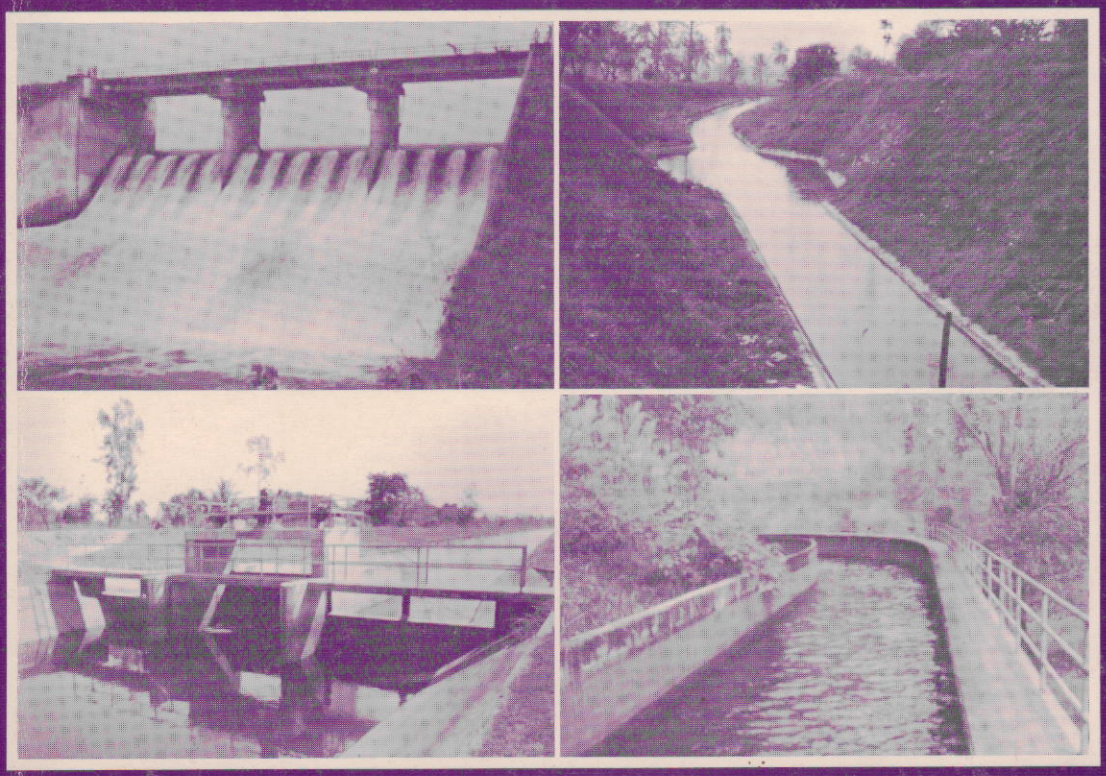
การวางแผนและออกแบบระบบส่งน้ำ

Planning and Design of Distribution Systems



โดย... นายอดุล วรรณจนา

ชป.บ., M.S.

ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

นครปฐม

การวางแผนและออกแบบระบบส่งน้ำ

Planning and Design of Distribution System

โดย

นาย อดุล วรรณจนา

ชป.บ., M.S.(Oklahoma State University)

ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

นครปฐม

คำนำ

วัตถุประสงค์ของการเขียนหนังสือเล่มนี้ เพื่อใช้เป็นเอกสารคำสอน วิชาการวางแผนและออกแบบระบบส่งน้ำ สำหรับนิสิต ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ รวมทั้งใช้เป็นเอกสารทางวิชาการประกอบ การพิจารณาวางแผนออกแบบระบบการส่งน้ำ สำหรับวิศวกร และผู้ที่สนใจทั่วไป โดยเฉพาะระบบการส่งน้ำแบบคลองส่งน้ำและคูน้ำ ซึ่งเป็นวิธีนี้เป็นวิธีที่นิยมใช้กันทั่วไปทั้งในอดีตและปัจจุบัน สามารถใช้ได้ผลดี ถ้ามีการออกแบบที่ถูกต้องและเหมาะสม

หนังสือเล่มนี้ผู้เขียน ได้รวบรวมเนื้อหาจากตำราภาษาไทยและภาษาอังกฤษ เอกสารจากการประชุมสัมมนา บริษัทที่ปรึกษาและข้อมูลจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เช่น กรมชลประทาน เป็นต้น โดยทำการปรับปรุงแก้ไข ให้ทันสมัยและเหมาะสมกับสภาพต่างๆในปัจจุบัน

เนื้อหาในหนังสือเล่มนี้ หากมีส่วนผิดพลาดประการใด ขอได้โปรดกรุณาแจ้งให้ผู้เขียนทราบด้วย จักเป็นพระคุณยิ่ง เพื่อผู้เขียนจะได้นำมาแก้ไข ปรับปรุงและเพิ่มเติมให้สมบูรณ์ในโอกาสต่อไป

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน ที่ให้การสนับสนุนในการเขียนและเรียบเรียงหนังสือเล่มนี้ และใคร่ขอขอบคุณ คุณสุรีรัตน์ เจริญชีพ ที่ช่วยจัดพิมพ์ต้นฉบับให้จนเป็นผลสำเร็จ

นายอดุล วรรณจนา

กันยายน 2537

สารบาญ

	หน้า
คำนำ	i
สารบาญ	ii
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ลักษณะทั่วไปของโครงการ	1
1.2 องค์ประกอบสำคัญชลประทานของโครงการ	1
1.3 ประเภทของโครงการชลประทาน	3
1.4 การหาตำแหน่งที่ตั้งหัวงานโครงการ	6
1.5 ลักษณะที่ตั้งหัวงานโครงการ	7
1.6 ลักณะบริเวณที่ควรเลือกเป็นที่ตั้งหัวงาน	10
1.7 หลักการกำหนดระดับน้ำใช้การเต็มที่ของหัวงาน	11
บทที่ 2 อาคารหัวงาน	15
2.1 ฝาย	15
2.2 เขื่อนระบายน้ำ	16
2.3 ประเภทของฝาย	22
1. ฝายชั่วฤดู	22
2. ฝายชั่วคราว	24
3. ฝายค่อนข้างถาวร	25
4. ฝายถาวร	30
2.4 แรงกระทำต่อตัวฝาย	37
2.5 ความมั่นคงของตัวฝาย	38
2.6 แรงดันขึ้นของน้ำใต้ฝาย	41
2.7 แรงกัดพาเม็ดดินท้ายฝาย	41
2.8 ความสามารถระบายน้ำของฝาย	44
บทที่ 3 อาคารประกอบหัวงาน	56
3.1 ประตูระบายทราย	56
3.2 ช่องระบายทราย	59

3.3	บันไดปลา	60
3.4	ทางชุง	62
3.5	ประตูระบายปากคลองสายใหญ่	63
	3.5.1 ชนิดของประตูระบายปากคลอง	65
	3.5.2 ระดับต่างๆ ที่เกี่ยวโยงกันที่หัวงาน	69
	3.5.3 การคำนวณหาขนาดของช่องบานระบาย	70
3.6	บานระบาย	73
3.7	ประตูเรือสัญจร	77
บทที่ 4	การวางแผนและออดแบบระบบส่งน้ำ	85
4.1	คำนำ	85
4.2	การรวบรวมข้อมูลเพื่อออกแบบ	86
4.3	หลักการเบื้องต้นในการออกแบบ	87
4.4	การวางแนวคลองส่งน้ำและระบายน้ำ	87
	4.4.1 หลักเกณฑ์ในการวางแนวคลอง	87
	4.4.2 ขั้นตอนในการวางแนวคลอง	89
4.5	คลองส่งน้ำ	91
4.6	ปริมาณความต้องการใช้น้ำชลประทาน	94
	4.6.1 ปริมาณน้ำที่พืชต้องการใช้	94
	4.6.2 ปริมาณน้ำชลประทานสุทธิที่แปลงเพาะปลูก	95
4.7	ค่าชลภาระ	96
4.8	คุณสมบัติของคลองส่งน้ำ	98
4.9	รูปทรงของคลองส่งน้ำ	100
	4.9.1 ลาดผิวน้ำตามความยาวคลองส่งน้ำ	102
	4.9.2 ความกว้างก้นคลองและความลึกของน้ำในคลอง	103
	4.9.3 ลาดตลิ่งคลอง	104
	4.9.4 เผื่อล้น	105
	4.9.5 คันคลอง	108
	4.9.6 ชานคลอง	112
	4.9.7 เขตคลอง	114

4.10 การออกแบบคลองส่งน้ำทางชลศาสตร์ 114
4.10.1 Chezy'sFormula 114
4.10.2 The Ganguillet and Kutter's Formula 115
4.10.3 The Manning's Formula 116
4.10.4 The Bazin's Formula 119
4.10.5 The Kennedy's Critical Formula 119
4.10.6 The Cotinuity Equation 120
4.11 หลักเกณฑ์การพิจารณาการออกแบบขนาดและรูปตัดคลอง 129
4.11.1 การเปลี่ยนขนาดและรูปตัดคลอง 129
4.11.2 รัศมีแนวโค้งคลองส่งน้ำ 132
4.11.3 รูปตัดขวางที่ส่งน้ำได้สะดวกที่สุด 132
4.11.4 รูปตัดขวางคลองที่รั่วซึมน้อยที่สุด 132
บทที่ 5 อาคารส่งน้ำ 134
5.1 คำนำ 134
5.2 รางน้ำหรือสะพานน้ำ 134
5.2.1 Bench Flumes 137
5.2.2 Elevated Flumes 139
5.2.3 ลักษณะทั่ไปของรางน้ำ 139
5.2.4 การพิจารณาด้านชลศาสตร์ 143
5.2.5 หลักเกณฑ์การออกแบบรางน้ำ 145
5.3 ท่อเชื่อม 146
5.3.1 การพิจารณาเลือกใช้ 148
5.3.2 ข้อดีและข้อเสียของไซฟอน 149
5.3.3 ส่วนประกอบของอาคารไซฟอน 149
5.3.4 การพิจารณาออกแบบด้านชลศาสตร์ 151
5.3.5 การพิจารณาความมั่นคงของไซฟอน 154
5.4 อาคารน้ำตก 154
5.4.1 ชนิดต่างๆ และการเลือกใช้อาคารน้ำตก 157
1.น้ำตกดิ่ง 157

2.น้ำตกเอียง 159
3.น้ำตกเอียงแบบท่อ 162
4.น้ำตกเอียงแบบพื้นร่องมีแท่งคอนกรีต 164
5.4.2 หลักการออกแบบน้ำตกดิ่ง 166
1.อัตราความเร็วของน้ำเหนือช่องน้ำตก 166
2.แรงกระแทกของน้ำที่ตกลงสู่ท้ายน้ำตก 182
3.การกัดทำลายพื้นด้านท้านน้ำตกหรืออ่างรับน้ำ 184
5.5 รางเท 184
5.6 อาคารตัดผ่านทางคมนาคมทางบก 189
1.สะพาน 192
2.ท่อลอด 190
บทที่ 6 อาคารควบคุมน้ำ 190
6.1 คำนำ 190
6.2 ประตูระบายทดน้ำกลางคลอง 190
6.3 ประตูระบายทดน้ำและน้ำตก 193
6.4 ประตูระบายน้ำปากคลอซอย 195
6.5 อาคารแบ่งน้ำ 197
6.6 ประตูระบายปลายคลองส่งน้ำ 197
6.7 ท่อส่งน้ำเข้านา 199
บรรณานุกรม 201
ภาคผนวก 205
ภาคผนวกที่ 1 ตัวอย่างการคำนวณคลองส่งน้ำทางทฤษฎีและทางปฏิบัติ 207
ภาคผนวกที่ 2 ตัวอย่างการใช้คอมพิวเตอร์(Spread Sheet)หาขนาดคลอง 221

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ลักษณะทั่วไปของโครงการชลประทาน

โครงการชลประทานเป็นโครงการที่สร้างขึ้นเพื่อนำน้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติเข้าไปใช้ในพื้นที่เพาะปลูกในช่วงที่ขาดแคลนน้ำฝนและฤดูแล้งโครงการชลประทานประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วนคือ อาคารหัวงาน ระบบส่งน้ำ และระบบระบายน้ำ อาคารหัวงานจะทำหน้าที่เก็บกักหรือผันน้ำเข้าสู่ระบบส่งน้ำเพื่อลำเลียงน้ำไปสู่แปลงเพาะปลูกในพื้นที่โครงการ ระบบส่งน้ำที่ดีจะต้องสามารถส่งน้ำจากหัวไปยังพื้นที่เพาะปลูกได้อย่างทั่วถึง เพียงพอในเวลาที่พืชต้องการใช้น้ำ ส่วนระบบระบายน้ำจะทำหน้าที่ระบายน้ำในพื้นที่เพาะปลูกที่มีมากเกินไป อันอาจจะเกิดจากฝนตกหนักหรือน้ำหลากมาในฤดูฝน ออกจากพื้นที่เพาะปลูกทั่วไปให้ทันก่อนที่พืชจะได้รับอันตราย

การวางแผนและออกแบบระบบส่งน้ำ ของโครงการชลประทานมีความสำคัญยิ่งต่อความสำเร็จของโครงการ จำเป็นต้องศึกษาและรวบรวมข้อมูลวางแผนและออกแบบให้ถูกต้อง และสอดคล้องต่อเนื่องกัน

1.2 องค์ประกอบสำคัญของโครงการชลประทาน

องค์ประกอบที่สำคัญของโครงการชลประทาน ที่ต้องนำมาพิจารณาร่วมกันในขั้นตอนการวางแผนและออกแบบ คือ พื้นที่ดินและพืช แหล่งน้ำของโครงการหัวงานของโครงการ ระบบส่งน้ำ และระบบระบายน้ำ

1. พื้นที่ดินและพืช (Area and Crops)

พื้นที่ดินในโครงการชลประทานหมายถึง ขอบเขตที่ดินซึ่งสามารถรับน้ำหรือสามารถส่งน้ำไปให้ได้ทั้งหมดอาจจะมีปริมาณมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับขนาดของโครงการ พื้นที่โครงการชลประทานแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ *พื้นที่ทั้งหมด (Project Area or Total Area)* หมายถึงจำนวนพื้นที่ทั้งหมดภายในขอบเขตของโครงการหรือคิดเป็นพื้นที่เต็ม 100% และ*พื้นที่ชลประทาน (Irrigable Area)* หมายถึงพื้นที่ในเขตโครงการส่วนที่ใช้เป็นพื้นที่เพาะปลูกและสามารถส่งน้ำชลประทานไปถึงได้ ดังนั้น

พื้นที่ชลประทานจึงเท่ากับพื้นที่โครงการลบด้วยพื้นที่ซึ่งไม่ต้องการน้ำชลประทาน ได้แก่ ที่ลุ่มหนอง บึง ลำน้ำ ที่อยู่อาศัยและถนนฯลฯ และพื้นที่ที่ไม่สามารถส่งน้ำไปให้ได้ เช่นที่สูง เนินเขาและภูเขาเป็นต้น ในทางปฏิบัติพื้นที่ชลประทานจะคิดออกมาเป็นเปอร์เซนต์ของพื้นที่โครงการ เช่น 70-80 % ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพภูมิประเทศลักษณะเนื้อดิน สภาพการปลูกพืช พื้นที่ชลประทานส่วนนี้จะนำมาใช้ในการคำนวณหาปริมาณน้ำที่ต้องส่งไปใช้ทำการชลประทาน

พืชที่ปลูกในพื้นที่โครงการชลประทานอาจเป็น พืชชนิดเดียวหรือหลายชนิดและอาจจะปลูกในพื้นที่เดียวกันมากกว่า 1 ครั้งก็ได้ อย่างไรก็ตามจำเป็นต้องทราบชนิดของพืชที่จะปลูกและฤดูการเพาะปลูกของพืชแต่ละชนิด เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณปริมาณการใช้น้ำของพืชและปริมาณน้ำชลประทานที่จะต้องส่งให้ทั้งหมด ตลอดฤดูกาลเพาะปลูก

2. แหล่งน้ำของโครงการ (Source of water Supply)

แหล่งน้ำของโครงการชลประทานส่วนใหญ่จะเป็นแหล่งน้ำที่มีอยู่ตามธรรมชาติได้แก่ แม่น้ำ ลำธาร และน้ำใต้ดินเป็นต้น ซึ่งสามารถจะนำมาใช้ทำการชลประทานได้ แหล่งน้ำเหล่านี้จะต้องมีปริมาณน้ำเพียงพอ ตลอดฤดูการเพาะปลูก อย่างไรก็ตามสภาพของลำน้ำแต่ละแห่งอาจจะแตกต่างกันไป เช่นแม่น้ำบางสายมีน้ำไหลตลอดทั้งปีและมีปริมาณเพียงพอสำหรับทำการชลประทาน แม่น้ำบางสายมีน้ำไหลมาปริมาณมากในฤดูฝนเกินความต้องการ แต่กลับแห้งไม่มีน้ำในฤดูแล้ง กรณีเช่นนี้จะอาจต้องสร้างอ่างเก็บน้ำ เพื่อเก็บกักน้ำในฤดูฝนไว้ใช้ในฤดูแล้งต่อไป จะเห็นได้ว่าสภาพของลำน้ำเป็นปัจจัยสำคัญประการหนึ่งของการกำหนดประเภทของโครงการชลประทาน

3. หัวงานของโครงการ (Headworks)

หัวงาน ของโครงการชลประทาน หมายถึง สิ่งก่อสร้างทั้งหมดที่สร้างขึ้นบริเวณต้นน้ำหรือ แหล่งน้ำธรรมชาติ เพื่อทำหน้าที่เก็บน้ำ ยกน้ำ หรือทดน้ำให้มีระดับสูงขึ้นกว่าระดับปกติตามธรรมชาติ และสูงพอที่จะผันน้ำให้ไหลเข้าสู่คลองส่งน้ำที่ขุดขึ้น และสามารถไหลไปสู่พื้นที่เพาะปลูกทั้งพื้นที่ขอบเขตโครงการได้ นอกจากนี้หัวงานยังหมายรวมถึง อาคารประกอบที่สร้างขึ้นในบริเวณเดียวกันเพื่อทำหน้าที่ควบคุมปริมาณน้ำและเพื่อประโยชน์อื่นที่เกี่ยวข้อง เช่น อาคารระบายน้ำล้น(Spillway) ประตูระบายปากคลอง(Head Regurator) ประตูระบายทราย (Sand Sluice) และคันดินกันน้ำท่วม (Flood Protective Dikes) เป็นต้น

4. ระบบส่งน้ำ (Distribution Systems)

ระบบส่งน้ำ คือ ระบบที่สร้างขึ้นเพื่อรับน้ำจากแม่น้ำหรือหัวงาน ส่งไปยังพื้นที่ส่วนต่างๆ ของโครงการตามที่ต้องการ ระบบส่งอาจประกอบขึ้นด้วย คลองส่งน้ำ คูน้ำและอาคารต่างๆเช่น ท่อส่งน้ำ รางน้ำ ท่อเชื่อมเป็นต้น สำหรับโครงการชลประทานประเภท Gravity Irrigation มักนิยมสร้างเป็นระบบคลองเปิด (Open Channel) ซึ่งประกอบด้วย คลองส่งน้ำสายใหญ่ คลองซอย คลองแยกซอย และคูน้ำ ระบบส่งน้ำเป็นสิ่งจำเป็น และสำคัญที่สุดของโครงการชลประทาน เพราะแม้จะมีอาคารหัวงานที่ดีเพียงใดแต่หากขาดระบบส่งน้ำที่สมบูรณ์และมีประสิทธิภาพแล้ว โครงการชลประทานนั้นๆ ก็ไม่อาจจะบรรลุเป้าหมายที่วางไว้ได้ นอกจากนี้ค่าลงทุนในระบบส่งน้ำมักจะมีราคาสูงกว่าอาคารอย่างอื่นด้วย

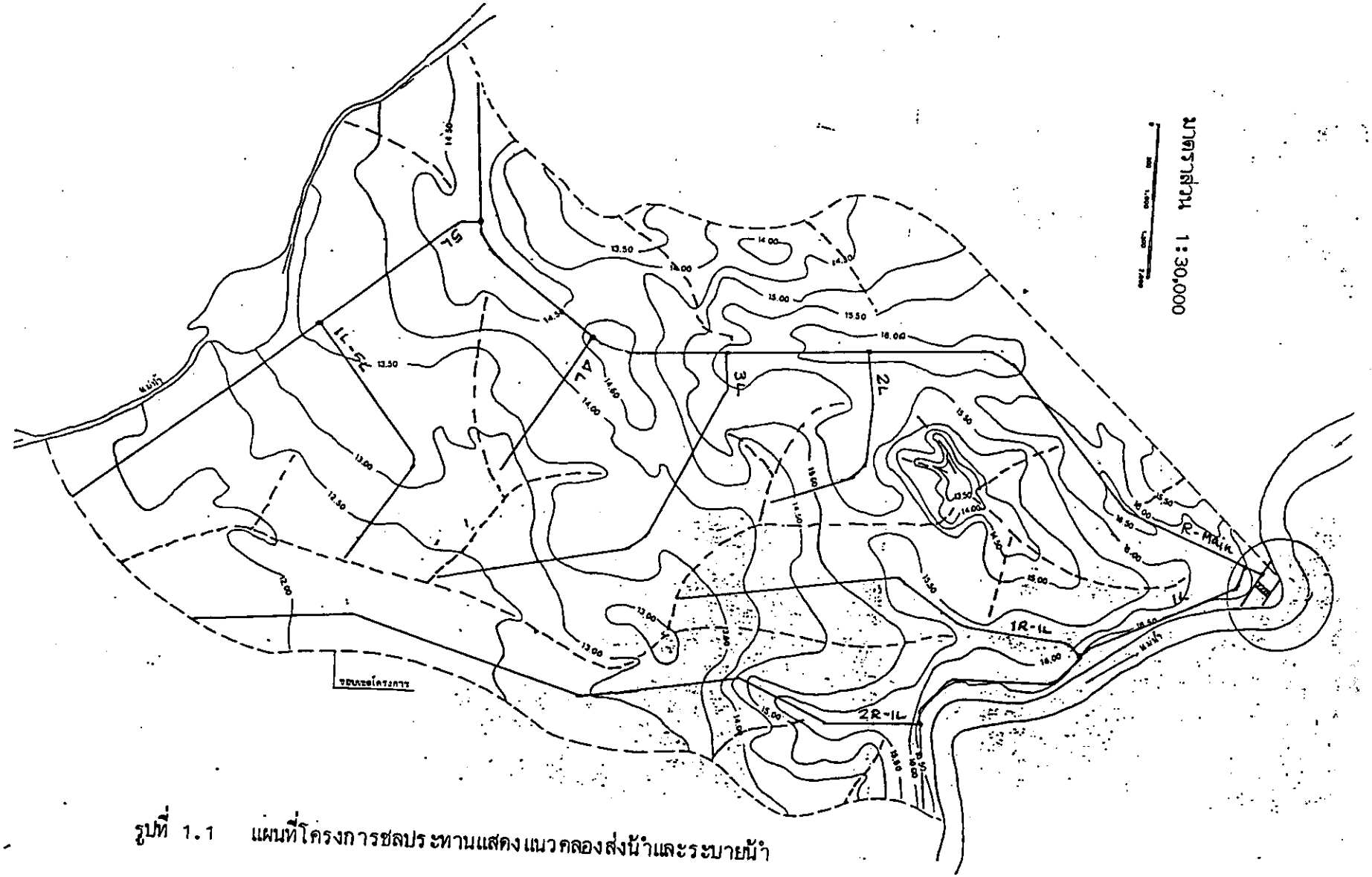
5. ระบบระบายน้ำ (Drainage Systems)

ระบบระบายน้ำ มีหน้าที่ระบายน้ำออกจากพื้นที่เพาะปลูกในโครงการในยามที่มีน้ำมากเกินไป โดยทั่วไประบบระบายน้ำจะเป็นระบบคูเปิด จะถูกวางไว้ในบริเวณที่เป็นร่องน้ำธรรมชาติหรือบริเวณที่ลุ่มต่ำ เพื่อให้สามารถระบายน้ำออกได้สะดวก คลองหรือคูระบายน้ำจะเริ่มจาก คูระบายน้ำท้ายแปลง คูระบายน้ำรวม และคลองระบายน้ำสายใหญ่น้ำจากพื้นที่ของโครงการทั้งหมดจะถูกระบายทิ้งลงสู่ลำน้ำธรรมชาติให้ทันก่อนพืชจะเป็นอันตรายจากน้ำท่วม นอกจากระบบระบายน้ำผิวดินแล้ว บางโครงการยังจำเป็นต้องมีระบบระบายน้ำใต้ดิน เพื่อควบคุมระดับน้ำใต้ดินไม่ให้อยู่ที่ระดับสูงเกินไปจนทำให้พื้นที่เพาะปลูกเสียหายอีกด้วย

1.3 ประเภทของโครงการชลประทาน

โครงการชลประทานสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภท ตามลักษณะของอาคารหัวงานและลักษณะการนำน้ำไปใช้ คือ

1. โครงการชลประทานรับน้ำนอง(Inundation) ส่วนมากจะเป็นโครงการขนาดเล็กมีพื้นที่เพาะปลูกไม่มากนัก และสร้างในบริเวณที่น้ำในแม่น้ำมีระดับสูงพอที่จะไหลเข้าคลองส่งน้ำได้สะดวกในฤดูส่งน้ำ เพียงแต่ขุดคลองส่งน้ำออกจากแม่น้ำ น้ำก็จะไหลเข้าคลองไปสู่พื้นที่เพาะปลูกได้เอง โดยไม่ต้องสร้างอาคารทดน้ำใดๆ แต่อาจจะสร้างประตูระบายปากคลองไว้ เพื่อควบคุมปริมาณน้ำตามที่ต้องการ



รูปที่ 1.1 แผนที่โครงการชลประทานแสดงแนวคลองส่งน้ำและระบายน้ำ

2. โครงการชลประทานประเภทเขื่อนระบายน้ำและฝาย (Barrageor Diversion dam, and Weir) คือโครงการที่มีหัวงานเป็นอาคารทดน้ำ เพื่อทดน้ำให้ไหลเข้าคลอง ทั้งนี้เนื่องมาจากระดับน้ำในแม่น้ำมีความผันแปรขึ้นๆลงๆตลอดเวลา ดังนั้น โอกาสที่น้ำในแม่น้ำจะขึ้นสูง ถึงระดับที่จะไหลเข้าคลองเองในฤดูการส่งน้ำจึงไม่แน่นอน และมีปริมาณไม่สม่ำเสมอ กล่าวคือบางเวลาจะมีน้ำไหลเข้าคลองมาก บางเวลามีน้อยหรืออาจไม่มีเลย จึงจำเป็นต้องสร้างอาคารทดน้ำ ซึ่งอาจเป็นฝายหรือเขื่อนทดน้ำขึ้น เพื่อทดน้ำให้ไหลเข้าคลองน้ำได้อย่างสม่ำเสมอตลอดฤดูการส่งน้ำ

3. โครงการชลประทานประเภทอ่างเก็บน้ำ (Reservior) เป็นโครงการที่สร้างเป็นอาคารเก็บกักน้ำไว้ใช้ในฤดูส่งน้ำ ทั้งนี้เนื่องมาจากแม่น้ำที่ใช้เป็นแหล่งน้ำของโครงการมีปริมาณน้ำไหลมาไม่แน่นอน ปกติจะมีน้ำไหลมาปริมาณมากเกินความต้องการในฤดูฝน พอถึงฤดูแล้งซึ่งช่วงเวลาที่ต้องการใช้น้ำเพื่อการชลประทานกลับมีน้ำน้อยหรือไม่มีเลย การใช้อาคารทดน้ำในกรณีนี้จะไม่ได้ผล เนื่องจากน้ำในแม่น้ำมีปริมาณไม่เพียงพอ วิธีเดียวที่ทำได้ก็คือสร้างอ่างเก็บน้ำเพื่อเก็บกักน้ำส่วนเกินในฤดูฝนไว้ใช้ในช่วงที่ขาดแคลน โดยมีประตูระบายปากคลองเป็นตัวควบคุมปริมาณน้ำที่จะส่งเข้าคลองส่งน้ำเช่นกัน สำหรับตัวเขื่อนกั้นน้ำอาจสร้างเป็นเขื่อนดิน เขื่อนหิน หรือเขื่อนคอนกรีตก็ได้แล้วแต่กรณี

4. โครงการชลประทานประเภทสูบน้ำ (Pumping Irrigation) ในกรณีที่แม่น้ำหรือแหล่งน้ำมีระดับน้ำอยู่ต่ำกว่าพื้นที่เพาะปลูกมาก และไม่สามารถสร้างอ่างเก็บน้ำหรืออาคารทดน้ำ เพื่อทดน้ำให้สูงถึงระดับที่น้ำจะไหลเข้าคลองได้จึงมีความจำเป็นต้องใช้เครื่องสูบน้ำ สูบน้ำส่งเข้าระบบส่งน้ำแทน นอกจากนี้ยังใช้เสริมโครงการชลประทานประเภททดน้ำ ในกรณีที่มีน้ำน้อยจนไม่สามารถส่งน้ำเข้าคลองส่งน้ำได้อีกด้วย

ลักษณะของโครงการชลประทานที่เหมาะสมควรจะเป็นประเภทใด ขึ้นอยู่ขึ้นอยู่กับการพิจารณาปัจจัยอื่น เช่น สภาพภูมิประเทศ ปริมาณและระดับน้ำในแม่น้ำ ฤดูการเพาะปลูก พืชที่ปลูก พื้นที่เพาะปลูก ความต้องการใช้น้ำชลประทาน และเงินค่าใช้จ่ายประกอบด้วย

1.4 การหาตำแหน่งที่ตั้งหัวงานโครงการ

การหาหรือกำหนดตำแหน่งที่ตั้งของหัวงานสามารถทำได้ 2 วิธี คือ ***การหาโดยทางอ้อม*** และ***การหาโดยตรง***

1. การหาโดยทางอ้อม

ทำโดยวิธีกำหนดจุดปลายคลองส่งน้ำสายใหญ่ขึ้น ในภูมิประเทศจริงตรงบริเวณที่มีระดับดินสูงมากพอ ที่จะส่งน้ำจากคลองไปทำการชลประทานพื้นที่ตอนล่างสุดของโครงการได้ทั่วถึง จากจุดปลายคลองที่กำหนดขึ้นนี้ให้วางแนวคลองส่งน้ำสายใหญ่ย้อนขึ้นไปหาปากคลอง โดยให้คลองมีลาดตามยาวราบกว่าลาดตามยาวของแม่น้ำ ในที่สุดแนวคลองส่งน้ำสายใหญ่จะไปตัดแนวแม่น้ำเข้า ณ ที่แห่งหนึ่ง ก็ตั้งหัวงานขึ้นตรงที่นั้น การหาที่ตั้งของหัวงานโดยทางอ้อมนี้ควรใช้เมื่อไม่มีแผนที่ภูมิประเทศของโครงการโดยละเอียด หรือไม่มีแผนที่จะใช้งานเลย ฉะนั้นการกำหนดจุดปลายคลองส่งน้ำสายใหญ่จึงต้องพิจารณาเลือกในภูมิประเทศจริงอย่างรอบคอบ

2. การหาโดยตรง

ทำโดยวิธีออกไปสำรวจดูแม่น้ำที่ใช้เป็นต้นน้ำของโครงการชลประทาน เมื่อพบทำเลที่มีลักษณะเหมาะสมก็ใช้ที่นั้นเป็นที่ตั้งของหัวงาน แล้วจึงวางแนวคลองส่งน้ำสายใหญ่ออกจากหัวงานเข้าไปสู่เขตโครงการ โดยใช้ลาดตามยาวของคลองราบกว่าลาดตามยาวของแม่น้ำ

การหาที่ตั้งของหัวงานโดยตรง จึงเป็นวิธีตรงกันข้ามกับการหาโดยทางอ้อม และทั้ง 2 วิธีนี้มีข้อดีและข้อเสียด้วยกัน คือการหาโดยทางอ้อมนั้นแนวคลองส่งน้ำสายใหญ่จะไต่ลัดเลาะไปตามระดับแผ่นดินสูงสุดของโครงการ การส่งน้ำจึงสะดวกและทั่วถึงกันดีทั้งโครงการ นับว่าเป็นข้อดีในแง่การส่งน้ำ และแนวคลองส่งน้ำสายใหญ่จะเป็นขอบเขตด้านหนึ่งของโครงการ ส่วนข้อเสียก็คือเมื่อแนวคลองส่งน้ำสายใหญ่ย้อนขึ้นไปหาปากคลอง แนวคลองอาจไปตัดแนวแม่น้ำตรงที่มีลักษณะไม่เหมาะสมที่จะตั้งเป็นหัวงาน เช่นแม่น้ำมีรูปตัดขวางไม่สม่ำเสมอ สภาพและลักษณะดินตลิ่งแม่น้ำไม่ดี เช่นแนวแม่น้ำในบริเวณนั้นคดเคี้ยวมาก ฯลฯ อย่างไรก็ดีในทางปฏิบัติจะแก้ไขได้โดยเลื่อนที่ตั้งของหัวงานจากที่เดิม ขึ้นไปยังที่ใหม่ทางด้านเหนือน้ำ ซึ่งมีลักษณะเหมาะสมกว่า แต่แนวคลองส่งน้ำก็จะต้องยาวขึ้น สำหรับการหาที่ตั้งของหัวงานโดยตรงมีข้อดีในแง่ที่ลักษณะของแม่น้ำตรงที่ตั้งของหัวงานเหมาะสมดีเพราะไปเลือกเอาในภูมิประเทศ

ส่วนข้อเสียอาจจะเกิดขึ้นได้ถ้าหัวงานตั้งอยู่ในที่ไม่สูงพอ เมื่อกำหนดระดับน้ำใช้การเต็มที่ที่หัวงานขึ้นและวางแนวคลองส่งน้ำสายใหญ่จากหัวงานเข้าไปในโครงการแล้ว แนวคลองจะไต่ขึ้นไปไม่ถึงแนวระดับแผ่นดินสูงสุดของโครงการ จะทำให้เสียเนื้อที่ส่งน้ำบางส่วนไปหรือทำให้เนื้อที่ของโครงการลดน้อยลง การแก้ไขอาจทำได้โดยเพิ่มระดับน้ำใช้การเต็มที่ซึ่งกำหนดไว้เดิมที่หัวงานให้สูงขึ้นอีกแล้ววางแนวคลองส่งน้ำสายใหญ่ออกไปใหม่ แนวคลองอาจไต่ไปตามแนวระดับแผ่นดินสูงสุดของโครงการได้ แต่การกำหนดระดับน้ำใช้การเต็มที่ที่หัวงานสูงมากเช่นนี้ อาคารทดน้ำจะต้องสูงตามไปด้วย ทำให้เสียค่าก่อสร้างหัวงานมากขึ้น

1.5 ลักษณะทำเลที่ตั้งของหัวงานโครงการ

หัวงานของโครงการชลประทานที่สร้างขึ้น ณ ที่ซึ่งหาได้โดยทางอ้อมหรือโดยตรงก็ตามย่อมตั้งอยู่ในทำเลอย่างใดอย่างหนึ่งดังต่อไปนี้ คือ *ในบริเวณภูเขา ในบริเวณหัวทุ่งราบติดต่อกับภูเขา และในบริเวณทุ่งราบ* ซึ่งมีสภาพแตกต่างกันโดยสรุปได้ดังนี้

1. หัวงานในบริเวณภูเขา

ในภูเขามักจะสร้างหัวงานได้ยากและเสียค่าก่อสร้างมาก ลักษณะของท้องแม่น้ำเป็นหินดานหรือหินก้อนใหญ่เสียโดยมาก การสร้างอาคารทดน้ำบนหินดานซึ่งมีไม่ตลอดความกว้างของท้องแม่น้ำนั้นอาคารทดน้ำอาจชำรุด เพราะการทรุดตัวเนื่องจากฐานรากมีความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกไม่เท่ากันได้ มิฉะนั้นจะต้องเสียค่าก่อสร้างฐานรากมาก

ลาดตามยาวของแม่น้ำและความลาดเทของแผ่นดินสองฟากแม่น้ำในบริเวณภูเขาจะชันมาก ลักษณะภูมิประเทศทั่วไปขรุขระ การขุดคลองส่งน้ำออกจากหัวงานไปได้ยาก เพราะแนวคลองจะถูกบังคับให้เดินไปตามทางที่จำกัด บางทีจะต้องสร้างอาคารพิเศษแทนการขุดคลอง เช่นทำเป็นรางน้ำ (Flumes) ไต่ลัดเลาะไปตามชายเขาริมแม่น้ำ หรือจะเจาะอุโมงค์ (Tunnels) ทะลุภูเขาเพื่อนำเอาน้ำจากหัวงานออกไปสู่พื้นที่เพาะปลูกในเขตโครงการซึ่งอยู่ไกลออกไป คลองส่งน้ำมักติดลำห้วยขนาดใหญ่บ่อยๆ ทำให้ต้องสร้างอาคารตัดผ่าน เช่น รางน้ำ (Flumes) ท่อเชื่อม (Siphons) ประตูรับน้ำ (Inlets) ประตูทิ้งน้ำ (Outlets) หรือทางทิ้งน้ำ (Wasteways) ขนาดใหญ่หลายแห่ง

เพราะฉะนั้นถ้าไม่จำเป็นแล้วไม่ควรตั้งหัวงานไว้ในภูเขาและอาคารทดน้ำที่สร้างควรเป็นฝาย (Diversion Weir) อย่างเดียวเท่านั้น

2. หัวงานในบริเวณหัวทุ่งราบติดต่อกับภูเขา

ในทำเลนี้ลักษณะดินฐานรากของอาคารทดน้ำและดินตลิ่งแม่น้ำจะมั่นคงแข็งแรงดีมาก ท้องแม่น้ำส่วนใหญ่เป็นกรวดหรือทรายหยาบและอาจมีชั้นดินเหนียวhardpan หรือดินดานอยู่ตื้นใกล้ระดับท้องแม่น้ำ ลักษณะดินเช่นนี้จะช่วยประหยัดค่าก่อสร้างฐานรากและพื้นของอาคารทดน้ำได้มาก และอาคารทดน้ำจะปลอดภัยจากน้ำซึมลอดใต้พื้นด้วย

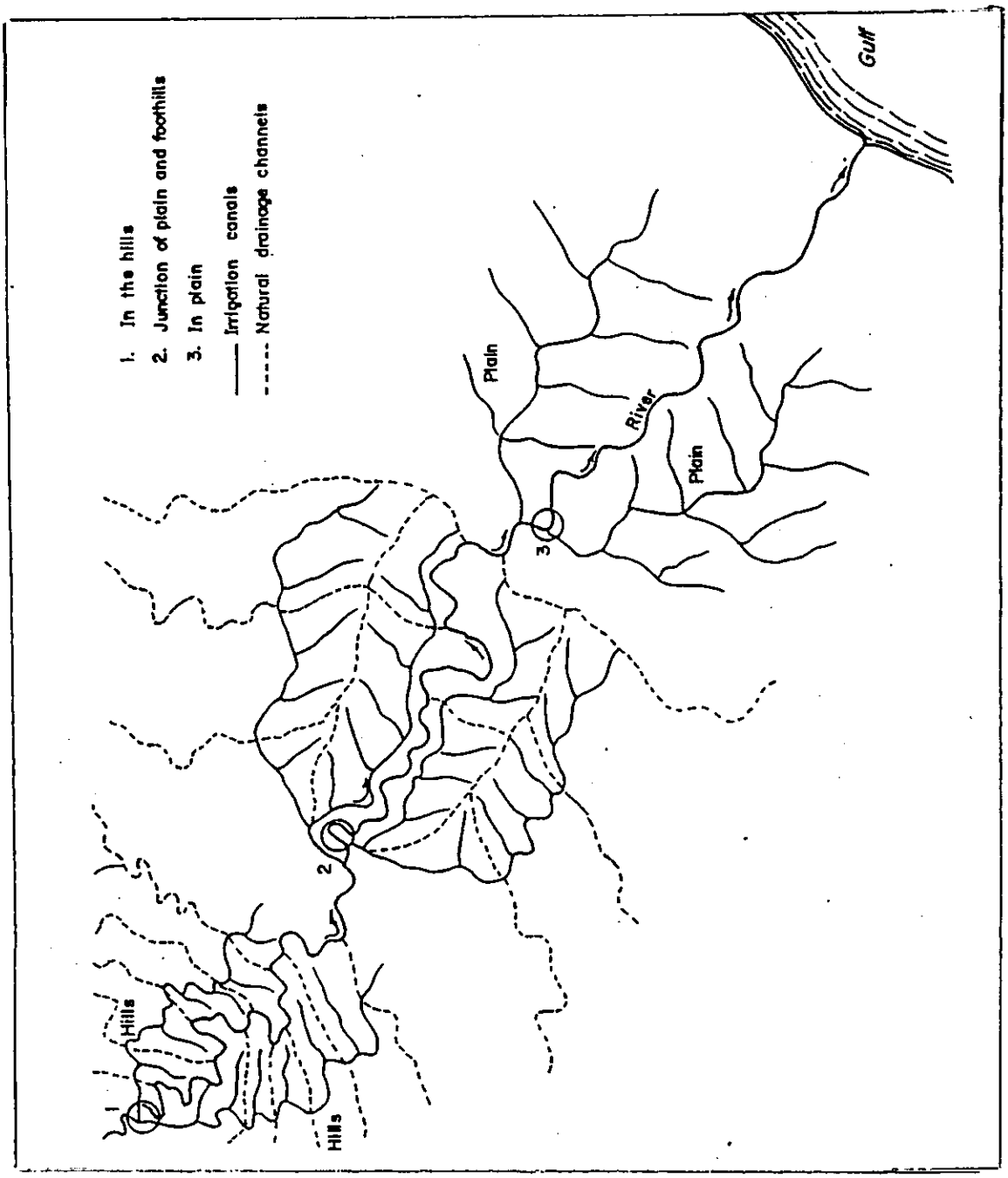
ลักษณะภูมิประเทศสองฟากแม่น้ำมักเรียบดี แผ่นดินมีความลาดเทพอสมควร ทำให้การขุดคลองส่งน้ำออกจากหัวงานเข้าสู่เขตที่ต้องการใช้น้ำทำได้สะดวก และคลองก็มั่นคงแข็งแรงดีเพราะลักษณะดินดี แนวคลองส่งน้ำไม่ค่อยตัดลำห้วยขนาดใหญ่ ไม่ต้องเสียค่าก่อสร้างอาคารตัดผ่านมากนัก

อาคารทดน้ำของหัวงานในบริเวณหัวทุ่งราบติดต่อกับภูเขาอาจเป็นฝาย (Weir) หรือเขื่อนระบายน้ำ (Barrage or Diversion dam) อย่างใดอย่างหนึ่ง ถึงแม้ว่าอาคารทดน้ำจะเป็นฝายก็ไม่ก่อให้เกิดความเสียหายเพราะน้ำท่วมแผ่นดินสองฟากแม่น้ำ เพราะด้านเหนือน้ำของฝายเป็นที่สูงหรือป้องกันน้ำท่วมได้ง่าย บริเวณหัวทุ่งราบติดต่อกับภูเขาจึงเป็นทำเลที่ควรสร้างหัวงานขึ้นมากที่สุด

3. หัวงานในบริเวณทุ่งราบ

ลักษณะดินท้องแม่น้ำในบริเวณทุ่งราบ มักเป็นทรายหรือดินเหนียวอาจมีชั้นดินเหนียวหรือดินดานอยู่เบื้องล่าง แต่มักจะอยู่ลึกลงไปจากระดับท้องแม่น้ำมาก การตอกเข็มพืด (Sheet Piles) ป้องกันน้ำซึมลอดใต้พื้นของอาคารทดน้ำโดยเด็ดขาดจึงทำไม่ได้ เข็มพืดที่ตอกไว้จึงมีประโยชน์ เพียงช่วยยืดระยะทางที่น้ำจะต้องซึมลอดใต้พื้นของอาคารทดน้ำให้ยาวขึ้น ทำความเร็วของน้ำลดลงจนไม่สามารถจะกัดและพาเม็ดดินใต้พื้นออกไปได้เท่านั้น เพราะฉะนั้นการออกแบบพื้นของอาคารทดน้ำซึ่งสร้างขึ้นในบริเวณทุ่งราบจึงต้องได้รับการพิจารณาอย่างรอบคอบ

ลักษณะภูมิประเทศสองฟากแม่น้ำเรียบดีมาก แต่แผ่นดินค่อนข้างราบหรือมีความลาดเทน้อย การขุดคลองส่งน้ำจากหัวงานเข้าไปสู่เขตที่ต้องการใช้น้ำทำได้สะดวก แต่คลองจะมีขนาดกว้างใหญ่กว่าปกติเพราะน้ำในคลองไหลช้า



รูปที่ 1.2 ทำเลที่ตั้งหัวงานโครงการ

อาคารทดน้ำของหัวงานในบริเวณทุ่งราบควรเป็นเขื่อนระบายน้ำ (Barrage, or Diversion dam) แต่อย่างเดียว ไม่ควรสร้างเป็นฝาย (Weir) ขึ้นในทำเลเช่นนี้เพราะฝายจะทำให้เกิดน้ำท่วมแผ่นสองฟากแม่น้ำด้านเหนือน้ำของฝายซึ่งเป็นที่อยู่อาศัยของประชาชนและเป็นพื้นที่เพาะปลูกเสียหาย หรือทำให้แม่น้ำเปลี่ยนทางเดินใหม่ เขื่อนระบายน้ำที่สร้างไม่ค่อยสูงแต่จะกว้างและมีช่องระบายน้ำหลายช่อง เพราะลักษณะของแม่น้ำในทุ่งราบไม่ลึกแต่ค่อนข้างกว้าง และตามปกติระดับหลังกำแพงหรือตอม่อของเขื่อนระบายน้ำสูงจะเสมอระดับตลิ่งแม่น้ำหรือสูงกว่าเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

เขื่อนระบายน้ำจะทดน้ำได้สูง ทำให้น้ำขึ้นถึงระดับพื้นดินตามแนวคลองส่งน้ำได้เร็ว คลองส่งน้ำที่ขุดจากหัวงานเข้าไปสู่เขตที่ต้องการใช้น้ำจะสั้นกว่าทุกทำเล

1.6 ลักษณะบริเวณที่ควรเลือกเป็นที่ตั้งของหัวงาน

บริเวณที่เหมาะสม ควรเลือกเป็นที่ตั้งของหัวงานของโครงการชลประทานควรมีลักษณะดังต่อไปนี้

1. เป็นบริเวณกว้างพอ ที่จะสร้างประตูระบายปากคลองส่งน้ำสายใหญ่ให้แนวศูนย์กลางของประตูตั้งฉากกับแนวสันฝายหรือแนวศูนย์กลางของเขื่อนระบายน้ำได้เพราะจะช่วยป้องกันหรือลดปริมาณกรวดทรายในแม่น้ำ ที่จะหลุดเข้าไปในคลองส่งน้ำลงได้มาก

2. การขุดคลองส่งน้ำสายใหญ่ออกจากหัวงาน ทำได้สะดวกโดยไม่ต้องสร้างอาคารพิเศษเช่นรางน้ำ อุโมงค์น้ำ หรือกำแพงริมคลอง

3. เป็นบริเวณที่อยู่ใกล้วัสดุก่อสร้างเช่น เสาไม้ หิน ทราย กรวด ฯลฯ เพราะงานก่อสร้างหัวงานเป็นงานใหญ่ที่สุดในโครงการชลประทาน ต้องการใช้วัสดุก่อสร้างต่างๆ เป็นจำนวนมาก ถ้ามีวัสดุก่อสร้างเหล่านี้อยู่ใกล้หรือหาได้ง่ายในท้องถิ่นนั้นแล้วงานก่อสร้างจะทำได้สะดวกและประหยัดเงินได้มาก

4. ดินฐานรากของหัวงานต้องแข็งแรงรับน้ำหนักบรรทุกได้มากและเป็นดินชนิดเดียวกันตลอดใต้พื้นของอาคารทดน้ำที่จะสร้าง ตลิ่งแม่น้ำมั่นคงดีไม่ถูกน้ำกัดทำลายได้ง่าย เพราะเมื่อสร้างหัวงานขึ้นแล้ว กระแสน้ำที่ไหลผ่านอาคารทดน้ำจะแรงมาก ถ้าตลิ่งแม่น้ำไม่มั่นคงพอน้ำจะกัดเซาะตลิ่งหรือปีกอาคารทดน้ำขาด แล้วน้ำจะไหลไปทางช่องขาดนั้นทำให้อาคารทดน้ำเสียหายหรือใช้ประโยชน์ไม่ได้

5. ควรมีชั้นดินเหนียวหรือดินดานอยู่ใกล้ระดับท้องแม่น้ำ เพราะถ้าสามารถตอกเข็มพืดให้ปลายเข็มหยั่งถึงชั้นดินเหล่านี้ อาคารทดน้ำที่สร้างขึ้นจะปลอดภัยจากน้ำซึมลอดใต้พื้น

6. แม่น้ำในบริเวณนั้นมีความลดลาดพอ ที่จะทดน้ำให้สูงถึงระดับที่จะไหลเข้าคลองส่งน้ำสายใหญ่ได้สะดวกและขึ้นถึงระดับพื้นดินตามแนวคลองได้เร็ว โดยไม่ต้องสร้างฝายหรือเขื่อนระบายน้ำสูงเกินไป

7. เป็นบริเวณที่พอจะสร้างฝายโดยไม่ทำให้เกิดน้ำท่วมแผ่นดินสองฟากแม่น้ำด้านเหนือน้ำของฝายลึกมากนัก หรือทำให้แม่น้ำเปลี่ยนทางเดินไปได้ง่าย

8. กระแสน้ำในแม่น้ำบริเวณหัวงานไม่แรงเกินไป

9. แม่น้ำบริเวณหัวงานควรมีแนวตรง น้ำจะไหลผ่านอาคารทดน้ำไปได้สะดวกและลดการกัดเซาะตลิ่งได้มาก

อย่างไรก็ตามบริเวณที่มีลักษณะเหมาะทุกประการดังกล่าวย่อมหาได้ยากดังนั้นลักษณะทั้หมดที่กล่าวมาจึงใช้เป็นแนวทางในการพิจารณาเท่านั้น

1.7 หลักการกำหนดระดับน้ำใช้การเต็มที่ของหัวงาน

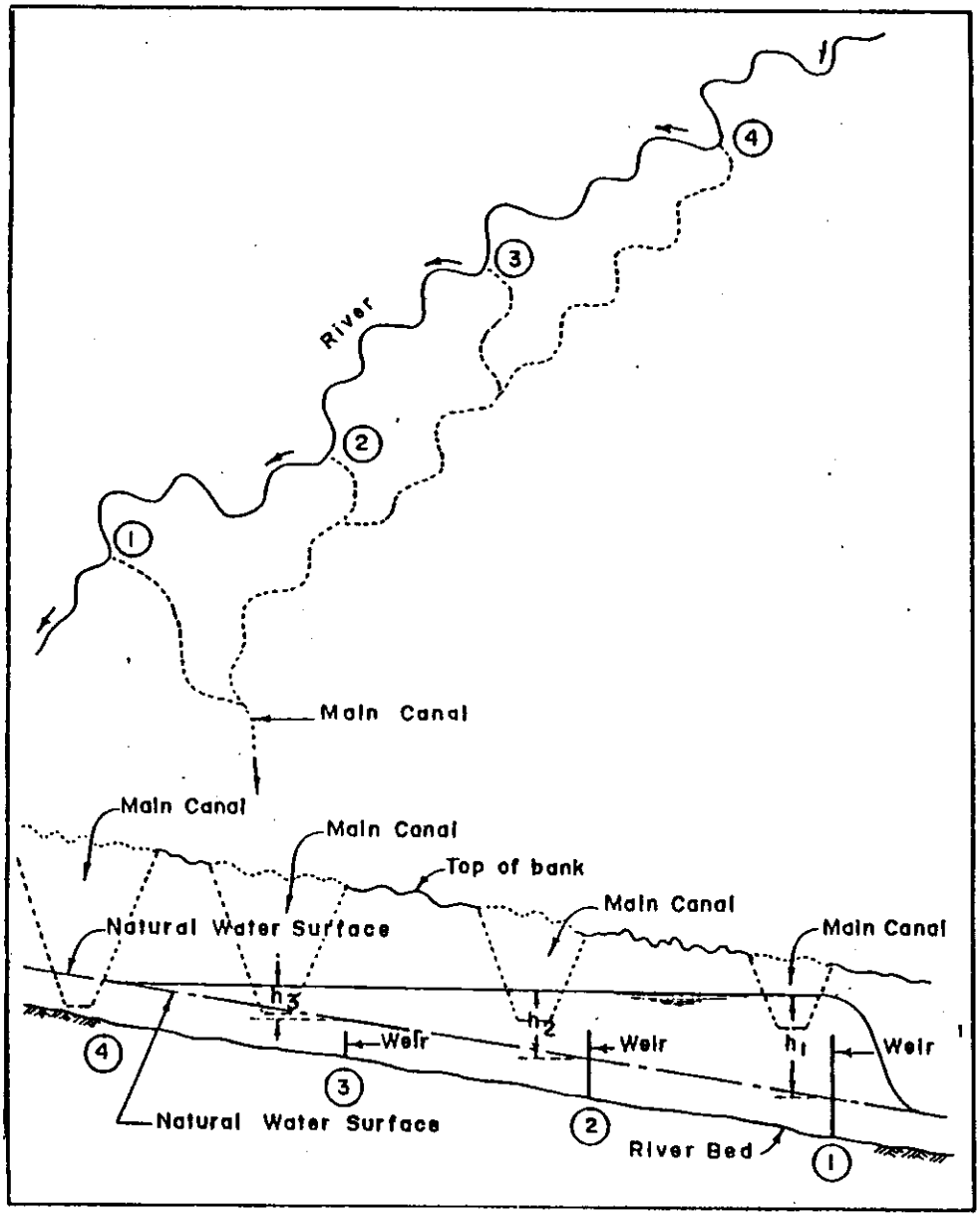
ระดับน้ำใช้การเต็มที่ (Full Supply Level) ของหัวงาน หมายถึงระดับน้ำในแม่น้ำซึ่งฝายหรือเขื่อนระบายน้ำจะต้องทดไว้เพื่อให้น้ำไหลเข้าคลองส่งน้ำสายใหญ่ได้เต็มที่ตามความต้องการ ตลอดเวลาทำการส่งน้ำหรือตลอดฤดูชลประทาน เพราะฉะนั้นในระหว่างฤดูการส่งน้ำ ระดับน้ำในแม่น้ำด้านเหนือฝายหรือเขื่อนระบายน้ำจะต่ำกว่าระดับน้ำใช้การเต็มที่ไม่ได้

ความประสงค์สำคัญของการสร้างฝายหรือเขื่อนระบายน้ำก็เพื่อทดน้ำในแม่น้ำให้สูงกว่าระดับน้ำปกติตามธรรมชาติของมัน เพื่อให้น้ำไหลเข้าคลองส่งน้ำได้เต็มที่ตามความต้องการและขึ้นถึงระดับพื้นดินตามแนวคลองได้เร็ว โดยไม่ต้องขุดคลองลึกเกินไป

จากการหาที่ตั้งของหัวงานโดยทางอ้อมที่กล่าวมาแล้วนั้น ถ้ากำหนดระดับน้ำสูงสุดในคลองที่ต้องการใช้เพื่อการส่งน้ำ หรือเรียกได้อีกอย่างหนึ่งว่าระดับน้ำใช้การเต็มที่ในคลอง (Full Supply Level) ขึ้นตรงจุดปลายคลองและลาดผิวน้ำในคลองส่งน้ำสายใหญ่แล้ว ก็จะทราบระดับน้ำใช้การเต็มที่ในคลองตรงจุดต้นคลองคือที่ปากคลองส่งน้ำสายใหญ่ซึ่งขุดออกจากแม่น้ำ ที่ปากคลองส่งน้ำสายใหญ่นี้น้ำจะไหลเข้าคลองได้ก็ต่อ

เมื่อ ระดับน้ำในแม่น้ำสูงกว่าระดับน้ำใช้การเต็มที่ในคลอง แต่จะมีเพียงไม่กี่วันในรอบหนึ่งปีที่ระดับน้ำตามธรรมชาติในแม่น้ำจะสูงถึงระดับนั้น ดังนั้นในระหว่างฤดูส่งน้ำหรือฤดูชลประทานจึงมีน้ำไหลเข้าคลองไม่สม่ำเสมอ คือไหลเข้าตามความต้องการบ้าง น้อยกว่าความต้องการบ้าง หรืออาจไม่มีน้ำไหลเข้าคลองเลยก็ได้ เพราะระดับน้ำตามธรรมชาติในแม่น้ำจะผันแปรสูงๆต่ำๆอยู่ตลอดเวลา ถ้าต้องการให้น้ำไหลเข้าคลองเต็มที่ตลอดฤดูชลประทานแล้ว ก็จะต้องสร้างฝายหรือเขื่อนระบายน้ำขึ้น เพื่อทดน้ำตามธรรมชาติในแม่น้ำให้สูงกว่าระดับน้ำใช้การเต็มที่ในคลอง ที่ปากคลองส่งน้ำสายใหญ่ ระดับน้ำเหนือฝายหรือเขื่อนระบายน้ำที่ต้องการทดไว้นี้ก็คือระดับน้ำใช้การเต็มที่ของหัวงานนั่นเอง ความแตกต่างของระดับน้ำใช้การเต็มที่ของหัวงานและระดับน้ำใช้การเต็มที่ในคลองที่ปากคลองส่งน้ำสายใหญ่ คือ Head Losses (H) ของประตูระบายปากคลองส่งน้ำสายใหญ่ (Head Requlator) ซึ่งมีอิทธิพลต่อการไหลของน้ำเข้าคลองมาก

คราวนี้จะพิจารณาต่อไปว่า ถ้าเราไม่ตั้งหัวงานตรงที่ซึ่งแนวคลองส่งน้ำสายใหญ่ตัดแนวแม่น้ำ แต่เลื่อนที่ตั้งของหัวงานขึ้นไปทางเหนือน้ำตามลำน้ำนั้นเรื่อยๆ แล้วความสูงของน้ำที่จะต้องทดขึ้นจากระดับน้ำตามธรรมชาติจะน้อยลงไปตามลำดับ จนกระทั่งถึงที่แห่งหนึ่งซึ่งระดับน้ำตามธรรมชาติในแม่น้ำเท่ากับระดับน้ำใช้การเต็มที่ของหัวงานที่ต้องการ ตรงที่นี้ไม่จำเป็นต้องสร้างฝายหรือเขื่อนระบายน้ำเลย เพราะเพียงแต่ขุดคลองน้ำจะไหลเข้าคลองเต็มที่ตลอดฤดูชลประทาน ให้สังเกตุว่าในขณะที่ความสูงของน้ำที่ต้องทดขึ้นจากระดับน้ำตามธรรมชาติน้อยลงทุกทีเพราะการเลื่อนที่ตั้งของหัวงานขึ้นไปทางด้านเหนือน้ำนั้น อาคารทดน้ำโดยเฉพาะฝายจะเตี้ยลงทุกที จนถึงที่ซึ่งไม่ต้องสร้างฝายเลยดังกล่าวข้างต้น แต่คลองส่งน้ำซึ่งต้องขุดย้อนตามหัวงานขึ้นไปนั้นจะยาวและลึกมากขึ้นตามลำดับ และถ้าระดับน้ำใช้การเต็มที่ของหัวงานอยู่ต่ำกว่าตลิ่งแม่น้ำมากแล้ว อาจต้องขุดคลองลึกเกือบเท่าความลึกของแม่น้ำ ในทางตรงกันข้าม ถ้ายิ่งเลื่อนที่ตั้งของหัวงานจากที่ซึ่งไม่ต้องการสร้างฝายลงมาทางใต้น้ำเรื่อย ๆ ความสูงของน้ำจะต้องทดขึ้นจากระดับน้ำตามธรรมชาติจะมากขึ้นทุกทีและฝายก็จะสูงขึ้นทุกทีด้วย แต่คลองส่งน้ำจะกลับสั้นลงและตื้นขึ้นตามลำดับ



รูปที่ 1.3 ตำแหน่งและความสูงของสันฝาย

ดังนั้นการกำหนดระดับน้ำใช้การเต็มที่ของหัวงานว่าจะให้อยู่ที่ระดับใดนั้น จึงต้องพิจารณาจากสถิติและข้อมูลต่างๆประกอบ ดังต่อไปนี้

1. ระดับพื้นดินสูงสุดภายในเขตโครงการ ซึ่งกำหนดให้ได้รับน้ำชลประทาน ต้องพิจารณาว่าระดับนั้นสูงเกินไปหรือไม่ ถ้าเห็นว่าสูงเกินไปจนต้องกำหนดระดับน้ำใช้การเต็มที่ของหัวงานสูงมาก ซึ่งต้องสร้างอาคารทดน้ำสูงและเสียค่าก่อสร้างมากแล้ว ควรลดการกำหนดระดับพื้นดินสูงสุดซึ่งจะให้ได้รับน้ำชลประทานลงบ้าง แต่จะทำให้เขตส่งน้ำหรือเนื้อที่ของโครงการชลประทานน้อยลง

2. ลาดตามยาวของแม่น้ำและของคลองส่งน้ำสายใหญ่

3. ระดับน้ำตามธรรมชาติในแม่น้ำซึ่งมีปริมาณน้ำมากพอสำหรับทำการชลประทานและมีอยู่ตลอดฤดูการส่งน้ำ ระดับน้ำและปริมาณน้ำดังกล่าวนี้หาได้จาก Hydrograph และ Rating Curve ของแม่น้ำตรงที่ตั้งของหัวงาน

4. ที่ตั้งของหัวงาน ควรเลือกโดยการเปรียบเทียบค่าก่อสร้างระหว่างการสร้างเขื่อนระบายน้ำหรือฝายสูง แต่ขุดคลองส่งน้ำสั้นและตื้นกันการสร้างเขื่อนระบายน้ำหรือฝายเตี้ยแต่ขุดคลองส่งน้ำยาวและลึก

5. ประเภทของอาคารทดน้ำ ต้องพิจารณาว่าอาคารทดน้ำที่จะสร้างควรเป็นฝายหรือเขื่อนระบายน้ำ อย่างใดจะเหมาะสมและใช้ประโยชน์ได้ดีกว่ากัน และเมื่อสร้างขึ้นแล้วไม่ทำให้เกิดความเสียหาย เพราะน้ำท่วมแผ่นดินสองฟากแม่น้ำด้านเหนือน้ำของอาคารทดน้ำนั้น

6. ความแตกต่างของระดับน้ำใช้การเต็มที่ของหัวงานและระดับน้ำใช้การเต็มที่ในคลองที่ปากคลองส่งน้ำสายใหญ่ ต้องพิจารณาว่าความแตกต่างของระดับน้ำทั้งสองหรือ Head losses (H) ของประตูระบายปากคลองส่งน้ำสายใหญ่ควรเป็นอย่างไร เนื่องจากเราทราบระดับน้ำใช้การเต็มที่ในคลองที่ปากคลองส่งน้ำสายใหญ่ไว้ก่อนแล้ว ฉะนั้นถ้ากำหนดความแตกต่างของระดับน้ำทั้งสองขึ้นก็จะทราบระดับน้ำใช้การเต็มที่ของหัวงานได้ทันที

ความแตกต่างของระดับน้ำทั้งสองยิ่งมาก ระดับน้ำใช้การเต็มที่ของหัวงานจะยิ่งสูงขึ้น แต่ขนาดของประตูระบายปากคลองส่งน้ำสายใหญ่จะยิ่งเล็กลงคือ มีช่องระบายน้ำทุกช่องรวมกันแคบ แต่ถ้าความแตกต่างของระดับน้ำทั้งสองยิ่งน้อยระดับน้ำใช้การเต็มที่ของหัวงานจะต่ำลงทุกทีขณะที่ขนาดของประตูระบายปากคลองส่งน้ำสายใหญ่จะยิ่งโตขึ้น คือมีช่องระบายน้ำทุกช่องรวมกันกว้าง

บทที่ 2

อาคารหัวงาน

อาคารหัวงาน (Headwork Structures) คือ อาคารที่สร้างขึ้นที่หัวงานของโครงการเพื่อทำหน้าที่เก็บกักน้ำไว้หรือทดน้ำให้มีระดับสูงขึ้น ทำให้สามารถส่งน้ำเข้าไปในระบบส่งน้ำได้ในปริมาณที่ต้องการเช่น ทำนบดินกั้นน้ำ ฝายและเขื่อนระบายน้ำเป็นต้น สำหรับทำนบดินในกรณีหัวงานเป็นเขื่อนเก็บกักน้ำ ความสูงของทำนบดินมิได้มีส่วนสัมพันธ์กับระดับน้ำสูงสุดในคลองส่งน้ำโดยตรง สิ่งที่สำคัญคือปริมาณน้ำใช้การ (Active water) และระดับของท่อระบายปากคลองส่งน้ำท่านั้น ปริมาณน้ำที่ต้องส่งเข้าคลองส่งน้ำขึ้นอยู่กับ Head ของน้ำในอ่างเก็บน้ำ และการควบคุมของ Head Regurator ที่ปากท่อระบายน้ำ

อาคารหัวงานที่สำคัญและเกี่ยวข้องกับระบบส่งน้ำโดยตรงก็คืออาคารทดน้ำ ได้แก่ ฝายและเขื่อนระบายน้ำ เพราะอาคารดังกล่าวจะต้องคำนวณออกแบบให้มีระดับสูงพอเพียงที่จะสามารถทดน้ำเข้าคลองส่งน้ำที่ระดับ F.S.L ให้ได้ตามที่กำหนด นอกจากนี้ระดับต่างๆที่อาคารหัวงานยังเกี่ยวข้องกับระดับในระบบส่งน้ำด้วย ดังนั้นจึงจะกล่าวเฉพาะอาคารหัวงานที่เป็นอาคารทดน้ำเท่านั้น

2.1 ฝาย (Diversion Weir)

ฝาย คือทำนบเตี้ยและทึบตันชนิดหนึ่งซึ่งสร้างขวางกั้นทางน้ำไหลไว้ตลอดความกว้างของแม่น้ำ ลำธาร หรือลำห้วย เพื่อทดน้ำให้สูงขึ้นจากระดับน้ำปกติตามธรรมชาติให้น้ำไหลเข้าคลองส่งน้ำได้เต็มที่ตามความต้องการตลอดฤดูการชลประทาน และปล่อยให้ปริมาณน้ำมากที่สุดของลำน้ำหรือปริมาณน้ำที่เหลือใช้จากการชลประทานไหลล้นข้ามฝายไปได้โดยไม่เกิดความเสียหาย เนื่องมาน้ำท่วมแผ่นดินสองฟากแม่น้ำด้านเหนือน้ำของฝายนั้น

ฝายมีหลายชนิดและมีรูปร่างต่างๆกัน แต่โดยมากรูปตัดของฝายจะเป็นรูปสามเหลี่ยมหรือสี่เหลี่ยมคางหมูโดยประมาณ ฝายสร้างด้วยวัสดุหลายชนิด เช่น กิ่งไม้ เสาไม้ ดิน ทราย กรวด หินเล็ก หินใหญ่ ไม้กระดาน คอนกรีตล้วน หินก่อ คอนกรีตเสริมเหล็ก และอาจสร้างด้วยวัสดุเหล่านี้คละกัน

ฝายทำหน้าที่กักกั้นน้ำเช่นเดียวกับทำนบ แต่ปล่อยให้น้ำไหลข้ามไปได้ซึ่งผิดลักษณะของทำนบทั่วไป จึงมีชื่อต่างจากทำนบธรรมดา โดยปกติเมื่อสร้างฝายขึ้นฝายจะปะทะการไหลของน้ำในลำน้ำทำให้น้ำท้นสูง และเมื่อระดับน้ำสูงกว่าสันฝายน้ำจะเริ่มไหลข้ามฝายไป น้ำจะไหลข้ามสันฝายลึกมากหรือน้อยย่อมแล้วแต่ปริมาณน้ำที่ไหลมาในลำน้ำ ถ้าน้ำไหลมามากก็ท่วมสันฝายลึก ถ้าไหลมาน้อยก็ท่วมสันฝายน้อย ดังนั้นในขณะที่ปริมาณน้ำมากที่สุดของลำน้ำไหลหลากมาน้ำจะท่วมสันฝายลึกที่สุด และท่วมแผ่นดินสองฟากแม่น้ำด้านเหนือน้ำของฝายลึก จนเกิดอันตรายเสียหายได้เพราะฉะนั้นฝายที่สร้างโดยทั่วไป จึงไม่สูงหรือไม่สร้างให้ระดับสันฝายสูงถึงระดับตลิ่งแม่น้ำเพื่อไม่ให้เกิดน้ำท่วมมากในเวลาที่มีปริมาณน้ำมากที่สุดไหลหลากมานั่นเอง อย่างไรก็ดีฝายบางแห่งอาจต้องมีระดับสันฝายสูง เพื่อทดน้ำซึ่งไหลมาน้อยในบางฤดู ให้สูงถึงระดับที่จะไหลเข้าคลองส่งน้ำได้เต็มที่ เช่นในการปลูกพืชครั้งที่สองนอกฤดูฝนเป็นต้น แต่ถ้าเมื่อถึงฤดูฝนหรือเมื่อมีปริมาณน้ำมากที่สุดไหลหลากมาจะทำให้เกิดน้ำท่วมเสียหายแล้วมักจะออกแบบฝายนั้นเป็นชนิดที่ถอดหรือลดระดับสันฝายส่วนบนลงได้หรือล้มพับลงนอนราบได้เอง (Collapsible Weir) เพื่อให้มีช่องที่น้ำจะไหลข้ามฝายโตขึ้น ซึ่งจะลดระดับน้ำท่วมตลิ่งลงได้ ปัจจุบันได้มีการออกแบบฝายยางติดตั้งไว้บนสันฝาย ระดับสันฝายจะถูกควบคุมโดยการอัดลมเข้าและปล่อยลมออก

2.2 เขื่อนระบายน้ำ (Barrage, Diversion Dam)

เขื่อนระบายน้ำ คือทำนบชนิดหนึ่งซึ่งสร้างขวางกั้นทางน้ำไหลไว้ตลอดความกว้างของแม่น้ำ เพื่อทดน้ำให้สูงขึ้นจากระดับน้ำปกติตามธรรมชาติ ให้น้ำไหลเข้าคลองส่งน้ำได้เต็มที่ตามความต้องการตลอดฤดูชลประทาน และปล่อยให้ปริมาณน้ำส่วนมากของแม่น้ำหรือปริมาณน้ำที่เหลือใช้จากการชลประทานไหลผ่านช่องระบายน้ำของเขื่อนไปได้ โดยไม่กระทบกระเทือนสภาพของระดับน้ำตามธรรมชาติด้านเหนือน้ำของเขื่อนมากนัก

เขื่อนระบายน้ำสร้างขึ้นโดยการแบ่งความกว้างของแม่น้ำออกเป็นช่องๆ ด้วยตอม่อ โดยทั่วไปกว้างช่องละ 6.00 ม. ถึง 12.50 ม. แต่จะมีกี่ช่องนั้นแล้วแต่ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านเขื่อนมีมากหรือน้อย ช่องระบายน้ำระหว่างตอม่อทุกช่องมีบานประตู (Gate) ปิดไว้ ซึ่งจะยกขึ้นเพื่อระบายน้ำผ่านไปหรือหย่อนลงเพื่อทดน้ำได้ทุกระดับ ในเวลาน้ำใหญ่หลากมา บานประตูเชื่อมทุกบานจะถูกยกขึ้นสูงพ้นระดับน้ำทั้งสองข้าง ปล่อยให้น้ำ

หลผ่านไปได้เต็มที่ โดยระดับน้ำในแม่น้ำด้านเหนือน้ำของเขื่อนไม่สูงกว่าระดับน้ำปกติตามธรรมชาติมากเกินไป

บานประตูของเขื่อนระบายน้ำซึ่งมักเรียกกันว่าบานระบายนั้น มีรูปร่างต่างๆ กัน เช่นเป็นบานเดี่ยวตั้งตรงรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า (Slide Gates) หรือเป็นบานเดี่ยวรูปโค้ง (Radial Gates) ซึ่งสร้างด้วยวัสดุหลายชนิด เช่น ไม้ เหล็ก หรือไม้และเหล็กรวมกัน

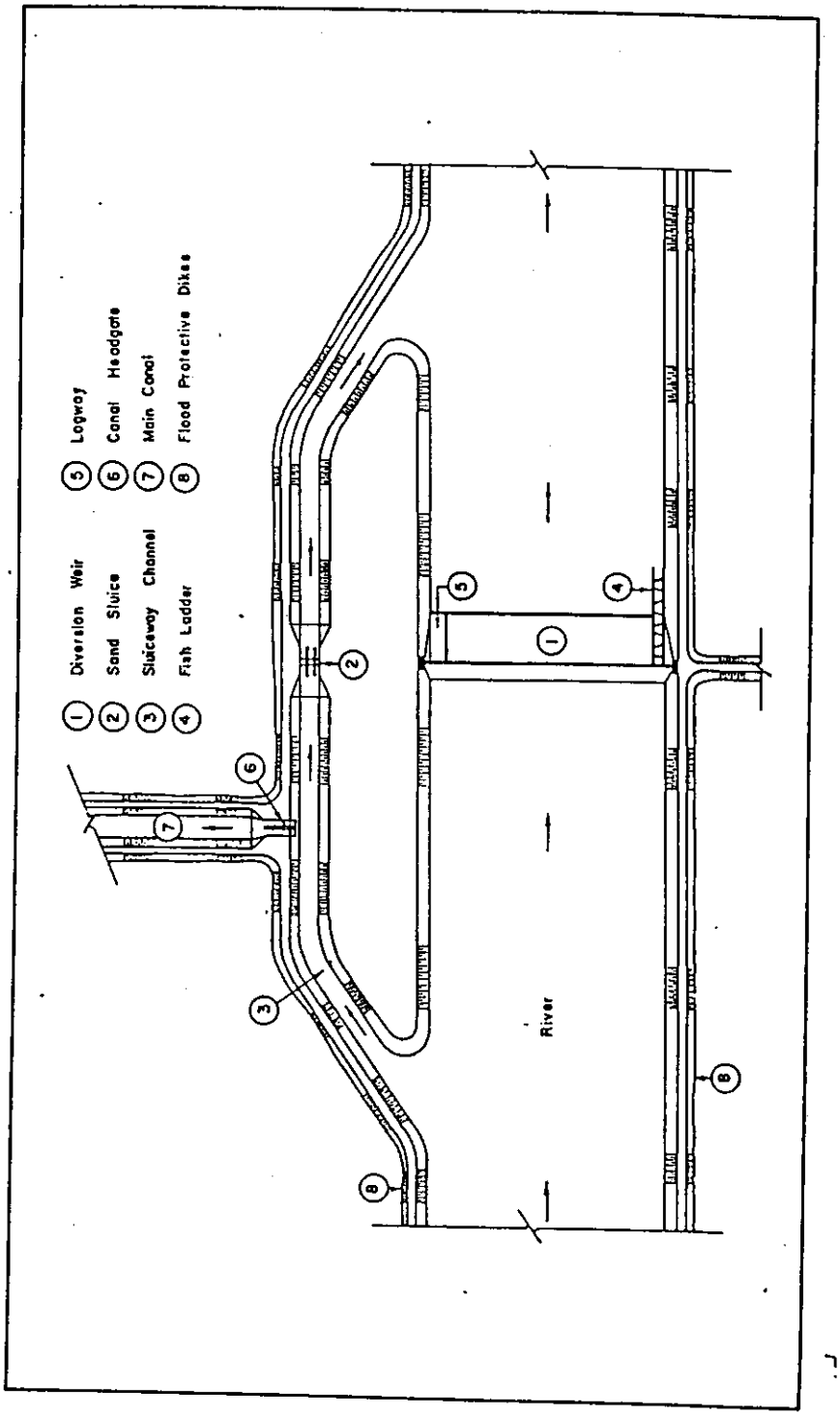
ถ้าเขื่อนมีช่องระบายน้ำหลายช่อง และเมื่อรวมความกว้างของทุกช่องเข้าด้วยกันได้เกือบเท่ากับความกว้างของแม่น้ำแล้ว ความสูงของระดับน้ำที่ท้นขึ้นจากระดับน้ำปกติตามธรรมชาติ (Afflux) ด้านเหนือน้ำของเขื่อนจะไม่มากนัก แต่ถ้าช่องระบายน้ำทั้งหมดรวมกันแล้วแคบกว่าความกว้างของแม่น้ำมาก Afflux จะเกิดขึ้นมาก ตามที่กล่าวมาแล้วนี้จะเห็นได้ว่า ฝายและเขื่อนระบายน้ำมีหน้าที่เหมือนกัน แต่มีลักษณะต่างกัน ซึ่งมีคุณสมบัติและความดีเด่นในตัวของมันเอง

ฉะนั้นการเลือกใช้อาคารทดน้ำ ว่าควรเป็นฝายหรือเขื่อนระบายน้ำ จึงควรต้องพิจารณาจากสภาพต่าง ๆ ดังต่อไปนี้:

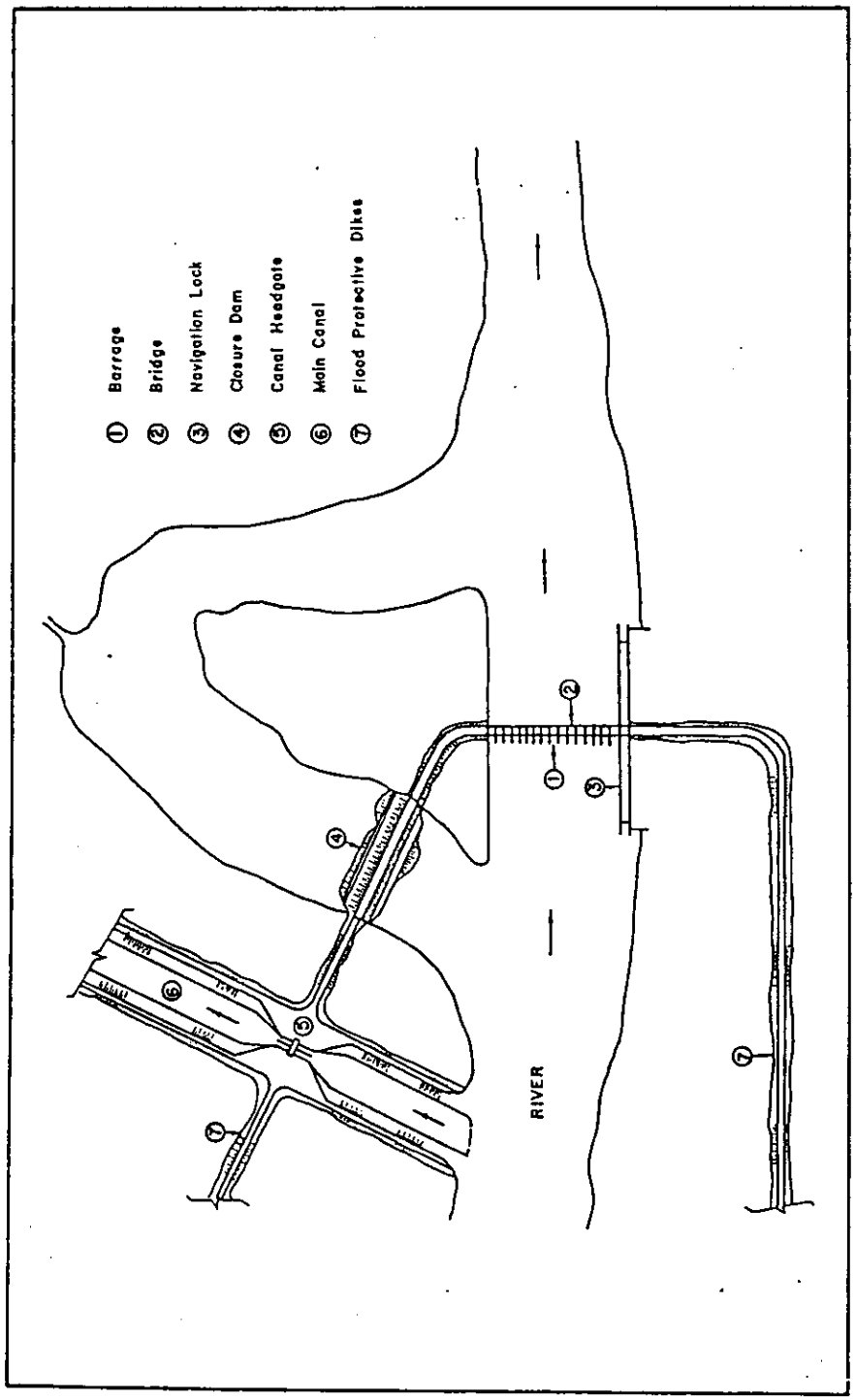
1. พฤติการณ์และปริมาณน้ำของแม่น้ำ ถ้าระดับน้ำและปริมาณน้ำของแม่น้ำผันแปรได้ง่ายและรวดเร็ว อาคารทดน้ำควรเป็นฝายมากกว่าเป็นเขื่อนระบายน้ำ เพราะจะลดงาน Operation ลงได้มาก โดยไม่ต้องใช้คนคอยปิดเปิดบานประตูเหมือนเขื่อนระบายน้ำ น้ำจะไหลข้ามฝายไปเองโดยอัตโนมัติ

