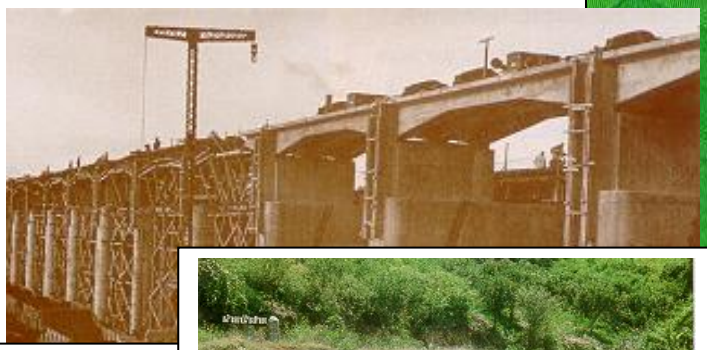
การวางแผนและออกแบบระบบส่งน้ำชลประทาน

Planning and Design of Irrigation Distribution Systems



อาจารย์อรุณ อินทรปาลิต
และคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน

อาจารย์อรุณ อินทรปาลิต
และคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน

ประวัติอาจารย์อรุณ อินทรปาลิต

การศึกษา	ประกาศนียบัตรช่างชลประทาน โรงเรียนการชลประทาน กรมชลประทาน ในปี พ.ศ. 2483 ประกาศนียบัตรสาขา Irrigation Engineering, U.S. Bureau of Reclamation, Denver, Colorado, USA ในปี พ.ศ. 2491 M.S. (Agricultural Economics), Oregon State University, USA ในปี พ.ศ. 2506
ประสบการณ์ในการสอนและการทำงาน	สอนวิชาหลักการชลประทานและวิชาการวางแผนและออกแบบ ระบบระบบส่งน้ำชลประทาน เกือบ 40 ปี เคยเป็นผู้ช่วยผู้อำนวยการกองวิชาการในด้านการคำนวณออกแบบโครงการเขื่อนเจ้าพระยา ผู้อำนวยการวิทยาลัยการชลประทาน กรมชลประทาน หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน และรองคณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

หนังสือการวางแผนและออกแบบระบบส่งน้ำชลประทานเล่มนี้ กล่าวถึงลักษณะ หน้าที่ และความสำคัญของอาคารชลประทานทุกชนิด รวมทั้งอาคารหัวงาน (เขื่อนระบายน้ำ และฝาย) อาคารประกอบ (ประตูระบายทราย บันไดปลา ทางซุง ประตูระบายปากคลองสายใหญ่ บานระบาย ประตูเรือสัญจร) อาคารส่งน้ำ (รางน้ำ ท่อเชื่อม ท่อลอด อาคารน้ำตก) และอาคารควบคุมน้ำชลประทาน (ประตูระบายต่างๆ และท่อส่งน้ำเข้านา) วิธีการเลือกใช้อาคารชลประทานชนิดต่างๆ และการกำหนดที่ตั้งของอาคารชลประทานเหล่านั้น การคำนวณความต้องการน้ำชลประทาน ตลอดจนวิธีการวางแนวและออกแบบคลองส่งน้ำอย่างละเอียด

คำนำ

หนังสือเรื่องการวางแผนและออกแบบระบบส่งน้ำชลประทาน (Planning and Design of Irrigation Water Distribution Systems) เล่มนี้เขียนขึ้นจากประสบการณ์กว่า 20 ปี ในการทำงานออกแบบระบบส่งน้ำชลประทาน ของท่านอาจารย์อรุณ อินทรปาลิต และได้ใช้เป็นตำราด้านการวางแผนและออกแบบระบบส่งน้ำชลประทาน ในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมชลประทาน ตลอดระยะเวลา 20 ปีที่ท่านอาจารย์อรุณ รับราชการอยู่ที่มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และยังคงทำการสอนให้มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์และวิทยาลัยการชลประทานต่อหลังจากเกษียณอายุราชการกว่า 15 ปี หนังสือเล่มนี้เคยได้มีการจัดพิมพ์ในชลกรณบับพิเศษ “72 ปี อาจารย์อรุณ อินทรปาลิต” มาแล้ว เพื่อแจกจ่ายให้ลูกศิษย์ลูกหาที่ต้องการเก็บหนังสือเล่มนี้ไว้เป็นคู่มือการวางแผนและออกแบบระบบส่งน้ำชลประทานต่อไป

ในโอกาสเฉลิมฉลอง 60 ปี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ คณาจารย์ของภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน เห็นพ้องต้องกันว่าหนังสือเล่มนี้มีคุณค่าทางวิชาการสูงมาก และควรจัดพิมพ์หนังสือเล่มนี้เพื่อเผยแพร่แก่สาธารณชนทั่วไป จึงได้ช่วยกันปรับปรุงหนังสือเล่มนี้ใหม่ โดยพยายามคงเนื้อหาสาระและสำนวนของ ท่านอาจารย์อรุณ อินทรปาลิต ไว้

การวางแผนและออกแบบระบบการส่งน้ำชลประทานเป็นวิชาที่สอนต่อเนื่องจากวิชาหลักการชลประทาน (irrigation principle) ซึ่งต้องนำความรู้ทางชลศาสตร์ (hydraulics) โดยเฉพาะอย่างยิ่งเรื่องการไหลของน้ำในทางน้ำเปิด (open channel flow) และการไหลของน้ำผ่านอาคารมาประยุกต์ เพราะฉะนั้นผู้ที่จะศึกษาวิชานี้จึงต้องมีพื้นความรู้ในวิชาหลักการชลประทานและชลศาสตร์เป็นอย่างดีมาก่อน

วัตถุประสงค์ของการศึกษาวิชาการวางแผนและออกแบบระบบการส่งน้ำชลประทานมีดังต่อไปนี้

1. เพื่อศึกษาลักษณะ หน้าที่ และความสำคัญของอาคารชลประทาน (irrigation structures) ทุกชนิด ซึ่งรวมทั้งอาคารทดและส่งน้ำที่หัวงานของโครงการชลประทาน (diversion structures) อาคารส่งน้ำชลประทาน (water conveyance structures) และอาคารบังคับน้ำ (water control structures)

2. เพื่อศึกษาวิธีเลือกใช้อาคารชลประทานชนิดต่างๆ ในเขตส่งน้ำของโครงการชลประทานและการกำหนดที่ตั้งของอาคารชลประทานเหล่านั้น

3. เพื่อศึกษาวิธีคำนวณทางชลประทาน (irrigation design) ของคลองส่งน้ำชลประทานและอาคารชลประทานทุกชนิด

การที่จะให้ผู้ศึกษามีความเข้าใจลึกซึ้งถึงการวางแผนและออกแบบระบบการส่งน้ำชลประทาน ผู้ศึกษาจะต้องปฏิบัติงานโดยการทดลองทำในแผนที่โครงการชลประทานที่กำหนดให้ ซึ่งจะมีการวางแนวคลองส่งน้ำชลประทาน การพิจารณาเลือกใช้อาคารชลประทานชนิดต่างๆ การคำนวณขนาดคลองส่งน้ำและขนาดอาคารชลประทาน การคำนวณปริมาตรดินขุดและดินถมคลองส่งน้ำ การคำนวณเขตคลองส่งน้ำ และอาจมีการศึกษาและดูงานสนามในโครงการชลประทานต่างๆ ด้วย

หนังสือเล่มนี้มี 2 ภาค ภาคที่ 1 เกี่ยวกับหัวงานของโครงการชลประทานและอาคารประกอบมี 3 บท คือ บทนำ อาคารหัวงาน และอาคารประกอบ ภาคที่ 2 มี 4 บท คือ การคำนวณค่าชลภาระ การวางแนวและการออกแบบคลองส่งน้ำ อาคารในคลอง อาคารควบคุมน้ำ และตัวอย่างรายละเอียดการคำนวณออกแบบคลอง ซึ่งถือว่าครอบคลุมเนื้อหาความรู้ที่ต้องใช้ในการวางแผนและออกแบบระบบส่งน้ำชลประทาน อันจะเป็นประโยชน์แก่นิสิตนักศึกษาที่เรียนวิชานี้ และแก่วิศวกรที่ทำงานด้านการออกแบบระบบส่งน้ำชลประทาน

อาจารย์อรุณ อินทรปาลิต
และคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน

รายนามคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมชลประทานที่ร่วมปรับปรุงหนังสือ

(1) รองศาสตราจารย์ ดร.วราวุธ วุฒิวณิชย์

(2) รองศาสตราจารย์ สันติ ทองพำนัก

(3) รองศาสตราจารย์ อดุล วรรณจนา

(4) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นิมิตร เฉิดฉันท์พิพัฒน์

(5) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บัญชา ขวัญยืน

(6) อาจารย์ ดร.เอกสิทธิ์ โฆสิตสกุลชัย

สารบัญ

		หน้า
คำนำ		i
สารบัญ		iv
ภาค 1	หัวงานของโครงการชลประทานและอาคารประกอบ	1
1	ระบบส่งน้ำชลประทานและข้อพิจารณาในการออกแบบ	1
1.1	คำนำ	1
1.2	การชลประทานเหมืองฝาย	2
1.3	ส่วนประกอบของโครงการชลประทานเหมืองฝาย	3
1.3.1	พื้นที่ดินและพืช	4
1.3.2	ต้นน้ำหรือแหล่งน้ำของโครงการ	4
1.4	ลักษณะหน้าที่และส่วนประกอบของหัวงาน	5
1.5	ฝายและเขื่อนระบายน้ำเป็นสิ่งจำเป็นต้องสร้างหรือไม่	7
1.6	การหาที่ตั้งของหัวงาน	7
1.6.1	การหาโดยทางอ้อม	8
1.6.2	การหาโดยทางตรง	8
1.7	ทำเลที่ตั้งของหัวงาน	9
1.7.1	หัวงานในภูเขา	9
1.7.2	หัวงานในบริเวณหัวทุ่งราบติดต่อกับภูเขา	10
1.7.3	หัวงานในบริเวณทุ่งราบ	10
1.8	ลักษณะบริเวณที่ควรเลือกเป็นที่ตั้งของหัวงาน	11
1.9	หลักการกำหนดระดับน้ำใช้การเต็มที่ของหัวงาน	12
1.10	เอกสารอ้างอิง	15
1.11	แบบฝึกหัด	16
2	อาคารหัวงาน	17
2.1	ฝายและเขื่อนระบายน้ำ	17
2.1.1	ฝาย (diversion weir)	17
2.1.2	เขื่อนระบายน้ำ (barrage หรือ diversion dam)	18
2.2	ข้อดีข้อเสียของฝาย	21
2.2.1	ข้อดี	21
2.2.2	ข้อเสีย	21

สารบัญ (ต่อ)

			หน้า
	2.3	ข้อดี-ข้อเสียของเขื่อนระบายน้ำ	21
		2.3.1 ข้อดี	21
		2.3.2 ข้อเสีย	22
	2.4	ลักษณะของฝาย	22
		2.4.1 ฝายชั่วฤดู	22
		2.4.2 ฝายชั่วคราว	24
		2.4.3 ฝายค่อนข้างถาวร	26
		2.4.4 ข้อบกพร่องของฝายชั่วฤดู ฝายชั่วคราว และฝายค่อนข้างถาวร	30
		2.4.5 ฝายถาวร	31
	2.5	แรงซึ่งกระทำต่อฝาย	38
		2.5.1 แรงดันน้ำนิ่ง (static forces)	38
		2.5.2 แรงดันเนื่องจากน้ำไหล (dynamic forces)	38
	2.6	หลักการคำนวณฝาย	39
		2.6.1 ความสามารถของฝายในการระบายน้ำ	39
		2.6.2 ความมั่นคงของฝาย (stability)	49
	2.7	เอกสารอ้างอิง	59
	2.8	แบบฝึกหัด	59
3	อาคารประกอบ		62
	3.1	คำนำ	62
	3.2	ประตูระบายทราย (sand sluices)	62
	3.3	ร่องระบายทราย (sluiceway channels)	63
	3.4	บันไดปลา (fish ladders)	66
	3.5	ทางซุง (logways)	67
	3.6	ประตูระบายปากคลองสายใหญ่ (main headgates)	68
	3.7	บานระบาย (regulating gates)	79
	3.8	ประตูเรือสัญจร (navigation locks)	85
	3.9	เอกสารอ้างอิง	92
	3.10	แบบฝึกหัด	92

สารบัญ (ต่อ)

			หน้า
ภาค 2	การวางแผนและออกแบบระบบส่งน้ำชลประทาน		93
4	ปริมาณน้ำเพื่อการชลประทาน		94
	4.1	ปริมาณการใช้น้ำของพืช	94
	4.2	ปริมาณน้ำที่ต้องการใช้ทำการชลประทาน	98
	4.3	ปริมาณน้ำที่ต้องส่งจากแม่น้ำหรือหัวงานไปทำการชลประทาน	100
	4.4	ประสิทธิภาพการชลประทาน	102
	4.5	ชลภาระ (water duty)	103
	4.6	สิ่งที่ทำให้ค่าของชลภาระเปลี่ยนแปลง	104
		4.6.1 พืช	104
		4.6.2 ฤดูกาล	105
		4.6.3 น้ำฝน	105
		4.6.4 ลักษณะเนื้อดิน	105
		4.6.5 วิธีจัดแปลงเพาะปลูก	105
		4.6.6 การเขตกรรม	106
		4.6.7 วิธีการส่งน้ำ	106
		4.6.8 ความชำนาญและความประหยัดของผู้ใช้น้ำ	106
	4.7	การควบคุมชลภาระ	107
	4.8	ความสำคัญของชลภาระเกี่ยวกับการชลประทาน	108
	4.9	เอกสารอ้างอิง	115
5	การวางแนวและออกแบบคลองส่งน้ำ		116
	5.1	คลองส่งน้ำ (irrigation canals)	116
		5.1.1 คลองดิน (unlined canals)	117
		5.1.2 คลองมีเปลือกหรือคลองดาด (lined canals)	117
	5.2	ประเภทคลองส่งน้ำในระบบส่งน้ำ	119
		5.2.1 คลองสายใหญ่	119
		5.2.2 คลองแยกหรือคลองสาขา (branch canals)	120
		5.2.3 คลองซอย	120
		5.2.4 คลองแยกซอย (sub-laterals)	121

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
5.3	หลักการวางแนวคลองส่งน้ำ	121
5.4	หน้าที่และคุณสมบัติของคลองส่งน้ำ	123
5.5	ส่วนสัดของคลองส่งน้ำ	125
5.6	การเลือกใช้ลาดผิวน้ำในคลอง	127
5.7	การพิจารณารูปตัดขวางของคลองส่งน้ำ	127
5.7.1	รูปตัดขวางของคลองส่งน้ำในท้องถิ่นที่มีตะกอนมากในลำน้ำ	129
5.7.2	รูปตัดขวางของคลองส่งน้ำซึ่งจะส่งน้ำได้สะดวก	142
5.7.3	รูปตัดขวางของคลองส่งน้ำซึ่งจะรั่วซึมได้น้อยที่สุด	143
5.8	ลาดตลิ่งคลอง (side slopes of canals)	144
5.9	คันคลอง (embankments)	146
5.10	ชานคลอง (berms)	152
5.11	เขตคลอง (right of way)	155
5.12	หลักการพิจารณาทั่วไปในการออกแบบคลองส่งน้ำ	156
5.12.1	การเปลี่ยนขนาดและรูปคลอง	156
5.12.2	รัศมีแนวคลองตอนโค้ง	161
5.12.3	ความหนาของคอนกรีตที่ดาดคลอง	161
5.13	เอกสารอ้างอิง	162
5.14	แบบฝึกหัด	162
6	อาคารในคลอง	163
6.1	อาคารในคลองส่งน้ำ (canal structures)	163
6.2	รางน้ำ (flumes)	164
6.2.1	ลักษณะทั่วไปของรางน้ำ (general features of flumes)	166
6.2.2	รางน้ำไม้ (timber flumes)	166
6.2.3	รางน้ำไม้ที่มีเหล็กรัด (Wood stave flumes)	167
6.2.4	รางน้ำโลหะ (metal flumes)	169
6.2.5	รางน้ำคอนกรีต (concrete flumes)	169
6.2.6	รางน้ำที่วางบนพื้นดิน (bench flumes)	170
6.2.7	ส่วนหรือระยะเผื่อล้นในรางน้ำ (freeboard in flumes)	170

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
6.3	ท่อเชื่อม (inverted siphons)	174
6.3.1	การคำนวณขนาดท่อเชื่อม	176
6.3.2	การพิจารณาความมั่นคงของท่อเชื่อม	178
6.4	การรับน้ำจากลำน้ำสายอื่นเข้าคลองส่งน้ำ	178
6.4.1	ท่อระบายหรือประตูระบายรับน้ำ (inlets)	179
6.4.2	ท่อระบายหรือประตูระบายทิ้งน้ำ (outlets)	179
6.5	การตัดผ่านทางคมนาคมทางบก	180
6.5.1	สะพาน (bridges)	180
6.5.2	ท่อลอด (culverts)	180
6.6	ที่ข้ามสัตว์พาหนะ (cattle ramps)	180
6.7	การลดระดับน้ำและระดับท้องคลองส่งน้ำ	181
6.8	อาคารน้ำตก (drops)	183
6.8.1	อาคารน้ำตกแนวดิ่ง (vertical drops)	183
6.8.2	อาคารน้ำตกเอียง (inclined drops)	185
6.9	หลักการออกแบบอาคารน้ำตกแนวดิ่ง	190
6.9.1	อัตราเร็วของน้ำด้านหน้าช่องน้ำตก	190
6.9.2	แรงกระแทกของน้ำที่ตกลงสู่ท้ายน้ำตก	209
6.9.3	การกัดทำลายพื้นด้านท้ายน้ำตกหรืออ่างรับน้ำจากกระแสน้ำวนและกระแสน้ำปั่นป่วนตรงทางออกสู่คลอง	211
6.10	รางเท (Chutes)	211
6.11	เอกสารอ้างอิง	215
6.12	แบบฝึกหัด	216
7	อาคารควบคุมน้ำ	217
7.1	ประตูระบายทดน้ำกลางคลอง (check regulators)	217
7.2	ประตูระบายปลายคลองส่งน้ำ (tail regulators)	218
7.3	ประตูระบายปากคลองซอย (distributary head regulators)	219
7.4	ท่อส่งน้ำเข้านา (farm turnouts)	220
7.5	เอกสารอ้างอิง	226
7.6	แบบฝึกหัด	226

สารบัญ (ต่อ)

			หน้า
8	ตัวอย่างรายละเอียดการคำนวณออกแบบคลอง		227
	8.1	ข้อมูลและข้อกำหนดในการออกแบบ	227
	8.2	การคำนวณหาขนาดความจุคลองส่งน้ำ	228
	8.3	การคำนวณหาขนาดมิติของคลองส่งน้ำตามทฤษฎี	229
	8.4	การคำนวณระดับต่างๆ ในรูปตัดตามยาวคลอง	234
	8.5	การออกแบบคลองส่งน้ำในทางปฏิบัติ	236
	8.6	ตัวอย่างการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Spread Sheet ในการคำนวณออกแบบคลอง	239
	8.7	เอกสารอ้างอิง	243
	8.8	แบบฝึกหัด	243

บทที่ 1 ระบบส่งน้ำชลประทานและข้อพิจารณาในการออกแบบ (Irrigation Distribution System and Design Considerations)

1.1 คำนำ

ความจริงโครงการชลประทานต่างๆ ที่สร้างกันทั่วไปนั้นมีหลายประเภท และการแบ่งประเภทการชลประทาน ก็มีหลายวิธีสุดแล้วแต่ว่าจะถือหลักอะไรในการพิจารณาดังต่อไปนี้

(1) ประเภทการชลประทานแบ่งตามลักษณะของอิทธิพลที่ทำให้น้ำไหล

ก. การชลประทานเหมืองฝาย (gravity irrigation)

ข. การชลประทานสูบน้ำ (pumping irrigation)

- สูบน้ำโดยแรงคน
- สูบน้ำโดยแรงสัตว์
- สูบน้ำโดยแรงน้ำ
- สูบน้ำโดยแรงลม
- สูบน้ำโดยเครื่องสูบน้ำ

(2) ประเภทการชลประทานแบ่งตามลักษณะของต้นน้ำที่รับน้ำมาใช้

ก. รับน้ำจากลำน้ำธรรมชาติ (natural streams)

ข. รับน้ำจากแหล่งเก็บน้ำหรืออ่างเก็บน้ำ (reservoirs or tanks)

ค. รับน้ำจากบ่อน้ำธรรมดา (ordinary wells)

ง. รับน้ำจากบ่อน้ำบาดาล (artesian wells)

จ. รับน้ำจากอุโมงค์น้ำ (tunnels)

(3) ประเภทการชลประทานแบ่งตามวิธีส่งน้ำ

ก. ส่งน้ำตลอดเวลา (continuous irrigation)

ข. ส่งน้ำเป็นรอบเวร (ortational irrigation)

ค. ส่งน้ำเป็นครั้งคราว (intermittent irrigation)

ง. ส่งน้ำตามความต้องการของพืชในวัยต่างๆ

(4) ประเภทการชลประทานแบ่งตามวิธีให้น้ำ (วิบูลย์. 2526)

ก. ให้น้ำแบบบนผิวดิน (surface irrigation) (วราวุธ. 2545)

- แบบท่วมตามยถากรรม (uncontrolled or wild flooding)

- แบบท่วมเป็นผืนยาว (border-strip flooding)
- แบบท่วมเป็นอ่าง (basin flooding)
- แบบร่องคู (furrow method)

ข. ให้น้ำแบบใต้ผิวดิน (sub-irrigation)

- แบบควบคุมระดับน้ำใต้ดินด้วยคูน้ำหรือท่อน้ำใต้ดิน (artificial sub-irrigation)
- แบบตามธรรมชาติ (real sub-irrigation)

ค. ให้น้ำแบบฉีดฝอย (sprinkler irrigation)

ง. ให้น้ำแบบน้ำหยด (drip or trickle irrigation)

(5) ประเภทการชลประทานแบ่งตามผลประโยชน์

ก. มีผลกำไร (productive irrigation)

ข. บรรเทาทุกข์ (protective irrigation)

ในวิชาการวางแผนและออกแบบระบบการส่งน้ำชลประทานจะเน้นกล่าวเฉพาะการชลประทานเหมืองฝาย เท่านั้น

1.2 การชลประทานเหมืองฝาย (Gravity Irrigation)

การชลประทานเหมืองฝายเป็นการชลประทานซึ่งใช้อิทธิพลของแรงโน้มถ่วงของโลก (gravity) ทำให้น้ำไหลจากแม่น้ำเข้าคลองส่งน้ำไปสู่พื้นที่เพาะปลูกได้เองโดยไม่ต้องใช้พลังงานอย่างใดยกน้ำขึ้น

ถ้าระดับน้ำในแม่น้ำอยู่ต่ำจนน้ำไม่ไหลเข้าคลองส่งน้ำหรือไหลเข้าไม่เต็มที่ตามความต้องการแล้ว จะต้องสร้างอาคารทดน้ำ ได้แก่ ฝาย หรือเขื่อนระบายน้ำขวางกั้นแม่น้ำเพื่ออัดหรือทดน้ำในแม่น้ำให้สูงขึ้นจนถึงระดับที่จะไหลเข้าคลองส่งน้ำได้สะดวกและเต็มที่ตลอดเวลาที่ต้องการส่งน้ำ

โครงการชลประทานขนาดใหญ่โดยมากเป็นโครงการชลประทานเหมืองฝายทั้งสิ้น เพราะเหมาะที่จะสร้างขึ้นในเนื้อที่กว้างใหญ่ ถึงแม้ว่าค่าลงทุนก่อสร้างทั้งหมดในครั้งแรกจะสูงมาก แต่อัตราค่าลงทุนต่อหนึ่งหน่วยเนื้อที่รับน้ำเมื่อเปรียบเทียบกับการชลประทานประเภทอื่นแล้วจะถูกกว่ามาก และเมื่อสร้างเสร็จแล้วก็ไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายอื่นใดอีก นอกจากค่าบริหารงานส่งน้ำและค่าบำรุงรักษาประจำปีเท่านั้น

วิชาการวางแผนและออกแบบระบบการส่งน้ำชลประทานที่จะศึกษาต่อไปนี้จึงเกี่ยวกับ **โครงการชลประทานเหมืองฝายโดยเฉพาะ**

1.3 ส่วนประกอบของโครงการชลประทานเหมืองฝาย

โครงการชลประทานเหมืองฝายมีส่วนประกอบสำคัญ 5 ประการคือ

(1) พื้นที่ดินและพืช

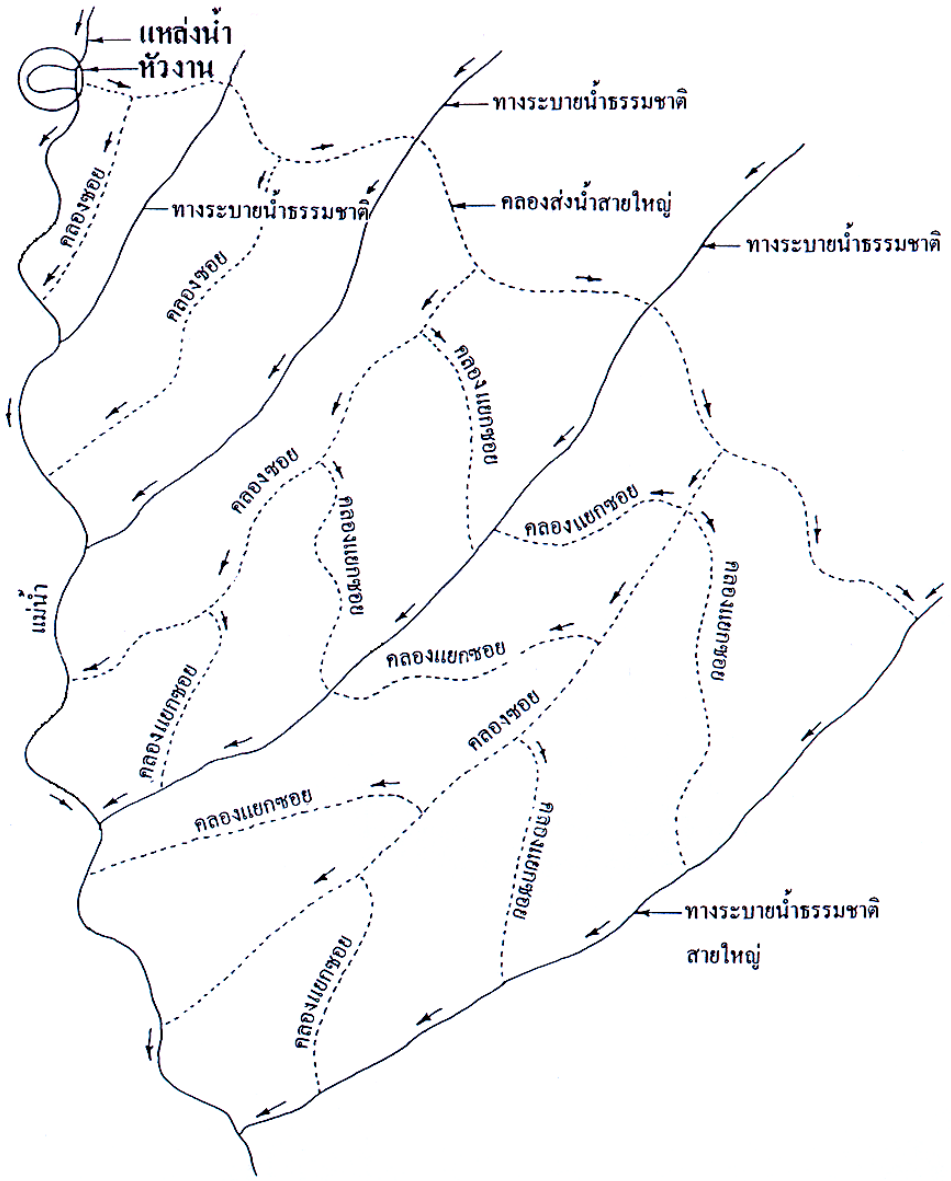
(2) ต้นน้ำหรือแหล่งน้ำของโครงการ

(3) หัวงานของโครงการ

(4) คลองส่งน้ำสายใหญ่

(5) ระบบการส่งน้ำหรือคลองซอย

แผนที่แสดงลักษณะโครงการชลประทานประเภทเหมืองฝายแสดงอยู่ในรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 แผนที่โครงการชลประทาน

1.3.1 พื้นที่ดินและพืช

โครงการชลประทานทุกแห่งย่อมมีขอบเขตที่ดินซึ่งรับน้ำชลประทานไปใช้ปลูกพืชกำหนดไว้อย่างแน่ชัด ถ้าเป็นโครงการเล็กก็มีพื้นที่น้อย แต่ถ้าเป็นโครงการใหญ่จะมีขอบเขตของโครงการกว้างขวางครอบคลุมพื้นที่หลายแสนไร่หรือหลายล้านไร่

พื้นที่ของโครงการชลประทานแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

(1) พื้นที่ทั้งหมด (total area)

คือพื้นที่ดินทั้งหมดภายในเขตโครงการนั้น หรือเป็นพื้นที่เต็ม 100%

(2) พื้นที่ชลประทาน (irrigable area)

คือพื้นที่ดินซึ่งใช้ปลูกพืชภายในเขตโครงการ ซึ่งจะส่งน้ำชลประทานไปถึงได้ เพราะฉะนั้นพื้นที่ชลประทานจึงเท่ากับพื้นที่ทั้งหมดหักออกด้วยพื้นที่ซึ่งไม่ต้องการส่งน้ำชลประทานให้ ได้แก่ ที่ลุ่ม หนอง บึง ลำน้ำ ลำคลอง ที่อยู่อาศัยของประชาชน ฯลฯ และพื้นที่ซึ่งส่งน้ำชลประทานให้ไม่ได้เช่น ที่สูง เนินดิน ภูเขา ฯลฯ เหล่านี้เป็นต้น ในทางปฏิบัติพื้นที่ชลประทานคิดเป็นเปอร์เซนต์ของพื้นที่ทั้งหมดเช่น 70% ถึง 90% ซึ่งแล้วแต่สภาพของพื้นที่ดินและประชาชนภายในเขตโครงการ ลักษณะของพื้นที่ดิน สภาพของการปลูกพืช สภาพทางอุทกวิทยาและอุตุนิยมวิทยา พื้นที่ชลประทานเป็นพื้นที่ซึ่งจะนำมาคิดปริมาณน้ำที่ต้องส่งไปใช้ทำการชลประทาน

สำหรับพืชที่ปลูกภายในเขตโครงการชลประทานแห่งหนึ่งอาจเป็นพืชชนิดเดียวกันโดยตลอดหรือเป็นพืชต่างชนิดก็ได้

1.3.2 ต้นน้ำหรือแหล่งน้ำของโครงการ

ต้นน้ำของโครงการชลประทานคือ แม่น้ำ ลำธาร หรือลำน้ำต่างๆ ซึ่งจะรับเอาน้ำมาใช้ทำการชลประทาน แม่น้ำบางสายอาจมีปริมาณน้ำเพียงพอตลอดเวลาทำการชลประทาน แต่บางสายอาจมีปริมาณน้ำไม่พอ จึงต้องสร้างการเก็บน้ำ (storage of water) ขึ้นช่วยเหลือการชลประทานด้วย เช่น การสร้างเขื่อนแก่งกระจานเก็บน้ำไว้ช่วยเหนือโครงการชลประทานเพชรบุรีเป็นต้น

สำหรับส่วนประกอบของโครงการชลประทานอีก 3 ประการคือ หัวงานของโครงการ (headworks) คลองส่งน้ำสายใหญ่ (main canals) และระบบการส่งน้ำหรือคลองซอย (distribution systems) นั้น จะกล่าวไว้ต่างหากโดยละเอียดเพราะเป็นเนื้อหาสำคัญของวิชาการวางแผนและออกแบบระบบส่งน้ำชลประทาน

1.4 ลักษณะหน้าที่และส่วนประกอบของหัวงาน

"หัวงาน" ของโครงการชลประทานแปลมาจากคำภาษาอังกฤษคือ "headworks" ซึ่งหมายถึงบรรดาสิ่งก่อสร้างทั้งหมดซึ่งสร้างไว้ที่ต้นน้ำคือแม่น้ำ เพื่ออัดทดน้ำในแม่น้ำให้มีระดับสูงกว่าระดับน้ำปกติตามธรรมชาติ น้ำก็จะไหลเข้าสู่คลองส่งน้ำที่ขุดขึ้นได้สะดวกและขึ้นถึงระดับพื้นดินข้างคลองส่งน้ำได้เร็วโดยไม่ต้องขุดคลองส่งน้ำลึกและยาวเกินไป คำว่าหัวงานนี้ยังมีความหมายรวมถึงบรรดาสิ่งก่อสร้างทั้งหมดซึ่งสร้างไว้ที่ปากคลองส่งน้ำสายใหญ่เพื่อควบคุมการส่งน้ำเข้าคลองด้วย

ตามปกติ หัวงานของโครงการชลประทานทุกแห่งประกอบด้วยอาคาร 3 ชนิดคือ

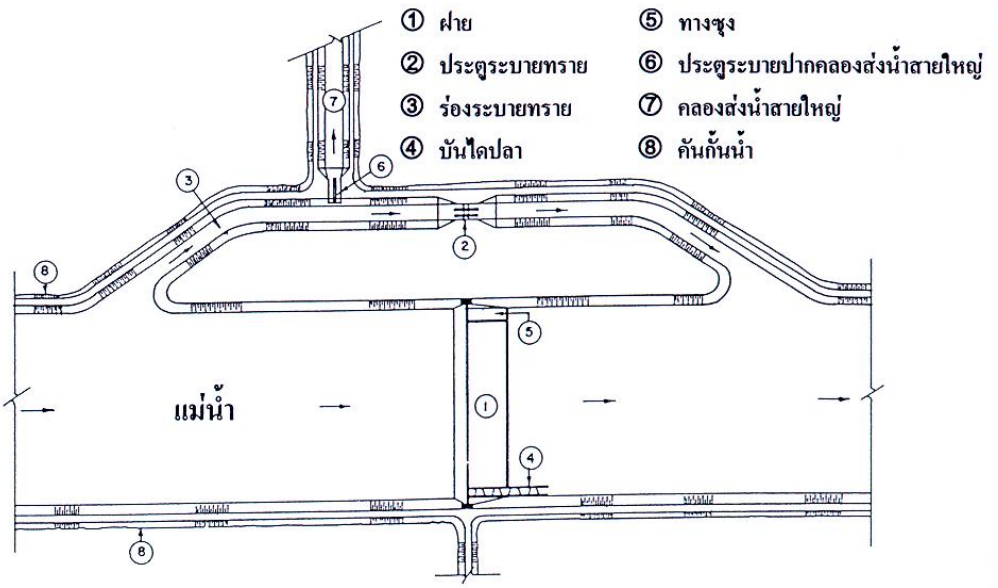
(1) อาคารทดและส่งน้ำ (diversion structures) ได้แก่

- ฝาย (diversion weir) หรือ
- เขื่อนระบายน้ำ (barrage หรือ diversion dam)

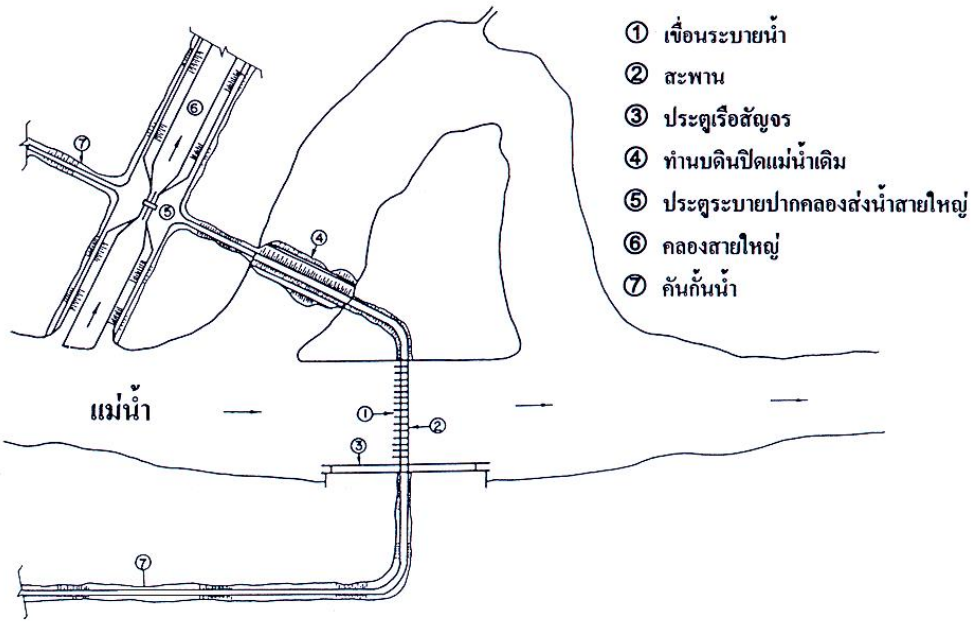
(2) อาคารประกอบ (appurtenant structures)

เป็นอาคารที่สร้างประกอบกับฝายหรือเขื่อนระบายน้ำ เพื่อให้หัวงานทำหน้าที่ได้อย่างสมบูรณ์ ดังแสดงในรูปที่ 1.2 และ 1.3

- **อาคารประกอบฝาย** ได้แก่
  - ประตูระบายทราย (sand sluice หรือ scouring sluice)
  - ร่องระบายทราย (sluiceway channel)
  - กำแพงแบ่งร่องน้ำ (division wall)
  - บันไดปลา (fish ladder)
  - ทางซุง (logway)
  - สะพาน (bridge)
  - คันกั้นน้ำ (flood protective dikes)
- **อาคารประกอบเขื่อนระบายน้ำ** ได้แก่
  - บันไดปลา (fish ladder)
  - ประตูเรือสัญจร (navigation lock)
  - สะพาน (bridge)
  - ทำนบดินปิดแม่น้ำเดิม (closure dam)
  - คันกั้นน้ำ (flood protective dikes)



รูปที่ 1.2 ฝายและอาคารประกอบ



รูปที่ 1.3 เขื่อนระบายน้ำและอาคารประกอบ

(3) อาคารที่ปากคลองส่งน้ำสายใหญ่ ได้แก่

- ประตูระบายปากคลองส่งน้ำสายใหญ่ (headgate of main canal)
- ประตูเรือสัญจร (navigation lock)
- ที่ดักทราย (sand trap)

หัวงานของโครงการชลประทานหลายแห่งในประเทศไทยมีอาคารทดน้ำเป็นฝายหรือเขื่อนระบายน้ำ สำหรับอาคารประกอบและอาคารที่ปากคลองส่งน้ำสายใหญ่นั้นแต่ละหัวงานอาจจะมีไม่เหมือนกัน และไม่จำเป็นต้องมีครบทุกอย่างตามที่กล่าวไว้ข้างต้น

1.5 ฝายและเขื่อนระบายน้ำเป็นสิ่งจำเป็นต้องสร้างหรือไม่

ความจริงฝาย (diversion weir) และเขื่อนระบายน้ำ (barrage หรือ diversion dam) นั้น ถ้าพิจารณาตามหลักการส่งน้ำแล้วก็ไม่ใช่สิ่งจำเป็นต้องสร้างเสมอไป คือถ้าระดับน้ำในแม่น้ำสายใดสูงพอที่จะไหลเข้าคลองส่งน้ำได้สะดวกและขึ้นถึงระดับพื้นดินข้างคลองได้เร็วอยู่ตลอดฤดูส่งน้ำแล้ว เพียงแต่ขุดคลองส่งน้ำออกจากแม่น้ำ น้ำจะไหลเข้าคลองไปสู่พื้นที่เพาะปลูกได้เอง ลักษณะการส่งน้ำหรือการชลประทานแบบนี้เรียกว่าการชลประทานรับน้ำนอง (inundation)

อย่างไรก็ดี แม่น้ำที่มีพฤติการณ์ของระดับน้ำดังกล่าวนี้มีน้อยมากหรือแทบจะหาไม่ได้เลย เพราะระดับน้ำในแม่น้ำจะผันแปรขึ้นๆ ลงๆ ตลอดเวลา โอกาสที่น้ำในแม่น้ำจะขึ้นสูงถึงระดับที่จะไหลเข้าคลองส่งน้ำได้สะดวกจึงมีเพียงปีละไม่กี่วัน น้ำจึงไหลเข้าคลองไม่สม่ำเสมอ คือบางเวลาจะมีน้ำไหลเข้าคลองมาก บางเวลาก็น้อย และบางเวลาที่ระดับน้ำในแม่น้ำต่ำกว่าระดับท้องคลองส่งน้ำก็จะไม่มีน้ำไหลเข้าคลองเลย

ดังนั้นเพื่อที่จะให้การส่งน้ำเข้าคลองเป็นไปโดยสม่ำเสมอตลอดฤดูส่งน้ำ จึงต้องสร้างอาคารทดน้ำคือฝายหรือเขื่อนระบายน้ำขึ้นทดน้ำในแม่น้ำให้สูงถึงระดับที่ต้องการตลอดเวลา

1.6 การหาที่ตั้งของหัวงาน

การหาที่ตั้งของหัวงานมี 2 วิธี คือ

(1) การหาโดยทางอ้อม

(2) การหาโดยทางตรง

1.6.1 การหาโดยทางอ้อม

ทำโดยวิธีกำหนดจุดปลายคลองส่งน้ำสายใหญ่ขึ้นในภูมิประเทศจริงตรงบริเวณที่มีระดับพื้นดินสูงมากพอที่จะส่งน้ำจากคลองไปทำการชลประทานในพื้นที่ตอนล่างสุดของโครงการได้ทั่วถึง จากจุดปลายคลองที่กำหนดขึ้นนี้ให้วางแนวคลองส่งน้ำสายใหญ่ย้อนขึ้นไปหาปากคลองโดยให้คลองมีลาดตามยาวราบกว่าลาดตามยาวของแม่น้ำ ในที่สุดแนวคลองส่งน้ำสายใหญ่จะไปตัดแนวแม่น้ำเข้า ณ ที่แห่งหนึ่งก็ตั้งหัวงานขึ้นตรงที่นั้น การหาที่ตั้งของหัวงานโดยทางอ้อมนี้ ควรใช้เมื่อไม่มีแผนที่ภูมิประเทศของโครงการโดยละเอียด หรือไม่มีแผนที่จะใช้งานเลย ฉะนั้นการกำหนดจุดปลายคลองส่งน้ำสายใหญ่จึงต้องพิจารณาเลือกในภูมิประเทศจริงอย่างรอบคอบ

1.6.2 การหาโดยทางตรง

ทำโดยวิธีออกไปสำรวจดูแม่น้ำที่ใช้เป็นต้นน้ำของโครงการชลประทาน เมื่อพบทำเลที่มีลักษณะเหมาะสมก็ใช้ที่นั้นเป็นที่ตั้งของหัวงาน แล้วจึงวางแนวคลองส่งน้ำสายใหญ่ออกจากหัวงานเข้าไปสู่เขตโครงการ โดยใช้ลาดตามยาวของคลองราบกว่าลาดตามยาวของแม่น้ำ

การหาที่ตั้งของหัวงานโดยตรงจึงเป็นวิธีตรงกันข้ามกับการหาโดยทางอ้อม และทั้ง 2 วิธีนี้มีทั้ง**ข้อดี** และ**ข้อเสีย** ด้วยกัน คือการหาโดยทางอ้อมนั้นแนวคลองส่งน้ำสายใหญ่จะไต่ลัดเลาะไปตามระดับแผ่นดินสูงสุดของโครงการ การส่งน้ำจึงสะดวกและทั่วถึงกันดีทั้งโครงการนับว่าเป็นข้อดีในแง่การส่งน้ำ และแนวคลองส่งน้ำสายใหญ่จะเป็นขอบเขตด้านหนึ่งของโครงการ ส่วนข้อเสียก็คือเมื่อวางแนวคลองส่งน้ำสายใหญ่ย้อนขึ้นไปหาปากคลอง แนวคลองอาจไปตัดแนวแม่น้ำตรงที่มีลักษณะไม่เหมาะจะตั้งเป็นหัวงาน เช่นแม่น้ำมีรูปตัดขวางไม่สม่ำเสมอ สภาพและลักษณะดินตลิ่งแม่น้ำไม่ดี แนวแม่น้ำในบริเวณนั้นคดเคี้ยวมาก ฯลฯ อย่างไรก็ดี ในทางปฏิบัติจะแก้ไขได้โดยเลื่อนที่ตั้งของหัวงานจากที่เดิมขึ้นไปยังที่ใหม่ทางด้านเหนือน้ำซึ่งมีลักษณะเหมาะสมกว่า แต่แนวคลองส่งน้ำก็จะต้องยาวขึ้น สำหรับการหาที่ตั้งของหัวงานโดยตรงมีข้อดีในแง่ที่ลักษณะของแม่น้ำตรงที่ตั้งของหัวงานเหมาะสมดีเพราะไปเลือกเอาในภูมิประเทศ ส่วนข้อเสียอาจเกิดขึ้นได้ถ้าหัวงานตั้งอยู่ในที่ไม่สูงพอ เมื่อกำหนดระดับน้ำใช้การเต็มที่ที่หัวงานขึ้น และวางแนวคลองส่งน้ำสายใหญ่จากหัวงานเข้าไปในโครงการแล้ว แนวคลองจะไต่ไปไม่ถึงแนวระดับแผ่นดินสูงสุดของโครงการ จะเสียพื้นที่ส่งน้ำมากหรือทำให้พื้นที่ของโครงการลดน้อยลง การแก้ไขอาจทำได้โดยเพิ่มระดับน้ำใช้การเต็มที่ซึ่งกำหนดไว้เดิมที่หัวงานให้สูงขึ้นอีก แล้ววางแนวคลองส่งน้ำสายใหญ่ออกไปใหม่ แนวคลองอาจไต่ไปตามแนวระดับแผ่นดินสูงสุดของโครงการได้ แต่การกำหนดระดับน้ำใช้การเต็มที่ที่หัวงานสูงมากเช่นนี้ อาคารทดน้ำจะต้องสูงตามไปด้วย ทำให้เสียค่าก่อสร้างหัวงานมากขึ้น

1.7 ทำเลที่ตั้งของหัวงาน

หัวงานของโครงการชลประทานที่สร้างขึ้น ณ ที่ซึ่งหาได้โดยทางอ้อมหรือโดยตรงก็ตาม ย่อมตั้งอยู่ในทำเลแห่งใดแห่งหนึ่งดังต่อไปนี้ (ดูรูปที่ 1.4)

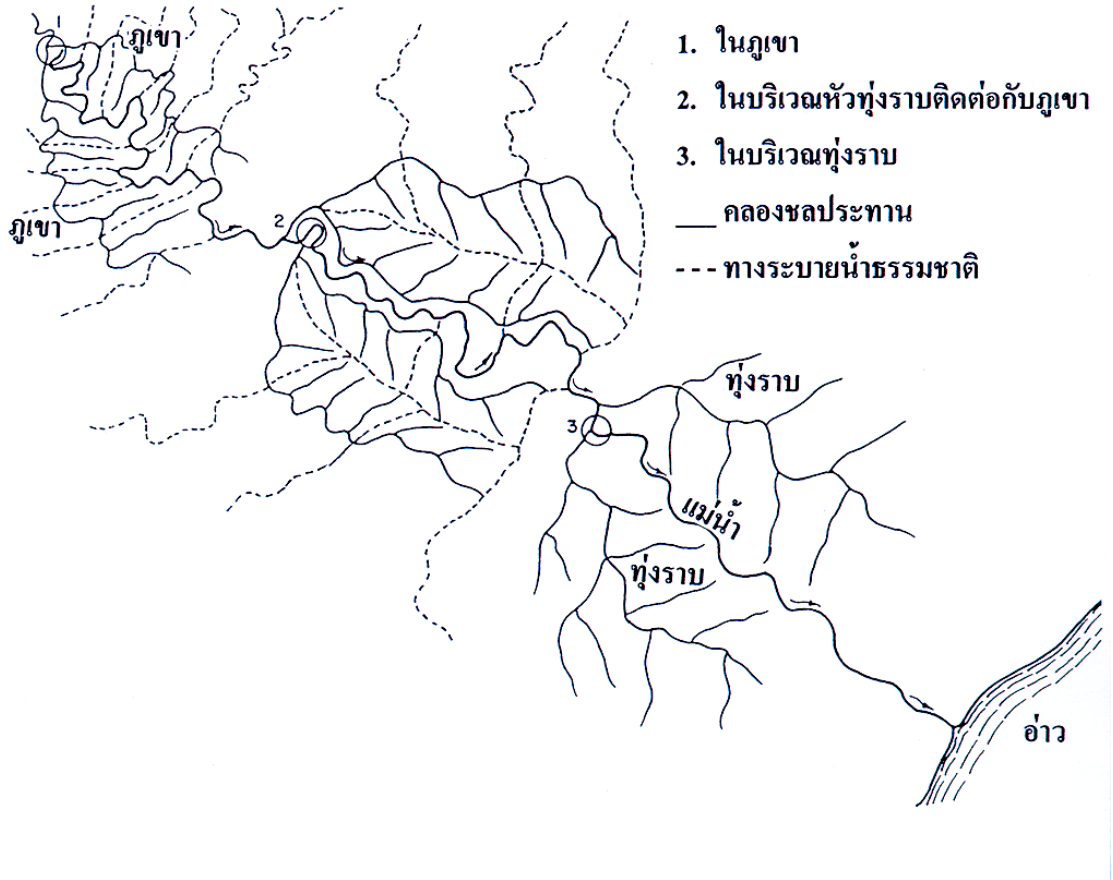
(1) ในภูเขา

(2) ในบริเวณหัวทุ่งราบติดต่อกับภูเขา

(3) ในบริเวณทุ่งราบ

1.7.1 หัวงานในภูเขา

ในภูเขามักจะสร้างหัวงานได้ยากและเสียค่าก่อสร้างมาก ลักษณะของท้องแม่น้ำส่วนใหญ่เป็นหินดานหรือหินก้อนใหญ่ การสร้างอาคารทดน้ำบนหินดานซึ่งมีไม่ตลอดความกว้างของท้องแม่น้ำนั้น อาคารทดน้ำอาจชำรุดเพราะการทรุดตัวเนื่องจากฐานรากมีความสามารถรับน้ำหนักบรรทุกไม่เท่ากันได้ มิฉะนั้นจะต้องเสียค่าก่อสร้างฐานรากมาก



รูปที่ 1.4 ประเภททำเลที่ตั้งหัวงาน

ลาดตามยาวของแม่น้ำและความลาดเทของแผ่นดินสองฟากแม่น้ำในบริเวณภูเขาจะชันมาก ลักษณะภูมิประเทศทั่วไปขรุขระ ขุดคลองส่งน้ำออกจากหัวงานไปได้ยาก เพราะแนวคลองจะถูกบังคับให้เดินไปตามทางที่จำกัด บางทีจะต้องสร้างอาคารพิเศษแทนการขุดคลอง เช่น ทำเป็นรางน้ำ (flumes) ไต่ลัดเลาะไปตามชายเขาริมแม่น้ำ หรือต้องเจาะอุโมงค์ (tunnels) ทะลุภูเขาเพื่อนำเอาน้ำจากหัวงานออกไปสู่พื้นที่เพาะปลูกในเขตโครงการซึ่งอยู่ไกลออกไป คลองส่งน้ำมักตัดลำห้วยขนาดใหญ่บ่อยๆ ทำให้ต้องสร้างอาคารตัดผ่าน เช่น รางน้ำ (flumes) ท่อเชื่อม (siphons) ประตูรับน้ำ (inlets) ประตูทิ้งน้ำ (outlets) หรือทางทิ้งน้ำ (wasteweays) ขนาดใหญ่หลายแห่ง

เพราะฉะนั้นถ้าไม่จำเป็นแล้ว**ไม่ควรตั้งหัวงานไว้ในภูเขา** สำหรับอาคารทดน้ำที่สร้างต้องเป็น**ฝาย (diversion weir)** อย่างเดียวเท่านั้น

1.7.2 หัวงานในบริเวณหัวทุ่งราบติดต่อกับภูเขา

ในทำเลนี้ลักษณะดินฐานรากของอาคารทดน้ำและดินตลิ่งแม่น้ำจะมั่นคงแข็งแรงดีมาก ท้องแม่น้ำเป็นกรวดหรือทรายหยาบและอาจมีชั้นดินเหนียวทึบน้ำ (hardpan) หรือดินดานอยู่ตื้นใกล้ระดับท้องแม่น้ำ ลักษณะดินเช่นนี้จะช่วยประหยัดค่าก่อสร้างฐานรากและพื้นของอาคารทดน้ำได้มาก และอาคารทดน้ำจะปลอดภัยจากน้ำซึมลอดใต้พื้นด้วย

ลักษณะภูมิประเทศสองฟากแม่น้ำมักเรียบดี แผ่นดินมีความลาดเทพอสมควร ทำให้การขุดคลองส่งน้ำออกจากหัวงานเข้าสู่เขตที่ต้องการใช้น้ำทำได้สะดวก และคลองก็มั่นคงแข็งแรงดีเพราะลักษณะดินดี แนวคลองส่งน้ำไม่ค่อยตัดลำห้วยขนาดใหญ่ ไม่ต้องเสียค่าก่อสร้างอาคารตัดผ่านมากนัก

อาคารทดน้ำของหัวงานในบริเวณหัวทุ่งราบติดต่อกับภูเขาอาจเป็นฝาย (diversion weir) หรือเขื่อนระบายน้ำ (barrage หรือ diversion dam) อย่างใดอย่างหนึ่ง ถึงแม้ว่าอาคารทดน้ำจะเป็นฝายก็ไม่ก่อให้เกิดความเสียหาย เพราะน้ำท่วมแผ่นดินสองฟากแม่น้ำ เพราะด้านเหนือน้ำของฝายเป็นที่สูงหรือป้องกันน้ำท่วมได้ง่าย

บริเวณหัวทุ่งราบติดต่อกับภูเขาจึงเป็นทำเลที่ควรสร้างหัวงานมากที่สุด

1.7.3 หัวงานในบริเวณทุ่งราบ

ลักษณะดินท้องแม่น้ำในบริเวณทุ่งราบมักเป็นทรายหรือดินเหนียว อาจมีชั้นดินเหนียวหรือดินดานอยู่เบื้องล่างแต่มักจะอยู่ลึกลงไปจากระดับท้องแม่น้ำมาก การตอกเข็มพืด (sheet piles) ป้องกันน้ำซึมลอดใต้พื้นของอาคารทดน้ำโดยเด็ดขาดจึงทำไม่ได้ เข็มพืดที่ตอกไว้จึงมี

ประโยชน์เพียงช่วยยืดระยะทางที่น้ำจะต้องซึมลอดใต้พื้นของอาคารทดน้ำให้ยาวขึ้นจนน้ำหมดกำลัง ไม่สามารถจะกัดและพาเม็ดดินใต้พื้นออกไปได้เท่านั้น เพราะฉะนั้นการออกแบบพื้นของอาคารทดน้ำซึ่งสร้างขึ้นในบริเวณทุ่งราบจึงต้องได้รับการพิจารณาอย่างรอบคอบ

ลักษณะภูมิประเทศสองฟากแม่น้ำเรียบดีมาก แต่แผ่นดินค่อนข้างราบหรือมีความลาดเทน้อย การขุดคลองส่งน้ำจากหัวงานเข้าไปสู่เขตที่ต้องการใช้น้ำทำได้สะดวก แต่คลองจะมีขนาดกว้างใหญ่กว่าปกติเพราะน้ำในคลองไหลช้า

อาคารทดน้ำของหัวงานในบริเวณทุ่งราบเป็นเขื่อนระบายน้ำ (barrage หรือ diversion dam) แต่อย่างเดียว จะสร้างฝาย (diversion weir) ขึ้นในทำเลนี้ไม่ได้ เพราะฝายจะทำให้เกิดน้ำท่วมแผ่นดินสองฟากแม่น้ำด้านเหนือน้ำของฝายซึ่งเป็นที่อยู่อาศัยของประชาชนและเป็นพื้นที่เพาะปลูกเสียหาย หรือทำให้แม่น้ำเปลี่ยนทางเดินใหม่ เขื่อนระบายน้ำที่สร้างไม่ค่อยสูงแต่จะกว้างและมีช่องระบายน้ำหลายช่อง เพราะลักษณะของแม่น้ำในทุ่งราบไม่ลึกแต่ค่อนข้างกว้าง และตามปกติระดับหลังกำแพงหรือหลังตอม่อของเขื่อนระบายน้ำสูงเสมอระดับตลิ่งแม่น้ำหรือสูงกว่าเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

เขื่อนระบายน้ำที่สร้างจะทดน้ำได้สูง น้ำขึ้นถึงระดับพื้นดินตามแนวคลองส่งน้ำได้เร็ว คลองส่งน้ำที่ขุดจากหัวงานเข้าสู่เขตที่ต้องการใช้น้ำจะสั้นกว่าทุกทำเล

1.8 ลักษณะบริเวณที่ควรเลือกเป็นที่ตั้งของหัวงาน

บริเวณที่ควรเลือกเป็นที่ตั้งของหัวงานควรมีลักษณะดังต่อไปนี้

(1) เป็นบริเวณกว้างพอที่จะสร้างประตูระบายปากคลองส่งน้ำสายใหญ่ ให้แนวศูนย์กลางของประตูตั้งฉากกับแนวสันฝายหรือแนวศูนย์กลางของเขื่อนระบายน้ำได้ เพราะจะช่วยป้องกันหรือลดปริมาณกรวดทรายในแม่น้ำที่จะหลุดเข้าไปในคลองส่งน้ำลงได้มาก

(2) การขุดคลองส่งน้ำสายใหญ่ออกจากหัวงานทำได้สะดวกโดยไม่ต้องสร้างอาคารพิเศษ เช่น รางน้ำ อุโมงค์น้ำ หรือกำแพงริมคลอง

(3) เป็นบริเวณที่อยู่ใกล้วัสดุก่อสร้างเช่น เสา ไม้ หิน ทราย กรวด ฯลฯ เพราะงานก่อสร้างหัวงานเป็นงานใหญ่ที่สุดในโครงการชลประทาน ต้องการใช้วัสดุก่อสร้างต่างๆ เป็นจำนวนมาก ถ้ามีวัสดุก่อสร้างเหล่านี้อยู่ใกล้หรือหาได้ง่ายในท้องถิ่นแล้ว งานก่อสร้างจะทำได้สะดวกและประหยัดเงินได้มาก

(4) ดินฐานรากของหัวงานต้องแข็งแรงรับน้ำหนักบรรทุกได้มากและเป็นดินชนิดเดียวกันตลอดใต้พื้นของอาคารทดน้ำที่จะสร้าง ตลิ่งแม่น้ำมั่นคงดีไม่ถูกน้ำกัดทำลายได้ง่าย เพราะเมื่อสร้าง

หัวงานขึ้นแล้ว กระแสน้ำที่ไหลผ่านอาคารทดน้ำจะแรงมาก ถ้าตลิ่งแม่น้ำไม่มั่นคงพอน้ำจะกัดเซาะตลิ่งหรือปีกอาคารทดน้ำขาดแล้วน้ำจะไหลไปทางช่องขาดนั้นทำให้อาคารทดน้ำใช้ประโยชน์ไม่ได้

(5) มีชั้นดินเหนียวหรือดินดานอยู่ใกล้ระดับท้องแม่น้ำ ถ้าตอกเข็มพืดให้ปลายเข็มหยั่งถึงชั้นดินเหล่านี้ อาคารทดน้ำที่สร้างขึ้นจะปลอดภัยจากน้ำซึมลอดใต้พื้น

(6) แม่น้ำในบริเวณนั้นมีความลดลาดพอที่จะอัดทดน้ำให้สูงถึงระดับที่จะไหลเข้าคลองส่งน้ำสายใหญ่ได้สะดวกและขึ้นถึงระดับพื้นดินตามแนวคลองได้เร็ว โดยไม่ต้องสร้างฝายหรือเขื่อนระบายน้ำสูงเกินไป

(7) เป็นบริเวณที่พอจะสร้างฝายโดยไม่ทำให้เกิดน้ำท่วมแผ่นดินสองฟากแม่น้ำด้านเหนือน้ำของฝายลึกมากนัก หรือทำให้แม่น้ำเปลี่ยนทางเดินไปได้ง่าย

(8) กระแสน้ำในแม่น้ำบริเวณหัวงานไม่แรงเกินไป

(9) แม่น้ำบริเวณหัวงานควรมีแนวตรง น้ำจะไหลผ่านอาคารทดน้ำไปได้สะดวกและลดการกัดเซาะตลิ่งได้มาก

(10) รูปตัดขวาง (cross sections) ของแม่น้ำบริเวณหัวงานควรคล้ายคลึงกันหรือเท่ากัน จะทำให้น้ำไหลสม่ำเสมอ ถ้ารูปตัดขวางของแม่น้ำมีลักษณะและขนาดต่างกันมากน้ำจะไหลปั่นป่วนและเพิ่มอิทธิพลการกัดเซาะตลิ่งและท้องแม่น้ำมากขึ้น

อย่างไรก็ดี บริเวณที่มีลักษณะเหมาะสมทุกประการดังกล่าวย่อมหาได้ยาก เพราะฉะนั้นลักษณะ 10 ประการนี้จึงไม่ถือเป็นหลักเกณฑ์ตายตัวในการเลือกที่ตั้งของหัวงาน

1.9 หลักการกำหนดระดับน้ำใช้การเต็มที่ของหัวงาน

ระดับน้ำใช้การเต็มที่ (full supply level) ของหัวงานหมายถึงระดับน้ำในแม่น้ำซึ่งฝายหรือเขื่อนระบายน้ำจะต้องทดไว้เพื่อให้น้ำไหลเข้าคลองส่งน้ำสายใหญ่ได้เต็มที่ตามความต้องการตลอดเวลาทำการส่งน้ำหรือตลอดฤดูชลประทาน เพราะฉะนั้นในระหว่างฤดูชลประทานระดับน้ำในแม่น้ำด้านเหนือฝายหรือเขื่อนระบายน้ำจะต่ำกว่าระดับน้ำใช้การเต็มที่ไม่ได้

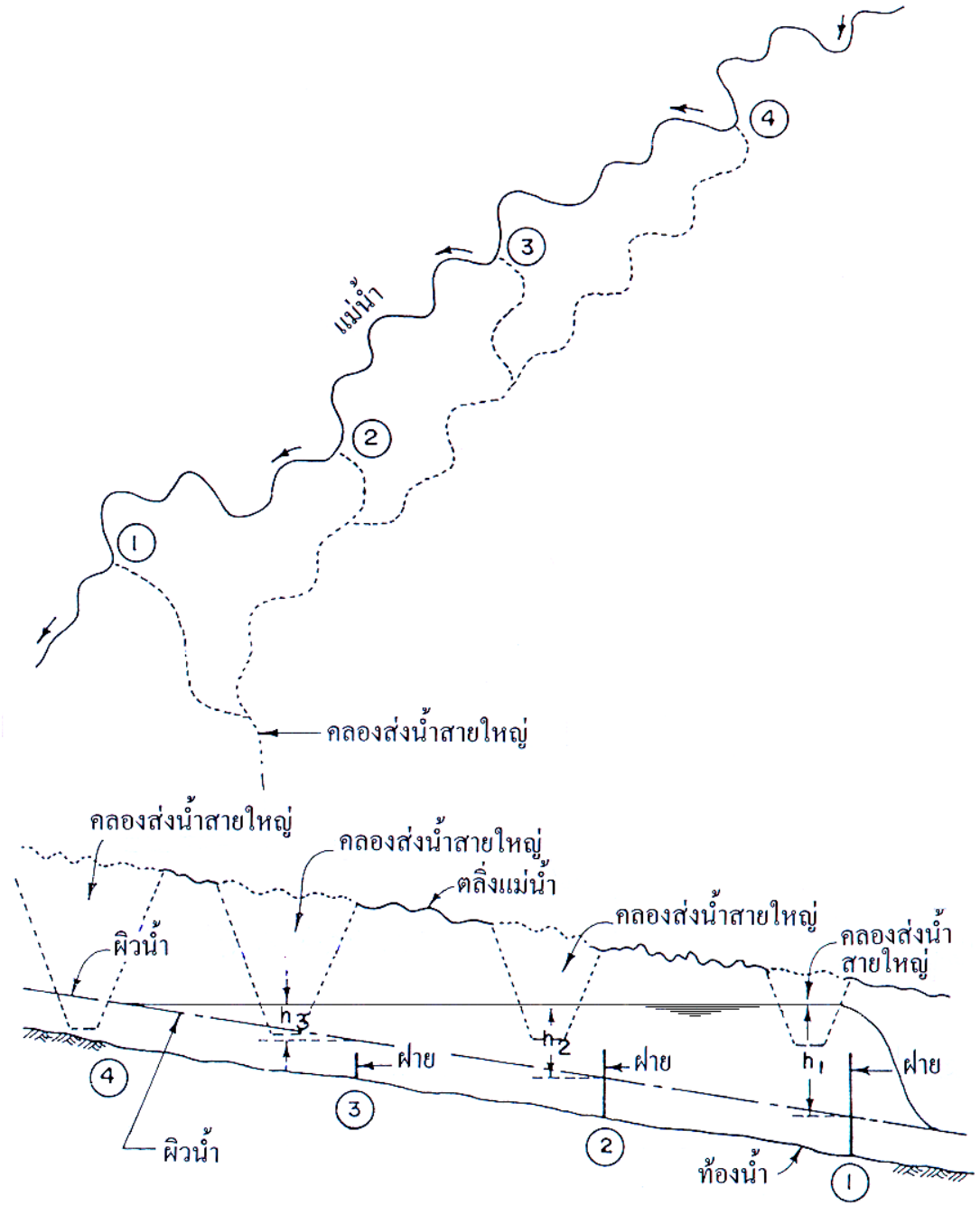
ความประสงค์สำคัญของการสร้างฝายหรือเขื่อนระบายน้ำก็เพื่อทดน้ำในแม่น้ำให้สูงกว่าระดับน้ำปกติตามธรรมชาติของมัน น้ำจะไหลเข้าคลองส่งน้ำได้เต็มที่ตามความต้องการและขึ้นถึงระดับพื้นดินตามแนวคลองได้เร็วโดยไม่ต้องขุดคลองลึกเกินไป

จากการหาที่ตั้งของหัวงานโดยทางอ้อมในข้อ 1.6.1 นั้น ถ้ากำหนดระดับน้ำสูงสุดในคลองที่ต้องการใช้เพื่อการส่งน้ำหรือเรียกได้อีกอย่างหนึ่งว่าระดับน้ำใช้การเต็มที่ในคลอง (full supply level in canal) ขึ้นตรงจุดปลายคลองและลาดผิวน้ำในคลองส่งน้ำสายใหญ่แล้ว ก็จะทราบระดับน้ำใช้การเต็มที่ในคลองตรงจุดต้นคลองคือที่ปากคลองส่งน้ำสายใหญ่ซึ่งขุดออกจากแม่น้ำ ที่ปากคลองส่งน้ำสายใหญ่นี้น้ำจะไหลเข้าคลองได้ก็ต่อเมื่อระดับน้ำในแม่น้ำสูงกว่าระดับน้ำใช้การเต็มที่ในคลอง แต่จะมีเพียงไม่กี่วันในรอบหนึ่งปีที่ระดับน้ำตามธรรมชาติในแม่น้ำจะสูงถึงระดับนั้น ดังนั้นในระหว่างฤดูส่งน้ำหรือฤดูชลประทานจึงมีน้ำไหลเข้าคลองไม่สม่ำเสมอ คือไหลเข้าตามความต้องการบ้าง น้อยกว่าความต้องการบ้าง หรืออาจไม่มีน้ำไหลเข้าคลองเลยก็ได้ เพราะระดับน้ำตามธรรมชาติในแม่น้ำจะผันแปรสูงๆ ต่ำๆ อยู่ตลอดเวลา ถ้าต้องการให้น้ำไหลเข้าคลองเต็มที่ตลอดฤดูชลประทานแล้วก็จะต้องสร้างฝายหรือเขื่อนระบายน้ำขึ้นทดน้ำตามธรรมชาติในแม่น้ำให้สูงกว่าระดับน้ำใช้การเต็มที่ในคลองที่ปากคลองส่งน้ำสายใหญ่ ระดับน้ำเหนือฝายหรือเขื่อนระบายน้ำที่ต้องการทดไว้นี้ก็คือระดับน้ำใช้การเต็มที่ของหัวงานนั่นเอง ความแตกต่างของระดับน้ำใช้การเต็มที่ของหัวงานและระดับน้ำใช้การเต็มที่ในคลองที่ปากคลองส่งน้ำสายใหญ่คือ การสูญเสียระดับน้ำ (head loss) ของประตูระบายปากคลองส่งน้ำสายใหญ่ (canal headgate) ซึ่งมีอิทธิพลต่อการไหลของน้ำเข้าคลองมาก

คราวนี้จะพิจารณาต่อไปว่า ถ้าเราไม่ตั้งหัวงานตรงที่ซึ่งแนวคลองส่งน้ำสายใหญ่ตัดแนวแม่น้ำดังข้อ 1.6.1 แต่เลื่อนที่ตั้งของหัวงานขึ้นไปทางเหนือน้ำตามลำน้ำนั้นเรื่อยๆ แล้ว ความสูงของน้ำที่จะต้องทดขึ้นจากระดับน้ำตามธรรมชาติจะน้อยลงไปตามลำดับ จนกระทั่งถึงที่แห่งหนึ่งซึ่งระดับน้ำตามธรรมชาติในแม่น้ำเท่ากับระดับน้ำใช้การเต็มที่ของหัวงานที่ต้องการ ตรงที่นี้ไม่จำเป็นต้องสร้างฝายหรือเขื่อนระบายน้ำเลย เพราะเพียงแต่ขุดคลองน้ำจะไหลเข้าคลองเต็มที่ตลอดฤดูชลประทาน ให้สังเกตว่าในขณะที่ความสูงของน้ำที่ต้องทดขึ้นจากระดับน้ำตามธรรมชาติน้อยลงทุกทีเพราะการเลื่อนที่ตั้งของหัวงานขึ้นไปทางด้านเหนือน้ำนั้น อาคารทดน้ำโดยเฉพาะฝายจะเตี้ยลงทุกที จนถึงที่ซึ่งไม่ต้องสร้างฝายเลยดังกล่าวข้างต้น แต่คลองส่งน้ำซึ่งต้องขุดย้อนตามหัวงานขึ้นไปนั้นจะยาวและลึกมากขึ้นตามลำดับ และถ้าระดับน้ำใช้การเต็มที่ของหัวงานอยู่ต่ำกว่าตลิ่งแม่น้ำมากแล้วอาจต้องขุดคลองลึกเกือบเท่าความลึกของแม่น้ำ ในทางตรงกันข้าม ถ้ายิ่งเลื่อนที่ตั้งของหัวงานจากที่ซึ่งไม่ต้องสร้างฝายลงมาทางใต้น้ำเรื่อยๆ ความสูงของน้ำที่ต้องทดขึ้นจากระดับน้ำตามธรรมชาติจะมากขึ้นทุกทีและฝายก็จะสูงขึ้นทุกทีด้วย แต่คลองส่งน้ำจะกลับสั้นลงและตื้นขึ้นตามลำดับ ดังนั้นการกำหนดระดับน้ำใช้การเต็มที่ของหัวงานว่าจะให้อยู่ที่ระดับใดนั้นจึงต้องพิจารณาจากสถิติและเรื่องต่างๆ ดังต่อไปนี้

(1) ระดับพื้นดินสูงสุดภายในเขตโครงการซึ่งกำหนดให้ได้รับน้ำชลประทานต้องพิจารณาว่าระดับนั้นสูงเกินไปหรือไม่ ถ้าเห็นว่าสูงเกินไปจนต้องกำหนดระดับน้ำใช้การเต็มที่ของหัวงานสูงมาก ต้องสร้างอาคารทดน้ำสูงและเสียค่าก่อสร้างมากแล้ว ควรลดการกำหนดระดับพื้นดินสูงสุดซึ่งจะให้ได้รับน้ำชลประทานลงบ้าง แต่จะทำให้เขตส่งน้ำหรือพื้นที่ของโครงการชลประทานน้อยลง

(2) ลาดตามยาวของแม่น้ำและของคลองส่งน้ำสายใหญ่



รูปที่ 1.5 ตำแหน่งและความสูงของฝาย

(3) ระดับน้ำตามธรรมชาติในแม่น้ำ ซึ่งมีปริมาณน้ำมากพอทำการชลประทานและมีอยู่ตลอดฤดูชลประทาน ระดับน้ำและปริมาณน้ำในข้อนี้จะศึกษาได้จากกราฟน้ำท่า (hydrograph) และโค้งระดับและอัตราการไหล (rating curve) ของแม่น้ำตรงที่ตั้งของหัวงาน

(4) ที่ตั้งของหัวงาน ต้องเลือกโดยการเปรียบเทียบค่าก่อสร้างในระหว่างการสร้างเขื่อนระบายน้ำหรือฝายสูงแต่ขุดคลองส่งน้ำสั้นและตื้น กับการสร้างเขื่อนระบายน้ำหรือฝายเตี้ยแต่ขุดคลองส่งน้ำยาวและลึก

(5) ประเภทของอาคารทดน้ำ ต้องพิจารณาว่าอาคารทดน้ำที่จะสร้างควรเป็นฝายหรือเขื่อนระบายน้ำ อย่างใดจะเหมาะสมและใช้ประโยชน์ได้ดีกว่ากัน และเมื่อสร้างขึ้นแล้วไม่ทำให้เกิดความเสียหาย เพราะน้ำท่วมแผ่นดินสองฟากแม่น้ำเหนือน้ำของอาคารทดน้ำนั้น

(6) ความแตกต่างของระดับน้ำใช้การเต็มที่ของหัวงานและระดับน้ำใช้การเต็มที่ในคลองที่ปากคลองส่งน้ำสายใหญ่

ต้องพิจารณาว่าความแตกต่างของระดับน้ำทั้งสองหรือการสูญเสียระดับน้ำ (head losses, H) ของประตูระบายปากคลองส่งน้ำสายใหญ่ควรเป็นเท่าไร เนื่องจากเราทราบระดับน้ำใช้การเต็มที่ในคลองที่ปากคลองส่งน้ำสายใหญ่ไว้ก่อนแล้ว ฉะนั้นถ้ากำหนดความแตกต่างของระดับน้ำทั้งสองขึ้นก็จะทราบระดับน้ำใช้การเต็มที่ของหัวงานได้ทันที

ความแตกต่างของระดับน้ำทั้งสองยิ่งมาก ระดับน้ำใช้การเต็มที่ของหัวงานจะยิ่งสูงขึ้น แต่ขนาดของประตูระบายปากคลองส่งน้ำสายใหญ่จะยิ่งเล็กลง คือมีช่องระบายน้ำทุกช่องรวมกันแคบ แต่ถ้าความแตกต่างของระดับน้ำทั้งสองยิ่งน้อย ระดับน้ำใช้การเต็มที่ของหัวงานจะต่ำลงทุกที แต่ขนาดของประตูระบายปากคลองส่งน้ำสายใหญ่จะยิ่งโตขึ้น คือมีช่องระบายน้ำทุกช่องรวมกันกว้าง

1.10 เอกสารอ้างอิง

วราวุธ วุฒิวณิชย์. 2545. การออกแบบระบบชลประทานในไร่นา. สำนักพิมพ์ มก. กรุงเทพฯ. 381 น.

วิบูลย์ บุญยธโรกุล. 2526. หลักการชลประทาน. ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 274 น.

