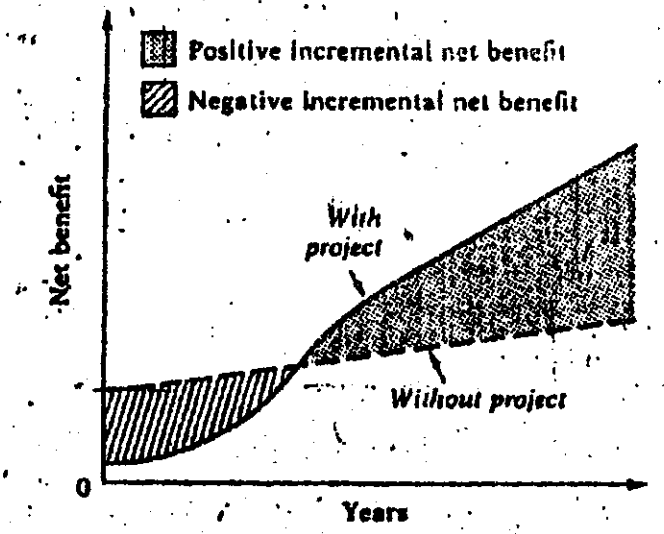
วิธีการวิเคราะห์โครงการโดยการเปรียบเทียบค่าลงทุน และผลประโยชน์ตอบแทนของโครงการที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาต่าง ๆ สามารถทำการเปรียบเทียบได้ใน 2 สถานะการณ์ คือ สถานะการณ์ที่ 'มี' โครงการ กับ 'ไม่มี' โครงการ และสถานะการณ์ระหว่าง 'ก่อน' มีโครงการกับ 'หลัง' มีโครงการ วิธีการวิเคราะห์ด้านเศรษฐกิจและการเงินของโครงการ จะใช้วิธีการเปรียบเทียบ

ที่สถานะการณ์ระหว่าง "**มี**" โครงการและ "**ไม่มี**" โครงการเป็นเกณฑ์ ซึ่งจะแสดงผลประโยชน์สุทธิที่เกิดขึ้นตรงกับความเป็นจริง ตลอดอายุการดำเนินการของโครงการ สำหรับการวิเคราะห์เปรียบเทียบสถานะการณ์ก่อนมีโครงการและหลังมีโครงการ จะให้ผลต่อประโยชน์สุทธิที่บิดเบือนไปจากความเป็นจริง อาจจะเท่ากัน มากกว่า หรือน้อยกว่าความเป็นจริงก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพของแต่ละโครงการ ดังตัวอย่างต่อไปนี้

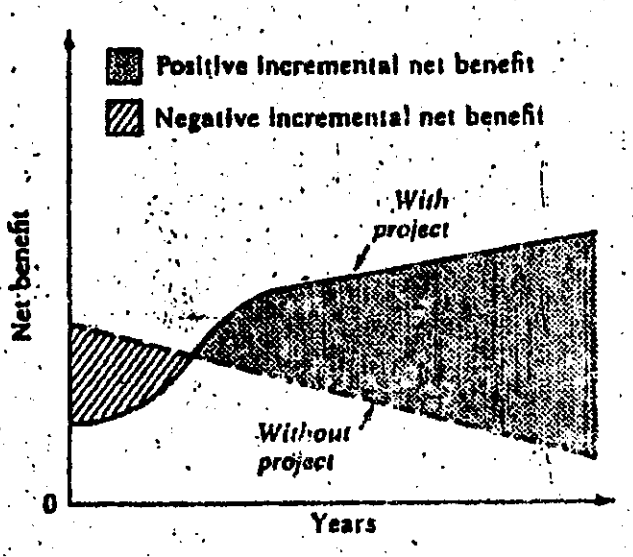
ในกรณีพื้นที่ที่เกษตรกรมีการตื่นตัว มีการยอมรับเทคโนโลยีสมัยใหม่เข้ามาปรับปรุงรู้จักการใช้ปุ๋ย ยาฆ่าแมลง และปัจจัยอื่น ๆ เพิ่มขึ้น ทำให้มองเห็นแนวโน้มของผลผลิตที่จะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ แม้ไม่มีโครงการ สมมติว่าเพิ่มขึ้น 1 % ทุกปี ในกรณีนี้รัฐบาลอาจจะมองเห็นว่าถ้าสร้างโครงการชลประทานขึ้นในพื้นที่นั้น จะทำให้การพัฒนาด้านเกษตรชลประทานได้เร็วขึ้นและได้ผลผลิตเพิ่มในอัตราสูงขึ้นกว่าเดิม สมมติว่าเพิ่มเป็น 5 % จึงตัดสินใจสร้างโครงการในการวิเคราะห์ด้านผลประโยชน์จะเห็นว่าผลประโยชน์ที่เพิ่มขึ้นจริงเมื่อมีโครงการก็คือ 4 % หากเปรียบเทียบผลประโยชน์ที่เพิ่มก่อนและหลังมีโครงการ ผลประโยชน์ที่เพิ่มจะเท่ากับ 5 % ซึ่งมากกว่าความเป็นจริง (ดูรูปที่ 9.1)

ในกรณีที่มีการส่งน้ำชลประทานโดยใช้คลองดิน และมีการรั่วซึมของน้ำจากคลองเข้าไปในแปลงเพาะปลูกค่อนข้างสูง ทำให้ระดับน้ำใต้ดินในแปลงสูงขึ้นเรื่อย ๆ มีปัญหาการระบายน้ำไม่ออกและทำให้ดินค่อย ๆ เปลี่ยนสภาพเป็นดินเค็ม ผลผลิตที่ได้ปรากฏว่ามีแนวโน้มลดลง ในสภาพเช่นนี้หากมีโครงการปรับปรุงระบบส่งน้ำ โดยเปลี่ยนเป็นคลองดาดคอนกรีตและจัดวางระบบระบายน้ำที่เหมาะสม จะสามารถขจัดปัญหาการรั่วซึมและการระบายน้ำออกไปได้ทำให้พื้นที่เพาะปลูกไม่เสื่อมคุณภาพ สามารถปลูกพืชผลดี ผลผลิตที่ได้เมื่อมีโครงการนอกจากจะไม่ลดลงแล้วยังอาจเพิ่มขึ้นอีกด้วย ในกรณีเช่นนี้การวิเคราะห์ผลประโยชน์สิทธิ ที่เพิ่มขึ้นในสภาพที่มีและไม่มีโครงการจะให้ค่าสูงกว่าในสภาพก่อนและหลังมีโครงการ (ดูรูป 9.2)

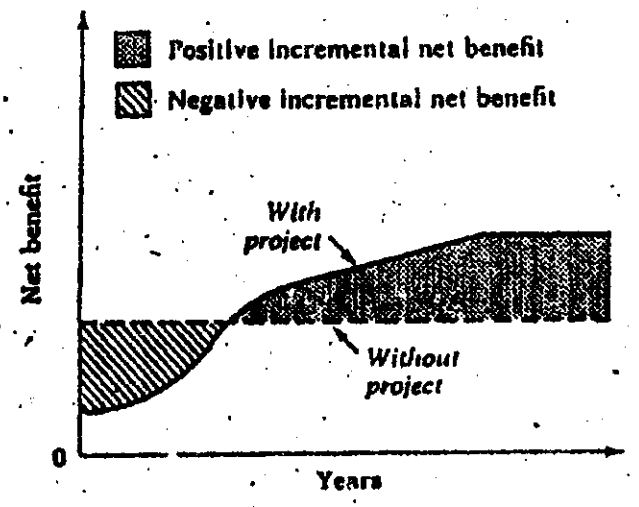
ในสภาพที่มีการเปลี่ยนแปลงพื้นที่เนื่องจากการมีโครงการเกิดขึ้นแล้วเช่น เมื่อยังไม่มีโครงการ เกษตรกรส่วนใหญ่ใช้พื้นที่ปลูกข้าวในฤดูฝน ส่วนในฤดูแล้งเกษตรกรปลูกหญ้าเลี้ยงสัตว์หรือพืชไร่ ซึ่งไม่ต้องใช้น้ำมากนัก และได้ผลผลิตค่อนข้างคงที่ แต่เมื่อมีโครงการชลประทานเกิดขึ้นเกษตรกรสามารถนำน้ำมาใช้ในการเพาะปลูกได้ทั้งฤดูฝนและฤดูแล้งเกษตรกรจึงเปลี่ยนมาปลูกข้าวหรือพืชที่ใช้ราคาสูงซึ่งใช้น้ำมากแทน และเกษตรกรมีรายได้สูงขึ้น ในกรณีนี้ผลประโยชน์ที่เพิ่มขึ้นก็คือ รายได้จากการปลูกข้าวในฤดูแล้งลบด้วยรายได้ที่เคยได้จากการปลูกหญ้า ซึ่งการวิเคราะห์ผลประโยชน์สุทธิในสภาพมีและไม่มีโครงการ จะให้ค่าออกมาเท่ากับสภาพก่อนและหลังมีโครงการ (ดูรูป 9.3)



รูปที่ 9.1



รูปที่ 9.2



รูปที่ 9.3

9.3. การวิเคราะห์ทางด้านการเงิน (Financial Analysis)

การวิเคราะห์ด้านการเงิน เป็นการวิเคราะห์สภาพกระแสการเงิน (Cash flow) ของโครงการตลอดช่วงเวลาต่าง ๆ ของการดำเนินการ เพื่อเตรียมหาเงินทุนไว้สำหรับรายจ่ายต่าง ๆ ซึ่งประกอบด้วย ค่าก่อสร้าง การบำรุงรักษาและซ่อมแซม และการใช้คืนเงินกู้ยืมตามแผนงานที่กำหนดไว้ กระแสการเงินหมุนเวียนมีความสำคัญยิ่งต่อโครงการแม้จะมีเงินทุนทั้งหมดอย่างเพียงพอ แต่ถ้าหากการเงินขาดช่วงอาจทำให้โครงการเสียหายขาดทุน หรือล้มเหลวลงได้

แหล่งเงินทุนสำหรับโครงการจะมาจาก แหล่งเงินทุนภายในประเทศ หรือทั้งสองแหล่งรวมกันก็ได้ ในกรณีที่เป็นโครงการเอกชนที่มุ่งหวังผลประโยชน์จากการลงทุนและโครงการของรัฐบาลที่มีผลประโยชน์ตอบแทนโดยตรงเช่น โครงการผลิตกระแสไฟฟ้า และโครงการประปา เป็นต้น เงินทุนหมุนเวียนส่วนหนึ่งได้มาจากผลประโยชน์ตอบแทนที่ได้จากการขายผลผลิตและการขายบริการของโครงการนั้น สำหรับโครงการชลประทานในประเทศไทย ไม่มีการเก็บค่าน้ำหรือค่าบริการจากเกษตรกรโดยตรง เงินทุนของโครงการส่วนใหญ่หรือทั้งหมดได้มาจากเงินงบประมาณแผ่นดิน ซึ่งเป็นเงินที่รัฐเก็บจากเกษตรกรในรูปภาษีอากรของผลผลิตรวมทั้งเงินกู้จากสถาบันการเงินที่รัฐจัดกู้มาเพื่อสร้างโครงการ

การวิเคราะห์ด้านการเงินจะแสดงให้เห็นเป็นตัวเงินค่าลงทุนทั้งหมด และผลประโยชน์ที่เกิดขึ้นต่อโครงการหรือเจ้าของธุรกิจ อันเป็นเหตุจูงใจให้มีการลงทุนและมีผลถึงการพัฒนาด้านเศรษฐกิจของประเทศโดยส่วนรวมด้วย

9.4. การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐกิจ (Economic Analysis)

การวิเคราะห์โครงการด้านเศรษฐกิจ เป็นการวิเคราะห์ผลประโยชน์ตอบแทนที่เพิ่มขึ้นในรูปผลผลิตและบริการ ซึ่งมีผลต่อการเจริญเติบโตของระบบเศรษฐกิจโดยส่วนรวมของประเทศ อันเป็นการวัดรายได้ของประเทศชาติ (National Gross Products) โดยไม่คำนึงว่าผลประโยชน์ที่เกิดขึ้นจะตกอยู่กับผู้ใด แม้ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา ได้มีการพยายามปรับปรุงและพิจารณาถึงการกระจายรายได้เข้ามาเกี่ยวข้องด้วย แต่ค่าทางด้านเศรษฐกิจจะไม่มีความแตกต่างหรือเปลี่ยนแปลงแต่อย่างใด

ผลจากการวิเคราะห์ด้านเศรษฐกิจ จะเป็นข้อมูลสำคัญสำหรับประกอบในการตัดสินใจในขั้นสุดท้ายว่า สมควรจะลงทุนโครงการหรือไม่ หากเหมาะสมควรดำเนินการในปัจจุบันหรือควรจะรอไว้ก่อน หากระงับโครงการทรัพยากรที่มีอยู่สามารถนำไปทำประโยชน์อย่างอื่นจะให้ผลตอบแทนดีกว่าหรือไม่

9.5. ความแตกต่างระหว่างการวิเคราะห์ด้านการเงินและด้านเศรษฐกิจ

การวิเคราะห์ด้านการเงินและด้านเศรษฐกิจมีความสัมพันธ์กันต่อการตัดสินใจโครงการ แต่มีสิ่งสำคัญที่แตกต่างกันคือ จุดประสงค์ของการวิเคราะห์ดังที่กล่าวมาแล้วและการตีราคาค่าใช้จ่าย (Cost) และผลประโยชน์ที่ได้รับ (Benefit) ซึ่งมีความแตกต่างกันหลายประการดังนี้

1) การวิเคราะห์ด้านเศรษฐกิจจะใช้ราคาที่เป็นมูลค่าที่แท้จริงทางเศรษฐกิจซึ่งจะต้องพิจารณาถึงมูลค่าของทรัพยากรที่ใช้ไป ค่าเสียโอกาส (Opportunity cost) อัตราเงินเฟ้อ อัตราการแลกเปลี่ยนเงินตราต่างประเทศ และสภาวะตลาด มูลค่าทางเศรษฐกิจอาจมีค่าเท่ากับราคาตลาด (Market price) ในภาวะตลาดที่มีการแข่งขันสมบูรณ์แต่ถ้าเป็นภาวะตลาดที่ไม่มีการแข่งขันสมบูรณ์ มูลค่าทางเศรษฐกิจจะถูกบิดเบือนไป ต้องมีการปรับค่าโดยใช้ราคาเงา (Shadow price) สำหรับการวิเคราะห์ด้านการเงิน การตีราคาค่าใช้จ่ายและผลประโยชน์ตอบแทน ใช้ราคาที่ซื้อขายจริง ประตูไร่นา (Farm gate price) หรือประตูโครงการ (Project boundary) ในการวิเคราะห์

2) เงินอุดหนุน (Subsidies) ซึ่งรัฐเป็นผู้จ่าย มีทั้งทำให้ลดต้นทุน (เงินช่วยเหลือด้านต้นทุนการผลิต) และเพิ่มต้นทุนโครงการ (ราคาพยุงราคาผลผลิต) ในการวิเคราะห์ด้านการเงินจะนำเงินอุดหนุนนี้มาคิดด้วย โดยรวมหรือหักออกจากต้นทุน ส่วนการวิเคราะห์ด้านเศรษฐกิจถือว่าเงินอุดหนุนนี้มิได้เป็นการใช้ทรัพยากร จึงไม่นำมาคิดในการวิเคราะห์ แต่จะใช้มูลค่าที่แท้จริง