2. ระดับแผ่นดินสองฟากแม่น้ำด้านเหนือน้ำของหัวงาน ถ้าแผ่นดินมีระดับสูง น้ำที่ท้นขึ้นจากระดับน้ำปกติตามธรรมชาติอาจท่วมไม่ถึงหรือท่วมไม่มาก ไม่เกิดความเสียหายหรือป้องกันได้ง่าย อาคารทดน้ำควรเป็นฝาย ดังนั้นในทำเลที่เป็นภูเขาหรือหัวทุ่งราบติดต่อกับภูเขาจึงใช้ฝายเป็นอาคาทดน้ำกันมากถ้าแผ่นดินมีระดับต่ำ น้ำที่ท้นขึ้นจากระดับน้ำปกติตามธรรมชาติท่วมแผ่นดินได้มาก แม่น้ำอาจเปลี่ยนแนวคือไหลไปทางอื่นได้ง่าย หรือต้องสร้างคันกั้นน้ำสูงมาก อาคารทดน้ำควรเป็นเขื่อนระบายน้ำ เพราะเกิด Afflux น้อยกว่าฝายและสามารถควบคุมระดับน้ำได้ดีกว่า ดังเช่นในทำเลที่เป็นทุ่งราบ ซึ่งระดับแผ่นดินสองฟากแม่น้ำต่ำเพราะแม่น้ำไม่ลึกมาก อาคารทดน้ำจึงเป็นเขื่อนระบายน้ำทั้งหมด

3. ลักษณะดินฐานรากที่หัวงาน ถ้าท้องแม่น้ำเป็นหินดาน ดินดาน อาคารทดน้ำควรเป็นฝาย แต่ถ้าท้องแม่น้ำเป็นดินหรือทราย อาคารทดน้ำควรเป็นเขื่อนระบายน้ำ อย่างไรก็ดีต้องพิจารณาปัจจัยอื่นประกอบด้วย



รูปที่ 2.1 ห้วงานฝายทดน้ำและอาคารประกอบ



รูปที่ 2.2 ห้องงานเขื่อนระบายน้ำและอาคารประกอบ

4. ความมั่งคงถาวรของสิ่งก่อสร้าง ฝายเป็นอาคารทดน้ำที่มีความแข็งแรงมั่นคงต่อการกระทบกระแทกจากวัตถุหนักที่ลอยน้ำมาชนได้ดีมาก และถ้าสร้างด้วยวัสดุถาวรถูกหลักวิชาการแล้วจะมีอายุใช้งานยืนยาว ดังนั้นในแม่น้ำที่มีไม้ซุงหรือต้นไม้ใหญ่ไหลลอยน้ำมามาก ฝายจะดีกว่าเขื่อนระบายน้ำ เพราะมีความมั่นคงต่อการกระทบกระแทกมากกว่า และเป็นสาเหตุอย่างหนึ่งซึ่งทำให้ต้องสร้างฝายเป็นอาคารทดน้ำในแม่น้ำบริเวณตอนเหนือของลุ่มน้ำ

เขื่อนระบายน้ำก็เป็นอาคารทดน้ำที่มีความถาวรทนทานและมีอายุใช้งานยาวเช่นเดียวกับฝายเหมือนกัน เพราะต้องสร้างด้วยวัสดุถาวรซึ่งดีที่สุดคือ คอนกรีตเสริมเหล็ก มีการคำนวณออกแบบและการก่อสร้างโดยถูกหลักวิชา แต่รูปลักษณะของเขื่อนระบายน้ำบอบบางกว่าฝายและส่วนที่บอบบางมากที่สุดคือบานประตูของเขื่อนซึ่งชำรุดเสียหายได้ถ้ามีวัตถุหนักลอยน้ำมาชน

5. วัสดุก่อสร้างซึ่งจะหาได้สะดวกในบริเวณหัวงานและที่ใกล้เคียงถ้าบริเวณหัวงานและที่ใกล้เคียงมีต้นไม้ใหญ่อุดม หากรวดทรายและหินใหญ่ได้ง่าย ควรใช้ฝายเป็นอาคารทดน้ำเพราะสร้างได้ง่ายและสะดวกกว่าเขื่อนระบายน้ำ ซึ่งถ้าสร้างเขื่อนระบายน้ำจะต้องขนส่งวัสดุก่อสร้างอื่น เช่น ปูนซีเมนต์และเหล็กเข้าไป

6. จำนวนเงินซึ่งสมควรลงทุนก่อสร้างและบำรุงรักษา เนื่องจากฝายสร้างได้ง่ายและใช้วัสดุก่อสร้างไม่แพงมากเหมือนเขื่อนระบายน้ำ จึงมีราคาถูกกว่า และนอกจากจะมีราคาถูกกว่าแล้วค่าบริหารงานและค่าบำรุงรักษาประจำปี (annual operation and maintenance costs) ของฝายก็น้อยกว่าด้วย โครงการชลประทานใดที่มีเงินค่าลงทุนก่อสร้างค่าบริหารงาน และค่าบำรุงรักษาประจำปีน้อย ควรพิจารณาใช้ฝายเป็นอาคารทดน้ำ

ตามที่กล่าวมาทั้งหมดนี้พอจะสรุปเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของฝายและเขื่อนระบายน้ำได้ดังนี้:

ฝาย (Weir)

<u>ข้อดี</u>

1. ฝายสร้างได้ง่าย ราคาถูก ค่าบริหารงานและค่าบำรุงรักษาประจำปีน้อย
2. ฝายแข็งแรงและมั่นคงต่อการกระทบกระแทกจากวัตถุหนัก ที่ลอยน้ำมาชนได้ดีมาก
3. ฝายไม่มีงาน Operation ยุ่งยากเพราะฝายจะปล่อยให้น้ำไหลข้ามไปได้เองโดยอัตโนมัติ

ข้อเสีย

1. ฝายทำให้เกิด Afflux สูง น้ำอาจท่วมแผ่นดินสองฟากแม่น้ำด้านเหนือน้ำของฝายลึกทำให้เกิดความเสียหายได้ จึงสร้างฝายได้เฉพาะในบางท้องถิ่นเท่านั้น
2. ฝายทดน้ำในแม่น้ำไม่ได้ทุกระดับที่ต้องการ คือระดับน้ำเหนือสันฝายจะอยู่สูงหรือต่ำเพียงไรนั้นย่อมแล้วแต่ปริมาณน้ำที่ไหลมามากหรือน้อย ไม่สามารถบังคับระดับน้ำได้
3. กรวดทรายและตะกอนที่ไหลมากับน้ำในแม่น้ำ จะตกทับถมติดอยู่ทางด้านเหนือน้ำของฝาย และอาจหลุดเข้าไปในคลองส่งน้ำทำให้คลองตื้นอย่างรวดเร็ว คลองจะส่งน้ำไม่ได้ตามปริมาณที่ต้องการและเสียค่าขุดลอกคลอง

เขื่อนระบายน้ำ (Barrage, Diversion Dams)

ข้อดี

1. เขื่อนระบายน้ำเป็นอาคารทดน้ำที่มีความถาวรทนทาน มีอายุใช้งานยืนยาวเพราะต้องคำนวณออกแบบและก่อสร้างด้วยความรอบคอบโดยถูกหลักวิชา และใช้วัสดุก่อสร้างที่แข็งแรงที่สุดและดีที่สุด
2. เขื่อนระบายน้ำทดน้ำในแม่น้ำได้สูงมากและทดน้ำได้ทุกระดับที่ต้องการโดยใช้บานประตูเขื่อนบังคับ จึงบังคับน้ำได้ดีที่สุด
3. เขื่อนระบายน้ำทำให้เกิด Afflux น้อย น้ำจะไม่ท่วมแผ่นดินสองฝั่งแม่น้ำด้านเหนือน้ำของเขื่อนเสียหาย
4. ไม่มีปัญหาเรื่องตะกอนทรายหลุดเข้าไปในคลองส่งน้ำเพราะไม่มีตะกอนทรายตกทับถมอยู่ทางด้านเหนือน้ำของเขื่อน

ข้อเสีย

1. เขื่อนระบายน้ำไม่มั่นคงต่อการกระทบกระแทกจากของหนักที่ลอยน้ำมาชนบานประตูเขื่อนอาจชำรุดและเป็นอุปสรรคต่อการปิดเปิดเพื่อทดน้ำและระบายน้ำ
2. เขื่อนต้องการงาน operation มาก เพราะต้องมีเจ้าหน้าที่คอยควบคุมดูแลการปิดเปิดบานประตูเขื่อนอย่างใกล้ชิด

3. เขื่อนระบายน้ำมีราคาแพงมาก การออกแบบและก่อสร้างค่อนข้างยาก
4. เขื่อนระบายน้ำเหมาะที่จะสร้างในท้องถิ่นบางแห่งโดยเฉพาะเช่นในทุ่งราบเท่านั้น

2.3 ประเภทของของฝาย

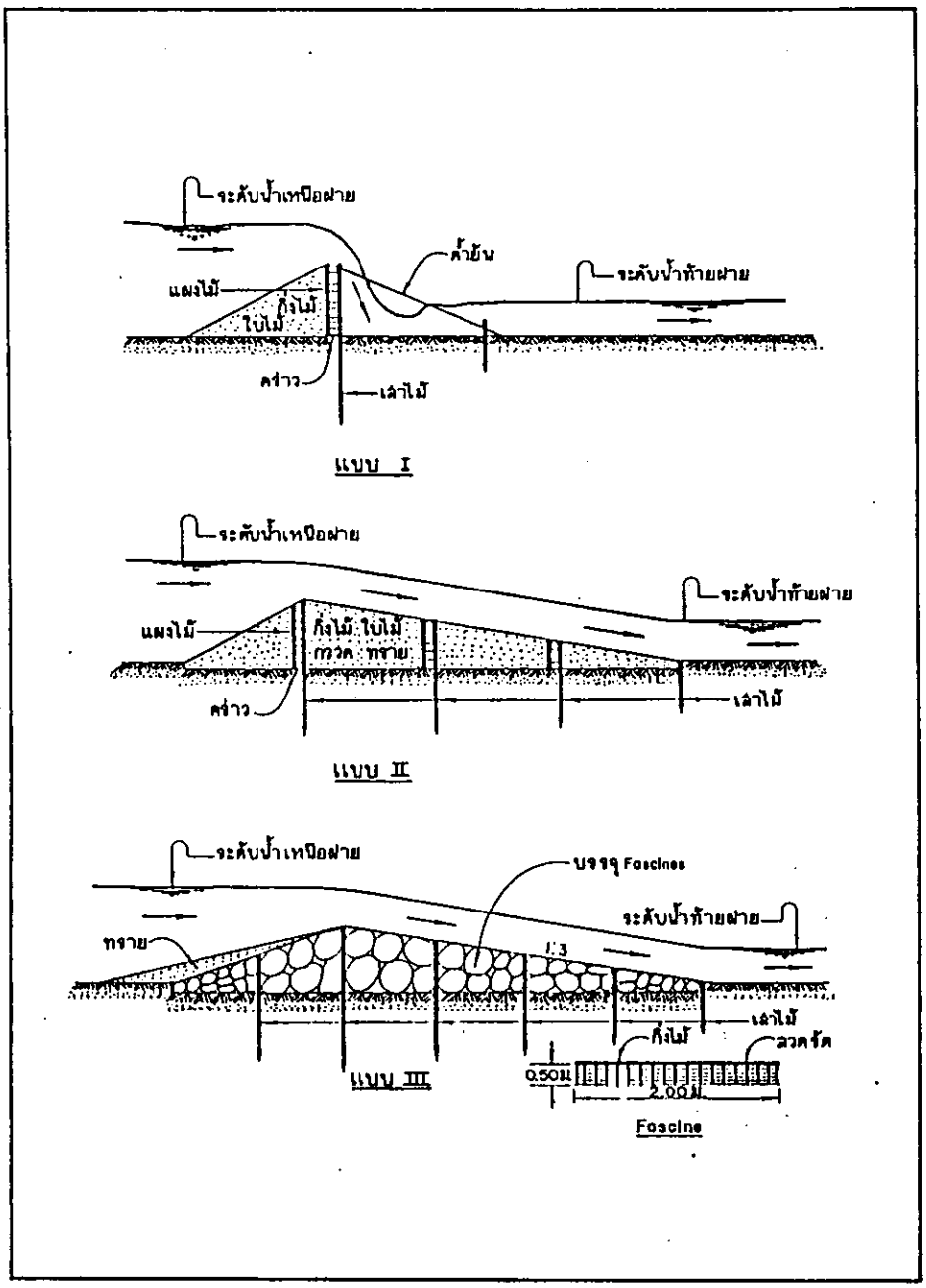
ฝายที่สร้างในประเทศไทยและต่างประเทศมีหลายชนิด ทั้งลักษณะรูปร่างก็แตกต่างกันมากมายยากที่จะนำมากล่าวไว้ในที่นี้ได้หมด ถ้าจะแบ่งประเภทของฝายโดย พิจารณาจากวัสดุที่ใช้สร้างและวิธีการสร้างแล้วจะมีฝายอยู่ 4 ประเภทคือ *ฝายชั่วฤดู ฝายชั่วคราว ฝายค่อนข้างถาวร และฝายถาวร*

1. ฝายชั่วฤดู

ฝายชั่วฤดูเป็นฝายขนาดเล็ก ทดน้ำสูงไม่เกิน 2.00 เมตร สร้างด้วยวัสดุต่างๆ ซึ่งส่วนมากเป็นของไม่ถาวร เช่น กิ่งไม้ แผงไม้ ไม้กระดาน เสาไม้ กรวดและทราย ตามปกติจะใช้เสาไม้ตอกลงบนท้องน้ำเป็นโครงฝาย แล้วใช้กิ่งไม้ กรวด และทรายเป็นไส้ฝาย ทำให้ฝายแน่นทึบและปะทะน้ำไหล โดยมีเสาไม้คร่าวไม้กระดาน และแผงไม้เป็นเครื่องยึดเหนี่ยวไม่ให้ไส่ฝายถูกน้ำพัดหลุดไป

ฝายชั่วฤดูมีสร้างกันมากตามลำน้ำ ลำห้วยขนาดเล็ก เพื่อทดน้ำทำการชลประทานสำหรับเนื้อที่เพาะปลูกไม่มากนัก แต่มีอายุใช้งานไม่นาน พอถึงเวลาน้ำใหญ่ไหลหลากมาฝายจะแตกทลายไปหมด ทำให้ต้องสร้างขึ้นใหม่ทุกปี การที่ฝายชั่วฤดูแตกทลายง่ายเป็นเพราะสร้างด้วยวัสดุไม่ถาวร จึงไม่ค่อยแข็งแรงหรือเสื่อมคุณภาพผุพังง่าย และไม่มีเครื่องยึดเหนี่ยวโครงฝายและไส้ฝาย ให้แน่นหนามั่นคงพอจึงต้านทานกระแสน้ำไม่ค่อยได้ สาเหตุสำคัญอีกอย่างหนึ่งที่ทำให้ฝายชั่วฤดูแตกทลายง่ายก็คือไม่มีการป้องกันอิทธิพลการกัดทำลายของน้ำ เพราะกระแสน้ำที่ไหลตกจากสันฝายแรงมาก น้ำจะกระแทกและกัดพื้นท้องน้ำด้านท้ายน้ำของฝาย ซึ่งตามปกติจะเป็นกรวดและทรายให้เป็นหลุมลึกและกว้างใหญ่ขึ้นทุกที กรวดและทรายใต้ตัวฝายจะทะลักมาสู่หลุมนี้ ในไม่ช้าใต้ตัวฝายจะเป็นโพรงใหญ่ เมื่อตัวฝายไม่มีอะไรรองรับก็หักพังลงมาแล้วถูกน้ำพัดแตกกระจัดกระจายไป นอกจากนั้นน้ำยังกัดทำลายตลิ่งของลำน้ำด้านท้ายน้ำของฝายด้วยและลุกลามเข้าไปหาตัวฝายทุกที จนในที่สุดปีกฝายคือส่วนที่ริมฝายเชื่อมต่อกับตลิ่งจะถูกน้ำกัดขาด ฝายก็จะใช้ทดน้ำไม่ได้อีกต่อไปเพราะน้ำจะไหลไปทางช่องขาดเสีย

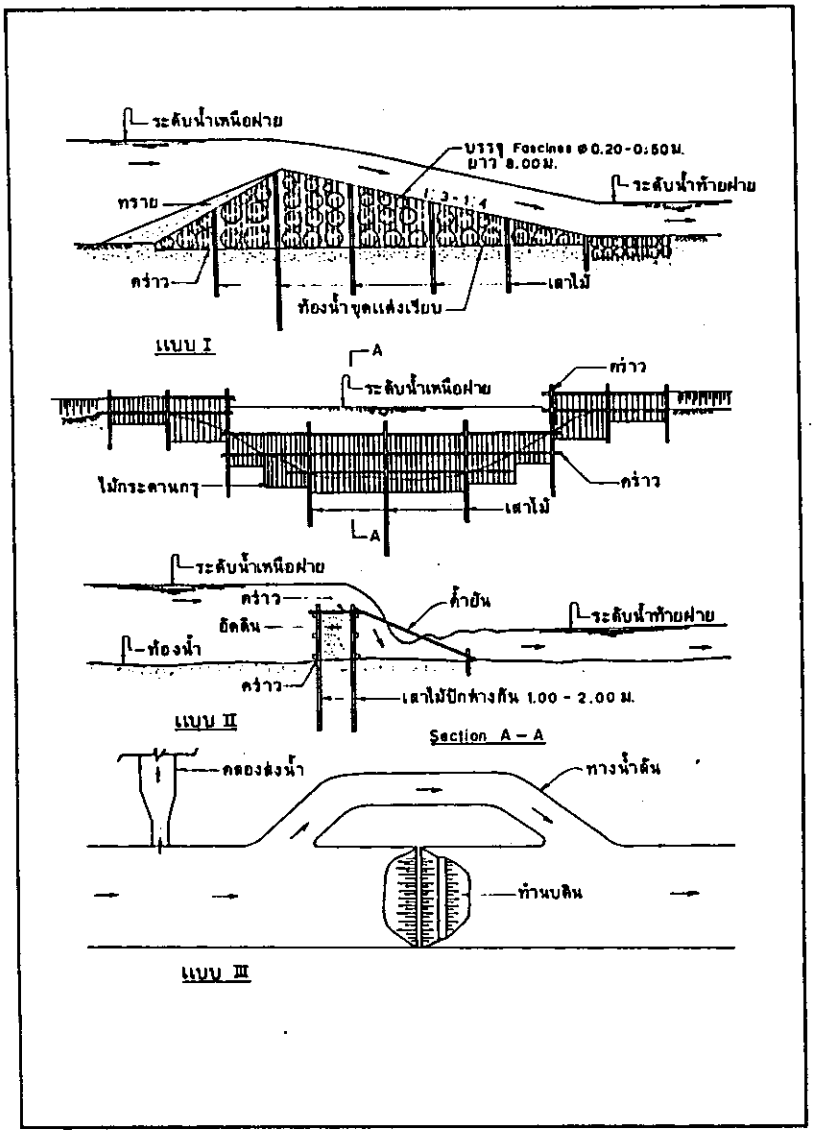
หมด ดังนั้น แม้ว่าฝายชั่วฤดูบางแห่งจะสร้างด้วยวัสดุค่อนข้างถาวรหรือถาวรก็ยังแตกทลายไปได้ง่าย โดยอิทธิพลการกัดทำลายของน้ำดังกล่าวนี้



รูปที่ 2.3 ฝายชั่วฤดู

2. ฝายชั่วคราว

โดยมากฝายชั่วคราวเป็นฝายขนาดเล็กและมีลักษณะคล้ายกับฝายชั่วฤดู แต่มีความมั่นคงแข็งแรงและมีอายุใช้งานนานกว่า เพราะสร้างด้วยวัสดุค่อนข้างถาวรหรือถาวร ได้แก่ เสาไม้ ไม้กระดาน กรวดหรือหินเล็ก และมีวิธีการสร้างประณีตมากขึ้น เมื่อถึงเวลาน้ำใหญ่ไหลหลากมาฝายจุดต้านทานได้ ถ้าคอยซ่อมแซมส่วนของฝายที่ชำรุด หรือที่ถูกน้ำพัดหลุดลอยไปบ้างอยู่เสมอแล้วอาจมีอายุใช้งานถึง 10 ปี ส่วนของฝายที่ชำรุดมักเป็นไม้ที่อยู่ชั้นบนซึ่งเปลี่ยนใหม่ได้ง่าย ไม้ข้างล่างไม่ค่อยผุเพราะจมน้ำอยู่เสมอตะกอนทรายในลำน้ำซึ่งน้ำพัดพามาจะเข้าไปอุดช่องว่างในตัวฝาย และตกทับถมอยู่ทางด้านเหนือน้ำของฝาย กลายเป็นทำนบทรายจากฝายออกไปไกล ทำให้ฝายแน่นทึบและแข็งแรงมากขึ้น



รูปที่ 2.4 ฝายชั่วคราว

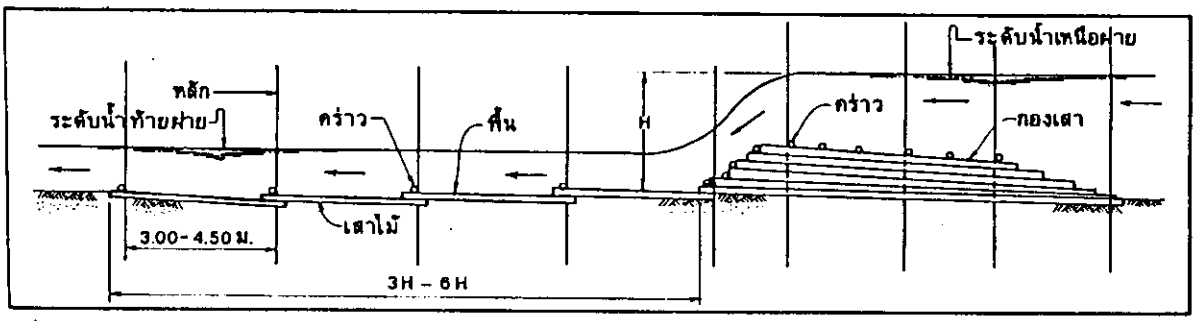
3. ฝายค่อนข้างถาวร

ตามปกติฝายค่อนข้างถาวรสร้างด้วยเสาไม้ หรือเสาไม้ปนหินใหญ่ เสาไม้ที่ใช้เป็นเสาขนาดใหญ่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ 0.20 เมตร ขึ้นไป การก่อสร้างก็ประณีตมากกว่าฝายชั่วคราว เพราะฉะนั้นฝายประเภทนี้จึงมีความถาวรกว่าฝายชั่วฤดู และฝายชั่วคราวที่กล่าวมาแล้วมาก ถ้าคอยดูแลและบำรุงรักษาให้ดีอยู่เสมออาจมีอายุใช้งานได้ถึง 20 ปี คือจนกว่าเสาไม้ที่ใช้ทำฝายจะผุพังไป เว้นแต่ฝายจะพังทลายไปก่อนเพราะเหตุสุดวิสัยอย่างร้ายแรงเท่านั้น

ฝายค่อนข้างถาวรมี 2 ชนิดคือ *ฝายเสาไม้ และฝายไม้คอกหมู*

3.1 ฝายเสาไม้ (Log Weirs)

เป็นฝายที่เหมาะจะสร้างในท้องถิ่นที่หาเสาไม้ขนาดใหญ่ได้ง่ายและมีราคาถูก ตามธรรมดาฝายเสาไม้เป็นฝายขนาดกลางถึงขนาดใหญ่ สูงประมาณ 3.50 เมตร ถึง 4.50 เมตร เป็นอย่างมาก และสร้างบนพื้นท้องน้ำที่เป็นดินหรือทราย ก่อนสร้างฝายจะต้องขุดแต่งดินหรือทรายท้องน้ำและลาดตลิ่งให้เรียบและได้ระดับดี แล้วใช้เสาไม้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ 0.20 เมตรขึ้นไปปูเรียงบนท้องท้องน้ำให้ติดกันเป็นพืดตลอดความกว้างของท้องน้ำ โดยให้โคนเสาอยู่ทางด้านท้ายน้ำเสมอไป ด้วยการเรียงเสาชิดกันเช่นนี้ จะทำให้เกิดเป็นพื้นฝายสำหรับรับแรงกระแทกของน้ำที่ไหลตกจากสันฝายและป้องกันไม่ให้กระแสน้ำปั่นป่วนกัดทำลายพื้นท้องน้ำด้านท้ายฝายได้ พื้นฝายนี้อาจต้องสร้างยาวไปจนสุดเขตอิทธิพลการกัดทำลายของน้ำ จึงต้องใช้เสาไม้วางต่อกันตามยาวหลายต้น โดยให้โคนเสาของต้นที่อยู่ทางด้านเหนือน้ำทับปลายเสาของต้นที่วางต่อไปทางด้านท้ายน้ำเสมอ และต้องปูเสาชิดกันตลอดความกว้างของท้องน้ำหลายแถว



รูปที่ 2.5 ฝายเสาไม้

ถ้า H = ความสูงของน้ำที่ไหลตกจากสันฝายถึงพื้นฝาย

L = ความยาวของพื้นฝายด้านท้ายน้ำจากชายลาดฝายถึงปลายพื้น L ควรเท่ากับ 3H ถึง 6H

พื้นฝายด้านท้ายน้ำซึ่งเกิดจากการปูเสาชิดกันและต่อทับกันหลายแถวนั้น มีลักษณะเป็นขั้นบันได ความกว้างของขั้นบันไดจึงเท่ากับความยาวของเสาแต่ละแถวหรือประมาณ 3.00 เมตร ถึง 4.50 เมตร เมื่อได้พื้นฝายด้านท้ายน้ำแล้วจึงสร้างตัวฝายโดยใช้เสาไม้วางเรียงชิดกันและทับกันเป็นชั้นๆให้โคนเสาทุกชั้นอยู่ทางด้านท้ายน้ำ แนวโคนเสาของชั้นต่างๆ ตั้งฉากกับพื้นท้องน้ำ หรือให้เป็นลาด 1:1 หรือชันกว่าเพื่อทำเป็นลาดฝายด้านท้ายน้ำก็ได้ สำหรับลาดฝายด้านเหนือน้ำจะเกิดขึ้นเองตามความเรียวของเสาอยู่แล้วในตัว แต่โดยมากจะทำให้มีลาดประมาณ 1:3

ตามซอกระหว่างเสาใช้กรวดหรือหินเล็กอุดให้แน่น และเพื่อทำให้ฝายแข็งแรงเขาใช้เสาไม้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.10 เมตรติดเป็นคร่าวไว้ตรงแนวใกล้ ๆ กับโคนเสาของแต่ละชั้นโดยมีสลักยึดติดแน่นกับเสาชั้นล่าง สำหรับเสาชั้นบนซึ่งเป็นลาดฝายนั้นต้องติดเสาไม้คร่าวหลายแนวให้มั่นคงแข็งแรง เพราะน้ำไหลผ่านแรงและอาจถูกต้นไม้หรือซุงไหลลอยมากระทบได้ ถ้าเสาไม้ที่ใช้ทำฝายเป็นไม้เบาและฝายต้องจมอยู่ใต้น้ำนานแล้ว ต้องใช้เสาไม้ปักลงในท้องน้ำเป็นระยะๆ เพื่อยึดเสาไม้ตัวฝายและพื้นฝายที่เรียงไว้ไม่ให้ลอยขึ้นมาได้

3.2 ฝายไม้คอกหมู (Crib Weirs)

ฝายไม้คอกหมูมีสร้างในต่างประเทศมาก ฝายชนิดนี้เหมาะที่จะสร้างในท้องถิ่นซึ่งหากรวดและหินใหญ่ได้ง่าย เช่นตามต้นแม่น้ำลำธารต่าง ๆ

ฝายไม้คอกหมูมี 3 แบบคือ *ฝายไม้คอกหมูติดต่อ และฝายไม้คอกหมูเดี่ยว*

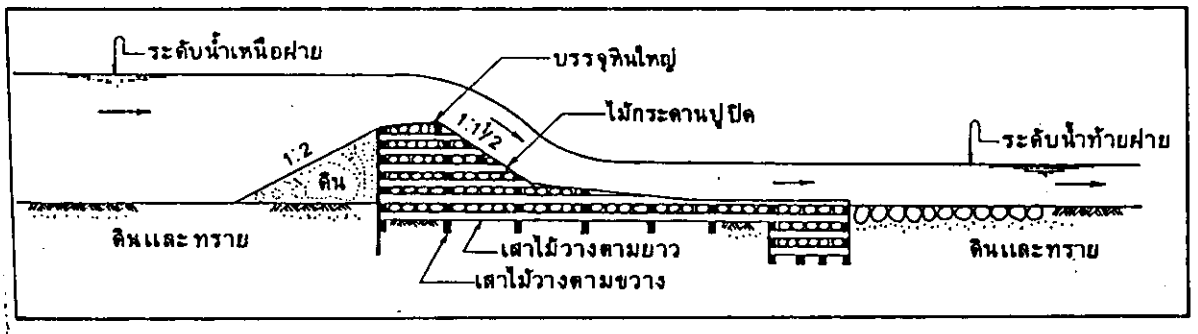
3.2.1 ฝายไม้คอกหมูติดต่อ (Continuous Crib Weirs) ฝายแบบนี้เหมาะจะสร้างในลำน้ำที่มีน้ำไม่ลึกมากและกระแสน้ำไม่แรงนัก รูปตัดของฝายคล้ายสามเหลี่ยมและมีลาดฝายอยู่ทางด้านเหนือน้ำ ส่วนลาดฝายด้านท้ายน้ำนั้นบางทีก็มีและบางทีก็ทำเป็นขั้นบันได

ตัวฝายสร้างเป็นคอกสี่เหลี่ยมหลายคอกติดต่อกัน โดยใช้เสาไม้เหลี่ยมหรือกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.25 เมตร ถึง 0.30 เมตร วางบนท้องน้ำเป็นแถวๆ ไปตามความยาวของลำน้ำ แต่ละแถวจะต้องใช้เสาหลายต้นวางต่อกัน เมื่อวางเสาเป็นแถวๆ ตามความยาวของลำน้ำแล้วก็วางเสาเป็นแถวๆ ตามขวางของลำน้ำทับแนวเสาตามยาวเหล่า

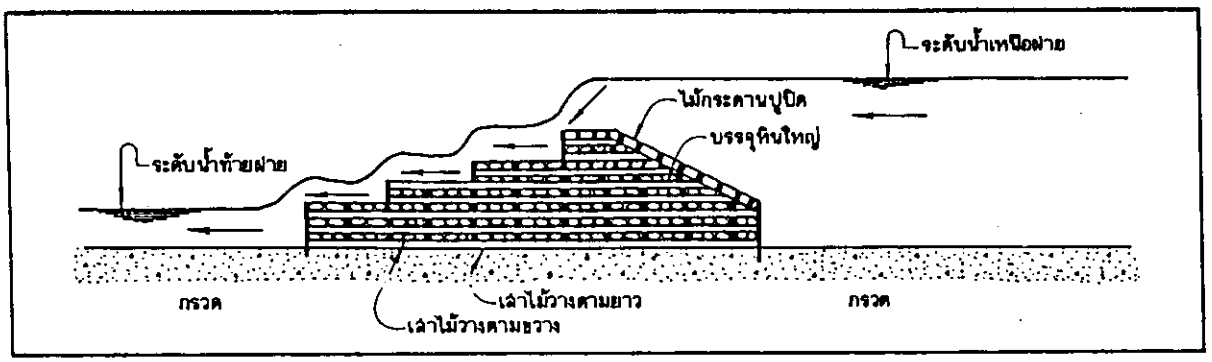
นั้นเพื่อทำให้เกิดเป็นคอกสี่เหลี่ยมหลายคอกติดต่อกัน เขาจะวางเสาตามยาวและตามขวางสลับกันเป็นชั้น ๆ เช่นนี้ขึ้นมาเรื่อย ๆ จนกว่าจะได้ความสูงของคอกหรือตัวฝายที่ต้องการ คอกสี่เหลี่ยมหรือกคอกหมูเหล่านี้แต่ละคอกมีขนาดกว้างยาวประมาณ 2.00 เมตร ถึง 3.50 เมตร ภายในคอกบรรจุหินใหญ่ไว้เต็ม และใช้กรวดหรือหินเล็กอุดซอกระหว่างหินหินใหญ่ให้แน่น ฝายที่สร้างโดยวิธีนี้จะมีความมั่นคง เพราะตัวฝายที่ประกอบด้วยคอกหมูซึ่งมีหินใหญ่บรรจุอยู่เต็มนั้นมีน้ำหนักมาก จะต้านทานแรงดันของน้ำได้ และเสาไม้ที่ทำคอกหมูจะช่วยยึดหินใหญ่ไว้ไม่ให้ถูน้ำดัดหลุดไป เมื่อได้สร้างคอกหมูและบรรจุหินใหญ่ลงในคอกจนได้รูปฝายที่ต้องการแล้ว เขาใช้ไม้กระดานปูปิดลาดฝายด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำหรือขั้นบันใดอีกทีหนึ่ง เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำพัดหินใหญ่ชั้นบนหลุดและเพื่อทำให้ฝายแน่นทึบน้ำรั่วผ่านตัวฝายยาก บางแห่งจะใช้ดินถมลงข้างหน้าฝายด้านเหนือน้ำและทำให้เป็นลาด 1:2 จากสันฝายลงไปยังท้องน้ำเพื่อช่วยให้ฝายแน่นทึบยิ่งขึ้น

3.2.2 ฝายไม้คอกหมูเดี่ยว (Separate Crib Weirs) ฝายไม้คอกหมูเดี่ยวนี้ไม่ค่อยจะได้สร้างกันนัก และตามปกติจะสร้างในลำน้ำที่มีน้ำไหลแรงตลอดเวลา การสร้างจะต้องทำคอกหมูขึ้นก่อนเป็นคอกเดี่ยว มีขนาดกว้างยาวประมาณ 2.00 เมตร ถึง 3.00 เมตร ใช้ไม้กระดานกรุก้นคอกและข้างคอกทั้ง 4 ด้านนำหินใหญ่บรรจุลงในคอกหมูแต่พอควรที่จะทำให้คอกจมน้ำได้เท่านั้น แล้วจึงนำคอกหมูไปวางลงบนท้องน้ำตรวที่จะสร้างฝาย เมื่อวางได้ที่แล้วค่อยเติมหินใหญ่ให้เต็มคอก นำคอกหมูดังกล่าวมาวางลงทีละคอกเช่นนี้เรื่อยไป จนกว่าจะได้รูปฝายที่ต้องการ ซึ่งอาจต้องวางคอกหมูหลายแถวและทับซ้อนกันหลายชั้น การวางคอกหมูต้องให้คอกชิดกันที่สุด และไม่ให้มีหัวต่อระหว่างคอกของชั้นและแถวต่าง ๆ อยู่เป็นแนวเดียวกัน

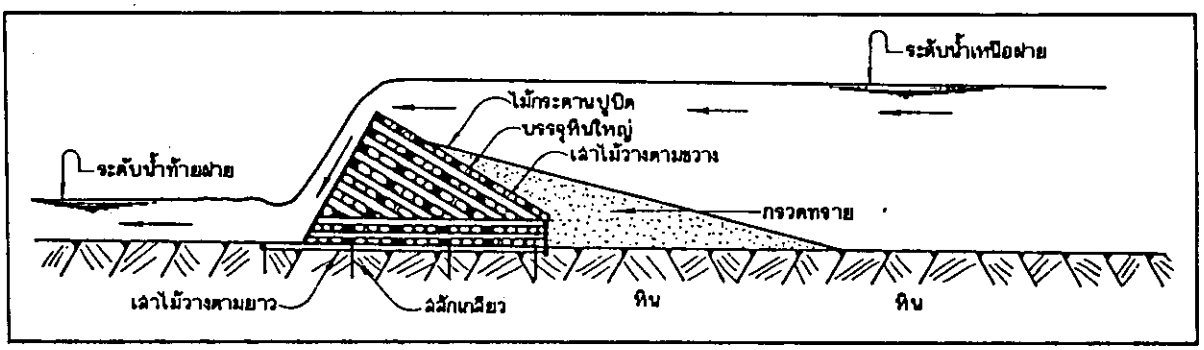
ฝายไม้คอกหมูโดยเฉพาะแบบคอกหมูติดต่อ (Continuous Crib Weirs) นั้นจะสร้างบนท้องน้ำซึ่งเป็นดิน ทราย กรวด หรือหินก็ได้ทั้งสิ้น ถ้าท้องน้ำเป็นดิน ทราย หรือกรวด จะต้องขุดลอกท้องน้ำลงไปลึกประมาณ 1.00 เมตร ถึง 1.50 เมตร แล้วแต่งให้เรียบการขุดลอกท้องน้ำนี้จะต้องให้ยาวพอที่จะสร้างพื้นท้ายน้ำของฝายต่อจากตัวฝายออกไปด้วย ถ้าท้องน้ำเป็นหินก็ไม่จำเป็นต้องสร้างพื้นท้ายน้ำ แต่เสาชั้นล่างสุดที่ทำคอกหมูต้องยึดติดกับพื้นหินให้แน่นด้วยสลักเกลียวทุกระยะ 1.50 เมตร ถึง 2.50 เมตร หรือต้องสกัดพื้นหินให้เป็นร่อง เพื่อวางเสาชั้นล่างสุดลงในร่องนั้น และเพื่อไม่ให้น้ำรั่วผ่านตัวฝายไปตามแนวระหว่างเสาชั้นล่างสุดกับหิน จะใช้ไม้กระดานกรุก้นไว้ข้างหน้าฝายด้านเหนือน้ำ โดยฝังปลายไม้กระดานลงในร่องหินแล้วอุดด้วยปูนซีเมนต์กับทราย



รูปที่ 2.6 Continuous Crib Weir Type I



รูปที่ 2.7 Continuous Crib Weir Type II



รูปที่ 2.8 Continuous Crib Weir Type III

ส่วนการแต่งพื้นท้องน้ำซึ่งเป็นหินให้เรียบย่อมทำไม่ได้เหมือนพื้นท้องน้ำซึ่งเป็นดินหรือทราย ดังนั้นก่อนจะสร้างฝาย จึงต้องสำรวจรูปลักษณะของท้องน้ำอย่างละเอียด แล้วพยายามสร้างคอกหมูให้ก้นคอกเข้ากับรูปท้องน้ำอย่างดีที่สุด เมื่อได้สร้างตัวฝายและพื้นท้ายน้ำแล้ว จะต้องทำการป้องกันตลิ่งของลำน้ำ (bank protection) บริเวณฝายด้วย

ฝายชั่วฤดู ฝายชั่วคราว และฝายค่อนข้างถาวรทั้ง 3 ประเภทนี้จัดอยู่ในพวกฝายไม่ถาวรทั้งสิ้น เพราะสร้างด้วยวัสดุไม่ถาวรและขาดการป้องกันอิทธิพลของน้ำ ตามธรรมดาวัสดุไม่ถาวรย่อมเสื่อมคุณภาพผุพังได้ง่าย เมื่อนำมาสร้างฝายจะมีอายุใช้งานสั้น อย่างไรก็ดีถ้าขาดการป้องกันอิทธิพลของน้ำแล้ว ฝายที่สร้างด้วยวัสดุค่อนข้างถาวรหรือวัสดุถาวรก็อาจมีอายุใช้งานสั้นหรือพังได้ง่ายเหมือนกัน

ฝายที่สร้างขึ้นบนพื้นหรือฐานรากซึ่งน้ำซึมผ่านได้ (pervious foundations) เช่น พื้นซึ่งเป็นดิน ทราย หรือกรวด นั้นเมื่อทดน้ำมีระดับต่างกันน้ำย่อมพยายามไหลจากด้านที่มีระดับน้ำสูงทางด้านเหนือน้ำของฝาย ไปสู่ด้านที่มีระดับน้ำต่ำทางด้านท้ายน้ำ

แนวทางที่น้ำจะไหลจากทางด้านเหนือไปสู่ด้านท้ายน้ำมีดังต่อไปนี้ คือ

1. ไหลซึมลอดใต้ตัวฝายและพื้นฝาย
2. ไหลล้นข้ามฝาย
3. ไหลทะลุผ่านตัวฝาย
4. ไหลซึมเข้าตลิ่งผ่านปีกฝายทั้ง 2 ข้าง

ฝายชั่วฤดู ฝายชั่วคราว และฝายค่อนข้างถาวร ไม่มีการป้องกันอิทธิพลของน้ำที่ไหลไปตามแนวทางทั้ง 4 นี้ จึงพังได้ง่าย

แนวทางที่ 1 ถ้าน้ำไหลซึมลอดใต้ตัวฝายและพื้นฝายได้แรง น้ำอาจกัดและพาเม็ดดินใต้ฝายหลุดออกไปได้ ในที่สุดจะเกิดเป็นโพรงขึ้นใต้ฝาย เมื่อตัวฝายและพื้นฝายไม่มีดินรองรับฝายจะทรุดแล้วพังทลายไป

แนวทางที่ 2 น้ำที่ไหลล้นข้ามฝาย เมื่อตกลงสู่พื้นท้องน้ำซึ่งเป็น ดิน ทราย หรือกรวด ที่ไม่มีการป้องกัน น้ำจะกระแทกพื้นท้องน้ำโดยแรงและกัดท้องน้ำเป็นหลุมลึก แล้วลุกลามเข้ามาหาตัวฝายอย่างรวดเร็ว ดินหรือทรายใต้ฝาย จะเคลื่อนที่มาสู่หลุมนี้ซึ่งมีระดับต่ำกว่า เมื่อตัวฝายและพื้นฝายไม่มีอะไรรองรับก็จะทรุดแล้วพังทลายไป

แนวทางที่ 3 ฝายที่ไม่ทึบตัน น้ำจะไหลทะลุผ่านตัวฝายได้ตลอด ถ้าวัสดุใส้ฝายมีน้ำหนักน้อย และเป็นของไม่ถาวรด้วยแล้ว ในไม่ช้าน้ำจะพัดใส้ฝายหลุดไปหมด ฝายก็จะเหลือแต่โครงใช้ทดน้ำไม่ได้

แนวทางที่ 4 น้ำที่ไหลซึมเข้าตลิ่งผ่านปีกฝายทั้ง 2 ข้างแล้วไปทะลุออกที่ลาดตลิ่งด้านท้ายน้ำของฝายนั้น ซึ่งก็จะมีอิทธิพลเช่นเดียวกับน้ำที่ไหลซึมลอดใต้ตัวฝายและพื้นฝายตามแนวทางที่ 1 คือถ้าน้ำไหลได้สะดวกและแรงจะกัดและพาเม็ดดินในตลิ่งหลุดออกไปทีละน้อย จนกระทั่งปีกฝายขาดเกิดเป็นทางน้ำไหลอ้อมฝายไป ฝายจะทดน้ำไม่ได้หรือพังทลายไป

4. ฝายถาวร

ฝายถาวรเป็นฝายที่สร้างด้วยวัสดุถาวรต่าง ๆ ซึ่งมีราคาแพง เช่น ไม้กระดาน คอนกรีตล้วน หินก่อ คอนกรีตเสริมเหล็ก ฯลฯ มีการคำนวณออกแบบถูกต้องตามหลักวิชา จึงมั่นคงต่อแรงดันของน้ำและต้านทานอิทธิพลการกัดทำลายของน้ำได้ และการก่อสร้างก็กระทำด้วยความประณีต ฝายถาวรจึงมีอายุใช้งานยืนยาว ถ้าได้รับการบูรณะซ่อมแซมอยู่เสมอจะใช้งานได้จนหมดอายุทางเศรษฐกิจ(Economic Life) ของมัน

ฝายถาวรมี 3 ชนิดคือ *ฝายโครงไม้ ฝายหิน ฝายคอนกรีต*

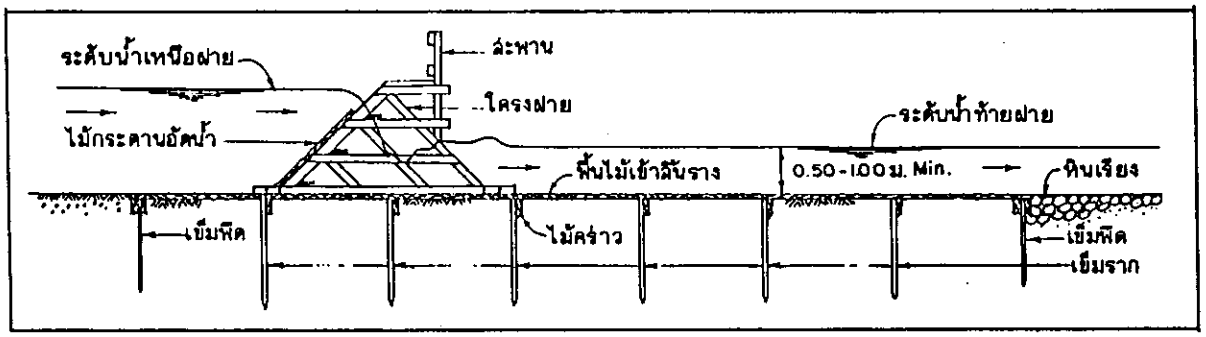
4.1. ฝายโครงไม้ (Wooden Frame Open Weirs)

ตามปกติฝายที่สร้างด้วยไม้กระดานมีน้อย เพราะไม้ซึ่งจมอยู่ใต้น้ำนั้นแม้ว่าจะเป็นของถาวรไม่ผุง่ายก็จริง แต่มีน้ำหนักน้อยจะลอยขึ้นมา ต้องยึดติดกับท้องน้ำให้แน่นหนา

ฝายโครงไม้เป็นฝายถาวรขนาดเล็กถึงขนาดกลางชนิดหนึ่ง ซึ่งสร้างด้วยไม้กระดานทั้งหมด สูงไม่เกิน 2.00 เมตร และมีลักษณะค่อนข้างบอบบาง จึงไม่เหมาะจะสร้างในลำน้ำที่อาจมีวัตถุหนักลอยน้ำมาชนได้ โดยมากจะสร้างในลำน้ำขนาดเล็กทางตอนล่องของลุ่มน้ำซึ่งมีท้องน้ำเป็นกรวดหรือทราย และเป็นทำเลที่หาไม้คุณภาพดีได้ง่ายกว่าการหาหินใหญ่

ก่อนสร้างฝายโครงไม้ต้องขุดแต่งดินท้องน้ำให้เรียบและยาวไปตามลำน้ำจนพอที่จะสร้างพื้นฝายได้ แล้วตอกเสาไม้ขนาดใหญ่ลงบนท้องน้ำเป็นแถว ๆ ตลอดความกว้างของลำน้ำให้ระดับหัวเสาจมอยู่ใต้พื้นท้องน้ำ เมื่อตกเสาเสร็จแล้วจึงติดไม้คร่าวที่หัวเสาทุกแถว เพื่อปูไม้กระดานพื้นฝายซึ่งเป็นไม้หนาไม่น้อยกว่า 2 นิ้ว ไม้กระดานพื้นฝายเหล่านี้ต้องเข้าลิ้นรางให้แน่นสนิท ไม่ให้น้ำที่ไหลซึมอยู่เบื้องล่างทะลุพื้นฝายขึ้นมาได้ และมักจะสร้างพื้นฝายให้ต่ำกว่าระดับน้ำต่ำสุดประมาณ 0.50 เมตร ปลายพื้นฝายด้านเหนือน้ำและด้านท้ายน้ำมีเข็มพืดตอกอยู่ข้างใต้ด้านละหนึ่งแถว ตอกขวางตลอดความกว้างของลำน้ำและเลยเข้าไปในตลิ่งทั้งสองข้าง สำหรับตัวฝายนั้นสร้างด้วยไม้

กระดานเป็นโครงรูปสามเหลี่ยมวางเอียงตามน้ำเป็นมุม 45 องศากับพื้นฝายเพื่ออาศัยแรงดันของน้ำช่วยกดทับตัวฝายไว้ โครงฝายตั้งค่อนมาทางปลายพื้นด้านเหนือน้ำ ทำให้พื้นฝายด้านท้ายน้ำยาวสำหรับรับแรงกระแทกของน้ำที่ตกจากฝายและป้องกันน้ำกัดท้องน้ำ ที่โครงฝายมีแผ่นไม้กระดานติดไว้สำหรับอัดน้ำ ต่อจากปลายพื้นฝายด้านท้ายน้ำจะเรียงหินป้องกันน้ำกัดท้องน้ำไว้ด้วย



รูปที่ 2.9 ฝายโครงไม้

4.2 ฝายหิน

ฝายหินที่จะกล่าวในที่นี้มี 2 แบบคือ ***ฝายหินแบบอินเดีย*** ***ฝายหินแบบกรมชลประทาน***

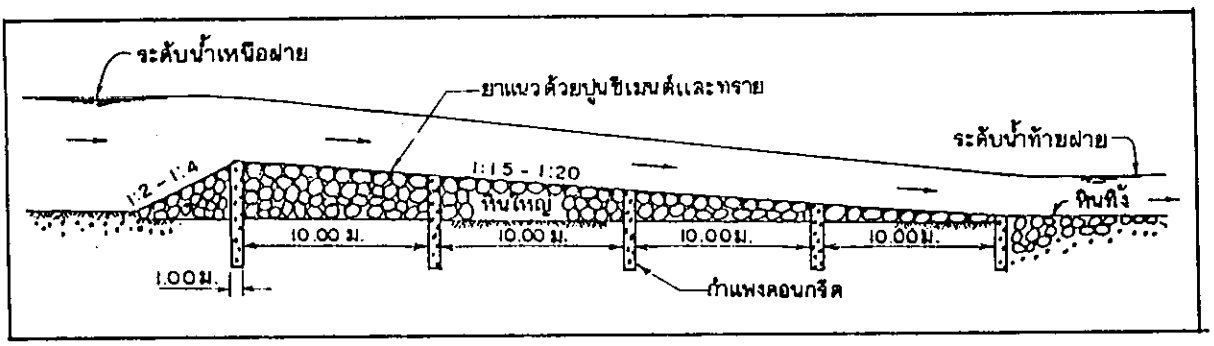
4.2.1 ฝายหินแบบอินเดีย (Loose Rockfill Indian Type Weirs)

ในประเทศอินเดียนิยมสร้างฝายหิน (Loose Rockfill 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 ต่อจากปลายลาดฝายด้านท้ายน้ำมีหินใหญ่ทิ้งไว้เป็นระยะยาวพอสมควร เพื่อป้องกันน้ำกัดท้องน้ำ ลาดฝายซึ่งมีน้ำไหลผ่านตลอดเวลานั้น ต้องใช้หินใหญ่สกัดหน้าเรียบวางเรียงชิดกันเป็นผิวลาดฝาย และบางทีก็ยาแนวระหว่างก้อนหินด้วยปูนซีเมนต์กับทราย จะทำให้ผิดลาดฝายแข็งแรงขึ้นไม่ให้น้ำพัดหินหลุดไปได้

ฝายหินแบบนี้ไม่จำเป็นต้องมีเข็มพืด เพราะตัวฝายยาวมากเนื่องจากมีลาดฝายค่อนข้างแบน น้ำต้องซึมลอดใต้ตัวฝายไปไกลจนหมดกำลังที่จะกัดและพาเม็ดดินไปได้ อย่างไรก็ดีเนื่องจากตัวฝายไม่ทึบตัน น้ำที่ไหลซึมอยู่ใต้ฝายจะทะลุตัวฝายขึ้นมาและพาเม็ดดินหลุดไปได้ เพราะฉะนั้นในระยะแรกฝายมักจะทรุดได้บ้าง จึงต้องเติมหินใหญ่ไว้ให้เต็มตามรูปเดิมอยู่เสมอจนกว่าฝายจะอยู่ตัว แต่เมื่อใช้งานไปนานปีจะมีตะกอนหรือทรายในลำน้ำแทรกตัวเขาไปอุดซอกหินใหญ่และหินเล็กไส้ฝายจนแน่น ตัวฝายจะทึบตันและตั้งอยู่ได้อย่างถาวร ถ้าต้องการให้ตัวฝายสั้นลงโดยใช้ลาดฝายชั้นขึ้นก็ทำได้ แต่จะต้องตอกเข็มพืดไว้ใต้กำแพงตรงแนวสันฝาย

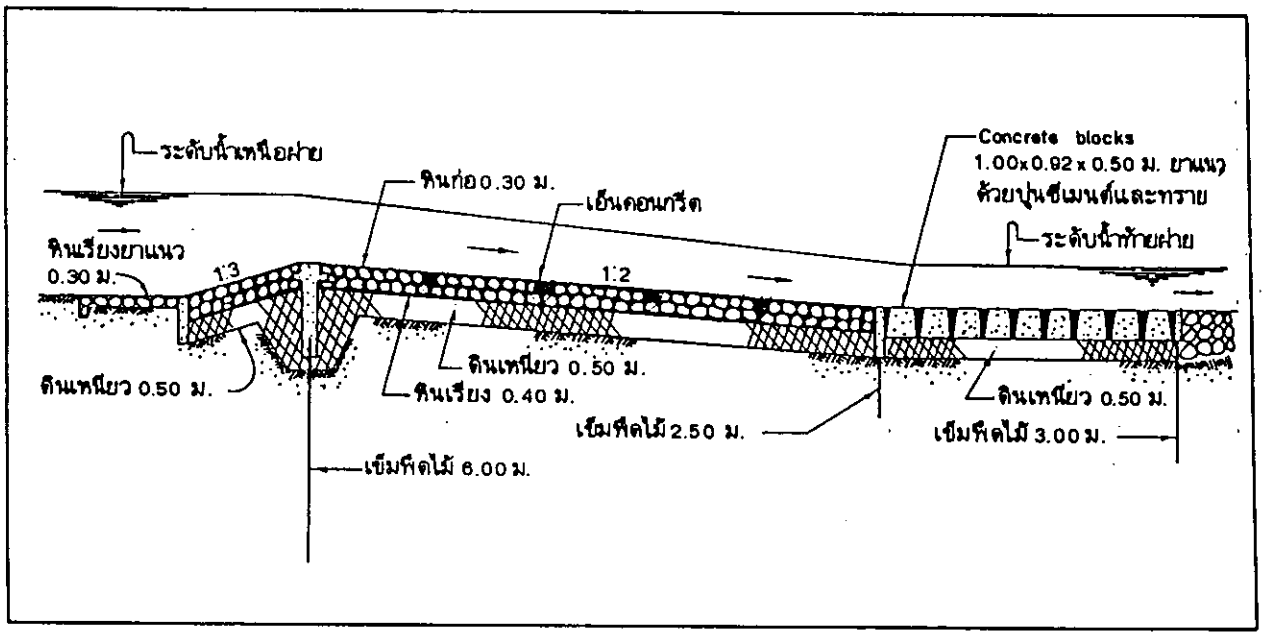


รูปที่ 2.10 Loose Rock Fill Indian Type Weir

4.2.2 ฝายหินแบบกรมชลประทาน

เป็นฝาย ที่ดัดแปลงมาจากฝายหินแบบอินเดียและฝายหินของสหรัฐอเมริกาเพื่อใช้เหมาะกับสภาพของท้องถิ่นในประเทศไทย กรมชลประทานสร้างฝายหินแบบนี้ไว้อย่างน้อย 3 แห่งคือ ฝายแม่แฝกที่เชียงใหม่ ฝายแม่ปิงเก่าที่ลำพูนและฝายแม่วังที่ลำปาง

รูปตัดของฝายเป็นรูปสามเหลี่ยมค่อนข้างแบนแต่ไม่แบนมากเหมือนฝายหินแบบอินเดีย คือมีลาดฝายด้านเหนือน้ำ 1:3 และด้านท้ายน้ำ 1:6 ก่อนสร้างฝายต้องขุดแต่งดินท้องน้ำให้เรียบดีแล้วใช้ดินเหนียวปูรองรับหินตัวฝายไว้ชั้นหนึ่งหนาประมาณ 0.50 เมตร ถึง 1.00 เมตร เพื่อประหยัดจำนวนหินที่ใช้สร้างฝายและทำให้ตัวฝายทึบต้นไม่ให้น้ำไหลทะลุจากใต้ฝายขึ้นมาได้ น้ำจะถูกบังคับให้ไหลซึมลอดใต้ตัวฝายและพื้นฝายไปเท่านั้น บนชั้นดินเหนียวใช้หินใหญ่เรียงไว้หนา 0.40 เมตร ถึง 0.60 เมตร หินเล็กหรือกรวดอัดซอกหินใหญ่ให้แน่น แล้วก่อหินหนา 0.30 เมตร บนหินเรียงอีกชั้นหนึ่งเป็นผิวลาดฝายทั้งสองด้าน ใต้สันฝายเป็นกำแพงคอนกรีตหนา 0.60 เมตร ถึง 1.00 เมตร ตั้งอยู่บนหัวเข็มพืด ฝายแม่แฝกใช้เข็มพืดเหล็กยาว 9.00 เมตร แต่ฝายแม่ปิงเก่าและฝายแม่วังใช้เข็มพืดไม้ยาว 6.00 เมตร บนลาดฝายทั้งสองด้านมีเอ็นคอนกรีตตั้งอยู่บนเข็มรากกั้นเป็นคอก ๆ คอกหนึ่ง ๆ กว้างยาวประมาณ 3.00 เมตร ถึง 5.00 เมตรเพื่อยึดหินก่อบนลาดฝายไว้



รูปที่ 2.11 ฝายหินแบบกรมชลประทาน (ฝายแม่ปิงเก่า ลำพูน)

การป้องกันท้องน้ำด้านเหนือน้ำของฝาย ใช้หินเรียงยาแนวหนา 0.30 เมตร แต่ทางด้านท้ายน้ำต่อจากปลายลาดฝายไปนั้นใช้หินเรียงหนา 1.00 เมตร ยาว 10.00 เมตร และมีแท่งคอนกรีต (Concrete Blocks) ขนาดใหญ่วางกั้นไว้ที่ปลายหินเรียงอีกหนึ่งแถว เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำพัดหินเรียงหลุดกระจัดกระจายไป สำหรับฝาย แม่ปิงเก่าไม่ใช้หินเรียงเลยแต่ใช้แท่งคอนกรีตขนาดใหญ่ปูบนท้องน้ำด้านท้ายฝายโดยตลอด และใช้ปูนซีเมนต์กับทรายอุดช่องว่างระหว่างแท่งคอนกรีตเหล่านั้นด้วย

ฝายแม่ปิงเก่าต้องระบายน้ำมากในเวลาน้ำใหญ่ไหลหลากมา จึงกำหนดระดับสันฝายไว้ต่ำ แต่เมื่อถึงฤดูแล้งเกษตรกรต้องการน้ำทำนาปรังก็เป็นเวลาที่มีน้ำไหลน้อยในแม่น้ำ ฝายอัดน้ำได้ไม่ถึงระดับที่จะไหลเข้าคลองส่งน้ำได้เต็มที่ จึงต้องทำที่ไว้บนสันฝายสำหรับเสริมสันฝายให้สูงขึ้นได้อีก 0.50 เมตร เพื่ออัดน้ำให้สูงขึ้น สันฝายส่วนที่เสริมขึ้นนี้จะถอดออกได้เมื่อถึงฤดูน้ำ

4.3 ฝายคอนกรีต (concrete weirs)

ฝายคอนกรีตมี 2 ชนิดคือ ***ฝายคอนกรีตล้วนหรือฝายหินก่อและฝายคอนกรีตเสริมเหล็ก***

ฝายทั้ง 2 ชนิดนี้มีรูปร่างต่างกันมากเพราะต้องออกแบบให้แข็งแรงพอจะต้านทานแรงดันของน้ำได้ แต่ลักษณะของพื้นฝายและส่วนอื่นคงคล้ายคลึงกัน เนื่องจากฝายคอนกรีตสร้างด้วยวัสดุที่มีราคาแพง เพราะฉะนั้นการออกแบบจึงต้องมีการคำนวณอย่างละเอียด เพื่อให้ฝายแข็งแรงมากที่สุดโดยสิ้นเปลืองวัสดุที่ใช้สร้างฝายน้อยที่สุด

ถ้าสร้างฝายคอนกรีตบนพื้นแข็ง เช่นดินดานหรือหินก็ไม่จำเป็นต้องป้องกันพื้นท้องน้ำ แต่ถ้าสร้างบนพื้นซึ่งเป็นดิน ทราย หรือกรวด จะต้องสร้างพื้นฝายขึ้นก่อนตามขนาดที่คำนวณได้ พื้นฝายอาจต้องมีเข็มราก (Foundation Piles) และโดยมากจะตอกเข็มพืด (sheet piles) ไว้หนึ่งแนวใต้สันฝายหรือที่ปลายพื้นด้านเหนือน้ำ ถ้าปลายเข็มพืดหยั่งถึงชั้นดินเหนียวข้างล่าง ฝายจะปลอดภัยจากน้ำซึมลอดใต้ฝายและ Uplift Pressure โดยเด็ดขาด แต่ถ้าปลายเข็มพืดหยั่งไม่ถึงชั้นดินเหนียว เข็มพืดจะทำหน้าที่ขยายความยาวของทางน้ำที่ซึมลอดใต้ฝายทำให้กำลังแรงของน้ำซึมและ Uplift Pressureลดลง

ถึงแม้ว่าทางน้ำซึมลอดใต้ฝายจะยาวมากพอจนน้ำไม่สามารถกัดและพาเม็ดดินไปได้แล้วก็ตาม ที่ปลายพื้นฝายด้านท้ายน้ำยังม่ไม้กระดานตีทับแนวหรือเข็มพืดตอกไว้อีกหนึ่งแนว เข็มพืดแนวนี้ไม่ได้ใช้ประโยชน์เพื่อขยายความยาวของทางน้ำซึม แต่เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำที่ไหลตกจากฝายวกกลับมากัดทะลวงดินใต้พื้นฝาย ควรสังเกตุว่า ถ้า

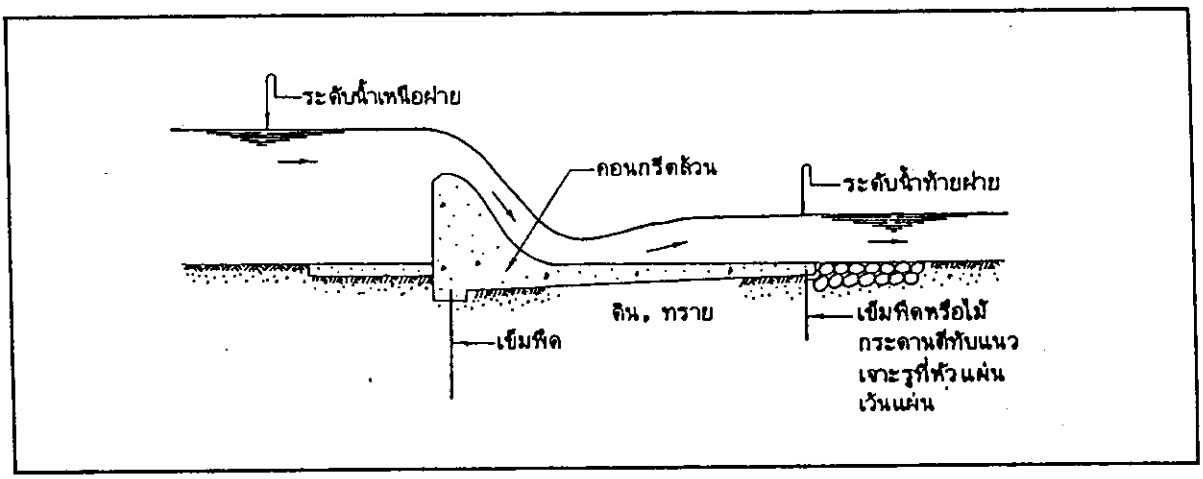
ตอกเข็มพืดแนวนี้ไว้ตามปกติน้ำจะซึมเลาะเข็มพืดไปทางน้ำซึมลอดใต้ฝายจะยาวขึ้น แต่เส้นลาดอุทกศาสตร์ (Hydraulic Gradient Line)จะราบมากขึ้นทำให้ Uplift Pressure ใต้ฝายเพิ่มขึ้น ดังนั้น ถ้าจะให้เส้นลาดอุทกศาสตร์และ Uplift Pressure เป็นไปตามเดิม เสมือนหนึ่งไม่มีเข็มพืดแนวนี้ก็จะต้องเจาะรูที่หัวเข็มพืด รูที่เจาะโตประมาณ 1 นิ้ว ก็พอ และจะเจาะเข็มพืดทุกแผ่นหรือเจาะหนึ่งแผ่นเว้นหนึ่งแผ่นสลับกันไปก็ได้ น้ำจะไหลซึมทะลุรูที่เจาะไว้ไปได้โดยไม่เลาะไปตามเข็มพืด จึงไม่กระทบกระเทือนถึงความยาวของทางน้ำซึมลอดใต้ฝายเส้นลาดอุทกศาสตร์ และ Uplift Pressure ลักษณะของพื้นฝายและเข็มพืดดังกล่าวนี้คงมีเหมือนกันทั้งฝายคอนกรีตล้วน ฝายหินก่อ และฝายคอนกรีตเสริมเหล็ก

4.3.1 ฝายคอนกรีตล้วนหรือฝายหินก่อ (Mass Concrete or Masonry Weirs)

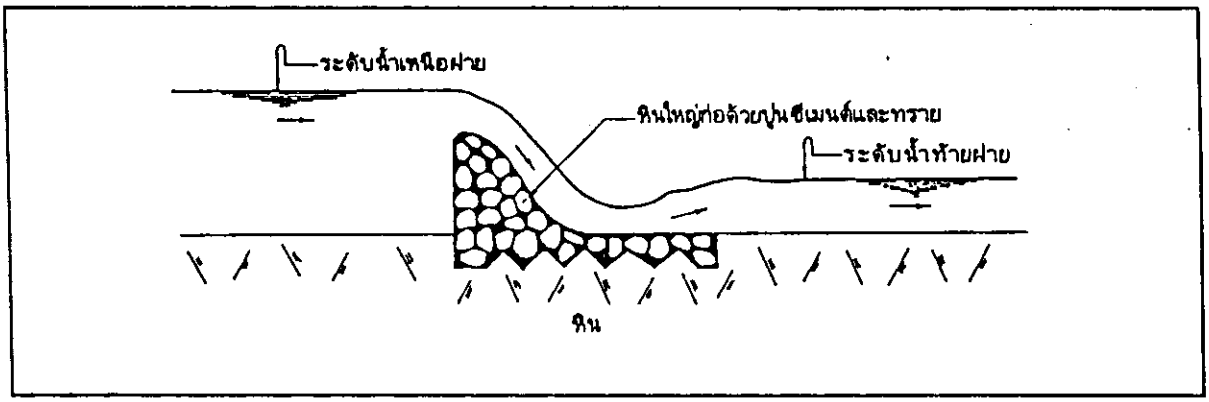
ฝายคอนกรีตล้วนหรือฝายหินก่อเป็นกำแพงทึบ มีรูปตัดคล้ายรูปสี่เหลี่ยมคางหมูซึ่งมีด้านบนคือสันฝายแคบกว่าด้านล่างซึ่งเป็นฐานฝาย โดยปกติลาดฝายด้านเหนือน้ำไม่มี หน้าฝายตั้งชันเป็นแนวดิ่งกับพื้นฝาย ส่วนลาดฝายด้านท้ายน้ำมีส่วนสัดตามที่คำนวณได้ เพื่อให้น้ำไหลข้ามฝายสะดวก และไม่ให้น้ำตกกระแทกพื้นฝายแรงเกินไป รูปตัดของฝายจะถูกดัดแปลงไปบ้าง คือจะทำสันฝายและบริเวณที่ปลายลาดฝายตัดกับพื้นท้ายน้ำไม่ให้มีเหลี่ยมมุมเหลืออยู่เลย

4.3.2 ฝายคอนกรีตเสริมเหล็ก (Reinforced Concrete Weirs)

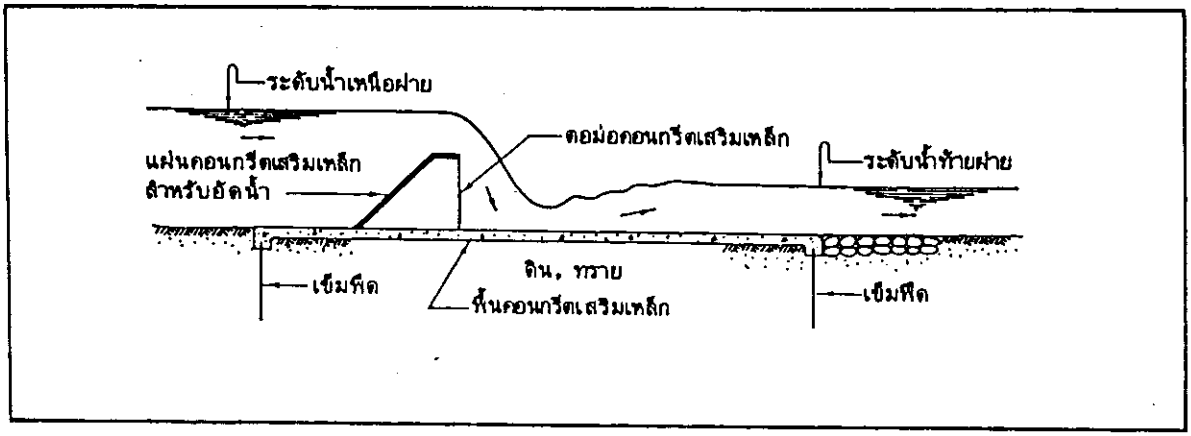
ฝายคอนกรีตเสริมเหล็กมีลักษณะเป็นตอม่อคอนกรีตรูปสามเหลี่ยมหนาประมาณ 0.50 เมตร ถึง 0.60 เมตร ตั้งอยู่บนพื้นคอนกรีตเป็นระยะ ๆ ห่างกันประมาณ 3.00 เมตร ถึง 6.00 เมตร ตลอดความกว้างของลำน้ำ ช่องระหว่างตอม่อทุกช่องมีแผ่นคอนกรีตเสริมเหล็กสำหรับอัดน้ำติดไว้ แผ่นคอนกรีตเสริมเหล็กเหล่านี้ติดเอนเป็นมุม 45 องศากับตอม่อเพื่ออาศัยแรงดันของน้ำกดทับตัวฝายไว้ด้วย เพราะฉะนั้นต่อม่อรูปสามเหลี่ยมจึงมีลาด 45 องศา ทางด้านเหนือน้ำแต่ด้านท้ายน้ำเป็นแนวดิ่งปล่อยให้น้ำที่ไหลข้ามฝายตกลงสู่พื้นฝายโดยตรง



รูปที่ 2.12 ฝายคอนกรีตล้วน



รูปที่2.13 ฝายหินก่อ



รูปที่ 2.14 ฝายคอนกรีตเสริมเหล็ก

2.4 แรงกระทำต่อตัวฝาย

เนื่องจากฝายเป็นสิ่งกีดขวางการไหลของน้ำ จึงทำให้ระดับน้ำด้านเหนือน้ำของฝายสูงกว่าด้านใต้น้ำ และมีแรงกระทำต่อตัวฝายหลายแรง แรงเหล่านี้แบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

1. Static Forces

เป็นแรงซึ่งกระทำต่อตัวฝายภายใต้สภาพแห่งการอยู่นิ่งของน้ำ ได้แก่

ก. แรงดันของน้ำซึ่งกระทำต่อตัวฝายทางด้านเหนือน้ำซึ่งพยายามผลักฝายให้ล้มคว่ำ ทรุด หรือเลื่อนไป

ข. แรงดันของน้ำซึ่งกระทำต่อตัวฝายทางด้านใต้น้ำซึ่งจะต้านทานแรงดันของน้ำทางด้านเหนือน้ำ

ค. น้ำหนักของน้ำที่ทับอยู่บนตัวฝาย

ง. ถ้าสร้างฝายบนฐานรากซึ่งน้ำซึมผ่านได้ (Pervious Foundations) จะมีแรงดันขึ้นของน้ำ (Uplift Pressure) ซึ่งพยายามจะยกตัวฝายให้ลอยขึ้น

2. Dynamic Forces

เป็นแรงซึ่งกระทำต่อตัวฝายภายใต้สภาพแห่งการไหลของน้ำ ได้แก่

ก. แรงกัดทำลายของน้ำซึ่งไหลตกลงมาโดยแรงจากสันฝายแรงนี้จะพยายามกัดผิวของลาดฝายด้านท้ายน้ำ และเมื่อน้ำไหลตกถึงพื้นท้องน้ำท้ายฝายจะกระแทกพื้นและพยายามกัดทำลายพื้น

ข. แรงกระแทกตัวฝายหรือสันฝายซึ่งเกิดจากวัตถุหนัก เช่น ไม้ซุงไหลลอยน้ำมาชน

ค. ถ้าสร้างฝายบนฐานรากซึ่งน้ำซึมผ่านได้ (Pervious Foundations) จะมีแรงกัดพาของน้ำ (Erosive Force) ซึ่งพยายามกัดพาเอาเม็ดดินใต้ฝายหลุดออกไป

ฝายถาวรทุกชนิดจะต้องต้านทานแรงต่างๆ เหล่านี้ได้หรือไม่เกิดชำรุดเสียหายเพราะแรงเหล่านี้

การต้านทานแรงดันของน้ำไม่ให้ผลักฝายล้มคว่ำ ทรุด เลื่อน หรือยกฝายขึ้นนั้นย่อมต้องการฝายที่มีน้ำหนักมาก อาจต้องฝังตัวฝายลงไปในพื้นเป็น key และอาจต้องตอกเข็มราก (Foundation Piles) ไว้ใต้ฝายด้วย

การต้านทานน้ำกัดทำลายผิวของลาดฝายและพื้นท้องน้ำด้านท้ายน้ำย่อมต้องการลาดฝายและพื้นฝายแข็งและทนทานซึ่งสร้างด้วยวัสดุถาวรเช่นหินก่อ (Masonry) หรือ คอนกรีตล้วน (Mass Concrete) และมีหินเรียงยาแนว (Grouted Pitching) และหินทิ้ง (Riprap) ปูป้องกันท้องน้ำและลาดตลิ่งต่อจากปลายพื้นฝายด้านท้ายน้ำออกไปจนพ้นเขตการกัดทำลายของน้ำด้วย

การป้องกันสันฝายจากวัตถุหนักซึ่งไหลลอยมาชนนั้นจะต้องมีเหล็กประกับสันฝายไว้

การป้องกันไม่ให้น้ำกัดพาเม็ดดินใต้ฝายไปได้ย่อมต้องการความยาวของทางน้ำซึมลอดใต้ฝายมากพอจนน้ำหมดกำลังโดยใช้พื้นฝายด้านท้ายน้ำยาว หรือจะใช้เข็มพืดช่วยดังกล่าวมาแล้วข้างต้นก็ได้

2.5 ความมั่นคงของตัวฝาย (Stability)

โดยทั่วไปฝายหรือเขื่อนคอนกรีต (Gravity Dam) จะเกิดการพังทะลายเนื่องจาก การพลิกคว่ำ (Overtuning) และการเลื่อนไถล (Sliding) ซึ่งเกิดจากแรงต่างๆ ที่กล่าวมาแล้วข้างต้นกระทำต่อตัวฝาย

2.5.1 การพลิกคว่ำ (Overtuning) เกิดจากโมเมนต์ของแรงที่กระทำบนตัวฝายที่พยายามดันให้ฝายหมุนรอบฐานด้านท้ายน้ำ หรือที่ขอบปลายสุดของฐานด้านท้ายน้ำในแนวดิ่ง ในการคำนวณเพื่อตรวจสอบความปลอดภัยของตัวฝาย ควรพิจารณาหาแรงดันของน้ำที่กระทำต่อตัวฝายในแนวราบ ซึ่งเกิดขึ้นในสภาพต่างๆ กัน เช่นเมื่อระดับน้ำด้านเหนือน้ำมีระดับสูงสุดและท้ายน้ำไม่มีน้ำ และเมื่อด้านเหนือน้ำมีน้ำเต็มและท้ายน้ำมีน้ำอยู่ที่ระดับหนึ่ง เป็นต้น จากนั้นทำการหาแรงอื่นๆ ที่มากระทำต่อตัวฝาย ได้แก่ น้ำหนักตัวฝาย แรงดันน้ำใต้พื้นฝาย (Uplift Pressure) แรงดันดิน (กรณีพื้นฝายอยู่ใต้ผิวดิน)

ฝายจะมีความปลอดภัยจากการพลิกคว่ำ เมื่อ

1) โมเมนต์ต้านทานเท่ากับหรือมากกว่า โมเมนต์พยายามทำให้ฝายหมุน ส่วนจะมากกว่าเท่าใดนั้น มักจะกำหนดขึ้นไว้เป็นค่าความปลอดภัย (Factor of Safty, F.S.) ซึ่งพิจารณา จากชนิดของอาคารและความเสี่ยงที่ยอมได้

2) แนวแรงลัพธ์ซึ่งเกิดจากในแนวราบทั้งหมด (ΣH) กับแรงในแนวดิ่งทั้งหมด (ΣV) ตัดฐานฝายในช่วง middle third เพราะหากแรงลัพธ์ในช่วงนอก Middle third จะทำให้เกิดแรงดึง (Tention) ในแนวพื้นฝายด้านตรงกันข้าม เป็นเหตุให้คอนกรีตแตกร้าวและทำให้ฝายพลิกคว่ำได้เช่นกัน

2.5.2 **การเลื่อนไถล (Siding)** เกิดจากแรงในแนวราบทั้งหมด (ΣH) พยายามผลักดันให้ฝายเลื่อนไถลออกไปทางด้านท้ายน้ำ แต่การเลื่อนไถลของฝายจะแรงต้านทานไว้ แรงนี้เกิดจาก Friction ระหว่างพื้นฝายกับดินใต้ฐานและแรงกดลงในแนวดิ่ง (ΣV) ถ้ากำหนดให้ C = Coefficient of Static Friction หรือ Sliding Factor จะได้

แรงต้านการเลื่อนไถล = $C\Sigma V$

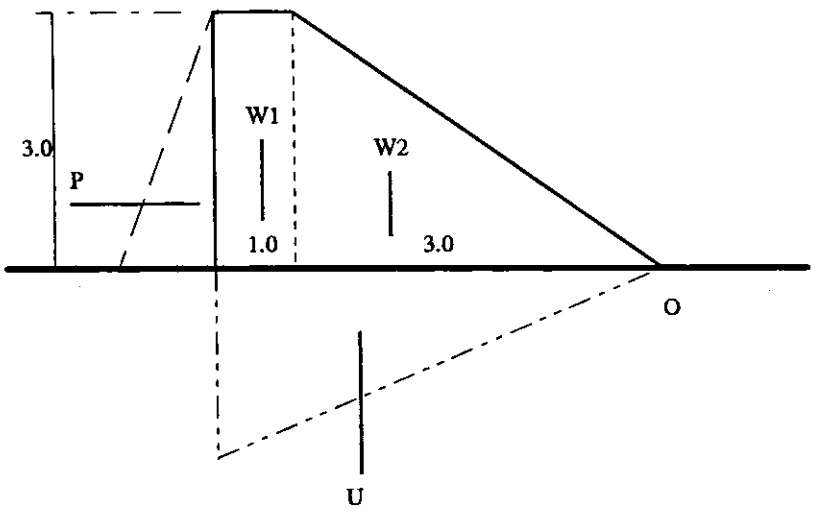
ดังนั้นเพื่อไม่ให้ฝายเคลื่อนตัว แรงต้านการเคลื่อนตัวทั้งหมดจะต้องเท่ากับหรือมากกว่า แรงในแนวราบทั้งหมด (ΣH) นั่นคือ

$$C\Sigma V = \Sigma H$$

$$C.(\Sigma v/\Sigma H) = 1 = F.S.$$

ค่า F.S. ที่กำหนดขึ้นเป็นค่าที่ใช้ในการออกแบบควรมีค่าเท่าใด ขึ้นอยู่กับการพิจารณาถึงความเสียหายที่จะเกิดขึ้นเนื่องจากการพังทะลายของเขื่อนโดยทั่วไปใช้ประมาณ 1.5 - 2.0

ตัวอย่าง จงคำนวณหา F.S.for Overturning และ F.S. for Sliding และตำแหน่งของแรงลัพธ์บน ฐานของฝาย จากรูปที่กำหนดให้ เมื่อ Sliding factor (C) = 0. และค่า unit weight ของคอนกรีต = 2200 กก./ม.^{3}□



วิธีคำนวณ

แรง	H	V	Arm	M	M
1. P = 1/2×3×3×1000	4500	-	1.0	4500	-
2. P = 1×3×2200	-	6600	3.5	-	23100
3. P = 1/2×3×3×2200	-	9900	2.0	-	19800
4. P = 1/2×3×4×1000	-	6000	2.67	-	-
Σ	4500	10500		20500	42900

F.S.for Overturning $= \Sigma M/\Sigma M = \frac{42900}{20500} = 2.05$ <--------

F.S.for Sliding $= C.\Sigma V/\Sigma H = 0.5 \times \frac{10500}{4500} = 1.17$ <--------

ตำแหน่งของแรงลัพธ์ (X) $= \Sigma M/\Sigma V = \frac{(42900 - 20500)}{10500} = 2.13$ <--------

ตัวอย่างนี้แสดงวิธีการคำนวณหาค่าต่างๆ ในสภาพที่ท้ายฝายไม่มีน้ำ ซึ่งเป็นสภาพที่อาจจะเกิดขึ้นจริงในฤดูแล้ง สำหรับในฤดูฝนน้ำทางด้านท้ายน้ำจะมีระดับสูงขึ้นมาอยู่ที่ระดับหนึ่ง ควรทำการคำนวณหาความมั่นคงในสภาพน้ำมากด้วย

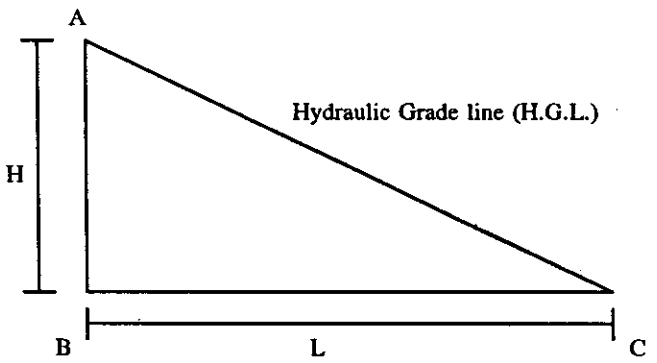
2.6 แรงดันขึ้นของน้ำใต้ฝาย (Uplift Pressure)

แรงดันขึ้นของน้ำใต้ฝาย มีความสัมพันธ์กับความแตกต่างของระดับน้ำทั้งสองด้านของฝายและความยาวที่น้ำจะต้องไหลซึมลอดใต้ฝายไปทั้งหมด

ถ้า H = ความแตกต่างของระดับน้ำทั้งสองด้าน

L = ความยาวที่น้ำจะต้องไหลซึมลอดไปทั้งหมด

ฉนั้น H/L = ลาดอุทกศาสตร์ (Hydralic Gradient)



จากรูป AC คือ เส้นลาดอุทกศาสตร์ (Hydraulic Grade Line) ความสูงจากจุดใดๆ บนเส้นฐาน BC ถึงเส้นลาด AC จะเท่ากับแรงดันขึ้นของน้ำใต้พื้นฝาย (Uplift Pressure) ตรงจุดนั้น แรงดันนี้จะมีค่าสูงทางด้านเหนือน้ำและจะมีค่าน้อยลงเรื่อยๆ จนสุดปลายพื้นด้านท้ายน้ำ การออกแบบพื้นฝายจะต้องมีความหนาหรือมีน้ำหนักพอมีจะต้านทานแรง Uplift Pressure ที่จุดนั้นได้ ดังนั้นจะเห็นได้ว่าในการออกแบบพื้นฝายหรืออาคารทั่วไป จะออกแบบให้พื้นทางด้านเหนือน้ำมีความหนามากที่สุด แล้วค่อยๆค่อยเรียวลงไปทางด้านท้ายน้ำ

2.7 แรงกัดพาเม็ดดินใต้ฝาย (Erosive Force)

แรงกัดพาเม็ดดินใต้ฝาย เกิดจากแรงน้ำที่ซึมลอดใต้พื้นฝายและพยายามกัดพาเม็ดดินท้ายฝายให้หลุดออกไป การกัดพาเม็ดดินจะเกิดขึ้นหรือไม่มากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับความชันของลาดอุทกศาสตร์ และลักษณะของเนื้อดินใต้พื้นฝาย

การคำนวณเพื่อหาแรงดันของน้ำใต้พื้นฝาย และป้องกันท้ายฝายไม่ให้เกิดการกัดเซาะเนื่องจากน้ำซึมลอดใต้พื้นฝาย สามารถทำได้โดยใช้ทฤษฎี Weighted Creep-Ratio ของ Lane ซึ่งกล่าวโดยสรุปไว้ดังนี้

Weighted-Creep-Ratio (Cw) = L/H

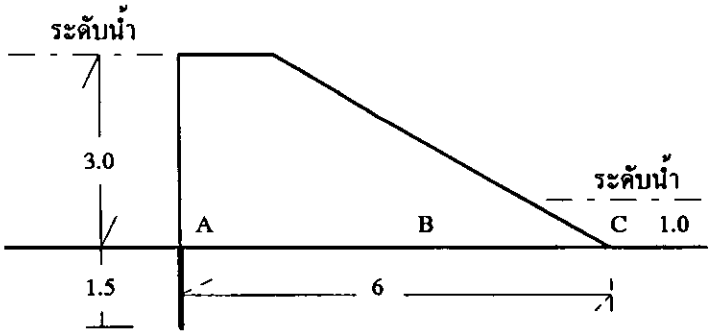
เมื่อ 1) ระยะ Weighted-Creep (L) ของน้ำที่ซึมลอดใต้พื้นฝายเท่ากับผลรวมของระยะทางเดินของน้ำที่สัมผัสผิวอาคารในแนวดิ่ง กับหนึ่งในสามของระยะทางเดินน้ำที่สัมผัสผิงอาคารในแนวราบทั้งหมด (ในกรณีที่พื้นฝายเอียงทำมุมกับพื้นราบ ตั้งแต่ 45° ขึ้นไปให้คิดเป็นเสมือนแนวดิ่งหากแบนกว่า 45° ให้คิดเป็นเสมือนแนวราบ และในกรณีที่มีเข็มพืดตั้งแต่สองแถวขึ้นไป ถ้าระยะห่างของแถวสั้นกว่าผลรวมความยาวของเข็มพืดทั้งสอง ให้คิดว่าน้ำไหลจากปลายแถวหนึ่งไปยังอีกแถวหนึ่ง)

2) ระยะ H คือระดับต่างระหว่างผิวน้ำด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำ

อัตราส่วน Weighted-Crrep-Ratio (Cw) = L/H ที่คำนวณได้จะต้องมีค่าไม่น้อยกว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับดินชนิดต่างๆ ที่กำหนดไว้ในตารางท้ายนี้ ดินใต้พื้นฝายท้ายน้ำจึงจะมีความปลอดภัยจากการถูกน้ำที่ไหลซึมออกมากัดเซาะ

ลักษณะดิน	อัตราส่วน(L/H)
ทรายละเอียดมากหรือตะกอนทรายละเอียด	8.5
ทรายละเอียด	7.0
ทรายหยาบและละเอียดปานกลาง	6.0
ทรายหยาบ	5.0
กรวดละเอียด	4.0
กรวดหยาบและละเอียดปานกลาง	3.5
กรวดหยาบ	3.0
ดินเหนียวมีความแน่นน้อย	3.0
ดินเหนียวมีความแน่นปานกลาง	2.0
ดินเหนียวมีความแน่นดี	1.8
ดินเหนียวมีความแน่นดีมากหรือดินดานแข็งมาก	1.6

ตัวอย่างการคำนวณ



ก. คำนวณหาอัตราส่วน Cw

ระยะ Weighted Creep (L) = 1.5+1.5+(6/3) = 5 เมตร

ความต่างของระดับน้ำ = 3.0-1.0 = 2

ดังนั้น Weighted Creep Ratio (L/H) = 5/2 = 2.5 <-----

จากผลการคำนวณสรุปได้ว่า การสร้างฝายที่มีขนาดเข็มพืดและความยาวของพื้นตามรูปที่กำหนด จะไม่มีความปลอดภัยเมื่อสร้างบนฐานรากที่กรวดและทรายชนิดต่างๆ แต่จะสร้างบนฐานรากที่เป็นดินเหนียวแน่นปานกลางจนถึงดินเหนียวแน่นได้ โดยไม่เกิดการกัดเซาะดินบริเวณท้ายฝาย

ข. คำนวณหาแรงดันใต้พื้นฝาย (Uplift Pressure)

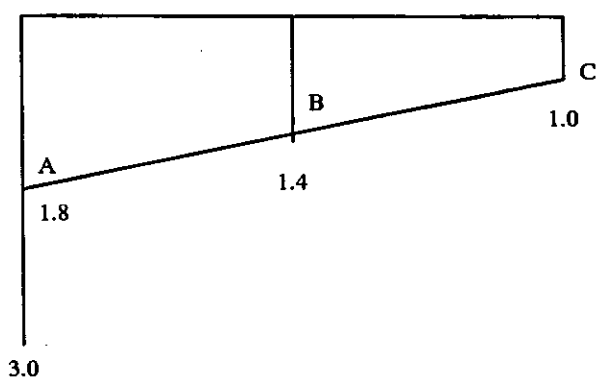
แรงดันของน้ำใต้พื้นฝายที่จุด A = 3-(1.5+1.5)x2/5 = 1.8 ม.