1.11 แบบฝึกหัด

(1) จงบอกข้อดี-ข้อเสียของการชลประทานเหมืองฝายและการชลประทานสูบน้ำ

(2) จงอธิบายความหมายของคำพูดที่ว่า “ฝายและเขื่อนระบายน้ำไม่จำเป็นต้องสร้างเสมอไป”

(3) ฝายต่างจากเขื่อนระบายน้ำอย่างไร

(4) จงบอกข้อดี-ข้อเสียของวิธีการหาที่ตั้งหัวงานโดยทางอ้อมและโดยทางตรง

(5) ฝายและเขื่อนระบายน้ำเหมาะที่จะสร้างในทำเลแบบไหน

(6) จงบอกลักษณะบริเวณที่ไม่ควรเลือกเป็นที่ตั้งหัวงาน

(7) จงอธิบายวิธีการกำหนดระดับน้ำใช้การเต็มที่ของหัวงาน

บทที่ 2 อาคารหัวงาน (Headworks)

2.1 ฝายและเขื่อนระบายน้ำ

2.1.1 ฝาย (diversion weir)

ฝายคือทำนบเตี้ยและทึบตันชนิดหนึ่งซึ่งสร้างขวางกั้นทางน้ำไหลไว้ตลอดความกว้างของแม่น้ำ ลำธาร หรือลำห้วย เพื่อทดน้ำให้สูงขึ้นจากระดับน้ำปกติตามธรรมชาติ ให้น้ำไหลเข้าคลองส่งน้ำได้เต็มที่ตามความต้องการตลอดฤดูชลประทาน และปล่อยให้ปริมาณน้ำมากที่สุดของลำน้ำหรือปริมาณน้ำที่เหลือใช้จากการชลประทานไหลล้นข้ามฝายไปได้โดยไม่เกิดความเสียหายเพราะน้ำท่วมแผ่นดินสองฟากแม่น้ำด้านเหนือของฝายนั้น ดังแสดงในรูปที่ 2.1

ฝายมีหลายชนิดและมีรูปร่างต่างๆ กัน แต่โดยมากรูปตัดของฝายจะเป็นรูปสามเหลี่ยมหรือสี่เหลี่ยมคางหมูโดยประมาณ ฝายสร้างด้วยวัสดุหลายชนิดเช่น กิ่งไม้ เสาไม้ ดิน ทรายกรวด หินเล็ก หินใหญ่ ไม้กระดาน คอนกรีตล้วน หินก่อ คอนกรีตเสริมเหล็ก และอาจสร้างด้วยวัสดุเหล่านี้คละกัน

รูปที่ 2.1 ฝายสินธุกิจปรีชา จ. เชียงใหม่

ฝายทำหน้าที่กักกั้นน้ำเช่นเดียวกับทำนบแต่ปล่อยให้น้ำไหลข้ามไปได้ ซึ่งผิดลักษณะของทำนบทั่วไป จึงมีชื่อต่างจากทำนบธรรมดา โดยปกติเมื่อสร้างฝายขึ้นฝายจะปะทะการไหลของน้ำในลำน้ำทำให้น้ำท้นสูง และเมื่อระดับน้ำสูงกว่าสันฝาย น้ำจะเริ่มไหลข้ามฝายไป น้ำจะไหลข้ามสันฝายลึกมากหรือน้อยย่อมแล้วแต่ปริมาณน้ำที่ไหลมาในลำน้ำ ถ้าน้ำไหลมามากก็ท่วมสันฝายลึก ถ้าไหลมาน้อยก็ท่วมสันฝายน้อย ดังนั้นในขณะที่ปริมาณน้ำมากที่สุดของลำน้ำไหลหลากมา น้ำจะท่วมสันฝายลึกที่สุดและท่วมแผ่นดินสองฟากแม่น้ำด้านเหนือน้ำของฝายลึกจนเกิดอันตรายเสียหายได้ เพราะฉะนั้นฝายที่สร้างโดยทั่วไปจึงไม่สูงหรือไม่สร้างให้ระดับสันฝายสูงถึงระดับตลิ่งแม่น้ำ เพื่อไม่ให้เกิดน้ำท่วมมากในเวลาที่มีปริมาณมากที่สุดไหลหลากมานั่นเอง อย่างไรก็ดี ฝายบางแห่งอาจต้องมีระดับสันฝายสูงเพื่อทดน้ำซึ่งไหลมาน้อยในบางฤดูให้สูงถึงระดับที่จะไหลเข้าคลองส่งน้ำได้เต็มที่เช่น ในการปลูกพืชฤดูแล้ง เป็นต้น แต่เมื่อถึงเวลาน้ำใหญ่หรือปริมาณน้ำมากที่สุดไหลหลากมาซึ่งจะทำให้เกิดน้ำท่วมเสียหายแล้ว ก็จะออกแบบฝายนั้นเป็นชนิดที่ถอดหรือลดระดับสันฝายส่วนบนลงได้หรือล้มพับลงนอนราบได้เอง (collapsible weir) เพื่อให้มีช่องที่น้ำจะไหลข้ามฝายโตขึ้น แล้วจะลดระดับน้ำท่วมตลิ่งลงได้

2.1.2 เขื่อนระบายน้ำ (barrage หรือ diversion dam)

เขื่อนระบายน้ำคือทำนบชนิดหนึ่งซึ่งสร้างขวางกั้นทางน้ำไหลไว้ตลอดความกว้างของแม่น้ำ เพื่อทดน้ำให้สูงขึ้นจากระดับน้ำปกติตามธรรมชาติ ให้น้ำไหลเข้าคลองส่งน้ำได้เต็มที่ตามความต้องการตลอดฤดูชลประทาน และปล่อยให้ปริมาณน้ำมากที่สุดของแม่น้ำหรือปริมาณน้ำที่เหลือใช้จากการชลประทานไหลผ่านช่องระบายน้ำของเขื่อนไปได้โดยไม่กระทบกระเทือนสภาพของระดับน้ำตามธรรมชาติด้านเหนือน้ำของเขื่อนมากนัก ดังแสดงในรูปที่ 2.2

เขื่อนระบายน้ำสร้างขึ้นโดยการแบ่งความกว้างของแม่น้ำออกเป็นช่องๆ ด้วยตอม่อ โดยทั่วไปกว้างช่องละ 6.00 เมตร ถึง 12.50 เมตร แต่จะมีกี่ช่องนั้นแล้วแต่ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านเขื่อนมีมากหรือน้อย

ช่องระบายน้ำระหว่างตอม่อทุกช่องมีบานประตู (gate) ปิดไว้ซึ่งจะยกขึ้นเพื่อระบายน้ำผ่านไปหรือหย่อนลงเพื่อทดน้ำได้ทุกระดับ ในเวลาน้ำใหญ่ไหลหลากมาบานประตูเขื่อนทุกบานจะถูกยกขึ้นสูงพ้นระดับน้ำทั้งสองข้าง ปล่อยให้น้ำไหลผ่านไปได้เต็มที่โดยระดับน้ำในแม่น้ำด้านเหนือน้ำของเขื่อนไม่สูงกว่าระดับน้ำปกติตามธรรมชาติมากเกินไป

รูปที่ 2.2 เขื่อนระบายน้ำเจ้าพระยา จ. ชัยนาท

บานประตูของเขื่อนระบายน้ำซึ่งมักเรียกกันว่าบานระบายนั้น มีรูปร่างต่างๆ กัน เช่น เป็นบานเดี่ยวตั้งตรงรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า (slide gates) หรือเป็นบานเดี่ยวรูปโค้ง (radial gates) ซึ่งสร้างด้วยวัสดุหลายชนิด เช่น ไม้ เหล็ก หรือไม้และเหล็กร่วมกัน

ถ้าเขื่อนมีช่องระบายน้ำหลายช่องและเมื่อรวมความกว้างของทุกช่องเข้าด้วยกันได้เกือบเท่ากับความกว้างของแม่น้ำแล้ว ความสูงของระดับน้ำที่ท้นขึ้นจากระดับน้ำปกติตามธรรมชาติ หรือเรียกสั้นๆ ว่า **ความสูงของน้ำท้น** (afflux) ด้านเหนือน้ำของเขื่อนจะไม่มากนัก แต่ถ้าช่องระบายน้ำทั้งหมดรวมกันแล้วแคบกว่าความกว้างของแม่น้ำมากความสูงของน้ำท้นจะเกิดขึ้นมาก

ตามที่กล่าวมาแล้วนี้จะเห็นได้ว่าฝายและเขื่อนระบายน้ำมีหน้าที่เหมือนกันแต่มีรูปลักษณะต่างกัน มีคุณสมบัติและความดีเด่นในตัวของมันเองโดยเฉพาะ เพราะฉะนั้น**การเลือกใช้อาคารทดน้ำว่าควรเป็นฝายหรือเขื่อนระบายน้ำจึงต้องพิจารณาจากสภาพต่างๆ ดังต่อไปนี้**

(1) พฤติการณ์และปริมาณน้ำของแม่น้ำ

ถ้าระดับน้ำและปริมาณน้ำของแม่น้ำผันแปรได้ง่ายและรวดเร็ว อาคารทดน้ำควรเป็นฝายมากกว่าเขื่อนระบายน้ำ เพราะจะลดการปฏิบัติการ (operation) ลงได้มากโดยไม่ต้องใช้คนคอยปิดเปิดบานประตูเหมือนเขื่อนระบายน้ำ น้ำจะไหลข้ามฝายไปเองโดยอัตโนมัติ

(2) ระดับแผ่นดินสองฟากแม่น้ำด้านเหนือน้ำของหัวงาน

ถ้าแผ่นดินมีระดับสูง น้ำที่ท้นขึ้นจากระดับน้ำปกติตามธรรมชาติอาจท่วมไม่ถึงหรือท่วมไม่มาก ไม่เกิดความเสียหายหรือป้องกันได้ง่าย อาคารทดน้ำควรเป็นฝาย ดังนั้นในทำเลที่เป็นภูเขาหรือหัวทุ่งราบติดต่อกับภูเขาจึงใช้ฝายเป็นอาคารทดน้ำกันมาก

ถ้าแผ่นดินมีระดับต่ำ น้ำที่ท้นขึ้นจากระดับน้ำปกติตามธรรมชาติท่วมแผ่นดินได้มาก แม่น้ำเปลี่ยนแนวคือไหลไปทางอื่นได้ง่าย หรือต้องสร้างคันกั้นน้ำสูงมาก อาคารทดน้ำควรเป็นเขื่อนระบายน้ำ เพราะเกิดความสูงของน้ำท้นน้อยกว่าฝาย ดังนั้นในทำเลที่เป็นทุ่งราบซึ่งระดับแผ่นดินสองฟากแม่น้ำต่ำเพราะแม่น้ำไม่ลึกมาก อาคารทดน้ำจึงเป็นเขื่อนระบายน้ำทั้งหมด

(3) ลักษณะดินฐานรากที่หัวงาน

ถ้าท้องแม่น้ำเป็นหินดาน ดินดาน อาคารทดน้ำควรเป็นฝาย แต่ถ้าท้องแม่น้ำเป็นดินหรือทราย อาคารทดน้ำควรเป็นเขื่อนระบายน้ำ อย่างไรก็ดีเรื่องนี้ไม่ใช่หลักเกณฑ์แน่นอนเสมอไป

(4) ความมั่นคงถาวรของสิ่งก่อสร้าง

ฝายเป็นอาคารทดน้ำที่มีความแข็งแรงมั่นคงต่อการกระทบกระแทกจากวัตถุหนักที่ลอยน้ำมาชนได้ดีมาก และถ้าสร้างด้วยวัสดุถาวรโดยถูกหลักวิชาจะมีอายุใช้งานยืนยาว ดังนั้นในแม่น้ำที่มีไม้ซุงหรือต้นไม้ใหญ่ไหลลอยน้ำมามาก ฝายจะดีกว่าเขื่อนระบายน้ำเพราะมีความมั่นคงต่อการกระทบกระแทกมากกว่า และเป็นสาเหตุอย่างหนึ่งซึ่งทำให้ต้องสร้างฝายเป็นอาคารทดน้ำในแม่น้ำบริเวณตอนเหนือของลุ่มน้ำ

(5) วัสดุก่อสร้างซึ่งจะหาได้สะดวกในบริเวณหัวงานและที่ใกล้เคียง

ถ้าบริเวณหัวงานและที่ใกล้เคียงมีต้นไม้ใหญ่อุดม หากรวดทรายและหินใหญ่ได้ง่าย แต่ต้องขนส่งปูนซีเมนต์และเหล็กไกลและลำบากแล้ว ควรใช้ฝายเป็นอาคารทดน้ำเพราะสร้างได้ง่ายและสะดวกกว่าเขื่อนระบายน้ำ

(6) ค่าลงทุนก่อสร้างและบำรุงรักษา

เนื่องจากฝายสร้างได้ง่ายและใช้วัสดุก่อสร้างไม่แพงมากเหมือนเขื่อนระบายน้ำ จึงมีราคาถูกกว่า และนอกจากจะมีราคาถูกกว่าแล้วค่าบริหารงานและค่าบำรุงรักษาประจำปี ของ

ฝายก็น้อยกว่าด้วย โครงการชลประทานใดที่มีเงินค่าลงทุนก่อสร้าง ค่าบริหารงาน และค่าบำรุงรักษาประจำปีน้อย ควรใช้ฝายเป็นอาคารทดน้ำ

ตามที่กล่าวมาทั้งหมดนี้พอจะสรุปข้อดีและข้อเสียของฝายและเขื่อนระบายน้ำได้ดังในหัวข้อถัดไป

2.2 ข้อดี-ข้อเสียของฝาย

2.2.1 ข้อดี

(1) ฝายสร้างได้ง่าย ราคาถูก ค่าบริหารงานและค่าบำรุงรักษาประจำปีน้อย

(2) ฝายแข็งแรงมั่นคงต่อการกระทบกระแทกจากวัตถุหนักที่ลอยน้ำมาชนได้ดีมาก

(3) ฝายมีอายุใช้งานยืนยาว ถ้าสร้างด้วยวัสดุถาวรโดยถูกหลักวิชา

(4) ฝายไม่มีการปฏิบัติการที่ยุ่งยากเพราะฝายจะปล่อยให้น้ำไหลข้ามไปได้เองโดยอัตโนมัติ

2.2.2 ข้อเสีย

(1) ฝายทำให้เกิดความสูงของน้ำท้นสูง น้ำอาจท่วมแผ่นดินสองฟากแม่น้ำด้านเหนือน้ำของฝายลึก ทำให้เกิดความเสียหายได้ จึงสร้างฝายได้เฉพาะในบางท้องถิ่นเท่านั้น

(2) ฝายทดน้ำในแม่น้ำไม่ได้ทุกระดับที่ต้องการ คือระดับน้ำเหนือสันฝายจะอยู่สูงหรือต่ำเพียงไรนั้นย่อมแล้วแต่ปริมาณน้ำที่ไหลมามากหรือน้อย เราไม่สามารถบังคับระดับน้ำได้

(3) กรวดทรายและตะกอนที่ไหลมากับน้ำในแม่น้ำจะตกทับถมติดอยู่ทางด้านเหนือน้ำของฝายและอาจหลุดเข้าไปในคลองส่งน้ำ ทำให้คลองตื้นอย่างรวดเร็ว คลองจะส่งน้ำไม่ได้ตามปริมาณที่ต้องการและต้องมีการขุดลอกคลองบ่อย คลองจะส่งน้ำไม่ได้ตามปริมาณที่ต้องการและเสียค่าขุดลอกคลอง

2.3 ข้อดี-ข้อเสียของเขื่อนระบายน้ำ

2.3.1 ข้อดี

(1) เขื่อนระบายน้ำเป็นอาคารทดน้ำที่มีความถาวรทนทาน มีอายุใช้งานยืนยาว เพราะต้องคำนวณออกแบบและก่อสร้างด้วยความรอบคอบโดยถูกหลักวิชา และใช้วัสดุก่อสร้างที่แข็งแรงที่สุดและดีที่สุด

(2) เขื่อนระบายน้ำทดน้ำในแม่น้ำได้สูงมากและทดน้ำได้ทุกระดับที่ต้องการโดยใช้บานประตูเขื่อนบังคับ จึงบังคับน้ำได้ดีที่สุด

(3) เขื่อนระบายน้ำทำให้เกิดความสูงของน้ำท้นน้อย น้ำจะไม่ท่วมแผ่นดินสองฟากแม่น้ำด้านเหนือน้ำของเขื่อนเสียหาย

(4) ไม่มีปัญหาเรื่องตะกอนทรายหลุดเข้าไปในคลองส่งน้ำเพราะไม่มีตะกอนทรายตกทับถมอยู่ทางด้านเหนือน้ำของเขื่อน

2.3.2 ข้อเสีย

(1) เขื่อนระบายน้ำไม่มั่นคงต่อการกระทบกระแทกจากของหนักที่ลอยน้ำมาชนบานประตูเขื่อนอาจชำรุดและเป็นอุปสรรคต่อการปิดเปิดเพื่อทดน้ำและระบายน้ำ

(2) เขื่อนต้องการการปฏิบัติการมาก จึงต้องมีเจ้าหน้าที่คอยควบคุมดูแลการปิดเปิดบานประตูเขื่อนอย่างใกล้ชิด

(3) เขื่อนระบายน้ำมีราคาแพงมาก การออกแบบและการก่อสร้างค่อนข้างยาก

(4) เขื่อนระบายน้ำเหมาะที่จะสร้างในท้องถิ่นบางแห่งโดยเฉพาะเช่นในทุ่งราบเท่านั้น

2.4 ลักษณะของฝาย

ฝายที่สร้างในประเทศไทยและต่างประเทศมีหลายชนิด ทั้งลักษณะรูปร่างก็แตกต่างกันมาก ยากที่จะนำมากล่าวไว้ในที่นี้ได้หมด อย่างไรก็ดีถ้าจะแบ่งประเภทของฝายโดยพิจารณาจากวัสดุที่ใช้สร้างและวิธีการสร้างแล้วจะมีฝายอยู่ 4 ประเภทคือ

(1) ฝายชั่วฤดู

(2) ฝายชั่วคราว

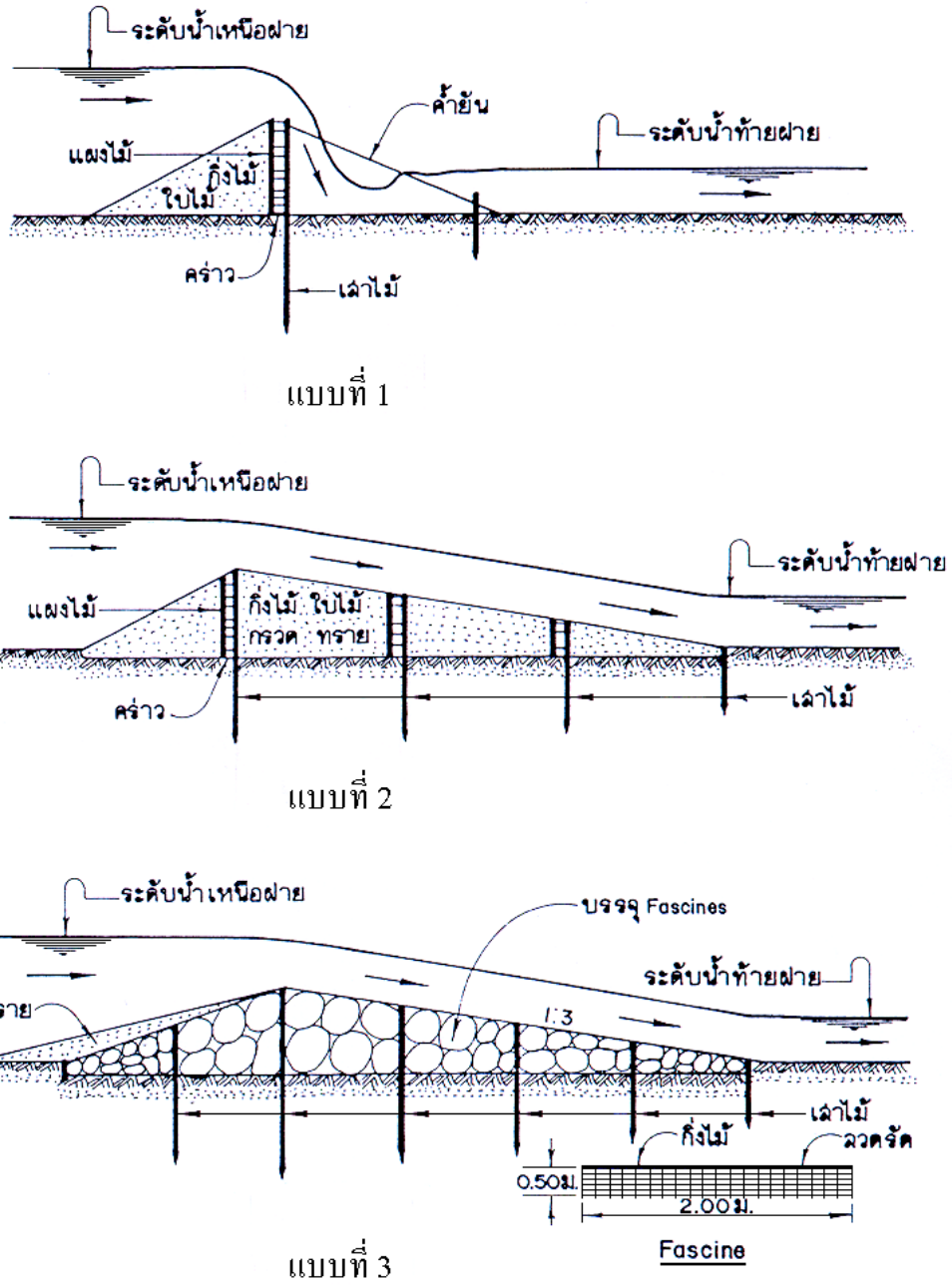
(3) ฝายค่อนข้างถาวร

(4) ฝายถาวร

2.4.1 ฝายชั่วฤดู

ฝายชั่วฤดูเป็นฝายขนาดเล็ก ทดน้ำสูงไม่เกิน 2.00 เมตร สร้างด้วยวัสดุต่างๆ ซึ่งส่วนมากเป็นขอนไม้ถาวรเช่น กิ่งไม้ แผงไม้ ไม้กระดาน เสาไม้ กรวดและทราย ตามปกติจะใช้เสาไม้ตอกลงบนท้องน้ำเป็นโครงฝาย ใช้กิ่งไม้ กรวด และทรายเป็นไส้ฝายทำให้ฝายแน่นทึบและ

ปะทะน้ำไหลโดยมีเสาไม้คร่าว ไม้กระดาน และแผงไม้เป็นเครื่องยึดเหนี่ยวไม่ให้ไส้ฝายถูกน้ำพัดหลุดไป ดังแสดงในรูปที่ 2.3

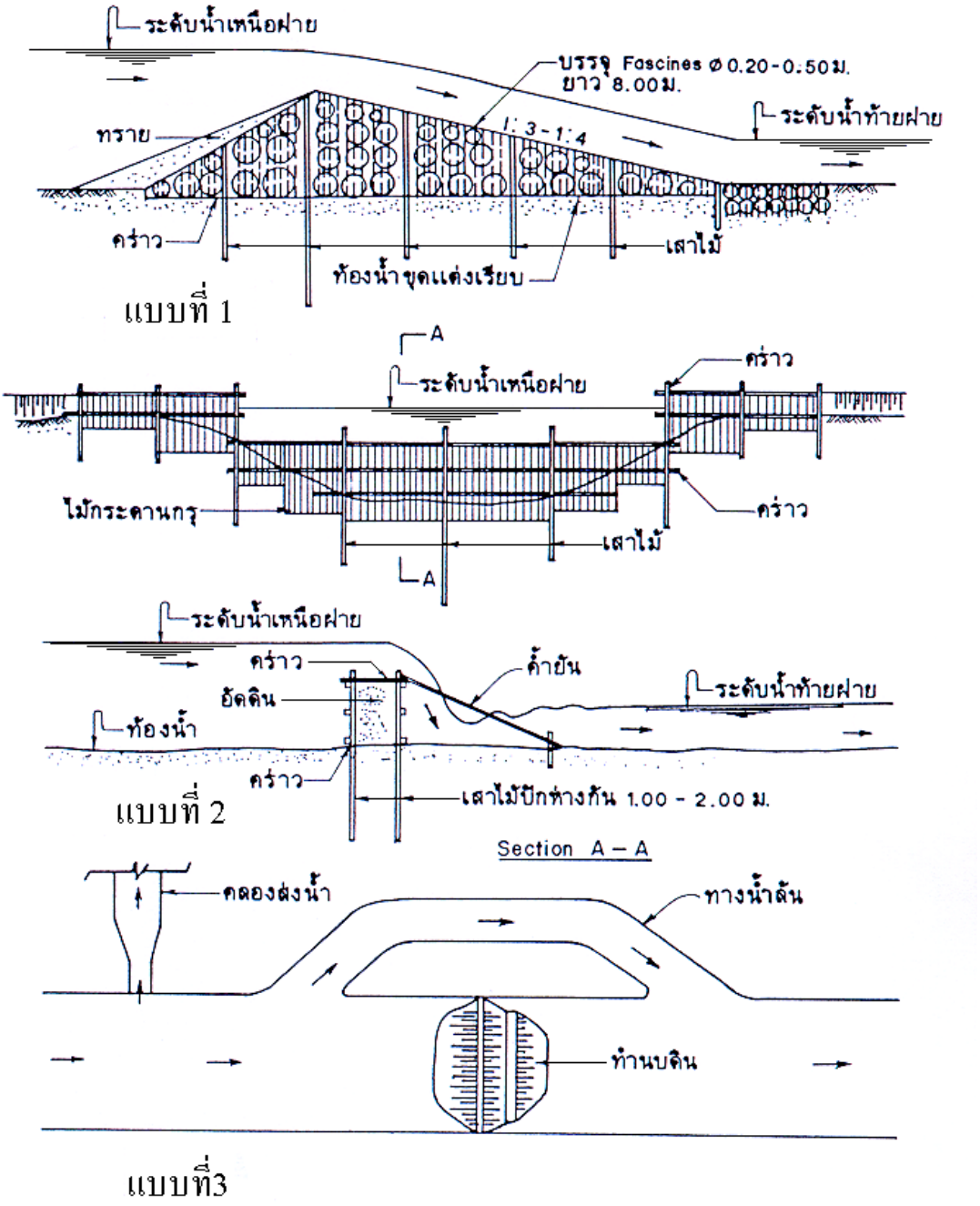


รูปที่ 2.3 ฝายชั่วฤดู

ฝายชั่วฤดูมีสร้างกันมากตามลำน้ำ ลำห้วยขนาดเล็ก เพื่อทดน้ำทำการชลประทานสำหรับเนื้อที่เพาะปลูกไม่มากนัก มีอายุใช้งานไม่นาน พอถึงเวลาน้ำใหญ่ไหลหลากมาฝายจะแตกทลายไปหมด ทำให้ต้องสร้างขึ้นใหม่ทุกปี การที่ฝายชั่วฤดูแตกทลายง่ายเป็นเพราะสร้างด้วยวัสดุไม่ถาวรจึงไม่ค่อยแข็งแรงหรือเสื่อมคุณภาพผุพังง่าย และไม่มีเครื่องยึดเหนี่ยวโครงฝายและไส้ฝายให้แน่นหนามั่นคงพอ จึงต้านทานกระแสน้ำไม่ค่อยได้ สาเหตุสำคัญอีกอย่างหนึ่งที่ทำให้ฝายชั่วฤดูแตกทลายง่ายก็คือ ไม่มีการป้องกันอิทธิพลการกัดทำลายของน้ำ เพราะกระแสน้ำที่ไหลตกจากสันฝายแรงมาก น้ำจะกระแทกและกัดพื้นท้องน้ำด้านท้ายน้ำของฝายซึ่งตามปกติเป็นกรวดและทรายให้เป็นหลุมลึกและกว้างใหญ่ขึ้นทุกที กรวดและทรายใต้ตัวฝายจะทะลักมาสู่หลุมนี้ ในไม่ช้าใต้ตัวฝายจะเป็นโพรงใหญ่ เมื่อตัวฝายไม่มีอะไรรองรับก็หักพังลงมาแล้วถูกน้ำพัดแตกกระจัดกระจายไป นอกจากนั้นน้ำยังกัดทำลายตลิ่งของลำน้ำด้านท้ายน้ำของฝายด้วย และลุกลามเข้าไปหาตัวฝายทุกที จนในที่สุดปีกฝายคือส่วนที่ฝายเชื่อมต่อกับตลิ่งจะถูกน้ำกัดขาด ฝายก็ใช้ทดน้ำไม่ได้อีกต่อไปเพราะน้ำจะไหลไปทางช่องขาดเสียหมด ดังนั้นแม้ว่าฝายชั่วฤดูบางแห่งจะสร้างด้วยวัสดุค่อนข้างถาวรหรือถาวรก็ยังแตกทลายไปได้ง่าย โดยอิทธิพลการกัดทำลายของน้ำดังกล่าวนี้

2.4.2 ฝายชั่วคราว

โดยมากฝายชั่วคราวเป็นฝายขนาดเล็กและมีลักษณะคล้ายกับฝายชั่วฤดู แต่มีความมั่นคงแข็งแรงและมีอายุใช้งานนานกว่า เพราะสร้างด้วยวัสดุค่อนข้างถาวรหรือถาวร ได้แก่ เสาไม้ ไม้กระดาน กรวดหรือหินเล็ก และมีวิธีการสร้างประณีตมากขึ้น ดูรูปที่ 2.4 เมื่อถึงเวลาน้ำใหญ่ไหลหลากมาฝายจะต้านทานได้ ถ้าคอยซ่อมแซมส่วนของฝายที่ชำรุดหรือที่ถูกน้ำพัดหลุดลอยไปบ้างอยู่เสมอแล้วอาจมีอายุใช้งานถึง 10 ปี ส่วนของฝายที่ชำรุดมักเป็นไม้ที่อยู่ชั้นบนซึ่งเปลี่ยนใหม่ได้ง่าย ไม้ข้างล่างไม่ค่อยผุเพราะจมน้ำอยู่เสมอ ตะกอนทรายในลำน้ำซึ่งน้ำพัดพามาจะเข้าไปอุดช่องว่างในตัวฝายและตกทับถมอยู่ทางด้านเหนือน้ำของฝายกลายเป็นทำนบทรายจากฝายออกไปไกล ทำให้ฝายแน่นทึบและแข็งแรงมากขึ้น



รูปที่ 2.4 ฝายชั่วคราว

2.4.3 ฝายค่อนข้างถาวร

ตามปกติฝายค่อนข้างถาวรสร้างด้วยเสาไม้หรือไม้ปนหินใหญ่ เสาไม้ที่ใช้เป็นเสาขนาดใหญ่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ 0.20 เมตรขึ้นไป การก่อสร้างก็ประณีตมากกว่าฝายชั่วคราว เพราะฉะนั้นฝายประเภทนี้จึงมีความถาวรกว่าฝายชั่วฤดูและฝายชั่วคราวที่กล่าวมาแล้วมาก ถ้าคอยดูแลและบำรุงรักษาอยู่เสมออาจมีอายุใช้งานได้ถึง 20 ปี คือจนกว่าเสาไม้ที่ใช้ทำฝายจะผุพังไป เว้นแต่ฝายจะพังทลายไปก่อนเพราะเหตุสุดวิสัยอย่างร้ายแรงเท่านั้น

ฝายค่อนข้างถาวรมี 2 ชนิดคือ

(1) ฝายเสาไม้

(2) ฝายไม้คอกหมู

ก. ฝายเสาไม้ (log weirs)

เป็นฝายที่เหมาะจะสร้างในท้องถิ่นที่หาเสาไม้ขนาดใหญ่ได้ง่ายและมีราคาถูก แต่การขนส่งปูนซีเมนต์ เหล็ก และหิน ค่อนข้างลำบากและไกล ดังแสดงในรูปที่ 2.5 ตามธรรมดาฝายเสาไม้เป็นฝายขนาดกลางถึงขนาดใหญ่ สูงประมาณ 3.50 เมตร ถึง 4.50 เมตรเป็นอย่างมาก และสร้างบนพื้นท้องน้ำที่เป็นดินหรือทราย ก่อนสร้างฝายจะต้องขุดแต่งดินหรือทรายท้องน้ำและลาดตลิ่งให้เรียบและได้ระดับดี แล้วใช้เสาไม้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ 0.20 เมตรขึ้นไปปูเรียงบนท้องน้ำให้ติดกันเป็นพืดตลอดความกว้างของท้องน้ำโดยให้โคนเสาอยู่ทางด้านท้ายน้ำเสมอไป ด้วยการเรียงเสาชิดกันเช่นนี้จะทำให้เกิดเป็นพื้นฝายสำหรับรับแรงกระแทกของน้ำที่ไหลตกจากสันฝายและป้องกันไม่ให้กระแสน้ำปั่นป่วนกัดทำลายพื้นท้องน้ำด้านท้ายฝายได้ พื้นฝายนี้อาจต้องสร้างยาวไปจนสุดเขตอิทธิพลการกัดทำลายของน้ำ จึงต้องใช้เสาไม้วางต่อกันตามยาวหลายต้นโดยให้โคนเสาของต้นที่อยู่ทางด้านเหนือน้ำทับปลายเสาของต้นที่วางต่อไปทางด้านท้ายน้ำเสมอ และต้องปูเสาชิดกันตลอดความกว้างของท้องน้ำหลายแถว

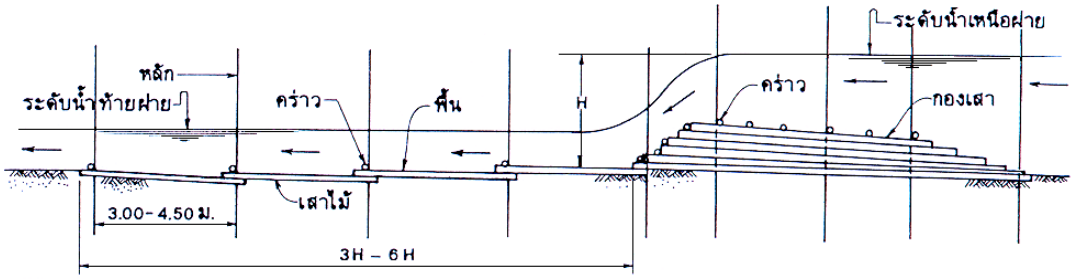
ถ้า H = ความสูงของน้ำที่ไหลตกจากสันฝายถึงพื้นฝาย

L = ความยาวของพื้นฝายด้านท้ายน้ำจากชายลาดฝายถึงปลายพื้น

L ควรเท่ากับ 3H ถึง 6H

พื้นฝายด้านท้ายน้ำซึ่งเกิดจากการปูเสาชิดกันและต่อทับกันหลายแถวนั้นมีลักษณะเป็นขั้นบันได ความกว้างของขั้นบันไดจึงเท่ากับความยาวของเสาแต่ละแถวหรือประมาณ 3.00 เมตร ถึง 4.50 เมตร

เมื่อได้พื้นฝายด้านท้ายน้ำแล้วจึงสร้างตัวฝายโดยใช้เสาไม้วางเรียงชิดกันและทับกันเป็นชั้นๆ ให้โคนเสาทุกชั้นอยู่ทางด้านท้ายน้ำ แนวโคนเสาของชั้นต่างๆ ตั้งฉากกับพื้นท้องน้ำ หรือจะให้เป็นลาด 1:1 หรือชันกว่าเพื่อทำเป็นลาดฝายด้านท้ายน้ำก็ได้ สำหรับลาดฝายด้านเหนือน้ำจะเกิดขึ้นเองตามความเรียวของเสาอยู่แล้วในตัว แต่โดยมากจะทำให้มีลาดประมาณ 1:3



รูปที่ 2.5 ฝายเสาไม้ (log weir)

ตามซอกระหว่างเสาใช้กรวดหรือหินเล็กอุดให้แน่น และเพื่อทำให้ฝายแข็งแรงจะใช้เสาไม้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.10 เมตร ติดเป็นคร่าวไว้ตรงแนวใกล้ๆ กับโคนเสาของแต่ละชั้นโดยมีสลักยึดติดแน่นกับเสาชั้นล่าง สำหรับเสาชั้นบนซึ่งเป็นลาดฝายนั้นต้องติดเสาไม้คร่าวหลายแนวให้มั่นคงแข็งแรง เพราะน้ำไหลผ่านแรงและอาจถูกต้นไม้หรือซุงไหลลอยมากระทบได้ ถ้าเสาไม้ที่ใช้ทำฝายเป็นไม้เบาและฝายต้องจมอยู่ใต้น้ำนานแล้วต้องใช้เสาไม้ปักลงในท้องน้ำเป็นระยะๆ เพื่อยึดเสาไม้ตัวฝายและพื้นฝายที่เรียงไว้ไม่ให้ลอยขึ้นมาได้

ข. ฝายไม้คอกหมู (crib weirs)

ฝายไม้คอกหมูมีสร้างในต่างประเทศมาก ฝายชนิดนี้เหมาะที่จะสร้างในท้องถิ่นซึ่งหากรวดและหินใหญ่ได้ง่าย เช่น ตามต้นแม่น้ำลำธารต่างๆ

ฝายไม้คอกหมูมี 2 แบบคือ

1) ฝายไม้คอกหมูติดต่อ
2) ฝายไม้คอกหมูเดี่ยว

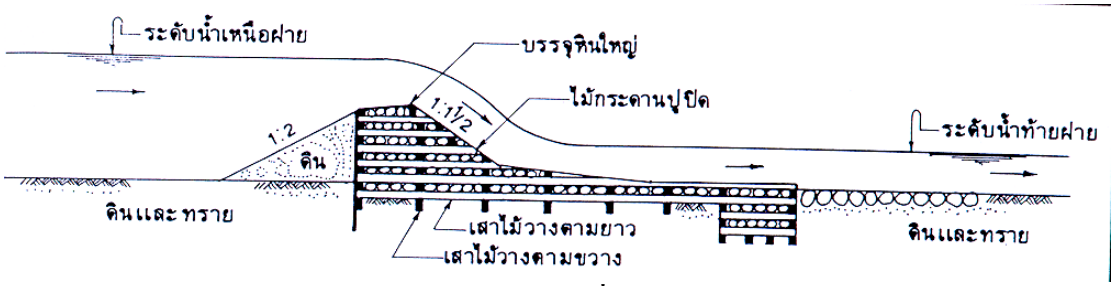
- **ฝายไม้คอกหมูติดต่อ (continuous crib weirs)**

ฝายแบบนี้เหมาะจะสร้างในลำน้ำที่มีน้ำไม่ลึกมากและกระแสน้ำไม่แรงนัก รูปตัดของฝายคล้ายสามเหลี่ยมและมีลาดฝายอยู่ทางด้านเหนือน้ำ ส่วนลาดฝายด้านท้ายน้ำนั้นบางทีก็มีและบางทีก็ทำเป็นขั้นบันได ดังแสดงในรูปที่ 2.6

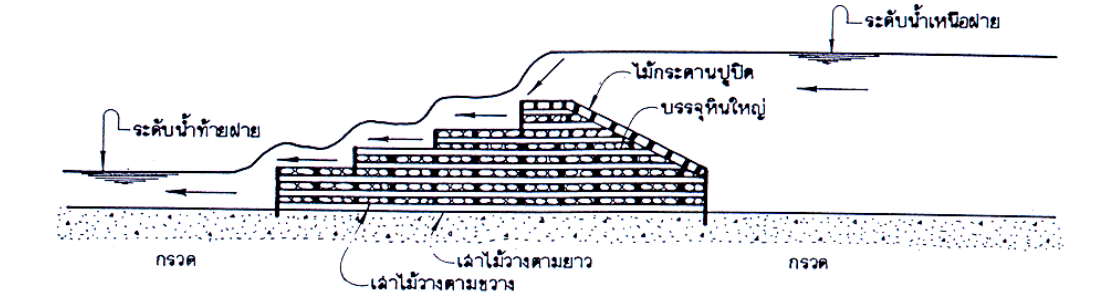
ตัวฝายเป็นคอกสี่เหลี่ยมหลายคอกสร้างติดต่อกันโดยใช้เสาไม้เหลี่ยมหรือกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.25 เมตร ถึง 0.30 เมตร วางบนท้องน้ำเป็นแถวๆ ไปตามความยาวของลำน้ำ แต่ละแถวจะต้องใช้เสาหลายต้นวางต่อกัน เมื่อวางเสาเป็นแถวๆ ตามความยาวของลำน้ำแล้วก็วางเสาเป็นแถวๆ ตามขวางของลำน้ำทับแนวเสาตามยาวเหล่านั้นเพื่อทำให้เกิดเป็นคอกสี่เหลี่ยมหลายคอกติดต่อกัน วางเสาตามยาวและตามขวางสลับกันเป็นชั้นๆ เช่นนี้ขึ้นมาเรื่อยๆ จนกว่าจะได้ความสูงของคอกหรือตัวฝายที่ต้องการ คอกสี่เหลี่ยมหรือคอกหมูเหล่านี้แต่ละคอกมีขนาดกว้างยาวประมาณ 2.00 เมตร ถึง 3.50 เมตร ภายในคอกบรรจุหินใหญ่ไว้เต็มและใช้กรวดหรือหินเล็กอุดซอกระหว่างหินใหญ่ให้แน่น ฝายที่สร้างโดยวิธีนี้จะมีความมั่นคง เพราะตัวฝายที่ประกอบด้วยคอกหมูซึ่งมีหินใหญ่บรรจุอยู่เต็มนั้นมีน้ำหนักมาก จะต้านทานแรงดันของน้ำได้ และเสาไม้ที่ทำคอกหมูจะช่วยยึดหินใหญ่ไว้ไม่ให้ถูกน้ำพัดหลุดไป เมื่อได้สร้างคอกหมูและบรรจุหินใหญ่ลงในคอกจนได้รูปฝายที่ต้องการแล้ว ให้ใช้ไม้กระดานปูปิดลาดฝายด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำหรือขั้นบันไดอีกทีหนึ่งเพื่อป้องกันไม่ให้น้ำพัดหินใหญ่ชั้นบนหลุดและเพื่อทำให้ฝายแน่นทึบ น้ำรั่วผ่านตัวฝายยาก บางแห่งจะใช้ดินถมลงข้างหน้าฝายด้านเหนือน้ำและทำให้เป็นลาด 1:2 จากสันฝายลงไปยังท้องน้ำเพื่อช่วยให้ฝายแน่นทึบยิ่งขึ้น

- **ฝายไม้คอกหมูเดี่ยว (separate crib weirs)**

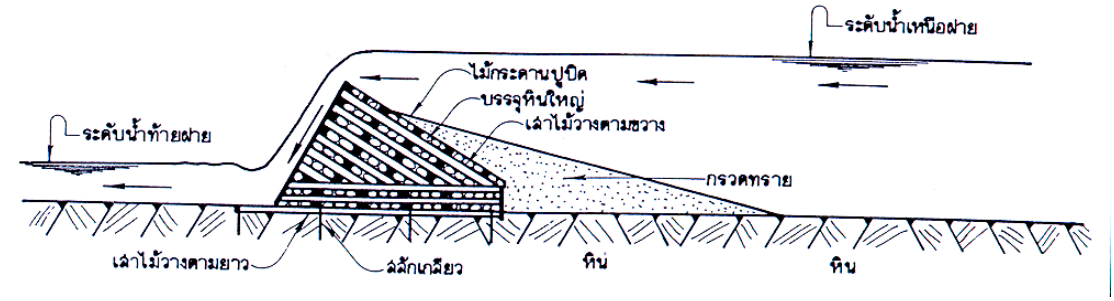
ฝายไม้คอกหมูเดี่ยวนี้ไม่ค่อยจะได้สร้างกันนัก และตามปกติจะสร้างในลำน้ำที่มีน้ำไหลแรงตลอดเวลา การสร้างจะต้องทำคอกหมูขึ้นก่อนเป็นคอกเดี่ยว มีขนาดกว้างยาวประมาณ 2.00 เมตร ถึง 3.00 เมตร ใช้ไม้กระดานกรุก้นคอกและข้างคอกทั้ง 4 ด้าน นำหินใหญ่บรรจุลงในคอกหมูแต่พอควรที่จะทำให้คอกจมน้ำได้เท่านั้น แล้วจึงนำคอกหมูไปวางลงบนท้องน้ำตรงที่จะสร้างฝาย เมื่อวางได้ที่แล้วค่อยเติมหินใหญ่ให้เต็มคอก นำคอกหมูดังกล่าวมาวางลงทีละคอกเช่นนี้เรื่อยไปจนกว่าจะได้รูปฝายที่ต้องการซึ่งอาจต้องวางคอกหมูหลายแถวและทับซ้อนกันหลายชั้น การวางคอกหมูต้องให้คอกชิดกันที่สุดและไม่ให้มีหัวต่อระหว่างคอกของชั้นและแถวต่างๆ อยู่เป็นแนวเดียวกัน



(1) แบบที่ 1



(2) แบบที่ 2



(3) แบบที่ 3

รูปที่ 2.6 ฝายคอกหมูติดต่อ (continuous crib weirs)

ฝายไม้คอกหมูโดยเฉพาะแบบคอกหมูติดต่อ (continuous crib weirs) นั้น จะสร้างบนท้องน้ำซึ่งเป็นดิน ทราย กรวด หรือหินก็ได้ทั้งสิ้น ถ้าท้องน้ำเป็นดิน ทราย หรือกรวด จะต้องขุดลอกท้องน้ำลงไปลึกประมาณ 1.00 เมตร ถึง 1.50 เมตร แล้วแต่งให้เรียบ การขุดลอกท้องน้ำนี้ต้องให้ยาวพอที่จะสร้างพื้นท้ายน้ำของฝายต่อจากตัวฝายออกไปด้วย ถ้าท้องน้ำเป็นหินก็ไม่จำเป็นต้องสร้างพื้นท้ายน้ำ แต่เสาชั้นล่างสุดที่ทำคอกหมูต้องยึดติดกับพื้นหินให้แน่นด้วยสลักเกลียวทุกระยะ 1.50 เมตร ถึง 2.50 เมตร หรือต้องสกัดพื้นหินให้เป็นร่องเพื่อวางเสาชั้นล่างสุดลงในร่องนั้น และเพื่อไม่ให้น้ำรั่วผ่านตัวฝายไปตามแนวระหว่างเสาชั้นล่างสุดกับหิน ให้ใช้ไม้กระดานกรุกั้นไว้ข้างหน้าฝายด้านเหนือน้ำ โดยฝังปลายไม้กระดานลงในร่องหินแล้วอุดด้วยปูนซีเมนต์กับทราย ส่วนการแต่งพื้นท้องน้ำซึ่งเป็นหินให้เรียบย่อมทำไม่ได้เหมือนพื้นท้องน้ำซึ่งเป็นดินหรือทราย ดังนั้นก่อนจะสร้างฝายจึงต้องสำรวจรูปลักษณะของท้องน้ำอย่างละเอียดแล้วพยายามสร้างคอกหมูให้ก้นคอกเข้ากับรูปท้องน้ำอย่างดีที่สุด เมื่อได้สร้างตัวฝายและพื้นท้ายน้ำแล้วจะต้องทำการป้องกันตลิ่งของลำน้ำ (bank protection) บริเวณฝายด้วย

2.4.4 ข้อบกพร่องของฝายชั่วฤดู ฝายชั่วคราว และฝายค่อนข้างถาวร

ฝายชั่วฤดู ฝายชั่วคราว และฝายค่อนข้างถาวรทั้ง 3 ประเภทนี้จัดอยู่ในพวกฝายไม่ถาวรทั้งสิ้น เพราะสร้างด้วยวัสดุไม่ถาวรและขาดการป้องกันอิทธิพลของน้ำ ตามธรรมดาวัสดุไม่ถาวรย่อมเสื่อมคุณภาพผุพังได้ง่าย เมื่อนำมาสร้างฝายจะมีอายุการใช้งานสั้น อย่างไรก็ดีถ้าขาดการป้องกันอิทธิพลของน้ำแล้ว ฝายที่สร้างด้วยวัสดุค่อนข้างถาวรหรือวัสดุถาวรก็อาจมีอายุใช้งานสั้นหรือพังได้ง่ายเหมือนกัน

ฝายที่สร้างขึ้นบนพื้นหรือฐานรากซึ่งน้ำซึมผ่านได้ (pervious foundations) เช่น พื้นซึ่งเป็นดิน ทราย หรือกรวด นั้น เมื่อทดน้ำมีระดับต่างกัน น้ำย่อมพยายามไหลจากด้านที่มีระดับน้ำสูงทางด้านเหนือน้ำของฝายไปสู่ด้านที่มีระดับน้ำต่ำทางด้านท้ายน้ำตามแนวทางต่างๆ ดังต่อไปนี้

(1) ไหลซึมลอดใต้ตัวฝายและพื้นฝาย

(2) ไหลล้นข้ามฝาย

(3) ไหลทะลุผ่านตัวฝาย

(4) ไหลซึมเข้าตลิ่งผ่านปีกฝายทั้ง 2 ข้าง

ฝายชั่วฤดู ฝายชั่วคราว และฝายค่อนข้างถาวร ไม่มีการป้องกันอิทธิพลของน้ำที่ไหลไปตามแนวทางทั้ง 4 นี้ จึงพังได้ง่าย ด้วยสาเหตุต่างๆ ดังต่อไปนี้

แนวทางที่ 1 : ถ้าน้ำไหลซึมลอดใต้ตัวฝายและพื้นฝายได้แรง น้ำอาจกัดและพาเม็ดดินใต้ฝายหลุดออกไปได้ ในที่สุดจะเกิดเป็นโพรงขึ้นใต้ฝาย เมื่อตัวฝายและพื้นฝายไม่มีดินรองรับฝายจะทรุดแล้วพังทลายไป

แนวทางที่ 2 : น้ำที่ไหลล้นข้ามฝาย เมื่อตกลงสู่พื้นท้องน้ำซึ่งเป็นดินทราย หรือกรวดที่ไม่มีการป้องกัน น้ำจะกระแทกพื้นท้องน้ำโดยแรงและกัดท้องน้ำเป็นหลุมลึกแล้วลุกลามเข้ามาหาตัวฝายอย่างรวดเร็ว ดินหรือทรายใต้ฝายจะเคลื่อนที่มาสู่หลุมนี้ซึ่งมีระดับต่ำกว่า เมื่อตัวฝายและพื้นฝายไม่มีอะไรรองรับก็จะทรุดแล้วพังทลายไป

แนวทางที่ 3 : ฝายที่ไม่ทึบตันน้ำจะไหลทะลุผ่านตัวฝายได้ตลอด ถ้าวัสดุไส้ฝายมีน้ำหนักน้อยและเป็นของไม่ถาวรด้วยแล้ว ในไม่ช้าน้ำจะพัดไส้ฝายหลุดไปหมด ฝายก็จะเหลือแต่โครงใช้ทดน้ำไม่ได้

แนวทางที่ 4 : น้ำที่ไหลซึมเข้าตลิ่งผ่านปีกฝายทั้ง 2 ข้างแล้วไปทะลุออกที่ลาดตลิ่งด้านท้ายน้ำของฝายนั้นก็มีอิทธิพลเช่นเดียวกับน้ำที่ไหลซึมลอดใต้ตัวฝายและพื้นฝายตามแนวทางที่ 1 คือ ถ้าน้ำไหลได้สะดวกและแรงจะกัดและพาเม็ดดินในตลิ่งหลุดออกไปทีละน้อยจนกระทั่งปีกฝายขาดเกิดเป็นทางน้ำไหลอ้อมฝายไป ฝายจะทดน้ำไม่ได้หรือพังทลายไป

2.4.5 ฝายถาวร

ฝายถาวรเป็นฝายที่สร้างด้วยวัสดุถาวรต่างๆ ซึ่งมีราคาแพงเช่น ไม้กระดาน คอนกรีตล้วน หินก่อ คอนกรีตเสริมเหล็ก ฯลฯ มีการคำนวณออกแบบถูกต้องตามหลักวิชา จึงมั่นคงต่อแรงดันของน้ำและต้านทานอิทธิพลการกัดทำลายของน้ำได้ และการก่อสร้างก็กระทำด้วยความประณีต ฝายถาวรจึงมีอายุใช้งานยืนยาว ถ้าได้รับการบูรณะซ่อมแซมอยู่เสมอจะใช้งานได้จนหมดอายุทางเศรษฐกิจ (economic life) ของมัน

ฝายถาวรมี 3 ชนิดคือ

(1) ฝายโครงไม้

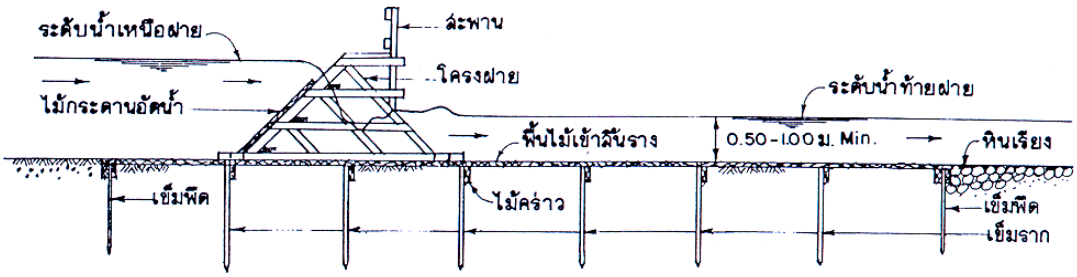
(2) ฝายหิน

(3) ฝายคอนกรีต

ก. ฝายโครงไม้ (wooden frame open weirs)

ตามปกติฝายที่สร้างด้วยไม้กระดานมีน้อย เพราะไม้ซึ่งจมอยู่ใต้น้ำนั้นแม้ว่าจะเป็นของถาวรไม่ผุง่ายก็จริง แต่มีน้ำหนักน้อยมักจะลอยขึ้นมาต้องยึดติดกับท้องน้ำให้แน่นหนา

ฝายโครงไม้เป็นฝายถาวรขนาดเล็กถึงขนาดกลางชนิดหนึ่งซึ่งสร้างด้วยไม้กระดานทั้งหมด สูงไม่เกิน 2.00 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 2.7 และมีลักษณะค่อนข้างบอบบางจึงไม่เหมาะจะสร้างในลำน้ำที่อาจมีวัตถุหนักลอยน้ำมาชนได้ โดยมากจะสร้างในลำน้ำขนาดเล็กทางตอนล่างของลุ่มน้ำซึ่งมีท้องน้ำเป็นกรวดหรือทรายและเป็นทำเลที่หาไม้คุณภาพดีได้ง่ายกว่าการหาหินใหญ่



รูปที่ 2.7 ฝายโครงไม้

ข. ฝายหิน

ฝายหินที่จะกล่าวในที่นี้มี 2 แบบคือ

(1) ฝายหินแบบอินเดีย

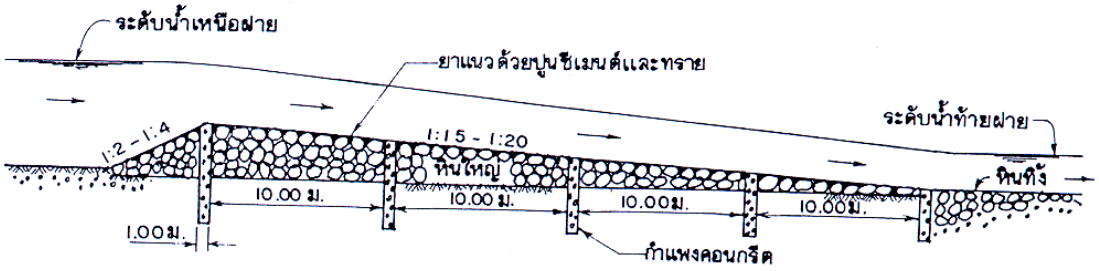
(2) ฝายหินแบบกรมชลประทาน

- **ฝายหินแบบอินเดีย (loose rock fill Indian type weirs)**

ในประเทศอินเดียนิยมสร้างฝายหิน (loose rock fill weirs) กันมาก เพราะเป็นฝายที่สร้างง่าย ราคาไม่แพงมากนัก และมีความถาวรทนทานเทียบได้กับฝายคอนกรีต

ฝายแบบนี้มีรูปตัดคล้ายรูปสามเหลี่ยมค่อนข้างแบน ลาดฝายด้านเหนือน้ำประมาณ 1:2 ถึง 1:4 และด้านท้ายน้ำประมาณ 1:15 ถึง 1:20 ตัวฝายประกอบด้วยกำแพงคอนกรีตหนาประมาณ 1.00 เมตร สร้างขวางตลอดความกว้างของลำน้ำหลายแถว ใช้สันกำแพงแถวที่หนึ่งเป็นสันฝายและให้ระดับสันกำแพงแถวอื่นๆ ลดต่ำลงไปเป็นลำดับตามลาดฝายด้านท้ายน้ำ กำแพงเหล่านี้จะสร้างไว้ห่างกันประมาณ 10.00 เมตร ในระหว่างกำแพงบรรจุหินใหญ่เต็ม ใช้กรวดหรือหินเล็กอัดซอกหินใหญ่ทุกชั้น ต่อจากปลายลาดฝายด้านท้ายน้ำมีหินใหญ่ทิ้งไว้เป็นระยะยาวพอ

สมควรเพื่อป้องกันน้ำกัดท้องน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 2.8 ลาดฝายซึ่งมีน้ำไหลผ่านตลอดเวลานั้นต้องใช้หินใหญ่สกัดหน้าเรียบวางเรียงชิดกันเป็นผิวลาดฝายและบางทีก็ยาแนวระหว่างก้อนหินด้วยปูนซีเมนต์กับทราย จะทำให้ผิวลาดฝายแข็งแรงขึ้นไม่ให้น้ำพัดหินหลุดไปได้

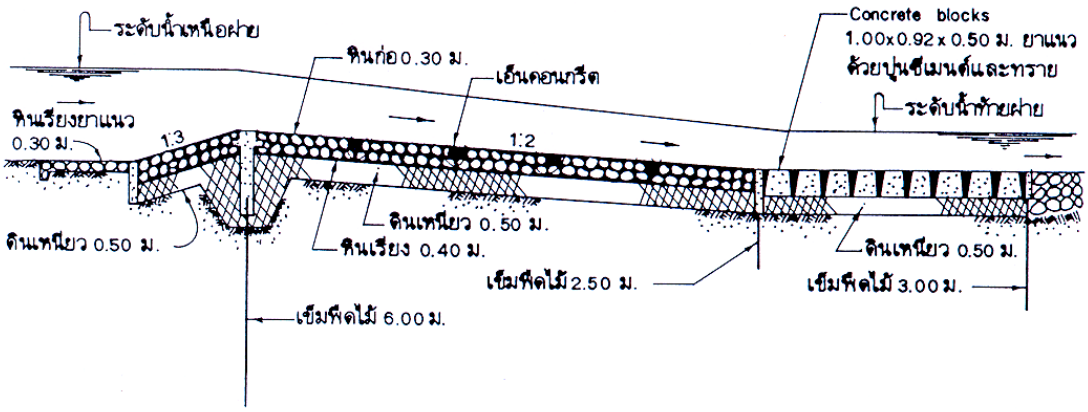


รูปที่ 2.8 ฝายหินแบบอินเดีย

ฝายหินแบบนี้ไม่จำเป็นต้องมีเข็มพืด เพราะตัวฝายยาวมากเนื่องจากมีลาดฝายค่อนข้างแบน น้ำต้องซึมลอดใต้ตัวฝายไปไกลจนหมดกำลังที่จะกัดและพาเม็ดดินไปได้ อย่างไรก็ดี เนื่องจากตัวฝายไม่ทึบตันน้ำที่ไหลซึมอยู่ใต้ฝายจะทะลุตัวฝายขึ้นมาและพาเม็ดดินหลุดไปได้ เพราะฉะนั้นในระยะแรกฝายมักจะทรุดได้บ้าง จึงต้องเติมหินใหญ่ไว้ให้เต็มตามรูปเดิมอยู่เสมอจนกว่าฝายจะอยู่ตัว แต่เมื่อใช้งานไปนานปีจะมีตะกอนหรือทรายในลำน้ำแทรกตัวเข้าไปอุดซอกหินใหญ่และหินเล็กไส้ฝายแน่น ตัวฝายจะทึบตันและตั้งอยู่ได้อย่างถาวร ถ้าต้องการให้ตัวฝายสั้นลงโดยใช้ลาดฝายชันขึ้นก็ทำได้แต่จะต้องตอกเข็มพืดไว้ใต้กำแพงตรงแนวสันฝาย

- **ฝายหินแบบกรมชลประทาน**

เป็นฝายที่ดัดแปลงมาจากฝายหินแบบอินเดีย และฝายหินของสหรัฐอเมริกา เพื่อให้เหมาะกับสภาพของท้องถิ่นในประเทศไทย ดังแสดงในรูปที่ 2.9 กรมชลประทานสร้างฝายหินแบบนี้ไว้อย่างน้อย 3 แห่งคือ ฝายแม่แฝกที่เชียงใหม่ ฝายแม่ปิงเก่าที่ลำพูน และฝายแม่วังที่ลำปาง



รูปที่ 2.9 ฝายหินแบบกรมชลประทาน (ฝายแม่ปิงเก่า ลำพูน)

รูปตัดของฝายเป็นรูปสามเหลี่ยมค่อนข้างแบนแต่ไม่แบนมากเหมือนฝายหินแบบอินเดีย คือมีลาดฝายด้านเหนือน้ำ 1:3 และด้านท้ายน้ำ 1:6 ก่อนสร้างฝายต้องขุดแต่งดินท้องน้ำให้เรียบดี แล้วใช้ดินเหนียวปูรองรับหินตัวฝายไว้ชั้นหนึ่งหนาประมาณ 0.50 เมตร ถึง 1.00 เมตร เพื่อประหยัดจำนวนหินที่ใช้สร้างฝายและทำให้ตัวฝายทึบตันไม่ให้น้ำไหลทะลุจากใต้ฝายขึ้นมาได้ น้ำจะถูกบังคับให้ไหลซึมลอดใต้ตัวฝายและพื้นฝายไปเท่านั้น บนชั้นดินเหนียวใช้หินใหญ่เรียงไว้หนา 0.40 เมตร ถึง 0.60 เมตร มีหินเล็กหรือกรวดอัดซอกหินใหญ่ให้แน่น แล้วก่อหินหนา 0.30 เมตร บนหินเรียงอีกชั้นหนึ่งเป็นผิวลาดฝายทั้งสองด้าน ใต้สันฝายเป็นกำแพงคอนกรีตหนา 0.60 เมตร ถึง 1.00 เมตร ตั้งอยู่บนหัวเข็มพืด ฝายแม่แฝกใช้เข็มพืดเหล็กยาว 9.00 เมตร แต่ฝายแม่ปิงเก่าและฝายแม่วังใช้เข็มพืดไม้ยาว 6.00 เมตร บนลาดฝายทั้งสองด้านมีเอ็นคอนกรีตตั้งอยู่บนเข็มรากกั้นเป็นคอกๆ คอกหนึ่งๆ กว้างยาวประมาณ 3.00 เมตร ถึง 5.00 เมตร เพื่อยึดหินก่อบนลาดฝายไว้

การป้องกันท้องน้ำด้านเหนือน้ำของฝายใช้หินเรียงยาแนวหนา 0.30 เมตร แต่ทางด้านท้ายน้ำต่อจากปลายลาดฝายไปนั้นใช้หินเรียงหนา 1.00 เมตร ยาว 10.00 เมตร และมีแท่งคอนกรีต (concrete blocks) ขนาดใหญ่วางกั้นไว้ที่ปลายหินเรียงอีกหนึ่งแถวเพื่อป้องกันไม่ให้

น้ำพัดหินเรียงหลุดกระจัดกระจายไป สำหรับฝายแม่ปิงเก่า ไม่ใช้หินเรียงเลยแต่ใช้แท่งคอนกรีตขนาดใหญ่ปูบนท้องน้ำด้านท้ายฝายโดยตลอด และใช้ปูนซีเมนต์กับทรายอุดช่องว่างระหว่างแท่งคอนกรีตเหล่านั้นด้วย

ฝายแม่ปิงเก่าต้องระบายน้ำมากในเวลาน้ำใหญ่ไหลหลาก จึงกำหนดระดับสันฝายไว้ต่ำ แต่เมื่อถึงฤดูแล้งเกษตรกรต้องการน้ำทำนาปรังก็เป็นเวลาที่มีน้ำไหลน้อยในแม่น้ำ ฝายอัดน้ำได้ไม่ถึงระดับที่จะไหลเข้าคลองส่งน้ำได้เต็มที่ จึงต้องทำที่ไว้บนสันฝายสำหรับเสริมสันฝายให้สูงขึ้นได้อีก 0.50 เมตร เพื่ออัดน้ำให้สูงขึ้น สันฝายส่วนที่เสริมขึ้นนี้จะถอดออกได้เมื่อถึงฤดูน้ำ

ค. ฝายคอนกรีต (concrete weirs)

ฝายคอนกรีตมี 2 ชนิดคือ

(1) ฝายคอนกรีตล้วนหรือฝายหินก่อ

(2) ฝายคอนกรีตเสริมเหล็ก

ฝาย 2 ชนิดนี้มีรูปร่างต่างกันมากเพราะต้องออกแบบให้แข็งแรงพอจะต้านทานแรงดันของน้ำได้ แต่ลักษณะของพื้นฝายและส่วนอื่นคงคล้ายคลึงกัน เนื่องจากฝายคอนกรีตสร้างด้วยวัสดุที่มีราคาแพง เพราะฉะนั้นการออกแบบจึงต้องมีการคำนวณอย่างละเอียดเพื่อให้ฝายแข็งแรงมากที่สุดโดยสิ้นเปลืองวัสดุที่ใช้สร้างฝายน้อยที่สุด

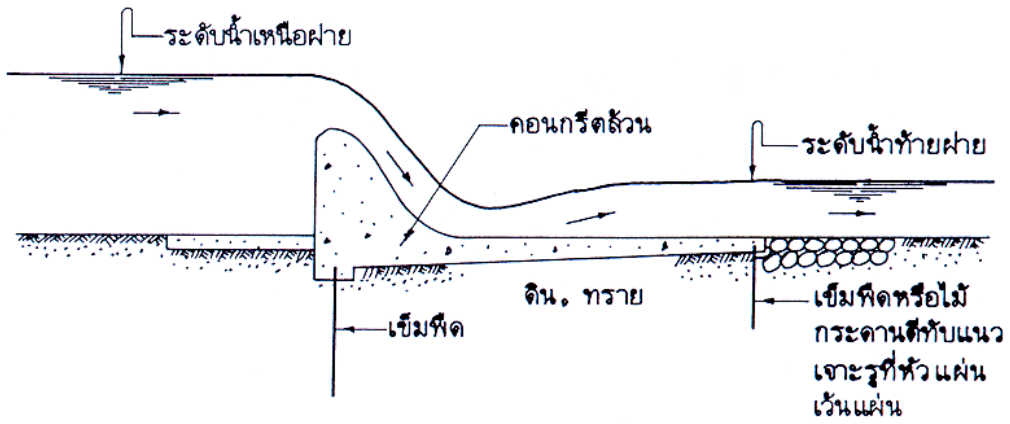
ถ้าสร้างฝายคอนกรีตบนพื้นแข็ง เช่น ดินดานหรือหิน ก็ไม่จำเป็นต้องป้องกันพื้นท้องน้ำ แต่ถ้าสร้างบนพื้นซึ่งเป็นดิน ทราย หรือกรวด จะต้องสร้างพื้นฝายขึ้นก่อนตามขนาดที่คำนวณได้ พื้นฝายอาจต้องมีเข็มราก (foundation piles) และโดยมากจะตอกเข็มพืด (sheet piles) ไว้หนึ่งแนวใต้สันฝายหรือที่ปลายพื้นด้านเหนือน้ำ ถ้าปลายเข็มพืดหยั่งถึงชั้นดินเหนียวข้างล่าง ฝายจะปลอดภัยจากน้ำซึมลอดใต้ฝาย และแรงดันขึ้นของน้ำหรือแรงยกตัวโดยเด็ดขาด แต่ถ้าปลายเข็มพืดหยั่งไม่ถึงชั้นดินเหนียว เข็มพืดจะทำหน้าที่ขยายความยาวของทางน้ำซึมลอดใต้ฝาย ทำให้กำลังแรงของน้ำซึมและแรงดันขึ้นของน้ำลดลง

ถึงแม้ว่าทางน้ำซึมลอดใต้ฝายจะยาวมากพอจนน้ำไม่สามารถกัดและพาเม็ดดินไปได้แล้วก็ตาม ที่ปลายพื้นฝายด้านท้ายน้ำยังมีไม้กระดานตีทับแนวหรือเข็มพืดตอกไว้อีกหนึ่งแนว เข็มพืดแนวนี้ไม่ได้ใช้ประโยชน์เพื่อขยายความยาวของทางน้ำซึม แต่เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำที่ไหลตกจากฝายวกกลับมากัดทะลวงดินใต้พื้นฝาย ควรสังเกตว่าถ้าตอกเข็มพืดแนวนี้ไว้ตามปกติน้ำจะซึมเลาะเข็มพืดไป ทางน้ำซึมลอดใต้ฝายจะยาวขึ้น แต่เส้นลาดชลศาสตร์ (hydraulic gradient line) จะราบมากขึ้นทำให้แรงดันขึ้นของน้ำใต้ฝายเพิ่มขึ้น ดังนั้นถ้าจะให้เส้นลาดชลศาสตร์และ

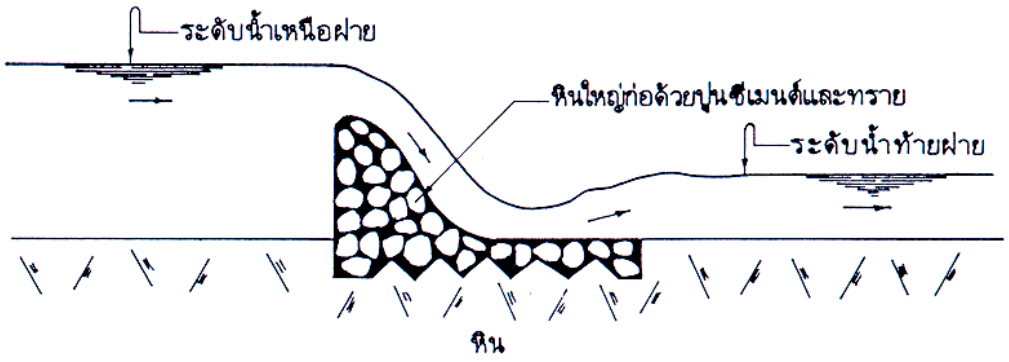
แรงดันขึ้นของน้ำเป็นไปตามเดิมเสมือนหนึ่งไม่มีเข็มพืดแนวนี้ ก็จะต้องเจาะรูที่หัวเข็มพืดทุกแผ่น หรือเจาะหนึ่งแผ่นเว้นหนึ่งแผ่นสลับกันไปก็ได้ น้ำจะไหลซึมทะลุรูที่เจาะไว้ไปได้โดยไม่เลาะไปตามเข็มพืด จึงไม่กระทบกระเทือนถึงความยาวของทางน้ำซึมลอดใต้ฝาย เส้นลาดชลศาสตร์ และแรงดันขึ้นของน้ำ ลักษณะของพื้นฝายและเข็มพืดดังกล่าวนี้คงมีเหมือนกันทั้งฝายคอนกรีตล้วน ฝายหินก่อ และฝายคอนกรีตเสริมเหล็ก

- **ฝายคอนกรีตล้วนหรือฝายหินก่อ (mass concrete or masonry weirs)**

ฝายคอนกรีตล้วนหรือฝายหินก่อเป็นกำแพงทึบ มีรูปตัดคล้ายรูปสี่เหลี่ยมคางหมูซึ่งมีด้านบนคือสันฝายแคบกว่าด้านล่างซึ่งเป็นฐานฝาย โดยปกติลาดฝายด้านเหนือน้ำไม่มีหน้าฝายตั้งชันเป็นแนวดิ่งกับพื้นฝาย ส่วนลาดฝายด้านท้ายน้ำมีส่วนสัดตามที่คำนวณได้ เพื่อให้น้ำไหลข้ามฝายสะดวกและไม่ให้น้ำตกกระแทกพื้นฝายแรงเกินไปรูปตัดของฝายจะถูกดัดแปลงไปบ้าง คือจะทำสันฝายและบริเวณที่ปลายลาดฝายตัดกับพื้นท้ายน้ำไม่ให้มีเหลี่ยมมุมเหลืออยู่เลย (ดูรูปที่ 2.10 และ 2.11)



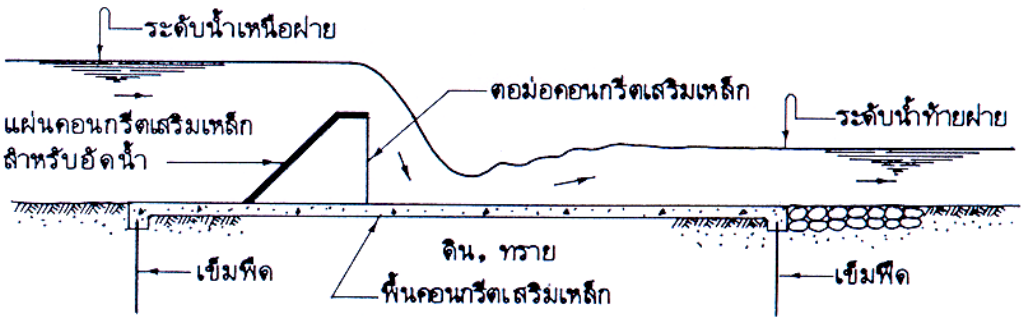
รูปที่ 2.10 ฝายคอนกรีตล้วน (mass concrete weir)



รูปที่ 2.11 ฝายหินก่อ (masonary weirs)

- **ฝายคอนกรีตเสริมเหล็ก (reinforced concrete weir)**

ฝายคอนกรีตเสริมเหล็กมีลักษณะเป็นตอม่อคอนกรีตรูปสามเหลี่ยมหนาประมาณ 0.50 เมตร ถึง 0.60 เมตร ตั้งอยู่บนพื้นคอนกรีตเป็นระยะๆ ห่างกันประมาณ 3.00 เมตร ถึง 6.00 เมตรตลอดความกว้างของลำน้ำ ช่องระหว่างตอม่อทุกช่องมีแผ่นคอนกรีตเสริมเหล็กสำหรับอัดน้ำติดไว้ แผ่นคอนกรีตเหล่านี้ติดเอนเป็นมุม 45 องศากับตอม่อเพื่ออาศัยแรงดันของน้ำกดทับตัวฝายไว้ด้วย เพราะฉะนั้นตอม่อรูปสามเหลี่ยมจึงมีลาด 45 องศาทางด้านเหนือน้ำแต่ด้านท้ายน้ำเป็นแนวดิ่งปล่อยให้น้ำที่ไหลข้ามฝายตกลงสู่พื้นฝายโดยตรง ดังแสดงในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 ฝายคอนกรีตเสริมเหล็ก

2.5 แรงซึ่งกระทำต่อฝาย

เนื่องจากฝายเป็นสิ่งกีดขวางการไหลของน้ำ จึงทำให้ระดับน้ำด้านเหนือน้ำของฝายสูงกว่าด้านใต้น้ำ และมีแรงกระทำต่อตัวฝายหลายแรง แรงเหล่านี้แบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

2.5.1 แรงดันน้ำนิ่ง (static forces)

เป็นแรงซึ่งกระทำต่อตัวฝายภายใต้สภาพแห่งการอยู่นิ่งของน้ำ ได้แก่

(1) แรงดันของน้ำซึ่งกระทำต่อตัวฝายทางด้านเหนือน้ำ ซึ่งพยายามผลักฝายให้ล้มคว่ำ ทรุด หรือเลื่อนไป

(2) แรงดันของน้ำซึ่งกระทำต่อตัวฝายทางด้านใต้น้ำซึ่งจะต้านทานแรงดันของน้ำทางด้านเหนือน้ำ

(3) น้ำหนักของน้ำที่ทับอยู่บนตัวฝาย

(4) ถ้าสร้างฝายบนฐานรากซึ่งน้ำซึมผ่านได้ จะมีแรงดันขึ้นของน้ำซึ่งพยายามจะยกตัวฝายให้ลอยขึ้น

2.5.2 แรงดันเนื่องจากน้ำไหล (dynamic forces)

เป็นแรงซึ่งกระทำต่อตัวฝายภายใต้สภาพแห่งการไหลของน้ำ ได้แก่

(1) แรงกัดทำลายของน้ำซึ่งไหลตกลงมาโดยแรงจากสันฝาย แรงนี้จะพยายามกัดผิวของลาดฝายด้านท้ายน้ำ และเมื่อน้ำไหลตกถึงพื้นท้องน้ำท้ายฝายจะกระแทกพื้นและพยายามกัดทำลายพื้น

(2) แรงกระแทกตัวฝายหรือสันฝายซึ่งเกิดจากวัตถุหนัก เช่น ไม้ซุงไหลลอยน้ำมาชน

(3) ถ้าสร้างฝายบนฐานรากซึ่งน้ำซึมผ่านได้ จะมีแรงกัดพาของน้ำซึ่งพยายามกัดพาเอาเม็ดดินใต้ฝายหลุดออกไป

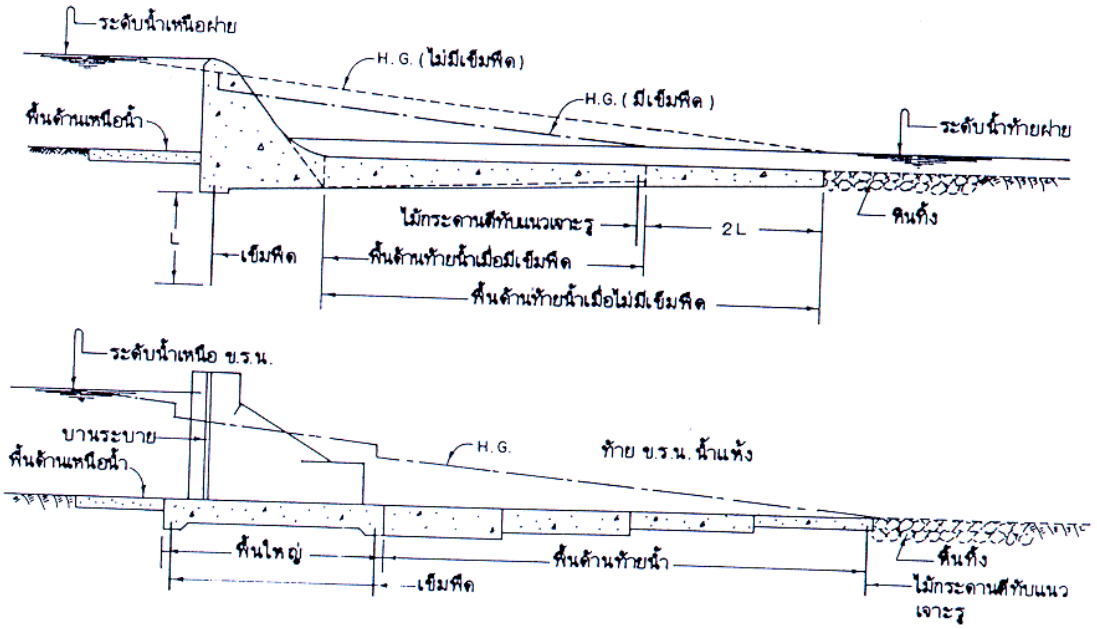
ฝายถาวรทุกชนิดจะต้องต้านทานแรงต่างๆ เหล่านี้ได้ หรือไม่เกิดชำรุดเสียหายเพราะแรงเหล่านี้

การต้านทานแรงดันของน้ำไม่ให้ผลักฝายล้มคว่ำ ทรุด เลื่อน หรือยกฝายขึ้นนั้นย่อมต้องการฝายที่มีน้ำหนักมาก อาจต้องฝังตัวฝายลงไปในพื้นเป็นแกน (key) และอาจต้องตอกเข็มราก (foundation piles) ไว้ใต้ฝายด้วย

การต้านทานน้ำกัดทำลายผิวของลาดฝายและพื้นท้องน้ำด้านท้ายน้ำย่อมต้องการลาดฝายและพื้นฝายแข็งและทนทานซึ่งสร้างด้วยวัสดุถาวรเช่น หินก่อหรือคอนกรีตล้วน และมีหินเรียงยาแนว (grouted pitching) และหินทิ้ง (riprap) ป้องกันท้องน้ำและลาดตลิ่งต่อจากปลายพื้นฝายด้านท้ายน้ำออกไปจนพ้นเขตการกัดทำลายของน้ำด้วย

การป้องกันสันฝายจากวัตถุหนักซึ่งไหลลอยน้ำมาชนนั้นจะต้องมีเหล็กประกับสันฝายไว้

การป้องกันไม่ให้น้ำกัดพาเม็ดดินใต้ฝายไปได้ย่อมต้องการความยาวของทางน้ำซึมลอดใต้ฝายมากพอจนน้ำหมดกำลังโดยใช้พื้นฝายด้านท้ายน้ำยาว ดังแสดงในรูปที่ 2.13 หรือจะใช้เข็มพืดช่วยดังกล่าวใน**หัวข้อฝายคอนกรีต** ก็ได้



รูปที่ 2.13 พื้นฝายและเขื่อนระบายน้ำ

2.6 หลักการคำนวณฝาย

การคำนวณฝายแบ่งออกเป็น 2 ตอนคือ

(1) ความสามารถของฝายในการระบายน้ำ

(2) ความมั่นคงของฝาย

2.6.1 ความสามารถของฝายในการระบายน้ำ

ฝายที่สร้างจะต้องให้ปริมาณน้ำมากที่สุดในลำน้ำนั้นไหลข้ามไปได้โดยไม่ทำให้ระดับน้ำทางด้านเหนือน้ำของฝายท้นสูงขึ้นจากระดับน้ำตามธรรมชาติมากเกินไป ถ้าน้ำท้นสูงมากจะท่วมพื้นดินสองฝั่งลึกถึงขีดเป็นอันตรายเสียหายได้

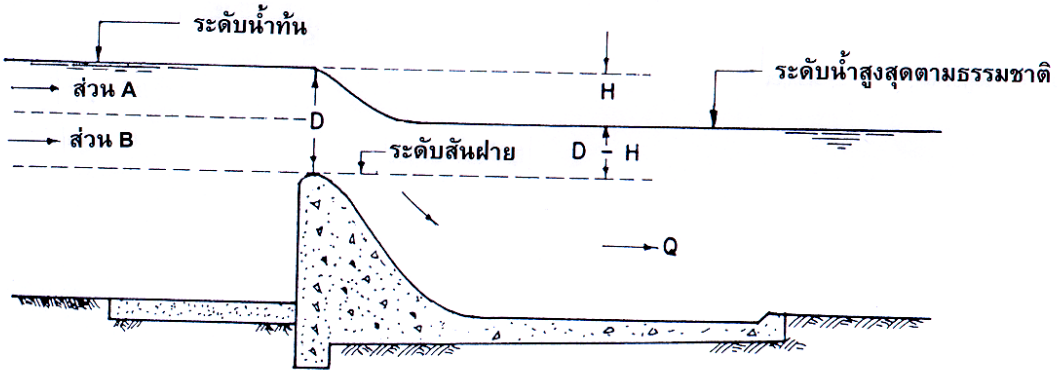
การคำนวณความสามารถของฝายในการระบายน้ำจะต้องทราบปริมาณน้ำมากที่สุดไหลข้ามฝายไปนั้น มีน้ำท่วมสันฝายลึกเท่าไร ระดับน้ำบนสันฝายสูงกว่าระดับน้ำสูงสุดตามธรรมชาติเท่าไร ความแตกต่างของระดับน้ำทั้งสองนี้เรียกว่าความสูงของน้ำท้น ซึ่งจะคำนวณได้จากสมการที่ 2.1

$$Q = CW\sqrt{2gH}\left(D-\frac{H}{3}\right) \quad \text{..... (2.1)}$$

ในเมื่อ

Q	=	ปริมาณน้ำมากที่สุดที่ไหลข้ามฝายเป็น เมตร^3/วินาที
C	=	สัมประสิทธิ์การระบายน้ำของฝาย
W	=	ความยาวของสันฝายเป็นเมตร
g	=	9.81 เมตร/วินาที^{2}
H	=	ความสูงของน้ำท้นเป็นเมตร
D	=	ความลึกของน้ำบนสันฝายเป็นเมตร

สูตรนี้ใช้กับฝายซึ่งน้ำท่วมด้านท้ายน้ำ **(submerged weir** หรือ **submerged overfall weirs)** คือฝายซึ่งมีระดับน้ำทั้งสองข้างสูงกว่าระดับสันฝาย ดังแสดงในรูปที่ 2.14 ซึ่งได้มาจากการคำนวณดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.14 ฝายซึ่งน้ำท่วมด้านท้ายน้ำ (submerged weir)

การไหลของน้ำในส่วน A

$$V_a = \frac{2}{3}C\sqrt{2gH}$$

$$A_a = WH$$

$$Q_a = V_a \times A_a$$

$$= \frac{2}{3}C\sqrt{2gH} \cdot WH$$

$$= \frac{2}{3}CW\sqrt{2g}H^{\frac{3}{2}}$$

การไหลของน้ำในส่วน B

$$V_b = c_1\sqrt{2gH}$$

$$A_b = W(D-H)$$

$$Q_b = V_b \times A_b$$

$$= c_1\sqrt{2gH} \cdot W(D-H)$$

$$= C\sqrt{2gH} \cdot W(D-H) \qquad (c_1 = C \text{ โดยประมาณ})$$

$$= CW(D-H)\sqrt{2gH}$$

$$Q = Q_a + Q_b$$

$$= \frac{2}{3}CW\sqrt{2g}H^{\frac{3}{2}} + CW(D-H)\sqrt{2gH}$$

$$= CW\sqrt{2gH}\left(\frac{2}{3}H + D - H\right)$$

$$= CW\sqrt{2gH}\left(D - \frac{H}{3}\right)$$

น้ำที่ท้นสูงขึ้นทางด้านเหนือน้ำของฝายมีลาดผิวน้ำราบกว่าลาดผิวน้ำตามธรรมชาติ เพราะฉะนั้นลาดผิวน้ำทั้งสองนี้จะตัดกัน ณ ที่แห่งหนึ่งทางด้านเหนือน้ำของฝาย ระยะจากจุดที่ตัดกันถึงที่ตั้งฝายเรียกว่าระยะน้ำท้น **(length of backwater curve)** น้ำที่ไหลข้ามฝายไปแล้วจะมีระดับน้ำและลาดผิวน้ำตามธรรมชาติ เพราะระดับน้ำด้านท้ายฝายจะไม่ถูกกระทบกระเทือนแต่อย่างใด

ในสูตร $Q = CW\sqrt{2gH}\left(D - \frac{H}{3}\right)$ นี้ จะเห็นว่ามีสิ่งที่ทราบค่าแล้วคือ

(1) Q ในที่นี้คือปริมาณน้ำมากที่สุดซึ่งจะต้องทราบมาก่อน รวมทั้งต้องทราบระดับน้ำสูงสุดตามธรรมชาติในลำน้ำตรงที่สร้างฝายเมื่อมีปริมาณน้ำมากที่สุดไหลผ่านดังกล่าวมาแล้วข้างต้น

(2) C มีค่าประมาณ 0.60 ถึง 0.70 แล้วแต่ลักษณะของสันฝาย แต่โดยทั่วไปใช้ C = 0.65 รายละเอียดเกี่ยวกับค่า C สามารถหาดูได้จากตำราการออกแบบอาคารบังคับน้ำของ วราวุธ (2534) หรือ Design of Small Dams ของ USBR (1977)

(3) W หรือความยาวของสันฝายนี้ผู้ออกแบบเป็นผู้กำหนดว่าจะให้ยาวเท่าไร

(4) g = 9.81 เมตร/วินาที^{2}

ดังนั้นจึงมีสิ่งที่ยังไม่ทราบอีก 2 อย่างคือ D และ H แต่เนื่องจากผู้ออกแบบจะต้องกำหนดระดับสันฝายขึ้น จึงทำให้ทราบระยะ D-H (เพราะทราบระดับน้ำสูงสุดตามธรรมชาติในลำน้ำตรงที่สร้างฝายอยู่ก่อนแล้ว) เพราะฉะนั้น D และ H นี้ เมื่อทราบค่าตัวใดตัวหนึ่งแล้วจะทราบค่าอีกตัวหนึ่งได้ทันที เช่น ระดับสันฝาย +100.000 ร.ท.ก. ระดับน้ำสูงสุดตามธรรมชาติตรงที่สร้างฝาย +101.500 รทก. ดังนั้น D-H = 101.500-100.000 = 1.50 เมตร ถ้า D = 2.10 เมตร จะทราบได้ทันทีว่า H = 2.10-1.50 = 0.60 เมตร เพราะฉะนั้นในการหาค่าของ D และ H จึงต้องใช้วิธีสมมติค่าของ D ขึ้น แล้วจะได้ค่าของ H ตามมา ต่อจากนั่นจึงคำนวณค่าของ $CW\sqrt{2g}H(D-\frac{H}{3})$ คือด้านขวามือของสมการ ถ้าผลของการคำนวณไม่เท่ากับค่าของ Q ทางด้านซ้ายมือของสมการ แสดงว่าค่าของ D ที่สมมตินั้นไม่ถูกต้อง ต้องสมมติค่าของ D ใหม่จนกว่าผลของการคำนวณจะเท่ากับค่าของ Q ซึ่งแสดงว่าค่าของ D ที่สมมตินั้นถูกต้องแล้ว

เมื่อได้ค่าของ D ที่ถูกต้องแล้วก็จะทราบระดับน้ำเหนือสันฝายและพิจารณาได้ว่าระดับน้ำนั้นมีอิทธิพลทำให้เกิดน้ำท่วมพื้นดินสองฝั่งทางด้านเหนือน้ำของฝายได้เพียงไร ถ้าน้ำท่วมลึกมากจะต้องเปลี่ยนแปลงส่วนสัดของฝายบางอย่างหรือหาวิธีป้องกันความเสียหายโดยวิธีใดวิธีหนึ่งดังต่อไปนี้

(1) ถ้ามีที่พอให้ขยายความยาวของสันฝาย (W) ออกไปอีก การขยายความยาวของสันฝายทำให้น้ำไหลข้ามฝายได้มากขึ้น การเอ่อท้นของน้ำจะลดลง

(2) ลดระดับสันฝายให้ต่ำลงอีก การลดระดับสันฝายจะทำให้น้ำไหลข้ามฝายได้มากขึ้น ความสูงของน้ำท้นจะลดลง

(3) สร้างคันกั้นน้ำ (flood protective dikes) บนสองฝั่งแม่น้ำจากปีกฝายทั้งสองข้างยาวขึ้นไปทางด้านเหนือน้ำของฝายจนสุดเขตระยะน้ำท้นซึ่งเกิดจากอิทธิพลของความสูงของน้ำท้น

การเลือกใช้วิธีใดนั้นย่อมแล้วแต่สภาพของงานและค่าลงทุนก่อสร้าง

ได้กล่าวมาแล้วว่าสูตร Q = $CW\sqrt{2g}H(D-\frac{H}{3})$

เป็นสูตรของฝายซึ่งน้ำท่วมด้านท้ายน้ำ (submerged weirs) ใช้สำหรับหาส่วนสัดของฝายในการระบายน้ำ และหาปริมาณน้ำที่ไหลข้ามฝายด้วย

ในกรณีที่น้ำไหลข้ามฝายไปแล้วมีระดับน้ำด้านท้ายฝายต่ำกว่าระดับสันฝาย ฝายนั้นจะอยู่ในสภาพที่เรียกว่าฝายซึ่งน้ำไหลข้ามอย่างอิสระ(free overfall weirs) การคำนวณปริมาณน้ำที่ไหลข้ามฝายในกรณีนี้จะต้องใช้อีกสูตรหนึ่งคือ

$$Q = \frac{2}{3}CA\sqrt{2gL}$$

$$= \frac{2}{3}CWD\sqrt{2gL}$$

$$= \frac{2}{3}CWD^{3/2}\sqrt{2g} \quad \text{..... (2.2)}$$

ตัวอย่างที่ 2.1 กำหนดให้

ระดับสันฝาย = +50.000 ม.(ร.ท.ก.)

ระดับน้ำด้านเหนือฝาย = +52.000 ม.(ร.ท.ก.)

ระดับน้ำด้านท้ายฝาย = +51.200 ม.(ร.ท.ก.)

C = 0.65

W = 20.00 ม.

g = 9.81 ม./วินาที^{2}

ให้คำนวณปริมาณน้ำที่ไหลข้ามฝาย (Q)

วิธีการคำนวณ

เพราะว่าฝายมีสภาพน้ำท่วมด้านท้ายฝาย

สูตร $Q = CW\sqrt{2gH}(D-\frac{H}{3})$

H = 52.000-51.200 = 0.80 ม.

D = 52.000-50.000 = 2.00 ม.

$\therefore Q = 0.65\times20\times\sqrt{2\times9.81\times0.80}(2.00-\frac{0.80}{3})$

= **89.244 ม.^{3}/วินาที**

ตัวอย่างที่ 2.2 กำหนดให้

ปริมาณน้ำที่ไหลข้ามฝาย(Q) = 149.600 ม.^{3}/วินาที

ระดับน้ำท้ายฝาย = +60.500 ม.(ร.ท.ก.)

ระดับสันฝาย = +59.000 ม.(ร.ท.ก.)

C = 0.65

W = 30.00 ม.

g = 9.81 ม./วินาที^{2}

ให้หาระดับน้ำเหนือสันฝาย

วิธีการคำนวณ

เพราะว่าฝายมีสภาพน้ำท่วมด้านท้ายฝาย

สูตร $Q = CW\sqrt{2gH}(D-\frac{H}{3})$

สมมติ D = 2.00 ม.

ระดับน้ำเหนือสันฝาย = 59.000+2.000 = 61.000 ม.(ร.ท.ก.)

ระดับน้ำท้ายฝาย = +60.500 ม.(ร.ท.ก.)

H = 61.000-60.500 = 0.50 ม.

$Q = 0.65\times30\times\sqrt{2\times9.81\times0.50}(2.00-\frac{0.50}{3})$

= 112 น้อยกว่า 149.600 ม.^{3}/วินาที

แสดงว่า D มีค่าน้อยไป

สมมติ D = 2.50 ม.

ระดับน้ำเหนือสันฝาย = 59.000+2.500 = 61.500 ม.(ร.ท.ก.)

ระดับน้ำท้ายฝาย = +60.500 ม.(ร.ท.ก.)

H = 61.500-60.500 = 1.00 ม.

$Q = 0.65\times30\times\sqrt{2\times9.81\times1.00}(2.50-\frac{1.00}{3})$

= 187 มากกว่า 149.600 ม.^{3}/วินาที

แสดงว่า D มีค่ามากไป

สมมติ D = 2.25 ม.

ระดับน้ำเหนือสันฝาย = 59.000+2.250 = 61.250 ม.(ร.ท.ก.)

ระดับน้ำท้ายฝาย = +60.500 ม.(ร.ท.ก.)

H = 61.250-60.500 = 0.75 ม.

$Q = 0.65\times30\times\sqrt{2\times9.81\times0.75}(2.25-\frac{0.75}{3})$

= 149.600 ม.^{3}/วินาที

= แสดงว่าค่าของ D = 2.25 ม. ที่สมมตินั้นถูกต้องแล้ว

เพราะฉะนั้นระดับน้ำเหนือสันฝาย = 59.000+2.250

= **+61.250 ม.(ร.ท.ก.)**

ตัวอย่างที่ 2.3 กำหนดให้

ปริมาณน้ำที่ไหลข้ามฝาย = 153.000 ม.^{3}/วินาที

ระดับสันฝาย = +52.000 ม.(ร.ท.ก.)

ระดับท้องน้ำด้านท้ายฝาย = +50.000 ม.(ร.ท.ก.)

C = 0.65

W = 28.00 ม.

g = 9.81 ม./วินาที^{2}

ความกว้างของท้องน้ำด้านท้ายฝาย (b) = 24.00 ม.

ลำน้ำด้านท้ายฝายมีรูปตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมูมีลาดตลิ่ง (SS) = 1:1

สัมประสิทธิ์ความขรุขระ (roughness coefficient) ของลำน้ำ (n) = 0.025

ลาดผิวน้ำของลำน้ำด้านท้ายฝาย (S) = 1:4,000

ให้หาระดับน้ำเหนือสันฝาย

วิธีการคำนวณ

จากข้อมูลที่กำหนดซึ่งไม่ทราบระดับน้ำด้านท้ายฝาย จึงต้องพิจารณาว่าถ้าปริมาณน้ำ 153.000 ม.^{3}/วินาที ไหลข้ามฝายไปแล้ว ระดับน้ำด้านท้ายฝายจะอยู่ที่ใด และจะทราบว่าในขณะนั้นฝายมีสภาพน้ำท่วมด้านท้ายฝายหรือน้ำไหลข้ามอย่างอิสระ แล้วจึงคำนวณระดับน้ำเหนือสันฝายต่อไป

หาระดับน้ำด้านท้ายฝาย

จากข้อมูล

ความกว้างของท้องน้ำด้านท้ายฝาย (b) = 24.00 ม.

ลาดตลิ่งของลำน้ำด้านท้ายฝาย (SS) = 1:1

สมมติความลึกของน้ำในลำน้ำด้านท้ายฝายในขณะที่ปริมาณน้ำ 153.000 ม.^{3}/วินาทีไหลผ่าน (d) = 4.00 ม.

$$A = (b+d)d$$
$$= (24.00+4.00)4.00$$
$$= 112.000 \text{ ม.}^2$$
$$P = b+2d\sqrt{2}$$
$$= 24.00+2(4.00)(\sqrt{2})$$
$$= 35.312 \text{ ม.}$$

$$R = \frac{A}{P}$$

$$= \frac{112.00}{35.312}$$

$$= 3.172 \text{ ม.}$$

จากสูตร Manning

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

$$= \frac{1}{0.025} (3.172)^{2/3} \left(\frac{1}{4000}\right)^{1/2}$$

$$= 1.365 \text{ ม./วินาที}$$

$$\therefore \quad Q = AV$$

$$= 112 \times 1.365$$

$$= 152.88 \text{ ม.}^3\text{/วินาที}$$

ใกล้เคียงกับ 153.000 ม.^{3}/วินาที จึงใช้ได้ และแสดงว่า d = 4.00 ม. ที่สมมตินั้นถูกต้องแล้ว

ในการคำนวณอาจต้องสมมติค่าของ d หลายครั้ง จนกว่าจะได้ค่าของปริมาณน้ำ (Q) เท่าที่กำหนด ตามตัวอย่างนี้ได้นำค่าของ d ที่สมมติถูกต้องมาแสดงให้เห็นเท่านั้น

ดังนั้นระดับน้ำด้านท้ายฝาย = 50.000+4.00

= +54.00 ม.(ร.ท.ก.)

ซึ่งสูงกว่าระดับสันฝาย

เพราะฉะนั้นในขณะที่ปริมาณน้ำ 153.000 ม.^{3}/วินาที ไหลข้ามฝาย ฝายจะมีสภาพน้ำท่วมด้านท้ายฝาย

สูตร $Q = CW\sqrt{2g}H^{\left(D-\frac{H}{3}\right)}$

หาระดับน้ำเหนือสันฝาย

สมมติ D = 2.62 ม.