3) ภาษี (Taxes)

ภาษีทั้งทางตรงและทางอ้อม ถือเป็นการโอนเปลี่ยนมือ (Transfer payment) ไม่นำมาคิดในการวิเคราะห์ด้านเศรษฐกิจ แต่จะนำมาคิดในการวิเคราะห์ด้านการเงินเพราะถือเป็นค่าใช้จ่ายของโครงการ

4) ดอกเบี้ยและค่าชำระหนี้ (Interest and debt service)

ดอกเบี้ยและค่าชำระหนี้ ถือเป็นการโอนเปลี่ยนมือ ไม่นำมาคิดหรือหักออกจากผลประโยชน์ในการวิเคราะห์ทางเศรษฐกิจ ส่วนการวิเคราะห์ด้านการเงินถือเป็นค่าใช้จ่ายของโครงการจะต้องนำมาคิดด้วย

9.6. การประเมินค่าลงทุน (Investment costs)

ค่าลงทุนหมายถึงค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่ใช้ในโครงการเพื่อให้ได้ผลผลิตหรือผลประโยชน์ตอบแทนสมบูรณ์ตามวัตถุประสงค์ของโครงการ ได้แก่ ค่าที่ดิน ค่าก่อสร้าง ค่าดำเนินการ ค่าบำรุงรักษาซ่อมแซม และค่าปัจจัยการผลิต ซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายโดยตรงของโครงการ (Direct costs) นอกจากนี้อาจจะมีค่าใช้จ่ายภายนอกอันเนื่องมาจากผลกระทบโดยตรง จากโครงการเช่น ค่าชดเชย

พื้นที่น้ำท่วมจากอ่างเก็บน้ำเป็นต้น ซึ่งเรียกว่า ค่าใช้จ่ายทางอ้อม (Indirect costs) ค่าลงทุนโครงการสามารถแบ่งออกเป็นประเภทต่าง ๆ ได้ดังนี้

1) ค่าลงทุนโครงการ (Project cost)

คือค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่จ่ายไปเพื่อให้ได้มาซึ่งตัวอาคารและเครื่องจักร เครื่องมือต่าง ๆ แยกออกได้ดังนี้

ก. ค่าใช้จ่ายในการวางแผนและออกแบบ (Planning and design) เป็นค่าใช้จ่ายก่อนงานก่อสร้างอาคาร ซึ่งได้แก่ การสำรวจ ตรวจสบ วางแผน ออกแบบ และค่าใช้จ่ายอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานบริหารด้านวิศวกร

ข. ค่าก่อสร้าง (Construction cost)ได้แก่ค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับงานก่อสร้างทั้งหมดคือ ค่าวัสดุก่อสร้าง เครื่องจักเครื่องมือ การเตรียมงานก่อสร้าง การควบคุมงาน เจ้าหน้าที่บริหาร ค่าแรงงาน รวมทั้งวัสดุสำนักงาน และอุปกรณ์อำนวยความสะดวกต่าง ๆ

ค. ค่างานบริหาร (Administration cost) ได้แก่ ค่าใช้จ่ายสำหรับเจ้าหน้าที่ด้านงานบริหารเช่น เจ้าหน้าที่ติดต่อด้านการเงิน การประกวดราคา ทำสัญญาและประสานงานกับหน่วยงานอื่น ๆ

ง. ค่าใช้จ่ายในการพัฒนา (Development cost) เป็นค่าใช้จ่ายในการพัฒนาด้านต่าง ๆ เพื่อสนับสนุน เพื่อให้โครงการสามารถดำเนินการถึงเป้าหมายได้เร็วขึ้น เช่น การจัดรูปที่ดิน (Land Consolidation) การทำแปลงสาธิต (Demonstration farms) งานส่งเสริมและฝึกอบรม

จ. ค่าที่ดินและค่าชดเชย (Land Acquisition and Compensation Cost) ได้แก่ค่าใช้จ่ายที่ต้องใช้เพื่อซื้อที่ดิน ค่าเช่าที่ดินชั่วคราวขณะก่อสร้าง ค่าชดเชยทรัพย์สินที่ดินของราษฎร รวมทั้งการอพยพย้ายถิ่นฐานของราษฎร (Settlement) ด้วย

2. ค่าดำเนินการและบำรุงรักษา (Operation and Maintenance cost)

คือ ค่าใช้จ่ายสำหรับการดำเนินงานของโครงการ และค่าบำรุงรักษาหลังจากก่อสร้างโครงการแล้ว เป็นค่าใช้จ่ายประจำปี (Annual Cost) ประกอบด้วยค่าจ้าง เงินเดือนของเจ้าหน้าที่และบุคลากร ค่าเครื่องมือเครื่องใช้ วัสดุและอุปกรณ์ต่าง ๆ ในการดำเนินงาน ค่าวัสดุที่ใช้ในการซ่อมแซมบำรุงรักษาอาคารต่าง ๆ

ค่าดำเนินการของโครงการขึ้นอยู่กับขนาดของโครงการ พื้นที่ชลประทานลักษณะงานรับผิดชอบ การจัดบุคลากรเพื่อให้โครงการสามารถดำเนินการได้อย่างมีประสิทธิภาพรวมทั้งปริมาณงานที่จะต้องทำการซ่อมแซมบำรุงรักษาประจำปีด้วย

3. ค่าปัจจัยในการผลิต (Production Cost)

คือ ค่าใช้จ่ายที่เป็นต้นทุนการผลิตทั้งหมด ได้แก่ค่าเครื่องจักรเครื่องมือที่ใช้ในการเตรียมแปลง เก็บเกี่ยว และปัจจัยการผลิตเช่น เมล็ดพันธุ์ ปุ๋ย ยาฆ่าแมลง และค่าแรงงาน

ค่าใช้จ่ายบางประเภทที่ไม่นำมาคิดในการวิเคราะห์โครงการได้แก่ ค่าเสื่อมราคา (Depreciation) ของเครื่องจักร และต้นทุนจม (Sunk cost) ค่าเสื่อมราคาของเครื่องจักรไม่นำมาคิดเป็นรายจ่ายรายปีเพราะถือว่าเป็นทรัพย์สินที่ได้โดยคิดค่าใช้จ่ายไปแล้ว ส่วนต้นทุนจมซึ่งได้แก่ โครงสร้างหรือทรัพย์สินของโครงการที่ได้มีการลงทุนไปก่อนแล้ว เมื่อมีการทำโครงการใหม่จะไม่นำทรัพย์สินส่วนนั้นมาคิดเป็นต้นทุนโครงการอีก

9.7. การประเมินผลประโยชน์ตอบแทน (Benefit)

ผลประโยชน์ตอบแทนหมายถึงผลประโยชน์สุทธิที่เพิ่มขึ้น หลังจากได้มีโครงการเกิดขึ้นแล้ว ผลประโยชน์ตอบแทนที่เพิ่มขึ้นอาจเป็นผลประโยชน์ตอบแทนโดยตรงต่อโครงการหรือเป็นผลประโยชน์ตอบแทนทางอ้อม ซึ่งมีทั้งที่คิดเป็นตัวเงินได้และที่คิดเป็นตัวเงินไม่ได้ซึ่งอาจแยกออกเป็นประเภทใหญ่ ๆ ได้ดังนี้

1) **ผลประโยชน์ตอบแทนโดยตรง** (Direct Benefit)

ได้แก่ผลประโยชน์สุทธิที่ได้รับเพิ่มขึ้นจากการขายผลผลิตและบริการของโครงการและโครงการได้รับผลประโยชน์โดยตรง หรืออาจเป็นผลประโยชน์ที่เพิ่มขึ้นในลักษณะของการลดการเสียหายก็ได้ ทั้งขึ้นอยู่กับชนิดของโครงการเช่น โครงการผลิตกระแสไฟฟ้าและน้ำประปา ผลประโยชน์ที่เพิ่มขึ้นโดยตรงก็คือ การขายไฟฟ้า น้ำประปา และบริหารให้กับผู้บริโภค โครงการป้องกันน้ำท่วม ผลประโยชน์ที่ได้รับจะเป็นมูลค่าของการลดค่าเสียหายที่จะเกิดขึ้นจากไม่มีโครงการ เป็นต้น

สำหรับโครงการชลประทาน การประเมินค่าตอบแทนก็คือ รายได้สุทธิ จากการขายผลผลิตทางการเกษตรที่เพิ่มขึ้นหลังจากมีโครงการแล้ว การเพิ่มผลผลิตอาจทำได้หลายลักษณะเช่น การเพิ่มผลผลิตในรูปของปริมาณ ซึ่งได้จากการขายพื้นที่เพาะปลูก ปลูกพืชหลาย ๆ ครั้ง (Crop Intensity) ทำให้ผลผลิตรวมเพิ่มขึ้นหรือการเพิ่มมูลค่าผลผลิตในรูปของการปรับปรุงคุณภาพ ด้วยการใช้เมล็ดพันธุ์ดีและทำการควบคุมปริมาณน้ำอย่างถูกต้อง ทำให้ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพดี ขายได้ราคาสูง ทำให้ผลตอบแทนสูงขึ้น

นอกจากนี้ผลตอบแทนของโครงการที่เพิ่มขึ้นอาจจะอยู่ในรูปของการจัดการ เช่น การสร้างยุ้งฉางเก็บผลผลิตไว้ขายเมื่อเวลาราคาสูงขึ้น การเคลื่อนย้ายผลผลิตไปขายในตลาดอื่นที่มี

ราคาสูงกว่า รวมทั้งการลดต้นทุนการผลิตให้ต่ำลงเช่น การใช้เครื่องจักรเครื่องมือที่ทันสมัย การลดค่าใช้จ่ายในการขนส่ง และการลดการสูญเสียของพืชผล เป็นต้น

2) **ผลประโยชน์ทางอ้อม** (Indirect Benefit)

ได้แก่ผลประโยชน์ที่เกิดขึ้นภายนอกโครงการ แต่เป็นผลสืบเนื่องมาจากการมีโครงการแล้วเช่น เมื่อโครงการชลประทานเกิดขึ้นแล้วทำให้ผลผลิตการเกษตรเพิ่มขึ้นจึงมีกิจการหรือโครงการอื่นเกิดขึ้นตามมา มีการสร้างโรงสีข้าว โรงงานแปรรูปอาหารกิจการขนส่งมีรายได้เพิ่มขึ้น และการจ้างแรงงานเพิ่มขึ้น เป็นต้น ผลประโยชน์ที่เกิดขึ้นนี้เป็นผลตอบแทนภายนอกโครงการ ไม่มีผลกระทบต่อการดำเนินงานของโครงการ แต่มีผลต่อการพัฒนาด้านเศรษฐกิจของประเทศชาติส่วนรวม ฉะนั้น การวิเคราะห์ทางด้านการเงินของโครงการจึงไม่นำผลประโยชน์ทางอ้อมมาคิด แต่การวิเคราะห์ด้านเศรษฐกิจจะนำมาคิด แต่การวิเคราะห์ด้านเศรษฐกิจจะนำมาคิดรวมด้วย

3) **ผลประโยชน์ที่ไม่มีตัวตน** (Intangible Benefit)

เกือบทุกโครงการที่สร้างขึ้นมาจะมีผลประโยชน์ตอบแทนชนิดที่ไม่สามารถคิดออกมาเป็นตัวเงินได้ ส่วนใหญ่จะเป็นผลตอบแทนที่เกิดกับสังคมเช่น เมื่อมีโครงการชลประทานแล้ว ทำให้มีการจ้างแรงงานเพิ่ม มีการกระจายรายได้ มีอาหารการกินสมบูรณ์ การคมนาคมสะดวก เกษตรกรมีความรู้เพิ่มรู้จักใช้เทคโนโลยีใหม่ ๆ ขจัดปัญหาการอพยพย้ายที่อยู่ ลดปัญหาโจรผู้ร้าย ฯลฯ อันเป็นผลสะท้อนต่อสภาพเศรษฐกิจโดยส่วนรวม และสภาพสังคม รวมทั้งความมั่นคงของประเทศชาติด้วย ผลประโยชน์เหล่านี้เกิดขึ้นจริงและสะท้อนมูลค่าที่แท้จริง แต่เป็นการยากที่จะคิดมูลค่าออกมาเป็นตัวเงิน การประเมินค่ามักจะทำในรูปของการให้น้ำหนักหรือความสำคัญในแต่ละจุด และไม่นำไปใช้ในการวิเคราะห์โครงการด้านการเงินและด้านเศรษฐกิจ แต่อย่างไรก็ตามผลประโยชน์ด้านนี้มีความสำคัญมากต่อการตัดสินใจในขั้นสุดท้าย จะเห็นได้จากโครงการบางประเภท บางโครงการที่ไม่มีความเหมาะสมทางด้านเศรษฐกิจ แต่จำเป็นต้องสร้างเพราะผู้มีอำนาจในการตัดสินใจมองเห็นถึงความสำคัญของผลประโยชน์ที่ไม่มีตัวตนสำคัญกว่าด้านเศรษฐกิจ หรือส่วนที่วิเคราะห์ออกมาเป็นตัวเงินได้

ทรัพย์สินที่นับเป็นผลประโยชน์ต่อโครงการอีกชนิดหนึ่งคือมูลค่าทรัพย์สินคงเหลือ (Salvage Value) เมื่อสิ้นสุดอายุของโครงการ ได้แก่ ทรัพย์สินประเภททุนเช่น เครื่องจักร เครื่องมือ และครุภัณฑ์บางประเภท ซึ่งไม่ได้ถูกใช้ให้หมดไปเมื่อสิ้นสุดโครงการ สามารถตีราคาเป็นตัวเงินหรือนำไปขายได้ มูลค่าทรัพย์คงเหลือนี้ถือเป็นผลประโยชน์ตอบแทนโครงการ ในปีสุดท้าย

9.8. วิธีการประเมินโครงการ

เมื่อทำการประเมินค่าลงทุน (Cost) และผลประโยชน์ตอบแทน (Benefit) ทั้งหมดของโครงการออกมาแล้ว ขั้นตอนต่อไปก็คือการประเมินโครงการ ได้แก่ การเปรียบเทียบระหว่างค่าลงทุนและผลประโยชน์ในรูปแบบต่าง ๆ กัน เพื่อให้ผลออกมาซึ่งจะนำไปใช้ในการตัดสินใจว่าจะรับหรือปฏิเสธโครงการ