แรงดันของน้ำใต้พื้นฝายที่จุด B = 3-(1.5+1.5+3/3)x2/5

= 1.4 ม.

แรงดันของน้ำใต้พื้นฝายที่จุด C = 3-(1.5+1.5+6/3)x2/5

= 1.0 ม.



พิจารณาจากตัวอย่างการคำนวณข้างต้นจะเห็นได้ว่า การทำให้ค่าลาดอุทกศาสตร์แบนลง เพื่อให้เหมาะสมกับสภาพของดินใต้พื้นฝายนั้น จะต้องทำการปรับปรุงให้ระยะทางเดินของน้ำที่ซึมลอดใต้ฐานยาวขึ้น ซึ่งสามารถทำได้ 2 วีคือ เพิ่มความยาวของพื้นฝายออกไปและการใช้เข็มพืด

การตอกเข็มพืดให้ปลายเข็มหยั่งลึกลงไปถึงชั้นดินเหนียวหรือชั้รดินที่น้ำซึมผ่านไม่ได้ เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำซึมผ่านใต้ฐานอย่างเด็ดขาด เป็นหลักการที่พยายามทำให้ได้ แม้จะทำได้ยากหรือทำไม่ได้แต่เข็มพืดก็ยังให้ประโยชน์ ในการช่วยเพิ่มระยะทางเดินของน้ำขึ้นอีก 2 เท่าของความยาวของเข็มพืด นอกจากนี้ยังช่วยลดแรงดันของน้ำใต้พื้นฝาย (Uplift Pressure) อีกด้วย

2.7 ความสามารถในการระบายน้ำของฝาย

ฝายที่สร้างจะต้องให้ปริมาณน้ำมากที่สุดในลำน้ำนั้นไหลข้ามไปได้โดยไม่ทำให้ระดับน้ำทางด้านเหนือน้ำของฝายท้นสูงขึ้นจากระดับน้ำตามธรรมชาติมากเกินไป ถ้าน้ำท้นสูงมากจะท่วมพื้นดินสองฝั่งลึกถึงขีดเป็นอันตรายเสียหายได้

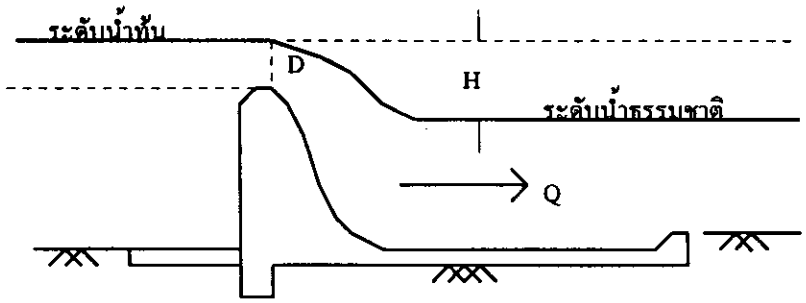
การคำนวณความสามารถของฝายในการระบายน้ำจะต้องทราบปริมาณน้ำมากที่สุด และระดับน้ำสูงสุดตามธรรมชาติในลำน้ำตรงที่สร้างฝายเสียก่อนแล้วจึงจะพิจารณาได้ว่าในขณะที่ปริมาณน้ำมากที่สุดไหลข้ามฝายไปนั้นมีน้ำท่วมสันฝายลึกเท่าไร ระดับน้ำบนสันฝายสูงกว่าระดับน้ำสูงสุดตามธรรมชาติเท่าไร ความแตกต่างของระดับน้ำทั้งสองนี้เรียกว่า Afflux (H)

น้ำที่ท้นสูงขึ้นทางด้านเหนือน้ำของฝายมีลาดผิวน้ำราบกว่าลาดผิวน้ำตามธรรมชาติ เพราะฉะนั้นลาดผิวน้ำทั้งสองนี้จะตัดกัน ณ ที่แห่งหนึ่งทางด้านเหนือน้ำของฝาย ระยะจากจุดที่ตั้งฝายเรียกว่า Length of Backwater Curve น้ำที่ไหลข้ามฝายไปแล้วจะมีระดับน้ำและลาดผิวน้ำตามธรรมชาติเพราะระดับน้ำด้านท้ายฝายจะไม่ถูกกระทบกระเทือนแต่อย่างใด

การคำนวณน้ำผ่านฝายแยกออกเป็น 2 กรณีดังนี้คือ

1. ในกรณีที่น้ำไหลข้ามฝายไปแล้ว ระดับน้ำด้านท้ายฝายอยู่ต่ำกว่าระดับสันฝาย ฝายจะอยู่ในสภาพที่เรียกว่า Free Overfall Weirs สูตรที่ใช้ในการคำนวณคือ

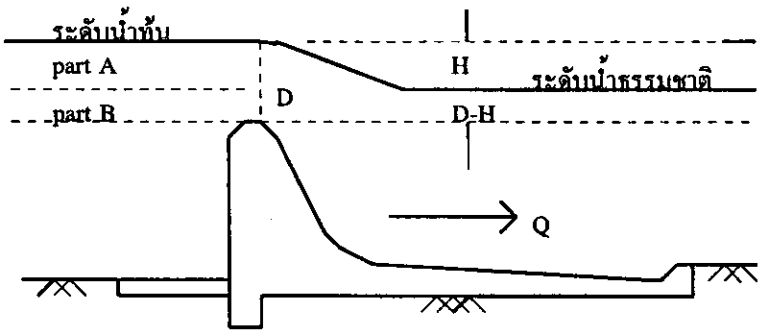
$$Q = \frac{2}{3} \cdot CWD^{3/2} \sqrt{2g} \qquad \text{<==== Free Overfall}$$



Free Overfall Weir

2. ในกรณีที่น้ำไหลข้ามฝายไปแล้ว ระดับน้ำด้านท้ายฝายอยู่สูงกว่าระดับสันฝาย ฝายในสภาพเช่นนี้เรียกว่า Submerged Overfall Weirs หรือ Submerged Weirs สูตรใช้ในการคำนวณคือ

$$Q = CW\sqrt{2gH}(D - H/3) \qquad \text{<=====Submerged}$$



Submerged Weir

เมื่อ

Q	=	ปริมาณน้ำสูงสุดที่ไหลข้ามฝาย (เมตร^3/วินาที)
W	=	ความยาวของสันฝาย (เมตร)
C	=	สัมประสิทธิ์ของสันฝาย มีค่าประมาณ 0.6 - 0.7
g	=	9.81 (เมตร/วินาที/วินาที)
H	=	ระยะต่างระหว่างระดับน้ำเหนือและท้ายฝาย(afflux)เมตร
D	=	ความลึกของน้ำบนสันฝายเป็น เมตร

จากสูตรในกรณีที่ 2 นี้จะเห็นว่ามีสิ่งที่ทราบค่าแล้วคือ 1) Q คือปริมาณน้ำมากที่สุดซึ่งจะต้องทราบมาก่อน รวมทั้งต้องทราบระดับน้ำสูงสุดตามธรรมชาติในลำน้ำตรงที่สร้างฝาย เมื่อมีปริมาณน้ำมากที่สุดไหลผ่านดังกล่าวมาแล้วข้างต้น 2) C มีค่าประมาณ 0.60 ถึง 0.70 แล้วแต่ลักษณะของสันฝายแต่โดยทั่วไปใช้ C= 0.65 3) W คือความยาวของสันฝายนี้ผู้ออกแบบเป็นผู้กำหนดว่าจะให้ยาวเท่าไร 4) g = 9.81 m/sec/sec ดังนั้นจึงมีสิ่งที่ยังไม่ทราบอีก 2 อย่างคือ D และ H แต่เนื่องจากผู้ออกแบบจะต้องกำหนดระดับสันฝายขึ้น จึงทำให้ทราบระยะ D-H เพราะทราบระดับน้ำสูงสุดตามธรรมชาติ ในลำน้ำตรงที่สร้างฝายอยู่ก่อนแล้ว เพราะฉะนั้น D และ H นี้ เมื่อทราบค่าตัวใดตัวหนึ่งแล้วจะทราบค่าอีกตัวหนึ่งได้ทันที เช่น ระดับสันฝาย + 100.00 ร.ท.กระดับน้ำสูงสุดตามธรรมชาติตรงที่สร้างฝาย + 101.500 ร.ท.ก. ดังนั้น D-H = 101.500 - 100.000 = 1.50 เมตรถ้า D = 2.10 เมตร จะทราบได้ทันทีว่า H = 2.10 - 1.50 = 0.60 เมตร เพราะฉะนั้นในการหาค่าของ D และ H จึงต้องใช้วิธีสมมติค่าของ D ขึ้น แล้วจะได้ค่าของ H ตามมา ต่อจากนั้นจึงคำนวณค่าของ $CW\sqrt{2gH}\,(D-H/3)$ คือด้านขวามือของสมการ ถ้าผลของการคำนวณไม่เท่ากับค่าของ Q ทางด้านซ้ายมือของสมการแสดงว่าค่าของ D ที่สมมตินั้นไม่ถูกต้อง ต้องสมมติค่าของ D ใหม่จนกว่าผลของการคำนวณจะเท่ากับค่าของ Q ซึ่งแสดงว่าค่าของ D ที่สมมตินั้นถูกต้องแล้ว

เมื่อได้ค่าของ D ที่ถูกต้องแล้วก็จะทราบระดับน้ำเหนือสันฝายและพิจารณาได้ว่า ระดับน้ำนั้นมีอิทธิพลทำให้เกิดน้ำท่วมพื้นดินสองฝั่งทางด้านเหนือของฝายได้เพียงไร ถ้าน้ำท่วมลึกมากจะต้องเปลี่ยนแปลงส่วนสัดของฝายบางอย่างหรือหาวิธีป้องกันความเสียหายโดยวิธีใดวิธีหนึ่งดังต่อไปนี้

ก. ถ้ามีที่พอ อาจขยายความยาวของสันฝาย (W) ออกไปอีก การขยายความยาวของสันฝายทำให้น้ำไหลข้ามฝายได้มากขึ้น การเอ่อท้นของน้ำจะลดลง

ข. ลดระดับสันฝายให้ต่ำลงอีก การลดระดับสันฝายลงจะทำให้น้ำไหลข้ามฝายได้มากขึ้น ความสูงของ Afflux จะลดลง

ค. สร้างคันกั้นน้ำ (Flood Protective Dikes) บนสองฝั่งแม่น้ำจากปีกฝายทั้งสองข้างยาวขึ้นไปทางด้านเหนือน้ำของฝายจนสุดเขต Backwater Curve ซึ่งเกิดจากอิทธิพลของ Afflux

การเลือกใช้วิธีใดนั้นย่อมแล้วแต่สภาพของงานและค่าลงทุนก่อสร้าง

ตัวอย่าง 1: กำหนดให้:

ระดับสันฝาย + 50.000 ร.ท.ก.

ระดับน้ำด้านเหนือฝาย + 52.000 ร.ท.ก.

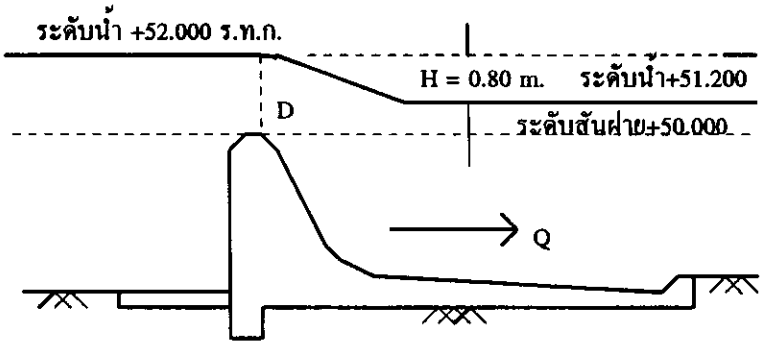
ระดับน้ำด้านท้ายฝาย + 51.200 ร.ท.ก.

C = 0.65

W = 20.00 เมตร

g = 9.81 เมตร/วินาที/วินาที

ให้คำนวณปริมาณน้ำที่ไหลข้ามฝาย



Submerged Weir

จากรูปฝายมีสภาพเป็น submerged weir

สูตร $Q = CW\sqrt{2gH}\,(D - H/3)$

C = 0.65

W = 20.00 เมตร

g = 9.81 เมตร

H = 52.000 - 51.200 = 0.80 เมตร

D = 52.000 - 50.000 = 2.00 เมตร

$Q = 0.65 \times 20\sqrt{2 \times 9.81 \times 0.80} \times (2.00 - 0.80/3)$

$= 0.65 \times 20\sqrt{2 \times 9.81} \times \sqrt{0.80} \times (200 - 0.80/3)$

$= 0.65 \times 20 \times 4.43 \times 0.894 \times 1.733$

$= 89.244$ ม.^{3}/วินาที <=====

ตัวอย่าง 2: กำหนดให้:

ปริมาณน้ำที่ไหลข้ามฝาย (Q) = 149.600 เมตร^3/วินาที

ระดับน้ำด้านท้ายฝาย + 60.500 ร.ท.ก.

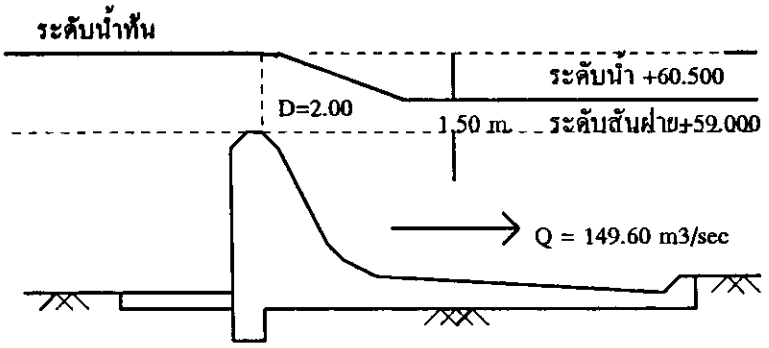
ระดับสันฝาย + 59.000 ร.ท.ก.

C = 0.65

W = 30.00 เมตร

g = 9.81 เมตร/วินาที/วินาที

ให้หาระดับน้ำเหนือสันฝาย



Submerged Weir

เพราะว่าฝายมีสภาพเป็น submerged weir

สูตร: $Q = CW\sqrt{2gH}\,(D - H/3)$

สมมติ D = 2.00 เมตร

H = 2.00 - 1.50 = 0.50 เมตร

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

= $0.65\times30\times4.43\times0.707\times1.833$

= 112<149.600 เมตร^3/วินาที

แสดงว่า สมมติค่าของ D น้อยไป

สมมติ D = 2.50 เมตร

สมมติ D = 2.50 เมตร

H = 2.50-1.50 = 1.00 เมตร

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

= $0.65\times30\times4.43\times1.00\times2.167$

= 187> 149.600 เมตร^3/วินาที

แสดงว่าสมมติค่าของ D มากไป

สมมติ D = 2.25 เมตร

H = 2.25-1.50 = 0.75 เมตร

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

= $0.75\times30\times4.43\times0.866\times2.00$

= 149.600 เมตร^3/วินาที

แสดงว่าสมมติค่าของ D ถูกต้องแล้ว

เพราะแะนั้นระดับน้ำเหนือสันฝาย = 59.00 + 2.25 = + 61.250 ร.ท.ก.

<u>ตัวอย่างที่ 3:</u>

กำหนดให้:

ปริมาณน้ำที่ไหลข้ามฝาย (Q) = 153.000 เมตร^3/วินาที

ระดับสันฝาย + 52.000 ร.ท.ก.

ระดับท้องลำน้ำด้านท้ายฝาย + 50.000 ร.ท.ก.

C = 0.65

W = 28.00 เมตร

g = 9.81 เมตร/วินาที/วินาที

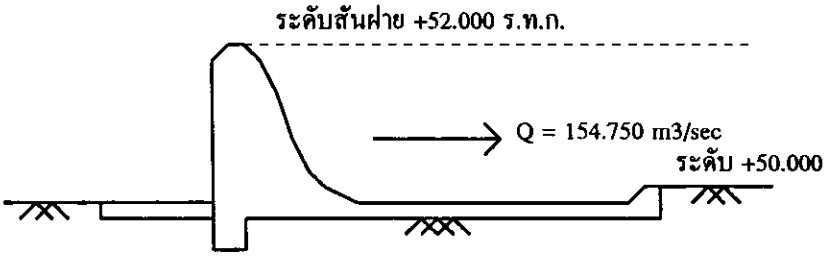
ความกว้างของท้องลำน้ำด้านท้ายฝาย (b) = 24.00 เมตร

ลาดตลิ่งของลำน้ำด้านท้ายฝาย (Ss) = 1:1

roughness coefficient ของลำน้ำ (n) = 0.025

ลาดผิวน้ำของลำน้ำด้านท้ายฝาย (S) = 1:4,000

ให้หาระดับน้ำเหนือสันฝาย



จาก Data ที่กำหนดให้เราไม่ทราบระดับน้ำด้านท้ายฝาย จึงต้องคำนวณดูว่าถ้าปริมาณน้ำ 153.000 เมตร^3/วินาที ไหลข้ามฝายไปแล้ว ระดับน้ำด้านท้ายฝายจุอยู่ที่ใด และจะทราบว่าในขณะนั้นฝายมีสภาพเป็น Submerged weir หรือ Free overfall weir แล้วจึงคำนวณระดับน้ำเหนือสันฝายต่อไป

<u>การหาระดับน้ำด้านท้ายฝาย</u>

จาก Data:

ความกว้างของท้องลำน้ำด้านท้ายฝาย (b) = 24.00 เมตร

ลาดตลิ่งของลำน้ำด้านท้ายฝาย (Ss) = 1:1

สมมติ ความลึกของน้ำในลำน้ำด้านท้ายฝาย (d) = 4.00 เมตร

A = (b+d)d

= (24.00+4.00) 4.00

= 112.000 เมตร^2

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

= 24.00+2(4.00)(1.414)

= 35.312 เมตร

R = A/P

= 112.000/35.312

= 3.172 เมตร

$R^{2/3}$ = 2.159

จาก Manning's Formula:

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

$$= \frac{1}{0.025} \cdot (2.159) \cdot \left(\frac{1}{4000}\right)^{1/2}$$

$$= 1.365 \text{ เมตร/วินาที}$$

$$Q = AV$$

$$= 112.000 \times 1.365$$

$$= 152.88 \text{ เมตร}^3\text{/วินาที ใกล้เคียงกับ } 153.00 \text{ เมตร}^3\text{/วินาที}$$

ใช้ได้และแสดงว่า d = 4.00 เมตร ที่สมมตินั้นถูกต้องแล้ว

(ในการคำนวณอาจต้องสมมติค่าของ d หลายครั้งจนกว่าจะได้ค่าของ Q เท่าที่กำหนด ให้ตามตัวอย่างนี้ได้นำค่าของ d ที่สมมติถูกต้องมาแสดงให้เห็นเท่านั้น)

ดังนั้น ระดับน้ำด้านท้ายฝาย = 50.000 + 4.000

= + 54.000 ร.ท.ก.

ซึ่งสูงกว่าระดับสันฝาย

เพราะฉะนั้น ในขณะที่ปริมาณน้ำ 153.00 เมตร^3/วินาที ไหลข้ามฝาย ฝายจะมีสภาพเป็น submerged weir

สูตร :

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

สมมติ D = 2.62 เมตร

$H = 2.62 - 2.00$

$= 0.62$ เมตร

$\sqrt{H} = \sqrt{0.62} = 0.787$

$D-H/3 = 2.62 - 0.62/3 = 2.413$ เมตร

$Q = 0.65 \times 28 \times 4.43 \times 0.787 \times 2.413$

$=153.11$ เมตร^3/วินาที ใกล้เคียงกับ 153.00 เมตร^3/วินาที

O.K.

(การคำนวณข้างบนนี้ได้นำค่าของ D ที่สมมติถูกต้องมาแสงดให้เห็นเท่านั้น)

ดังนั้นระดับน้ำเหนือสันฝาย = 52.000 + 2.62= 54.620 ร.ท.ก. <=====

ตัวอย่าง 4: กำหนดให้ :

ระดับสันฝาย + 60.000 ร.ท.ก.

ระดับน้ำด้านเหนือฝาย + 60.800 ร.ท.ก.

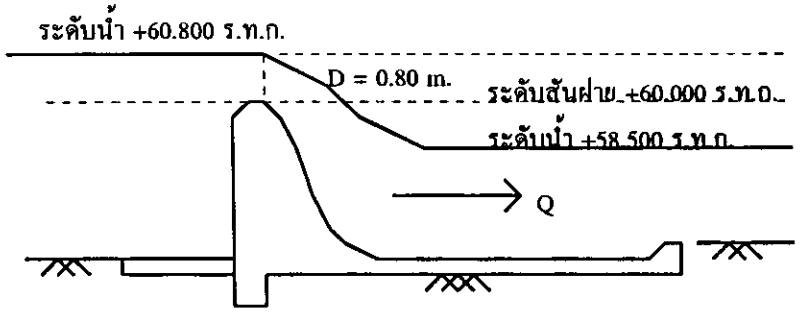
ระดับน้ำด้านท้ายฝาย + 58.500 ร.ท.ก.

C = 0.65

W = 20.00 เมตร

g = 9.81 เมตร/วินาที/วินาที

ให้คำนวณปริมาณน้ำที่ไหลข้ามฝาย



เพราะว่าฝายมีสภาพเป็น free overfall weir

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

C = 0.65

W = 20.00 เมตร

D = 0.80 เมตร

g = 9.81 เมตร/วินาที/วินาที

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

$$= \frac{2}{3} \times 0.65 \times 20 \times 0.716 \times 4.43$$

= 27.490 ม.^{3}/วินาที <=====

ตัวอย่าง 5: กำหนดให้ :

ปริมาณน้ำที่ไหลข้ามฝาย (Q) = ~~4.130~~ 4.30 เมตร^3/วินาที

ระดับสันฝาย + 60.000 ร.ท.ก.

ระดับท้องลำน้ำด้านท้ายฝาย + 58.000 ร.ท.ก.

C = 0.65

W = 20.00 เมตร

g = 9.81 เมตร/วินาที/วินาที

ความกว้างของท้องลำนำด้านท้ายฝาย (b) = 16.00 เมตร

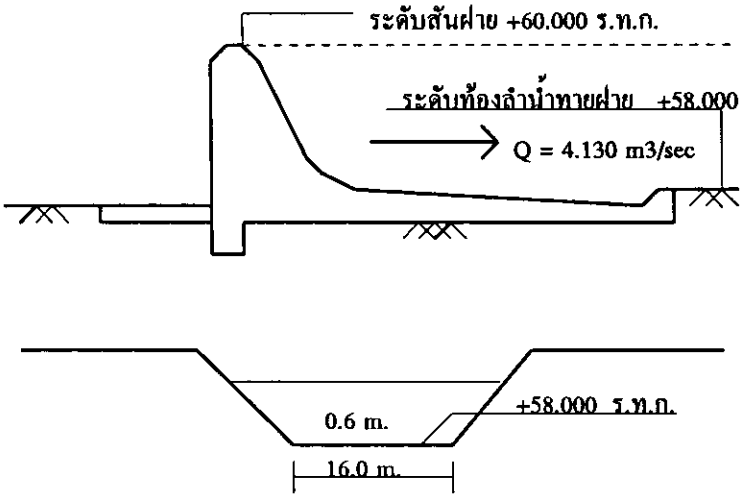
ลาดตลิ่งของลำน้ำด้านท้ายฝาย (Ss) = 1:1

Roughness Coefficient ของลำน้ำ (n) = 0.025

ลาดผิวน้ำของลำน้ำด้านท้ายฝาย (S) = 1:4,000

ให้หาระดับน้ำเหนือสันฝาย

จาก Data ที่กำหนดให้ ยังไม่ทราบระดับน้ำด้านท้ายฝาย จึงต้องคำนวณเช่นเดียวกับตัวอย่าง 3



การหาระดับด้านท้ายฝาย

จาก Data:

ความกว้างของท้องลำน้ำด้านท้ายฝาย (b) = 16.00 เมตร

ลาดตลิ่งของลำน้ำด้านท้ายฝาย (Ss) = 1:1

สมมติความลึกของน้ำในลำน้ำด้านท้ายฝาย (d) = 0.60 เมตร

$A = (b+d)d$

$= (16.00 + 0.60)0.60$

$= 9.960$ เมตร^2

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

$= 16.00+2(0.60)(1.414)$

$= 17.697$ เมตร

$R = A/P$

$= \frac{9.960}{17.697}$

$= 0.562$ เมตร

$R^{2/3} = (0.562)^{2/3}$

$= 0.681$

จาก Manning's formula

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

$= \frac{1}{0.025}.(0.681).(\frac{1}{4000})^{1/2}$

$= 40 \times 0.681 \times 0.0158$

$= 0.430$ เมตร/วินาที

$Q = AV$

$= 9.960 \times 0.43$

$= 4.283$ เมตร^3/วินาที ใกล้เคียงกับ 4.30 ม^3/วินาที

แสดงว่า d= 0.60 เมตรที่สมมตินั้นถูกต้องแล้ว

ดังนั้น เมื่อปริมาณน้ำ 4.130 เมตร^3/วินาที ไหลข้ามฝายไปแล้วจะทำให้มีน้ำในลำน้ำด้านท้ายฝายลึก 0.60 เมตร เพราะฉะนั้นระดับน้ำในลำน้ำด้านท้ายฝายจะอยู่ที่ 58.000 + 0.600 หรือ + 58.000 ร.ท.ก. ซึ่งต่ำกว่าระดับสันฝาย ในขณะนั้นฝายมีสภาพเป็น Free overfall weir

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

$Q = 4.130$ เมตร^3/วินาที

$C = 0.65$

$W = 20.00$ เมตร

$g = 9.81$ เมตร/วินาที/วินาที

แทนค่า $4.130 = \frac{2}{3} \times 0.65 \times 20 \times D^{2/3} \times \sqrt{2 \times 9.81}$

$$D^{2/3} = \frac{4.130 \times 3}{2 \times 0.65 \times 20 \times 4.43}$$

$= 0.107$

$D = (0.107)^{2/3}$

$= 0.226$ เมตร

ดังนั้น ระดับน้ำเหนือสันฝาย $= 60.000 + 0.226$

$= +60.226$ ร.ท.ก. <=====

บทที่ 3
อาคารประกอบหัวงาน

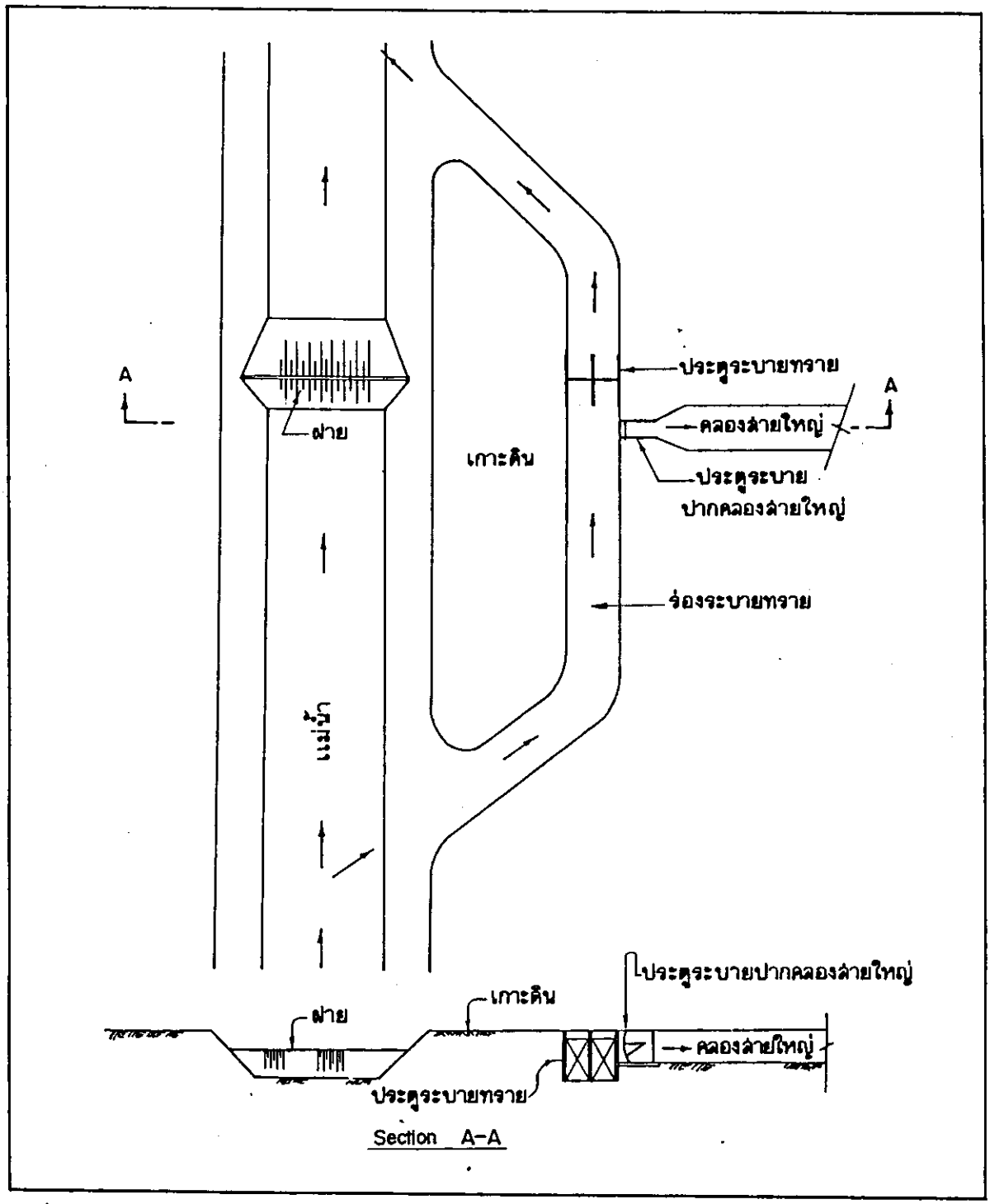
อาคารประกอบหัวงาน (appurtenant structures) เป็นอาคารที่สร้างขึ้นในบริเวณหัวงาน ทำหน้าที่ช่วยเสริมให้อาคารหัวงานทำงานอย่างมีประสิทธิภาพหรือช่วยลดปัญหาความเดือดร้อนอันเกิด จากการสร้างอาคารขวางทางน้ำอาคารประกอบที่สำคัญมีดังนี้คือ

3.1. ประตูระบายทราย (sand sluices, scouring sluices)

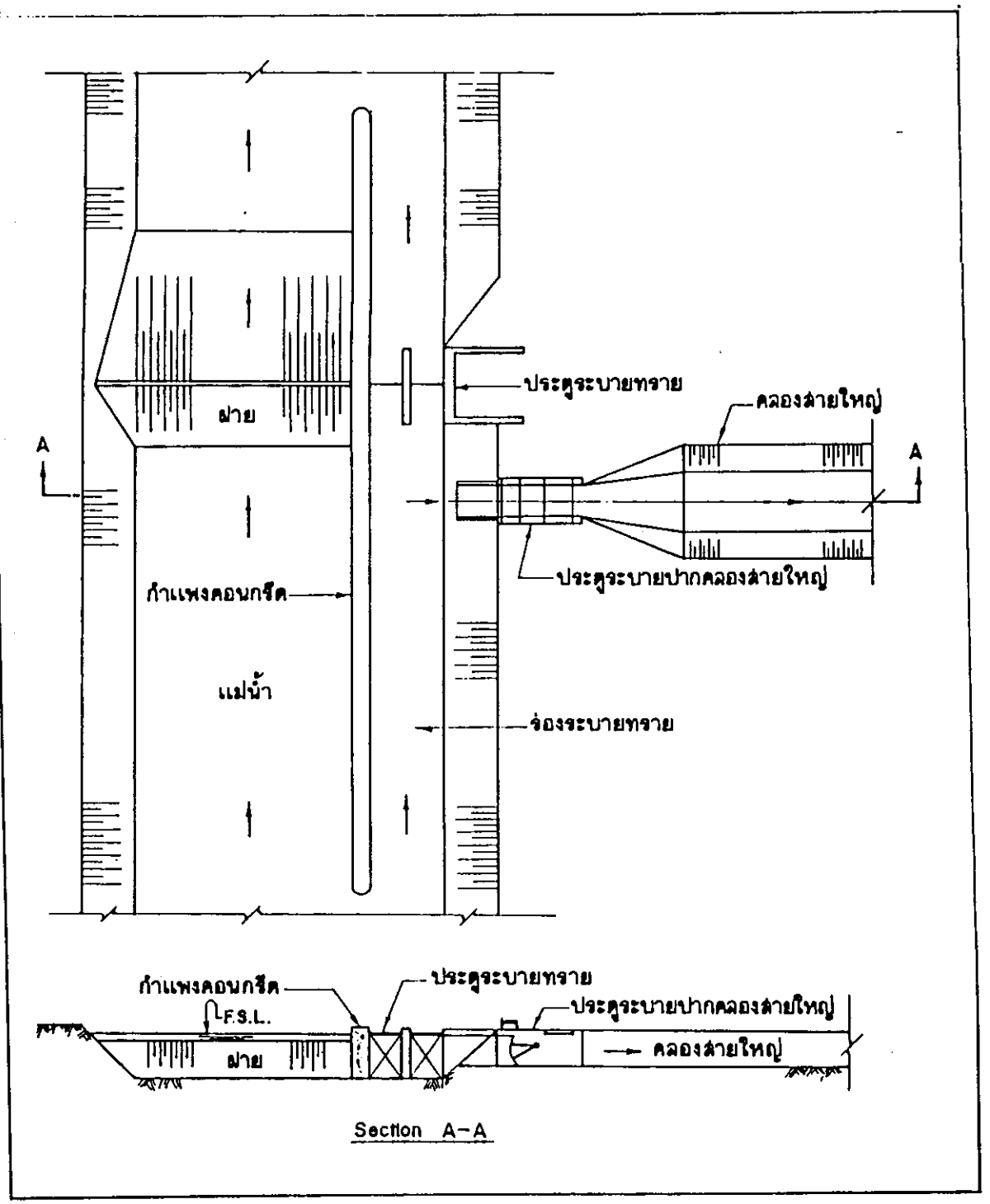
เป็นอาคารที่สร้างประกอบฝาย โดยปกติสร้างไว้ข้างฝายในแนวเดียวกับสันฝาย แต่บางทีจะสร้างไว้ที่ตัวฝายเลยก็ได้

ประตูระบายทรายมีลักษณะเช่นเดียวกับประตูระบายทั่วไป คือประกอบด้วยตอม่อและช่อง ระบายน้ำ มีบานประตู (gates) ซึ่งยกขึ้นและหย่อนลงไดปิดไว้ที่ช่องระบายน้ำ ที่เรียกว่า ประตูระบาย ทรายก็เพราะอาคารชนิดนี้ทำหน้าที่ระบายทรายที่ตกทับถมอยู่ในท้องน้ำด้านเหนือฝายบริเวณหน้าประตู ระบายปากคลองสายใหญ่ให้หลุดออกไปสู่ลำน้ำเดิมด้านท้ายฝาย โดยอาศัยความแรงของกระแสน้ำที่ไหลผ่านช่องระบายน้ำพัดพาเอาทรายออกไป ร่องน้ำบริเวณหน้าประตูระบายปากคลองสายใหญ่จึงลึกอยู่เสมอ ทรายก็จะไม่หลุดเข้าไปในคลอง การยกบานประตูเพื่อระบายทราย จะทำเป็นครั้งคราวเมื่อ พบว่าตะกอนที่ตกจมอยู่หน้าฝายสูงถึงระดับ ที่อาจจะไหลเข้าคลองส่งน้ำทั้งนี้จะต้องมีการวัดระดับตะกอน หน้าฝายอยู่เป็นประจำ

ฝายขนาดใหญ่ทุกแห่งควรต้องมีประตูระบายทรายสร้างประกอบไว้เพราะน้ำจะกัดพาเอา กรวดทรายมาติดฝายและทับถมกันมากขึ้นทุกที จนหลุดเข้าไปในคลองสายใหญ่และทำให้คลองตื้นเขินอย่างรวดเร็ว ทำให้ความจุของคลองลดน้อยลง คลองจะส่งน้ำไม่ได้ตามปริมาณน้ำที่ต้องการ และต้องเสีย ค่าขุดลอกคลองด้วย ฝายบางแห่งที่ไม่มีประตูระบายทรายนั้น อาจเป็นเพราะในลำน้ำมีกรวดทรายไหลมา น้อยมากระดับก้นคลองสายใหญ่อยู่สูงกว่าระดับสันฝาย หรือผู้ออกแบบกำหนดที่ตั้งของประตูระบายปากคลองสายใหญ่ไว้ห่างจากฝายมาก จนพ้นอิทธิพลของการตกจมของกรวดทรายในในลำน้ำ หรือเป็นฝายไม่ถาวรขนาดเล็ก



รูปที่ 3.1 การแบ่งกั้นฝายและประตูระบายทรายด้วยเกาะดิน



รูปที่ 3.2 การแบ่งกั้นฝายและประตูระบายทรายด้วยกำแพงคอนกรีต

ประตูระบายทรายนอกจากทำหน้าที่ระบายทรายแล้วยังช่วยระบายน้ำที่หลากมาเป็นครั้ง คราวซึ่งมีปริมาณน้ำไม่มากนักได้ด้วย การช่วยระบายน้ำทางประตูระบายทรายนี้มีประโยชน์มาก สำหรับฝายที่มีการเสริมสันฝายให้สูงขึ้นอีกได้ เพราะทำให้ระดับน้ำที่ไหลล้นข้ามฝายไม่ค่อยขึ้นสูงอย่างรวดเร็ว จึงไม่ต้องลดระดับสันฝายที่เสริมไว้บ่อยๆ

ถ้าอาคารทดน้ำของหัวงานเป็นเขื่อนระบายน้ำก็ไม่จำต้องสร้างประตูระบายทราย เพราะเขื่อน ระบายน้ำจะระบายทรายที่ติดอยู่หน้าเขื่อนหลุดออกไปได้เองเมื่อยกบานประตูขึ้นจากธรณีเขื่อน

3.2. ร่องระบายทราย (Sluiceway Channels)

ถึงแม้ว่าประตูระบายทรายจะสร้างไว้ติดกับฝาย แต่ถ้าไม่จำกัดขอบเขตการระบายทราย ประตูระบายทรายก็ไม่สามารถระบายทรายข้างหน้าประตูระบายปากคลองสายใหญ่ออกไปได้หมด เพราะทรายที่ตกทับถมด้านเหนือฝายมีมากจะไหลเลื่อนมาแทนที่ทรายที่ระบายออกไปแล้วอยู่ตลอดเวลา เพราะฉะนั้นจึงต้องมีสิ่งแบ่งกั้นระหว่างฝายและประตูระบายทรายให้เกิดเป็นร่องน้ำ อันเป็นขอบเขตที่ ไประตูระบายทรายจะต้องรักษาให้ลึกอยู่เสมอ ร่องน้ำนี้เรียกว่า ร่องระบายทราย ทรายที่ตกทับถมด้านเหนือฝายจะไหลเลื่อนมาสู่ร่องระบายทรายไม่ได้ เพราะจะติดสิ่งแบ่งกั้นที่ทำไว้ สิ่งแบ่งกันนี้ทำได้ 2 อย่าง คือ

เกาะดิน (Division Dike)

ฝายและประตูระบายทรายจะสร้างไว้ห่างกันโดยมีเกาะดินคั่นกลางดังเช่นที่หัวงานของโครงการชลประทานแม่แฝกและโครงการชลประทานแม่วัง เป็นต้น เกาะดินนี้กว้างประมาณ 20 เมตร ยาว จากประตูระบายทรายขึ้นไปทางด้านเหนือน้ำประมาณ 70 เมตร แต่ไม่จำเป็นต้องยาวไปทางด้านท้ายน้ำ มากนัก

กำแพงคอนกรีต (Concrete Division Wall)

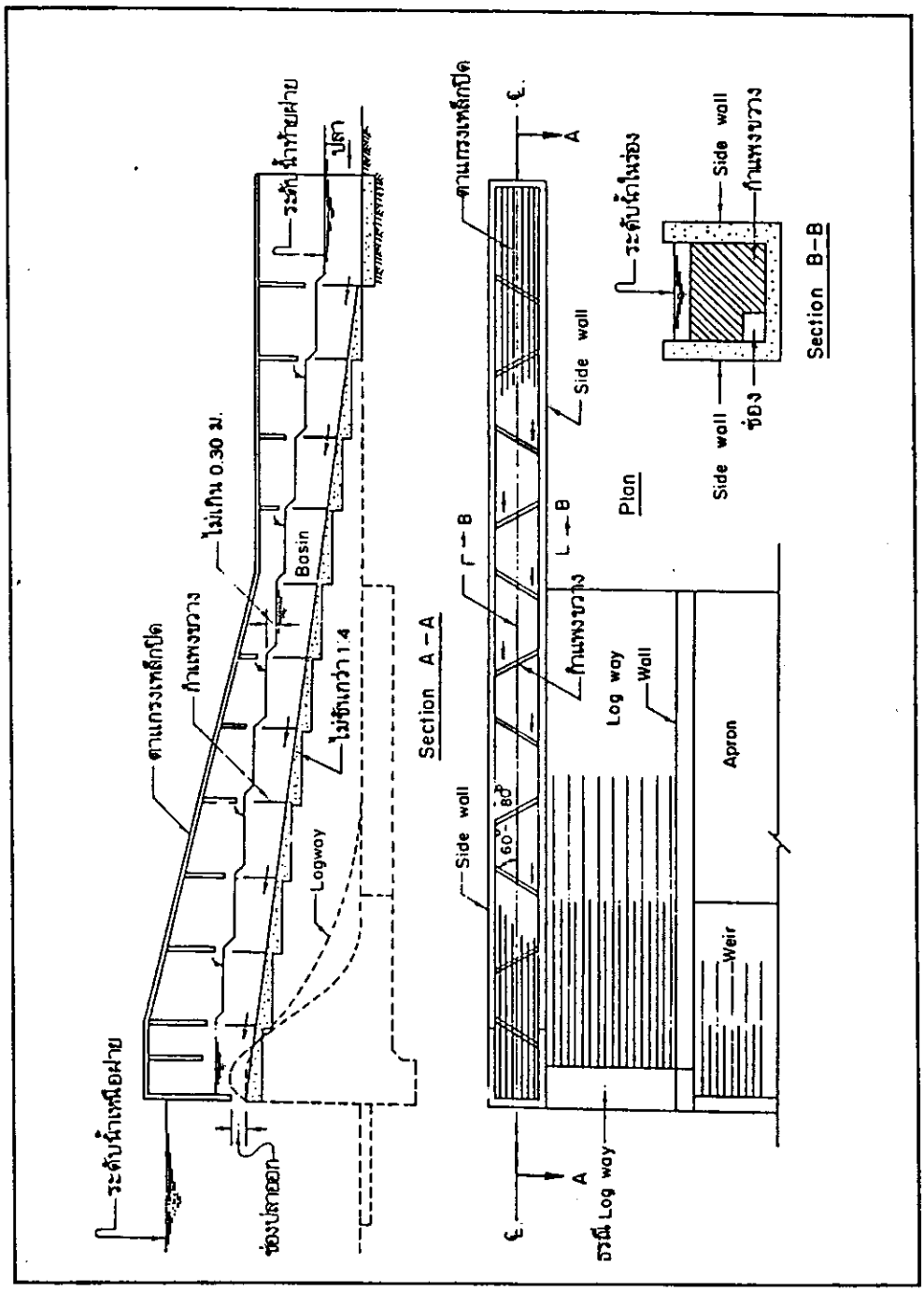
ฝายและประตูระบายทรายสร้างไว้ชิดกันโดยมีกำแพงคอนกรีตคั่นกลาง กำแพงคอนกรีตนี้ไม่หนามากนักแต่ต้องสร้างให้ส่วนใหญ่ของกำแพงยาวจากประตูระบายทรายขึ้นไปทางด้านเหนือน้ำเช่นเดียวกับเกาะดินที่หัวงานของโครงการชลประทานแม่ปิงเก่า มีกำแพงคอนกรีตยาวจากประตูระบายทรายขึ้นไปทางด้านเหนือน้ำ 75 เมตร

ตามปกติประตูระบายปากคลองสายใหญ่จะสร้างไว้ที่ริมตลิ่งของร่องระบายทราย และมีระดับธรณีประตูสูงกว่าระดับพื้นร่องระบายทรายประมาณ 1.00-2.00 เมตร เวลาส่งน้ำเข้าคลองน้ำจะไหลผ่านร่องระบายทรายไปก่อนแล้วจึงจะไหปลเข้าประตูระบายปากคลองสายใหญ่ในขณะนั้นประตูระบายทรายต้องปิดสนิท กระแสน้ำที่ไหลเข้ามาในร่องระบายทรายจึงอ่อนกว่ากระแสน้ำในแม่น้ำกรวดทรายที่ไหลมากับน้ำจะตกจมลงในร่องระบายทรายซึ่งในเวลานั้นทำหน้าทีเป็นบ่อดักทราย (sand trap) เมื่อเห็นว่ากรวดทรายตกจมทับถมสูงขึ้นมาจนเกือบถึงระดับธรณีประตูระบายปากคลองสายใหญ่แล้ว จึงปิดประตูระบายปากคลองสายใหญ่หยุดส่งน้ำเข้าคลองชั่วคราว แล้วเปิดประตูระบายทรายให้น้ำพัดพาเอากรวดทรายที่ตกจมอยู่หลุดออกไปสู่ลำน้ำเดิมด้านท้ายฝายจนหมด แล้วจึงปิดประตูระบายทรายและเปิดประตูระบายปากคลองสายใหญ่ทำการส่งน้ำเข้าคลองต่อไปอีก เพราะฉะนั้นการเปิดประตูระบายปากคลองสายใหญ่ และประตูสายใหญ่และประตูระบายทรายจึงต้องทำคนละจังหวะถ้าเปิดพร้อมกันกรวดทรายที่ถูกน้ำกัดพาขึ้นมาจากร่องระบายทราย จะหลุดเข้าไปในคลองสายใหญ่ได้ ร่องระบายทรายนี้ต้องมีขนาดโตกว่าคลองสายใหญ่ และโตพอที่จะทำให้กระแสน้ำที่ไหลผ่านไป ในขณะเปิดประตูระบายทรายแรงจัด แต่ในขณะ ปิดประตูระบายทรายกระแสน้ำในร่องระบายทรายจะอ่อนกว่ากระแสน้ำในแม่น้ำและในคลองสายใหญ่

3.3 บันไดปลา (Fish Ladders)

ในต่างประเทศเช่น สหรัฐอเมริกามีหลายรัฐที่มีกฎหมายบังคับ ให้สร้างบันไดบันไดปลาไว้ที่อาคารปิดกั้นลำน้ำเช่นฝายหรือเขื่อนระบายน้ำน้ำทุกแห่ง เพื่อให้ปลาว่ายขึ้นไปหากินและวางไข่ ขยายพันธุ์ทางด้านเหนือน้ำได้เป็นการสงวนพันธุ์ปลาไว้ตามธรรมชาติ

บันไดปลามีลักษณะเป็นร่องน้ำหรือรางน้ำกว้างประมาณ 1.00-2.00 เมตร สร้างไว้ที่ตัวฝาย มีน้ำในร่องลึกประมาณ 0.75-1.50 เมตร ร่องบันไดปลามีลาดค่อนข้างราบ คือประมาณ 1:4 ถึง 1:6 แต่ไม่ควรชันกว่า 1:4 เพื่อไม่ให้น้ำในร่องไหลแรงเกินไป ในร่องมีกำแพงขวางหรือแผงกั้นไว้เป็นระบะทุก ๆ 1.80-2.00 เมตร ทำให้เกิดเป็นอ่างน้ำ(basins) ขึ้นระหว่างกำแพงขวางหรือขั้นบันไดติดต่อไปตลอดร่อง กำแพงขวางเหล่านี้ไม่ได้ติดตั้งฉากกับกำแพงร่องแต่จะติดเป็นมุม 60°-80°ที่มุมล่างข้างหนึ่งของกำแพง



รูปที่ 3.3 บันไดปลาและทางชุง

ขวางแต่ละอันจะเจาะช่องไว้ให้ปลาว่ายทะลุผ่านไปได้ ช่องเหล่านี้จะเจาะสลับข้างกันเพื่อไม่ให้น้ำไหลผ่านช่องได้แรงตลอดร่อง และทำให้มีน้ำค่อนข้างนิ่งอยู่ที่มุมล่าง อีกข้างหนึ่งที่ไม่ได้เจาะ ปลาจะอาศัยพักเหนื่อยได้ และจะว่ายลดเลี้ยวขึ้นบันไดผ่านทางช่องเหล่านี้ได้ทางหนึ่ง

เพื่อให้มีน้ำไหลเต็มร่องบันไดปลา ในระหว่างขั้นบันได ช่องที่เจาะไว้ที่กำแพงขวางอันแรก ที่หัวร่องบันไดปลาจะโตที่สุดแล้วค่อยๆเล็กลงจนเล็กที่สุดที่กำแพงขวางอันสุดท้ายที่ปลายร่อง เช่นขนาด 0.50 x 0.50 เมตร ลงไปจนถึงขนาด 0.30 x 0.30 เมตร

นอกจากน้ำในร่องบันไดปลาจะไหลผ่านทางช่องที่เจาะไว้ที่กำแพงขวางแล้ว น้ำยังไหลล้นข้ามหลังกำแพงขวางไปเป็นชั้นๆ ด้วย ความแตกต่างของระดับน้ำระหว่างขั้นบันไดจะบังคับ อัตราเร็วของน้ำที่ไหลในร่อง ซึ่งไม่ควรให้เร็วกว่า 0.50 เมตร/วินาที ดังนั้นความแตกต่างของระดับน้ำระหว่างขั้นบันไดจึงควรน้อยที่สุด ซึ่งโดยปกติไม่ควรเกิน 0.30 เมตร ปลาอาจขึ้นบันไดโดยกระโดดข้ามขั้นบันไดไปได้อีกทางหนึ่ง บันไดปลานี้ควรมีตะแกรงหรือลวดตาข่ายปิดไว้เพื่อป้องกันศัตรูของปลาเช่น เหยี่ยวและสัตว์กินปลาต่างๆ แต่ต้องไม่ปิดมืด มิฉะนั้นปลาจะไม่ว่ายน้ำขึ้นบันได

ในปัจจุบันยังไม่มีกฎหมายบังคับให้ต้องสร้างบันไดปลาประกอบอาคารทดน้ำทุกแห่ง แต่ก็มีสร้างไว้ที่ฝายและเขื่อนระบายน้ำบางแห่งบ้างเหมือนกัน อย่างไรก็ดีหัวงานของโครงการชลประทานในปัจจุบันมักจะไม่มีบันไดปลา เพราะลักษณะและนิสัยของปลาในเมืองไทยต่างกับปลาต่างประเทศ การขยายพันธุ์และสิ่งแวดล้อมซึ่งเอื้ออำนวยความสะดวก ในการขยายพันธุ์ก็ไม่เหมือนกัน บันไดปลาจึงมีประโยชน์น้อยและถ้าอาคารทดน้ำเป็นเขื่อนระบายน้ำด้วยแล้ว การติดตั้งบันไดปลาค่อนข้างจะลำบากและเป็นอุปสรรคต่อการระบายน้ำผ่านเขื่อนด้วย เพราะฉะนั้นเขื่อนระบายน้ำเกือบทั้งหมดที่สร้างในประเทศไทยจึงไม่มีบันไดปลา ที่เคยมีก็เลิกใช้ไปในที่สุด

3.4 ทางซุง (logways)

ความจำเป็นที่ต้องสร้างทางซุงไว้ที่ฝายก็เพราะฝายบางแห่งอาจสร้างไว้ในแม่น้ำทางต้นน้ำของลุ่มน้ำซึ่งมีการทำไม้กันมาก เช่น ในภาคเหนือของประเทศไทยซุงที่ตัดไว้ในป่าจะถูกชักลากมายังแม่น้ำ แล้วปล่อยให้ไหลลอยตามน้ำลงมา ถ้าปล่อยให้ไหลลอยตามน้ำลงมา ซุงเหล่านี้จะลอยน้ำมาติดฝายจึงต้องหาวิธีให้ซุงไหลตามน้ำข้ามฝาย

หรือผ่านฝายไปได้หมด ถ้าปล่อยให้ติดแน่นอยู่เหนือฝายแล้วจะเป็นอุปสรรคแก่การสัญจรทางน้ำ น้ำไหลข้ามฝายไม่สะดวก และอาจเกิดอันตรายแก่คันกั้นน้ำหรือตัวฝายได้ ฝายในภาคเหนือของประเทศไทยหลายแห่งมีทางซุงสร้างไว้ด้วย

อย่างไรก็ดี ทางซุงนี้ก็ไม่ใช่สิ่งจำเป็นต้องสร้างไว้ที่ฝายทุกแห่งเสมอไปถ้ามีน้ำไหลในแม่น้ำมาก จนเชื่อได้ว่าจะมีน้ำท่วมสันฝายลึกตลอดเวลาแล้วจะไม่สร้างทางซุงไว้ก็ได้ เพราะซุงจะไหลตามน้ำข้ามฝายไปได้หมด หรือถ้าการขนส่งซุงทางบกทำได้สะดวกและรวดเร็วกว่าการล่องซุงทางน้ำ ก็ไม่จำเป็นต้องสร้างทางซุงไว้ที่ฝาย

ตามปกติทางซุงสร้างขึ้นง่ายๆ โดยลดระดับสันฝายตอนหนึ่งที่อยู่ติดกับบันไดปลาหรือประตูระบายทรายให้ต่ำลงเป็นช่วงสั้น ๆ ด้านข้างของทางซุงเป็นกำแพงสองข้างสร้างขนานกัน จึงอาจใช้กำแพงของบันไดปลาหรือกำแพงริมตลิ่งเป็นกำแพงข้างหนึ่งของทางซุงได้ ถ้าไม่ต้องการเสียน้ำไปตามทางซุงมาก ก็จะต้องสร้างทางซุงให้แคบเท่าที่จะทำได้ และที่ปากทางเข้าทางซุงจะมีบานประตูปิดไว้ ซึ่งจะเปิดต่อเมื่อต้องการระบายซุงเท่านั้น ทางซุงอาจกว้างเพียง 1.80-2.40เมตร แต่ตามปกติจะกว้างประมาณ 6.00-9.00 เมตร ซึ่งแล้วแต่จำนวนและขนาดของซุง ระดับธรณีทางซุงต้องต่ำกว่าระดับสันฝายอย่างน้อยที่สุด 1.20 เมตร เพื่อให้ซุงไหลเข้าได้สะดวก ควรสังเกตว่าเราไม่ต้องการให้น้ำที่ไหลผ่านทางซุงลงไปนั้นเกิด Hydraulic Jump มิฉะนั้นซุงจะไม่ไหลออกจากทางซุงได้

เขื่อนระบายน้ำไม่จำเป็นต้องมีทางซุง เพราะเขื่อนระบายน้ำสร้างในทุ่งราบหรือบริเวณหัวทุ่งราบซึ่งอยู่ทางใต้ของลุ่มน้ำ ก่อนที่ซุงจะลอยน้ำมาถึงเขื่อนระบายน้ำจะถูกเก็บรวบรวมและมัดเป็นแพโดยเรียบร้อย แล้วใช้เรือลากจูงแพซุงเหล่านี้ผ่านเขื่อนระบายน้ำไปทางประตูน้ำ

3.5 ประตูระบายปากคลองสายใหญ่ (Main headgate,Head regurator)

ประตูระบายปากคลองสายใหญ่มีหน้าที่ควบคุมปริมาณน้ำให้ไหลเข้าคลองให้มีปริมาณ ตามต้องการและไม่เกินความจุของคลอง เป็นอาคารสำคัญซึ่งจำเป็นต้องสร้างไว้ที่ปากคลองสายใหญ่ทุกสาย ถ้าไม่มีประตูระบายนี้คอยควบคุมปริมาณน้ำแล้วอาจจะเกิดความเสียหายขึ้นได้หลายประการคือ

1. น้ำจะไหลเข้าคลองสายใหญ่มากเกินปริมาณที่ต้องการใช้ทำการเพาะปลูก ในที่สุดก็ต้องระบายทิ้งไป หรือปล่อยให้รั่วซึมลึกลงไปใต้ดิน เป็นการสูญเสียน้ำโดยไม่ได้ประโยชน์

2. ถ้าน้ำไหลเข้าคลองสายใหญ่มากเกินความจุของคลองจะรับไปได้คลองจะพัง น้ำจะไหลออกทางช่องขาด ทำให้เกิดน้ำท่วมบริเวณช่องขาดเสียหายพื้นที่เพาะปลูกทางปลายคลองจะไม่ได้รับน้ำหรือได้รับน้อยไม่พอใช้ การส่งน้ำจะไม่สะดวก เพราะระดับน้ำในคลองสายใหญ่จะต่ำกว่าระดับน้ำใช้การเต็มที่ (full supply level) ที่กำหนดไว้ และต้องเสียค่าซ่อมแซมคลองด้วย

3. คลองสายใหญ่บางตอนจะตื้นเขิน เพราะดินตัวคลองและคันคลองที่น้ำกัดพังทลายลงมาเนื่องจากน้ำไหลเข้าคลองเกินความจุของคลอง จะตกทับถมอยู่ในคลองนั้น ทำให้คลองสายใหญ่ส่งน้ำไม่ได้ตามปริมาณที่ต้องการ และต้องเสียค่าขุดลอกคลองด้วย

4. น้ำที่ไหลเข้าคลองสายใหญ่มากเกินต้องการ จะทำให้เกิดน้ำท่วมที่ลุ่มในเขตโครงการชลประทาน

5. ประตูระบายปากคลองสายใหญ่บางแห่งป้องกันตะกอนทรายเข้าคลองได้ โดยมีระดับธรณีประตู (sill level) สูงกว่าระดับพื้นประตู (floor level) หรือมีบานประตูเป็นชนิดให้น้ำไหลข้ามสันบาน (Overpour-type Gates) ซึ่งเหมาะกับท้องถิ่นที่มีตะกอนทรายในแม่น้ำมาก ถ้าไม่มีประตูระบายปากคลองสายใหญ่ ตะกอนทรายจะหลุดเข้าคลอง ทำให้คลองตื้นอย่างรวดเร็ว ส่งน้ำไม่ได้ตามปริมาณที่ต้องการและเสียค่าขุดลอกคลอง

ตามปกติประตูระบายปากคลองสายใหญ่จะตั้งอยู่ริมตลิ่งของลำน้ำหรือร่องระบายทราย และให้อยู่ใกล้ประตูระบายทรายหรือเขื่อนระบายน้ำมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ เพื่ออาศัยประตูระบายทรายหรือเขื่อนระบายน้ำช่วยรักษาร่องน้ำ หน้าประตูระบายปากคลองสายใหญ่ให้ลึกอยู่เสมอ ตะกอนทรายในลำน้ำก็จะไม่หลุดเข้าคลอง

ในกรณีที่ต้องขุดคลองสายใหญ่ออกจากแม่น้ำ ห่างจากเขื่อนระบายน้ำ หรือฝายมากและในกรณีที่ไม่มีอาคารทดน้ำ (Inundation Scheme) ประตูระบายปากคลองสายใหญ่จะต้องตั้งอยู่ในบริเวณที่ตลิ่งแม่น้ำมีความมั่นคงแข็งแรง ไม่ควรสร้างประตูระบายปากคลองสายใหญ่บนตลิ่งแม่น้ำที่อยู่ในท้องคุ้ง เพราะน้ำอาจเซาะตลิ่งพังแล้วลุกลามมาถึงที่ตั้งของประตูจนอาจเกิดอันตรายได้ แต่ถ้าจำเป็นต้องสร้างจริง ๆ แล้วจะต้องหาวิธีป้องกันแม่น้ำ เช่น สร้างหลักรอ (Spurs) บังคับให้น้ำไหลเปลี่ยนทิศทางไปกลางแม่น้ำ หรือทำการป้องกันตลิ่ง (Bank protection) อย่างแข็งแรง หรือเลื่อนที่ตั้งประตูระบายปาก

คลองสายใหญ่ให้ลึกเข้าไปจากตลิ่งมากๆ แต่วิธีหลังนี้จะมีตะกอนทรายตกจมในช่วงคลองสายใหญ่จากแม่น้ำถึงประตูปากคลองสายใหญ่ ทำให้ช่วงคลองตอนนี้ตื้นเขินเสมอ ต้องขุลอกหรือสร้างระบายทรายหรือทางทิ้งน้ำ (wasteways) ไว้ทางด้านเหนือใกล้ๆ ประตูระบายปากคลองสายใหญ่นั้นเพื่อระบายทรายลงสู่แม่น้ำ

การสร้างประตูระบายปากคลองสายใหญ่ไว้บนตลิ่งแม่น้ำบริเวณหัวคุ้งย่อมมีความมั่นคงดี เพราะในบริเวณนี้ตลิ่งจะไม่ถูกน้ำกัดเลย แต่จะมีตะกอนทรายตกจมเป็นหาดยื่นออกไปกลางแม่น้ำ จึงต้องคอยขุดลอกบริเวณหน้าประตูบ้าง

การสร้างประตูระบายปากคลองสายใหญ่มีหลักสำคัญที่จะต้องพิจารณา 3 ประการ คือ

1.) ประเภทประตูระบายปากคลองสายใหญ่

2.) ระดับต่าง ๆ ที่เกี่ยวโยงกันที่หัวงาน

3.) ปริมาณน้ำที่จะส่งผ่านประตูระบายปากคลองสายใหญ่เข้าคลองและขนาดของช่องระบายน้ำของประตู

3.5.1 ชนิดของประตูระบายปากคลองสายใหญ่

ประตูระบายปากคลองสายใหญ่เป็นอาคารตัวแรกในระบบส่งน้ำที่จะต้องพิจารณาเลือกใช้ให้เหมาะสมกับสภาพท้องที่ ประตูระบายปากคลองสายใหญ่ที่สร้าง มีลักษณะแตกต่างกันออกไป แต่ก็อาจแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทเท่านั้น คือ

1. <u>ชนิดน้ำไหลข้ามบาน</u> (Overpour-Type Regulators)

คือประตูระบายประเภทมีบานประตูเป็นชนิดให้น้ำไหลข้ามสันบาน บานประตูชนิดนี้อาจเป็นแบบใดแบบหนึ่งดังต่อไปนี้

1.) ไม้กระดานอัดน้ำ (stop planks)

2.) ไม้เหลี่ยมอัดน้ำ (stop logs)

3.) บานประตูหลายบานที่ตั้งซ้อนกัน (sectional gates)

ประตูระบายประเภทนี้เหมาะที่จะสร้างในท้องถิ่นที่มีตะกอนไหลมาในแม่น้ำมาก ตะกอนเหล่านี้แบ่งออกได้เป็น 2 พวกคือ 1) ตะกอนหยาบและหนัก (Bed loads) เช่นกรวดและทรายหยาบซึ่งไหลเลื่อนมาตามท้องน้ำ ถ้าปล่อยให้หลุดเข้าคลองสายใหญ่ได้ คลองจะต้องตื้นอย่างรวดเร็ว แต่เนื่องจากประตูของประตูระบายประเภท Overpour-Type Regulators ปล่อยให้น้ำชั้นบนใกล้ผิวน้ำไหลข้ามสันบานประตูเข้าคลองกรวดและทรายหยาบซึ่งอยู่ในน้ำชั้นล่างจะติดอยู่หน้าบานประตูไม่หลุดเข้าไปในคลองสายใหญ่ได้

2) ตะกอนละเอียดและเบามาก (Suspended load) เช่น ตะกอนดินเหนียวซึ่งลอยตัวอยู่ในน้ำชั้นบน จึงไหลตามน้ำข้ามสันบานประตูเข้าคลองสายใหญ่ไปได้ ตะกอนละเอียดมีอาหารพืชติดมาด้วย ถ้าปล่อยให้ไหลตามน้ำไปสู่แปลงเพาะปลูกได้ จะช่วยเพิ่มความสมบูรณ์ให้แก่ดิน เพราะฉะนั้นคลองส่งน้ำทุกสายจึงต้องมีกระแสน้ำแรงพอที่จะทำให้ตะกอนละเอียดลอยตัวอยู่ได้ตลอดทางจนกว่าจะไปถึงแปลงเพาะปลูก และคลองจะไม่ตื้นเขินเพราะตะกอนละเอียดด้วย

ชนิดน้ำไหลข้ามบาน (Overpour-Type Regurators)

ข้อดี (Advantages)

1. ป้องกันไม่ให้คลองสายใหญ่ตื้นเพราะตะกอนหยาบเข้าคลองได้ดีเนื่องจากน้ำตอนผิวบนเท่านั้นที่ไหลเข้าคลอง

2. ค่าก่อสร้างค่อนข้างถูก

ข้อเสีย (Disadvantages)

1. ไม่สะดวกต่อการปิดเปิดบานประตูเพราะปิดยาก และในขณะที่ต้องการเปิดหรือยกบานขึ้นนั้นถ้ามีน้ำท่วมสันบานลึกจะยกขึ้นได้ยากเพราะมองไม่เห็นบานซึ่งจมอยู่ใต้น้ำ

2. บานประตูของประตูระบายประเภทนี้ไม่มีอุปกรณ์ช่วยลด friction ระหว่างผิวบานกับร่องบาน (grooves) ที่ตอม่อ จึงเปิดบานได้ช้าและลำบาก

3. น้ำรั่วผ่านช่องว่างระหว่างผิวบานประตูได้ง่ายเพราะยากที่จะให้ไม้ที่ใช้ทำบานแต่ละแผ่นหรือแต่ละบานลงไปทับกันได้แนบสนิทในน้ำ

4. บานประตูรับแรงดันของน้ำได้น้อย ประตูระบายประเภทนี้จึงเป็นประตูขนาดเล็กเสียโดยมาก

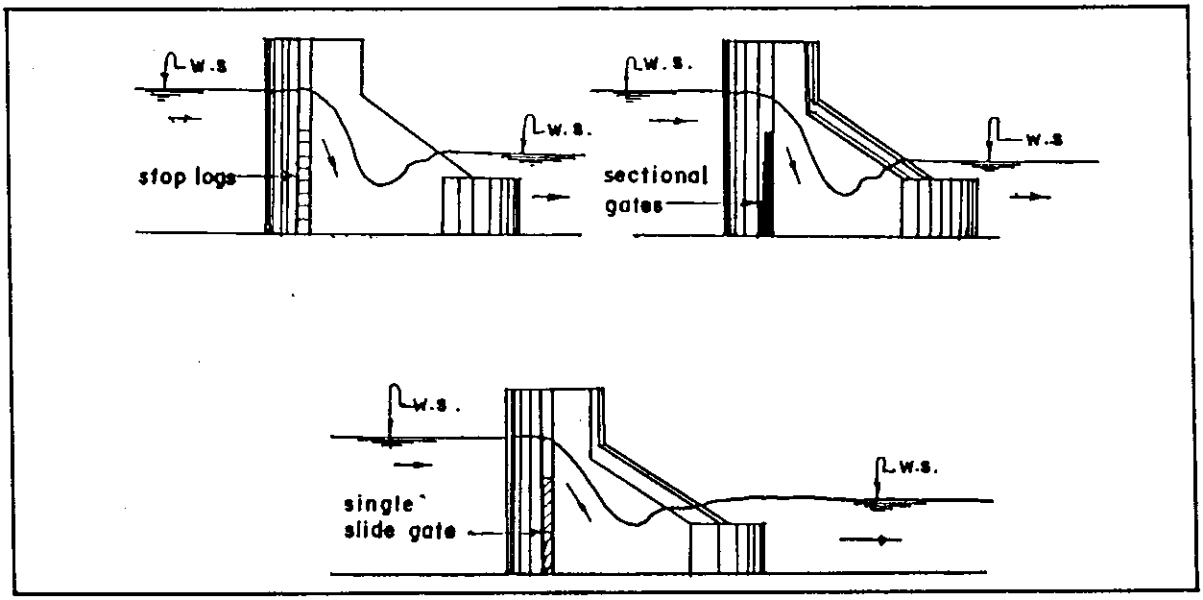
2. <u>ชนิดน้ำไหลออดบาน</u> (Undershot-Type Regulators)

คือประตูระบายประเภทมีบานประตูเป็นชนิดให้น้ำไหลลอดใต้บาน บานประตูของประตูระบายประเภทนี้อาจเป็นแบบใดแบบหนึ่งดังต่อไปนี้

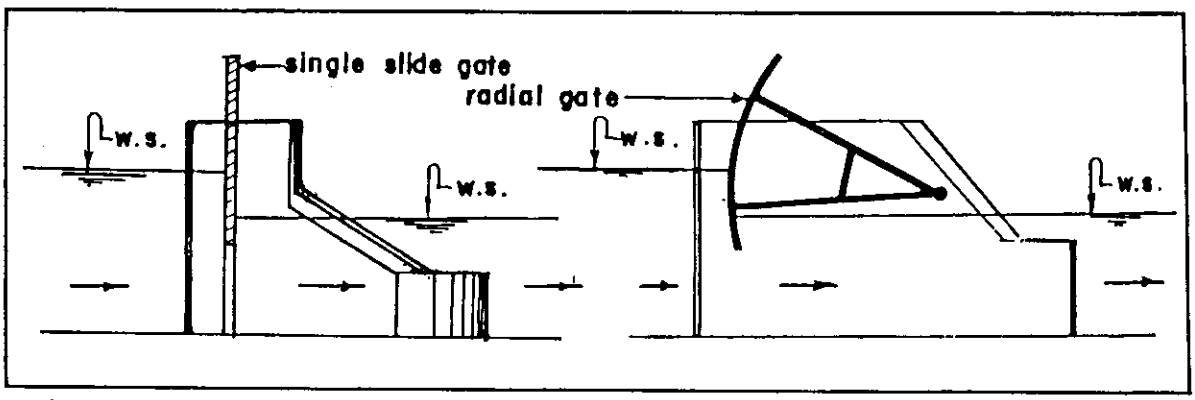
1.) บานประตูเดี่ยวซึ่งชักขึ้นและหย่อนลงได้ (Single Slide Gates)

2.) บานประตูรูปโค้ง (Radial Gates)

ประตูระบายประเภทนี้เหมาะที่จะสร้างในท้องถิ่นซึ่งมีตะกอนไหลมาในแม่น้ำน้อย แม้จะเป็นการส่งน้ำให้น้ำตอนล่างไหลลอดใต้บานประตูเข้าคลองสายใหญ่ ตะกอนในน้ำซึ่งมีอยู่น้อยจะไม่ทำให้คลองตื้นเท่าไรนัก อย่างไรก็ตามถ้าได้แก้ไขการออก



รูปที่ 3.4 ประตูระบายชนิดน้ำไหลข้ามสันบาน



รูปที่ 3.5 ประตูระบายชนิดน้ำไหลลอดสันบาน

แบบบ้างแล้ว ประตูระบายประเภทนี้ก็ยังใช้ในท้องถิ่นที่มีตะกอนไหลมาในแม่น้ำมากได้ การแก้ไขจะทำได้ด้วยวิธีต่อไปนี้

ก. ยกระดับธรณีประตูระบายปากคลองสายใหญ่ให้สูงกว่าระดับร่องระบายทรายให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ หรือ

ข. ถ้าหากสภาพไม่อำนวยให้ทำตามข้อ ก.ได้ ก็ใช้วิธีเสริมระดับธรณีประตูระบายปากคลองสายใหญ่ให้สูงขึ้นอีก

สำหรับช่องระบายน้ำระหว่างตอม่อนั้น ถ้าเป็นประตูระบาย ประเภท Overpour-type Regulators จะเปิดโล่งตลอดถึงระดับตลิ่ง แต่ถ้าเป็นประเภท Undershot-type Regulators ช่องระบายน้ำตอนบนมักจะทำเป็นกำแพงขวาง (Diaphragm wall) ปิดไว้หรือถมดินปิดตาย หรือจะเปิดโล่ง ตลอดถึงระดับตลิ่งก็ได้

คันดินปิดตายหรือ Disaphragm wall จะขวางกั้นน้ำและปล่อยให้น้ำไหลเข้าคลองสายใหญ่ทางช่องเบื้องล่างซึ่งมีบานประตูปิดเปิดได้เท่านั้น จึงทุ่นขนาดและลดน้ำหนักบานประตูลงได้มาก และสะดวกต่อการปิดเปิดด้วย เพราะถ้าไม่มี Diaphragm wall บานประตูจะต้องสูงพ้นระดับน้ำนองสูงสุดในลำน้ำ Diaphragm wall จึงช่วยป้องกันไม่ให้น้ำนองไหลเข้าคลองสายใหญ่

ประตูระบายประเภท Overpour-type Regulators และ Undershot-type Regulators มีทั้งข้อดีและข้อเสีย ซึ่งจะพอสรุปได้ดังนี้

ชนิดน้ำไหลลอดบาน (Undershot-type Regurators)

ข้อดี (Advantages)

1. ปิดเปิดบานประตูได้สะดวกรวดเร็ว ถ้าเป็นบานขนาดใหญ่จะมีอุปกรณ์ช่วยลด Friction ระหว่างผิวบานและร่องบาน (Grooves) ที่ตอม่อด้วย

2. เป็นประตูระบายที่สร้างได้ทุกขนาด เพราะบานประตูของประตูระบายประเภทนี้จะออกแบบให้ด้านทานแรงดันของน้ำได้มาก

3. บานประตูของประตูระบายประเภทนี้ปิดได้แน่นสนิท น้ำไม่รั่วตามข้างบานและธรณีประตูเพราะมีวิธีป้องกันน้ำรั่วดีมาก

ข้อเสีย (Disadvantages)

1. ตะกอนหยาบอาจหลุดเข้าไปในคลองสายใหญ่ได้ เพราะต้องระบายน้ำตอนล่างเข้าคลองเว้นแต่จะได้แก้ไขโดยการยกหรือเสริมระดับธรณีประตูระบายปากคลองสายใหญ่ให้สูงขึ้น

2. ถ้าน้ำด้านเหนือประตูระบายปากคลองสายใหญ่ลึกมาก โดยเฉพาะเวลาเกิดน้ำใหญ่ไหลหลากในแม่น้ำ บานประตูจะต้องสูงมากเพื่อให้พ้นระดับน้ำนองแต่อาจแก้ไขได้โดยการ Disaphragm wall

3. ค่าก่อสร้างค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบดูแล้ว Undershot-type Regulators เป็นที่นิยมสร้างกันมากกว่า Overpour-type Regulators โดยมาก Overpour-type Regulators เป็นประตูระบายขนาดเล็กถึงขนาดกลาง มีความกว้างของช่องระบายน้ำระหว่างตอม่อไม่เกิน 4.00 เมตร และในปัจจุบันก็ไม่ค่อยจะสร้างกันแล้วส่วน Undershot -type Regulators เป็นประตูระบายที่สร้างได้ทุกขนาด ในปัจจุบันนิยมสร้างกันทั่วไป

3.5.2 ระดับต่างๆ ที่เกี่ยวโยงกันที่หัวงาน

ระดับต่างๆ ที่มีความสำคัญที่อาคารบริเวณหัวงานได้แก่

1.) ระดับสันฝาย (weir crest elevation)