ระดับสันฝาย = +52.00 ม.(ร.ท.ก.)

ระดับน้ำเหนือสันฝาย = 52.000+2.620

= +54.620 ม.(ร.ท.ก.)

ระดับน้ำด้านท้ายฝาย = +54.000 ม.(ร.ท.ก.)

H = 54.620-54.000 = 0.62 ม.

Q = $0.65 \times 28 \times \sqrt{2 \times 9.81 \times 0.62}\left(2.62 - \frac{0.62}{3}\right)$

= 153.191 ม.^{3}/วินาที

ใกล้เคียงกับ 153.000 ม.^{3}/วินาที จึงใช้ได้

(การคำนวณข้างบนนี้ได้นำค่าของ D ที่สมมติถูกต้องมาแสดงให้เห็นเท่านั้น)

ดังนั้นระดับน้ำเหนือสันฝาย = 52.000+2.620

= **+54.620 ม.(ร.ท.ก.)**

ตัวอย่างที่ 2.4 กำหนดให้

ระดับสันฝาย = +60.000 ม.(ร.ท.ก.)

ระดับน้ำเหนือสันฝาย = +60.800 ม.(ร.ท.ก.)

ระดับน้ำด้านท้ายฝาย = +58.500 ม.(ร.ท.ก.)

C = 0.65

W = 20.00 ม.

g = 9.81 ม./วินาที^{2}

ให้คำนวณปริมาณน้ำที่ไหลข้ามฝาย (Q)

วิธีการคำนวณ

เพราะว่าฝายมีสภาพน้ำไหลข้ามอย่างอิสระ

สูตร $Q = \frac{2}{3} C W D^{3/2} \sqrt{2g}$

D = 60.800-60.000 = 0.80 ม.

$Q = \frac{2}{3} \times 0.65 \times 20 \times (0.80)^{3/2} \sqrt{2 \times 9.81}$

= 27.490 ม.^{3}/วินาที

ตัวอย่างที่ 2.5 กำหนดให้

ปริมาณน้ำที่ไหลข้ามฝาย = 4.300 ม.^{3}/วินาที

ระดับน้ำสันฝาย = +60.000 ม.(ร.ท.ก.)

ระดับท้องน้ำด้านท้ายฝาย = +58.000 ม.(ร.ท.ก.)

C = 0.65

W = 20.00 ม.

g = 9.81 ม./วินาที^{2}

ความกว้างของท้องน้ำด้านท้ายฝาย (b) = 16.00 ม.

ลำน้ำด้านท้ายฝายมีรูปตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมูมีลาดตลิ่ง (SS) = 1:1

สัมประสิทธิ์ความขรุขระของลำน้ำ (n) = 0.025

ลาดผิวน้ำของลำน้ำด้านท้ายฝาย (S) = 1:4,000

ให้หาระดับน้ำเหนือสันฝาย

วิธีการคำนวณ

จากข้อมูลที่กำหนด ซึ่งไม่ทราบระดับน้ำด้านท้ายฝาย จึงต้องคำนวณเช่นเดียวกับตัวอย่างที่ 2.3

หาระดับน้ำด้านท้ายฝาย

จากข้อมูล

b = 16.00 ม.

SS = 1:1

สมมติความลึกของน้ำในลำน้ำด้านท้ายฝายในขณะที่ปริมาณน้ำ 4.300 ม.^{3}/วินาที ไหลผ่าน (d) = 0.60 ม.

A = (b+d)d

= (16.00+0.60)0.60

= 9.960 ม.^{2}

P = $b+2d\sqrt{2}$

= 16.00+2(0.60)(1.414)

= 17.697 ม.

R = $\frac{A}{P}$

= $\frac{9.960}{17.69}$

= 0.562 ม.

จากสูตร Manning

V = $\frac{1}{n}R^{2/3}S^{1/2}$

= $\frac{1}{0.025}(0.562)^{2/3}(\frac{1}{4000})^{1/2}$

= 0.430 ม./วินาที

Q = 9.960×0.430

= 4.283 ม.^{3}/วินาที

ใกล้เคียงกับ 4.300 ม.^{3}/วินาที จึงใช้ได้ และแสดงว่า

d = 0.60 ม. ที่สมมตินั้นถูกต้องแล้ว

ดังนั้น เมื่อปริมาณน้ำ 4.300 ม.^{3}/วินาที ไหลข้ามฝายไปแล้วจะทำให้มีน้ำในลำน้ำด้านท้ายฝายลึก 0.60 ม. เพราะฉะนั้นระดับน้ำในลำน้ำด้านท้ายฝายจะอยู่ที่ 58.000+0.600 หรือ +58.600 ม.(ร.ท.ก.) ซึ่งต่ำกว่าระดับสันฝาย แสดงว่าในขณะนั้นฝายมีสภาพน้ำไหลข้ามอย่างอิสระ

หาระดับน้ำเหนือสันฝาย

สูตร $Q = \frac{2}{3}CWD^{3/2}\sqrt{2g}$

$4.300 = \frac{2}{3}\times 0.65 \times 20 \times D^{3/2}\sqrt{2\times 9.81}$

$D^{3/2} = 0.112$

$D = (0.112)^{2/3}$

$= 0.232$

ดังนั้น ระดับน้ำเหนือสันฝาย = 60.000+0.232

= **+60.232 ม.(ร.ท.ก.)**

2.6.2 ความมั่นคงของฝาย (Stability)

เรื่องที่ต้องพิจารณาเกี่ยวกับความมั่นคงของฝายคือ

- ความทรงตัวของฝาย
- พื้นฝาย
- แรงดันขึ้นของน้ำใต้ฝาย
- แรงกัดพาเม็ดดินใต้ฝาย

ก. แรงที่กระทำต่อตัวฝาย

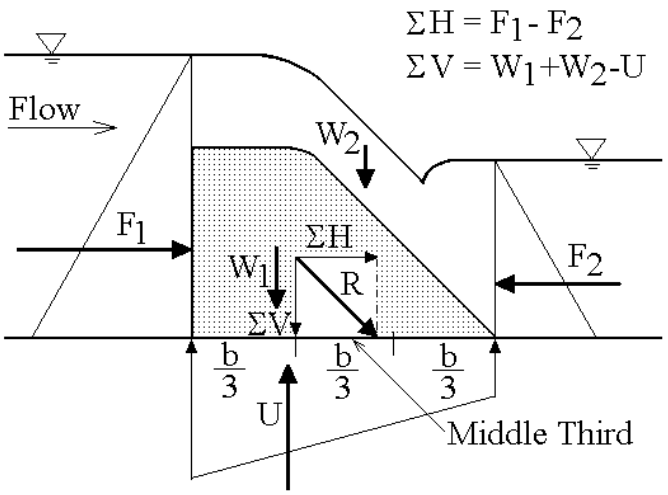
ได้กล่าวในข้อ 2.5.1 แล้วว่า แรงที่กระทำต่อตัวฝายในสภาพน้ำนิ่ง (static forces) มีอยู่ด้วยกันหลายแรงซึ่งแบ่งออกได้เป็น

- **แรงในแนวราบ (horizontal forces)**
  - แรงดันของน้ำกระทำต่อตัวฝายทางด้านเหนือน้ำ
  - แรงดันของน้ำกระทำต่อตัวฝายทางด้านท้ายน้ำ
- **แรงในแนวดิ่ง (weights or vertical forces)**
  - น้ำหนักของน้ำที่กดทับบนตัวฝาย
  - แรงดันขึ้นของน้ำใต้ตัวฝาย

นอกจากนี้ยังมีน้ำหนักของตัวฝายซึ่งกระทำในแนวดิ่งด้วย น้ำหนักหรือแรงในแนวดิ่งทั้งหมดต้องมากพอที่จะต้านทานแรงในแนวราบทั้งหมดไม่ให้ฝายพลิกคว่ำ (overturning) ทรุดและเลื่อน (sliding) ได้

ในขั้นแรกจะต้องหาแรงดันของน้ำซึ่งกระทำต่อตัวฝายในแนวราบเสียก่อน โดยพิจารณาว่าระดับน้ำใดทำให้เกิดแรงดันซึ่งกระทบกระเทือนต่อความทรงตัวของฝายมากที่สุด เพราะระดับน้ำสองข้างฝายจะเปลี่ยนแปลงสูงๆ ต่ำๆ อยู่เสมอ ถ้าหากพิจารณาแต่เพียงผิวเผิน มักจะคิดว่าระดับน้ำสองข้างฝายที่แตกต่างกันมากที่สุดจะกระทบกระเทือนต่อความทรงตัวของฝายมากที่สุด แต่ถ้าได้คำนวณตามสภาพต่างๆ ของระดับน้ำแล้วจะทราบว่าไม่เป็นเช่นนั้น และพอจะกล่าวได้ว่าความทรงตัวของฝายจะได้รับความกระทบกระเทือนมากที่สุดเมื่อมีน้ำท่วมสันฝายลึกพอสมควร และระดับน้ำด้านท้ายฝายขึ้นมาสูงเกือบถึงระดับสันฝาย

เมื่อทราบสภาพของระดับน้ำและแรงดันของน้ำที่กระทบกระเทือนต่อความทรงตัวของฝายมากที่สุดแล้ว ก็จะหาขนาดและน้ำหนักของตัวฝายให้ต้านทานแรงดันของน้ำได้ โดยถือหลักว่าแนวแรงลัพธ์ซึ่งเกิดจากแรงในแนวราบทั้งหมด (ΣH) กับน้ำหนักในแนวดิ่งทั้งหมด (ΣV) ต้องตัดฐานฝายภายในช่วงกลางจากการแบ่งฐานเป็น 3 ส่วนเท่าๆ กัน หรือเรียกว่าช่วงกลางของ 3 ช่วง (middle third) หรืออย่างมากที่สุดต้องไม่เลยปลายทางด้านท้ายน้ำของช่วงกลางของ 3 ช่วง ดังแสดงในรูปที่ 2.15 เพราะถ้าเลยออกไปแล้วจะเกิดแรงดึง (tension) ขึ้นที่ริมฐานฝายทางด้านเหนือน้ำซึ่งไม่ควรให้เกิดขึ้นเพราะเป็นอันตรายต่อตัวฝายและฐานฝาย และถ้าแนวแรงลัพธ์ผ่านออกนอกฐานฝายและไม่มีวิธีต้านทานความเครียดเนื่องจากแรงดึง (tensile stress) ที่ตีนฝายด้านเหนือน้ำ (upstream toe) ของฝายแล้ว ฝายอาจพลิกคว่ำ (overturning) ลง



รูปที่ 2.15 แรงที่กระทำต่อตัวฝาย

การพลิกคว่ำเกิดจากโมเมนต์ของแรงที่กระทำกับตัวฝาย ดังนั้นจึงจึงสามารถตรวจสอบว่าฝายจะปลอดภัยต่อการพลิกคว่ำหรือไม่โดยการคำนวณโมเมนต์รอบฐานด้านท้ายน้ำ ฝายจะถือว่าปลอดภัยจากการพลิกคว่ำ ถ้าอัตราส่วนของผลรวมของโมเมนต์ต้านการพลิกคว่ำต่อผลรวมของโมเมนต์ที่จะทำให้เกิดการพลิกคว่ำมีค่ามากกว่าค่าแฟคเตอร์ความปลอดภัย (safety factor) ซึ่งปกติจะกำหนดให้มีค่าอยู่ระหว่าง 1.5-2.0 (Baban. 1995)

แรงในแนวราบทั้งหมด (ΣH) เป็นแรงที่พยายามผลักฝายให้เลื่อนไถล (sliding) แต่การเลื่อนไถลของฝายจะถูกความฝืด (friction) ระหว่างฐานฝายกับดินใต้ฐานฝายต้านทานไว้

ถ้า f = สัมประสิทธิ์ความฝืด (coefficient of static friction) ระหว่างผิวสองผิวที่เลื่อนออกจากกัน ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ค่าสัมประสิทธิ์ความฝืด (f)

วัสดุ	f
หินแข็ง (สะอาดและมีผิวขรุขระ)	0.8
หิน (มีรอยแตกบ้าง)	0.7
กรวดและทรายหยาบ	0.4
ทราย	0.3
ดินชนวน	0.3
ตะกอนทรายและดินเหนียว	0.3
USBR (1977)	
คอนกรีตหรือหินก่อบนกรวด	0.5
คอนกรีตหรือหินก่อบนทราย	0.4
คอนกรีตหรือหินก่อบนดินเหนียว	0.3
อรุณ (2534)	

แรงต้านทานการเลื่อนไถลทั้งหมด = $f(\Sigma V)$

ดังนั้น ถ้าจะไม่ให้ฝายเลื่อนไถลแรงต้านทานการเลื่อนไถลทั้งหมดจะต้องเท่าหรือมากกว่าแรงในแนวราบทั้งหมด ตามเกณฑ์ความปลอดภัยดังสมการ

$$SF = \frac{f(\Sigma V)}{\Sigma H} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2.3)$$

เมื่อ SF = แฟคเตอร์ความปลอดภัยซึ่งมีค่าประมาณ 1-1.5 สำหรับฐานรากธรรมดา และประมาณ 2.5 สำหรับฐานรากซึ่งวัสดุยังไม่คงตัว (unconsolidated material)

ข. พื้นฝาย (aprons)

ในที่นี้จะพิจารณาเฉพาะพื้นด้านท้ายน้ำ (downstream apron) เท่านั้น เพราะพื้นด้านเหนือน้ำ (upstream spron) ไม่สำคัญเท่าพื้นด้านท้ายน้ำ

ตามปกติพื้นฝายด้านท้ายน้ำมีหน้าที่ 3 ประการคือ

(1) ป้องกันไม่ให้น้ำที่ไหลตกลงมาจากสันฝายกระแทกและกัดท้องน้ำได้โดยตรง

(2) ทำให้เกิดเป็นอ่างน้ำ (basin) ท้ายฝายซึ่งพลังงานของน้ำที่ไหลตกลงมาจากสันฝายจะถูกทำลายภายในอ่างน้ำนี้ น้ำจะไม่กัดท้องน้ำต่อจากปลายพื้นฝายออกไป

(3) ขยายทางน้ำซึม (path of percolation) ใต้ฝายให้ยาวพอจนน้ำหมดกำลังไม่สามารถจะพาเอาเม็ดดินไปได้

พื้นฝายต้องสร้างด้วยวัสดุถาวรเช่นคอนกรีตหรือหินก่อเพื่อให้รับการกระแทกและการกัดทำลายของน้ำที่ไหลตกลงมาโดยแรงจากสันฝายได้ และพื้นฝายต้องทึบหนาและหนักพอที่จะกดทับแรงดันขึ้นของน้ำไม่ให้น้ำทะลุขึ้นมาข้างบนหรือยกพื้นลอยขึ้นได้ ในกรณีที่ไม่สามารถสร้างพื้นฝายให้ยาวเพื่อทำให้เกิดเป็นอ่างน้ำสำหรับทำลายพลังงานของน้ำได้อย่างสมบูรณ์นั้นจะต้องมีหินทิ้งบนท้องน้ำต่อจากปลายพื้นฝายออกไประยะหนึ่ง (ดูรูปที่ 2.16 และ 2.17) สำหรับหน้าที่ของพื้นฝายในการขยายความยาวของทางน้ำซึมใต้ฝายนั้นย่อมต้องการพื้นฝายยาวมาก แต่ความยาวของพื้นฝายจะลดลงได้ถ้าใช้เข็มพืด (sheet piles) ช่วย

ค. แรงดันขึ้นของน้ำใต้ฝาย (uplift pressure)

แรงดันขึ้นของน้ำใต้ฝายสัมพันธ์กับความแตกต่างของระดับน้ำทั้งสองข้างของฝาย และความยาวที่น้ำจะต้องไหลซึมลอดใต้ฝายทั้งหมด ดังรูปที่ 2.18

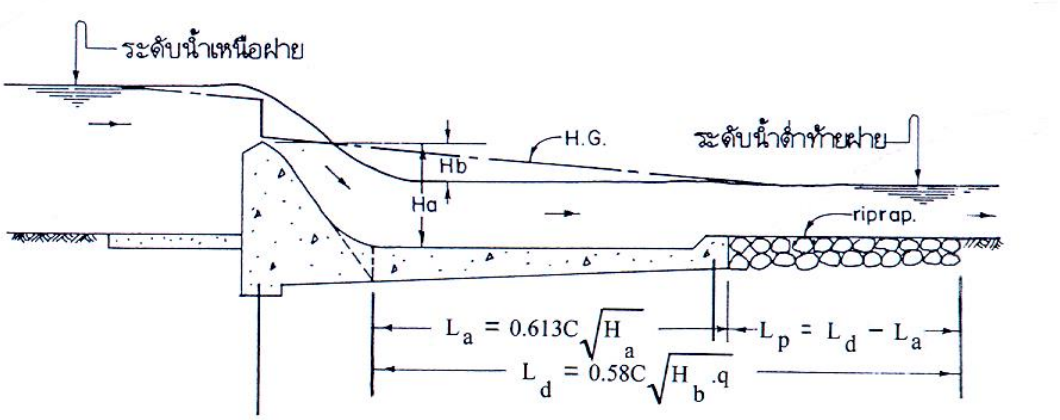
ถ้า H = ความแตกต่างของระดับน้ำสองข้างฝาย

L = ความยาวที่น้ำจะต้องไหลซึมลอดไปทั้งหมด

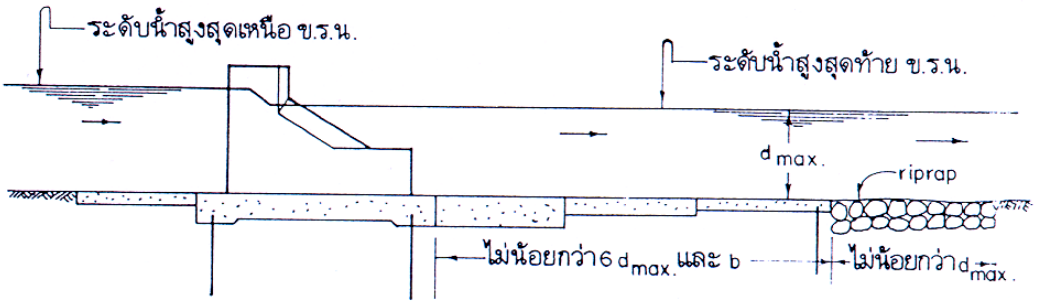
$\frac{H}{L}$ = คือ ลาดชลศาสตร์ (hydraulic gradient)

ตามรูปที่ 2.18 AC คือเส้นลาดชลศาสตร์ (hydraulic grade line)

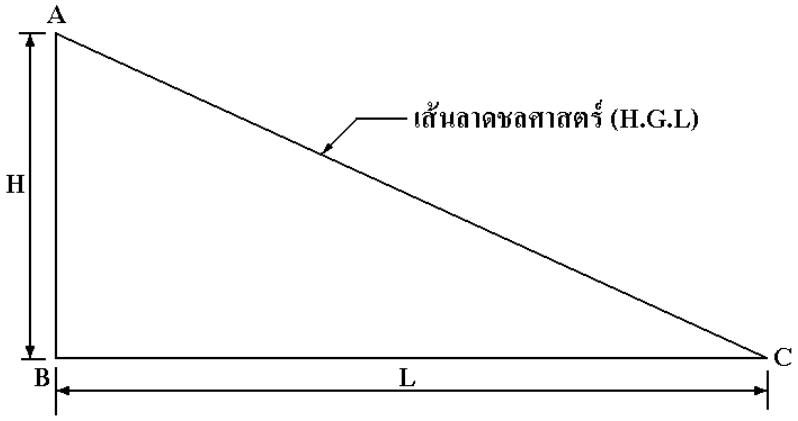
ความสูงจากจุดใดบนเส้นฐาน BC ถึงเส้นลาด AC จะเท่ากับแรงดันขึ้นของน้ำใต้ฝายตรงจุดนั้น เพราะฉะนั้นพื้นฝายจึงต้องหนาและหนักมากพอที่จะต้านทาน แรงดันขึ้นของน้ำได้ แรงนี้จะลดน้อยลงทุกทีจนหมดที่ปลายพื้นด้านท้ายน้ำ ดังนั้นพื้นฝายและพื้นอาคารเก็บกักน้ำหรืออาคารอัดทดน้ำทุกชนิด เช่น เขื่อนระบายน้ำ ประตูระบายน้ำ ฯลฯ จึงไม่จำเป็นต้องหนาเท่ากันโดยตลอด แต่จะทำให้พื้นหนาที่สุดในบริเวณใกล้กับตัวฝายหรือตอม่อเขื่อนระบายน้ำหรือตอม่อประตูระบายน้ำแล้วค่อยๆ บางเรียวลงไปสู่ปลายพื้นด้านท้ายน้ำ



รูปที่ 2.16 พื้นด้านท้ายน้ำและหินทิ้งของฝาย



รูปที่ 2.17 พื้นด้านท้ายน้ำและหินทิ้งของเขื่อนระบายน้ำ



รูปที่ 2.18 การคำนวณแรงดันขึ้นของน้ำใต้ฝาย

ง. แรงกัดพาเม็ดดินใต้ฝาย (erosive force)

เป็นแรงกัดพาเม็ดดินใต้ฝายให้หลุดออกไปซึ่งเกิดจากความแรงของน้ำที่ไหลซึมลอดใต้พื้นฝายนั้น แรงกัดพานี้มีความสัมพันธ์กับลักษณะดินและลาดชลศาสตร์

ถ้าลาดชลศาสตร์ชัน น้ำจะไหลซึมลอดใต้พื้นฝายไปได้แรง และอาจกัดพาเม็ดดินขนาดใหญ่หลุดออกไปได้ ถ้าลาดชลศาสตร์ค่อนข้างราบน้ำจะไหลซึมช้าแรงกัดพาก็เบาลง ดังนั้นในการออกแบบพื้นฝายจึงต้องทราบก่อนว่าดินใต้พื้นฝายชนิดนั้นควรใช้ลาดชลศาสตร์เท่าไรจึงจะปลอดภัยจากแรงกัดพาเม็ดดิน Bligh ได้ให้ลาดชลศาสตร์สำหรับดินชนิดต่างๆ ไว้ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ลาดชลศาสตร์ที่ไม่ก่อให้เกิดการกัดพาเม็ดดินของ Bligh (Baban. 1995)

ชนิดดิน	ลาดชลศาสตร์
ดินทรายละเอียด	ไม่ชันกว่า 1:18
ดินทรายเม็ดเล็ก	ไม่ชันกว่า 1:15
ดินทรายเม็ดใหญ่	ไม่ชันกว่า 1:12
ดินกรวดทรายคละกันค่อนข้างแน่น	ไม่ชันกว่า 1:9
หินร่วน กรวดก้อนใหญ่ซึ่งมีทรายคละกัน	1:4 ถึง 1:6

การทำให้ลาดชลศาสตร์เหมาะกับลักษณะดินใต้พื้นฝายนั้นจะต้องขยายความยาวที่น้ำจะต้องไหลซึมลอดใต้ตัวฝายและพื้นฝาย (L) ทั้งหมดออกไปซึ่งจะทำได้ 2 วิธี คือ

(1) ขยายความยาวของพื้นฝายด้านท้ายน้ำออกไปโดยตรง หรือ

(2) ใช้เข็มพืด

การตอกเข็มพืดให้ปลายเข็มหยั่งจมลงไปในชั้นดินเหนียวหรือชั้นดินที่น้ำไหลซึมผ่านไม่ได้ จะป้องกันไม่ให้น้ำไหลลอดใต้พื้นฝายได้อย่างเด็ดขาดซึ่งเป็นหลักการที่ควรพยายามทำให้ได้ แต่ถ้าทำไม่ได้เข็มพืดก็ยังมีประโยชน์ช่วยเพิ่มความยาวที่น้ำจะต้องไหลซึมลอดใต้ตัวฝายและพื้นฝายทั้งหมดขึ้นอีก 2 เท่าของความยาวของเข็มพืดนั้น และจะช่วยลดแรงดันขึ้นของน้ำใต้พื้นฝายด้วย

การใช้เข็มพืดขยายความยาวที่น้ำจะต้องไหลซึมลอดไปเป็นวิธีประหยัดและดีกว่าการขยายความยาวของพื้นฝายด้านท้ายน้ำออกไปโดยตรง เพราะน้ำจะไหลเลาะไปตามผิวเข็มพืด จึงมีผลเท่ากับขยายความยาวของพื้นออกไปอีกเป็น 2 เท่าของความยาวของเข็มพืด และทำให้พื้นด้านท้ายน้ำบางลงด้วยเนื่องจากแรงดันขึ้นของน้ำใต้พื้นลดลง นอกจากนั้นถ้าได้ตอกเข็มพืดล้อมเป็นคอกก็จะช่วยป้องกันไม่ให้ดินภายในคอกอูดหรือไหลหนีไปได้เมื่อได้รับน้ำหนักกดมากๆ เพราะฉะนั้นเขื่อนระบายน้ำ ประตูระบายน้ำ และประตูน้ำที่สร้างบนพื้นดินเหนียวจึงมีคอกเข็มพืดตอกไว้ใต้พื้นใหญ่ (main floor) เสมอ

น้ำที่ไหลซึมเข้าตลิ่งด้านเหนือฝายและผ่านปีกฝายไปทะลุออกริมตลิ่งด้านท้ายฝายนั้น ถ้าปล่อยให้ไหลซึมผ่านไปได้แรงอาจพาเอาเม็ดดินหลุดออกไปได้ แล้วน้ำจะกัดปีกฝายขาด การป้องกันคงใช้หลักการเช่นเดียวกับพื้นฝายคือ**สร้างกำแพงปีก (wingwall)** หรือต่อแนวเข็มพืดที่ตอกไว้ใต้สันฝายให้เลยขึ้นไปในตลิ่งทั้งสองข้างเพื่อสกัดทางไหลซึมของน้ำในตลิ่งหรือยืดความยาวของทางไหลซึมของน้ำให้มากพอจนน้ำหมดกำลังจะพาเอาเม็ดดินไปได้ ตามปกติดินในตลิ่งแม่น้ำมักจะมีเนื้อแน่นกว่าดินใต้ท้องน้ำ เพราะฉะนั้นลาดชลศาสตร์ในตลิ่งจึงกำหนดให้ชันกว่าลาดชลศาสตร์ในท้องน้ำได้

ความยาวทั้งหมดที่น้ำจะต้องไหลซึมลอดใต้ฝายไปนั้นแบ่งออกได้เป็น 4 ส่วน คือ

(1) พื้นด้านเหนือน้ำ

(2) ตัวฝาย

(3) เข็มพืด

(4) พื้นด้านท้ายน้ำ

พื้นด้านเหนือน้ำไม่สู้สำคัญเหมือนพื้นด้านท้ายน้ำ โดยปกติพื้นด้านเหนือน้ำสร้างด้วยคอนกรีตล้วนหรือหินก่อหนาประมาณ 0.30 เมตร และไม่ยาวมากนัก แต่พื้นด้านท้ายน้ำมีความสำคัญมาก เพราะต้องทำหน้าที่ 3 ประการดังกล่าวข้างต้น การใช้เข็มพืดแม้ว่าจะช่วยลดความยาวและความหนาของพื้นด้านท้ายน้ำลงได้ก็จริง แต่เราจะให้พื้นด้านท้ายน้ำสั้นและบาง

เกินไปไม่ได้ เพราะวัตถุประสงค์สำคัญที่ทำพื้นด้านท้ายน้ำก็เพื่อป้องกันแรงกระแทกของน้ำที่ตกจากสันฝายไม่ให้กัดท้องน้ำได้

Lane (1935) ได้ทำการศึกษาการพัดพาเม็ดดินใต้เขื่อนมากกว่า 200 แห่ง ได้แนะนำวิธีการตรวจสอบการกัดพาเม็ดดินใต้ฐานรากโดยใช้ Weighted Creep Ratio แนวคิดของ Lane ต่างจาก Bligh ตรงที่ Lane พิจารณาว่าระยะทางที่น้ำเคลื่อนตัวในแนวดิ่งมีผลต่อการลดการกัดพาเม็ดดินมากกว่าระยะทางที่น้ำเคลื่อนตัวในแนวราบดังสมการ (วราวุธ. 2534, USBR. 1977)

$$C = \frac{L}{H} \quad \text{.....} \quad (2.4)$$

เมื่อ L = ระยะทางที่น้ำซึมลอดใต้อาคาร (weighted creep distance หรือ percolation distance) (ซึ่งมีค่าเท่ากับระยะทางที่น้ำซึมในแนวดิ่ง + $\frac{1}{3}$ ของระยะทางที่น้ำซึมในแนวราบ)

H = ความแตกต่างของระดับน้ำด้านเหนือและท้ายอาคาร (effective head)

C = weighted creep ratio หรือ percolation coefficient

ถ้าน้ำมีการเคลื่อนที่ตามแนวเอียงให้พิจารณาว่า การเคลื่อนที่ของน้ำซึ่งมีแนวเอียงน้อยกว่า 45 องศา ถือเป็นการเคลื่อนที่ตามแนวราบ ถ้ามากกว่า 45 องศา ถือเป็นการเคลื่อนที่ตามแนวดิ่ง

ถ้าค่า weighted creep ratio (C) ที่คำนวณได้จากสมการที่ 2.4 มีค่ามากกว่าค่าที่กำหนดให้ในตารางที่ 2.3 แสดงว่าฐานรากมีความปลอดภัยต่อการกัดพาเม็ดดิน

นอกจากนี้ Lane ยังได้แนะนำว่า

1. ค่า weighted creep ratio ในตารางที่ 2.3 จะลดลง 10% ถ้าใส่ reverse filters, weep holes หรือมีระบบระบายน้ำใต้พื้นอาคาร และสำหรับอาคารขนาดเล็กค่า weighted creep ratio ในตารางอาจลดลงได้ถึง 20%

2. อัตราส่วนระหว่างระยะทางการเคลื่อนที่ของน้ำที่สั้นที่สุดต่อ weighted creep distance ที่คำนวณได้จากสมการที่ 2.4 โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์จากตารางที่ 2.3 ไม่ควรน้อยกว่า 0.8

3. ถ้าระยะทางการเคลื่อนที่ของน้ำที่สั้นที่สุดมีค่าน้อยกว่าครึ่งหนึ่งของ weighted creep distance ที่คำนวณได้จากสมการที่ 2.4 โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์จากตารางที่ 2.3 จะถือว่ามีการกัดพาเม็ดดินใต้ฐานราก

ตารางที่ 2.3 Lane Weighted Creep Ratio (อดุล. 2537)

ลักษณะดิน	C
ทรายละเอียดมากหรือตะกอนทรายละเอียด	8.5
ทรายละเอียด	7.0
ทรายหยาบและละเอียดปานกลาง	6.0
ทรายหยาบ	5.0
กรวดละเอียด	4.0
กรวดหยาบและละเอียดปานกลาง	3.5
กรวดหยาบมีก้อนหินปน	3.0
หินใหญ่ซึ่งมีก้อนหินและกรวดปน	2.5
ดินเหนียวมีความแน่นน้อย	3.0
ดินเหนียวมีความแน่นปานกลาง	2.0
ดินเหนียวมีความแน่นดี	1.8
ดินเหนียวมีความแน่นดีมากหรือดินดานทึบน้ำ	1.6

Bligh ได้ให้สมการสำหรับคิดความยาวของพื้นด้านท้ายน้ำไว้ดังนี้ (ดูรูปที่ 2.16 ประกอบ)

$$L_a = 1.22\,C\sqrt{\frac{H_a}{3.96}}$$

$$= 0.613\,C\,\sqrt{H_a} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2.5)$$

ในเมื่อ L_a = ความยาวของพื้นด้านท้ายน้ำเป็นเมตร

C = สัมประสิทธิ์สำหรับหาความยาวของทางน้ำไหลซึมลอดใต้ฝายและพื้นฝายทั้งหมด ซึ่งมีค่าเท่ากับส่วนกลับของลาดชลศาสตร์ที่ไม่ก่อให้เกิดการกัดพาเม็ดดิน ในตารางที่ 2.2

H_a = ความสูงจากพื้นฝายถึงสันฝายเป็นเมตร

เมื่อทราบความยาวของพื้นด้านท้ายน้ำแล้วก็เอาไปหักออกจากความยาวทั้งหมดที่น้ำจะต้องไหลซึมลอดใต้ฝาย ที่เหลือก็จะเป็นความยาวของพื้นด้านเหนือน้ำตัวฝายและเข็มพืด

ต่อจากปลายพื้นด้านท้ายน้ำจะต้องมีหินทิ้งป้องกันท้องน้ำไว้ระยะหนึ่งด้วย ความยาวของหินทิ้งขึ้นอยู่กับสิ่งต่อไปนี้

- สภาพของท้องน้ำ
- ความสูงของน้ำที่ตกจากสันฝาย
- ปริมาณน้ำที่ไหลหลากมาในลำน้ำ

Bligh ได้ให้สมการสำหรับคำนวณความยาวของหินทิ้งไว้ดังนี้ (Joglekar,n.d)

$$L_d = 3.048\, C\sqrt{\frac{H_b}{3.96}}\cdot\sqrt{\frac{q}{6.97}}$$

$$= 0.58\, C\sqrt{H_b \cdot q} \quad \text{.....} \quad (2.6)$$

ในเมื่อ L_d = ความยาวทั้งหมดของพื้นด้านท้ายน้ำรวมทั้งหินทิ้งเป็นเมตร

H_b = ความสูงของสันฝายจากระดับน้ำต่ำท้ายฝายเป็นเมตร

q = ปริมาณน้ำมากที่สุดเป็น เมตร^3/วินาที/เมตร

C = สัมประสิทธิ์ (coefficient) สำหรับหาความยาวของการน้ำไหลซึมลอดใต้ฝายและพื้นฝายทั้งหมด (L) ซึ่งมีค่าเท่ากับส่วนกลับของลาดชลศาสตร์ที่ไม่ก่อให้เกิดการกัดพาเม็ดดินในตารางที่ 2.2

ถ้า L_p = ความยาวของหินทิ้งเป็นเมตร

$$L_p = L_d - L_a$$

$$= 0.58\, C\sqrt{H_b \cdot q} - 0.613\, C\sqrt{H_a} \quad \text{.....} \quad (2.7)$$

สำหรับความยาวของพื้นด้านท้ายน้ำและหินทิ้งของเขื่อนระบายน้ำหรือประตูระบายซึ่งกรมชลประทานกำหนดให้ใช้นั้นมีเกณฑ์ดังนี้ (ดูรูปที่ 2.15 ประกอบ)

ถ้า d = ความลึกของน้ำมากที่สุดท้ายเขื่อนระบายน้ำหรือประตูระบาย

b = ความกว้างของท้องน้ำท้ายเขื่อนระบายน้ำหรือประตูระบาย

ความยาวของพื้นด้านท้ายน้ำทั้งหมดต้องไม่น้อยกว่า 6d และไม่น้อยกว่า b ด้วย

ความยาวของหินทิ้งต้องไม่น้อยกว่า d

อย่างไรก็ดี พื้นด้านท้ายน้ำของฝายหรือเขื่อนระบายน้ำและหินทิ้งจะยาวแค่ไหนจึงจะป้องกันการกัดเซาะท้องน้ำได้นั้นไม่มีหลักเกณฑ์แน่นอนตายตัวที่จะคำนวณออกมาได้ เพราะสภาพของลำน้ำ ปริมาณและพฤติการณ์ของน้ำ และลักษณะเนื้อดินท้องน้ำในบริเวณที่ตั้งหัวงานย่อมแตกต่างกันได้มาก สมการต่างๆ ที่ให้ไว้จึงใช้ได้สำหรับการพิจารณาโดยทั่วไปเท่านั้น ในการ

คำนวณออกแบบจริงอาจต้องทำการทดลองและพิจารณาจากแบบจำลองในห้องทดลองชลศาสตร์เพื่อให้ได้ผลแน่นอน

2.7 เอกสารอ้างอิง

วราวุธ วุฒิวณิชย์. 2534. การออกแบบอาคารบังคับน้ำ. ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม. 400 น.

อรุณ อินทรปาลิต. 2534. 72 ปีอาจารย์อรุณ อินทรปาลิต. ชลกรณบับพิเศษ. สมาคมศิษย์เก่าวิศวกรรมชลประทาน ในพระบรมราชูปถัมภ์. 419 น.

อดุล วรรณจนา. 2537. การวางแผนและออกแบบระบบส่งน้ำ. ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน นครปฐม. 223 น.

Joglekar, G.D.n.d. Irrigation Engineering. United Book Corporation. Poona. India.

Baban, R. 1995. Design of Diversion Weirs. John Wiley & Sons, New York, USA. 228 p.

Lane, F.W. 1935. Security from Under Seepage, Masonary dams on earth foundations. Trans. ASCE, Vol. 100, 1235 p.

USBR. 1977. Design of Small Dams. United States Bureau of Reclamation United States Government Printing Office, Washington D.C. 611 p.

2.8 แบบฝึกหัด

(1) จงอธิบายถึงอิทธิพลของน้ำที่เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ฝายซึ่งออกแบบและก่อสร้างไม่ดีพังได้

(2) ฝายแห่งหนึ่งมีข้อมูลดังต่อไปนี้

ระดับสันฝาย = +60 ม.(ร.ท.ก.)

ระดับน้ำด้านเหนือน้ำ = +62.5 ม.(ร.ท.ก.)

ความยาวของสันฝาย (W) = 30.0 ม.

สัมประสิทธิ์ในการระบายน้ำของฝาย (C) = 0.65

จงคำนวณหาปริมาณน้ำที่ไหลข้ามฝายในกรณีต่างๆ ดังต่อไปนี้

กรณีที่ 1 ระดับน้ำด้านท้ายฝาย = +59 ม.(ร.ท.ก.)

กรณีที่ 2 ระดับน้ำด้ายท้ายฝาย = +61.5 ม.(ร.ท.ก.)

(3) จงคำนวณหาปริมาณน้ำที่ไหลข้ามฝายในข้อ (2) ใหม่ โดยให้ C = 0.60 และ 0.70

(4) ในการไหลของน้ำข้ามฝายแห่งหนึ่งมีข้อมูลดังต่อไปนี้

ปริมาณน้ำที่ไหลข้ามฝาย = 150 ม.^{3}/วินาที

ระดับสันฝาย = +70 ม.(ร.ท.ก.)

ระดับน้ำท้ายฝาย = +72 ม.(ร.ท.ก.)

ความยาวของสันฝาย = 40 ม.

C = 0.65

จงคำนวณหาระดับน้ำเหนือสันฝาย

(5) ในการคำนวณความสามารถในการระบายน้ำของฝาย จากข้อมูลดังต่อไปนี้

ปริมาณน้ำที่ไหลข้ามฝาย = 250 ม.^{3}/วินาที

ระดับสันฝาย = +80 ม.(ร.ท.ก.)

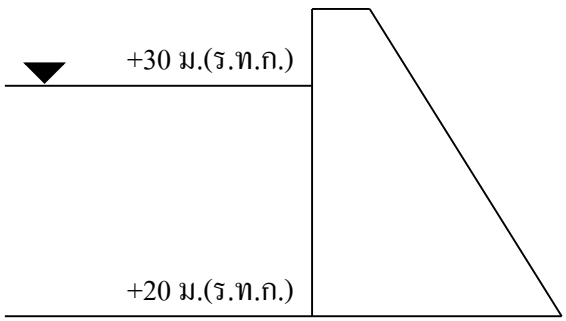
ระดับท้องน้ำด้านท้ายฝาย = +75 ม.(ร.ท.ก.)

ความยาวของสันฝาย = 50 ม.

C = 0.65

กำหนดว่าลำน้ำด้านท้ายฝายมีรูปตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู มีความกว้างของท้องน้ำเท่ากับ 24 เมตร ลาดตลิ่งเท่ากับ 1:1 สัมประสิทธิ์ความขรุขระของลำน้ำเท่ากับ 0.025 ลาดผิวน้ำเท่ากับ 1:4,000 จงคำนวณหาระดับน้ำด้านท้ายน้ำและด้านเหนือน้ำของฝาย

(6) จงคำนวณหาแรงที่กระทำกับเขื่อนคอนกรีตล้วน ดังรูป



ถ้าให้คอนกรีตมีความหนาแน่น 2400 กก./ม.^{3} จงวิเคราะห์ความมั่นคงของฝายในกรณีดังต่อไปนี้

ก. ความมั่นคงต่อการเลื่อนไถล โดยใช้แฟคเตอร์ความปลอดภัยเท่ากับ 1.5

ข. ความมั่นคงต่อการพลิกคว่ำ โดยใช้แฟคเตอร์ความปลอดภัยเท่ากับ 2.0

(7) จงหาความยาวของพื้นด้านท้ายน้ำและความยาวของหินทิ้งของฝายในข้อ (5) ซึ่งสร้างบนดินทรายละเอียด

บทที่ 3 อาคารประกอบ (Appurtenant Structures)

3.1 คำนำ

คำว่าอาคารประกอบ หมายถึง อาคารที่สร้างขึ้นบริเวณใกล้กับตัวฝาย เขื่อนระบายน้ำ หรือสร้างไว้ที่ตัวฝายหรือเขื่อนเลยก็ได้ โดยอาคารเหล่านี้ทำหน้าที่ป้องกันหรือช่วยให้ฝายหรือเขื่อนระบายน้ำเหล่านั้นทำหน้าที่ได้โดยสมบูรณ์ อาคารประกอบดังกล่าวที่สำคัญ ได้แก่ ประตูระบายทราย ร่องระบายทราย บันไดปลา ทางซุง ประตูระบายปากคลองสายใหญ่ และประตูเรือสัญจร

3.2 ประตูระบายทราย (sand sluices, scouring sluices)

เป็นอาคารที่สร้างประกอบฝาย โดยปกติสร้างไว้ข้างฝายในแนวเดียวกับสันฝาย แต่บางทีจะสร้างไว้ที่ตัวฝายเลยก็ได้ (ดูรูปที่ 3.1)

ประตูระบายทรายมีลักษณะเช่นเดียวกับประตูระบายทั่วไป คือประกอบด้วยตอม่อและช่องระบายน้ำ มีบานประตู (gates) ซึ่งยกขึ้นและหย่อนลงได้ปิดไว้ที่ช่องระบายน้ำ ที่เรียกว่าประตูระบายทรายก็เพราะอาคารชนิดนี้ทำหน้าที่ระบายทรายที่ตกทับถมอยู่ในท้องน้ำด้านเหนือ ฝายงองกระแสน้ำที่ไหลผ่านช่องระบายน้ำกัดพาเอาทรายออกไป ร่องน้ำบริเวณหน้าประตูระบายปากคลองสายใหญ่จึงลึกอยู่เสมอ ทรายก็จะไม่หลุดเข้าไปในคลอง

ฝายขนาดใหญ่ทุกแห่งควรต้องมีประตูระบายทรายสร้างประกอบไว้ เพราะน้ำจะพัดพาเอากรวดทรายมาติดฝายทับถมกันมากขึ้นทุกทีจนหลุดเข้าไปในคลองสายใหญ่และทำให้คลองตื้นเขินอย่างรวดเร็ว ความจุของคลองจะน้อยลง คลองจะส่งน้ำไม่ได้ตามปริมาณน้ำที่ต้องการและต้องเสียค่าขุดลอกคลองด้วย ฝายบางแห่งที่ไม่มีประตูระบายทรายนั้นอาจเป็นเพราะในลำน้ำมีกรวดทรายไหลมาน้อยมาก ระดับก้นคลองสายใหญ่อยู่สูงกว่าระดับสันฝาย หรือผู้ออกแบบกำหนดที่ตั้งของประตูระบายปากคลองสายใหญ่ไว้ห่างจากฝายมากจนพ้นอิทธิพลของการตกจมของกรวดทรายในลำน้ำหรือเป็นฝายไม่ถาวรขนาดเล็ก

ประตูระบายทรายนอกจากทำหน้าที่ระบายทรายแล้ว ยังช่วยระบายน้ำที่ไหลหลากมาเป็นครั้งคราวซึ่งมีปริมาณน้ำไม่มากนักได้ด้วย การช่วยระบายน้ำทางประตูระบายทรายนี้มีประโยชน์มากสำหรับฝายที่มีการเสริมสันฝายให้สูงขึ้นอีกได้ เพราะทำให้ระดับน้ำที่ไหลล้นข้ามฝายไม่ขึ้นสูงอย่างรวดเร็ว จึงไม่ต้องลดระดับสันฝายที่เสริมไว้บ่อยๆ

ถ้าอาคารทดน้ำของหัวงานเป็นเขื่อนระบายน้ำก็ไม่จำเป็นต้องสร้างประตูระบายทราย เพราะเขื่อนระบายน้ำจะระบายทรายที่ติดอยู่หน้าเขื่อนหลุดออกไปได้เองเมื่อยกบานประตูขึ้นจากธรณีเขื่อน

3.3 ร่องระบายทราย (sluiceway channels)

ถึงแม้ว่าประตูระบายทรายจะสร้างไว้ติดกับฝาย แต่ถ้าไม่จำกัดขอบเขตการระบายทราย ประตูระบายทรายก็ไม่สามารถระบายทรายข้างหน้าประตูระบายปากคลองสายใหญ่ออกไปได้หมด เพราะทรายที่ตกทับถมด้านเหนือฝายมีมาก จะไหลเลื่อนมาแทนที่ทรายที่ระบายออกไปแล้วอยู่ตลอดเวลา เพราะฉะนั้นจึงต้องมีสิ่งแบ่งกั้นระหว่างฝายและประตูระบายทรายให้เกิดเป็นร่องน้ำอันเป็นขอบเขตที่ประตูระบายทรายจะต้องรักษาให้ลึกอยู่เสมอ ร่องน้ำนี้เรียกว่าร่องระบายทราย ทรายที่ตกทับถมด้านเหนือฝายจะไหลเลื่อนมาสู่ร่องระบายทรายไม่ได้ เพราะจะติดสิ่งแบ่งกั้นที่ทำไว้ สิ่งแบ่งกั้นนี้ทำได้ 2 อย่างคือ

(1) เกาะดิน

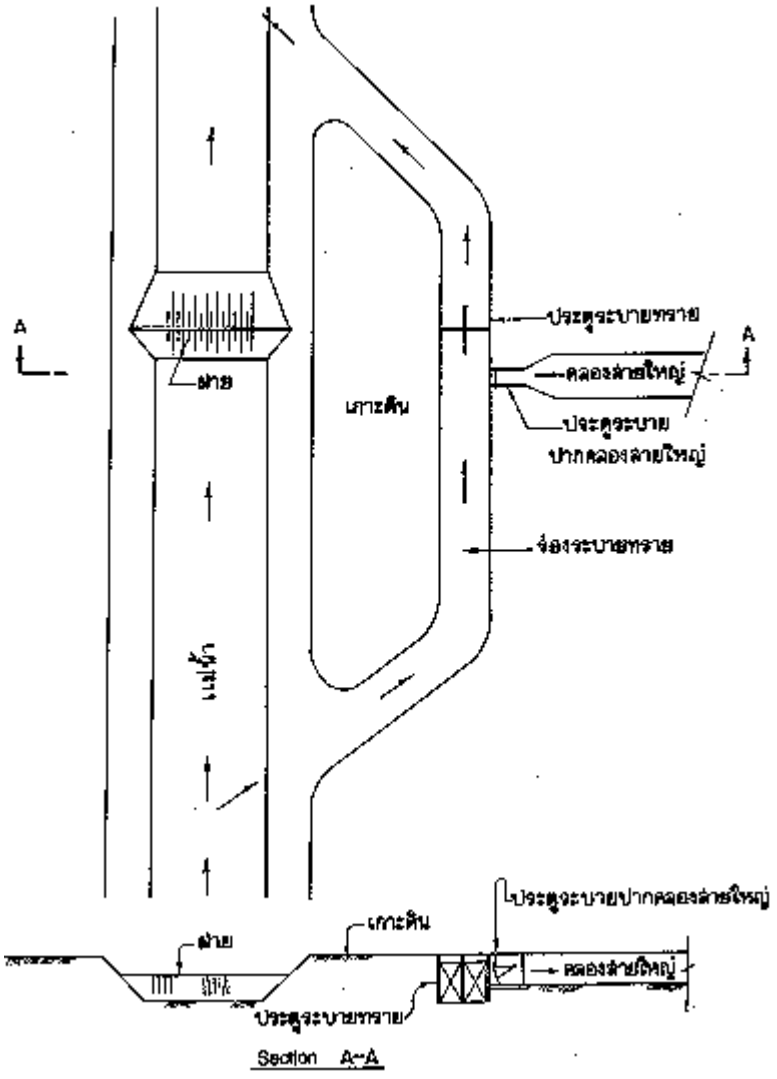
ฝายและประตูระบายทรายจะสร้างไว้ห่างกันโดยมีเกาะดินคั่นกลาง (รูปที่ 3.1) ดังเช่นที่หัวงานของโครงการชลประทานแม่แฝกบริเวณตำบลแม่แฝกใหม่ อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ และโครงการชลประทานแม่วังบริเวณ ตำบลบ้านแลง อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง เป็นต้น เกาะดินนี้กว้างประมาณ 20 เมตร ยาวจากประตูระบายทรายขึ้นไปทางด้านเหนือน้ำประมาณ 70 เมตร แต่ไม่จำเป็นต้องยาวไปทางด้านท้ายน้ำมากนัก

(2) กำแพงคอนกรีต (concrete division wall)

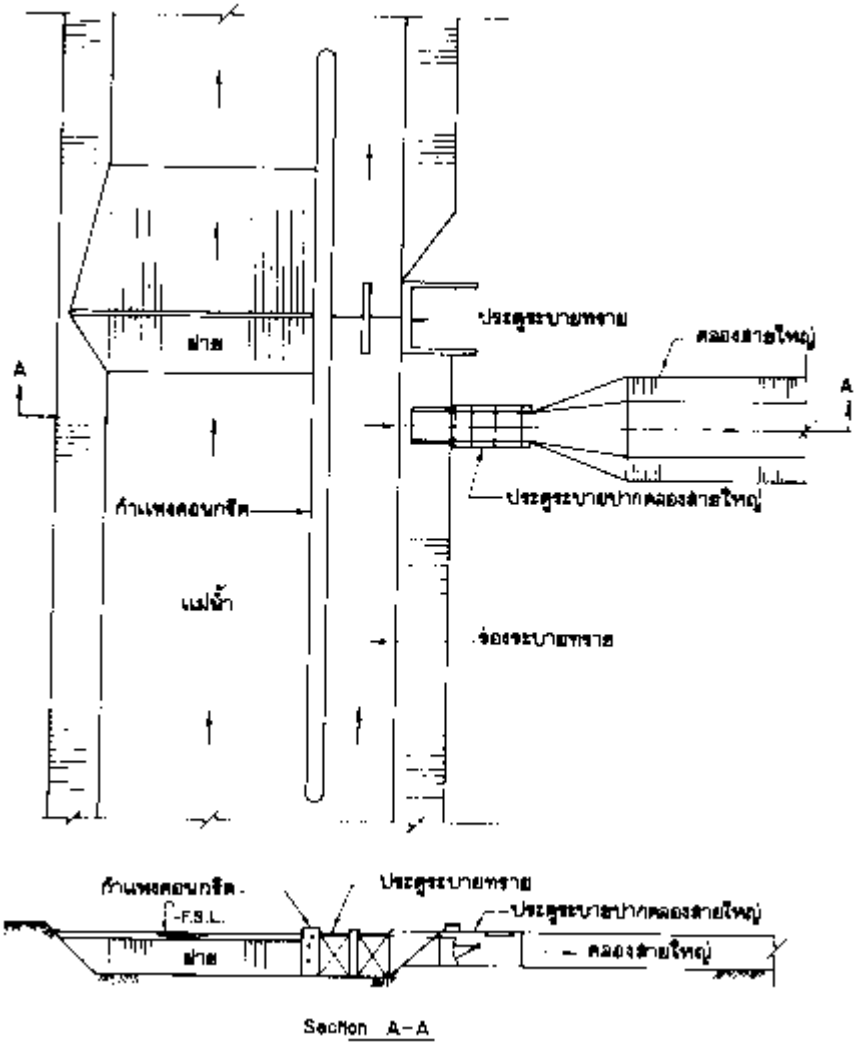
ฝายและประตูระบายทรายสร้างไว้ชิดกัน โดยมีกำแพงคอนกรีตคั่นกลาง กำแพงคอนกรีตนี้ไม่หนามากนัก (รูปที่ 3.2) แต่ต้องสร้างให้ส่วนใหญ่ของกำแพงยาวจากประตูระบายทรายขึ้นไปทางด้านเหนือน้ำเช่นเดียวกับเกาะดิน ที่หัวงานของโครงการชลประทานแม่ปิงเก่าบริเวณตำบลดอนแก้ว อำเภอสารภี จังหวัดเชียงใหม่ มีกำแพงคอนกรีตยาวจากประตูระบายทรายขึ้นไปทางด้านเหนือน้ำ 75 เมตร

ตามปกติประตูระบายปากคลองสายใหญ่จะสร้างไว้ที่ริมตลิ่งของร่องระบายทราย และมีระดับธรณีประตูสูงกว่าระดับพื้นร่องระบายทรายประมาณ 1.00-2.00 เมตร เวลาส่งน้ำเข้าคลองน้ำจะไหลผ่านร่องระบายทรายไปก่อนแล้วจึงจะไหลเข้าประตูระบายปากคลองสายใหญ่ ในขณะนั้นประตูระบายทรายต้องปิดสนิท กระแสน้ำที่ไหลเข้ามาในร่องระบายทรายจึงอ่อนกว่ากระแสน้ำในแม่น้ำ กรวดทรายที่ไหลมากับน้ำจะตกจมลงในร่องระบายทรายซึ่งในเวลานั้นทำหน้าที่เป็นบ่อดักทราย (sand trap) เมื่อเห็นว่ากรวดทรายตกจมทับถมสูงขึ้นมาจนเกือบถึงระดับธรณี

ประตูระบายปากคลองสายใหญ่แล้ว จึงปิดประตูระบายปากคลองสายใหญ่ หยุดส่งน้ำเข้าคลองชั่วคราว แล้วเปิดประตูระบายทรายให้น้ำพัดพาเอากรวดทรายที่ตกจมอยู่หลุดออกไปสู่ลำน้ำเดิมด้านท้ายฝายจนหมด แล้วจึงปิดประตูระบายทรายและเปิดประตูระบายปากคลองสายใหญ่ทำการส่งน้ำเข้าคลองต่อไปอีก เพราะฉะนั้นการเปิดประตูระบายปากคลองสายใหญ่และประตูระบายทรายจึงต้องทำคนละจังหวะ ถ้าเปิดพร้อมกันกรวดทรายที่ถูกน้ำกัดพาขึ้นมาจากร่องระบายทรายจะหลุดเข้าไปในคลองสายใหญ่ได้ ร่องระบายทรายนี้ต้องมีขนาดโตกว่าคลองสายใหญ่ และโตพอที่จะทำให้กระแสน้ำที่ไหลผ่านไปในขณะเปิดประตูระบายทรายแรงจัด แต่ในขณะที่ปิดประตูระบายทรายกระแสน้ำในร่องระบายทรายจะอ่อนกว่ากระแสน้ำในแม่น้ำและในคลองสายใหญ่



รูปที่ 3.1 การแบ่งกั้นฝายและประตูระบายทรายด้วยเกาะดิน



รูปที่ 3.2 การแบ่งกั้นฝายและประตูระบายทรายด้วยกำแพงคอนกรีต

3.4 บันไดปลา (fish ladders)

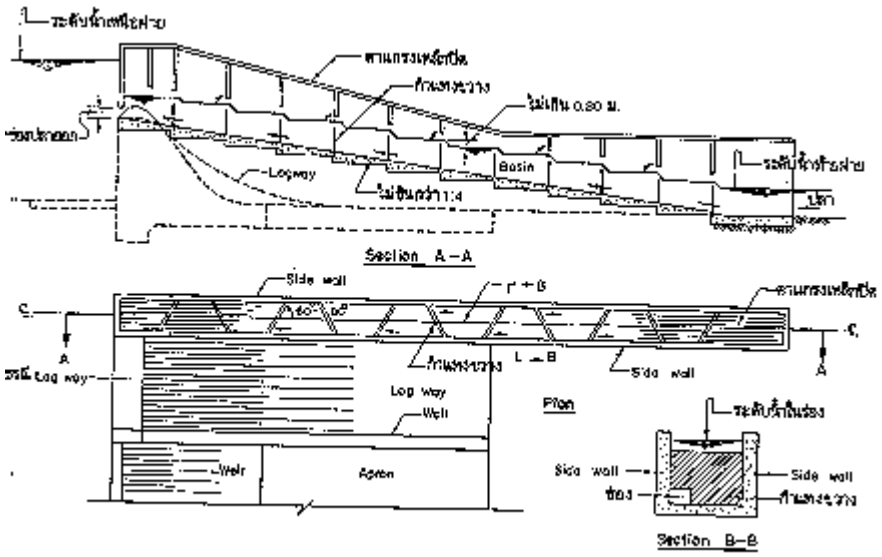
ในต่างประเทศ เช่น ในสหรัฐอเมริกามีหลายรัฐที่มีกฎหมายบังคับให้สร้างบันไดปลาไว้ที่อาคารปิดกั้นลำน้ำ เช่น ฝายหรือเขื่อนระบายน้ำทุกแห่ง เพื่อให้ปลาว่ายขึ้นไปหากินและวางไข่ขยายพันธุ์ทางด้านเหนือน้ำได้ เป็นการสงวนพันธุ์ปลาไว้ตามธรรมชาติ

บันไดปลา (รูปที่ 3.3) มีลักษณะเป็นร่องน้ำหรือรางน้ำกว้างประมาณ 1.00-2.00 เมตร สร้างไว้ที่ตัวฝาย มีน้ำในร่องลึกประมาณ 0.75-1.50 เมตร ร่องบันไดปลามีลาดค่อนข้างราบ คือประมาณ 1 : 4 ถึง 1 : 6 แต่ไม่ควรชันกว่า 1 : 4 เพื่อไม่ให้น้ำในร่องไหลแรงเกินไป ในร่องมีกำแพงขวางหรือแผงกั้นไว้เป็นระยะทุก 1.80-2.00 เมตร ทำให้เกิดเป็นอ่างน้ำ (basins) ขึ้นระหว่างกำแพงขวางหรือขั้นบันไดติดต่อกันไปตลอดร่อง กำแพงขวางเหล่านี้ไม่ได้ติดตั้งฉากกับกำแพงข้างร่อง แต่จะติดไว้เป็นมุม 60^{o}-80^{o} กับแนวศูนย์กลางของร่อง ที่มุมล่างข้างหนึ่งของกำแพงขวางแต่ละอันเจาะช่องไว้ให้ปลาว่ายทะลุผ่านไปได้ ช่องเหล่านี้จะเจาะสลับข้างกันเพื่อไม่ให้น้ำไหลผ่านช่องได้แรงตลอดร่องและทำให้มีน้ำค่อนข้างนิ่งอยู่ที่มุมล่างอีกข้างหนึ่งที่ไม่ได้เจาะซึ่งปลาจะอาศัยพักเหนื่อยได้ ปลาจะว่ายลดเลี้ยวขึ้นบันไดผ่านทางช่องเหล่านี้ได้ทางหนึ่ง

เพื่อให้มีน้ำไหลเต็มร่องบันไดปลาในระหว่างขั้นบันได ช่องที่เจาะไว้ที่กำแพงขวางอันแรกที่หัวร่องบันไดปลาจะโตที่สุด แล้วค่อยๆ เล็กลงจนเล็กที่สุดที่กำแพงขวางอันสุดท้ายที่ปลายร่อง เช่น จากขนาด 0.50×0.50 เมตร ลงไปจนถึงขนาด 0.30×0.030 เมตร

นอกจากน้ำในร่องบันไดปลาจะไหลผ่านทางช่องที่เจาะไว้ที่กำแพงขวางแล้วน้ำยังไหลล้นข้ามหลังกำแพงขวางเป็นขั้นๆ ด้วย ความแตกต่างของระดับน้ำระหว่างขั้นบันไดจะบังคับอัตราเร็วของน้ำที่ไหลในรองซึ่งไม่ควรให้เร็วกว่า 0.50 เมตร/วินาที ดังนั้นความแตกต่างของระดับน้ำระหว่างขั้นบันไดจึงควรน้อยที่สุด ซึ่งปกติไม่ควรเกิน 0.30 เมตร ปลาอาจขึ้นบันไดโดยกระโดดข้ามขั้นบันไดได้อีกทางหนึ่ง บันไดปลานี้ควรมีตะแกรงหรือลวดตาข่ายปิดไว้เพื่อป้องกันศัตรูของปลา เช่น เหยี่ยวและสัตว์กินปลาต่างๆ แต่ต้องไม่ปิดมืด มิฉะนั้นปลาจะไม่ว่ายน้ำขึ้นบันได

ในปัจจุบันยังไม่มีกฎหมายบังคับให้ต้องสร้างบันไดปลาประกอบอาคารทดน้ำทุกแห่ง แต่ก็มีสร้างไว้ที่ฝายและเขื่อนระบายน้ำบางแห่งบ้างเหมือนกัน อย่างไรก็ดีหัวงานของโครงการชลประทานในปัจจุบันมักจะไม่มีบันไดปลา เพราะลักษณะและนิสัยของปลาเมืองไทยต่างกับปลาต่างประเทศ การขยายพันธุ์และสิ่งแวดล้อมซึ่งเอื้ออำนวยความสะดวกในการขยายพันธุ์ก็ไม่เหมือนกัน บันไดปลาจึงมีประโยชน์น้อย และถ้าอาคารทดน้ำเป็นเขื่อนระบายน้ำด้วยแล้ว การติดตั้งบันไดปลาค่อนข้างจะลำบากและเป็นอุปสรรคต่อการระบายน้ำผ่านเขื่อนด้วย เพราะฉะนั้นเขื่อนระบายน้ำเกือบทั้งหมดที่สร้างในประเทศไทยจึงไม่มีบันไดปลา ที่เคยมีก็เลิกใช้ไปในที่สุด



รูปที่ 3.3 บันไดปลาและทางซุง

3.5 ทางซุง (logways)

ความจำเป็นที่ต้องสร้างทางซุงไว้ที่ฝายก็เพราะฝายบางแห่งอาจสร้างไว้ในแม่น้ำทางต้นน้ำของลุ่มน้ำซึ่งมีการทำไม้กันมาก เช่น ในภาคเหนือของประเทศไทย ซุงที่ตัดไว้ในป่าจะถูกชักลากมายังแม่น้ำ แล้วปล่อยให้ไหลลอยตามน้ำลงมา ซุงเหล่านี้จะลอยน้ำมาติดฝาย จึงต้องหาวิธีให้ซุงไหลตามน้ำข้ามฝายหรือผ่านฝายไปได้หมด ถ้าปล่อยให้ติดแน่นอยู่เหนือฝายแล้ว จะเป็นอุปสรรคแก่การสัญจรทางน้ำ น้ำไหลข้ามฝายไม่สะดวก และอาจเกินอันตรายแก่คันกั้นน้ำหรือตัวฝายได้ ฝายในภาคเหนือของประเทศไทยหลายแห่งมีทางซุงสร้างไว้ด้วย

อย่างไรก็ดี ทางซุงก็ไม่ใช่สิ่งจำเป็นต้องสร้างไว้ที่ฝายทุกแห่งเสมอไป ถ้ามีน้ำไหลในแม่น้ำมากจนเชื่อได้ว่าจะมีน้ำท่วมสันฝายลึกตลอดเวลาแล้วจะไม่สร้างทางซุงไว้ก็ได้ เพราะซุงจะไหลตามน้ำข้ามฝายไปได้หมด หรือถ้าการขนส่งซุงทางบกทำได้สะดวกและรวดเร็วกว่าการล่องซุงทางน้ำแล้ว ก็ไม่จำเป็นต้องสร้างทางซุงไว้ที่ฝายเลย

ตามปกติทางซุงสร้างขึ้นง่ายๆ (รูปที่ 3.3) โดยลดระดับสันฝายตอนหนึ่งที่อยู่ติดกับบันไดปลาหรือประตูระบายทรายให้ต่ำลงเป็นช่วงสั้นๆ ด้านข้างของทางซุงเป็นกำแพงสองข้างสร้างขนานกัน จึงอาจใช้กำแพงของบันไดปลาหรือกำแพงริมตลิ่งเป็นกำแพงข้างหนึ่งของทางซุงได้ ถ้าไม่ต้องการเสียน้ำไปตามทางซุงมากก็จะต้องสร้างทางซุงให้แคบเท่าที่จะทำได้ และที่ปากทางเข้าทางซุงจะมีบานประตูปิดไว้ซึ่งจะเปิดต่อเมื่อต้องการระบายซุงเท่านั้น ทางซุงอาจกว้างเพียง 1.80–2.40 เมตร แต่ตามปกติจะกว้างประมาณ 6.00–9.00 เมตร ซึ่งแล้วแต่จำนวนและขนาดของซุง ระดับธรณีทางซุงต้องต่ำกว่าระดับสันฝายอย่างน้อยที่สุด 1.20 เมตร เพื่อให้ซุงไหลเข้าได้สะดวก ควรสังเกตว่าเราไม่ต้องการให้น้ำที่ไหลผ่านทางซุงลงไปนั้นเกิด hydraulic jump มิฉะนั้นซุงจะไม่ไหลออกจากทางซุงได้

เขื่อนระบายน้ำไม่จำเป็นต้องมีทางซุงเพราะเขื่อนระบายน้ำสร้างในทุ่งราบหรือบริเวณหัวทุ่งราบซึ่งอยู่ทางใต้ของลุ่มน้ำ ก่อนที่ซุงจะลอยน้ำมาถึงเขื่อนระบายน้ำจะถูกเก็บรวบรวมและมัดเป็นแพโดยเรียบร้อย แล้วใช้เชือกลากจูงแพซุงเหล่านี้ผ่านเขื่อนระบายน้ำไปทางประตูน้ำ

3.6 ประตูระบายปากคลองสายใหญ่ (main headgates)

ประตูระบายปากคลองสายใหญ่มีหน้าที่จำกัดปริมาณน้ำให้ไหลเข้าคลองเพียงปริมาณที่ต้องการและไม่เกินความจุของคลอง เป็นอาคารสำคัญซึ่งจำเป็นต้องสร้างไว้ที่ปากคลองสายใหญ่ทุกสาย (ดูรูปที่ 3.2) ถ้าไม่มีประตูระบายนี้จะเกิดความเสียหายหลายประการ คือ

(1) น้ำจะไหลเข้าคลองสายใหญ่มากเกินปริมาณที่ต้องการใช้ทำการเพาะปลูก ในที่สุดก็ต้องระบายทิ้งไป หรือปล่อยให้รั่วซึมลึกลงไปใต้ดิน เป็นการสูญเสียน้ำโดยไม่ได้ประโยชน์

(2) ถ้าน้ำไหลเข้าคลองสายใหญ่มากเกินความจุของคลองจะรับไปได้ คลองจะพัง น้ำจะไหลออกทางช่องขาดทำให้เกิดน้ำท่วมบริเวณช่องขาดเสียหาย พื้นที่เพาะปลูกทางปลายคลองจะไม่ได้รับน้ำหรือได้รับน้อยไม่พอใช้ การส่งน้ำไม่สะดวกเพราะระดับน้ำในคลองสายใหญ่จะต่ำกว่าระดับน้ำใช้การเต็มที่ (full supply level, F.S.L.) ที่กำหนดไว้ และต้องเสียค่าซ่อมแซมคลองด้วย

(3) คลองสายใหญ่บางตอนจะตื้นเขินเพราะดินตัวคลองและคันคลองที่น้ำกัดพังทลายลงมาเนื่องจากน้ำไหลเข้าคลองเกินความจุของคลองจะตกทับถมอยู่ในคลองนั้น ทำให้คลองสายใหญ่ส่งน้ำไม่ได้ตามปริมาณที่ต้องการและต้องเสียค่าขุดลอกคลองด้วย

(4) น้ำที่ไหลเข้าคลองสายใหญ่มากเกินต้องการจะทำให้เกิดน้ำท่วมที่ลุ่มในเขตโครงการชลประทาน

(5) ประตูระบายปากคลองสายใหญ่บางแห่งป้องกันตะกอนทรายเข้าคลองได้ โดยมีระดับธรณีประตู (sill level) สูงกว่าระดับพื้นประตู (floor level) หรือมีบานประตูเป็นชนิดให้น้ำไหลข้ามสันบาน (overpour-type gates) ซึ่งเหมาะกับท้องถิ่นที่มีตะกอนทรายในแม่น้ำมาก ถ้าไม่มีประตูระบายปากคลองสายใหญ่ ตะกอนทรายจะหลุดเข้าคลองทำให้คลองตื้นอย่างรวดเร็ว ส่งน้ำไม่ได้ตามปริมาณที่ต้องการ และเสียค่าขุดลอกคลอง

ตามปกติประตูระบายปากคลองสายใหญ่จะตั้งอยู่ริมตลิ่งของลำน้ำหรือร่องระบายทรายและให้อยู่ใกล้ประตูระบายทรายหรือเขื่อนระบายน้ำมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ เพื่ออาศัยประตู

ระบายทรายหรือเขื่อนระบายน้ำช่วยรักษาร่องน้ำหน้าประตูระบายปากคลองสายใหญ่ให้ลึกอยู่เสมอ ตะกอนทรายในลำน้ำก็จะไม่หลุดเข้าคลอง

ในกรณีที่ต้องขุดคลองสายใหญ่ออกจากแม่น้ำห่างจากเขื่อนระบายน้ำหรือฝายมากและในกรณีที่ไม่มีอาคารทดน้ำ (inundation scheme) ประตูระบายปากคลองสายใหญ่จะต้องตั้งอยู่ในบริเวณที่ตลิ่งแม่น้ำมีความมั่นคงแข็งแรง ไม่ควรสร้างประตูระบายปากคลองสายใหญ่บนตลิ่งแม่น้ำที่อยู่ในท้องคุ้ง เพราะน้ำอาจเซาะตลิ่งพังแล้วลุกลามมาถึงที่ตั้งของประตูจนอาจเกิดอันตรายได้ แต่ถ้าจำเป็นต้องต้องสร้างจริงๆ แล้วจะต้องหาวิธีป้องกันตลิ่งแม่น้ำ เช่น สร้างหลักรอ (spurs) บังคับให้น้ำไหลเปลี่ยนทิศทางไปกลางแม่น้ำ หรือทำการป้องกันตลิ่ง (bank protection) อย่างแข็งแรง หรือเลื่อนที่ตั้งประตูระบายปากคลองสายใหญ่ให้ลึกเข้าไปจากตลิ่งมากๆ แต่วิธีหลังนี้จะมีตะกอนทรายตกจมในช่วงคลองสายใหญ่จากแม่น้ำถึงประตูระบายปากคลองสายใหญ่ ทำให้ช่วงคลองตอนนี้ตื้นเขินเสมอ ต้องขุดลอกหรือต้องสร้างประตูระบายทรายหรือทางทิ้งน้ำ (wasteways) ไว้ทางด้านเหนือใกล้ๆ ประตูระบายปากคลองสายใหญ่นั้นเพื่อระบายทรายลงสู่แม่น้ำ

การสร้างประตูระบายปากคลองสายใหญ่ไว้บนตลิ่งแม่น้ำบริเวณหัวคุ้งย่อมมีความมั่นคงดี เพราะในบริเวณนี้ตลิ่งจะไม่ถูกน้ำกัดเลย แต่จะมีตะกอนทรายมาตกจมเป็นหาดยื่นออกไปกลางแม่น้ำ จึงต้องคอยขุดลอกบริเวณหน้าประตูบ้าง

การสร้างประตูระบายปากคลองสายใหญ่มีหลักสำคัญที่จะต้องพิจารณา 3 ประการคือ

(1) ประเภทประตูระบายปากคลองสายใหญ่

(2) ระดับต่างๆ ที่เกี่ยวโยงกันที่หัวงาน

(3) ปริมาณน้ำที่จะส่งผ่านประตูระบายปากคลองสายใหญ่เข้าคลองและขนาดของช่องระบายน้ำของประตู

ก. ประเภทประตูระบายปากคลองสายใหญ่

เราจะใช้ประตูระบายประเภทใดเป็นประตูระบายปากคลองสายใหญ่เป็นเรื่องแรกที่จะต้องพิจารณาก่อน

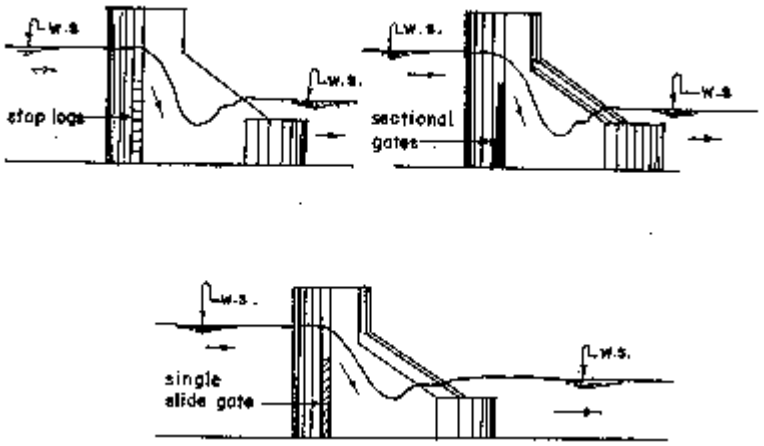
ประตูระบายปากคลองสายใหญ่ที่สร้างย่อมมีลักษณะแตกต่างกันได้มาก แต่ก็อาจแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทเท่านั้น คือ

(1) ชนิดให้น้ำไหลข้ามบาน (overpour-type regulators)

คือประตูระบายประเภทมีบานประตูเป็นชนิดให้น้ำไหลข้ามสันบานดังรูปที่ 3.4 บานประตูชนิดนี้อาจเป็นแบบใดแบบหนึ่งดังต่อไปนี้

- ไม้กระดานอัดน้ำ (stop planks)
- ไม้เหลี่ยมอัดน้ำ (stop logs)
- บานประตูหลายบานที่ตั้งซ้อนกัน (sectional gates)

ประตูระบายประเภทนี้เหมาะที่จะสร้างในท้องถิ่นที่มีตะกอนไหลมาในแม่น้ำมาก ตะกอนเหล่านี้แบ่งออกได้เป็น 2 พวกคือ



รูปที่ 3.4 ประตูระบายชนิดให้น้ำไหลข้ามสันบาน (overpour-type regulators)

- **ตะกอนท้องน้ำ (Bed loads)**

เป็นตะกอนหยาบและหนัก เช่น กรวดและทรายหยาบ ซึ่งไหลเลื่อนมาตามท้องน้ำ ถ้าปล่อยให้หลุดเข้าคลองสายใหญ่ได้คลองจะตื้นอย่างรวดเร็ว แต่เนื่องจากบานประตูของประตูระบายประเภทให้น้ำไหลข้ามสันบาน ปล่อยให้น้ำชั้นบนใกล้ผิวน้ำไหลข้ามสันบานประตูเข้าคลอง กรวดและทรายหยาบซึ่งอยู่ในน้ำชั้นล่างจะติดอยู่หน้าบานประตูไม่หลุดเข้าไปในคลองสายใหญ่ได้

- **ตะกอนแขวนลอย (Suspended loads)**

เป็นตะกอนละเอียดและเบามาก เช่น ตะกอนดินเหนียว ซึ่งลอยตัวอยู่ในน้ำชั้นบน จึงไหลตามน้ำข้ามสันบานประตูเข้าคลองสายใหญ่ไปได้ ตะกอนละเอียดมีธาตุอาหารพืชติดมาด้วย ถ้าปล่อยให้ไหลตามน้ำไปสู่แปลงเพาะปลูกได้จะช่วยเพิ่มความสมบูรณ์ให้แก่ดิน เพราะฉะนั้นคลองส่งน้ำทุกสายจึงต้องมีกระแสน้ำแรงพอที่จะทำให้ตะกอนละเอียดลอยตัวอยู่ได้ตลอดทางจนกว่าจะไปถึงแปลงเพาะปลูก และคลองจะไม่ตื้นเขินเพราะตะกอนละเอียดด้วย

(2) ชนิดให้น้ำไหลลอดใต้บาน (undershot-type regulators)

คือประตูระบายประเภทมีบานประตูเป็นชนิดให้น้ำไหลลอดใต้บาน ดังรูปที่ 3.5 บานประตูของประตูระบายประเภทนี้อาจเป็นแบบใดแบบหนึ่งดังต่อไปนี้

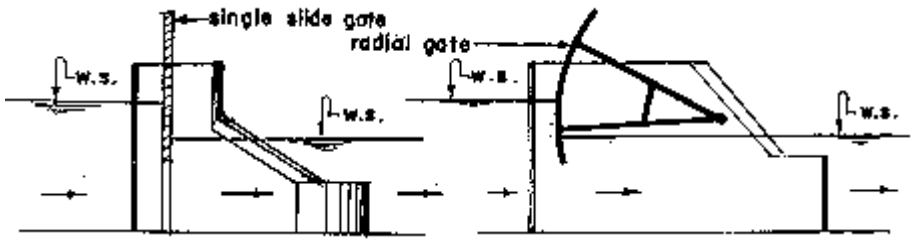
- บานประตูเดี่ยวซึ่งชักขึ้นและหย่อนลงได้ (single slide gates)
- บานประตูรูปโค้ง (radial gates)

ประตูระบายประเภทนี้เหมาะที่จะสร้างในท้องถิ่นซึ่งมีตะกอนไหลมาในแม่น้ำน้อย แม้จะเป็นการส่งน้ำให้น้ำตอนล่างไหลลอดใต้ประตูเข้าคลองสายใหญ่ ตะกอนในน้ำซึ่งมีอยู่น้อยจะไม่ทำให้คลองตื้นเท่าไรนัก

อย่างไรก็ตาม ถ้าได้แก้ไขการออกแบบบ้างแล้วประตูระบายประเภทนี้ก็ยังใช้ในท้องถิ่นที่มีตะกอนไหลมาในแม่น้ำมากได้ การแก้ไขจะทำได้ด้วยวิธีต่อไปนี้

(1) ยกระดับธรณีประตูระบายปากคลองสายใหญ่ให้สูงกว่าระดับพื้นร่องระบายทรายให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ หรือ

(2) ถ้าหากสภาพไม่อำนวยให้ทำตามข้อ 1. ได้ ก็ใช้วิธีเสริมระดับธรณีประตูระบายปากคลองสายใหญ่ให้สูงขึ้นอีก



รูปที่ 3.5 ประตูระบายชนิดให้น้ำไหลลอดใต้บาน (undershot-type regulators)

สำหรับช่องระบายน้ำระหว่างตอม่อนั้น ถ้าเป็นประตูระบายประเภทให้น้ำไหลข้ามสันบานจะเปิดโล่งตลอดถึงระดับตลิ่ง แต่ถ้าเป็นประเภทให้น้ำไหลลอดใต้บาน ช่องระบายน้ำตอนบนมักจะทำเป็นกำแพงขวาง (diaphragm wall) ปิดไว้หรือถมดินปิดตาย หรือจะเปิดโล่งตลอดถึงระดับตลิ่งก็ได้

คันดินปิดตายหรือกำแพงขวาง (diaphragm wall) จะขวางกั้นน้ำและปล่อยให้น้ำไหลเข้าคลองสายใหญ่ทางช่องเบื้องล่างซึ่งมีบานประตูปิดเปิดได้เท่านั้น จึงทุ่นขนาดและลดน้ำหนักบานประตูลงได้มากและสะดวกต่อการเปิดปิดด้วย เพราะถ้าไม่มีกำแพงขวาง บานประตูจะต้องสูงพ้นระดับน้ำนองสูงสุดในลำน้ำกำแพงขวางจึงช่วยป้องกันไม่ให้น้ำนองไหลเข้าคลองสายใหญ่

ประตูประเภทให้น้ำไหลข้ามสันบาน และประเภทให้น้ำไหลลอดใต้บานย่อมมีทั้งข้อดีและข้อเสียด้วยกัน ซึ่งจะพอสรุปได้ดังนี้

ประตูระบายประเภทให้น้ำไหลข้ามสันบาน

ข้อดี

(1) ช่วยป้องกันไม่ให้คลองสายใหญ่ตื้นเพราะตะกอนหยาบเข้าคลองได้น้อย เนื่องจากน้ำตอนผิวบนเท่านั้นที่ไหลลงคลอง

(2) ค่าก่อสร้างค่อนข้างถูก

ข้อเสีย

(1) ไม่สะดวกต่อการปิดเปิดบานประตูเพราะปิดยาก และในขณะที่ต้องการเปิดหรือยกบานขึ้นนั้นถ้ามีน้ำท่วมสันบานลึกจะยกขึ้นได้ยากเพราะมองไม่เห็นบานซึ่งจมอยู่ใต้น้ำ

(2) บานประตูของประตูประเภทนี้ไม่มีอุปกรณ์ช่วยลดความฝืดระหว่างผิวบานกับร่องบาน (grooves) ที่ตอม่อ จึงเปิดบานได้ช้าและลำบาก

(3) น้ำรั่วผ่านช่องระหว่างผิวบานประตูได้ง่ายเพราะยากที่จะให้ไม้ที่ใช้ทำบานแต่ละแผ่นหรือแต่ละบานลงไปทับกันได้สนิทในน้ำ

(4) บานประตูรับแรงดันของน้ำได้น้อย ประตูระบายประเภทนี้จึงเป็นประตูขนาดเล็กเสียโดยมาก

ประตูระบายประเภทให้น้ำไหลลอดใต้บาน

ข้อดี

(1) ปิดเปิดบานประตูได้สะดวกรวดเร็ว ถ้าเป็นบานขนาดใหญ่จะมีอุปกรณ์ช่วยลดความฝืดระหว่างผิวบานและร่องบาน (grooves) ที่ตอม่อด้วย

(2) เป็นประตูระบายที่สร้างได้ทุกขนาด เพราะบานประตูของประตูระบายประเภทนี้จะออกแบบให้ต้านทานแรงดันของน้ำได้มาก

(3) บานประตูของประตูระบายประเภทนี้ปิดได้แน่นสนิท น้ำไม่รั่วตามข้างบานและธรณีประตูเพราะมีวิธีป้องกันน้ำรั่วดีมาก

ข้อเสีย

(1) ตะกอนหยาบอาจหลุดเข้าไปในคลองสายใหญ่ได้เพราะต้องระบายน้ำตอนล่างเข้าคลองเว้นแต่จะได้แก้ไขโดยการยกหรือเสริมระดับธรณีประตูระบายปากคลองสายใหญ่ให้สูงขึ้น

(2) ถ้าน้ำด้านเหนือประตูระบายปากคลองสายใหญ่ลึกมาก โดยเฉพาะเวลาเกิดน้ำท่วมใหญ่ไหลหลากในแม่น้ำ บานประตูจะต้องสูงมากเพื่อให้พ้นระดับน้ำนอง แต่อาจแก้ไขได้โดยการใช้กำแพงขวาง (diaphragm wall)

(3) ค่าก่อสร้างค่อนข้างสูง

เมื่อเปรียบเทียบดูแล้วประตูระบายประเภทให้น้ำไหลลอดใต้บานเป็นที่นิยมสร้างกันมากกว่าประเภทให้น้ำไหลล้นข้ามบาน โดยมากแล้วประเภทให้น้ำไหลล้นข้ามบานเป็นประตูระบายขนาดเล็กถึงขนาดกลาง มีความกว้างของช่องระบายน้ำระหว่างตอม่อไม่เกิน 4.00 เมตร และในปัจจุบันก็ไม่ค่อยจะสร้างกันแล้ว ส่วนประเภทให้น้ำไหลลอดใต้บานเป็นประตูระบายที่สร้างได้ทุกขนาด ในปัจจุบันนิยมสร้างกันทั่วไป

รูปที่ 3.6 ระดับต่างๆ ของหัวงานประเภทฝายกับประตูระบายปากคลอง

ข. ระดับต่างๆ ที่เกี่ยวโยงกันที่หัวงาน

ระดับต่างๆ ที่สำคัญที่หัวงานได้แก่ (ดูรูปที่ 3.6)

- ระดับสันฝาย (weir crest elevation)
- ระดับหลังตอม่อ (top of pier) หรือหลังกำแพงประตูระบายปากคลองสายใหญ่
- ระดับพื้นร่องระบายทราย (bed level of sluiceway channel)
- ระดับธรณีประตูระบายปากคลองสายใหญ่ (sill level of main headgate)
- ระดับท้องคลองสายใหญ่ (bed level of main canal)
- ระดับน้ำใช้การเต็มที่ในคลองสายใหญ่ (full supply level in main canal)
- ระดับน้ำนองสูงสุดของแม่น้ำ (maximum flood level)

ระดับต่างๆ เหล่านี้มีความสัมพันธ์กันคือ

- **ระดับน้ำใช้การเต็มที่ในคลองสายใหญ่กับระดับสันฝาย**

ระดับทั้งสองนี้ย่อมแล้วแต่สภาพของน้ำในแม่น้ำ คือถ้าปริมาณน้ำน้อยที่สุดในแม่น้ำระหว่างทำการส่งน้ำทำให้เกิดน้ำท่วมสันฝายลึกมาก หรือระดับน้ำเหนือสันฝายสูงกว่าระดับน้ำใช้การเต็มที่ (F.S.L.) ในคลองสายใหญ่มากแล้ว เราอาจลดระดับสันฝายให้ต่ำกว่าระดับน้ำใช้การเต็มที่ในคลองสายใหญ่ได้มาก แต่ถ้าน้ำล้นข้ามฝายน้อยก็ต้องขยับสันฝายให้สูงขึ้น ตามปกติเรากำหนดให้ระดับน้ำเหนือสันฝาย (สำหรับปริมาณน้ำน้อยที่สุดในแม่น้ำระหว่างทำการขนส่ง) สูงกว่าระดับน้ำใช้การเต็มที่ในคลองสายใหญ่ประมาณ 0.10 ถึง 0.30 เมตร

- **ระดับท้องคลองสายใหญ่กับระดับน้ำใช้การเต็มที่ในคลอง**

ความสัมพันธ์ของระดับทั้งสองนี้ย่อมได้มาจากการคำนวณขนาดของคลองสายใหญ่ ความแตกต่างของระดับทั้งสองก็คือความลึกของน้ำในคลองสายใหญ่นั่นเอง

- **ระดับธรณีประตูระบายปากคลองสายใหญ่กับระดับพื้นร่องระบายทราย**

ระดับทั้งสองนี้จะต้องได้รับการพิจารณาร่วมกันเสมอ และต้องคำนึงถึงลักษณะและปริมาณตะกอนทรายที่ไหลตามน้ำมาด้วย ถ้ามีตะกอนทรายมากจะต้องให้ระดับธรณีประตูระบายปากคลองสายใหญ่สูงกว่าระดับพื้นร่องระบายทรายประมาณ 1.00 ถึง 2.00 เมตร

- **ระดับหลังตอม่อหรือหลังกำแพงประตูระบายปากคลองสายใหญ่กับระดับน้ำนองสูงสุดของแม่น้ำ**

หลังตอม่อหรือหลังกำแพงประตูระบายปากคลองสายใหญ่จะต้องสูงกว่าระดับน้ำนองสูงสุดของแม่น้ำประมาณ 0.75 ถึง 1.00 เมตร เป็นอย่างน้อย ซึ่งเป็นระยะเผื่อล้น (freeboard) ของอาคารนั่นเอง

USBR (1974) ได้กำหนดให้ใช้ส่วนพ้นน้ำของอาคารชลประทานไว้ดังนี้

$$F = 0.20 + 0.15\,D \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3.1)$$