ปัญหาสำคัญ 2 ประการที่นักวิเคราะห์โครงการจะต้องเผชิญก็คือ 1) ต้องหาวิธีการประเมินโครงการที่มีอายุการใช้งานหลายปี และค่า Cost และ Benefit ที่จะเกิดขึ้นในอนาคตที่ไม่แน่นอนและแตกต่างกัน 2) ต้องสามารถประเมินโครงการที่มีขนาดแตกต่างกันได้ อย่างไรก็ตามก่อนจะทำการวิเคราะห์เพื่อประเมินโครงการ ควรทำความเข้าใจไว้เสียก่อนว่าไม่มีวิธีการประเมินโครงการใดที่ดีที่สุด แต่ละวิธีจะมีจุดดีและจุดอ่อนอยู่ในตัว และอย่าลืมว่าการประเมินด้านการเงินและด้านเศรษฐกิจเป็นการวัดค่าของการลงทุน เพื่อใช้เป็นเครื่องมือประกอบการตัดสินใจเท่านั้น การตัดสินใจยังต้องพิจารณาถึงปัจจัยอื่นที่มีผลกระทบและไม่สามารถวัดเป็นค่าออกมาได้ด้วย

วิธีการประเมินโครงการเพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจ แยกออกได้เป็น 2 ประเภทคือ การประเมินแบบไม่ปรับค่าเวลา และการประเมินแบบปรับค่าเวลาทั้ง 2 ประเภทมีข้อดีและข้อเสีย ซึ่งมีความเหมาะกับลักษณะของโครงการต่าง ๆ กัน

9.8.1 การประเมินแบบไม่ปรับค่าเวลา

เป็นวิธีการประเมินโครงการแบบง่าย ๆ โดยไม่คิดถึงค่าของเวลาที่ทำให้มูลค่าของเงินเปลี่ยนแปลง สามารถใช้ได้กับโครงการที่มีการลงทุนที่เท่ากัน เวลาเดียวกัน และมีอายุโครงการไม่ยาวมาก ใช้เป็นเครื่องมือในการตัดสินใจว่าโครงการไหนดีกว่ากัน ในกรณีที่โครงการมีตัวแปรน้อย วิธีการประเมินมีหลายแบบ เช่น

1) **จัดลำดับโดยการตรวจสอบ** (Ranking by inspection)

เป็นเกณฑ์การวัดแบบง่าย ๆ และสามารถตัดสินใจได้ทันทีว่าโครงการไหนดีกว่ากัน เพียงแต่ตรวจสอบค่าลงทุนและกระแทกการเงินของผลประโยชน์ที่เพิ่มขึ้นดังตัวอย่างในตารางที่ 9.1 แสดงค่าใช้จ่ายและผลประโยชน์ตอบแทน ของโครงการสูบน้ำเพื่อการชลประทาน 4 แบบ คือ Project I, II, III และ IV โดยทั่วไปจะมีหลักเกณฑ์การพิจารณา 2 ประการคือ 1) เมื่อโครงการ 2 โครงการลงทุนเท่ากัน และมีผลตอบแทนในแต่ละช่วงเวลาเท่ากัน แต่โครงการหนึ่งมีระยะเวลาให้ผลตอบแทนมากกว่าเช่น โครงการ I และ II ควรเลือกโครงการ II 2) โครงการลงทุนเท่ากันและมีผล

Table 9-1. *Four Hypothetical Pump Irrigation Projects*
(thousands of currency units)

Year	Incremental cost				Value of incremental production (gross benefit)	Net value of incremental production[a]
	Capital items	Operation and maintenance	Production	Gross		
Project I						
1	30,000	—	—	30,000	—	—
2	—	2,000	3,000	5,000	20,000	15,000
3	—	2,000	3,000	5,000	20,000	15,000
4	—	—	—	—	—	—
Total	30,000	4,000	6,000	40,000	40,000	30,000
Project II						
1	30,000	—	—	30,000	—	—
2	—	2,000	3,000	5,000	20,000	15,000
3	—	2,000	3,000	5,000	20,000	15,000
4	—	2,000	3,000	5,000	9,100	4,100
Total	30,000	6,000	9,000	45,000	49,100	34,100
Project III						
1	30,000	—	—	30,000	—	—
2	—	2,000	3,000	5,000	7,000	2,000
3	—	2,000	3,000	5,000	19,000	14,000
4	—	2,000	3,000	5,000	31,000	26,000
Total	30,000	6,000	9,000	45,000	57,000	42,000
Project IV						
1	30,000	—	—	30,000	—	—
2	—	2,000	3,000	5,000	7,000	2,000
3	—	2,000	3,000	5,000	31,000	26,000
4	—	2,000	3,000	5,000	19,000	14,000
Total	30,000	6,000	9,000	45,000	57,000	42,000

a. The net value of incremental production is the value of incremental production less the operation and maintenance cost and the production cost.

ประโยชน์สุทธิรวมตลอดอายุโครงการเท่ากัน แต่โครงการหนึ่งให้ผลประโยชน์ตอบแทนในปีต้นมากกว่า เช่นโครงการ III และ IV ควรเลือกโครงการ IV

สำหรับโครงการที่มีค่าลงทุนผลตอบแทนที่แตกต่างกัน วิธีการประเมินโดยวิธีนี้ไม่สามารถบอกได้ว่าโครงการไหนดีกว่ากัน

2) **ระยะคืนทุน** (Payback Period)

ระยะคืนทุนคือ ระยะเวลาที่ผลตอบแทนสุทธิจากการดำเนินงานมีค่าเท่ากับค่าลงทุนโครงการ วิธีนี้มักใช้กับโครงการในวงธุรกิจที่มีอัตราการเสี่ยงและความไม่แน่นอนสูงนักลงทุนจึงต้องพิจารณาเลือกโครงการที่ให้ผลตอบแทนคืนทุนในระยะสั้นที่สุด ไม่นิยมใช้กับโครงการด้านการเกษตร ระยะคืนทุนของโครงการสูบน้ำทั้ง 4 โครงการแสดงไว้ในตารางที่ 9.2

ตารางที่ 9.2 Payback Period, Four Hypothetical Pump Irrigation Projects

Project	Payback Period (year)	Rank
I	3.0	1
II	3.0	1
III	3.5	4
IV	3.1	3

วิธีประเมินโดยหาระยะคืนทุนมีจุดอ่อน 2 ประการ คือ ประการแรกไม่มีการพิจารณาถึงผลตอบแทนหลังระยะคืนทุนแล้ว โครงการที่ I และ II มีระยะคืน 3 ปีเท่ากันแต่เมื่อดูจากตารางการลงทุนจะเห็นว่าโครงการที่ II ยังคงมีผลตอบแทนต่อไปขณะที่โครงการ I สิ้นสุดแล้ว ดังนั้นการหาระยะคืนทุนจึงไม่สามารถใช้เป็นบันทัดฐาน (Criteria) ในการเลือกระหว่างโครงการหลายโครงการได้ว่า โครงการไหนดีกว่ากัน

ประการที่สองการหาระยะคืนทุนไม่สามารถใช้วัดค่าทางการลงทุนที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาต่างกันได้เช่น สมมติว่าโครงการ III และโครงการ IV มีค่าลงทุนเท่ากันคือ 47,000 ระยะคืนทุนของแต่ละโครงการจะเท่ากันคือ 4 ปี แต่จากการตรวจสอบดูจะเห็นแท้จริงโครงการ IV เพราะให้ผลตอบแทนในช่วงต้นมากกว่า

3) **ผลตอบแทนต่อหน่วยค่าลงทุน** (Proceed per unit of outlay)

การลงทุนบางครั้งจัดอันดับโดยค่าผลตอบแทนต่อหน่วยค่าลงทุน ซึ่งได้แก่มูลค่าสุทธิ ของผลผลิตที่เพิ่มขึ้นหารด้วยค่าลงทุนทั้งหมด (ดังตารางที่ 9.3)

ตารางที่ 9.3 Proceeds per Unit of outlay, Four Hypothetical Pump Irrigation Projects

(Thousands of currency units)

Project	Capital items	Total net value of incremental production	Proceeds per unit of outlay	Rank
I	30,000	30,000	1.00	4
II	30,000	34,100	1.14	3
III	30,000	42,000	1.40	1
IV	30,000	42,000	1.40	1

การประเมินโดยวิธีนี้จะพบว่า โครงการ I และ II อยู่ในอันดับที่ถูกต้องแต่โครงการ III และ IV มีอันดับเท่ากัน แม้จากการตรวจสอบจะเห็นได้ชัดว่าโครงการ IV ดีกว่าก็ตาม แต่ผลการจัดอันดับจะออกมาเท่ากัน ฉะนั้นวิธีหาผลตอบแทนต่อหน่วยค่าลงทุนจึงใช้เปรียบเทียบโครงการที่มีผลตอบแทนในเวลาที่ต่างกันได้ เนื่องจากการประเมินโดยวิธีนี้คิดมูลค่าเงินที่รับในอนาคตเท่ากับเงินในปัจจุบัน

9.8.2 การประเมินแบบปรับค่าเวลา

เป็นที่ยอมรับกันว่าเงินที่มีอยู่ในมือปัจจุบันจะมีค่ามากกว่าเงินที่จะได้ในอนาคตเมื่อจำนวนเงินเท่ากับและผลตอบแทนของโครงการที่ได้รับก่อนย่อมดีกว่าผลตอบแทนที่จะเกิดขึ้นในปีต่อไป เพราะเราสามารถจะนำเงินที่มีอยู่หรือได้รับในปัจจุบันไปลงทุนหรือนำไปฝากธนาคารไว้ เมื่อสิ้นปีจะได้ดอกเบี้ยเป็นผลตอบแทนทำให้มูลค่าสูงขึ้น จากความจริงนี้จะเห็นได้ว่า วิธีการประเมินโดยไม่คิดค่าเวลาดังที่ได้กล่าวมาแล้วมีจุดอ่อนตรงส่วนนี้ ถ้าหากการลงทุนและผลประโยชน์ตอบแทนเกิดขึ้นในเวลาต่าง ๆ ผลการประเมินที่ได้จะไม่ตรงกับความเป็นจริง การคำนวณหาค่าของเงินปัจจุบันว่าจะมีมูลค่าเท่าใดในอนาคต หรือเงินจะได้รับในอนาคตมีมูลค่าเท่าใดในปัจจุบัน จำเป็นต้องใช้อัตราส่วนลด ((Discount factor) เข้ามาเกี่ยวข้องในการปรับค่า อัตราส่วนลดนี้จะเปลี่ยนแปลงไปตามสภาวะการเงินซึ่งขึ้นอยู่กับค่าเสียโอกาส และสภาพเงินเฟ้อ (Inflation) อัตราส่วนลดที่เราคุ้นเคยกันคือ อัตราดอกเบี้ย ซึ่งใช้กันในสถาบันการเงินทั่วไป

เพื่อให้การประเมินโครงการเป็นไปอย่างถูกต้องตรงกับสภาพความเป็นจริงและสามารถเปรียบเทียบกันได้ จำเป็นต้องมีการปรับค่าของเงินทั้งค่าใช้จ่ายและผลประโยชน์ตอบแทนที่

เกิดขึ้นในเวลาต่าง ๆ กัน ให้อยู่บนฐานเวลาเดียวกัน ในทางปฏิบัตินิยมปรับค่าของเงินให้อยู่บนฐานเวลาปัจจุบัน ซึ่งมูลค่าที่ปรับแล้วนี้เรียกว่ามูลค่าปัจจุบัน (Present value) การปรับมูลค่าของเงินในช่วงเวลาต่าง ๆ กันให้เป็นมูลค่าปัจจุบัน ทำได้โดยใช้ค่า Factor คูณจำนวนเงินนั้น ๆ

ค่า Factor ที่ใช้ในการปรับค่าเงินมีรูปแบบต่าง ๆ กัน ทั้งนี้อยู่ที่ลักษณะของค่าใช้จ่ายและผลประโยชน์ที่ได้รับสรุปได้ดังนี้

1. Discount factor

$$\frac{1}{(1+i)^n}$$

ใช้ข้อมูลคำนวณหาค่าเงินปัจจุบัน (P) ของเงินในอนาคต (F) ที่ระยะเวลาสิ้นปีที่เมื่ออัตราดอกเบี้ยเท่ากับ i, สูตรคือ

$$P = F\frac{1}{(1+i)^n}$$

2. Compounding factor for 1

$$(1+i)^n$$

ใช้คำนวณหามูลค่าเงินอนาคต (F) ของเงินในปัจจุบัน (P) ที่ระยะเวลาสิ้นปีเมื่ออัตราดอกเบี้ยเท่ากับ i, สูตร คือ

$$F = P(1+i)^n$$

3. Sinking fund factor

$$\left(\frac{1}{(1+i)^n - 1}\right)$$

ใช้คำนวณหาจำนวนเงินที่ต้องจ่ายเป็นงวดเท่า ๆ กัน (A) ทุกสิ้นปีของจำนวน n ปี เพื่อสะสมให้ได้มูลค่าของเงินในอนาคต (F) ที่ระยะเวลาสิ้นปีที่ n เมื่ออัตราดอกเบี้ยเท่ากับ i สูตรคือ

$$A = F\left(\frac{i}{(1+i)^n - 1}\right)$$

4. Compounding factor for 1 per Annum

$$\frac{(1+i)^n - 1}{i}$$

ใช้คำนวณหามูลค่าของเงินสะสมในอนาคต (F) ที่ระยะเวลาสิ้นปีที่ n เมื่อดอกเบี้ยเท่ากับ i ถ้าจ่ายเงินเป็นงวดเท่า ๆ กัน (A) ทุกสิ้นปีของจำนวน n ปี สูตรคือ

$$F = A\left[\frac{(1+i)^n - 1}{i}\right]$$

5. Present Worth of an Annuity Factor

$$\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n}$$

ใช้คำนวณหามูลค่าปัจจุบัน (P) ของเงินที่ต้องจ่ายเป็นงวดเท่า ๆ กัน (A) ทุกสิ้นปีของจำนวน n ปี เมื่ออัตราดอกเบี้ยเท่ากับ i สูตรคือ

$$P = A\left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n}\right]$$

6. Capital Recovery Factor

$$\frac{i(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n - 1}$$

ใช้คำนวณหาจำนวนเงินที่ต้องการจ่ายเป็นงวดเท่า ๆ กัน (A) ทุกสิ้นปีของจำนวน n ปี เพื่อใช้คืนจำนวนเงินปัจจุบัน (P) ที่ระยะเวลาสิ้นปีที่ n เมื่ออัตราดอกเบี้ยเท่ากับ i สูตรคือ

$$A = P\left[\frac{i(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n - 1}\right]$$

หมายเหตุ *Factor 2, 4 และ 6 คือส่วนกลับของ Factor 1, 3 และ 5 ตามลำดับและค่าของ Factor 1 และ 5 ดูได้จากตาราง 9.4 และ 9.5*

ตารางที่ 9.4

COMPOUNDING AND DISCOUNTING TABLES

7. *Three-decimal Table for Present Worth of an Annuity Factor, Various Rates*

PRESENT WORTH OF AN ANNUITY FACTOR—
How much 1 received or paid annually for X years is worth today.