2.) ระดับหลังตอม่อ (top of pier) หรือหลังกำแพงประตูระบายปากคลองสายใหญ่

3.) ระดับพื้นร่องระบายทราย (bed level of sluiceway channel)

4.) ระดับธรณีประตูระบายปากคลองสายใหญ่ (sill level of main headgate)

5.) ระดับท้องคลองสายใหญ่ (bed level of main canal)

6.) ระดับน้ำใช้การเต็มที่ในคลองสายใหญ่ (full supply level in main canal)

7.) ระดับน้ำนองสูงสุดของแม่น้ำ (maximum flood level) ระดับต่างๆ เหล่านี้มีความสัมพันธ์กันคือ

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

ระดับท้องคลองสายใหญ่กับระดับน้ำใช้การเต็มที่ในคลอง ความสัมพันธ์ของระดับทั้งสองนี้ ได้มาจากการคำนวณขนาดของคลองสายใหญ่ ความแตกต่างของระดับทั้งสองก็คือความลึกของน้ำในคลองสายใหญ่นั่นเอง

ระดับธรณีประตูระบายปากคลองสายใหญ่กับระดับพื้นร่องระบายทราย ระดับทั้งสองนี้จะต้องได้รับการพิจารณาร่วมกันเสมอ และต้องคำนึงถึงลักษณะและปริมาณตะกอนทรายที่ไหลตามน้ำมาด้วย ถ้ามีตะกอนทรายมากจะต้องให้ระดับธรณีประตูระบายปากคลองสายใหญ่สูงกว่าระดับพื้นร่องระบายทรายประมาณ 1.00 ถึง 2.00 เมตร

ระดับหลังตอม่อหรือหลังกำแพงประตูระบายปากคลองสายใหญ่กับระดับน้ำนองสูงสุดของแม่น้ำ หลังตอม่อหรือหลังกำแพงประตูระบายปากคลองสายใหญ่จะต้องสูงกว่าระดับน้ำนองสูงสุดของแม่น้ำประมาณ 0.75 ถึง 1.00 เมตร เป็นอย่างน้อยซึ่งเป็นส่วนพ้นน้ำ (freeboard) ของอาคารนั่นเอง

ในโครงการเจ้าพระยาใหญ่ นายช่างผู้เชี่ยวชาญจาก USBR ได้กำหนดให้ใช้ freeboards ของอาคารชลประทานทุกชนิดไว้ดังนี้

$$F = 0.30 + 0.15\ D$$

ในเมื่อ

F = freeboard ของอาคารชลประทานเป็นเมตร

D = ความลึกของน้ำมากที่สุดในลำน้ำหน้าอาคานั้นเป็นเมตร

ถ้าระดับน้ำไม่ผันแปรมาก หรือเราทราบสถิติระดับน้ำได้อย่างแน่นอนแล้ว เราอาจลด freeboards ให้น้อยกว่าเกณฑ์ที่กำหนดนี้ได้ซึ่งจะทุ่นปริมาตรงานและลดน้ำหนักกดบนฐานรากของงานลงได้มาก

3.5.3 การคำนวณหาขนาดของช่องบานระบาย

การคำนวณหาขนาดของช่องระบายน้ำเพื่อให้สามารถส่งน้ำผ่านประตูระบายปากคลองได้ตามต้องการ จะทำในลำดับสุดท้าย เมื่อได้เลือกชนิดของประตูระบายปากคลองสายใหญ่ กำหนดความแตกต่างของระดับน้ำเหนือสันฝายและระดับน้ำใช้การเต็มที่ในคลองสายใหญ่แล้ว ก็จะสามารถคำนวณปริมาณน้ำที่ส่งผ่านประตูระบายปากคลองสายใหญ่เข้าคลองและขนาดของช่องระบายน้ำได้

สูตรที่ใช้คำนวณมีหลายสูตร คือ

$$Q = CA\sqrt{2gH} \qquad \text{.....(3.1)}$$

สูตรนี้ใช้คำนวณปริมาณน้ำที่ส่งผ่านประตูระบายปากคลองสายใหญ่หรือประตูระบายทั่วไปเข้าคลอง ในกรณีระดับน้ำในคลองสูงกว่าระดับก้นบานประตู หรือยกบานประตูไม่สูงพ้นระดับน้ำทั้งสองข้าง

เมื่อ Q = ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านประตูระบายเข้าคลองเป็นเมตร^3/วินาที

C = coefficient of discharge = 0.70 - 0.80

A = เนื้อที่ของช่องระบายน้ำของประตูระบายที่น้ำไหลผ่านเป็น เมตร^2

= W × D

W = ความกว้างของช่องระบายน้ำทั้งหมดเป็นเมตร

D = ระยะที่ยกบานประตูขึ้นจากธรณีเป็นเมตร

g = 9.81 เมตร/วินาที/วินาที

H = ความแตกต่างของระดับน้ำด้านเหนือและด้านท้ายประตูระบายเป็นเมตร

$$Q = CW.\sqrt{2gH}(D - H/3). \qquad \text{.....(3.2)}$$

สูตรนี้ใช้ในกรณียกก้นบานประตูสูงพื้นระดับน้ำทั้งสองข้าง เป็นสูตรที่ใช้หาขนาดของช่องระบายน้ำของประตูระบายปากคลองสายใหญ่หรือประตูระบายทั่วไปและใช้คำนวณปริมาณน้ำที่ส่งเข้าคลองด้วย

เมื่อ Q = ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านประตูระบายเข้าคลองเป็นเมตร^3/วินาที

C = coefficient of discharge = 0.70 - 0.80

W = ความกว้างของช่องระบายน้ำทั้งหมดเป็นเมตร

D = ความลึกของน้ำตรงธรณีประตูระบายเป็นเมตรหรือระยะธรณี ประตูถึงระดับน้ำด้านเหนือประตูนั้น

g = 9.81 เมตร/วินาที/วินาที

H = ความแตกต่างของระดับน้ำด้านเหนือและด้านท้ายประตูระบายเป็นเมตร

$$Q = \frac{2}{3} CWD^{2/3}\sqrt{2g} \qquad \text{..... (3.3)}$$

สูตรนี้ใช้คำนวณปริมาณน้ำที่ไหลผ่านประตูระบายปากคลองสายใหญ่หรือประตูระบายทั่วไปเข้าคลองในเมื่อประตูระบายนั้นเป็นประเภท Tverpour-Type regulator และระดับน้ำด้านในคลองต่ำกว่าระดับสันบานประตู ถ้าระดับน้ำในคลองสูงกว่าระดับสันบานประตูแล้วต้องใช้สูตร (3.2) คำนวณ

Q = ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านประตูระบายเข้าในคลองเป็นเมตร^3/วินาที

C = coefficient of discharge = 0.65

W = ความกว้างของช่องระบายน้ำทั้งหมดเป็นเมตร

D = ความลึกของน้ำบนสันบานประตูเป็นเมตร หรือระยะจากสันบานประตูถึงระดับน้ำด้านเหนือประตูนั้น

g = 9.81 เมตร/วินาที/วินาที

$$V = \sqrt{\frac{2gH}{1+f1+f2(L/m)}} \qquad \text{.....(3.4)}$$

และ $Q = A \cdot V$

สูตรนี้เป็นสูตรคำนวณอัตราเร็วของน้ำที่ไหลผ่านเข้าคลองในกรณีประตูระบายปากคลองสายใหญ่หรือประตูระบายทั่วไปมีลักษณะเป็นท่อระบาย (Pipe Regulators) ซึ่งทำหน้าท่อและท้ายท่อจมอยู่ใต้ระดับน้ำ เป็นสูตรที่ใช้หาขนาดท่อหรือคำนวณปริมาณน้ำที่ไหลผ่านท่อ ในเมื่อ

Q = ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านท่อระบายเข้าคลองเป็นเมตร^3/วินาที

A = เนื้อที่ของช่องระบายน้ำที่ไหลผ่านเป็น เมตร^2 หรือเนื้อที่รูปตัดตามขวางของท่อระบายนั้น

V = อัตราเร็วของน้ำที่ไหลผ่านท่อเป็น เมตร/วินาที

g = 9.81 เมตร/วินาที/วินาที

H = ความแตกต่างของระดับน้ำด้านหน้าท่อและด้านท้ายท่อเป็นเมตร

f_1 = coefficient of friction at entrance

= 0.505 cylindrical entrance

= 0.080 bell-mouth entrance

f_2 = coefficient of inner surface friction

$= a(1+\frac{b}{mx3.28})$

ค่าของ a และ b กำหนดไว้ดังนี้

	a	b
ท่อเหล็กเรียบ	0.00497	0.084
ท่อคอนกรีต	0.00316	0.100

m = hydraulic mean depth ของท่อเป็นเมตร

= A/P

A = เนื้อที่รูปตัดตามขวางของท่อที่น้ำไหลผ่านเป็น เมตร^2

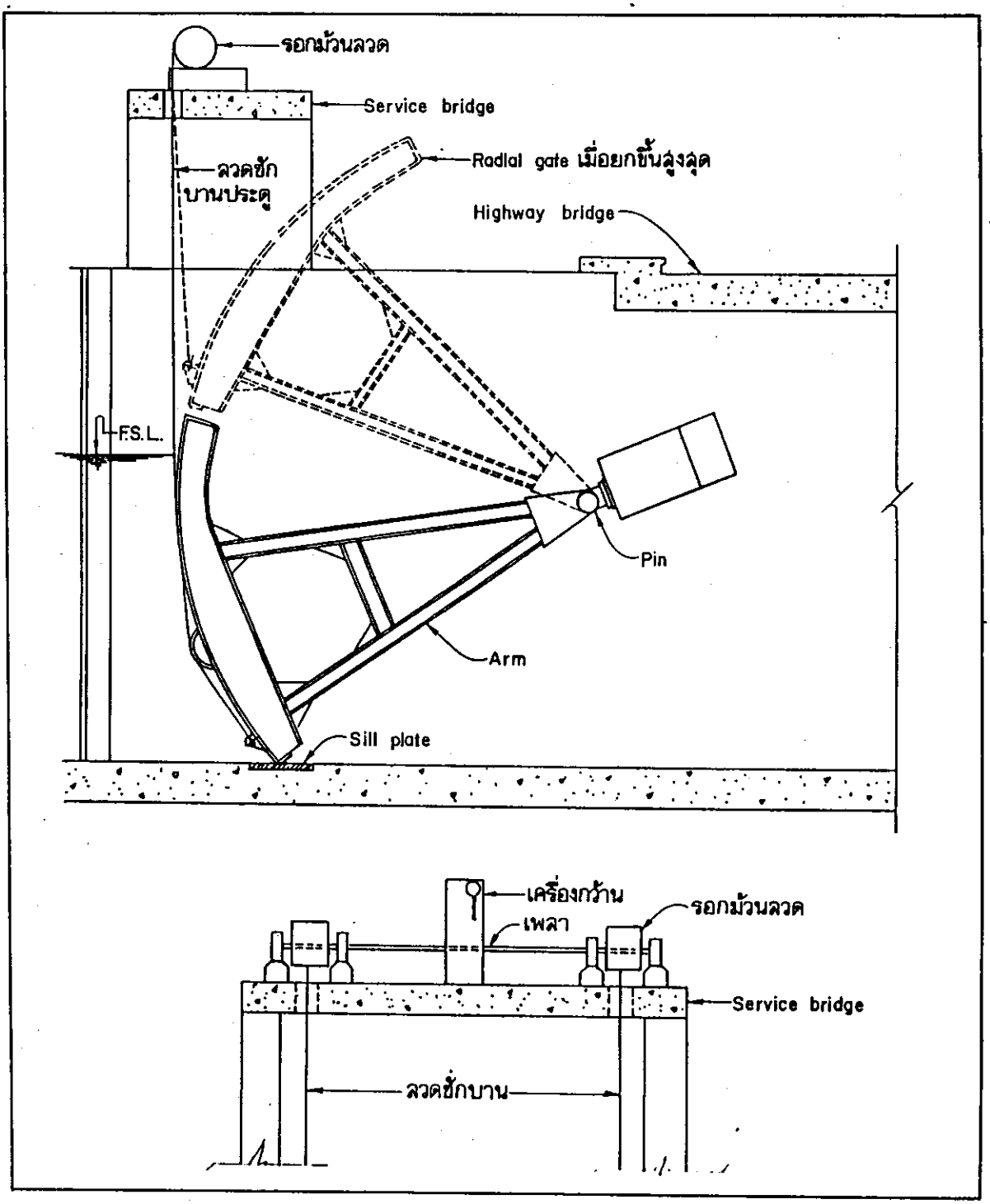
P = wetted perimeter เป็น เมตร

L = ความยาวของท่อเป็น เมตร

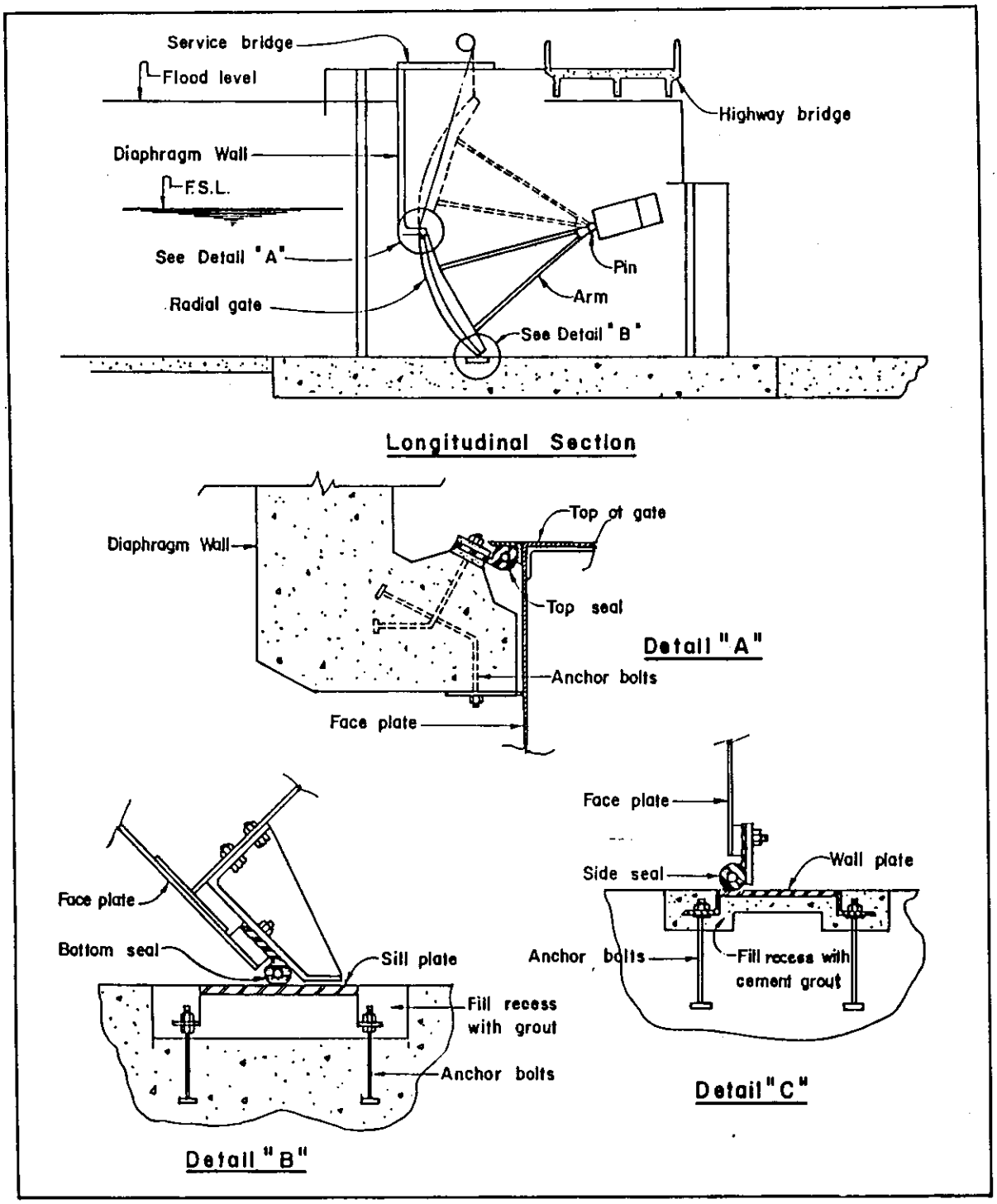
3.6. บานระบาย (Regulating Gates)

บานระบายหรือบานประตูคือสิ่งปิดกั้นน้ำระหว่างตอม่อของเขื่อนระบายน้ำ ประตูระบายปากคลองสายใหญ่ หรือประตูระบายทั่วไป บานระบายมีขนาดและลักษณะต่างกันได้มากและสร้างด้วยวัสดุต่างๆ เช่นไม้กระดานแผ่นเดียว (Stop Planks) ไม้เหลี่ยม (Stop Logs) บานไม้หรือบานเหล็กหลายบานตั้งซ้อนกัน (Sectional Gates บานไม้หรือบานเหล็กเดี่ยว (Single Slide Gates) ประตูระบายประเภท Overpour-type Regulators จะมีบานระบายเป็น Stop Planks, Stop Logs หรือ Sectional Gates แต่ประตูระบายประเภท Undershot-type Regulators จะมีบานระบายเป็น Single Slide Gates ในข้อนี้จะกล่าวเฉพาะบานระบายของประตูระบายประเภท Undershot-type Regulators เท่านั้น

บานระบายจะต้องมีความแข็งแรงพอที่จะต้านทานแรงดันของน้ำมากที่สุดซึ่งเกิดขึ้นกับบานในระยะระหว่างตอม่อ (Span) ได้ โดยปกติลักษณะของบานระบายนั้นจะมีโครงบานซึ่งประกอบด้วยคร่าวตั้งสูงเท่ากับตัวบานหลายอัน และมีคร่าวนอนหรือคานยาวเท่ากับความกว้างของตัวบานหลายอัน คานเหล่านี้จะกำหนดได้รับแรงดันของน้ำเท่ากันอันเพื่อจะได้ใช้ขนาดของคานโตยเท่ากัน ระหว่างคานหรือด้านหน้าของโครงบานจะมีแผ่นไม้หรือแผ่นเหล็ก (face plate) ปิดไว้สำหรับอัดน้ำ ถ้าเป็นบานระบายขนาดเล็กซึ่ง



รูปที่ 3.6 บานระบายโค้งและเครื่องกว้าน



รูปที่ 1.27 Radial Gate and Gate Sill

รูปที่ 3.7 บานระบายโค้งและธรณีบานประตู

ไม่ต้องรับแรงดันของน้ำมากก็จะให้บานเลื่อนขึ้นลงในร่องที่ตอม่อ (Grooves) ตามปกติ แต่ถ้าเป็นบานระบายขนาดใหญ่ต้องรับแรงดันของน้ำมากจะฝังลูกล้อ (Rollers) ติดกับตัวบานเพื่อให้บานระบายเลื่อนขึ้นลงในร่องตอม่อได้สะดวก เพราะลูกล้อตอม่อจะช่วยลด friction ระหว่างผิวบานระบายและผิวร่องที่ตอม่อซึ่งเกิดจากแรงดันของน้ำลงได้มาก

บานระบายขนาดใหญ่ซึ่งมีความกว้างมากกว่า 6.00 เมตร และต้องรับแรงดันของน้ำมากจะใช้วิธีลด friction ระหว่างผิวบานระบายและผิวร่องที่ตอม่อด้วยลูกล้อแบบ Stoney ลูกล้อแบบนี้ไม่ได้ฝังติดกับตัวบานเหมือนอย่างที่กล่าวมาแล้ว แต่เข้าจะตรึงลูกล้อเหล่านี้เข้าเป็นพวงหรือเป็นตับ แล้วเอาตับลูกล้อหย่อนลงไปในร่องที่ตอม่อให้อยู่ระหว่างผิวบานระบายกับผิวร่องเวลาบานระบายเลื่อนขึ้นลงตับลูกล้อก็จะเลื่อนขึ้นลงตามบานด้วย วิธีนี้จะลด friction ได้ดีที่สุดบานระบายที่มีระตับลูกล้อแบบ Stoney ลดความฝืดจึงเรียกว่า Stoney gates

การใช้ลูกล้อลด Friction ทั้งโดยวิธีฝังติดกับตัวบานระบายและแบบ Stoney จะทำให้เกิดช่องว่างขึ้นระหว่างบานระบายกับร่องที่ตอม่อ เพราะลูกล้อจะค้ำบานไม่ให้แนบติดกับร่องที่ตอม่อ น้ำจะรั่วผ่านทางช่องว่างนี้ เพื่อจะไม่ให้น้ำรั่วเข้าใช้ท่อเหล็กกลม (staunching rods) ติดห้อยไว้ที่ริมบานทั้งสองข้างทางด้านเหนือน้ำ ท่อเหล็กที่ติดไว้นี้เคลื่อนตัวได้ เมื่อน้ำพยายามไหลผ่านทางช่องว่างก็จะดันท่อเหล็กไปปะทะแนบสนิทกับผิวตอม่อและผิวบานระบาย น้ำจึงรั่วผ่านไม่ได้

ในปัจจุบันบานระบายมีขนากกว้างใหญ่มาก เพราะการใช้บานระบายขนาดใหญ่จะประหยัดเงินกว่าบานระบายขนาดเล็ก และประสิทธิภาพในการระบายน้ำของบานระบายขนาดใหญ่ก็สูงกว่าบานระบายขนาดเล็กด้วย เช่นบานระบายขนาดกว้าง 6.00 เมตร 4 บาน จะระบายน้ำได้มากกว่าบานระบายขนาดกว้าง 2.00 เมตร 12 บาน เพราะ friction ระหว่างน้ำกับตอม่อมีน้อยลงทำให้น้ำไหลผ่านไปได้สะดวก แต่บานระบายยิ่งมีขนาดใหญ่ก็ต้องรับแรงดันของน้ำมากขึ้นและมีน้ำหนักมากขึ้นตามส่วนไปด้วย บานระบายเหล็กขนาดกว้าง 6.00 เมตร สูง 5.00 เมตร จะมีน้ำหนักประมาณ 5 ตัน แต่บานระบายเหล็กขนาดกว้าง 12.50 เมตร สูง 6.00 เมตร จะมีน้ำหนักถึง 20 ตัน เพราะฉะนั้นถ้าจะยกบานระบายด้วยแรงคนก็จะต้องใช้กว้านเป็นเครื่องผ่อนแรงแต่ตามธรรมดากว้านยิ่งยกน้ำหนักมากวงเฟืองจะต้องมีมาก ทำให้ยกบานระบายได้ช้า ด้วยเหตุนี้จึงต้องมีหีบถ่วงหรือถังถ่วง (counter balance box) ไว้ด้วยเพื่อถ่วงน้ำหนักของบานระบายไว้อีกข้าง

หนึ่งของเพลารอกม้วนลวดชักบานระบาย เมื่อเป็นเช่นนี้กว้านจะไม่ต้องยกน้ำหนักของบานระบายเลยเพราะหักกลบลบกันไปกับน้ำหนักของหีบถ่วงแล้ว กว้านคงทำงานพอที่จะต้านทาน friction ที่เพลาและที่บานระบายซึ่งเกิดจากแรงดันของน้ำเท่านั้น กว้านจึงยกบานระบายได้อย่างคล่องแคล่วโดยใช้แรงน้อย

ในปัจจุบันบานระบายโค้ง (Radial Gates) นิยมใช้กันมาก บานระบายโค้งมีลักษณะและคุณสมบัติแตกต่างจากบานระบายตรง (Vertical Slide Gates) ที่กล่าวมาแล้ว คือมีรูปเป็นส่วนหนึ่งของวงกลม โดยมีผิวบานด้านนูนทางด้านเหนือน้ำ จากปลายคานนอนของบานจะมีคานใหญ่ (Arms) ติดอยู่เป็นรัศมีของวงกลมซึ่งมารวมกันที่จุดศูนย์กลาง ที่จุดศูนย์กล่างนี้มีเดือย (Pins) ติดอยู่ กับตอม่อข้างละอัน บานระบายโค้งไม่มีร่องบานประตูที่ตอม่อ (Grooves) ขอบบานจะชนติดกับข้างตอม่อ เวลายกบานระบายขึ้นขอบบานจะเลื่อนขึ้นไปตามแนววงกลมบนแผ่นโลหะ (Wall plates) ซึ่งฝังติดไว้ที่ข้างตอม่อ เวลาหย่อนบานระบายลงขอบล่างของบานจะนั่งอยู่บนแผ่นโลหะที่ธรณี (Sill plate) การป้องกันน้ำรั่วที่ขอบบานด้านล่างกับธรณี ที่ขอบบานด้านข้างกับตอม่อ และที่หัวบานกับ Disphragm wall (ในกรณีที่มี Disphragm wall) จะใช้แผ่นยางกันน้ำรั่วติดไว้กับตัวบานระบายซึ่งป้องกันน้ำรั่วได้ดีที่สุด

ข้อดีเด่นของบานระบายโค้งอยู่ที่ว่าแรงดันของน้ำบนส่วนโค้งของผิวบานระบายจะถ่ายทอดมายัง Pins ทั้งสองข้างซึ่งฝังติดกับตอม่อ และเมื่อไม่มีร่องบานประตูที่ตอม่อก็จะลด Friction ระหว่างบานระบายกับตอม่อลงได้มาก ข้อดีเด่นอีกอย่างหนึ่งของบานระบายโค้งก็คือไม่ต้องมีโครงยกบานระบาย (Superstructure) สูงเหมือนอย่างบานระบายตรง เพราะเวลายกบานระบายโค้งขึ้นบานจะเคลื่อนที่ไปตามวงกลม บานจึงไม่ขึ้นสูงเกะกะ จึงต้องการแต่เพียงสะพานสำหรับติดตั้งกว้านและรอกม้วนลวด (Service Bridge) เตี้ย ๆ สำหรับยกบานก็พอแล้ว ทำให้ประหยัดเงินค่าก่อสร้างและมีความปลอดภัยมากขึ้นด้วย

บานระบายโค้งรับแรงดันของน้ำได้มาก ออกแบบได้ทุกขนาด จึงเหมาะจะใช้เป็นบานระบายของประตูระบายประเภท Undershot-type Regulators

3.7 ประตูเรือสัญจร (Navigation Locks)

นายช่างชลประทานอาจต้องปฏิบัติงานเกี่ยวกับประตูเรือสัญจรหรือที่เรียกกันทั่วไปว่า ประตูน้ำเนื่องจากเหตุ 2 ประการคือ

1). ในการออกแบบคลองสายใหญ่ซึ่งใช้เป็นคลองคมนาคมทางน้ำด้วย

2). ในการออกแบบหัวงานของโครงการชลประทานซึ่งมีการคมนาคมทางน้ำในแม่น้ำ

การสร้างเขื่อนระบายน้ำปิดกั้นแม่น้ำเป็นการถาวรจะทำให้เรือแพขึ้นล่องในลำน้ำผ่านเขื่อนไปไม่ได้ ถึงแม้ว่าจะยกบานระบายสูงพ้นระดับน้ำทั้งสองข้างแต่กระแสน้ำที่ไหลผ่านช่องเขื่อนจะแรงจัดและเป็นอันตรายแกเรือแพมาก จึงต้องสร้างประตูเรือสัญจรไว้ที่เขื่อนระบายน้ำเพื่ออำนวยความสะดวกแก่การสัญจรของเรือแพ

สำหรับคลองสายใหญ่ซึ่งใช้เป็นทางเดินเรือด้วยนั้นก็จะต้องสร้างประตูเรือสัญจรไว้ที่ประตูระบายทุกแห่งซึ่งสร้างปิดกั้นคลอง คือที่ปากคลอง กลางคลอง และปลายคลอง

ประตูเรือสัญจรอาจสร้างเป็นอาคารร่วมกับเขื่อนระบายน้ำหรือประตูระบาย (Combined Structures) เช่นที่เขื่อนเจ้าพระยาเขื่อนวชิราลงกรณ์ประตูระบายบางเม่า ฯลฯ หรือสร้างแยกเป็นคนละอาคารกับเขื่อนระบายน้ำหรือ ประตูระบาย (Isolated Structures) ก็ได้ เช่นที่เขื่อนพระราม 6 เขื่อนนครนายก ประตูระบายพระนารายณ์ ประตูระบายพระเอกาทศรถ ฯลฯ

การสร้างประตูเรือสัญจรเป็นอาคารร่วมกับเขื่อนระบายน้ำหรือประตูระบายนั้นอาจกำหนดที่ตั้งของประตูเรือสัญจรได้ 2 วิธีคือ

1). ให้ตัวประตูเรือสัญจรทั้งหมดตั้งอยู่ทางด้านเหนือน้ำของเขื่อนระบายน้ำหรือประตูระบาย

2). ให้ส่วนหนึ่งของประตูเรือสัญจรตั้งอยู่ทางด้านเหนือน้ำของเขื่อนระบายน้ำ หรือประตูระบาย แต่อีกส่วนหนึ่งอยู่ทางด้านท้ายน้ำ

การให้ตัวประตูเรือสัญจรทั้งหมดตั้งอยู่ทางด้านท้ายน้ำของเขื่อนระบายน้ำหรือประตูระบายไม่ค่อยทำกัน เพราะต้องป้องกันตลิ่งด้านเหนือน้ำเป็นพิเศษ ทั้งจะต้องมีการป้องกันอันตรายที่จะเกิดกับเรือแพจากกระแสสกัด (Cross Current) ของน้ำซึ่งไหลเข้าช่องระบายน้ำของเขื่อนหรือประตูระบายอย่างแข็งแรง

สำหรับการสร้างประตูเรือสัญจรเป็นอาคารอิสระแยกจากเขื่อนระบายน้ำหรือประตูระบายนั้นอาจกำหนดที่ตั้งของประตูเรือสัญจรได้ 2 วิธีเช่นเดียวกันคือ

1). ให้ประตูเรือสัญจรตั้งอยู่ตรงแนวศูนย์กลางของแม่น้ำหรือคลองสายใหญ่ แล้วสร้างเขื่อนระบายน้ำหรือประตูระบายไว้ในคลองแยก (Diversion channel) ซึ่งขุดขึ้นข้าง ๆ

2). ให้เขื่อนระบายน้ำหรือประตูระบาย ตั้งอยู่ตรงแนวศูนย์กลางของแม่น้ำหรือคลองสายใหญ่ แล้วสร้างประตูเรือสัญจรไว้ในคลองแยก (Diversion channel) ซึ่งขุดขึ้นข้าง ๆ การกำหนดที่ตั้งของประตูเรือสัญจรทั้งหมดที่กล่าวมาแล้วมีทั้งข้อดีและข้อเสีย ซึ่งอาจสรุปได้ดังนี้

ก. การสร้างประตูเรือสัญจรเป็นอาคารร่วมกับเขื่อนระบายน้ำหรือประตูระบาย โดยให้ตัวประตูเรือสัญจรทั้งหมดตั้งอยู่ทางด้านเหนือน้ำของเขื่อนระบายน้ำหรือประตูระบาย

ข้อดี

1). ไม่ต้องขุด Diversion Channel

2). ลดตอม่อริมตลิ่ง (Abutment) ลงได้หนึ่งตอม่อ

3). ร่องน้ำเหนือประตูเรือสัญจรไม่ตื้น เพราะตะกอนตกจม จึงลดค่าบำรุงรักษาประจำปีลงได้มาก

4). เรือเข้าประตูเรือสัญจรได้สะดวกเพราะอิทธิพลของกระแสสกัดมีน้อย

ข้อเสีย

1). ออกแบบยากเพราะอ่างพักเรือไม่ symmetry ตามแนวศูนย์กลาง

2). ถึงแม้ว่าอิทธิพลของกระแสสกัดจะมีน้อย แต่ก็ไม่ถึงกับปลอดภัยเสียทีเดียวต้องมีการป้องกันเรือแพไม่ให้หลุดเข้าไปในช่องระบายน้ำของเขื่อนหรือประตูระบายได้

3). ตัวประตูเรือสัญจรยาวมากกว่าปกติเพราะต้องไปสร้างสะพานข้ามประตูเรือสัญจรไว้ที่ตอม่อด้านท้ายน้ำ ทำให้เสียค่าก่อสร้างมากขึ้น

ข. การสร้างประตูเรือสัญจรเป็นอาคารร่วม กับเขื่อนระบายน้ำหรือประตูระบาย โดยให้ส่วนหนึ่งของประตูเรือสัญจรตั้งอยู่ทางด้านเหนือน้ำของเขื่อนระบายน้ำหรือประตูระบาย แต่อีกส่วนหนึ่งอยู่ทางด้านท้ายน้ำ

ข้อดี

1). ไม่ต้องขุด Diversion Channel

2). ลดตอม่อริมตลิ่ง (Abutment) ลงได้หนึ่งตอม่อ

3). ร่องน้ำเหนือประตูเรือสัญจรไม่ตื้นเพราะตะกอนตกจมจึงลดค่าบำรุงรักษาประจำปีลงได้มาก

4). ตัวประตูเรือสัญจรไม่ยาวเกินไป เพราะจะสร้างสะพานข้าม ประตูเรือสัญจรไว้ตรงกลางได้

ข้อเสีย

1). ออกแบบยากเพราะอ่างพักเรือไม่ Symmetry ตามแนวศูนย์กลาง

2). เรือเข้าประตูเรือสัญจรไม่สะดวก อิทธิพลของกระแสสกัดมีมาก ต้องมีการป้องกันแข็งแรงไม่ให้เกิดอันตรายแก่เรือแพได้

ค. การสร้างประตูเรือสัญจรเป็นอาคารอิสระแยกจากเขื่อนระบายน้ำหรือประตูระบายโดยให้ประตูเรือสัญจรตั้งอยู่ตรงแนวศูนย์กลางของแม่น้ำหรือคลองสายใหญ่

ข้อดี

1). ออกแบบง่ายเพราะอ่างพักเรือ Symmetry ตามแนวศูนย์กลาง

2). เรือเข้าประตูสัญจรได้สะดวกและปลอดภัย ไม่ต้องสร้างเครื่องป้องกัน

ข้อเสีย

1). ต้องขุด Diversion Channel สำหรับเขื่อนระบายน้ำหรือประตูระบายถ้าปริมาณน้ำมาก Diversion Channel ต้องใหญ่ จะเสียค่าขุดดินมาก

2). เสียตอม่อริมตลิ่ง (Abutment) เพิ่มขึ้นอีกหนึ่งตอม่อ

ง. การสร้างประตูเรือสัญจรเป็นอาคารอิสระแยกจากเขื่อนระบายน้ำหรือประตูระบายโดยให้ประตูเรือสัญจรตั้งอยู่ในคลองแยก (Division Channel)

ข้อดี

1). ออกแบบง่ายเพราะอ่างพักเรือ Symmetry ตามแนวศูนย์กลาง

2). Diversion Channel เล็กกว่าแม่น้ำหรือคลองสายใหญ่จึงไม่เสียค่าขุดดินมาก

ข้อเสีย

1). เรือเข้าประตูเรือสัญจรไม่ค่อยสะดวก

2). เสียตอม่อริมตลิ่ง (Abutment) เพิ่มขึ้นอีกหนึ่งตอม่อ

3). Diversion Channel ในช่วงจากปากทางเข้าถึงประตูเรือสัญจรมีกระแสน้ำอ่อนจึงตื้นเพราะตะกอนตกจมได้ง่ายต้องเสียค่าขุดลอกเสมอ

ส่วนสำคัญของประตูเรือสัญจร แยกออกได้เป็น 2 ส่วน คือ หัวประตูและอ่างพักเรือ

1. หัวประตู (Lock Heads)

ประตูเรือสัญจรมีหัวประตู 2 ด้าน คือด้านเหนือน้ำและด้านท้ายน้ำ หัวประตูแต่ละด้านมี 2 ตอม่อ และแต่ละตอม่อมีส่วนประกอบสำคัญ 2 อย่างคือ

ก. บานประตู (Lock Gates)

สำหรับปิดกั้นน้ำ จึงต้องแข็งแรงพอที่จะต้านทานแรงดันของน้ำซึ่งมีระดับแตกต่างกันมากได้

ข. ที่ระบายน้ำ

สำหรับระบายน้ำจากด้านที่มีระดับสูงไปสู่ระดับต่ำจนกว่าระดับน้ำ 2 ข้างบาน ประตูเท่ากันจึงจะเปิดประตูได้ ที่ระบายน้ำนี้อาจเจาะเป็นช่องไว้ที่บานประตู หรือทำเป็นอุโมงค์ระบายน้ำในตอม่อหรือใต้ธรณี

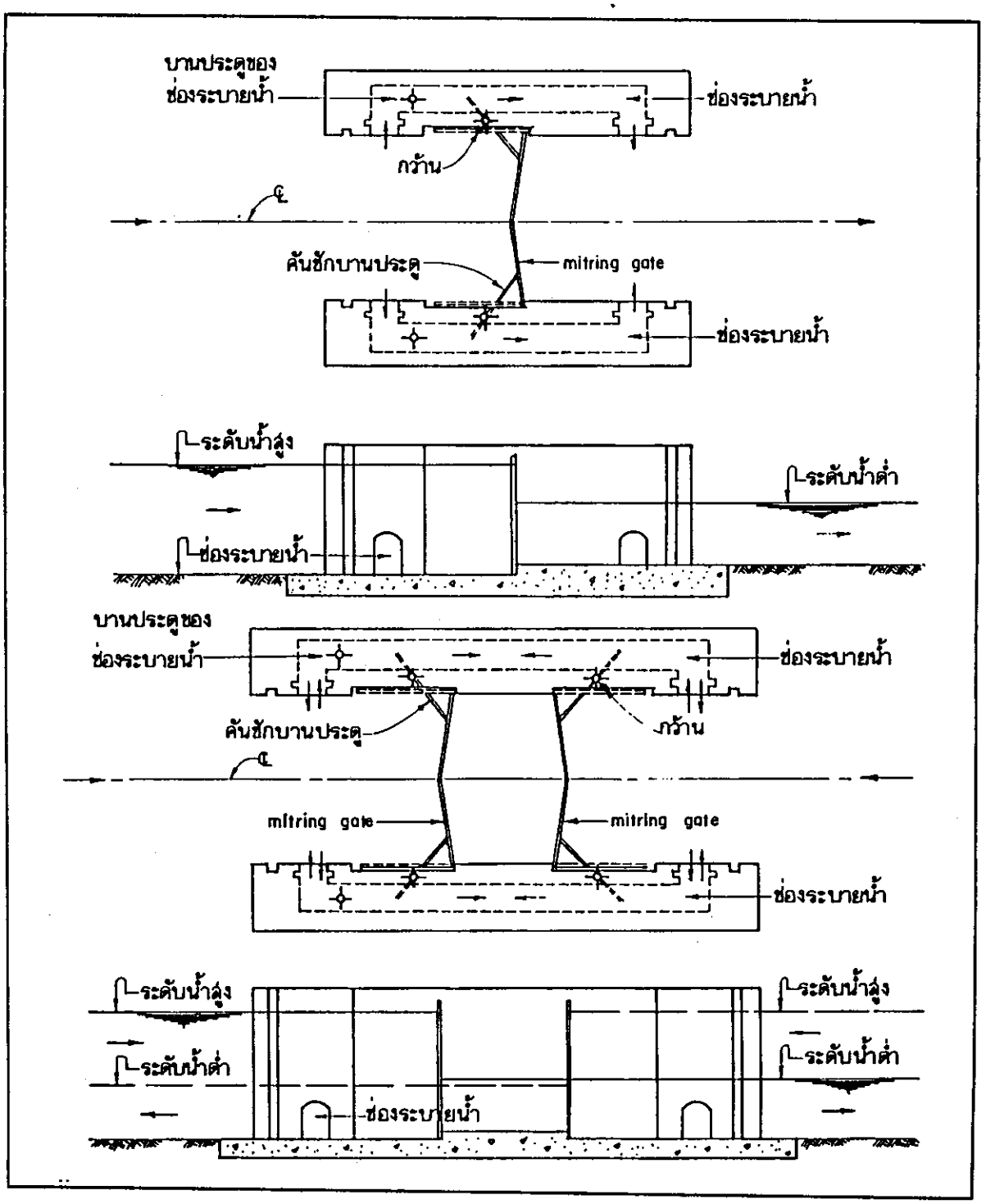
2. อ่างพักเรือ (Lock Chamber, Lock Basin)

เป็นอ่างน้ำรูปกลม รูปไข่ หรือรูปสี่เหลี่ยมซึ่งอยู่ระหว่างหัวตอม่อ 2 ด้าน ขนาดของอ่างพักเรือนี้ไม่แน่นอน ย่อมแล้วแต่ขนาดและจำนวนเรือแพที่จะผ่านขึ้นล่อง ถ้าเรือแพมีน้อยและมีขนาดเล็กอ่างก็แคบและสั้นได้ แต่ถ้ามีเรือแพขนาดใหญ่ผ่านขึ้นล่องมาก ขนาดของอ่างพักเรือก็ต้องกว้างและยาวมากขึ้นตามลำดับ

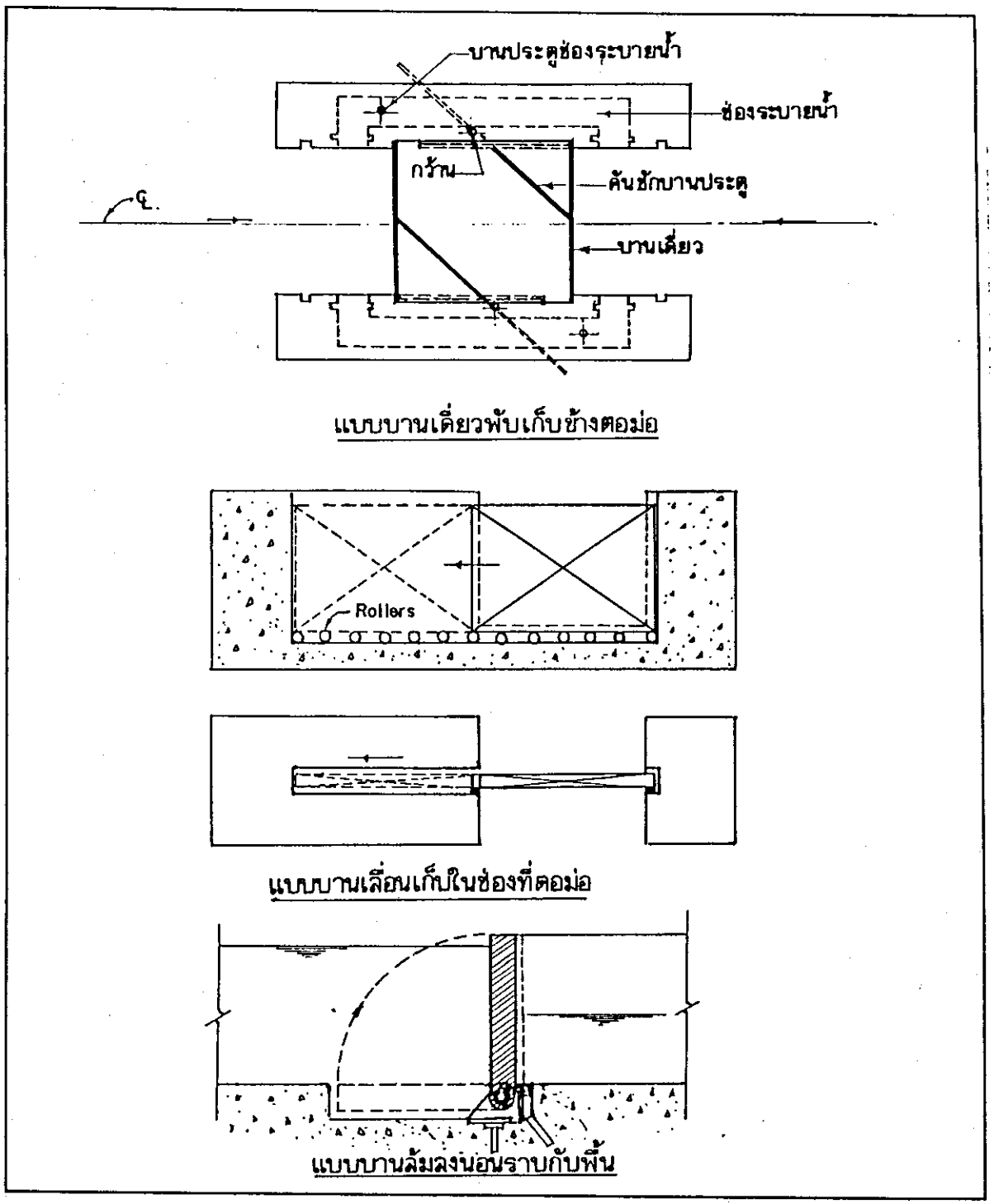
อ่างพักเรือเป็นที่พักเรือแพในขณะรอคอยการระบายน้ำเข้าหรือออกจากอ่างเพื่อเปลี่ยนระดับน้ำจากระดับหนึ่งไปสู่อีกระดับหนึ่ง เมื่อระดับน้ำ 2 ข้างบานประตูเท่ากันจึงจะเปิดประตูให้เรือแพผ่านเข้าออกได้

ในขณะระบายน้ำเข้าอ่างพักเรือน้ำในอ่างจะปั่นป่วนและอาจเป็นอันตรายแก่เรือแพ จึงต้องทำที่ผูกโยงเรือแพไว้ในอ่างพักเรือด้วย

บานประตูของประตูเรือสัญจรต้องแข็งแรงปิดเปิดได้สะดวกและรวดเร็วการปิดเปิดอาจใช้แรงคนประกอบกับเครื่องผ่อนแรง หรือปิดเปิดด้วยไฟฟ้าก็ได้ บานประตูของประตูเรือสัญจรมีหลายแบบ คือ



รูปที่ 3.8 หัวประตูและ Mitring Gates



รูปที่ 3.9 บานประตูชนิดต่าง ๆ

ก. Mitring Gates

บานประตูแบบนี้มีลักษณะคล้ายกับบานหน้าต่าง แต่เวลาปิดปลายบานจะชนกันเป็นมุม 150°- 160° โดยมีมุมชี้ไปทางด้านที่มีระดับน้ำสูงกว่าเพื่อให้บานประตูได้อาศัยยันกันเอง ประตูเรือสัญจรที่มีบานประตูแบบ Mitring Gates จะพบได้ทั่วไปในทุ่งราบตอนกลางของประเทศไทย

Mitring Gates นี้ตามปกติจะติดไว้หัวประตูด้านละหนึ่งคู่ แต่ถ้าประตูเรือสัญจรตั้งอยู่ในทำเลที่มีน้ำขึ้นน้ำลงซึ่งจะทำให้ระดับน้ำด้านในหรือด้านนอกประตูสูงกว่ามีด้านหนึ่งได้แล้ว จะต้องมี Mitring Gates หัวประตูด้านละ 2 คู่ คู่หนึ่งจะใช้เมื่อระดับน้ำด้านในประตูสูงกว่าด้านนอกประตู อีกคู่หนึ่งจะใช้เมื่อระดับน้ำด้านนอกประตูสูงกว่าด้านในประตู

ข. บานเดี่ยวซึ่งพับเก็บข้างตอม่อ

บานประตูแบบนี้ มีลักษณะเช่นเดียวกับบานประตูรั้วบ้าน เป็นบานเดี่ยวขนาดกว้างเท่ากับช่องเรือผ่านที่หัวประตูเรือสัญจร ถ้าน้ำไหลทางเดียวหัวประตูด้านหนึ่งจะมีบานประตูเพียงหนึ่งบานเท่านั้น แต่ถ้าน้ำขึ้นน้ำลงได้หัวประตูด้านหนึ่งจะมีบานประตู 2 บาน

ค. Rolling Gates

เป็นบานเดี่ยวชนิดที่เปิดโดยการเลื่อนบานเข้าไปเก็บไว้ในช่องที่ตอม่อโดยเครื่องกว้าน เป็นบานประตูที่รับน้ำได้ 2 ทาง ในประเทศไทยยังไม่มีบานประตูแบบนี้ใช้

ง. Falling Gates

เป็นบานเดี่ยวชนิดที่เปิดโดยการล้มบานลงไปนอนราบกับพื้นโดยปกติ เป็นบานประตูขนาดใหญ่ รับแรงดันของน้ำได้มาก เหมาะที่จะใช้กับอู่เรือเพราะไม่กีดขวางเกะกะเหมือนกับบานประตูแบบอื่น แต่ก็ยังไม่มีใช้ในประเทศไทย

จ. Slide Gates

เป็นบานเดี่ยวชนิดยกขึ้นและหย่อนลงในร่องที่ตอม่อ (grooves) เช่นเดียวกับบานระบายของประตูระบายทั่วไป ประตูเรือสัญจรที่มีบานแบบนี้มีสร้างไว้หลายแห่งในโครงการชลประทานนครนายก เช่นที่ประตูน้ำบางเม่าและประตูน้ำศรีจุฬา เป็นต้น แต่ติดบานแบบนี้ไว้ที่หัวประตูด้านเหนือน้ำเท่านั้น ส่วนหัวประตูด้านท้ายน้ำใช้บานแบบ mitring gates

บทที่ 4

การวางแผนและออกแบบระบบชลประทาน

4.1 คำนำ

ระบบส่งน้ำนับได้ว่าเป็นองค์ประกอบที่สำคัญที่มีอิทธิพลอย่างยิ่งต่อความสำเร็จหรือความล้มเหลวของโครงการชลประทาน ทั้งนี้เพราะว่าโครงการชลประทานนั้นสร้างเพื่อที่จะจัดสรรน้ำไปให้เกษตรกรทำการเพาะปลูก ถ้าหากระบบชลประทาน ไม่สามารถทำหน้าที่ส่งน้ำจากแหล่งน้ำเข้าไปสู่พื้นที่เพาะปลูกได้อย่างทั่วถึง ในปริมาณที่เหมาะสม และในเวลาที่พืชต้องการแล้ว ก็ไม่อาจกล่าวได้ว่าโครงการชลประทานนั้นประสบผลสำเร็จสมความมุ่งหมายของการมีโครงการชลประทานนั้น

พิจารณาในด้านการลงทุนระบบส่งน้ำเป็นส่วนประกอบของโครงการที่มีราคาแพงมากกว่าส่วนอื่น ๆ เช่น หัวงาน หรืออาคารประกอบ และถึงแม้ว่าจะมีความสำคัญและมีราคาแพงมากก็ตามแต่ในด้านการออกแบบก่อสร้าง และบำรุงรักษานี้วิศวกรส่วนใหญ่มักจะให้ความสำคัญน้อยกว่าอาคารขนาดใหญ่อื่น ๆจนบางครั้งทำให้การส่งน้ำไม่ได้ผลดังที่คาดหัวไว้

การที่จะให้ระบบชลประทานทำหน้าที่ได้อย่างสมบูรณ์แบบนั้น มิใช่เป็นสิ่งที่ทำได้ง่ายดายอย่างที่คนส่วนใหญ่เข้าใจกันระบบชลประทานที่ดีจะต้องมีพื้นฐานมาจากการออกแบบและก่อสร้างที่ถูกต้องในด้านวิศวกรรมมีความเหมาะสมในด้านเศรษฐกิจ มีการวางแผนการบริหารงานส่งน้ำอย่างเหมาะสมมีเทคนิค มีการดูแลซ่อมแซมและบำรุงรักษาอย่างทั่วถึงขณะใช้งานตลอดจนต้องได้รับความร่วมมือจากเกษตรกรผู้ใช้น้ำ ซึ่งจะต้องรวมตัวและประสานงานกันอย่างใกล้ชิดกับเจ้าหน้าที่ส่งน้ำและบำรุงรักษาของโครงการชลประทานงานส่งน้ำจึงจะประสบผลสำเร็จ

อย่างไรก็ตามการออกแบบระบบส่งน้ำให้ถูกต้องและเหมาะตามหลักวิศวกรรมนั้น เป็นสิ่งสำคัญที่วิศวกรและผู้ที่เกี่ยวข้องต้องศึกษา ในที่นี้จะกล่าวการรวบรวมข้อมูล แนวความคิดและหลักการออกแบบระบบชลประทานแบบคูเปิด หรือการส่งน้ำโดยอาศัยแรงดึงดูดของโลกเป็นหลัก

4.2 การรวบรวมข้อมูลเพื่อออกแบบ (Data Acquisition)

ในการออกแบบระบบส่งน้ำชลประทาน ผู้ออกแบบจำเป็นต้องมีข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวข้องมาใช้ประกอบในการพิจารณารายละเอียดของข้อมูลที่สำคัญแยกออกเป็นกลุ่มได้ดังนี้ คือ

1. แผนที่ภูมิประเทศ ได้แก่แผนที่แสดงระดับชั้นความสูงของผิวดินในพื้นที่ขอบเขตโครงการและบริเวณใกล้เคียง และแผนที่แสดงรายละเอียดต่าง ๆ ได้แก่ ถนน ลำน้ำ อาคารบ้านเรือน และสิ่งก่อสร้างอื่นๆที่มีอยู่ มาตราส่วนที่ใช้ควรเหมาะสมกับงาน เช่น 1:10,000 สำหรับงานวางแนวคลองสายใหญ่และคลองซอย และไม่น้อยกว่า 1:5,000 สำหรับงานคูน้ำ เป็นต้น

2. แหล่งน้ำต้นทุน หมายถึงสถิติหรือข้อมูลต่าง ๆ ที่ได้จากการวิเคราะห์ในทางอุทกวิทยาตามประเภทของแหล่งน้ำปริมาณน้ำที่คาดว่าจะสามารถนำมาใช้ได้ในช่วงระยะเวลาต่าง ๆ และตลอดทั้งปี คุณภาพของน้ำ ปริมาณที่ฝนที่คาดว่าจะตก ระดับความเชื่อถือได้ในแง่ปริมาณของน้ำฝนและน้ำท่าในช่วงระยะเวลาต่าง ๆ อัตราและปริมาณสูงสุดที่อาจเกิดขึ้นได้ในรอบปีต่าง ๆ เป็นต้น

3. ที่ตั้งหัวงาน ในกรณีที่แหล่งน้ำต้นทุนเป็นน้ำผิวดิน จำเป็นจะต้องทราบตำแหน่งที่ตั้งและลักษณะของหัวงานด้วยว่าเป็นหัวงานประเภท อ่างเก็บน้ำ เขื่อนระบายน้ำฝายหรือสถานีสูบน้ำระดับน้ำสูงสุดต่ำสุด และระดับที่ใช้อาคารบังคับได้

4. เนื้อดิน ข้อมูลเกี่ยวกับดินที่จำเป็นต้องใช้อาจหาได้จากแผนที่กำหนดประเภทดิน (Land Classification Map) ซึ่งจัดทำขึ้นโดยกรมพัฒนาที่ดิน แผนที่ดังกล่าวนี้จะให้ข้อมูลเกี่ยวกับชนิดของดินความเหมาะสมของดินนั้นต่อการปลูกพืชชนิดต่าง ๆ ความสามารถในการอุ้มน้ำของดินและคุณสมบัติในการระบายน้ำเป็นต้น

5. การใช้ที่ดินได้แก่ข้อมูลการใช้พื้นที่ในเขตโครงการ จำนวนพื้นที่เพาะปลูก พื้นที่ป่า พื้นที่น้ำท่วม ที่อยู่อาศัยและอื่น ๆ ที่มีอยู่ในปัจจุบัน รวมทั้งแนวโน้มในการพัฒนาและการเปลี่ยนแปลงการใช้พื้นที่ในอนาคตด้วย

6. พืชที่ปลูก ได้แก่ ข้อมูลเกี่ยวกับการปลูกพืชในปัจจุบัน พืชที่ปลูก ฤดูกาลเพาะปลูกวิธีการเตรียมพื้นที่และวิธีการเพาะปลูกเป็นต้นรวมทั้งแนวโน้มการพัฒนาเปลี่ยนแปลงพืชที่ปลูกเมื่อมีน้ำชลประทาน ข้อมูลเหล่านี้มีความสำคัญต่อการคำนวณหาปริมาณการใช้น้ำของโครงการการวางแผนการปลูกพืชและแผนการส่งน้ำที่เหมาะสมต่อไป

7. ข้อมูลทางสังคมและเศรษฐกิจ เช่น จำนวนประชากรในเขตโครงการ การศึกษา ขนาดและลักษณะการถือครองของที่ดิน การประกอบอาชีพของราษฎรในท้องที่ความร่วมมือของราษฎรต่อราชการและส่วนรวมปัญหาทางสังคมที่มีอยู่ โครงสร้างพื้นฐาน (Infra-structure) ที่มีอยู่ เช่น ตลาดขายผลผลิต การคมนาคม สถาบันเกษตรกรและสถาบันการเงิน เป็นต้น

4.3 หลักการเบื้องต้นในการออกแบบ (Principles of Canal Design)

เพื่อที่จะให้ระบบส่งน้ำที่จะสร้างขึ้นทำหน้าที่ได้อย่างสมบูรณ์ การออกแบบควรจะตั้งอยู่บนหลักการพื้นฐานดังต่อไปนี้ คือ

1. ระบบส่งน้ำต้องสามารถส่งน้ำให้แก่พื้นที่เพาะปลูกที่กำหนดไว้ ในปริมาณหรืออัตราที่เหมาะสมได้อย่างทั่วถึงและเป็นธรรม และในเวลาที่พืชต้องการ

2. มีค่าลงทุนที่เหมาะสมในแง่เศรษฐกิจและฐานะทางการเงินของประเทศ

3. การส่งน้ำและบำรุงรักษาทำได้ง่าย

4. มีความเหมาะสมในแง่วิศวกรรมและเหมาะสมกับสภาพทางเศรษฐกิจสังคมและความรู้พื้นฐานของเกษตรกร

5. มีความคล่องตัว ถึงแม้ว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงการปลูกพืชหรือวิธีการให้น้ำไปบ้างระบบส่งน้ำก็ยังคงทำหน้าที่ได้

4.4 การวางแนวคลองส่งน้ำและระบายน้ำ (Canal and Drain Layout)

4.4.1 หลักเกณฑ์ในการวางแนวคลอง

หลักสำคัญของการวางแนวคลองส่งน้ำก็คือต้องพยายามให้คลองวางอยู่ในแนวที่จะทำให้น้ำไหลออกจากคลองไปสู่พื้นที่เพาะปลูก หรือคลองที่มีขนาดเล็กกว่าได้สะดวก นั่นก็คือคลองจะต้องวางอยู่ในแนวซึ่งมีระดับสูงในเขตส่งน้ำ ที่คลองนั้นรับผิดชอบแนวดังกล่าวนี้จะขึ้นอยู่กับลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่ ซึ่งอาจแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะด้วยกัน คือ *บริเวณที่ราบระหว่างเชิงเขา และบริเวณที่ราบกว้างใหญ่*

ก. บริเวณที่ราบระหว่างเชิงเขา

ลักษณะพื้นที่เพาะปลูกซึ่งมักจะมีแนวยาวและมีความลาดเทจากเชิงเขาหรือเนินลงมาหาทางน้ำซึ่งอยู่ตรงกลาง ดังนั้นแนวคลองสายใหญ่ก็จะวางให้ไต่ลัดเลาะไปตาม

แนวเส้นขอบเนินซึ่งเป็นขอบบนของบริเวณที่ราบซึ่งกำหนดให้เป็นพื้นที่รับน้ำ ดังรูปที่ 4.1 ส่วนแนวคลองจะอยู่ไกลจากทางน้ำซึ่งอยู่ตรงกลางมากเท่าใดนั้น ขึ้นอยู่กับระดับน้ำใช้การของหัวงานและความลาดเทตามแนวยาวของคลองที่เลือกใช้ในกรณีที่พื้นที่ระหว่างแนวคลองกับทางน้ำมีความกว้างมากก็จำเป็นต้องมีคลองซอยซึ่งจะวางอยู่บนสันเนินย่อยซึ่งยื่นเป็นพูออกมาจากชายลาดเขาคลองซอยในลักษณะภูมิประเทศเช่นนี้จะวางทำมุมเกือบตั้งฉาก หรือตั้งฉากกับแนวเส้นขอบเนินและจะมีอยู่เพียงด้านเดียวของคลองสายใหญ่ ทางน้ำซึ่งอยู่ตรงกลางทำหน้าที่เป็นทางระบายน้ำสายใหญ่ของพื้นที่ ส่วนทางระบายน้ำสายซอยก็จะอยู่ระหว่างคลองซอย ถ้าหากการส่งน้ำเข้านาทำโดยการฝังท่อส่งน้ำจากคูส่งน้ำ ซึ่งรับน้ำจากคลองซอย ระยะระหว่างคลองซอยไม่ควรจะอยู่ห่างกันมากจนทำให้คูน้ำส่งน้ำยาวเกินไประยะที่เหมาะสมประมาณ 1,000 ถึง 1,500 เมตร และระยะระหว่างคูน้ำไม่ควรจะไกลกว่า 300 เมตร

ในกรณีที่พื้นที่รับน้ำซึ่งอยู่ระหว่างคลองสายใหญ่กับทางระบายน้ำประมาณ 300 - 400 เมตร คลองซอยอาจจะทำหน้าที่เป็นคูส่งน้ำและจะวางเคียงคู่ไปกับคลองสายใหญ่เพื่อให้สะดวกต่อการควบคุมการส่งน้ำโดยปกติแล้วจะไม่ติดตั้งท่อส่งน้ำเข้านาจากคลองสายใหญ่โดยตรง เพราะจะทำให้มีปัญหาในเรื่องการบริหารการส่งน้ำมาก

ข. บริเวณที่ราบกว้างใหญ่

แนวคลองส่งน้ำสายใหญ่ในพื้นที่ที่เป็นที่ราบกว้างใหญ่จะต้องอยู่ในแนวที่มีระดับพื้นที่สูดสุดเช่นเดียวกันกับในกรณีแรกแต่ในกรณีนี้จะวางอยู่ในแนวสันเนินหลักของพื้นที่ซึ่งทำให้คลองตัดตั้งฉากกับแนวเส้นขอบเนินการส่งน้ำสามารถทำได้ทั้งสองฝั่งคลองดังรูปที่ 4.2 ส่วนแนวคลองซอยก็จะแยกออกทั้งสองฝั่งของคลองสายใหญ่ คูส่งน้ำอาจจะอยู่เพียงด้านเดียวหรือทั้งสองด้านของคลองซอยก็ได้ระยะห่างระหว่างคลองซอยและคูส่งน้ำยังคงใช้กฎเกณฑ์เดียวกันกับกรณีแรกคือ ระยะห่างระหว่างคลองซอยจะไม่ทำให้คูส่งน้ำยาวเกินกว่า 1,000 ถึง1,500 เมตร และระยะระหว่างคูส่งน้ำไม่ไกลกว่าประมาณ 300 เมตร

ในบริเวณที่เป็นที่ราบกว้างใหญ่จะไม่มีทางระบายน้ำที่เด่นชัดเหมือนกับในกรณีที่เป็นที่ราบระหว่างเชิงเขาแต่คลองระบายยังคงอยู่ในแนวที่เป็นร่องซึ่งพิจารณาได้จากเส้นขอบเนินในทางปฏิบัติอาจจำเป็นต้องขุดคลองระบายน้ำขึ้นเพื่อให้สามารถระบายน้ำได้อย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่ที่ราบมาก ๆ

การรับน้ำชลประทานเข้าแปลงนาในทั้งสองกรณี ทำโดยการใช้ท่อส่งน้ำเข้า

นาซึ่งปกติใช้ท่อซีเมนต์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.20 - 0.30 เมตร ท่อส่งน้ำเข้านาจะติดตั้งตามแนวคูส่งน้ำหรือคลองซอยขนาดเล็กแต่จะไม่ติดตั้งในคลองส่งน้ำสายใหญ่หรือคลองซอยขนาดใหญ่ เพื่อสะดวกต่อการบริหารงานส่งน้ำ คู่ส่งน้ำหรือคลองซอยขนาดเล็กที่ทำหน้าที่จ่ายน้ำไม่ควรยาวเกินกว่า 1,500 เมตร และรับผิดชอบพื้นที่โดยประมาณ 300 - 400 ไร่ ในกรณีที่จำเป็นต้องให้คูยาวเกินกว่า 1,500 เมตร ควรพิจารณาดาดคูเพื่อลดการสูญเสียน้ำเนื่องจากการรั่วซึมและเพื่อให้สามารถส่งน้ำไปถึงท้ายคูได้เร็วขึ้น

ตามวิธีการวางระบบชลประทานกล่าวข้างต้นจะเห็นได้ว่าการวางระบบชลประทานจำเป็นต้องใช้แผนที่ภูมิประเทศที่มีรายละเอียดพอสมควร โดยทั่ว ๆ ไปการวางแผนแนวคลองสายใหญ่หรือคลอง ซอยจะต้องใช้แผนที่มาตราส่วนอย่างน้อย 1:10,000 ที่มีเส้นขอบเนินอย่างน้อยทุก 1.0 เมตร สำหรับคูส่งน้ำจำเป็นต้องใช้แผนที่มาตราส่วนโตขึ้นโดยเฉพาะอย่างยิ่งพื้นที่ชลประทานที่เป็นทุ่งราบ กว้างใหญ่ควรจะมีเส้นขอบเนินทุกระดับความสูง 0.50 เมตร หรือน้อยกว่า

4.4.2 ขั้นตอนในการวางแนวคลอง

สำหรับขั้นตอนการวางแนวคลองสายใหญ่และคลองซอยลง ในแผ่นที่ภูมิประเทศควรดำเนินการเป็นขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นที่ 1 วางระบบระบายน้ำ

การดำเนินงานในขั้นแรกผู้ออกแบบจะต้องพิจารณาจัดวางระบบระบายน้ำก่อนโดยยึดลำน้ำธรรมชาติเป็นทางระบายน้ำสายใหญ่ ลำน้ำสาขา เป็นทางระบายน้ำสายซอยตลอดจนใช้ที่ราบลุ่มตามธรรมชาติซึ่งเมื่อฝนตกลงมาบยพื้นที่ภายในโครงการแล้วน้ำฝนที่เหลือใช้จะต้องไหลมาตามที่ราบลุ่มนั้น โดยสังเกตุจากเส้นContourLineเป็นหลัก ในขั้นต้นนี้เราจะได้ระบบระบายน้ำโดยหยาบ ๆทำให้ทราบถึงทิศทางการไหลของน้ำจากน้ำฝน ซึ่งถ้าฝนตกลงมาภายในพื้นที่โครงการชลประทานนั้นๆ แล้วน้ำจะถูกระบายไปตามทิศทางที่ได้จัดวางไว้ตามลำดับจนถึงลำน้ำขนาดใหญ่

ขั้นที่ 2 วางแนวคลองส่งน้ำสายใหญ่

ในลำดับแรกจะต้องจัดวางแนวคลองส่งน้ำสายใหญ่ โดยลักการก็คือพยายามวางแนวคลองสายใหญ่ให้เดินไปตามแนวระดับพื้นดินที่สูงที่สุดในพื้นที่โครงการสำหรับพื้นที่ซึ่งเป็นที่ราบระหว่างเนินเขาทั้งสองฟากแม่น้ำ แนวคลองส่งน้ำสายใหญ่จะต้องไต่ไปตามลาดเชิงเขาออกไป และห่างจากแม่น้ำออกไปให้มากที่สุดที่จะทำได้ใน

ลักษณะเช่นนี้จะวางคลองส่งน้ำสายใหญ่จากหัวงานได้ 2 สาย คือคลองสายใหญ่ฝั่งซ้าย และคลองสายใหญ่ฝั่งขวา ซึ่งเลียบไปทางฝั่งซ้ายและฝั่งขวาของแม่น้ำและจะมีแนวเกือบขนานไปกับเส้น contour การวางแนวคลองส่งน้ำของพื้นที่ในลักษณะเช่นนี้ ในวิธีปฏิบัติจริงควรจะทำการลากเส้น FlyLine โดยการกำหนดลาดตามยาว (Longitudinal Slope) ของคลองส่งน้ำเสียก่อน ซึ่งเป็นเกณฑ์ที่จะทำให้ทราบได้ว่าในระยะทางคลองเป็น กม. จะต้องลดระดับน้ำลงเท่าใด (กี่ ซม.) เส้น Fly Line นี้จะเขียนลากไปตามเส้นContour จะมีลักษณะเป็นเส้นโค้งไปตามแนวของเส้น Contour เลยทีเดียว แต่จะลดระดับลงไปเรื่อยตามจำนวน กม. ของคลองที่วิ่งไป และมีการกำหนดการสูญเสีย Head เนื่องจากอาคารตัดผ่านกับทางน้ำธรรมชาติหรือ อาคารวัดน้ำกลางคลอง ซึ่งมีแนวทางที่พอจะกำหนดได้ว่าระยะทางเท่าใดจึงจะต้องใช้อาคารวัดน้ำหนึ่งตัว จากวิธีนี้เราก็จะได้เส้นๆ หนึ่งซึ่งเป็นตัวแทนแนวคลองส่งน้ำตามทฤษฎีควรจะเป็นซึ่งจะมีลักษณะโค้งไปตามPattern ของเส้น Contour ในลำดับต่อไปให้พิจารณาตัดเส้นโค้งเหล่านี้ให้เป็นแนวตรง และกำหนดใช้โค้งของคลองตามความเหมาะสมในการคัดแนวคลองให้เป็นแนวตรงนี้ ถ้าลักษณะพื้นที่โครงการราบเรียบจะไม่เกิดปัญหามากนัก แต่ถ้าเป็นพื้นที่ Rolling ก็จะเกิดปัญหา Cut และและ Fill เป็นจำนวนมาก ซึ่งปัญหาในข้อนี้ควรจะพึงระมัดระวังและควรหลีกเลี่ยงแนวคลองซึ่งจะต้องเดินไปในพื้นที่ที่ต้อง Cut ให้มากที่สุด เพราะการวางแนวคลองCut จะเป็นตัวปัญหาในการก่อสร้าง เช่น ประสบกับปัญหน้ำใต้ดิน และปัญหาในด้านการส่งน้ำและบำรุงรักษา อันเกิดจากการกัดเซาะจากน้ำฝนของดินบริเวณลาดและคันคลองลงสู่คลองส่งน้ำ ซึ่งเป็นปัญหาในเรื่องตะกอนตกทับถมลงในคลองเป็นจำนวนมากยากแก่การบำรุงรักษาที่จะให้มีสภาพใช้งานดีดังเดิม หรือในบางครั้งการแก้ไขต้องทำเป็น Interception Drain คือทำคลองขนานไปอีกเส้นหนึ่งเพื่อดักน้ำและตะกอนให้ไหลไปลงที่อื่น เป็นการสิ้นเปลืองเพิ่มมากขึ้น ปัญหาด้านการก่อสร้างพบว่าในบริเวณที่มีน้ำใต้ดินสูงจะเป็นอุปสรรคแก่การก่อสร้างเป็นอย่างมาก เพราะไม่สามารถก่อสร้างได้ตามแบบได้ จากการตรวจสอบในสนามพบว่าในบางกรณีเราวางแนวคลองให้ต่ำลงไปห่างจากแนวเดิมประมาณ 20-30 ม. สามารถจะแก้ปัญหาได้อย่างดี เพราะฉะนั้นการ Balance Cut & Fill ในสมัยดั้งเดิมที่เคยปฏิบัติกันมาจะใช้ไม่ได้ผล สมควรจะเดินแนวคลองไปบน Fill มากกว่าผ่านไปใน Cut เนื่องจากปัญหาการยกระดับน้ำในคลองให้สูงอุปสรรคไรการก่อสร้าง และการดูแลบำรุงรักษาดังกล่าวข้างต้น

ขั้นที่ 8 การวางคลองส่งน้ำสายซอย

ซึ่งเป็นคลองส่งน้ำที่แยกออกจากคลองส่งน้ำสายใหญ่หรือคลองแยกเพื่อนำน้ำไปจ่ายในพื้นที่ข้างเคียง ปรกติคลองส่งน้ำสายซอยจะวิ่งไปในแนวสันเนินสูงสุด (Ridge) ของพื้นที่ เพื่อส่งน้ำให้แก่พื้นที่ทั้ง2ข้างที่คลองนั้นผ่านไป สิ่งที่ควรคำนึงถึงคือ ระยะทางจากคลองส่งน้ำสายซอยไปจนถึงจุดที่ไกลที่สุดที่จะเป็นแนว Drain จะต้องอยู่ในระยะที่กำหนดไว้ในเกณฑ์การออกแบบ ทั้งนี้จะออกแบบเผื่อไว้ในกรณีที่ทำระบบชลประทานในแปลงนา การขุดคูส่งน้ำภายในแฉกส่งน้ำจะต้องมีความยาวไม่เกินที่กำหนดไว้ในบางกรณีอาจจำเป็นในบางกรณีอาจจำเป็นต้องเพิ่มจำนวนสายคลองส่งน้ำสายซอยให้มากขึ้น เพื่อให้ระบบการแพร่กระจายน้ำภายในแฉกส่งน้ำได้สมบูรณ์มากขึ้น

4.5 คลองส่งน้ำ (Irrigation Canals)

คลองส่งน้ำเป็นอาคารที่สร้างขึ้นเพื่อรับน้ำจากแม่น้ำหรือแหล่งน้ำ เพื่อส่งต่อไปยังพื้นที่เพาะปลูกในกรณีที่จำเป็นต้องสร้างคลองส่งน้ำตัดผ่านสิ่งกีดขวางตามธรรมชาติ อาจต้องสร้างอาคารส่งน้ำอื่นแทนคลองส่งน้ำเป็นช่วงๆเช่น อุโมงค์ (Tunnels) ท่อส่งน้ำ(Pipe) รางน้ำ(Flumes) และท่อเชื่อม(Siphons) เป็นต้น คลองส่งน้ำนับได้ว่าเป็นสิ่งจำเป็นและสำคัญที่สุดของโครงการชลประทาน ประเภท Gravity Irrigation เพราะประสิทธิภาพการส่งน้ำของโครงการจะดีเพียงใดขึ้นอยู่กับระบบคลองส่งน้ำ นอกจากนี้ยังต้องเสียค่าใช้จ่ายสูงในการเตรียมการซื้อที่ดินตามแนวคลอง และค่าก่อสร้างอีกด้วย

คลองส่งน้ำเป็นทางน้ำเปิด (Open Channels) ที่ขุดขึ้นในพื้นที่ตามธรรมชาติ หรือขุดขึ้นในดินถมอัดแน่น เพื่อยกระดับให้สูงขึ้นกว่าพื้นที่ส่งน้ำ ทำให้สามารถส่งน้ำเข้าแปลงได้สะดวกและรวดเร็วซึ่งเราเรียกคลองชนิดนี้ว่า คลองลอย (lifted canal)

คลองส่งน้ำแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด ตามลักษณะของการก่อสร้างคือ *คลองดิน (earth canal) และคลองคาด หรือคลองมีเปลือก (lined canal)* คลองดินเป็นคลองที่ขุดดินหรือถมดินให้เป็นรูปคลองธรรมดาโดยไม่มีการป้องกันการรั่วซึมนิยมสร้างในพื้นที่ที่มีดินเนื้อละเอียดหรือดินเหนียว ค่าลงทุนไม่สูงนัก สำหรับคลองคาดนั้นเมื่อขุดคลองให้ได้ตามขนาดแล้ว จะทำการคาดผิวคลองด้วยวัสดุที่น้ำซึมผ่านไม่ได้เป็นเปลือกคลองอีกที่หนึ่งเพื่อป้องกันการรั่วซึมของน้ำขณะส่งน้ำส่วนมากจะใช้ในพื้นที่ดินทรายหรือดินเนื้อหยาบ การใช้คลองคาดจะช่วยลดการสูญเสียน้ำได้มากแต่ค่าลงทุนสูง

คลองส่งน้ำมีหลายประเภท อาจแบ่งออกตามลักษณะและหน้าที่ได้ดังนี้คือ คลองลำเลียง คลองสายใหญ่ คลองสาขา คลองซอย และคลองแยกซอย ซึ่งมีลักษณะและหน้าที่ดังนี้

1. <u>คลองลำเลียง</u> (Feeder Canal)

มีลักษณะเป็นทางน้ำเปิดขนาดใหญ่ ทำหน้าที่ลำเลียงน้ำจากแหล่งน้ำหนึ่งไปยังแหล่งเก็บกักน้ำย่อย หรือ ลำเลียงน้ำออกแหล่งน้ำหัวงานไปยัง คลองสายใหญ่ ในช่วงคลองลำเลียงจะไม่มีการส่งน้ำให้กับพื้นที่เพาะปลูก หรือ คลองส่งน้ำอื่นใด

2. <u>คลองสายใหญ่</u> (primary Canal, Main canal)

คลองสายใหญ่เป็นคลองที่ขุดแยกจากแม่น้ำ หรือหัวงานเพื่อรับน้ำเข้าไปในเขตโครงการชลประทาน เนื่องจากคลองส่งน้ำสายใหญ่จะต้องรับปริมาณน้ำทั้งหมดสำหรับพื้นที่เพาะปลูกในโครงการคลองจึงมีขนาดใหญ่ที่สุดและมีความสำคัญมากกว่าคลองประเภทอื่น

โดยปกติคลองส่งน้ำสายใหญ่จะไม่ส่งน้ำให้กับพื้นที่เพาะปลูกโดยตรง นอกจากจำเป็นจริงๆ เท่านั้น แต่จะส่งน้ำให้กับคลองสาขา หรือคลองซอยอีกทีหนึ่ง โครงการชลประทานแห่งหนึ่งอาจจะมีคลองสายใหญ่เพียงสายเดียวหรือหลายสายก็ได้ และจะขุดออกจากแม่น้ำทางฝั่งเดียวหรือสองฝั่งก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขอบเขตพื้นที่ส่งน้ำ และแผนการส่งน้ำของโครงการ ตำแหน่งหรือแนวคลองส่งน้ำสายใหญ่จะอยู่ตามแนวสูงสุดของพื้นที่โครงการ

3. <u>คลองสาขา</u> (Branch Canal)

คลองสาขาเป็นคลองที่แยกออกจากคลองสายใหญ่ เพื่อรับน้ำไปสู่พื้นที่อันกว้างขวางของโครงการซึ่งไม่เหมาะที่วางคลองสายใหญ่เพิ่มขึ้นอีกคลองสาขา มีลักษณะและหน้าที่เช่นเดียวกับคลองสายใหญ่ มีแนวอยู่บนที่สูงและไม่ส่งน้ำให้กับพื้นที่เพาะปลูกโดยตรง คลองสาขานี้ไม่ค่อยนิยมขุดกันมากนัก ในประเทศไทยมีที่โครงการป่าสักใต้ คือคลองแยกตะวันตก (West branch) และคลองแยกใต้ (South branch) ของคลองรพีพัฒน์ซึ่งเป็นคลองสายใหญ่ของโครงการชลประทานป่าสักใต้

4. <u>คลองซอย</u> (Secondary canal, Laterals)

คลองซอยเป็นคลองที่แยกออกจากคลองสายใหญ่ หรือคลองสาขาเพื่อรับน้ำส่งไปให้แกพื้นที่เพาะปลูกในเขตรับผิดชอบของคลองซอยนั้นๆ แนวคลองซอยจะอยู่บนที่สูงเช่นเดียวกัน

ตามแนวคันคลองซอย จะติดตั้งอาคารท่อส่งน้ำเข้านา (Farm Turnout) ไว้เป็นระยะๆ เพื่อส่งน้ำเข้าสู่พื้นที่เพาะปลูกโดยตรง หรือส่งน้ำเข้าคูน้ำ (Farm Ditch) เพื่อนำน้ำเข้าไปส่งให้กับพื้นที่เพาะปลูกอีกต่อหนึ่ง ข้อสำคัญระยะห่างระหว่างคลองซอยไม่ควรห่างกันมากเกินไป ในกรณีที่ต้องส่งน้ำให้กับคูน้ำ ความยาวคูน้ำควรอยู่ในช่วง 1,000 - 1,500 เมตร

5. *คลองแยกซอย (Tertiary Canal)*

คลองแยกซอยเป็นคลองขนาดเล็ก ที่แยกออกจากคลองซอยเพื่อรับน้ำส่งให้แก่พื้นที่เพาะปลูก ที่คลองแยกซอยนั้นควบคุมอยู่ โครงการชลประทานแห่งหนึ่งอาจจะมีคลองแยกซอย หลายสายกระจายอยู่ทั่วพื้นที่โครงการ คลองแยกซอยมีลักษณะและหน้าที่เช่นเดียวกับคลองซอย และมีแนวคลองอยู่บนที่สูงในพื้นที่เขตส่งน้ำของมัน จากคลองแยกซอยนี้อาจจะมีคลองส่งน้ำเล็กๆ แยกออกไปอีกก็ได้แต่ยังคงเรียกคลองแยกซอยเช่นเดียวกัน

การเรียกชื่อคลองส่งน้ำจะถือเอาลำดับก่อนหลังที่คลองสายนั้นแยกออกจากคลองสายใหญ่ หรือคลองซอย แต่ละฝั่งซ้าย หรือ ขวาแล้วกำหนดตำแหน่งของคลองนั้น ๆ ย้อนขึ้นไปหาต้นน้ำ เช่น

คลองซอย 1R คือคลองซอยสายที่ 1 ซึ่งแยกออกทางฝั่งขวาของคลองสายใหญ่

คลองซอย 3L คือคลองซอยสายที่ 3 ซึ่งแยกออกทางฝั่งซ้ายของคลองสายใหญ่

คลองแยกซอย 3R-2L คือคลองแยกซอยสายที่ 3 ซึ่งแยกออกทางฝั่งขวาของคลองซอย 2L

คลองแยกซอย 1L-1R คือคลองแยกซอยสายที่ 1 ซึ่งแยกออกทางฝั่งซ้ายของคลองซอย 1R

คลองแยกซอย 1R-3L-2R คือคลองแยกซอยสายที่ 1 ของคลองแยกซอย 3L-2R

นอกจากนี้ยังสามารถกำหนดชื่อคลองซอยและคลองแยกซอย ตามระยะทางของคลองสายใหญ่หรือคลองซอย ที่คลองซอยหรือคลองแยกซอยนั้นแยกออกมาก็ได้ เช่น Right Lateral at Km. 3+250.000 คือคลองซอยที่แยกออกทางฝั่งขวาของคลองสายใหญ่ที่ กม. 3+250.000 เป็นต้น