เมื่อ F = freeboard ของอาคารชลประทานเป็นเมตร

D = ความลึกของน้ำมากที่สุดในลำน้ำหน้าอาคารนั้นเป็นเมตร

ถ้าระดับน้ำไม่ผันแปรมาก หรือเราทราบสถิติระดับน้ำได้อย่างแน่นอนแล้ว เราอาจลดส่วนพ้นน้ำ (freeboards) ให้น้อยกว่าเกณฑ์ที่กำหนดนี้ได้ซึ่งจะทุ่นปริมาตรงานและลดน้ำหนักกดบนฐานรากของงานลงได้มาก

ค. ปริมาณน้ำที่จะส่งผ่านประตูระบายปากคลองสายใหญ่เข้าคลองและขนาดของช่องระบายน้ำของประตู

หลักการข้อนี้จะได้รับการพิจารณาในลำดับสุดท้าย กล่าวคือ เมื่อได้เลือกประเภทประตูระบายปากคลองสายใหญ่และกำหนดความแตกต่างของระดับน้ำเหนือสันฝายและระดับน้ำใช้การเต็มที่ในคลองสายใหญ่แล้ว เราอาจคำนวณปริมาณน้ำที่ส่งผ่านประตูระบายปากคลองสายใหญ่เข้าคลองและขนาดของช่องระบายน้ำได้ สูตรที่ใช้คำนวณมีหลายสูตรคือ

$$Q = CA\sqrt{2gH} \quad \text{.....} \quad (3.2)$$

สูตรนี้ใช้คำนวณปริมาณน้ำที่ส่งผ่านประตูระบายปากคลองสายใหญ่หรือประตูระบายทั่วไปเข้าคลองในกรณีระดับน้ำในคลองสูงกว่าระดับก้นบานประตูหรือยกบานประตูไม่สูงพ้นระดับน้ำทั้งสองข้าง หรือที่เรียกว่าการไหลเป็นแบบ submerge ถ้าหากระดับน้ำในคลองอยู่ต่ำกว่าธรณีประตูหรือที่เรียกว่าการไหลแบบอิสระ (free flow) สูตรที่ใช้คำนวณปริมาณน้ำจะเป็น

$$Q = CLh\sqrt{2gy_1} \quad \text{.....} \quad (3.3)$$

เมื่อ

Q	=	ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านประตูระบายเข้าคลองเป็น ม.^{3}/วินาที
C	=	ค่าสัมประสิทธิ์การไหล
	=	0.60–0.80
A	=	เนื้อที่ของช่องระบายน้ำของประตูระบายที่น้ำไหลผ่านเป็น ม.^{2}
	=	W×D
W	=	ความกว้างของช่องระบายน้ำทั้งหมดเป็นเมตร
D	=	ระยะที่ยกบานประตูขึ้นจากธรณีเป็นเมตร
L	=	ความกว้างของช่องประตูระบายเป็นเมตร
h	=	ความลึกของน้ำบริเวณธรณีประตูเป็นเมตร
y_1	=	ความลึกของน้ำบริเวณด้านหน้าประตูระบายเป็นเมตร
g	=	9.81 เมตร/วินาที^{2}

H = ความแตกต่างของระดับน้ำด้านเหนือซึ่งนับรวมค่า velocity head ($\frac{V^2}{2g}$) ด้วย กับระดับน้ำด้านท้ายประตูระบายเป็นเมตร

$$Q = CW\sqrt{2g}H\left(D-\frac{H}{3}\right) \quad \text{.....} \quad (3.4)$$

สูตรนี้ใช้ในกรณียกก้นบานประตูสูงพ้นระดับน้ำทั้งสองข้าง แต่ระดับน้ำด้านท้ายบานยังมีระดับใกล้เคียงกับด้านหน้าบาน (ไหลแบบ submerge) เป็นสูตรที่ใช้หาขนาดของช่องระบายน้ำของประตูระบายปากคลองสายใหญ่หรือประตูระบายทั่วไป และใช้คำนวณปริมาณน้ำที่ส่งเข้าคลองด้วย

เมื่อ Q = ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านประตูระบายเข้าคลองเป็น $ม^3$/วินาที

C = ค่าสัมประสิทธิ์การไหล

= 0.60 – 0.80

W = ความกว้างของช่องระบายน้ำทั้งหมดเป็น เมตร

g = 9.81 เมตร/วินาที^{2}

H = ความแตกต่างของระดับน้ำด้านเหนือและด้านท้ายประตูระบายเป็น เมตร

D = ความลึกของน้ำตรงธรณีประตูระบายเป็น เมตร

$$Q = \frac{2}{3}CWD^{3/2}\sqrt{2g} \quad \text{.....} \quad (3.5)$$

สูตรนี้ใช้คำนวณปริมาณน้ำที่ไหลผ่านประตูระบายปากคลองสายใหญ่หรือประตูระบายทั่วไปเข้าคลองเมื่อประตูระบายนั้นเป็นประเภทให้น้ำไหลล้นข้ามบาน **(overpour-type regulator)** และระดับน้ำด้านในคลองต่ำกว่าระดับสันบานประตู ถ้าระดับน้ำในคลองสูงกว่าระดับสันบานประตูแล้วต้องใช้สูตร (3.4) คำนวณแทน หากเป็นกรณีน้ำไหลลอดบานที่ยกบานพ้นผิวน้ำ และระดับน้ำด้านท้ายบานอยู่ต่ำกว่าระดับธรณีประตู หรือที่เรียกว่าการไหลแบบอิสระ (free flow) ก็สามารถใช้สูตรที่ (3.5) นี้คำนวณอัตราการไหลได้เช่นเดียวกัน จากสูตรที่ (3.5) นี้

Q = ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านประตูระบายเข้าคลองเป็น ม^3/วินาที

C = ค่าสัมประสิทธิ์การไหล

= 0.65

W = ความกว้างของช่องระบายน้ำทั้งหมดเป็น เมตร

D = ความลึกของน้ำบนสันบานประตูเป็นเมตรหรือระยะจากสันบานประตูถึงระดับน้ำด้านเหนือประตูนั้น

g = 9.81 เมตร/วินาที^{2}

$$Q = A \times V \quad \text{.....} \quad (3.6)$$

เมื่อ $$V = \sqrt{\frac{2gH}{1+f_1+f_2\frac{L}{m}}} \quad \text{.....} \quad (3.7)$$

สูตรนี้เป็นสูตรคำนวณอัตราเร็วของน้ำที่ไหลผ่านเข้าคลองในกรณีประตูระบายปากคลองสายใหญ่หรือประตูระบายทั่วไปมีลักษณะเป็นท่อระบาย (pipe regulators) ซึ่งหน้าท่อและท้ายท่อจมอยู่ใต้ระดับน้ำ เป็นสูตรที่ใช้หาขนาดท่อหรือคำนวณปริมาณน้ำที่ไหลผ่านท่อ

เมื่อ Q = ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านท่อระบายเข้าคลองเป็น ม.^{3}/วินาที

A = เนื้อที่ของช่องระบายน้ำที่ไหลผ่านเป็น ม.^{2} หรือเนื้อที่รูปตัดตามขวางของท่อระบายนั้น

V = อัตราเร็วของน้ำที่ไหลผ่านท่อเป็น เมตร/วินาที

g = 9.81 เมตร/วินาที^{2}

H = ความแตกต่างของระดับน้ำด้านหน้าท่อและด้านท้ายท่อเป็นเมตร

f_1 = ค่าสัมประสิทธิ์ความฝืดบริเวณปากทางเข้าท่อ

= 0.505 .....กรณีปากทางเข้าเป็นรูปทรงกระบอก

= 0.80 .....กรณีปากทางเข้าเป็นรูประฆัง

f_2 = ค่าสัมประสิทธิ์ความฝืดภายในท่อ

= $a(1+\frac{b}{3.28m})$

ค่าของ a และ b กำหนดไว้ดังนี้

	a	b
ท่อเหล็กเรียบ	0.00497	0.084
ท่อคอนกรีต	0.00316	0.100

m = ค่าความลึกเฉลี่ย (hydraulic mean depth) ของท่อเป็นเมตร

$= \frac{A}{P}$

A = เนื้อที่รูปตัดขวางของท่อที่น้ำไหลผ่านเป็น ม.^{2}

P = ความยาวเส้นขอบเปียก (wetted perimeter) เป็นเมตร

L = ความยาวของท่อเป็นเมตร

3.7 บานระบาย (regulating gates)

บานระบายหรือบานประตู คือสิ่งปิดกั้นน้ำระหว่างตอม่อของเขื่อนระบายน้ำ ประตูระบายปากคลองสายใหญ่ หรือประตูระบายทั่วไป บานระบายมีขนาดและลักษณะต่างกันได้มากและสร้างด้วยวัสดุต่างๆ เช่น ไม้กระดาน (stop planks) ไม้เหลี่ยม (stop logs) บานไม้หรือบานเหล็กหลายบานตั้งซ้อนกัน (sectional gates) บานไม้หรือบานเหล็กเดี่ยว (single slide gates) ประตูระบายประเภทให้น้ำไหลข้ามสันบาน (overpour-type regulators) จึงมีบานระบายเป็นไม้กระดาน, ไม้เหลี่ยม หรือบานวางซ้อนกัน แต่ประตูระบายประเภทให้น้ำไหลลอดใต้บาน (undershot-type regulators) จะมีบานระบายเป็นแบบบานเดี่ยวชักขึ้น-ลง ในข้อนี้จะกล่าวเฉพาะบานระบายของประตูระบายประเภทให้น้ำไหลลอดใต้บานเท่านั้น

(1) บานตรง (vertical slide gates)

บานระบายชนิดตรงจะต้องมีความแข็งแรงพอที่จะต้านทานแรงดันของน้ำมากที่สุดซึ่งเกิดขึ้นกับบานในระยะระหว่างตอม่อ (span) ได้ (ดูรูปที่ 3.7) โดยปกติลักษณะของบานระบายนั้นจะมีโครงบานซึ่งประกอบด้วยคร่าวตั้งสูงเท่ากับตัวบานหลายอัน และมีคร่าวนอนหรือคานยาวเท่ากับความกว้างของตัวบานหลายอัน คานเหล่านี้จะกำหนดให้รับแรงดันของน้ำเท่ากันทุกอันเพื่อจะได้ขนาดของคานโตเท่ากันระหว่างคาน หรือด้านหน้าของโครงบานจะมีแผ่นไม้หรือแผ่นเหล็ก (face plate) ปิดไว้สำหรับอัดน้ำ ถ้าเป็นบานระบายขนาดเล็กซึ่งไม่ต้องรับแรงดันของน้ำมากก็จะให้บานเลื่อนขึ้นลงในร่องที่ตอม่อ (grooves) ตามปกติ แต่ถ้าเป็นบานระบายขนาดใหญ่ต้องรับแรงดันของน้ำมากจะฝังลูกล้อ (rollers) ติดกับตัวบานเพื่อให้บานระบายเลื่อนขึ้นลงในร่องที่ตอม่อได้สะดวก

รูปที่ 3.7 บานระบายชนิดบานตรง

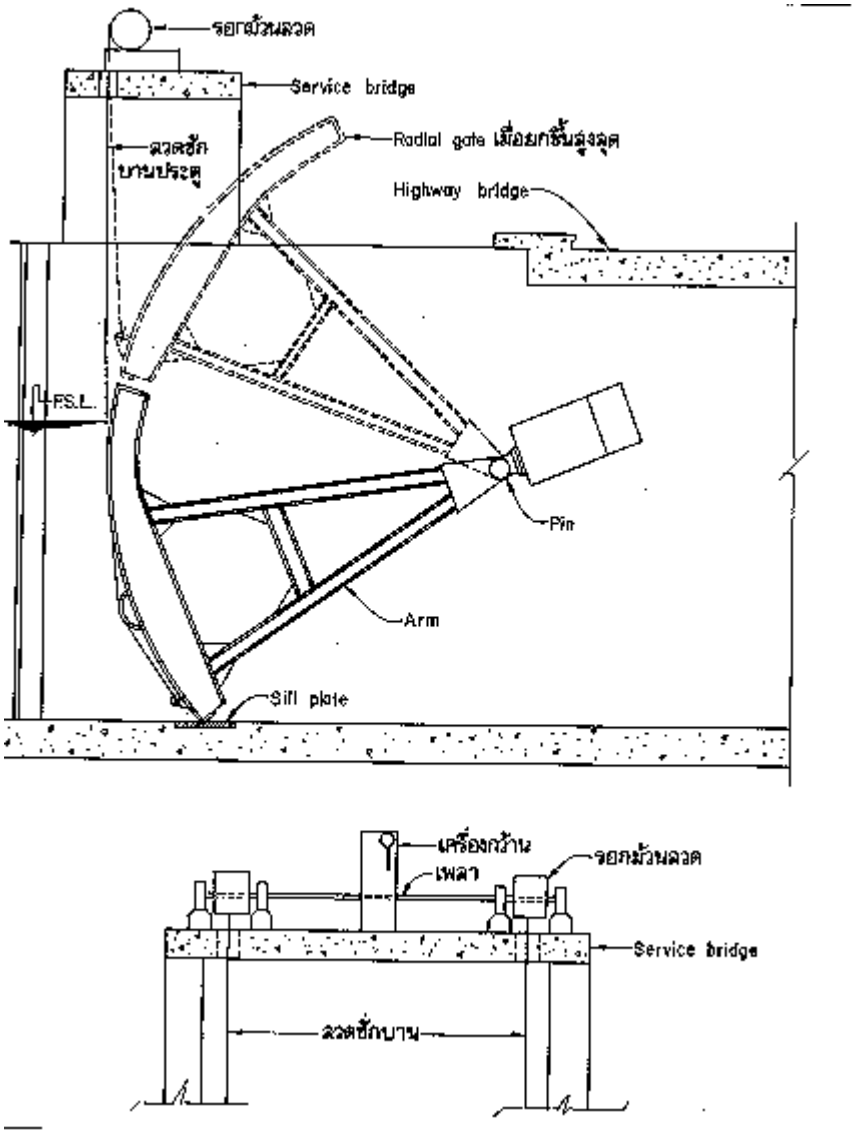
บานระบายขนาดใหญ่ซึ่งมีความกว้างมากกว่า 6.00 เมตร และต้องรับแรงดันของน้ำมากจะใช้วิธีลดความฝืดระหว่างผิวบานระบายและผิวร่องที่ตอม่อด้วย ลูกล้อแบบ Stoney ลูกล้อแบบนี้ไม่ได้ฝังติดกับตัวบานเหมือนอย่างที่กล่าวมาแล้ว แต่เขาจะตรึงลูกล้อเหล่านี้เข้าเป็นพวกหรือเป็นตับแล้วเอาตับลูกล้อหย่อนลงไปในร่องที่ตอม่อให้อยู่ระหว่างผิวบานระบายกับผิวร่อง เวลาบานระบายเลื่อนขึ้นลงตับลูกล้อก็จะเลื่อนขึ้นลงตามบานด้วย วิธีนี้จะลดความฝืดได้ดีที่สุด บานระบายที่มีตับลูกล้อแบบ Stoney ลดความฝืดจึงเรียกว่า Stoney gates

การใช้ลูกล้อลดความฝืดทั้งโดยวิธีฝังติดกับตัวบานระบายและแบบ Stoney จะทำให้เกิดช่องว่างขึ้นระหว่างบานระบายกับร่องที่ตอม่อ เพราะลูกล้อจะค้ำบานไม่ให้แนบติดกับร่องที่ตอม่อ น้ำจะรั่วผ่านทางช่องว่างนี้ เพื่อจะไม่ให้น้ำรั่วเขาใช้ท่อเหล็กกลม (staunching rods) ติดห้อยไว้ที่ริมบานทั้งสองข้างทางด้านเหนือน้ำ ท่อเหล็กที่ติดไว้นี้เคลื่อนตัวได้ เมื่อน้ำพยายามไหลผ่านทางช่องว่างก็จะดันท่อเหล็กไปปะทะแนบสนิทกับผิวตอม่อและผิวบานระบาย น้ำจึงรั่วผ่านไม่ได้

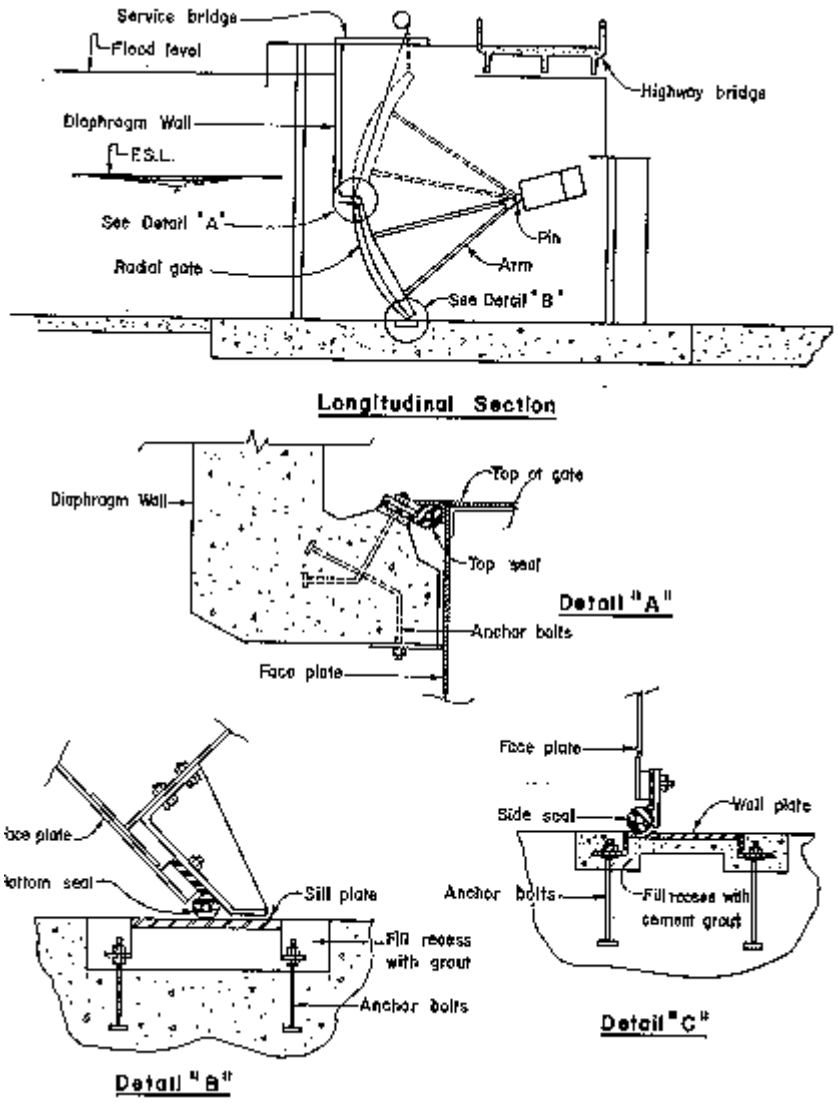
ในปัจจุบัน บานระบายมีขนาดกว้างใหญ่มาก เพราะการใช้บานระบายขนาดใหญ่จะประหยัดเงินกว่าบานระบายขนาดเล็ก และประสิทธิภาพในการระบายน้ำของบานระบายขนาดใหญ่ก็สูงกว่าบานระบายขนาดเล็กด้วย เช่น บานระบายขนาดกว้าง 6.00 เมตร 4 บาน จะระบายน้ำได้มากกว่าบานระบายขนาดกว้าง 2.00 เมตร 12 บาน เพราะความฝืดระหว่างน้ำกับตอม่อมีน้อยลง ทำให้น้ำไหลผ่านไปได้สะดวก แต่บานระบายยิ่งมีขนาดใหญ่ก็ต้องรับแรงดันของน้ำมากขึ้น และมีน้ำหนักมากขึ้นไปตามส่วนด้วย บานระบายเหล็กขนาดกว้าง 6.00 เมตร สูง 5.00 เมตร มีน้ำหนักประมาณ 5 ตัน แต่บานระบายเหล็กขนาดกว้าง 12.50 เมตร สูง 6.00 เมตร จะมีน้ำหนักถึง 20 ตัน เพราะฉะนั้นถ้าจะยกบานระบายด้วยแรงคนก็จะต้องใช้กว้านเป็นเครื่องผ่อนแรง แต่ตามธรรมดากว้านยิ่งยกน้ำหนักมากวงเฟืองจะต้องมีมาก ทำให้ยกบานระบายได้ช้า ด้วยเหตุนี้จึงต้องมีหีบถ่วงหรือถังถ่วง (counter balance box) ไว้ด้วยเพื่อถ่วงน้ำหนักของบานระบายไว้อีกข้างหนึ่งของเพลารอกม้วนลวดชักบานระบาย เมื่อเป็นเช่นนี้กว้านจะไม่ต้องยกน้ำหนักของบานระบายเลย เพราะหักกลบลบกันไปกับน้ำหนักของหีบถ่วงแล้ว กว้านคงทำงานพอที่จะต้านทานความฝืดที่เพลาและที่บานระบายซึ่งเกิดแรงดันของน้ำเท่านั้น กว้านจึงยกบานระบายได้อย่างคล่องแคล่วโดยใช้แรงน้อย

(2) บานระบายโค้ง (radial gates)

ในปัจจุบัน บานระบายโค้งนิยมใช้กันมาก บานระบายโค้งมีลักษณะและคุณสมบัติแตกต่างจากบานระบายตรง (vertical slide gates) ที่กล่าวมาแล้ว (ดูรูปที่ 3.8 และ 3.9) คือมีรูปร่างเป็นส่วนหนึ่งของวงกลม โดยมีผิวบานด้านนูนอยู่ทางด้านเหนือน้ำ จากปลายคานนอนของบานจะมีคานใหญ่ (arms) ติดอยู่เป็นรัศมีของวงกลมซึ่งมารวมกันที่จุดศูนย์กลาง ที่จุดศูนย์กลางนี้มีเดือย (pins) ติดอยู่กับตอม่อข้างละอัน บานระบายโค้งไม่มีร่องบานประตูที่ตอม่อ (grooves) ขอบบานจะชนติดกับข้างตอม่อ เวลายกบานระบายขึ้นขอบบานจะเลื่อนขึ้นไปตามแนววงกลมบนแผ่นโลหะ (wall plates) ซึ่งฝังติดไว้ที่ข้างตอม่อ เวลาหย่อนบานระบายลงขอบล่างของบานจะนั่งอยู่บนแผ่นโลหะที่ธรณี (sill plate) การป้องกันน้ำรั่วที่ขอบบานด้านล่างกับธรณี ที่ขอบบานด้านข้างกับตอม่อและที่หัวบานกับกำแพงขวาง (diaphragm wall) (ในกรณีที่มีกำแพงขวาง) จะใช้แผ่นยางกันน้ำรั่วติดไว้กับตัวบานระบายซึ่งป้องกันน้ำรั่วได้ดีที่สุด



รูปที่ 3.8 บานระบายโค้ง และเครื่องกว้าน



รูปที่ 3.9 บานระบายโค้งและยางกันน้ำของบาน (gate seal)

ข้อดีของบานระบายโค้งอยู่ที่ว่า แรงดันของน้ำบนส่วนโค้งของผิวบานระบายจะถ่ายทอดมายังเดือยทั้งสองข้างที่ฝังติดกับตอม่อ แต่เมื่อไม่มีร่องบานระบายประตูที่ตอม่อก็จะลดความฝืดระหว่างบานระบายกับตอม่อลงได้มาก ข้อดีอีกอย่างหนึ่งของบานระบายโค้งก็คือไม่ต้องมีโครงยกบานระบาย (superstructure) สูงเหมือนอย่างบานระบายตรง เพราะเวลายกบานระบายโค้งขึ้นบานจะเคลื่อนไปตามวงกลม บานจึงไม่ขึ้นสูงเกะกะ จึงต้องการแต่เพียงสะพานสำหรับติดตั้งกว้านและรอกม้วนลวด (service bridge) ต่ำๆ สำหรับยกบานก็พอแล้ว ทำให้ประหยัดเงินค่าก่อสร้างและมีความปลอดภัยมากขึ้นด้วย

บานระบายโค้ง รับแรงดันของน้ำได้มาก ออกแบบได้ทุกขนาด จึงเหมาะจะใช้เป็นบานระบายของประตูระบายประเภทให้น้ำไหลลอดใต้บาน

รูปที่ 3.10 ประตูเรือสัญจร

3.8 ประตูเรือสัญจร (navigation locks)

นายช่างชลประทานอาจต้องปฏิบัติงานเกี่ยวกับประตูเรือสัญจรหรือที่เรียกกันทั่วไปว่าประตูน้ำ เนื่องจากเหตุ 2 ประการคือ

(1) ในการออกแบบคลองสายใหญ่กำหนดใช้เป็นคลองคมนาคมทางน้ำด้วย

(2) ในการออกแบบหัวงานโครงการชลประทานซึ่งมีการคมนาคมทางน้ำในแม่น้ำ

การสร้างเขื่อนระบายน้ำปิดกั้นแม่น้ำเป็นการถาวรทำให้เรือแพขึ้นล่องในลำน้ำผ่านเขื่อนไปไม่ได้ ถึงแม้ว่าจะยกบานระบายสูงพ้นระดับน้ำทั้งสองข้าง แต่กระแสน้ำที่ไหลผ่านช่องเขื่อนจะแรงจัดและเป็นอันตรายแก่เรือแพมาก จึงต้องสร้างประตูเรือสัญจรไว้ที่เขื่อนระบายน้ำเพื่ออำนวยความสะดวกแก่การสัญจรของเรือแพ (ดูรูปที่ 3.10)

สำหรับคลองสายใหญ่ซึ่งใช้เป็นทางเดินเรือด้วยนั้นก็จะต้องสร้างประตูเรือสัญจรไว้ที่ประตูระบายทุกแห่งซึ่งสร้างปิดกั้นคลอง คือที่ปากคลอง กลางคลอง และปลายคลอง

ประตูเรือสัญจรอาจสร้างเป็นอาคารร่วมกับเขื่อนระบายน้ำหรือประตูระบาย (combined structure) เช่น ที่เขื่อนเจ้าพระยา เขื่อนแม่กลอง ประตูระบายบางเม่า ฯลฯ หรือจะสร้างแยกเป็นคนละอาคารกับเขื่อนระบายน้ำหรือประตูระบาย (isolated structures) ก็ได้ เช่น ที่เขื่อนพระรามหก เขื่อนนครนายก ประตูระบายพระนารายณ์ ประตูระบายพระเอกาทศรถ ฯลฯ

การสร้างประตูเรือสัญจรเป็นอาคารร่วมกับเขื่อนระบายน้ำหรือประตูระบายนั้นอาจกำหนดที่ตั้งของประตูเรือสัญจรได้ 2 วิธี คือ

(1) ให้ตัวประตูเรือสัญจรทั้งหมดตั้งอยู่ทางด้านเหนือน้ำของเขื่อนระบายน้ำหรือประตูระบาย

(2) ให้ส่วนหนึ่งของประตูเรือสัญจรตั้งอยู่ทางด้านเหนือน้ำของเขื่อนระบายน้ำหรือประตูระบาย แต่อีกส่วนหนึ่งอยู่ทางด้านท้ายน้ำ

การให้ประตูเรือสัญจรทั้งหมดตั้งอยู่ทางด้านท้ายน้ำของเขื่อนระบายน้ำ หรือประตูระบายไม่นิยมทำกัน เพราะต้องป้องกันตลิ่งด้านเหนือน้ำเป็นพิเศษ ทั้งจะต้องมีการป้องกันอันตรายที่จะเกิดกับเรือแพจากกระแสสกัด (cross current) ของน้ำซึ่งไหลเข้าช่องระบายน้ำของเขื่อนหรือประตูระบาย

สำหรับการสร้างประตูเรือสัญจรเป็นอาคารอิสระแยกจากเขื่อนระบายน้ำหรือประตูระบายนั้นอาจกำหนดที่ตั้งของประตูเรือสัญจรได้ 2 วิธีเช่นเดียวกัน คือ

(1) ให้ประตูเรือสัญจรตั้งอยู่ตรงแนวศูนย์กลางของแม่น้ำหรือคลองสายใหญ่ แล้วสร้างเขื่อนระบายน้ำหรือประตูระบายไว้ในทางผันน้ำ (diversion channel) ซึ่งขุดขึ้นข้างๆ

(2) ให้เขื่อนระบายน้ำหรือประตูระบายตั้งอยู่ตรงแนวศูนย์กลางของแม่น้ำหรือคลองสายใหญ่ แล้วสร้างประตูเรือสัญจรไว้ในทางผันน้ำ (diversion channel) ซึ่งขุดขึ้นข้างๆ

การกำหนดที่ตั้งของประตูเรือสัญจรทั้งหมดที่กล่าวมาแล้วมีทั้งข้อดีและข้อเสียซึ่งอาจสรุปได้ดังนี้

ก. การสร้างประตูเรือสัญจรเป็นอาคารร่วมกับเขื่อนระบายน้ำหรือประตูระบายโดยให้ตัวประตูเรือสัญจรทั้งหมดตั้งอยู่ทางด้านเหนือน้ำของเขื่อนระบายน้ำหรือประตูระบาย

ข้อดี

(1) ไม่ต้องขุดทางผันน้ำ

(2) ลดตอม่อริมตลิ่งลงได้หนึ่งตอม่อ

(3) ร่องน้ำเหนือประตูเรือสัญจรไม่ตื้นเพราะตะกอนตกจม จึงลดค่าบำรุงรักษาประจำปีลงได้มาก

(4) เรือเข้าประตูเรือสัญจรได้สะดวกเพราะอิทธิพลของกระแสกัดมีน้อย

ข้อเสีย

(1) ออกแบบยากเพราะอ่างพักเรือไม่สมมาตรตามแนวศูนย์กลาง

(2) ถึงแม้ว่าอิทธิพลของกระแสกัดจะมีน้อยแต่ก็ไม่ถึงกับปลอดภัยเสียทีเดียว ต้องมีการป้องกันเรือแพไม่ให้หลุดเข้าไปในช่องระบายน้ำของเขื่อนหรือประตูระบายได้

(3) ตัวประตูเรือสัญจรยาวมากกว่าปกติเพราะต้องไปสร้างสะพานข้ามประตูเรือสัญจรไว้ที่ตอม่อด้านท้ายน้ำ ทำให้เสียค่าก่อสร้างมากขึ้น

ข. การสร้างประตูเรือสัญจรเป็นอาคารร่วมกับเขื่อนระบายน้ำหรือประตูระบาย โดยให้ส่วนหนึ่งของประตูเรือสัญจรตั้งอยู่ทางด้านเหนือน้ำของเขื่อนระบายน้ำหรือประตูระบาย แต่อีกส่วนหนึ่งอยู่ทางด้านท้ายน้ำ

ข้อดี

(1) ไม่ต้องขุดทางผันน้ำ

(2) ลดตอม่อริมตลิ่งลงได้หนึ่งตอม่อ

(3) ร่องน้ำเหนือประตูเรือสัญจรไม่ตื้นเพราะตะกอนตกจม จึงลดค่าบำรุงรักษาประจำปีลงได้มาก

(4) ตัวประตูเรือสัญจรไม่ยาวเกินไปเพราะจะสร้างสะพานข้ามประตูเรือสัญจรไว้ตรงกลางได้

ข้อเสีย

(1) ออกแบบยากเพราะอ่างพักเรือไม่สมมาตรตามแนวศูนย์กลาง

(2) เรือเข้าประตูเรือสัญจรไม่สะดวก อิทธิพลของกระแสสกัดมีมาก ต้องมีการป้องกันอย่างแข็งแรงไม่ให้เกิดอันตรายแก่เรือแพได้

ค. การสร้างประตูเรือสัญจรเป็นอาคารอิสระแยกจากเขื่อนระบายน้ำหรือประตูระบายโดยให้ประตูเรือสัญจรตั้งอยู่ตรงแนวศูนย์กลางของแม่น้ำหรือคลองสายใหญ่

ข้อดี

(1) ออกแบบง่ายเพราะอ่างพักเรือสมมาตรตามแนวศูนย์กลาง

(2) เรือเข้าประตูเรือสัญจรได้สะดวกและปลอดภัย ไม่ต้องสร้างเครื่องป้องกัน

ข้อเสีย

(1) ต้องขุดทางผันน้ำสำหรับเขื่อนระบายน้ำหรือประตูระบาย ถ้าปริมาณน้ำมากทางผันน้ำต้องใหญ่ เสียค่าขุดดินมาก

(2) ต้องมีตอม่อริมตลิ่งเพิ่มขึ้นอีกหนึ่งตอม่อ

ง. การสร้างประตูเรือสัญจรเป็นอาคารอิสระแยกจากเขื่อนระบายน้ำหรือประตูระบายโดยให้ประตูเรือสัญจรตั้งอยู่ในทางผันน้ำ

ข้อดี

(1) ออกแบบง่ายเพราะอ่างพักเรือสมมาตรตามแนวศูนย์กลาง

(2) ทางผันน้ำแยกเล็กกว่าแม่น้ำหรือคลองสายใหญ่ จึงไม่เสียค่าขุดดินมาก

ข้อเสีย

(1) เรือเข้าประตูเรือสัญจรไม่ค่อยสะดวก

(2) ต้องมีตอม่อริมตลิ่งเพิ่มขึ้นอีกหนึ่งตอม่อ

(3) ทางผันน้ำแยกในช่วงจากปากทางเข้าถึงประตูเรือสัญจรมีกระแสน้ำอ่อน จึงตื้นเพราะตะกอนตกจมได้ง่าย ต้องเสียค่าขุดลอกเสมอ

ส่วนประกอบสำคัญของประตูเรือสัญจร

ประตูเรือสัญจรมีส่วนสำคัญคือ

- หัวประตู
- อ่างพักเรือ

- **หัวประตู (Lock heads)**

ประตูเรือสัญจรมีหัวประตู 2 ด้าน คือด้านเหนือน้ำและด้านท้ายน้ำ หัวประตูแต่ละด้านมี 2 ตอม่อ และแต่ละตอม่อมีส่วนประกอบสำคัญ 2 อย่างคือ

ก. บานประตู (Lock gates)

สำหรับปิดกั้นน้ำ จึงต้องแข็งแรงพอที่จะต้านแรงดันของน้ำซึ่งมีระดับแตกต่างกันมากได้ (ดูรูปที่ 3.11 และ 3.12)

ข. ที่ระบายน้ำ

สำหรับระบายน้ำจากด้านที่มีระดับสูงไปสู่ระดับต่ำจนกว่าระดับน้ำ 2 ด้านของบานประตูเท่ากันจึงจะเปิดประตูได้ ที่ระบายน้ำนี้อาจเจาะเป็นช่องไว้ที่บานประตู หรือทำเป็นอุโมงค์ระบายน้ำในตอม่อหรือใต้ธรณี

- **อ่างพักเรือ (lock chamber, lock basin)**

เป็นอ่างน้ำรูปกลม รูปไข่ หรือรูปสี่เหลี่ยมซึ่งอยู่ระหว่างหัวตอม่อ 2 ด้าน ขนาดของอ่างพักเรือนี้ไม่แน่นอน ย่อมแล้วแต่ขนาดและจำนวนเรือแพที่จะผ่านขึ้นล่อง ถ้าเรือแพมีน้อยและมีขนาดเล็กอ่างพักเรือก็แคบและสั้นได้ แต่ถ้ามีเรือแพขนาดใหญ่ผ่านขึ้นล่องมาก ขนาดของอ่างพักเรือก็ต้องกว้างและยาวมากขึ้นตามลำดับ

อ่างพักเรือเป็นที่พักเรือแพในขณะรอคอยการระบายน้ำเข้าหรือออกจากอ่างเพื่อเปลี่ยนระดับน้ำจากระดับหนึ่งไปสู่อีกระดับหนึ่ง เมื่อระดับน้ำ 2 ข้างบานประตูเท่ากันจึงจะเปิดประตูให้เรือแพผ่านเข้าออกได้

ในขณะระบายน้ำเข้าอ่างพักเรือ น้ำในอ่างจะปั่นป่วนและอาจเป็นอันตรายแก่เรือแพ จึงต้องทำที่ผูกโยงเรือแพไว้ในอ่างพักเรือด้วย

บานประตูของประตูเรือสัญจรต้องแข็งแรงปิดเปิดได้สะดวกและรวดเร็ว การปิดเปิดอาจใช้แรงคนประกอบกับเครื่องผ่อนแรง หรือปิดเปิดด้วยไฟฟ้าก็ได้ บานประตูของประตูเรือสัญจรมีหลายแบบคือ

(1) บานคู่หมุนรอบแกนตั้ง (mitring gates)

บานประตูแบบนี้มีลักษณะคล้ายกับบานหน้าต่าง (รูปที่ 3.11) แต่เวลาปิดปลายบานจะชนกันเป็นมุม 150°-160° โดยมีมุมชี้ไปทางด้านที่มีระดับน้ำสูงกว่าเพื่อให้บานประตูได้อาศัยยันกันเอง ประตูเรือสัญจรที่มีบานประตูแบบ mitring gates จะพบได้ทั่วไปในทุ่งราบตอนกลางของประเทศไทย

mitring gates นี้ ตามปกติจะติดไว้หัวประตูด้านละหนึ่งคู่ แต่ถ้าประตูเรือสัญจรตั้งอยู่ในทำเลที่มีน้ำขึ้นลงซึ่งจะทำให้ระดับน้ำด้านในหรือด้านนอกประตูสูงต่ำกว่าอีกด้านหนึ่งได้แล้ว จะต้องมี mitring gates หัวประตูด้านละ 2 คู่ คู่หนึ่งจะใช้เมื่อระดับน้ำด้านในประตูสูงกว่าด้านนอกประตู อีกคู่หนึ่งจะใช้เมื่อระดับน้ำด้านนอกประตูสูงกว่าด้านในประตู

(2) บานเดี่ยวซึ่งพับเก็บข้างตอม่อ

บานประตูแบบนี้มีลักษณะเช่นเดียวกับบานประตูรั้วบ้าน (รูปที่ 3.12) เป็นบานเดี่ยวขนาดกว้างเท่ากับช่องเรือผ่านที่หัวประตูเรือสัญจร ถ้าน้ำไหลทางเดียวหัวประตูด้านหนึ่งจะมีบานประตูเพียงหนึ่งบานเท่านั้น แต่ถ้าน้ำขึ้นน้ำลงได้หัวประตูด้านหนึ่งจะมีบานประตู 2 บาน

(3) บานชนิดเลื่อนเก็บช่องตอม่อ (rolling gates)

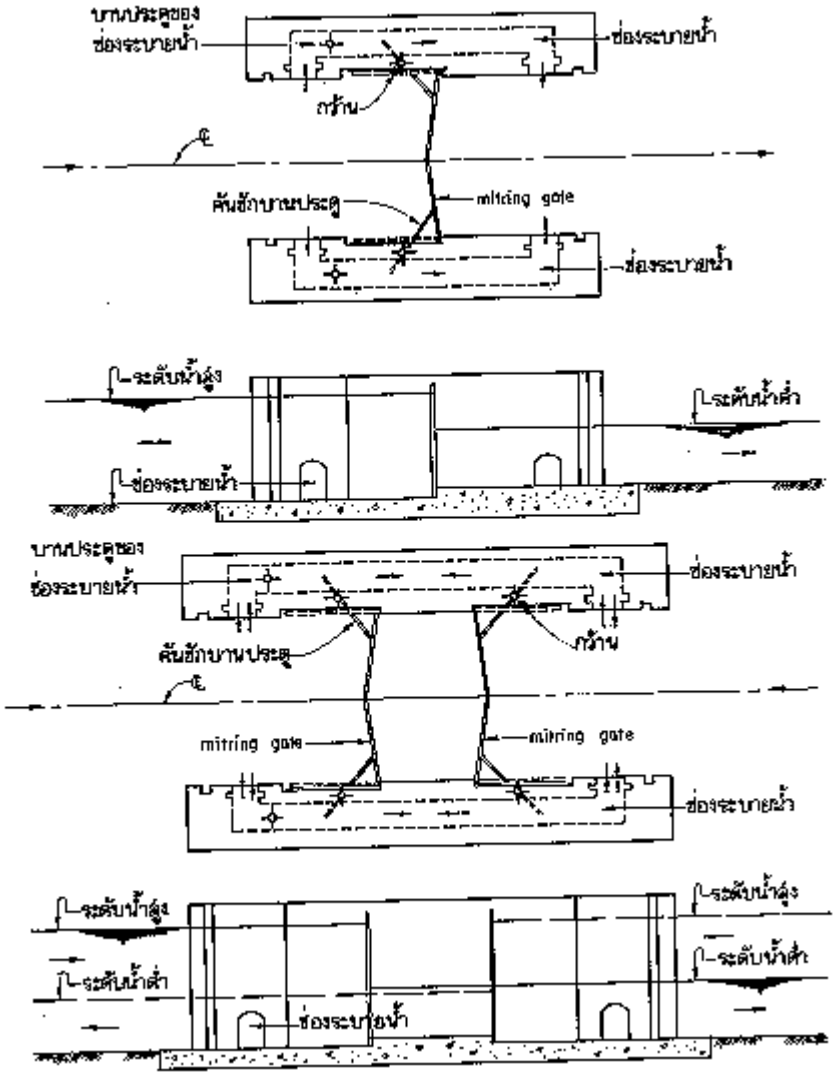
เป็นบานเดี่ยว ชนิดที่เปิดโดยการเลื่อนบานเข้าไปเก็บไว้ในช่องที่ตอม่อ (รูปที่ 3.12)

(4) บานชนิดล้มนอนราบกับพื้น (falling gates)

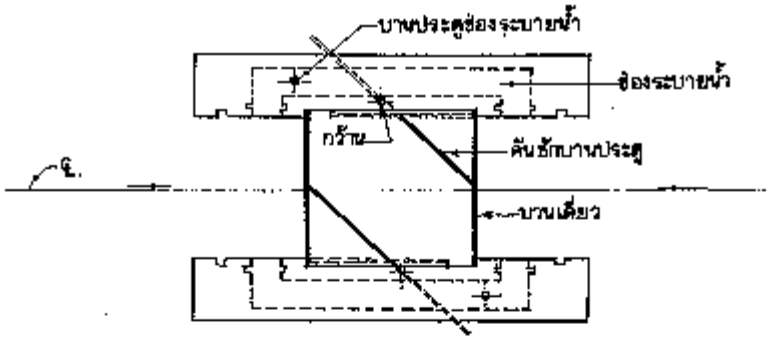
เป็นบานเดี่ยวชนิดที่เปิดโดยการล้มบานลงไปนอนราบกับพื้น โดยปกติเป็นบานประตูขนาดใหญ่ รับแรงดันของน้ำได้มาก เหมาะที่จะใช้กับอู่เรือเพราะไม่กีดขวางเกะกะเหมือนกับบานประตูแบบอื่น แต่ก็ยังไม่มีใช้ในประเทศไทย (รูปที่ 3.12)

(5) บานชนิดชักขึ้น-ลง (slide gates)

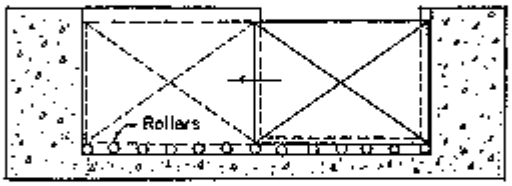
เป็นบานเดี่ยวชนิดยกขึ้นและหย่อนลงในร่องที่ตอม่อ (grooves) เช่นเดียวกับบานระบายของประตูระบายทั่วไป ประตูเรือสัญจรที่มีบานแบบนี้มีสร้างไว้หลายแห่งในโครงการชลประทานนครนายก เช่น ที่ประตูน้ำบางเม่าและประตูน้ำศรีจุฬา เป็นต้น แต่ติดบานนี้ไว้ที่หัวประตูด้านเหนือน้ำเท่านั้น ส่วนหัวประตูด้านท้ายน้ำใช้บานแบบ mitring gates



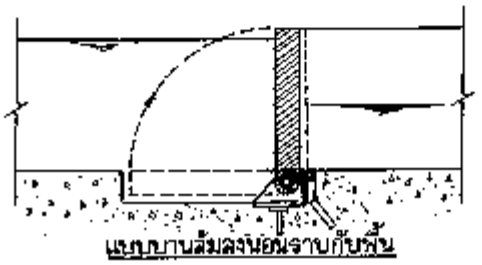
รูปที่ 3.11 หัวประตูและ Mitring Gates



แบบบานเดี่ยวพับเก็บข้างตอม่อ



แบบบานเลื่อนเก็บในช่องที่ตอม่อ



แบบบานสัมผัสราบกับพื้น

รูปที่ 3.12 บานแบบต่างๆ ของประตูเรือสัญจร

3.9 เอกสารอ้างอิง

กรมชลประทาน, 2534. อภิธานศัพท์เทคนิคการชลประทาน

ฉลอง เกิดพิทักษ์. 2527. การจัดการน้ำในลุ่มน้ำของประเทศไทย. ห้างหุ้นส่วนจำกัด ฟิสิกส์เซนเตอร์การพิมพ์ 189 น.

B.C. Punmia and Pande B.B. Lal. 1975. Irrigation and Water Power Engineering. Standard Publishers Distributors 1705-B, Nai Sarak, Delhi 110006

Calvin Victor Davis. 1952. Handbook of Applied Hydraulics. McGraw-Hill Book Company, Inc.

Rozgar Baban, 1995. Design of Diversion Weirs Small Scale Irrigation in Hot Climate, John Wiley & Son Ltd, Baffin Lane Chichester, West Sussex P.019 IUD, England.

USBR, 1974. Design of Small Dams, Second Edition Oxford & IBH Publishing CO.

Ven Te Chow. 1973. Open-Channel Hydraulics. McGraw-Hill International Editions.

3.10 แบบฝึกหัด

1. จงบอกถึงความสำคัญของอาคารประกอบประเภทประตูระบายทราย
2. องค์ประกอบของอาคารประเภทประตูระบายทรายมีอะไรบ้าง
3. ในการออกแบบบันไดปลามีหลักการที่สำคัญอะไรบ้าง
4. จงบอกถึงข้อดีของการออกแบบให้ประตูเรือสัญจร (navigation lock) วางอยู่ทางด้านเหนือน้ำทั้งหมด
5. หน้าที่ของอาคารประเภทประตูระบายปากคลองคืออะไร
6. จงบอกถึงข้อดีและข้อเสียของบานประตูแบบโค้ง (radial gate)
7. จงบอกถึงหลักเกณฑ์การเลือกใช้บานประตูเรือสัญจรแบบต่างๆ

ภาค 2

การวางแผนและออกแบบระบบส่งน้ำชลประทาน

(Planning and Design of Irrigation Distribution System)

บทที่ 4 : ปริมาณน้ำเพื่อการชลประทาน
บทที่ 5 : การวางแนวและออกแบบคลองส่งน้ำ
บทที่ 6 : อาคารในคลอง
บทที่ 7 : อาคารควบคุมน้ำ
บทที่ 8 : ตัวอย่างรายละเอียดการคำนวณออกแบบคลอง

บทที่ 4 ปริมาณน้ำเพื่อการชลประทาน (Irrigation Water Requirements)

ปริมาณน้ำเพื่อการชลประทานเรื่องสำคัญมากสำหรับการวางแผนและออกแบบระบบการส่งน้ำของโครงการชลประทาน ดังนั้นจึงจำเป็นจะต้องนำมากล่าวไว้ก่อน

ปริมาณน้ำที่เกี่ยวข้องกับการชลประทานมี 3 ชนิดคือ

- ปริมาณน้ำที่พืชต้องการใช้
- ปริมาณน้ำที่ต้องการใช้ทำการชลประทาน
- ปริมาณน้ำที่ต้องส่งจากแม่น้ำหรือหัวงานไปทำการชลประทาน

4.1 ปริมาณการใช้น้ำของพืช

ปริมาณการใช้น้ำของพืช (consumptive use หรือ evapotranspiration) เป็นปริมาณน้ำทั้งหมดที่สูญเสียจากพื้นที่เพาะปลูกสู่บรรยากาศในรูปของไอน้ำ ปริมาณดังกล่าวนี้ประกอบขึ้นด้วยส่วนใหญ่ ๆ สองส่วน (อภิชาต และคณะ, 2524; วิบูลย์, 2526) คือ

(1) ปริมาณที่พืชดูดไปจากดิน นำไปใช้สร้างเซลล์และเนื้อเยื่อและคายออกทางใบสู่บรรยากาศ ซึ่งเรียกว่า **การคายน้ำ (transpiration)**

(2) ปริมาณน้ำที่ระเหยจากผิวดินบริเวณรอบ ๆ ต้นพืช จากผิวน้ำในขณะให้น้ำหรือขณะที่มีน้ำขังอยู่ และจากน้ำที่เกาะอยู่ตามใบเนื่องจากฝนหรือการให้น้ำ ซึ่งเรียกว่า **การระเหย (Evaporation)**

ปริมาณการใช้น้ำของพืชและการชลประทานมีส่วนสัมพันธ์กันอยู่มาก เพราะโครงการชลประทานต่างๆ ที่ก่อสร้างจะต้องทำการศึกษาปริมาณการใช้น้ำของพืชเสียก่อนแล้วนำมาหาปริมาณน้ำชลประทานได้โดยการพิจารณาอัตราการสูญเสียน้ำในแปลงและการสูญเสียน้ำชลประทานในระบบส่งน้ำ (ทวีวัช, ม.ป.ป.) ปริมาณการใช้น้ำของพืชสามารถประเมินได้หลายวิธีด้วยกัน ได้แก่ การใช้อัตราส่วนการคายน้ำ การวัดโดยตรง และการคำนวณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง

การใช้อัตราส่วนการคายน้ำเป็นวิธีการดั้งเดิมที่พบในเอกสารของอรุณ (ม.ป.ป.) แต่ถูกนำมาใช้ในทางปฏิบัติค่อนข้างน้อย เนื่องจากขาดข้อมูลอัตราส่วนการคายน้ำของพืชต่าง ๆ ในบทนี้จะกล่าวตามที่ปรากฏในเอกสารดั้งเดิม ส่วนการหาปริมาณการใช้น้ำของพืชโดยการวัดโดยตรงสามารถทำได้หลายวิธี กล่าวคือ การวัดจากถังวัดการใช้น้ำของพืช (lysimeter) การศึกษาจากจำนวน

ความชื้นในดิน และ การศึกษาจากแปลงทดลอง (ดูรายละเอียดเพิ่มเติมใน อภิชาตและคณะ (2524) หรือ วิบูลย์ (2526))

ในขณะที่ วิธีการคำนวณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงจากข้อมูลภูมิอากาศได้รับความนิยมนำใช้งานในทางปฏิบัติมากกว่า เนื่องจากสามารถหาข้อมูลต่าง ๆ สำหรับการหาปริมาณการใช้น้ำของพืชได้ง่าย ดังที่ปรากฏในเอกสารอ้างอิงต่าง ๆ (อภิชาต และคณะ, 2524; วิบูลย์, 2526; Doorenbos & Pruitt, 1977; Jensen et al., 1989; Allen et al., 1998)

4.1.1 อัตราส่วนการคายน้ำ

พืชทุกชนิดนับตั้งแต่เกิดจนตายต้องใช้น้ำเป็นจำนวนมาก เพราะพืชต้องอาศัยน้ำช่วยละลายอาหารของพืชในดินแล้วจึงจะใช้รากดูดอาหารที่ละลายน้ำแล้วขึ้นไปเลี้ยงส่วนต่างๆ ของพืช จากนั้นก็จะคายน้ำออกทางใบเป็นไอน้ำไปสู่อากาศ ในต้นพืชเองก็มีน้ำเป็นส่วนประกอบอยู่ด้วยเป็นจำนวนมากเช่นเดียวกับในร่างกายของมนุษย์และสัตว์ทั่วไป ถ้าพืชขาดน้ำพืชจะเหี่ยวเฉาหรืออาจตายไปได้ อาการที่พืชดูดน้ำจากดินขึ้นไปสู่ลำต้นแล้วคายออกทางใบนี้เรียกว่า **การคายน้ำ (transpiration)**

ปริมาณน้ำที่สูญเสียไปโดยการคายน้ำตลอดอายุของพืชมีจำนวนมาก ยากที่จะทราบได้นอกจากจะทำการทดลองสอบวัดดูเท่านั้น และปริมาณน้ำที่สูญเสียไปโดยการคายน้ำของพืชแต่ละชนิดก็ไม่เท่ากัน เพราะพืชต่างๆ มีอายุไม่เท่ากัน ย่อมมีเวลาใช้น้ำนานมากน้อยผิดกัน ดังนั้นปริมาณน้ำที่สูญเสียไปโดยการคายน้ำของพืชที่สอบวัดได้จึงไม่ได้แสดงให้ทราบถึงนิสัยที่แท้จริงของพืชชนิดนั้นว่าเป็นพืชที่ใช้น้ำมากหรือน้อย การพิจารณาว่าพืชชนิดใดใช้น้ำมากหรือน้อยจึงต้องดูจากอัตราส่วน

$$\frac{\text{น้ำหนักของน้ำที่พืชใช้ทั้งหมดตลอดอายุของพืช}}{\text{น้ำหนักของดินแห้งที่ปลูกพืช}}$$

อัตราส่วนนี้เรียกว่า **อัตราส่วนการคายน้ำ (transpiration ratio)** หรือเรียกได้อีกอย่างหนึ่งว่า**ความต้องการน้ำของพืช (crop water requirement)**

บางประเทศได้ทำการทดลองหาอัตราส่วนการคายน้ำของพืชต่าง ๆ ไว้ ดังตัวอย่างข้างล่างนี้

พืช	อัตราส่วนการคายน้ำ
ข้าวสาลี	422-1,133
ข้าวโอ๊ต	490-1,117
ข้าวบาเล่ย์	422-679
ข้าวโพด	246-804
ถั่ว	453-973
ข้าว	800-1,100

ปริมาณน้ำที่สอบวัดได้จากการทดลองเป็นตัวเลขในทางทฤษฎีเท่านั้น แต่ในทางปฏิบัติเราต้องปลูกพืชบนแปลงกลางแจ้ง ย่อมจะต้องมีการระเหย (evaporation) ของน้ำเกิดขึ้นบนแปลงปลูกพืชก่อนที่พืชจะได้ใช้น้ำนั้นอีกด้วย เพราะฉะนั้นในทางปฏิบัติ ปริมาณน้ำที่พืชต้องการใช้ทั้งหมดจึงต้องรวมการระเหยของน้ำบนแปลงปลูกพืชเข้าไปด้วย อัตราส่วนใหม่จะกลายเป็น

$$\frac{\text{น้ำหนักน้ำที่พืชใช้ทั้งหมดตลอดอายุของพืช}}{\text{น้ำหนักของเมล็ดหรือผลแห้งที่ได้}} = \frac{\text{น้ำหนักน้ำที่ระเหยไปทั้งหมดของพืช}}{\text{น้ำหนักของเมล็ดหรือผลแห้งที่ได้}}$$

อัตราส่วนใหม่นี้จึงเรียกว่า**อัตราส่วนการคายระเหย (evapotranspiration ratio)**

4.1.2 การคำนวณการใช้น้ำของพืช

วิธีการหาการใช้น้ำของพืชโดยคำนวณจากข้อมูลภูมิอากาศ อาจแบ่งตามชนิดของข้อมูลที่นำมาใช้ ออกได้เป็น 4 กลุ่ม คือ

- วิธีการหาโดยใช้อุณหภูมิ (temperature-based estimating methods) เช่น วิธีของ Blaney- Criddle
- วิธีการหาโดยใช้รังสีแสงอาทิตย์ (radiation methods) เช่น วิธีของ Makkink
- วิธีการหาโดยใช้วิธีผสม (Combination methods) เช่น วิธีของ Penman
- วิธีการหาโดยถาดวัดการระเหย (pan evaporation methods)

สำหรับในประเทศไทย วิธีการหาโดยใช้วิธีผสมและโดยถาดวัดการระเหยได้รับความนิยมใช้มากกว่าวิธีการหาโดยใช้อุณหภูมิและโดยใช้รังสีแสงอาทิตย์ แม้ว่าการหาโดยใช้อุณหภูมิและรังสีแสงอาทิตย์จะต้องการข้อมูลและมีความซับซ้อนในการคำนวณน้อยกว่าวิธีผสมอย่างวิธีของ Penman แต่เนื่องจากวิธีของ Penman ได้รวบรวมองค์ประกอบทุกอย่างที่มีผลต่อการใช้น้ำของพืช

มาอยู่ในสูตร จึงให้ผลการคำนวณที่ใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้ดีกว่าวิธีอื่น ๆ (วิบูลย์, 2526) ในขณะที่วิธีการหาโดยถาดวัดการระเหยเป็นวิธีที่นิยมใช้ในทางปฏิบัติ

วิธีต่าง ๆ ที่กล่าวข้างต้นเป็นการหา**ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (reference crop evapotranspiration หรือ Potential evapotranspiration, ETo)** ซึ่งโดยทั่วไปคือหญ้า โดยขั้นตอนการหา**ปริมาณการใช้น้ำของพืช (Crop evapotranspiration)** ที่สนใจ จะต้องคูณปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงด้วยค่า**สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช (crop coefficient, Kc)** ตามสมการ

$$ET_c = K_c \cdot ET_o$$

ในตารางที่ 4.1 และ 4.2 แสดงปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงเฉลี่ยรายเดือนของสถานีตรวจวัดภูมิอากาศทั่วประเทศไทย คำนวณจากวิธีของ FAO Penman-Monteith ซึ่งจัดทำโดยวราวุธ (2539) เนื่องจากวิธีของ Penman มีการพัฒนาปรับปรุงมาตลอดนับแต่ปี 1948 การนำข้อมูลปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ETo) ไปใช้หาปริมาณการใช้น้ำของพืช (ETc) ร่วมกับสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช (Kc) จะต้องทำการตรวจสอบด้วยว่า ค่า Kc ที่ได้มาจากการทดลองนั้น ๆ ถูกทำการสอบเทียบ (Calibration) กับ ETo ที่หามาด้วยวิธีใด

ในภาพรวมแล้ว ข้อมูลที่นำมาใช้ในการคำนวณ ETo โดยวิธีของ Penman มิได้เปลี่ยนแปลงมากนัก โดยประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ สมดุลของพลังงานรังสีแสงอาทิตย์ (Radiation balance) และองค์ประกอบในด้านของการไหลเวียนของอากาศ (aerodynamic term) (ดูกรอบที่ 4.1) ซึ่งทั้งสองส่วนหลัก ๆ นี้คูณอยู่กับค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก (weighted factor) $\frac{\Delta}{\Delta+\gamma}$ และ $\frac{\gamma}{\Delta+\gamma}$ ตามลำดับ

โดยที่ $\frac{\gamma}{\Delta+\gamma} = 1 - \frac{\gamma}{\Delta+\gamma}$

วิธีของ FAO modified Penman (Doorenbos & Pruitt, 1977) หรือเรียกสั้น ๆ ว่า Modified Penman มีวิธีการคำนวณเทอมของลม (Wind function, f(u)) และความชื้น (Vapor pressure deficit, (e_s-e_a)) ต่างไปจากวิธีดั้งเดิม และจะมีการปรับค่า ETo ด้วยสัมประสิทธิ์ c ที่ได้จากการทดลองและวิเคราะห์ทางสถิติ เพื่อให้ได้ค่าที่ใกล้เคียงกับค่าที่วัดยิ่งขึ้น

วิธีของ FAO Penman-Monteith (Allen et al., 1998) เป็นการปรับปรุงวิธี Modified Penman ซึ่งให้ค่า ETo สูงกว่าค่าที่วัดจริง เพื่อให้การคำนวณมีความถูกต้องแม่นยำยิ่งขึ้น และ FAO ได้แนะนำให้ใช้วิธีนี้เป็นมาตรฐานในการหาปริมาณการใช้น้ำอ้างอิง ทั้งนี้ เป็นผลจากการประชุมของผู้เชี่ยวชาญในปี 1990 (Smith et al. 1992) โดยรายละเอียดการคำนวณสามารถศึกษาเพิ่มเติมได้จาก FAO Irrigation and Drainage Paper No 56 (Allen et al., 1998)

Penman equation (Penman, 1948)

$$ET_o = \frac{\Delta}{\Delta+\gamma} \cdot \underbrace{(R_n - G)}_{\text{radiation balance}} + \frac{\gamma}{\Delta+\gamma} \cdot \underbrace{f(u) \cdot (e_s - e_a)}_{\text{aerodynamic term}}$$

FAO modified Penman equation (Doorenbos & Pruitt, 1977)

$$ET_o = c \cdot \left[\frac{\Delta}{\Delta+\gamma} \cdot R_n + \frac{\gamma}{\Delta+\gamma} \cdot f(u) \cdot (e_s - e_a) \right]$$

FAO Penman-Monteith equation (Allen et al., 1998)

$$ET_o = \frac{0.408\Delta \cdot (R_n - G) + \gamma \cdot \frac{900}{T+273} u_2 \cdot (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma \cdot (1 + 0.34 u_2)}$$

รูปที่ 4.1 สมการของ Penman

4.2 ปริมาณน้ำที่ต้องการใช้ทำการชลประทาน

การใช้น้ำของพืชชนิดหนึ่งจะเปลี่ยนไปได้ตามสภาพของดินฟ้าอากาศ นอกจากนั้นในการให้น้ำแก่พืชอาจมีน้ำสูญหายไปเพราะการรั่วซึมลึกลงไปใต้ดินโดยที่พืชไม่ได้ประโยชน์จากน้ำนั้นเลยอีกด้วย

เพราะฉะนั้น ปริมาณน้ำที่ต้องการใช้ทำการชลประทานจึงเท่ากับปริมาณน้ำที่พืชต้องการใช้จริงรวมกับปริมาณน้ำที่สูญหายไปเพราะการระเหยและการรั่วซึมบนแปลงปลูกพืช เช่น ปริมาณน้ำที่ต้องการใช้ทำการชลประทานสำหรับการปลูกข้าว 10 มม./วัน จึงหมายถึงน้ำที่ใส่ลงไปในนาข้าวลึก 10 มม. จะถูกต้นข้าวนำไปใช้รวมทั้งการระเหยและการรั่วซึมในนาหมดพอดีใน 1 วัน

สำหรับการชลประทานชนิดเสริม (supplementary irrigation) ซึ่งส่งน้ำในฤดูฝนนั้น น้ำฝนส่วนหนึ่งที่ตกบนแปลงปลูกพืชจะเป็นประโยชน์แก่พืชแทนน้ำชลประทาน ซึ่งเรียกว่า**ฝนใช้การ (effective rainfall)** ดังนั้นปริมาณน้ำที่ต้องการใช้ทำการชลประทานจึงต้องหักฝนใช้การออกจากปริมาณน้ำที่ต้องการใช้ทำการชลประทานดังกล่าวข้างต้น

ตัวอย่างที่ 4.1

จากการทดลองปรากฏว่าข้าวอายุ 140 วัน ปลูกในนา 1 ไร่ ได้น้ำหนักของวัตถุแห้งทั้งหมด 1,121 กก. อัตราส่วนของการคายน้ำของข้าวตาอู่ 850 ปริมาณน้ำที่ระเหยและรั่วซึมบนแปลงนา 400 มม. ฝนใช้การ 900 มม.

จากข้อมูลข้างบนนี้จะคำนวณปริมาณน้ำที่ต้องการใช้ทำการชลประทานได้ดังนี้ :

น้ำหนักของวัตถุแห้งทั้งหมด = 1,121 กก.

อัตราส่วนการคายน้ำ = 850

ดังนั้น $\frac{850}{1,121} = \frac{\text{น้ำหนักของน้ำที่ใช้ทั้งหม}}{\text{น้ำหนักของวัตถุแห้งทั้งหม}}$

น้ำหนักของน้ำที่ใช้ไปทั้งหมด = 850×1,121 กก.

= 1,029,350 กก.

= 1,030 ตัน (ประมาณ)

คิดเป็นปริมาตรน้ำ = 1,030 ม.^{3}

คิดเป็นความลึกของน้ำบนนา 1 ไร่ = $\frac{1,03(}{1,60(}$ = 0.645 ม.

ปริมาณน้ำที่ระเหยและรั่วซึมบนแปลงนา = 400 ม.ม. = 0.400 ม.

ฝนใช้การ = 900 ม.ม. = 0.900 ม.

ดังนั้น ปริมาณน้ำที่ต้องการใช้ทำการชลประทานใน 140 วัน

= 0.645 + 0.400 – 0.900 ม.

= 0.145 ม.

คิดเป็นปริมาตรน้ำที่ต้องการใช้ทำการชลประทานบนนา 1 ไร่ ใน 140 วัน

= 0.145×1,600 ม.^{3}

คิดเป็นปริมาตรน้ำที่ต้องการใช้ทำการชลประทานบนนา 1 ไร่ ใน 1 วินาที

= $\frac{0.14\cancel{5}\times 1,600}{14\cancel{0}\times 24\times 60\times 6\cancel{0}}$

= 0.00002 ม.^{3}

ปริมาณน้ำที่ต้องการใช้ทำการชลประทาน 0.00002 ม.^{3}/วินาที/ไร่ นี้เรียกว่า **"ชลภาระบนแปลงเพาะปลูก"**

4.3 ปริมาณน้ำที่ต้องส่งจากแม่น้ำหรือหัวงานไปทำการชลประทาน

ตามปกติการส่งน้ำจากแม่น้ำหรือจากหัวงานไปทำการชลประทานบนแปลงปลูกพืชนั้น ต้องมีการขุดคลองส่งน้ำรับเอาน้ำไป คลองส่งน้ำเหล่านี้จะขุดแพร่กระจายไปทั่วเขตส่งน้ำของโครงการชลประทาน และโดยทั่วไปเป็นคลองดินธรรมดา ซึ่งไม่มีการดาดคลองป้องกันน้ำรั่วซึมออกจากคลอง เพราะฉะนั้นกว่าน้ำจะไหลจากแม่น้ำหรือหัวงานไปถึงแปลงปลูกพืช น้ำจำนวนหนึ่งจะสูญหายไปตามคลองส่งน้ำด้วยสาเหตุสำคัญ 2 ประการคือ

(1) การสูญเสียน้ำโดยการระเหย (Evaporation losses)

เป็นจำนวนน้ำที่สูญหายไปเพราะการระเหยของน้ำจากพืชผิวน้ำในคลอง

(2) การสูญเสียน้ำโดยการรั่วซึม (seepage losses)

เป็นจำนวนน้ำที่สูญหายไปเพราะน้ำรั่วซึมออกจากคลองซึ่งเกิดจาก

- *การดูดซับน้ำของดิน (absorption)* ซึ่งมักจะเกิดขึ้นมากในตอนเริ่มฤดูการส่งน้ำ เพราะดินตัวคลองแห้งผากจึงสามารถดูดซับน้ำไว้ได้มาก แต่หลังจากนั้นการดูดซับน้ำของดินจะลดน้อยลง

- *การรั่วไหลลงไปเบื้องล่าง (percolation)* ซึ่งเกิดจากน้ำรั่วออกจากคลองลงไปตามรอยแตกร้าวหรือช่องว่างในเนื้อดิน

การสูญเสียน้ำโดยการรั่วซึมเป็นสาเหตุสำคัญของการสูญเสียน้ำไปตามคลองในระหว่างการส่งน้ำ และมักจะเกิดขึ้นมากกว่าการสูญเสียน้ำโดยการระเหยถ้าเป็นดินทรายซึ่งมีระดับน้ำใต้ดินอยู่ลึกหรือมีชั้นดินซึ่งน้ำรั่วผ่านไม่ได้ที่มีลาดชั้นดินชันมากและอยู่ลึกจากระดับผิวดินมาก แล้วการสูญเสียน้ำโดยการรั่วซึมก็จะยิ่งมาก

การสูญเสียน้ำโดยการระเหยรวมกับการสูญเสียน้ำโดยการรั่วซึมที่เกิดขึ้นในคลองระหว่างการส่งน้ำนี้เรียกว่า conveyance losses หรือ transportation losses ซึ่งเป็นปริมาณน้ำที่วัดได้ยาก

ดังนั้น การที่จะส่งน้ำจากแม่น้ำหรือหัวงานไปตามคลองส่งน้ำให้มีน้ำเหลือไปถึงแปลงปลูกพืชเต็มจำนวนที่ต้องการใช้ทำการชลประทานจึงต้องเผื่อการสูญเสียนี้ไว้ด้วย แต่เนื่องจากการวัดการสูญเสียนี้ทำได้ยากและในการวางแผนและออกแบบระบบการส่งน้ำของโครงการชลประทานใหม่ก็ไม่สามารถจะวัดได้ เพราะคลองส่งน้ำยังไม่ได้ขุด เพราะฉะนั้นเพื่อความสะดวกในการคำนวณปริมาณน้ำที่จะส่งจากแม่น้ำหรือหัวงานเข้าคลองส่งน้ำ เราอาจเผื่อค่าการสูญเสียเท่ากับความลึกของน้ำจำนวนหนึ่งซึ่งขังอยู่บนแปลงปลูกพืช เช่นการส่งน้ำให้แก่การทำนาซึ่งปลูกข้าวหนักอายุ 183 วัน ในทุ่งราบตอนกลางของประเทศไทยนั้นถือว่าการสูญเสียระหว่างการส่งน้ำเท่ากับความลึกของน้ำบนแปลงนา 800 มม. (ประมาณวันละ 4.4 มม.)

การคำนวณปริมาณน้ำที่ต้องส่งจากแม่น้ำหรือหัวงานไปทำการชลประทาน จะแสดงให้เห็นโดยตัวอย่างต่อไปนี้

ตัวอย่างที่ 4.2

กำหนดให้

- ข้าวที่ปลูกเป็นข้าวหนักมีอายุ 183 วัน
- ต้นข้าวใช้น้ำรวมทั้งการระเหยและรั่วซึมบนแปลงนาด้วยวันละ 1 ชม.
- ฝนใช้การ 1,050 มม.
- การสูญเสียระหว่างการส่งน้ำ 800 มม.

วิธีคำนวณ

ต้นข้าวมีอายุ 183 วัน ใช้น้ำวันละ 1 ชม.

ต้นข้าวใช้น้ำทั้งหมด = 183 ชม. = 1,830 มม.

ฝนใช้การ = 1,050 มม.

ต้องส่งน้ำให้ต้นข้าวเพียง 1,830–1,050 = 780 มม.

เผื่อการสูญเสียระหว่างการส่งน้ำ = 800 มม.

เพราะฉะนั้นต้องส่งน้ำจากแม่น้ำหรือหัวงานไปทำการชลประทาน

= 780 +800 = 1,580 มม.

= 1.580 ม.

คิดเป็นปริมาตรน้ำที่ต้องส่งจากแม่น้ำหรือหัวงานไปทำการชลประทานบนนา 1 ไร่ ใน 183 วัน

= $1.580 \times 1{,}600$ ม^3

หรือคิดเป็นปริมาตรน้ำที่ต้องส่งจากแม่น้ำหรือหัวงานไปทำการชลประทานบนนา 1 ไร่ ใน 1 วินาที

= $\frac{1.580 \times 1{,}600}{183 \times 24 \times 60 \times 60}$ ม.^{3}

= $\underline{0.00016}$ ม.^{3}

ปริมาณน้ำที่ต้องส่งจากแม่น้ำหรือหัวงานไปทำการชลประทาน 0.00016 ม^3/วินาที/ไร่ (ตามตัวอย่างนี้) เรียกว่าค่า**ชลภาระที่หัวงาน** หรือเรียกโดยย่อว่าค่า**ชลภาระ (water duty)**

4.4 ประสิทธิภาพการชลประทาน

ดังที่กล่าวมาแล้ว ในการส่งน้ำจากแหล่งน้ำที่หัวงานของโครงการไปตามคลองส่งน้ำจนถึงแปลงเพาะปลูก และเข้าไปขังในเขตรากพืชตามปริมาณที่ต้องการนั้นจะมีการสูญเสียน้ำส่วนหนึ่งไปอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ จำนวนน้ำที่สูญเสียไปนี้ปัจจุบันนิยมวัดในรูปของ **ประสิทธิภาพของการชลประทาน (irrigation efficiency)** ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่าง ปริมาณน้ำสุทธิที่ต้องการ (Net water requirement) ต่อปริมาณน้ำที่ต้องส่งจากหัวงาน (gross water application) โดยเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$E_i = \frac{W_n}{W_g}$$

เมื่อ E_i = ประสิทธิภาพของการชลประทาน (irrigation efficiency)

W_n = ปริมาณน้ำสุทธิที่ต้องการ (net water requirement)

W_g = ปริมาณน้ำที่ต้องเข้าระบบส่งน้ำ (gross water application)

ประสิทธิภาพการชลประทานอาจแยกคิดจากประสิทธิภาพของแต่ละส่วนได้ เช่น ประสิทธิภาพของการส่งน้ำ (conveyance efficiency) ประสิทธิภาพของคูส่งน้ำ (field canal efficiency) และ ประสิทธิภาพการให้น้ำ (application efficiency) เป็นต้น แล้วจึงนำประสิทธิภาพที่ได้นั้นมาคูณเข้าด้วยกันเป็นประสิทธิภาพในจุดที่ต้องการทราบ ดังนี้

ประสิทธิภาพของการส่งน้ำ $E_c = \frac{W_t}{W_g}$

ประสิทธิภาพของคูส่งน้ำ $E_b = \frac{W_p}{W_f}$

ประสิทธิภาพการให้น้ำ $E_a = \frac{W_n}{W_p}$

ประสิทธิภาพการชลประทานทั้งหมด $E_s = E_a \cdot E_b \cdot E_c$

เมื่อ W_n = ปริมาณน้ำสุทธิที่ต้องการ

W_f = ปริมาณน้ำที่ได้รับที่แปลงเพาะปลูก

W_p = ปริมาณน้ำที่ส่งเข้าแปลงเพาะปลูก

W_g = ปริมาณน้ำที่ต้องส่งเข้าระบบส่งน้ำ

ค่าประสิทธิภาพต่าง ๆ ของงานชลประทานแสดงไว้ในตารางที่ 4.3 สามารถใช้เป็นแนวทางในการคำนวณหาประสิทธิภาพของโครงการชลประทานในระดับงานวางแผนโครงการได้ (อดุล, 2533)

4.5 ชลภาระ (water duty)

ชลภาระแปลมาจากคำว่า water duty ในภาษาอังกฤษ คือหน้าที่ของน้ำ ซึ่งหมายถึง น้ำ 1 หน่วยปริมาตรซึ่งส่งไปใน 1 หน่วยเวลาใช้ทำการชลประทานในเนื้อที่แปลงหนึ่งได้

ดังนั้น ชลภาระจึงแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่าง

- ปริมาณน้ำ
- ระยะเวลาส่งน้ำ และ
- พื้นที่รับน้ำ

การแสดงค่าของชลภาระอาจทำได้ 2 วิธี

วิธีที่ 1 เป็นการแสดงค่าของชลภาระในรูปแบบตามความหมายของศัพท์เดิมคือ water duty เช่น ชลภาระ 80 เอเคอร์/ลูกบาศก์ฟุต/วินาที หมายถึงน้ำ 1 ลูกบาศก์ฟุตซึ่งส่งไปใน 1 วินาที ใช้ทำการชลประทานในพื้นที่ได้ 80 เอเคอร์

โดยการแสดงค่าของชลภาระในรูปแบบนี้ ถ้ากล่าวว่าชลภาระมีค่าสูงจะหมายถึงน้ำ 1 หน่วยปริมาตรซึ่งส่งไปใน 1 หน่วยเวลา ใช้ทำการชลประทานในพื้นที่ได้มาก หรือใช้น้ำน้อย เช่น ชลภาระ 90 เอเคอร์/ลูกบาศก์ฟุต/วินาที และถ้ากล่าวว่าชลภาระมีค่าต่ำก็จะหมายถึง น้ำ 1 หน่วยปริมาตรซึ่งส่งไปใน 1 หน่วยเวลา ใช้ทำการชลประทานในพื้นที่ได้น้อย หรือใช้น้ำมาก เช่นชลภาระ 70 เอเคอร์/ลูกบาศก์ฟุต/วินาที

วิธีที่ 2 เป็นการแสดงค่าของชลภาระในรูปแบบซึ่งมีความหมายแตกต่างไปจากศัพท์เดิม คือแสดงถึงน้ำจำนวนหนึ่งซึ่งส่งไปใน 1 หน่วยเวลา ใช้ทำการชลประทานได้ใน 1 หน่วยพื้นที่ เช่น ชลภาระ 0.00016 ลูกบาศก์เมตร/วินาที/ไร่ หมายถึงน้ำ 0.00016 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งส่งไปใน 1 วินาที ใช้ทำการชลประทานในพื้นที่ได้ 1 ไร่

โดยการแสดงค่าของชลภาระในรูปแบบของวิธีที่ 2 นี้ ถ้ากล่าวว่าชลภาระมีค่าสูง จะหมายถึงน้ำซึ่งส่งไปใน 1 หน่วยเวลา เพื่อใช้ทำการชลประทานใน 1 หน่วยพื้นที่มีจำนวนมาก หรือใช้น้ำมาก เช่น ชลภาระ 0.00018 ลูกบาศก์เมตร/วินาที/ไร่ และถ้ากล่าวว่าชลภาระมีค่าต่ำก็จะหมายถึงน้ำซึ่งส่งไปใน 1 หน่วยเวลา เพื่อใช้ทำการชลประทานใน 1 หน่วยพื้นที่ มีจำนวนน้อย หรือใช้น้ำน้อย เช่น ชลภาระ 0.00014 ลูกบาศก์เมตร/วินาที/ไร่

เพราะฉะนั้น การแสดงค่าของชลภาระโดย 2 วิธีนี้ คำว่าชลภาระมีค่าสูงและชลภาระมีค่าต่ำจึงมีความหมายกลับกัน ในงานชลประทานของประเทศไทย เราใช้วิธีที่ 2 แสดงค่าของชลภาระ

4.6 สิ่งที่ทำให้ค่าของชลภาระเปลี่ยนแปลง

ค่าของชลภาระมีได้ต่าง ๆ กัน เพราะปัจจัยที่กระทบกระเทือนถึงชลภาระ (Factors affecting the water duty) มีหลายอย่าง ได้แก่

- พืช
- ฤดูกาล
- น้ำฝน
- ลักษณะเนื้อดิน
- วิธีจัดแปลงเพาะปลูก
- การเขตกรรม
- วิธีการส่งน้ำ
- ความชำนาญและความประหยัดของผู้ใช้น้ำ

4.6.1 พืช

ได้กล่าวแล้วว่าพืชแต่ละชนิดย่อมต้องการน้ำไม่เท่ากันตามนิสัยการใช้น้ำและเวลาการใช้น้ำทั้งหมดของพืชชนิดนั้น และพืชชนิดเดียวกันถ้าต่างพันธุ์กันก็ต้องการน้ำไม่เท่ากัน ยิ่งกว่านั้นพืชชนิดเดียวกันพันธุ์เดียวกันถ้ามีอายุไม่เท่ากันก็ยังต้องการน้ำไม่เท่ากันอีกด้วย เพราะฉะนั้น ค่าของชลภาระจึงเปลี่ยนไปได้ต่าง ๆ กันตามชนิด พันธุ์ และอายุของพืช ในโครงการชลประทานแห่งหนึ่งอาจปลูกพืชหลายชนิดหรือหลายพันธุ์ การพิจารณาเลือกใช้ค่าของชลภาระจึงต้องถือเอาพืชซึ่งใช้น้ำมากที่สุดเป็นหลัก

4.6.2 ฤดูกาล

ในฤดูหนึ่ง ๆ อุณหภูมิ ความชุ่มชื้น ความกดของอากาศ และลม ย่อมแตกต่างกันได้มาก สิ่งเหล่านี้มีอิทธิพลต่อการระเหยของน้ำ (evaporation) และการคายน้ำของพืช (transpiration) เพราะฉะนั้น ในฤดูหนึ่ง ๆ การระเหยของน้ำและการคายน้ำของพืชจึงเกิดขึ้นมากน้อยผิดกัน ทำให้ค่าของชลภาระเปลี่ยนไปต่าง ๆ กันด้วย

4.6.3 น้ำฝน

น้ำฝนส่วนหนึ่งที่ตกบนแปลงปลูกพืชซึ่งเป็นประโยชน์แก่พืช (effective rainfall) นั้นจะช่วยลดปริมาณน้ำที่ต้องการใช้ทำการชลประทาน คือถ้า effective rainfall มาก ปริมาณน้ำที่ต้องการใช้ทำการชลประทานก็น้อย และโดยกลับกัน และถ้าไม่มีฝนตกในระหว่างทำการเพาะปลูกเลย ปริมาณน้ำที่ต้องการใช้ทำการชลประทานก็จะต้องมีมากเต็มที่ (real irrigation) น้ำฝนจึงเป็นแฟคเตอร์สำคัญอย่างหนึ่งที่ทำให้ชลภาระมีค่าต่าง ๆ

4.6.4 ลักษณะเนื้อดิน

ลักษณะเนื้อดินเป็นแฟคเตอร์สำคัญอีกหย่างหนึ่งที่ทำให้ค่าของชลภาระเปลี่ยนแปลงได้ เพราะลักษณะเนื้อดินเกี่ยวข้องกับการสูญเสียน้ำชลประทานโดยการรั่วซึมลงไปลึกใต้ดินและการระเหยจากผิวดิน เนื้อดินบางชนิดน้ำรั่วซึมลงไปได้มากหรือน้ำระเหยจากผิวดินได้มาก แต่บางชนิดน้ำรั่วซึมลงไปได้น้อยหรือน้ำระเหยจากผิวดินได้น้อย จึงต้องเผื่อน้ำสำหรับการสูญเสียดังกล่าวนี้มากหรือน้อยตามไปด้วย ยังผลให้ค่าของชลภาระเปลี่ยนไปได้ต่าง ๆ กัน

4.6.5 วิธีจัดแปลงเพาะปลูก

การปราบพื้นดินในแปลงเพาะปลูกให้เรียบจะทำให้น้ำชลประทานแพร่กระจายอย่างสม่ำเสมอไปทั่วแปลงเพาะปลูกนั้น ทำให้ไม่เปลืองน้ำ แต่ถ้าปล่อยพื้นดินในแหล่งเพาะปลูกไว้สูง ๆ ต่ำ ๆ ที่สูงจะได้น้ำไม่พอใช้ ที่ต่ำจะได้น้ำมากเกินต้องการ ถ้าจะให้ที่สูงได้รับน้ำพอก็จะต้องเพิ่มน้ำชลประทานมากขึ้น ทำให้เปลืองน้ำ และอาจทำให้เกิดน้ำท่วมบริเวณที่ต่ำด้วย

เพราะฉะนั้น วิธีจัดแปลงเพาะปลูกจึงเป็นแฟคเตอร์อย่างหนึ่งที่ทำให้ค่าของชลภาระเปลี่ยนไปได้ต่าง ๆ กัน

4.6.6 การเขตกรรม

การเขตกรรม คือการไถคราดและพรวนดินซึ่งทำให้ดินแตกเป็นก้อนเล็ก ๆ และโปร่งร่วน ก๊าซไนโตรเจนในอากาศจะทำปฏิกิริยากับดินเกิดเป็นธาตุอาหารพืช และเมื่อดินโปร่งร่วนไม่จับติดกันแน่นก็จะมีช่องว่างในดินสำหรับเก็บน้ำไว้ให้พืชใช้ และป้องกันไม่ให้น้ำระเหยจากดินได้มาก การเขตกรรมจึงช่วยประหยัดการใช้น้ำชลประทาน ทำให้ค่าของชลภาระต่ำ ดังนั้นในระหว่างการปลูกพืชครั้งหนึ่ง ๆ อาจจะต้องทำการเขตกรรมหลายครั้ง

4.6.7 วิธีการส่งน้ำ

การส่งน้ำชลประทานมีหลายวิธี เช่น การส่งน้ำตลอดเวลา (continuous irrigation) การส่งน้ำเป็นครั้งคราว (intermittent irrigation) การส่งน้ำเป็นรอบเวร (rotational irrigation) และการส่งน้ำตามความต้องการของพืชชนิดต่าง ๆ

วิธีการส่งน้ำต่าง ๆ ดังกล่าวนี้จะต้องการน้ำมากน้อยไม่เหมือนกัน เช่น การส่งน้ำตลอดเวลาจะเปลืองน้ำมากกว่าการส่งน้ำเป็นรอบเวร และการส่งน้ำตามความต้องการของพืชในวัยต่าง ๆ ก็เปลืองน้ำน้อยกว่าการส่งน้ำให้การปลูกพืชที่ทำพร้อมกันทั้งหมด

วิธีการส่งน้ำจึงเป็นปัจจัยอีกอย่างหนึ่งที่กระทบกระเทือนถึงค่าของชลภาระ คือทำให้ชลภาระมีค่าสูงหรือต่ำได้

4.6.8 ความชำนาญและความประหยัดของผู้ใช้น้ำ

ผู้ชำนาญการใช้น้ำชลประทานย่อมใช้น้ำอย่างประหยัด คือใช้น้ำให้เกิดประโยชน์มากที่สุด อย่างไรก็ดี ความชำนาญและความประหยัดของผู้ใช้น้ำเป็นคุณสมบัติเฉพาะบุคคล ไม่มีหลักเกณฑ์ใดที่จะบ่งชัดลงไปได้ว่าผู้ใช้น้ำชลประทานในท้องถิ่นหนึ่งมีความชำนาญและประหยัดการใช้น้ำดีกว่าผู้ใช้น้ำชลประทานในท้องถิ่นอื่น

ความชำนาญและความประหยัดของผู้ใช้น้ำมีผลทำให้ค่าของชลภาระต่ำหรือลดน้อยลง แต่ไม่ได้หมายความว่าในโครงการชลประทานที่เปิดใช้แล้วจะลดปริมาณน้ำที่ส่งไปใช้ทำการชลประทานหรือลดขนาดของอาคารชลประทานต่าง ๆ เช่น คลองส่งน้ำ ประตูระบายน้ำ ท่อส่งน้ำ ฯลฯ ลงได้ หรือในโครงการชลประทานที่จะเปิดใหม่จะใช้ค่าของชลภาระต่ำกว่าปกติ เพราะถือว่าผู้ใช้น้ำในเขตโครงการมีความชำนาญและความประหยัดในการใช้น้ำแต่อย่างใด

ความชำนาญและความประหยัดของผู้ใช้น้ำทำให้ค่าของชลภาระลดน้อยลงจะแสดงออกให้เห็นในรูปของการเพิ่มขึ้นของพื้นที่ชลประทานในเขตโครงการ แต่ปริมาณน้ำที่ต้องส่งไปใช้ทั้งหมดยังคงเท่าเดิม เช่น

โครงการชลประทานแห่งหนึ่งมีพื้นที่ทั้งหมด = 200,000 ไร่
พื้นที่ชลประทานคิดเพียง 70% ของพื้นที่ทั้งหมด = 140,000 ไร่
กำหนดใช้ค่าของชลภาระ = 0.00016 ม.^{3}/วินาที/ไร่
จึงต้องส่งน้ำทั้งหมด = 0.00016×140,000 ม.^{3}/วินาที
= 22.400 ม.^{3}/วินาที

ต่อมาอีก 20 ปี ปรากฏว่าพื้นที่ชลประทานในโครงการชลประทานแห่งนี้เพิ่มขึ้นเป็น 160,000 ไร่ แต่ปริมาณน้ำที่ส่งทั้งหมด ยังคงเท่ากับ 22.400 ม.^{3}/วินาที อย่างเดิม