Year	1%	3%	5%	6%	8%	10%	12%	14%	15%	16%	18%	20%	22%	24%	25%	26%	28%	30%	35%	40%	45%	50%	Year
1	.990	.971	.952	.943	.926	.909	.893	.877	.870	.862	.847	.833	.820	.806	.800	.794	.781	.769	.741	.714	.690	.667	1
2	1.970	1.913	1.859	1.833	1.783	1.736	1.690	1.647	1.626	1.605	1.566	1.528	1.492	1.457	1.440	1.424	1.392	1.361	1.289	1.224	1.165	1.111	2
3	2.941	2.829	2.723	2.673	2.577	2.487	2.402	2.322	2.283	2.246	2.174	2.106	2.042	1.981	1.952	1.923	1.868	1.816	1.696	1.589	1.493	1.407	3
4	3.902	3.717	3.546	3.465	3.312	3.170	3.037	2.914	2.855	2.798	2.690	2.589	2.494	2.404	2.362	2.320	2.241	2.166	1.997	1.849	1.720	1.605	4
5	4.853	4.580	4.329	4.212	3.993	3.791	3.605	3.433	3.352	3.274	3.127	2.991	2.864	2.745	2.689	2.635	2.532	2.436	2.220	2.035	1.876	1.737	5
6	5.795	5.417	5.076	4.917	4.623	4.355	4.111	3.889	3.784	3.685	3.498	3.326	3.167	3.020	2.951	2.885	2.759	2.643	2.385	2.168	1.983	1.824	6
7	6.728	6.230	5.786	5.582	5.206	4.868	4.564	4.288	4.160	4.039	3.812	3.605	3.416	3.242	3.161	3.083	2.937	2.802	2.508	2.263	2.057	1.883	7
8	7.652	7.020	6.463	6.210	5.747	5.335	4.968	4.639	4.487	4.344	4.078	3.837	3.619	3.421	3.329	3.241	3.076	2.925	2.598	2.331	2.108	1.922	8
9	8.566	7.786	7.108	6.802	6.247	5.759	5.328	4.946	4.772	4.607	4.303	4.031	3.786	3.566	3.463	3.366	3.184	3.019	2.665	2.379	2.144	1.948	9
10	9.471	8.530	7.722	7.360	6.710	6.145	5.650	5.216	5.019	4.833	4.494	4.192	3.923	3.682	3.571	3.465	3.269	3.092	2.715	2.414	2.168	1.965	10
11	10.368	9.253	8.306	7.887	7.139	6.495	5.938	5.453	5.234	5.029	4.656	4.327	4.035	3.776	3.656	3.543	3.335	3.147	2.752	2.438	2.185	1.977	11
12	11.255	9.954	8.863	8.384	7.536	6.814	6.194	5.660	5.421	5.197	4.793	4.439	4.127	3.851	3.725	3.606	3.387	3.190	2.779	2.456	2.196	1.985	12
13	12.134	10.635	9.394	8.853	7.904	7.103	6.424	5.842	5.583	5.342	4.910	4.533	4.203	3.912	3.780	3.656	3.427	3.223	2.799	2.469	2.204	1.990	13
14	13.004	11.296	9.899	9.295	8.244	7.367	6.628	6.002	5.724	5.468	5.008	4.611	4.265	3.962	3.824	3.695	3.459	3.249	2.814	2.478	2.210	1.993	14
15	13.865	11.938	10.380	9.712	8.559	7.606	6.811	6.142	5.847	5.575	5.092	4.675	4.315	4.001	3.859	3.726	3.483	3.268	2.825	2.484	2.214	1.995	15
16	14.718	12.561	10.838	10.106	8.851	7.824	6.974	6.265	5.954	5.668	5.162	4.730	4.357	4.033	3.887	3.751	3.503	3.283	2.834	2.489	2.216	1.997	16
17	15.562	13.166	11.274	10.477	9.122	8.022	7.120	6.373	6.047	5.749	5.222	4.775	4.391	4.059	3.910	3.771	3.518	3.295	2.840	2.492	2.218	1.998	17
18	16.398	13.754	11.690	10.828	9.372	8.201	7.250	6.467	6.128	5.818	5.273	4.812	4.419	4.080	3.928	3.786	3.529	3.304	2.844	2.494	2.219	1.999	18
19	17.226	14.324	12.085	11.158	9.604	8.365	7.366	6.550	6.198	5.877	5.316	4.843	4.442	4.097	3.942	3.799	3.539	3.311	2.848	2.496	2.220	1.999	19
20	18.046	14.877	12.462	11.470	9.818	8.514	7.469	6.623	6.259	5.929	5.353	4.870	4.460	4.110	3.954	3.808	3.546	3.316	2.850	2.497	2.221	1.999	20
21	18.857	15.415	12.821	11.764	10.017	8.649	7.562	6.687	6.312	5.973	5.384	4.891	4.476	4.121	3.963	3.816	3.551	3.320	2.852	2.498	2.221	2.000	21
22	19.660	15.937	13.163	12.042	10.201	8.772	7.645	6.743	6.359	6.011	5.410	4.909	4.488	4.130	3.970	3.822	3.556	3.323	2.853	2.498	2.222	2.000	22
23	20.456	16.444	13.489	12.303	10.371	8.883	7.718	6.792	6.399	6.044	5.432	4.925	4.499	4.137	3.976	3.827	3.559	3.325	2.854	2.499	2.222	2.000	23
24	21.243	16.936	13.799	12.550	10.529	8.985	7.784	6.835	6.434	6.073	5.451	4.937	4.507	4.143	3.981	3.831	3.562	3.327	2.855	2.499	2.222	2.000	24
25	22.023	17.413	14.094	12.783	10.675	9.077	7.843	6.873	6.464	6.097	5.467	4.948	4.514	4.147	3.985	3.834	3.564	3.329	2.856	2.499	2.222	2.000	25
26	22.795	17.877	14.375	13.003	10.810	9.161	7.896	6.906	6.491	6.118	5.480	4.956	4.520	4.151	3.988	3.837	3.566	3.330	2.856	2.500	2.222	2.000	26
27	23.560	18.327	14.643	13.211	10.935	9.237	7.943	6.935	6.514	6.136	5.492	4.964	4.524	4.154	3.990	3.839	3.567	3.331	2.856	2.500	2.222	2.000	27
28	24.316	18.764	14.898	13.406	11.051	9.307	7.984	6.961	6.534	6.152	5.502	4.970	4.528	4.157	3.992	3.840	3.568	3.331	2.857	2.500	2.222	2.000	28
29	25.066	19.188	15.141	13.591	11.158	9.370	8.022	6.983	6.551	6.166	5.510	4.975	4.531	4.159	3.994	3.841	3.569	3.332	2.857	2.500	2.222	2.000	29
30	25.808	19.600	15.372	13.765	11.258	9.427	8.055	7.003	6.566	6.177	5.517	4.979	4.534	4.160	3.995	3.842	3.569	3.332	2.857	2.500	2.222	2.000	30
35	29.409	21.487	16.374	14.498	11.655	9.644	8.176	7.070	6.617	6.215	5.539	4.992	4.541	4.164	3.998	3.845	3.571	3.333	2.857	2.500	2.222	2.000	35
40	32.835	23.115	17.159	15.046	11.925	9.779	8.244	7.105	6.642	6.233	5.548	4.997	4.544	4.166	3.999	3.846	3.571	3.333	2.857	2.500	2.222	2.000	40
45	36.095	24.519	17.774	15.456	12.108	9.863	8.283	7.123	6.654	6.242	5.552	4.999	4.545	4.166	4.000	3.846	3.571	3.333	2.857	2.500	2.222	2.000	45
50	39.196	25.730	18.256	15.762	12.233	9.915	8.304	7.133	6.661	6.246	5.554	4.999	4.545	4.167	4.000	3.846	3.571	3.333	2.857	2.500	2.222	2.000	50

Source: Gittinger (1973, pp. 104–05).

ตารางที่ 9.5

COMPOUNDING AND DISCOUNTING TABLES

6. *Three-decimal Table for Discount Factor, Various Rates*

DISCOUNT FACTOR—How much 1 at a future date is worth today.

Year	1%	3%	5%	6%	8%	10%	12%	14%	15%	16%	18%	20%	22%	24%	25%	26%	28%	30%	35%	40%	45%	50%	Year
1	.990	.971	.952	.943	.926	.909	.893	.877	.870	.862	.847	.833	.820	.806	.800	.794	.781	.769	.741	.714	.690	.667	1
2	.980	.943	.907	.890	.857	.826	.797	.769	.756	.743	.718	.694	.672	.650	.640	.630	.610	.592	.549	.510	.476	.444	2
3	.971	.915	.864	.840	.794	.751	.712	.675	.658	.641	.609	.579	.551	.524	.512	.500	.477	.455	.406	.364	.328	.296	3
4	.961	.888	.823	.792	.735	.683	.636	.592	.572	.552	.516	.482	.451	.423	.410	.397	.373	.350	.301	.260	.226	.198	4
5	.951	.863	.784	.747	.681	.621	.567	.519	.497	.476	.437	.402	.370	.341	.328	.315	.291	.269	.223	.186	.156	.132	5
6	.942	.837	.746	.705	.630	.564	.507	.456	.432	.410	.370	.335	.303	.275	.262	.250	.227	.207	.165	.133	.108	.088	6
7	.933	.813	.711	.665	.583	.513	.452	.400	.376	.354	.314	.279	.249	.222	.210	.198	.178	.159	.122	.095	.074	.059	7
8	.923	.789	.677	.627	.540	.467	.404	.351	.327	.305	.266	.233	.204	.179	.168	.157	.139	.123	.091	.068	.051	.039	8
9	.914	.766	.645	.592	.500	.424	.361	.308	.284	.263	.225	.194	.167	.144	.134	.125	.108	.094	.067	.048	.035	.026	9
10	.905	.744	.614	.558	.463	.386	.322	.270	.247	.227	.191	.162	.137	.116	.107	.099	.085	.073	.050	.035	.024	.017	10
11	.896	.722	.585	.527	.429	.350	.287	.237	.215	.195	.162	.135	.112	.094	.086	.079	.066	.056	.037	.025	.017	.012	11
12	.887	.701	.557	.497	.397	.319	.257	.208	.187	.168	.137	.112	.092	.076	.069	.062	.052	.043	.027	.018	.012	.008	12
13	.879	.681	.530	.469	.368	.290	.229	.182	.163	.145	.116	.093	.075	.061	.055	.050	.040	.033	.020	.013	.008	.005	13
14	.870	.661	.505	.442	.340	.263	.205	.160	.141	.125	.099	.078	.062	.049	.044	.039	.032	.025	.015	.009	.006	.003	14
15	.861	.642	.481	.417	.315	.239	.183	.140	.123	.108	.084	.065	.051	.040	.035	.031	.025	.020	.011	.006	.004	.002	15
16	.853	.623	.458	.394	.292	.218	.163	.123	.107	.093	.071	.054	.042	.032	.028	.025	.019	.015	.008	.005	.003	.002	16
17	.844	.605	.436	.371	.270	.198	.146	.108	.093	.080	.060	.045	.034	.026	.023	.020	.015	.012	.006	.003	.002	.001	17
18	.836	.587	.416	.350	.250	.180	.130	.095	.081	.069	.051	.038	.028	.021	.018	.016	.012	.009	.005	.002	.001	.001	18
19	.828	.570	.396	.331	.232	.164	.116	.083	.070	.060	.043	.031	.023	.017	.014	.012	.009	.007	.003	.002	.001	.000	19
20	.820	.554	.377	.312	.215	.149	.104	.073	.061	.051	.037	.026	.019	.014	.012	.010	.007	.005	.002	.001	.001	.000	20
21	.811	.538	.359	.294	.199	.135	.093	.064	.053	.044	.031	.022	.015	.011	.009	.008	.006	.004	.002	.001	.000	.000	21
22	.803	.522	.342	.278	.184	.123	.083	.056	.046	.038	.026	.018	.013	.009	.007	.006	.004	.003	.001	.001	.000	.000	22
23	.795	.507	.326	.262	.170	.112	.074	.049	.040	.033	.022	.015	.010	.007	.006	.005	.003	.002	.001	.000	.000	.000	23
24	.788	.492	.310	.247	.158	.102	.066	.043	.035	.028	.019	.013	.008	.006	.005	.004	.003	.002	.001	.000	.000	.000	24
25	.780	.478	.295	.233	.146	.092	.059	.038	.030	.024	.016	.010	.007	.005	.004	.003	.002	.001	.001	.000	.000	.000	25
26	.772	.464	.281	.220	.135	.084	.053	.033	.026	.021	.014	.009	.006	.004	.003	.002	.002	.001	.000	.000	.000	.000	26
27	.764	.450	.268	.207	.125	.076	.047	.029	.023	.018	.011	.007	.005	.003	.002	.002	.001	.001	.000	.000	.000	.000	27
28	.757	.437	.255	.196	.116	.069	.042	.026	.020	.016	.010	.006	.004	.002	.002	.002	.001	.001	.000	.000	.000	.000	28
29	.749	.424	.243	.185	.107	.063	.037	.022	.017	.014	.008	.005	.003	.002	.002	.001	.001	.000	.000	.000	.000	.000	29
30	.742	.412	.231	.174	.099	.057	.033	.020	.015	.012	.007	.004	.003	.002	.001	.001	.001	.000	.000	.000	.000	.000	30
35	.706	.355	.181	.130	.068	.036	.019	.010	.008	.006	.003	.002	.001	.001	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	35
40	.672	.307	.142	.097	.046	.022	.011	.005	.004	.003	.001	.001	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	40
45	.639	.264	.111	.073	.031	.014	.006	.003	.002	.001	.001	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	45
50	.608	.228	.087	.054	.021	.009	.003	.001	.001	.001	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	50

Source: Gittinger (1973, pp. 102–03).