4.6 ปริมาณความต้องการใช้น้ำชลประทาน (Irrigation Water Requirement)

ปริมาณความต้องการใช้น้ำชลประทาน คือ ปริมาณน้ำชลประทานที่ต้องส่งออกจากหัวงาน หรือส่งเข้าคลองส่งน้ำสายใหญ่ เพื่อแจกจ่ายไปยังพื้นที่เพาะปลูกให้พอเพียงกับความต้องการใช้น้ำของพืช เพื่อใช้ในการเจริญเติบโต รวมทั้งการใช้น้ำเพื่อประโยชน์อย่างอื่นที่เกี่ยวข้องและหลีกเลี่ยงไม่ได้ เช่นการเตรียมแปลง การสูญเสียในขณะส่งน้ำ และการรั่วซึมตามคลองส่งน้ำเป็นต้น ความต้องการน้ำชลประทานอาจแยกออกได้เป็น 3 ส่วน ที่สำคัญคือ 1.)ปริมาณน้ำที่พืชต้องการใช้ 2.)ปริมาณน้ำชลประทานสุทธิที่แปลงเพาะปลูก 3.)ปริมาณน้ำชลประทานสุทธิที่ต้องส่งออกจากหัวงาน แต่ละส่วนแยกออกเป็นรายละเอียดได้ดังนี้

4.6.1 ปริมาณน้ำที่พืชต้องการใช้

คือปริมาณน้ำที่พืชต้องการใช้จริงขณะทำการเพาะปลูกในแปลง ปริมาณน้ำนี้พืชจำเป็นต้องใช้เพื่อละลายอาหารในดินขึ้นไปเลี้ยงส่วนต่างๆ ของลำต้น เป็นขบวนการที่พืชจำเป็นต้องใช้น้ำจริง ซึ่งรวมการระเหยและการคายน้ำของพืชด้วย ปริมาณการใช้น้ำของพืชนี้ขึ้นอยู่กับ ชนิดของพืช อายุ และฤดูกาลเพาะปลูก ซึ่งอาจจะทำการทดสอบและวัดจริงได้จากสนาม แต่ในทางปฏิบัตินิยมคำนวณจาก ผลคูณระหว่างสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช (K_C) กับอัตราการใช้ของพืชอ้างอิง (Potential Evapo-transpiration,Etp) ซึ่งมีสูตรที่ใช้ในการคำนวณหลายสูตรด้วยกัน แต่ถ้าเป็นข้าวค่าดังกล่าวนิยมคำนวณจาก ผลคูณระหว่างสัมประสิทธิ์ของถาดวัดการระเหย (K_P) กับอัตราการระเหยจากถาดวัดแบบ Class-A Pan (E_P) ซึ่งเขียนเป็นสูตรได้ดังนี้

$$Et_C = K_C \times Et_P$$

หรือ $$Et_C = K_P \times E_P \qquad \text{.....(4.1)}$$

เมื่อ Et_C = ปริมาณน้ำที่พืชต้องการใช้

K_C = สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช (สำหรับใช้กับสูตร)

K_P = สัมประสิทธิ์ของถาดวัดการระเหย

Et_P = อัตราการใช้น้ำของพืชอ้างอิง

E_P = อัตราการระเหยจากถาดวัดแบบ Class-A Pan

ปริมาณความต้องการใช้น้ำของพืช นิยมวัดออกมาเป็นความลึก เป็นมิลลิเมตรต่อวัน หรือต่อเดือน ในฤดูกาลเพาะปลูก

4.6.2 ปริมาณน้ำชลประทานสุทธิที่แปลงเพาะปลูก

ปริมาณน้ำชลประทานสุทธิที่แปลงเพาะปลูก ได้แก่ปริมาณน้ำที่ต้องส่งให้ถึงแปลงเพาะปลูกจริงพร้อมที่จะส่งให้พืชใช้ได้ตามความต้องการ ปริมาณน้ำนี้จะมากหรือน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับ ปริมาณฝนใช้การ (Effective Rainfall) และปริมาณน้ำที่ต้องใช้เพื่อกิจการอื่น เช่น การเตรียมแปลง การรั่วซึมในแปลงและการชะล้างเกลือจากดิน เป็นต้น

ความต้องการน้ำชลประทานที่แปลงเพาะปลูกอาจจะเขียนให้อยู่ในรูปของสมการ ดังนี้

$$I_N = ET_C - R_E - W_1 \quad \text{.....(4.2)}$$

เมื่อ I_N = ปริมาณน้ำชลประทานสิทธิที่ต้องการที่แปลงเพาะปลูก

Et_C = ปริมาณน้ำที่พืชต้องการใช้

R_E = ปริมาณฝนใช้การ

W_1 = ปริมาณน้ำที่ต้องการเพื่อวัตถุประสงค์อย่างอื่นเช่น การเตรียมแปลงการรั่วซึมในแปลงนาการชะล้างเกลือออกจากดิน เป็นต้น

4.6.3 ปริมาณน้ำชลประทานสุทธิที่ต้องส่งออกจากหัวงาน

ในการที่จะส่งน้ำจากหัวงานเข้าปากคลองสายใหญ่ เพื่อให้พื้นที่เพาะปลูกหรือแปลงนาได้รับน้ำอย่างน้อย I_N นั้นจะมีน้ำส่วนหนึ่งต้องสูญเสียไปในขณะให้น้ำ (Application loss) สูญเสียไปโดยการระเหยและรั่วซึมในคลองและคูส่งน้ำ (Conveyance loss) และสูญเสียไปในขณะส่งน้ำ (Operation loss) การสูญเสียขณะให้น้ำขึ้นอยู่กับวิธีการให้น้ำ ชนิดของดิน และความสามารถของเกษตรกรในการให้น้ำ ส่วนการรั่วซึมในคลองและคูส่งน้ำขึ้นอยู่กับชนิดของดินที่คลองนั้นขุดผ่าน ลักษณะของชั้นดินใต้คลองส่งน้ำ ความยาวของเส้นขอบเปียกและความลึกของน้ำในคลอง ความยาวของคลอง ฯลฯ สำหรับการสูญเสียขณะส่งน้ำนั้นขึ้นอยู่กับวิธีการส่งน้ำ ความสามารถของพนักงานส่งน้ำที่จะส่งไปให้พอเหมาะกับความต้องการของพืช ชนิด และจำนวน อาคารบังคับน้ำในระบบส่งน้ำ เป็นต้น

ในปัจจุบันการคำนวณปริมาณน้ำที่สูญเสียไปเนื่องจากสาเหตุต่างๆ จากหัวงานไปจนถึงแปลงเพาะปลูก จะคิดออกมาในรูป ประสิทธิภาพของโครงการชลประทาน (Irrigation Project Efficiency) ซึ่งเขียนในรูปสมการได้ดังนี้

$I_G = I_N/E_P \times 100$ .....(4.3)

เมื่อ I_G = ปริมาณน้ำชลประทานสุทธิที่ต้องส่งจากหัวงาน

I_N = ปริมาณน้ำชลประทานสุทธิที่แปลงเพาะปลูก

E_P = ประสิทธิภาพของโครงการชลประทาน

ความจริงจะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพของโครงการชลประทานครอบคลุมกว้างขวางมาก เพื่อให้สามารถระบุได้ว่าส่วนใดเป็นส่วนที่มีการสูญเสียน้ำมากกว่าส่วนอื่น เรามักจะแบ่งประสิทธิภาพของโครงการชลประทานออกเป็นประสิทธิภาพการส่งน้ำ ประสิทธิภาพของคูส่งน้ำและประสิทธิภาพการให้น้ำดังนี้ คือ

$E_C = I_F/I_G \times 100$ ..... .(4.4)

$E_B = I_P/I_F \times 100$ ..... (4.5)

และ $E_A = I_N/I_P \times 100$ . ..... (4.6)

เมื่อ E_C = ประสิทธิภาพการส่งน้ำ จะนับจากคลองสายใหญ่ถึงคลองซอย

E_B = ประสิทธิภาพของคูส่งน้ำ

E_A = ประสิทธิภาพการให้น้ำ

I_F = ปริมาณน้ำที่ได้รับที่ท่อส่งน้ำเข้านา

I_P = ปริมาณน้ำที่ได้รับที่ท่อส่งน้ำเข้านา

เมื่อทราบค่าประสิทธิภาพของแต่ละส่วนแล้ว ประสิทธิภาพของโครงการชลประทาน จะหาได้จาก

$E_P = E_A \times E_B \times E_C$ .....(4.7)

ค่าประสิทธิภาพในระดับต่างๆ ของโครงการชลประทานจะดูได้จาก หนังสือหลักการชลประทาน (ดร.วิบูลย์ บุญยธโรกุล) สำหรับโครงการชลประทานที่ระบบส่งน้ำเป็นทางน้ำเปิด ประสิทธิภาพของโครงการชลประทานที่ดีจะมีค่าประมาณไม่เกิน 60 %

4.7 ค่าชลภาระ (Water Duty)

ชลภาระ มาจากคำว่า Water Duty หมายถึง น้ำ 1 หน่วยปริมาตรซึ่งส่งไปใน 1 หน่วยเวลาใช้ทำการชลประทานในเนื้อที่แปลงหนึ่งได้ ดังนั้นชลภาระจึงแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณน้ำ ระยะเวลาส่งน้ำ และพื้นที่รับน้ำชลภาระในที่นี้หมายถึง ชลภาระที่หัวงาน ซึ่งปริมาณน้ำที่กล่าวถึงคือปริมาณน้ำที่ส่งออกจากหัวงานนั่นเอง แต่มักจะเรียกโดยย่อว่า "ชลภาระ"

การแสดงค่าของชลภาระที่นิยมใช้กันทั่วไป คือ แสดงถึงปริมาณน้ำซึ่งส่งไปใน 1 หน่วยเวลา ใช้ทำการชลประทานได้ 1 หน่วยพื้นที่ เช่น

ชลภาระ = 0.0002 ลูกบาศก์เมตร/วินาที/ไร่ หรือ

= 0.20 ลิตร/วินาที/ไร่

หมายถึงปริมาณน้ำที่ส่งไปในอัตรา 0.20 ลิตรจากหัวงาน ใน 1 วินาที (ตลอดฤดูการส่งน้ำ) สามารถใช้ทำการชลประทานในเนื้อที่ 1 ไร่

ค่าของชลภาระนี้มีค่าแตกต่างกันออกไป ทั้งนี้เพราะแฟคเตอร์ที่กระทบกระเทือนต่อชลภาระมีอยู่หลายประการด้วยกัน ได้แก่ ชนิดของพืชที่ปลูก ฤดูกาลเพาะปลูก น้ำฝน ลักษณะเนื้อดิน การจัดแปลงเพาะปลูก การเขตกรรม วิธีการส่งน้ำ และความชำชาญของผู้ใช้น้ำ

ชลภาระเป็นค่าที่คำนวณได้จากผลการทดลองและการสอบวัด ก่อนที่จะกำหนดค่าของชลภาระเพื่อใช้กับโครงการที่เปิดใหม่ จำต้องอาศัยผลการทดลองและการสอบวัดในเขตโครงการนั้นเป็นข้อมูลในการคำนวณ ถ้าไม่มีต้องอาศัยข้อมูลของโครงการอื่นที่สร้างเสร็จแล้ว หรือข้อมูลจากที่อื่นที่มีสภาพของดินฟ้าอากาศใกล้เคียงกับโครงการชลประทานที่จะเปิดใหม่นั้น หน้าที่สำคัญของผู้บริหารงานส่งน้ำและจัดระบบการชลประทานก็คือ การหาค่าชลภาระจริงในเขตโครงการเพื่อตรวจสอบค่าของชลภาระเดิมที่ใช้ในการวางแผนและออกแบบระบบส่งน้ำของโครงการชลประทานนั้นว่าถูกต้องเพียงใดเพื่อหาทางปรับปรุงแก้ไขต่อไป

สำหรับโครงการชลประทานที่เปิดใหม่นั้น เมื่อทราบพื้นที่ชลประทานและค่าของชลภาระโครงการแล้ว จะทราบปริมาณน้ำทั้งหมดที่ต้องส่งจากหัวงานไปทำการชลประทาน ซึ่งเท่ากับผลคูณของชลภาระกับพื้นที่ชลประทาน ต่อจากนั้นจึงจะทราบว่าลำน้ำที่เป็นต้นน้ำของโครงการชลประทาน มีปริมาณน้ำในระหว่างฤดูเพาะปลูกพอใช้ทำการชลประทานหรือไม่ ถ้ามีปริมาณน้ำมากพอตลอดฤดูกาลเพาะปลูกจึงเริ่มคำนวณขนาดของประตูระบายปากคลองส่งน้ำ คลองส่งน้ำ และอาคารชลประทานต่าง ๆ หากปริมาณน้ำต้นทุนของโครงการมีไม่เพียงพอ จะต้องปรับพื้นที่ชลประทานให้เหมาะสมต่อไป

ขนาดของคลองส่งน้ำทุกสายและขนาดของอาคารส่งน้ำทุกแห่งต้องคำนวณจากพื้นที่ที่คลองส่งน้ำนั้นรับผิดชอบและค่าชลภาระเสมอ ดังนั้นจะเห็นได้ว่าค่าชลภาระมีความสำคัญต่อการวางแผนระบบส่งน้ำของโครงการเป็นอันมาก ถ้าใช้ค่าชลภาระคลาดเคลื่อนไปมากจะเกิดความเสียหายทั้ง 2 ด้าน กล่าวคือถ้าใช้ค่าชลภาระน้อยไปปริมาณน้ำ

ที่ส่งไปทำการชลประทานก็จะน้อยกว่าความเป็นจริง คลองแต่ละสายจะมีขนาดเล็กและส่งน้ำไม่พอกับความต้องการ ในทางตรงกันข้ามถ้าใช้ค่าชลภาระมากเกินไป ปริมาณน้ำที่ต้องส่งจะมากเกินไป คลองแต่ละสายจะใหญ่เกินความต้องการทำให้ต้องสูญเสียน้ำและเสียค่าก่อสร้างสูง

ชลภาระดังกล่าวข้างต้นเป็นค่าชลภาระของโครงการ ที่ใช้ในการออกแบบคลองส่งน้ำสายใหญ่และคลองซอย ซึ่งมักจะคำนวณค่าชลภาระจากการให้น้ำตลอดเวลา

4.8 คุณสมบัติของคลองส่งน้ำ (Canal Properties)

หลังจากที่ได้วางแนวคลองครอบคลุมพื้นที่รับน้ำชลประทานแล้วขั้นต่อมาก็เป็นการออกแบบขนาดรูปตัดและคุณสมบัติอื่น ๆ ที่จำทำให้คลองนั้นทำหน้าที่ได้อย่างสมบูรณ์โดยมีค่าลงทุนที่เหมาะสม ในแง่เศรษฐกิจและง่ายต่อการส่งน้ำและบำรุงรักษา คุณสมบัติที่พึงประสงค์ของคลองส่งน้ำมีดังต่อไปนี้ คือ

1. จะต้องมีขนาดโตพอที่จะส่งน้ำได้ตามจำนวนที่ต้องการ
2. จะต้องมีระดับน้ำสูงพอที่จะส่งเข้าพื้นที่เพาะปลูกได้สะดวก
3. ความเร็วของกระแสน้ำในคลองจะต้องไม่ช้าเกินไปจนทำให้เกิดการตกตะกอน หรือไหลเร็วเกินไปจนทำให้เกิดการกัดเซาะขึ้นในคลองส่งน้ำ
4. ไม่เกิดการรั่วซึมมากเกินไป

คุณสมบัติข้อที่ 1

ขึ้นอยู่กับความต้องการน้ำสูงสุดที่พื้นที่เพาะปลูกของโครงการ ซึ่งได้กล่าวมาแล้วว่าปริมาณน้ำที่ต้องส่งเข้าคลองส่งน้ำเท่ากับผลคูณของค่าชลภาระ (Water Duty) กับพื้นที่ชลประทาน (Irrigable Area) ซึ่งคลองนั้นควบคุมอยู่ ปริมาณน้ำดังกล่าวนี้จะต้องส่งให้พื้นที่เพาะปลูกตลอดเวลา หรือสำหรับการชลประทานประเภท Continuous Irrigation เท่านั้นเช่นการส่งน้ำให้การทำนาในประเทศไทย เป็นต้น แต่ถ้าเป็นการชลประทานแบบรอบเวร หรือประเภท Rotational Irrigation ระยะเวลาในการส่งน้ำเข้าคลองจะน้อยลงและปริมาณน้ำที่ส่งเข้าคลองจะมากขึ้น (ไม่ได้กล่าวรายละเอียดในที่นี้)

เมื่อคลองส่งน้ำผ่านพื้นที่เพาะปลูก คลองส่งน้ำจะจ่ายน้ำให้กับคลองย่อยหรือท่อส่งน้ำเข้านาไปเรื่อยๆ เพราะฉนั้นปริมาณน้ำในคลองนั้นๆ จะลดน้อยลงทุกที ขนาดของคลองจะเล็กลงไปสู่ปลายคลอง จนในที่สุดรูปตัดคลองสุดท้ายก่อนระบายลงสู่

ทางระบายน้ำธรรมชาติจะเท่ากับรูปตัดคลองก่อนสุดท้าย

คุณสมบัติข้อที่ 2

ระดับน้ำใช้การในคลองส่งน้ำจะต้องสูงพอที่ส่งน้ำเข้าพื้นที่ได้สะดวก ดังนั้น ระดับน้ำในคูจะต้องอยู่สูงกว่าระดับพื้นที่เพาะปลูกพอสมควรในทำนองเดียวกันระดับน้ำในคลองซอย ก็จะต้องอยู่สูงกว่าระดับน้ำใช้การเต็มที่ (Full Supply Level)ในคูส่งน้ำ และระดับน้ำในคลองสายใหญ่จะต้องอยู่สูงกว่าระดับน้ำใช้การเต็มที่ในคลองซอย ความแตกต่างระหว่างระดับน้ำสูงสุดในคลองสูงสุดในคลองสายใหญ่กับคลองซอยและในคลองซอยกับคูส่งน้ำอย่างน้อยจะต้องเท่ากับการเสีย Head ที่อาคารปากคลองที่อัตราการไหลสูงสุดของคลองที่แยกออกไป

โดยปกติระดับน้ำใช้การเต็มที่จะอยู่สูงจากผิวดินมากน้อยเท่าใดขึ้นอยู่กับระดับน้ำใช้การที่หัวงาน ความลาดเทของผิวน้ำตามแนวยาวของคลองที่จะต้องเลือกใช้ให้สัมพันธ์กันกับภูมิประ-เทศตามแนวคลอง และอาคารควบคุมบังคับน้ำในคลองต่าง ๆ เช่นอาคารบังคับน้ำกลางคลอง (Check) อาคารน้ำตก (Drop) เป็นต้น โดยหลักการแล้วระดับน้ำในคลองส่งน้ำควรจะขนานไปกับระดับผิวดินตามแนวคลอง และมีความลาดเทที่พอเหมาะต่อการไหลของน้ำ ถ้าภูมิประเทศมีความลาดเทชันพอสมควร ควรกำหนดระดับน้ำในคลองอยู่สูงจากผิวดิน 0.50 ถึง 1.0เมตรสำหรับคลองสายใหญ่ และ 0.20 ถึง 0.30 เมตรสำหรับคลองซอยก็เพียงพอ แต่ในกรณีที่ภูมิประเทศแบนราบจำเป็นต้องกำหนดให้สูงขึ้นเป็นประมาณ 1.00 ถึง 1.50 เมตรสำหรับคลองสายใหญ่ และ 0.30 ถึง 0.50 เมตรสำหรับคลองซอย ที่หน้าอาคารปากคลองควรจะมี Head อย่างน้อยประมาณ 0.20 ถึง 0.30 เมตร และปากคลองท่อส่งน้ำเข้านาควรจะมี Head ประมาณ 0.10 ถึง 0.15 เมตร

คุณสมบัติข้อที่ 3

คลองส่งน้ำทั่วไปย่อมมีโอกาศที่จะตื้นเขินได้ เนื่องมาจากตะกอนตกจมอยู่ในคลอง กรณีที่กระแสน้ำไหลช้า และในทางตรงกันข้ามถ้าเป็นคลองดินธรรมดา (Earth Canal) อาจถูกน้ำกัดทำลายได้ถ้ากระแสน้ำแรงเกินไปกระแสน้ำที่จะไม่ทำให้ตะกอนในน้ำตกจมและไม่กัดทำลายคลองนั้นเรียกว่า Critical Velocity ดังนั้นกระแสน้ำในคลองส่งน้ำ โดยเฉพาะคลองดินควรมีความเร็วเท่ากับหรือใกล้เคียงกับ Critical Velocity คุณสมบัติในข้อนี้จะกล่าวโดยละเอียดต่อไปในเรื่องการออกแบบคลองส่งน้ำในท้องถิ่นที่มีตะกอนมาก

ความจริงสาเหตุที่ทำให้คลองส่งน้ำตื้นเขินและถูกน้ำกัดทำลาย อาจเกิดจากสาเหตุอื่นได้อีก เช่น การใช้โค้งแนวคลองแคบเกินไป การใช้ลาดตลิ่งชันมากและเกิดจากฝนที่ตกหนัก เป็นต้น

คุณสมบัติข้อที่ 4

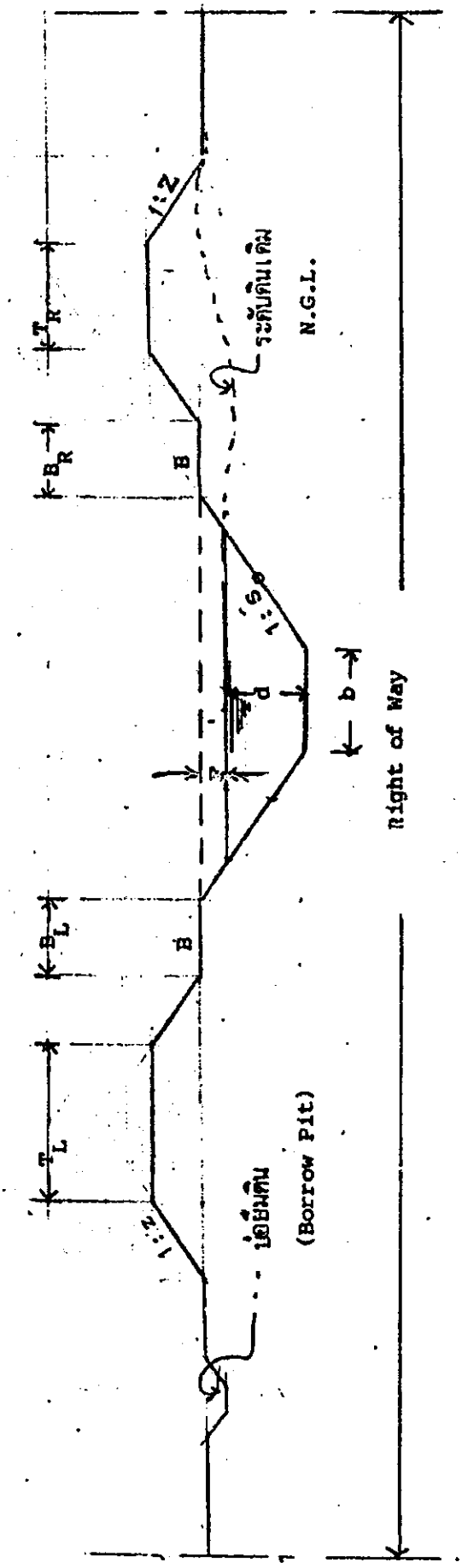
การรั่วซึมของน้ำออกจากคลองดินธรรมดา (Earth Canals) จะเกิดขึ้นมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับลักษณะของดินที่คลองนั้นต้องขุดผ่าน ตามปกติการวางแนวคลองส่งน้ำจะพยายามหลีกเลี่ยงไม่ให้แนวคลองผ่านบริเวณที่เป็นดินทรายหรือดินที่มีเนื้อหยาบอยู่แล้ว เพราะดินชนิดนี้รั่วซึมน้ำได้ง่าย แต่ถ้าหลีกเลี่ยงไม่ ได้อาจต้องหาวิธีป้องกันการรั่วซึมอย่างอื่น เช่น ทำการดาดคลอง (Canal lining) ด้วยวัสดุที่น้ำซึมผ่านได้ยาก เช่น concrete, asphalt,และดินเหนียว เป็นต้น หรืออาจจะเปลี่ยนระบบส่งน้ำในบริเวณนั้นเป็นท่อส่งน้ำแทน เมื่อพ้นบริเวณนั้นไปแล้วจึงขุดคลองส่งน้ำต่อไป

4.9 รูปทรงของคลองส่งน้ำ (Canal Sections)

รูปตัดมาตรฐานของคลองส่งน้ำโดยทั่วไป แสดงไว้ในรูปที่ 4.4 ในการพิจารณาออกแบบคลองส่งน้ำ มิติต่าง ๆ ที่ผู้ออกแบบจำเป็นต้องกำหนดได้แก่

1. ลาดผิวน้ำในคลอง (Water surface slope)
2. ส่วนสัดของทางน้ำซึ่งประกอบด้วย
   - ก. ความกว้างของก้นคลอง (b)
   - ข. ความลึกของน้ำในคลอง (d)
   - ค. เผื่อล้นหรือ Freeboerd (F)
   - ง. ลาดตลิ่งคลอง (1:S_S)
3. คันคลอง (Embankments)
4. ชานคลอง (Berms)
5. เขตคลอง (Right-of-way)

คลองส่งน้ำเป็นสิ่งที่จำเป็นและสำคัญที่สุดในบรรดาสิ่งก่อทั้งหลายในโครงการชลประทาน อาจมีระยะทางรวมกันหลายกิโลเมตร ต้องเสียค่าใช้จ่ายสำหรับการก่อสร้างและบำรุงรักษาจำนวนมาก อาจมีข้อบกพร่องและข้อจำกัดแตกต่างกันออกไปคือในด้านการออกแบบคลองส่งน้ำ ไม่มีหลักเกณฑ์ที่แน่นอนตายตัวว่าจะต้องมีขนาดเท่าใดขึ้นอยู่กับการพิจารณาและประสบการณ์ของผู้ออกแบบ ในด้านการก่อสร้างอาจมีข้อผิด



รูปที่ 4.1 รูปตัดคลองส่งน้ำ

พลาดได้เนื่องจากในปัจจุบันมีการใช้เครื่องจักรเครื่องมือช่วยกันมาก ความถูกต้องละเอียดละออของเครื่องจะลดน้อยลง แม้จะพยายามสร้างให้ใกล้เคียงกับแบบมากที่สุดก็ตาม สำหรับการบำรุงรักษานั้น คลองส่งน้ำของโครงการหรือแต่ละสายมี ความยาวมากต้องมีการดูแลบำรุงรักษาและซ่อมแซมอย่างใกล้ชิดบางส่วนอาจมีการชำรุดเสียหายทรุดโทรมซึ่งเกิดจากการทำลายของคนและสัตว์ตลอดจนมีพวกวัชพืชขึ้นรกในคลองทำให้น้ำไหลไม่สะดวก อย่างไรก็ตามได้มีการรวบรวมหลักการในการพิจารณาออกแบบไว้ดังนี้

4.9.1 ลาดผิวน้ำตามความยาวคลองส่งน้ำ (Longitudinal Slope)

การคำนวณอัตราความเร็วของน้ำในทางน้ำเปิด ลาดผิวน้ำเป็นสิ่งสำคัญและมีอิทธิพลที่จะทำให้น้ำไหลไปได้โดย gravity ถ้าลาดผิวน้ำชันน้ำจะไหลเร็วและแรง แต่ถ้าลาดผิวน้ำราบน้ำจะไหลช้าลง และน้ำจะไม่ไหลเลยเมื่อไม่มีลาดผิวน้ำในทางปฏิบัติจะกำหนดให้ลาดผิวน้ำมีค่าเท่ากับลาดของก้นคลอง ซึ่งบางครั้งจะเขียนไว้ที่ลาดก้นคลองแทน

การกำหนดลาดผิวน้ำของคลองโดยทั่วไปจะมีความสัมพันธ์กับลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่ ลาดของผิวน้ำจะขนานไปกับลาดภูมิประเทศโดยเฉลี่ยเพื่อลดปัญหาการสร้างอาคารประกอบ ต่าง ๆ ทั้งนี้จะต้องคำนึงถึงความเร็วของน้ำซึ่งจะเกิดปัญหาการกัดเซาะ การตกตะกอนและระดับน้ำที่จะต้องส่งต่อไปด้วย

ลาดผิวน้ำไม่จำเป็นต้องเป็นค่าเดียวกันตลอดคลอง อาจจะชันในบางตอนแล้วราบในบางตอนก็ได้ เช่น ตอนต้นคลองใช้ลาดผิวน้ำ 1:8000 ตอนกลางคลองใช้ลาดผิวน้ำ 1:10000 และตอนปลายคลองใช้ลาดผิวน้ำ 1:12000 เช่นนี้ก็ได้ แต่ถ้าเป็นไปได้ควรใช้ลาดผิวน้ำเป็นค่าเดียวกันตลอดโดยสร้างเป็นอาคารน้ำตก (Drops) หรือรางเท (Chutes) ในบริเวณพื้นที่ลาดชันมากแทน

ในภูมิประเทศที่เป็นที่ราบระหว่างหุบเขา การกำหนดให้ลาดผิวน้ำชันจะทำให้ระบบชลประทานคลุมพื้นที่ได้น้อย แต่น้ำจะไหลเร็วและไม่มีปัญหาการตกตะกอน ในทางตรงกันข้ามถ้ากำหนดให้ลาดผิวน้ำแบนราบ ความเร็วของกระแสน้ำจะลดลง ต้องใช้คลองขนาดโตขึ้น แต่คลองสามารถส่งน้ำให้กับพื้นที่ได้มากขึ้น

ในภูมิประเทศที่เป็นทุ่งราบกว้างใหญ่มักจะใช้ความลาดชันต่ำ เท่ากับลาดเทของผิวดินโดยประมาณ การกำหนดให้ลาดผิวน้ำชันกว่าผิวดินจะทำให้ลาดผิวน้ำปลายคลองต่ำกว่าผิวดิน ทำให้ไม่สามารถส่งน้ำให้กับพื้นที่เพาะปลูกได้ ในทางตรงข้ามถ้า

กำหนดให้ลาดผิวน้ำแบนกว่าผิวดิน ระดับปลายคลองจะสูงกว่าผิวดินมากจำเป็นต้องปั้นคลองให้สูงหรือต้องใช้อาคารน้ำตกลดระดับน้ำลงมาเป็นต้น

การเปลี่ยนแปลงลาดเทผิวน้ำของคลองจะค่อยๆ ลดลงทีละน้อยตามลาดที่เลือกใช้โดยทั่ว ไปลาดผิวน้ำคลองสายใหญ่และคลองซอยจะอยู่ในช่วงประมาณ 1:4000 ถึง 1:10000 และคูส่งน้ำอาจจะชันมากกว่า อย่างไรก็ตามการเลือกลาดผิวน้ำมีผลต่อความเร็วของกระแสน้ำโดยตรง จำเป็นต้องคำนึงถึงการกัดเซาะและการตกตะกอนด้วย

4.9.2 ความกว้างของก้นคลอง(b)และความลึกของน้ำในคลอง(d)

ความกว้างของก้นคลองและความลึกของน้ำในคลอง มีความสำคัญต่อพื้นที่หน้าตัด (A) และค่า Hydraulic Properties ของคลองส่งน้ำคลองส่งน้ำที่จะออกแบบให้ส่งน้ำในปริมาณคงที่ (Q) และสมมุติให้มีความเร็ว (V) คงที่ ปริมาณน้ำที่คงที่ต้องการจะขึ้นอยู่กับพื้นที่หน้าตัด (A) ซึ่งขึ้นอยู่กับค่าความกว้างของก้นคลอง (b) และความลึกของน้ำ (d) กล่าวคือ แต่ละคนจะออกแบบให้ค่า b และ d ที่งานแตกต่างกันได้ ตราบเท่าที่คลองมีพื้นที่หน้าตัดเท่ากัน ผู้ออกแบบที่ดีควรจะคำนึงถึง การกัดเซาะ การตกตะกอน และสัดส่วนคลองที่เหมาะสมที่สุด จะกล่าวในรายละเอียดต่อไป

ในทางปฏิบัติความกว้างของก้นคลองจะถูกออกแบบให้เป็นเลขจำนวนเต็มเพื่อความสะดวกในการก่อสร้างและเหมาะกับเครื่องมือที่ใช้ ส่วนความลึก ของน้ำก้นคลองจะผันแปรไปได้ตามขนาดที่ต้องการ ในการส่งน้ำแบบต่อเนื่อง หรือตลอดเวลา ขนาดความต้องการของก้นคลองจะลดลงเรื่อย ๆ จากต้นคลองไปสู่ปลายคลอง ตามขนาดของปริมาณน้ำที่ส่วนต่อให้คลองแยกซอย หรือ ท่อส่งน้ำเข้านากรมชลประทานใช้ขนาดความกว้างก้นคลองเล็กสุด เท่ากับ 0.4 เมตร และจะเพิ่มครั้งละ 0.20 เมตร ไปจนถึง 2.50 เมตร ความกว้างก้นคลองตั้งแต่ 2.50-5.00 เมตร จะเพิ่มหรือลดครั้งละ 0.50 เมตร สำหรับความกว้างก้นคลองในช่วง 5.00-10.00 เมตร จะเพิ่มหรือลดครั้งละ 1.00 เมตร และสำหรับความกว้างก้นคลองตั้งแต่ 10 เมตรขึ้นไป จะเพิ่มหรือลดครั้งละ 2.00 เมตร อย่างไรก็ตามควรพิจารณาถึงปัจจัยอื่นประกอบด้วย

ความลึกของน้ำในคลองส่งน้ำ(d)จะมีค่าเท่ากันตลอดเมื่อคลองมีปริมาตรและพื้นที่หน้าตัดเดียวกัน ในกรณีที่ปริมาณน้ำลดลงความลึกของน้ำ หรือ F.S.L จะลดลงโดยอัตโนมัติ ถ้า F.S.L จะลดลงเพียงเล็กน้อยจะปล่อยให้ระดับน้ำลดลงเองโดยไม่มีอาคารบังคับน้ำแต่ถ้าลดปริมาณน้ำลงมากจำเป็นต้องสร้างอาคารบังคับน้ำช่วย เช่น

อาคารอัดน้ำหรือ อาคารน้ำตก เป็นต้น

การลดความลึกของน้ำในคลองอาจทำได้อีกวิธีหนึ่งก็คือ ยกระดับก้นคลองขึ้นตรงบริเวณที่ลดปริมาณน้ำลงเพื่อรักษา F.S.L ไว้ แต่วิธีนี้ไม่ค่อยนิยมทำกันมากนัก เพราะจะให้เกิดการตกตะกอนตรงบริเวณดังกล่าวและกระทบกระเทือนการไหลของน้ำ น้ำที่ไหลผ่านบริเวณนั้นจะไม่เป็น Uniform flow อาจกัดคลองพังเสียหายได้

การลดขนาดพื้นที่หน้าตัดคลองส่งน้ำอาจกระทำได้โดยการลดขนาดความกว้างก้นคลองและความลึกของน้ำในคลองไปพร้อมกัน หรืออาจจะลดหรือบีบก้นคลองให้เล็กลงแต่รักษาระดับ F.S.L.ไว้ที่เดิม ในกรณีที่ลดความกว้างก้นคลองลงจากเดิมเพียงเล็กน้อย เช่น 0.20-0.40 เมตร.(ลดลงข้างละ 0.10-0.20 เมตร) ถ้าลดลงมากจะต้องทำเป็นTransition โดยค่อยๆ ลดความกว้างก้นคลองลงทีละน้อยภายในช่วง 10-100 เมตร ของTransition นั้น เพื่อไม่ให้กีดขวางการไหลของน้ำ หรืออาจจะรักษาความกว้างก้นคลองไว้ โดยยอมให้ระดับน้ำในคลองลดลงก็ได้หากระดับผิวน้ำด้านท้ายคลองสูงพอที่จะทำการส่งน้ำได้สะดวก หลักเกณฑ์ทั่วไปสำหรับคลองส่งน้ำความลึกของน้ำในคลอง จะมีค่าน้อยกว่าความกว้างก้นคลองเสมอ[$d \approx (0.5\text{-}1.0)b$]

4.9.3 ลาดตลิ่งคลอง (Side Slope, Ss)

ลาดตลิ่งคลองต้องเลือกใช้ให้เหมาะสมกับสภาพของดินที่จะขุดหรือถมให้เป็นรูปคลอง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะเนื้อดิน โครงสร้างของดิน ลักษณะของงานก่อสร้างและเครื่องจักรเครื่องมือที่ใช้ อย่างไรก็ตามวัตถุประสงค์สำคัญของการเลือกใช้ลาดตลิ่งคลองให้เหมาะสมก็คือ เพื่อให้ลาดตลิ่งคลองสามารถต้านทานกระแส น้ำและทรงตัวอยู่ได้อย่างถาวร ตามปกติแล้วลาดตลิ่งของคลองจะไม่ชันกว่ามุมทรงตัวของดิน (Angle of Repose หรือ Angle of Internal Friction) การพังทะลายของลาดตลิ่งคลองยังอาจเกิดขึ้นได้ จากสาเหตุอื่นเช่น คลื่นลมที่เกิดขึ้นในคลอง การถูกเหยียบย่ำทำลายของคนและสัตว์ หรืออาจจะเกิดจากการกัดเซาะเนื่องจากฝนตกหนักและน้ำไหลลงสู่คลองทำให้ตลิ่งพัง เป็นต้น ลาดตลิ่งที่นิยมใช้กันทั่วไปสำหรับดินปกติจะอยู่ในช่วงประมาณ 1:1 ถึง 1:2 ลาดตลิ่งคลองดาดด้วยคอนกรีตที่ใช้กันมากที่สุดคือ 1:1.5 การเลือกใช้ลาดตลิ่งที่เหมาะสมพิจารณาจากตารางท้ายนี้

การเปลี่ยนลาดตลิ่งคลอง (Ss) ในกรณีที่ลักษณะดินตามแนวคลองเปลี่ยนไป

สามารถเปลี่ยนแปลงลาดตลิ่งคลองให้เหมาะสมกับดินได้ โดยทำเป็น Transition ค่อยๆ เปลี่ยนลาดตลิ่งลงไปทีละน้อย ในช่วง 10-100 เมตร ของ Transition นั้นจนกว่าจะได้ลาดตลิ่งใหม่ตามต้องการ

ตาราง (4.1) ลาดด้านข้างของคลองที่ไม่ได้ดาดสำหรับการขุดหรือถมในดินชนิดต่างๆ

วัสดุ	ลาดด้านข้าง (V : H)
-การขุดในพื้นหินดิน	1:1/4
-การขุดในหินร้าวและดินดานแข็ง	1:1/2
-การขุดในหินผุ กรวดที่มีดินประสานกันแน่น	1:3/4
-การขุดในกรวดที่ประสานด้วยดินเหนียวปนทรายแน่น	1:1
การขุดในดินเหนียวแน่นทึบ	1:1
การถมในดินเหนียวแน่นทึบ	1:2
การขุดหรือถมในดินธรรมดาที่มีอนุภาคดินเหนียว ตะกอนทรายและทรายผสมกันดี	1:1 1/2
การขุดหรือถมในดินที่มีทรายหยาบ ตะกอนทรายแต่มีดินเหนียวผสมอยู่น้อย	1:2
การขุดหรือถมในดินทราย ตะกอนทราย	1:3
การขุดดินชายทะเล	1:4 ถึง 1:5

4.9.4 เผื่อล้น (Freeboard)

หลังจากที่กำหนดความลึกของน้ำในคลองสำหรับอัตราการไหลสูงสุด หรือระดับน้ำใช้การเต็มที่(Full Supply Level) ในคลองแล้ว จำเป็นต้องเพิ่มความลึกเผื่อเอาไว้อีกส่วนหนึ่ง เพื่อป้องกันมิให้น้ำไหลล้นข้ามหลังคันคลองในขณะที่ส่งน้ำ ความลึกที่ต้องการเผื่อไว้ซึ่งเท่ากับความแตกต่างระหว่างระดับน้ำใช้การเต็มที่ กับระดับหลังคันคลอง เรียกว่า เผื่อล้น (Freeboard)

การไหลล้นข้ามค้นคลองอาจเกิดขึ้นได้ จากการอัดน้ำให้มีระดับน้ำสูงขึ้นด้วยอาคารทดน้ำกลางคลอง การส่งน้ำเข้าคลองเต็มที่ในขณะที่ความต้องการน้ำน้อยหรือมีฝนตก การปิดเปิดประตูระบายด้วยความไม่ระมัดระวังและการมีน้ำป่าไหลมาลงคลอง เป็นต้น

คลองที่มีความยาวมากมักจะมีปัญหาน้ำล้นคลองบ่อย ๆ เนื่องจากการเปลี่ยน

แปลงความต้องการน้ำอย่างกระทันหันทางด้านท้ายน้ำ การแก้ปัญหาเช่นนี้ทำได้โดยการติดตั้งอาคารทิ้งน้ำ (Wasteway) ในบริเวณหน้าอาคารที่มีการลดขนาดหน้าตัดของทางน้ำ เช่น อาคารทดน้ำกลางคลอง รางน้ำ (Flumes) ไซฟอน(Siphons) หรือในบริเวณที่คลองตัดผ่านทางระบายน้ำธรรมชาติที่เหมาะสม ก็จะช่วยแก้ปัญหาน้ำล้นคันคลองได้

ขนาดของเผื่อล้น(Freeboard)เป็นสัดส่วนโดยตรงกับขนาดความลึกของน้ำในคลองส่งน้ำ ซึ่งประมาณอย่างคร่าวๆ ได้จากสมการ

$$F = m.d + n$$

ในเมื่อ F = เผื่อล้น เป็นเมตร

d = ความลึกของน้ำในคลอง เป็นเมตร

m และ n = ค่าสัมประสิทธิ์ซึ่งขึ้นกับอัตราการไหลในคลอง

ค่าเผื่อล้นของคลองดินที่เคยใช้กันมีดังนี้

คูส่งน้ำขนาดเล็ก

ก. F = 0.30 เมตร

ข. F = 0.10d + 0.15

คลองซอย

ก. F = 0.50 เมตร

ข. F = 0.25d + 0.30

คลองสายใหญ่

ก. F = 1.50 ถึง 2.00 เมตร

ข. F = 0.20d + 0.20

สำหรับคลองดาด เผื่อล้นที่ใช้เป็นค่าเดียวกันกับคลองที่ไม่ได้ดาดแต่เปลือกคลองไม่จำเป็นต้องทำให้สูงถึงระดับหลังคันดินค่าเผื่อล้นในคลองชลประทานที่มีใช้กันในประเทศต่าง ๆ อาจดูได้จากตารางที่ได้แสดงไว้ข้างท้ายนี้

(ตาราง 4.2) ค่าเผื่อล้น (Freeboard) ที่ใช้กันในประเทศต่าง ๆ

ประเทศ	อัตราการไหล หรือ พท .รับน้ำ หรือความลึก	คลองไม่ดาด	คลองดาด
ออสเตรเลีย	0.85 - 2.83	0.45	0.30
	8.50 - 28.30	0.61	0.38
	28.30	0.91	0.38
สหภาพโซเวียต	1.0 ม^3/วินาที	0.20	0.1-0.15
และโปแลนด์	1 - 10	0.30	0.20
	10 - 20	0.40	0.30
	20 - 50	0.50	0.35
อินเดีย	0.14 ม^3./วินาที	0.30	0.15
	0.14 - 1.41	0.46	0.15
	0.41 - 14.16	0.61	0.30
	14.16	0.91	0.45
บัลกาเลีย	คลองขนาดเล็ก	0.25	0.25
	คลองขนาดกลาง	0.40	0.30
	คลองขนาดใหญ่	0.60	0.40
ปากีสถาน	คูส่งน้ำ	0.46	
	คลองซอย	0.76	
	คลองสายใหญ่	0.90	
ฝรั่งเศส	คลองขนาดเล็ก	0.30	0.15-0.60
	คลองขนาดใหญ่	1.00	
มาเลเซีย	คลองขนาดเล็ก	0.46	
	คลองขนาดใหญ่	0.91	
อียิปต์	0.5 เฮกตาร์	0.5	
	0.75-1.619	0.75	
	0.619-4.047	1.0	
	4.047	1.25-1.50	

(ตาราง 4.2) ค่าเผื่อล้น (Freeboard) ที่ใช้กันในประเทศต่าง ๆ(ต่อ)

ประเทศ	อัตราการไหล หรือ พท .รับน้ำ หรือความลึก	คลองไม่คาด	คลองคาด
สเปน	0.5		0.10
	0.5 - 1.0		0.15
	1.0 - 1.5		0.20
	1.5 - 2.0		0.25-0.30
	2.0 - 4.0		0.30-0.50
ออสเตรเลีย รัฐควีนแลนด์		0.3+(0.15-0.20 y(0.38-1.22	(0.20- 0.26)y(0.15- 0.16)
สหรัฐอเมริกา อินเดีย		$\sqrt{dy}$ (c=0.457-0.91)	
ญี่ปุ่น		0.5y+hv+(0.5 -0.15)	0.07y+hv-(0.05 -0.15)สำหรับราง น้ำ
เกาหลี		y/3(อย่างต่ำ0.30) 0.2y+0.15	

* Y = ความลึกของน้ำเป็นเมตร, hv = เฮดความเร็ว (velocity head) เป็นเมตร

4.9.5 คันคลอง (Embankments)

คันคลองคือ คันดินที่ตั้งอยู่บนสองฝั่งคลองมีแนวขนานไปกับแนวคลอง หน้าที่สำคัญของคันคลองที่สำคัญ ก็คือ

ก. *เป็นที่ทิ้งดิน* ที่ขุดขึ้นมาจากการขุดคลองส่งน้ำ เช่นในบริเวณที่ขุดคลองผ่านที่สูง ซึ่งต้องขุดคลองลึกและมีปริมาตรดินมาก คันคลองในลักษณะนี้จึงมีขนาดใหญ่หรือบางที่อาจจะถมสูงเป็น หลายชั้น

ข. *เป็นคันดิน* ทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้น้ำในคลองไหลออกไปจากคลองหรือ

ไม่ให้น้ำภายนอกไหลเข้าคลองส่งน้ำเว้นแต่ตรงบริเวณที่ส่งน้ำออกจากคลองหรือรับน้ำภายนอกเข้าคลองสร้างเป็นอาคารพิเศษไว้

ในกรณีที่คันคลองไม่ได้ทำหน้าที่ปิดกั้นน้ำการกำหนดขนาดของคันคลองไม่สู้มีปัญหาสำคัญมากนัก แต่อย่างไรก็ตามจะต้องพิจารณาถึงความมั่นคงของคันดินไม่ให้เกิดการพังทะลายลงได้

1. ระดับหลังคันคลอง (Top of Banks, TB)

ระดับหลังคันคลอง หมายถึง ระยะความสูงจากระดับน้ำใช้การเต็มที่ในคลอง (F.S.L) ถึงระดับหลังคันคลอง (TB) ซึ่งเรียกว่า Freeboard การกำหนดระยะ Freeboard หรือความสูงของหลังคันนั้นจะต้องสูงพอไม่ให้เกิดปัญหาต่าง ๆ ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น

2. ขนาดความกว้างของหลังคัน (Top width of Embankment, W)

ถ้าระดับน้ำใช้การเต็มที่อยู่สูงกว่าระดับดินเดิมเล็กน้อย ความกว้างของหลังคันคลองที่ใช้กันทั่วไป ดังนี้คือ

คลองซอยขนาดเล็ก ใช้ W = 2.00 เมตร

คลองซอยขนาดใหญ่ ใช้ W = 2.00 - 4.00 เมตร

คลองสายใหญ่ ใช้ W = 4.00 - 6.00 เมตร

อย่างไรก็ตามความกว้างของหลังคันคลองอาจต้องพิจารณาเป็นพิเศษ ตามความประสงค์ของการใช้งานด้วย คือ

ก. คันคลองที่ไม่ใช้เป็นถนน (non-operating banks)

กรณีที่ก้นคลองน้อยกว่า 10.00 เมตร ใช้ W = b/2 แต่ไม่น้อยกว่า 0.5 เมตร ความกว้างของหลังคันจะลดลงตามความกว้างของก้นคลอง แต่จะลดลงครั้งละ 0.5 เมตร เป็นอย่างน้อย

กรณีที่ความกว้างก้นคลองมากกว่า 10.00 เมตร ใช้ W = 5.00 เมตร

ข. คันคลองที่ใช้เป็นถนน (Operating roads)

ความกว้างของหลังคันคลองควรกว้างอย่างน้อย 5.00 เมตร หรือเผื่อแนวทางเดินไว้ ระหว่างปลายลาดตลิ่งกับแนวเขตคลองไม่น้อยกว่า 5.00 เมตร

ค. คันคลองที่ใช้เป็นทางหลวง (double-lane Highways)

ความกว้างหลังคันคลองควรกว้างอย่างน้อย 10.00 เมตร หรือเผื่อเขตคลอง

ไว้ขยายอย่างน้อย 10.00 เมตร

4.) คันคลองที่กั้นน้ำสูง

คันคลองต้องแข็งแรงพอที่จะต้านทานแรงดันของน้ำได้แต่ต้องกว้างพอที่จะป้องกันไม่ให้เส้นน้ำซึม (percolation line) ทะลุออกมาที่ชายตลิ่งคันคลองเหนือระดับพื้นดินเดิมได้ หรือไม่ให้น้ำซึมลอดใต้คันคลอง แรงจนกัดพาเม็ดดินหลุดออกไปได้ ในกรณีนี้จะต้องพิจารณาความกว้างของหลังคันคลองจากเส้นน้ำซึม (percolation line) หรือ เส้นลาดอุทกศาสตร์ (hydraulic grade line) ซึ่งจะเริ่มเกิดขึ้นที่ขอบผิวน้ำในคลอง ตามปกติดินเนื้อแน่นจะมี H.G.L ประมาณ 1:4 และดินเนื้อโปร่งจะมี H.G.L ประมาณ 1:10

5.) คันคลองที่ผ่านที่ลุ่มหรือบริเวณชายเขา

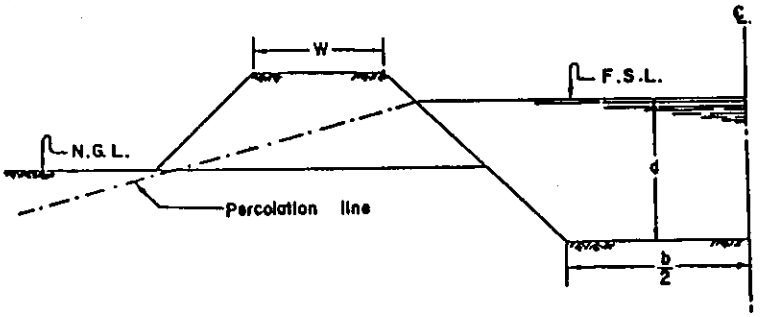
ในกรณีนี้คันคลองจะทำหน้าคล้ายทำนบดิน จะต้องทำการออบแบบและทำการบดอัดให้แน่นเป็นพิเศษ ดังแสดงในรูป

6.) คันคลองที่ใช้เป็นคันกั้นน้ำ (Flood Protective Dikes)

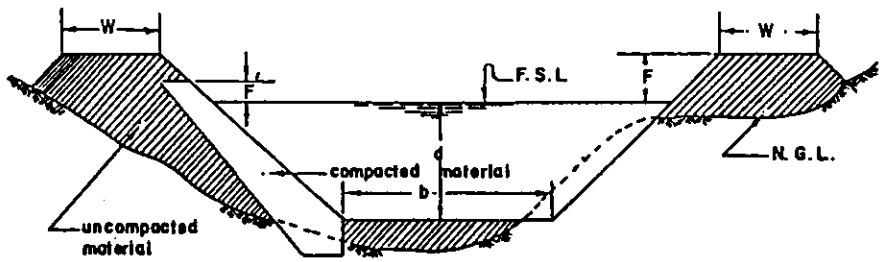
$$W_{min} = 5.00 \text{ เมตร}$$

คันคลองนั้ถึงแม้ว่าได้ทำไว้ถูกต้องตามขนาดที่ออกแบบไว้ แต่ก็ไม่สามารถรักษาขนาดไว้ได้ตลอด มักจะชำรุดทรุดโทรมด้วสาเหตุต่างๆ เช่น ถูกน้ำฝนชะล้างให้เล็กและต่ำลง ถูกคนและสัตว์เหยียบย่ำและทรุดเอง ดังนั้นในเวลาก่อสร้างหรือถมดินคันคลองจึงต้องเผื่อไว้ด้วย

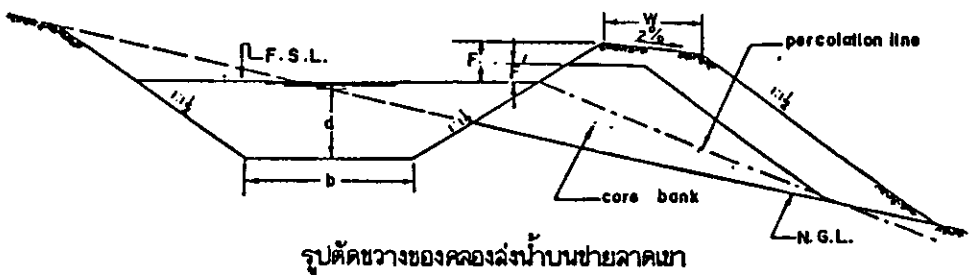
คันตลองควรสร้างให้ได้แนว ขนาด และระดับตามแบบ ความขรุขระของดินบนหลังคันคลองจะทำให้คลองชำรุดได้ง่ายขึ้น ควรปรับให้เรียบและบดอัดให้แน่น ทำขอบคันคลองด้านริมคลองให้สูงและลาดไปอีกด้านหนึ่งประมาณ 2% เมื่อฝนตกน้ำจะได้ไม่ไหลลงคลอง บนหลังคันคลองและตลิ่งคลองควรปลูกหญ้าไว้เพื่อช่วยยึดดินไม่ให้พังทะลายง่าย และไม่ปล่อยให้ต้นไม้ใหญ่ขึ้นบนคันคลองเพราะจะทำให้คันคลองพังได้ง่ายและไม่สะดวกแก่การบำรุงรักษา



รูปที่ 4.2 รูปตัดคันดินที่กั้นน้ำสูง



รูปตัดขวางของคลองส่งน้ำที่ยัดดินลาดสิ่งคลองแน่น
(ระดับดินเดิมต่ำกว่าระดับก้นคลอง)



รูปตัดขวางของคลองส่งน้ำบนชายลาดเขา

รูปที่ 4.3 รูปตัดคลองส่งน้ำที่ผ่านที่ลุ่มและลาดชายเขา

4.9.6 ชานคลอง (Berms)

ชานคลองคือ ระยะจากขอบตลิ่งถึงชายลาดตลิ่งคันคลองด้านริมคลองชานคลองมีประโยชน์ ดังนี้คือ

1) ชานคลองช่วยไม่ให้ตลิ่งคลองพังง่าย เพราะความปกติดินลาดตลิ่งคลองจะชุ่มน้ำ และพังทะลายง่ายอยู่แล้ว ถ้าคันคลองตั้งอยู่ใกล้ตลิ่งคลองมาก น้ำหนักของดินจะกดทับลงบนลาดตลิ่งคลองทำให้ตลิ่งพังได้ง่าย ชานคลองจึงเป็นระยะที่เว้นไว้เพื่อให้คันคลองตั้งอยู่ห่างจากขอบตลิ่งคลอง

2) ชานคลองจะช่วยรับดินคันคลอง ที่ถูกน้ำฝนกัดเซาะลงมาไม่ให้ตกลงไปในคลอง ทำให้คลองตื้นเขิน

3) ในกรณีที่ต้องขุดคลองลึกมาก ให้ได้ตัดดินตลิ่งคลองให้เป็นชานไว้ชั้นหนึ่งก่อน จะช่วยให้ตลิ่งคลองทรงตัวได้ดีขึ้นไม่เลื่อนพังทะลายลงได้ง่าย

4) ชานคลองใช้เป็นทางเดินของเครื่องจักรเครื่องมือ เช่นรถขุด เครื่องมือบำรุงรักษาคลอง และรถตัดหญ้าเป็นต้น

5) ถ้าชานคลองสูงและมีความกว้างพอ อาจใช้ชานคลองเป็น Operating road แน่น การใช้หลังคันคลองได้

ชานคลองนี้จะให้กว้างเท่ากันตลอดจากต้นคลองถึงปลายคลองไม่ได้เพราะจะทำให้แนวศูนย์กลางของคันคลองไม่เป็นเส้นตรง ดังนั้น ความกว้างของ ชานคลองสำหรับคลองสายหนึ่ง จึงเปลี่ยนไปต่าง ๆ กันตลอดทาง

ความกว้างของชานคลอง จะสัมพันธ์กับความลึกของดินขุด (Depth of cut) = E) เพื่อรักแนวศูนย์กลางของคันคลองให้เป็นเส้นตรง

ถ้า 1 : x = ลาดตลิ่งคลอง

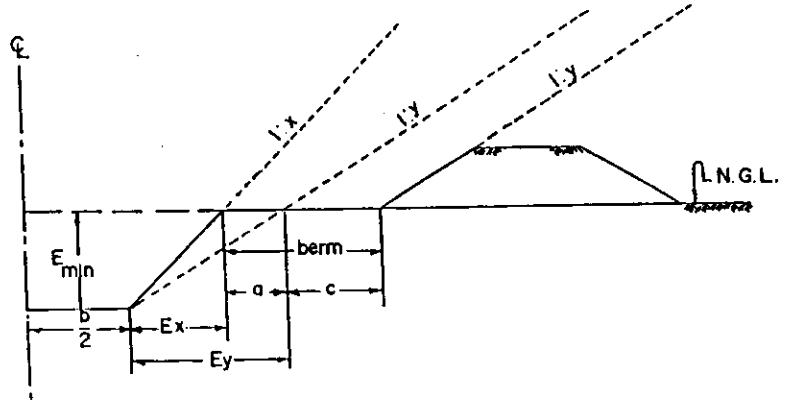
1 : y = ลาดตลิ่งคันคลอง

E = ความลึกของดินขุด

c = ค่าคงที่ซึ่งปกติจะเท่ากับความกว้างที่เครื่องจักรเครื่องมือ เช่น รถขุดจะเดินได้สะดวก

a = ส่วนที่ต้องเพิ่มหรือตัดออก

ก) กรณีที่ลาดตลิ่งคลองชันกว่าลาดตลิ่งคันคลอง



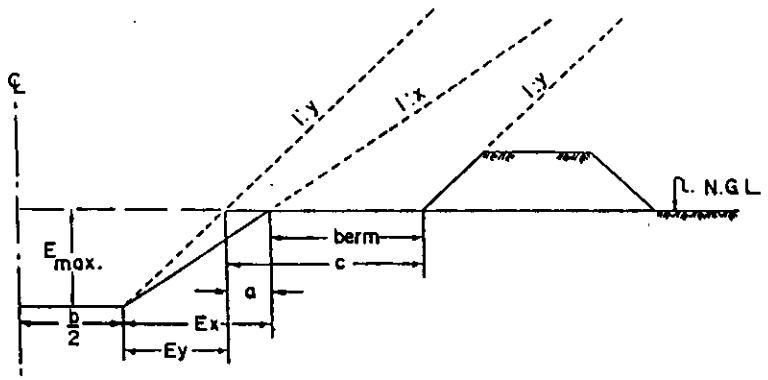
ระยะชานคลองที่สั้นที่สุด = c + a

a = Ey -Ex

= E(y - x)

E คิดจากความลึกของดินขุดที่น้อยที่สุดในช่วงนั้น (คือ E_{min})

ข) <u>กรณีที่ลาดตลิ่งคันคลองชันกว่าลาดตลิ่งคลอง</u>



ระยะชานคลองที่สั้นที่สุด = c - a

a = Ex - Ey

= E(x - y)

E คิดจากความลึกของดินขุดที่มากที่สุดในช่วงนั้น (คือ Emax)

ตามปกติระดับพื้นดินบนชานคลองจะปล่อยไว้ในสภาพเดิมตามธรรมชาติไม่จำเป็นต้องถมหรือตัดดินให้เป็นลาดเดียวกันกับลาดตามยาวของคลอง แต่ควรตกแต่งให้ดีพอสมควร ถ้าเป็นคลองดาดควรทำชานคลองให้แน่น ไม่ให้ไหลลงไปขังหลังแผ่นคอนกรีตจะทำให้คอนกรีตแตกชำรุด และควรดูแลชานคลองให้อยู่ในสภาพดีไม่ให้มี

4.9.7 เขตคลอง (Right of Way)

เขตคลอง คือ เขตที่ดินซึ่งต้องซื้อ หรือสงวนของไว้ ตลอดความยาวของแนวคลอง เพื่อใช้สำหรับงานก่อสร้าง บำรุงรักษา และซ่อมแซมคลองส่งน้ำ ในโอกาสต่อไป

ได้กล่าวแล้วว่าคลองส่งน้ำ และคันคลองชำรุดทรุดโทรมได้ง่ายจำเป็นต้องคอยซ่อมแซม อยู่เสมอ เช่น เมื่อคลองตื้นก็จะต้องขุดออก ถ้าคันคลองทรุดหรือมีขนาดเล็กลง ก็จะต้องเสริมคันดิน หรือขยายให้ใหญ่ขึ้นบางครั้งดินที่ต้องการเสริมไม่เพียงพอจำเป็นต้องขุดบ่อยืมดิน (Borrow pits) เพื่อ นำดินมาเสริม บ่อยืมดินและที่ทิ้งดินจะต้องอยู่ในเขตคลองหรือพื้นที่เตรียมไว้

แนวเขตคลองควรกำหนดให้อยู่ห่างจากชายตลิ่งหรือแนวปากบ่อยืมดินประมาณข้างละ 5.00-6.00 เมตร

4.10 การออกแบบคลองส่งน้ำทางชลศาสตร์ (Hydraulic Design)

การออกแบบทางชลศาสตร์ หมายถึงการกำหนดส่วนลัดของคลองส่งน้ำลาดผิวน้ำตามแนวยาวของคลอง ความเร็วของกระแสน้ำ ฯลฯ เพื่อให้คลองนั้นสามารถส่งน้ำได้ตามอัตราที่ต้องการดดยมีความเร็วของกระแสน้ำพอเหมาะที่จะไม่ทำให้เกิดการตื้นเขินจากการตกจมของตะกอนหรือเกิดการกัดเซาะจนทำให้คลองพัง ได้มีผู้คิดสูตรต่าง ๆ ที่ใช้ในการคำนวณไว้ดังนี้ คือ

4.10.1 Chezy's formula

ในปี ค.ศ.1769 นายช่างฝรั่งเศสชื่อ Chezy ได้คิดสูตรที่ใช้หาความ เร็วของกระแสน้ำที่ไหลที่ไหลในทางน้ำเปิดซึ่งเป็น Uniform Flow ไว้ดังนี้คือ

$$V = C\sqrt{RS} \qquad \text{.....(4.8)}$$

เมื่อ

V = อัตราความเร็วเฉลี่ยของน้ำในรางเปิด

C = Resistance Factor

R = Hydraulic Radius (A/P)

A = เนื้อที่รูปตัดขวางของรางน้ำเปิดที่น้ำไหลผ่าน

P = Wetted Perimeter

S = Slop of energy line (ค่านี้จะมีค่าเท่ากับลาดของผิวน้ำ หรือก้นราง กรณีที่เป็น Uniform flow)

จากสูตร(8)ที่กล่าวข้างต้น จะเห็นได้ว่า ถ้าให้ C และ R มีค่าคงที่ในกรณีที่สร้างในที่เดียวกัน ค่าความเร็วของน้ำ (V) จะผันแปรไปตามลาดผิวน้ำ (S) กล่าวคือ ถ้า Slope ชัน V จะมีค่าสูงหรือน้ำไหลแรง และถ้า S ราบ V จะมีค่าน้อยหรือน้ำจะไหลช้า ดังนั้น การออกแบบโดยเฉพาะคลองดินจะต้องเลือกใช้ Slope ให้เหมาะสม เพื่อให้ได้ความเร็วของน้ำในคลองเท่ากับ Critical velocity อันไม่ทำให้เกิดการกัดเซาะหรือการตกตะกอน (จะกล่าวในรายละเอียดต่อไป)

4.10.2 The Ganguillet and Kutter's Formula

ในปี ค.ศ.1869 นายช่างสวิส 2 คนคือ Ganguillet และ Kutter ได้คิดสูตรโดยแสดงค่า C ในเทอมของ Slope (S), Hydraulic Radius(R), และ Roughness Coefficient (n) สูตรนี้ต่อมาเรียกว่า "The Kutter's C " คือ

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

หรือ

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

ดังนั้นเมื่อนำค่า The Kutter,s C ไปแทนค่า C ใน Chezy,s Formula จะได้ค่าดังนี้คือ

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

และ $$V = \frac{\frac{1}{n}+23+\frac{0.00155}{S}}{1+(23+\frac{0.00155}{S})\frac{n}{\sqrt{R}}}.\sqrt{RS}. \quad \text{.....(4.9)}$$

4.10.3 The Manning's Formula

ในปี ค.ศ.1889 นายช่างไอริสผู้หนึ่งชื่อ Robert Manning ได้คิดสูตรที่ได้จากการทดลองขึ้นมาใช้ โดยพบว่า ค่าความเร็วเฉลี่ยของกระแสน้ำ (V) ขึ้นอยู่กับค่า n, R และ S ดังนี้คือ

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

หรือ

$$V = 1/n.R^{2/3}.S^{1/2} \quad \text{(หน่วยเมตริก).....(4.10)}$$

เมื่อ

V = ความเร็วเฉลี่ยของน้ำในรางเปิด (เมตร/วินาที)

n = Roughness Coefficient (Manning's n)

R = Hydraulic radius (A/P)

P = Wetted perimeter (เมตร)

S = ลาดของผิวน้ำ (Slope of Energy Line)

เมื่อเปรียบเทียบสูตร Chezy's Formula กับ Manning's Formula จะพบว่า

$$\text{The Manning's } C = 1/n.R^{1/6}$$

สำหรับค่าของ n ที่ใช้ในสูตรของ The Kutter's Formula และ The Manning's Formula กำหนดให้ใช้ค่าเดียวกัน

จากการทดสอบการคำนวณค่าของ V โดยใช้สูตร The Kutter's Formula และ The Manning's Formula เมื่อใช้ค่าของ n, R และ S เท่ากันค่าที่ได้จะแตกต่างกันออกไปตามเงื่อนไขต่อไปนี้

เมื่อ $R < 1.00$

ค่า V ที่คำนวณโดย The Kutter's Formula จะมีค่ามากกว่า V ที่คำนวณโดยThe Manning's Formula

เมื่อ R > 1.00

ค่า V ที่คำนวณโดย The Kutter's Formula จะมีค่าน้อยกว่า V ที่คำนวณโดยThe Manning's Formula

เมื่อ R = 1.00

ค่า V ที่คำนวณโดย The Kutter's Formula จะมีค่าเท่ากับค่า V ที่คำนวณโดย The Manning's Formula

ในปัจจุบันนิยมใช้สูตรของ Manning กันอย่างกว้างขวางเนื่องจากในการคำนวณอัตรา เฉลี่ยของน้ำในรางเปิดหรือในคลองที่เป็น Uniform flow ให้ผลใกล้เคียงความจริง คำนวณได้ง่ายและรวดเร็วกว่าสูตรอื่น ส่วนสูตรของ Kutterนั้นในบางประเทศยังคงใช้กันอยู่ในกรณีที่เป็นคลองดิน อย่างไรก็ตามการกำหนดค่าของ Roughness coefficient (n) น่าจะมีอิทธิพลต่อผลการคำนวณได้มากกว่าการใช้สูตรที่แตกต่างกัน รายละเอียดของค่า n ดูได้จากตาราง 4.3 ท้ายนี้

TABLE 4.3 HORTON'S - VALUES OF n TO BE USED WITH KUTTER'S and MANNING'S FORMULA

Surface	Best	Good	Fair	Bad
Uncoated cast-iron pipe	0.012	0.013	0.014	0.015
Coated cast-iron pipe	.011	.012*	.013*	
Commercial wrought-iron pipe, black	.012	.013	.014*	.015
Commercial wrought-iron pipe, galvanized	.013	.014	.015	.017
Smooth brass and glass pipe	.009	.010	.011	.013
Smooth lockbar and welded "OD" pipe	.010	.011*	.013*	
Riveted and spiral steel pipe	.013	.015*	.017*	
Vitrified sewer pipe	.010	.013*	.015	.017
Common clay drainage tile	.011	.012*	.014*	.017
Glazed brickwork	.011	.012	.013*	.015
Brick in cement mortar; brick sewers	.012	.013	.015*	.017
Neat cement surfaces	.010	.011	.012	.013
Cement mortar surfaces	.011	.012	.013*	.015
Concrete pipe	.012	.013	.015*	.016
Wood stave pipe	.010	.011	.012	.013
Plank Flumes:				
Planed	.010	.012*	.013	.014
Unplaned	.011	.013*	.014	.015
With battens	.012	.015*	.016	
Concrete-lined channels	.012	.014*	.016*	.018
Cement-rubble surface	.017	.020	.025	.030
Dry-rubble surface	.025	.030	.033	.035
Dressed-ashlar surface	.013	.014	.015	.017
Semicircular metal flumes, smooth	.011	.012	.013	.015
Semicircular metal flumes, corrugated	.0225	.025	.0275	.030
Canals and Ditches:				
Earth, straight and uniform	.017	.020	.0225	.025
Rock cuts, smooth and uniform	.025	.030	.033	.035
Rock cuts, jagged and irregular	.035	.040	.045	
Winding sluggish canals	.0225	.025*	.0275	.030
Dredged earth channels	.025	.0275*	.030	.033
Canals with rough stony beds, weeds on earth banks	.025	.030	.035*	.040
Earth bottom, rubble sides	.028	.030*	.033*	.035
Natural Stream Channels:				
(1) Clean, straight bank, full stage, no rifts or deep pools	.025	.0275	.030	.033
(2) Same as (1), but some weeds and stones	.030	.033	.035	.040
(3) Winding, some pools and shoals, clean	.033	.035	.040	.045
(4) Same as (3), lower stages, more ineffective slope and sections	.040	.045	.050	.055
(5) Same as (3), some weeds and stones	.035	.040	.045	.050
(6) Same as (4), stony sections	.045	.050	.055	.060
(7) Sluggish river reaches, rather weedy or with very deep pools	.050	.060	.070	.080
(8) Very weedy reaches	.075	.100	.125	.015

From Handbook of Hydraulics, by King, McGraw-Hill Book company.