เพราะฉะนั้น ชลภาระใหม่ = $\frac{22.40(}{160,0(}$

= 0.00014 ม.^{3}/วินาที/ไร่

ซึ่งน้อยกว่าชลภาระเดิมที่กำหนดใช้ในการวางโครงการ

4.7 การควบคุมชลภาระ

เนื่องจากน้ำในแม่น้ำลำธารต่าง ๆ มีปริมาณจำกัด การผันน้ำไปใช้มากเกินความจำเป็น อาจทำให้ผู้ใช้น้ำอื่น ๆ ซึ่งอยู่ทางท้ายน้ำลงไปได้รับความเดือดร้อนเพราะมีน้ำไม่พอใช้ จึงจำเป็นที่รัฐจะต้องเข้าควบคุมการใช้น้ำและจัดสรรน้ำให้แก่ผู้ใช้น้ำ ไม่ให้เกิดการเอารัดเอาเปรียบและแย่งน้ำกันขึ้นได้

การควบคุมการใช้น้ำอาจทำได้เป็น 2 ขั้น

ขั้นที่ 1 จะถือว่าลำน้ำและน้ำในลำน้ำต่าง ๆ เป็นทรัพยากรของชาติ (national resources) ซึ่งจะสงวนไว้เพื่อสาธารณะประโยชน์ ผู้ใดจะเอาน้ำไปใช้ก่อนได้รับอนุญาตจากรัฐไม่ได้ ยกเว้นในบางกรณีซึ่งให้สิทธิเป็นพิเศษ เช่น การใช้น้ำเพื่อบริโภคและเพื่อประโยชน์อย่างอื่นในครัวเรือน (domestic use) ฯลฯ

ขั้นที่ 2 ถึงแม้ว่ารัฐจะอนุญาตให้ใช้น้ำได้ตามที่ขอ แต่ก็อนุญาตให้เพียงเท่าที่จำเป็น ถ้าเป็นการเพาะปลูกจะอนุญาตให้เพียงเท่าที่จำเป็นสำหรับพืชที่ปลูกและพื้นที่ที่ปลูกพืชเท่านั้น การควบคุมขั้นที่ 2 นี้ก็คือ การควบคุมชลภาระหรือกำหนดค่าของชลภาระให้นั่นเอง

ในท้องถิ่นที่มีน้ำอุดมสมบูรณ์อย่างเหลือเฟือนั้น ความจำเป็นในการควบคุมการใช้น้ำและการจัดสรรน้ำไม่ค่อยจะมี แต่ในท้องถิ่นที่มีน้ำน้อยหรือขาดแคลนน้ำ จำเป็นที่รัฐจะต้องควบคุมอย่างใกล้ชิด ในภาคเหนือของประเทศไทยซึ่งน้ำในลำน้ำต่างๆ มีปริมาณจำกัด การควบคุมการใช้น้ำของเกษตรกรได้ทำกันมานานแล้วทั้งในรูปราษฎรจัดทำกันเองและรัฐเข้าควบคุม เช่น กรมชลประทานได้สร้างโครงการประหยัดน้ำขึ้น โดยสร้างประตูระบายน้ำหรือท่อระบายน้ำปิดปากเหมืองต่าง ๆ ของราษฎร เพื่อจำกัดปริมาณน้ำที่ส่งไปใช้ทำการชลประทาน

การควบคุมชลภาระหรือควบคุมการใช้น้ำจะทำให้ได้เนื้อที่เพาะปลูกเพิ่มขึ้นอีกมาก เพราะน้ำจะถูกใช้ให้เกิดประโยชน์ในการเพาะปลูกมากที่สุดและอย่างประหยัด

4.8.1 ความสำคัญของชลภาระเกี่ยวกับการชลประทาน

ชลภาระเป็นค่าที่คำนวณได้จากผลของการทดลองและการสอบวัดก่อนที่จะกำหนดค่าของชลภาระเพื่อใช้กับโครงการชลประทานที่จะเปิดใหม่ จึงต้องอาศัยผลของการทดลองและการสอบวัดในเขตโครงการนั้นเป็นข้อมูลในการคำนวณ ถ้าไม่มีต้องอาศัยข้อมูลของโครงการชลประทานอื่นที่สร้างเสร็จแล้ว หรือข้อมูลจากท้องถิ่นอื่นที่มีสภาพของดินฟ้าอากาศใกล้เคียงกับของโครงการชลประทานที่จะเปิดใหม่นั้น

หน้าที่สำคัญอย่างหนึ่งของนายช่างชลประทานผู้บริหารงานส่งน้ำและจัดระบบการชลประทาน คือการหาค่าของชลภาระจริงในเขตโครงการ เพื่อตรวจสอบกับค่าของชลภาระเดิมที่ใช้ในการวางแผนและออกแบบระบบการส่งน้ำของโครงการชลประทานนั้น ถ้าผลของการตรวจสอบปรากฏว่า ค่าของชลภาระแตกต่างกันมากก็จะได้แก้ไขเพื่อให้การส่งน้ำได้ผลสมบูรณ์จริงๆ นอกจากนั้นค่าของชลภาระจริงที่สอบวัดได้ใหม่ยังเป็นข้อมูลสำคัญสำหรับโครงการชลประทานที่จะเปิดใหม่ต่อไปอีกด้วย

สำหรับโครงการชลประทานที่เปิดใหม่นั้น เมื่อทราบพื้นที่ชลประทานและค่าของชลภาระแล้ว จะทราบปริมาณน้ำทั้งหมดที่ต้องส่งจากแม่น้ำหรือหัวงานไปทำการชลประทานซึ่งเท่ากับผลคูณของชลภาระกับพื้นที่ชลประทานต่อจากนั้นจึงจะทราบว่าแม่น้ำหรือลำน้ำที่เป็นต้นน้ำของโครงการชลประทานมีปริมาณน้ำในระหว่างฤดูเพาะปลูกพอใช้ทำการชลประทานหรือไม่ ถ้ามีปริมาณน้ำมากพอตลอดฤดูเพาะปลูกจึงจะเริ่มคำนวณขนาดของประตูระบาย ปากคลองส่งน้ำ คลองส่งน้ำ และอาคารชลประทานต่าง ๆ ในคลองส่งน้ำได้

ขนาดของคลองส่งน้ำทุกสายและขนาดของอาคารชลประทานทุกแห่งต้องคำนวณจากปริมาณน้ำที่ส่งผ่านคลองและอาคารชลประทานเหล่านั้น และปริมาณน้ำต้องได้มาจากชลภาระเสมอ เพราะฉะนั้นชลภาระจึงมีความสำคัญต่อการชลประทาน ถ้าค่าของชลภาระที่ใช้คลาดเคลื่อนมากจะเกิดผลเสียทั้ง 2 ทาง กล่าวคือถ้าค่าของชลภาระน้อยไป ปริมาณน้ำทั้งหมดที่ต้องส่งจากแม่น้ำหรือหัวงานไปทำการชลประทานจะน้อยกว่าที่ต้องการจริง คลองทุกสายและอาคารชลประทานทุกแห่งมีขนาดเล็ก จะส่งน้ำได้ไม่พอกับความต้องการ โครงการชลประทานนั้นจะไม่ให้ประโยชน์สมบูรณ์ ในทางตรงกันข้าม ถ้าค่าของชลภาระมากไป ปริมาณน้ำทั้งหมดที่ต้องส่งจะมากเกินความต้องการจริง ทำให้เสียน้ำไปโดยไม่เกิดประโยชน์ คลองทุกสายและอาคารชลประทานทุกแห่งมีขนาดโตเกินไป จะเสียค่าก่อสร้างโครงการชลประทานมาก

ถึงแม้ว่าค่าของชลภาระที่ถูกต้องนั้นหาได้ยาก แต่ผู้วางแผนและออกแบบระบบการส่งน้ำของโครงการชลประทานจะต้องพยายามใช้ค่าของชลภาระให้ใกล้เคียงความจริงมากที่สุด แล้วโครงการชลประทานนั้นจะให้ประโยชน์สมบูรณ์และประหยัดเงินค่าก่อสร้างได้มาก

ตารางที่ 4.1 ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ETo) รายเดือนของสถานีตรวจวัดภูมิอากาศเกษตร (วราวุธ, 2539) หน่วย:มิลลิเมตร

สถานี	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	รวม
เชียงราย	75	88	118	137	139	116	112	112	107	101	81	71	**1257**
แม่โจ้	84	95	124	139	141	115	109	108	107	107	88	78	**1295**
น่าน	80	90	118	135	134	107	102	99	102	106	87	77	**1237**
ลำปาง	94	108	144	154	147	117	112	110	110	106	92	88	**1382**
ศรีสำโรง	94	106	144	164	153	125	122	115	111	112	100	92	**1438**
เลย	82	91	120	134	129	109	109	103	102	99	85	79	**1242**
นครพนม	97	103	131	139	134	110	114	105	112	109	100	94	**1348**
สกลนคร	96	102	133	139	133	111	115	106	111	113	103	95	**1357**
ท่าพระ	99	107	142	151	144	124	124	114	111	116	104	98	**1434**
ร้อยเอ็ด	106	109	159	153	151	124	130	118	118	116	109	104	**1497**
ศรีสะเกษ	105	108	141	148	147	125	129	121	115	115	111	106	**1471**
อุบลราชธานี	107	113	140	144	147	120	123	113	108	119	118	112	**1464**
สุรินทร์	97	104	133	141	142	121	123	118	112	112	102	95	**1400**
ปากช่อง	93	99	128	128	130	121	125	117	103	101	96	94	**1335**
ตากฟ้า	100	111	145	153	144	119	119	112	105	111	104	103	**1426**
ชัยนาท	118	129	172	179	172	148	146	134	124	126	119	116	**1683**
อู่ทอง	109	119	164	167	157	131	136	128	116	117	113	111	**1568**
บางเขน	108	117	147	149	137	120	121	116	113	110	107	105	**1450**
บางนา	111	118	151	154	140	121	122	118	111	114	109	107	**1476**
กำแพงแสน	105	117	155	160	147	123	129	121	113	114	107	106	**1497**
ฉะเชิงเทรา	121	127	151	158	142	121	127	116	113	109	118	117	**1520**
ห้วยโป่ง	113	112	141	140	126	109	115	111	102	108	109	117	**1403**
พลิ้ว	108	106	126	129	117	99	100	97	95	103	106	110	**1296**
หนองพลับ	110	116	149	146	130	108	114	106	104	101	98	105	**1387**
สวี	105	112	139	134	120	99	106	105	102	103	89	96	**1310**
นครศรีธรรมราช	109	117	140	132	122	120	123	127	116	106	94	94	**1400**
พัทลุง	123	126	148	145	133	125	132	134	124	115	98	101	**1504**
คอหงษ์	126	130	151	140	124	110	117	119	112	104	92	101	**1426**
ยะลา	112	126	148	141	132	117	124	124	121	114	94	93	**1446**

ตารางที่ 4.2 ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ETo) รายเดือนของสถานีตรวจวัดภูมิอากาศ (วราวุธ, 2539) หน่วย:มิลลิเมตร

สถานี	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	รวม
แม่ฮ่องสอน	78	83	120	148	144	113	107	103	106	105	89	78	**1274**
แม่สะเรียง	83	88	126	152	144	108	103	99	103	107	93	83	**1289**
เชียงราย	73	83	119	140	141	125	121	116	113	107	85	73	**1296**
พะเยา	79	90	132	149	148	131	124	123	117	110	89	78	**1370**
เชียงใหม่	82	92	135	159	150	124	120	113	111	111	92	81	**1370**
ลำปาง	83	92	131	151	145	124	121	114	110	108	91	81	**1351**
ลำพูน	79	92	136	158	145	123	121	117	111	106	89	78	**1355**
แพร่	90	101	148	168	154	131	126	117	113	115	97	87	**1447**
น่าน	80	89	126	144	142	124	119	113	113	111	90	79	**1330**
ท่าวังผา	79	88	126	144	137	115	112	120	118	109	90	75	**1313**
อุตรดิตถ์	88	96	133	149	145	121	118	113	113	117	99	88	**1380**
ตาก	91	110	166	184	155	125	130	121	109	107	93	87	**1478**
แม่สอด	94	104	152	168	145	111	108	102	106	113	101	92	**1396**
เขื่อนภูมิพล	99	117	162	175	152	125	129	123	113	112	97	91	**1495**
อุ้มผาง	83	91	122	136	123	92	99	96	93	94	93	78	**1200**
พิษณุโลก	91	102	142	154	143	122	120	114	110	114	99	90	**1401**
เพชรบูรณ์	99	107	148	159	144	121	119	111	108	117	105	96	**1434**
หล่มสัก	91	101	131	146	139	116	117	118	113	113	98	87	**1370**
วิเชียรบุรี	102	120	155	168	151	124	127	128	118	121	110	99	**1523**
กำแพงเพชร	97	108	144	156	140	114	117	111	109	108	96	93	**1393**
หนองคาย	90	99	136	148	138	117	120	110	115	115	98	87	**1373**
เลย	89	100	139	150	143	126	128	121	115	115	95	86	**1407**
อุดรธานี	91	100	138	149	140	120	123	114	114	119	100	90	**1398**
สกลนคร	99	109	146	150	141	121	126	115	117	121	104	94	**1443**
นครพนม	97	103	139	146	139	115	118	110	115	118	103	94	**1397**
ขอนแก่น	94	103	142	152	145	128	129	120	114	118	102	94	**1441**
มุกดาหาร	105	112	150	153	140	120	124	111	113	123	114	104	**1469**
โกสุมพิสัย	89	97	130	149	144	124	119	113	114	113	98	86	**1376**
ชัยภูมิ	109	116	154	156	150	134	135	125	117	125	115	108	**1544**

ตารางที่ 4.2 (ต่อ) หน่วย:มิลลิเมตร

สถานี	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	รวม
ร้อยเอ็ด	103	109	146	150	141	126	128	118	114	121	108	102	**1466**
อุบลราชธานี	109	113	149	149	139	120	123	114	108	119	115	110	**1468**
นครราชสีมา	96	103	138	144	138	126	126	119	109	113	101	94	**1407**
โชคชัย	98	106	136	151	137	123	128	122	113	116	103	84	**1417**
สุรินทร์	105	111	148	150	140	122	121	115	109	116	107	103	**1447**
ท่าตูม	93	101	132	149	145	124	123	122	118	121	106	91	**1425**
นางรอง	100	107	137	151	149	130	135	128	124	121	107	94	**1483**
นครสวรรค์	108	127	178	184	161	139	133	122	113	117	106	100	**1588**
สุพรรณบุรี	114	120	161	167	155	139	137	128	117	121	113	113	**1585**
ลพบุรี	119	123	163	164	148	130	128	120	113	121	118	119	**1566**
บัวชุม	112	117	151	161	143	118	119	116	108	116	108	98	**1467**
สถานีนำร่อง	132	120	153	152	149	143	137	136	125	125	131	139	**1642**
กาญจนบุรี	109	118	157	164	149	127	130	124	114	115	108	107	**1522**
ทองผาภูมิ	92	99	129	143	132	101	107	95	102	106	97	85	**1288**
กรุงเทพฯ	107	106	136	136	127	115	116	111	100	103	99	100	**1356**
สนามบินดอนเมือง	121	125	158	157	145	134	134	129	116	119	115	117	**1570**
ปราจีนบุรี	120	119	84	110	136	118	121	114	112	124	121	120	**1399**
อรัญประเทศ	112	117	149	147	138	121	122	116	110	116	108	107	**1463**
กบินบุรี	105	114	140	147	129	109	114	108	103	115	112	105	**1401**
ชลบุรี	123	123	156	157	145	134	134	127	115	120	120	122	**1576**
เกาะสีชัง	129	123	157	158	151	141	141	136	119	123	130	136	**1644**
พัทยา	118	117	150	152	145	141	139	136	116	116	117	126	**1573**
สัตหีบ	117	118	152	155	148	143	143	136	114	109	113	120	**1568**
ระยอง	114	121	153	151	145	141	142	134	116	117	113	114	**1561**
จันทรบุรี	109	104	128	129	119	104	107	103	99	108	108	112	**1330**
คลองใหญ่	121	114	139	138	126	107	110	104	103	111	113	120	**1406**
เพชรบุรี	109	121	157	158	147	125	127	120	112	113	106	103	**1498**
ประจวบคีรีขันธ์	114	113	145	150	140	126	130	124	120	118	118	120	**1518**
หัวหิน	115	119	153	157	142	124	124	117	111	115	112	116	**1505**
ชุมพร	113	115	144	143	128	114	116	112	111	111	101	108	**1416**
สุราษฎร์ธานี	111	115	140	135	121	111	116	114	109	107	96	101	**1376**

ตารางที่ 4.2 (ต่อ) หน่วย:มิลลิเมตร

สถานี	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	รวม
สนามบินสุราษฎร์	115	120	148	140	123	117	125	119	114	109	100	107	**1437**
เกาะสมุย	121	124	150	145	137	132	137	134	126	118	103	112	**1539**
นครศรีธรรมราช	110	114	141	137	127	123	127	128	117	112	97	100	**1433**
สงขลา	135	134	153	142	128	121	127	128	121	112	102	115	**1518**
สนามบินหาดใหญ่	115	119	138	127	115	111	117	119	107	103	91	100	**1362**
สนามบินปัตตานี	118	118	141	136	123	113	119	121	114	109	96	101	**1409**
นราธิวาส	115	118	142	140	131	119	122	123	119	116	99	101	**1445**
ระนอง	119	118	146	140	121	104	108	102	100	106	103	113	**1380**
ตะกั่วป่า	120	120	145	135	122	115	118	120	110	111	105	116	**1437**
ภูเก็ต	135	133	157	145	129	123	125	129	117	117	113	127	**1550**
สนามบินภูเก็ต	129	129	150	135	120	117	120	121	110	108	106	119	**1464**
เกาะลันตา	135	131	152	142	127	126	127	130	116	115	109	125	**1535**
สนามบินตรัง	134	137	154	136	119	111	115	116	108	107	100	116	**1453**
สตูล	143	135	150	132	122	116	119	120	110	111	105	125	**1488**

ตารางที่ 4.3 ค่าประสิทธิภาพของการส่งน้ำ (Ec), คูส่งน้ำ (Eb), ระบบส่งน้ำ (Es = Eb.Ec) และการให้น้ำ (Ea) (Doorenbos & Pruitt, 1977)

ประสิทธิภาพการส่งน้ำ (Conveyance Efficiency, Ec)		**ประสิทธิภาพ**
ส่งน้ำแบบตลอดเวลา การเปลี่ยนแปลงอัตราการส่งน้อย		90 %
ส่งน้ำแบบหมุนเวียน โครงการขนาด 20,000 – 40,000 ไร่ มีพื้นที่หมุนเวียน 500 – 2,000 ไร่ มีการจัดการดี		80%
ส่งน้ำแบบหมุนเวียนในโครงการขนาดใหญ่มาก (มากกว่า 60,000ไร่) หรือโครงการเล็ก (น้อยกว่า 6,000 ไร่) การจัดการไม่ดีพอ		65 –70%
ประสิทธิภาพของคูส่งน้ำ (Field Canal Efficiency, Eb)		
สำหรับพื้นที่รับน้ำมากกว่า 125 ไร่	- คลองดิน	80%
	- คลองดาดหรือท่อส่งน้ำ	90%
สำหรับพื้นที่รับน้ำน้อยกว่า 125 ไร่	- คลองดิน	70%
	- คลองดาดหรือท่อส่งน้ำ	80%
ประสิทธิภาพของระบบส่งน้ำ (Es=Eb.Ec)		
สำหรับการส่งน้ำแบบหมุนเวียนที่มีการจัดการและการประสานงาน	- ดี	65%
	- พอใช้	55%
	- เกือบพอใช้	40%
	- เลว	30%
ประสิทธิภาพการให้น้ำ (Application Efficiency, Ea)		
วิธีให้น้ำทางผิวดิน (Surface)	- 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%
วิธีให้น้ำใต้ผิวดิน (Subsurface)		ไม่เกิน 80%
วิธีให้แบบฉีดฝอย (Sprinkler)	อากาศร้อนและแห้ง	60%
	อากาศอบอุ่นปานกลาง	70%
	อากาศชุ่มชื้นและเย็น	80%
นาข้าว		32%

4.9 เอกสารอ้างอิง

ทวีวัช สำเนียงประเสริฐ. ม.ป.ป. **เอกสารประกอบการสอนวิชาเกษตรชลประทาน.** ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน.

วราวุธ วุฒิวณิชย์. 2539. การคำนวณ ETo ของประเทศไทยโดยวิธี Penman-Monteith. **วิศวกรรมสาร มก.** 29: 92-103.

วิบูลย์ บุญยธโรกุล. 2526. **หลักการชลประทาน.** ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน. 274 หน้า.

อดุล วรรณจนา. 2533. **การวางโครงการชลประทาน.** ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน. 233 หน้า.

อภิชาต อนุกูลอำไพ, วิบูลย์ บุญยธโรกุล, วราวุธ วุฒิวณิชย์, โกวิท ท้วมเสงี่ยม และ มนตรี ค้ำชู. 2524. **คู่มือการชลประทานระดับไร่นา.** สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย. กรุงเทพฯ. 354 หน้า.

อรุณ อินทรปลิต. ม.ป.ป. **เอกสารประกอบการสอนวิชาการวางแผนและออกแบบระบบการส่งน้ำ.** ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน.

Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raes and M. Smith. 1998. **Crop Evapotranspiration. Guidelines for Computing Crop Water Requirements.** FAO Irrigation and Drainage Paper No 56. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. 300 p.

Cuenca, R.H. 1989. **Irrigation System Design. An Engineering Approach.** Prentice Hall, Englewood Cliff, New Jersey. 552 p.

Doorenbos, J. and W.O. Pruitt. 1977. **Guidelines for Predicting Crop Water Requirements.** FAO Irrigation and Drainage Paper No 24. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. 144 p.

Jensen, M.E., R.D. Burman and R.G. Allen (eds.). 1989. **Evapotranspiration and Irrigation Water Requirements.** ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No 70. American Society of Civil Engineers, New York. 332 p.

Smith, M. et al. 1992. **Report on the Expert Consultation on Revision of FAO Methodologies for Crop Water Requirements.** Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. 60 p.

บทที่ 5 การวางแนวและออกแบบคลองส่งน้ำ (Layout and Design of Irrigation Canal)

5.1 คลองส่งน้ำ (irrigation canals)

ตามปกติการส่งน้ำจากแม่น้ำหรือหัวงานเข้าไปในเขตโครงการชลประทานต้องมีการขุดคลองรับเอาน้ำไป แต่คลองบางตอนอาจสร้างเป็นอาคารส่งน้ำ (water conveyance structures) แทนการขุดคลอง เช่น สร้างเป็นอุโมงค์ (tunnels) ท่อส่งน้ำ (pipes) รางน้ำ (flumes) ท่อเชื่อม (siphons) ฯลฯ เหล่านี้เป็นต้น

คลองส่งน้ำเป็นสิ่งจำเป็นและสำคัญที่สุดของโครงการชลประทานประเภทส่งน้ำด้วยแรงโน้มถ่วง (gravity irrigation) และต้องเสียค่าก่อสร้างคลองมากกว่าค่าก่อสร้างอาคารอย่างอื่น เพราะโครงการชลประทานแห่งหนึ่งมีคลองส่งน้ำหลายสาย เมื่อรวมเข้าด้วยกันทุกสายแล้วจะยาวมาก ต้องเสียเงินค่าซื้อที่ดินเพื่อเตรียมไว้สำหรับขุดคลอง และเสียค่าขุดคลองมาก

คลองส่งน้ำเป็นรางเปิด (open channels) หรือร่องน้ำขนาดใหญ่ซึ่งขุดขึ้นในดินหรือถมขึ้นบนดิน (floating canals) เพื่อส่งน้ำให้แก่พื้นที่เพาะปลูก ในแง่การออกแบบแบ่งชนิดของคลองออกเป็น 2 ชนิดคือ

(1) คลองดิน (earth canals) เป็นคลองที่ขุดดินหรือถมดินให้เป็นรูปคลองตามธรรมดา

(2) คลองมีเปลือกหรือคลองดาด (lined canals) เป็นคลองที่ขุดดินหรือถมดินให้เป็นรูปคลอง แล้วดาดผิวคลองด้วยวัตถุที่น้ำรั่วซึมไม่ได้เป็นเปลือกคลองอีกทีหนึ่ง ในการพิจารณาว่าจะออกแบบเป็นคลองดินหรือคลองดาดนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้ คือ

ก. การรั่วซึม (seepage) การรั่วซึมนี้นับได้ว่าเป็นต้นเหตุแห่งการเกิดความคิดที่จะดาดคลอง ทั้งนี้เนื่องจากการรั่วซึมของน้ำจากคลองส่งน้ำชลประทานนี้นอกจากสูญเสียน้ำจากคลองส่งน้ำอย่างมากมายตลอดเวลาแล้ว ในพื้นที่ที่เนื้อดินระบายน้ำออกได้ยากย่อมเกิดปัญหาการระบายน้ำตามมาและอาจเกิดน้ำขัง (waterlog) ในที่สุด ซึ่งทำให้พื้นที่เพาะปลูกในบริเวณนั้นใช้ในการเพาะปลูกต่อไปไม่ได้

ข. ส่วนลดลาดของพื้นผิวดิน (land slope) ถ้าพื้นผิวดินมีส่วนลดลาดชัน ถ้าจะขุดคลองที่มีส่วนลดลาดตามพื้นผิวดิน ความเร็วของน้ำในคลองจะสูงมากจนกระทั่งอาจเกิดการกัดเซาะขึ้นได้ แต่ถ้าจะกำหนดส่วนลดลาดของคลองดินตามความต้องการ ก็จะต้องสร้างอาคารน้ำตก (drop structures) ขึ้นเป็นจำนวนมากมายเกินความจำเป็น กรณีเช่นนี้ก็อาจจะพิจารณาขุดคลองทำเป็นคลองดาดมากกว่า

ค. ขนาดของคลองและเขตคลอง (size of canal and right-of-way) เนื่องจากกระแสน้ำที่ไหลในคลองดาดสามารถกำหนดให้สูงกว่ากระแสน้ำที่ไหลในคลองดินมาก ดังนั้นในความจุของคลองเท่าๆ กัน ขนาดของคลองดาดย่อมเล็กกว่าคลองดิน ปริมาณดินขุดก็น้อยกว่า และยังสามารถกำหนดเขตคลองให้แคบกว่า ดังนั้นถ้าค่าลงทุนในการขุดดินและค่าซื้อที่ดินเขตคลองที่ลดลงเนื่องจากใช้คลองดาดมีค่าเท่ากับหรือน้อยกว่าค่าลงทุนในการขุดคลองดินที่เพิ่มขึ้นแล้วก็มักนิยมออกแบบให้เป็นคลองดาดจะดีกว่า

ง. ค่าบริหารงานส่งน้ำและบำรุงรักษา (operation and maintenance costs) อัตราค่าส่งน้ำและบำรุงรักษาคลองดาดย่อมต่ำกว่าคลองดินเป็นที่แน่นอน แต่จะต่ำกว่ามากน้อยเพียงใดย่อมขึ้นอยู่กับวิธีการบริหารงานส่งน้ำ วิธีการใช้น้ำของเกษตรกร มูลค่าของน้ำชลประทาน ปัญหาการระบายน้ำ และปัญหาทางการเมือง จึงต้องพิจารณาอย่างถี่ถ้วนในแต่ละปัญหา

จ. ค่าก่อสร้างอาคาร เนื่องจากคลองดาดมีขนาดเล็กกว่าคลองดินและไม่มีปัญหาในเรื่องการกัดเซาะ ดังนั้นจึงสามารถลดขนาดของส่วนประกอบของอาคารในคลองส่งน้ำให้เล็กลงตามไปด้วย เช่นช่วงเชื่อมต่อของอาคารทั้งทางเข้าและทางออก (inlet & outlet transition) ส่วนป้องกันการกัดเซาะท้ายน้ำ เช่น หินเรียง (riprap) หินเรียงยาแนว (grouted riprap) ไม่ต้องใช้เลย ดังนั้นถ้าในคลองส่งน้ำสายนั้นมีอาคารมากแห่งแล้วก็จะลดค่าก่อสร้างอาคารลงไปได้มาก ส่วนการถมอัดดินที่คันคลองเพื่อความมั่นคงนั้นไม่ถือว่าเป็นการดาดคลอง

5.1.1 **คลองดิน** (earth or unlined canals)

คลองดินคือทางน้ำเปิดซึ่งขุดหรือเปิดขึ้นในเนื้อดินไม่ว่าจะเป็นดินเดิมหรือดินที่ถมขึ้นใหม่ก็ตามให้เป็นรูปร่างหน้าตัดตามความต้องการ เช่น รูปสี่เหลี่ยมคางหมู (trapezoidal section) รูปโค้งของวงกลม (circular section) รูปทรงรูปไข่ (elliptical section) หรือรูปโค้งพาราโบล่า (parabolic section) เป็นต้น โดยปราศจากการตกแต่งเป็นพิเศษตามแนวเส้นขอบเปียก (wetted perimeter)

5.1.2 **คลองมีเปลือกหรือคลองดาด** (lined canals)

คลองดาดคือคลองดินที่ฉาบพื้นผิวหน้าของดินที่ก้นคลองและลาดตลิ่งขึ้นมาจนสูงพ้นระดับน้ำนองสูงสุดในคลองด้วยวัสดุต่างๆ อาทิ คอนกรีตล้วน (plain concrete) คอนกรีตเสริมเหล็ก (reinforced concrete) ดินซีเมนต์ (soil cement) แผ่นซีเมนต์ผสมหล่อสำเร็จ (prefabricated asbestos-cement) ดาดด้วยอิฐ (brick lining) ยางมะตอยผสมหิน (asphaltcrete) แผ่นพลาสติคบาง

(plastic membrane) ลาดยางมะตอย (sprayed-in-place asphalt) และดินเหนียวอัดแน่น (compacted clay blanket) ซึ่งวัสดุในการใช้ดาดคลองดังที่กล่าวมานี้อาจแบ่งออกได้เป็น 3 พวก ดังนี้

ก. วัสดุดาดคลองผิวแข็ง (hard surface linings) เป็นวัสดุที่คงทนต่อการกระทบกระแทกได้โดยไม่เสียหายหรือแตกร้าว จึงสามารถดาดคลองได้โดยปล่อยให้พื้นผิววัสดุสัมผัสบรรยากาศและน้ำได้ เช่น คอนกรีตล้วน คอนกรีตเสริมเหล็ก แผ่นซิเมนต์ผสมหล่อสำเร็จดาดด้วยอิฐและยางมะตอยผสมหิน เป็นต้น

ข. วัสดุดาดคลองผิวอ่อนและบาง (buried-membrane linings) เป็นพวกที่มีเนื้อวัสดุอ่อนทนการกระแทกหรือขูดขีดได้ไม่เต็มที่ เมื่อดาดคลองด้วยวัสดุชนิดนี้แล้วจะต้องถมหรือปูทับด้วยดินหรือหินเรียงเพื่อป้องกันพื้นผิววัสดุดาดคลองอีกทีหนึ่ง เช่น การลาดยางมะตอยแล้วใช้หินเล็กปูทับอีกชั้นหนึ่ง หรือแผ่นบีทูมีนัส (bituminus) เป็นต้น

ค. วัสดุดาดคลองที่เป็นดินและส่วนผสมของดิน (earth lining) เป็นพวกที่มีเนื้อแข็งแต่ความคงทนถาวรน้อย อายุการใช้งานค่อนข้างสั้น แต่ค่าลงทุนต่ำมาก เช่น ดาดด้วยดินเหนียวอัดแน่น ดินซีเมนต์ และเบลโลไนท์ผสมดิน (belonite soil mixtures) เป็นต้น

วัตถุประสงค์ในการดาดคลอง

ก. ลดการรั่วซึมจากคลอง การสูญเสียน้ำจากคลองส่งน้ำเป็นไปได้ 2 ทางคือ การระเหยและรั่วซึมในด้านการระเหยนั้นไม่มีทางที่จะไปจำกัดลงได้ นอกจากการทำพื้นที่ผิวน้ำให้เล็กที่สุดเท่าที่จะทำได้ ส่วนในด้านการรั่วซึมนั้นจะตัดออกให้หมดไปโดยเด็ดขาดได้ ก็โดยการดาดคลองเท่านั้น

ข. รักษารูปทรงของคลอง ตามปกติรูปทรงของคลองส่งน้ำดีที่สุดก็คือรูปครึ่งวงกลมแต่ว่าขอบตลิ่งด้านบนซึ่งอยู่ในแนวดิ่งนี้พังได้ง่ายจึงเลี่ยงมาใช้รูปทรงสี่เหลี่ยมคางหมูโดยอาศัยหลักของ $R = \frac{d}{2}$ แต่ก็ปรากฏว่าในภายหลังคลองดังกล่าวจะแปรรูปเป็นพาราโบล่าทั้งสิ้นเว้นเสียแต่ว่าเราจะดาดคลองเท่านั้น รูปทรงของคลองจึงจะคงสภาพอยู่ได้โดยไม่เสียคุณสมบัติทางชลศาสตร์

ค. รักษาลาดตลิ่ง ในท้องถิ่นที่มีฝนตกชุกนั้น ลาดตลิ่งของคลองดินมักถูกน้ำฝนกัดเซาะเป็นร่องลึก ทำให้ดินเลื่อนไหลลงไปตกจมที่ก้นคลองทำให้คลองตื้นเขินเร็วมาก ยิ่งในปัจจุบันนิยมส่งน้ำเป็นรอบเป็นเวร หรือส่งน้ำตามคำขอของผู้ใช้น้ำ ระดับน้ำในคลองจะเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ ทำให้ตลิ่งคลองเลื่อนลงสู่ก้นคลองเป็นสิ่งกีดขวางในที่สุด จะเกิดกระแสน้ำวนที่บริเวณนั้นๆ และเกิดการกัดเซาะที่ก้นคลองเพิ่มขึ้นอีก จึงจำเป็นต้องดาดคลอง

ง. การตกแต่งรูปทรงของคลอง ในกรณีที่ขุดคลองผ่านเชิงเขาหินหรือบริเวณที่เป็นหินดานที่ก้นคลอง แม้ว่าการรั่วซึมจะไม่เกิดขึ้นก็ตาม แต่การระเบิดหินนั้นไม่อาจระเบิดให้ได้รูปร่างที่ต้องการได้อย่างแท้จริง จึงต้องดาดและแต่งพื้นผิวคลองให้ได้รูป เพื่อคุณสมบัติทางชลศาสตร์ และเพื่อลดขนาดของคลองอันเนื่องจากกำหนดความเร็วกระแสน้ำในคลองให้สูงขึ้น จึงเป็นการลดค่าระเบิดหินไปด้วย

จ. ลดค่าบริหารการส่งน้ำและบำรุงรักษา เมื่อสามารถกำหนดความเร็วของกระแสน้ำในคลองดาดให้สูงขึ้นได้ก็ย่อมลดระยะเวลาในการส่งน้ำให้น้อยลง และเมื่อรูปทรงของคลองไม่เสียหายก็ไม่ต้องบำรุงรักษาหรือซ่อมแซมคลองนั้นๆ

ฉ. เป็นการส่งเสริมอุตสาหกรรมในประเทศไทย ปัจจุบันนี้เราผลิตปูนซีเมนต์ ยางมะตอย แผ่นปลาสติก ตลอดจนบิทูมินัสขึ้นใช้ได้เองในประเทศ ดังนั้นหากเราได้นำวัสดุดังกล่าวมาใช้ในการดาดคลองก็จะเป็นการส่งเสริมการใช้ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตขึ้นในประเทศได้ทางหนึ่ง

5.2 ประเภทคลองส่งน้ำในระบบส่งน้ำ

หากแบ่งประเภทคลองส่งน้ำออกตามลักษณะและหน้าที่ สามารถแบ่งเป็นประเภทต่างๆ ได้ดังต่อไปนี้

(1) คลองสายใหญ่

(2) คลองแยกหรือคลองสาขา

(3) คลองซอย

(4) คลองแยกซอย

5.2.1 คลองสายใหญ่ (primary canals, main canals)

คลองสายใหญ่เป็นคลองที่ขุดแยกจากแม่น้ำหรือหัวงานเพื่อรับน้ำเข้าไปในเขตโครงการชลประทาน เนื่องจากคลองสายใหญ่จะต้องรับน้ำไปให้พื้นที่เพาะปลูกทั้งหมดในเขตโครงการหรือพื้นที่เพาะปลูกบางส่วนอันกว้างใหญ่ของโครงการ ปริมาณน้ำในคลองมีมาก คลองจึงมีขนาดใหญ่ที่สุดและมีความสำคัญมากกว่าคลองส่งน้ำประเภทอื่น

ในทางปฏิบัติ คลองสายใหญ่จะไม่ส่งน้ำให้แก่พื้นที่ดินซึ่งอยู่ข้างคลองโดยตรง นอกจากบางแห่งซึ่งจำเป็นเท่านั้น โครงการชลประทานแห่งหนึ่งจะมีคลองสายใหญ่เพียงสายเดียวหรือหลายสายก็ได้ และจะขุดออกจากฝั่งเดียวหรือสองฝั่งของแม่น้ำก็ได้ ทั้งนี้ย่อมแล้วแต่เขตส่งน้ำ

และแผนการส่งน้ำของโครงการชลประทานนั้น ตามปกติแนวคลองสายใหญ่จะวางอยู่บนพื้นที่ซึ่งสูงที่สุดในเขตโครงการ

5.2.2 คลองแยกหรือคลองสาขา (branch canals)

คลองแยกหรือคลองสาขาเป็นคลองที่แยกออกจากคลองสายใหญ่เพื่อรับน้ำไปสู่พื้นที่อันกว้างขวางของโครงการซึ่งไม่เหมาะที่จะวางคลองสายใหญ่เพิ่มขึ้นอีก คลองแยกและคลองสาขามีลักษณะและหน้าที่เช่นเดียวกับคลองสายใหญ่ มีแนวคลองอยู่บนที่สูง และไม่ส่งน้ำให้แก่พื้นที่ดินข้างคลองโดยตรง

คลองแยกหรือคลองสาขานี้ไม่ค่อยจะขุดกันมากนัก ในประเทศไทยก็มีเฉพาะในโครงการชลประทานป่าสักใต้แห่งเดียวเท่านั้น คือคลองแยกตะวันตก (west branch) และคลองแยกใต้ (south branch) ของคลองรพีพัฒน์ซึ่งเป็นคลองสายใหญ่ของโครงการชลประทานป่าสักใต้

5.2.3 คลองซอย (secondary canals, distributary canals, laterals)

คลองซอยเป็นคลองที่แยกออกจากคลองสายใหญ่หรือคลองสาขาเพื่อรับน้ำไปส่งให้แก่พื้นที่เพาะปลูกซึ่งคลองสายนั้นควบคุมอยู่โดยตรง แนวคลองซอยจะวางอยู่บนที่สูงเช่นเดียวกัน

ตามริมคลองซอยจะมีท่อส่งน้ำเข้านา (farm turnouts) ฝังไว้เป็นระยะๆ เพื่อส่งน้ำให้พื้นที่เพาะปลูกซึ่งทำได้ 2 วิธีคือ :

(1) ปล่อยน้ำออกจากท่อส่งน้ำเข้านา แล้วให้น้ำไหลบ่าท่วมไปบนดิน

(2) ปล่อยน้ำออกจากท่อส่งน้ำเข้านา เข้าคูน้ำ (farm ditch) ให้คูน้ำรับน้ำไปส่งให้พื้นที่เพาะปลูกอีกทีหนึ่งเพื่อให้น้ำแพร่กระจายทั่วถึงกันดีขึ้น

คลองสายใหญ่สายหนึ่งอาจมีคลองซอยหลายสาย คลองซอยเหล่านี้จะแยกออกจากคลองสายใหญ่ทางฝั่งเดียวหรือทั้งสองฝั่งก็ได้ ทั้งนี้ย่อมแล้วแต่เขตส่งน้ำและสภาพของพื้นที่ดินในเขตโครงการ

ตามปกติ**การเรียกชื่อคลองซอย**จะถือลำดับก่อนหลังที่คลองซอยสายนั้นแยกออกจากฝั่งเดียวกันของคลองสายใหญ่ เช่น

- คลองซอย 1R คือคลองซอยสายที่ 1 ซึ่งแยกออกทางฝั่งขวา (R = right) ของคลองสายใหญ่
- คลองสาย 3L คือคลองซอยสายที่ 3 ซึ่งแยกออกทางฝั่งซ้าย (L = left) ของคลองสายใหญ่

แต่บางทีก็เรียกชื่อคลองซอยตามระยะทางของคลองสายใหญ่ที่คลองซอยแยกออกมา เช่น

- คลองซอยฝั่งขวา กม.3+250.870 คือคลองซอยที่แยกออกทางฝั่งขวาของคลองสายใหญ่ที่ กม. 3+250.870

5.2.4 คลองแยกซอย (tertiary canals, sub-distributary canals, sub-laterals)

คลองแยกซอยเป็นคลองขนาดเล็กที่แยกออกจากคลองซอยอีกทีหนึ่งเพื่อรับน้ำไปส่งให้แก่พื้นที่เพาะปลูกที่คลองแยกซอยนั้นควบคุมอยู่ ในโครงการชลประทานแห่งหนึ่งจะมีคลองแยกซอยหลายสายแพร่กระจายไปทั่วเขตโครงการ คลองแยกซอยมีลักษณะและหน้าที่เช่นเดียวกับคลองซอย และมีแนวคลองวางอยู่บนที่สูงของเขตส่งน้ำของคลองนั้นๆ

คลองซอยหนึ่งจะมีคลองแยกซอยกี่สายก็ได้ และจะแยกออกทางฝั่งไหนหรือทั้งสองฝั่งของคลองซอยก็ได้

ในคลองแยกซอยอาจมีคลองส่งน้ำเล็กๆ แยกออกไปอีก แต่คงเรียกว่าคลองแยกซอยเช่นเดียวกัน

การเรียกชื่อคลองแยกซอย จะถือหลักเช่นเดียวกับคลองซอย เช่น

- คลองแยกซอย 1L-1R คือคลองแยกซอยสายที่ 1 ซึ่งแยกออกทางฝั่งซ้ายของคลอง ซอย 1R
- คลองแยกซอย 3R-2L คือคลองแยกซอยสายที่ 3 ซึ่งแยกออกทางฝั่งขวาของคลองซอย 2L
- คลองแยกซอย 1R-3L-2R คือคลองแยกซอยสายที่ 1 ซึ่งแยกออกทางฝั่งขวาของคลองแยกซอย 3L-2R

หรืออาจจะเรียกชื่อคลองแยกซอยตามระยะทางของคลองซอยที่คลองแยกซอยแยกออกมาก็ได้

5.3 หลักการวางแนวคลองส่งน้ำ

หลักสำคัญของการวางแนวคลองส่งน้ำคือต้องพยายามให้คลองอยู่บนแนวซึ่งมีระดับพื้นดินสูงที่สุดของเขตส่งน้ำของคลองนั้น เพราะเมื่อส่งน้ำออกจากคลอง น้ำจะไหลไปสู่พื้นที่เพาะปลูกได้สะดวก แต่จะทำได้แค่ไหนเพียงไรนั้นย่อมแล้วแต่ลักษณะของภูมิประเทศดังต่อไปนี้

(1) ถ้าเป็นทุ่งราบระหว่างเชิงเขาบนสองฝั่งแม่น้ำ ควรพยายามวางแนวคลองสายใหญ่ให้ไต่ลัดเลาะไปตามชายลาดเขาให้สูงหรือให้ห่างจากแม่น้ำมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ (ระดับน้ำใช้การเต็มที่ของหัวงานและระดับน้ำใช้การเต็มที่ในคลองสายใหญ่จะเป็นสิ่งบังคับแนวสูงสุดของคลองสายใหญ่

ในทำเลนี้เราอาจวางคลองสายใหญ่ไว้บนสองฝั่งแม่น้ำได้ และคลองสายใหญ่จะมีแนวเกือบจะขนานไปกับเส้นชั้นความสูง (contours) ของพื้นที่ ส่วนแนวคลองซอยต่างๆ จะวางอยู่บนสันเนินย่อยซึ่งยื่นเป็นพูออกมาจากชายลาดเขา และตามปกติแนวคลองซอยจะแยกออกทางฝั่งเดียวของคลองสายใหญ่

ริมเขตส่งน้ำของคลองซอยทุกสายเป็นที่ลุ่ม ลำน้ำหรือร่องน้ำ ซึ่งจะใช้เป็นทางระบายน้ำ (drainage channels) ไปด้วยในตัว ถ้าไม่มีทางระบายน้ำธรรมชาติเหล่านี้จะต้องขุดทางระบายน้ำหรือคลองระบายน้ำขึ้น

เนื่องจากที่ดินซึ่งคลองซอยหรือคลองแยกสายหนึ่งควบคุมอยู่จะถูกแบ่งออกเป็นแปลงใหญ่ๆ เรียกว่า **แฉกส่งน้ำหรือแฉกรับน้ำ** เพราะฉะนั้นพื้นที่ทั้งหมดของโครงการชลประทานก็คือผลรวมของพื้นที่ของแฉกส่งน้ำทั้งหมดนั่นเอง

(2) ถ้าเป็นทุ่งราบกว้างใหญ่ซึ่งมีความลาดเทของพื้นดินพอสมควร แต่ไม่ปรากฏแนวสันเนินให้เห็นอย่างเด่นชัดมากนัก แนวคลองสายใหญ่ก็จะต้องอยู่บนที่ซึ่งมีระดับพื้นที่ดินสูงที่สุดของเขตส่งน้ำของคลองนั้นเช่นเดียวกัน ส่วนแนวคลองซอยต่างๆ จะแยกออกทั้งสองฝั่งของคลองสายใหญ่

เพราะฉะนั้น ก่อนวางแผนระบบการส่งน้ำ จึงต้องมีการสำรวจระดับพื้นดินและทำแผนที่แสดงเส้นชั้นความสูงโดยละเอียดให้ทั่วเขตโครงการ แล้วจึงจะพิจารณาวางแนวคลองส่งน้ำลงบนแผนที่ได้ แผนที่ซึ่งใช้วางแนวคลองส่งน้ำมีมาตราส่วน 1 : 20,000 หรือ 1 : 30,000 ไม่ควรใช้แผนที่ซึ่งมีมาตราส่วนเล็กกว่านี้ การวางแนวคลองส่งน้ำลงในแผนที่ครั้งแรกนี้เรียกว่า การวางแนวในแผนที่ **(paper location)**

ช่างสำรวจจะยึดถือแนวคลองส่งน้ำจริงในแผนที่ตามการวางแนวคลองในแผนที่เป็นหลักออกไปสำรวจวางแนวคลองส่งน้ำจริงในภูมิประเทศ การวางแนวคลองจริงในภูมิประเทศอาจจะต้องเปลี่ยนแนวคลองบ้างบางตอน เพราะอาจพบอุปสรรคที่ไม่ปรากฏในแผนที่และไม่สามารถขุดคลองผ่านไปได้จึงต้องหลบแนวคลองไปให้พ้นบริเวณนั้น แต่เมื่อเปลี่ยนแนวคลองแล้วช่างสำรวจจะต้องแจ้งให้ผู้ทำการวางแนวคลองในแผนที่ทราบเพื่อแก้ไขแนวคลองในแผนที่ให้ตรงกันกับแนวคลองจริงในภูมิประเทศ ในทางปฏิบัติช่างสำรวจจะมาปรึกษาผู้ทำการวางแนวคลองในแผนที่ก่อนเปลี่ยนแนวคลองเสมอ และแจ้งผลให้ทราบเมื่อเปลี่ยนแนวคลองจริงในภูมิประเทศ เรียกว่าการวางแนวขั้นสุดท้าย (**final location)** ซึ่งจะใช้เป็นหลักในการออกแบบคลองส่งน้ำต่อไป

5.4 หน้าที่และคุณสมบัติของคลองส่งน้ำ

คลองส่งน้ำมีหน้าที่รับน้ำจากแม่น้ำไปสู่พื้นดินในเขตโครงการชลประทาน คลองส่งน้ำทุกประเภทและทุกตอนของช่วงคลองจะทำหน้าที่ได้ดีนั้นต้องมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

(1) มีขนาดโตพอที่จะส่งน้ำได้ตามจำนวนที่ต้องการ

(2) มีระดับน้ำใช้การเต็มที่ในคลองสูงพอที่จะส่งไปท่วมพื้นที่ซึ่งต้องการใช้น้ำได้สะดวก

(3) ไม่เกิดการตื้นเขินและการกัดทำลายคลองขึ้น

(4) ไม่เกิดการรั่วซึมมากเกินไป

คุณสมบัติทั้ง 4 ข้อนี้เป็นสิ่งสำคัญซึ่งคลองส่งน้ำควรมีให้มากที่สุด

5.4.1 คุณสมบัติข้อ 1 ได้ทราบมาแล้วว่าปริมาณน้ำที่จะต้องส่งเข้าคลองส่งน้ำเท่ากับผลคูณของชลภาระ (water duty) กับพื้นที่ชลประทาน (irrigable area) ซึ่งคลองสายนั้นควบคุมอยู่ ปริมาณน้ำดังกล่าวนี้จะต้องส่งให้พื้นที่เพาะปลูกตลอดเวลาสำหรับการชลประทานประเภทส่งน้ำตลอดเวลา (continuous irrigation) เช่น การส่งน้ำให้การทำนาในประเทศไทย แต่ถ้าเป็นการชลประทานประเภทหมุนเวียน (rotational irrigation) ซึ่งส่งน้ำให้แก่พื้นที่เพาะปลูกเป็นรอบเวร ระยะเวลาส่งน้ำหรือเวลาที่น้ำไหลเข้าคลองจะน้อยลง เพราะฉะนั้น ปริมาณน้ำที่ต้องส่งเข้าคลองภายในระยะเวลาอันสั้นก็จะต้องเพิ่มมากขึ้น กล่าวโดยทั่วไป**ขนาดของคลองส่งน้ำจะมีความสัมพันธ์กับวิธีการส่งน้ำ**

เมื่อคลองส่งน้ำพาน้ำผ่านพื้นที่เพาะปลูกคลองจะจ่ายน้ำตามทางเรื่อยไป ถ้าเป็นคลองสายใหญ่จะจ่ายน้ำเข้าคลองซอยต่างๆ ถ้าเป็นคลองซอยจะจ่ายน้ำเข้าท่อส่งน้ำเข้านา (farm turnouts) ที่ฝังไว้ข้างคลองเป็นระยะๆ และจ่ายน้ำเข้าคลองแยกซอยด้วย และถ้าเป็นคลองแยกซอยจะจ่ายน้ำเข้าท่อส่งน้ำเข้านา เพราะฉะนั้น ปริมาณน้ำในคลองจะลดน้อยลงทุกทีจนหมดที่ท่อส่งน้ำเข้านาแห่งสุดท้าย ขนาดของคลองส่งน้ำจึงเรียวเล็กลงไปสู่ปลายคลอง การที่จะกำหนดได้แน่นอนว่าคลองส่งน้ำตอนใดต้องจ่ายน้ำเป็นจำนวนเท่าใดนั้นต้องอาศัยแผนที่ระดับแสดงชั้นความสูงของดินซึ่งได้แบ่งเขตส่งน้ำต่างๆ ไว้เพราะต้องทราบแน่นอนว่าพื้นที่ในเขตโครงการบริเวณใดจะรับน้ำได้สะดวกจากคลองสายไหน แล้วจึงจะทราบปริมาณน้ำประจำคลองและคำนวณขนาดคลองสายนั้นได้

จึงกล่าวได้ว่า ขนาดของคลองส่งน้ำย่อมมีความสัมพันธ์กับ

- ชลภาระ (water duty)
- วิธีการส่งน้ำ (methods of irrigation)

- ระดับพื้นที่ดินซึ่งจะได้รับน้ำจากคลองส่งน้ำสายนั้นตามระยะทาง

5.4.2 คุณสมบัติข้อ 2 ระดับน้ำใช้การเต็มที่ในคลองส่งน้ำ (full supply level) จะสูงพอที่จะให้น้ำที่ส่งออกจากคลองไหลท่วมไปบนพื้นดินซึ่งต้องการใช้น้ำได้สะดวกหรือมากน้อยเพียงไรนั้นย่อมแล้วแต่การเลือกใช้ลาดผิวน้ำในคลอง (water surface slope) ให้เหมาะสมกับความลาดเทของพื้นดินตามแนวคลองและลักษณะและปริมาณของตะกอนที่ไหลมากับน้ำด้วย

ถ้าต้องการให้ระดับน้ำใช้การเต็มที่ในคลองส่งน้ำขึ้นสูงกว่าระดับพื้นดินตามแนวคลองได้เร็ว คือตั้งแต่ต้นคลองตลอดไปถึงปลายคลอง ก็จะต้องใช้ลาดผิวน้ำในคลองค่อนข้างราบ แต่บางทีจะใช้ลาดผิวน้ำราบมากเกินไปไม่ได้เพราะกระแสน้ำในคลองจะอ่อน ทำให้ตะกอนที่ไหลมากับน้ำตกจมได้มาก การเลือกใช้ลาดผิวน้ำในคลองจึงต้องพิจารณาอย่างรอบคอบ แล้วตัดสินใจว่าจะให้ระดับน้ำใช้การเต็มที่ในคลองขึ้นสูงกว่าระดับพื้นดินตามแนวคลองได้เร็ว (ใช้ลาดผิวน้ำในคลองค่อนข้างราบ) แต่คลองจะต้องตื้นเขินเพราะตะกอนตกจมบ้างหรือจะยอมให้ระดับน้ำใช้การเต็มที่ในคลองขึ้นสูงกว่าระดับพื้นดินตามแนวคลองได้ช้า (ใช้ลาดผิวน้ำค่อนข้างชัน) แต่คลองจะไม่ตื้นเขิน

ตามปกติ ระดับน้ำใช้การเต็มที่ในคลองส่งน้ำต้องสูงกว่าระดับพื้นดินตามแนวคลองมากพอสมควรจึงจะส่งน้ำออกจากคลองได้สะดวก ในทางปฏิบัติควรกำหนดดังนี้

(1) ในทำเลซึ่งเป็นทุ่งราบระหว่างเชิงเขาบนสองฝั่งแม่น้ำ

ได้เคยกล่าวมาแล้วในหัวข้อ 5.3 (1) ว่าในทำเลนี้แนวคลองสายใหญ่จะลัดเลาะไปตามชายลาดเขา แต่แนวคลองซอยจะแยกออกจากคลองสายใหญ่มาตามพูหรือสันเนินย่อยลักษณะ ของพื้นที่จะลาดเทมากจากคลองสายใหญ่ลงมาหาแนวแม่น้ำ ระดับน้ำใช้การเต็มที่ในคลองสายใหญ่ จึงไม่จำเป็นต้องสูงกว่าระดับพื้นที่ตามแนวคลองมากนัก คือประมาณ 0.50-1.00 เมตร ก็พอแล้ว สำหรับคลองซอยประมาณ 0.20-0.30 เมตร

(2) ในทำเลซึ่งเป็นทุ่งราบกว้างใหญ่และมีความลาดเทของพื้นที่น้อย

ในทำเลนี้ระดับน้ำใช้การเต็มที่ในคลองสายใหญ่ควรจะสูงกว่าระดับพื้นดินตามแนวคลองประมาณ 1.00-1.50 เมตร และสำหรับคลองซอยประมาณ 0.30-0.50 เมตร

5.4.3 คุณสมบัติข้อ 3 คลองส่งน้ำที่เป็นคลองดินธรรมดา (earth canals) ย่อมมีโอกาสตื้นเขิน เพราะตะกอนตกจมในคลองและถูกน้ำกัดทำลายได้ง่าย ถ้ากระแสน้ำในคลองอ่อนเกินไปตะกอนจะตกจม ถ้าแรงเกินไปน้ำจะกัดคลองพัง

ความเร็วกระแสน้ำที่จะไม่ทำให้ตะกอนในน้ำตกจมและไม่กัดทำลายคลองนั้น เรียกว่าความเร็ววิกฤต (critical velocity) เพราะฉะนั้นความเร็วของกระแสน้ำในคลองส่งน้ำจึงควรจะน้อยกว่าหรือเท่ากับความเร็ววิกฤต

คุณสมบัติของคลองส่งน้ำข้อ 3 นี้จะกล่าวโดยละเอียดอีกครั้งหนึ่งในเรื่องการออกแบบคลองส่งน้ำในท้องถิ่นที่มีตะกอนในน้ำมาก

ความจริงสาเหตุที่ทำให้คลองส่งน้ำตื้นเขินและถูกน้ำกัดทำลายนั้นยังมีอีกหลายอย่าง เช่น การใช้โค้งแนวคลองแคบเกินไป การใช้ลาดตลิ่งคลองชันเกินไป น้ำฝนจากฝนที่ตกหนัก ฯลฯ เหล่านี้เป็นต้น

5.4.4 คุณสมบัติข้อ 4 การรั่วซึมของน้ำออกจากคลองดินธรรมดา จะเกิดขึ้นมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับลักษณะดินที่คลองจะต้องถูกขุดผ่านไป ตามปกติการวางแนวคลองส่งน้ำได้พยายามหลบหลีกไม่ให้แนวคลองผ่านบริเวณซึ่งเป็นดินทรายหรือดินที่มีเนื้อหยาบโปร่งร่วนอยู่แล้ว เพราะดินชนิดนี้น้ำรั่วซึมได้มาก แต่ถ้าหลีกไม่พ้นจริงๆ ก็จะต้องหาวิธีป้องกันไม่ให้เกิดการ รั่วซึมยากหรือรั่วซึมไม่ได้ เช่น การดาดด้วยคอนกรีต, ยางมะตอย, ดินเหนียว ฯลฯ ตลอดทางที่เกิดการรั่วซึมมากนั้นหรือจะเปลี่ยนระบบการส่งน้ำในบริเวณนั้นเป็นท่อส่งน้ำแทนการขุดคลองก็ได้ เมื่อพ้นบริเวณนั้นไปแล้วจึงขุดคลองส่งน้ำต่อไปใหม่

5.5 ส่วนสัดของคลองส่งน้ำ

ส่วนสัดของคลองส่งน้ำที่จะต้องพิจารณามี 5 อย่างคือ

(1) ลาดผิวน้ำในคลอง (water surface slope = S)

(2) รูปตัดขวางของคลอง (cross section) ซึ่งประกอบด้วย
- ความกว้างของก้นคลอง (bed width of canal = b)
- ความลึกของน้ำในคลอง (depth of water in canal = d)
- ลาดตลิ่งคลอง (side slopes of canal = SS)
- ความลึกของดินขุด (depth of cut = E)

(3) คันคลอง (embankments)

(4) ชานคลอง (berms)

(5) เขตคลอง (right-of-way)

คลองส่งน้ำบางสายมีชานคลองแต่บางสายก็ไม่มี ทั้งนี้แล้วแต่การพิจารณาของผู้ออกแบบ ถ้าดินที่ขุดจากคลองมีมากก็จะพอทำคันคลองบนสองฝั่งคลอง แต่ถ้าไม่มีมากพอจะต้องขุดบ่อยืมดิน (borrow pits) เพื่อเอาดินมาช่วยทำคันคลอง เพราะฉะนั้นรูปตัดขวางของคลองส่งน้ำจึงมีได้ต่างๆ กันหลายแบบ

ถึงแม้ว่าคลองส่งน้ำจะเป็นสิ่งจำเป็นและสำคัญที่สุดในบรรดาสิ่งก่อสร้างทั้งหลายในโครงการชลประทาน ต้องเสียค่าก่อสร้างและค่าบำรุงรักษามาก แต่คลองส่งน้ำกลับเป็นสิ่งก่อสร้างที่ชำรุดทรุดโทรมได้ง่ายที่สุด เพราะมี **ความบกพร่อง** เกิดขึ้นจากสาเหตุหลายประการคือ

(1) การออกแบบ

การออกแบบคลองส่งน้ำยังขาดหลักเกณฑ์ที่แน่นอนว่าคลองควรมีขนาดอย่างไร เพราะฉะนั้นการออกแบบจึงแล้วแต่ความพินิจพิจารณาของผู้ออกแบบแต่ละคนโดยอาศัยงานออกแบบที่แล้วมาเป็นแนวทางปฏิบัติ

ตามปกติคลองส่งน้ำสายหนึ่งๆ ยาวหลายกิโลเมตร ลักษณะดินตามแนวคลองย่อมแตกต่างกันได้มากและยากที่จะทราบได้โดยละเอียด ทำให้เกิดความบกพร่องหรือจุดอ่อนขึ้นในการออกแบบคลองเกี่ยวกับการกำหนดอัตราเร็วของน้ำในคลองให้เหมาะกับลักษณะดินและการเลือกใช้ลาดตลิ่งคลองด้วย

(2) การก่อสร้าง

การขุดคลองส่งน้ำให้ได้ขนาดถูกต้องสมบูรณ์ตามที่ออกแบบไว้นั้นทำได้ยาก ในปัจจุบันการขุดคลองใช้เครื่องจักร เช่น รถขุด เป็นต้น จึงเป็นไปไม่ได้ที่จะให้เครื่องจักรขุดคลองให้ได้ขนาดสมบูรณ์ เพราะเครื่องจักรทำงานไม่ได้ละเอียดพอ ความกว้างของก้นคลอง ลาดก้นคลอง และลาดตลิ่งคลองที่ขุด จึงทำได้เพียงใกล้เคียงกันแบบมากที่สุดเท่านั้น

(3) การบำรุงรักษา

คลองส่งน้ำแต่ละสายมีความยาวมาก การบำรุงรักษาดูแลมักจะทำไม่ได้ทั่วถึงที่ขุดเสร็จและใช้ส่งน้ำได้ไม่กี่ปีจะชำรุดทรุดโทรมได้มาก ซึ่งเกิดจากคนและสัตว์ทำลาย ตลอดจนถูกน้ำฝนชะล้างและกัดพังอีกด้วย นอกจากนั้นยังมีพวกวัชพืชขึ้นรกในคลอง ทำให้น้ำไหลไม่สะดวก

โดยเหตุที่กล่าวมาแล้วนี้ คลองส่งน้ำซึ่งเป็นสิ่งสำคัญที่สุดจึงกลายเป็นสิ่งที่มีความบกพร่องมากที่สุด อย่างไรก็ดีในข้อต่อไปนี้จะได้รวบรวมหลักการพิจารณาส่วนสัดของคลองส่งน้ำมากล่าวไว้พอเป็นสังเขป

5.6 การเลือกใช้ลาดผิวน้ำในคลอง

การคำนวณอัตราเร็วของน้ำ (V) ในรางเปิดทุกชนิด ลาดผิวน้ำ (S) ในรางเป็นสิ่งสำคัญและมีอิทธิพลที่จะทำให้น้ำไหลไปได้โดยแรงโน้มถ่วงของโลก ไม่มีลาดผิวน้ำน้ำจะไม่ไหล ถ้าลาดผิวน้ำยิ่งชันน้ำจะยิ่งไหลแรงขึ้น ถ้ายิ่งราบก็จะยิ่งไหลช้าลง

ตามปกติคลองที่ขุดจะมีลาดก้นคลองขนานกับลาดผิวน้ำ การแสดงค่าของความลาดเทของคลองบางทีจะเขียนไว้ที่เส้นลาดก้นคลอง

ลาดผิวน้ำในคลองไม่จำเป็นต้องมีค่าเดียวกันตลอดคลอง จะชันในบางตอนแล้วราบในบางตอนก็ได้ เช่น ตอนต้นคลองใช้ลาดผิวน้ำ 1 : 8,000 ตอนกลางคลองใช้ลาดผิวน้ำ 1 : 10,000 และตอนปลายคลองใช้ลาดผิวน้ำ 1 : 12,000 เช่นนี้ก็ได้ แต่ถ้าสามารถทำได้แล้วควรใช้ลาดผิวน้ำในคลองค่าเดียวกันตลอดคลอง ถ้าลาดผิวน้ำในคลองตอนใดไม่เหมาะกับลาดผิวดินตามแนวคลองควรใช้วิธีลดระดับน้ำในคลองลงโดยการสร้างอาคารน้ำตก (drops) หรือรางเท (chutes)

ลาดผิวน้ำในคลองมีความสัมพันธ์กับอัตราเร็วของน้ำในคลอง กล่าวคือ ถ้าลาดผิวน้ำชันความเร็วจะมีค่ามากหรือน้ำไหลแรง ถ้าลาดผิวน้ำราบ ความเร็วจะมีค่าน้อยหรือน้ำไหลช้า ดังนั้นจึงต้องเลือกใช้ลาดผิวน้ำให้เหมาะ เพื่อให้ความเร็วของกระแสน้ำในคลองเท่ากับความเร็ววิกฤต

นอกจากนั้นลาดผิวน้ำในคลองยังมีความสัมพันธ์กับระดับน้ำใช้การเต็มที่ (F.S.L.) ในคลองด้วย คือถ้าลาดผิวน้ำชัน น้ำจะขึ้นสูงกว่าระดับพื้นดินตามแนวคลองได้ช้าแต่คลองไม่ค่อยตื้นเขินเพราะตะกอนตกจม ถ้าลาดผิวน้ำราบน้ำจะขึ้นสูงกว่าระดับพื้นดินตามแนวคลองได้เร็ว แต่คลองจะมีรูปตัดค่อนข้างใหญ่และมักจะตื้นเขินเพราะตะกอนตกจม

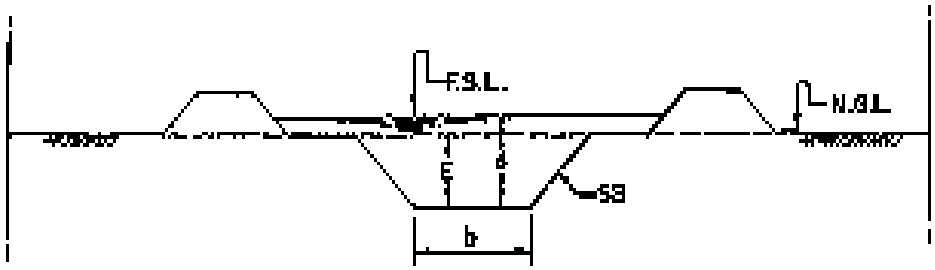
กล่าวได้ว่าการเลือกใช้ลาดผิวน้ำในคลองไม่มีกฎเกณฑ์แน่นอน ทั้งนี้แล้วแต่

- ลาดพื้นดินตามแนวคลองส่งน้ำ
- ลักษณะและปริมาณของตะกอนที่ไหลมากับน้ำ
- ลักษณะเนื้อดินตามแนวคลองที่น้ำจะกัดพาไปได้
- ความพินิจพิจารณาของผู้ออกแบบ

5.7 การพิจารณารูปตัดขวางของคลองส่งน้ำ

ได้กล่าวมาแล้วว่า รูปตัดขวางของคลองส่งน้ำประกอบด้วย (ดูรูปที่ 5.1)

- ความกว้างของก้นคลอง (b)
- ความลึกของน้ำในคลอง (d)
- ลาดตลิ่งคลอง (SS)
- ความลึกของดินขุด (E)



รูปที่ 5.1 รูปตัดคลองส่งน้ำชนิดคลองดิน

ความกว้างของก้นคลอง (b) และความลึกของน้ำในคลอง (d) มีความสำคัญมากและเกี่ยวกับคุณสมบัติทางชลศาสตร์ของคลอง

การเลือกใช้ความกว้างของก้นคลอง (b) และความลึกของน้ำในคลอง (d) สำหรับอัตราการไหล (Q) จำนวนหนึ่งนั้น มีวิธีเลือกได้หลายวิธีเพื่อให้เหมาะกับสภาพของท้องถิ่น คือ

(1) ถ้ามีตะกอนไหลมากับน้ำมาก ควรเลือกใช้ส่วนสัดของคลองที่จะไม่ตื้นเขินเพราะตะกอนตกจมในคลอง

(2) ถ้าไม่มีตะกอนมากและไม่มีการรั่วซึมของน้ำออกจากคลองมาก ควรเลือกใช้ส่วนสัดของคลองที่จะส่งน้ำได้สะดวกที่สุด

(3) ถ้ามีการรั่วซึมของน้ำออกจากคลองมาก ควรเลือกใช้ส่วนสัดของคลองที่จะเกิดการรั่วซึมน้อยที่สุด

ส่วนสัดของคลองที่เหมาะสมกับสภาพอย่างหนึ่งอาจไม่เหมาะกับสภาพอย่างอื่นก็ได้ เช่น คลองที่ออกแบบไว้ให้ป้องกันการตื้นเขินเพราะตะกอนตกจมอาจส่งน้ำไม่ได้สะดวกหรือเกิดการรั่วซึมของน้ำออกจากคลองมากก็ได้ ผู้ออกแบบไม่สามารถออกแบบคลองให้เหมาะกับสภาพทุกอย่างในเวลาเดียวกันได้ เพราะฉะนั้นในการออกแบบคลองจึงต้องพิจารณาว่าสภาพใดจะก่อให้เกิดความเสียหายแก่คลองมากที่สุด ก็ต้องเลือกใช้ส่วนสัดของคลองที่จะป้องกันความเสียหายนั้นได้ โดยยอมให้มีข้อบกพร่องที่เกิดจากสภาพอื่นได้บ้าง

5.7.1 รูปตัดขวางของคลองส่งน้ำในท้องถิ่นที่มีตะกอนมากในลำน้ำ

ในท้องถิ่นที่มีตะกอนไหลปนมากับน้ำมากในลำน้ำ ถ้าไม่มีการป้องกัน ตะกอนจะหลุดเข้าไปในคลองส่งน้ำแล้วทำให้คลองตื้นอย่างรวดเร็ว เกิดความเสียหายหลายประการคือ

(1) เนื้อที่รูปตัดขวางของคลองเล็กลงกว่าที่ได้ออกแบบไว้ ทำให้ส่งน้ำไม่ได้ตามจำนวนที่ต้องการ

(2) เสียค่าขุดลอกคลอง

วิธีป้องกันตะกอน ทราย เข้าคลองส่งน้ำอาจทำได้เป็นลำดับดังต่อไปนี้

(1) สร้างประตูระบายทรายไว้ที่ฝาย

(2) ใช้ประตูระบายปากคลองส่งน้ำประเภทให้น้ำไหลล้นข้ามสันบาน คือมีบานระบายชนิดให้น้ำไหลข้ามบานเข้าสู่คลอง

(3) ยกระดับธรณีประตูระบายปากคลองส่งน้ำให้สูงกว่าระดับพื้นร่องระบายทรายให้มาก หรือเสริมระดับธรณีประตูระบายปากคลองส่งน้ำให้สูงขึ้น

(4) ถ้ามีตะกอนในน้ำมากจริงๆ ก็ทำ**บ่อดักทราย (sand trap)** ไว้ในคลองส่งน้ำตอนท้ายประตูระบายปากคลอง

(5) ทำให้อัตราเร็วของน้ำในคลองสูงพอที่จะทำให้ตะกอนละเอียดในน้ำลอยตัวอยู่ได้ตลอดคลอง แล้วปล่อยให้ไหลผ่านท่อส่งน้ำเข้ามาสู่แปลงเพาะปลูกก็จะเป็นประโยชน์แก่พืช และดีกว่าที่จะปล่อยให้ตกจมในคลองทำให้คลองตื้นเขิน

เมื่อ ค.ศ. 1895 **Mr.Kennedy** นายช่างชลประทานซึ่งประจำทำงานอยู่ในประเทศอินเดียได้ศึกษาค้นคว้าเรื่องอัตราเร็วของน้ำในคลองโดยการสังเกตการณ์จากคลอง Bari Doab, Kennedy ได้พัฒนาสูตรสำหรับอัตราเร็วของน้ำในคลองซึ่งจะไม่กัดทำลายตัวคลองและเกิดการตื้นเขินเพราะตะกอนตกจม สูตรนี้รู้จักกันทั่วไปว่า สูตรคำนวณความเร็ววิกฤตของเคเนดี้ (**Kennedy's critical velocity)** ซึ่งมีรูปสูตรดังนี้

$$V_o = Cd^m \qquad (5.1)$$

ในเมื่อ V_o = ความเร็ววิกฤต คือค่าความเร็วของกระแสน้ำที่จะไม่กัดทำลายตัวคลองและไม่เกิดการตื้นเขินเพราะตะกอนตกจม
หน่วย เมตรต่อวินาที

C = ค่าสัมประสิทธิ์ซึ่งมีค่าเปลี่ยนได้ตามลักษณะของตะกอนในน้ำ เช่น

= 0.365 สำหรับตะกอนละเอียดและเบามาก

= 0.544 สำหรับตะกอนละเอียดและเบา

= 0.586 สำหรับตะกอนทรายหยาบและเบา

= 0.645 สำหรับตะกอนดินทรายหยาบ

= 0.770 สำหรับตะกอนทรายหยาบและหนัก

กรมชลประทานใช้

C = 0.350 สำหรับตะกอนในลำน้ำต่างๆ ในทุ่งราบตอนกลาง

= 0.547 สำหรับตะกอนในลำน้ำต่างๆ ในภาคเหนือและภาคอื่นที่มีลักษณะหยาบกว่าตะกอนในทุ่งราบตอนกลาง

d = ความลึกของน้ำในคลองสำหรับคลองที่มีรูปตัดแน่นอน (regular section) หน่วยเป็นเมตร หรือกรณีคลองที่มีรูปตัดไม่แน่นอน (irregular section) ใช้สูตร

$$d = \frac{\text{พื้นที่รูปตัดขวางของคลองที่น้ำไหลผ่าน}}{\text{ความกว้างผิวน้ำในคลอง}}$$

m = ตัวเลขยกกำลัง

= 0.64 - 0.66

การออกแบบรูปตัดขวางของคลองส่งน้ำในประเทศไทย โดยปกติเป็นการออกแบบให้ป้องกันการตื้นเขินและการกัดทำลายตัวคลอง และยังใช้ **Kennedy's critical velocity** เป็นหลักในการคำนวณออกแบบ โดยพยายามออกแบบให้อัตราเร็วของน้ำในคลอง (V) เท่ากับความเร็ววิกฤต (V_0) หรือให้ใกล้เคียงกันมากที่สุด คือจะยอมให้คลองตื้นเขินหรือถูกน้ำกัดทำลายได้บ้างเล็กน้อย ซึ่งผู้ออกแบบจะต้องเลือกใช้ขนาดคลอง (หมายถึง b และ d) ต่างๆ กันจนกว่าจะได้ผลตามที่ต้องการ อย่างไรก็ดี ถ้าลาดผิวน้ำในคลอง (S) ราบมากเกินไปและปริมาณน้ำก็น้อยด้วยแล้ว ค่าของ V และ V_0 จะไม่เท่ากันได้เลยแม้ว่าจะได้พยายามเปลี่ยนค่าของ b และ d สักเท่าใดก็ตาม ดังจะเห็นได้จากตัวอย่างต่อไปนี้

ตัวอย่างที่ 5.1 ถ้ากำหนดให้มีข้อมูลดังต่อไปนี้

Q = 1.850 ลบ.เมตรต่อวินาที

SS = $1:1\frac{1}{2}$

N = 0.0225

S = 1 : 13,333

V_o = $0.350R^{0.6}$

V = $\frac{0.763R}{0.982+\sqrt{R}}$

จงกำหนดค่าความกว้างก้นคลอง (b) และความลึกของน้ำ (d) โดยทำการเปลี่ยนค่าไปเรื่อยๆ แล้วตรวจสอบค่าอัตราส่วน $\frac{V}{V_o}$ แล้วพิจารณาว่าผลเป็นอย่างไร

วิธีทำ ทำการปรับเปลี่ยนค่า b และ d จากนั้นคำนวณค่า V และ V_o ได้ผลดังแสดงไว้ตามตารางดังนี้

รูปตัดที่	b (ม.)	d (ม.)	A ($ม.^2$)	P (ม.)	R (ม.)	$\sqrt{R}$	V (ม./วิ)	Q ($ม.^3$/วิ)	V_o (ม./วิ)	$\frac{V}{V_o}$
1	3.00	1.20	5.760	7.327	0.786	0.887	0.321	1.849	0.395	0.813
2	3.50	1.15	6.009	7.646	0.786	0.887	0.321	0.929	0.384	0.836
3	4.00	1.10	6.215	7.966	0.780	0.883	0.319	1.983	0.373	0.855
4	4.00	1.05	5.854	7.786	0.752	0.867	0.310	1.815	0.361	0.859
5	4.50	1.00	6.000	8.106	0.740	0.860	0.306	1.836	0.350	0.874
6	5.00	0.95	6.104	8.425	0.724	0.851	0.302	1.843	0.338	0.893
7	6.00	0.90	6.615	9.245	0.715	0.846	0.297	1.965	0.326	0.911
8	6.00	0.85	6.184	9.065	0.682	0.826	0.288	1.781	0.314	0.917
9	7.00	0.80	6.560	9.884	0.664	0.815	0.282	1.850	0.302	0.934
10	8.00	0.75	6.884	10.704	0.639	0.800	0.274	1.875	0.289	0.948
11	9.00	0.70	7.035	11.524	0.610	0.781	0.264	1.857	0.277	0.953

จากตารางจะเห็นว่ารูปตัดทั้ง 11 รูปนี้เกิดจากความพยายามเปลี่ยนใช้ค่าของ b และ d ต่างๆ กัน และถึงแม้ว่ารูปตัดแต่ละรูปจะให้ค่าของปริมาณน้ำเท่าหรือใกล้เคียงกับปริมาณน้ำที่กำหนด แต่ไม่มีรูปตัดใดที่ให้ค่าของ V เท่ากับ V_o หรือ $\frac{V}{V_o} = 1.00$ ค่าของ $\frac{V}{V_o}$ ทุกค่าน้อยกว่า 1.00 แสดงว่าคลองจะตกอยู่ในภาวะการไหลที่อาจเกิดการตื้นเขินเสมอ ดังนั้นในกรณีเช่นนี้ถ้าหากลักษณะของพื้นดินตามแนวคลองอำนวยให้เราสามารถเลือกใช้ลาดผิวน้ำในคลองชันมากขึ้นได้แล้ว ควรจะเปลี่ยนค่าของลาดผิวน้ำในคลองเสียใหม่ แล้วคำนวณขนาดของคลองใหม่ ซึ่งค่าของ V และ V_o อาจจะเท่ากันได้

ขั้นตอนในการออกแบบรูปตัดขวางของคลองส่งน้ำนั้นจะต้องคำนวณอัตราเร็วของน้ำในคลอง (V) ก่อน เมื่อเอาอัตราเร็วของน้ำคูณกับพื้นที่รูปตัดขวางของคลองที่น้ำไหลผ่าน (A) ก็จะได้ปริมาณน้ำที่ไหลในคลอง (Q) นั่นคือ

$$Q = AV \qquad (5.2)$$

สูตรที่ใช้คำนวณอัตราเร็วของน้ำในคลองหรือรางเปิด (open channels) คือ สูตรของเชซี่ (**Cheay's formula**) ซึ่งพัฒนาโดยวิศวกรชาวฝรั่งเศสชื่อ Antoine Chezy ในปี ค.ศ. 1768 รูปของสูตรมีดังนี้

$$V = C\sqrt{RS} \qquad (5.3)$$

ในเมื่อ V = อัตราเร็วเฉลี่ยของน้ำในรางเปิด หน่วยเป็นเมตรต่อวินาที

C = ค่าสัมประสิทธิ์ หน่วยเป็น ม.$^{1/2}$/วินาที

R = รัศมีชลศาสตร์ หน่วยเป็นเมตร

$= \frac{A}{P}$

A = พื้นที่รูปตัดขวางของน้ำที่ไหลผ่านในรางน้ำเปิด

P = ความยาวเส้นขอบเปียกของการไหล

S = ความลาดของเส้นพลังงาน (สำหรับการไหลแบบสม่ำเสมอ, S นี้เป็นลาดอย่างเดียวกันกับลาดตามยาวของผิวน้ำและก้นราง)

ต่อมามีวิศวกรหลายคนได้พิจารณาค่าของสัมประสิทธิ์ C ในสูตรของ Chezy ดังต่อไปนี้

(1) สูตรของ Ganguillet and Kutter

ใน ค.ศ. 1869 วิศวกรชาวสวิส 2 คนคือ **Ganguillet** และ **Kutter** ได้คิดสูตรแสดงค่าของ C ในรูปของความลาด (S), รัศมีชลศาสตร์ (R), และค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของผิวทางน้ำ (n) สูตรนี้ได้รู้จักกันแพร่หลายต่อมาว่าสูตรค่า C ของคัตเตอร์ (The Kutter's C) คือ

$$C = \frac{\frac{1.811}{n} + 41.65 + \frac{0.00281}{S}}{1 + (41.65 + \frac{0.00281}{S})\frac{n}{\sqrt{R}}} \quad \text{(หน่วยอังกฤษ)} \quad (5.4)$$

หรือ

$$C = \frac{\frac{1}{n} + 23 + \frac{0.00155}{S}}{1 + (23 + \frac{0.00155}{S})\frac{n}{\sqrt{R}}} \quad \text{(หน่วยเมตริก)} \quad (5.5)$$

ดังนั้นเมื่อนำ Kutter's C ไปแทนค่า C ในสูตรของ Chezy จะได้

$$V = \frac{\frac{1.811}{n} + 41.65 + \frac{0.00281}{S}}{1 + (41.65 + \frac{0.00281}{S})\frac{n}{\sqrt{R}}} \cdot \sqrt{RS} \quad \text{(หน่วยอังกฤษ)} \quad (5.6)$$

หรือ

$$V = \frac{\frac{1}{n} + 23 + \frac{0.00155}{S}}{1 + (23 + \frac{0.00155}{S})\frac{n}{\sqrt{R}}} \cdot \sqrt{RS} \quad \text{(หน่วยเมตริก)} \quad (5.7)$$

(2) จากสูตรของ Manning

ใน ค.ศ. 1889 วิศวกรชาวไอริชผู้หนึ่งชื่อ **Robert Manning** ได้พัฒนาสูตรแสดงความสัมพันธ์ของค่า C ดังนี้

$$C = \frac{R^{1/6}}{n} \quad \text{(หน่วยเมตริก)} \quad (5.8)$$

หรือ

$$C = \frac{1.486}{n} R^{1/6} \quad \text{(หน่วยอังกฤษ)} \quad (5.9)$$

เมื่อนำไปแทนในสูตรของ Chezy ตามสมการที่ (5.3) จะได้สมการคำนวณความเร็วกระแสน้ำเป็น

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \quad \text{(หน่วยเมตริก)} \quad (5.10)$$

$$V = \frac{1.486}{n} R^{2/3} S^{1/2} \quad \text{(หน่วยอังกฤษ)} \quad (5.11)$$

ในเมื่อ V = อัตราเร็วเฉลี่ยของน้ำในรางเปิด

n = ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ ซึ่งเรียกกันทั่วไปว่า “ค่าManning’s n”

R = รัศมีชลศาสตร์

$= \frac{A}{P}$

A = พื้นที่รูปตัดขวางของรางที่น้ำไหลผ่าน

P = ความยาวเส้นขอบเปียก

S = ความลาดของเส้นพลังงานการไหล มีค่าเท่ากับลาดของท้องคลองตามยาว ถ้าเป็นการไหลแบบสม่ำเสมอ

มีผู้นิยมใช้สูตรของ Manning คำนวณอัตราเร็วเฉลี่ยของน้ำในรางเปิดหรือคลองที่เป็นการไหลแบบสม่ำเสมอ (uniform flow) กันมาก เพราะได้ผลใกล้เคียงความจริงและคำนวณได้ง่ายและรวดเร็วกว่าสูตรอื่นด้วย ในอดีตที่ผ่านมางานออกแบบคลองใช้ทั้งสูตรของ Kutter และสูตรของ Manning แต่ในปัจจุบันส่วนมากนิยมใช้สูตรของแมนนิ่ง เพราะการคำนวณโดยสูตรของ Kutter มีรูปของสมการที่ดูจะซับซ้อนกว่า

มีข้อที่ควรสังเกต คือ ถ้าค่าของสัมประสิทธิ์ความขรุขระ (n), รัศมีชลศาสตร์ (R), และ ค่าความลาด (S) ไม่เปลี่ยน

(1) ในกรณี R > 1.00

V ที่คำนวณได้โดยสูตรของ Kutter จะมีค่ามากกว่า V ที่คำนวณได้โดยสูตรของ Manning

(2) ในกรณี R < 1.00

V ที่คำนวณได้โดยสูตรของ Kutter จะมีค่าน้อยกว่า V ที่คำนวณได้โดย Manning

(3) ในกรณี R = 1.00

V ที่คำนวณได้โดยสูตรของ Kutter จะมีค่าเท่ากับ V ที่คำนวณได้โดยสูตรของ Manning

ค่าของ n สำหรับสูตรของ Kutter และสูตรของ Manning ให้ใช้ตามค่าในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของแมนนิ่ง (Manning's n) สำหรับชนิดของพื้นผิวทางน้ำชนิดต่าง ๆ

ชนิดของผิวทางน้ำ	สภาพ			
	ดีมาก	ดี	ปานกลาง	เลว
คลองส่งน้ำและคูน้ำ				
คลองดินที่มีแนวตรงและรูปตัดสม่ำเสมอ	0.017	0.020	0.0225*	0.025
คลองดินที่ลาดตลิ่งเป็นดินปนกรวดปนหิน	0.028	0.030	0.033	0.035
คลองดินที่ก้นคลองมีดินปนกรวด ตลิ่งมีหญ้าขึ้น	0.025	0.030	0.035	0.040
คลองที่ขุดผ่านหินและตกแต่งผิวเรียบ	0.025	0.030	0.033*	0.035
คลองขุดผ่านหินขรุขระและรูปตัดไม่สม่ำเสมอ	0.035	0.040	0.045	-
คลองดินที่คดเคี้ยวมาก	0.0225	0.025*	0.0275	0.030
คลองดาดคอนกรีต	0.012	0.014*	0.016	0.018
รางน้ำหรือสะพานน้ำ				
คอนกรีตผิวเรียบ	0.012	0.014*	0.016*	0.018
ไม้ผิวขัดเรียบ	0.010	0.012*	0.013	0.014
ไม้ผิวไม่เรียบ	0.011	0.013*	0.014	0.015
โลหะรูปครึ่งวงกลมผิวเรียบ	0.011	0.012	0.013	0.015
โลหะรูปครึ่งวงกลมผิวเป็นลอน	0.0225	0.025	0.0275	0.030
ท่อชนิดต่าง ๆ				
เหล็กหล่อไม่ฉาบผิว	0.012	0.013	0.014	0.015
เหล็กหล่อฉาบผิวเรียบ	0.011	0.012*	0.013*	-
เหล็กดำไม่ฉาบผิว	0.012	0.013	0.014	0.015
เหล็กดำอาบสังกะสี	0.013	0.014	0.015	0.017
ทองเหลืองผิวเรียบ หรือหลอดแก้ว	0.009	0.010	0.011	0.013
ดินเผาใช้ทำท่อน้ำโสโครก	0.011	0.012	0.014	0.017
อิฐก่อ ใช้เป็นท่อน้ำโสโครก	0.012	0.013	0.015	0.017
คอนกรีต	0.012	0.013	0.015*	0.016
ไม้	0.010	0.011	0.012	0.013

หมายเหตุ : * เป็นค่าที่แนะนำให้ใช้ในการออกแบบทางน้ำ

นอกจากสูตรของ Kutter และสูตรของ Manning แล้ว ยังมีสูตรแสดงค่าของ C อีกหลายสูตร เช่น สูตรของ Bazin

ใน ค.ศ. 1897 นักชลศาสตร์ชาวฝรั่งเศสผู้หนึ่งชื่อ **H. Bazin** ได้คิดสูตรแสดงค่าของ C ในสูตรของ Chezy ซึ่งแสดงในรูปของค่ารัศมีชลศาสตร์ (R) โดยไม่เกี่ยวกับค่าความลาด (S) คือ

$$C = \frac{157.6}{1+\frac{m}{\sqrt{R}}} \quad \text{(หน่วยอังกฤษ)} \qquad (5.12)$$

หรือ

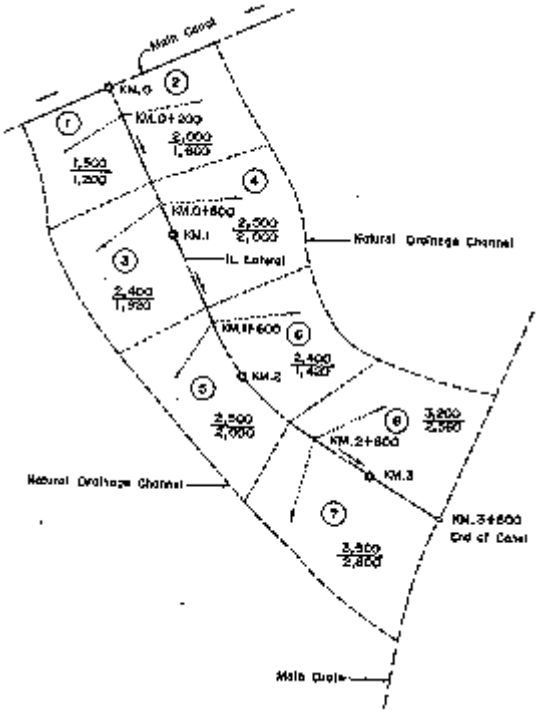
$$C = \frac{87}{1+\frac{m}{\sqrt{R}}} \quad \text{(หน่วยเมตริก)} \qquad (5.13)$$

ในเมื่อ m = ค่าแฟคเตอร์ความขรุขระ ซึ่งมีค่าต่างๆ กันตามลักษณะของผิวรางที่น้ำไหลผ่าน ซึ่ง Bazin ได้กำหนดไว้ตามตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 ค่าแฟคเตอร์ความขรุขระ (roughness factor, m)

ลักษณะของทางน้ำ	ค่า m	
	หน่วยอังกฤษ	หน่วยเมตริก
1. ทางน้ำผิวเรียบมาก เช่น ซีเมนต์, ไม้ผิวเรียบ	0.11	0.06
2. ทางน้ำผิวเรียบ เช่น ผิวไม้ทั่วไป, คอนกรีต, อิฐ, หินตัด	0.29	0.16
3. ผิวทำจากหินย่อย, อิฐหัก	0.83	0.46
4. รูปตัดคลองดินที่มีรูปร่างแน่นอน, หินหยาบโรยหน้า	1.54	0.85
5. คลองดินทั่วๆ ไป	2.35	1.30
6. คลองดินที่มีความขรุขระสูง	3.17	1.75

สูตรของBazin ได้จากการพัฒนาสูตรขึ้นมาโดยการรวบรวมจากร่องน้ำขนาดเล็กเสียโดยมาก จึงไม่ค่อยจะได้ผลดีในการใช้งานทั่วไป เหมือนอย่างสูตรของ Kutter หรือสูตรของ Manning



รูปที่ 5.2 พื้นที่ส่งน้ำของคลองซอย 1L

ตัวอย่างการคำนวณขนาดคลองส่งน้ำ

ตัวอย่างที่ 5.2 คลองซอย 1L (ตามรูปที่ 5.2) ยาว 3.500 กม. ควบคุมพื้นที่ซึ่งแบ่งออกเป็นแฉกส่งน้ำต่างๆ ดังรูป ให้คำนวณขนาดคลองซอยสายนี้ เมื่อกำหนดให้

พื้นที่ชลประทาน (irrigable area) = 80% ของพื้นที่ทั้งหมด

ค่าชลภาระ (water duty) = 0.00013 $ม^3$/วินาที/ไร่

S = 1 : 10,000

n = 0.0225

SS = $1 : 1\frac{1}{2}$

$V_o = 0.350\ d^{0.6}$

$\frac{V}{V_o}$ = 0.80 ถึง 1.10

วิธีคำนวณ ก่อนคำนวณขนาดคลองส่งน้ำจะต้องทำตารางแสดงจุดที่จะฝังท่อส่งน้ำเข้านา เลขที่ประจำแฉกส่งน้ำ ปริมาณน้ำที่จะส่งให้แฉกส่งน้ำ และปริมาณน้ำที่จะต้องส่งผ่านคลองในช่วงต่างๆ ดังต่อไปนี้

ระยะทาง (ก.ม.)		แฉกส่งน้ำ เลขที่		ค่าที่อ่านจาก เครื่องวัดพื้นที่ (Planimeter)				พื้นที่ของแฉกส่งน้ำ (ไร่)		ปริมาณน้ำ ประจำแฉก ($ม.^3$/วินาที)	ปริมาณน้ำ ที่จะต้องส่ง ($ม.^3$/วินาที)
จาก	ถึง	ขวา	ซ้าย	1	2	3	เฉลี่ย	ทั้งหมด	ชลประทาน		
0+000	0+200										2.080
		1						1,500	1,200	0.156	
0+200	0+800										1.716
			2					2,000	1,600	0.208	
		3						2,400	1,920	0.250	
0+800	1+600										1.206
			4					2,500	2,000	0.260	
		5						2,500	2,000	0.260	
1+600	2+600										0.697
			6					2,400	1,920	0.249	
		7						3,500	2,800	0.364	
2+600	3+500										0.000
			8					3,200	2,560	0.333	
	(ปลายคลอง)										
รวม								20,000	16,000	2.080	

รายละเอียดการคำนวณอัตราการไหลประจำแฉกส่งน้ำ

แฉก 1 ขวา	= 0.00013 × 1,200	=	0.156	ม.^{3}/วินาที
แฉก 2 ซ้าย	= 0.00013 × 1,600	=	0.208	ม.^{3}/วินาที
แฉก 3 ขวา	= 0.00013 × 1,920	=	0.250	ม.^{3}/วินาที
แฉก 4 ซ้าย	= 0.00013 × 2,000	=	0.260	ม.^{3}/วินาที
แฉก 5 ขวา	= 0.00013 × 2,000	=	0.260	ม.^{3}/วินาที
แฉก 6 ซ้าย	= 0.00013 × 1,920	=	0.250	ม.^{3}/วินาที
แฉก 7 ขวา	= 0.00013 × 2,800	=	0.364	ม.^{3}/วินาที
แฉก 8 ซ้าย	= 0.00013 × 2,560	=	0.333	ม.^{3}/วินาที
รวม	0.00013 × 16,000	=	2.080	ม.^{3}/วินาที

จากสูตรของ Manning

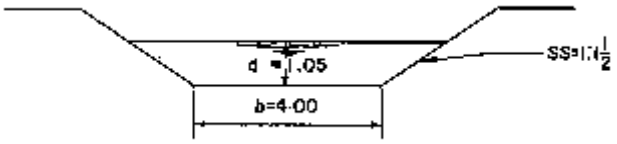
$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

$$= \left(\frac{1}{0.0025}\right)(R^{2/3})\left(\frac{1}{10000}\right)^{1/2}$$

$$= 0.444\, R^{2/3}$$

คำนวณขนาดหน้าตัดคลองของบริเวณรูปตัดที่ 1 จาก กม. 0+000 ถึง กม. 0+200

ปริมาณน้ำที่จะต้องส่ง = 2.080 ม.^{3}/วินาที



สมมติ b = 4.00 ม.

d = 1.05 ม.