การประเมินโครงการแบบปรับค่าเวลา

เมื่อได้ทำการปรับค่าเป็นค่าใช้จ่ายและผลประโยชน์ตอบแทนที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาต่าง ๆ ตลอดอายุโครงการให้เป็นมูลค่าปัจจุบันแล้ว ก็จะนำค่าทั้งสองมาทำการประเมินเปรียบเทียบ ผลที่ได้จากการประเมินจะบอกให้ทราบได้ว่า โครงการนั้น ๆ มีสถานะการการเงินเป็นอย่างไร และมีความเหมาะสมหรือคุ้มค่าทางเศรษฐกิจมากน้อยเพียงใด สมควรแก่การลงทุนหรือไม่ วิธีการประเมินโครงการนี้ทำได้หลายวิธี แต่ละวิธีจะมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันออกไป บางโครงการอาจต้องประเมินหลายวิธี เพื่อพิจารณาดูในจุดต่าง ๆ ได้ละเอียดยิ่งขึ้น ในที่นี้จะกล่าวถึงวิธีการประเมิน 3 วิธี ซึ่งเหมาะสมสำหรับการประเมินโครงการชลประทาน และอีก 1 วิธี สำหรับการประเมินเพื่อจัดลำดับคือ

1. วิธีหามูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net present value, NPV)
2. วิธีหาอัตราผลตอบแทนของโครงการ (Internal rate of return, IRR)
3. วิธีหาอัตราผลตอบแทนต่อค่าใช้จ่าย (Benefit cost ratio, B/C)
4. วิธีหาอัตราผลตอบแทนสุทธิต่อค่าลงทุน (Met Benefit-investment ratio, N/K ratio)

ทั้ง 4 วิธีสามารถใช้ได้กับการประเมินโครงการด้านการเงิน และด้านเศรษฐกิจสิ่งที่แตกต่างกันก็คือ การหาค่าและตีราคาค่าลงทุนและผลประโยชน์ตอบแทน ซึ่งได้กล่าวมาแล้วข้างต้น

1. **การหาค่าปัจจุบันสิทธิ** (Net Present Value, NPV)

การหามูลค่าปัจจุบันสิทธิคือ การหาผลรวมของมูลค่าปัจจุบันของค่าใช้จ่ายและผลประโยชน์ตอบแทนในช่วงเวลาต่าง ๆ ตลอดอายุโครงการ ผลรวมที่หาออกมาได้จะชี้ให้เห็นว่าโครงการนั้นจะให้ผลตอบแทนคุ้มค่าหรือไม่ ถ้ามูลค่าปัจจุบันสิทธิ (NVP) ที่ได้มีค่ามากกว่าศูนย์หรือมีค่าเป็นบวก ก็แสดงให้เห็นว่าโครงการนั้นให้ผลประโยชน์ตอบแทนมากกว่าค่าลงทุน หรือเป็นโครงการที่ให้ผลตอบแทนคุ้มค่าต่อการลงทุน หากค่า (NVP) ที่ได้ออกมามีค่าเป็นลบแสดงว่าโครงการนั้นให้ผลตอบแทนไม่คุ้มค่า

การหามูลค่าปัจจุบันสุทธิทำได้ 2 วิธี คือ ทำการปรับค่าของค่าใช้จ่ายและผลประโยชน์ตอบแทนให้เป็นค่าปัจจุบันเป็นรายปี แต่ละปีตลอดอายุโครงการแล้วนำมาหักลบกันเพื่อให้ได้มูลค่าปัจจุบันสุทธิ หรือจะคำนวณหาโดยใช้ค่าใช้จ่ายของโครงการไปหักออกจากผลประโยชน์ตอบแทนเป็นรายปี เพื่อหาผลประโยชน์ตอบแทนสุทธิ (Cash flow) ในแต่ละปีก่อนแล้วจึงทำการปรับให้เป็นมูลค่าปัจจุบัน ผลรวมของมูลค่าปัจจุบันรายปีจะเป็นมูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการ ซึ่งอาจจะเขียนเป็นสูตรคำนวณได้ดังนี้

$$NPV = \sum_{t=1}^{n} \frac{Bt}{(1+i)^t} - \sum_{t=1}^{n} \frac{Ct}{(1+i)^t}$$

หรือ

$$NPV = \sum_{t=1}^{n} \frac{Bt - Ct}{(1+i)^t}$$

เมื่อ n = อายุของโครงการ

t = ปีของโครงการคือ 1, 2, 3, ... , n

ตัวอย่าง โครงการชลประทานแห่งหนึ่งลงทุนโครงการด้วยเงิน 1,000,000 บาท ใช้เวลาก่อสร้าง 1 ปี ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการและบำรุงรักษาปีละ 300,000 บาท คาดว่าจะได้ผลประโยชน์ตอบแทนปีละ 500,000 บาท ตลอดอายุโครงการ 10 ปี หลังจากก่อสร้างเสร็จ อัตราดอกเบี้ยปีละ 10% ต่อปี อยากทราบว่าโครงการนี้จะให้ผลตอบแทนคุ้มค่าหรือไม่

วิธีที่ 1

Year	Cost Const	O&M	Benefit	PWF 10%	Cost PV	Benefit PV
1	1,000,000			0.909	900,000	
2	-	300,000	500,000	0.826	247,800	413,000
3	-	300,000	500,000	0.751	225,300	
4	-	300,000	500,000	0.683	204,900	
5	-	300,000	500,000	0.621	183,300	
6	-	300,000	500,000	0.564	169,200	
7	-	300,000	500,000	0.513	153,900	
8	-	300,000	500,000	0.466	139,800	
9	-	300,000	500,000	0.424	127,200	
10	-	300,000	500,000	0.385	115,500	
11	-	300,000	500,000	0.350	105,000	
	1,000,000	3,000,000	5,000,000		2,583,900	2,791,500

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) = 2,791,500 - 2,583,900

= 207,600

ค่า NPV มีค่าเป็นบวกแสดงว่าโครงการนี้ให้ผลคุ้มค่า

วิธีที่ 2

Year	Cost Const	O&M	Benefit	Cash flow	PWF 10%	PV
1	1,000,000			-1,000,000	0.909	-909,000
2	-	300,000	500,000	200,000	0.826	165,200
3	-	300,000	500,000	200,000	0.751	150,200
4	-	300,000	500,000	200,000	0.683	136,600
5	-	300,000	500,000	200,000	0.621	124,200
6	-	300,000	500,000	200,000	0.564	112,800
7	-	300,000	500,000	200,000	0.513	102,600
8	-	300,000	500,000	200,000	0.466	93,200
9	-	300,000	500,000	200,000	0.424	84,800
10	-	300,000	500,000	200,000	0.385	77,000
11	-	300,000	500,000	200,000	0.350	70,000
				NPV		207,600

2.) **การหาอัตราผลตอบแทนของโครงการ** (Internal rate of return, IRR)

อัตราผลตอบแทนของโครงการหรือ IRR คือ อัตราส่วนลด (Discount rate) ที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของค่าใช้จ่ายและผลประโยชน์ตอบแทนมีค่าเท่ากัน อัตราส่วนลดนี้เป็นอัตราความสามารถของเงินลงทุนที่ก่อให้เกิดผลประโยชน์ตอบแทนได้คุ้มค่ากับเงินทุนพอดี เขียนเป็นสูตรคำนวณได้ดังนี้

$$\text{IRR หรือค่าอัตราส่วนลดที่ทำให้ } \sum_{t=1}^{n} \frac{Bt - Ct}{(1+r)^t} = 0$$

เมื่อ n = อายุของโครงการเป็นปี

t = ปีของโครงการ คือปีที่ 1, 2, 3, ... , n

วิธีการคำนวณหา IRR นี้คล้ายคลึงกับวิธีการหา NPV จะแตกต่างกันที่จะต้องทำการทดลองหาค่าอัตราส่วนลด (r) ที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการออกมาเป็นศูนย์ (0) ในทางปฏิบัติเพื่อให้การคำนวณหาค่า IRR ได้เร็วขึ้น อาจใช้วิธีการทดลองเพิ่ม หรือลดค่า r แล้วพิจารณาจากค่า NPV กับ NPV มีค่าเป็นบวกก็แสดงว่าอัตราส่วนลดน้อยไปต้องเพิ่มอัตราส่วนลดขึ้นไปอีก

สมมุติว่าได้ค่า NPV ออกมาเป็นลบแสดงว่าอัตราส่วนลดสูงเกินไป (การเพิ่มหรือลดอัตราส่วนลดในการทดลองหาค่า NPV แต่ละครั้งไม่ควรเกิน 5%) จากนั้นทำการคำนวณหาค่า IRR โดยวิธี Interpolation จากการคำนวณหรือได้ด้วยกราฟดังนี้ .-

IRR = อัตราส่วนลดต่ำ - (ผลต่างอัตราส่วนลดทั้งสอง)* $\frac{\text{NPVที่ใช้ค่าอัตราส่วนลดต่ำ}}{\text{ผลต่าง NPV ของอัตราส่วนลดทั้งสอง}}$

ตัวอย่างการคำนวณหา IRR ของโครงการ

Year	Cost	Benefit	Cash flow	PWF 12%	PV	PWF 17%	PV
1	1,000,000		1,000,000	.893	-893,000	.855	855,000
2	300,000	500,000	200,000	.979	159,400	.731	146,200
3	300,000	500,000	200,000	.712	142,400	.624	124,800
4	300,000	500,000	200,000	.636	127,200	.534	106,000
5	300,000	500,000	200,000	.564	112,800	.456	91,200
6	300,000	500,000	200,000	.507	101,400	.390	78,000
7	300,000	500,000	200,000	.452	90,400	.333	66,600
8	300,000	500,000	200,000	.404	80,800	.285	57,000
9	300,000	500,000	200,000	.361	72,200	.243	48,600
10	300,000	500,000	200,000	.322	64,00	.208	41,600
11	300,000	500,000	200,000	.287	57,400	.178	35,600
	4,000,000	5,000,000			115,400		- 58,600

$$\text{IRR} = 12 + (17-12)\left(\frac{115,400}{115,400-(-58,600)}\right)$$

$$= 12 + 5(0.663) = 12 + 3.32 = 15.32\ \%$$

การหาค่า IRR ด้วยวิธีกราฟ

3.) **การหาอัตราผลตอบแทนต่อค่าใช้จ่าย** (Benefit cost ration, B/C ratio)

อัตราผลตอบแทนต่อค่าใช้จ่ายเป็นวิธีการวิเคราะห์โดยแสดงถึงอัตราส่วนระหว่างมูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์ตอบแทนต่อมูลค่าปัจจุบันของค่าใช้จ่ายทั้งหมดตลอดอายุโครงการเขียนเป็นสูตรคำนวณได้ดังนี้

$$B/C = \left(\frac{\text{PV of benefits}}{\text{PV of costs}}\right)$$

$$\sum_{t=1}^{n} \frac{Bt/(1!+i)^{t}}{C^{t}/(1+i)^{t}}$$

เกณฑ์ที่ใช้ในการตัดสินใจก็คือ เลือกโครงการต่าง ๆ ที่มีค่า B/C เกิน 1 ซึ่งก็หมายความว่าผลประโยชน์ตอบแทนที่ได้รับของโครงการมีค่ามากกว่าค่าใช้จ่ายที่ต้องเสียไปหรือเป็นโครงการที่ให้ผลตอบแทนคุ้มค่า

ค่า B/C ratio นี้มีจุดมุ่งหมายแต่เพียงว่าโครงการนั้น ๆ คุ้มค่าหรือไม่ แต่มิได้หมายความว่าโครงการที่มีค่า B/C สูง จะทำรายได้สุทธิได้มากกว่าโครงการที่มีค่า B/C ต่ำกว่าเสมอไป ฉะนั้นในการวิเคราะห์โครงการใดก็ตาม หากมีการใช้ค่า B/C ratio วิเคราะห์โครงการแล้วควรใช้วิธีการวิเคราะห์แบบอื่น เช่น NVP และ IRR ประกอบการพิจารณาด้วย

ตัวอย่างการคำนวณหาค่า B/C ratio ของโครงการ

Year	Costs	Benefit	PWF 12%	PV Costs	PV Benefit
1	7,500	-	0.893	6,698	-
2	6,000	-	0.797	4,782	-
3	1,300	6,000	0.712	926	4.272
4	1,300	6,000	0.636	827	3,816
5	1,300	6,000	0.567	737	3,402
6	1,300	6,000	0.507	659	3,042
7	1,300	6,331	0.452	588	2,862
	20,000	30,000		15,217	17,394

$$B/C \text{ ratio} = \frac{17,394}{15,219}$$

$$= 1.1$$

4.) **อัตราส่วนผลประโยชน์สุทธิต่อค่าลงทุน** (Net benefit investment ration N/K ratio)

จากวิธีการประเมินโครงการโดยใช้อัตราส่วนลดทั้ง 3 วิธีที่กล่าวมา จะเห็นได้ว่าไม่มีวิธีใดเหมาะสำหรับการจัดอันดับความสำคัญ (rank) ของโครงการอย่างแท้จริงเลย ผลการประเมินที่ได้ใช้เป็นบันทัดฐานสำหรับ การพิจารณารับโครงการเท่านั้น กล่าวคือโครงการจะมีความเหมาะสมและรับได้ เมื่อ NPV มีค่าเท่ากับ 0 หรือมากกว่า IRR ที่ให้ผลประโยชน์ตอบแทนเท่ากับหรือมากกว่าค่าเสียโอกาสของเงินทุน และ B/C ratio เท่ากับ 1 หรือมากกว่า แต่ในบางครั้งผู้ตัดสินใจโครงการจำเป็นต้องทราบอันดับความสำคัญของโครงการเพื่อการตัดสินใจว่าควรจะดำเนินการโครงการก่อน ในกรณีที่มีเงินทุนไม่เพียงพอ และไม่สามารถดำเนินโครงการพร้อมทั้งหมดได้

วิธีการที่เหมาะสมและสะดวกในการจัดลำดับ ความสำคัญของโครงการที่เป็นอิสระต่อกัน วิธีหนึ่งก็คือ Net benefit-investment ratio ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบระหว่างผลประโยชน์ตอบแทนสุทธิที่มีค่า positive กับค่าลงทุนโครงการก่อนที่จะได้ผลประโยชน์ตอบแทนสุทธิ(ส่วนที่มีค่าเป็น negative) แต่วิธีนี้มักไม่ค่อยนำมาใช้ในการวิเคราะห์โครงการบ่อยนัก โดยทั่วไปมักจะใช้ IRR และ B/C ratio ช่วยในการจัดลำดับ แต่วิธีดังกล่าวทั้ง 3 วิธี มีข้อจำกัด จึงหันมาใช้วิธี N/K ratio ซึ่งให้ผลดีกว่ากันมากขึ้นในการจัดลำดับความสำคัญของโครงการ

การหาค่า N/K ratio สามารถทำได้ทันที เมื่อมีการคำนวณหาผลประโยชน์ที่เพิ่มขึ้น หรือ Cash flow ของโครงการไว้แล้ว ซึ่งค่าผลประโยชน์สุทธิก็คือผลรวมของมูลค่าปัจจุบันหลังที่เปลี่ยนค่าเป็นบวก และค่าลงทุนก็คือผลรวมของมูลค่าปัจจุบันที่มีค่าเป็นลบ ซึ่งจะเกิดขึ้นในช่วงปีแรกของโครงการ (ดูตาราง 9.6 แสดงวิธีการหา N/K ratio)

จากตารางคำนวณ ใช้วิธีอัตราส่วนลด (Discount rate) 12% มูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์สุทธิ หลังจากปีที่เปลี่ยนค่าเป็นบวกคือ US $ 22.43 (0.51+1.07+1.49+1.83+17.53 = 22.43) และมูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์สุทธิที่เป็นลบมูลค่าปัจจุบันเป็นค่าลงทุนคือ US $ 12.85 million (0.97+3.85+4.04+2.86+1.13=12.85) ดังนั้นค่า N/K ratio คือ 1.75 (22.43 (2.85 = 1.75) ในกรณีที่มูลค่าปัจจุบันมีค่าเป็นลบ หลังจากที่เปลี่ยนค่าเป็นบวกแล้ว ซึ่งอาจจะเกิดขึ้นได้ในกรณีที่มีการซ่อมใหญ่หรือต้องซื้อเครื่องจักรมาเปลี่ยนของเดิม ซึ่งหมดอายุการใช้งาน ทำให้ค่าใช้จ่ายในปีนั้นสูงขึ้น ในกรณีนี้ให้นำมูลค่าปัจจุบันที่เป็นลบในปีนั้น ไปหักออกจากผลรวมมูลค่าปัจจุบันที่เป็นบวก (Net Present Worth of Benefit) แทนที่จะเอามาบวกกับผลรวมของมูลค่าปัจจุบันที่เป็นลบ (Net Present Worth of Investment)