*Values commonly used in designing

4.10.4 The Bazin's Formula

ในปี ค.ศ. 1897 นักชลศาสตร์ชาวฝรั่งเศสชื่อ H. Bazin ได้คิดสูตรแสดงค่าของ C ของ Chezy's formula ใน function ของ R โดยไม่เกี่ยว S คือ

$$C = \frac{87}{0.552 + \frac{m}{\sqrt{R}}} \qquad \text{(หน่วยอังกฤษ)}$$

หรือ

$$C = \frac{87}{0.552 + \frac{m}{\sqrt{R}}} \qquad \text{(หน่วยเมตริก)}$$

เมื่อ m = roughness factor ซึ่งมีค่าต่างๆ กันตามลักษณะของผิวรางที่น้ำไหลผ่าน ซึ่ง Bazin ได้กำหนดไว้ในตารางข้างล่างนี้(Data ส่วนมากได้มาจากร่องน้ำขนาดเล็ก จึงมักไม่นิยมใช้ในงานทั่วไป)

Proposed Values of Bazin's m

Description of Channel	Bazin's m	
	หน่วยอังกฤษ	หน่วยเมตริก
1. Very smooth surface,cement, planed wood,etc	0.11	0.06
2 Smooth surface,unplaned wood,concrete, brick,cut stone,etc	0.29	0.16
3. Surface of rubber masonry,poor brickwood	0.83	0.46
4. Very regular earth sections, rough stone,pavement,	1.54	0.85
5. Earth channels in ordinary condition	2.35	1.30
6. Earth channels in rough condition	3.17	1.75

4.10.5 Kennedy's Critical Velocity

ในปี ค.ศ.1895 Mr.Kennedy นายช่างชลประทานซึ่งทำงานประจำอยู่ในประเทศอินเดีย ได้ศึกษาและค้นคว้าเรื่องอัตราความเร็วของน้ำในคลองโดยการสังเกตจาก Bali Doab Canals ในที่สุดได้ตั้งสูตรสำหรับอัตราความเร็วของน้ำในคลองซึ่งไม่กัดทำลายตัวคลองและเกิดการตื้นเขินเพราะตะกอนตกจมขึ้น สูตรนี้รู้จักกันทั่วไปว่าKennedy's critical velocity ซึ่งมีรูปสูตรดังนี้

$$V_o = C.d^m \qquad \text{.....(4.11)}$$

เมื่อ Vo= critical velocity คือกระแสน้ำที่ไม่กัดทำลายตัวคลองและไม่เกิดการตื้นเขินเพราะตะกอนตกจม

C = coefficient ซึ่งมีค่าเปลี่ยนไปตามลักษณะของตะกอนในน้ำ เช่น

= 0.365 สำหรับตะกอนระเอียดและเบามาก

= 0.544 สำหรับตะกอนละเอียดและเบา

= 0.586 สำหรับตะกอนทรายหยาบและเบา

= 0.645 สำหรับตะกอนดินทรายหยาบ

= 0.770 สำหรับตะกอนทรายหยาบและหนัก

กรมชลประทาน (ประเทศไทย)ใช้

C = 0.350 สำหรับตะกอนในลำน้ำทุ่งราบภาคกลาง

= 0.547 สำหรับตะกอนในลำน้ำภาคเหนือและภาคอื่นๆ

d = ความลึกของน้ำในคลอง

m = index no. ใช้ 0.66 หรือ 2/3

การออกแบบรูปตัดขวางของคลองส่งน้ำ จะต้องพยายามออกแบบให้ความเร็วของกระแสน้ำในคลอง (จะใช้สูตรของ Manning หรือ Kutter ก็ตาม) ให้มีความเร็วใกล้เคียงกับความเร็ววิกฤติ (Vo) มากที่สุด คืออาจจะยอมให้คลองตื้นเขินหรือถูกน้ำกัดทำลายได้บ้างเล็กน้อย ซึ่งผู้ออกแบบจะต้องเลือกใช้ขนาดของก้นคลอง (b) และความลึกของคลอง (d) ให้เหมาะสม อย่างไรก็ตามถ้าลาดตามยาวของคลอง (S) แบนมากเกินไป ความเร็วของกระแสน้ำจะใกล้เคียงความเร็ววิกฤติเมื่อน้ำตื้นมากหรือ ค่าของ V และ Vo อาจจะไม่มีทางเท่ากันได้เลย ในกรณีนี้จำเป็นต้องเพิ่มค่าลาดผิวน้ำให้ชันขึ้นหรือสร้างอ่างดักตะกอนในบริเวณต้นคลอง เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการตกตะกอนตลอดความยาวของคลอง

4.10.6 The Continuity Equation

เป็นสูตรใช้คำนวณหาปริมาณน้ำคงที่ เมื่อน้ำไหลในทางน้ำเดียวกันผ่านรูปตัดต่างๆ ที่ความเร็วแตกต่างกันย่อมมีปริมาณเท่ากันเสมอ คือ

$$Q = A \times V \qquad \text{.....(4.12)}$$

เมื่อ Q = อัตราการไหลของน้ำในคลองเป็น เมตร^3/วินาที

A = พื้นที่รูปตัดขวางที่น้ำไหลผ่าน เป็น ตร.เมตร

V = ความเร็วเฉลี่ยของกระแสน้ำเป็น เมตร/วินาที

จากสูตรทั้งหมดที่กล่าวมาข้างต้น จะเห็นได้ว่าค่า Q และ A จะมีค่าคงที่เสมอ แต่ V จะเปลี่ยนไปตามแฟคเตอร์ต่างๆ ตามแต่ละสูตร

ตัวอย่างตามสูตรของ Manning

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

และ $Q = A \times V$

เมื่อ V = ความเร็วเฉลี่ยของกระแสน้ำเป็น เมตร/วินาที

n = สัมประสิทธิ์ความขรุขระของคลอง (Manning's n)

S = ลาดผิวน้ำตามแนวยาวของคลอง

R = **รัศมีชลศาสตร์** (Hydraulic Radius) **ของคลอง**

= เนื้อที่รูปตัดของน้ำในคลอง (A) เป็น ตร.เมตร/ความยาวของเส้นขอบเปียก (P) เป็นเมตร

และ Q = อัตราการไหลของน้ำในคลองเป็น เมตร3/วินาที

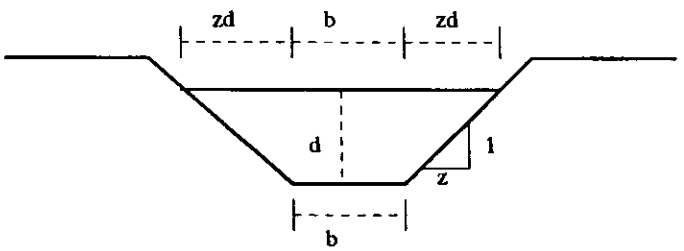
สำหรับคลองชลประทานส่วนใหญ่ที่นิยมใช้กัน มีรูปตัดสี่เหลี่ยมคางหมู สมการสำหรับหาค่า A และ P คือ

$$A = d(b + Zd)$$

และ $P = b+2d\sqrt{1+z^2}$

เมื่อ $R = A/P$

ดังนั้น $R = d(b + Zd) /b+2d\sqrt{1+z^2}$



ตัวอย่างการคำนวณขนาดของคลองส่งน้ำ

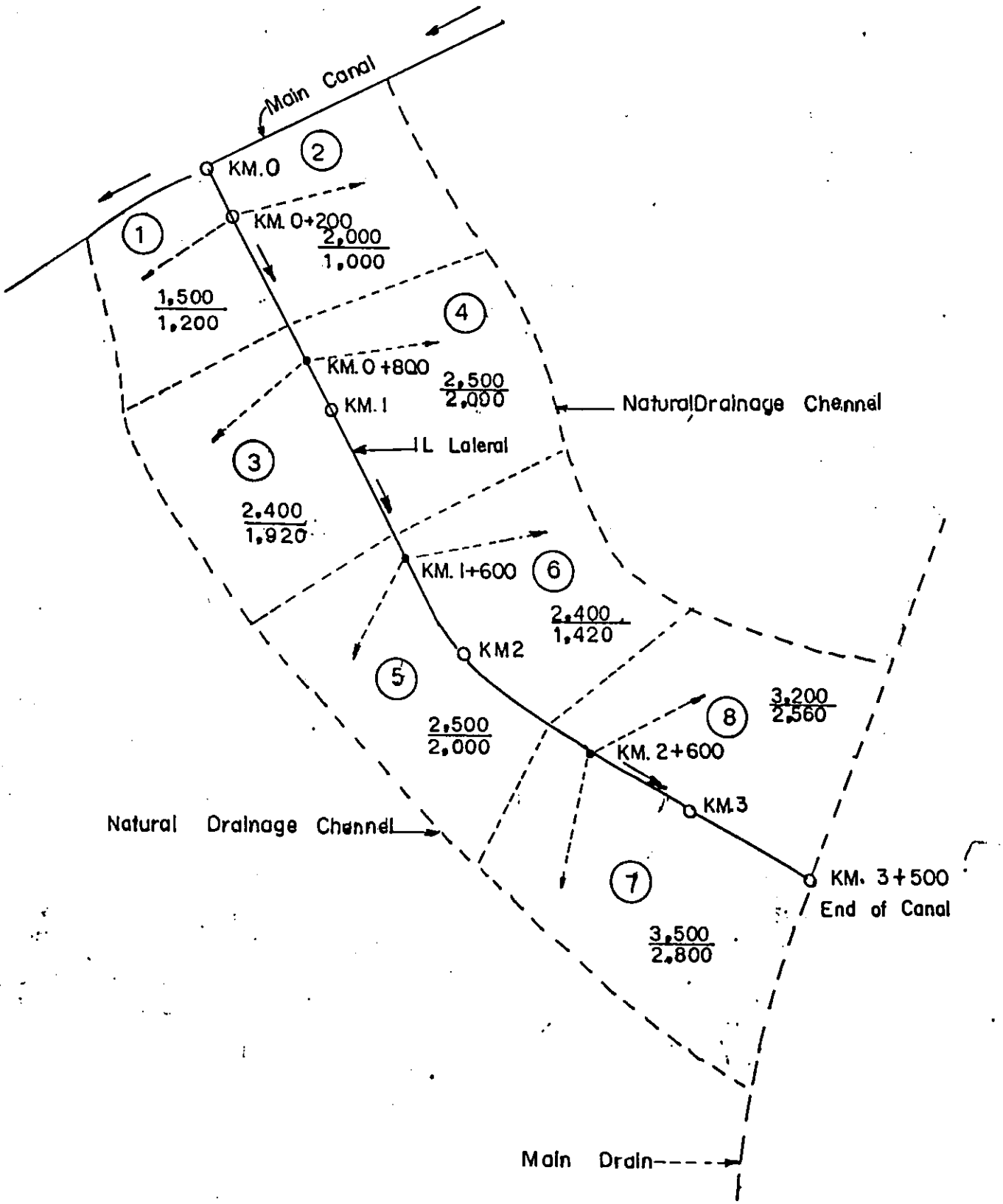
จากรูปในตัวอย่าง เป็นคลองซอย 1L ความยาว 3.500 กม.ควบคุมพื้นที่ส่งน้ำทั้งหมด แบ่งออกเป็นพื้นที่ส่งน้ำต่างๆ ได้ดังในรูป ให้แสดงวิธีการคำนวณหาขนาดของคลองสายนี้ โดยกำหนดให้

พื้นที่ชลประทาน (Irrigable area)	= 80 % ของพื้นที่ทั้งหมด
ชลภาระ (Water duty)	= 0.02 ลิตร/วินาที/ไร่
ลาดผิวน้ำ (S)	= 1:8000
ลาดตลิ่ง (Ss)	= 1:1.5
Manning's n	= 0.025
Vo (Critical velocity)	= $0.350\ d^{0.66}$
กำหนดให้ V/Vo	= 0.80 - 1.10

วิธีการคำนวณ

การคำนวณในที่นี้จะใช้ Manning's formula และเพื่อความสะดวกในการคำนวณขนาดของคลองส่งน้ำ ควรทำเป็นตารางแสดงจุดที่จะฝังท่อส่งน้ำเข้านา (Farm turnout) หรือ จุดที่จะส่งน้ำเข้าคลองแยกซอยไว้ พร้อมแสดงเลขที่ประจำแฉกส่งน้ำ ปริมาณน้ำที่จะส่งให้แฉกส่งน้ำและปริมาณน้ำที่เหลือจะต้องส่งผ่านคลองในช่วงต่างๆ ต่อไป (ดังตารางที่แนบท้ายนี้)

การคำนวณอาจใช้วิธี (trials and errrors) เพื่อเลือกหาขนาดคลองและความเร็วที่เหมาะสม หรืออาจทำเป็นตารางการคำนวณขนาดต่าง ๆ ไว้แล้วจึงเลือกค่าจากตารางที่เหมาะสมต่อไป (ดังที่แสดงไว้)



รูปที่ 4.4 คลองซอย 1 ขวา

การคำนวณปริมาณน้ำในคลองส่งน้ำ

ระยะทาง (กม.)		แฉกส่งน้ำ เลขที่		อ่าน planimeter				เนื้อที่แฉกส่งน้ำ (ไร่)		ปริมาณน้ำประจำแฉก	ปริมาณน้ำที่ต้องส่ง
จาก	ถึง	R	L	1	2	3	Avg	ทั้งหมด	พ.ท. ชป.	$ม^3$/วินาที	$ม.^3$วินาที
0+000	0+200							-	-	-	3.200
0+200	0+800	1						1500	1200	0.240	
			2					2000	1600	0.320	2.640
0+800	1+600	3						2400	1920	0.384	
			4					2500	2000	0.400	1.856
1+600	2+600	5						2500	2000	0.400	
			6					2400	1920	0.384	1.072
2+600	3+500	7						3500	2800	0.560	
			8					3200	2560	0.512	0.000
							รวม	20000	16000	3.200	

จากตารางข้างบน

แฉก 1 ขวา = 1200x0.200 = 0.240 m^3/sec

แฉก 2 ซ้าย = 1600x 0.200 = 0.320 m^3/sec

แฉก 3 ขวา =1920 x0.200 = 0.384 m^3/sec

แฉก 4 ซ้าย = 2000x 0.200 = 0.400 m^3/sec

แฉก 5 ขวา = 2000x0.200 = 0.400 m^3/sec

แฉก 6 ซ้าย = 1920x 0.200 = 0.384 m^3/sec

แฉก 7 ขวา =2800 x0.200 = 0.560 m^3/sec

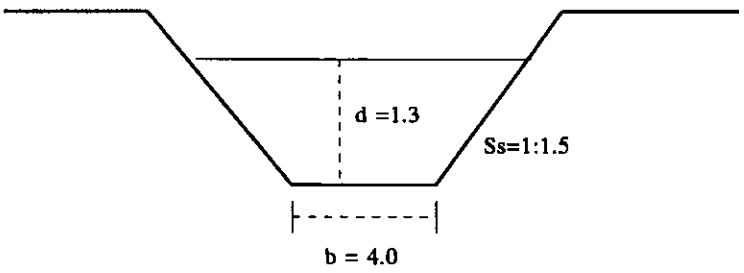
แฉก 8 ซ้าย = 2560x 0.200 = 0.512 m^3/sec

= 16000 x0.200 = 3.200 m^3/sec

==========

<u>รูปตัดที่ 1</u> จาก กม. 0+000 ถึง กม.0+200

ปริมาณน้ำที่จะต้องส่ง = 3.200 ม^3/วินาที (จากตาราง)



สมมติให้ b = 4.00 เมตร

d = 1.30 เมตร

A = (b + 1.5xd)d

= [4.00 +(1.5x1.30)]1.30

= 7.735 เมตร^2

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

= 4.00 + (1.30x3.605)

= 8.687 เมตร

R = A/P

= (7.735)/(8.687)

= 0.890 เมตร

V = $1/n.(R)^{2/3}.(S)^{1/2}$

= $(1/0.025)(0.890)^{2/3}(1/8000)^{1/2}$

= 0.414 เมตร/วินาที

Q = A.V

= (7.735).(0.414)

= 3.202 ม^3/วินาที <------- O.K

Vo = $0.350(1.30)^{0.66}$

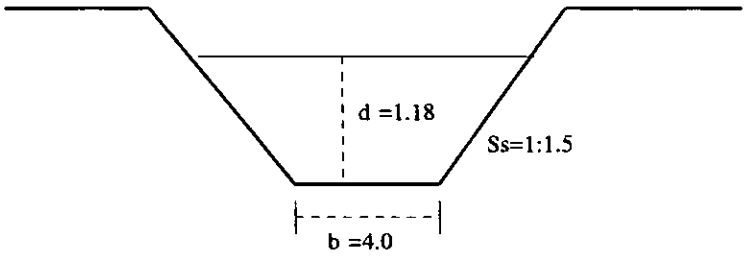
= 0.416 เมตร/วินาที

V/Vo = (0.414)/(0.416)

= 0.995 <------- O.K

<u>รูปตัดที่ 2</u> จาก กม. 0+200 ถึง กม.0+800

ปริมาณน้ำที่จะต้องส่ง = 2.640 ม^3/วินาที (จากตาราง)



สมมติให้ b = 4.00 เมตร

d = 1.18 เมตร

A = (b + 1.5xd)d

= [4.00 +(1.5x1.18)]1.18

= 6.809 ม^2

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

= 4.00 + (1.18x3.605)

= 8.255 เมตร

R = A/P

= (6.809)/(8.255)

= 0.825 เมตร

V = $1/n.(R)^{2/3}.(S)^{1/2}$

= $(1/0.025)(0.825)^{2/3}(1/8000)^{1/2}$

= 0.393 เมตร/วินาที

Q = A.V

= (6.809).(0.393)

= 2.678 ม^3/วินาที <------- O.K

Vo = $0.350(1.18)^{0.66}$

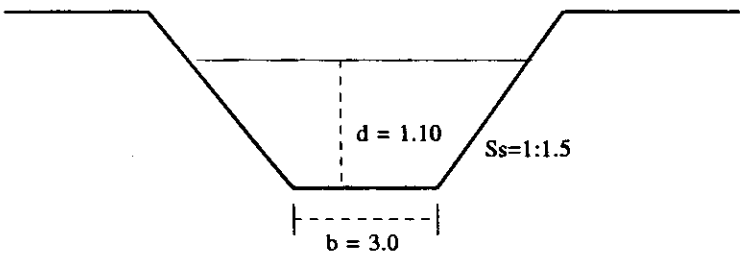
= 0.390 เมตร/วินาที

V/Vo = (0.393)/(0.390)

= 1.008 <------- O.K

<u>รูปตัดที่ 3</u> จาก กม. 0+800 ถึง กม.1+600

ปริมาณน้ำที่จะต้องส่ง = 1.856 เมตร^3/วินาที (จากตาราง)



สมมติให้ b = 3.00 เมตร

d = 1.10 เมตร

A = (b + 1.5xd)d

= [3.00 +(1.5x1.10)]1.10

= 5.115 เมตร^2

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

= 3.00 + (1.10x3.605)

= 6.966 เมตร

R = A/P

= (5.115)/(6.966)

= 0.734 เมตร

V = 1/n.$(R)^{2/3}$.$(S)^{1/2}$

= $(1/0.025)(0.734)^{2/3}(1/8000)^{1/2}$

= 0.364 เมตร/วินาที

Q = A.V

= (5.115).(0.364)

= 1.862 ม^3/วินาที <------- O.K

Vo = $0.350(1.10)^{0.66}$

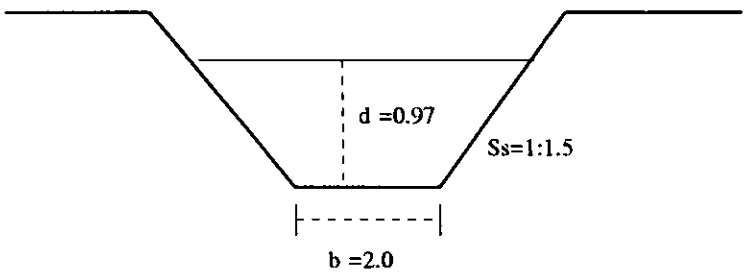
= 0.373 เมตร/วินาที

V/Vo = (0.364)/(0.373)

= 0.977 <------- O.K

<u>รูปตัดที่ 4</u> จาก กม. 1+600 ถึง กม.2+600 (และจาก กม.2+600 ถึง กม.3+500 ซึ่งเป็นช่วงปลายคลอง กำหนดให้เป็น section เดียวกัน)

ปริมาณน้ำที่จะต้องส่ง = 1.072 ม^3/วินาที (จากตาราง)



สมมติให้ b = 2.00 เมตร

d = 0.97 เมตร

A = (b + 1.5xd)d

= [3.00 +(1.5x0.97)]0.97

= 3.351 เมตร^2

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

= 2.00 + (0.97x3.605)

= 5.497 เมตร

R = A/P

= (3.351)/(5.479)

= 0.610 เมตร

V = 1/n.(R)$^{2/3}$.(S)$^{1/2}$

= (1/0.025)(0.610)$^{2/3}$(1/8000)$^{1/2}$

= 0.322 เมตร/วินาที

Q = A.V

= (3.351).(0.322)

= 1.078 ม^3/วินาที <------- O.K

Vo = 0.350(0.97)$^{0.66}$

= 0.343 เมตร/วินาที

V/Vo = (0.322)/(0.343) = 0.937 <------- O.K

4.11 หลักเกณฑ์การพิจารณาการออกแบบขนาดและรูปตัดคลอง

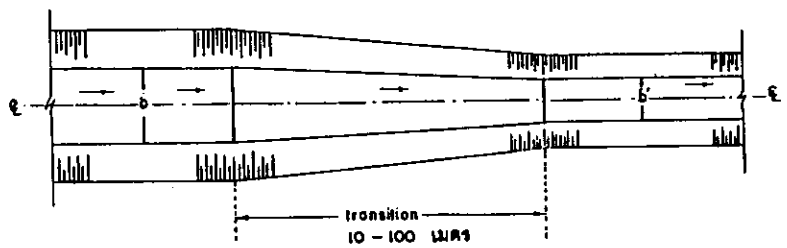
การพิจารณาเปลี่ยนแปลงขนาดและรูปตัดคลองส่งน้ำเนื่องจากปริมาณน้ำลดลงหลังจากที่ได้ส่งน้ำให้กับคลองซอยหรือคลองแยกซอยไปแล้ว มีหลักเกณฑ์พอสรุปได้ดังนี้

4.11.1 การเปลี่ยนขนาดและรูปตัดคลอง

1.) การเปลี่ยนความกว้างก้นคลอง (b) แต่ความลึกของน้ำในคลองคงเดิม

ถ้าเป็นการลดก้นคลองลงเพียงเล็กน้อย เช่น 0.20-0.40 เมตร (ลดก้นคลองลงข้างละ 0.10-0.20 เมตร) ก็เปลี่ยนได้ทันที แต่ถ้าลดลงมากต้องทำ Transition โดยค่อยๆ ลดความกว้างของก้นคลองลงทีละน้อยภายในช่วง 10-1000 เมตร ของ Transition นั้น จนกว่าจะได้ความกว้างก้นคลองตามต้องการ เพื่อไม่ให้มีแง่มุมสดุดการไหลของน้ำ

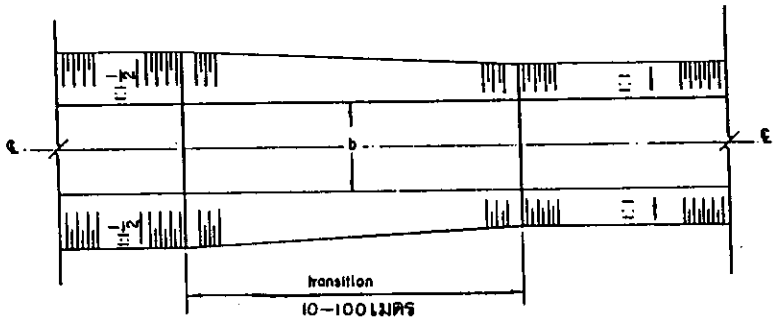
ลดความกว้างของก้นคลองเล็กน้อย



ลดความกว้างของก้นคลองมาก

2.) การเปลี่ยนลาดตลิ่งคลอง

ถ้าลักษณะดินตามแนวคลองเปลี่ยนไป และจำต้องเปลี่ยนลาดตลิ่งคลองให้เหมาะสมกับลักษณะดิน ทำได้โดยทำ Transition เปลี่ยนลาดตลิ่งคลองไปทีละน้อย ภายในช่วง 10-1000 เมตร ของ Transition นั้น จนกว่าจะได้ลาดตลิ่งตามต้องการ

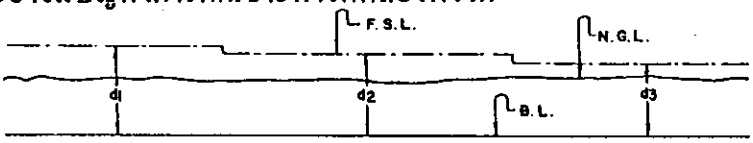


เปลี่ยนลาดลึ่งคลองจาก $1\frac{1}{2}$ เป็น 1:1

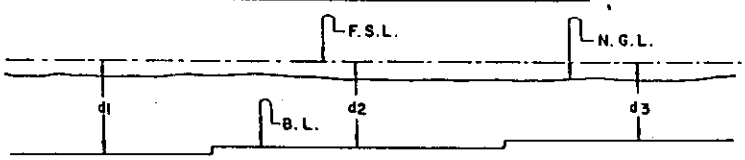
3.) เปลี่ยนความลึกของน้ำในคลอง

ตามปกติการออกแบบคลองส่งน้ำจะพยายามให้ลาดก้นคลองเป็นลาดเดียวกันตลอดคลอง ดังนั้นเมื่อจะลดความลึกของน้ำในคลองก็จะต้องลดระดับ F.S.L.] ลงมา ในกรณีที่ลด F.S.L. ลงเพียงเล็กน้อยจะปล่อยให้ F.S.L. ลดลงเองโดยไม่มีอาคารบังคับน้ำ แต่ถ้า F.S.L. ลดลงมากจะต้องอาคารบังคับน้ำ เช่น ประตูระบายทดน้ำกลางคลอง น้ำตก เป็นต้น ตรงบริเวณที่ต้องการลด F.S.L. นั้น

การลดความลึกของน้ำในคลองทำได้อีกวิธีหนึ่งคือ ยกระดับก้นคลองขึ้นตรงจุดที่ต้องการลดความลึกของน้ำในคลองแทนการลด F.S.L. วิธีนี้ไม่ค่อยดีนัก เพราะถ้ายกระดับก้นคลองมาก ตะกอนในน้ำจะมาตกอยู่บริเวณนั้นทำให้คลองตื้นเขิน น้ำไหลไม่สะดวก และอาจมีปัญหาการกัดเซาะทำให้คลองพังได้



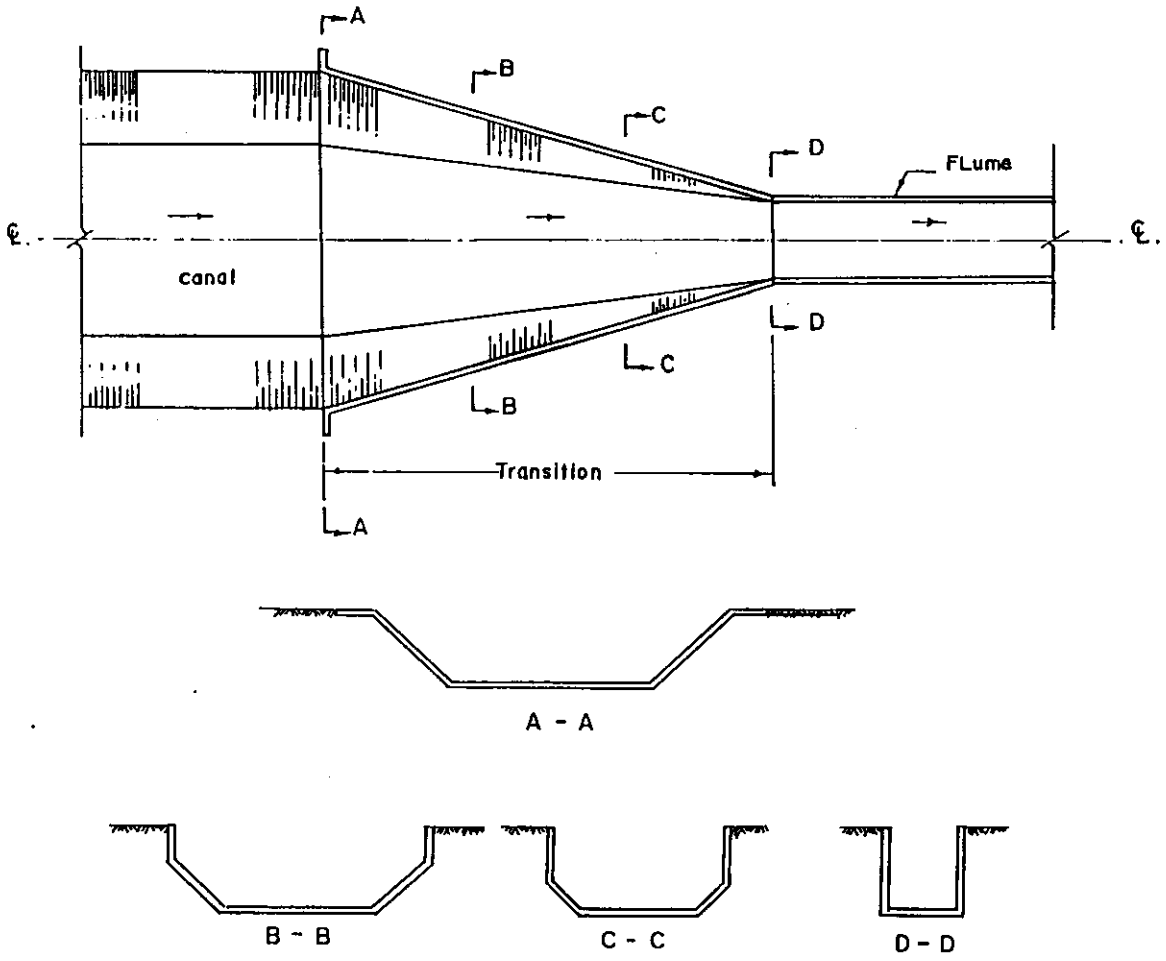
การลดความลึกของน้ำในคลองโดยลด F.S.L. ลง



การลดความลึกของน้ำในคลองโดยยกระดับก้นคลองขึ้น

4.) การเปลี่ยนรูปตัดคลอง

การเปลี่ยนรูปตัดคลองหมายถึง การเปลี่ยนรูปตัดขวางของคลองจากสี่เหลี่ยมคางหมูเป็นสี่เหลี่ยมมุมฉาก หรือ ครึ่งวงกลม เช่นตอนที่ขุดคลองผ่านดินแข็งหรือตอนที่คลองจะต่อกับรางน้ำ(Flume) และ Siphon เป็นต้น ในกรณีนี้จะต้องออแบบรูปตัดขวางคลองเป็นพิเศษโดยมี Transition แล้วให้คลองเปลี่ยนรูไปทีละน้อยภายในช่วงของ Transition จนกว่าจะกลายเป็นรูปตัดใหม่ที่ต้องการ



รูปที่ 4.5 การเปลี่ยนรูปตัดคลอง

4.11.2 รัศมีแนวโค้งคลองส่งน้ำ

การเปลี่ยนทิศทางของแนวคลองจะต้องเชื่อมต่อด้วยโค้งปกติซึ่งมีรัศมียาวพอที่จะไม่ทำให้เกิดการกัเซาะลาดตลิ่ง ความโค้งที่แนวศูนย์กลางคลองควรจะมีค่าอยู่ในช่วง 10 ถึง 15 เท่าของความกว้างของก้นคลอง USBR กำหนดให้มีรัศมีอยู่ในช่วง 3 ถึง 7 เท่าของความกว้างของผิวน้ำ อย่างไรก็ตามสำหรับคลองดินที่มีขนาดโตจะต้องคำนึงถึงอัตราการไหลของน้ำในคลอง คุณสมบัติของดินที่คลองขุดผ่านและความเร็วของกระแสน้ำในคลองด้วยซึ่งโดยปกติแล้วจะเพิ่มรัศมีความโค้งขึ้นถ้าอัตราการไหลในคลองสูงขึ้นแต่ถ้าเป็นคลองดาดก็อาจจะลดรัศมีความโค้งลงได้อีก

4.11.3 รูปตัดขวางที่ส่งน้ำได้สะดวกที่สุด

ในกรณีที่ไม่มีปัญหาเรื่องการตกตะกอนและการรั่วซึมเข้ามาเกี่ยวข้องควรพิจารณาเลือกสัดส่วนของคลองส่งน้ำที่ให้น้ำไหลได้สะดวกที่สุด จากสูตรของ Chezy' formula : $Q = C\sqrt{RS}$ และ $R = A/P$ เมื่อคลองส่งน้ำมีพื้นที่รูปตัดขวาง (A) และมี Slope (S) เท่ากัน รูปตัดคลองที่น้ำไหลสะดวกที่สุด เมื่อค่า P น้อยที่สุดหรือมี Friction เกิดขึ้นระหว่างผิวน้ำและผิวคลองน้อยที่สุด นั่นก็คือน้ำจะไหลสะดวกเมื่อรูปตัดคลองมี Wetted Perimeter น้อยที่สุด จากการหาความสัมพันธ์ของ b, d และ θ รูปตัดขวางที่น้ำไหลสะดวกที่สุดเมื่อ

$$d = \sqrt{\frac{A \sin\theta}{2 - \cos\theta}}$$

$$b = 2d \tan\frac{\theta}{2}$$

เมื่อ θ = มุมของลาดตลิ่งคลองทำกับแนวราบ (เท่ากับลาดตลิ่งคลอง) ในกรณีที่รูปตัดของคลองเป็นรูปสี่เหลี่ยม tan = 1 หรือ b = 2d ซึ่งเป็นค่าที่ดีที่สุดทางอุทกศาสตร์

4.11.4 รูปตัดขวางคลองที่รั่วซึมน้อยที่สุด

การรั่วซึมของน้ำในคลองจะมีความสัมพันธ์กับสิ่งต่อไปนี้

1. ลักษณะดินของตัวคลอง ถ้าเป็นดินเนื้อแน่นน้ำจะรั่วซึมออกไปได้ยาก แต่

ถ้าเป็นดินเนื้อโปร่งน้ำจะรั่วซึมออกไปได้มาก

2. ระดับน้ำใต้ดิน ถ้าระดับน้ำใต้ดินสูงหรืออยู่ใกล้ผิวดิน น้ำจะรั่วซึมออกจากคลองได้น้อย แต่ถ้าระดับน้ำใต้ดินอยู่ต่ำมากจะเกิดการรั่วซึมของน้ำสูง

3. ความลึกของน้ำในคลอง ถ้าน้ำลึกมากจะมีแรงกดดันสูงจะมีการรั่วซึมมาก

คลองที่มีการรั่วซึมของน้ำน้อยที่สุดสามารถคำนวณได้ จากหลักเกณฑ์ดังต่อไปนี้

$$d = \sqrt{\frac{A \sin\theta}{4 - 3\cos\theta}}$$

$$b = 4\, d \tan\frac{\theta}{2}$$

บทที่ 5
อาคารส่งน้ำ

5.1 คำนำ

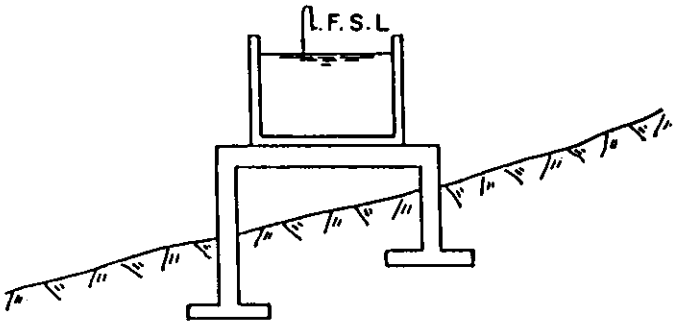
อาคารส่งน้ำ (Conveyance Structures) ได้แก่ อาคารที่สร้างขึ้นในระบบส่งน้ำ ทั้งในคลองสายใหญ่ คลองซอย คลองแยกซอยและคูน้ำ ซึ่งจะทำหน้าที่เลียงน้ำผ่านสิ่งกีดขวางธรรมชาติหรือที่มนุษย์สร้างขึ้นไปยังพื้นที่ต่างๆในโครงการตามที่ต้องการการขุดคลองส่งน้ำจากแม่น้ำหรือจากหัวงานเข้าไปในเขตโครงการชลประทานอาจพบอุปสรรคต่างๆ เป็นต้นว่าคลองต้องตัดผ่านลำน้ำธรรมชาติ ลำห้วย ทางระบายน้ำ ที่ลุ่มลึก ถนน ทางรถไฟ บริเวณที่พื้นผิวดินเปลี่ยนระดับลดต่ำลงมาก หรือบริเวณที่คลองส่งน้ำต้องไต่เลาะไปตามชายลาดเขาค่อนข้างชันในบริเวณดังกล่าวนี้จำเป็นต้องสร้างอาคารส่งน้ำ (conveyance structures) หรืออาคารบังคับน้ำ (control structures)ขึ้นเพื่อให้สามารถส่งน้ำผ่านอุปสรรคเหล่านั้นไปได้ และสามารถรักษาระดับน้ำใช้การเต็มที่(F.S.L)ในคลองส่งน้ำไว้ได้ตามต้องการ

ตามปกติคลองสายใหญ่ของโครงการชลประทานในทุ่งราบชายเขาสองฟากแม่น้ำจะไต่เลาะไปตามชายเขาซึ่งพื้นดินจะลาดเทค่อนข้างชันลงสู่แนวแม่น้ำแนวคลองสายใหญ่เกือบขนานกับเส้น contours ดังนั้นแนวคลองสายใหญ่จึงมักจะตัดผ่านลำน้ำลำห้วยที่ไหลมาตามช่องเขาลงสู่แม่น้ำได้บ่อยๆ ส่วนคลองซอยซึ่งอยู่บนสันเนินย่อยหรือพูที่ยื่นออกมาจากชายเขามีแนวคลองไปทางเดียวกับแม่น้ำลำห้วย จึงไม่ค่อยจะตัดผ่านกัน แต่แนวคลองซอยมักจะผ่านบริเวณที่ระดับแผ่นดินลดต่ำลงมากได้เสมอ

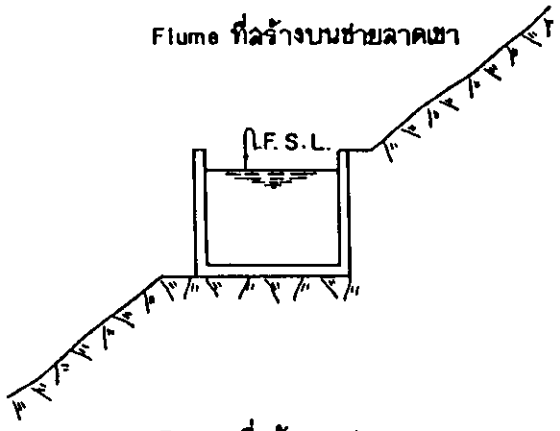
ในทุ่งราบกว้างใหญ่ การตัดผ่านลำน้ำลำห้วยของคลองส่งน้ำจะไม่เป็นไปตามที่กล่าวมาแล้ว ทั้งคลองสายใหญ่และคลองซอยจะตัดลำน้ำลำห้วยได้เสมอ แต่ระดับพื้นผิวดินตามแนวคลองจะไม่เปลี่ยนแปลงลดต่ำลงมากนัก อาคารส่งน้ำแบ่งออกได้เป็นประเภทต่างๆดังต่อไปนี้

5.2 รางน้ำ หรือสะพานน้ำ (Flumes)

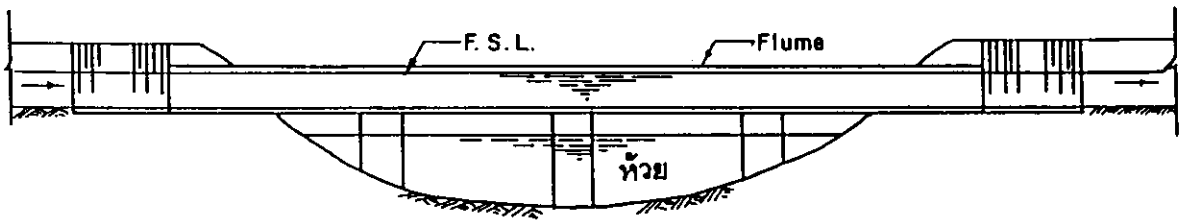
รางน้ำหรือสะพานน้ำเป็นทางเปิด (Open Channels) ชนิดหนึ่งที่สร้างขึ้นเพื่อลำเลียงน้ำในคลองชลประทานผ่านแนวที่ลาดชันชายเขา (Steep Sidehill Terrain)



Flume ที่สร้างบนช่วงลาดเขา



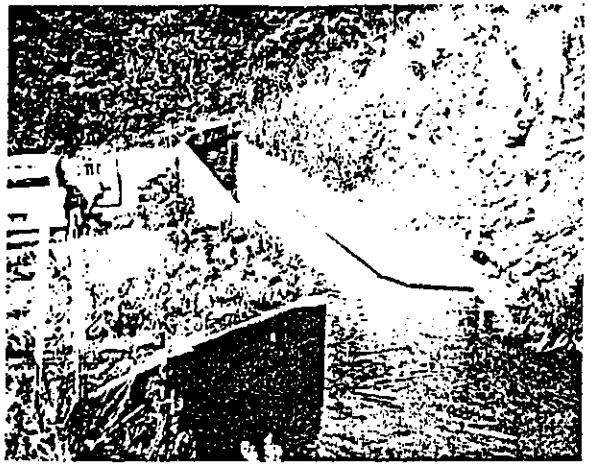
Flume ที่สร้างบนช่วงลาดเขา



Flume ที่สร้างข้ามห้วย

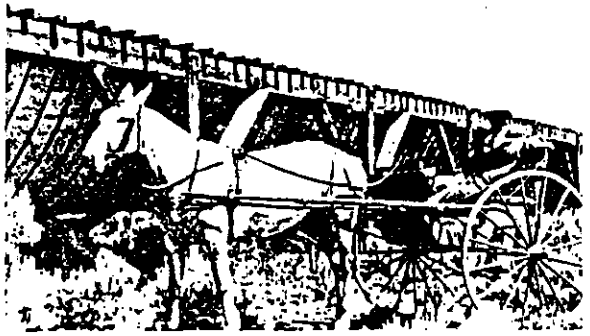
รูปที่ 5.1 รางน้ำ (Flumes)

รูปที่ 5.2 Concrete bench flume.



รูปที่ 5.3 Concrete bench flume.
P336-D-48829

รูปที่ 5.4 Elevated flume crossing natural drainage.
PX-D-4592



รูปที่ 5.5 Early day elevated flume. P42-D-45751

ทางน้ำต่างๆ(waterways)หรือรองระบายน้ำธรรมชาติ (Drainage Channels) นอกจากนี้ รางน้ำยังใช้ได้ดีกับบริเวณที่มีเขตคลองกว้างจำกัด(Restricted Right of Way) และบริเวณที่มีวัสดุไม่เหมาะสมกับการสร้างคลองส่งน้ำ เช่นบริเวณที่ดินมีการพังทะลายได้ง่ายเป็นต้น

ลักษณะทั่วไปของรางน้ำ (General Features of Flumes) ตามปกติรางน้ำทั่วไปเป็นรางเปิด (Open Channels)และไม่มีฝาเปิด แต่อาจมีรางน้ำบางแห่งที่มีฝาปิดเพราะสร้างขึ้นเพื่อวัตถุประสงค์อย่างอื่นด้วย เช่นใช้รางน้ำนั้นเป็นสะพานไปในตัว รางน้ำทุกแห่งจะออกแบบไว้สำหรับ Free flow Operation คือไม่มีบานประตู (Gates) ติดไว้ที่รางสำหรับบังคับน้ำ

รางน้ำที่สร้างบนพื้นดินตามแนวชานพักที่ขุดไปตามไหล่เขาเรียกว่า *Bench Flumes* ส่วนรางน้ำที่สร้างไว้สูงกว่าพื้นดินโดยมีโครงหรือฐานรองรับเรียกว่า *Elevated flumes*

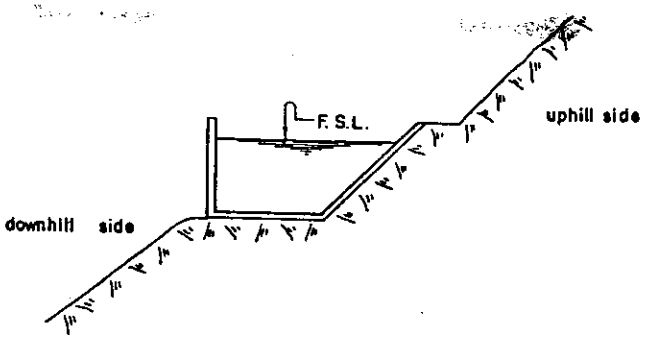
5.2.1 Bench flumes

Bench Flumes โดยทั่วไปจะเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ทำด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก พร้อมด้วย Inlet และ Outlet Transitions เชื่อมเข้ากับคลองส่งน้ำ ตามแนวไหล่เขาที่ต้องขุดดินออกเพื่อก่อสร้าง Bench flume ควรมีขนาดกว้างพอที่จะก่อสร้างเป็นถนนไปตามแนวไหล่เขานั้นด้วย นอกจากว่าได้มีการวางแผนก่อสร้างถนนไปตามแนวอื่นแล้ว

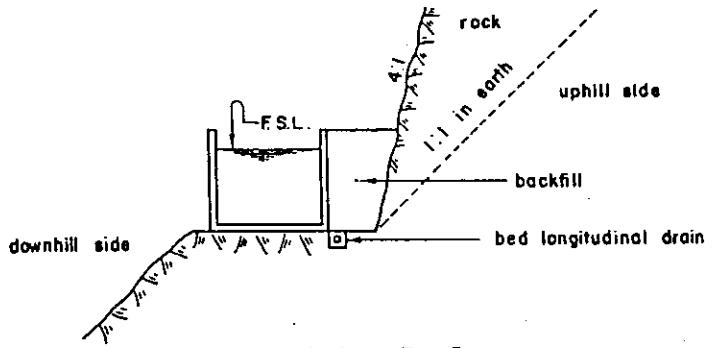
ข้อดีของการใช้ Bench Flume ตามแนวไหล่เขาแทนการสร้างคลองส่งน้ำหรือการใช้ท่อส่งน้ำก็คือ ราคาถูกกว่า ทำการก่อสร้างและบำรุงรักษาได้ง่ายกว่า

รางน้ำทุกชนิดอาจสร้างขึ้นบน Benches ไปตามพื้นดินที่มีความลาดเทก็ได้ Bench Flumes เหล่านี้ถ้ามีขนาดใหญ่จะทำด้วยคอนกรีตและโดยมากมีรูปตัดขวางเป็นรูปสี่เหลี่ยมมุมฉากแต่ที่ทำเป็นรูปครึ่งวงกลมก็มีบ้างเหมือนกัน Bench flumes บางแห่งมีพื้นเป็นคอนกรีต ลาดข้างรางด้านขึ้นเขา (Uphill Side) ดาดด้วยคอนกรีต ทางด้านลงเขา (Downhill Side) เป็นกำแพงคอนกรีตตั้งตรง Bench Flumes ซึ่งลักษณะดังกล่าวนี้บางทีเรียกว่า Concrete lined Canals

การออกแบบ bench flumes โดยให้มีพื้นเป็นคอนกรีตและมีกำแพงคอนกรีตตั้งตรงสองข้างรางก็ได้ ตามปกติข้างหลังกำแพงคอนกรีตด้านขึ้นเขาของ Bench Flumes เป็นดินถมอัดแน่น ส่วนกำแพงคอนกรีตด้านลงเขาตั้งไว้เฉยๆ แต่บางทีอาจมีดินถมอัดแน่นข้างหลังกำแพงคอนกรีตทั้งสองข้าง หรือไม่ถมดินเลยก็ได้ ในกรณีที่ Bench Flume

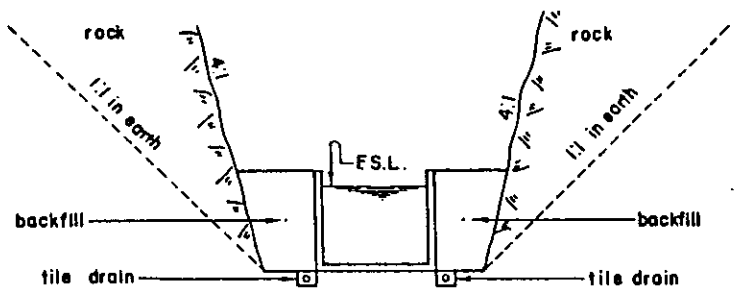


bench flume or concrete lined canal



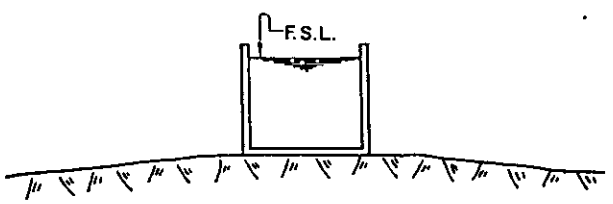
bench flume Type I

(backfill one side, none on either)



bench flume Type II

(backfill both sides)



bench flume Type III

(no backfill either side)

รูปที่ 5.6 Type of Bench Flumes

ตั้งอยู่เฉยๆ โดยไม่มีดินถมอัดแน่นทั้งสองข้างควรสร้างไว้บนพื้นดินธรรมชาติที่แต่งไว้อย่างดี บนดินอัดแน่น หรือบนฐานรองรับอย่างอื่น

ในท้องถิ่นที่มีปัญหาหินตกมาตามไหล่เขา ควรทำการกลบดินข้างรางน้ำด้านไหลเขาขึ้นมาจนเกือบถึงขอบราง ในบริเวณที่มีปัญหารุนแรงและปริมาณน้ำในรางมีไม่มากนัก การใช้ท่อคอนกรีตทนแรงดันฝังในร่องและกลบดินหลังท่อลึกประมาณ 3 ฟุต แทนจะมีราคาถูกและปลอดภัยกว่า

5.2.2 Elevated flumes

โดยทั่วไปจะทำด้วยโลหะรูปครึ่งวงกลมสำหรับลำเลียงน้ำปริมาณไม่มากนัก เพราะก่อสร้างได้สะดวกและรวดเร็วกว่า และนิยมก่อสร้างด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก

กรณีที่ต้องส่งน้ำปริมาณมาก เพื่อให้นำน้ำในคลองชลประทานให้ไหลข้ามที่ลุ่มหรือร่องระบายน้ำธรรมชาติไปยังคลองส่งน้ำอีกด้านหนึ่ง การก่อสร้าง Elevated Flumesจะทำในบริเวณ ซึ่งไม่สามารถจะขุดเป็นคลองส่งน้ำ หรือสร้างเป็นท่อส่งน้ำได้ หรือทำได้แต่ต้องเสียค่าก่อสร้างมากกว่า

การสร้างรางน้ำสามารถทำได้ทั้ง ทำรางรับน้ำชลประทานให้ไหลข้ามทางน้ำธรรมชาติและทำรางรับน้ำธรรมชาติให้ไหลข้ามคลองชลประทาน แต่โดยทั่วไปแล้วไม่นิยมสร้างเพื่อรับน้ำจากคลองธรรมชาติ ยกเว้นในกรณีต่างๆดังนี้

ก. ลำน้ำธรรมชาติมีขนาดเล็กและมีปริมาณน้ำน้อย

ข. ไม่มีกรวดทรายหรือสิ่งสกปรกมากับน้ำมาก

ค. ใช้คลองส่งน้ำเป็นคลองเดินเรือด้วย

รางน้ำที่สร้างขึ้นเพื่อระบายน้ำธรรมชาติข้ามคลองชลประทาน เรียกว่า Overchutes ซึ่งเป็นอาคารในกลุ่มของระบบระบายน้ำ

5.2.3 ลักษณะทั่วไปของรางน้ำ (General Features of Flumes)

ตามปกติรางน้ำทั่วไปเป็นรางเปิด (Open Channels)และไม่มีฝาเปิด แต่อาจมีรางน้ำบางแห่งที่มีฝาปิดเพราะสร้างขึ้นเพื่อวัตถุประสงค์อย่างอื่นด้วย เช่นใช้รางน้ำนั้นเป็นสะพานไปในตัว รางน้ำทุกแห่งจะออกแบบไว้สำหรับ Free flow Operation คือไม่มีบานประตู (gates) ติดไว้ที่รางสำหรับบังคับน้ำ

รางน้ำมีรูปต่าง ๆ กัน เช่นมีรูปตัดขวางเป็นสี่เหลี่ยมมุมฉาก รูปครึ่งวงกลม และรูปสามเหลี่ยม สร้างด้วยแผ่นโลหะ ไม้ คอนกรีตล้วน คอนกรีตเสริมเหล็ก หรือวัสดุเหล่านี้ร่วมกัน

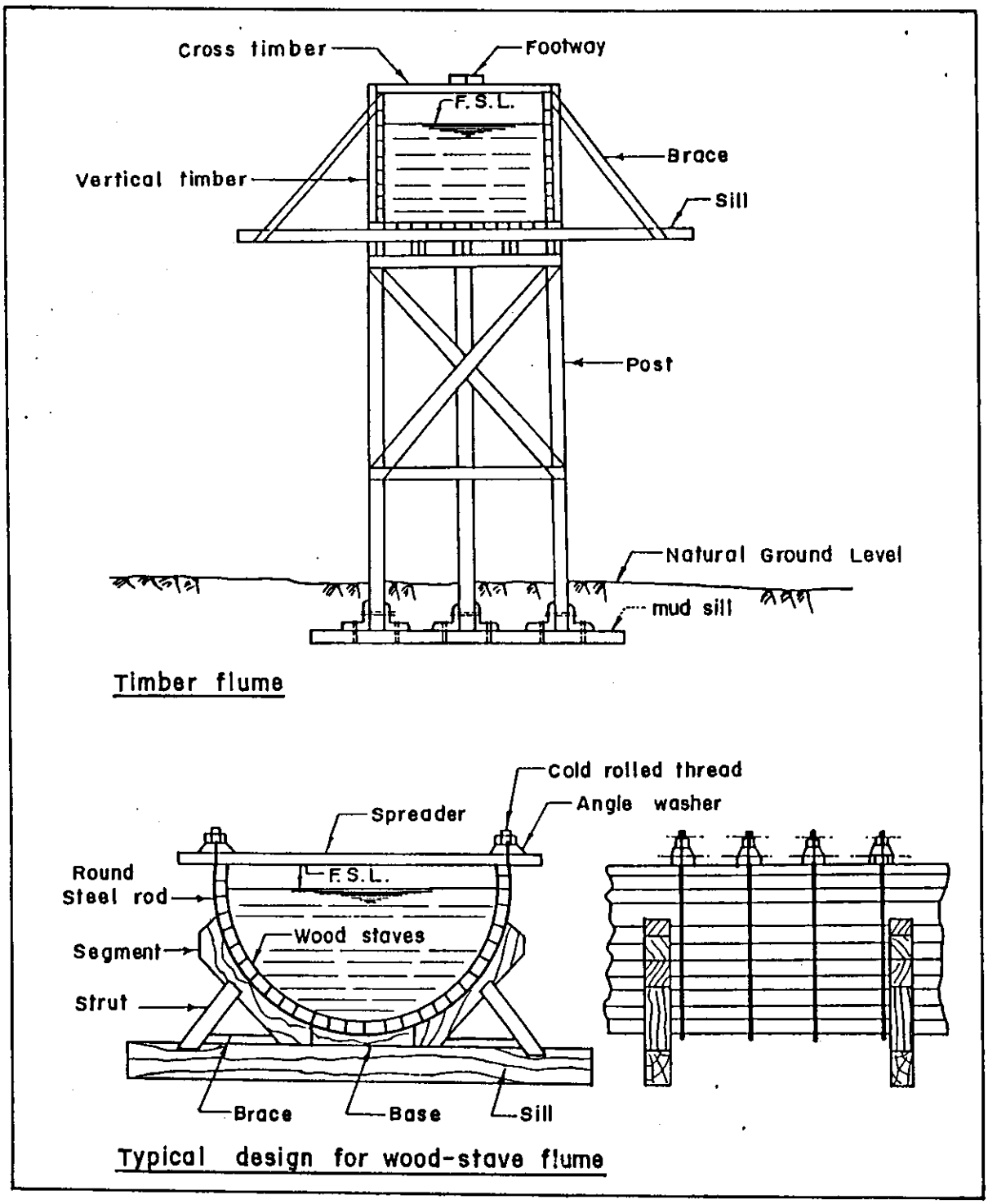
1. รางน้ำไม้ (Timber Flumes)

รางน้ำชนิดนี้สร้างด้วยไม้ล้วน ควรใช้ในท้องถิ่นที่หาไม้ซึ่งมีคุณภาพดีได้ง่าย และมีราคาถูก ข้อเสียของรางน้ำไม้ก็คือผุและรั่วง่ายเพราะตัวรางน้ำจะเปียก ๆ แห้ง ๆ อยู่เสมอ รางน้ำไม้จึงเหมาะสำหรับการส่งน้ำตลอดเวลา (Continuous Irrigation) และเป็นรางน้ำขนาดเล็กอย่างไรก็ดีถึงแม้ว่ารางน้ำไม้จะผุและรั่วง่ายแต่ก็ซ่อมแซมง่าย จึงใช้งานได้ดีจนกว่าจะได้เปลี่ยนรางน้ำไม้เป็นรางน้ำที่ถาวรกว่าเช่นรางน้ำโลหะหรือรางน้ำคอนกรีตแทน

ไม้ที่ใช้ทำรางน้ำควรเป็นไม้เนื้อแข็ง ไม่แตกร้าวหรือบิดงอ ไม่มีตาไม้และเนื้อไม้ไม่เสีย ไม้กระดานที่ปูเป็นพื้นรางน้ำและบุเป็นผนังข้างรางควรหนาไม่น้อยกว่า 1.5 นิ้ว ตอกตาปูยึดติดแน่นกับธรณี (sill) และคร่าวตั้ง (vertical timbers) เนื่องจากตัวรางน้ำยาวจึงต้องมีการต่อไม้ที่รางใช้ทำรางน้ำ การต่อไม้จะต่อโดยแบบใดวิธีใดก็ได้ แต่รอยต่อจะต้องเรียบสนิท ปลายล่างของคร่าวตั้งต้องร้อยสกรูน็อตติดกับธรณี และปลายบนติดกับคานขวาง (cross timbers) เพื่อไม่ให้รางน้ำแบะเพราะถูกน้ำดันในขณะส่งน้ำผ่านรางเต็มที่ คร่าวตั้งและคานขวางจะติดไว้เป็นระยะห่างกันประมาณ 0.90-1.50 เมตรตลอดความยาวของรางน้ำ ถ้าเป็นรางน้ำไม้ขนาดใหญ่จะต้องต่อธรณีของรางยื่นออกไปทั้งสองข้างเพื่อรับไม้ค้ำยันข้างราง (braces) ตามปกติรางน้ำไม้จะวางไว้สูงเหนือพื้นดินจึงต้องมีโครงรับราง โครงรับรางนี้จะสร้างไว้เป็นระยะห่างกันประมาณ 3.50-10.00 เมตร เสาของโครงรับรางอาจตั้งบน mudsill หินแข็ง หรือฐานคอนกรีตก็ได้ โดยมากรางน้ำไม้ที่สร้างมักมีความกว้างเป็นสองเท่าของความลึกของราง แต่ก็ไม่ใช่กฎเกณฑ์ตายตัว จึงอาจมีส่วนสัดต่างๆ ได้

2. รางไม้ยึดแน่น (Wood stave Flumes)

เป็นรางน้ำไม้อย่างหนึ่งซึ่งทำด้วยไม้ชิ้นเล็กๆ อัดเรียงประกอบกันเป็นรูปครึ่งวงกลมและมี เหล็กรัดเป็นเปลาะ ๆ ตลอดความยาวของราง ไม้ที่ใช้ทำ Wood stave Flumes ควรเป็นไม้เนื้อแข็งที่มีคุณภาพที่ดีและแห้ง รอยต่อของไม้ตามยาวต้องเรียบและสนิทแน่นน้ำรั่วไม่ได้เลย แต่ก่อน Wood stave Flumes ทำด้วยไม้ธรรมดาจึงผุและรั่วง่ายเช่นเดียวกับรางน้ำไม้ทั่วไป ในปัจจุบัน Wood stave Flumes ทำด้วยไม้อัดน้ำยาซึ่งลดการยืดและหดตัวของไม้ในขณะที่รางน้ำเปียก ๆ แห้งๆ ลงได้ จึงไม่รั่วง่าย และน้ำยาที่ใช้บางชนิดรักษาเนื้อไม้ได้ดี แมลงและเห็ดราจะไม่ทำลายเนื้อไม้ ทำให้รางน้ำมีอายุใช้งานได้นานมาก น้ำยาที่อัดเข้าไปในเนื้อไม้มีชื่อต่างๆ ในทางการค้า เช่น creosote, tanalith C



รูปที่ 5.7 Timber flumes

เหล่านี้เป็นต้น รางน้ำไม้ที่ทำด้วยไม้อัดน้ำยาไม่จำเป็นต้องทาสี

3. รางน้ำโลหะ (Metal Flumes)

รางน้ำรูปครึ่งวงกลมที่ทำด้วยแผ่นโลหะเคลือบมีใช้กันมากในระบบการส่งน้ำของโครงการชลประทาน เพราะรางน้ำชนิดนี้มีน้ำหนักน้อย ประกอบติดตั้งได้ง่าย และน้ำไหลผ่านได้สะดวกแต่ถ้าในน้ำมีแร่ธาตุซึ่งมีปฏิกิริยาทางเคมีกับโลหะที่ทำรางปนอยู่ด้วยแล้วจะต้องทาสีรางป้องกันไว้ รางน้ำโลหะนี้ควรใช้ที่ซึ่งไม่มีทรายไหลปนมากับน้ำ เพราะทรายจะขัดสีสิ่งที่เคลือบโลหะไว้ให้หลุดไปได้

ขนาดของรางน้ำโลหะนิยมเรียกเป็นตัวเลขซึ่งเท่ากับความยาวเป็นนิ้วของแผ่นโลหะที่ใช้ทำราง เช่นรางน้ำ No. 96 ทำจากแผ่นโลหะยาว 8 ฟุต(96 นิ้ว) ซึ่งเมื่อดัดงอให้เป็นรูปครึ่งวงกลมแล้วจะมีเส้นผ่าศูนย์กลางยาว 5.09 ฟุต รางน้ำโลหะที่ใช้ทั่วไปในโครงการชลประทานมีขนาดต่าง ๆ กัน อย่างใหญ่ที่สุดมีเส้นผ่าศูนย์กลางยาวประมาณ 20 ฟุตในขณะที่น้ำไหลผ่านราง รางน้ำโลหะจะเปลี่ยนรูปจากครึ่งวงกลมไปเล็กน้อยถ้าเป็นรางเล็กก็ไม่จำเป็นต้องพิจารณา แต่ถ้าเป็นรางใหญ่การเปลี่ยนรูปของรางจะต้องได้รับการพิจารณาอย่างรอบคอบโดยเฉพาะอย่างยิ่งในการคำนวณออกแบบ supports ของ endwall

4. รางน้ำคอนกรีต (Concrete Flumes)

ถ้าได้คำนวณออกแบบและก่อสร้างได้ดีจริง ๆ แล้วรางน้ำคอนกรีตเป็นรางน้ำที่ดีที่สุดในบรรดารางน้ำทุกชนิด แต่รางน้ำตอนกรีตก็มีราคาแพงที่สุด จึงเหมาะที่จะสร้างในคลองสายใหญ่ซึ่งส่งน้ำตลอดเวลาในฤดูชลประทาน

โดยทั่วไปรางน้ำคอนกรีตมีรูปตัดขวางเป็นรูปสี่เหลี่ยมมุมฉาก ที่ดัดแปลงเป็นรูปครึ่งวงกลมหรือรูปสามเหลี่ยมก็มีเหมือนกัน รางน้ำคอนกรีตขนาดใหญ่ต้องเป็นรางคอนกรีตเสริมเหล็ก

การสร้างรางน้ำคอนกรีตทำได้ 2 วิธี คือจะหล่อตัวรางโดยเทคอนกรีตลงในแบบ ณ ที่ก่อสร้าง (Cast in Place) หรือจะหล่อตัวรางไว้ก่อนเป็นท่อนๆ (Precast Units) ก็ได้เมื่อจะเสร็จจึงค่อยนำไปประกอบกัน ณ ที่ก่อสร้าง การสร้างรางน้ำคอนกรีตโดยใช้ precast units มีข้อดีอยู่ประการหนึ่งคือเมื่อรางท่อนใดชำรุดจะซ่อมแซมได้ง่ายและรวดเร็ว คือหยุดส่งน้ำผ่านรางเสียชั่วขณะ แล้วรีบนำเอารางท่อนที่หล่อไว้แล้วไปเปลี่ยนท่อนที่ชำรุด รางน้ำคอนกรีตรูปครึ่งวงกลมก็อาจใช้ Precast Units ซึ่งนำไปวางบนฐานคอนกรีตได้เช่นเดียวกัน

5.2.4 การพิจารณาด้านชลศาสตร์(Hydraulic Considerations)

1. รูปตัดราง (Flume Section)

ก. อัตราส่วน (b/d) อัตราส่วนที่ดีที่สุดทางด้านชลศาสตร์ก็คือรางน้ำที่มีอัตราส่วน b/d เท่ากับ 2

แม้ว่าอัตราส่วนนี้จะนิยมใช้กันทั่วไป แต่จากการพิจารณาประเด็นอื่นแล้วพบว่าอัตราส่วนนี้ควรจะมากกว่าหรือน้อยกว่านี้ก็ได้ ตัวอย่างเช่น รางที่มีหน้าตัดแคบจะมีราคาถูกกว่าในกรณีที่ต้องสร้างตามแนวไหล่เขาที่ต้องขุดหินและเหมาะกับบริเวณที่มีพื้นที่ก่อสร้างจำกัด ในขณะที่รางที่มีรูปตัดกว้างจะลดความสูงของผนังด้านข้างทั้ง 2 ด้านลงได้ทำให้ราคาค่าก่อสร้างถูกลง

จากการศึกษาอัตราส่วน (b/d) โดยคำนึงถึงประสิทธิภาพด้านชลศาสตร์และค่าก่อสร้าง (ไม่รวมค่าขุดดินและถมดิน) อัตราส่วน b/d ที่ยอมรับได้จะอยู่ระหว่าง 1-3 ในช่วงดังกล่าวนี้ พื้นที่หน้าตัด ความเร็ว และเส้นขอบเปียกที่เปลี่ยนไปเกือบจะไม่แตกต่างกันสำหรับความลาดเทราง ระหว่าง 0.001 - 0.100 และอัตราการไหลของน้ำระหว่าง 0 - 100 ลบ.ฟุต/วินาที (0-2.8ลบ.เมตร/วินาที)

2. ลาดและความเร็ว (Slope and Velocity)

รูปตัดรางน้ำที่ประหยัดที่สุดจะมีความเร็วมากกว่าความที่ยอมให้ในคลองดิน เนื่องจากปกติความเร็วของน้ำในรางสูงกว่าในคลองดิน ดังนั้นรางจึงมีลาดที่ชันกว่า (Steeper Slope)

โดยปกติจะออกแบบให้ความเร็วของน้ำในรางต่ำกว่า Critical Velocity ดังนั้นการไหลจึงเป็น Subcritical Flow อย่างไรก็ตามถ้าออกแบบให้ความเร็วสูงกว่า Critical Velocity การไหลก็จะเป็น Supercritical Flow ในกรณีนี้การไหลของน้ำใน Bench Flume จะเหมือนการไหลของน้ำใน chute ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อต่อไป

จากการศึกษาเมื่ออัตราส่วน b/d เท่ากับ 1, 2, หรือ 3 และสำหรับปริมาณน้ำไม่เกิน 100 ลบ.ฟุต/วินาทีนั้น ลาดของรางไม่ควรชันกว่า 0.002 ข้อกำหนด (Criteria)นี้ไม่เพียงแต่ใช้สำหรับการออกแบบลาดของรางเท่านั้นแต่ยังใช้สำหรับตรวจสอบลาดที่แท้จริงของรางในขณะก่อสร้างด้วยมิฉนั้นอาจเกิดเป็น Supercritical Slopes

นอกจากนี้ยังพบอีกว่า ด้วยเงื่อนไขอัตราส่วนและปริมาณน้ำตามที่กล่าวมาการเลือกลาดของรางควรแบนกว่า Critical Slope อย่างชัดเจน เพราะการไหลของน้ำที่

ความลึกใกล้ Critical Depth อาจทำให้การไหลไม่คงที่ ทำให้เกิดคลื่นที่ผิวน้ำได้

3. เผื่อล้น (Freeboard),

เผื่อล้นของร่างน้ำคือระยะจากระดับน้ำสูงสุดในราง ถึงระดับยอดกำแพงข้างราง ระยะนี้จะต้องสูงพอที่จะไม่ไหลล้นข้ามกำแพงข้างราง ในขณะส่งน้ำผ่านเต็มที่ตามปกติ Freeboard ของรางจะมีค่าใกล้เคียงกับ Freeboard ของคลองส่งน้ำที่เชื่อมต่อกัน เพื่อไม่ให้เกิดอันตรายกับคลอง ตัวรางรวมทั้งส่วนอื่นๆที่อยู่ต่ำลงไป ซึ่งมีระยะประมาณ 0.05 เมตร ถึง 0.60 เมตร แล้วแต่ขนาดของราง รางน้ำบางแห่งมี Freeboard สูงเป็นพิเศษ เช่นรางน้ำที่มีน้ำไหลในรางแรงมาก รางน้ำที่มีโค้งของรางแคบ รางน้ำทีมีเศษสิ่งของไหลลอยน้ำมามากและตัวรางมีคานขวาง ซึ่งเศษสิ่งของอาจจะลอยมาติดได้ รางน้ำที่สร้างในท้องถิ่นที่มีลมพัดแรงมาก รางน้ำที่มีการอัดน้ำในรางได้อาจทำความเสียหายแก่ตอม่อ ฐานราก หรือฐานที่รองรับราง เพราะฉะนั้นรางน้ำดังกล่าวจึงต้องมี Freeboard สูงกว่า Freeboard ธรรมดา อย่างก็ดีถ้ามีทางน้ำล้นอัตโนมัติ (Automatic Spillway) หรือทางทิ้งน้ำ (Wasteway) สร้างไว้เหนือปากทางเข้ารางแล้ว ก็ไม่จำเป็นต้องใช้ Freeboard ของรางน้ำสูงเป็นพิเศษแต่อย่างใด

ผู้ออกแบบรางน้ำรูปครึ่งวงกลมบางใช้ Freeboard เท่ากับ 1 นิ้วสำหรับความลึกของน้ำในรางลึกทุก 1 ฟุต + 2 นิ้ว ดังนั้น ถ้าน้ำในรางลึก 3 ฟุต

Freeboard = 3(1 นิ้ว) + 2 นิ้ว

= 5 นิ้ว หรือ 0.125 เมตร

ผู้ออกแบบบางคนใช้สูตรคำนวณ Freeboard โดยมี Velocity เข้ามาเกี่ยวข้องด้วย สมการทั่วไปที่ใช้หา Freeboard ที่น้อยที่สุดสำหรับรางน้ำโลหะรูปครึ่งวงกลมคือ

$$F = 0.10\ D\ (0.90 + 0.10\ h_v \quad \text{.....(5.1)}$$

เมื่อ

F = Minimum Freeboard

D = เส้นผ่าศูนย์กลางของรางน้ำ

h_v = Velocity Head

เนื่องจากความลึกของรางน้ำรูปครึ่งวงกลมเท่ากับครึ่งหนึ่งของเส้นผ่าศูนย์กลาง จึงเขียนสมการ (1) ได้ใหม่ดังนี้

$$F = 0.20d'\ (0.902 + 0.10\ h_v) \quad \text{..... (5.2)}$$

เมื่อ

d' = ความลึกที่ไม่ถูกกีดขวางจากขอบรางน้ำลงไป หรือจากท้องคาน ขวางของรางน้ำลงไปจนถึงก้นราง

ดังนั้นความลึกของน้ำในราง (d) ขณะส่งน้ำเต็มที่จึงเท่ากับความลึกที่ไม่ถูกกีด ขวาง (d^1) ลบด้วย Freeboard (F) ของรางนั้น

สมการ (2) นี้อาจใช้กับรางน้ำรูปสี่เหลี่ยมมุมฉากและ Wood-stave Flumes ได้ด้วยกรมชลประทานมีสูตรหา Freeboard ของรางน้ำและของอาคารชลประทานทุกชนิดดังนี้

$$F = 0.15d + 0.20 \text{ เมตร} \quad \text{..... (5.3)}$$

เมื่อ

F = minimum freeboard เป็นเมตร

d = ความลึกมากที่สุดของน้ำในรางหรือของน้ำด้านเหนืออาคารชลประทานทุกชนิด

5.2.5 หลักเกณฑ์การออกแบบรางน้ำ

หลักการคำนวณขนาดและความมั่นคงของรางน้ำก็คล้ายกับของคลองส่งน้ำและอาคารชลประทานอื่นๆ คือ

1. รางน้ำจะต้องโตพอที่จะให้ปริมาณน้ำมากที่สุดของคลองส่งน้ำ หรือของลำน้ำธรรมชาติ (แล้วแต่กรณี) ไหลไปตามรางได้โดยน้ำไม่ล้นข้ามกำแพงข้างราง

2. การคำนวณอัตราเร็วของน้ำที่ไหลในรางคงใช้ Kutter's formula หรือManning's formula แต่จะใช้ลาดผิวน้ำในรางหรือลาดตามยาวของราง (S') ประมาณ1:100 ถึง 1:500 (ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น) และ ค่า Roughness Coefficient(n) ของรางน้ำจะมีค่าต่างกันตามชนิดของวัสดุที่ใช้ทำราง (ดูจากตารางค่า Manning'n)

3. ระดับท้องคานหรือระดับใต้พื้นรางน้ำจะต้องสูงกว่าระดับน้ำสูงสุดของลำน้ำธรรมชาติหรือของคลองส่งน้ำ (แล้วแต่กรณี) ที่รางนั้นทอดข้ามไป

4. ช่วงต่อเชื่อมตัวรางน้ำกับคลองส่งน้ำธรรมชาติ (แล้วแต่กรณี) ทางด้านเข้าราง (Inlet Transition) และทางด้านออกจากราง (Outlet Transition) ต้องทำให้สอบเรียบเข้ามาและผายออกไปทีละน้อยตามสมควร เพื่อให้น้ำไหลเข้ารางและไหลออกจากรางได้สะดวก ถ้าสร้างเป็นกำแพงขวางตั้งฉากกับทางน้ำไหลไว้ที่ปากทางเข้ารางแล้วน้ำอาจจะเอ่อท้นและเกิดกระแสน้ำปั่นป่วนที่ปากทางเข้ารางได้

5. ตรงปลาย Inlet Transition และ Outlet Transition ต้องป้องกันไม่ให้น้ำรั่วลงไปยังลำน้ำธรรมชาติ หรือคลองส่งน้ำ (แล้วแต่กรณี) ที่รางนั้นทอดข้ามไปได้ โดยปกติ Transitions ทำด้วยคอนกรีตเสริมเหล็กที่สร้างยื่นออกไปจากปากรางและปลายรางพอสมควร ถ้าดินบริเวณนั้นน้ำรั่วซึมผ่านได้ง่าย จะต้องมีเข็มพืดตอกไว้ที่ปลาย Transitions ข้างละหนึ่งแนวต่อจากปลาย Transitions ออกไปควรทำหินเรียงยาแนวป้องกันตลิ่งและท้องน้ำของคลองส่งน้ำหรือ ของลำน้ำธรรมชาติ (แล้วแต่กรณี) ไว้ระยะหนึ่งด้วย

6. ทำการตรวจสอบความมั่นคง (Stability) ของตัวราง กรณีที่ต้องถมดินข้างราง จะมีแรงดันจากดินกระทำด้านข้างพยายามดันให้รางเคลื่อนตัว กรณีนี้น้ำหนักของรางเปล่าต้องมากพอที่จะต้านทานการ Sliding ได้ โดยทั่วไปค่า The Friction Coefficient of Sliding ของผิวคอนกรีตกับดินจะมีค่าประมาณ 0.35 ดังนั้น $\Sigma H/\Sigma V$ จะต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 0.35 และค่าแรงรวมทั้งหมดควรจะอยู่ใน Middle-third ของฐานราง

7. การหาน้ำหนักของผนังด้านข้าง (Wall loads) ในการออกแบบเป็นรางคอนกรีตเสริมเหล็ก จะต้องรวมน้ำหนัก Dead load ของราง และน้ำหนักดินถมด้านนอกในกรณีที่มีน้ำและไม่มีน้ำ กรณีที่ไม่มีดินถมด้านนอกให้คิดในสภาพมีน้ำเต็มราง

สำหรับความหนาของคอนกรีตของผนังที่ฐานคำนวณแบบ Cantilever ทั่วไป

5.3 ท่อเชื่อม (Inverted Siphons)

ท่อเชื่อมเป็นท่อปิด (Closed Conduits)มีน้ำไหลเต็มท่อ และมีแรงดันภายในมีลักษณะเป็นท่อกลมหรือสี่เหลี่ยม จะเป็นท่อแถวเดียวหรือหลายแถวก็ได้ สร้างขึ้นเพื่อนำน้ำให้ไหลลอดสิ่งกีดขวางต่างๆ เช่น ถนน ทางรถไฟ ทางระบายน้ำธรรมชาติ ที่ลุ่มและอาคารต่างๆ ไปสู่อีกด้านหนึ่ง

ในกรณีสร้าง Siphon เพื่อนำน้ำลอดทางน้ำทำได้ 2 วิธี คืออาจจะสร้างไซฟอนในคลองส่งน้ำลอดลำน้ำธรรมชาติ หรือสร้างไซฟอนในลำน้ำธรรมชาติลอดคลองส่งน้ำก็ได้ วิธีการก็คือจะสร้างจากริมตลิ่งข้างหนึ่งของลำน้ำธรรมชาติหรือของคลองส่งน้ำ ลงไปตามลาดตลิ่ง หักเลี้ยวขนานไปตามท้องน้ำ แล้วลาดขึ้นไปตามลาดตลิ่งอีกข้างหนึ่ง เพื่อให้คลองส่งน้ำไหลลอดใต้ลำน้ำธรรมชาติหรือให้ลำน้ำธรรมชาติไหลลอดใต้คลองส่งน้ำ แล้วแต่กรณี

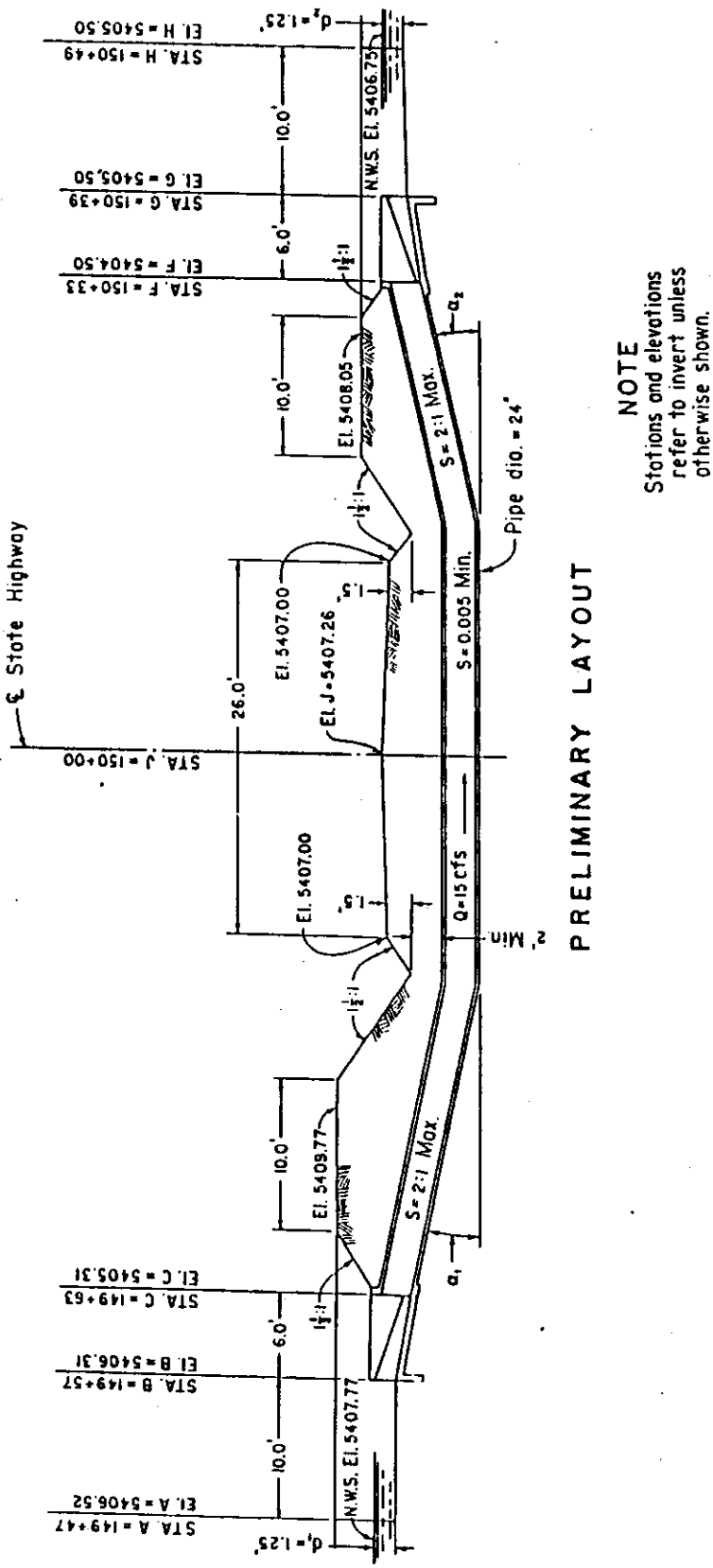


Fig. 5.8 Preliminary layout of inverted siphon

การสร้าง Siphons ให้คลองส่งน้ำไหลลอดใต้ลำน้ำธรรมชาติจำเป็นต้องทำเมื่อระดับท้องคลองส่งน้ำต่ำกว่าระดับน้ำนองสูงสุดของลำน้ำธรรมชาติประการหนึ่ง และในกรณีลำน้ำธรรมชาติ มีขนาดกว้างใหญ่ มีปริมาณน้ำมากกว่าคลองส่งน้ำอีกประการหนึ่ง ตามปกติมักจะไม่ค่อยสร้างให้ลำน้ำธรรมชาติไหลลอดใต้คลองส่งน้ำ เว้นแต่ลำน้ำนั้นมีขนาดเล็กกว่าคลองส่งน้ำ มีปริมาณน้ำน้อยและไม่มีกรวด ทราย กิ่งไม้ ใบไม้ หรือสิ่งต่างๆ ไหลมากับน้ำ เพราะของเหล่านี้จะเข้าไปอุดทำให้ท่อตันได้

สำหรับคลองส่งน้ำที่ใช้เป็นทางเดินเรือด้วยนั้นย่อมจำเป็นอยู่เองที่ต้องสร้าง siphons ลำน้ำธรรมชาติไหลลอดใต้คลองส่งน้ำแต่อย่างเดียวเท่านั้น ถ้าลำน้ำธรรมชาติมีปริมาณน้ำมากและคลองส่งน้ำก็มีความจุมากแล้ว ควรสร้างท่อระบายหรือประตูระบายรับน้ำ (Inlets) แบ่งรับน้ำเข้ามาในคลองส่งน้ำเสียบ้าง น้ำที่เหลือจึงปล่อยให้ไหลไปตาม Siphons วิธีนี้จะช่วยลดขนาดของ Siphons ลงได้มาก

กรมชลประทานสร้าง siphons ไว้หลายแห่งในโครงการชลประทานหลวงต่างๆ มีทั้งชนิดให้คลองส่งน้ำไหลลอดใต้ลำน้ำธรรมชาติ เช่น Siphon สิงห์บุรี (คลองชัยนาท-อยุธยา ลอดใต้แม่น้ำลพบุรี) และชนิดให้ลำน้ำธรรมชาติไหลลอดใต้คลองส่งน้ำ เช่น siphon หนองแค (คลองหนองแค ลอดใต้คลองระพีพัฒน์ซึ่งเป็นคลองสายใหญ่ของโครงการชลประทานหลวงป่าสักใต้)

ตามปกติจะนิยมสร้างไซฟอนและรางน้ำเพื่อรับน้ำในคลองส่งน้ำให้ไหลข้ามหรือลอดลำน้ำธรรมชาติมากกว่าที่จะสร้างอาคารเพื่อรับน้ำจากคลองธรรมชาติให้ไหลข้ามหรือลอดคลองส่งน้ำ จะกระทำต่อเมื่อ

1. ลำน้ำธรรมชาติมีขนาดเล็กและมีปริมาณน้ำน้อย
2. ในลำน้ำธรรมชาติไม่มีกรวดทรายและสิ่งสกปรกไหลมากับน้ำมาก
3. มีการคลองส่งน้ำเป็นเส้นทางการเดินเรือ

5.3.1 การพิจารณาเลือกใช้

การพิจารณาเลือกใช้ไซฟอนจะต้องพิจารณาถึงราคาค่าก่อสร้างและความเหมาะสมด้านต่างๆเมื่อเปรียบเทียบอาคารชนิดอื่น เพื่อให้งานดำเนินไปตามวัตถุประสงค์ การใช้สะพานน้ำจะเป็นตัวเลือกที่สำคัญของไซฟอน ในการนำน้ำผ่านอุปสรรคต่างๆดังที่ได้กล่าวมา แต่โดยปรกติสำหรับปริมาณน้ำไม่เกิน 100 ลบ.ฟุตต่อวินาที (≈2.8 ลบ.ม /วินาที) การใช้ไซฟอนจะมีราคาถูกกว่าสะพาน อย่างไรก็ตามการเลือกใช้ควรพิจารณาสิ่งต่างๆต่อไปนี้ด้าย คือ

1. ความแตกต่างของระดับน้ำใช้การเต็มที่ในคลองส่งน้ำ (F.S.L.) กับระดับน้ำนองสูงสุดตามธรรมชาติ

2. ความแตกต่างของระดับท้องคลองส่งน้ำ กับระดับท้องน้ำของลำน้ำธรรมชาติ

3. ปริมาณน้ำมากที่สุดของคลองส่งน้ำและของลำน้ำธรรมชาติ

4. ความไม่แน่นอนของปริมาณน้ำนองของลำน้ำธรรมชาติ

5. ความปลอดภัยของตัวอาคาร

6. ความสะดวกในการควบคุมและดูแลรักษา

7. ราคาค่าก่อสร้าง

5.3.2 ข้อดีและข้อเสียของไซฟอน

ไซฟอนเป็นอาคารที่มีราคาถูก ออกแบบและก่อสร้างง่าย และยังเป็นอาคารลำเลียงน้ำที่ไว้ใจได้ ปกติจะไม่มีปัญหาการกัดเซาะบริเวณปลายท่อทั้ง 2 ด้านถ้ามีการออกแบบที่ถูกต้องและทำการก่อสร้าง Transitions และอาคารป้องกังการกัดเซาะไว้อย่างเหมาะสม ค่าออกแบบ ก่อสร้างและบำรุงรักษาเป็นปัจจัยสำคัญที่จะทำให้ ไซฟอนเป็นอาคารที่เหมาะสมมากกว่าอาคารชนิดอื่น

ไซฟอนเป็นอาคารที่ต้องเสีย Headloss สูง ดังนั้นในบางแห่งที่ระดับน้ำมีความสำคัญจำเป็นต้องรักษา Head ไว้ ควรพิจารณาเลือกใช้สะพานจะเหมาะสมกว่า

การใช้อาคารไซฟอน อาจเป็นอันตรายต่อชีวิต โดยเฉพาะบริเวณที่เป็นชุมชนหนาแน่น เพราะสภาพของน้ำหน้าปากท่อจะหมุนวนและมีความเร็วสูง หากเด็กหรือสิ่งมีชีวิตตกลงไป อาจเป็นอันตรายถึงเสียชีวิตได้

5.3.3 ส่วนประกอบของอาคารไซฟอน (Structure Components)

1. ตัวท่อ (Pipe)

ตัวท่อในที่นี้หมายถึงท่อปิดและมีความดันภายใน ท่อที่ใช้จะต้องทนแรงดันนี้ได้และไม่รั่วน้ำ ท่อที่ใช้อาจเป็นท่อหล่อสำเร็จ ค.ส.ล.(PCP) ท่อไยหิน(AC) ท่อเหล็กหรือท่อ ค.ส.ล.หล่อในที่ก็ได้ ที่สำคัญบริเวณรอยต่อจะต้องมีแหวนยางรองหรือมีการเชื่อมที่ดีไม่ให้เกิดการรั่วซึมได้ สำหรับ Head ไม่เกิน 45 เมตร นิยมใช้ท่อ ค.ส.ล. หล่อสำเร็จ

สิ่งที่ควรระวังก็คือ บริเวณรอยต่อ บริเวณส่วนที่โค้ง และบริเวณที่สร้าง

อาคารอื่นประกอบท่อ ท่อไซฟอนควรฝังลึกจากผิวดินตามความเหมาะสมและทำการกลบบดอัดให้แน่น ระยะความลึกที่เหมาะสมมีดังนี้คือ

1.) ท่อไซฟอนที่ตัดผ่านถนน และทางรถไฟควรจะกลบหลังท่อลึกอย่างน้อย 3 ฟุต ถ้าเป็นถนนในฟาร์ม(farm Road) ควรลึกไม่น้อยกว่า 2 ฟุต โดยปกตินิยมถมตามแนวหลังท่อให้สูงเป็นเนินดินขึ้นไปและมีลาดประมาณ 1 ต่อ 10 ในกรณีที่ถนนมีคูระบายน้ำด้านข้าง ระดับหลังท่อควรอยู่ต่ำกว่าระดับท้องคูระบายไม่น้อยกว่า 2 ฟุต

2.) ท่อไซฟอนที่ตัดผ่านร่องระบายน้ำธรรมชาติ ระดับหลังท่อควรอยู่ต่ำกว่าระดับท้องร่องระบายไม่น้อยกว่า 3 ฟุต หรือมากกว่าหากจะมีการขยายในอนาคต

3.) ท่อไซฟอนลอดผ่านคลองส่งน้ำดิน(Earth Canal) ระดับหลังท่อควรอยู่ต่ำกว่าระดับท้องคลองไม่น้อยกว่า 2 ฟุต ถ้าคลองส่งน้ำเป็นคลองดาด (Lined Canal) ความลึกจากก้นคลองดาดถึงหลังท่อควรลึก 6 นิ้วเป็นอย่างน้อย

2. Transitions

Transitions คืออาคารที่สร้างขึ้นที่ปากทางเข้าและปากทางออกเรียกว่า Inlet transition และ Outlet transition เพื่อช่วยลด Headloss และป้องกันการกัดเซาะโดยเฉพาะในคลองดิน เนื่องจาก Transition จะช่วยทำให้ความเร็วของน้ำในคลองส่งน้ำและในท่อบริเวณช่วงรอยต่อค่อยๆเปลี่ยนไป Transitions อาจทำด้วยคอนกรีต ดินหรือทั้งสองอย่างรวมกันก็ได้

ไซฟอนต่อไปนี้จำเป็นต้องสร้าง Concrete Inlet Transition หรือ Concrete Inlet Control Structure บางชนิด และ Concrete Outlet Transition คือ

1.) ไซฟอนที่ตัดกับทางรถไฟ (Railroads) และถนนทางหลวงแผ่นดิน (State Highway)

2.) ไซฟอนลอดถนนและมีขนาดเส้นผ่าศูนย์ตั้งแต่ 3 ฟุตขึ้นไป

3.) ไซฟอนที่สร้างในคลองดินและมีความเร็วของน้ำในท่อมากกว่า 3.5 ฟุตต่อวินาที (~1.00 เมตรต่อวินาที)

รูปแบบของ Transitions (Types of Transition)มีอยู่หลายชนิดซึ่งไม่ได้นำมากล่าวในที่นี้

3. Pipe Collars

Pipe collars คือปลอกคอนกรีตรอบท่อ ปกติไม่ใช่สิ่งจำเป็นสำหรับไซฟอน แต่อาจต้องการสร้างขึ้นเพื่อวัตถุประสงค์อื่น เช่น

1.) ลดความเร็วของน้ำที่ไหลเลาะไปตามข้างท่อเป็นการป้องกันการกัดพาเม็ดดิน (piping) อันเป็นสาเหตุทำให้เกิดการพังทะลายได้

2.) ป้องกันหนูเจาะรูไปตามแนวท่อ

นอกจากส่วนประกอบของท่อไซฟอนที่กล่าวมาแล้วยังอาจมีอาคารอื่นที่สร้างขึ้นเพื่อให้ไซฟอนทำงานสมบูรณ์ยิ่งขึ้น เช่น Blowoff structures, Wasteways และ Safety features เป็นต้น

5.3.4 การพิจารณาออกแบบด้านชลศาสตร์

1. ขนาดท่อไซฟอน

การคำนวณขนาด siphons ขึ้นอยู่กับ Available Head (ความแตกต่างของระดับน้ำด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำ)และความเร็วของน้ำในท่อที่ยอมได้ ในทางปฏิบัติในการคำนวณหาขนาดท่อเพื่อให้ปริมาณน้ำไหลผ่านไปได้นั้น จะกำหนดความแตกต่างระดับน้ำด้านเหนือและด้านท้าย siphons (H) เสียก่อนว่าจะยอมให้แตกต่างกันได้เท่าไร แล้วจึงสมมุติขนาดท่อเพื่อหาความยาวของท่อ (L) ตามแนวเส้นศูนย์กลางและ hydraulic mean depth ของท่อ (m) จากนั้นจึงคำนวณอัตราเร็วของน้ำที่ไหลในท่อจากสูตร

$$H = (1+f_1+f_2.\frac{L}{m})\, V^2/2g$$

เมื่อ H = ความแตกต่างของระดับน้ำด้านเหนือและด้านท้ายท่อเป็นเมตร

f_1 = coefficient of friction at entrance

= 0.080 for bell-mouth entrance

= 0.505 for cylindrical entrance

f_2 = coefficient of inner surface friction

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

a และ b มีค่าต่าง ๆ ตามลักษณะของวัสดุที่ใช้ทำท่อ ดังนี้

	a	b
ท่อเหล็กเรียบ	0.00497	0.084
ท่อเหล็กมีสนิมจับ	0.00996	0.084
ท่อคอนกรีตเรียบหรือไม้ไสเรียบ	0.00316	0.100
ท่อหินก่อเรียบอิฐก่อและไม้กระดานธรรมดา	0.00507	0.820

L = ความยาวของท่อวัดตามแนวเส้นศูนย์กลาง เป็นเมตร

m = hydraulic mean depth

= A/P เป็นเมตร

A = เนื้อที่รูปตัดขวางของท่อที่น้ำไหลผ่าน เป็นตารางเมตร

P = wetted perimeter เป็นเมตร

V = อัตราเร็วของน้ำที่ไหลในท่อ เป็นเมตร/วินาที

g = 9.81 เมตร/วินาที/วินาที

เมื่อได้อัตราเร็วของน้ำในท่อแล้วก็จะทราบปริมาณน้ำผ่านท่อทั้งหมดซึ่งเท่ากับเนื้อที่รูปตัดขวางของท่อที่ไหลผ่านคูณด้วยอัตราเร็วของน้ำในท่อ ถ้าปริมาณน้ำที่คำนวณได้ยังไม่เท่ากับปริมาณน้ำที่ต้องการส่งผ่านท่อ จะต้องเปลี่ยนค่าของ H หรือเปลี่ยนขนาดท่อ หรือเปลี่ยนทั้ง H และขนาดท่อและคำนวณใหม่จนกว่าจะได้ปริมาณน้ำเท่ากัน

2. ความเร็วของน้ำในท่อ *(Velocity)*

โดยทั่วไปความเร็วของน้ำในท่อไซฟอนควรอยู่ระหว่าง 3.5 - 10 ฟุตต่อวินาที (1.0 - 3.0 เมตรต่อวินาที) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ Available head ความเร็วต่อไปนี้อาจใช้เป็น Velocity criteria สำหรับการคำนวณหาขนาดท่อไซฟอนได้ คือ

1. ความเร็วไม่เกิน 1.0 เมตร/วินาที สำหรับท่อไซฟอนสั้นและมี Earth Transition ที่ทางเข้าและทางออก

2. ความเร็วไม่เกิน 1.5 เมตร/วินาที สำหรับท่อไซฟอนสั้นและมี Inlet Concrete Transitions หรือ Control Structure ปากทางเข้าและมี Outlet Concrete Transition

3. ความเร็วไม่เกิน 3.0 เมตร/วินาที สำหรับท่อไซฟอนค่อนข้างยาวและมี Inlet Concrete Transitions หรือ Control structure ปากทางเข้าและมี Outlet Concrete Transition

ความเร็วของน้ำในท่อหรือขนาดท่อไซฟอนมีความสำคัญมากต่อราคาค่าก่อสร้าง เพราะการเปลี่ยนขนาดท่อเพียงเล็กน้อยอาจทำทำให้ราคาเพิ่มขึ้นมากก็ได้

Headloss ที่ควรนำมาพิจารณาในการออกแบบท่อ ก็คือ

1. Loss ที่เกิดจากการเปลี่ยนขนาดของหน้าตัดของคลองและท่อที่ปากทางเข้า (Inlet transition)

2. Loss ที่เกิดขึ้นเนื่องอาคารอัดน้ำ (Check structure)หรืออาคารควบคุมน้ำ(Control structure) ในกรณีที่มีสร้างไว้ที่ปากทางเข้า

3. Friction loss ที่เกิดจากผิวและส่วนที่โค้งงอในท่อ

4. Loss ที่เกิดจากการเปลี่ยนขนาดของหน้าตัดของคลองและท่อที่ปากทางออก (Outlet Transition)

Headloss ทั้งหมดที่คำนวณได้ทั้งหมด มักจะเผื่อหรือเพิ่มอีก 10 % เป็นค่า Factor of Safety

ตัวอย่าง ให้หาขนาด siphon คอนกรีตซึ่งจะให้ปริมาณน้ำ 9.048 ม^3./วินาทีที่ไหลผ่านไปได้ โดยยอมให้มี H = 0.20 เมตร กำหนดให้ความยาวของท่อ = 40.00 เมตร

g = 9.81 เมตร/วินาที/วินาที f_1 = 0.505 a = 0.00316 และ b = 0.100

วิธีทำ

สมมติให้ใช้ท่อคอนกรีตสี่เหลี่ยม 1 แถว ขนาด 2.00 x 3.00 เมตร

A = 2.00 x 3.00 = 6.00 ม^2.