A = (b + 1.50d) d

= [4.00 + (1.50 × 1.05)] 1.05

= 5.854 ม.^{2}

P = $b + d\sqrt{13}$

= 4.00 + (1.05 × 3.605)

= 7.785 ม.

R = $\frac{A}{P}$

= $\frac{5.85}{7.78}$

= 0.752 ม.

$R^{2/3}$ = 0.827

$S^{1/2}$ = $\sqrt{\frac{1}{1000}}$ = 0.01

∴ V = $\left(\frac{1}{0.0225}\right)(0.827)(0.01)$

= 0.367 ม./วินาที

จาก Q = AV

= 5.854 × 0.367

= 2.148 ม.^{3}/วินาที ใช้ได้

จาก V_o = $0.350(0.6)$

= $0.350(1.05)^{0.6}$

= 0.361 ม./วินาที

∴ $\frac{V}{V_o}$ = $\frac{0.36}{0.36}$

= 1.01 ใช้ได้

สำหรับ รูปตัดที่ 2 จาก กม. 0+200 ถึง กม. 0+800

รูปตัดที่ 3 จาก กม. 0+800 ถึง กม. 1+600

รูปตัดที่ 4 จาก กม. 1+600 ถึง กม. 3+500

คำนวณขนาดได้เช่นเดียวกัน ผลจากการคำนวณขนาดรูปตัดขวางของคลองซอยสายนี้ทั้งหมด เมื่อนำมาเขียนไว้ในตารางได้ดังต่อไปนี้

รูปตัดที่	กม. ถึง กม.	b (ม.)	d (ม.)	A (ม.)	P (ม.)	R (ม.)	$\sqrt{R}$	V (ม./วิ)	Q ($ม.^3$/วิ)	V_o (ม./วิ)	$\frac{V}{V_o}$
1	0+000 - 0+200	4.00	1.05	5.854	7.785	0.752	0.827	0.367	2.148	0.360	1.01
2	0+200 - 0+800	4.00	0.95	5.153	7.425	0.694	0.783	0.347	1.788	0.339	1.02
3	0+800 - 1+600	3.00	0.90	3.915	6.244	0.627	0.732	0.325	1.272	0.326	0.99
4	1+600 - 3+500	1.50	0.90	2.565	4.744	0.541	0.663	0.294	0.754	0.326	0.90

5.7.2 รูปตัดขวางของคลองส่งน้ำซึ่งจะส่งน้ำได้สะดวก

ในท้องถิ่นซึ่งไม่มีปัญหาเรื่องตะกอนในน้ำและการรั่วซึมของน้ำออกจากคลองมาบังคับการพิจารณาแล้ว ควรเลือกใช้ส่วนสัดของคลองส่งน้ำซึ่งจะส่งน้ำได้สะดวกหรือให้น้ำไหลได้สะดวกที่สุด

คลองส่งน้ำซึ่งมีเนื้อที่รูปตัดขวางที่น้ำไหลผ่าน (A) และลาดผิวน้ำในคลอง (S) เท่ากันนั้น สายใดที่มีความยาวเส้นขอบเปียก (wetted perimeter) สั้นที่สุดน้ำจะไหลในคลองสายนั้นได้สะดวกที่สุด เพราะพื้นคลองและลาดตลิ่งคลองที่เปียกน้ำซึ่งทำให้เกิดการเสียดทานหรือต้านทานการไหลของน้ำมีน้อยกว่า ความจริงดังกล่าวนี้จะเห็นได้จากสูตรของ Chezy คือ

จาก $V = C\sqrt{RS}$

หรือ $V = C\sqrt{\frac{AS}{P}}$

ถ้า P มีค่ามากความเสียดทานระหว่างน้ำกับพื้นคลองและลาดตลิ่งคลองจะมีมาก ทำให้ค่าของ V น้อยลง ในทางตรงกันข้ามถ้า P มีค่าน้อยลง ค่าของ V จะมากขึ้น เพราะฉะนั้นถ้าต้องการให้คลองสามารถส่งน้ำได้สะดวกที่สุดก็จะต้องออกแบบให้รูปตัดขวางของคลองมีส่วนเปียกน้ำน้อยที่สุดตามเกณฑ์ดังต่อไปนี้

$$d = \sqrt{\frac{A\sin\theta}{2-\cos\theta}} \qquad (5.14)$$

$$b = 2\,d\tan\frac{\theta}{2} \qquad (5.15)$$

$$R = \frac{d}{2} \qquad (5.16)$$

ในเมื่อ θ = มุมระหว่างเส้นลาดตลิ่งคลองกับเส้นราบระดับก้นคลอง

มุม θ นี้ไม่ได้กำหนดไว้ว่าจะต้องโตเท่าใด คงปล่อยไว้ให้ผู้ออกแบบกำหนดเอาเองให้เหมาะกับสภาพของเนื้อดิน

สำหรับดินที่มีความมั่นคงดีซึ่งสามารถจะขุดให้ลาดตลิ่งคลองชันเป็นมุมเท่าใดก็ได้นั้น เราอาจคำนวณได้ว่ามุม θ ซึ่งจะทำให้น้ำไหลได้สะดวกที่สุดนั้นเท่ากับ 60° (ลาดตลิ่งคลองเท่ากับ $\sqrt{3}:1$ หรือ $1.732:1$)

เพราะฉะนั้น

$$d = 0.760\sqrt{A} \quad (5.17)$$

$$b = 0.878\sqrt{A} \quad (5.18)$$

$$R = 0.380\sqrt{A} \quad (5.19)$$

5.7.3 รูปตัดขวางของคลองส่งน้ำซึ่งจะรั่วซึมได้น้อยที่สุด

ในกรณีที่เป็นคลองดินการรั่วซึมของน้ำ ออกจากคลองย่อมสัมพันธ์กับสิ่งต่อไปนี้คือ

(1) ลักษณะดินของตัวคลอง

ถ้าเป็นดินเนื้อแน่นจะรั่วซึมออกไปได้ยาก แต่ถ้าเป็นดินเนื้อโปร่งร่วนน้ำจะรั่วซึมออกไปได้มาก

(2) ระดับน้ำใต้ดิน

ถ้าระดับน้ำใต้ดินสูง คือขึ้นมาอยู่ใกล้ระดับผิวดิน น้ำจะรั่วซึมออกจากคลองน้อย เพราะน้ำใต้ดินจะหนุนไว้ไม่ให้น้ำในคลองรั่วซึมออกไปได้ง่าย แต่ถ้าระดับน้ำใต้ดินต่ำ คืออยู่ลึกลงไปจากระดับผิวดินมาก จะเกิดการรั่วซึมของน้ำออกจากคลองมาก

(3) ความยาวเส้นขอบเปียก (wetted perimeter, P)

ความยาวเส้นขอบเปียกของคลองถ้ายิ่งยาวการรั่วซึมของน้ำออกจากคลองยิ่งมีมาก เพราะส่วนของคลองที่เปียกน้ำจะมีมากนั่นเอง

(4) ความลึกของน้ำในคลอง (d)

น้ำยิ่งลึก การรั่วซึมของน้ำออกจากคลองยิ่งมีมาก เพราะมีแรงดันของน้ำมาก

จากหลักการดังกล่าวนี้เราอาจคำนวณได้ว่า คลองที่จะเกิดการรั่วซึมของน้ำออกจากคลองน้อยที่สุดจะมีส่วนสัดตามเกณฑ์ดังต่อไปนี้

$$d = \sqrt{\frac{A \sin\theta}{4 - 3\cos\theta}} \quad (5.20)$$

$$b = 4\, d \tan\frac{\theta}{2} \quad (5.21)$$

อย่างไรก็ตามกรณีเป็นคลองดาด ก็ไม่จำเป็นต้องนำเกณฑ์เหล่านี้มาพิจารณาประกอบการออกแบบ

5.8 ลาดตลิ่งคลอง (side slopes of canals)

ลาดตลิ่งคลอง (SS) นี้คำนวณไม่ได้ ต้องเลือกใช้ให้เหมาะสมกับ**สภาพของดิน**ที่จะขุดคลองหรือที่จะถมให้เป็นรูปคลอง กล่าวคือต้องพิจารณาถึงปัจจัยต่างๆ ดังต่อไปนี้

(1) ลักษณะเนื้อดิน (soil textures) ว่าดินที่คลองขุดผ่านนั้นเป็นดินเหนียว ดินธรรมดา ดินร่วน ดินปนทราย ดินปนกรวด ดินดาน ฯลฯ

(2) โครงสร้างของดิน (soil structures) ว่าเป็นดินเนื้อละเอียดแน่นหรือเนื้อโปร่งร่วน ฯลฯ

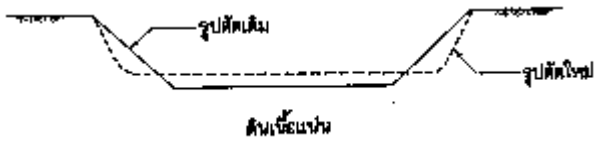
(3) ลักษณะของงานก่อสร้าง ว่าเป็นคลองที่ขุดในดินเดิมตามปกติ หรือเป็นคลองที่เกิดจากการถมดินให้เป็นรูปคลอง

(4) วิธีการขุดคลอง ใช้ขุดด้วยแรงคนหรือขุดด้วยเครื่องจักร

จุดประสงค์สำคัญของการเลือกใช้ลาดตลิ่งคลองให้เหมาะกับสภาพต่างๆ ดังกล่าวก็คือ เพื่อให้ลาดตลิ่งคลองสามารถต้านทานกระแสน้ำและทรงตัวอยู่ได้อย่างถาวร ดินลาดตลิ่งคลองจะตั้งอยู่ได้ชันเท่าใดนั้นยากที่จะกำหนดได้แน่นอน แต่ตามปกติลาดตลิ่งคลองจะชันกว่ามุมทรงตัวของดิน (angle of repose) หรือมุมเสียดทานภายใน (angle of internal friction) ของดินชนิดนั้นไม่ได้ และสำหรับดินชนิดเดียวกันมุมทรงตัวของลาดตลิ่งคลองในดินขุดจะโตกว่าในดินถม

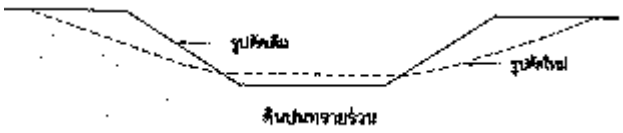
นอกจากลาดตลิ่งคลองจะพังทลายเพราะต้านทานกระแสน้ำไม่ได้หรือทรงตัวอยู่ไม่ได้แล้ว ยังอาจพังทลายเพราะสาเหตุอื่นอีกหลายอย่าง เป็นต้นว่าคลื่นในคลองที่เกิดจากลมและเรือ (ในกรณีที่ใช้คลองส่งน้ำสำหรับเดินเรือด้วย) จะเซาะลาดตลิ่งคลองบริเวณระดับผิวน้ำให้เป็นโพรงลึกเข้าไปในตลิ่ง ดินลาดตลิ่งข้างบนที่ไม่มีฐานรองรับก็จะเลื่อนพังลงมา หรือในขณะฝนตกหนักน้ำฝนจะไหลลงคลอง และกัดดินลาดตลิ่งคลองพัง หรือถูกคนและสัตว์เหยียบย่ำทำลาย ดังนั้นคลองที่ใช้งานไปนานปีลาดตลิ่งคลองจะเปลี่ยนไปและทำให้รูปตัดขวางของคลองที่ออกแบบไว้เปลี่ยนไปด้วย

สำหรับคลองดินที่ขุดในดินที่มีเนื้อดินค่อนข้างแน่น เมื่อใช้งานไปนานๆ รูปตัดขวางของคลองจะเปลี่ยนไปโดยมีลาดตลิ่งชันประมาณ $1:\frac{1}{2}$ (ด้านตั้ง : ด้านราบ) ก้นคลองตรงที่เส้นลาดตลิ่งตัดเส้นก้นคลองจะมน ไม่มีเหลี่ยมมุมเหลืออยู่เลย ดังรูปที่ 5.3



รูปที่ 5.3 การเปลี่ยนแปลงรูปตัดคลองดินที่มีเนื้อดินแน่น เมื่อเวลาผ่านไปนานๆ

ถ้าเป็นคลองที่ขุดในดินร่วนปนทรายและไม่มีต้นหญ้าบนลาดตลิ่งยึดเหนี่ยวดินไว้แล้ว ลาดตลิ่งคลองอาจจะพังราบลงไปเป็นลาด 1 : 2 หรือ 1 : 3 ได้ และยิ่งถูกคนและสัตว์เหยียบย่ำขึ้นลงด้วยแล้ว ลาดตลิ่งคลองจะยิ่งพังราบลงไปได้มากกว่านั้น ดังรูปที่ 5.4



รูปที่ 5.4 การเปลี่ยนแปลงรูปตัดคลองดินชนิดดินร่วนปนทราย

อย่างไรก็ดี การเลือกใช้ลาดตลิ่งคลองสำหรับทั้งชนิดคลองดินและคลองดาดให้เหมาะกับสภาพของดินก็พอจะกำหนดได้ดังต่อไปนี้ (ด้านตั้ง:ด้านราบ)

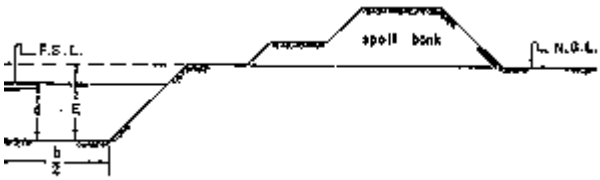
- สำหรับการขุดในพื้นดินดาน ใช้ลาด $1:\frac{1}{4}$
- สำหรับการขุดในพื้นหินแตกร้าวและดินดานแข็ง ใช้ลาด $1:\frac{1}{2}$
- สำหรับการขุดในพื้นกรวดแน่นและดินเหนียว ที่เกือบเป็นดินดาน ใช้ลาด $1:\frac{3}{4}$

- สำหรับการขุดในดินปนกรวดทรายแน่นและดินเหนียวธรรมดาค่อนข้างแห้ง ใช้ลาด $1:1$
- สำหรับการขุดหรือถมในดินธรรมดาและในดินที่มีกรวดปนอยู่บ้างไม่แน่นนัก ใช้ลาด $1:1\frac{1}{2}$
- สำหรับการขุดหรือถมในดินธรรมดาค่อนข้างร่วน ใช้ลาด 1 : 2
- สำหรับการขุดหรือถมในดินปนทรายค่อนข้างร่วน ใช้ลาด 1 : 3
- สำหรับการขุดในดินชายทะเล ใช้ลาด 1 : 4 ถึง 1 : 5

5.9 คันคลอง (embankments)

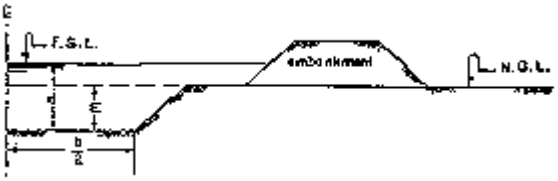
คันคลองคือคันดินซึ่งตั้งอยู่บนสองฝั่งคลองและมีแนวขนานไปกับแนวคลอง คันคลองมีลักษณะและหน้าที่ดังต่อไปนี้

(1) เป็นที่ทิ้งดินซึ่งขุดมาในเวลาขุดคลองโดยไม่ได้ทำหน้าที่อย่างใดเลย คันคลองชนิดนี้เรียกว่า **spoil banks** เช่น คันคลองในบริเวณที่ขุดคลองผ่านที่สูง ต้องขุดดินลึกและมีปริมาณดินมาก ระดับน้ำใช้การเต็มที่ในคลอง (F.S.L.) ต่ำกว่าระดับดินเดิมตามแนวคลอง (N.G.L.) **spoil banks** จึงเป็นคันดินขนาดใหญ่และบางทีอาจจะต้องถมสูงเป็น 2-3 ชั้น ดังรูปที่ 5.5



รูปที่ 5.5 คันคลองที่เกิดจากการทำเป็นที่ทิ้งดินซึ่งมาจากการขุดคลอง

(2) เป็นคันดินที่ทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้น้ำในคลองไหลออกไปจากคลองหรือไม่ให้น้ำภายนอกไหลเข้ามาในคลอง เว้นแต่ตรงที่ซึ่งต้องการส่งน้ำออกจากคลอง หรือรับน้ำภายนอกเข้าคลองก็จะสร้างอาคารส่งน้ำหรืออาคารรับน้ำไว้ที่คันคลองตรงจุดนั้น (ดูรูปที่ 5.6)



รูปที่ 5.6 คันคลองซึ่งทำหน้าที่ป้องกันน้ำไหลออกและเข้าสู่คลอง

สำหรับคันคลองที่ไม่ได้ทำหน้าที่เป็นคันกั้นน้ำ การกำหนดขนาดคันคลองไม่สู้จะมีปัญหานัก คงเพียงแต่คอยระวังให้ลาดข้างคันคลองหรือลาดตลิ่งคันคลองเหมาะกับดินที่ถมเท่านั้น เพื่อไม่ให้คันคลองพังลงคลองหรือทลายออกไปทับที่ดินข้างคลองได้ แต่คันคลองที่ทำหน้าที่เป็นคันกั้นน้ำการกำหนดขนาด การก่อสร้าง การบำรุงรักษาคันคลองเป็นเรื่องสำคัญที่จะต้องทำให้ถูกต้องและมั่นคงแข็งแรง เพราะถ้าคันคลองตอนใดขาดจะกระทบกระเทือนการส่งน้ำในช่วงคลองที่อยู่ถัดจากช่องขาดลงไป และน้ำที่ไหลออกจากคลองทางช่องขาดจะทำความเสียหายแก่พื้นที่เพาะปลูกที่อยู่ใกล้เคียงกับช่องขาดได้มาก

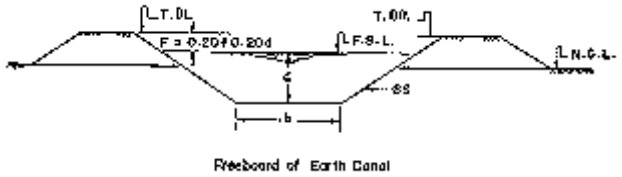
ส่วนสัดของคันคลองที่ทำหน้าที่เป็นคันกั้นน้ำซึ่งจะต้องพิจารณามี 3 อย่างคือ

- ลาดตลิ่งคันคลอง
- ระดับหลังคันคลอง
- ความกว้างของหลังคันคลอง

- **ลาดตลิ่งคันคลอง (side slopes of embankments)**

การพิจารณาลาดตลิ่งคันคลองคงใช้หลักในการพิจารณาเช่นเดียวกับที่ได้กล่าวมาแล้วในเรื่องลาดตลิ่งคลอง

- **ระดับหลังคันคลอง (top of banks, T.B., T.BR., T.BL.)**



รูปที่ 5.7 ความสูงเผื่อล้นของคลองส่งน้ำประเภทคลองดิน

ระยะหรือความสูงจากระดับน้ำใช้การเต็มที่ในคลอง (F.S.L.) ถึงระดับหลังคันคลอง (T.B.) เรียกว่าความสูงเผื่อล้น (**freeboard** = F) ของคลอง (ดูรูปที่ 5.7) ในการออกแบบคลองจะต้องกำหนดความสูงเผื่อล้นให้สูงพอที่น้ำจะไม่ล้นข้ามหลังคันคลองในขณะที่ระดับน้ำในคลองสูงกว่าระดับน้ำใช้การเต็มที่ผิดปกติอย่างรวดเร็ว ซึ่งอาจเกิดขึ้นจากสาเหตุต่างๆ เช่น จากการอัดน้ำด้วยประตูระบายทดน้ำกลางคลอง การไม่ระมัดระวังในการเปิดประตูระบายน้ำในคลอง เกิดอุบัติเหตุในขณะส่งน้ำเข้าคลองเต็มที่ อิทธิพลของคลื่นในคลอง การเลื่อนพังของตลิ่งคลอง เกิดฝนตกหนักมีน้ำไหลเข้ามาในคลองมาก ฯลฯ เหล่านี้เป็นต้น

ตามปกติความสูงเผื่อล้นของคลองที่ขุดในดินเท่าที่เคยใช้กันมีดังต่อไปนี้

สำหรับคูน้ำขนาดเล็ก ใช้ F = 0.30 เมตร

สำหรับคลองซอยขนาดเล็ก ใช้ F = 0.50 เมตร

สำหรับคลองซอยขนาดกลาง ใช้ F = 0.30+0.25 d

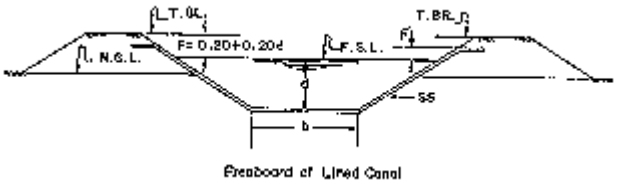
คลองของโครงการเจ้าพระยา ใช้ F = 0.20+0.20 d

ในเมื่อ d = ความลึกของน้ำในคลองเป็นเมตร

สำหรับคลองสายใหญ่ ใช้ F = 1.50–2.00 เมตร

ในการถมดินคันคลองจะต้องเผื่อการทรุดตัวของดินไว้ด้วยประมาณ 20% ของความสูงของดินถม เพราะเมื่อดินทรุดตัวจนแน่นดีแล้วจะได้ระดับหลังคันคลองหรือได้ความสูงเผื่อล้นตามต้องการ

สำหรับคลองที่มีเปลือกหรือคลองดาด (lined canal) คงมีความสูงเผื่อล้นของคลองดินธรรมดา (earth canal) ที่มีขนาดเดียวกัน แต่ไม่จำเป็นต้องทำเปลือกคลองให้สูงถึงระดับหลังคันคลอง (ดูรูปที่ 5.8) ระยะจากระดับน้ำใช้การเต็มที่ถึงระดับยอดเปลือกคลองขึ้นอยู่กับขนาดรูปตัดขวางของคลองที่น้ำไหลผ่าน เช่น คูน้ำขนาดเล็กใช้ 0.075 เมตร ก็พอ แต่สำหรับคลองส่งน้ำอาจต้องใช้ตั้งแต่ 0.15 เมตร จนถึง 0.60 เมตร



รูปที่ 5.8 ความสูงเผื่อล้นของคลองที่มีเปลือกหรือคลองดาด

- **ความกว้างของหลังคันคลอง (top width of embankment = W)**

ถ้าระดับน้ำใช้การเต็มที่สูงกว่าระดับดินเดิมตามแนวคลองเล็กน้อยเช่น ประมาณ 0.10–0.30 เมตร ความกว้างของหลังคันคลองเท่าที่เคยใช้กันมีดังต่อไปนี้

สำหรับคลองซอยขนาดเล็ก ใช้ W = 2.00 เมตร

สำหรับคลองซอยขนาดใหญ่ ใช้ W = 2.00 – 4.00 เมตร

สำหรับคลองสายใหญ่ ใช้ W = 4.00 – 6.00 เมตร

อย่างไรก็ดี เราอาจต้องพิจารณาความกว้างของหลังคันคลองเป็นพิเศษตามความประสงค์ของการใช้งานด้วย คือ

(1) คันคลองที่ไม่ได้ใช้เป็นถนน (non-operating banks)

ก. ก้นคลองกว้างน้อยกว่า 10.00 เมตร (b < 10.00 เมตร)

$$W = \frac{b}{2}$$ แต่ไม่น้อยกว่า 0.50 เมตร

ความกว้างของหลังคันคลองจะลดตามความกว้างของก้นคลองที่ลดลงตามลำดับจากต้นคลองถึงปลายคลอง แต่การลดความกว้างของหลังคันคลองให้ลดลงครั้งละ 0.50 เมตร เป็นอย่างน้อย

ข. ก้นคลองกว้างตั้งแต่ 10.00 เมตร ขึ้นไป

W_{min} = 5.00 เมตร

(2) คันคลองที่ใช้เป็นถนน (operating roads)

ก. ก้นคลองกว้างน้อยกว่า 4.00 เมตร (b < 4.00 เมตร)

W_{min} = 5.00 เมตร หรือ

= 2.00 เมตร แต่ต้องมีทางเดินเผื่อไว้กว้าง 5.00 เมตร ระหว่างปลายลาดตลิ่งคันคลองกับแนวเขตคลอง

ข. ก้นคลองกว้างตั้งแต่ 4.00 เมตร ขึ้นไป

W_{min} = 5.00 เมตร

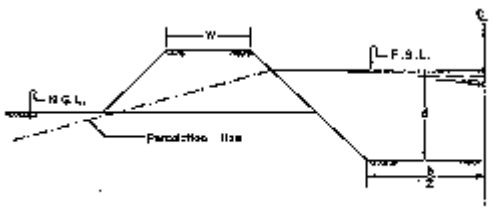
(3) คันคลองที่ใช้เป็นทางหลวง (double-lane highways)

W_{min} = 10.00 เมตร หรือ

= 5.00 เมตร แต่ต้องเผื่อเขตคลองไว้ให้ขยายความกว้างคันคลองเป็น 10.00 เมตร ได้ในภายหน้า

(4) คันคลองที่กั้นน้ำสูง

คันคลองต้องแข็งแรงพอที่จะต้านทานแรงดันของน้ำได้ และต้องกว้างพอที่จะป้องกันไม่ให้เส้นน้ำซึม (percolation line) ทะลุออกมาที่ชายลาดตลิ่งคันคลองเหนือระดับพื้นดินเดิมได้ (ดูรูปที่ 5.9) หรือไม่ให้น้ำไหลซึมลอดใต้คันคลองได้แรงจนกัดพาเม็ดดินหลุดออกไป ในกรณีนี้จะต้องพิจารณาความกว้างของหลังคันคลองจากเส้นน้ำซึม (percolation line) หรือเส้นลาดชลศาสตร์ (hydraulic gradient line) ซึ่งจะเริ่มเกิดขึ้นที่ขอบผิวน้ำในคลอง ตามปกติดินเนื้อแน่นจะมีลาดชลศาสตร์ประมาณ 1 : 1 ถ้าดินโปร่งร่วนจะมีค่าความลาดชลศาสตร์ประมาณ 1 : 10



รูปที่ 5.9 คันคลองทำหน้าที่กั้นน้ำ

(5) คันคลองที่ผ่านที่ลุ่มลึกหรือชายลาดเขา

ในกรณีนี้คันคลองจะทำหน้าที่คล้ายทำนบดิน จึงต้องออกแบบเป็นพิเศษดังรูปที่ 5.10 (ก) และ (ข)

(ก) รูปตัดขวางของคลองส่งน้ำที่อัดดินลาดตลิ่งคลองแน่น
(ระดับดินเดิมต่ำกว่าระดับก้นคลอง)

(ข) รูปตัดขวางของคลองส่งน้ำผ่านลาดเขา

รูปที่ 5.10 คลองผ่านที่ลุ่มหรือลาดชายเขา

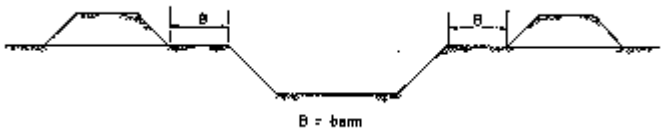
(6) คันคลองที่ใช้เป็นคันกั้นน้ำ (flood protective dikes)

ความกว้างของคันคลองชนิดนี้ อย่างน้อยควรมีค่าเท่ากับ 5.00 เมตร (W_{min} = 5.0 เมตร) คันคลองชนิดนี้ถึงแม้ว่าจะได้ทำไว้ถูกต้องตามขนาดที่ออกแบบไว้ แต่ก็ไม่สามารถรักษาขนาดของมันไว้ได้ตลอดไป มักจะชำรุดทรุดโทรมด้วยสาเหตุนานาประการ เช่น ถูกน้ำฝนชะล้างให้เล็กและต่ำลง ถูกคนและสัตว์เหยียบย่ำ และทรุดตัวเอง ดังนั้นในเวลาก่อสร้างหรือถมดินคันคลองจึงต้องคิดเผื่อไว้ด้วย

คันคลองควรสร้างให้ได้แนว ขนาด และระดับตามแบบ ความขรุขระของดินบนหลังคันคลองจะทำให้คันคลองชำรุดได้มากขึ้น ควรปราบหลังคันคลองให้เรียบและบดอัดดินให้แน่น ทำขอบคันคลองด้านริมคลองให้สูงและลาดออกไปยังอีกขอบหนึ่งประมาณ 2% เมื่อฝนตกน้ำฝนจะไม่ไหลลงคลอง แต่จะไหลเทออกไปทางด้านนอก บนหลังคันคลองและลาดตลิ่งคันคลองควรปลูกหญ้าไว้เพื่อช่วยยึดดินไม่ให้ถูกน้ำฝนชะล้างพังทลายไป และไม่ปล่อยให้ต้นไม้ใหญ่ขึ้นบนคันคลอง เพราะจะทำให้คันคลองและตัวคลองพังง่ายและไม่สะดวกแก่การบำรุงรักษาด้วย

5.10 ชานคลอง (berms)

ชานคลองคือระยะจากขอบตลิ่งคลองถึงชายลาดตลิ่งคันคลองด้านริมคลองดังแสดงไว้ตามรูปที่ 5.11



รูปที่ 5.11 ชานคลองส่งน้ำ

ชานคลองมีประโยชน์คือ

(1) ชานคลองช่วยไม่ให้ตลิ่งคลองพังง่าย เพราะตามปกติดินลาดตลิ่งคลองจะชุ่มน้ำและพังทลายง่ายอยู่แล้ว ถ้าคันคลองตั้งอยู่บนตลิ่งหรือใกล้ตลิ่งคลองมาก น้ำหนักของดินคันคลองจะกดทับดินลาดตลิ่งคลอง ทำให้ตลิ่งคลองพังง่ายขึ้น ชานคลองจึงเป็นระยะที่เว้นเพื่อให้คันคลองตั้งห่างออกไปจากแนวขอบตลิ่งคลอง

(2) ชานคลองช่วยรับดินคันคลองที่ถูกฝนชะไม่ให้ไหลลงคลอง โดยจะติดอยู่บนชานคลองนี้ก่อน คลองจะไม่ตื้นเขิน

(3) ในกรณีที่ต้องขุดคลองลึกมาก ถ้าได้ตัดดินตลิ่งคลองให้เป็นชานคลองไว้ชั้นหนึ่งแล้วจึงต่อลาดตลิ่งคลองขึ้นไปใหม่จนถึงขอบตลิ่งคลอง จะช่วยให้ตลิ่งคลองทรงตัวดีขึ้น ไม่เลื่อนพังลงมาได้ง่าย

(4) ชานคลองเป็นทางเดินที่เครื่องจักรเครื่องมือต่างๆ เช่น รถขุด เครื่องมือทำเปลือกคลอง รถตัดหญ้า ฯลฯ จะทำงานได้สะดวกในเวลาก่อสร้าง ขุดลอกคลอง บำรุงรักษาหรือซ่อมแซมคลอง

(5) ถ้าคันคลองสูงมากและชานคลองกว้างพอ เราอาจจะสร้างถนนไว้บนชานคลองแทนการสร้างไว้บนหลังคันคลองก็ได้

ชานคลองนี้จะให้กว้างเท่ากันตลอดจากต้นคลองถึงปลายคลองไม่ได้ เพราะจะทำให้แนวศูนย์กลางของคันคลองไม่เป็นเส้นตรง ดังนั้น ความกว้างของชานคลองของคลองสายหนึ่งจึงเปลี่ยนไปต่างๆ กันตลอดทาง คือบางช่วงก็กว้าง บางช่วงก็แคบ

ความกว้างของชานคลอง จะสัมพันธ์กับความลึกของดินขุดคลอง (depth of cut = E) เพื่อรักษาแนวศูนย์กลางของคันคลองให้เป็นเส้นตรง

ถ้ากำหนดให้ 1 : x = ลาดตลิ่งคลอง

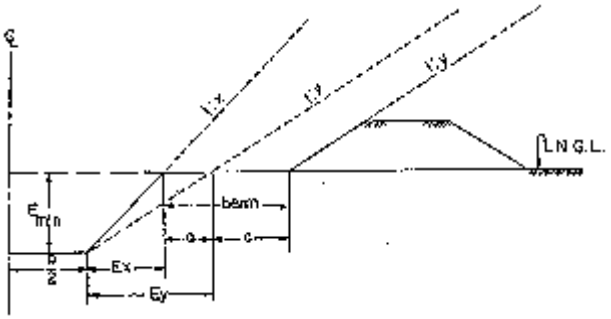
1 : y = ลาดตลิ่งคันคลอง

E = ความลึกของดินขุดคลอง

c = ค่าคงที่ซึ่งโดยปกติจะเท่ากับความกว้างที่เครื่องจักรเครื่องมือเช่น รถขุดจะเดินได้สะดวก

a = ส่วนที่จะต้องเพิ่มหรือตัดออก

(1) ในกรณีลาดตลิ่งคลองชันกว่าลาดตลิ่งคันคลอง



รูปที่ 5.12 ชานคลองกรณีลาดตลิ่งคลองชันกว่าลาดคันคลอง

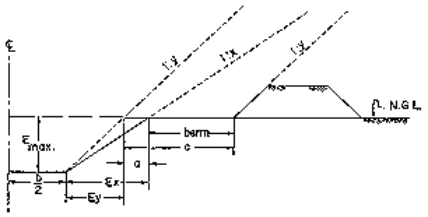
ความกว้างของชานคลองที่สั้นที่สุด = c + a

a = Ey – Ex

= E(y - x)

E คิดจากความลึกของดินขุดที่น้อยที่สุดในช่วงนั้น (คือ E_{min})

(2) ในกรณีลาดตลิ่งคันคลองชันกว่าลาดตลิ่งคลอง



รูปที่ 5.13 ชานคลองกรณีลาดตลิ่งคันคลองชันกว่าลาดตลิ่งคลอง

ความกว้างของชานคลองที่สั้นที่สุด = c – a

a = Ex – Ey

= E(x - y)

E คิดจากความลึกของดินขุดที่มากที่สุดในช่วงนั้น (คือ E_{max})

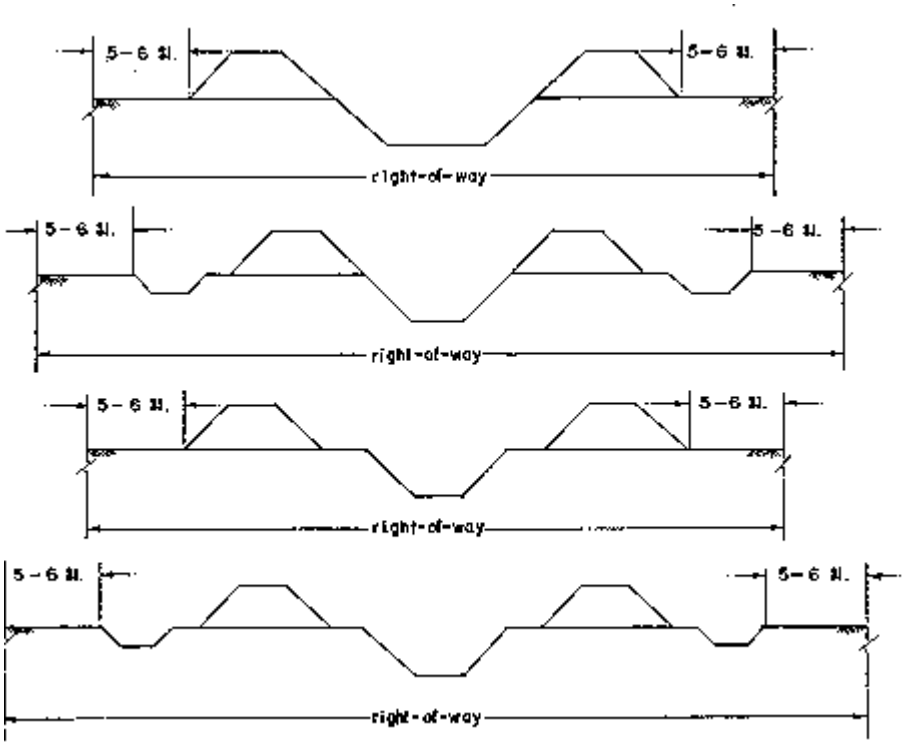
ตามปกติระดับพื้นดินบนชานคลองจะปล่อยไว้ในสภาพเดิมตามธรรมชาติ ไม่จำเป็นต้องถมและตัดดินให้เป็นลาดอย่างเดียวกันกับลาดตามยาวของคลอง แต่ควรตกแต่งให้เรียบร้อยพอสมควร ถ้าเป็นคลองที่มีการดาด (lined canals) ควรทำชานคลองให้แน่น ไม่ให้น้ำรั่วไหลลงไปขังอยู่ทางด้านหลังของเปลือกคลอง เพราะจะทำให้เปลือกคลองแตกชำรุดเสียหาย ชานคลองนี้ควรได้รับการดูแลรักษาให้อยู่ในสภาพที่ดีเสมอ ไม่ปล่อยให้มีต้นไม้ใหญ่ขึ้นบนชานคลอง แต่ควรปลูกหญ้าไว้ซึ่งจะช่วยป้องกันดินชานคลองไม่ให้ถูกฝนชะล้างไปได้ง่าย

5.11 เขตคลอง (right-of-way, boundary width)

เขตคลองคือเขตที่ดินซึ่งจะต้องซื้อหรือสงวนไว้เพื่อก่อสร้าง บำรุงรักษา และซ่อมแซมคลองส่งน้ำและคันคลอง

ได้กล่าวแล้วว่าคลองส่งน้ำและคันคลองชำรุดทรุดโทรมได้ง่ายมาก จึงต้องคอยซ่อมแซมอยู่เสมอ เช่น เมื่อคลองตื้นก็ต้องขุดลอก ถ้าคันคลองทรุดหรือมีขนาดเล็กลงก็ต้องถมดินเสริมหรือขยายขึ้น ดังนั้นในเวลาออกแบบคลองส่งน้ำจึงต้องพิจารณาหาที่ทิ้งดินเวลาขุดลอกคลองและที่ขุดบ่อยืมดิน (borrow pits) เพื่อเอาดินมาเสริมเวลาซ่อมคันคลองเอาไว้ล่วงหน้า เพราะต่อไปเมื่อมีคลองส่งน้ำแล้วที่ดินสองฝั่งคลองจะมีราคาสูงมากและหาซื้อยากด้วย

แนวเขตคลองควรกำหนดให้อยู่ห่างจากชายลาดตลิ่งคันคลองหรือแนวปากบ่อยืมดิน (แล้วแต่กรณี) ประมาณข้างละ 5.00 – 6.00 เมตร ดังรูปที่ 5.14 เขตที่เผื่อไว้ 5.00–6.00 เมตร นี้อาจใช้เป็นแนวทางเดินของสัตว์พาหนะและเกวียนจะได้ไม่ขึ้นมาเดินบนหลังคันคลอง ซึ่งจะทำให้คันคลองชำรุดเสียหายได้มากอย่างรวดเร็ว



รูปที่ 5.14 เขตคลองส่งน้ำ (right-of-way)

5.12 หลักการพิจารณาทั่วไปในการออกแบบคลองส่งน้ำ

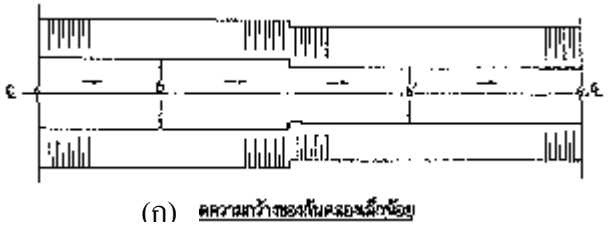
นอกจากการพิจารณาส่วนสัดสำคัญ 5 ประการของคลองส่งน้ำดังกล่าวแล้ว ยังมีด้านอื่นๆ ซึ่งควรจะนำมาพิจารณาประกอบการออกแบบอีกดังต่อไปนี้

5.12.1 การเปลี่ยนขนาดและรูปคลอง

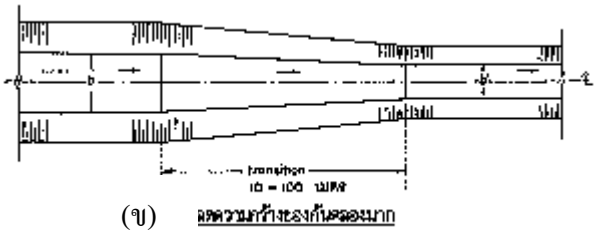
ก. การเปลี่ยนขนาดคลอง

(1) เปลี่ยนความกว้างของก้นคลอง (b) แต่ความลึกของน้ำในคลอง (d) ยังคงเท่าเดิม

ถ้าเป็นการลดความกว้างของก้นคลองลงจากเดิมเพียงเล็กน้อย เช่น 0.20–0.40 เมตร (ลดความกว้างของก้นคลองลงข้างละ 0.10 – 0.20 เมตร) ก็เปลี่ยนได้ทันที (ดูรูปที่ 5.15 (ก)) แต่ถ้าลดลงมากจะต้องทำช่วงเปลี่ยนขนาด (transition) โดยค่อยๆ ลดความกว้างของก้นคลองทีละน้อยภายในช่วง 10–100 เมตร ของช่วงเปลี่ยนขนาดนั้น จนกว่าจะได้ความกว้างของก้นคลองใหม่ที่ต้องการเพื่อไม่ให้มีแง่มุมกีดขวางการไหลของน้ำ (ดูรูปที่ 5.15 (ข))



(ก) ความกว้างของก้นคลองเล็กน้อย

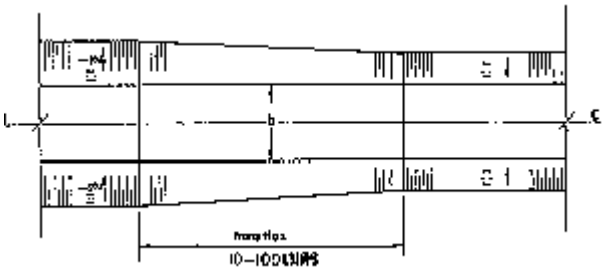


(ข) ความกว้างของก้นคลองมาก

รูปที่ 5.15 การเปลี่ยนขนาดคลองส่งน้ำ

(2) เปลี่ยนลาดตลิ่งคลอง (SS)

ถ้าลักษณะดินตามแนวคลองเปลี่ยนไปจะต้องเปลี่ยนลาดตลิ่งคลองให้เหมาะกับลักษณะดิน โดยทำช่วงเปลี่ยนแปลงขนาด (transition) แล้วค่อยๆ เปลี่ยนลาดตลิ่งคลองไปทีละน้อย ภายใน ช่วง 10 – 100 เมตร ของช่วงเปลี่ยนแปลงขนาดนั้น จนกว่าจะได้ลาดตลิ่งใหม่ที่ต้องการ



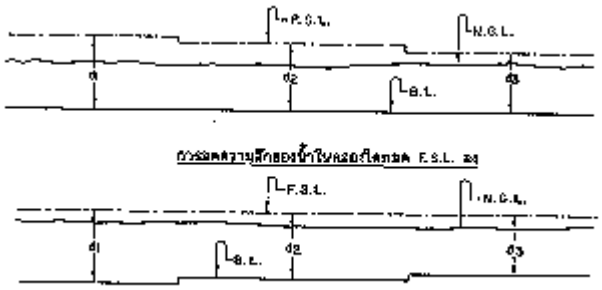
รูปที่ 5.16 การเปลี่ยนลาดตลิ่งคลอง

(3) เปลี่ยนความลึกของน้ำในคลอง (d)

ตามปกติในการออกแบบคลองส่งน้ำ เราพยายามให้เส้นลาดก้นคลองเป็นลาดเส้นเดียวตลอดคลอง ดังนั้นเมื่อจะลดความลึกของน้ำในคลองก็จะต้องลดระดับน้ำใช้การเต็มที่ (F.S.L.) ลงมา ในกรณีที่ลด F.S.L. ลงเพียงเล็กน้อยจะปล่อยให้ F.S.L. ลดลงเองโดยไม่มีอาคารบังคับน้ำ แต่ถ้าลด F.S.L. ลงมากจะต้องมีอาคารบังคับน้ำ เช่น ประตูระบายทดน้ำกลางคลอง น้ำตก รางเท ฯลฯ สร้างไว้ตรงจุดที่ต้องการลด F.S.L. นั้น

การลดความลึกของน้ำในคลองอาจทำได้อีกวิธีหนึ่ง คือยกระดับก้นคลองขึ้นตรงบริเวณที่ต้องการลดความลึกของน้ำในคลองแทนการลด F.S.L. ลงมา แต่วิธีนี้ไม่ค่อยดีนัก เพราะถ้ายกระดับก้นคลองมากตะกอนในน้ำจะมาติดอยู่ที่แง่ก้นคลองที่ยกขึ้น ทำให้คลองช่วงเหนือบริเวณที่ยกระดับก้นคลองตื้นเขิน และกระทบกระเทือนการไหลของน้ำ น้ำที่ไหลผ่านบริเวณนี้จะไม่สม่ำเสมอ (uniform flow) อาจกัดคลองพังเสียหายได้

(ก) การลดความลึกของน้ำในคลองโดยลด F.S.L. ลง

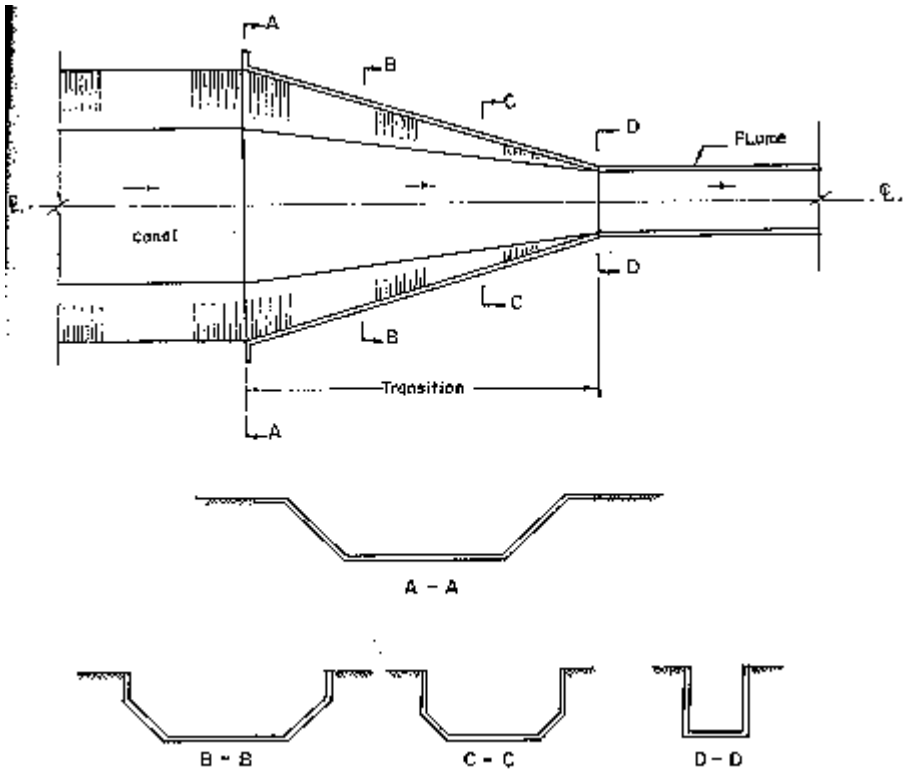


(ข) การลดความลึกของน้ำในคลองโดยยกระดับก้นคลองขึ้น

รูปที่ 5.17 การเปลี่ยนความลึกของน้ำในคลอง

ข. การเปลี่ยนรูปคลอง

การเปลี่ยนรูปคลองหมายถึงการเปลี่ยนรูปตัดขวางของคลองจากรูปสี่เหลี่ยมคางหมูตามปกติเป็นรูปสี่เหลี่ยมมุมฉากหรือครึ่งวงกลม เช่น ตอนที่ขุดคลองผ่านดินแข็งหรือหิน หรือตอนที่คลองจะต่อกับท่อเชื่อม (Siphon) และรางน้ำ (flume) ในกรณีนี้จะต้องออกแบบรูปตัดขวางของคลองเป็นพิเศษ โดยมีช่วงเปลี่ยนแปลงขนาดแล้วให้คลองเปลี่ยนรูปไปทีละน้อยภายในช่วงของช่วงเปลี่ยนแปลงขนาดจนกว่าจะกลายเป็นรูปใหม่ที่ต้องการ จะทำให้น้ำไหลสะดวก



รูปที่ 5.18 การเปลี่ยนรูปคลอง

5.12.2 รัศมีแนวคลองตอนโค้ง

น้ำในคลองมักจะกัดตลิ่งคลองด้านท้องคุ้งของคลองตอนโค้ง เพราะฉะนั้นแนวคลองตอนโค้งควรจะมีรัศมีของโค้งยาวเพื่อทำให้โค้งของคลองกว้างจะลดการกัดตลิ่งคลองลงได้ ความยาวรัศมีแนวคลองตอนโค้งนี้จะเปลี่ยนไปต่างๆ กันแล้วแต่ว่าแนวคลองจะหักเลี้ยวมากหรือน้อย ถ้าแนวคลองหักน้อยจะใช้รัศมีสั้นก็ได้ แต่ไม่ควรให้สั้นกว่า 100 เมตร ถ้าแนวคลองหักมากจะต้องใช้รัศมีค่อนข้างยาว เช่น 500-1,000 เมตร

5.12.3 ความหนาของคอนกรีตที่ดาดคลอง ใช้ตัวเลขความหนาที่มีความสัมพันธ์กับอัตราการไหลในคลองส่งน้ำ ดังนี้

อัตราการไหล (ม.^{3}/วินาที)	ความหนาของคอนกรีตล้วน (ซม.)
0-2.50	5.0
2.50-5.0	6.0
5.0-15.0	7.0
15.0-40.0	8.0
40.0-100.0	9.0
มากกว่า 100.0	10.0

ในกรณีที่ใช้การดาดเป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก กำหนดความหนาสัมพันธ์กับอัตราการไหลในคลองดังนี้

อัตราการไหล (ม.^{3}/วินาที)	ความหนาของคอนกรีตล้วน (ซม.)
0-14.0	9.0
14.0-55.0	10.0
มากกว่า 55.0	11.50

5.12 เอกสารอ้างอิง

ปฏิภาณ อมาตยกุล. ม.ป.ป. เอกสารประกอบการสอนวิชาการออกแบบอาคารชลประทานในระบบส่งน้ำ. ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน

อรุณ อินทรปาลิต. ม.ป.ป. เอกสารประกอบการสอนวิชาการวางแผนและออกแบบระบบการส่งน้ำ. ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน

B.C. Punmia and Pande B.B. Lal. 1975. Irrigation and Water Power Engineering, Third Edition. Standard Publishers Distributors, 1705-B, Nai Sarak, Delhi.

H.W. King et.al. 1948. Hydraulics, Fifth Edition. John Wiley & Sons, Inc.

Melvyn Kay. 1998. Practical Hydraulics. E & FN Spon, an Imprint of Routledge 11 Fetter Lane, London EC4P4EE.

Ray K. Linsley and Joseph B. Franzini. 1979. Water Resource Engineering, Third Edition. McGraw-hill Kogakusha, Ltd.

Ranald V. Giles. 1976. Fluid Mechanics and Hydraulics. Schaum's Outline Series Theory and Problems. McGraw-hill Book Company.

5.13 แบบฝึกหัด

1. จงอธิบายถึงหลักการวางแนวคลองส่งน้ำในแต่ละประเภทมาพอสังเขป
2. จงระบุถึงสาเหตุที่อาจทำให้คลองส่งน้ำใช้ประโยชน์ได้ไม่เต็มที่และอายุการใช้งานสั้นกว่าที่ควรจะเป็น
3. จงอธิบายถึงหลักเกณฑ์การออกแบบคลองส่งน้ำว่าจำเป็นต้องพิจารณาในด้านใดบ้าง
4. ลักษณะวิธีการส่งน้ำมีผลหรือไม่ต่อการออกแบบคลองส่งน้ำ ถ้ามีจงอธิบายถึงผลนั้นๆ ว่าเป็นอย่างไร
5. การจะพิจารณาเลือกออกแบบชนิดของคลองว่าเป็นคลองดินหรือคลองดาดนั้นจะต้องนำปัจจัยอะไรมาพิจารณาประกอบบ้าง จงอธิบายเป็นข้อๆ
6. ทำไมจึงต้องมีการเปลี่ยนขนาดคลอง และมีหลักการเปลี่ยนขนาดคลองอย่างไรบ้าง
7. ในการขุดคลองนั้นจำเป็นต้องทำชานคลองเสมอไปหรือไม่ มีวิธีการพิจารณาอย่างไรว่าเมื่อใดจำเป็นต้องมีชานคลอง และเมื่อใดไม่จำเป็นต้องมีชานคลอง
8. รูปตัดคลองส่งน้ำที่เหมาะสมที่สุดควรมีรูปอย่างไร เพราะอะไร

บทที่ 6 อาคารในคลอง
(Canal Structures)

6.1 อาคารในคลองส่งน้ำ (canal structures)

การขุดคลองส่งน้ำจากแม่น้ำหรือจากหัวงานเข้าไปในเขตโครงการชลประทานอาจพบอุปสรรคต่างๆ เป็นต้นว่าคลองต้องผ่านลำน้ำธรรมชาติ ห้วย ทางระบายน้ำ ที่ลุ่มลึก ถนน ทางรถไฟ แผ่นดินที่เปลี่ยนระดับลดต่ำลงมากหรือคลองต้องไต่เลาะไปตามชายลาดเขาที่ค่อนข้างชัน ในบริเวณดังกล่าวนี้จะต้องสร้างอาคารส่งน้ำ (water conveyance structures) หรืออาคารบังคับน้ำ (water control structures) เพื่อรักษาระดับน้ำใช้การเต็มที่ในคลองส่งน้ำ (F.S.L.) ไว้ให้ได้ตามต้องการ

ตามปกติคลองสายใหญ่ของโครงการชลประทานในทุ่งราบชายเขาสองฟากแม่น้ำจะไต่เลาะไปตามชายเขาซึ่งพื้นดินจะลาดเทค่อนข้างชันลงสู่แนวแม่น้ำ ด้วยเหตุนี้แนวคลองสายใหญ่เกือบขนานกับเส้น contours ดังนั้นแนวคลองสายใหญ่จึงมักจะตัดผ่านลำห้วยที่ไหลมาตามช่องเขาลงสู่แม่น้ำได้บ่อยๆ ส่วนคลองซอยซึ่งอยู่บนสันเนินย่อยหรือพูที่ยื่นออกมาจากชายเขาจะมีแนวคลองไปทางเดียวกับลำน้ำลำห้วย จึงไม่ค่อยจะตัดผ่านกัน แต่แนวคลองซอยมักจะผ่านบริเวณที่ระดับแผ่นดินลดต่ำลงมากได้เสมอ

ในทุ่งราบกว้างใหญ่ การตัดผ่านลำน้ำลำห้วยของคลองส่งน้ำจะไม่เป็นไปตามที่กล่าวมาแล้ว ทั้งคลองสายใหญ่และคลองซอยจะมีโอกาสตัดลำน้ำลำห้วยได้เสมอ แต่ระดับแผ่นดินตามแนวคลองจะไม่เปลี่ยนแปลงลดต่ำลงมากนัก

ตรงที่ซึ่งคลองส่งน้ำตัดผ่านลำน้ำธรรมชาติหรือที่ลุ่มลึก จะต้องสร้างอาคารส่งน้ำไว้เป็นพิเศษ ซึ่งจะสร้างได้เป็น 3 ชนิดคือ

(1) รางน้ำ (flumes, aqueducts)

(2) ท่อเชื่อม (siphons)

(3) ประตูระบายน้ำหรือท่อระบายรับน้ำป่า (inlets)

การเลือกใช้อาคารชนิดใดนั้นต้องพิจารณาจากสิ่งต่างๆ ดังต่อไปนี้

- ความแตกต่างของระดับน้ำใช้การเต็มที่ในคลองส่งน้ำ (F.S.L.) กับระดับน้ำนองสูงสุดในลำน้ำธรรมชาติ

- ความแตกต่างของระดับท้องคลองส่งน้ำกับระดับท้องน้ำของลำน้ำธรรมชาติ
- ปริมาณน้ำมากที่สุดของคลองส่งน้ำและของลำน้ำธรรมชาติ
- ความไม่แน่นอนของปริมาณน้ำนองของลำน้ำธรรมชาติ
- ความปลอดภัยต่างๆ
- ความสะดวกในการควบคุม
- ราคาค่าก่อสร้าง

ตามปกติ การสร้างรางน้ำ ท่อเชื่อม หรือประตูระบายรับน้ำให้ลำน้ำธรรมชาติไหลข้ามไหลลอด หรือไหลเข้ามาในคลองส่งน้ำมักจะไม่ค่อยทำกัน จะทำก็ต่อเมื่อ

(1) ลำน้ำธรรมชาติมีขนาดเล็กและมีปริมาณน้ำน้อย

(2) ไม่มีกรวดทรายหรือสิ่งสกปรกไหลมากับน้ำมาก

(3) ใช้คลองส่งน้ำเป็นคลองเดินเรือด้วย

การรับน้ำจากลำน้ำธรรมชาติเข้าคลองอาจมีประโยชน์ในขณะที่เรายังส่งน้ำเข้าคลองไม่เต็มที่ น้ำที่รับเข้ามาจะช่วยเพิ่มปริมาณน้ำในคลองให้เต็มตามความต้องการ อย่างไรก็ดี ลำน้ำธรรมชาติกับแม่น้ำซึ่งเป็นต้นน้ำของโครงการชลประทานอยู่ในลุ่มน้ำเดียวกัน จะมีน้ำไหลหลากมามากพร้อมกัน เพราะฉะนั้นในขณะที่น้ำในลำน้ำธรรมชาติไหลหลากมากก็เป็นเวลาที่เราสามารถส่งน้ำเข้าคลองได้เต็มที่อยู่แล้ว น้ำในลำน้ำธรรมชาติจึงไม่ค่อยจะมีประโยชน์ในการส่งน้ำเท่าไรนัก อนึ่ง การรับน้ำจากลำน้ำธรรมชาติเข้าคลองอาจทำให้ปริมาณน้ำในคลองมากกว่าความจุของคลอง น้ำจะล้นคลองและเป็นอันตรายแก่ตัวคลองและคันคลองได้ จึงไม่ค่อยนิยมรับน้ำเข้าคลองกันนัก แต่จะทำเป็น drainage siphons ลอดใต้คลองส่งน้ำไป หรือถ้ารับน้ำเข้ามาในคลองส่งน้ำแล้วก็หาทางระบายน้ำทิ้งไปทางอาคารทิ้งน้ำ (outlets, wasteways)

6.2 **รางน้ำ** (flumes, aqueducts)

รางน้ำเป็นรางเปิด (open channels) ชนิดหนึ่งซึ่งวางอยู่บนพื้นดิน (bench flumes) หรือวางไว้สูงกว่าพื้นดินโดยมีโครงหรือฐานรองรับ (elevated flumes) ซึ่งถ้าเป็นลักษณะนี้บางครั้งจะเรียกว่า “สะพานน้ำ” เพื่อให้น้ำชลประทานไหลไปตามรางผ่านบริเวณซึ่งถ้าจะขุดเป็นคลองส่งน้ำหรือสร้างเป็นท่อส่งน้ำแล้วจะเสียค่าก่อสร้างมากกว่าทำรางน้ำ เพราะฉะนั้นการสร้างรางน้ำจึงมีวัตถุประสงค์ 2 ประการคือ (อรุณ , 2534)

รูปที่ 6.1 ลักษณะการใช้งานรางน้ำ

(1) เพื่อส่งน้ำชลประทานไปตามรางที่เลาะชายลาดเขาซึ่งถ้าจะขุดเป็นคลองส่งน้ำแล้วจะเสียเงินมาก

(2) เพื่อส่งน้ำชลประทานไปตามรางข้ามลำน้ำธรรมชาติ คลอง หรือที่ลุ่มลึกซึ่งไม่เหมาะจะสร้างเป็นท่อเชื่อมหรือสร้างท่อเชื่อมไม่ได้

รางน้ำที่สร้างเลาะชายลาดเขามักจะยาวมาก บางแห่งอาจยาวหลายกิโลเมตร แต่รางน้ำที่สร้างข้ามลำน้ำธรรมชาติ คลอง หรือที่ลุ่มลึกมักจะสั้น ความกว้างของรางน้ำประมาณ 1.00–10.00 เมตร ถ้าเป็นรางน้ำขนาดเล็กจะใช้ในคูน้ำของระบบการส่งน้ำในไร่นา (farm distribution systems) ถ้าเป็นรางน้ำขนาดใหญ่จะใช้ในคลองส่งน้ำของระบบการส่งน้ำของโครงการชลประทาน

รางน้ำมีรูปต่างๆ กัน เช่น มีรูปตัดขวางเป็นรูปสี่เหลี่ยมมุมฉาก รูปครึ่งวงกลม และรูปสามเหลี่ยม สร้างด้วยแผ่นโลหะ ไม้ คอนกรีตล้วน คอนกรีตเสริมเหล็ก หรือวัสดุเหล่านี้ร่วมกัน

รางน้ำบางแห่งอาจออกแบบไว้เป็นพิเศษ และไม่ได้ทำหน้าที่เป็นอาคารส่งน้ำชลประทาน เช่น ทำหน้าที่เป็นรางเท (chutes) ทางทิ้งน้ำ (wasteways) และทางน้ำล้นของเขื่อนเก็บน้ำ (spillway channels) แต่ในที่นี้จะกล่าวเฉพาะ**รางน้ำธรรมดา** ซึ่งเป็นอาคารในโครงการชลประทานเท่านั้น

6.2.1 **ลักษณะทั่วไปของรางน้ำ** (general features of flumes)

ตามปกติรางน้ำทั่วไปเป็นรางเปิด (open channels) และไม่มีฝาปิด แต่อาจมีรางน้ำบางแห่งที่มีฝาปิดเพราะสร้างขึ้นเพื่อวัตถุประสงค์อย่างอื่นด้วย เช่น ใช้รางน้ำนั้นเป็นสะพานไปในตัว รางน้ำทุกแห่งจะออกแบบไว้สำหรับการไหลอย่างอิสระ คือไม่มีบานประตู (gates) ติดไว้ที่รางสำหรับบังคับน้ำ

6.2.2 **รางน้ำไม้** (timber flumes)

รางน้ำชนิดนี้สร้างด้วยไม้ล้วน ควรใช้ในท้องถิ่นที่หาไม้ซึ่งมีคุณภาพดีได้ง่ายและมีราคาถูก ข้อเสียของรางน้ำไม้ก็คือผุและรั่วง่ายเพราะตัวรางน้ำจะเปียกๆ แห้งๆ อยู่เสมอ รางน้ำไม้จึงเหมาะสำหรับการส่งน้ำตลอดเวลา (continuous irrigation) และเป็นรางน้ำขนาดเล็ก อย่างไรก็ดีถึงแม้ว่ารางน้ำไม้จะผุและรั่วง่ายแต่ก็ซ่อมแซมง่าย จึงใช้งานได้ดีจนกว่าจะได้เปลี่ยนรางน้ำไม้เป็นรางน้ำที่ถาวรกว่า เช่น รางน้ำโลหะหรือรางน้ำคอนกรีตแทน

ไม้ที่ใช้ทำรางน้ำควรเป็นไม้เนื้อแข็ง ไม่แตกร้าวหรือบิดงอ ไม่มีตาไม้และเนื้อไม้ไม่เสีย ไม้กระดานที่ปูเป็นพื้นรางน้ำและบุเป็นผนังข้างรางควรหนาไม่น้อยกว่า 1.5 นิ้ว ตอกตาปู

ยึดติดแน่นกับธรณี (sill) และคร่าวตั้ง (vertical timbers) เนื่องจากตัวรางน้ำยาวจึงต้องมีการต่อไม้ที่ใช้ทำรางน้ำ การต่อไม้จะต่อโดยแบบวิธีใดก็ได้ แต่รอยต่อจะต้องเรียบสนิท ปลายล่างของคร่าวตั้งต้องร้อยสกรูน้อตติดกับธรณี และปลายบนติดกับคานขวาง (cross timbers) เพื่อไม่ให้รางน้ำแบะเพราะถูกน้ำดันในขณะส่งน้ำผ่านรางเต็มที่ คร่าวตั้งและคานขวางจะติดไว้เป็นระยะห่างกันประมาณ 0.90–1.50 เมตร ตลอดความยาวของรางน้ำ ถ้าเป็นรางน้ำไม้ขนาดใหญ่จะต้องต่อธรณีของรางยื่นออกไปทั้งสองข้างเพื่อรับไม้ค้ำยันข้างราง (braces) ตามปกติรางน้ำไม้จะวางไว้สูงเหนือพื้นดินจึงต้องมีโครงรับราง โครงรับรางนี้จะสร้างไว้เป็นระยะห่างกันประมาณ 3.50–10.00 เมตร เสาของโครงรับรางอาจตั้งบน mudsill หินแข็งหรือฐานคอนกรีตก็ได้ โดยมากรางน้ำไม้ที่สร้างมักมีความกว้างเป็นสองเท่าของความลึกของราง แต่ก็ไม่ใช่กฎเกณฑ์ตายตัว จึงอาจมีสัดส่วนอื่นๆ ได้

6.2.3 **รางน้ำไม้ที่มีเหล็กรัด** (Wood stave flumes)

รางน้ำไม้ที่มีเหล็กรัด เป็นรางน้ำไม้อย่างหนึ่งซึ่งทำด้วยไม้ชิ้นเล็กๆ อัดเรียงประกอบกันเป็นรูปครึ่งวงกลมและมีเหล็กรัดเป็นเปลาะๆ ตลอดความยาวของราง ไม้ที่ใช้ทำรางน้ำ ควรเป็นไม้เนื้อแข็งที่มีคุณภาพดีและแห้ง รอยต่อของไม้ตามยาวต้องเรียบและสนิทแน่นน้ำรั่วไม้ได้เลย

แต่ก่อนรางน้ำแบบนี้ทำด้วยไม้ธรรมดา จึงผุและรั่วง่ายเช่นเดียวกับรางน้ำไม้ทั่วไป ในปัจจุบันทำด้วยไม้อัดน้ำยาซึ่งลดการยืดและหดตัวของไม้ขณะที่รางน้ำเปียกๆ แห้งๆ ลงได้ จึงไม่รั่วง่ายและน้ำยาที่ใช้บางชนิดรักษาเนื้อไม้ได้ดี แมลงและเห็ดราจะไม่ทำลายเนื้อไม้ทำให้รางน้ำมีอายุใช้งานได้นานมาก น้ำยาที่อัดเข้าไปในเนื้อไม้มีชื่อต่างๆ ในทางการค้า เช่น creosote, tanalith C ฯลฯ เหล่านี้เป็นต้น รางน้ำไม้ที่ทำด้วยไม้อัดน้ำยาไม่จำเป็นต้องทาสี

6.2.4 **รางน้ำโลหะ** (metal flumes)

รางน้ำรูปครึ่งวงกลมที่ทำด้วยแผ่นโลหะเคลือบมีใช้กันมากในระบบการส่งน้ำของโครงการชลประทาน เพราะรางน้ำชนิดนี้มีน้ำหนักน้อย ประกอบติดตั้งได้ง่าย และน้ำไหลผ่านได้สะดวก แต่ถ้าในน้ำมีแร่ธาตุซึ่งมีปฏิกิริยาทางเคมีกับโลหะที่ใช้ทำรางน้ำปนอยู่ด้วยแล้วจะต้องทาสีรางป้องกันไว้ รางน้ำโลหะนี้ควรใช้ในที่ซึ่งไม่มีทรายไหลปนมากับน้ำ เพราะทรายจะขัดสีสิ่งที่เคลือบโลหะไว้ให้หลุดไปได้

ขนาดของรางน้ำโลหะนิยมเรียกกันเป็นตัวเลขซึ่งเท่ากับความยาวเป็นนิ้วของแผ่นโลหะที่ใช้ทำราง เช่น รางน้ำ No.96 ทำจากแผ่นโลหะยาว 8 ฟุต (96 นิ้ว) ซึ่งเมื่อดัดงอให้เป็นรูปครึ่งวงกลมแล้วจะมีเส้นผ่าศูนย์กลางยาว 5.09 ฟุต รางน้ำโลหะที่ใช้ทั่วไปในโครงการชลประทานมีขนาดต่างๆ กัน อย่างใหญ่ที่สุดมีเส้นผ่าศูนย์กลางยาวประมาณ 20 ฟุต

ในขณะที่น้ำไหลผ่านราง รางน้ำโลหะจะเปลี่ยนรูปจากครึ่งวงกลมไปเล็กน้อย ถ้าเป็นรางเล็กก็ไม่จำเป็นต้องพิจารณา แต่ถ้าเป็นรางใหญ่การเปลี่ยนรูปของรางจะต้องได้รับการพิจารณาอย่างรอบคอบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการคำนวณออกแบบค้ำยันของกำแพงด้านข้าง

6.2.5 **รางน้ำคอนกรีต** (concrete flumes)

ถ้าได้คำนวณออกแบบและก่อสร้างได้ดีจริงๆ แล้ว รางน้ำคอนกรีตเป็นรางน้ำที่ดีที่สุดในบรรดารางน้ำทุกชนิด แต่รางน้ำคอนกรีตก็มีราคาแพงที่สุด จึงเหมาะที่จะสร้างในคลองสายใหญ่ ซึ่งส่งน้ำตลอดเวลาในฤดูชลประทาน

โดยทั่วไปรางน้ำคอนกรีตมีรูปตัดขวางเป็นรูปสี่เหลี่ยมมุมฉากที่ดัดแปลงเป็นรูปครึ่งวงกลมหรือรูปสามเหลี่ยมก็มีเหมือนกัน รางน้ำคอนกรีตขนาดใหญ่ต้องเป็นรางคอนกรีตเสริมเหล็ก

การสร้างรางน้ำคอนกรีตทำได้ 2 วิธี คือจะหล่อตัวรางโดยเทคอนกรีตลงในแบบ ณ ที่ก่อสร้าง (cast in place) หรือจะหล่อตัวรางไว้ก่อนเป็นท่อนๆ (precast units) ก็ได้ เมื่อจะสร้างจึงค่อยนำไปประกอบกัน ณ ที่ก่อสร้าง การสร้างรางน้ำคอนกรีตโดยใช้คอนกรีตหล่อสำเร็จมีข้อดีอยู่ประการหนึ่งคือ เมื่อรางท่อนใดชำรุดจะซ่อมแซมได้ง่ายและรวดเร็ว คือหยุดส่งน้ำผ่านรางเสียชั่วขณะ แล้วรีบนำเอารางท่อนที่หล่อไว้แล้วไปเปลี่ยนท่อนที่ชำรุด รางน้ำคอนกรีตรูปครึ่งวงกลมก็อาจใช้ส่วนที่หล่อสำเร็จซึ่งนำไปวางบนฐานคอนกรีตได้เช่นเดียวกัน

6.2.6 **รางน้ำที่วางบนพื้นดิน** (bench flumes)

รางน้ำทุกชนิดอาจสร้างขึ้นบนฐานรองรับไปตามพื้นดินที่มีความลาดเทได้ ราง น้ำ เหล่านี้ถ้ามีขนาดใหญ่จะทำด้วยคอนกรีต และโดยมากมีรูปตัดขวางเป็นรูปสี่เหลี่ยมมุมฉาก แต่ที่ทำเป็นรูปครึ่งวงกลมก็มีบ้างเหมือนกัน รางน้ำบางแห่งมีพื้นเป็นคอนกรีต ลาดข้างรางด้านขึ้น เขา (uphill side) ดาดด้วยคอนกรีต ทางด้านลงเขา (downhill side) เป็นกำแพงคอนกรีตตั้งตรง รางน้ำซึ่งมีลักษณะดังกล่าวนี้บางทีเรียกว่าคลองดาดคอนกรีต

เราอาจออกแบบรางน้ำที่วางบนพื้นดินให้มีพื้นเป็นคอนกรีตและมีกำแพง คอนกรีตตั้งตรงสองข้างรางก็ได้ ตามปกติข้างหลังกำแพงคอนกรีตด้านขึ้นเขาของรางน้ำประเภทนี้ เป็นดินถมอัดแน่น ส่วนกำแพงคอนกรีตด้านลงเขาตั้งไว้เฉยๆ แต่บางทีอาจมีดินถมอัดแน่นข้าง หลังกำแพงคอนกรีตทั้งสองข้าง หรือไม่ถมดินเลยก็ได้

รางน้ำที่ตั้งบนพื้นดินเหล่านี้ควรสร้างไว้บนพื้นดินตามธรรมชาติที่ขุดหรือแต่งไว้ อย่างดี บนดินถมอัดแน่น หรือบนฐานรองรับอย่างอื่น

6.2.7 **ส่วนหรือระยะเผื่อล้นในรางน้ำ** (freeboard in flumes)

ระยะเผื่อล้นของรางน้ำคือระยะจากระดับน้ำสูงสุดในรางถึงระดับยอดกำแพงข้าง ราง ระยะเผื่อล้นนี้ต้องสูงพอที่น้ำจะไม่ล้นข้ามกำแพงข้างรางในขณะส่งน้ำผ่านรางเต็มที่ ตามปกติ ระยะเผื่อล้นของรางน้ำจะมีค่าต่างๆ กัน จาก 0.05 เมตร (สำหรับรางน้ำขนาดเล็ก) ถึง 0.60 เมตร (สำหรับรางน้ำขนาดใหญ่)

รางน้ำบางแห่งมีระยะเผื่อล้นสูงเป็นพิเศษเช่น รางน้ำที่มีน้ำไหลในรางแรงมาก รางน้ำที่มีโค้งของรางแคบ รางน้ำที่มีเศษสิ่งของไหลลอยน้ำมามากและตัวรางมีคานขวาง ซึ่งเศษ สิ่งของอาจจะลอยมาติดไว้ รางน้ำที่สร้างในท้องถิ่นที่มีลมพัดแรงมาก รางน้ำที่มีการอัดน้ำในคลอง หรือมีสภาพอื่นซึ่งเป็นสาเหตุทำให้ระดับน้ำในรางสูงขึ้นกว่าปกติมาก ถ้าน้ำไหลล้นข้ามกำแพงข้าง รางได้อาจทำความเสียหายแก่ตอม่อ ฐานราก หรือฐานที่รองรับรางเพราะฉะนั้นรางน้ำดังกล่าวนี้ จึงต้องมี ระยะพ้นน้ำสูงกว่าธรรมดา อย่างไรก็ดีถ้ามีทางน้ำล้นอัตโนมัติ (automatic spillway) หรือ ทางทิ้งน้ำ (wasteway) สร้างไว้ดานหน้าปากทางเข้ารางแล้ว ก็ไม่จำเป็นต้องใช้ระยะเผื่อล้นของ รางน้ำสูงเป็นพิเศษแต่อย่างใด

ผู้ออกแบบรางน้ำรูปครึ่งวงกลมบางคนใช้ระยะเผื่อล้นเท่ากับ 1 นิ้ว สำหรับความ ลึกของน้ำในรางทุก 1 ฟุต + 2 นิ้ว

รูปที่ 6.4 รางน้ำที่สร้างในภูมิประเทศชนิดต่าง ๆ

ดังนั้น ถ้าน้ำในรางลึก 3 ฟุต

ระยะเผื่อล้น = 3 (1 นิ้ว) + 2 นิ้ว

= 5 นิ้ว หรือ 0.125 เมตร

ผู้ออกแบบบางคนใช้สูตรคำนวณระยะเผื่อล้น โดยมีเฮดความเร็ว (velocity head) เข้ามาเกี่ยวข้องด้วย สมการทั่วไปที่ใช้หาระยะเผื่อล้นที่น้อยที่สุดสำหรับรางน้ำโลหะรูปครึ่งวงกลม (United Nations , 1973) คือ

$$F = 0.10\ D\ (0.90+0.10h_v) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ (6.1)$$

ในเมื่อ F = ระยะเผื่อล้นน้อยสุด

D = เส้นผ่าศูนย์กลางของรางน้ำ

h_v = เฮดความเร็ว

เนื่องจากความลึกของรางน้ำรูปครึ่งวงกลมเท่ากับครึ่งหนึ่งของเส้นผ่าศูนย์กลาง จึงเขียนสมการ (6.1) ได้ใหม่ดังนี้ (United Nations , 1973)

$$F = 0.20d'\ (0.90+0.10\ h_v) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ (6.2)$$

ในเมื่อ d' = ความลึกที่ไม่ถูกกีดขวางจากขอบรางน้ำลงไป หรือจากท้องคานขวางของรางน้ำลงไปจนถึงก้นราง

ดังนั้นความลึกของน้ำในราง (d) ขณะส่งน้ำเต็มที่จึงเท่ากับความลึกที่ไม่ถูกขีดขวาง (d') ลบด้วยระยะเผื่อล้น (F) ของรางน้ำ สมการ (6.2) นี้อาจใช้กับรางน้ำรูปสี่เหลี่ยมมุมฉากและรางน้ำไม้ที่มีเหล็กรัดได้ด้วย

กรมชลประทาน มีสูตรหาระยะเผื่อล้นของรางน้ำและของอาคารชลประทานทุกชนิดดังนี้

$$F = 0.15\ d+0.20 \text{ เมตร} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ (6.3)$$

ในเมื่อ F = ระยะเผื่อล้นน้อยสุดเป็นเมตร

d = ความลึกมากที่สุดของน้ำในรางหรือของน้ำด้านเหนือ

อาคารชลประทานทุกชนิดเป็นเมตร

เรื่องที่เกี่ยวกับรางน้ำนอกจากนี้ก็คงมีแต่การพิจารณาเกี่ยวกับความมั่นคงของราง เช่นการรับน้ำหนัก การป้องกันการทรุดตัว การคำนวณความแข็งแรงของพื้นและกำแพงข้างของราง
น้ำ

กรมชลประทานสร้างรางน้ำไว้หลายแห่งในโครงการชลประทานหลวงต่าง ๆ เป็นรางน้ำไม้และรางน้ำคอนกรีตเสริมเหล็ก

ได้กล่าวมาแล้วว่าเราอาจจะสร้างรางน้ำให้คลองส่งน้ำไหลข้ามลำน้ำธรรมชาติหรือให้ลำน้ำธรรมชาติไหลข้ามคลองส่งน้ำก็ได้ คือถ้าฝ่ายใดมีระดับท้องน้ำสูงกว่าระดับน้ำสูงสุดของอีกฝ่ายหนึ่ง และมีปริมาณน้ำน้อยกว่าอีกฝ่ายหนึ่งแล้วควรสร้างรางน้ำให้ฝ่ายนั้นไหลข้ามอีกฝ่ายหนึ่งไป แต่ถ้าระดับท้องน้ำของทั้งสองฝ่ายต่างก็ไม่สูงกว่าระดับน้ำสูงสุดของอีกฝ่ายหนึ่งก็ไม่ควรสร้างรางน้ำควรจะสร้างท่อเชื่อม (siphons) แทนจะปลอดภัยกว่า

หลักการคำนวณขนาดและความมั่นคงของรางน้ำก็คล้ายกับของคลองส่งน้ำ คือ

(1) รางน้ำจะต้องโตพอที่จะให้ปริมาณน้ำมากที่สุดของคลองส่งน้ำหรือของลำน้ำธรรมชาติ (แล้วแต่กรณี) ไหลไปตามรางได้โดยน้ำไม่ล้นข้ามกำแพงข้างราง

(2) การคำนวณอัตราเร็วของน้ำที่ไหลในรางคงใช้สูตรกัตเตอร์หรือสูตรแมนนิ่ง แต่จะใช้ลาดผิวน้ำในรางหรือลาดตามยาวของราง (S') ชันกว่าลาดตามยาวของคลองส่งน้ำหรือของลำน้ำธรรมชาติ (แล้วแต่กรณี) ที่ส่งน้ำไหลไปตามรางนั้นมาก คือใช้ลาด 1:100 ถึง 1:500 เท่านั้น และสัมประสิทธิ์ความขรุขระ (n) ของรางน้ำจะมีค่าต่างกันตามชนิดของวัสดุที่ใช้ทำรางตามที่ได้ให้ไว้แล้วใน หัวข้อ ?