Table 9.6 *Net Benefit-Investment (N/K) Ratio Computation, Ilocos Project*
(millions of US$)

Year	Incremental cost: Capital items	Incremental cost: Operation and maintenance	Incremental cost: Production	Incremental cost: Gross	Value of incremental production (gross benefit)	Incremental net benefit (cash flow)	Discount factor 12%	Present worth 12%
1	1.09	0	0	1.09	0	− 1.09	0.893	− 0.97
2	4.83	0	0	4.83	0	− 4.83	0.797	− 3.85
3	5.68	0	0	5.68	0	− 5.68	0.712	− 4.04
4	4.50	0	0	4.50	0	− 4.50	0.636	− 2.86
5	1.99	0	0	1.99	0	− 1.99	0.567	− 1.13
6	0	0.34	0.33	0.67	1.67	+ 1.00	0.507	+ 0.51
7	0	0.34	0.63	0.97	3.34	+ 2.37	0.452	+ 1.07
8	0	0.34	0.96	1.30	5.00	+ 3.70	0.404	+ 1.49
9	0	0.34	1.28	1.62	6.68	+ 5.06	0.361	+ 1.83
10–30	0	0.34[a]	1.61[a]	1.95[a]	8.38[a]	+ 6.43[a]	2.727[b]	+17.53
Total	18.09	8.50	37.01	63.60	192.67	+129.07	8.056	+ 9.58

$$\text{N/K ratio at 12 percent} = \frac{\text{Present worth of net benefits at 12 percent}}{\text{Present worth of investments at 12 percent}}$$

$$= \frac{\text{Present worth of positive incremental net benefit at 12 percent}}{\text{Present worth of negative incremental net benefit at 12 percent}}$$

$$= \frac{\text{US\$0.51 + US\$1.07 + US\$1.49 + US\$1.83 + US\$17.53}}{\text{US\$0.97 + US\$3.85 + US\$4.04 + US\$2.86 + US\$1.13}} = \frac{\text{US\$22.43}}{\text{US\$12.85}} = 1.75$$

Source: Same as table 9-9.

a. Annual amount for years 10 through 30 inclusive. To reach column total, this amount must be included 21 times.

b. Present worth of an annuity factor for years 10 through 30 inclusive. See the subsection on "Present worth of a stream of future income" for method of computation.

การจัดลำดับความสำคัญของโครงการ จัดลำดับตามค่า N/K ratio จากมากไปหาน้อย อย่างไรก็ตาม N/K ratio มีข้อจำกัดสำคัญ 2 ประการคือ (1) กลุ่มโครงการที่นำมาจัดลำดับต้องเป็นโครงการที่เป็นอิสระต่อกัน มิฉะนั้นอาจจะทำไม่ได้หรือยุ่งยากซับซ้อนมาก (2) ใช้ไม่ได้กับการจัดอันดับโครงการที่มีความสำคัญด้านสังคมมากกว่าเศรษฐกิจ หรือโครงการประเภท Dynamic Optimization ซึ่งจำเป็นต้องทราบข้อจำกัดและโอกาสของเงินทุนในอนาคต

9.9 การคัดเลือกโครงการเพื่อดำเนินการ

เพื่อแสดงวิธีการประยุกต์การประเมินโครงการโดยอัตราส่วนลดไปใช้ในการคัดเลือกโครงการ เพื่อดำเนินการระหว่างโครงการต่าง ๆ โดยใช้ข้อมูลโครงการสูบน้ำเพื่อการชลประทาน จากตารางที่ 1 แสดงผลการประเมินวิธีต่าง ๆ ไว้ในตาราง 9.7 โดยใช้ Discount rate 12% สำหรับการประเมินแบบ NPV, IRR, B/C ratio และ N/K ratio

จากตารางจะเห็นได้ว่าโครงการ I และ II จะถูก reject ที่อัตราส่วนลด 12% โครงการ II จะยอมรับได้ต่อเมื่ออัตราส่วนลดเท่ากับ 8% หรือน้อยกว่า เมื่อ NPV มีค่าเท่ากับ 0 หรือมากกว่า เมื่อ IRR มีค่าเท่ากับ หรือสูงกว่าค่าเสียโอกาสของทุน และเมื่อ N/K ratio มีค่าเท่ากับ 1 หรือมากกว่า ที่อัตราส่วนลด 12% เราสามารถยอมรับโครงการ III และ IV เพราะทั้ง 2 โครงการมี NPV มากกว่า 1 มี IRR มากกว่า 12% มี B/C ratio มากกว่า 1 และ N/K ratio มากกว่า 1 ถ้าหากเงินทุนโครงการถูกจำกัดที่ 30,000 เราจะต้องตัดสินใจเลือกโครงการใดโครงการหนึ่ง ระหว่างโครงการ III และโครงการ IV จากตาราง จะเห็นได้ว่าถ้าเพิ่มอัตราส่วนลดเป็น 15% เราจะสามารถรับได้โครงการเดียวคือโครงการ IV ซึ่งเป็นการเลือกที่ถูกต้องเพราะใช้เงินทุนทั้งหมด และได้รับผลประโยชน์ตอบแทนสูงที่สุด หรืออีกวิธีหนึ่งก็คือพิจารณาเลือกโดยดูจาก N/K ratio ที่อัตราส่วนลด 12% สูงที่สุดเนื่องจากผลการวิเคราะห์จากตารางใช้อัตราส่วนที่เท่ากันทั้ง 4 วิธี คือที่ 12% ฉะนั้นการจัดลำดับโครงการจึงสามารถพิจารณาจาก NPV, IRR และ B/C ratio ได้ วิเคราะห์แต่ละโครงการโดยใช้อัตราส่วนลดที่แตกต่างกัน การดูจาก NPV, IRR หรือ B/C ratio อาจจะไม่สามารถจัดอันดับได้ถูกต้อง นอกจากการวิเคราะห์โดยวิธี N/K ratio

Table 9.7 *Ranking of Four Hypothetical Pump Irrigation Projects Using N/K Ratio*
(thousands of currency units)

Year	Gross cost	Value of incremental production (gross benefit)	Incremental net benefit (cash flow)	Discount factor 12%	Present worth 12%	Present worth calculation at internal rate of return: Discount factor 0%	Present worth 0%	Rank
Project I								
1	30,000	—	−30,000	0.893	−26,790	1.000	−30,000	
2	5,000	20,000	+15,000	0.797	+11,955	1.000	+15,000	
3	5,000	20,000	+15,000	0.712	+10,680	1.000	+15,000	4
4	—	—	—	—	—	—	—	
Total	40,000	40,000	0	2.402	− 4,155	3.000	0	
Net present worth at 12 percent = −4,155,000								
Internal rate of return = 0 percent								
Benefit-cost ratio at 12 percent = 0.88[a]								
N/K *ratio at 12 percent* = 22,635 ÷ 26,790 = 0.84								
Project II						Discount factor 8%	Present worth 8%	
1	30,000	—	−30,000	0.893	−26,790	0.926	−27,780	
2	5,000	20,000	+15,000	0.797	+11,955	0.857	+12,855	
3	5,000	20,000	+15,000	0.712	+10,680	0.794	+11,910	3
4	5,000	9,100	+ 4,100	0.636	+ 2,608	0.735	+ 3,014	
Total	45,000	49,100	+ 4,100	3.038	− 1,547	3.312	− 1	
Net present worth at 12 percent = −1,547,000								
Internal rate of return = 8 percent								
Benefit-cost ratio at 12 percent = 0.96[a]								
N/K *ratio at 12 percent* = 25,243 ÷ 26,790 = 0.94								
Project III						Discount factor 14%	Present worth 14%	
1	30,000	—	−30,000	0.893	−26,790	0.877	−26,310	
2	5,000	7,000	+ 2,000	0.797	+ 1,594	0.769	+ 1,538	
3	5,000	19,000	+14,000	0.712	+ 9,968	0.675	+ 9,450	2
4	5,000	31,000	+26,000	0.636	+16,536	0.592	+15,392	
Total	45,000	57,000	+12,000	3.038	+ 1,308	2.913	+ 70	
Net present worth at 12 percent = 1,308,000								
Internal rate of return = 14 percent								
Benefit-cost ratio at 12 percent = 1.03[a]								
N/K *ratio at 12 percent* = 28,098 ÷ 26,790 = 1.05								
Project IV						Discount factor 16%	Present worth 16%	
1	30,000	—	−30,000	0.893	−26,790	0.862	−25,860	
2	5,000	7,000	+ 2,000	0.797	+ 1,594	0.743	+ 1,486	
3	5,000	31,000	+26,000	0.712	+18,512	0.641	+16,666	1
4	5,000	19,000	+14,000	0.636	+ 8,904	0.552	+ 7,728	
Total	45,000	57,000	+12,000	3.038	+ 2,220	2.798	+ 20	
Net present worth at 12 percent = 2,220,000								
Internal rate of return = 16 percent								
Benefit-cost ratio at 12 percent = 1.06[a]								
N/K *ratio at 12 percent* = 29,010 ÷ 26,790 = 1.08								

Source: Table 9-1.
a. The derivation of the benefit-cost ratio is not given in this table.

9.10. ข้อเปรียบเทียบวิธีการประเมินโครงการ

การนำเอาค่าเสียโอกาสของเงินลงทุน (Opportunity Cost of Capital) มาใช้เป็นอัตราส่วนลดในการวิเคราะห์ในกลุ่มของโครงการ จะให้ผลออกมาเช่นเดียวกันว่าโครงการนั้น ๆ จะมีความเหมาะสมสำหรับดำเนินการหรือไม่ ถึงแม้การวิเคราะห์โครงการที่เป็นอิสระต่อกัน (Mutually exclusive projects) จะต้องทำการวิเคราะห์ที่กว้างขวางกว่า เมื่อใช้ IRR, B/C ratio และ N/K ratio ก็ตาม สำหรับการวิเคราะห์ NPV, IRR และ B/C ratio นั้น ใช้สำหรับใช้วิเคราะห์โครงการทั่วไป และจะยอมรับว่าโครงการสามารถดำเนินการได้ เมื่อ NPV มีค่าเป็นบวก (+) IRR มีค่ามากกว่าค่า OCC (Opportunity Cost of Capital) และ B/C ratio มีค่ามากกว่า 1 สำหรับ N/K ratio นั้นเหมาะสำหรับการวิเคราะห์เพื่อจัดอันดับความเหมาะสมของโครงการ โดยเริ่มจากโครงการที่มี N/K ratio สูงที่สุดเป็นอันดับแรก

การเลือกวิธีการวิเคราะห์โครงการว่าจะเลือกใช้วิธีไหนนั้นขึ้นอยู่กับแต่ละประเทศและกฎเกณฑ์ของสถาบันการเงินว่าจะยอมรับแบบใด หลายแห่งยอมรับการวิเคราะห์แบบ NPV ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ผลประโยชน์ของโครงการออกเป็นมูลค่าโดยตรง และสามารถใช้ได้กับการเลือกโครงการที่เป็นอิสระต่อกัน แต่มักจะมีข้อโต้แย้งเกี่ยวกับการประเมินหาค่า OCC เพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์ ซึ่งเป็นปัญหาที่ยุ่งยาก มีหลายสถาบันที่นิยมใช้ IRR ในการวิเคราะห์ ซึ่งผลของการวิเคราะห์จะบอกถึงอัตราสูงสุดของดอกเบี้ยที่โครงการสามารถจ่ายคืนเงินลงทุนที่กู้ยืมมาได้ และวัดผลประโยชน์ตอบแทนของทรัพยากรที่ลงทุนในโครงการ ธนาคารโลกหันมาใช้ IRR ในการวิเคราะห์โครงการเพื่อตัดปัญหาการหาค่า OCC ของประเทศสมาชิกทั้งหลายที่แตกต่างกัน ส่วน B/C ratio นิยมใช้กับประเทศเล็ก ๆ ที่กำลังพัฒนาซึ่งจำเป็นต้องรีบเร่งพัฒนาประเทศ

Table 9-8 *Comparison of Discounted Measures of Project Worth*

Item	*Net present worth (NPW)*	*Internal rate of return (IRR)*	*Benefit-cost (B/C) ratio*	*Net benefit-investment (N/K) ratio*
Selection criterion	Accept all independent projects with NPW of zero or greater when discounted at opportunity cost of capital (see "Mutually exclusive alternatives," below)	Accept all independent projects with IRR equal to or greater than opportunity cost of capital	Accept all independent projects with B/C ratio of 1 or greater when discounted at opportunity cost of capital	Accept all independent projects with N/K ratio of 1 or greater when discounted at opportunity cost of capital in order of ratio value until available investment funds are exhausted
Ranking	Gives no ranking for order of implementation	May give incorrect ranking among independent projects	May give incorrect ranking among independent projects	May be used to rank independent projects
Mutually exclusive alternatives	Accept alternative with largest NPW when discounted at opportunity cost of capital (NPW is the preferred selection criterion for mutually exclusive alternatives)	Cannot be used directly; must discount differences between incremental net benefit flows of mutually exclusive alternative projects	Cannot be used directly	Cannot be used directly
Discount rate	Must determine a suitable discount rate, generally the opportunity cost of capital	Determined internally; must determine opportunity cost of capital to use as a cut-off rate	Must determine a suitable discount rate, generally the opportunity cost of capital	Must determine a suitable discount rate, generally the opportunity cost of capital

9.11. Sensitivity Analysis

เพื่อให้การวิเคราะห์ด้านเศรษฐกิจและการเงินของโครงการเป็นไปอย่างรอบคอบ ควรทำการทดสอบผลกระทบต่อโครงการ เมื่อเหตุการณ์ต่าง ๆ ที่คาดไว้เปลี่ยนแปลงไป หรือไม่เป็นความจริง เช่น ค่าก่อสร้างเพิ่มขึ้น ต้องเลื่อนเวลาดำเนินการออกไป หรือราคาผลผลิตตกต่ำ การทำการวิเคราะห์เพื่อดูผลที่เกิดขึ้นภายใต้สถานะการณ์ที่เปลี่ยนแปลงนี้ เรียกว่า Sensitivity Analysis โดยทำการวิเคราะห์อีกครั้งภายใต้สถานะการณ์ที่คาดว่าจะเกิดขึ้นเพื่อดูว่าโครงการจะมีผลกระทบต่อปัจจัยต่าง ๆ มากน้อยเพียงใด ปัจจัยสำคัญสำหรับโครงการด้านเกษตรกรรมที่ควรนำมาพิจารณาวิเคราะห์ความไวของโครงการก็คือ ราคา ความล่าช้าของการดำเนินงาน ค่าใช้จ่ายสูงขึ้นและปริมาณผลผลิตต่ำกว่าที่คาดหมายไว้