P = 2(2.00 + 3.00) = 10.00 เมตร

m = 6.00/10.00 = 0.60 เมตร

f_1 = 0.505

= 0.00316(1+0.100/0.60 x 3.28)

= 0.00332

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

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

= 1.508 เมตร/วินาที

ดังนั้น Q = 6.00 × 1.508

= 9.043 เมตร^3/วินาที

ดังนั้นท่อคอนกรีตสี่เหลี่ยม 1 แถวขนาด 2.00 × 3.00 เมตร ตามที่สมมตินั้นใช้ได้

5.3.5 การพิจารณาความมั่นคงของไซฟอน

การพิจารณาความมั่นคงของ siphons นั้นผิดกับของอาคารชลประทานชนิดอื่นอยู่บ้างกล่าวคือ

1. แรงที่กระทำต่อตัวท่อ (Siphon Barrel) จะเปลี่ยนไปได้ต่าง ๆ ตามสภาพที่ใช้สำหรับ การคำนวณออกแบบ (Conditions For Design) แรงเหล่านี้ได้แก่

- น้ำหนักของน้ำที่ทับหลังท่อ
- น้ำหนักของตัวท่อ
- น้ำหนักของน้ำในท่อ
- แรงดันหรือแรงระเบิดของน้ำภายในท่อ (Bursting)
- แรงดันของดินที่กระทำต่อตัวท่อด้านข้างทั้งในสภาพดินเปียกและดินแห้ง
- Reaction ที่กระทำต่อตัวท่อด้านล่าง

แรงต่าง ๆ เหล่านี้จะต้องได้รับการพิจารณาอย่างละเอียด

2. เมื่อ siphons เป็นท่อที่วางลาดลงไปตามลาดตลิ่งของลำน้ำธรรมชาติหรือของคลองส่งน้ำ (แล้วแต่กรณี) ตัวท่ออาจจะเลื่อนหรือทรุดได้ จึงต้องพิจารณาอย่างละเอียดในการออกแบบเช่นเดียวกัน

3. จากสูตรที่ใช้หาขนาด siphons จะเห็นได้ว่าลักษณะของปากท่อและกำแพงหน้าท่อมีอิทธิพลต่อการไหลของน้ำมาก จึงควรได้รับการพิจารณาเป็นพิเศษเพื่อให้น้ำไหลเข้าท่อสะดวก จะลดขนาดท่อลงได้มาก

5.4 อาคารน้ำตก (Drops)

น้ำตกคืออาคารที่สร้างขึ้นเพื่อนำน้ำจากที่สูงลงสู่ที่ต่ำโดยไม่ให้เกิดการกัดเซาะ ตามปกติลาดผิวน้ำในคลองหรือลาดตามยาวของคลองส่งน้ำไม่ได้เป็นเส้นลาดตรงเป็นเส้นเดียวไปตลอด อาจต้องมีการลดระดับน้ำและระดับท้องคลองลงเป็นแห่ง ๆ อันเนื่องมาจากสาเหตุ 2 ประการคือ

1. ลาดของพื้นดินตามแนวคลองชันเกินไป

ได้กล่าวมาแล้วว่า ลาดผิวน้ำหรือลาดตามยาวของคลองที่เราเลือกใช้ในการ

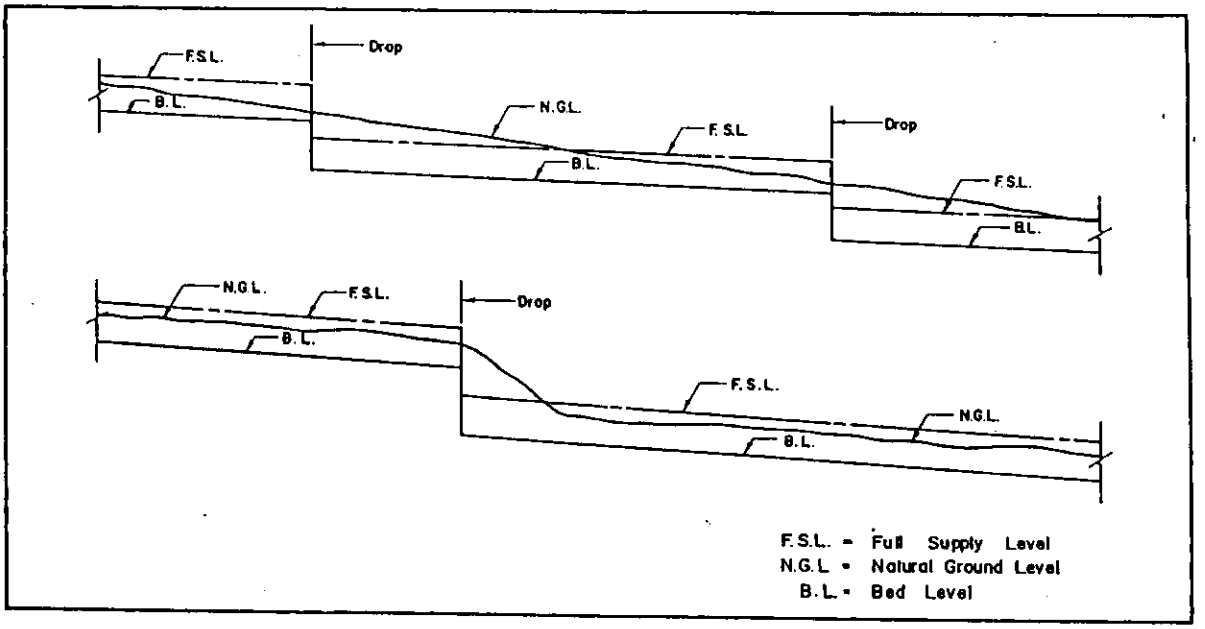
ออกแบบคลองส่งน้ำขึ้นอยู่กับลาดของพื้นดินตามแนวคลองประการหนึ่งและอัตราเร็วของกระแสน้ำซึ่งจะไม่กัดทำลายตัวคลองอีกประการหนึ่ง โดยทั่วไปเรามักจะใช้ลาดตามยาวของคลองเช่นเดียวกับลาดของพื้นดินตามแนวคลองแต่ถ้าลาดของพื้นดินชันมากและเรายังใช้ลาดตามยาวของคลองอย่างเดียวกับลาดของพื้นดินแล้ว อัตราเร็วของน้ำในคลองจะสูงเกินไปจนกัดคลองพังทลายเสียหายได้ จึงควรใช้ลาดตามยาวของคลองราบกว่าลาดของพื้นดิน

การใช้ลาดตามยาวของคลองราบกว่าลาดของพื้นดินจะทำให้ระดับน้ำใช้การเต็มที่ในคลอง (Full Supply Level) สูงกว่าระดับพื้นดินมากขึ้นทุกที และระดับท้องคลอง (Bed level) กับระดับพื้นดินจะใกล้กันมากขึ้นทุกที จนในที่สุดจะถึงจุดหนึ่งซึ่งระดับท้องคลองจะเป็นระดับเดียวกับพื้นดินต่อจากนี้ไปถ้าเราไม่ลดระดับน้ำและระดับท้องคลองลง ตัวคลองทั้งหมดก็จะอยู่สูงพ้นพื้นดินซึ่งมีลักษณะเป็นคลองลอย (Floating Canals) โดยต้องถมอัดดินให้แน่นเป็นรูปคลองแทนการขุดคลอง สำหรับคลองธรรมดาที่ไม่มีเปลือกคลอง (Unlined Canals) นั้น ควรหลีกเลี่ยงการสร้างคลองลอยให้มากที่สุด เพราะฉะนั้นตรงจุดนี้หรือก่อนถึงจุดนี้จึงต้องลดระดับน้ำและระดับท้องคลองลง แล้วจึงขุดคลองต่อไปใหม่

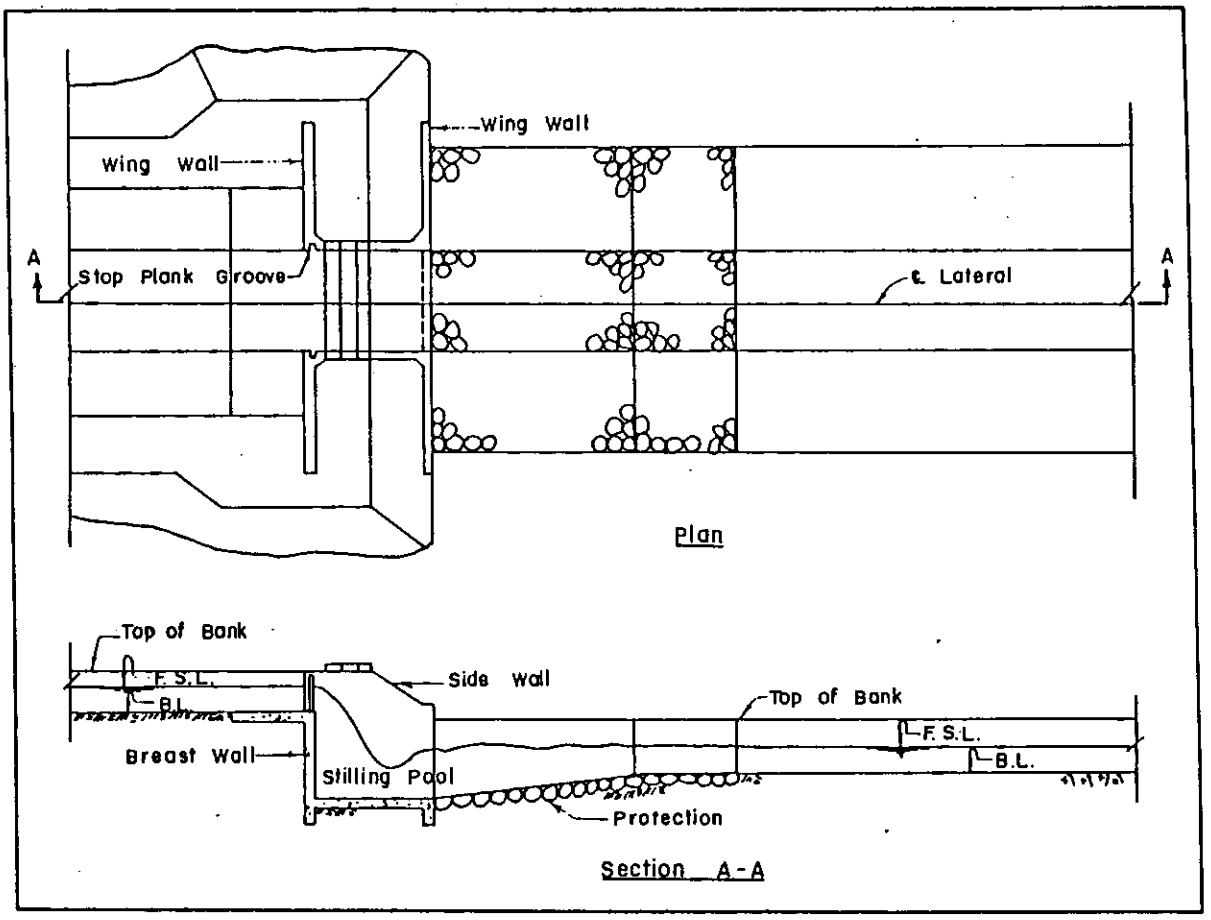
2. ระดับพื้นดินตามแนวคลองลดต่ำลงมากอย่างรวดเร็ว

ระดับพื้นดินตามแนวคลองบางช่วงอาจลดต่ำลงมากอย่างรวดเร็ว ทำให้ต้องลดระดับน้ำและระดับท้องคลองลงในช่วงนั้นเพื่อปรับตัวคลองให้เข้ากับลักษณะภูมิประเทศ ตรงที่ซึ่งมีการลดระดับน้ำและระดับท้องคลองลงต้องมีอาคารส่งน้ำ (Conveyance Structures) สร้างไว้ในคลองเพื่อควบคุมระดับน้ำด้านเหนืออาคารและป้องกันตัวคลองด้านท้ายอาคารไม่ให้ถูกน้ำกัดทำลายเสียหาย อาคารส่งน้ำที่สร้างขึ้นในกรณีนี้มี 2 ชนิด คือ *น้ำตก (Drops) และรางเท (Chutes)*

น้ำตกและรางเทมักจะสร้างในคลองซอย และคูน้ำมากกว่าในคลองสายใหญ่ ทั้งนี้เพราะคลองสายใหญ่มีลาดตามยาวไปทางเดียวกับแนวแม่น้ำ แนวคลองสายใหญ่ได้ลัดเลาะไปตามเส้น contours ลาดของพื้นดินตามแนวคลองสายใหญ่สม่ำเสมอดีและไม่สู้จะชันหรือเปลี่ยนระดับมากนัก จึงไม่จำเป็นต้องลดระดับน้ำและระดับท้องคลองลงอย่างไรก็ตามถ้าแนวคลองสายใหญ่ต้องผ่านบริเวณที่พื้นดินลาดชันมากหรือมีระดับลดต่ำลงมากอย่างรวดเร็วและไม่มีทางที่จะหลบแนวคลองให้พ้นบริเวณนั้นไปได้แล้ว ก็จะต้องลดระดับน้ำและระดับท้องคลองลง โดยสร้างน้ำตกหรือรางเทขึ้นในคลองสายใหญ่



รูปที่ 5.9 น้ำตกเป็นอาคารสำหรับลดระดับน้ำในคลอง



รูปที่ 5.10 Vertical Drop

เหมือนกันส่วนคลองซอย คลองแยกซอย และคูน้ำต่างกับคลองสายใหญ่ที่ว่าคลองเหล่านี้มีแนวคลองอยู่ในที่บังคับคือยู่ตามแนวสันสูงของเนินดินหรือพูย่อยที่ยื่นออกมากจากชายลาดเขาหรือจากแนวคลองสายใหญ่ แนวคลองเหล่านี้จะตัดขวางเส้น contours พุ่งเข้าหาแนวแม่น้ำ ลาดของพื้นดินตามแนวคลองค่อนข้างชันและมักจะผ่านบริเวณที่ระดับพื้นดินลดต่ำลงมากอย่างรวดเร็วได้บ่อยๆ จึงต้องสร้างน้ำตกและรางเทไว้มากในคลองซอย คลองแยกซอยและคูน้ำ

กล่าวโดยทั่วไปน้ำตกและรางเทมีประโยชน์อย่างเดียวกันดังกล่าวข้างต้น และบางแบบยังมีลักษณะคล้ายคลึงกันด้วย แต่ก็พอจะแยกออกจากกันได้คือ ถ้าเป็นอาคารที่สร้างขึ้นเพื่อลดระดับน้ำและระดับท้องคลองลงไม่มากตามแนวดิ่งหรือตามลาดค่อนข้างชันในช่วงสั้น ๆ จะเรียกว่า "น้ำตก" แต่ถ้าเป็นอาคารที่สร้างขึ้นเพื่อลดระดับน้ำและระดับท้องคลองลงมากตามลาดที่ไม่ค่อยชันแต่ก็พอจะทำให้เกิดกระแสน้ำแรงจัดในช่วงยาวได้จะเรียกว่า "รางเท"

5.4.1 ชนิดต่างๆและการเลือกใช้อาคารน้ำตก

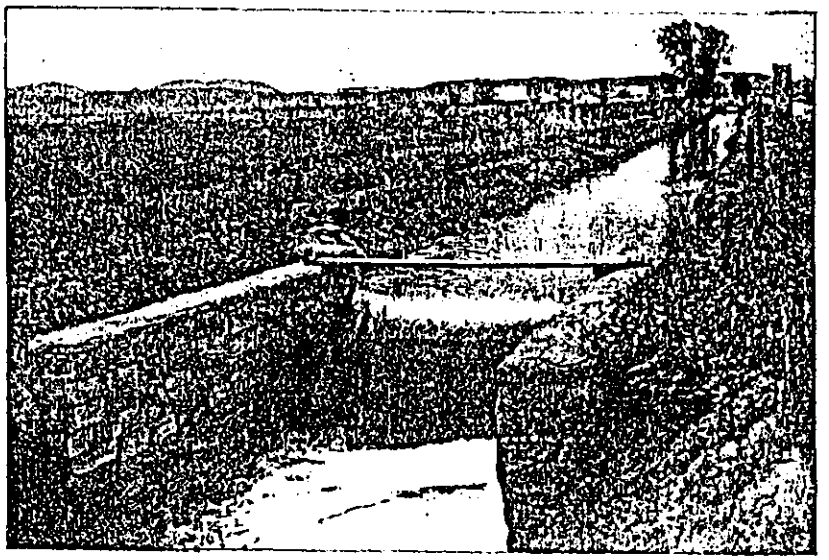
น้ำตกเป็นอาคารส่งน้ำซึ่งเหมาะกับปริมาณน้ำที่ไหลผ่านไม่มากนัก อย่างไรก็ตามเท่าที่เคยสร้างกันนั้นน้ำตกบางแห่งสามารถระบายน้ำผ่านได้มากถึง 30 ม^3./วินาที

เนื่องจากการลดระดับน้ำและระดับท้องคลองลงทำได้ทั้งในแนวดิ่งและตามลาดเอียงช่วงสั้น ๆ น้ำตกมีอยู่ 4 ชนิด คือ *1) น้ำตกดิ่ง 2) น้ำตกเอียง 3)น้ำตกเอียงแบบพื้นร่องมีแท่งคอนกรีต 4. น้ำตกแบบท่อ*

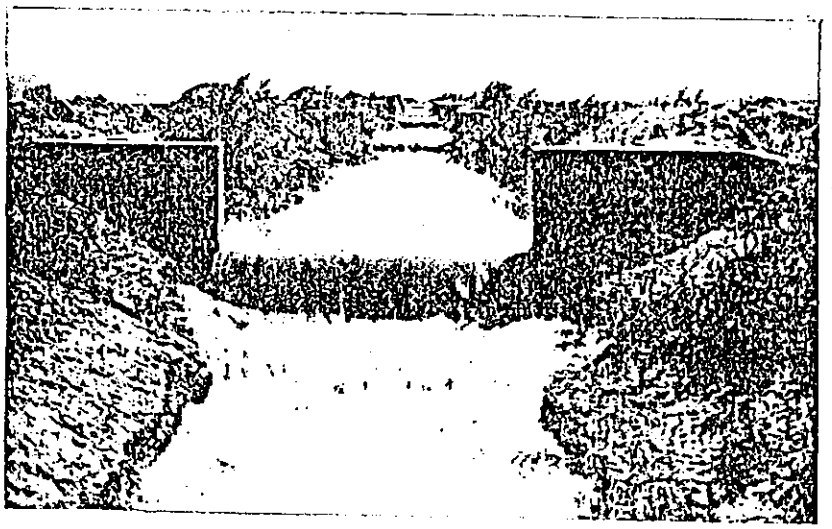
1. น้ำตกดิ่ง (Vertical Drops)

เป็นอาคารน้ำตกเป็นอาคารขนาดเล็ก ใช้เป็นอาคารลดระดับในคลองส่งน้ำไม่เกิน 1.00 เมตร.และมีปริมาณน้ำไม่เกิน 2 ลบ.เมตร/วินาที ในคลองดิน สำหรับในคลองดาดใช้ลดระดับได้ถึง 2.5 เมตร ในสมัยก่อนนิยมสร้างน้ำตกชนิดนี้กันมาก ในระบบการส่งน้ำของโครงการชลประทาน แต่ต่อมาได้มีการพัฒนาการออกแบบและปรับปรุงให้ดีขึ้น ในปัจจุบันจึงมักจะใช้น้ำตกเอียงชนิดรูปสี่เหลี่ยมมุมฉาก (Rectangular inclined drops) หรือชนิดพื้นร่องมีแท่งคอนกรีตปะทะน้ำไหล (Baffled apron drops) แทนน้ำตกดิ่ง อย่างไรก็ตามน้ำตกดิ่งก็ยังใช้งานได้ดีและเหมาะสำหรับคลองซอยและคูน้ำขนาดเล็กน้ำ ทั้งยังสร้างได้ง่ายและราคาถูกอีกด้วย

น้ำตกดิ่งอาจสร้างด้วยไม้ หินก่อ คอนกรีตล้วน หรือคอนกรีตเสริมเหล็ก แต่



รูปที่ 5.11 Vertical Masonsy Drop



รูปที่ 5.12 Vertical Drops in Series

ในสมัยนี้มักจะสร้างด้วยคอนกรีตเสริมเหล็กทั้งนั้น โดยทั่วไปจะสร้างเป็นกำแพงบีบคลองส่งน้ำให้แคบเข้าและเปิดช่องตรงกลางไว้ให้น้ำไหลผ่านตกลงสู่พื้นหรืออ่างรับน้ำท้ายช่องในแนวดิ่ง จากนั้นน้ำจึงจะไหลไปตามคลองเบื้องล่างต่อไป ช่องที่เปิดไว้ให้น้ำไหลผ่านจะมีช่องเดียวหรือหลายช่องก็ได้ แล้วแต่ปริมาณน้ำและการออกแบบ และตามปกติจะเปิดไว้ให้น้ำไหลผ่านตลอดเวลาโดยไม่มีบานประตูหรือสิ่งปิดกั้นน้ำ แต่บางทีก็มีไม้กระดานอัดน้ำ ไม้เหลี่ยมอัดน้ำ หรือบานประตูติดไว้ที่ช่องด้วยเหมือนกัน ถ้าเป็นแบบนี้อาคารน้ำตกจะทำหน้าที่เป็นอาคารอัดน้ำในคลอง (Check Structures) ไปด้วยในตัว เราเรียกน้ำตกแบบนี้ว่า Check Drops

ส่วนประกอบที่สำคัญน้ำตกดิ่ง คือ

1. เข็มพืดหรือกำแพงสกัด (Sheet piles or Cut-off walls) ที่ปลายพื้นด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำ

2.ทางเข้าและทางออก(Inlet and Outlet Sections)สำหรับน้ำตกดิ่งขนาดเล็กจะไม่มีทางเข้าและทางออกก็ได้

3.พื้นด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำ (Upstream and Downstream Floors)

4. กำแพงปีก (Inlet and Outlet wing walls)

5. กำแพงช่องน้ำตก (Breast Wall)

6. กำแพงข้างช่องน้ำตก (Side Walls)

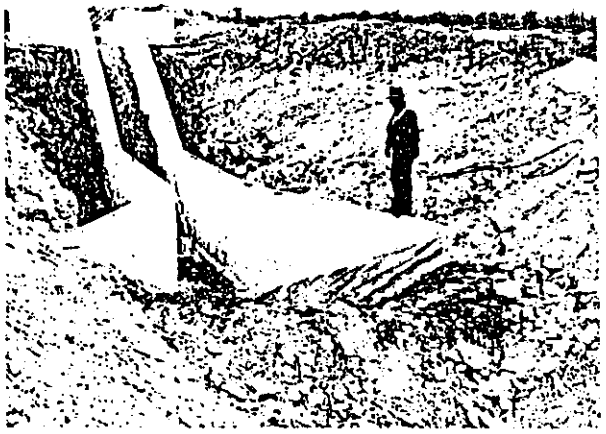
7. อ่างรับน้ำ (Stilling Pool)

ก่อนถึงพื้นด้านเหนือน้ำและต่อจากปลายพื้นด้านท้ายน้ำออกไปจะต้องมีหินทิ้งหินเรียงหรือหิน เรียงยาแนวป้องกันน้ำกัดตลิ่งและท้องคลอง (Protection) ไว้ระยะหนึ่งด้วย FIG. แสดงรูปน้ำตกดิ่งขนาดเล็กสำหรับปริมาณน้ำไหลผ่านไม่เกิน 0.500 ม^3./วินาที

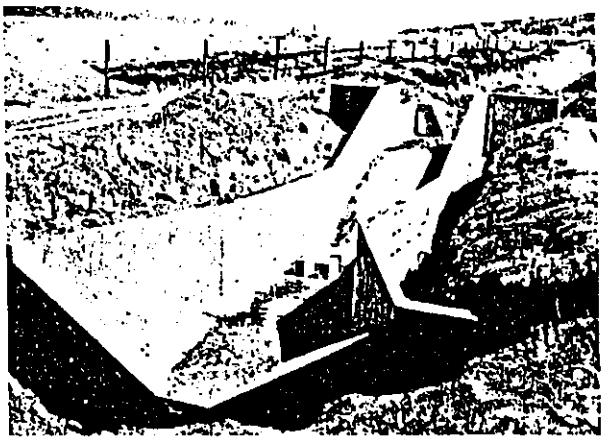
2. น้ำตกเอียง (Rectangular Inclined Drops)

ถ้าเปรียบเทียบกับน้ำตกดิ่งแล้ว น้ำตกเอียงมีข้อได้เปรียบกว่าน้ำตกดิ่งคือต้านทานการเลื่อน (Sliding) และการไหลซึมของน้ำใต้พื้นอาคารได้ดีกว่า โดยเฉพาะถ้าลดระดับน้ำลงมากกว่า 1.00 เมตร โดยปรกติน้ำตกเอียงจะใช้ลดระดับในช่วง 1.00 -5.00 เมตร

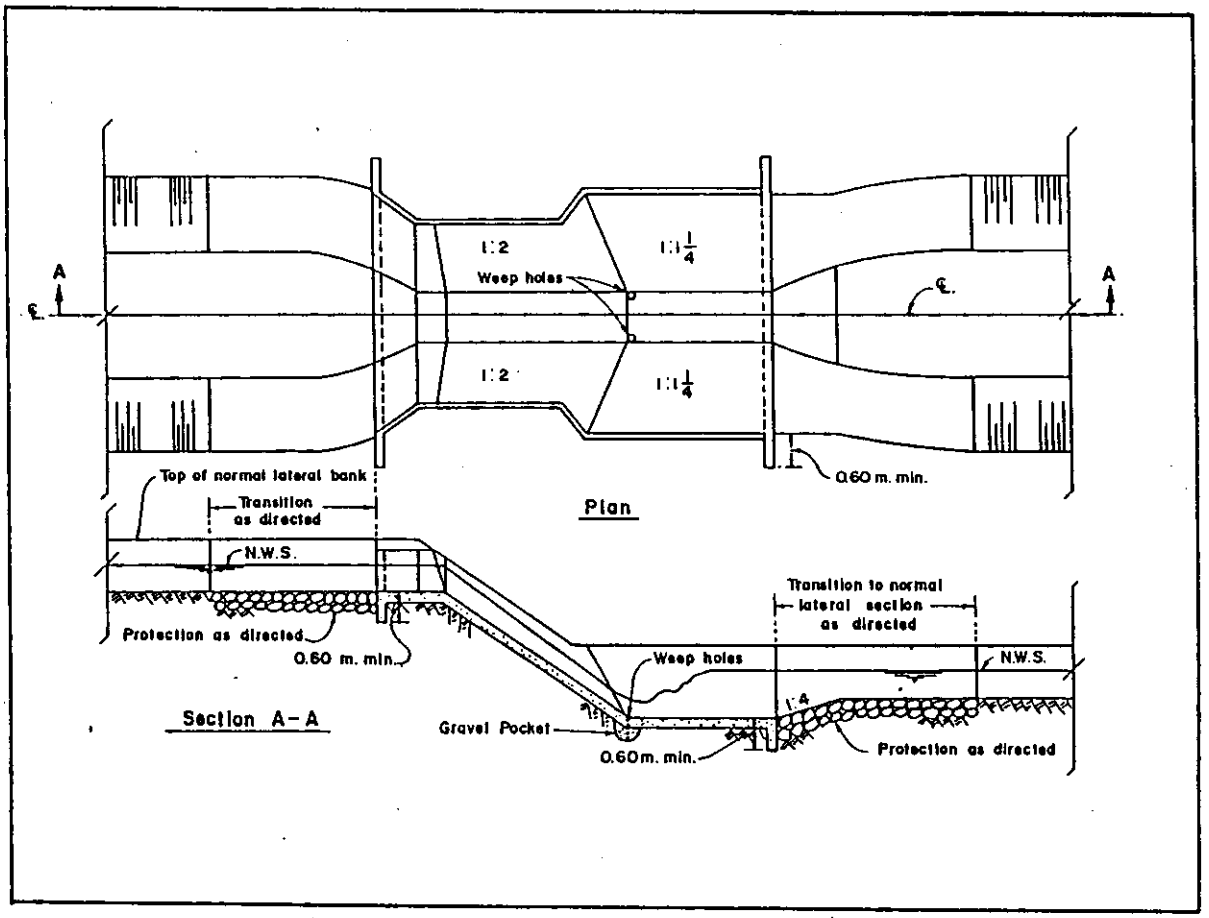
น้ำตกเอียงต่างกับน้ำตกดิ่ง คือน้ำที่ไหลผ่านช่องน้ำตกจะไหลลงสู่อ่างรับน้ำเบื้องล่างไปตามพื้น เอียงสั้น ๆ แต่มีลาดค่อนข้างชันซึ่งตามปกติจะชันกว่า 1:3



รูปที่ 5.13 Rectangular inclined drop under construction. P 222-117-36402



รูปที่ 5.14 Rectangular inclined drop with control notch inlet.



รูปที่ 5.15 Trapezoidal inclined Drop clined

เราอาจสร้างน้ำตกเอียงไว้ในคลองส่งน้ำได้ทุกประเภทไม่ว่าจะเป็นคลองสายใหญ่ คลองสาขา คลองซอยหรือคลองแยกซอย และสามารถลดระดับน้ำลงได้ทุกระดับจนถึงประมาณ 8.00 เมตร หรือมากกว่า มีน้ำตกเอียงแห่งหนึ่งของ All American Canal, U.S.A. ซึ่งลดระดับน้ำลงถึง 15.00 เมตร

น้ำตกเอียงมีชื่อเรียกต่าง ๆ กัน เช่นเรียกตามลักษณะของรูปตัดตามขวางของร่องน้ำตก (Drop Channels) ของมัน ได้แก่น้ำตกเอียงรูปสี่เหลี่ยมมุมฉาก (Rectangular Inclined Drops) และน้ำตกเอียงรูปสี่เหลี่ยมคางหมู (Trapezoidal Inclined Drops) หรือถ้ามีสิ่งก่อสร้างพิเศษสร้างประกอบไว้กับน้ำตกเอียงนั้นด้วยก็จะเรียกชื่อต่างๆ กันได้อีกหลายอย่าง เช่น Notched Drops, Controlled-section Drops, Gate-controlled Drops และ check drops เป็นต้น ซึ่งโดยมากเป็นน้ำตกที่มีบานประตูบังคับน้ำ

ส่วนประกอบที่สำคัญน้ำตกเอียง คือ

1. ทางเข้า (Inlet Transitions)

โดยปกติทางเข้าและทางออกของน้ำตกเอียงจะออกแบบเป็น transitions แบบพิเศษเพื่อต่อเชื่อมตัวคลองกับตัวอาคารน้ำตก Inlet Transition อาจเป็นกำแพงธรรมดาที่ค่อยๆสอบแคบเข้าเพื่อให้ความของน้ำค่อยๆเปลี่ยนไป แต่ outlet transition จากอ่างรับน้ำไปยังคลองด้านท้ายน้ำนั้นควรออกแบบอย่างรอบคอบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับน้ำตกเอียงขนาดใหญ่ซึ่งลดระดับน้ำลงมาก

2. อาคารทางเข้า (Inlet Structure)

ต้องออกแบบให้ควบคุมการไหลของน้ำได้ เช่นทำเป็นช่องบังคับน้ำ (Notch Control) ไว้หลาย ๆ ช่อง ให้น้ำไหลผ่านช่องเหล่านี้ลงไปตามพื้นเอียงของร่องน้ำตก หรืออาจออกแบบให้มีไม้กระดานอัดน้ำ บานประตูหรือฝายไว้ด้วย เพื่อป้องกัน Drawdown Effect ไม่ให้น้ำกัดตลิ่งคลองด้านเหนือน้ำเสียหาย อาคารทางเข้าประกอบด้วยพื้น กำแพงสกัด ตอม่อหรือกำแพงริมตลิ่ง กำแพงปีก และช่องน้ำตก

3. ร่องน้ำตก (Drop Channel)

ร่องน้ำตกเป็นรางน้ำรูปสี่เหลี่ยมมุมฉากหรือสี่เหลี่ยมคางหมู ประกอบด้วยกำแพงข้าง (Side Walls) 2 ข้าง และพื้นเอียงสั้นๆ ซึ่งมีลาดค่อนข้างชัน ลาดของพื้นเอียงที่ใช้ขึ้นระดับที่ลด ดังนี้

ลาด 1:1.5 ใช้สำหรับการลดระดับน้ำลงไม่เกิน 1.50 เมตร

ลาด 1:2.5 ถึง 1:3 ใช้สำหรับน้ำตกเอียงขนาดใหญ่ซึ่งลดระดับน้ำลงมาก

ตามปกติร่องน้ำตกมีแนวตรง ปลายร่องลงสู่อ่างรับน้ำ พื้นเอียง ของร่องเป็นพื้นตรงแต่จะออกแบบปลายพื้นให้เป็นโค้งทางดิ่ง (Vertical Curve) ลงสู่อ่างรับน้ำก็ได้

4. อ่างรับน้ำ (Stilling Pool)

น้ำที่ไหลเทลงมาโดยแรงตามพื้นเอียงร่องน้ำตกจะลงสู่อ่างรับน้ำที่สร้างไว้ตรงปลายพื้นเพื่อ สลายพลังงานของน้ำที่มีมากเกินไปเสียก่อน ความเร็วของน้ำจะลดลงเหลือเท่ากับอัตราเร็วของน้ำในคลองด้านท้ายน้ำตก จะช่วยป้องกันไม่ให้น้ำกัดคลอง และอาคารน้ำตกอย่างรุนแรงได้ เพื่อให้สัมฤทธิ์ผลดังกล่าวนี้ จึงต้องกดระดับก้นอ่างรับน้ำลงต่ำกว่าระดับน้ำในคลองด้านท้ายน้ำตกให้มากพอที่จะทำให้เกิด Hydraulic Jump ขึ้นในอ่างได้

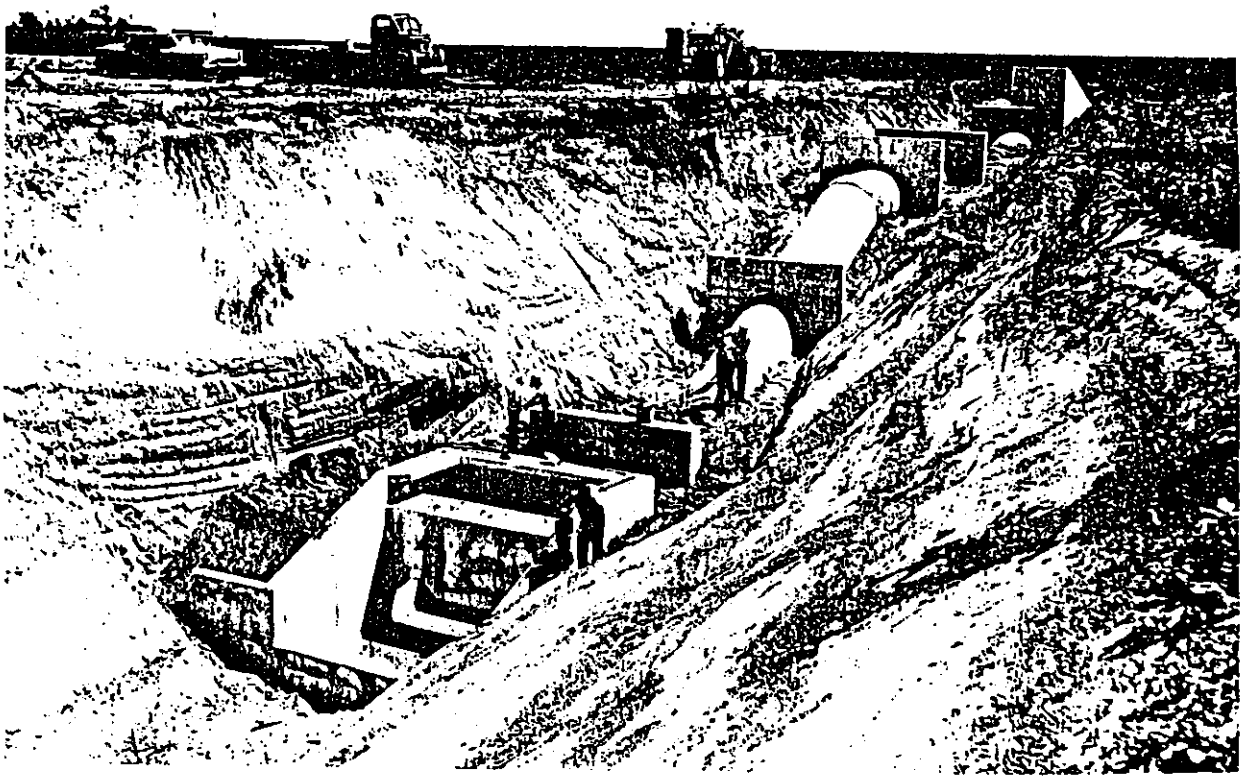
อ่างรับน้ำมีรูปตัดตามขวางเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมูตามลักษณะของร่องน้ำตกของมัน ประกอบด้วยพื้นอ่าง (Floor) และกำแพงข้าง (Side Walls) 2 ข้าง อ่างรับน้ำต้องแข็งแรงพอที่จะต้านทานแรงกระแทกของน้ำได้ ควรมีรูระบายน้ำ Weep Holes) ไว้ในอ่างเพื่อลดแรงดันขึ้นของน้ำใต้พื้น (Uplift Pressure) รูระบายเหล่านี้เจาะทะลุพื้นหรือกำแพงข้างเข้ามาในอ่าง มีทรายและกรวด (Sand and Gravel Pockets) หุ้มปากรูด้านใต้พื้นหรือด้านหลังกำแพงข้างเป็นเครื่องกรอง (Filter) ไว้ด้วย และควรมีการป้องกันน้ำกัดคลองก่อนถึง Inlet Transition และ ต่อจาก Outlet Transition ออกไปด้วยหินทิ้ง หินเรียง หรือหินเรียงยาแนวไว้สักระยะหนึ่งเช่นเดียวกับน้ำตกดิ่ง

น้ำตกเอียงคอนกรีตเสริมเหล็กเป็นอาคารส่งน้ำที่นิยมสร้างกันมากในปัจจุบัน นอกจากน้ำตกเอียงรูปสี่เหลี่ยมมุมฉากและรูปสี่เหลี่ยมคางหมูดังกล่าวแล้ว ยังมีน้ำตกเอียงอีก 2 แบบที่สมควรจะได้นำมากล่าวไว้ด้วยคือ.-

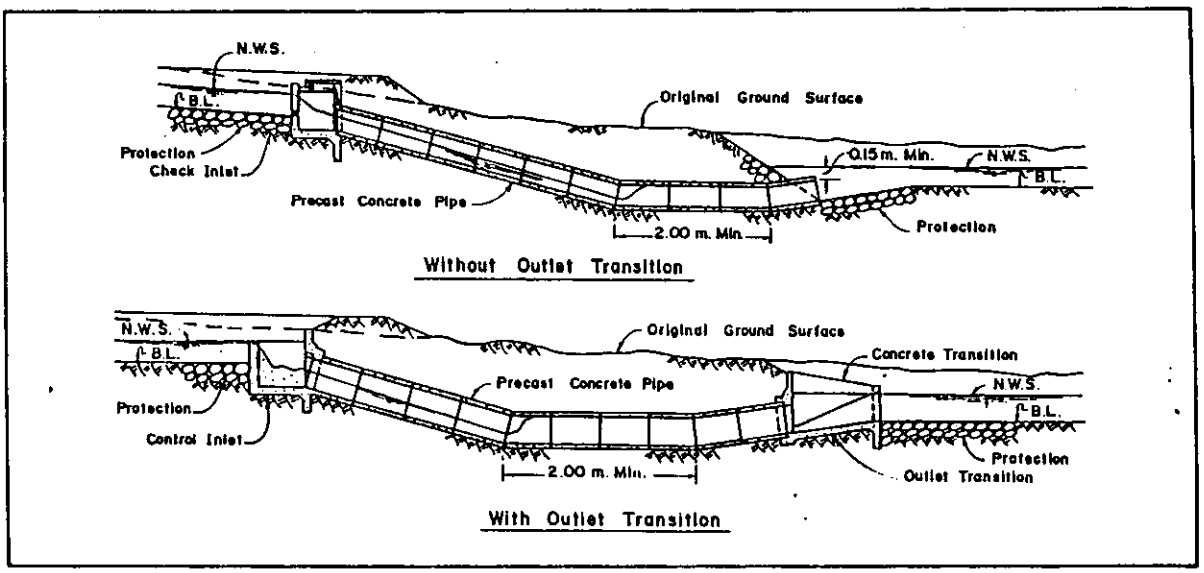
3. น้ำตกเอียงแบบท่อ (Pipe Drops)

ตามธรรมดาร่องน้ำตกทั่วไปเป็นร่องเปิด (Open Channels) แต่ร่องน้ำตกเอียงแบบนี้เป็นท่อคอนกรีตกลมเสริมเหล็กซึ่งฝังอยู่ใต้พื้นดิน ท่อเหล่านี้จะหล่อไว้ก่อนเป็นท่อน ๆ (Precast Concrete Pipe) เมื่อจะสร้างน้ำตกจึงนำไปวางต่อกันดัง FIG.

น้ำตกเอียงแบบท่อมี Inlet Transition แต่อาจจะมีหรือไม่มี Outlet Transition ก็ได้ ที่ Inlet Transition จะมีช่องบังคับน้ำหรือไม้เหลี่ยมอัดน้ำอย่างใดอย่างหนึ่งติดไว้เพื่อป้องกัน Drawdown ที่ปากทางเข้าไม่ให้น้ำกัดตลิ่งคลอง โดยทั่วไปนิยมใช้น้ำตกเอียงแบบท่อสำหรับลดระดับน้ำลงไม่เกิน 15 ฟุต (ประมาณ 5.00 เมตร.)



รูปที่ 5.16 Concrete Pipe Drops in Series



รูปที่ 5.17 Pipe Drop

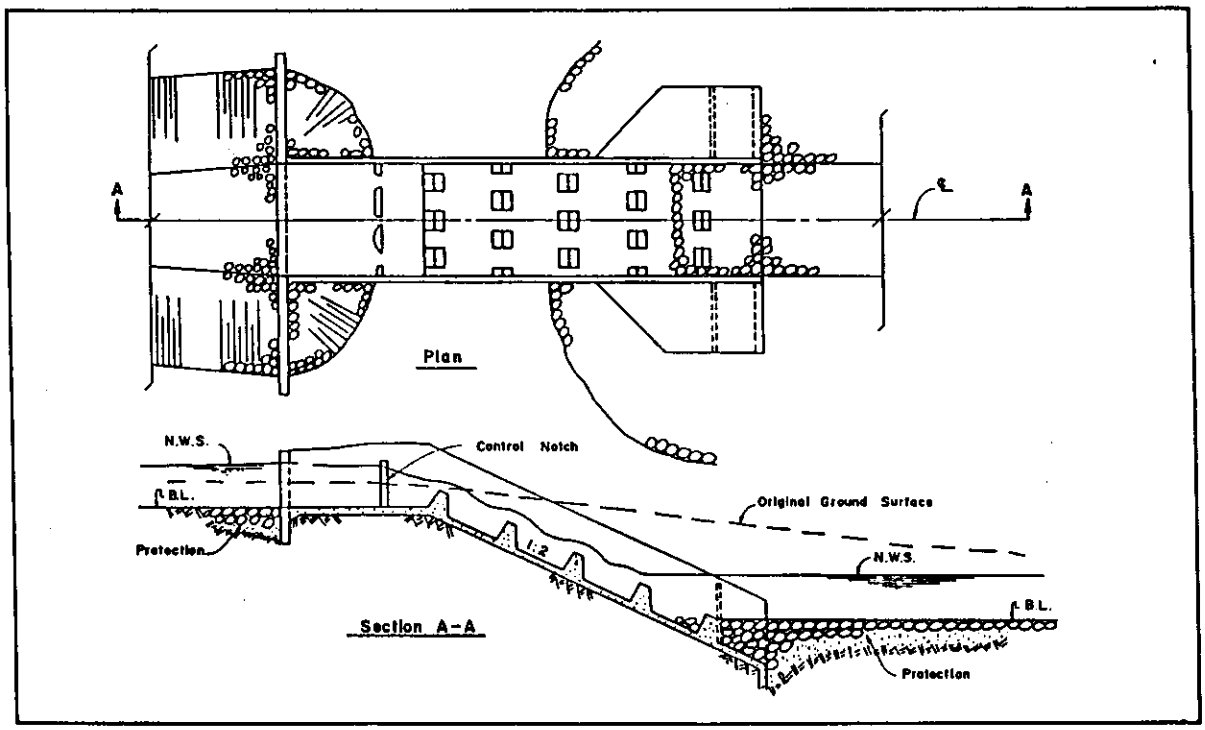
ในช่วงแรกของน้ำตก ตัวท่อจะวางไปตามลาดค่อนข้างชัน เพราะฉะนั้น อัตราเร็วของน้ำที่ไหลผ่านท่อในช่วงแรกนี้จึงเป็น supercritical velocity จึงต้องมีวิธีสลายพลังงานของน้ำที่มากเกินไปและลดอัตราเร็วของน้ำลงให้พอเหมาะเพื่อป้องกันตัวอาคารน้ำตกให้ต้านทานการกัดทำลายอย่างรุนแรงของน้ำที่ปากทางออกได้ อัตราเร็วสูงสุดของน้ำเมื่อไหลเต็มท่อควรเท่ากับ 3.5 ฟุต/วินาที (1 เมตร./วินาที)สำหรับน้ำตกเอียงแบบท่อที่ไม่มี Outlet Transition และ 5.0 ฟุต/วินาที (1.0 เมตร/วินาที) ถ้ามี Outlet Transition

การสลายพลังงานของน้ำที่มากเกินไปจาก Supercritical Velocity นี้จะทำได้สำเร็จโดยการกดตัวท่อในช่วงใกล้จะถึงปลายท่อให้ต่ำกว่าระดับน้ำในคลองด้านท้ายน้ำตกให้เกิด Hydraulic Jump ขึ้นภายในท่อก่อนที่น้ำจะไหลออกสู่คลองหรือ Outlet Transition

4. น้ำตกเอียงแบบพื้นร่องมีแท่งคอนกรีต(Baffled Apron Drops)

เป็นน้ำตกเอียงรูปสี่เหลี่ยมมุมฉากซึ่งบนพื้นร่องน้ำตกมีแท่งคอนกรีตสร้างไว้หลายแถว น้ำที่ไหลเทลงมาโดยแรงจะปะทะและล้นข้ามแท่งคอนกรีตเหล่านี้ตกลงสู่คลองเบื้องล่างเป็นขั้น ๆ ทำให้พลังงานของน้ำสลายไปหมด จึงไม่จำเป็นต้องมีอ่างรับน้ำไว้ที่ปลายพื้น (ดู FIG.) แต่จะต้องมีหินทิ้ง หินเรียง หรือหินเรียงยาแนวป้องกันคลื่นกัดตลิ่งคลองด้านท้ายน้ำตกไว้ด้วย การออกแบบน้ำตกชนิดนี้ได้พัฒนาจากการศึกษาแบบจำลองในห้องทดลองและปริมาณน้ำที่ยอมให้ไหลผ่านต่อ 1 ฟุตความกว้างของร่องน้ำตกซึ่งได้กำหนดไว้ดังต่อไปนี้

ปริมาณน้ำในคลอง ($ft.^3/sec$)	ปริมาณน้ำที่ยอมให้ไหลผ่านต่อ 1 ฟุตความกว้างของร่องน้ำตก (ft^3/sec)
00 ถึง 39	5 ถึง 10
40 ถึง 99	10 ถึง 15
100 ถึง 189	15 ถึง 20
190 ถึง 459	20 ถึง 30
460 ถึง 999	30 ถึง 50
ตั้งแต่ 1,000 ขึ้นไป	50 ถึง 60



รูปที่ 5.18 Baffled Apron Drop

เนื่องจากการจำกัดปริมาณน้ำที่ไหลผ่านต่อ 1 ฟุต ความกว้างของร่องน้ำตกนี้เอง จึงทำให้น้ำตกเอียงแบบนี้มีราคาสูง โดยเฉพาะเมื่อมีปริมาณน้ำไหลผ่านมากและต้องลดระดับน้ำลงมาก

แท่งคอนกรีตปะทะน้ำ (Baffled Blocks) ควรสูง 0.90 ของ Critical Depth และกว้างประมาณ 1 ถึง 1.5 เท่าของความสูง ระยะห่าง (Clear Distance) ระหว่างแท่งคอนกรีตควรเท่ากับความสูงของแท่งคอนกรีตและระยะห่างระหว่างแถวของแท่งคอนกรีตบนพื้นเอียงควรเป็น 2 เท่าของความสูงของแท่งคอนกรีตแต่ไม่มากกว่า 6 ฟุต อัตราเร็วของน้ำที่หัวร่องน้ำตกไม่ควรมากกว่า Critical Velocity เพราะฉะนั้นจึงต้องมีการบังคับน้ำที่หัวร่อง แต่เนื่องจากความกว้างของร่องน้ำตกแบบนี้พิจารณาจากปริมาณน้ำที่ยอมให้ไหลผ่านต่อ 1 ฟุตความกว้างของมันดังได้กล่าวมาแล้วการบังคับน้ำจึงทำได้โดยการยกระดับปากทางเข้าร่องน้ำตกให้สูงขึ้นหรือทำเป็นช่องบังคับน้ำ(Notch Controls) ไว้หลาย ๆ ช่องดังแสดงไว้ในรูปที่

5.4.2 หลักการออกแบบน้ำตกดิ่ง

การไหลและ Dynamic Forces ของน้ำมีความสำคัญมากในการออกแบบน้ำตก จึงต้องพิจารณาเรื่องต่อไปนี้เป็นพิเศษคือ

1.) อัตราเร็วของน้ำด้านเหนือช่องน้ำตก

2.) แรงกระแทกของน้ำที่ตกลงสู่ท้ายน้ำตก

3.) การกัดทำลายพื้นด้านท้ายน้ำตกหรืออ่างรับน้ำจากกระแสน้ำวนและกระแสน้ำปั่นป่วนตรงทางออกสู่คลอง

1. อัตราเร็วของน้ำด้านเหนือช่องน้ำตก

ในขณะที่น้ำไหลผ่านช่องน้ำตกลงสู่อ่างรับน้ำเบื้องล่างนั้นระดับน้ำที่ช่องน้ำตกจะลดต่ำลง การลดของระดับน้ำจะเริ่มเกิดขึ้นที่จุดหนึ่งซึ่งอยู่ห่างจากพื้นช่องหรือธรณีช่องน้ำตกไปทางด้านเหนือน้ำเล็กน้อย ความลึกของน้ำบนพื้นหรือธรณีจึงน้อยกว่าความลึกของน้ำในคลอง ทำให้ลาดผิวน้ำในช่วงนั้นชันกว่าลาดผิวน้ำในคลองและเกิดกระแสน้ำแรงจัด น้ำจะกัดท้องคลองในช่วงนั้นแล้วลุกลามเข้ามาทำให้ breast wall ชำรุดเสียหายได้ จึงต้องมีพื้นด้านเหนือน้ำ (upstream floor) ยื่นออกไปจาก breast wall เพื่อป้องกันน้ำกัดท้องคลอง ให้สังเกตุว่าพื้นช่องหรือธรณีช่องน้ำตกตรงที่น้ำไหลข้ามตกลงสู่เบื้องล่างนั้นเปรียบได้กับสันฝาย (weir crest) ถ้าความกว้างของพื้นช่องหรืออีกนัยหนึ่งความยาวของธรณีช่องน้ำตกยิ่งยาว ความลึกของน้ำบนธรณีจะยิ่งน้อย ลาดผิวน้ำจะยิ่งชัน

และกระแสน้ำจะยิ่งแรงมาก ทำให้เกิดน้ำกัดท้องคลองและลาดตลิ่งคลองด้านเหนือน้ำตกอย่างรุนแรง

อย่างไรก็ตาม การกัดของน้ำอย่างรุนแรงนี้จะไม่เกิดขึ้นถ้าเราออกแบบช่องน้ำตกให้ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านช่องเท่ากับปริมาณน้ำในคลองโดยมีระดับน้ำที่ช่องน้ำตกและระดับน้ำในคลองเป็นระดับเดียวกันซึ่งจะทำได้โดยวิธีหนึ่งดังต่อไปนี้

- โดยการใช้พื้นช่องน้ำตกแคบกว่าความกว้างของก้นคลอง

โดยการยกระดับพื้นหรือธรณีช่องน้ำตกให้สูงขึ้นจากระดับก้นคลอง

- โดยการใช้ notched breast wall

1.1 <u>โดยการใช้ช่องน้ำตกแคบกว่าความกว้างของก้นคลอง</u>

โดยวิธีนี้ช่องน้ำตกจะเป็นสี่เหลี่ยมมุมฉากซึ่งมีความกว้างของพื้นช่องแคบกว่าความกว้างของก้นคลอง โดยสร้างเป็นกำแพงบีบเข้ามาจาก 2 ฝั่งคลอง ความลึกของน้ำ (d) บนพื้นหรือธรณีของชองหรือบน breast wall นั้นเท่ากับความลึกของน้ำในคลอง ความกว้างของพื้นช่องจะคำนวณได้จากสูตรของฝายโดยถือว่าน้ำที่ไหลผ่านช่องน้ำตกมีลักษณะเช่นเดียวกับน้ำที่ไหลล้นข้ามฝายซึ่งมีพื้นช่องน้ำตกหรือสันฝายอยู่ที่ระดับเดียวกับก้นคลอง สมการที่ใช้คำนวณคือ

$$Q = Cb'd^{3/2} \qquad \text{..... (1)}$$

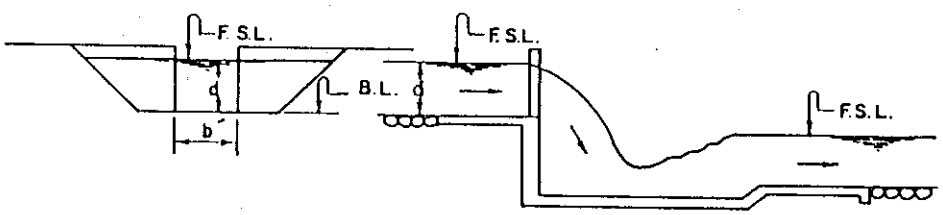
เมื่อ.

Q = ปริมาณน้ำทั้งหมดที่ไหลผ่านช่องน้ำตก

C = สัมประสิทธิ์

b' = ความกว้างของพื้นช่องน้ำตก

d = ความลึกของน้ำบนพื้นช่องน้ำตก



Bellassits ได้ให้ค่าของ C = 4.75 ดังนั้นสมการ (1) จึงกลายเป็น

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

แต่ Bazin กำหนดให้ค่าของ C = 5.03 ดังนั้นโดย Bazin's formula

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

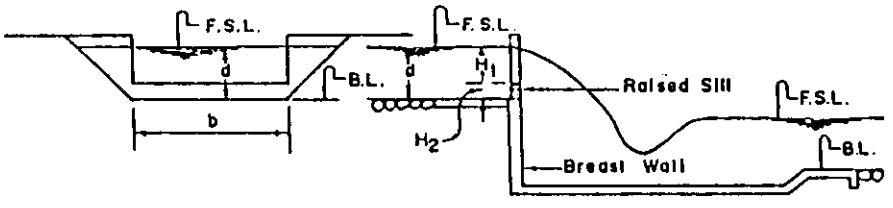
สมการ (2) และ (3) นี้ไม่มี velocity of approach เข้ามาเกี่ยวข้องด้วย และใช้สำหรับน้ำตกซึ่งระดับน้ำด้านท้ายต่ำกว่าระดับพื้นช่องน้ำตก

ตามปกติช่องน้ำแบบนี้ไม่มีไม้เหลี่ยมอัดน้ำหรือบานประตูบังคับน้ำ น้ำในคลองจะไหลผ่านช่องน้ำตกตลอดเวลา ในปัจจุบันไม่ค่อยนิยมสร้างกันนัก เพราะมีข้อเสียอยู่บ้างคือเมื่อความกว้างของพื้นช่องน้ำตก (b') คำนวณได้จากปริมาณน้ำเต็มที่ในคลอง (Q) ซึ่งไหลผ่านช่องน้ำตกโดยมีความลึกของน้ำมากที่สุด (d) ในคลองเท่ากับความลึกของน้ำบนพื้นช่องน้ำตก ผลของการคำนวณย่อมจะถูกต้องเฉพาะค่าของปริมาณน้ำและความลึกของน้ำที่นำมาใช้คำนวณเท่านั้น ถ้าหากปริมาณน้ำที่ไหลมาน้อยกว่าที่ใช้คำนวณความลึกของน้ำในคลองและบนพื้นช่องน้ำตกจะลดลงแต่ลดไม่เท่ากัน โดยความลึกของน้ำบนพื้นช่องน้ำตกจะน้อยกว่าความลึกของน้ำในคลอง ทำให้ลาดผิวน้ำชันขึ้น น้ำจะไหลแรงและอาจกัดตลิ่งหรือกระทบกระเทือนถึงการส่งน้ำด้านเหนือช่องน้ำตกได้

1.2 <u>โดยการยกระดับพื้นหรือธรณีช่องน้ำตกให้สูงขึ้นจากระดับก้นคลอง</u>

โดยวิธีนี้ช่องน้ำตกจะเป็นรูปสี่เหลี่ยมมุมฉากเช่นเดียวกับข้อ 1.1 แต่ความกว้างของพื้นช่องน้ำตกเท่ากับ ความกว้างของก้นคลองและยกพื้นช่องน้ำตกหรือสัน breast wall ให้สูงขึ้นซึ่งจะทำให้ระดับน้ำบนพื้นช่องน้ำตกเท่ากับระดับน้ำในคลอง

ความลึกของน้ำ H_1 บนสันพื้นช่องที่ยกขึ้นจะคำนวณได้จากความกว้างของพื้นช่องและปริมาณน้ำที่ไหลผ่านโดยใช้สูตรของฝายธรรมดานี่เองคือ.-



$$Q = (Q/Cb')^{2/3} \quad \text{.....(1)}$$

สำหรับกรณีที่มี velocity of approach และ

$$H_1 = (Q/Cb' - h_v^{2/3})^{2/3} \quad \text{..... (2)}$$

สำหรับกรณีที่มี velocity of approach

เมื่อ. h_v = velocity head

$= v^2/2g$

v = velocity of approach

ถ้า d = ความลึกของน้ำในคลอง

H_2 = ความสูงที่ยกระดับพื้นช่องขึ้นจากระดับก้นคลอง

เพราะฉะนั้น $H_2 = d - H_1$

สำหรับค่าของสัมประสิทธิ์ (C) ควรเลือกใช้ดังต่อไปนี้

กรณีที่ 1

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

กรณีที่ 2

C= 3.50 สำหรับกำแพงอย่างเดียวกับธรณี 1 แต่ลบเหลี่ยมสันกำแพงด้านเหนือน้ำให้กลมมนมีรัศมี 4 นิ้ว

กรณี 3

C= 2.90 สำหรับกำแพงอย่างเดียวกับกรณี 1 แต่ความลึกของน้ำบนสันกำแพงเท่ากับความหนาของกำแพงโดยประมาณ

กรณี 4

C= 3.10 สำหรับกำแพงอย่างเดียวกับกรณี 2 แต่ความลึกของน้ำบนสันกำแพงเท่ากับความหนาของกำแพงโดยประมาณ

สมการเหล่านี้ใช้สำหรับน้ำตกซึ่งระดับน้ำด้านท้ายน้ำอยู่ต่ำกว่าระดับพื้นช่องน้ำตก (Complete Fall)

ข้อเสียของช่องน้ำตกแบบยกระดับพื้นช่องให้สูงกว่าระดับก้นคลอง คือ

1. ความสูงของพื้นช่องน้ำตกที่ยกขึ้นซึ่งคำนวณได้จะถูกต้องเฉพาะในกรณีปริมาณน้ำที่ไหลผ่านเท่ากับปริมาณน้ำที่ใช้คำนวณเท่านั้น เว้นแต่ส่วนที่ยกขึ้นนี้สามารถ

ปรับความสูงได้ เช่นทำด้วยไม้เหลี่ยมหรือไม้กระดานอัดน้ำซึ่งสามารถใส่เพิ่มลงไปและถอดออกได้

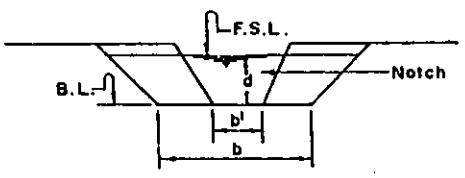
2. ถ้าส่วนที่ยกขึ้นนี้เป็นกำแพงติดตาย จะกีดขวางการไหลของน้ำ ตะกอนทรายที่ไหลมากับน้ำจะตกจมติดอยู่ข้างหน้าทำให้คลองตื้น แต่ก็แก้ไขได้โดยการทำให้ส่วนที่ยกขึ้นนั้นปรับความสูงได้

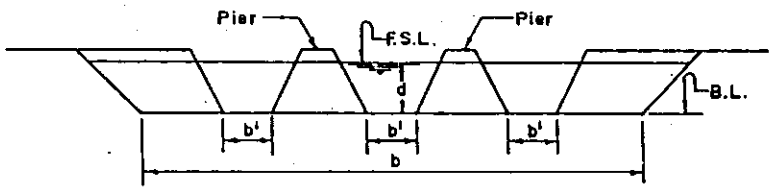
3. การยกพื้นหรือธรณีช่องน้ำตกขึ้นก็เท่ากับต้องสร้าง Breast Wall ให้สูงกว่าปกติจึงสิ้นเปลืองค่าก่อสร้างมากขึ้น

อย่างไรก็ตาม ช่องน้ำตกแบบนี้ก็ยังดีกว่าแบบที่กล่าวมาแล้วในข้อ 1.1 เพราะเนื้อที่ซึ่งน้ำไหลผ่านตรงช่องน้ำตำไม่เปลี่ยนแปลงหรือหดน้อยมาก การกัดเซาะของน้ำที่ Outlet จึงมีไม่มากและถ้าจะให้น้ำตกทำหน้าที่เป็นประตูระบายทดน้ำกลางคลอง (Check Gate) ด้วยแล้ว ก็สามารถจะใช้น้ำตกแบบนี้ได้โดยมีไม้กระดานอัดน้ำหรือบานประตูสำหรับปรับความสูงของพื้นช่องที่ยกขึ้นเพื่อบังคับระดับน้ำ

1.3 โดยการใช้ Notched Breast Wall

โดยวิธีนี้จะต้องต่อ breast wall ให้สูงพ้นระดับก้นคลองขึ้นไปข้างบนแล้วทำให้เป็นช่องน้ำตก (notch) ช่องเดียวหรือหลายช่องเพื่อให้น้ำไหลผ่านและตกลงสู่เบื้องล่าง ช่องน้ำตกแบบนี้จะมีรูปเป็นสี่เหลี่ยมคางหมูซึ่งมีความกว้างของพื้นช่องน้อยกว่าความกว้างของก้นคลอง มีระดับพื้นช่องเป็นระดับเดียวกับระดับพื้นคลอง และมีลาดข้างช่องชันกว่าลาดตลิ่งคลองความประสงค์ของการทำช่องน้ำตกแบบนี้ก็คือให้ช่องน้ำตกสามารถบังคับปริมาณน้ำที่ไหลผ่านได้ทุกปริมาณโดยมีความลึกของน้ำบนพื้นช่องเท่ากับความลึกของน้ำในคลอง (d) อยู่เสมอ





สิ่งที่จะต้องพิจารณาในการออกแบบช่องน้ำตกแบบนี้คือ

1. ความกว้างทั้งหมดของ Breast wall

2. จำนวนช่องที่น้ำไหลผ่าน

3. ขนาดของช่อง

ความจริงน้ำตกที่มีช่องเดียวก็สามารถให้ปริมาณน้ำทั้งหมดไหลผ่านไปได้เช่นเดียวกับที่มีหลายช่อง แต่การใช้หลายช่องอาจมีข้อดีอยู่บ้างคือเมื่อปริมาณน้ำทั้งหมดถูกแบ่งออกเป็นปริมาณน้อย ๆ หลายปริมาณตามจำนวนช่อง ความรุนแรงของการไหลของน้ำด้านท้ายน้ำตกจะลดน้อยลง อย่างไรก็ตามการใช้ช่องแคบ ๆ หลายช่องก็มีข้อเสียเหมือนกันคือวัตถุที่ไหลลอยมากับน้ำอาจมาติดที่ช่องได้ จะทำให้น้ำไหลผ่านช่องไม่สะดวก หลักเกณฑ์ที่ควรใช้ในการเลือกส่วนสัดของช่องพอสรุปได้ดังนี้

1. ความกว้างทั้งหมดของ Breast wall ซึ่งอยู่ระหว่างกำแพงข้าง (Side wall) ควรเท่ากับความ กว้างของก้นคลอง

2. ความกว้างของปากช่องไม่ควรมากกว่าความลึกของน้ำในคลอง (d) ควรจะอยู่ระหว่าง 3/4 ถึง 1 เท่าของความลึกของน้ำในคลอง

3. ความยาวของหลังตอม่อ (Piers) ซึ่งแบ่งช่องระบายน้ำออกเป็นช่อง ๆ นั้นไม่ควรน้อยกว่าครึ่งหนึ่งของความลึกของน้ำในคลอง

4. จำนวนช่องทั้งหมดโดยประมาณที่ได้จากหลักเกณฑ์ดังกล่าวข้างต้นจะเท่ากับความกว้างของก้นคลองหารด้วย 1.1/4 ถึง 1.1/2 เท่าของความลึกของน้ำในคลอง

ขนาดของช่องน้ำตกที่ต้องทราบมีดังต่อไปนี้คือ

1. ความลึกของช่องหรือความลึกของน้ำบนพื้นช่องซึ่งตามปกติจะเท่ากับความลึกของน้ำใช้การเต็มที่ในคลอง

2. ความกว้างของพื้นช่อง

3. ลาดข้างช่อง

ความกว้างของพื้นช่องและลาดข้างช่องจะคำนวณได้จากสมการของการไหลของน้ำผ่านช่องคือ.

$$Q = \frac{2}{3}C\sqrt{2g}\left[b'n^{\frac{3}{2}} + \frac{4}{5}nd^{\frac{5}{2}}\right] \quad \text{..... (1)}$$

ในเมื่อ .-

Q = ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านช่อง

C = สัมประสิทธิ์ของการระบายน้ำ (Coefficient of Discharge)

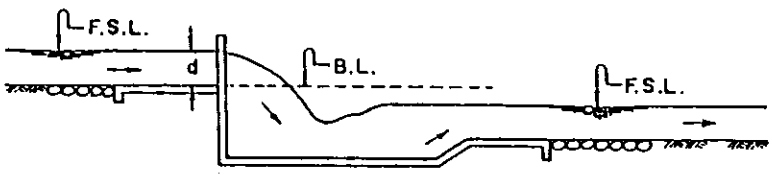
g = Gravity Acceleration

b' = ความกว้างของพื้นช่อง

d = ความลึกของน้ำบนพื้นช่องซึ่งเท่ากับความลึกของน้ำในคลอง เมื่อมีปริมาณน้ำ Q ไหลผ่าน

1 : n = ลาดข้างช่อง

สมการ (1) ใช้ในกรณีระดับน้ำในคลองด้านท้ายช่องน้ำตกอยู่ต่ำกว่าระดับพื้นช่อง (Complete Fall) และไม่คิด Velocity of Approach (ความคลาดเคลื่อนในการคำนวณจะมีน้อยกว่าถ้า Velocity of Approach ไม่มากกว่า 3 ฟุต/วินาที)

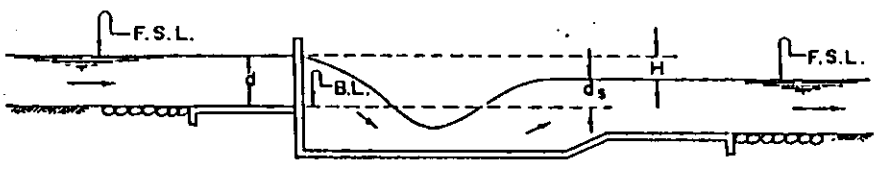


Complete Fall

แต่ถ้าคิด velocity of approach สมการจะเปลี่ยนไปดังนี้

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

ในกรณีระดับน้ำในคลองด้านท้ายช่องน้ำตกอยู่สูงกว่าระดับพื้นช่อง (partial fall) และไม่คิด velocity of approach



Partial Fall

สมการที่ใช้คำนวณจะเป็น

$$Q = \frac{2}{3}C\sqrt{2gH}[b'(d+\frac{d_S}{2})+2n(\frac{3}{4}d_S^2+d_SH+\frac{2}{5}H^2)]. \quad .....(3)$$

เมื่อ

H = ความแตกต่างของระดับน้ำด้านเหนือและด้านท้ายช่องน้ำตก

d_s = ความแตกต่างของระดับน้ำด้านท้ายช่องน้ำตกกับระดับพื้นช่อง

สำหรับ coefficient of discharge (C) สำหรับช่องน้ำตกซึ่งมีน้ำไหลผ่านทั้งกรณี Complete Fall และ Partial Fall มีค่าดังต่อไปนี้

1. คิด Velocity of Approach Burton กำหนดให้

C = 0.662 ถึง 0.676

2. ไม่คิด Velocity of Approach Reid กำหนดให้

C = 0.70 สำหรับช่องน้ำตกขนาดเล็กซึ่งสร้างในคลองซอย และ

C = 0.78 สำหรับช่องน้ำตกขนาดใหญ่ซึ่งสร้างในคลองสายใหญ่

ความจริงแม้จะไม่คิด velocity of approach ผลของการคำนวณก็แน่นอนพอสมควรแล้ว

ส่วนสัดหรือขนาดของช่องน้ำตก จะคำนวณได้จากสมการ (1) หรือ (3) แล้วแต่กรณี ในสมการทั้ง 2 นี้จะเห็นว่า Q,C,g,d,H และ d_s นั้นเราทราบค่าทั้งหมดแล้ว คงมีแต่ b และ n เท่านั้นที่เป็น Unknown Quantities ซึ่งเราจะต้องคำนวณค่าออกมา และจำเป็นต้องทำเป็นสมการ 2 ชั้นโดยกำหนดความลึกของน้ำในคลองขึ้น 2 ค่า คือ d_1 และ d_2 เนื่องจากเราทราบความกว้างของก้นคลอง ลาดตลิ่งคลอง และลาดตามยาวของคลองอยู่ก่อนแล้ว เราจึงหาปริมาณน้ำ Q_1 และ Q_2 สำหรับความลึกของน้ำ Q_1 และ Q_2 ได้โดย Kutter's Formula, Chezy's formula หรือ Manning's formula เมื่อนำค่า Q_1 และ d_1 กับ d_2 ไปใส่ในสมการ (1) (กรณี Complete Fall) ก็จะได้ 2 สมการ เป็นสมการ 2 ชั้นคือ

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

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

จากสมการทั้ง 2 นี้เราจะถอดสมการหาค่าของ b และ d ออกมาได้

โดยทำนองเดียวกัน ถ้านำค่า Q_1 และ d_1 กับ Q_2 และ d_2 ไปใส่ในสมการ (3) (กรณี partial fall) ก็จะได้สมการ 2 ชั้นคือ

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

และ

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

และจะถอดสมการหาค่าของ b′ และ d ออกมาได้

d_1 และ d_2 นี้จะกำหนดให้มีค่าเท่าไรก็ได้ เช่นให้

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

$d_2 = d_1/2$

แต่ถ้าจะให้ช่องน้ำตกควบคุมปริมาณน้ำต่าง ๆ ที่ไหลผ่านได้ดีขึ้น ควรใช้ค่าของ d_2 ดังต่อไปนี้

ถ้า d = ความลึกของน้ำใช้การเต็มที่ในคลอง

d_o = ความลึกของน้ำใช้การต่ำสุดในคลอง

$d_1 = d - 1/4\ (d - d_o)$

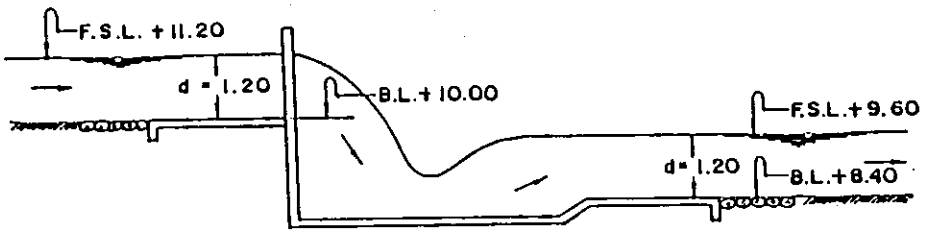
$d_2 = d_o + 1/4(d - d_o)$

ค่าของ d_o นี้ไม่ควรมากกว่า d/2 และไม่น้อยกว่า d/3

ช่องน้ำตก Notched Breast Wall รูปสี่เหลี่ยมคางหมูซึ่งมีระดับพื้นช่องเป็นระดับเดียวกับระดับก้นคลองดังกล่าวนี้ดีกว่าช่องน้ำตกรูปสี่เหลี่ยมมุมฉากในข้อ 1.1 และ 1.2 มาก จึงนิยมสร้างกันทั่วไป และช่องน้ำตกแบบนี้น้ำจะไหลผ่านตลอดเวลาโดยไม่ต้องมีไม้กระดานอัดน้ำหรือสิ่งปิดกั้นแต่อย่างใด

ต่อไปนี้เป็นตัวอย่างของการคำนวณขนาดช่องน้ำตกดิ่ง (Vertical Drop) แบบ Notched Breast Wall

<u>ตัวอย่าง</u> 1



กำหนดให้:

1. สำหรับคลองด้านเหนือและท้ายช่องน้ำตก

ความกว้างของก้นคลอง (b) = 2.00 เมตร

ความลึกของน้ำใช้การเต็มที่ในคลอง (d) = 1.20 เมตร

ลาดตลิ่งคลอง (Ss) = 1:1.5

ลาดตามยาวของคลองหรือลาดผิวน้ำ = 1:4,000

Roughness Coefficient (n) = 0.0225

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

2. สำหรับช่องน้ำตก

Coefficient of discharge (C) = 0.70

(g) = 9.81 เมตร/วินาที/วินาที

ใช้ช่องน้ำตกแบบ notched breast wall ช่องเดียวและใช้

$d_1 = d$

$d_2 = d_1/2$

ให้คำนวณหาขนาดช่องน้ำตก

วิธีทำ: หาปริมาณน้ำ Q_2 ที่ไหลผ่านช่องน้ำตก

b = 2.00 เมตร

d = 1.20 เมตร

d_1 = d = 1.20 เมตร

d_2 = $d_1/2$ = 1.20/2 = 0.60 เมตร

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

P = $2.00 + 0.60\sqrt{13}$ = 4.163 เมตร

R = 1.740/4.163 = 0.418 เมตร

$(R)^{2/3} = (0.148)^{2/3}$ = 0.559

จาก Manning's formula

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

$$= (1/0.0225) \times (0.559) \times (0.0158)$$

$$= 0.392 \text{ เมตร/วินาที}$$

$Q = 0.392 \times 1.740 = 0.682$ เมตร^3/วินาที

จาก data ที่กำหนดให้จะเห็นว่าเมื่อ $Q_1 = Q = 2.540$ เมตร^3/วินาที ไหลผ่านช่องน้ำตก ระดับน้ำในคลองด้านท้ายน้ำตกจะอยู่ที่ระดับ + 9.60 ซึ่งต่ำกว่าระดับพื้นช่อง + 10.00 เพราะฉะนั้นการไหลผ่านช่องน้ำตกของ Q_1 เป็น complete fall และเนื่องจากคลองด้านเหนือและท้ายช่องน้ำตกโตเท่ากัน เมื่อ $Q_2 = 0.682$ เมตร^3/วินาที ซึ่งมี $d_2 = 0.60$ เมตร ไหลผ่านช่องน้ำตกไปแล้วจะทำให้มีน้ำในคลองด้านท้ายน้ำตกลึก 0.60 เมตรเช่นเดียวกัน และระดับน้ำจะอยู่ที่ 8.40 + 0.60 หรือ 9.00 ซึ่งต่ำกว่าระดับพื้นช่อง + 10.00 เพราะฉะนั้นการไหลผ่านช่องน้ำตกของ Q^2 จึงเป็น Complete Fall ด้วย