(3) ระดับท้องคานหรือระดับใต้พื้นรางน้ำจะต้องสูงกว่าระดับน้ำสูงสุดของลำน้ำธรรมชาติหรือของคลองส่งน้ำ (แล้วแต่กรณี) ที่รางนั้นทอดข้ามไป

(4) ช่วงต่อเชื่อมตัวรางน้ำกับคลองส่งน้ำหรือกับลำน้ำธรรมชาติ (แล้วแต่กรณี) ทางด้านเข้าราง (inlet transition) และทางด้านออกจากราง (outlet transition) ต้องทำให้สอบเรียวเข้ามาและผายออกไปทีละน้อยตามสมควรเพื่อให้น้ำไหลเข้ารางและไหลออกจากรางได้สะดวก ถ้าสร้างเป็นกำแพงขวางตั้งฉากกับทางน้ำไหลไว้ที่ปากทางเข้ารางแล้วน้ำอาจจะเอ่อท้นและเกิดกระแสน้ำปั่นป่วนที่ปากทางเข้ารางได้

(5) ตรงปลายของช่วงต่อเชื่อมด้านทางเข้าและด้านทางออกต้องป้องกันไม่ให้น้ำรั่วลงไปยังลำน้ำธรรมชาติหรือคลองส่งน้ำ (แล้วแต่กรณี) ที่รางน้ำทอดข้ามไปได้ โดยปกติช่วงต่อเชื่อมทำด้วยคอนกรีตเสริมเหล็กที่สร้างยื่นออกไปจากปากรางและปลายรางพอสมควร ถ้าดินบริเวณนั้นน้ำรั่วซึมผ่านได้ง่ายจะต้องมีเข็มพืดตอกไว้ที่ปลายของช่วงต่อเชื่อมข้างละหนึ่งแนวและต่อจากปลายช่วงต่อเชื่อมออกไปควรทำหินเรียงยาแนวป้องกันตลิ่งและท้องน้ำของคลองส่งน้ำหรือของลำน้ำธรรมชาติ (แล้วแต่กรณี) ไว้ระยะหนึ่งด้วย

6.3 **ท่อเชื่อม** (siphons **หรือ** inverted siphons)

เป็นท่อกลมหรือสี่เหลี่ยม จะเป็นท่อแถวเดียวหรือหลายแถวก็ได้ ซึ่งสร้างจากริมตลิ่งข้างหนึ่งของลำน้ำธรรมชาติหรือของคลองส่งน้ำ (แล้วแต่กรณี) ลงไปตามลาดตลิ่ง หักเลี้ยวขนานไปตามท้องน้ำ แล้วลาดขึ้นไปตามลาดตลิ่งอีกข้างหนึ่ง เพื่อให้คลองส่งน้ำไหลลอดใต้ลำน้ำธรรมชาติหรือให้ลำน้ำธรรมชาติไหลลอดใต้คลองส่งน้ำ

การสร้างท่อเชื่อมให้คลองส่งน้ำไหลลอดใต้ลำน้ำธรรมชาติจำเป็นต้องทำเมื่อระดับท้องคลองส่งน้ำต่ำกว่าระดับน้ำนองสูงสุดของลำน้ำธรรมชาติประการหนึ่ง และในกรณีลำน้ำธรรมชาติมีขนาดกว้างใหญ่ มีปริมาณน้ำมากกว่าคลองส่งน้ำอีกประการหนึ่ง ตามปกติมักจะไม่ค่อยสร้างให้ลำน้ำธรรมชาติไหลลอดใต้คลองส่งน้ำ เว้นแต่ลำน้ำนั้นมีขนาดเล็กกว่าคลองส่งน้ำ มีปริมาณน้ำน้อยและไม่มีกรวด ทราย กิ่งไม้ ใบไม้ หรือสิ่งต่าง ๆ ไหลมากับน้ำเพราะของเหล่านี้จะเข้าไปอุดทำให้ท่อตันได้

สำหรับคลองส่งน้ำที่ใช้เป็นทางเดินเรือด้วยนั้นย่อมจำเป็นอยู่เองที่ต้องสร้างท่อเชื่อมให้ลำน้ำธรรมชาติไหลลอดใต้คลองส่งน้ำแต่อย่างเดียวเท่านั้น ถ้าลำน้ำธรรมชาติมีปริมาณน้ำมากและคลองส่งน้ำก็มีความจุมากแล้วควรสร้างท่อระบายหรือประตูระบายรับน้ำ (inlets) แบ่งรับน้ำเข้ามาในคลองส่งน้ำเสียบ้าง น้ำที่เหลือจึงปล่อยให้ไหลไปตามท่อเชื่อม วิธีนี้จะช่วยลดขนาดของท่อเชื่อมลงได้มาก

กรมชลประทานสร้างท่อเชื่อมไว้หลายแห่งในโครงการชลประทานหลวงต่าง ๆ มีทั้งชนิดในคลองส่งน้ำไหลลอดใต้ลำน้ำธรรมชาติ เช่น ท่อเชื่อมสิงห์บุรี (คลองชัยนาท-อยุธยา ลอดใต้แม่น้ำลพบุรี) และชนิดให้ลำน้ำธรรมชาติไหลลอดใต้คลองส่งน้ำ เช่น ท่อเชื่อมหนองแค (คลองหนองแค ลอดใต้คลองรพีพัฒน์ซึ่งเป็นคลองสายใหญ่ของโครงการชลประทานหลวงป่าสักใต้)

6.3.1 การคำนวณขนาดท่อเชื่อม

การคำนวณขนาดท่อเชื่อมให้ปริมาณน้ำไหลผ่านไปได้นั้นจะต้องกำหนดความแตกต่างของระดับน้ำด้านเหนือและด้านท้ายของท่อเชื่อม (H) เสียก่อนว่าจะยอมให้แตกต่างกันได้เท่าไร แล้วจึงสมมติขนาดท่อเพื่อหาความยาวของท่อ (L) ตามแนวเส้นศูนย์กลางและความลึกชลศาสตร์ของท่อ (m) จากนั้นจึงคำนวณอัตราเร็วของน้ำที่ไหลในท่อจากสูตร

$$H = (1+f_1+f_2\frac{L}{m})\frac{V^2}{2g} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (6.4)$$

ในเมื่อ H = ความแตกต่างของระดับน้ำด้านหน้าและด้านท้ายท่อเป็นเมตร

f_1 = สัมประสิทธิ์ของความฝืดตรงทางเข้า

= 0.080 สำหรับทางเข้าปากระฆัง

= 0.505 สำหรับทางเข้าวงกลมไม่ลบเหลี่ยม

f_2 = สัมประสิทธิ์ความฝืดของผิวด้านใน

= $a(1+\frac{b}{m\times 3.2})$

a และ b มีค่าต่างๆ ตามลักษณะของวัสดุที่ใช้ทำท่อ ดังนี้

	a	b
ท่อเหล็กเรียบ	0.00497	0.084
ท่อเหล็กมีสนิมจับ	0.00996	0.084
ท่อคอนกรีตเรียบหรือไม้ไสเรียบ	0.00316	0.100
ท่อหินก่อเรียบ อิฐก่อและไม้กระดานธรรมดา	0.00401	0.230
ท่อหินก่อหยาบ หินเรียง	0.00507	0.820

L = ความยาวของท่อวัดตามแนวเส้นศูนย์กลาง เป็นเมตร

m = ความลึกชลศาสตร์ = $\frac{A}{P}$ เป็นเมตร

A = พื้นที่รูปตัดขวางของท่อที่น้ำไหลผ่าน เป็นตารางเมตร

P = เส้นรอบรูปเปียกเป็นเมตร

V = อัตราเร็วของน้ำที่ไหลในท่อ เป็นเมตร/วินาที

g = 9.81 เมตร/วินาที/วินาที

เมื่อได้อัตราเร็วของน้ำในท่อแล้วก็จะทราบปริมาณน้ำผ่านท่อทั้งหมดซึ่งเท่ากับพื้นที่รูปตัดขวางของท่อที่น้ำไหลผ่านคูณด้วยอัตราเร็วของน้ำในท่อ ถ้าปริมาณน้ำที่คำนวณได้ยังไม่เท่ากับปริมาณน้ำที่ต้องการส่งผ่านท่อ จะต้องเปลี่ยนค่าของ H หรือเปลี่ยนขนาดท่อ หรือเปลี่ยนทั้ง H และขนาดท่อแล้วคำนวณใหม่จนกว่าจะได้ปริมาณน้ำเท่ากับที่ต้องการ

ตัวอย่างที่ 6.1 ให้หาขนาดท่อเชื่อมคอนกรีตซึ่งจะให้ปริมาณน้ำ 9.048 ม^3./วินาที ไหลผ่านไปได้

โดยยอมให้มี H = 0.20 ม.

ความยาวของท่อ = 40.00 ม.

g = 9.81 ม./วินาที/วินาที

f_1 = 0.505

a = 0.00316

b = 0.100

วิธีทำ สมมติใช้ท่อคอนกรีตสี่เหลี่ยม 1 แถว ขนาด 2.00×3.00 ม.

A = 2.00 x 3.00 = 6.00 ม^2.

P = 2(2.00 + 3.00) = 10.00 ม^2.

$m = \frac{600}{10.0}$ = 0.60 ม.

f_1 = 0.505

$f_2 = a.\left(1+\frac{b}{m\times 3.2\ell}\right)$

$= 0.00316\left(1+\frac{0.100}{0.60\times 3.2\ell}\right)$

= 0.00332

$V = \sqrt{\frac{2gH}{1+f_1+f_2\frac{L}{m}}}$

$= \sqrt{\frac{2\times 9.81\times 0.20}{1+0.505+0.00332\times\frac{40}{0.60}}}$

= 1.508 ม./วินาที

$\therefore$ Q = 6.00 x 1.508

= 9.048 ม^3./วินาที

ดังนั้นท่อคอนกรีตสี่เหลี่ยม 1 แถวขนาด 2.00x3.00 ม. ตามที่สมมตินั้นใช้ได้

6.3.2 การพิจารณาความมั่นคงของท่อเชื่อม

การพิจารณาความมั่นคงของท่อเชื่อมนั้นผิดกับของอาคารชลประทานชนิดอื่นอยู่บ้าง กล่าวคือ

(1) แรงที่กระทำต่อตัวท่อ (siphon barrel) จะเปลี่ยนไปได้ต่างๆ ตามสภาพที่ใช้สำหรับการคำนวณออกแบบ (conditions for design) แรงเหล่านี้ได้แก่

- น้ำหนักของน้ำที่ทับหลังท่อ
- น้ำหนักของหินก่อและดินที่ทับหลังท่อ
- น้ำหนักของตัวท่อ
- น้ำหนักของน้ำในท่อ
- แรงดันหรือแรงระเบิดของน้ำภายในท่อ (bursting)
- แรงดันของดินที่กระทำต่อตัวท่อด้านข้างทั้งในสภาพดินเปียกและดินแห้ง
- แรงปฏิกิริยาที่กระทำต่อตัวท่อด้านล่าง

แรงต่าง ๆ เหล่านี้จะต้องได้รับการพิจารณาอย่างละเอียด

(2) เมื่อท่อเชื่อมเป็นท่อที่วางลาดลงไปตามลาดตลิ่งของลำน้ำธรรมชาติหรือของคลองส่งน้ำ (แล้วแต่กรณี) ตัวท่ออาจจะเลื่อนหรือทรุดได้จึงต้องพิจารณาอย่างละเอียดในการออกแบบเช่นเดียวกัน

(3) จากสูตรที่ใช้หาขนาดท่อเชื่อม จะเห็นได้ว่าลักษณะของปากท่อและกำแพงหน้าท่อมีอิทธิพลต่อการไหลของน้ำมาก จึงควรได้รับการพิจารณาเป็นพิเศษเพื่อให้น้ำไหลเข้าท่อสะดวก จะลดขนาดท่อลงได้มาก

6.4 การรับน้ำจากลำน้ำสายอื่นเข้าคลองส่งน้ำ

การรับน้ำจากลำน้ำสายอื่นเข้าคลองส่งน้ำ จะใช้เมื่อสร้างรางน้ำหรือท่อเชื่อมไม่สะดวกหรือแพงเกินไป โดยสร้างเป็นท่อระบายหรือประตูระบายรับน้ำ (inlets) แทน แต่ตามปกติไม่ค่อยจะสร้างกันนัก

การรับน้ำเข้าคลองส่งน้ำทำได้ 2 วิธีคือ

(1) รับเข้ามาแล้วปล่อยให้ไหลไปตามคลองส่งน้ำ

(2) รับเข้ามาแล้วปล่อยทิ้งไปทันทีทางฝั่งตรงกันข้ามกับที่รับเข้ามา

การเลือกใช้วิธีใดย่อมแล้วแต่สภาพและปริมาณน้ำดังต่อไปนี้

(1) ถ้าลำน้ำที่จะระบายน้ำเข้าคลองส่งน้ำมีน้ำไหลมาในขณะที่ยังไม่ได้ส่งน้ำเข้าคลอง หรือคลองส่งน้ำไม่มีน้ำ และปริมาณน้ำไม่มากกว่าความจุของคลองส่งน้ำแล้ว จะรับน้ำเข้าคลองได้ทั้งหมด

(2) ถ้าลำน้ำที่จะระบายน้ำเข้าคลองส่งน้ำมีน้ำไหลมาในขณะที่กำลังส่งน้ำเข้าคลองไม่เต็มที่ และปริมาณน้ำที่จะรับเข้ามาในคลองส่งน้ำไม่มากนัก ก็ควรจะรับเข้ามาแล้วนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป การรับน้ำเข้ามาเช่นนี้ถ้ามีหลายแห่งอาจทำให้ปริมาณน้ำมากกว่าความจุของคลองส่งน้ำ ต้องสร้างทางทิ้งน้ำ (wasteways) เพื่อระบายน้ำออกจากคลองส่งน้ำทิ้งไปตามทางเสียบ้าง

(3) ถ้าลำน้ำที่จะระบายน้ำเข้าคลองส่งน้ำมีปริมาณน้ำมากและไหลมาในขณะที่กำลังส่งน้ำเข้าคลองเต็มที่ ก็ไม่ควรจะให้น้ำที่รับเข้ามาไหลไปตามคลองส่งน้ำคือ เมื่อรับเข้ามาแล้วจะปล่อยทิ้งไปทันทีทางท่อระบายหรือประตูระบายทิ้งน้ำ (outlets) ทางฝั่งตรงกันข้ามกับที่รับน้ำเข้ามา

6.4.1 ท่อระบายหรือประตูระบายรับน้ำ (inlets)

ถ้าระดับท้องน้ำของลำน้ำและระดับท้องคลองส่งน้ำต่างกัน อาคารรับน้ำจะเป็นท่อระบายหรือประตูระบาย (inlets) ซึ่งมีบานประตูปิดเปิดบังคับน้ำได้ ท่อระบายหรือประตูระบายรับน้ำนี้ตั้งอยู่ตรงแนวคันคลองส่งน้ำ และจะเปิดเมื่อต้องการรับน้ำเข้าคลองเท่านั้น ลาดตลิ่งและท้องคลองส่งน้ำตรงที่สร้างอาคารรับน้ำต้องมีการป้องกันไม่ให้น้ำที่ไหลเข้ามาในคลองกัดทำลายได้

6.4.2 ท่อระบายหรือประตูระบายทิ้งน้ำ (outlets)

ถ้ารับน้ำเข้ามาแล้วปล่อยให้ไหลไปตามคลองส่งน้ำจะต้องสร้างทำนบดิน (closure dike) ปิดลำน้ำตรงแนวคันคลองส่งน้ำฝั่งตรงกันข้ามกับที่รับน้ำเข้ามา แต่ถ้าต้องการทิ้งน้ำไปตามลำน้ำเดิมทันทีก็จะต้องสร้างท่อระบายหรือประตูระบายทิ้งน้ำ (outlets) ซึ่งมีลักษณะเช่นเดียวกับท่อระบายหรือประตูระบายรับน้ำทางรับน้ำแทนการสร้างทำนบดิน

ข้อเสีย ของการสร้างท่อระบายหรือประตูระบายน้ำเข้าคลอง (inlets) ก็คือ กรวดทรายที่ไหลมาในลำน้ำจะหลุดเข้าคลองส่งน้ำ ทำให้คลองตื้นอย่างรวดเร็ว อาจจะต้องสร้างบ่อดักทราย (sand trap) ไว้ข้างหน้าทางรับน้ำ ก่อนที่จะปล่อยให้น้ำไหลเข้าคลองส่งน้ำ และต้องขุดลอกกรวดทรายทิ้งทุกปี ทำให้ค่าบำรุงรักษาประจำปีเพิ่มขึ้น ข้อที่ควรสังเกตอีกอย่างหนึ่งคือ เราคาดคะเนปริมาณน้ำมากที่สุดของลำน้ำได้ยาก บางครั้งจะเกิดอันตรายแก่คลองส่งน้ำได้

6.5 การตัดผ่านทางคมนาคมทางบก

ในกรณีคลองส่งน้ำตัดผ่านถนนหรือทางรถไฟนั้นปัญหาในการออกแบบหรือการก่อสร้างอาคารตรงที่ตัดผ่านไม่ยุ่งยากเหมือนกับคลองส่งน้ำตัดผ่านลำน้ำธรรมชาติ เพราะตามปกติระดับหลังถนนหรือทางรถไฟย่อมสูงอยู่แล้ว ถึงแม้ไม่สูงพอก็เสริมให้สูงขึ้นอีกได้ง่าย การสร้างสะพานหรือท่อลอด (culverts) จะทำได้สะดวก

6.5.1 สะพาน (bridges)

ถ้าระดับหลังถนนหรือทางรถไฟสูงกว่าระดับน้ำใช้การเต็มที่ในคลองส่งน้ำ (F.S.L) มาก หรือพอจะเสริมให้สูงขึ้นอีกได้แล้ว ควรสร้างสะพานข้ามคลองส่งน้ำไป

สำหรับคลองส่งน้ำที่มีเรือเดินด้วยนั้น ช่วงสะพานระหว่างตอม่อ (span) ต้องไม่น้อยกว่า 6.00 เมตร และท้องคานสะพานต้องอยู่สูงกว่าระดับน้ำสูงสุดในคลองส่งน้ำ 2.50 เมตร สำหรับเรือธรรมดาและ 4.50 เมตรสำหรับเรือขุด

โดยมากสะพานถนนหรือสะพานทางหลวงเป็นสะพานคอนกรีตแต่สะพานรถไฟเป็นสะพานเหล็ก

6.5.2 ท่อลอด (culverts)

ใช้สร้างในกรณีระดับหลังถนนหรือหลังทางรถไฟไม่สูงพอที่จะสร้างสะพานได้ หรือถ้าสร้างสะพานแล้วจะเสียค่าก่อสร้างแพงกว่ามาก

ถ้าระดับหลังถนนหรือหลังทางรถไฟต่ำกว่าระดับน้ำสูงสุดในคลองส่งน้ำ ท่อที่สร้างลอดไปจะมีลักษณะเป็นท่อเชื่อม (siphons) ซึ่งบางกรณีอาจจะต้องกดตัวท่อให้ต่ำกว่าระดับท้องคลองส่งน้ำด้วย

ท่อลอด (culverts) หรือท่อเชื่อม (siphons) ที่สร้างลอดถนนหรือทางรถไฟเป็นท่อคอนกรีตกลมหรือสี่เหลี่ยม จะเป็นท่อแถวเดียวหรือหลายแถวก็ได้ สำหรับการคำนวณขนาดท่อนั้น ถ้าเป็นท่อลอด (culverts) คงคำนวณเช่นเดียวกับรางเปิด (open channels) แต่ถ้าเป็นท่อเชื่อมต้องคำนวณแบบท่อเชื่อมดังได้กล่าวมาแล้ว

6.6 ที่ข้ามสัตว์พาหนะ (cattle ramps)

ในพื้นที่ที่ยังมีเกษตรกรใช้วัวควายเป็นแรงงานในการเพาะปลูกการนำสัตว์เหล่านี้ข้ามคลองส่งน้ำไปทำงานหรือไปเลี้ยงเป็นปัญหาที่ควรได้รับการพิจารณาด้วยเหมือนกัน เพราะถ้าปล่อยให้นำสัตว์ข้ามคลองส่งน้ำได้ตามใจชอบแล้ว คลองจะพังเสียหายมาก ในที่สุดก็จะใช้ส่งน้ำไม่ได้ จึงต้องกำหนดสถานที่ให้นำสัตว์ข้ามคลองเป็นที่เป็นแห่งตรงที่ข้ามสัตว์พาหนะนี้

ตามคลองสายใหญ่ ถ้าที่ใดมีสะพานให้รถยนต์และเกวียนข้ามก็ใช้สะพานนั้นให้สัตว์เดินข้ามด้วย แต่สะพานเหล่านี้มีน้อย ไม่พอให้สัตว์เดินข้ามไปมาได้สะดวก ถ้าจะสร้างสะพานหลายแห่งก็จะสิ้นเปลืองเงินมาก จึงทำเป็นที่ข้ามสัตว์พาหนะแทนสะพาน

ที่ข้ามสัตว์พาหนะไม่มีสิ่งก่อสร้างมากมายอะไร เพียงแต่เจาะคันคลองเป็นทางให้สัตว์เดินลงและเดินขึ้น ช่องที่เจาะเป็นทางเดินของสัตว์ต้องไม่ชันคือมีลาดประมาณ 1:5 เพื่อให้สัตว์เดินลงและเดินขึ้นได้สะดวก ใช้ไม้กระดานปูบนทางที่สัตว์เดินข้ามคลองเพื่อไม่ให้ดินลาดตลิ่งและท้องคลองถูกสัตว์เหยียบย่ำพังเสียหาย ไม้กระดานเหล่านี้ปูบนเสาหรือไม้หมอนที่วางอยู่ข้างล่างและปูเสมอกับระดับท้องคลองเพื่อไม่ให้กีดขวางทางน้ำไหล

ความจริงที่ข้ามสัตว์พาหนะใช้ไม่ค่อยได้ผล เพราะผู้เลี้ยงสัตว์ไม่ชอบใช้คือไม่นำสัตว์ข้ามให้ตรงที่ ปล่อยสัตว์เพ่นพ่านเหยียบย่ำคลองส่งน้ำเสียหายไปหมด ยิ่งเป็นคลองใหญ่มีน้ำลึกมากและกระแสน้ำค่อนข้างแรงด้วยแล้ว ที่ข้ามสัตว์พาหนะแทบจะไม่มีประโยชน์ เพราะสัตว์จะถูกน้ำพัดไปขึ้นฝั่งไม่ตรงที่ซึ่งทำไว้ ในกรณีเช่นนี้ควรสร้างเป็นสะพานจะมีประโยชน์กว่า ถึงแม้ว่าจะต้องสิ้นเปลืองเงินมากก็ตาม

6.7 การลดระดับน้ำและระดับท้องคลองส่งน้ำ

ตามปกติลาดผิวน้ำในคลองหรือลาดตามยาวของคลองส่งน้ำไม่ได้เป็นเส้นลาดเส้นเดียวไปตลอด เราอาจต้องลดระดับน้ำและระดับท้องคลองลงเป็นแห่ง ๆ อันเนื่องมาจากสาเหตุ 2 ประการ คือ

(1) ลาดของพื้นดินตามแนวคลองชันเกินไป

ดังได้กล่าวแล้วว่า ลาดผิวน้ำหรือลาดตามยาวของคลองที่เราเลือกใช้ในการออกแบบคลองส่งน้ำขึ้นอยู่กับลาดของพื้นดินตามแนวคลองประการหนึ่งและอัตราเร็วของน้ำซึ่งจะไม่กัดทำลายตัวคลองอีกประการหนึ่ง โดยทั่วไปเรามักจะใช้ลาดตามยาวของคลองเช่นเดียวกับลาดของพื้นดินตามแนวคลอง แต่ถ้าลาดของพื้นดินชันมากและเรายังใช้ลาดตามยาวของคลองอย่างเดียวกับลาดของพื้นดินแล้วอัตราเร็วของน้ำในคลองจะสูงเกินไปจนกัดเซาะคลองพังทลายเสียหายได้ จึงควรใช้ลาดตามยาวของคลองราบกว่าลาดของพื้นดิน

การใช้ลาดตามยาวของคลองราบกว่าลาดของพื้นดินจะทำให้ระดับน้ำใช้การเต็มที่ในคลอง (full supply level) สูงกว่าระดับพื้นดินมากขึ้นทุกที และระดับท้องคลอง (bed level) กับระดับพื้นดินจะใกล้กันมากขึ้นทุกที จนในที่สุดจะถึงจุดหนึ่งซึ่งระดับท้องคลองจะเป็นระดับเดียวกับพื้นดินต่อจากจุดนี้ไปถ้าเราไม่ลดระดับน้ำและระดับท้องคลองลง ตัวคลองทั้งหมดก็จะอยู่สูงพ้นพื้นดินซึ่งมีลักษณะเป็นคลองลอย (floating canals) โดยต้องถมอัดดินให้แน่นเป็นรูปคลองแทนการขุดคลอง สำหรับคลองธรรมดาที่ไม่มีเปลือกคลอง (unlined canals) นั้น ควรหลีกเลี่ยงการสร้างคลองลอยให้มากที่สุด เพราะฉะนั้นตรงจุดนี้หรือก่อนถึงจุดนี้จึงต้องลดระดับน้ำและระดับท้องคลองลง แล้วจึงขุดคลองต่อไปใหม่

(2) ระดับพื้นดินตามแนวคลองลดต่ำลงมากอย่างรวดเร็ว

ระดับพื้นดินตามแนวคลองบางช่วงอาจลดต่ำลงมากอย่างรวดเร็ว ทำให้ต้องลดระดับน้ำและระดับท้องคลองลงในช่วงนั้นเพื่อปรับตัวคลองให้เข้ากับลักษณะภูมิประเทศ ตรงที่ซึ่งมีการลดระดับน้ำและระดับท้องคลองลงต้องมีอาคารส่งน้ำ (water conveyance structures) สร้างไว้ในคลองเพื่อควบคุมระดับน้ำด้านเหนืออาคารและป้องกันตัวคลองด้านท้ายอาคารไม่ให้ถูกน้ำกัดทำลายเสียหาย อาคารส่งน้ำที่สร้างมี 2 ชนิดคือ

(1) อาคารน้ำตก

(2) รางเท

อาคารน้ำตกและรางเท มักจะสร้างในคลองซอย คลองแยกซอย และคูน้ำมากกว่าในคลองสายใหญ่ ทั้งนี้เพราะคลองสายใหญ่มีลาดตามยาวไปทางเดียวกับแนวแม่น้ำ แนวคลองสายใหญ่ไต่ลัดเลาะไปตามเส้นชั้นความสูงผิวดิน ลาดของพื้นดินตามแนวคลองสายใหญ่สม่ำเสมอดีและไม่ค่อยจะชันหรือเปลี่ยนระดับมากนัก จึงไม่จำเป็นต้องลดระดับน้ำและระดับท้องคลองลง อย่างไรก็ตาม ถ้าแนวคลองสายใหญ่ต้องผ่านบริเวณที่พื้นดินลาดชันมากหรือมีระดับลดต่ำลงมากอย่างรวดเร็วและไม่มีทางที่จะหลบแนวคลองให้พ้นบริเวณนั้นไปได้แล้ว ก็จะต้องลดระดับน้ำและระดับท้องคลองลงโดยสร้างอาคารน้ำตกหรืออาคารรางเทขึ้นในคลองสายใหญ่เหมือนกัน ส่วนคลองซอย คลองแยกซอย และคูน้ำต่างกับคลองสายใหญ่ที่ว่าคลองเหล่านี้มีแนวคลองอยู่ในที่บังคับคืออยู่ตามแนวสันสูงของเนินดินหรือพูย่อยที่ยื่นออกมาจากชายลาดเขาหรือจากแนวคลองสายใหญ่ แนวคลองเหล่านี้จะตัดขวางเส้นชั้นความสูงของผิวดินพุ่งเข้าหาแนวแม่น้ำ ลาดของพื้นดินตามแนวคลองค่อนข้างชันและมักจะผ่านบริเวณที่ระดับพื้นดินลดต่ำลงมากอย่างรวดเร็วได้บ่อยๆ จึงต้องสร้างอาคารน้ำตกและอาคารรางเทไว้มากในคลองซอย คลองแยกซอย และคูน้ำ

กล่าวโดยทั่วไปอาคารน้ำตกและรางเทมีประโยชน์อย่างเดียวกันดังกล่าวข้างต้น และบางแบบยังมีลักษณะคล้ายคลึงกันด้วย แต่ก็พอจะแยกออกจากกันได้คือ ถ้าเป็นอาคารที่สร้างขึ้นเพื่อลดระดับน้ำและระดับท้องคลองลงไม่มากตามแนวดิ่งหรือตามลาดค่อนข้างชันในช่วงสั้นๆ จะเรียกว่า "อาคารน้ำตก" แต่ถ้าเป็นอาคารที่สร้างขึ้นเพื่อลดระดับน้ำและระดับท้องคลองลงมากตามลาดที่ไม่ค่อยชันแต่ก็พอจะทำให้เกิดกระแสน้ำแรงจัดในช่วงยาวได้จะเรียกว่า "รางเท"

รูปที่ 6.6 **อาคารน้ำตก** (Drop) **เป็นอาคารสร้างสำหรับลดระดับน้ำในคลองส่งน้ำ**

6.8 **อาคารน้ำตก** (drops)

อาคารน้ำตกเป็นอาคารส่งน้ำซึ่งเหมาะกับปริมาณน้ำที่ไหลผ่านไม่มากนัก อย่างไรก็ตามเท่าที่เคยสร้างกันนั้นอาคารน้ำตกบางแห่งสามารถระบายน้ำผ่านได้มากถึง 30 ม.^{3}/วินาที

เนื่องจากเราจะลดระดับน้ำและระดับท้องคลองลงในแนวดิ่งหรือตามลาดในช่วงสั้นๆ ก็ได้ เพราะฉะนั้นจึงมีอาคารน้ำตกอยู่ 2 ชนิดคือ :-

(1) อาคารน้ำตกแนวดิ่ง

(2) อาคารน้ำตกเอียง

6.8.1 **อาคารน้ำตกแนวดิ่ง** (vertical drops)

ในสมัยหนึ่งได้มีการสร้างอาคารน้ำตกชนิดนี้กันมากในระบบการส่งน้ำของโครงการชลประทาน แต่เมื่อวิวัฒนาการทางวิชาการในด้านการออกแบบก้าวหน้ามากขึ้น ในปัจจุบันจึงมักจะใช้อาคารน้ำตกเอียงชนิดรูปสี่เหลี่ยมมุมฉาก (rectangular inclined drops) หรือชนิดพื้นร่องมีแท่งคอนกรีตปะทะน้ำไหล (baffled apron drops) แทนอาคารน้ำตกแนวดิ่ง อย่างไรก็ตามอาคารน้ำตกแนวดิ่งก็ยังใช้งานได้ดีและเหมาะสำหรับคลองซอยและคูน้ำขนาดเล็กที่ต้องการลดระดับน้ำและระดับท้องคลองลงไม่เกิน 3.00 ม. ทั้งยังสร้างได้ง่ายและราคาถูกอีกด้วย

อาคารน้ำตกแนวดิ่งอาจสร้างด้วยไม้ หินก่อ คอนกรีตล้วน หรือคอนกรีตเสริมเหล็ก แต่ในสมัยนี้มักจะสร้างด้วยคอนกรีตเสริมเหล็กทั้งนั้น โดยทั่วไปจะสร้างเป็นกำแพงปีบคลองส่งน้ำให้แคบเข้าและเปิดช่องตรงกลางไว้ให้น้ำไหลผ่านตกลงสู่พื้นหรืออ่างสลายพลังงานท้ายช่องในแนวดิ่ง จากนั้นน้ำจึงจะไหลไปตามคลองเบื้องล่างต่อไป ช่องที่เปิดไว้ให้น้ำไหลผ่านจะมีช่องเดียวหรือหลายช่องก็ได้แล้วแต่ปริมาณน้ำและการออกแบบ และตามปกติจะเปิดไว้ให้น้ำไหลผ่านตลอดเวลาโดยไม่มีบานประตูหรือสิ่งปิดกั้นน้ำ แต่บางทีก็มีไม้กระดานอัดน้ำ ไม้เหลี่ยมอัดน้ำ หรือบานประตูติดไว้ที่ช่องด้วยเหมือนกัน ถ้าเป็นแบบนี้อาคารน้ำตกจะทำหน้าที่เป็นอาคารอัดน้ำในคลอง (check structures) ไปด้วยในตัว เราเรียกอาคารน้ำตกแบบนี้ว่าอาคารน้ำตกทดน้ำ (check drops)

อาคารน้ำตกแนวดิ่งมีส่วนประกอบที่สำคัญคือ

(1) เข็มพืดหรือกำแพงสกัด (sheet piles or cut-off walls) ที่ปลายพื้นด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำ

(2) ทางเข้าและทางออก (inlet and outlet sections) สำหรับอาคารน้ำตกแนวดิ่งขนาดเล็กจะไม่มีทางเข้าและทางออกก็ได้

(3) พื้นด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำ (upstream and downstream floors)

(4) กำแพงปีก (inlet and outlet wing walls)

(5) กำแพงช่องน้ำตก (breast wall)

(6) กำแพงข้างช่องน้ำตก (side walls)

(7) อ่างสลายพลังงาน (stilling pool)

ก่อนถึงพื้นด้านเหนือน้ำและต่อจากปลายพื้นด้านท้ายน้ำออกไปจะต้องมีหินทิ้งหินเรียงหรือหินเรียงยาแนวป้องกันน้ำกัดตลิ่งและท้องคลอง (protection) ไว้ระยะหนึ่งด้วย

รูปที่ 6.7 แสดงรูปอาคารน้ำตกดิ่งขนาดเล็กสำหรับปริมาณน้ำไหลผ่านไม่เกิน 0.5 ม.^{3}/วินาที (อรุณ , 2534)

รูปที่ 6.7 อาคารน้ำตกแนวดิ่งขนาดเล็ก

6.8.2 อาคารน้ำตกเอียง (inclined drops)

ถ้าเปรียบเทียบกับอาคารน้ำตกแนวดิ่งแล้ว อาคารน้ำตกเอียงมีข้อได้เปรียบกว่า คือต้านทานการเลื่อน (sliding) และการไหลซึมของน้ำใต้พื้นอาคารได้ดีกว่า โดยเฉพาะถ้าลดระดับน้ำลงมากกว่า 1.00 ม.

อาคารน้ำตกเอียงต่างกับอาคารน้ำตกแนวดิ่ง คือน้ำที่ไหลผ่านช่องน้ำตกจะไหลลงสู่อ่างสลายพลังงานเบื้องล่างไปตามพื้นเอียงสั้นๆ แต่มีลาดค่อนข้างชันซึ่งตามปกติจะชันกว่า 1:3 (ระยะตั้ง:ระยะราบ)

เราอาจสร้างอาคารน้ำตกเอียงไว้ในคลองส่งน้ำได้ทุกประเภทไม่ว่าจะเป็นคลองสายใหญ่ คลองสาขา คลองซอยหรือคลองแยกซอย และสามารถลดระดับน้ำลงได้ทุกระดับจนถึง

ประมาณ 8.00 ม. หรือมากกว่า มีอาคารน้ำตกเอียงแห่งหนึ่งของสหรัฐอเมริกาซึ่งลดระดับน้ำลงถึง 15.00 ม. (USBR , 1978)

รูปที่ 6.8 อาคารน้ำตกเอียงรูปสี่เหลี่ยมคางหมู

อาคารน้ำตกเอียงมีชื่อเรียกต่างๆ กัน เช่นเรียกตามลักษณะของรูปตัดตามขวางของร่องน้ำตก (drop channels) ได้แก่อาคารน้ำตกเอียงรูปสี่เหลี่ยมมุมฉาก (rectangular inclined drops) และอาคารน้ำตกแนวเอียงรูปสี่เหลี่ยมคางหมู (trapezoidal inclined drops) หรือถ้ามีสิ่งก่อสร้างพิเศษสร้างประกอบไว้กับอาคารน้ำตกเอียงนั้นด้วยก็จะเรียกชื่อต่างๆ กันได้อีกหลายอย่าง เช่น อาคารน้ำตกทดน้ำ, อาคารน้ำตกแบบมีประตูควบคุม ซึ่งโดยมากเป็นอาคารน้ำตกที่มีบานประตูบังคับน้ำ ความจริงอาคารน้ำตกเอียงเป็นรางน้ำพิเศษแบบหนึ่งซึ่งมีลักษณะสำคัญคือ

(1) **ทางเข้าและทางออก** (inlet and outlet sections)

โดยปกติทางเข้าและทางออกของอาคารน้ำตกเอียงเป็นช่วงต่อเชื่อมแบบพิเศษเพื่อต่อเชื่อมตัวคลองกับตัวอาคารน้ำตก ช่วงต่อเชื่อมด้านทางเข้าอาจเป็นกำแพงธรรมดาที่สอบแคบเข้ามา แต่ช่วงต่อเชื่อมด้านทางออกจากอ่างสลายพลังงานไปยังคลองด้านท้ายน้ำนั้นควร

ออกแบบอย่างรอบคอบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับอาคารน้ำตกเอียงขนาดใหญ่ซึ่งลดระดับน้ำลงมาก

(2) **อาคารทางเข้า** (inlet structure)

ต้องออกแบบให้ควบคุมการไหลของน้ำได้ เช่นทำเป็นช่องบังคับน้ำ (notch controls) ไว้หลาย ๆ ช่อง ให้น้ำไหลผ่านช่องเหล่านี้ลงไปตามพื้นเอียงของร่องน้ำตก หรืออาจออกแบบให้มีไม้กระดานอัดน้ำ บานประตูหรือฝายไว้ด้วยเพื่อป้องกันผลของการลดระดับน้ำไม่ให้น้ำกัดเซาะตลิ่งคลองด้านเหนือน้ำเสียหาย อาคารทางเข้าประกอบด้วยพื้น กำแพงสกัด ตอม่อริมหรือกำแพงริมตลิ่ง กำแพงปีก และช่องน้ำตก

(3) **ร่องน้ำตก** (drop channel)

ร่องน้ำตกเป็นรางน้ำรูปสี่เหลี่ยมมุมฉากหรือสี่เหลี่ยมคางหมู ประกอบด้วยกำแพงข้าง (side walls) 2 ข้าง และพื้นเอียงสั้นๆ ซึ่งมีลาดค่อนข้างชัน ลาดของพื้นเอียงควรเลือกใช้มีดังต่อไปนี้

ลาด 1:1.5 ให้สำหรับการลดระดับน้ำลงไม่เกิน 1.50 ม.

ลาด 1:2 ใช้สำหรับการลดระดับน้ำลงมากกว่า 1.50 ม.

ลาด 1:2.5 ถึง 1:3 ใช้สำหรับน้ำตกเอียงขนาดใหญ่ซึ่งลดระดับน้ำลงมาก

ตามปกติร่องน้ำตกมีแนวตรง ปลายร่องลงสู่อ่างสลายพลังงาน พื้นเอียงของร่องเป็นพื้นตรงแต่จะออกแบบปลายพื้นให้เป็นโค้งทางดิ่ง (vertical curve) ลงสู่อ่างสลายพลังงานก็ได้

(4) **อ่างสลายพลังงาน** (stilling pool)

น้ำที่ไหลลงมาโดยแรงตามพื้นเอียงของร่องน้ำตกจะลงสู่อ่างรับน้ำที่สร้างไว้ตรงปลายพื้นเพื่อสลายพลังงานของน้ำที่มีมากเกินไปเสียก่อน อัตราเร็วของน้ำจะลดลงเหลือเท่ากับอัตราเร็วของน้ำในคลองท้ายอาคารน้ำตกซึ่งจะป้องกันไม่ให้น้ำกัดเซาะคลองและอาคารน้ำตกอย่างรุนแรงได้เพื่อให้สัมฤทธิ์ผลดังกล่าวนี้ จึงต้องกดระดับก้นอ่างสลายพลังงานลงต่ำกว่าระดับน้ำในคลองด้านท้ายอาคารน้ำตกให้มากพอที่จะทำให้เกิดไฮดรอลิคจั๊ม (hydraulic jump) ขึ้นในอ่างได้

อ่างสลายพลังงานมีรูปตัดตามขวางเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมูตามลักษณะของร่องน้ำตก ประกอบด้วยพื้นอ่าง (floor) และกำแพงข้าง (side walls) 2 ข้าง อ่างสลายพลังงานต้องแข็งแรงพอที่จะต้านทานแรงกระแทกของน้ำได้ ควรมีรูระบายน้ำ (weep holes) ไว้ในอ่างเพื่อลดแรงดันขึ้นของน้ำใต้พื้น (uplift pressure) รูระบายน้ำเหล่านี้เจาะทะลุพื้นหรือกำแพงข้างเข้ามาในอ่างมีทรายและกรวด (sand and gravel pockets) หุ้มปากรูด้านใต้พื้นหรือด้านหลังกำแพงข้าง

เป็นเครื่องกรอง (filter) ไว้ด้วย และควรมีการป้องกันน้ำกัดเซาะคลองก่อนเข้าช่วงต่อเชื่อมด้านทางเข้า และต่อจากช่วงต่อเชื่อมด้านทางออกออกไปด้วยหินทิ้ง หินเรียง หรือหินเรียงยาแนวไว้สักระยะหนึ่งเช่นเดียวกับอาคารน้ำตกแนวดิ่ง

อาคารน้ำตกเอียงคอนกรีตเสริมเหล็กเป็นอาคารส่งน้ำที่นิยมสร้างกันมากในปัจจุบัน นอกจากอาคารน้ำตกเอียงรูปสี่เหลี่ยมมุมฉากและรูปสี่เหลี่ยมคางหมูดังกล่าวแล้ว ยังมีอาคารน้ำตกเอียงอีก 2 แบบที่สมควรจะได้นำมากล่าวไว้ด้วยคือ

(1) อาคารน้ำตกเอียงแบบพื้นร่องมีแท่งคอนกรีต และ

(2) อาคารน้ำตกเอียงแบบท่อ

อาคารน้ำตกเอียงแบบพื้นร่องมีแท่งคอนกรีต (baffled apron drops)

เป็นอาคารน้ำตกเอียงรูปสี่เหลี่ยมมุมฉากซึ่งบนพื้นร่องน้ำตกมีแท่งคอนกรีตสร้างไว้หลายแถว น้ำที่ไหลเทลงมาโดยแรงจะปะทะและล้นข้ามแท่งคอนกรีตเหล่านี้ตกลงสู่คลองเบื้องล่างเป็นชั้นๆ ทำให้พลังงานของน้ำสลายไปหมด จึงไม่จำเป็นต้องมีอ่างสลายพลังงานไว้ที่ปลายพื้น แต่จะต้องมีหินทิ้ง หินเรียง หรือหินเรียงยาแนวป้องกันคลื่นกัดเซาะตลิ่งคลองท้ายอาคารน้ำตกไว้ด้วย การออกแบบอาคารน้ำตกชนิดนี้ได้พัฒนาจากการศึกษาแบบจำลองในห้องทดลองและปริมาณน้ำที่ยอมให้ไหลผ่านต่อ 1 เมตรความกว้างของร่องน้ำตก ซึ่งได้กำหนดไว้ดังต่อไปนี้

ปริมาณน้ำในคลอง (ม.^{3}/วินาที)	ปริมาณน้ำที่ยอมให้ไหลผ่านต่อ 1 เมตรความกว้างของร่องน้ำตก (ม.^{3}/วินาที)
0-11	0.46-0.93
1.15-2.8	0.93-1.40
2.85-5.35	1.40-1.86
5.4-13.0	1.86-2.79
13.1-28.3	2.79-4.65
ตั้งแต่ 2.83 ขึ้นไป	4.65-5.58

เนื่องจากการจำกัดปริมาณน้ำที่ไหลผ่านต่อ 1 เมตรความกว้างของร่องน้ำตกนี้เองจึงทำให้อาคารน้ำตกเอียงแบบนี้มีราคาสูง โดยเฉพาะเมื่อมีปริมาณน้ำไหลผ่านมากและต้องลดระดับน้ำลงมาก

แท่งคอนกรีตปะทะน้ำ (baffled blocks) ควรสูง 0.90 ของความลึกวิกฤต (critical depth) และกว้างประมาณ 1 ถึง 1.5 เท่าของความสูง ระยะห่าง (clear distance) ระหว่างแท่งคอนกรีตควรเท่ากับความสูงของแท่งคอนกรีตและระยะห่างระหว่างแถวของแท่งคอนกรีตบนพื้นเอียงควรเป็น 2 เท่าของความสูงของแท่งคอนกรีตแต่ไม่มากกว่า 1.85 เมตร อัตราเร็วของน้ำที่หัวร่องน้ำตกไม่ควรมากกว่าความเร็ววิกฤต เพราะฉะนั้นจึงต้องมีการบังคับน้ำที่หัวร่อง แต่เนื่องจากความกว้างของร่องน้ำตกแบบนี้พิจารณาจากปริมาณน้ำที่ยอมให้ไหลผ่านต่อ 1 เมตรความกว้างดังได้กล่าวมาแล้ว การบังคับน้ำจึงทำได้โดยการยกระดับปากทางเข้าร่องน้ำตกให้สูงขึ้นหรือทำเป็นช่องบังคับน้ำ (notch controls) ไว้หลาย ๆ ช่องดังแสดงไว้ในรูปที่ 6.9 (USBR , 1978)

รูปที่ 6.9 อาคารน้ำตกเอียงแบบพื้นมีแท่งคอนกรีต

รูปที่ 6.10 อาคารน้ำตกแนวเอียงแบบท่อ

อาคารน้ำตกเอียงแบบท่อ (pipe drops)

ตามธรรมดาร่องน้ำตกทั่วไปเป็นร่องเปิด (open channels) แต่ร่องน้ำตกเอียงแบบนี้เป็นท่อคอนกรีตกลมเสริมเหล็กซึ่งฝังอยู่ใต้พื้นดิน ท่อเหล่านี้จะหล่อไว้ก่อนเป็นท่อนๆ (precast concrete pipes) เมื่อจะสร้างอาคารน้ำตกจึงนำไปวางต่อกันดังรูปที่ 6.10

อาคารน้ำตกแนวเอียงแบบท่อมีช่วงต่อเชื่อมด้านทางเข้า แต่อาจจะมีหรือไม่มีช่วงต่อเชื่อมด้านทางออกก็ได้ ที่ช่วงต่อเชื่อมด้านทางเข้าจะมีช่องบังคับน้ำหรือไม้เหลี่ยมอัดน้ำอย่างใดอย่างหนึ่งติดไว้เพื่อป้องกันการลดลงของระดับน้ำที่ปากทางเข้าเพื่อไม่ให้น้ำกัดเซาะตลิ่งคลอง โดยทั่วไปนิยมใช้อาคารน้ำตกแนวเอียงแบบท่อสำหรับลดระดับน้ำลงไม่เกิน 6.5 เมตร (ประมาณ 20 ฟุต)

ในช่วงแรกของอาคารน้ำตก ตัวท่อจะวางไปตามลาดค่อนข้างชัน เพราะฉะนั้นอัตราเร็วของน้ำที่ไหลผ่านท่อในช่วงแรกนี้จึงเป็นความเร็วมากกว่าวิกฤต (supercritical velocity) จึงต้องมีวิธีสลายพลังงานของน้ำที่มากเกินไปและลดอัตราเร็วของน้ำลงให้พอเหมาะเพื่อป้องกันตัวอาคารน้ำตกให้ต้านทานการกัดทำลายอย่างรุนแรงของน้ำที่ปากทางออก อัตราเร็วสูงสุดของน้ำเมื่อไหลเต็มท่อควรเท่ากับ 1.1 เมตร/วินาที สำหรับอาคารน้ำตกแนวเอียงแบบท่อที่ไม่มีช่วงต่อเชื่อมด้านทางออก และเท่ากับ 1.52 เมตร/วินาที ถ้ามีช่วงต่อเชื่อมด้านทางออก (อรุณ , 2534)

การสลายพลังงานของน้ำที่มากเกินไปจากความเร็วมากกว่าวิกฤตนี้จะทำให้สำเร็จโดยการกดตัวท่อในช่วงใกล้จะถึงปลายท่อให้ต่ำกว่าระดับน้ำในคลองด้านท้ายอาคารน้ำตก เพื่อให้เกิดไฮดรอลิคจั๊มขึ้นภายในท่อก่อนที่น้ำจะไหลออกสู่คลองหรือช่วงต่อเชื่อมด้านทางออก

6.9 หลักการออกแบบอาคารน้ำตกแนวดิ่ง

การไหลและแรงที่เกิดจากการไหลของน้ำมีความสำคัญมากในการออกแบบอาคารน้ำตก จึงต้องพิจารณาเรื่องต่อไปนี้เป็นพิเศษ คือ

- อัตราเร็วของน้ำด้านหน้าช่องน้ำตก
- แรงกระแทกของน้ำที่ตกลงสู่ท้ายน้ำตก
- การกัดทำลายพื้นด้านท้ายน้ำตกหรืออ่างสลายพลังงานจากกระแสน้ำวนและกระแสน้ำปั่นป่วนตรงทางออกสู่คลอง

6.9.1 อัตราเร็วของน้ำด้านหน้าช่องน้ำตก

ในขณะที่น้ำไหลผ่านช่องน้ำตกลงสู่อ่างรับน้ำเบื้องล่างนั้นระดับน้ำที่ช่องน้ำตกจะลดต่ำลง การลดของระดับน้ำจะเริ่มเกิดขึ้นที่จุดหนึ่งซึ่งอยู่ห่างจากพื้นช่องหรือธรณีช่องน้ำตกไป

ทางด้านเหนือน้ำเล็กน้อย ความลึกของน้ำบนพื้นหรือธรณีจึงน้อยกว่าความลึกของน้ำในคลอง ทำให้ลาดผิวน้ำในช่วงนั้นชันกว่าลาดผิวน้ำในคลองและเกิดกระแสน้ำแรงขึ้น น้ำจะกัดเซาะท้องคลองในช่วงนั้นแล้วลุกลามเข้ามาทำให้กำแพงช่องน้ำตกชำรุดเสียหายไป จึงต้องมีพื้นด้านเหนือน้ำ (upstream floor) ยื่นออกไปจากกำแพงช่องน้ำตกเพื่อป้องกันน้ำกัดเซาะท้องคลอง ให้สังเกตว่าพื้นช่องหรือธรณีช่องน้ำตกตรงที่น้ำไหลข้ามตกลงสู่เบื้องล่างนั้นเปรียบได้กับสันฝาย (weir crest) ถ้าความกว้างของพื้นช่องหรืออีกนัยหนึ่งความยาวของธรณีช่องน้ำตกยิ่งยาว ความลึกของน้ำบนธรณีจะยิ่งน้อย ลาดผิวน้ำจะยิ่งชันและกระแสน้ำจะยิ่งแรงมากขึ้นทำให้เกิดน้ำกัดเซาะท้องคลองและลาดตลิ่งคลองด้านหน้าของอาคารน้ำตกอย่างรุนแรง

อย่างไรก็ตาม การกัดเซาะของน้ำอย่างรุนแรงนี้จะไม่เกิดขึ้นถ้าเราออกแบบช่องน้ำตกให้ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านช่องเท่ากับปริมาณน้ำในคลองโดยมีระดับน้ำที่ช่องน้ำตกและระดับน้ำในคลองเป็นระดับเดียวกันซึ่งจะทำได้โดยวิธีใดวิธีหนึ่งดังต่อไปนี้

- โดยการใช้พื้นช่องน้ำตกแคบกว่าความกว้างของก้นคลอง
- โดยการยกระดับพื้นหรือธรณีช่องน้ำตกให้สูงขึ้นจากระดับก้นคลอง
- โดยการใช้กำแพงมีช่องให้น้ำไหลผ่าน

ก. โดยการใช้พื้นช่องน้ำตกแคบกว่าความกว้างของก้นคลอง

ด้วยวิธีนี้ช่องน้ำตกจะเป็นรูปสี่เหลี่ยมมุมฉากซึ่งมีความกว้างของพื้นช่องแคบกว่าความกว้างของก้นคลอง โดยสร้างเป็นกำแพงบีบเข้ามาจาก 2 ฝั่งคลอง ความลึกของน้ำ (d) บนพื้นหรือธรณีของช่องหรือบนกำแพงนั้นเท่ากับความลึกของน้ำในคลอง ความกว้างของพื้นช่องจะคำนวณได้จากสูตรของฝายโดยถือว่าน้ำที่ไหลผ่านช่องน้ำตกมีลักษณะเช่นเดียวกับน้ำที่ไหลล้นข้ามฝายซึ่งมีพื้นช่องน้ำตกหรือสันฝายอยู่ที่ระดับเดียวกับก้นคลอง สมการที่ใช้คำนวณคือ

$$Q = Cb' d^{3/2} \quad \text{.....} \quad (6.5)$$

ในเมื่อ Q = ปริมาณน้ำทั้งหมดที่ไหลผ่านช่องน้ำตก

C = สัมประสิทธิ์

b' = ความกว้างของพื้นช่องน้ำตก

d = ความลึกของน้ำบนพื้นช่องน้ำตก

Bellassis ได้ให้ค่าของ C = 4.75 ดังนั้นสมการ (6.5) จึงกลายเป็น

$$Q = 4.75 b' d^{3/2} \quad \text{.....} \quad (6.6)$$

แต่ Bazin กำหนดให้ค่าของ C = 5.03 ดังนั้นโดยสูตรของ Bazin

$$Q = 5.03 b' d^{3/2} \quad \text{.....} \quad (6.7)$$

สมการ (6.6) และ (6.7) นี้ไม่คิดความเร็วไหลเข้าอาคารเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย และใช้สำหรับน้ำตกซึ่งระดับน้ำด้านท้ายน้ำอยู่ต่ำกว่าระดับพื้นช่องน้ำตก

ตามปกติช่องน้ำตกแบบนี้ไม่มีไม้เหลี่ยมอัดน้ำหรือบานประตูบังคับน้ำ น้ำในคลองจะไหลผ่านช่องน้ำตกตลอดเวลา ในปัจจุบันไม่ค่อยนิยมสร้างกันนักเพราะมีข้อเสียอยู่บ้างคือ เมื่อความกว้างของพื้นช่องน้ำตก (b') คำนวณได้จากปริมาณน้ำเต็มที่ในคลอง (Q) ซึ่งไหลผ่านช่องน้ำตก โดยมีความลึกของน้ำมากที่สุด (d) ในคลองเท่ากับความลึกของน้ำบนพื้นช่องน้ำตก ผลของการคำนวณย่อมจะถูกต้องเฉพาะค่าของปริมาณน้ำและความลึกของน้ำที่นำมาใช้คำนวณเท่านั้น ถ้าหากปริมาณน้ำที่ไหลน้อยกว่าที่ใช้คำนวณ ความลึกของน้ำในคลองและบนพื้นช่องน้ำตกจะลดลงแต่ลดไม่เท่ากัน โดยความลึกของน้ำบนพื้นช่องน้ำตกจะน้อยกว่าความลึกของน้ำในคลอง ทำให้ลาดผิวน้ำชันขึ้น น้ำจะไหลแรงและอาจกัดเซาะตลิ่งคลองหรือกระทบกระเทือนถึงการส่งน้ำด้านเหนือน้ำของช่องน้ำตกได้

ข. โดยการยกระดับพื้นหรือธรณีช่องน้ำตกให้สูงขึ้นจากระดับก้นคลอง

โดยวิธีนี้ช่องน้ำตกจะเป็นรูปสี่เหลี่ยมมุมฉากเช่นเดียวกับข้อ ก. แต่ความกว้างของพื้นช่องน้ำตกเท่ากับความกว้างของก้นคลอง และยกพื้นช่องน้ำตกหรือสันกำแพงช่องน้ำตกให้สูงขึ้น ซึ่งจะทำให้ระดับน้ำบนพื้นช่องน้ำตกเท่ากับระดับน้ำในคลอง

ความลึกของน้ำ H_1 เหนือสันพื้นช่องที่ยกขึ้นจะคำนวณได้จากความกว้างของพื้นช่องและปริมาณน้ำไหลผ่านโดยใช้สูตรของฝายธรรมดานี่เองคือ

$$H_1 = \left(\frac{Q}{Cb}\right)^{2/3} \quad \text{.....} \quad (6.8)$$

สำหรับกรณีที่ไม่คิดความเร็วไหลเข้าอาคาร และ

$$H_1 = \left(\frac{Q}{Cb} - h_v^{3/2}\right)^{2/3} \quad \text{.....} \quad (6.9)$$

สำหรับกรณีที่คิดความเร็วไหลเข้าอาคารน้ำตก

ในเมื่อ h_v = เฮดความเร็ว

$$= \frac{v^2}{2g} \quad \text{.....} \quad (6.10)$$

ในเมื่อ d = ความลึกของน้ำในคลอง

H_2 = ความสูงที่ยกระดับพื้นช่องขึ้นจากระดับก้นคลอง

เพราะฉะนั้น $H_2 = d - H_1$

สำหรับค่าของสัมประสิทธิ์ (C) ควรเลือกใช้ดังต่อไปนี้

กรณี 1 C = 3.33 สำหรับพื้นช่องที่ยกขึ้นเป็นไม้กระดานอัดน้ำที่ใส่ลงไปในแนวดิ่ง หรือเป็นกำแพงสี่เหลี่ยมมุมฉากตั้งตรงหนา 4 ถึง 30 นิ้ว มีขอบคมและความลึกของน้ำบนสันกำแพงไม่น้อยกว่า 2 เท่าของความหนาของกำแพง

กรณี 2 C = 3.50 สำหรับกำแพงอย่างเดียวกับกรณี 1 แต่ลบเหลี่ยมสันกำแพงด้านเหนือน้ำให้กลมมนมีรัศมี 4 นิ้ว

กรณี 3 C = 2.90 สำหรับกำแพงอย่างเดียวกับกรณี 1 แต่ความลึกของน้ำบนสันกำแพงเท่ากับความหนาของกำแพงโดยประมาณ

กรณี 4 C = 3.10 สำหรับกำแพงอย่างเดียวกับกรณี 2 แต่ความลึกของน้ำบนสันกำ

แพงเท่ากับความหนาของกำแพงโดยประมาณ

สมการเหล่านี้ใช้สำหรับน้ำตกซึ่งระดับน้ำด้านท้ายน้ำอยู่ต่ำกว่าระดับพื้นช่องน้ำตก (complete fall) หรือการไหลตกอย่างสมบูรณ์

ช่องน้ำตกแบบยกระดับพื้นช่องให้สูงกว่าระดับก้นคลองมี ข้อเสีย คือ

(1) ความสูงของพื้นช่องน้ำตกที่ยกขึ้นซึ่งคำนวณได้จะถูกต้องเฉพาะในกรณีปริมาณน้ำที่ไหลผ่านเท่ากับปริมาณน้ำที่ใช้คำนวณเท่านั้น เว้นแต่ส่วนที่ยกขึ้นนี้สามารถปรับความสูงได้ เช่นทำด้วยไม้เหลี่ยมหรือไม้กระดานอัดน้ำซึ่งสามารถใส่เพิ่มลงไปและถอดออกได้

(2) ถ้าส่วนที่ยกขึ้นนี้เป็นกำแพงติดตาย จะกีดขวางการไหลของน้ำและตะกอนทรายที่ไหลมากับน้ำจะตกจมติดอยู่ข้างหน้าทำให้คลองตื้น แต่ก็แก้ไขได้โดยการทำให้ส่วนที่ยกขึ้นนั้นปรับความสูงได้

(3) การยกพื้นหรือธรณีช่องน้ำตกขึ้นก็เท่ากับต้องสร้างกำแพงขวางให้สูงกว่าปกติจึงสิ้นเปลืองค่าก่อสร้างมากขึ้น

อย่างไรก็ตาม ช่องน้ำตกแบบนี้ก็ยังดีกว่าแบบที่กล่าวมาแล้วในข้อ ก. เพราะเนื้อที่ซึ่งน้ำไหลผ่านตรงช่องน้ำตกไม่เปลี่ยนแปลง หรือลดลงไม่มาก การกัดเซาะของน้ำที่ทางออกจึงมีไม่มาก และถ้าจะให้อาคารน้ำตกทำหน้าที่เป็นประตูระบายทดน้ำกลางคลอง (check gate) ด้วยแล้วก็สามารถจะใช้อาคารน้ำตกแบบนี้ได้โดยมีไม้กระดานอัดน้ำหรือบานประตูสำหรับปรับความสูงของพื้นช่องที่ยกขึ้นเพื่อบังคับระดับน้ำ

ค. โดยการใช้กำแพงมีช่องให้น้ำไหลผ่าน

โดยวิธีนี้จะต้องต่อกำแพงช่องน้ำตกให้สูงพ้นระดับก้นคลองขึ้นไปข้างบนแล้วทำให้เป็นช่องน้ำตก (notch) ช่องเดียวหรือหลายช่องเพื่อให้น้ำไหลผ่านและตกลงสู่เบื้องล่าง

ช่องน้ำตกแบบนี้จะมีรูปเป็นสี่เหลี่ยมคางหมูซึ่งมีความกว้างของพื้นช่องน้อยกว่าความกว้างของก้นคลอง มีระดับพื้นช่องเป็นระดับเดียวกับระดับพื้นคลอง และมีลาดข้างช่องชันกว่าลาดตลิ่งคลอง ความประสงค์ของการทำช่องน้ำตกแบบนี้ก็คือให้ช่องน้ำตกสามารถบังคับปริมาณน้ำที่ไหลผ่านได้ทุกปริมาณ โดยมีความลึกของน้ำบนพื้นช่องเท่ากับความลึกของน้ำในคลอง (d) อยู่เสมอ

สิ่งที่จะต้องพิจารณาในการออกแบบช่องน้ำตกแบบนี้คือ

(1) ความกว้างทั้งหมดของกำแพงช่องน้ำตก

(2) จำนวนช่องที่น้ำไหลผ่าน

(3) ขนาดของช่อง

ความจริงอาคารน้ำตกที่มีช่องเดียวก็สามารถให้ปริมาณน้ำทั้งหมดไหลผ่านไปได้เช่นเดียวกับที่มีหลายช่อง แต่การใช้หลายช่องอาจมีข้อดีอยู่บ้างคือเมื่อปริมาณน้ำทั้งหมดถูกแบ่งออกเป็นปริมาณน้อย ๆ หลายปริมาณตามจำนวนช่อง ความรุนแรงของการไหลของน้ำด้านท้ายน้ำตกจะลดน้อยลง อย่างไรก็ตามการใช้ช่องแคบ ๆ หลายช่องก็มีข้อเสียเหมือนกันคือวัตถุที่ไหลลอยมากับน้ำอาจมาติดที่ช่องได้ จะทำให้น้ำไหลผ่านช่องไม่สะดวก หลักเกณฑ์ที่ควรใช้ในการเลือกส่วนสัดของช่องพอสรุปได้ดังนี้ (อรุณ , 2534)

(1) ความยาวทั้งหมดของกำแพงช่องน้ำตกซึ่งอยู่ระหว่างกำแพงข้าง (side walls) ควรเท่ากับความกว้างของก้นคลอง

(2) ความกว้างของปากช่องไม่ควรมากกว่าความลึกของน้ำในคลอง (d) ควรจะอยู่ระหว่าง $\frac{3}{4}$ ถึง 1 เท่าของความลึกของน้ำในคลอง

(3) ความยาวของหลังตอม่อกลาง (piers) หรือกำแพงขวางซึ่งแบ่งช่องระบายน้ำออกเป็นช่อง ๆ นั้น ไม่ควรน้อยกว่าครึ่งหนึ่งของความลึกของน้ำในคลอง

(4) จำนวนช่องทั้งหมดโดยประมาณที่ได้จากหลักเกณฑ์ดังกล่าวข้างต้นจะเท่ากับความกว้างของก้นคลองหารด้วย 1.25 ถึง 1.5 เท่าของความลึกของน้ำในคลอง

ขนาดของช่องน้ำตกที่ต้องทราบมีดังต่อไปนี้

(1) ความลึกของช่องหรือความลึกของน้ำบนพื้นช่องซึ่งตามปกติจะเท่ากับความลึกของน้ำใช้การเต็มที่ในคลอง

(2) ความกว้างของพื้นช่อง

(3) ลาดข้างช่อง

ความกว้างของพื้นช่องและลาดข้างช่องจะคำนวณได้จากสมการของการไหลของน้ำผ่านช่องคือ

$$Q = \frac{2}{3} C\sqrt{2g}\,[b'd^{3/2} + \frac{4}{5} n d^{5/2}] \quad \text{.....} \quad (6.11)$$

ในเมื่อ Q = ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านช่อง

C = สัมประสิทธิ์ของการระบายน้ำ (coefficient of discharge)

g = อัตราเร่งของแรงดึงดูดของโลก

b' = ความกว้างของพื้นช่อง

d = ความลึกของน้ำบนพื้นช่องซึ่งเท่ากับความลึกของน้ำในคลองเมื่อมีปริมาณน้ำ Q ไหลผ่าน

1:n = ลาดข้างช่อง

สมการ (6.11) ใช้ในกรณีระดับน้ำในคลองด้านท้ายช่องน้ำตกอยู่ต่ำกว่าระดับพื้นช่อง หรือการไหลตกอย่างสมบูรณ์และไม่คิดความเร็วไหลเข้าอาคาร (ความคลาดเคลื่อนในการคำนวณจะมีน้อยมากถ้าความเร็วการไหลเข้าอาคารไม่มากกว่า 0.92 เมตร/วินาที)

แต่ถ้าคิดความเร็วไหลเข้าอาคารสมการจะเปลี่ยนไปดังนี้

$$Q = \frac{2}{3}C\sqrt{2g}[b'\{(d+h)^{3/2} - h^{3/2}] - 2n\{dh^{3/2} - \frac{2}{5}\{(d+h)^{5/2} - h^{5/2}\}\} \quad \text{.....(6.12)}$$

ในกรณีระดับน้ำในคลองด้านท้ายช่องน้ำตกอยู่สูงกว่าระดับพื้นร่อง (partial fall) และไม่คิดความเร็วไหลเข้าอาคาร

สมการที่ใช้คำนวณจะเป็น

$$Q = \frac{2}{3}C\sqrt{2g}H\left[b\left(d+\frac{d_s}{2}\right)+2n\left(\frac{3}{4}d_s^2+d_s H+\frac{2}{5}H^2\right)\right] \quad \text{.....} \quad (6.13)$$

ในเมื่อ H = ความแตกต่างของระดับน้ำด้านเหนือและด้านท้ายช่องน้ำตก

d_S = ความแตกต่างของระดับน้ำด้านท้ายช่องน้ำตกกับระดับพื้นช่อง

ค่าสัมประสิทธิ์การระบายน้ำ (C) สำหรับช่องน้ำตกซึ่งมีน้ำไหลผ่านทั้งกรณีการไหลตกอย่างสมบูรณ์และไม่สมบูรณ์มีค่าดังต่อไปนี้

(1) คิดความเร็วไหลเข้าอาคาร

Burton กำหนดให้

C = 0.662 ถึง 0.676

(2) ไม่คิดความเร็วไหลเข้าอาคาร

Reid กำหนดให้

C = 0.70 สำหรับช่องน้ำตกขนาดเล็กซึ่งสร้างในคลองซอยและ

C = 0.78 สำหรับช่องน้ำตกขนาดใหญ่ซึ่งสร้างในคลองสายใหญ่

ความจริงถึงแม้จะไม่คิดความเร็วไหลเข้าอาคาร ผลของการคำนวณก็แน่นอนพอสมควรแล้ว

ส่วนสัดหรือขนาดของช่องน้ำตกจะคำนวณได้จากการ (6.11) หรือ (6.13) แล้วแต่กรณี ในสมการทั้ง 2 นี้ จะเห็นว่า Q, C, g, d, H และ d_S นั้นเราทราบค่าทั้งหมดแล้ว คงมีแต่ b' และ n เท่านั้นที่เป็นตัวแปรที่ไม่รู้ค่าซึ่งเราจะต้องคำนวณค่าออกมา และจำเป็นต้องทำเป็นสมการ 2 ชั้น โดยกำหนดความลึกของน้ำในคลองขึ้น 2 ค่า คือ d_1 และ d_2 เนื่องจากเราทราบความกว้างของก้นคลอง ลาดตลิ่งคลอง และลาดความยาวของคลองอยู่ก่อนแล้ว เราจึงหาปริมาณน้ำ Q_1 และ Q_2 สำหรับความลึกของน้ำ d_1 และ d_2 ได้โดยสูตรของกัตเตอร์หรือสูตรของแมนนิ่ง เมื่อนำค่า Q_1 และ d_1 กับ Q_2 และ d_2 ไปใส่ในสมการ (6.11) ซึ่งเป็นกรณีของการไหลตกอย่างสมบูรณ์ ก็จะได้ 2 สมการเป็นสมการ 2 ชั้น คือ

$$Q_1 = \frac{2}{3}C\sqrt{2g}\left[b'd_1^{3/2}+\frac{4}{5}nd_1^{5/2}\right]$$

และ

$$Q_2 = \frac{2}{3}C\sqrt{2g}\left[b'd_2^{3/2}+\frac{4}{5}nd_2^{5/2}\right]$$

จากสมการทั้ง 2 นี้ เราจะถอดสมการหาค่าของ b' และ d ออกมาได้

โดยทำนองเดียวกัน ถ้านำค่า Q_1 และ d_1 กับ Q_2 และ d_2 ไปใส่ในสมการ (6.13) :ซึ่งเป็นกรณีของการไหลตกไม่สมบูรณ์ ก็จะได้สมการ 2 ชั้นคือ

$$Q_1 = \frac{2}{3}C\sqrt{2g}H[b(d_1+\frac{d_s}{2})+2n(\frac{3}{4}d_s^2+d_sH+\frac{2}{5}H^2)]$$

และ

$$Q_2 = \frac{2}{3}C\sqrt{2g}H[b(d_2+\frac{d_s}{2})+2n(\frac{3}{4}d_s^2+d_sH+\frac{2}{5}H^2)]$$

และจะถอดสมการหาค่าของ b' และ d ออกมาได้

d_1 และ d_2 นี้จะกำหนดให้มีค่าเท่าไรก็ได้ เช่นให้

d_1 = ความลึกของน้ำใช้การเต็มที่ในคลอง (d) ซึ่งในกรณีนี้ Q_1 ย่อมเท่ากับปริมาณน้ำใช้การเต็มที่ในคลอง (Q) ด้วย

$$d_2 = \frac{d_1}{2}$$

แต่ถ้าจะให้ช่องน้ำตกควบคุมปริมาณน้ำต่าง ๆ ที่ไหลผ่านได้ดีขึ้นควรใช้ค่าของ d_1 และ d_2 ดังต่อไปนี้

ถ้า d = ความลึกของน้ำใช้การเต็มที่ในคลอง

d_0 = ความลึกของน้ำใช้การต่ำสุดในคลอง

$$d_1 = d-\frac{1}{4}(d-d_0)$$

$$d_2 = d_0+\frac{1}{4}(d-d_0)$$

ค่าของ d_0 นี้ไม่ควรมากกว่า $\frac{1}{2}d$ และไม่น้อยกว่า $\frac{1}{3}d$

ช่องน้ำตกรูปสี่เหลี่ยมคางหมูซึ่งมีระดับพื้นช่องเป็นระดับเดียวกับระบบก้นคลองดังกล่าวนี้ดีกว่าช่องน้ำตกรูปสี่เหลี่ยมมุมฉากในข้อ ก และ ข มาก จึงนิยมสร้างกันทั่วไป และช่องน้ำตกแบบนี้น้ำจะไหลผ่านตลอดเวลาโดยไม่ต้องมีไม้กระดานอัดน้ำหรือสิ่งปิดกั้นแต่อย่างใด

ต่อไปนี้เป็นตัวอย่าง ของการคำนวณขนาดช่องน้ำตกดิ่ง (vertical drop) แบบ กำแพงมีช่องให้น้ำไหลผ่านรูปสี่เหลี่ยมคางหมู

ตัวอย่างที่ 6.2

กำหนดให้ :-

(1) สำหรับคลองด้านเหนือและท้ายช่องน้ำตก

ความกว้างของก้นคลอง (b) = 2.00 ม.

ความลึกของน้ำใช้การเต็มที่ในคลอง (d) = 1.20 ม.

ลาดตลิ่งคลอง (SS) = 1 : 1.5

ลาดตามยาวของคลองหรือลาดผิวน้ำ (S) = 1 : 4,000 = 0.00025

สัมประสิทธิ์ความขรุขระ (n) = 0.0225

ปริมาณน้ำใช้การเต็มที่ในคลอง (Q) = 2.540 $ม^3$./วินาที

(2) สำหรับช่องน้ำตก

สัมประสิทธิ์การระบายน้ำ (C) = 0.70

g = 9.81 ม./วินาที^{2}

ใช้ช่องน้ำตกที่กำแพงมีช่องให้น้ำไหลช่องเดียวและใช้

d_1 = d

d_2 = $\frac{d_1}{2}$

ให้หาขนาดช่องน้ำตก

วิธีทำ หาปริมาณน้ำ Q_2 ที่ไหลผ่านช่องน้ำตก

b = 2.00 ม.

d = 1.20 ม.

d_1 = d = 1.20 ม.

d_2 = $\frac{d_1}{2} = \frac{1.20}{2}$ = 0.60 ม.

A = {2.00 + 1.50 (0.60)} 0.60 = 1.740 ม^2.

P = $2.00+0.60\sqrt{13}$ = 4.163 ม.

R = $\frac{1.740}{4.163}$ = 0.418 ม.

$\sqrt{R}$ = $\sqrt{0.418}$ = 0.647

จากสูตรของกัตเตอร์

$$V = \frac{\frac{1}{n}+23+\frac{0.00155}{S}}{1+(23+\frac{0.00155}{S})\frac{n}{\sqrt{R}}}\times\sqrt{RS}$$

$$= \frac{\frac{1}{0.0225}+23+\frac{0.00155}{0.0002}}{1+(23+\frac{0.00155}{0.0002})\frac{0.0225}{\sqrt{R}}}\times\sqrt{R}\times\sqrt{0.0002}$$

$$= \frac{44.444+23+6.20}{1+(23+6.20)\frac{0.0225}{\sqrt{R}}}\times\sqrt{R}\times\frac{1}{63.24}$$

$$= \frac{73.644}{1+(29.20)\frac{0.0225}{\sqrt{R}}}\times\sqrt{R}\times\frac{1}{63.24}$$

$$= \frac{1.164R}{0.657+\sqrt{R}}$$

$$= \frac{1.164\times0.418}{0.657+0.647}$$

= 0.373 ม./วินาที

$\therefore$ Q_2 = 1.740×0.373 = 0.649 ม^3./วินาที

จากข้อมูลที่กำหนดให้จะเห็นว่าเมื่อ $Q_1 = Q = 2.540$ ม^3./วินาที ไหลผ่านช่องน้ำตก ระดับน้ำในคลองด้านท้ายน้ำตกจะอยู่ที่ระดับ +9.60 ซึ่งต่ำกว่าระดับพื้นช่อง + 10.00 เพราะฉะนั้นการไหลผ่านช่องน้ำตกของ Q_1 เป็นการไหลตกอย่างสมบูรณ์และเนื่องจากคลองด้านหน้าและท้ายช่องน้ำตกโตเท่ากัน เมื่อ $Q_2 = 0.649$ ม^3./วินาที ซึ่งมี $d_2 = 0.60$ ม. ไหลผ่านช่องน้ำตกไปแล้ว จะทำให้มีน้ำในคลองด้านท้ายน้ำตกลึก 0.60 ม. เช่นเดียวกัน และระดับน้ำจะอยู่ที่ 8.40 + 0.60 หรือ +9.00 ซึ่งต่ำกว่าระดับพื้นช่อง +10.00 เพราะฉะนั้นการไหลผ่านช่องน้ำตกของ Q_2 จึงเป็นการไหลตกอย่างสมบูรณ์ด้วย

จากสมการของการไหลตกอย่างสมบูรณ์

$$Q_1 = \frac{2}{3}C\sqrt{2g}\,[b'd_1^{3/2}+\frac{4}{5}nd_1^{5/2}]$$

$$2.540 = \frac{2}{3} \times 0.70 \times \sqrt{2 \times 9.8} \left[b' d_1^{3/2} + \frac{4}{5} n d_1^{5/2} \right]$$

$$= 2.067 \left[b' d_1^{3/2} + 0.80 n d_1^{5/2} \right]$$

$$b' d_1^{3/2} + 0.80 n d_1^{5/2} = 1.229 \quad \text{.....} \quad (1)$$

และ $$Q_2 = \frac{2}{3} C \sqrt{2g} \left[b' d_2^{3/2} + \frac{4}{5} n d_2^{5/2} \right]$$

$$0.649 = 2.067 \left[b' d_2^{3/2} + 0.80 n d_2^{5/2} \right]$$

$$b' d_2^{3/2} + 0.80 n d_2^{5/2} = 0.314 \quad \text{.....} \quad (2)$$

โดยการแทนค่า d_1 และ d_2 ในสมการ (1) และ (2) จะแก้สมการหาค่าของ b' และ n ได้คือ

b' = 0.42 ม.

n = 0.54

เพราะฉะนั้นช่องน้ำตกจะมีส่วนสัดหรือขนาดดังนี้

ความกว้างของพื้นช่อง (b') = 0.42 ม.

ลาดข้างช่อง (1 : n) 1 : 0.54

ตัวอย่างที่ 6.3

กำหนดให้ :

(1) สำหรับคลองด้านเหนือและท้ายช่องน้ำตก

ความกว้างของก้นคลอง (b) = 3.00 ม.

ความลึกของน้ำใช้การเต็มที่ในคลอง (d) = 1.50 ม.

ลาดตลิ่งคลอง (SS) = 1 : 1.5

ลาดตามยาวของคลองหรือลาดผิวน้ำ (S) = 1 : 4,000 = 0.00025

สัมประสิทธิ์ความขรุขระ (n) = 0.0225

ปริมาณน้ำใช้การเต็มที่ในคลอง (Q) = 5.418 $ม^3$./วินาที

(2) สำหรับช่องน้ำตก

สัมประสิทธิ์การระบายน้ำ (C) = 0.70

g = 9.81 ม./วินาที^{2}

ใช้ช่องน้ำตกแบบเป็นกำแพงเปิดช่องเดียวและใช้

d_1 = d

d_2 = $\frac{d_1}{2}$

ให้หาขนาดช่องน้ำตก

วิธีทำ หาปริมาณน้ำ Q_2 ที่ไหลผ่านช่องน้ำตก

b = 3.00 ม.

d = 1.50 ม.

d_1 = d = 1.50 ม.

d_2 = $\frac{d_1}{2}$ = $\frac{1.5(}{2}$ = 0.75 ม.

A = {3.00+1.50 (0.75)} 0.75 = 3.094 $ม^2$.

P = $3.0\theta+0.75\sqrt{13}$ = 5.704 ม.

R = $\frac{3.09^{4}}{5.70^{4}}$ = 0.542 ม.

$R^{2/3}$ = $(0.542)^{2/3}$ = 0.666

จากสูตรของแมนนิ่ง

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

$$= \frac{1}{0.0225} \times 0.666 \times \sqrt{\frac{1}{4,00}}$$

$$= 44.44 \times 0.666 \times \frac{1}{63.24}$$

$$= 0.468 \text{ ม./วินาที}$$

$$\therefore \quad Q_2 = 3.094 \times 0.468 = 1.448 \text{ ม}^3\text{./วินาที}$$

จากข้อมูลที่กำหนดให้จะเห็นว่าเมื่อ $Q_1 = Q = 5.418$ ม^3./วินาที ไหลผ่านช่องน้ำตก ระดับน้ำในคลองด้านท้ายน้ำตกจะอยู่ที่ +10.50 ซึ่งสูงกว่าระดับพื้นช่อง +10.00 เพราะฉะนั้นการไหลผ่านช่องน้ำตกของ Q_1 เป็นการไหลตกไม่สมบูรณ์และเนื่องจากคลองด้านหน้าและท้ายช่องน้ำตกโตเท่ากัน เมื่อ $Q_2 = 1.448$ ม^3./วินาที ซึ่งมี $d_2 = 0.75$ ม. ไหลผ่านช่องน้ำตกไปแล้วจะทำให้มีน้ำในคลองด้านท้ายน้ำตกลึก 0.75 ม. เช่นเดียวกัน และระดับน้ำจะอยู่ที่ 9.00+0.75 หรือ +9.75 ซึ่งต่ำกว่าระดับพื้นช่อง +10.00 เพราะฉะนั้นการไหลผ่านช่องน้ำตกของ Q_2 จึงเป็นการไหลตกอย่างสมบูรณ์

จากสมการของการไหลตกไม่สมบูรณ์

$$Q_1 = \frac{2}{3} C \sqrt{2g} H [b(d + \frac{d_s}{2}) + 2n(\frac{3}{4} d_s^2 + d_s H + \frac{2}{5} H^2)]$$

$$5.418 = \frac{2}{3} \times 0.70 \sqrt{2 \times 9.81} \times 1.00 [b(1.50 + \frac{0.50}{2}) + 2n(\frac{3}{4}(0.50)^2 + 0.50(1.00) + \frac{2}{5}(1.00)^2)]$$

$$= 2.0673 [1.75b' + 2n(0.1875 + 0.50 + 0.40)]$$

$$= 2.0673 [1.75b' + 2.175n]$$

$$= 3.618b' + 4.496 n \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

จากสมการของการไหลตกอย่างสมบูรณ์

$$Q_2 = \frac{2}{3} C \sqrt{2g} [b' d^{3/2} + \frac{4}{5} n d^{5/2}]$$

$$= \frac{2}{3} \times 0.70 \sqrt{2 \times 9.81} [b'(0.75)^{3/2} + 0.80n(0.75)^{5/2}]$$

$$= 2.0673 [0.650 b' + 0.3896 n]$$

$$= 1.344 b' + 0.805 n \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

จากสมการ (1) และ (2) จะหาค่าของ b' และ n ได้คือ

b' = 0.69 ม.

n = 0.65

เพราะฉะนั้น ช่องน้ำตกจะมีส่วนสัดหรือขนาดดังนี้

ความกว้างของพื้นช่อง (b') = 0.69 ม.

ลาดข้างช่อง (1 : n) = 1 : 0.65

ตัวอย่างที่ 6.4

กำหนดให้ :

(1) ขนาดคลองด้านเหนือน้ำตก

ความกว้างของก้นคลอง (b) = 1.10 ม.

ความลึกของน้ำใช้การเต็มที่ในคลอง (d) = 1.85 ม.

ลาดตลิ่งคลอง (SS) = 1:1.5

ลาดตามยาวของคลองหรือลาดผิวน้ำ (S) = 1:3,000 = 0.000333

สัมประสิทธิ์ความขรุขระ (n) = 0.0225

ปริมาณน้ำใช้การเต็มที่ในคลอง (Q) = 5.490 $ม^3$./วินาที

(2) ขนาดคลองด้านท้ายน้ำ

ความกว้างของก้นคลอง (b) = 2.60 ม.

ความลึกของน้ำใช้การเต็มที่ในคลอง (d) = 1.50 ม.

ลาดตลิ่งคลอง (SS) = 1:1.5

ลาดตามยาวของคลองหรือลาดผิวน้ำ (S) = 1:3,000 = 0.000333

สัมประสิทธิ์ความขรุขระ (n) = 0.0225

ปริมาณน้ำใช้การเต็มที่ในคลอง (Q) = 5.490 ม^3./วินาที

(3) สำหรับช่องน้ำตก

สัมประสิทธิ์การระบายน้ำ (C) = 0.70

g = 9.81 ม./วินาที/วินาที

ใช้ช่องน้ำตกที่กำแพงมีช่องให้น้ำไหลผ่านช่องเดียวและใช้

d_1 = d = 1.85 ม.

d_2 = $\frac{d_1}{2}$

ให้หาขนาดช่องน้ำตก

วิธีทำ หาปริมาณน้ำ Q_2 ที่ไหลผ่านช่องน้ำตก

b = 1.10 ม.

d = 1.85 ม.

d_1 = d = 1.85 ม.

d_2 = $\frac{d_1}{2}$ = $\frac{1.85}{2}$ = 0.925 ม.

A = {1.10+1.50 (0.925)} 0.925 = 2.300 ม^2.

P = 1.10+0.925$\sqrt{13}$ = 4.430 ม.

R = $\frac{2.30(}{4.43(}$ = 0.518 ม.

$\sqrt{R}$ = $\sqrt{0.51}$ = 0.720

จากสูตรของกัตเตอร์

$$V = \frac{\frac{1}{n}+23+\frac{0.00155}{S}}{1+(23+\frac{0.00155}{S})\frac{n}{\sqrt{R}}} \times \sqrt{RS}$$

$$= \frac{\frac{1}{0.0225}+23+\frac{0.00155}{0.000333}}{1+(23+\frac{0.00155}{0.000333})\frac{0.0225}{\sqrt{R}}} \times \sqrt{R} \times \sqrt{0.0003}$$

$$= \frac{44.44+23+4.65}{1+(23+4.65)\frac{0.0255}{\sqrt{R}}} \times \sqrt{R} \times \frac{1}{54.72}$$

$$= \frac{72.094}{1+(27.65)\frac{0.0225}{\sqrt{R}}} \times \sqrt{R} \times \frac{1}{54.72}$$

$$= \frac{1.316R}{0.622+\sqrt{R}}$$

$$= \frac{1.316\times0.518}{0.622+0.720}$$

$$= 0.507 \text{ ม./วินาที}$$

$\therefore$ $Q_2 = 2.300 \times 0.507 = 1.166$ ม^3./วินาที

เนื่องจากรูปตัดของคลองด้านท้ายน้ำตกมีขนาดไม่เท่ากับรูปตัดของคลองด้านเหนือน้ำตก จึงต้องคำนวณดูว่าถ้า Q_2 ไหลผ่านจะทำให้มีน้ำในคลองด้านท้ายน้ำตกลึกเท่าใด

หา d_2 ของคลองด้านท้ายน้ำตกเมื่อ $Q_2 = 1.166$ ม^3./วินาที ไหลผ่าน

สมมติ $d_2 = 0.68$ ม.

$b = 2.60$ ม.

$A = [2.60+1.50(0.68)]\ 0.68 = 2.480$ ม^2.

$P = 2.60+0.68\sqrt{13} = 5.050$ ม.

$R = \frac{2.480}{5.050} = 0.492$ ม.