ราคา (Price) หมายถึง ราคาผลผลิตที่คาดว่าจะขายได้ในอนาคต รวมทั้งการตีราคาค่าแรงงาน ราคาเงา และอัตราแลกเปลี่ยนเงินตราต่างประเทศ ควรทำการทดสอบดูว่าหากราคาต่าง ๆ ที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์โครงการผิดพลาดไปจะมีผลกระทบต่อโครงการหรือไม่มากน้อยเพียงใด ถ้าหากการกำหนดค่าราคาเงา (Shadow Price) มีผลกระทบต่อโครงการควรใช้ราคาตลาด และบันทึกของผลกระทบหรือความไวของโครงการต่อราคาเงา

การดำเนินงานล่าช้า (Delay in implementation) อาจมีผลกระทบต่อโครงการด้านการเกษตร เนื่องจากเกษตรกรไม่สามารถรับเทคโนโลยีใหม่ ๆ ได้ตามที่คาดไว้หรือไม่ยอมรับ หรือมีความล่าช้าในการสั่งซื้อเครื่องจักรเครื่องมือต่าง ๆ ซึ่งจะทำให้ผลประโยชน์ที่คาดว่าจะได้ตามเวลาผิดพลาดและต้องเลื่อนออกไป

ค่าใช้จ่ายสูงขึ้น (Cost Overrun) โครงการมีแนวโน้มที่จะมีผลกระทบสูงต่อค่าใช้จ่ายที่สูงขึ้นอันเนื่องจากราคาวัสดุก่อสร้างสูงขึ้นตามสภาวะตลาด การประเมินราคาที่ผิดพลาดรวมทั้งราคาเครื่องจักรเครื่องมือที่จะต้องซื้อด้วย นอกจากนี้การวางแผนในการดำเนินงานของโครงการที่ไม่เหมาะสมก็จะเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ค่าใช้จ่ายสูงกว่าที่ประเมินไว้ในตอนแรก การทดสอบความไวของโครงการเนื่องมาจากค่าใช้จ่ายสูงขึ้น จะเป็นตัวชี้บอกให้ผู้ตัดสินใจลงทุนทราบถึงความสำคัญของการประเมินราคาค่าใช้จ่ายก่อนตัดสินใจดำเนินการ

ผลผลิต (Yield) การประเมินผลผลิตของโครการมักจะทำการประเมินจากแนวโน้มสูงสุดที่คาดว่าจะได้รับ โดยเฉพาะการนำเอาพืชชนิดใหม่เข้ามาปลูก โดยอาศัยข้อมูลที่ได้จากการทดลอง ซึ่งเมื่อนำมาปลูกในพื้นที่โครงการแล้วอาจจะผิดพลาดได้ง่าย ผู้ทำการวิเคราะห์อาจจะทำการทดสอบความไวของโครงการดูว่าจะมีผลกระทบเพียงใด เมื่อไม่ได้ผลผลิตตามที่คาดไว้ อย่างไรก็ตามควรพิจารณาเน้นเรื่องของการส่งเสริมและให้บริหารทางวิชาการไว้ด้วย

Table 9-9 *Sensitivity Analysis, Jatiluhur Irrigation Project, Indonesia: Most Probable Outcome*
(thousand millions of Rp)

Year	*Incremental cost*	*Incremental benefit*[a]	*Incremental net benefit (cash flow)*	*Discount factor 12%*	*Present worth 12%*	*Discount factor 20%*	*Present worth 20%*	*Discount factor 25%*	*Present worth 25%*
1	0.5	—	− 0.5	0.893	−0.45	0.833	−0.42	0.800	−0.40
2	2.1	0.4	− 1.7	0.797	−1.35	0.694	−1.18	0.640	−1.09
3	3.7	0.8	− 2.9	0.712	−2.06	0.579	−1.68	0.512	−1.48
4	3.7	1.4	− 2.3	0.636	+1.46	0.482	−1.11	0.410	−0.94
5	2.0	2.1	+ 0.1	0.567	+0.06	0.402	+0.04	0.328	+0.03
6	0.5	2.5	+ 2.0	0.507	+1.01	0.335	+0.67	0.262	+0.52
7–30	0.5[b]	2.9[b]	+ 2.4[b]	3.944	+9.47	1.653	+3.97	1.044	+2.51
Total	24.5	76.8	+52.3	8.056	+8.14	4.978	+0.29	3.996	−0.85

Net present worth at 12 percent = Rp+8.14
Economic rate of return = 20 + 5(0.29 ÷ 1.14) = 20 + 5(0.25) = 21 percent
Net benefit-investment (N/K) ratio at 12 percent = Rp12.00 ÷ Rp3.86 = 3.11

Rp Indonesian rupiahs.

Source: Adapted from World Bank, "Djatiluhur Irrigation Project—Indonesia," PA-37 (Washington, D.C., 1970; restricted circulation), p. 26 and annex 10, p. 1. Since this report was published, a spelling reform has changed the spelling of the project area to Jatiluhur.

a. Assumes only an improvement in water control; that is, no accompanying increase in the use of modern inputs.

b. Annual amount for years 7 through 30 inclusive. To reach column total, this amount must be included 24 times. This same convention is adopted wherever it is relevant for all tables in this chapter.

Table 9-10 *Sensitivity Analysis, Jatiluhur Project: Assuming 30 Percent Cost Overrun*
(thousand millions of Rp)

Year	*Incremental cost*	*Incremental benefit*[a]	*Incremental net benefit (cash flow)*	*Discount factor 12%*	*Present worth 12%*	*Discount factor 15%*	*Present worth 15%*	*Discount factor 20%*	*Present worth 20%*
1	0.6	—	− 0.6	0.893	−0.54	0.870	−0.52	0.833	−0.50
2	2.7	0.4	− 2.3	0.797	−1.83	0.756	−1.74	0.694	−1.60
3	4.8	0.8	− 4.0	0.712	−2.85	0.658	−2.63	0.579	−2.32
4	4.8	1.4	− 3.4	0.636	−2.16	0.572	−1.94	0.482	−1.64
5	2.6	2.1	− 0.5	0.567	−0.28	0.497	−0.25	0.402	−0.20
6	0.6	2.5	+ 1.9	0.507	+0.96	0.432	+0.82	0.335	+0.64
7–30	0.6	2.9	+ 2.3	3.944	+9.07	2.782	+6.40	1.653	+3.80
Total	30.5	76.8	+46.3	8.056	+2.37	6.567	+0.14	4.978	−1.82

Net present worth at 12 percent = Rp+2.37
Economic rate of return = 15 + 5(0.14 ÷ 1.96) = 15 + 5(0.07) = 15 percent
B/K ratio at 12 percent = Rp10.03 ÷ Rp7.66 = 1.31

Source: Same as table 10-1.

a. Assumes only an improvement in water control; that is, no accompanying increase in the use of modern inputs.

Table 9-11 *Sensitivity Analysis, Jatiluhur Project: Assuming 10 Percent Lower Price of Rice*
(thousand millions of Rp)

Year	*Incremental cost*	*Incremental benefit*[a]	*Incremental net benefit (cash flow)*	*Discount factor 12%*	*Present worth 12%*	*Discount factor 15%*	*Present worth 15%*	*Discount factor 19%*[b]	*Present worth 19%*
1	0.5	—	− 0.5	0.893	−0.45	0.870	−0.44	0.840	−0.42
2	2.1	0.4	− 1.7	0.797	−1.35	0.756	−1.29	0.706	−1.20
3	3.7	0.7	− 3.0	0.712	−2.14	0.658	−1.97	0.593	−1.78
4	3.7	1.3	− 2.4	0.636	−1.53	0.572	−1.37	0.499	−1.20
5	2.0	1.9	− 0.1	0.567	−0.06	0.497	−0.05	0.419	−0.04
6	0.5	2.2	+ 1.7	0.507	+0.86	0.432	+0.73	0.352	+0.60
7–30	0.5	2.6	+ 2.1	3.944	+8.28	2.782	+5.84	1.825	+3.83
Total	24.5	68.9	+44.4	8.056	+3.61	6.567	+1.45	5.234	−0.21

Net present worth at 12 percent = Rp+3.61
Economic rate of return = 15 + 4(1.45 ÷ 1.66) = 15 + 4(0.87) = 18 percent
N/K ratio at 12 percent = Rp9.14 ÷ Rp5.53 = 1.65

Source: Same as table 10-1.

a. Assumes only an improvement in water control; that is, no accompanying increase in the use of modern inputs.

b. For a discussion of the interpolation interval, see the subsection on "Choosing the discount rate," chapter 9.

เทคนิคของการวิเคราะห์ความไวของโครงการไม่ยุ่งยากซับซ้อน ผู้ทำการวิเคราะห์เหมือนเดิมอีกครั้ง โดยใช้ค่าที่ประเมินใหม่แทน แล้วดูผลกระทบของโครงการจากค่า NPV, IRR และ B/C ratio ดังผลการแสดงในตารางต่อไปนี้ ตารางที่ 9.9 เป็นผลการวิเคราะห์โครงการที่น่าจะเป็น ตารางที่ 9.10 เป็นผลการวิเคราะห์ความไวโครงการ เมื่อค่าใช้จ่ายสูงขึ้น 30 % และตารางที่ 9.11 แสดงผลของราคาผลผลิตลดลง 10 % การวิเคราะห์ความไวของโครงการไม่ใช่สำคัญแต่เพียงเพื่อการตัดสินใจลงทุนเท่านั้น ยังมีความสำคัญต่อการวางแผนจัดการโครงการด้วย เช่น ถ้าโครงการมีความไวต่อการล่าช้า จำเป็นต้องพิจารณาถึงสาเหตุสำคัญที่อาจทำให้เกิดการล่าช้าขึ้น แล้วหาทางเข้าไปหรือลดขั้นตอนต่าง ๆ ออกไป เป็นต้น

9.12. Switching Value

Switching Value คือค่าความเปลี่ยนแปลงของ Sensitive Analysis ในการวิเคราะห์ความไวของโครงการเราใช้ค่าของปัจจัยที่คาดว่าจะเปลี่ยนไปใช้แล้วหาค่าผลกระทบต่อโครงการออกมาเพื่อดูว่าจะยังคงสามารถยอมรับโครงการได้หรือไม่ แต่ในการคำนวณหา Switching Value นั้น เราคำนวณหาว่าค่าของปัจจัยนั้นจะเปลี่ยนไปได้มากน้อยเพียงใดจึงจะทำให้โครงการที่ผลกระทบจนไม่สามารถยอมรับโครงการได้ เพื่อให้ผู้รับผิดชอบทราบถึงจุดวิกฤตของปัจจัยที่มีต่อโครงการ

ตัวอย่างการวิเคราะห์หาค่า Switching Value แสดงไว้ในตารางที่ 9.12 และ 9.13 เมื่อโครงการมีค่า OCC หรือ Discount rate 12% ตารางที่ 9.12 แสดงผลการวิเคราะห์ของโครงการที่น่าจะเป็น ซึ่งได้ค่า NPV = +142) 134 IRR = 21 % และ N/K ratio = 1.80 ในตารางที่ 9.13 แสดงผลการทดสอบหาค่า Switching Value เมื่อผลผลิตลดลงในอัตราส่วนต่าง ๆ กัน ที่จะให้ค่า NPV = 0 หรือ N/K ratio เท่ากับ 1 เมื่อใช้ค่า OCC หรือ Discount rate 12 % เหมือนเดิม ผลจากการทดสอบพบว่า เมื่อผลผลิตลดลง 25% จะได้ค่า NPV = +11,985 และเมื่อผลผลิตลดลง 30 % ได้ค่า NPV -14.044 ในการหาค่า NPV = 0 เพื่อหาปริมาณผลผลิตที่ลดลง ใช้วิธี Interpolation เช่นเดียวกับที่กล่าวมาข้างต้นแล้ว ซึ่งผลการคำนวณจะได้ค่าปริมาณผลผลิตที่ลดลงประมาณ 27 % จะทำให้ค่าของ NPV เกือบเป็นศูนย์ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 9-13

ในการวิเคราะห์หาค่า Switching Value ของปัจจัยสามารถทำได้โดยวิธีเดียวกัน เช่น ในกรณีที่ต้องการหาค่า Switching Value ของโครงการที่ล่าช้า โดยการเลื่อนเวลาที่จะได้ผลประโยชน์ตอบแทนออกไปดังแสดงในตารางที่ 9.14 จากผลการทดสอบพบว่า ค่า Switching Value จะมีค่าอยู่ระหว่าง 2-3 ปี โดยที่ราคาต่าง ๆ ไม่เปลี่ยนแปลง

Table 9-12 *Switching Values, Cotton Processing and Marketing Project, Kenya: Most Probable Outcome*
(thousands of KSh)

Fiscal year	*Incremental cost*	*Incremental benefit*	*Incremental net benefit (cash flow)*	*Discount factor 12%*	*Present worth 12%*	*Discount factor 20%*	*Present worth 20%*	*Discount factor 25%*	*Present worth 25%*
1982	93,004	5,761	− 87,243	0.893	− 77,908	0.833	−72,673	0.800	−69,794
1983	101,140	22,833	− 78,307	0.797	− 62,411	0.694	−54,345	0.640	−50,116
1984	98,049	46,177	− 51,872	0.712	− 36,933	0.579	−30,034	0.512	−26,558
1985	56,135	71,119	+ 14,984	0.636	+ 9,530	0.482	+ 7,222	0.410	+ 6,143
1986	25,385	80,385	+ 55,000	0.567	+ 31,185	0.402	+22,110	0.328	+18,040
1987	31,804	91,348	+ 59,544	0.507	+ 30,189	0.335	+19,947	0.262	+15,601
1988	24,308	94,178	+ 69,870	0.452	+ 31,581	0.279	+19,494	0.210	+14,673
1989	24,032	96,915	+ 72,883	0.404	+ 29,445	0.233	+16,982	0.168	+12,244
1990	23,962	98,097	+ 74,135	0.361	+ 26,763	0.194	+14,382	0.134	+ 9,934
1991	21,314	98,097	+ 76,783	0.322	+ 24,724	0.162	+12,439	0.107	+ 8,216
1992	26,145	98,097	+ 71,952	0.287	+ 20,650	0.135	+ 9,714	0.086	+ 6,188
1993	22,476	98,097	+ 75,621	0.257	+ 19,435	0.112	+ 8,470	0.069	+ 5,218
1994	23,289	98,097	+ 74,808	0.229	+ 17,131	0.093	+ 6,957	0.055	+ 4,114
1995	24,641	98,097	+ 73,456	0.205	+ 15,058	0.078	+ 5,730	0.044	+ 3,232
1996	18,797	98,097	+ 79,300	0.183	+ 14,512	0.065	+ 5,155	0.035	+ 2,776
1997	26,164	98,097	+ 71,933	0.163	+ 11,725	0.054	+ 3,884	0.028	+ 2,014
1998	23,622	98,097	+ 74,475	0.146	+ 10,873	0.045	+ 3,351	0.023	+ 1,713
1999	24,641	98,097	+ 73,456	0.130	+ 9,549	0.038	+ 2,791	0.018	+ 1,322
2000	22,124	98,097	+ 75,973	0.116	+ 8,813	0.031	+ 2,355	0.014	+ 1,064
2001	19,030	98,097	+ 79,067	0.104	+ 8,223	0.026	+ 2,056	0.012	+ 949
Total	730,062	1,685,880	+955,818	7.471	+142,134	4.870	+ 5,987	3.955	−33,027

Net present worth at 12 percent = KSh + 142,134

Economic rate of return = 20 + 5(5,987 ÷ 5,987 + 33,027) = 20 + 5(0.15) = 21 percent

N/K *ratio* = 319,386 + 177,252 = 1.80

KSh Kenyan shillings.