$\sqrt{R} = \sqrt{0.492} = 0.701$

$V = \frac{1.316R}{0.622+\sqrt{R}}$

$= \frac{1.316\times0.492}{0.622+0.70}$

$= 0.488$ ม./วินาที

$\therefore$ $Q_2 = 2.480 \times 0.488 = 1.212$ ม^3./วินาที

ใช้ได้

ดังนั้นเมื่อ Q_2 ไหลผ่านคลองด้านท้ายน้ำตกจะมีระดับน้ำในคลอง 9.40+0.68 หรือ +10.08 ซึ่งสูงกว่าระดับพื้นช่อง +10.00 เพราะฉะนั้นการไหลผ่านช่องน้ำตกของ Q_2 จึงเป็นการไหลตกไม่สมบูรณ์

จากข้อมูลที่กำหนดให้จะเห็นว่าเมื่อ $Q_1 = Q = 5.490$ ม^3./วินาที ไหลผ่านช่องน้ำตกระดับน้ำในคลองด้านท้ายน้ำตกอยู่ที่ +10.90 ซึ่งสูงกว่าระดับพื้นช่อง +10.00 เพราะฉะนั้นการไหลผ่านช่องน้ำตกของ Q_1 จึงเป็นการไหลตกไม่สมบูรณ์เช่นเดียวกัน

จากสมการของการไหลตกไม่สมบูรณ์

$$Q_1 = \frac{2}{3}C\sqrt{2g}H\left[b\left(d+\frac{d_s}{2}\right)+2n\left(\frac{3}{4}d_s^2+d_sH+\frac{2}{5}H^2\right)\right]$$

$$5.490 = \frac{2}{3}\times 0.70\sqrt{2\times 9.80}\times 0.95\left[b\left(1.85+\frac{0.90}{2}\right)+2n\left(\frac{3}{4}(0.90)^2+(0.90\times 0.95)+\frac{2}{5}(0.95)^2\right)\right]$$

$$= 2.0673\times 0.975[b' (1.85+0.45)+2n(0.6075 +0.855+0.361)]$$

$$= 2.106 [2.30 b'+3.647 n]$$

$$= 4.637 b' + 7.352 n \quad \text{.....(1)}$$

และ $$Q_2 = \frac{2}{3}C\sqrt{2g}H\left[b\left(d+\frac{d_s}{2}\right)+2n\left(\frac{3}{4}d_s^2+d_sH+\frac{2}{5}H^2\right)\right]$$

$$1.166 = \frac{2}{3}\times 0.70\times\sqrt{2\times 9.81}\times 0.845\left[b\left(0.925+\frac{0.08}{2}\right)+2n\left(\frac{3}{4}(0.80)^2+(0.08\times 0.84)+\frac{2}{5}(0.845)^2\right)\right]$$

$$= 2.0673x0.92[b' (0.925+0.04)+2n(0.0048+0.0676+0.286)]$$

$$= 1.902 [0.965 b' + 0.717 n]$$

$$= 1.835 b' + 1.364 n \quad \text{.....(2)}$$

จากสมการ (1) และ (2) จะหาค่าของ b' และ n ได้คือ

$$b' = 0.15 \text{ ม.}$$

n = 0.65

เพราะฉะนั้นช่องน้ำตกจะมีส่วนสัดหรือขนาดดังนี้

ความกว้างของพื้นช่อง (b') = 0.15 ม.

ลาดข้างช่อง (1:n) = 1:0.65

6.9.2 แรงกระแทกของน้ำที่ตกลงสู่ท้ายน้ำตก

นอกจากการพิจารณาขนาดและลักษณะของช่องน้ำตกดังได้กล่าวมาแล้ว ยังมีสิ่งที่จะต้องพิจารณาอีกบางอย่างคือพื้นด้านท้ายช่องซึ่งจะต้องรับน้ำที่ตกลงมานั้น ถ้าเป็นพื้นแข็งเช่นหิน ก็ไม่จำเป็นต้องมีการป้องกันพื้นจากแรงกระแทกของน้ำ แต่ถ้าพื้นด้านท้ายช่องเป็นดิน จะต้องสร้างเป็นอ่าง (stilling pool) หรือตะแกรงเหล็กสำหรับรับน้ำที่ตกลงมาสู่พื้นเพื่อลดแรงกระแทกของน้ำไม่ให้กัดทำลายพื้นท้องน้ำได้โดยตรง

ถ้า x = ระยะที่น้ำพุ่งเลยกำแพงช่องน้ำตกออกมาถึงกลางอ่าง

C = สัมประสิทธิ์ซึ่งมีค่า 4.75

d = ความลึกของน้ำหน้าช่องน้ำตก

y = ความสูงของน้ำที่ตกลงมาถึงพื้นอ่าง

x = $0.385\ c\sqrt{d.y}$

ความยาวของอ่างรับน้ำตก (L) = 2x

$= 0.770\ c\sqrt{d.y}$ ..... (6.14)

ความลึกของอ่างรับน้ำตกก็เช่นเดียวกัน คือถ้าน้ำยิ่งตกสูงมากอ่างก็จะต้องลึกมากขึ้น ประมาณได้ว่าความลึกของอ่างควรจะเป็น $\frac{1}{3}$ ของความแตกต่างระหว่างระดับน้ำด้านหน้าและท้ายอาคารน้ำตก

ดังนั้น ถ้า H = ความแตกต่างของระดับน้ำ

ความลึกของอ่าง = $\frac{H}{3}$

การพิจารณาขนาดของอ่างรับน้ำตก (stilling pool) นั้นถือว่าน้ำจะไหลพุ่งตกลงมากลางอ่าง แต่ระยะที่น้ำจะพุ่งเลยกำแพงช่องน้ำตก (breast wall) ออกมาไกลเท่าไรย่อมขึ้นอยู่กับความแรงและความสูงของน้ำที่ตกลงมา ยิ่งน้ำพุ่งแรงมากและตกสูงมากความยาวของอ่างรับน้ำก็จะยิ่งยาวมากขึ้น

ตัวอย่างที่ 6.5 การหาความลึกและความยาวของอ่างรับน้ำตก

วิธีทำ ความลึกของอ่างรับน้ำตก

ความลึกของอ่าง = $\frac{H}{3}$

= $\frac{1.6(}{3}$

= 0.53 ใช้ 0.55 ม.

ความยาวของอ่างรับน้ำตก

ระดับพื้นอ่าง = 8.40-0.55 = +7.85

y = 11.20-7.85 = 3.35 ม.

ความยาวของอ่าง (L) = $0.770\ C\sqrt{d.y}$

= $0.770 \times 4.75\ \sqrt{1.20 \times 3.3}$

= 7.334 ใช้ 7.50 ม.

6.9.3 การกัดทำลายพื้นด้านท้ายน้ำตกหรืออ่างรับน้ำจากกระแสน้ำวนและกระแสน้ำปั่นป่วนตรงทางออกสู่คลอง

นอกจากการป้องกันแรงกระแทกของน้ำที่พื้นแล้วยังต้องมีการป้องกันน้ำกัดพื้นและลาดตลิ่งคลองด้วย ดังนั้นพื้นท้ายน้ำจากขอบอ่างสลายพลังงานจะต้องมีหินเรียงยาแนวออกไปเป็นระยะพอสมควร และจะต้องมีหินเรียงยาแนวบนลาดตลิ่งคลองเช่นเดียวกันด้วย ตรงปลายเขตหินเรียงยาแนวควรทำเป็นกำแพงฝังลึกลงไปในดินประมาณ 1/2 ของความลึกของน้ำในคลองเพื่อป้องกันไม่ให้น้ำวกกลับมากัดทะลวงดินใต้พื้นได้

6.10 **รางเท** (Chutes)

รางเทเป็นอาคารน้ำตกแนวเอียงชนิดพิเศษซึ่งออกแบบไว้สำหรับลดระดับน้ำและระดับท้องคลอง ลงตามลาดค่อนข้างยาวและชันมากพอที่จะทำให้เกิดมีกระแสน้ำในรางแรงจัด รางเทนี้ตามปกติจะวางได้เป็นลาดเดียวกันตลอดรางแต่บางทีก็แบ่งความยาวของรางออกเป็นตอนๆ โดยมีลาดต่างๆ กัน หรือตอนปลายรางจะทำเป็นรางโค้งทางดิ่งก็ได้

รางเทเหมาะสำหรับให้น้ำปริมาณมากไหลผ่าน จึงมักจะสร้างไว้ในคลองสายใหญ่และคลองซอยขนาดใหญ่ ลักษณะของพื้นดินตามแนวคลองบางสายอาจจะบังคับให้ต้องสร้างอาคารน้ำตกติดๆ กันหลายแห่ง ในทำเลเช่นนี้ควรสร้างเป็นรางเทแห่งเดียวแทนอาคารน้ำตกหลายแห่งจะดีกว่า เพราะถึงแม้ว่าการสร้างรางเทยาวแห่งเดียวจะเสียค่าก่อสร้างมากกว่าการสร้างอาคารน้ำตกติดๆ กันหลายแห่งก็ตาม แต่ค่าบำรุงรักษาประจำปีจะน้อยกว่ากันมาก

ในสมัยก่อนรางเทสร้างด้วยไม้แบบถังหมักเหล้าหรือเป็นรางโลหะ แต่ในปัจจุบันเป็นรางคอนกรีตเสริมเหล็กแทบทั้งหมด

โดยทั่วไปรางเทเป็นรางเปิดธรรมดาซึ่งสร้างไว้ในดิน และมีลาดตามยาวไปตามลาดพื้นดิน แต่ตอนปลายรางใกล้จะถึงอ่างสลายพลังงานมักจะใช้ลาดตามยาวของราง 1:2 ตัวราง

(chute channel) มีรูปตัดต่างๆ กันแล้วแต่จะออกแบบ เช่น เป็นรูปสี่เหลี่ยมมุมฉาก สี่เหลี่ยมคางหมูหรือครึ่งวงกลม แต่รางรูปสี่เหลี่ยมมุมฉากนั้นมักจะใช้กันมากกว่ารูปอื่น

รูปที่ 6.11 **รางเทหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า**

รางเทคอนกรีตเสริมเหล็กประกอบด้วย (Smith , 1978)

(1) อาคารที่ปากทางเข้า (inlet structures)

(2) ตัวราง (chute channel)

(3) อ่างสลายพลังงาน (stilling pool)

รางเทคอนกรีตเสริมเหล็กซึ่งมีรูปตัดเป็นสี่เหลี่ยมมุมฉากใช้ทั่วไปสำหรับปริมาณน้ำมาก ๆ ซึ่งไม่เหมาะที่จะสร้างเป็นอาคารน้ำตกหรือรางเทชนิดอื่น

ปากทางเข้าราง (inlet) ควรออกแบบให้บังคับน้ำได้เพื่อป้องกันการโค้งตัวของระดับน้ำที่จะเกิดขึ้นเพื่อไม่ให้ตลิ่งคลองถูกน้ำกัดเซาะ อาคารที่ปากทางเข้า (inlet structure) อาจจะทำเป็น

ช่องน้ำตกหลายช่อง หรือสร้างเป็นอาคารอัดน้ำประกอบไว้กับอาคารทางเข้า เพื่อใช้ประโยชน์ทั้งอัดน้ำและบังคับน้ำทั้ง 2 อย่าง

ตัวราง มีรูปตัดไม่เท่ากันตลอดราง ตามปกติตอนกลางรางจะแคบที่สุดแต่ตอนหัวรางและปลายรางจะกว้าง ในระหว่างช่วงรางที่แคบที่สุดกับขอบอ่างสลายพลังงานจะต้องมีช่วงต่อเชื่อมและพื้นโค้งตัว (trajectory) แนวดิ่ง

ที่ปลายรางจะต้องมีอ่างสลายพลังงานและช่วงต่อเชื่อมตรงทางออกเพื่อสลายพลังงานของน้ำและลดอัตราเร็วของน้ำที่ไหลเทลงตามรางอย่างแรงเสียก่อนที่จะปล่อยให้ไหลไปตามคลอง มิฉะนั้นน้ำจะกัดเซาะคลองพังทลายและทำให้ตัวรางชำรุดได้ การสลายพลังงานและการลดอัตราเร็วของน้ำดังกล่าวนี้จะสัมฤทธิ์ผลก็ต่อเมื่อระดับพื้นอ่างอยู่ลึกจากระดับน้ำในคลองมากพอที่จะทำให้เกิดไฮดรอลิคจั๊มขึ้นในอ่างได้

รางเทขนาดใหญ่จะมีรูระบายน้ำ (weep holes) ไว้ในบริเวณใกล้ๆ กับปากทางเข้าอ่างสลายพลังงานเพื่อลดแรงดันขึ้นของน้ำใต้พื้น บริเวณรูระบายน้ำเหล่านี้จะต้องมีตัวกรอง (filter) ซึ่งทำด้วยทรายและกรวดที่มีขนาดเรียงลำดับกันดีเพื่อป้องกันไม่ให้เม็ดดินใต้พื้นหลุดลอดตามน้ำออกมาทางรูระบายน้ำได้

นอกจากรางเทชนิดที่เป็นรางเปิดธรรมดาซึ่งสร้างด้วยคอนกรีตเสริมเหล็กแล้ว ยังมีรางเทอีกชนิดหนึ่งเรียกว่ารางเทแบบท่อ (pipe chutes) ซึ่งมีลักษณะเป็นท่อยาวฝังอยู่ใต้พื้นดินและมีลาดตามยาวไปตามลาดพื้นดิน

ตามปกติรางเทแบบท่อจะยาวกว่าอาคารน้ำตกแบบท่อ และกระแสน้ำภายในท่อก็แรงกว่า เนื่องจากน้ำในท่อของรางเทแบบท่อแรงมาก จึงทำให้เกิดมีอากาศถูกกักอยู่ภายในท่อ ดังนั้นวิธีสลายพลังงานของน้ำในท่อปิด (closed pipe) โดยไฮดรอลิคจั๊มเหมือนอย่างที่ใช้กับอาคารน้ำตกแบบท่อจึงทำไม่ได้ เพราะแรงระเบิดที่เกิดจากการรวมตัวมากขึ้นของอากาศจะทำให้ท่อของรางเทแบบท่อแตกได้ เพราะฉะนั้นการสลายพลังงานของน้ำสำหรับรางเทแบบท่อจึงต้องใช้อ่างสลายพลังงานแบบเกิดไฮดรอลิคจั๊มหรือแบบมีกำแพงปะทะน้ำพุ่งที่ปลายท่อ (impact-type basin) แบบใดแบบหนึ่ง

แบบมาตรฐานและรูปร่างของอ่างแบบมีกำแพงปะทะน้ำพุ่งได้แสดงไว้ในรูปที่ 6.12 อย่างไรก็ตามการใช้อาคารสลายพลังงานแบบนี้มี**ข้อควรสังเกต** คือ (USBR , 1978)

(1) อัตราเร็วของน้ำตรงปากท่อจะต้องไม่เกิน 30 ฟุต/วินาที หรือประมาณ 9.15 ม./วินาที

(2) เพื่อให้ได้ผลดีที่สุดควรกำหนดพื้นอ่างให้อยู่ลึกจากระดับน้ำสูงสุดท้ายอ่างไม่มากกว่า $d + \frac{G}{2}$

(3) ท่อของรางเทช่วงที่ต่อเข้าอ่างจะวางไว้ในแนวราบหรือวางเป็นลาดก็ได้แต่ต้องไม่เกิน 15 องศา ตามปกติมักจะวางท่อในแนวราบ

รูปที่ 6.12 **รางเทแบบท่อ**

6.11 เอกสารอ้างอิง

อรุณ อินทรปาลิต . 2534 . 72 ปีอาจารย์อรุณ อินทรปาลิต . ชลกรณบับพิเศษ สมาคมศิษย์เก่าวิศวกรรมชลประทานในพระบรมราชูปถัมภ์ . 419 น.

Smith, C.D. 1978 . Hydraulic Structures . University of Saskatchewan . Printing Service, Canada . 318 p.

United Nations . 1973 . Design of Low-Head Hydraulic Structures . Water

USBR . 1978 . Design of Small Canal Structures . United States Bureau of Reclamation . Water Resources Technical Publication . 435 p.

6.12 แบบฝึกหัด

1. จงอธิบายลักษณะการเลือกใช้รางน้ำและสะพานน้ำ
2. จงอธิบายลักษณะการเลือกใช้ท่อเชื่อม
3. จงหาขนาดท่อเชื่อมคอนกรีตของคลองชลประทานที่มีปริมาณการไหล 12.0 ม$^{3-}$/วินาที โดยยอมให้มีความแตกต่างของระดับน้ำด้านหน้าและด้านท้ายท่อ(H) เท่ากับ 0.22 เมตร และความยาวของท่อทั้งหมด 55 เมตร
4. จงอธิบายหลักเกณฑ์ในการพิจารณารับน้ำเข้าคลองชลประทาน
5. จงอธิบายข้อควรพิจารณาในการเลือกใช้สะพานและท่อลอด
6. จงบอกถึงสาเหตุที่ต้องสร้างอาคารลดระดับในคลองชลประทาน
7. จงอธิบายถึงความแตกต่างระหว่างอาคารน้ำตกเอียงและรางเท
8. ส่วนประกอบของอาคารน้ำตกควรประกอบไปด้วยอะไรบ้างและแต่ละส่วนทำหน้าที่อะไร
9. จงหาขนาดช่องน้ำตกโดยมีข้อมูลดังต่อไปนี้
    1. สำหรับคลองด้านหน้าและด้านท้ายอาคารน้ำตก
       ความกว้างก้นคลอง (b) = 2.5 เมตร
       ความลึกของน้ำใช้การเต็มที่ในคลอง = 1.5 เมตร
       ลาดตลิ่งคลอง (SS) = 1:1.5
       ลาดความยาวก้นคลอง (S) = 0.00025
       สัมประสิทธิ์ความขรุขระ (n) = 0.0225
       ปริมาณน้ำใช้การเต็มที่ในคลอง (Q) = 4.67 ม^{3}/วินาท
    2. สำหรับช่องน้ำตก
       สัมประสิทธิ์การระบาย (C) =
       ใช้ช่องน้ำตกที่กำแพงมีช่องให้น้ำไหลช่องเดียว
    3. ระดับพื้นคลองตรงช่องน้ำตก = +10.00 ม. รทก.
       ระดับพื้นคลองตรงช่องน้ำตก = +10.00 ม. รทก.
       การคำนวณปริมาณการไหล ให้ใช้สูตรของแมนนิ่ง

บทที่ 7 อาคารควบคุมน้ำ
(Water Control Structures)

ในบทนี้จะได้อธิบายถึงอาคารควบคุมระดับน้ำในคลองส่งน้ำ ซึ่งทำหน้าที่รักษาระดับการไหลของน้ำในคลองส่งน้ำ ควบคุมปริมาณการส่งน้ำสู่คลองแยกซอย และระบายน้ำที่เหลือใช้ออกจากระบบคลองส่งน้ำ โดยจัดแบ่งอาคารดังกล่าวออกเป็น 4 ประเภท ดังนี้

7.1 ประตูระบายทดน้ำกลางคลอง (check gates, check regulators, check pipes)

ประตูระบายทดน้ำกลางคลองเป็นอาคารชลประทานชนิดหนึ่งซึ่งสร้างไว้ในคลองส่งน้ำทุกประเภท เช่น คลองสายใหญ่ คลองซอย และคลองแยกซอย มีหน้าที่บังคับระดับน้ำด้านเหนือน้ำของประตูระบายทดน้ำกลางคลองให้สูงพอที่จะส่งเข้าคลองซอย คลอยแยกซอยและท่อส่งน้ำเข้านาได้สะดวกตลอดเวลาถึงแม้ว่าปริมาณน้ำที่ไหลมาจะน้อยกว่าปริมาณน้ำที่กำหนดไว้ก็ตาม ในบางกรณีอาจจะใช้ประตูระบายทดน้ำกลางคลองปิดกั้นไม่ให้น้ำไหลผ่านไปตามคลองด้านท้ายประตู แต่บังคับให้ไหลไปทางประตูระบายทิ้งน้ำ (wasteways) เพื่อล้างตะกอนซึ่งตกจมอยู่ในคลองให้หลุดออกไป

ตามปกติจะสร้างประตูระบายทดน้ำกลางคลองเป็นอาคารเดียวกับอาคารชลประทานชนิดอื่น (combined structures) เช่น สร้างเป็นอาคารเดียวกับประตูระบายปากคลองซอย หรือประตูระบายปากคลองแยกซอยหรือประตูระบายน้ำทิ้ง เป็นต้น ทั้งนี้เพื่อความสะดวกในการควบคุมการส่งน้ำ แต่อาจจะสร้างแยกกันเป็นคนละอาคารก็ได้

ในการคำนวณขนาดคลองส่งน้ำนั้นย่อมถือปริมาณน้ำและระดับน้ำใช้การเต็มที่ในคลอง (full supply level) เป็นหลัก ถ้าน้ำที่ส่งเข้าคลองส่งน้ำมีปริมาณเต็มที่ตามที่ได้กำหนดไว้ตลอดเวลาแล้วก็ไม่จำเป็นต้องสร้างประตูระบายทดน้ำกลางคลอง เพราะระดับน้ำในคลองย่อมขึ้นสูงถึงระดับน้ำใช้การเต็มที่ซึ่งต้องการเสมอ แต่ถ้าน้ำที่ส่งเข้าคลองส่งน้ำน้อยกว่าปริมาณเต็มที่ตามที่ได้กำหนดไว้ ซึ่งอาจจะเกิดขึ้นได้เพราะต้นน้ำของโครงการชลประทานนั้นขาดแคลนน้ำ หรือเกิดจากเนื้อที่เพาะปลูกในเขตโครงการชลประทานใช้น้ำไม่พร้อมกัน ระดับน้ำในคลองส่งน้ำก็จะไม่ขึ้นสูงถึงระดับน้ำใช้การเต็มที่ ทำให้น้ำไม่ไหลเข้าคลองซอย คลองแยกซอย หรือท่อส่งน้ำเข้านาแล้วแต่กรณีหรือไหลเข้าไม่เต็มที่ จึงต้องสร้างประตูระบายทดน้ำกลางคลองไว้สำหรับอัดทดน้ำในคลองส่งน้ำให้สูงถึงระดับน้ำใช้การเต็มที่อยู่เสมอ

โดยหลักการส่งน้ำ และถ้าไม่มีปัญหาเรื่องเงินค่าก่อสร้างแล้วก็ควรจะสร้างประตูระบายทดน้ำกลางคลองไว้ตรงที่ซึ่งมีคลองซอย หรือคลองแยกซอยแยกออกไปทุกแห่ง จะทำให้ส่งน้ำสะดวกและได้ผลดีที่สุด

ประตูระบายทดน้ำกลางคลองอาจจะมีลักษณะเป็นประตูระบายน้ำธรรมดา เรียกประตูระบายทดน้ำกลางคลองแบบนี้ว่า ประตูอัดน้ำกลางคลอง (check gates หรือ check regulators) แต่บางทีก็มีลักษณะเป็นท่อระบายน้ำซึ่งเรียกว่า ท่อวัดน้ำกลางคลอง (check pipes) ทั้งนี้แล้วแต่ว่าประเภทใดจะโตพอที่จะระบายน้ำผ่านไปได้สะดวกและเสียค่าก่อสร้างน้อยกว่า ถ้าประตูระบายทดน้ำกลางคลองเป็นประตูระบายน้ำ ก็อาจจะเป็นประเภท ระบายน้ำข้ามบานประตู (overpour-type regulators) หรือ ประเภทระบายน้ำลอดใต้บานประตู (undershot-type regulators) ได้ทั้ง 2 ประเภท และช่องระบายน้ำจะต้องโตพอที่จะให้ปริมาณน้ำเต็มที่ไหลผ่านไปได้โดยไม่เสียระดับน้ำ (H) มากเกินไป สำหรับหลักการคำนวณขนาดประตูระบายทดน้ำกลางคลองหรือท่อระบายทดน้ำกลางคลองใช้หลักเช่นเดียวกันกับที่ได้กล่าวมาแล้วในเรื่องเขื่อนระบายน้ำ ประตูระบายปากคลองส่งน้ำ หรือท่อระบายปากคลองส่งน้ำ

สำหรับตัวอย่างประตูระบายทดน้ำกลางคลองที่สำคัญของโครงการชลประทานหลวงต่างๆ ในประเทศไทยคือ

- ประตูระบายพระเอกาทศรถ ในคลองระพีพัฒน์ ซึ่งเป็นคลองส่งน้ำสายใหญ่ของโครงการชลประทานป่าสักใต้
- ประตูระบายช่องแคและประตูระบายโคกกระเทียม ในคลองชัยนาท-ป่าสักซึ่งเป็นคลองส่งน้ำสายใหญ่ของโครงการชลประทานชัยนาท-ป่าสัก
- ประตูระบายชันสูตรและประตูระบายยางมณี ในแม่น้ำน้อยซึ่งใช้เป็นคลองส่งน้ำสายใหญ่ของโครงการชลประทานแม่น้ำน้อย
- ประตูระบายบ้านท่าโบสถ์และประตูระบายชลมารคพิจารณ์ ในแม่น้ำสุพรรณซึ่งใช้เป็นคลองส่งน้ำสายใหญ่ของโครงการชลประทานสุพรรณบุรี

7.2 ประตูระบายปลายคลองส่งน้ำ (tail regulators, tail pipes)

ประตูระบายปลายคลองส่งน้ำมีลักษณะเช่นเดียวกับประตูระบายปากคลองส่งน้ำหรือประตูระบายทดน้ำกลางคลอง จะผิดกันก็เพียงหน้าที่ของมันเท่านั้น

ประตูระบายปลายคลองส่งน้ำมีหน้าที่ 3 ประการคือ

(1) ทำหน้าที่เป็นประตูระบายทดน้ำกลางคลองแห่งสุดท้ายในคลองส่งน้ำสายนั้นเพื่ออัดทดน้ำในคลองช่วงเหนือประตูให้สูงถึงระดับน้ำใช้การเต็มที่ได้ตามต้องการ

(2) ระบายน้ำเหลือใช้ในคลองทิ้งลงสู่ทางระบายน้ำธรรมชาติที่ปลายคลองส่งน้ำ

(3) ป้องกันไม่ให้น้ำในทางระบายน้ำธรรมชาติที่ปลายคลองส่งน้ำไหลย้อนเข้ามาในคลองและท่วมพื้นที่ดินในเขตโครงการชลประทาน ในเวลาที่ระดับน้ำในทางระบายน้ำธรรมชาติสูงกว่าระดับน้ำใช้การเต็มที่ในคลองส่งน้ำ

ประตูระบายปลายคลองส่งน้ำเป็นอาคารชลประทานอีกชนิดหนึ่งซึ่งจำเป็นต้องสร้างไว้ในคลองส่งน้ำทุกประเภทและทุกสายเช่นเดียวกับประตูระบายปากคลองส่งน้ำ ประตูระบายปลายคลองส่งน้ำนี้อาจจะมีลักษณะเป็นประตูระบายน้ำธรรมดา ซึ่งเรียกว่า ประตูระบายปลายคลองส่งน้ำ (tail regulators) และอาจจะเป็นประตูระบายประเภท ระบายน้ำข้ามบานประตู (overpour-type regulators) หรือ ประเภทระบายน้ำลอดใต้บานประตู (undershot-type regulators) ก็ได้ แต่บางทีก็เป็นท่อระบายน้ำซึ่งเรียกว่าท่อระบายปลายคลองส่งน้ำ (tail pipes) ซึ่งแล้วแต่ว่าปริมาณน้ำ ที่จะต้องระบายทิ้งจะมากหรือน้อย สำหรับหลักการคำนวณขนาดประตูระบายปลายคลองหรือท่อระบายปลายคลองและการคำนวณปริมาณน้ำที่ระบายทิ้งคงใช้หลักการเช่นเดียวกับที่ได้กล่าวมาแล้วในเรื่องประตูระบายปากคลองส่งน้ำหรือท่อระบายปากคลองส่งน้ำ

สำหรับตัวอย่างประตูระบายปลายคลองส่งน้ำที่สำคัญของโครงการชลประทานหลวงต่างๆ ในประเทศไทย คือ

- ประตูระบายเริงรางของโครงการชลประทานชัยนาท-ป่าสัก ซึ่งสร้างไว้ที่ปลายคลองชัยนาท-ปักสัก
- ประตูระบายผักไห่ของโครงการชลประทานแม่น้ำน้อย ซึ่งสร้างไว้ในแม่น้ำน้อย
- ประตูระบายโพธิ์พระยาของโครงการชลประทานสุพรรณบุรี ซึ่งสร้างไว้ในแม่น้ำสุพรรณ

7.3 ประตูระบายปากคลองซอย (distributary head regulators, distributary head pipes)

ประตูระบายน้ำปากคลองซอยเป็นประตูระบายหรือท่อระบายเช่นเดียวกับประตูระบายหรือท่อระบายปากคลองสายใหญ่ที่ได้กล่าวมาแล้ว แต่มีขนาดเล็กกว่าเพราะปริมาณน้ำที่ไหลผ่านน้อยกว่า ประตูระบายปากคลองซอยเป็นอาคารชลประทานสำคัญที่จำเป็นต้องสร้างไว้ที่ปากคลองซอยทุกสาขา เพราะทำหน้าที่บังคับและควบคุมปริมาณน้ำที่ส่งเข้าคลองซอยตลอดเวลา ถ้าไม่มีประตูระบายปากคลองซอยจะส่งน้ำไม่ได้ผล

ประเภทประตูระบาย การคำนวณปริมาณน้ำ ขนาดช่องระบายน้ำ และหลักการพิจารณาความมั่นคงของประตูระบายปากคลองซอยนั้น ใช้หลักการเดียวกันกับประตูระบายปากคลองสายใหญ่

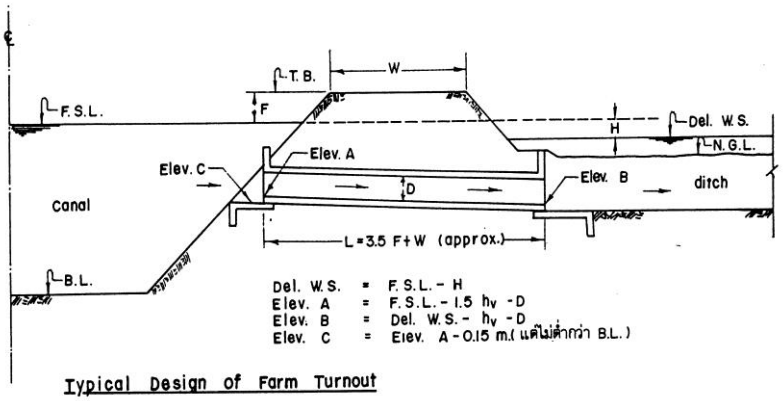
ตามหลักการส่งน้ำถือว่าคลองซอยเป็นคลองส่งน้ำให้แก่พื้นที่เพาะปลูกโดยตรง คลองซอยจึงมีความสัมพันธ์กับวิธีใช้น้ำมาก จึงต้องสอบวัดปริมาณน้ำที่ส่งเข้าคลองซอยตลอดเวลา และต้องเก็บสถิติไว้เพื่อควบคุมปริมาณน้ำที่จะจ่ายให้แก่พื้นที่ดินในเขตคลองซอยสายนั้น นอกจากนี้สถิติปริมาณน้ำที่ส่งผ่านปากคลองซอยยังเป็นข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการศึกษาเรื่องการใช้น้ำ และถ้าได้พิจารณาร่วมกับปริมาณน้ำที่ส่งผ่านประตูระบายปากคลองสายใหญ่แล้ว ก็จะทราบปริมาณน้ำที่สูญหายไปโดยการระเหย และการรั่วซึมตามทางในคลองสายใหญ่ได้ด้วย

การวัดปริมาณน้ำที่ส่งผ่านปากคลองซอยเพื่อให้ทราบปริมาณน้ำอย่างแน่นอนทำได้หลายวิธี สำหรับเครื่องมือวัดน้ำ (measuring devices) ที่ติดตั้งไว้ที่ปากคลองซอย ได้แก่ มาตรเวนจูรี (venturi meters) รางวัดน้ำแบบพาร์แชล (Parshall flumes) ฝายวัดน้ำ (weirs) และเครื่องมือวัดน้ำชนิดอื่นๆ

7.4 ท่อส่งน้ำเข้านา (farm turnouts)

ตามสองข้างคลองซอยและคลองแยกซอยซึ่งรับน้ำมาให้พื้นที่เพาะปลูกนั้นมีท่อส่งน้ำเข้านาฝังลอดใต้คันคลอง เพื่อปล่อยน้ำจากคลองซอยหรือคลองแยกซอยเข้าคูนา (farm ditches) หรือเข้าสู่พื้นที่เพาะปลูกโดยตรง ท่อเหล่านี้จะฝังไว้เป็นระยะๆ ไม่ห่างกันมากนักเพื่อให้พื้นที่เพาะปลูกได้รับน้ำโดยทั่วถึงกัน ตามปกติแฉกรับน้ำแฉกหนึ่งจะมีท่อส่งน้ำหนึ่งท่อ เกษตรกรที่ไม่รู้จักวิธีใช้น้ำอย่างถูกต้อง มักจะปล่อยให้น้ำไหลออกจากท่อส่งน้ำเข้านาป่าท่วมไปบนพื้นดินตามธรรมชาติ วิธีนี้จะสูญเสียน้ำมากเพราะน้ำจะไหลไปสู่ร่องหรือไหลไปรวมในที่ต่ำเสียมาก ทำให้พื้นที่เพาะปลูกได้รับน้ำไม่สม่ำเสมอกัน แต่เกษตรกรที่เข้าใจวิธีใช้น้ำและรู้จักคุณค่าของน้ำจะขุดคูน้ำหรือคูนา (farm ditches) หรือเหมืองไส้ไก่ (เหมืองขนาดเล็ก) จากท่อส่งน้ำเข้านาไปสู่พื้นที่เพาะปลูก การทำเช่นนี้จะสามารถควบคุมการใช้น้ำได้เต็มที่ ท่อส่งน้ำเข้านาทุกแห่งมีฝาท่อหรือบานประตูติดไว้ และมีเครื่องมือวัดน้ำติดไว้ด้วย ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านท่อส่งน้ำเข้านาจะแสดงถึงปริมาณน้ำที่ได้ใช้ไปจริงซึ่งเป็นสถิติสำคัญสำหรับใช้ประกอบการคำนวณค่าชลภาระ (water duty)

โดยทั่วไปท่อส่งน้ำเข้านาเป็นคอนกรีตกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.20-0.50 เมตร แต่ท่อขนาด 0.30 เมตร และ 0.40 เมตร นิยมใช้กันมากที่สุด โดยมีอัตราการไหลผ่านท่ออยู่ระหว่าง 30 ลิตร/วินาที และ 120 ลิตร/วินาที ส่วนความยาวของท่อนั้นแล้วแต่ความกว้างของหลังคันคลองส่งน้ำที่จะฝังท่อลอดไปและความลึกที่ฝังท่อดังแสดงในรูปที่ 7.1



รูปที่ 7.1 ลักษณะท่อส่งน้ำเข้านา

ทั้งนี้ ข้อมูลสำหรับการออกแบบท่อส่งน้ำเข้านา (Farm Turnout Installation Data) มีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 7.1

ตารางที่ 7.1 ข้อมูลสำหรับการออกแบบท่อส่งน้ำเข้านา

Canal	KM.	Farm Data				Canal Data					Turnout Data							Remarks
		Chak No.	Lt. or R.t.	Q	Del. N.G.L	F.S.L. Elev.	N.G.L Elev.	B.L. Elev.	F	W	L	D	H	Del. W.S.	Elev. A	Elev. B	Elev. C	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)

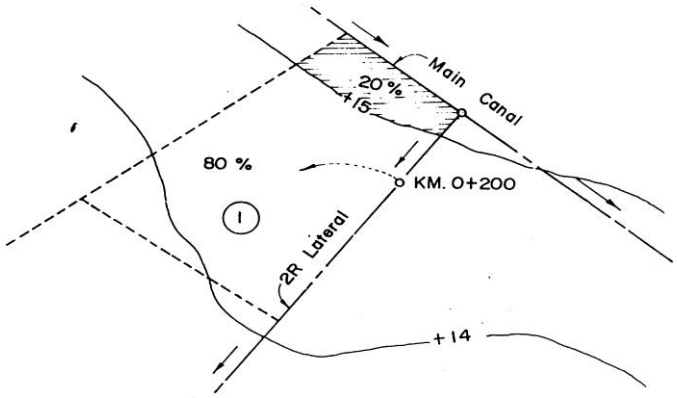
รายละเอียดของตารางที่ 7.1 อธิบายได้ดังนี้

ช่องที่ 1 Canal	คือชื่อคลองส่งน้ำที่ฝังท่อส่งน้ำเข้านา
ช่องที่ 2 KM.	คือระยะกิโลเมตรตามคลองส่งน้ำตรงจุดที่ฝังท่อส่งน้ำเข้านา
ช่องที่ 3 Chak No.	คือเลขที่ของแฉกส่งน้ำเข้านาซึ่งท่อส่งน้ำเข้านานั้นจะส่งน้ำให้
ช่องที่ 4 Lt. or Rt.	คือแฉกส่งน้ำเข้านานั้นอยู่ทางฝั่งซ้ายหรือฝั่งขวาของคลองส่งน้ำ
ช่องที่ 5 Q	คือปริมาณน้ำประจำแฉกส่งน้ำนั้นหรือปริมาณน้ำที่จะส่งผ่านท่อส่งน้ำเข้านานั้น เป็นลูกบาศก์เมตรต่อวินาที
ช่องที่ 6 Del. N.G.L	คือระดับพื้นดินตามธรรมชาติซึ่งสูงที่สุดของเนื้อที่ชลประทานของแฉกนั้น หรือระดับพื้นดินตามธรรมชาติที่สูงที่สุดในแฉกนั้นซึ่งคิดว่าจะส่งน้ำถึงได้
ช่องที่ 7 F.S.L. Elev.	คือระดับน้ำใช้การเต็มที่ในคลองส่งน้ำตรงหน้าท่อส่งน้ำเข้านาที่ฝัง
ช่องที่ 8 N.G.L. Elev.	คือระดับพื้นดินตามธรรมชาติตรงที่ฝังท่อส่งน้ำเข้านา
ช่องที่ 9 B.L. Elev.	คือระดับท้องคลองส่งน้ำตรงหน้าท่อส่งน้ำเข้านาที่ฝัง
ช่องที่ 10 F	คือระบบเผื่อล้น (freeboard) ของคลองส่งน้ำตรงท่อส่งน้ำเข้านาที่ฝังเป็นเมตร
ช่องที่ 11 W	คือความกว้างของหลังคันคลองที่ท่อส่งน้ำเข้านานั้นฝังลอดใต้เป็นเมตร
ช่องที่ 12 L	คือ ความยาวของท่อส่งน้ำเข้านาที่ฝังเป็นเมตร
ช่องที่ 13 D	คือเส้นผ่าศูนย์กลาง (ภายใน) ของท่อส่งน้ำเข้านาเป็นเมตร
ช่องที่ 14 H	คือความแตกต่างของระดับน้ำด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำของท่อส่งน้ำเข้านาเป็นเมตร
ช่องที่ 15 Del. W.S.	คือระดับน้ำด้านท้ายท่อส่งน้ำเข้านา มีค่าเท่ากับ F.S.L. - H
ช่องที่ 16 Elev. A	คือระดับปากท่อส่งน้ำด้านล่าง มีค่าเท่ากับ F.S.L. - 1.5 h_V – D โดยน้ำจะต้องท่วมปากท่อด้านทางเข้าอย่างน้อย 1.5 hv (h_V = เฮดความเร็ว หรือ velocity head)
ช่องที่ 17 Elev. B	คือระดับปลายท่อส่งน้ำด้านล่าง มีค่าเท่ากับ Del. W.S. - h_V – D โดยน้ำจะต้องท่วมปากท่อด้านทางออกอย่างน้อย hv
ช่องที่ 18 Elev. C	คือระดับขานหน้าท่อส่งน้ำ มีค่าเท่ากับ Elev. A - 0.15 ม. (แต่ไม่ต่ำกว่าระดับท้องคลองส่งน้ำ)
ช่องที่ 19 Remarks	คือช่องหมายเหตุ

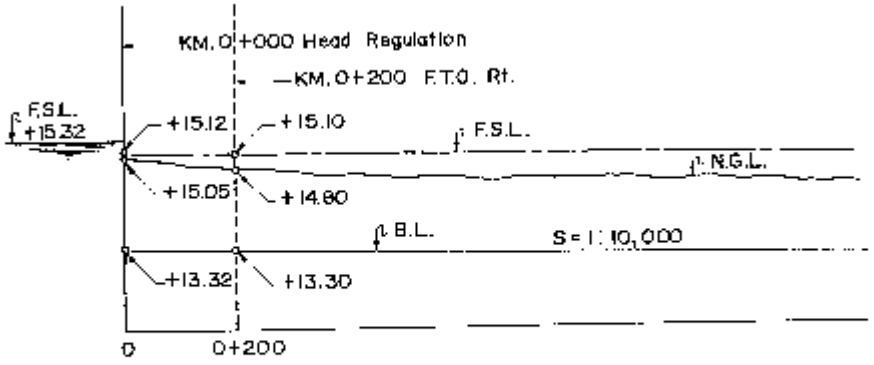
สำหรับตัวอย่างของตารางออกแบบท่อส่งน้ำเข้านา (Typical Design of Farm Turnout) สามารถสรุปได้ดังนี้

ตัวอย่างที่ 7.1 การคำนวณท่อส่งน้ำเข้านา

จงหาขนาดและข้อมูลรายละเอียดของท่อส่งน้ำเข้านา ซึ่งส่งน้ำให้แฉกส่งน้ำ 1 ขวาของคลองซอย 2R ซึ่งมีเนื้อที่ทั้งหมดเท่ากับ 1,000 ไร่ โดยมีรายละเอียดของแฉกส่งน้ำและรูปตัดของคลองซอย ดังแสดงในรูปที่ 7.2 และ 7.3



รูปที่ 7.2 รูปแปลน (plan) ของคลองซอย 2R



รูปที่ 7.3 รูปตัดตามยาว (profile) ของคลองซอย 2R

วิธีทำ

พื้นที่ชลประทานคิดเพียง 80% ของเนื้อที่ทั้งหมด = $1000 \times 0.8 = 800$ ไร่

ค่าชลภาระ = 0.00016 ม^3./วินาที/ไร่

เพราะฉะนั้น อัตราการไหล (Q) ประจำแฉก 1 ขวา $= 0.00016 \times 800 = 0.128$ ม^3./วินาที

Del. N.G.L. = +15.00

b = 4.00 ม.

d = 1.80 ม.

F.S.L. ในคลองตรงที่ฝังท่อส่งน้ำเข้านา +15.100 ม.

N.G.L. ตรงที่ฝังท่อส่งน้ำเข้านา +14.800 ม.

B.L. ตรงที่ฝังท่อส่งน้ำเข้านา +13.300 ม.

$F = 0.20 + 0.20\,d$

$= 0.20 + 0.20\,(1.80)$

$= 0.56$ ม. ใช้ 0.60 ม.

$W = \frac{1}{2}b$

$= \frac{1}{2}(4.00)$

$= 2.00$ ม.

$L = 3.5F + W$

$= 3.50\,(0.60) + 2.00$

$= 4.10$ ม. ใช้ 4.00 ม.

ใช้ท่อกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง (ภายใน) 0.35 เมตร ยาว 4.00 เมตร และ Q = 0.128 ม^3./วินาที

ความเร็วของน้ำในท่อ $= \frac{Q}{A} = \frac{0.12}{0.09}$ = 1.331 ม./วินาที

ความเร็วสูงสุดของน้ำในท่อไม่เกิน 1.5 ม./วินาที

$h_V = \frac{V^2}{2g} =$ 0.090 ม.

รัศมีชลศาสตร์ของท่อ, $R = \frac{A}{P} = \frac{0.096}{\pi \times 0.3}$ = 0.0875 ม.

จากสูตร Manning, $S_f = \left(\frac{nv}{R^{2/3}}\right)$

ค่าสัมประสิทธิ์ความฝืดของท่อคอนกรีต, n = 0.015

$S_f = \left(\frac{0.015 \times 1.33}{0.0875^{2/3}}\right) =$ 0.01026 ม./ม.

ค่า entrance loss = $0.5\,h_V$ = 0.5×0.09 = 0.045 ม.

ค่า friction loss = $S_f L$ = 0.01026×4 = 0.041 ม.

ค่า exit loss = $0.7\,h_V$ = 0.7×0.09 = 0.063 ม.

ดังนั้น ค่าการสูญเสียพลังงานทั้งหมด, H = 0.045+0.041+0.063

= 0.149 ม. ≈ 0.15 ม.

Del. W.S. = F.S.L. – 0.15

= 15.100 - 0.15

= +14.950 ม.

Elev. A = F.S.L. - 1.5 h_V - D

= 15.100 - 1.5 (0.09) - 0.35

= 15.100 - 0.135 - 0.35

= +14.615 ม.

Elev. B = Del. W.S. - h_V - D

= 14.950 - 0.09 - 0.35

= +14.510 ม.

Elev. C = Elev. A - 0.15

= 14.615 - 0.15

= +14.465 ม. (สูงกว่า B.L. + 13.300)

Farm Data, Canal Data และ Turnout Data ที่คำนวณได้นี้จะต้องนำไปกรอกในตารางข้อมูลสำหรับการออกแบบท่อส่งน้ำเข้านา (ตารางที่ 7.1) ให้ครบทุกท่อส่งน้ำเข้านาของแต่ละคลอง

7.5 เอกสารอ้างอิง

อรุณ อินทรปลิต. ม.ป.ป. เอกสารประกอบการสอนวิชาการวางแผนและออกแบบระบบการส่งน้ำ. ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน.

Aisenbrey, A.J. 1983. Design of Small Canal Structures. Bureau of Reclamation, Denver, CO. 435 p.

Chow, V.T. 1973. Open-channel Hydraulics. McGraw-Hill, Auckland.

7.6 แบบฝึกหัด

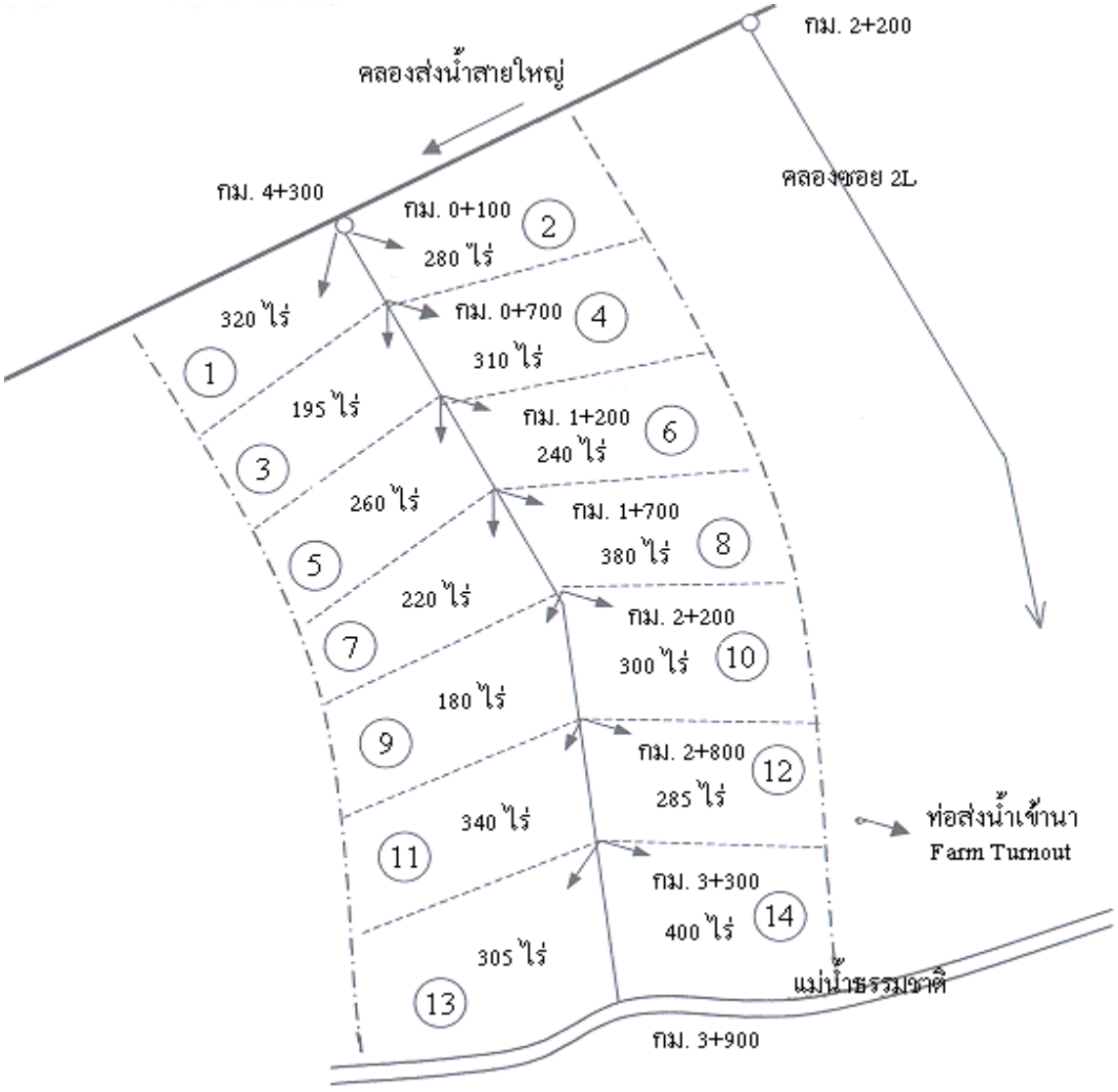
1. จงอธิบายความแตกต่างของประตูระบายทดน้ำกลางคลอง ประตูระบายปลายคลองส่งน้ำ และประตูระบายปากคลองซอย
2. จงหาขนาดและข้อมูลรายละเอียดของท่อส่งน้ำเข้านาของพื้นที่คลองซอย 2R ตามรูปที่ 7.2 และ 7.3 ซึ่งมีพื้นที่ทั้งหมด 500 ไร่ และค่าชลภาระ 0.18 ลิตร/วินาที/ไร่

บทที่ 8 ตัวอย่างรายละเอียดการคำนวณออกแบบคลอง (Detail Canal Design Example)

บทนี้จะกล่าวถึงตัวอย่างการคำนวณออกแบบคลองส่งน้ำทั้งทางทฤษฎีและในทางปฏิบัติอย่างละเอียดทุกขั้นตอน โดยใช้ทฤษฎีและวิธีการที่กล่าวมาแล้วข้างต้น

8.1 ข้อมูลและข้อกำหนดในการออกแบบ

กำหนดให้ออกแบบคลองส่งน้ำ 2L ยาว 3.900 กม. ซึ่งแบ่งออกเป็นแฉกส่งน้ำต่างๆ จำนวน 14 แฉก ซึ่งมีรายละเอียดดังรูปที่ 8.1



รูปที่ 8.1 แผนที่คลองส่งน้ำ 2L

ให้คำนวณหาขนาดคลองซอยสาย 2L จากข้อกำหนดดังต่อไปนี้

พื้นที่ชลประทาน (Irrigable Area) = 80% ของพื้นที่ทั้งหมด

ชลภาระ (Water Duty) = 0.00018 ม.^{3}/วินาที/ไร่

ลาดคลอง (Longitudinal Slope, S) = 1:8000

Manning's n (n) = 0.025

ลาดตลิ่ง (Ss) = 1:1.5

ความเร็ววิกฤต (Critical Velocity) (V_o) = $0.35d^{0.6}$

เมื่อ d = ความลึกของน้ำในคลอง, ม.

และ $\frac{V}{V_o}$ = 0.80 ถึง 1.10

8.2 การคำนวณหาขนาดความจุคลองส่งน้ำ

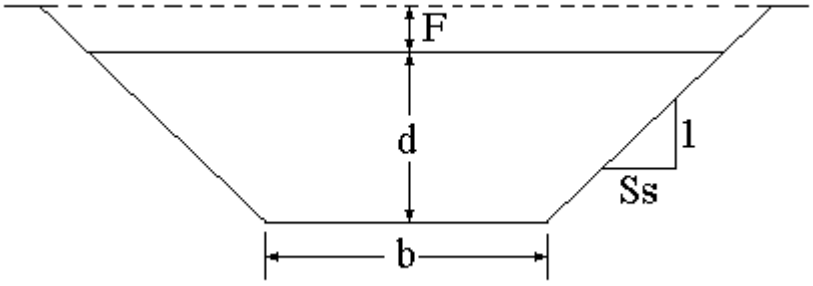
สมมติให้คลองส่งน้ำสาย 2L ส่งน้ำแบบตลอดเวลา (Continuous Delivery) จากแผนที่คลองซอยสาย 2L และข้อกำหนดให้ในหัวข้อ 8.1 จัดทำตารางแสดงจุดที่จะฝังท่อส่งน้ำเข้านา เลขที่ประจำแฉกส่งน้ำ คำนวณหาปริมาณน้ำที่จะส่งให้แฉกส่งน้ำ และปริมาณน้ำที่จะต้องส่งผ่านคลองส่งน้ำในช่วงต่างๆ ดังตารางที่ 8.1

ตารางที่ 8.1 การคำนวณปริมาณน้ำในคลองส่งน้ำ

ระยะทาง (กม.)		แฉกส่งน้ำ เลขที่		เนื้อที่แฉกส่งน้ำ (ไร่)		ปริมาณน้ำประจำแฉก	ปริมาณน้ำที่ต้องส่ง
จาก	ถึง	ขวา	ซ้าย	ทั้งหมด	ชลประทาน	ม.^{3}/วินาที	ม.^{3}/วินาที
0+000	0+100	1		320	256	0.0461	0.5788
			2	280	224	0.0404	
0+100	0+700	3		195	156	0.0281	0.4923
			4	310	248	0.0447	
0+700	1+200	5		260	208	0.0375	0.4195
			6	240	192	0.0346	
1+200	1+700	7		220	176	0.0317	0.3474
			8	380	304	0.0548	
1+700	2+200	9		180	144	0.0260	0.2609
			10	300	240	0.0432	
2+200	2+800	11		340	272	0.0490	0.1917
			12	285	228	0.0411	
2+800	3+300	13		305	244	0.0440	0.1016
			14	400	320	0.0576	
3+300	3+900						
รวม				4015	3212	0.5788	

8.3 การคำนวณหาขนาดมิติของคลองส่งน้ำตามทฤษฎี

กำหนดให้คลองส่งน้ำสาย 2L มีรูปตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมูดังรูปที่ 8.2



รูปที่ 8.2 รูปตัดคลองส่งน้ำสาย 2L

จากสูตร Manning

V = $\frac{1}{n}R^{2/3}S^{1/2}$

รูปตัดคลองที่ 1 กม.0+000 ถึง 0+100

Q = 0.5788 ม.^{3}/วินาที

A = (b+1.5d)d

P = $b+\sqrt{13}d$

R = $\frac{A}{P}$

= b+1.5d)d/($b+\sqrt{13}d$)

สมมติ b = 1.00 ม.

A = (1+1.5d)d

P = $1+\sqrt{13}d$

R = (1+1.5d)d/($1+\sqrt{13}d$) = ($d+1.5d^2$)/($1+\sqrt{13}d$)

V = $\frac{Q}{A} = \frac{1}{n}R^{2/3}S^{1/2}$

0.5788/(d+1.5d^2) = (1/0.025)[($d+1.5d^2$)/($1+\sqrt{13}d$)]$^{2/3}$($\frac{1}{8000}$)$^{1/2}$

1.294 = $(d+1.5d^2)^{5/3}/(1+\sqrt{13}d)^{2/3}$

หาค่า d โดยวิธี Trial and Error

สมมติ d = 0.88 ม.

แทนค่าทางด้านขวามือของสมการ

จะได้ = $(0.88+1.5*0.88^2)^{5/3}/(1+\sqrt{13}*0.88)^{2/3}$ = 1.26

น้อยกว่า 1.294 ม.^{3}/วินาที แสดงว่า d ที่สมมติมีค่าน้อยเกินไป

สมมติ d = 0.89 ม.

ทางขวามือ = $(0.89+1.5*0.89)^{5/3}/(1+\sqrt{3}*0.89)^{2/3}=1.29$

ใกล้เคียง $\approx$ 1.29 ม.^{3}/วินาที

สรุป : b = 1.00 ม.

d = 0.89 ม.

A = (1.+1.5d)d = 2.078 ม.^{2}

P = $1+\sqrt{3}d$ = 4.209 ม.

R = $\frac{A}{P}$ = 0.494 ม.

V = $\frac{1}{n}R^{2/3}S^{1/2}$

= $(\frac{1}{0.02})(0.494)^{2/3}(\frac{1}{8000})^{1/2}$

= 0.279 ม./วินาที

Q = 0.279*2.078 = 0.581 ม.^{3}/วินาที

V_o = $0.35(0.89)^{0.6}$ = 0.324 ม./วินาที

$\frac{V}{V_o}$ = $\frac{0.27}{0.32}$ = 0.86 ใช้ได้

รูปตัดคลองที่ 2 กม. 0+100 ถึง 0+700

Q = 0.4923 ม.^{3}/วินาที

ใช้ b = 1.00 ม.

สมมติ d = 0.83 ม.

A = (1+1.5*0.83)0.83 = 1.863 ม.^{2}

P = $(1+\sqrt{3}*0.8)$ = 3.993 ม.

R = $\frac{1.86}{3.99}$ = 0.467 ม.

V = $\frac{1}{0.025}(0.467)^{2/3}(\frac{1}{8000})^{1/2}$ ม./วินาที

= 0.269 ม./วินาที

Q = 0.269*1.863 = 0.501 ม.^{3}/วินาที $\approx$ 0.4923 ม.^{3}/วินาที

V_o = $0.35(0.89)^{0.6}$ = 0.309 ม./วินาที

$\frac{V}{V_o}$ = $\frac{0.26}{0.30}$ = 0.87 (ใช้ได้)

รูปตัดคลองที่ 3 กม.0+700 ถึง 1+200

Q = 0.4195 ม.^{3}/วินาที

ใช้ b = 1.00 ม.

สมมติ d = 0.77 ม.

A = (1+1.5*0.77)0.77 = 1.659 $ม.^2$

P = $1+\sqrt{1^3*0.7}$ = 3.776 ม.

R = $\frac{A}{P}$ = 0.439 ม.

V = $\frac{1}{0.02}*(0.439)^{2/3}(\frac{1}{8000})^{1/2}$ ม./วินาที

= 0.258 ม./วินาที

Q = 0.258*1.659 = 0.429 $ม.^3$/วินาที

$\approx$ 0.4195 $ม.^3$/วินาที

V_o = $0.35(0.77)^{0.6}$ = 0.295 ม./วินาที

$\frac{V}{V_o}$ = $\frac{0.25}{0.29}$ = 0.87 (ใช้ได้)

รูปตัดคลองที่ 4 กม.1+200 ถึง กม.1+700

Q = 0.3474 $ม.^3$/วินาที

ใช้	b	=	1.00	ม.	ถ้าใช้	b = 0.80	ม.
สมมติ	d	=	0.70	ม.	จะได้	d = 0.75	ม.
	A	=	1.435	$ม.^2$		A = 1.444	$ม.^2$
	P	=	3.524	ม.		P = 3.504	ม.
	R	=	0.407	ม.		R = 0.412	ม.
	V	=	0.246	ม./วินาที		V = 0.248	ม./วินาที
	Q	=	0.353	$ม.^3$/วินาที		Q = 0.358	$ม.^3$/วินาที

V_o = $0.35(0.7)^{0.6}$ = 0.277 ม./วินาที

$\frac{V}{V_o}$ = $\frac{0.24}{0.27}$ = 0.89 (ใช้ได้)

รูปตัดคลองที่ 5 กม.1+700 ถึง 2+200

Q = 0.2609 $ม.^3$/วินาที

ใช้ b = 0.80 ม.

สมมติ d = 0.65 ม.

A = 1.154 $ม.^2$

P = 3.144 ม.

R = 0.367 ม.

V = 0.299 ม./วินาที

Q = 0.265 ม.^{3}/วินาที

$V_o = 0.35(0.65)^{0.6}$ = 0.263 ม./วินาที

$\frac{V}{V_o} = \frac{0.29}{0.26}$ = 0.87 (ใช้ได้)

รูปตัดคลองที่ 6 กม.2+200 ถึง 2+800

Q = 0.1917 ม.^{3}/วินาที

ใช้ b = 0.80 ม.

สมมติ d = 0.57 ม.

A = 0.943 ม.^{2}

P = 2.855 ม.

R = 0.330 ม.

V = 0.214 ม./วินาที

Q = 0.202 ม.^{3}/วินาที

$V_o = 0.35(0.57)^{0.6}$ = 0.242 ม./วินาที

$\frac{V}{V_o} = \frac{0.21}{0.24}$ = 0.89 (ใช้ได้)

รูปตัดคลองที่ 7 กม.2+800 ถึง 8+300

Q = 0.1016 ม.^{3}/วินาที

ใช้ b = 0.80 ม.

สมมติ d = 0.41 ม.

A = 0.58 ม.^{2}

P = 2.278 ม.

R = 0.255 ม.

V = 0.180 ม./วินาที

Q = 0.104 ม.^{3}/วินาที

$V_o = 0.35(0.41)^{0.6}$ = 0.194 ม./วินาที

$\frac{V}{V_o} = \frac{0.18}{0.19}$ = 0.93 (ใช้ได้)

การคำนวณค่า Freeboard (F)

F = 0.20+2.20d ม.

ในเมื่อ d = ความลึกของน้ำในคลองเป็น ม.

ถ้า d = 0.89 ม.

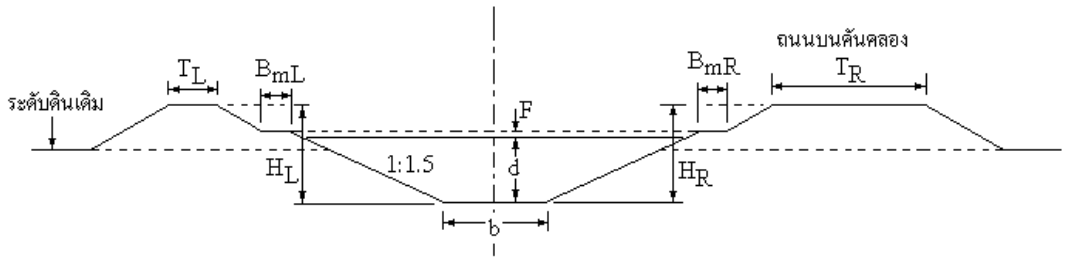
F = 0.20+0.2(0.89) = 0.38 ม.

รายละเอียดผลการคำนวณมิติคลองส่งน้ำสาย 2L แสดงอยู่ในตารางที่ 8.2

ตารางที่ 8.2 รายละเอียดมิติของคลองส่งน้ำสาย 2L ตามทฤษฎี

กม. ถึง กม.		Q	A	V	R	b	d	F	V_o	$\frac{V}{V_o}$
		ม.^{3}/วินาที	ม.^{2}	ม./วินาที	ม.	ม.	ม.	ม.	ม./วินาที	
0+000	0+100	0.581	2.08	0.279	0.494	1.00	0.89	0.40	0.324	0.86
0+100	0+700	0.499	1.86	0.269	0.467	1.00	0.83	0.40	0.309	0.87
0+700	1+200	0.428	1.66	0.258	0.439	1.00	0.77	0.40	0.295	0.88
1+200	1+700	0.353	1.44	0.246	0.407	1.00	0.70	0.35	0.277	0.89
1+700	2+200	0.264	1.15	0.229	0.367	0.80	0.65	0.35	0.263	0.87
2+200	2+800	0.201	0.94	0.214	0.330	0.80	0.57	0.35	0.242	0.89
2+800	3+300	0.105	0.58	0.180	0.225	0.80	0.41	0.30	0.194	0.93
3+300	3+900	0.105	0.58	0.180	0.225	0.80	0.41	0.30	0.194	0.97

รายละเอียดการกำหนดความกว้างของชานคลอง ก้นคลอง และถนนบนคันคลอง แสดงอยู่ในรูปที่ 8.3 และตารางที่ 8.3



รูปที่ 8.3 รายละเอียดมิติต่างๆ ของคลองสาย 2L

ตารางที่ 8.3 มิติของชานคลอง คันคลอง และถนนบนคันคลอง 2L ตามทฤษฎี (หน่วยเป็น ม.)

กม. ถึง กม.		H_L	H_R	B_{mL}	B_{mR}	T_L	T_R	R_L	R_R	หมายเหตุ
0+000	0+100	1.79	1.79	2.00	2.00	2.00	6.00			คลองดิน
0+100	0+700	1.73	1.73	2.00	2.00	2.00	6.00			คลองดิน
0+700	1+200	1.67	1.67	2.00	2.00	2.00	6.00			คลองดิน
1+200	1+700	1.55	1.55	2.00	2.00	2.00	6.00			คลองดิน
1+700	2+200	1.50	1.50	2.00	2.00	2.00	6.00			คลองดิน
2+200	2+800	1.42	1.42	2.00	2.00	2.00	6.00			คลองดิน
2+800	3+300	1.21	1.21	2.00	2.00	2.00	6.00			คลองดิน
3+300	3+900	1.21	1.21	2.00	2.00	2.00	6.00			คลองดิน

8.4 การคำนวณระดับต่างๆ ในรูปตัดตามยาวคลอง

กำหนดให้ลาดท้องคลอง = 1:8000

นั่นคือ ทางราบ 8000 ม. ระดับแตกต่าง = 1 เมตร

= 100 ซม.

1000 เมตร = 100/8

= 12.50 ซม.

ทางราบ 1000 เมตร ระดับต่าง = 12.50 ซม.

” 100 เมตร ” = 1.25 ซม. = 0.0125 ม.

” 700 เมตร ” = 8.75 ซม. = 0.0875 ม.

” 1200 เมตร ” = 15.00 ซม. = 0.1500 ม.

” 1700 เมตร ” = 21.25 ซม. = 0.2125 ม.

” 2200 เมตร ” = 27.00 ซม. = 0.2750 ม.

” 2800 เมตร ” = 35.00 ซม. = 0.3500 ม.

” 3300 เมตร ” = 41.25 ซม. = 0.4125 ม.

” 3900 เมตร ” = 48.75 ซม. = 0.4875 ม.

ถ้าให้ระดับท้องคลองที่ กม. 0+000 = +100.000 ม.

ระดับท้องคลองที่ กม. 0+100 = 100.000-0.0125 ม.

= +99.9875 ม.

ระดับท้องคลองที่ กม. 0+700 = +100.0000-0.0875 ม.

= +99.9125 ม.

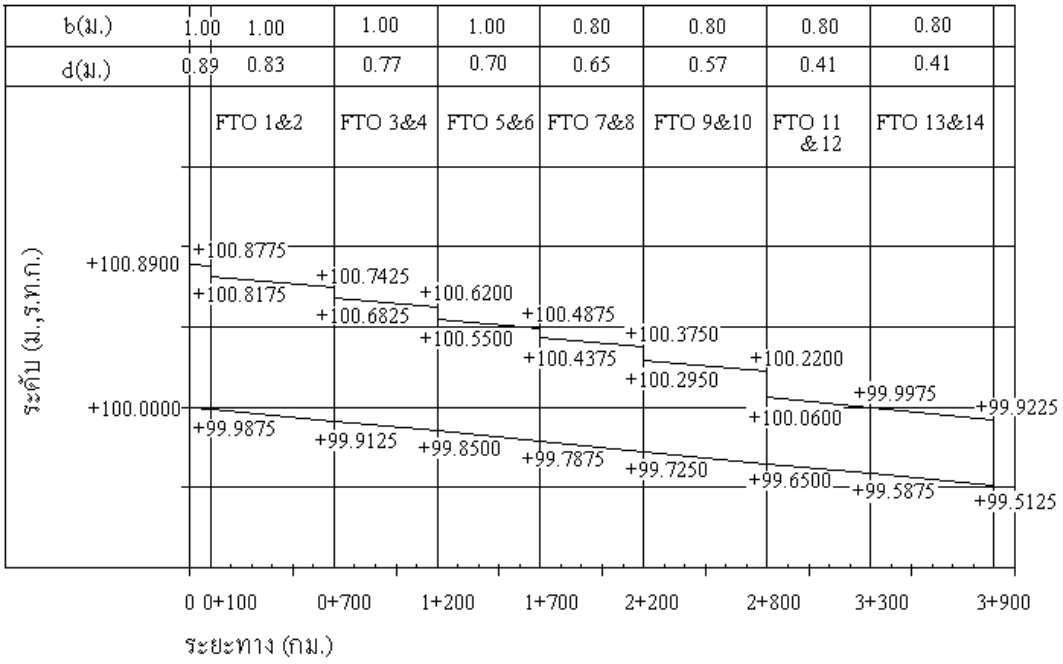
ระดับน้ำที่ กม. 0+700 จะมีค่า

1. ก่อนถึง FTo ระดับ = +99.9125+0.830 ม.
   = +100.7425 ม.
2. หลัง FTo ระดับ = +99.9125+0.77 ม.
   = +100.6825 ม.

ที่ กม. อื่นๆ ก็ใช้วิธีคำนวณเช่นเดียวกัน จะได้ระดับต่างๆ ของรูปตัดตามยาว (Profile) ของคลอง 2L ดังตารางที่ 8.4 และสามารถเขียนรูปตัดตามยาวได้ดังรูปที่ 8.4

ตารางที่ 8.4 ระดับต่างๆ ของรูปตัดยาวของคลอง 2L ซึ่งออกแบบตามทฤษฎี

กม.	ระดับท้องคลอง	ระดับน้ำก่อนถึง FTO (ม.)	ระดับน้ำหลัง FTO (ม.)
0+000	100.0000	100.8900	
0+100	99.9875	100.8775	100.8175
0+700	99.9125	100.7425	100.6825
1+200	99.8500	100.6200	100.5500
1+700	99.7875	100.4875	100.4375
2+200	99.7250	100.3750	100.2950
2+800	99.6500	100.2200	100.0600
3+300	99.5875	99.9975	99.9975
3+900	99.5125	99.9225	



รูปที่ 8.4 รูปตัดตามยาวคลองส่งน้ำ 2L ตามทฤษฎี

8.5 การออกแบบคลองส่งน้ำในทางปฏิบัติ

การออกแบบคลองส่งน้ำในทางปฏิบัติ เพื่อให้ได้มิติคลองที่เหมาะสมและสะดวกในการก่อสร้าง มีขั้นตอนการออกแบบดังต่อไปนี้

(1) การเลือกขนาดความกว้างของท้องคลอง ให้เลือกขนาดจากค่า b ต่ำสุดเท่ากับ 0.40 ม. และให้ใช้ขนาดใหญ่ขึ้นทุกๆ 0.20 ม. นั่นคือจาก 0.40 ม. เป็น 0.60 ม. 0.80 ม. 100 ม. ตามลำดับไปจนถึง 2.40 ม. 2.50 ม. ค่า b ที่ใหญ่กว่า 2.50 ม. ให้ใช้ขนาดใหญ่ขึ้นครั้งละ 0.50 ม. ไปจนถึง 5.00 ม. ค่า b ที่ใหญ่กว่า 5.00 ม. ให้ขนาดใหญ่ขึ้นครั้งละ 1.00 ม. ไปจนถึง 10.00 ม. และค่า b ที่ใหญ่กว่า 10.00 ม. ให้ขยับขึ้นช่วงละ 2.00 ม. เช่น 10.00 ม. 12.00 ม. 14.00 ม. ตามลำดับ

(2) การเลือกขนาดความลึกของน้ำในคลองให้เลือกขนาดค่า d ต่ำสุด 0.20 ม. และขยับสูงขึ้นครั้งละ 0.05 ม. เช่น 0.20 ม. 0.25 ม. 0.30 ม. และต่อไปเรื่อย ๆ

(3) อาคารในคลองส่งน้ำ นอกจากจะมีอาคารรับน้ำปากคลอง (Head Regulator) และอาคารระบายน้ำปลายคลอง (Tail Regulator) แล้วยังจะต้องมีอาคารบังคับน้ำกลางคลอง (Check Regulator) อยู่ระหว่างต้นคลองและปลายคลองอีก เพื่อทดน้ำทางด้านเหนือน้ำของอาคารให้มีระดับสูงเพียงพอที่น้ำจะไหลเข้าท่อส่งน้ำเข้านา (Farm Turnout หรือ FTO) ได้สะดวก

ดังนั้น จากที่ได้คำนวณและเขียนแบบไว้แล้วในหัวข้อที่ 8.3 และ 8.4 อาจจะนำมาคำนวณใหม่ได้ดังนี้

คลองช่วงที่ 1 กม. 0+000 ถึง 1+200

	Q	=	0.5788	ม.^{3}/วินาที
ใช้	b	=	1.00	ม.
	d	=	0.90	ม.
	A	=	2.115	ม.
	P	=	4.247	ม.
	R	=	0.498	ม.
	V	=	0.281	ม./วินาที
	Q	=	0.594	ม.^{3}/วินาที

คลองช่วงที่ 2 กม. 1+200 ถึง 2+200

	Q	=	0.3474	ม.^{3}/วินาที
ใช้	b	=	1.00	ม.
	d	=	0.70	ม.
	A	=	1.435	ม.
	P	=	3.526	ม.
	R	=	0.407	ม.
	V	=	0.246	ม.
	Q	=	0.353	ม.^{3}/วินาที

คลองช่วงที่ 3 กม. 2+200 ถึง 2+800

	Q	=	0.1917	ม.^{3}/วินาที
ใช้	b	=	0.80	ม.
	d	=	0.60	ม.
	A	=	1.020	ม.
	P	=	2.965	ม.
	R	=	0.344	ม.
	V	=	0.220	ม.
	Q	=	0.224	ม.^{3}/วินาที

คลองช่วงที่ 4 กม. 2+800 ถึง 3+900 (คลองทิ้งน้ำ)

Q = 0.1016 ม.^{3}/วินาที

ใช้ b = 0.80 ม.

d = 0.45 ม.

A = 0.664 ม.

P = 2.423 ม.

R = 0.274 ม.

V = 0.189 ม.

Q = 0.125 ม.^{3}/วินาที

ผลการคำนวณออกแบบคลองในทางปฏิบัติแสดงอยู่ในตารางที่ 8.5, 8.6, 8.7 และรูปที่ 8.5 ตามลำดับ

ตารางที่ 8.5 รายละเอียดมิติคลองส่งน้ำสาย 2L ในทางปฏิบัติ (หน่วยเป็น ม.)

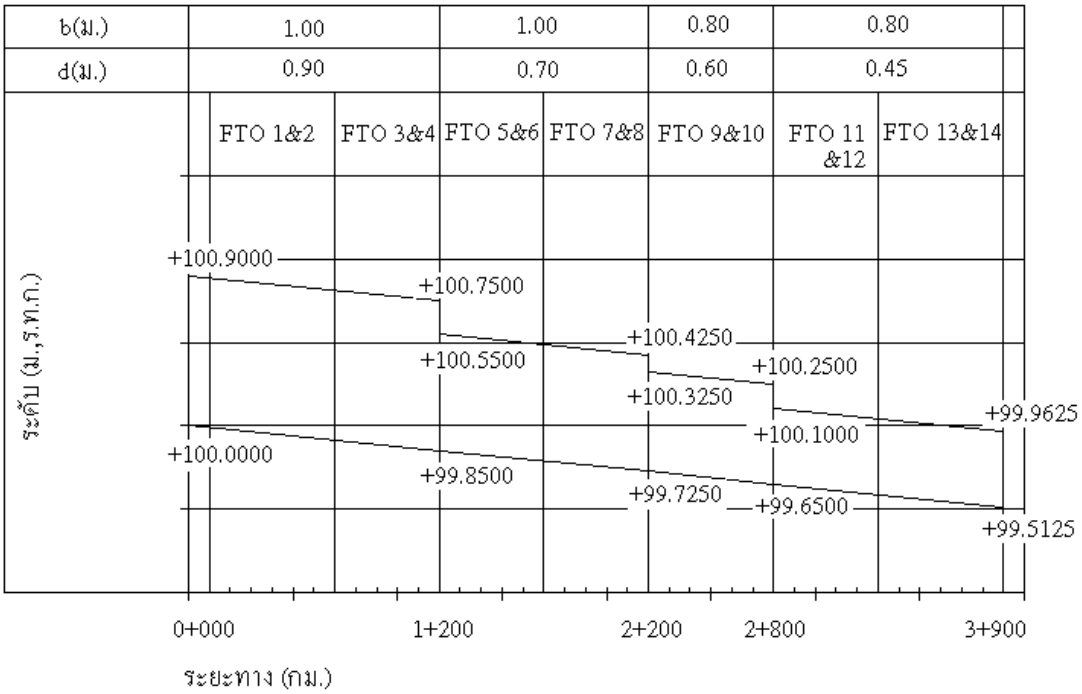
กม. ถึง กม.		Q	A	V	R	n	S	b	d	F
0+000	1+200	0.594	2.115	0.281	0.498	0.025	1:8000	1.00	0.90	0.40
1+200	2+200	0.353	1.435	0.246	0.407	0.025	1:8000	1.00	0.70	0.35
2+200	2+800	0.224	1.02	0.22	0.344	0.025	1:8000	0.80	0.60	0.35
2+800	3+900	0.125	0.664	0.189	0.274	0.025	1:8000	0.80	0.45	0.35

ตารางที่ 8.6 มิติของชานคลอง คันคลองและถนนบนคันคลองสาย 2L ในทางปฏิบัติ (หน่วยเป็น ม.)

กม. ถึง กม.		H_L	H_R	B_{mL}	B_{mR}	T_L	T_R	R_L	R_R	หมายเหตุ
0+000	1+200	1.80	1.80	2.00	2.00	2.00	6.00			คลองดิน
1+200	2+200	1.55	1.55	2.00	2.00	2.00	6.00			คลองดิน
2+200	2+800	1.45	1.45	2.00	2.00	2.00	6.00			คลองดิน
2+800	3+900	1.25	1.25	2.00	2.00	2.00	6.00			คลองดิน

ตารางที่ 8.7 ระดับต่างๆ ของรูปตัดยาวของคลอง 2L ในทางปฏิบัติ

กม.	ระดับท้องคลอง	ระดับน้ำก่อนถึง FTO (ม.)	ระดับน้ำหลัง FTO (ม.)
0+000	100.0000	100.9000	
1+200	99.8500	100.7500	100.5500
2+200	99.7250	100.4250	100.3250
2+800	99.6500	100.2500	100.1000
3+900	99.5125	99.9625	



รูปที่ 8.5 รูปตัดตามยาว (Profile) คลองส่งน้ำ 2L ในทางปฏิบัติ

8.6 ตัวอย่างการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Spread Sheet ในการคำนวณออกแบบคลอง

ในการพิจารณาเลือกใช้ขนาดคลองส่งน้ำที่เหมาะสมกับลาดคลอง ลาดตลิ่ง และความเร็ววิกฤต โดยปกติจะใช้วิธี Trial & Error ซึ่งทำให้เสียเวลามาก การใช้โปรแกรม Spread Sheet คำนวณและพิมพ์ผลการคำนวณออกมาก่อน แล้วนำมาพิจารณาเลือกจะทำได้สะดวกและรวดเร็วกว่า

จากตัวอย่างการคำนวณออกแบบคลองตามที่กล่าวมาแล้ว จะเห็นได้ว่าค่าตัวแปรที่เปลี่ยนแปลงที่จะต้องนำมาป้อนใส่ (Spread Sheet) คือ ค่า Ss, n, S ความกว้างก้นคลอง (d) และความลึก (d) เริ่มต้น ความลึกในช่วงคลองต่อไปจะเพิ่มทีละ 5 ซม. ส่วนค่า (C) ในสูตรความเร็ววิกฤตของ Kennedy นั้น เลือกใช้ตามชนิดของดิน ผลการคำนวณจะแสดงค่าต่างๆ ซึ่งสะดวกในการเลือกใช้ค่าที่เหมาะสมต่อไป

รูปที่ 8.6(1) และ 8.6(2) แสดงผลการคำนวณออกแบบคลองด้วย Spread Sheet เมื่อลาดคลองเป็น 1:8000 และ 1:6000 ตามลำดับ ส่วนค่าอื่นๆ ใช้ค่าเดียวกับตัวอย่าง

Canal Section	(CS)			C		m
			extremely fine soil=	0.365	very fine silt=	0.660
Ss =1:	1.5	<=input	fine sandy soil =	0.548	clear water=	0.500
n =	0.025	<=new	coarse sandy soil=	0.600	SELECTED	
S =1:	8000	<=Data	sandy loamy silt=	0.658	m=	0.660
			coarse silt =	0.711	c =	0.350

b (m.)	D (m.)	A (m^2)	P (m.)	R (m.)	V m/sec	Q m^3/sec	Vo m/sec	V/Vo
3.00	1.00	4.5000	6.6056	0.6812	0.3463	1.5585	0.3500	0.9895
3.00	1.05	4.8038	6.7858	0.7079	0.3553	1.7068	0.3615	0.9830
3.00	1.10	5.1150	6.9661	0.7343	0.3641	1.8622	0.3727	0.9768
3.00	1.15	5.4338	7.1464	0.7603	0.3726	2.0247	0.3838	0.9708
3.00	1.20	5.7600	7.3267	0.7862	0.3810	2.1946	0.3948	0.9652
3.00	1.25	6.0938	7.5069	0.8117	0.3892	2.3718	0.4055	0.9598
3.00	1.30	6.4350	7.6872	0.8371	0.3973	2.5564	0.4162	0.9546
2.50	1.00	4.0000	6.1056	0.6551	0.3374	1.3498	0.3500	0.9641
2.50	1.05	4.2788	6.2858	0.6807	0.3461	1.4811	0.3615	0.9577
2.50	1.10	4.5650	6.4661	0.7060	0.3547	1.6190	0.3727	0.9515
2.50	1.15	4.8588	6.6464	0.7310	0.3630	1.7637	0.3838	0.9457
2.50	1.20	5.1600	6.8267	0.7559	0.3712	1.9152	0.3948	0.9402
2.50	1.25	5.4688	7.0069	0.7805	0.3792	2.0736	0.4055	0.9350
2.50	1.30	5.7850	7.1872	0.8049	0.3870	2.2389	0.4162	0.9300
1.50	0.70	1.7850	4.0239	0.4436	0.2603	0.4646	0.2766	0.9410
1.50	0.75	1.9688	4.2042	0.4683	0.2698	0.5312	0.2895	0.9321
1.50	0.80	2.1600	4.3844	0.4927	0.2791	0.6028	0.3021	0.9239
1.50	0.85	2.3588	4.5647	0.5167	0.2881	0.6796	0.3144	0.9164
1.50	0.90	2.5650	4.7450	0.5406	0.2969	0.7615	0.3265	0.9093
1.50	0.95	2.7788	4.9253	0.5642	0.3055	0.8488	0.3383	0.9028
1.50	1.00	3.0000	5.1056	0.5876	0.3138	0.9415	0.3500	0.8967
1.00	0.50	0.8750	2.8028	0.3122	0.2060	0.1802	0.2215	0.9298
1.00	0.55	1.0038	2.9831	0.3365	0.2165	0.2173	0.2359	0.9178
1.00	0.60	1.1400	3.1633	0.3604	0.2266	0.2584	0.2498	0.9071
1.00	0.65	1.2838	3.3436	0.3839	0.2364	0.3035	0.2634	0.8975
1.00	0.70	1.4350	3.5239	0.4072	0.2458	0.3528	0.2766	0.8889
1.00	0.75	1.5938	3.7042	0.4303	0.2550	0.4064	0.2895	0.8810
1.00	0.80	1.7600	3.8844	0.4531	0.2640	0.4646	0.3021	0.8738
1.00	0.85	1.9338	4.0647	0.4757	0.2727	0.5273	0.3144	0.8673
1.00	0.90	2.1150	4.2450	0.4982	0.2812	0.5947	0.3265	0.8613

รูปที่ 8.6(1) ผลการคำนวณการออกแบบคลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Spread Sheet เมื่อลาดคลองเท่ากับ 1:8,000 (อดุล. 2540)

Canal Section	(CS)		C		m
		extremely fine soil=	0.365	very fine silt=	0.660
Ss =1:	1.5 <=input	fine sandy soil =	0.548	clear water=	0.500
n =	0.025 <=new	coarse sandy soil=	0.600	SELECTED	
S =1:	6000 <=Data	sandy loamy silt=	0.658	m=	0.660
		coarse silt =	0.711	c =	0.350

b (m.)	D (m.)	A (m^2)	P (m.)	R (m.)	V m/sec	Q m^3/sec	Vo m/sec	V/Vo
3.00	1.00	4.5000	6.6056	0.6812	0.3999	1.7996	0.3500	1.1426
3.00	1.05	4.8038	6.7858	0.7079	0.4103	1.9708	0.3615	1.1351
3.00	1.10	5.1150	6.9661	0.7343	0.4204	2.1503	0.3727	1.1279
3.00	1.15	5.4338	7.1464	0.7603	0.4303	2.3380	0.3838	1.1210
3.00	1.20	5.7600	7.3267	0.7862	0.4399	2.5341	0.3948	1.1145
3.00	1.25	6.0938	7.5069	0.8117	0.4494	2.7387	0.4055	1.1082
3.00	1.30	6.4350	7.6872	0.8371	0.4587	2.9519	0.4162	1.1023
2.50	1.00	4.0000	6.1056	0.6551	0.3896	1.5586	0.3500	1.1133
2.50	1.05	4.2788	6.2858	0.6807	0.3997	1.7102	0.3615	1.1058
2.50	1.10	4.5650	6.4661	0.7060	0.4095	1.8695	0.3727	1.0987
2.50	1.15	4.8588	6.6464	0.7310	0.4191	2.0365	0.3838	1.0920
2.50	1.20	5.1600	6.8267	0.7559	0.4286	2.2114	0.3948	1.0857
2.50	1.25	5.4688	7.0069	0.7805	0.4378	2.3943	0.4055	1.0796
2.50	1.30	5.7850	7.1872	0.8049	0.4469	2.5853	0.4162	1.0738
1.50	0.70	1.7850	4.0239	0.4436	0.3005	0.5364	0.2766	1.0865
1.50	0.75	1.9688	4.2042	0.4683	0.3116	0.6134	0.2895	1.0763
1.50	0.80	2.1600	4.3844	0.4927	0.3223	0.6961	0.3021	1.0669
1.50	0.85	2.3588	4.5647	0.5167	0.3327	0.7847	0.3144	1.0581
1.50	0.90	2.5650	4.7450	0.5406	0.3428	0.8793	0.3265	1.0500
1.50	0.95	2.7788	4.9253	0.5642	0.3527	0.9801	0.3383	1.0425
1.50	1.00	3.0000	5.1056	0.5876	0.3624	1.0872	0.3500	1.0354
1.00	0.50	0.8750	2.8028	0.3122	0.2378	0.2081	0.2215	1.0737
1.00	0.55	1.0038	2.9831	0.3365	0.2500	0.2509	0.2359	1.0598
1.00	0.60	1.1400	3.1633	0.3604	0.2617	0.2983	0.2498	1.0475
1.00	0.65	1.2838	3.3436	0.3839	0.2730	0.3504	0.2634	1.0364
1.00	0.70	1.4350	3.5239	0.4072	0.2839	0.4074	0.2766	1.0264
1.00	0.75	1.5938	3.7042	0.4303	0.2945	0.4693	0.2895	1.0173
1.00	0.80	1.7600	3.8844	0.4531	0.3048	0.5364	0.3021	1.0090

1.00	0.85	1.9338	4.0647	0.4757	0.3149	0.6089	0.3144	1.0014
1.00	0.90	2.1150	4.2450	0.4982	0.3247	0.6867	0.3265	0.9945

รูปที่ 8.6(2) ผลการคำนวณออกแบบคลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Spread Sheet เมื่อลาดคลองเท่ากับ 1:6,000 (อดุล. 2540)

8.7 เอกสารอ้างอิง

อดุล วรรณจนา, 2540. เอกสารประกอบการสอนวิชา 207421:การวางแผนและออกแบบระบบส่งน้ำ. ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม.

8.8 แบบฝึกหัด

(1) จงพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Spread Sheet เช่น Excel เพื่อคำนวณออกแบบคลองตามทฤษฎี พร้อมเขียนรูปตัดยาวของคลองส่งน้ำ โดยใช้ข้อมูลและข้อกำหนดในการออกแบบคลองตามตัวอย่างในข้อ 8.1-8.4