Source: Adapted from World Bank, "Kenya, Cotton Processing and Marketing Project, Staff Appraisal Report," 3355-KE (Washington, D.C., 1981; restricted circulation), pp. 50 and 62.

Table 9-13 *Switching Values, Kenya Cotton Project: Assuming Benefit Shortfall*
(thousands of KSh)

Fiscal year	Assuming 25% shortfall in benefit			Assuming 30% shortfall in benefit			Assuming 27% shortfall in benefit		
	Incremental benefit[a]	Incremental net benefit (cash flow)[b]	Present worth 12%	Incremental benefit[a]	Incremental net benefit (cash flow)[b]	Present worth 12%	Incremental benefit[a]	Incremental net benefit (cash flow)[b]	Present worth 12%
1982	4,321	− 88,683	−79,194	4,033	− 88,971	−79,451	4,206	− 88,798	−79,297
1983	17,125	− 84,015	−66,960	15,983	− 85,157	−67,870	16,668	− 84,472	−67,324
1984	34,633	− 63,416	−45,152	32,324	− 65,725	−46,796	33,709	− 64,340	−45,810
1985	53,339	− 2,796	− 1,778	49,783	− 6,352	− 4,040	51,917	− 4,218	− 2,683
1986	60,289	+ 34,904	+19,791	56,270	+ 30,885	+17,512	58,681	+ 33,296	+18,879
1987	68,511	+ 36,707	+18,610	63,944	+ 32,140	+16,295	66,684	+ 34,880	+17,684
1988	70,634	+ 46,326	+20,939	65,925	+ 41,617	+18,811	68,750	+ 44,442	+20,088
1989	72,686	+ 48,654	+19,656	67,841	+ 43,809	+17,699	70,748	+ 46,716	+18,873
1990	73,573	+ 49,611	+17,910	68,668	+ 44,706	+16,139	71,611	+ 47,649	+17,201
1991	73,573	+ 52,259	+16,827	68,668	+ 47,354	+15,248	71,611	+ 50,297	+16,196
1992	73,573	+ 47,428	+13,612	68,668	+ 42,523	+12,204	71,611	+ 45,466	+13,049
1993	73,573	+ 51,097	+13,132	68,668	+ 46,192	+11,871	71,611	+ 49,135	+12,628
1994	73,573	+ 50,284	+11,515	68,668	+ 45,379	+10,392	71,611	+ 48,322	+11,066
1995	73,573	+ 48,932	+10,031	68,668	+ 44,027	+ 9,026	71,611	+ 46,970	+ 9,629
1996	73,573	+ 54,776	+10,024	68,668	+ 49,871	+ 9,126	71,611	+ 52,814	+ 9,665
1997	73,573	+ 47,409	+ 7,728	68,668	+ 42,504	+ 6,928	71,611	+ 45,447	+ 7,408
1998	73,573	+ 49,951	+ 7,293	68,668	+ 45,046	+ 6,577	71,611	+ 47,989	+ 7,006
1999	73,573	+ 48,932	+ 6,361	68,668	+ 44,027	+ 5,724	71,611	+ 46,970	+ 6,106
2000	73,573	+ 51,449	+ 5,968	68,668	+ 46,544	+ 5,399	71,611	+ 49,487	+ 5,740
2001	73,573	+ 54,543	+ 5,672	68,668	+ 49,638	+ 5,162	71,611	+ 52,581	+ 5,468
Total	1,264,414	+534,352	+11,985	1,180,119	+450,057	−14,044	1,230,695	+500,633	+ 1,572

Proportionate fall that will make net present worth equal zero at 12 percent opportunity cost of capital
= 25 + 5[11,985 + (11,985 + 14,044)] = 25 + 5(0.46) = 27 percent

Source: Same as table 10-4.

a. Most probable incremental benefit in table 10-4 reduced by appropriate proportion.

b. Most probable incremental cost from table 10-4 less incremental benefit here.

c. For a discussion of interpolation methodology, see the subsection on "Computing the internal rate of return" in chapter 9.

Table 9-14 *Switching Values, Kenya Cotton Project: Assuming Benefit Delay*
(thousands of KSh)

Fiscal year	Incremental cost	Most probable outcome: Incremental benefit	Most probable outcome: Incremental net benefit (cash flow)	Most probable outcome: Present worth 12%	Benefit delayed 2 years: Incremental benefit	Benefit delayed 2 years: Incremental net benefit (cash flow)	Benefit delayed 2 years: Present worth 12%	Benefit delayed 3 years: Incremental benefit	Benefit delayed 3 years: Incremental net benefit (cash flow)	Benefit delayed 3 years: Present worth 12%
1982	93,004	5,761	− 87,243	− 77,908	—	− 93,004	−83,053	—	− 93,004	−83,053
1983	101,140	22,833	− 78,307	− 62,411	—	−101,140	−80,609	—	−101,140	−80,609
1984	98,049	46,177	− 51,872	− 36,933	5,761	− 92,288	−65,709	—	− 98,049	−69,811
1985	56,135	71,119	+ 14,984	+ 9,530	22,833	− 33,302	−21,180	5,761	− 50,374	−32,038
1986	25,385	80,385	+ 55,000	+ 31,185	46,177	+ 20,792	+11,789	22,833	− 2,552	− 1,447
1987	31,804	91,348	+ 59,544	+ 30,189	71,119	+ 39,315	+19,933	46,177	+ 14,373	+ 7,287
1988	24,308	94,178	+ 69,870	+ 31,581	80,385	+ 56,077	+25,347	71,119	+ 46,811	+21,159
1989	24,032	96,915	+ 72,883	+ 29,445	91,348	+ 67,316	+27,196	80,385	+ 56,353	+22,767
1990	23,962	98,097	+ 74,135	+ 26,763	94,178	+ 70,216	+25,348	91,348	+ 67,386	+24,326
1991	21,314	98,097	+ 76,783	+ 24,724	96,915	+ 75,601	+24,344	94,178	+ 72,864	+23,462
1992	26,145	98,097	+ 71,952	+ 20,650	98,097	+ 71,952	+20,650	96,915	+ 70,770	+20,311
1993	22,476	98,097	+ 75,621	+ 19,435	98,097	+ 75,621	+19,435	98,097	+ 75,621	+19,435
1994	23,289	98,097	+ 74,808	+ 17,131	98,097	+ 74,808	+17,131	98,097	+ 74,808	+17,131
1995	24,641	98,097	+ 73,456	+ 15,058	98,097	+ 73,456	+15,058	98,097	+ 73,456	+15,058
1996	18,797	98,097	+ 79,300	+ 14,512	98,097	+ 79,300	+14,512	98,097	+ 79,300	+14,512
1997	26,164	98,097	+ 71,933	+ 11,725	98,097	+ 71,933	+11,725	98,097	+ 71,933	+11,725
1998	23,622	98,097	+ 74,475	+ 10,873	98,097	+ 74,475	+10,873	98,097	+ 74,475	+10,873
1999	24,641	98,097	+ 73,456	+ 9,549	98,097	+ 73,456	+ 9,549	98,097	+ 73,456	+ 9,549
2000	22,124	98,097	+ 75,973	+ 8,813	98,097	+ 75,973	+ 8,813	98,097	+ 75,973	+ 8,813
2001	19,030	98,097	+ 79,067	+ 8,223	98,097	+ 79,067	+ 8,223	98,097	+ 79,067	+ 8,223
Total	730,062	1,685,880	+955,818	+142,134	1,489,686	+759,624	+19,375	1,391,589	+661,527	−32,327

Net present worth at 12 percent assuming benefit delayed 2 years = KSh+19,375
Net present worth at 12 percent assuming benefit delayed 3 years = KSh−32,327

Source: Same as table 10-4.

9.13. **การตัดสินใจเลือกโครงการเป็นอิสระต่อกัน** (Mutually Exclusive Projects)

ในการประเมินเพื่อเลือกระหว่างโครงการเป็นอิสระต่อกัน ซึ่งถ้าตัดสินใจเลือกโครงการหนึ่งแล้วจะไม่สามารถเลือกโครงการอื่นได้อีก เช่น การเลือกโครงการขนาดเล็กกับขนาดใหญ่ที่สร้างในที่เดียวกัน การเลือกพัฒนาลำน้ำด้านเหนือน้ำหรือท้ายน้ำในลำน้ำเดียวกัน การออกแบบอาคารประกอบต่างกัน และการพิจารณาเลือกโครงการเอนกประสงค์ (Multipurpose project) การวิเคราะห์โครงการประเภทนี้เพื่อตัดสินใจเลือกดำเนินการ ควรใช้วิธีวิเคราะห์แบบ NPV โดยใช้ค่าเสียโอกาสของเงินทุน (OCC) เป็นอัตราส่วนลดการเปรียบเทียบโดยใช้ค่า IRR และ B/C ratio อาจนำไปสู่การตัดสินใจผิดพลาดได้ จากตัวอย่างท้ายนี้แสดงการวิเคราะห์โครงการ A และ B ซึ่งมีขนาดค่าลงทุนและผลประโยชน์ที่แตกต่างกัน ซึ่งต้องตัดสินใจดำเนินการเพียงโครงการใดโครงการหนึ่ง

โครงการ	ค่าใช้จ่ายรวม	ผลตอบแทนสุทธิต่อปี	อายุโครงการ	NPV (8%)	IRR
A	502	100	10	169	15%
B	780	144	10	186	13%
B-A	278	44	10	17	9.4%

จากตัวอย่างจะเห็นว่าหากใช้ IRR เป็นเกณฑ์ เราก็ควรเลือกโครงการ A มากกว่าโครงการ B เพราะโครงการ A ให้ค่า IRR สูงกว่าโครงการ B ถ้าพิจารณาจากค่า NPV แล้วจะเห็นว่าค่า NPV ของโครงการ จะมากกว่าโครงการ เท่ากับ 17 (ล้านบาท) ซึ่งหมายความว่าถ้าเลือกโครงการจะต้องเสียรายได้ซึ่งเป็นมูลค่าปัจจุบันจำนวนนี้ไป แต่ซึ่งพิจารณาถึงค่าใช้จ่ายแล้ว โครงการจะมีการลงทุนที่สูงกว่าด้วย ฉะนั้นการจะตัดสินใจว่าควรจะเลือกโครงการใดดี จึงจำเป็นต้องพิจารณาต่อไป คือ พิจารณาว่าได้เอาค่าใช้จ่ายส่วนที่เพิ่มขึ้นคือ 278 ไปลงทุนในกิจการนี้จะให้ค่า IRR ออกมาเท่าใด ถ้าหาก IRR ที่ได้มีค่าสูงกว่าค่าเสียโอกาสของทุน (8 %) ก็แสดงให้เห็นว่าการลงทุนในส่วนนี้คุ้มค่า จากตัวอย่างได้ค่า IRR เท่ากับ 9.4 % ซึ่งสูงกว่า 8% ฉะนั้น ในการตัดสินใจจึงควรเลือกโครงการ B มากกว่าโครงการ A

ในกรณีที่โครงการต้องแบ่งการดำเนินงานออกเป็นการย่อย หรือดำเนินการเป็นช่วงเวลา (Phase) ซึ่งเมื่อเลือกทำโครงการเล็กหรือโครงการระยะที่ 1 (Phase I) แล้ว ยังสามารถทำระยะที่ 2 (Phase II) ซึ่งเป็นโครงการใหญ่ได้ กรณีนี้ให้ถือโครงการทั้ง 2 ระยะเป็นโครงการเดียวกัน การวิเคราะห์โครงการสามารถแยกทำได้เป็นแต่ละระยะโดยวิธีการประเมินดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ถ้าผ่านการทดสอบก็สามารถดำเนินการได้ทั้งคู่ และถ้าหากมีเงินทุนเพียงพอก็สามารถดำเนินงานพร้อมกันได้ ทั้งนี้ควรพิจารณาปัจจัยอื่นประกอบด้วย

บรรณานุกรม

1. Baumli, George R. "Principles o Project Formulation for Irrigation and Projects" American Society of Civil Engineering, New York, 1982
2. Chow, V. T., Maident, D.R. and L.W. Mays "Applied Hydrology" McGraw-Hill Company, 1988
3. Gittinger, J.P., "Economic Analysis of Agricultural Projects" EDI Series in Economic Development, 1982
4. Golze, A.R. , "Handbook of Dam Engineering." Van no Strand Reinhold Company.
5. Goodman, Alvin S., "Principles of Water Resource Planning" , Prentice-Hall, Inc.,1984
6. James, L. Douglas, Lee, Robert R., "Economics of Water Resources Planning". McGraw-Hill, Inc., 1971
7. Kiyoshi, OGAWA. "Project Planning for Small Irrigation Project". NIA Training Program, AIT Bangkok, 1987.
8. Linsley, R.K., Jr., M.A. Kohler, J.L.H. Paulhus "Hydrology for engineers" 2nd ed. McGraw-Hill Book, Co. Ltd., New York, 1975.
9. Linsley, R.K., J.B. Franzini, "Water Resource Engineering" McGraw-Hill Kogakusha, Ltd, 1977.
10. Luning, H.A., R.A. Van de Putte "Economic concepts and Resource economics" International Institute for Aerial Survey and Earth Sciences", 1984.
11. Ponrajah, A.J.P., "Design of Irrigation Headworks for small catchments", Irrigation Department, Colombo, 1984.
12. Richards, L.A., Editor, "Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils" U.S.D.A., Agriculture Handbook No.60, 1962.
13. Rydzewski, J.R., "Irrigation Development Planning" John Wiley & Sons, 1987.
14. Shainberg, I., J.D. Oster, "Quality of Irrigation Water" International Irrigation Information Center, IIIC Publication No. 2, 1978.

15. Shanner, W.W., "Project Planning for Developing Economics" Praeger Publishers, 1979.

16. FAIm Guideline : Land Evaluation for Irrigated Agriculture, FAO, 1985.

17. United Nations, "Manual of Standards and Criteria for Planning Water Resource Projects" Water Resource Series, No. 26.

18. United Nations, "The Use and Interpretation of Hydrology Data" Water Resource Series, No. 34

19. United Nations, "Water Resource Project Planning" Water Resource Series, No. 41.

20. Withers, Bruce, Stanley Vipond "Irrigation :Design and Practice" Batsford Academic and Educational limited, London, 1985.

21. ประสิทธิ์ ยิ่งตงศิริ, "การประเมินโครงการ" สถาบันพัฒนาบริหารศาสตร์ NIDA, 2528.

22. ปราโมทย์ ไม้กลัด, "คู่มืองานเขื่อนดินขนาดเล็กและฝาย" สมาคมศิษย์เก่าวิศวกรรมชลประทาน ในพระบรมราชูปถัมภ์, 2525.

23. สมบูรณ์ สุวีระ, "เศรษฐศาสตร์วิศวกรรมแหล่งน้ำ. วสท., 2530.