จากสมการของ Complete Fall

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

$$2.540 = \frac{2}{3} \times 0.70\sqrt{2 \times 9.81}\left[b'd_1^{3/2} + \frac{4}{5}nd_1^{5/2}\right]$$

$$= 2.0673\left[b'd_1^{3/2} + \frac{4}{5}nd_1^{5/2}\right]$$

$$1.299 = \left[b'd_1^{3/2} + 0.8nd_1^{5/2}\right]. \quad \text{.....(1)}$$

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

$$0.649 = 2.0673\left[b'd_2^{3/2} + 0.8nd_2^{5/2}\right]$$

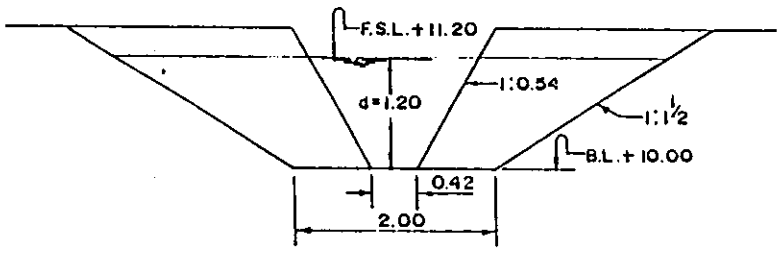
$$0.314 = \left[b'd_2^{3/2} + 0.8nd_2^{5/2}\right] . \quad \text{.....(2)}$$

โดยการแทนค่า d_1 และ d_2 ในสมการ (1) และ (2) จะแก้สมการหาค่าของ b' และ n ได้คือ $b' = 0.42$ เมตร และ $n = 0.54$

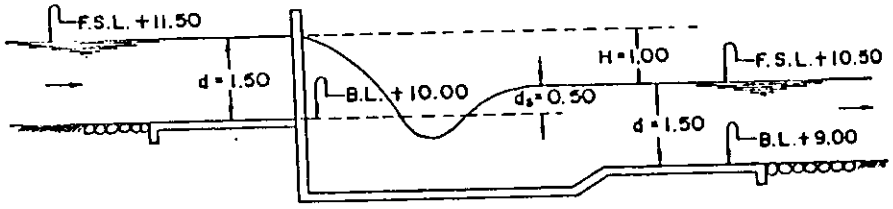
เพราะฉะนั้นช่องน้ำตกจะมีส่วนสัดหรือขนาดดังนี้

ความกว้างของพื้นช่อง (b) = 0.42 เมตร

ลาดข้างช่อง (1:n) = 1:0.54



ตัวอย่างที่ 2



กำหนดให้.-

1. สำหรับคลองด้านเหนือและท้ายช่องน้ำตก

ความกว้างของก้นคลอง (b) = 3.00 เมตร

ความลึกของน้ำใช้การเต็มที่ในคลอง (d) = 1.50 เมตร

ลาดตลิ่งคลอง (Ss) = 1:1.5

ลาดตามยาวของคลองหรือลาดผิวน้ำ = 1:4,000

ปริมาณน้ำใช้การเต็มที่ในคลอง (Q) = 5.418 เมตร^3/วินาที

2. สำหรับช่องน้ำตก

coefficient of discharge (C) = 0.70

g = 9.81เมตร/วินาที/วินาที

ใช้ช่องอ่างน้ำตกแบบ notched breast wall ช่องเดียวและใช้

$$d_1 = d$$

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

ให้หาขนาดช่องน้ำตก

วิธีทำ :

หาปริมาณน้ำ Q_2 ที่ไหลผ่านช่องน้ำตก

b = 3.00 เมตร

d = 1.50 เมตร

$d_1 = \frac{d_1}{2} = \frac{1.50}{2} = 0.75$ เมตร

A = [3.00+1.50(0.75)]0.75 = 3.094 เมตร^2

P = $3.00+0.75\sqrt{13}$ = 5.704 เมตร

$$R = 3.094/5.704 = 0.542 \text{ เมตร}$$

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

จาก Manning's formula

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

$$= 44.44 \cdot 0.666 \cdot 0.0158$$

$$= 0.468 \text{ เมตร/วินาที}$$

$$Q = 1.448 \text{ เมตร}^3\text{/วินาที} \leftarrow$$

จาก data ที่กำหนดให้จะเห็นว่าเมื่อ $Q_1 = Q = 5.418$ เมตร^3/วินาที ไหลผ่านช่องน้ำตก ระดับน้ำในคลองด้านท้ายน้ำตกจะอยู่ที่ + 10.50 ซึ่งสูงกว่าระดับพื้นช่อง + 10.00 เพราะฉะนั้นการไหลผ่านช่องน้ำตกของ Q_1 เป็น partial fall และเนื่องจากคลองด้านเหนือและท้ายช่องน้ำตกโตเท่ากันเมื่อ $Q^2 = 1.448$ เมตร^3/วินาที ซึ่งมี $d_2 = 0.75$ เมตร ไหลผ่านช่องน้ำตกไปแล้วจะทำให้มีน้ำในคลองด้านท้ายน้ำตกลึก 0.75 เมตร เช่นเดียวกัน และระดับน้ำจะอยู่ที่ 9.00 + 0.75 หรือ + 9.75 ซึ่งต่ำกว่าระดับพื้นช่อง + 10.00 เพราะฉะนั้นการไหลผ่านช่องน้ำตกของ Q_2 จึงเป็น complete fall

จากสมการของ Partial Fall

$$Q_1 = \frac{2}{3} C\sqrt{2gH}\left[b'\left(d + \frac{d_S}{2}\right) + 2nd\left(\frac{3}{4}d_S^2 + d_S H + \frac{2}{5}H^2\right)\right]$$

$$5.418 = \frac{2}{3} 0.70\sqrt{2 \times 9.81 \times 1.00}\left[b'\left(1.50 + \frac{0.50}{2}\right)\right.$$

$$\left. + 2n\left(\frac{3}{4}(0.50)^2 + (1.00) + \frac{2}{5}(1.00)^2\right)\right]$$

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

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

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

จากสมการของ complete fall

$$Q_2 = \frac{2}{3} C\sqrt{2gH}\left[b'd^{3/2} + \frac{4}{5}nd^{5/2}\right]$$

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

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

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

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

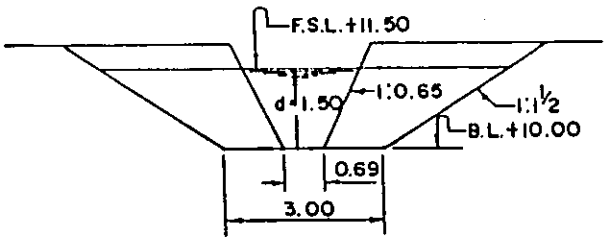
b = 0.69 เมตร

n = 0.65

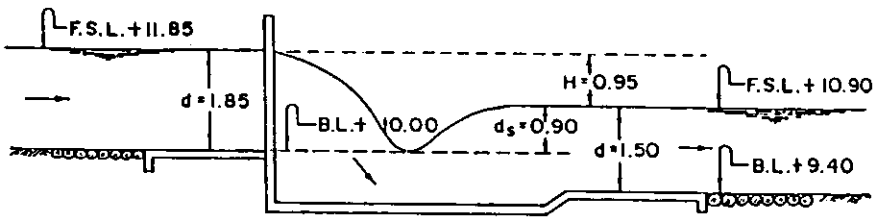
เพราะฉะนั้น ช่องน้ำตกจะมีส่วนสัดหรือขนาดดังนี้

ความกว้างของพื้นช่อง (b) = 0.69 เมตร

ลาดข้างช่อง (1:n) = 1:0.65



ตัวอย่างที่ 3



กำหนดให้

1. ขนาดคลองด้านเหนือน้ำตก

ความกว้างของก้นคลอง (b) = 1.10 เมตร

ความลึกของน้ำใช้การเต็มที่ในคลอง (d) = 1.85 เมตร

ลาดตลิ่งคลอง (Ss) = 1:1.5

ลาดตามยาวของคลองหรือลาดผิวน้ำ (S) = 1:3,000

ปริมาณน้ำใช้การเต็มที่ในคลอง (Q) = 5.490 เมตร^3/วินาที

2. ขนาดคลองด้านท้ายน้ำตก

ความกว้างของก้นคลอง (b) = 2.60 เมตร

ความลึกของน้ำใช้การเต็มที่ในคลอง (d) = 1.50 เมตร

ลาดตลิ่งคลอง (Ss) = 1:1.5

ลาดตามยาวของคลองหรือลาดผิวน้ำ (S) = 1:3,000

Roughness coefficient (n) = 0.0225

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

3. สำหรับช่องน้ำตก

Coefficient of discharge (C) = 0.70

g = 9.81 ม^3./วินาที/วินาที

ใช้ช่องน้ำตกแบบ Notched Breast Wall ช่องเดียวและใช้

$d_1 = d = 1.85$ เมตร

$d_2 = d_1/2$

ให้หาขนาดช่องน้ำตก

วิธีทำ : หาปริมาณน้ำ Q_2 ที่ไหลผ่านช่องน้ำตก

b = 1.10 เมตร

d = 1.85 เมตร

$d_1 = d = 1.85$ เมตร

$d_2 = d_1/2 = 1.85/2 = 0.925$ เมตร

$A = \{1.10 + 1.50(0.925)\}0.925 = 2.300$ เมตร^2

$P = 1.10+0.925\sqrt{13} = 4.430$ เมตร

$R = \frac{2.300}{4.430} = 0.518$ เมตร

จาก Manning's formula

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

$= 0.507$ เมตร/วินาที

$Q = 2.30 \times 0.507$

$= 1.166$ เมตร^3/วินาที

เนื่องจากรูปตัดของคลองด้านท้ายน้ำตกมีขนาดไม่เท่ากับรูปตัดของคลองด้านเหนือน้ำตกจึงต้องคำนวณดูว่าถ้า Q_2 ไหลผ่านจะทำให้มีน้ำในคลองด้านท้ายน้ำตกลึกเท่าใด

หา d_2 ของคลองด้านท้ายน้ำตกเมื่อ Q_2 = 1.166 เมตร^3/วินาที ไหลผ่าน

สมมติ d_2 = 0.68 เมตร

b = 2.60 เมตร

$A = \{2.60 + 1.50(0.68)\}0.68$ = 2.480 เมตร^2

$P = 2.60 + 0.68\sqrt{13}$ = 5.050 เมตร

$R = 2.480/5.050$ = 0.492 เมตร

$R^{2/3}$ = 0.623

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

= 0.488 เมตร/วินาที

$Q = 2.480 \times 0.488$ = 1.212 เมตร^3/วินาที<==ใช้ได้

ดังนั้นเมื่อ Q_2 ไหลผ่านคลองด้านท้ายน้ำตกจะมีระดับน้ำในคลอง 9.40 + 0.68 หรือ + 10.080 ซึ่งสูงกว่าระดับพื้นช่อง + 10.00 เพราะฉะนั้นการไหลผ่านช่องน้ำตกของ Q_2 จึงเป็น partial fall

จาก dataที่กำหนดให้จะเห็นว่าเมื่อ $Q_1 = Q$ = 5.490 เมตร^3/วินาที ไหลผ่านช่องน้ำตกระดับน้ำในคลองด้านท้ายน้ำตกอยู่ที่ + 10.90 ซึ่งสูงกว่าระดับพื้นช่อง + 10.00 เพราะฉะนั้นการไหลผ่านช่องน้ำตกของ Q_1 จึงเป็น partial fall เช่นเดียวกัน

จากสมการของ partial fall

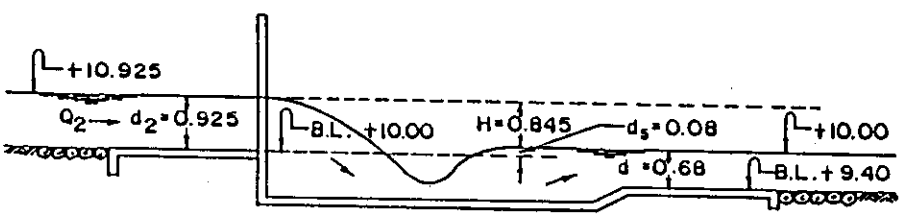
$$Q_1 = \frac{2}{3}C\sqrt{2gH}\left[b'\left(d+\frac{d_S}{2}+2n\left(\frac{3}{4}d_S^2+d_SH+\frac{2}{5}H^2\right)\right)\right]$$

$$5.490 = \frac{2}{3}\times 0.70\times\sqrt{2\times 980\times 0.95}\left[b'\left(1.85+\frac{0.90}{2}\right)+2n\left(\frac{3}{4}(0.90)^2+(0.90\times 0.90)+\frac{2}{5}(0.95)^2\right)\right]$$

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

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

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



และ $Q_2 = \frac{2}{3}C\sqrt{2gH}[b'(d+\frac{d_S}{2})+2n(\frac{3}{4}d_S^2+d_SH+\frac{2}{5}H^2)]$

$$11.666 = \frac{2}{3}0.70\sqrt{2x9.81x0.845}[b'(0.925+\frac{0.08}{2})+ 2n(\frac{3}{4}(0.08)^2+(0.08x0.845)+\frac{2}{5}(0.845)^2)]$$

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

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

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

จากสมการ (1) และ (2) จะหาค่า b' และ n ได้ดังนี้คือ

$b' = 0.15$ และ $n = 0.65$

เพราะฉะนั้นช่องน้ำจะมีส่วนสัดหรือขนาดดังนี้

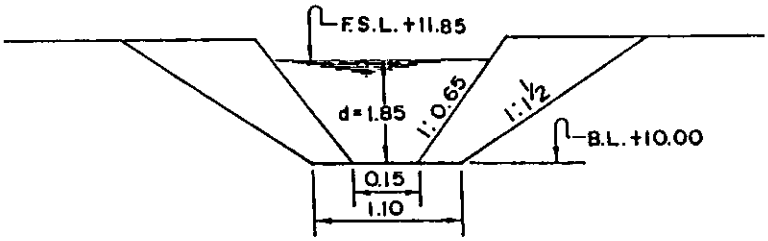
ความกว้างช่องพื้น (b') = 0.15 เมตร

ลาดข้างช่อง (1:n) = 1:0.65

เพราะฉะนั้นช่องน้ำจะมีส่วนสัดหรือขนาดดังนี้

ความกว้างของพื้นช่อง (b') = 0.15 เมตร

ลาดด้านข้าง (1:n) = 1:0.65

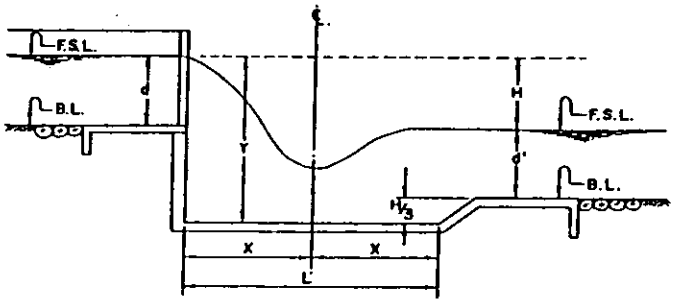


2. แรงกระแทกของน้ำที่ตกลงสู่ท้ายน้ำตก

นอกจากการพิจารณาขนาดและลักษณะของช่องน้ำตกดังได้กล่าวมาแล้ว ยังมีสิ่งที่จะต้องพิจารณาอีกบางอย่างคือพื้นด้านท้ายช่องซึ่งจะต้องรับน้ำที่ตกลงมานั้น ถ้าเป็นพื้นแข็ง เช่นหิน ก็ไม่จำเป็นต้องมีการป้องกันพื้นจากแรงกระแทกของน้ำ แต่ถ้าพื้นด้านท้ายช่องเป็นดิน จะต้องสร้างเป็นอ่าง (Stilling pool) หรือตะแกรงเหล็ก สำหรับรับน้ำที่ตกลงมาสู่พื้นเพื่อลดแรงกระแทกของน้ำไม่ให้กัดทำลายพื้นท้องน้ำได้โดยตรง

การพิจารณาขนาดของอ่างรับน้ำตก (Stilling pool) นั้นคือว่าน้ำจะไหลพุ่งตกลงมาก แต่ระยะที่น้ำจะพุ่งเลยกำแพงช่องน้ำตก(breast wall) ออกมาไกลเท่าก็ย่อมขึ้น

อยู่กับความแรงและความสูงของน้ำที่ตกลงมายิ่งน้ำพุ่งแรงมากและตกสูงมากความยาวของอ่างรับน้ำก็จะยิ่งยาวมากขึ้น



ถ้า X = ระยะที่น้ำพุ่งเลยกำแพงช่องน้ำตกออกมาถึงกลางอ่าง

C = coefficient ซึ่งมีค่า 4.75

d = ความลึกของน้ำช่องน้ำตก

Y = ความสูงของน้ำที่ตกลงมาถึงพื้นล่าง

$X = 0.385\ C\sqrt{d.Y}$

ความหมายของอ่างเก็บรับน้ำตก (L) = 2x

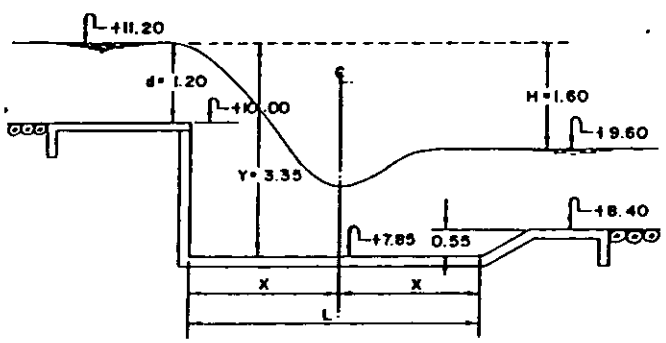
$= 0.770\ C\sqrt{d.Y}$

ความลึกของอ่างเก็บน้ำก็เช่นเดียวกัน คือ ถ้าน้ำยิ่งตกสูงมากอ่างก็จะต้องลึกมากขึ้น ประมาณได้ว่าความลึกและอ่างควรจะเป็น 1/3 ของความแตกต่างระหว่างระดับน้ำด้านเหนือและท้ายน้ำตก

ดังนั้น ถ้า H' = ความแตกต่างของระดับน้ำ

ความลึกของอ่าง = H/3

ตัวอย่าง การหาความยาวและความลึกของอ่างน้ำตก



วิธีทำ

ความลึกของอ่างรับน้ำตก

ความลึกของอ่าง = H/3

= 160/3

= 0.53 ใช้ 0.55 เมตร

ความยาวของอ่างรับน้ำตก

ระดับพื้นอ่าง = 8.40 - 0.55 - 7.85

Y = 11.20 - 7.85 = 3.35 เมตร

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

= $0.770 \times 4.75\ \sqrt{1.20 \times 3.35}$

= 7.334 ใช้ 7.50 เมตร

3. การกัดทำลายพื้นด้านท้ายน้ำตกหรืออ่างรับน้ำ

นอกจากการป้องกันแรงกระแทกของน้ำที่พื้นแล้ว ยังต้องมีการป้องกันน้ำกัดพื้นและลาดตลิ่งคลองด้วย ดังนั้นพื้นท้ายน้ำจากรอบอ่างรับน้ำจะต้องมีหินเรียงยาแนวออกไปเป็นระยะพอสมควร และจะต้องมีหินเรียงยาแนวบนลาดตลิ่งคลองเช่นเดียวกันด้วย ตรงปลายเขตหินเรียงยาแนวควรทำเป็นกำแพงฝังลึกลงไปในดินประมาณ 1/2 ของความลึกของน้ำในคลองเพื่อป้องกันไม่ให้น้ำวกกลับมากัดทะลวงดินใต้พื้นได้

5.5 รางเท (Chutes)

รางเทเป็นอาคารในระบบส่งน้ำ ทำหน้าที่ลำเลียงน้ำจากที่สูงลงสู่ที่ต่ำเหมือน Drops แต่แตกต่างกันที่ Chutes ออกแบบไว้สำหรับลดระดับน้ำและระดับท้องคลองลดตามลาดค่อนข้างยาวและและมีลาดที่แบนกว่า ผ่านไปในพื้นที่ที่มี slope ไม่แน่นอน

รางนี้อาจจะเป็นท่อหรือรางน้ำเปิดก็ได้ ตามปกติจะวางไว้เป็นลาดเดียวกันตลอดราง แต่บางทีก็จะแบ่งความยาวของรางออกเป็นตอน ๆ โดยมีลาดต่าง ๆ กัน หรือตอนปลายรางจะทำเป็นโค้งทางดิ่งก็ได้

รางเทเหมาะสำหรับให้น้ำปริมาณมากไหลผ่าน จึงมักจะสร้างไว้ในคลองสายใหญ่และคลองซอยสายใหญ่ ลักษณะของพื้นดินตามแนวคลองบางสาย อาจจะบังคับ

น้ำตกหลายแห่งจะดีกว่า เพราะถึงแม้ว่าการสร้างรางเทยาวรางเดียว จะเสียค่าก่อสร้างมากกว่าการสร้างน้ำตกติด ๆ กันหลายแห่งก็ตาม แต่ค่าบำรุงรักษาประจำปีจะน้อยกว่ากันมาก

ในสมัยก่อนรางเทสร้างด้วย wood-stave หรือเป็นรางโลหะ แต่ในปัจจุบันเป็นรางคอนกรีตเสริมเหล็กแทบทั้งหมด

โดยทั่วไปรางเทเป็นรางเปิดธรรมดา ซึ่งสร้างไว้ในดินและมีลาดตามยาวไปตามลาดพื้นดินแต่ตอนปลายรางใกล้จะถึงอ่างรับน้ำ มักจะใช้ลาดตามยาวของราง 1:2 ตัวราง (chute channel) มีรูปตัดต่าง ๆ กันแล้วแต่จะออกแบบ เช่นเป็นรูปสี่เหลี่ยมมุมฉาก สี่เหลี่ยมคางหมูหรือครึ่งวงกลม แต่รางรูปสี่เหลี่ยมมุมฉากนั้นมักจะใช้กันมากกว่ารูปอื่น

ส่วนประกอบของรางเท(Chute Components)

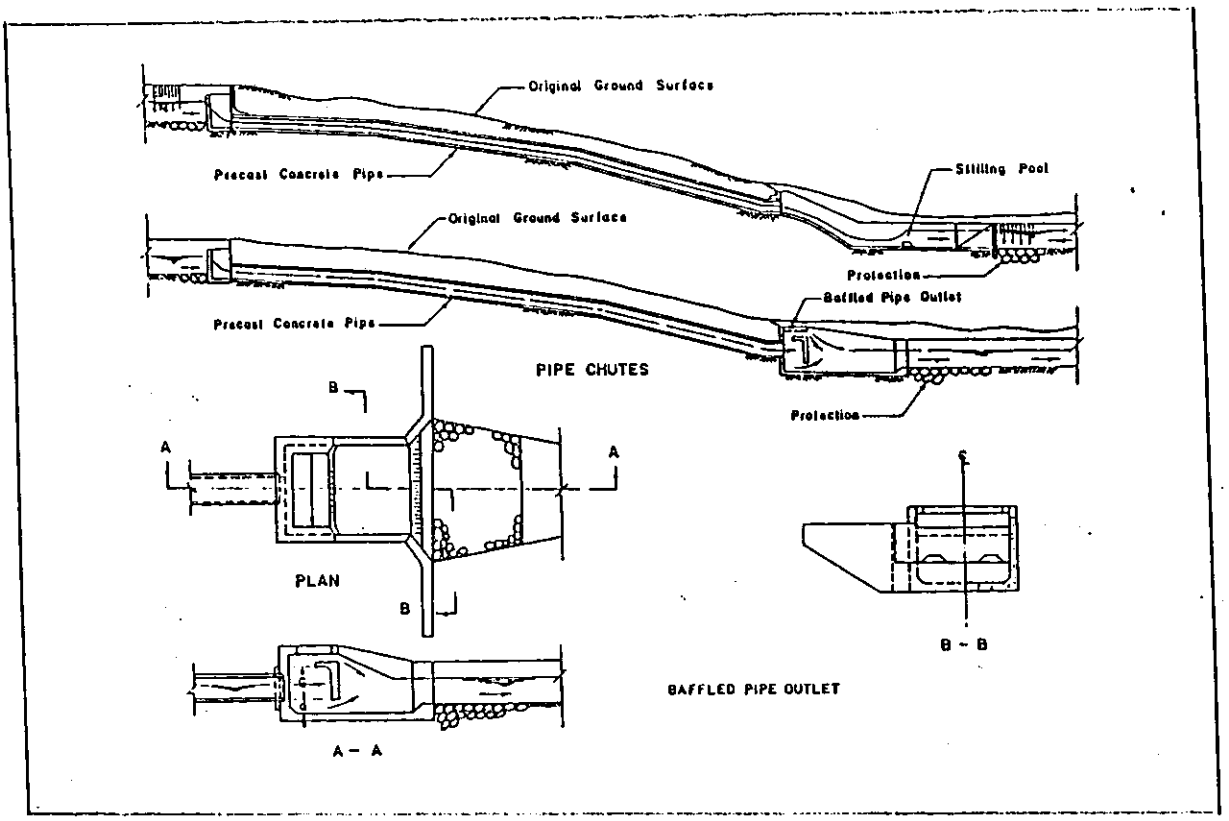
1. อาคารที่ปากทางเข้า (inlet structures)
2. ตัวราง (chute channel)
3. อ่างรับน้ำ (Stilling pool)

รางเทคอนกรีตเสริมเหล็กซึ่งมีรูปตัดเป็นสี่เหลี่ยมมุมฉากใช้กันทั่วไปสำหรับปริมาณน้ำมาก ๆ ซึ่งไม่เหมาะที่จะสร้างเป็นน้ำตกหรือรางเทชนิดอื่น

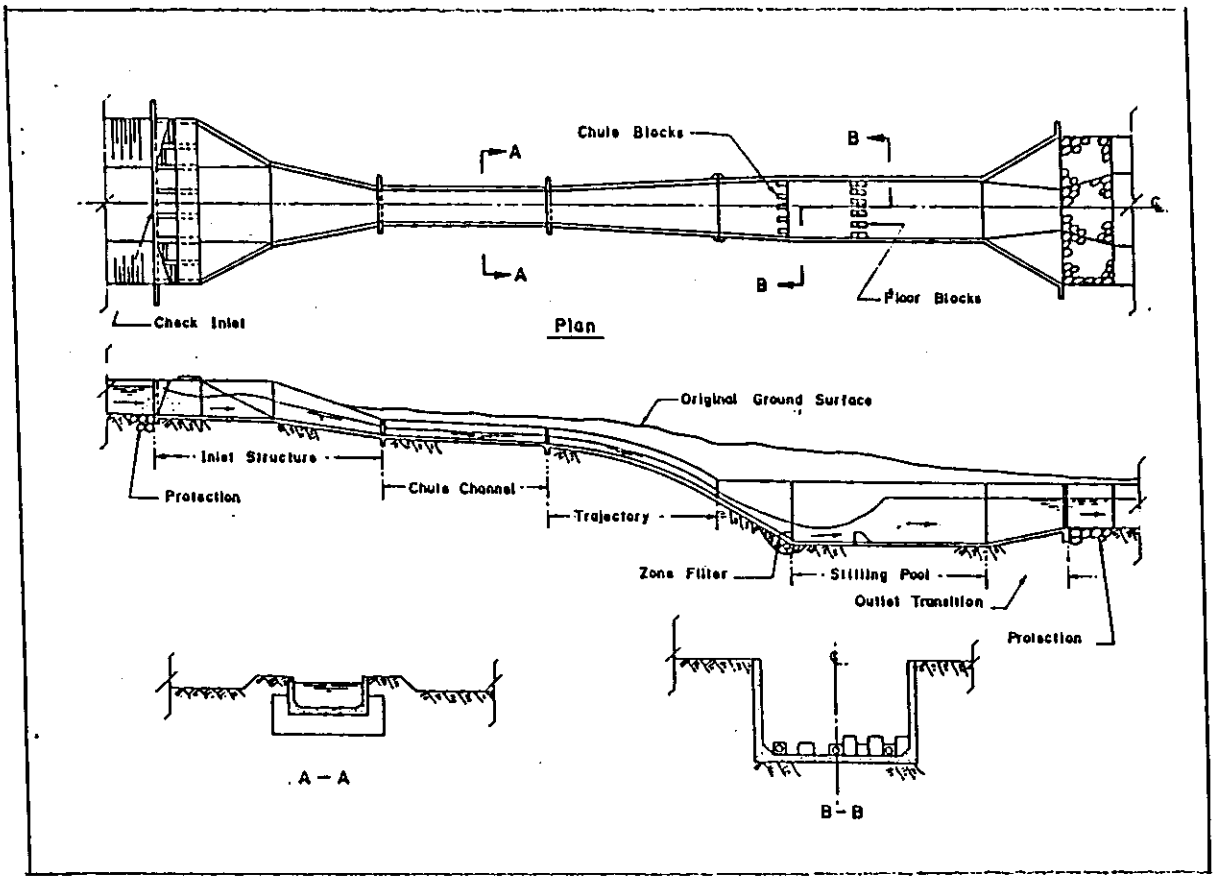
ปากทางเข้าราง (Inlet)นี้ควรออกแบบให้บังคับน้ำได้เพื่อป้องกัน Drawdown ที่จะเกิดขึ้นเพื่อไม่ให้ตลิ่งคลองถูกน้ำกัดอาคารที่ปากทางเข้า(Inlet Structure) อาจจะทำเป็นช่องน้ำตกหลายช่องหรือสร้างเป็นอาคารอัดน้ำประกอบไว้กับ inlet เพื่อใช้ประโยชน์ทั้งอัดน้ำและบังคับน้ำทั้ง 2 อย่าง

ตัวราง (Chute Channel) มีรูปตัดไม่เท่ากันตลอดราง ตามปกติตอนกลางรางจะแคบที่สุด แต่ตอนหัวรางและปลายรางจะกว้าง ในระหว่างช่วงรางที่แคบที่สุดกับขอบอ่างรับน้ำ จะต้องมี Spread Transition และ Trajectory

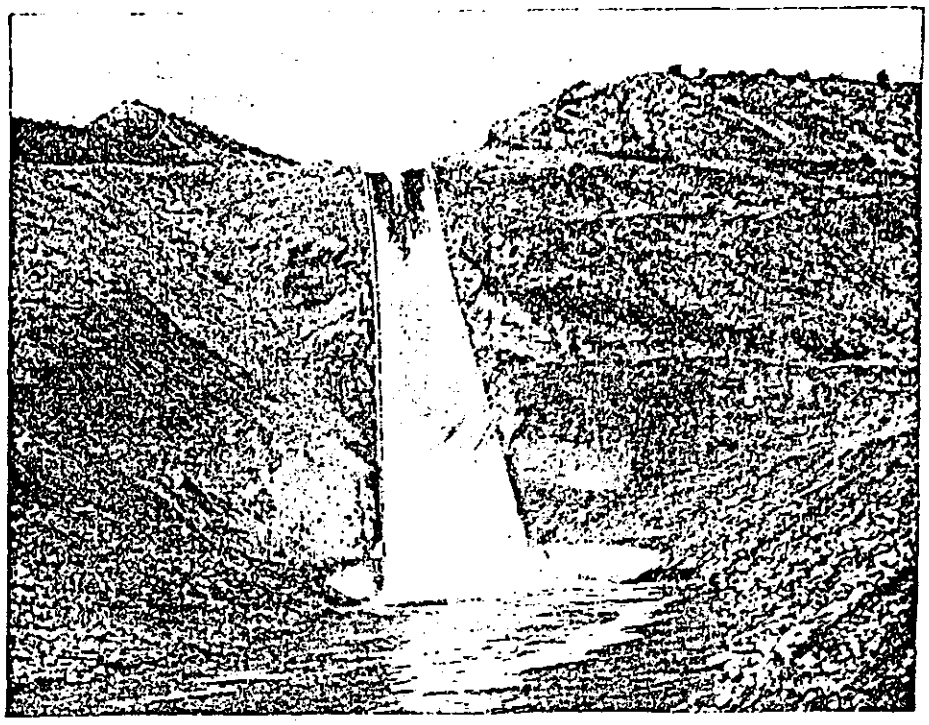
อ่างรับน้ำ (Stilling Pool) และ Outlet Transition จำเป็นต้องสร้างไว้ที่ปลายราง เพื่อสลายพลังงานของน้ำและลดอัตราเร็วของน้ำที่ไหลเทลงมาตามรางอย่างแรงเสียก่อน ที่จะปล่อยให้ไหลไปตามคลอง มิฉะนั้นน้ำจะกัดคลองพังทลายและทำให้ตัวรางชำรุดได้ การสลายพลังงานและการลดอัตราเร็วของน้ำดังกล่าวนี้จะสัมฤทธิ์ผลก็ต่อเมื่อระดับพื้นอ่างอยู่ลึกจากระดับน้ำในคลองมากพอที่จะทำให้เกิด Hydraulic Jump ขึ้นในอ่างได้



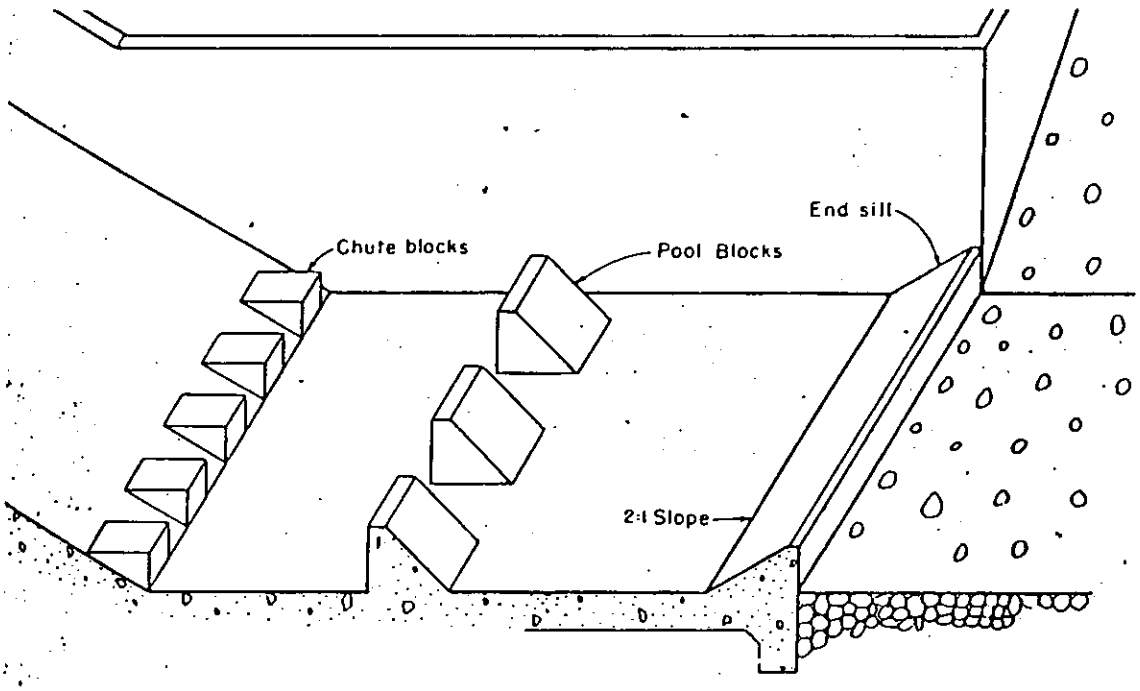
รูปที่ 5.19 Pipe chute and Baffled Pipe Outlet



รูปที่ 5.20 Typical Rectangular Chute



รูปที่ 5.21 Rectangular Conerete Chute



รูปที่ 5.22 Stilling Pool with end sill

chutes ขนาดใหญ่จะมีรูระบายน้ำ (Weep Hole) ไว้ในบริเวณใกล้ ๆ กับปากทางเข้าอ่างรับน้ำเพื่อลด Uplift Pressure ใต้พื้น บริเวณรูระบายน้ำเหล่านี้จะต้องมี Filter ซึ่งทำด้วยทรายและกรวดที่มีขนาดเรียงลำดับกันดี เพื่อป้องกันไม่ให้เม็ดดินใต้พื้นหลุดลอดตามน้ำออกมาทางรูระบายน้ำได้

นอกจากรางเทชนิดที่เป็นรางเปิดธรรมดาซึ่งสร้างด้วยคอนกรีตเสริมเหล็กแล้วยังมีรางเทอีกชนิดหนึ่งเรียกว่า Pipe Chutes ซึ่งมีลักษณะเป็นท่อยาวฝังอยู่ใต้พื้นดินและมีลาดตามยาวไปตามลาดพื้นดิน

ตามปกติ Pipe Chutes จะยาวกว่า Pipe Drops และกระแสน้ำภายในท่อก็แรงกว่า เนื่องจากน้ำในท่อของ Pipe Chute แรงมากจึงทำให้เกิดมีอากาศถูกกักอยู่ภายในท่อ ดังนั้นวิธีสลายพลังงานของน้ำในท่อปิด (Closed Pipe) โดย Hydraulic Jump เหมือนอย่างที่ใช้กับ Pipe Drops จึงทำไม่ได้ เพราะฉะนั้นการสลายพลังงานของน้ำสำหรับ Pipe Chutes จึงต้องใช้อ่างรับน้ำแบบ Open-type Basin หรือแบบ Impact-type Basin ชนิดมีปากท่อเป็น Baffled Pipe Outlet แบบใดแบบหนึ่ง

แบบตามมาตรฐานและรูปร่างของ Impact-type Basin ได้แสดงไว้ในรูป

อย่างไรก็ตามการใช้ Baffled Pipe สำหรับ Impact-type Basin นี้มีข้อควรสังเกต คือ

1.) อัตราของน้ำตรงปากท่อจะต้องไม่เกิน 30 ฟุต/วินาที หรือประมาณ 9.15 เมตร/วินาที

2.) เพื่อให้ได้ผลดีที่สุด ควรกำหนดพื้นอ่างให้อยู่ลึกจากระดับน้ำสูงสุดท้ายอ่างไม่มากกว่า $d+G/2$

3.) ท่อของ Pipe Chutes ช่วงที่ต่อเข้าอ่างจะวางไว้ในแนวราบหรือวางเป็นลาดก็ได้แต่ต้องไม่เกิน 15° ตามปกติมักจะวางท่อในแนวราบ

5.6 การตัดผ่านทางคมนาคมทางบก

ในกรณีคลองส่งน้ำตัดผ่านถนนหรือทางรถไฟนั้นปัญหาในการออกแบบหรือการก่อสร้างอาคารตรงที่ตัดผ่านไม่ยุ่งยากเหมือนกับคลองส่งน้ำตัดผ่านลำน้ำธรรมชาติ เพราะตามปกติระดับหลังถนนหรือหลังทางรถไฟย่อมสูงอยู่แล้ว ถึงแม้ไม่สูงพอก็เสริมให้สูงขึ้นอีกได้ง่าย การสร้างสะพานหรือท่อลอด (Culverts)จะทำได้สะดวก

5.6.1 สะพาน (bridges)

ถ้าระดับหลังถนนหรือหลังทางรถไฟสูงกว่าระดับน้ำใช้การเต็มที่ในคลองส่งน้ำ (F.S.L) มาก หรือพอจะเสริมให้สูงขึ้นอีกได้แล้ว ควรสร้างสะพานข้ามคลองส่งน้ำไป

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

โดยมากสะพานถนนหรือสะพานทางหลวงเป็นสะพานคอนกรีต แต่สะพานรถไฟเป็นสะพานเหล็ก

5.6.2 ท่อลอด (culverts)

ใช้สร้างในกรณีระดับหลังถนนหรือหลังทางรถไฟไม่สูงพอที่จะสร้างสะพานได้ หรือถ้าสร้างสะพานแล้วจะเสียค่าก่อสร้างแพงกว่ามาก

ถ้าระดับหลังถนนหรือหลังทางรถไฟต่ำกว่าระดับน้ำสูงสุดในคลองส่งน้ำ ท่อที่สร้างลอดไปจะมีลักษณะเป็นท่อเชื่อม (Siphons) ซึ่งบางกรณีอาจจะต้องกดตัวท่อให้ต่ำกว่าระดับท้องคลองส่งน้ำด้วย

ท่อลอด (Culverts) หรือท่อเชื่อม (Siphons) ที่สร้างลอดถนนหรือทางรถไฟเป็นท่อคอนกรีตกลมหรือสี่เหลี่ยม จะเป็นท่อแถวเดียวหรือหลายแถวก็ได้ สำหรับการคำนวณขนาดท่อนั้นถ้าเป็นท่อลอด (Culverts) คงคำนวณเช่นเดียวกับรางเปิด (Open Channels) แต่ถ้าเป็นท่อเชื่อมต้องคำนวณแบบ Siphons ดังได้กล่าวมาแล้ว

บทที่ 6
อาคารควบคุมน้ำ

6.1 คำนำ

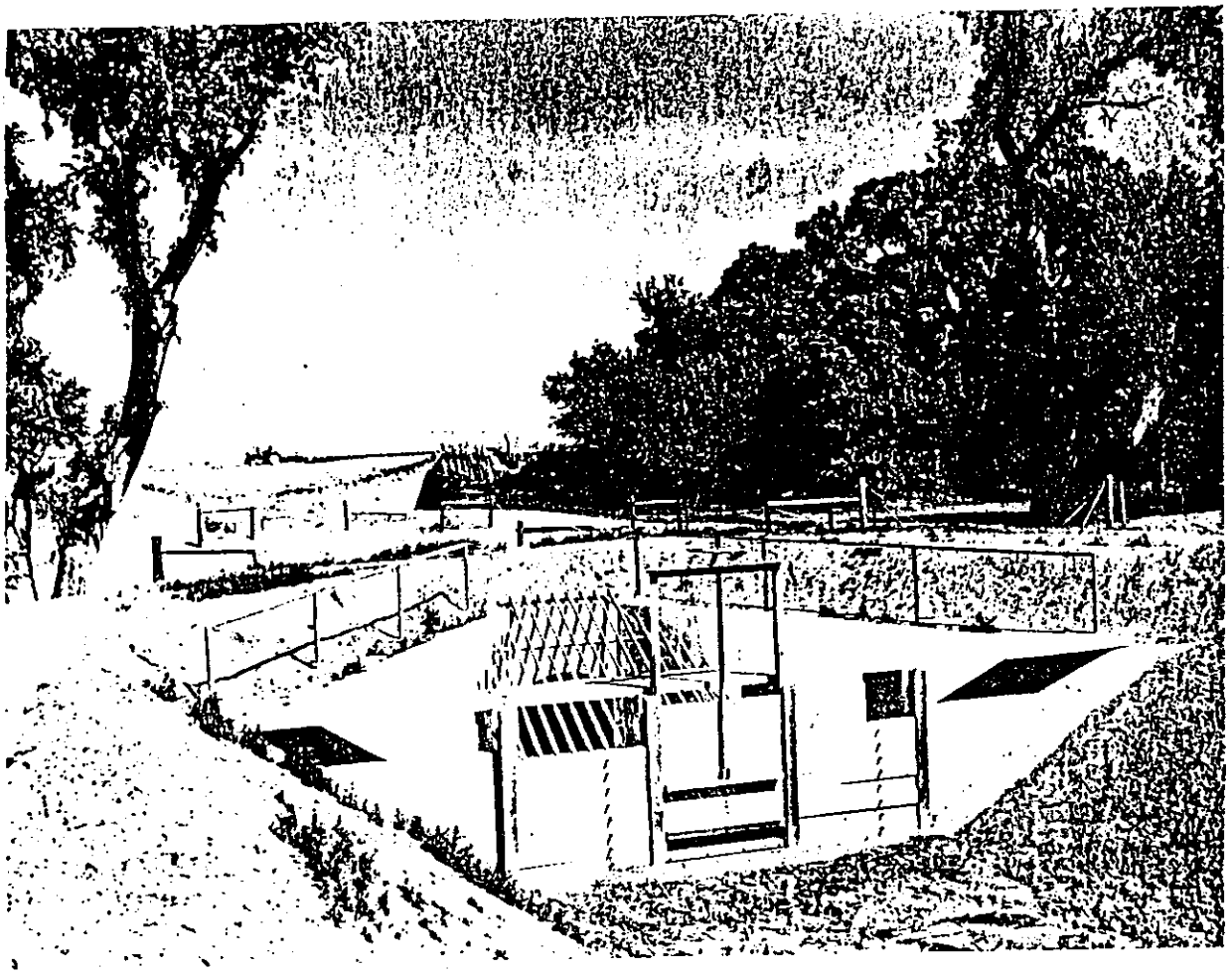
อาคารควบคุมน้ำ (Regulating Structures) ในระบบส่งน้ำเปิด ทำหน้าที่ควบคุมปริมาณน้ำที่ไหลผ่านตัวอาคารไป หรือบังคับระดับน้ำในคลองด้านเหนือน้ำให้มีระดับตามต้องการ อาคารที่ทำหน้าที่ดังกล่าวประกอบด้วย 1)ประตูระบายทดน้ำกลางคลอง (Checks) 2)ประตูระบายอัดน้ำและน้ำตก (Check-drops) 3)ประตูระบายปากคลองซอย (Distributary Head Regulator) 4)อาคารแบ่งน้ำ(Division structures) 5)ประตูระบายท้ายคลอง (Tail Regulator) 6.)ท่อส่งน้ำเข้านา(Farm Turnouts)

การควบคุมปริมาณน้ำทำได้โดยใช้ฝาย (Weirs) บานประตูเลื่อน (Slide Gates) ไม้เหลี่ยมอัดน้ำ(Stoplogs) หรือ อาคารบังคับน้ำที่ปากทางเข้า (Control inlets)

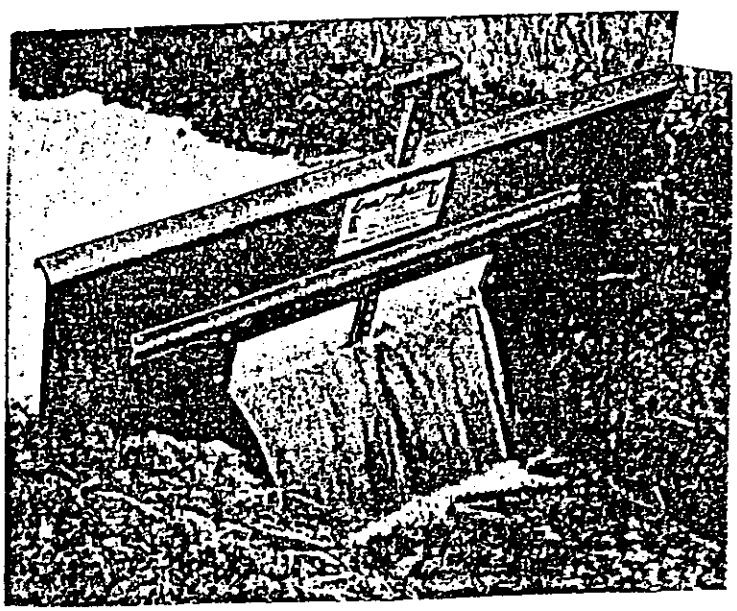
6.2 ประตูระบายทดน้ำกลางคลอง (Check gates, Check regulators)

ประตูระบายทดน้ำกลางคลอง เป็นอาคารชลประทานชนิดหนึ่งซึ่งสร้างไว้ในคลองส่งน้ำทุกประเภท เช่นคลองสายใหญ่ คลองซอย และคลองแยกซอย มีหน้าที่บังคับระดับน้ำด้านเหนือน้ำของประตูระบายทดน้ำกลางคลอง ให้สูงพอที่จะส่งเข้า คลองซอยคลองแยกซอยและท่อส่งน้ำเข้านาได้สะดวกตลอดเวลาถึงแม้ว่าปริมาณน้ำที่ไหลมาจะน้อยกว่าปริมาณน้ำที่กำหนดไว้ก็ตาม ในบางกรณีอาจจะใช้ประตูระบายน้ำกลางคลองปิดกั้นไม่ให้น้ำไหลผ่านไปตามคลองด้านท้ายประตู ในกรณีที่คลองด้านท้ายชำรุดเสียหาย จำเป็นต้องปิดกั้นน้ำไว้ใช้ จนกว่าจะทำการซ่อมแซมเสร็จเรียบร้อย หรือในกรณีที่ต้องการบังคับน้ำให้ไหลไปทางประตูระบายน้ำ(Wasteways) เพื่อล้างตะกอนซึ่งตกจมอยู่ในคลองให้หลุดออกไป เป็นต้น

ตามปกติจะสร้างประตูระบายทดน้ำกลางคลองเป็นอาคารเดียวกับอาคารชลประทานชนิดอื่น (Combined Structures) เช่นสร้างเป็นอาคารเดียวกับประตูระบายปากคลองซอย หรือประตูระบายปากคลองแยกซอยหรือประตูระบายทิ้งน้ำเป็นต้น ทั้งนี้เพื่อความสะดวกในการควบคุมการส่งน้ำ แต่อาจจะสร้างแยกกันเป็นคนละอาคารก็ได้ สำหรับในคูส่งน้ำขนาดเล็ก การสร้างประตูทดน้ำกลางคลองเป็นอาคารถาวร อาจจะเสีย



รูปที่ 5.1 Check Inlet to Pipe Structure



รูปที่ 5.2 Portable Check

ค่าใช้จ่ายสูงและไม่สะดวกในการปฏิบัติงาน จึงนิยมสร้างเป็นประตูทดน้ำแบบเคลื่อนย้ายได้ โดยสร้างเป็นโครงเหล็กกรุด้วยผ้าใบหรือเป็นโครงไม้ มีขนาดและรูร่างเท่าคูส่งน้ำ หากต้องการน้ำที่ใดก็ยกประตูอัดน้ำนี้ไปวางในตำแหน่งที่ต้องการ เมื่อทำการส่งน้ำเสร็จเรียบร้อยก็ยกไปเก็บไว้หรือย้ายไปใช้ที่อื่นได้

ในการคำนวณขนาดคลองส่งน้ำนั้นย่อมถือปริมาณน้ำและระดับน้ำใช้การเต็มที่ในคลอง (Full Supply Level) เป็นหลัก ถ้าน้ำที่ส่งเข้าคลองส่งน้ำมีปริมาณเต็มที่ตามที่ได้กำหนดไว้ตลอดเวลาแล้วก็ไม่จำเป็นต้องสร้างประตูระบายทดน้ำกลางคลอง เพราะระดับน้ำในคลองย่อมขึ้นสูงถึงระดับน้ำใช้การเต็มที่ซึ่งต้องเสมอ แต่ถ้าน้ำที่ส่งเข้าคลองส่งน้ำน้อยกว่าปริมาณเต็มที่ตามที่ได้กำหนดไว้ ซึ่งอาจจะเกิดขึ้นได้เพราะต้นน้ำของโครงการชลประทานนั้นขาดแคลนน้ำ หรือเกิดจากเนื้อที่เพาะปลูกในเขตโครงการชลประทานใช้น้ำไม่พร้อมกัน ระดับน้ำในคลองส่งน้ำก็จะไม่ขึ้นสูงถึงระดับน้ำใช้การเต็มที่ทำให้น้ำไม่ไหลเข้าคลองซอย คลองแยกซอย หรือท่อส่งน้ำเข้านาแล้วแต่กรณี หรือไหลเข้าไม่เต็มที่จึงจำเป็นต้องสร้างประตูระบายน้ำกลางคลองไว้สำหรับอัดทดน้ำในคลองส่งน้ำให้สูงถึงระดับน้ำใช้การเต็มที่อยู่เสมอ

ระยะห่างของประตูระบายทดน้ำขึ้นอยู่กับระดับน้ำที่ลดลงในช่วงส่งน้ำ โดยหลักการส่งน้ำแล้ว ก็ควรจะสร้างประตูระบายทดน้ำกลางคลองไว้ตรงที่ซึ่งมีคลองซอยหรือคลองแยกซอย แยกออกไปทุกแห่งรวมทั้งบริเวณที่มีการลดขนาดของคลองส่งน้ำ จะทำให้ส่งน้ำสะดวกและได้ผลดีที่สุด นอกจากนี้ระยะห่างของประตูทดน้ำยังขึ้นอยู่กับเหตุผลอื่น เช่นกรณีต้องการเก็บน้ำไว้ในคลองให้มากระยะห่างของประตูทดน้ำนี้จะสั้นเข้าหรือพิจารณาสร้าง ตรงจุดที่มีการเปลี่ยนรูปตัดของคลองส่งน้ำเนื่องจากลดปริมาณน้ำเป็นต้น

ประตูระบายทดน้ำกลางคลองอาจจะมีลักษณะเป็นประตูระบายน้ำธรรมดาเรียกประตูระบายทดน้ำกลางคลองแบบนี้ว่า Check Gates หรือ Check Regulators แต่บางทีก็มีลักษณะเป็นท่อระบายน้ำซึ่งเรียกว่า Check Pipes ทั้งนี้แล้วแต่ว่าประเภทใดจะโตพอที่จะระบายน้ำผ่านไปได้สะดวกและเสียค่าก่อสร้างน้อยกว่า ถ้าประตูระบายทดน้ำกลางคลองเป็นประตูระบายน้ำ ก็อาจจะเป็นประเภทระบายน้ำข้ามบานประตู (Overpour-type Regulators) หรือประเภทระบายน้ำลอดใต้บานประตู (Undershot-type Regulators) ได้ทั้ง 2 ประเภท และช่องระบายน้ำจะต้องโตพอที่จะให้ปริมาณน้ำที่เต็มที่ไหลผ่านไปได้โดยไม่เสียระดับน้ำ (H) มากเกินไป สำหรับหลักการคำนวณขนาดประตูระบายทดน้ำ

กลางคลองหรือท่อระบายทดน้ำกลางคลองคงใช้หลักเช่นเดียวกันที่ได้กล่าวมาแล้วในเรื่องเขื่อนระบายน้ำ ประตูระบายน้ำปากคลองส่งน้ำหรือท่อระบายปากคลองส่งน้ำ

ในการออกแบบจะต้องตรวจสอบความมั่นคง(Stability) สามารถต้านแรงดันของน้ำได้โดยไม่เคลื่อนตัว (Sliding) และพลิกคว่ำ (Overturning) ในกรณีที่ใช้บานเป็นบานเลื่อน (Slide Gate)หรือ Stoplogs ไม่ควรใช้กับปริมาณฯที่มากกว่า 2 เมตร^3/วินาที และมีความลึกของบานประตูเกิน 1.5 เมตร เพราะจะทำปิดเปิดบังคับบานได้ยาก

ตัวอย่างประตูระบายทดน้ำกลางคลองที่สำคัญของโครงการชลประทานหลวงต่าง ๆ ในประเทศไทยคือ

1.) ประตูระบายพระเอกาทศรถ ในคลองระพีพัฒน์ ซึ่งเป็นคลองส่งน้ำสายใหญ่ของโครงการชลประทานป่าสักใต้

2.) ประตูระบายช่องแค และประตูระบายโคกกระเทียมในคลองชัยนาท-ป่าสักซึ่งเป็นคลองส่งน้ำสายใหญ่ของโครงการชลประทานชัยนาท-ป่าสัก

3.)ประตูระบายชันสูตรและประตูระบายบางมณีในแม่น้ำน้อยซึ่งใช้เป็นคลองส่งน้ำสายใหญ่ของโครงการชลประทานแม่น้ำน้อย

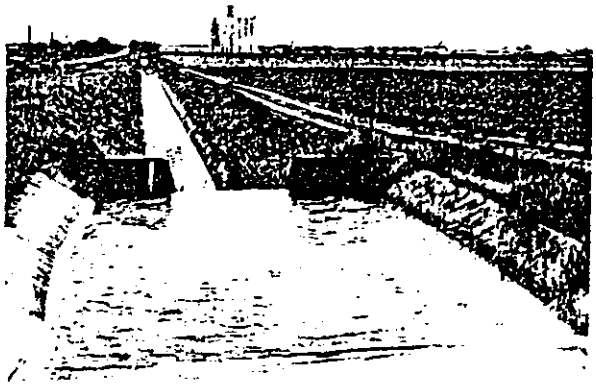
4.)ประตูระบายบ้านท่อโบสถ์และประตูระบายชลมารคพิจารณ์ในแม่น้ำสุพรรณซึ่งใช้เป็นคลองส่งน้ำสายใหญ่ของโครงการชลประทานสุพรรณบุรี

6.3 ประตูระบายทดน้ำและน้ำตก (Check-drops)

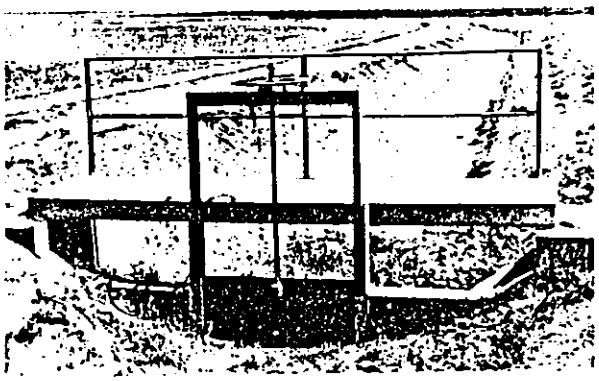
เป็นประตูระบายทดน้ำที่สร้างขึ้นบริเวณที่สร้างน้ำตก(Drops)โดยสร้างเป็นอาคารตัวเดียวกัน (Combination Structures) น้ำตกจะทำหน้าที่สลายพลังงานเพื่อป้องกันการกัดเซาะ เมื่อคลองต้องลดระดับลง ส่วนประตูระบายทดน้ำจะทำหน้าที่รักษาระดับน้ำด้านเหนืออาคาร ให้มีระดับสูงตามต้องการ สามารถส่งน้ำให้กับคลองส่งน้ำได้สะดวก

ปกติจะสร้างอาคารชนิดนี้ไว้ตรงจุดที่คลองลดระดับไม่มากนัก น้ำที่ไหลข้ามบานประตูที่ติดไว้กับน้ำตกดิ่งและเป็นคลองดิน ระยะไม่ควรเกิน 1.00 เมตรเมื่อปริมาณน้ำในคลองไม่เกิน 2.5 ลบ.เมตร/วินาที

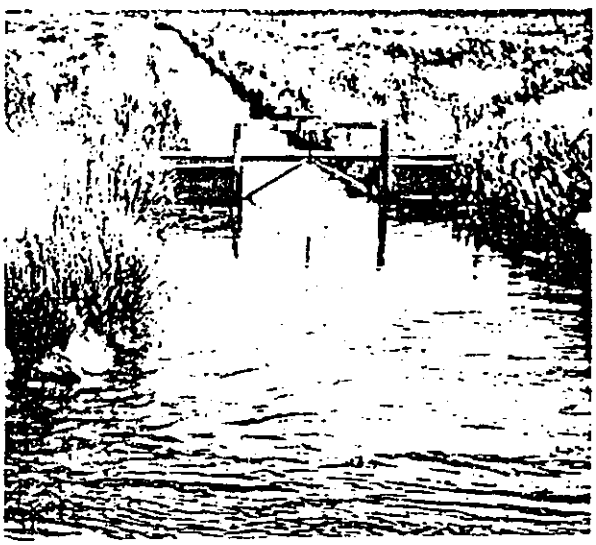
ในการออกแบบจะต้องตรวจสอบความมั่นคง(Stability) สามารถต้านแรงดันของน้ำได้โดยไม่เคลื่อนตัว(Sliding)และพลิกคว่ำ(Overturning) เช่นเดียวกับอาคารอื่นๆที่ได้กล่าวมาแล้ว



รูปที่ 5.3 Check Drop with Weir



รูปที่ 5.4 Check Drop with Slide Gate



รูปที่ 5.5 Constant-head Orifice Turnout

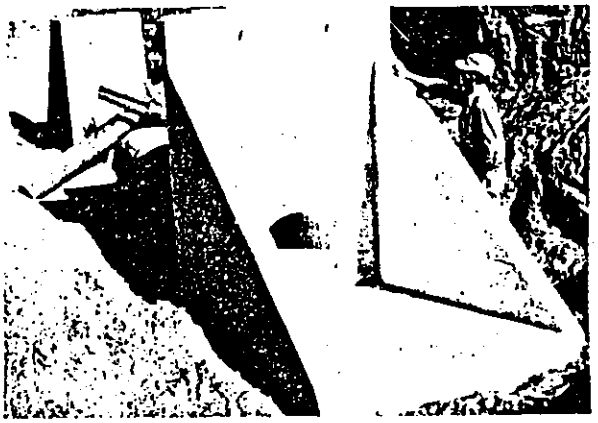
6.4 ประตูระบายน้ำปากคลองซอย (Distributary ead Regulators, Turnouts)

ประตูระบายปากคลองซอยเป็นประตูระบายหรือท่อระบายเช่นเดียวกับประตูระบายหรือท่อระบายปากคลองสายใหญ่ที่ได้กล่าวมาแล้ว แต่มีขนาดเล็กกว่าเพราะปริมาณน้ำที่ไหลผ่านน้อยกว่าประตูระบายปากคลองสายใหญ่ที่ได้กล่าวมาแล้ว ประตูระบายปากคลองซอยเป็นอาคารชลประทานสำคัญที่จำเป็นต้องสร้างไว้ที่ปากคลองซอยทุกสายเพราะทำหน้าที่บังคับและควบคุมปริมาณน้ำที่ส่งเข้าคลองซอยตลอดเวลาถ้าไม่มีประตูระบายปากคลองซอยตลอดเวลา ถ้าไม่มีประตูระบายปากคลองซอยจะส่งน้ำไม่ได้ผล

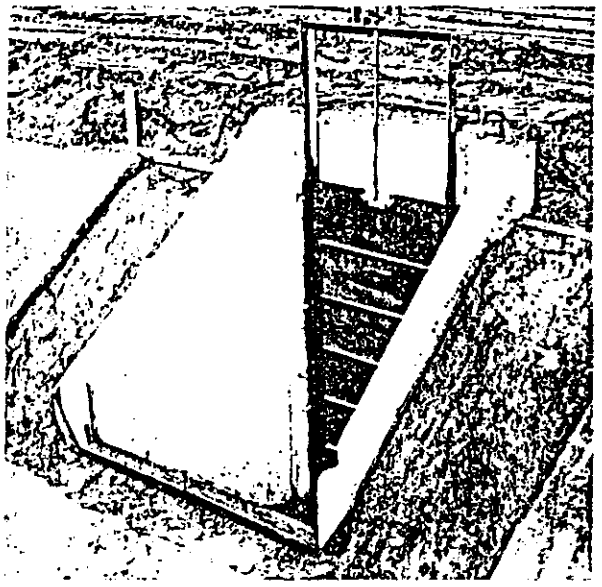
ประเภทประตูระบาย การคำนวณปริมาณน้ำ ขนาดช่องระบายน้ำและหลักการพิจารณาความมั่นคงของประตูระบายปากคลองซอยนั้น ใช้หลักการเดียวกันกับประตูระบายปากคลองสายใหญ่

ตามหลักการส่งน้ำถือว่าคลองซอยเป็นคลองซอยเป็นคลองส่งน้ำให้แก่พื้นที่เพาะปลูกโดยตรงคลองซอยจึงมีความสัมพันธ์กับวิธีให้น้ำมาก จำเป็นต้องสอบวัดปริมาณน้ำที่ส่งเข้าคลองซอยตลอดเวลา และต้องเก็บสถิติไว้เพื่อควบคุมปริมาณน้ำที่จะจ่ายให้แก่พื้นที่ดินในเขตคลองซอยสายนั้น นอกจากนี้สถิติปริมาณน้ำที่ส่งผ่านประตูระบายปากคลองสายใหญ่แล้วก็จะทราบปริมาณน้ำที่สูญเสียไปโดยการระเหยและการรั่วซึมตามทางในคลองสายใหญ่ได้ด้วย

การส่งน้ำผ่านเข้าปากคลองซอยควรจะต้องส่งเข้าในปริมาณที่ถูกต้องแน่นอน ดังนั้นที่ประตูระบายปากคลองจึงต้องมีการติดตั้งบานบังคับน้ำไว้ เพื่อควบคุมปริมาณน้ำ กรณีที่บานเป็นบานเดี่ยว (single Gate) อาจใช้ Board Crested Weir ติดตั้งไว้ท้ายประตูระบายเพื่อตรวจสอบปริมาณน้ำขณะยกบานก็ได้ หรืออาจติดตั้งอุปกรณ์วัดน้ำ(Measuring Devices)อื่นไว้ เช่น Parshall flumes, Constant head Orifice, Romijn weirs และเครื่องมือวัดน้ำชนิดอื่น เป็นต้น



รูปที่ 5.6 Precast Turnout Structure



รูปที่ 5.7 Turnout Structure with Slide Gate

รูปที่ 5.8 Constant-head Orifice Turnout

6.5 อาคารแบ่งน้ำ (Division Structures)

อาคารแบ่งน้ำเป็นอาคารที่สร้างขึ้นเพื่อทำหน้าที่แบ่งน้ำในคลองส่งน้ำหรือท่อส่งน้ำให้ไหลเข้าสู่คลองแยก 2 สายหรือมากกว่า ตัวอาคารอาจจะทำหน้าที่แบ่งน้ำโดยตรงหรืออาจเป็นท่อไซฟอนหรือเป็นบานประตูปิดเปิดนำน้ำไปใช้เมื่อต้องการก็ได้ กรณีที่ไม่ต้องการวัดปริมาณน้ำที่อาคารแบ่งน้ำ การปล่อยให้น้ำไหลผ่านช่องบานไปโดยตรง ทำได้ง่ายและสดวกดี กรณีที่ต้องการวัดปริมาณน้ำหรือส่งน้ำน้ำเข้าคลองแยกซอยในปริมาณที่แน่นอนที่ระดับน้ำที่ออกแบบไว้ (Available Head) มักนิยมใช้ฝาย (Weir) เป็นอาคารบังคับปริมาณน้ำ โดยกำหนดความกว้างเป็นสัดส่วนกับปริมาณน้ำที่ต้องการ เมื่อน้ำไหลผ่านเข้ามาในอาคารแบ่งน้ำแล้ว น้ำจะไหลข้ามสันฝายเข้าไปในคลองแยกในอัตราส่วนที่แน่นอนโดยอัตโนมัติ

อาคารแบ่งน้ำมีทั้งชนิดที่เคลื่อนย้ายได้(Movable)และชนิดที่ปรับได้(Adjustable) ฝายชนิดปรับได้จะเป็นการปรับระดับความสูงของสันฝายหรือสันบานในแนวดิ่งเพื่อปรับปริมาณการไหล ส่วนฝายชนิดเคลื่อนย้ายได้จะถูกติดตั้งไว้ในกรอบ (Frame) ที่แข็งแรงสามารถเคลื่อนย้ายไปติดตั้งในร่อง (Groove) ที่ตัวอาคารได้เมื่อต้องการใช้งาน

อย่างไรก็ตามเพื่อให้ได้ปริมาณน้ำที่แน่นอน จำเป็นต้องออกแบบให้ถูกต้องและเหมาะสม ที่สำคัญก็คือขณะทำงานระดับน้ำจะต้องสูงถึงระดับที่ได้คำนวณออกแบบไว้ โดยอาจใช้ไม้วัดระดับน้ำ(Staff Gage)ติดไว้เพื่อตรวจสอบขณะทำงานก็ได้

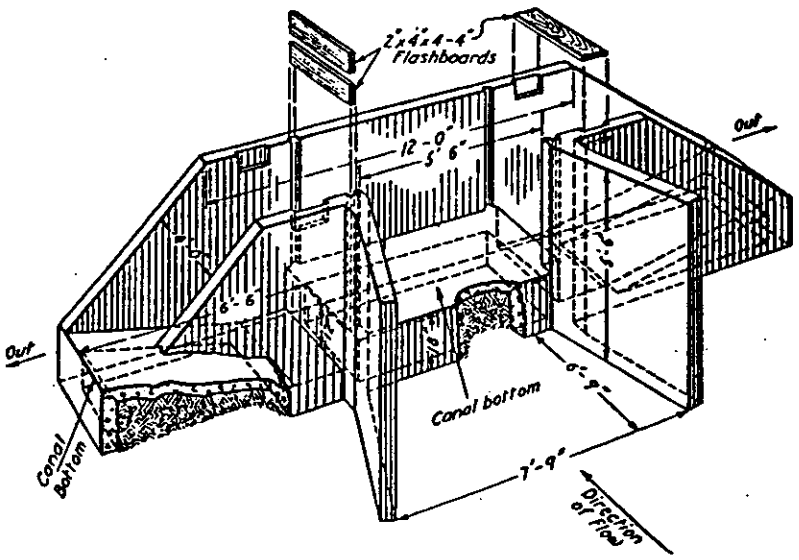
6.6. ประตูระบายปลายคลองส่งน้ำ (Tail Regulators, Tail pipes)

ประตูระบายปลายคลองส่งน้ำมีลักษณะเช่นเดียวกับประตูระบาย ปากคลองส่งน้ำ หรือประตูระบายทดน้ำกลางคลอง จะผิดกันก็แต่เพียงหน้าที่ของมันเท่านั้น

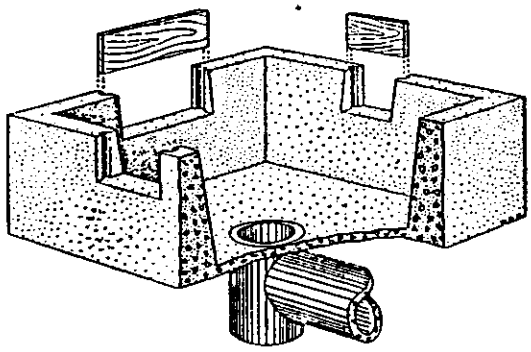
ประตูระบายปลายส่งน้ำมีหน้าที่ 3 ประการ คือ

1. ทำหน้าที่เป็นประตูระบายทดน้ำกลางคลองแห่งสุดท้ายในคลองส่งน้ำสายนั้นเพื่ออัดทดน้ำในคลองช่วงเหนือประตูให้สูงถึงระดับน้ำใช้การเต็มที่ได้ตามต้องการ

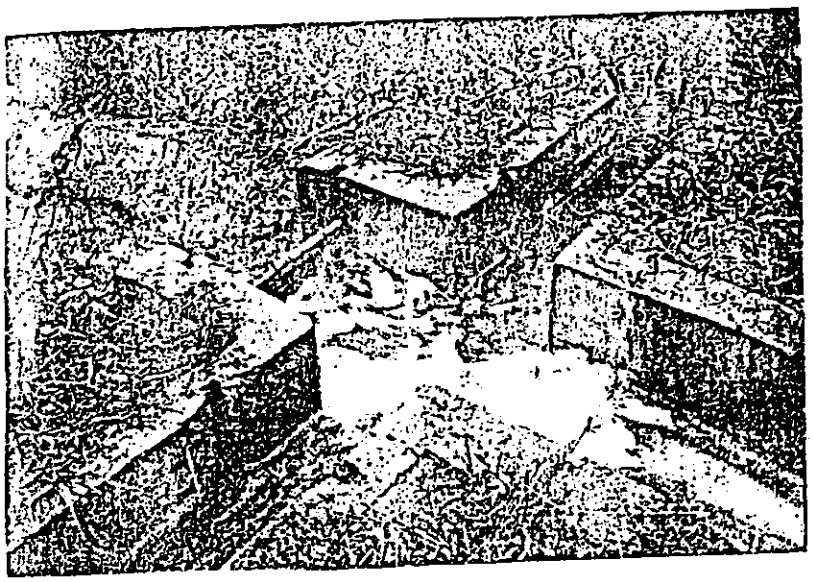
2. ระบายน้ำเหลือใช้ในคลองทิ้งลงสู่ทางระบายน้ำธรรมชาติที่ปลายคลองส่งน้ำ



รูปที่ 5.9 Concrete Division Box



รูปที่ 5.10 Proportional Division Box



รูปที่ 5.11 Concrete three-way Division Box

3. ป้องกันไม่ให้น้ำในทางระบายน้ำธรรมชาติที่ปลายคลองส่งน้ำไหลย้อนเข้ามาในคลองและท่วมพื้นที่ดินในเขตโครงการชลประทานได้ในเวลาที่ระดับน้ำในทางระบายน้ำธรรมชาติสูงกว่าระดับน้ำใช้การเต็มที่ในคลองส่งน้ำ

ประตูระบายปลายคลองส่งน้ำเป็นอาคารชลประทานอีกชนิหนึ่งซึ่งจำเป็นต้องสร้างไว้ในคลองส่งน้ำทุกประเภทและทุกสายเช่นเดียวกับประตูระบายปากคลองส่งน้ำประตูระบายปลายคลองส่งน้ำนี้อาจจะมีลักษณะเป็นประตูระบายน้ำธรรมดา ซึ่งเรียกว่า Tail Regulators และอาจจะเป็นประตูระบายประเภทระบายน้ำข้ามบานประตู (Overpour-type) หรือประเภทระบายน้ำอดใต้บานประตู (Undershot-type Regulators) ก็ได้แต่บางทีก็เป็นท่อระบายน้ำซึ่งเรียกว่า tail pipes ซึ่งแล้วแต่ว่าปริมาณน้ำที่จะต้องระบายทิ้งจะมากหรือน้อยสำหรับหลักการคำนวณขนาดประตูระบายปลายคลองหรือท่อระบายปลายคลอง และการคำนวณปริมาณน้ำที่ระบายทิ้งคงใช้หลักการเช่นเดียวกันกับที่ได้กล่าวมาแล้วในเรื่องประตูระบายคลองส่งน้ำหรือท่อระบายปากคลองส่งน้ำ

ตัวอย่างประตูระบายปลายคลองส่งน้ำที่สำคัญของโครงการชลประทานหลวงต่าง ๆ ในประเทศไทยคือ

1.) ประตูระบายเริงรางของโครงการชลประทานชัยนาท-ป่าสักซึ่งสร้างไว้ที่ปลายคลองชัยนาท-ป่าสัก

2.) ประตูระบายผักไห่ของโครงการชลประทานแม่น้ำน้อยซึ่งสร้างไว้ในแม่น้ำน้อย

3.)ประตูระบายโพธิ์พระยาของโครงการชลประทานสุพรรณบุรีซึ่งสร้างไว้ในแม่น้ำสุพรรณ

6.7 ท่อส่งน้ำเข้านา (Farm-Turnouts)

เป็นอาคารที่ฝังลอดใต้คันคลองตามแนวทั้งสองข้างของคลองซอยและคลองแยกซอย เพื่อรับน้ำจากคลองส่งน้ำเข้าคูน้ำในแปลงนา(Farm Ditches) หรือส่งน้ำแปลงเพาะปลูกโดยตรง ท่อเหล่านี้จะฝังไว้บริเวณที่เป็นที่สูงเป็นระยะๆไม่ห่างกันมากนัก เพื่อให้พื้นที่เพาะปลูกได้รับน้ำโดยทั่วถึง โดยปกติแฉกรับน้ำแฉกหนึ่งซึ่งมีพื้นที่ประมาณ 300-500 ไร่ จะมีท่อส่งน้ำเข้านา 1 ท่อ อย่างไรก็ตามปริมาณน้ำที่ส่งผ่านท่อนี้จะต้องเพียงพอสำหรับพื้นที่เพาะปลูกในแฉกส่งน้ำนั้นด้วย การจัดการกระจายน้ำในแปลงเพาะปลูกให้สม่ำเสมอเป็นหน้าที่ของเกษตรกร วิธีการก็คือขุดคูน้ำ(Farm Ditches)หรือคูน้ำหัว

แปลงหรือเหมืองไส้ไก่ขึ้น เพื่อรับน้ำจากท่อส่งน้ำเข้านาข้าไปสู่แปลงเพาะปลูก หรือผ่านไปตามแนวหัวแปลง ทำให้สามารถกระจายน้ำให้กับพื้นที่เพาะปลูกได้อย่างทั่วถึงและมีประสิทธิภาพ

ท่อส่งน้ำเข้านาส่วนมากนิยมใช้ท่อคอนกรีตกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.20-0.50 เมตร ที่ปากท่อจะมีฝาท่อหรือบานประตูติดไว้และอาจมีเครื่องมือวัดน้ำติดไว้ด้วย ปริมาณน้ำที่ส่งผ่านท่อส่งน้ำเข้านาเป็นปริมาณน้ำที่ใช้จริง อาจใช้เป็นสถิติเพื่อประกอบการคำนวณหาค่าชลภาระที่แท้จริงต่อไป

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

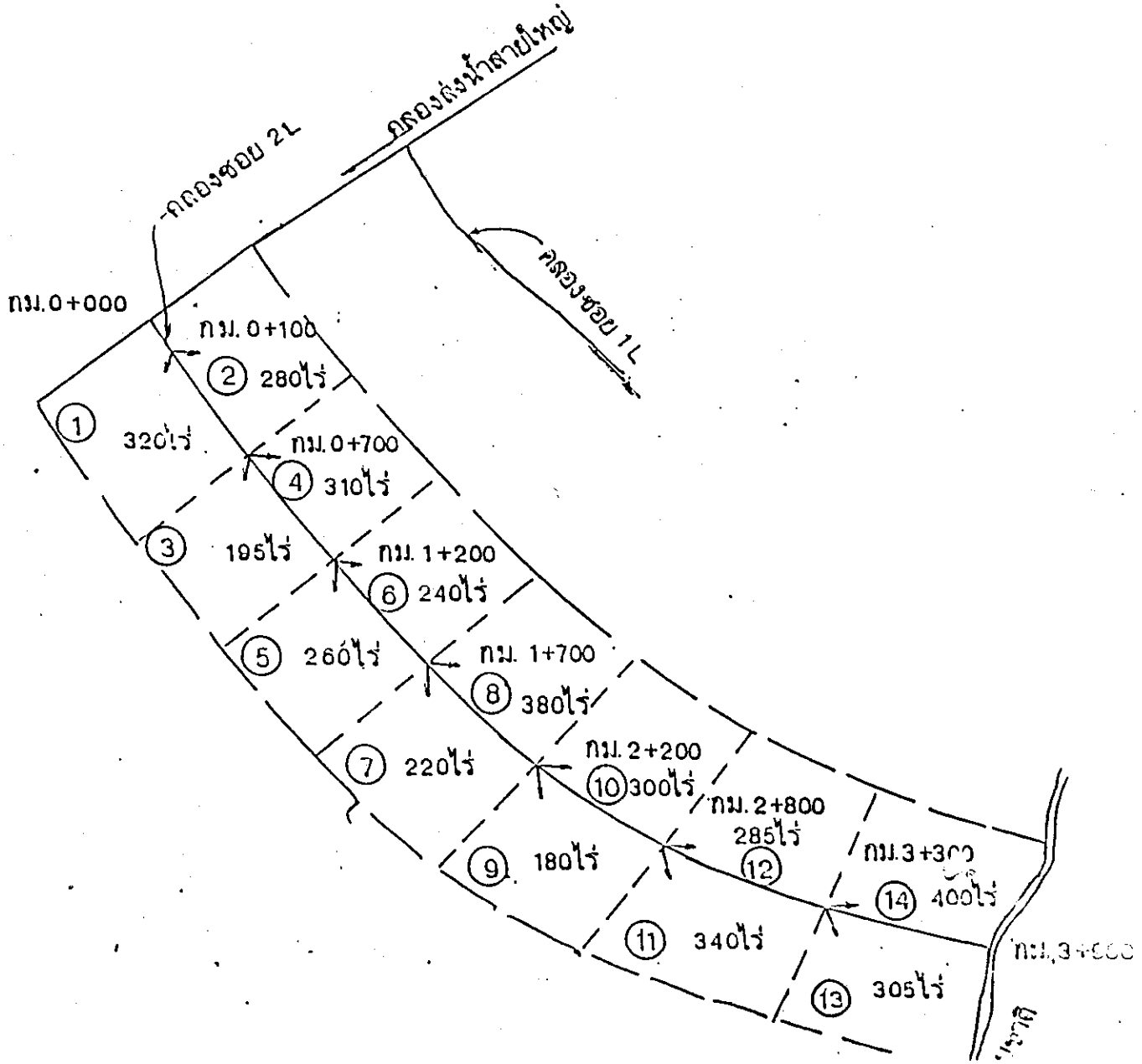
1. Booher, L. J.,Surface Irrigation., F.A.O. 1982
2. Chow, V.T., Open-Channel Hydraulics, McGraw-Hill Book Company,Inc 1973
3. Israelsen, O.W. and V.E. Hensen, Irrigation Principles and Practices, Thrid Edition, John Wiley and Sons, Inc 1967
4. Jensen, M.E., Design and Operation of Farm Irrigation Systems, Fort Collins, Colorado 1983
5. Sehgel, P.P., Design of Irrigation Structures, Khanna Publishers 1983
6. United States Department of Interior, Bureau of Reclaimation, Design of Small Dam., Second Edition, Oxford & IBH Publishing Co., New Delhi 1974
7. United States Department of Interior, Bureau of Reclaimation, Design of Small Canal Structures, Denver, Colorado 1978
8. Vezirani & Chandola., Irrigation Engineering., United States Department of Interior, Bureau of Reclaimation, Khana Publishers, New Delhi 1983
9. วิบูลย์ บุญยธโรกุล หลักการชลประทาน 2526
10. วิบูลย์ บุญยธโรกุล และ อภิชาต อนุกูลอำไพ รวบรวมรายงานการประชุมสัมมนาเชิงปฏิบัติการ เรื่อง การปรับปรุงการชลประทานในประเทศไทย, เชียงใหม่ 2529
11. อรุณ อินทรปาลิต เอกสารประกอบการสอน วิชาการวางแผนและออกแบบระบบส่งน้ำ (โรเนียว) 2527

ภาคผนวก

ภาคผนวกที่ 1 ตัวอย่างการคำนวณคลองส่งน้ำทางทฤษฎีและในทางปฏิบัติ

ตัวอย่างการคำนวณขนาดคลองส่งน้ำ

กำหนดให้ออกแบบ คลองส่งน้ำ 2L ยาว 3.900 กม. ควบคุมเนื้อที่ซึ่งแบ่งออกเป็นแฉกส่งน้ำต่าง ๆ จำนวน 14 แฉกดังรูปท้ายนี้



ให้คำนวณขนาดคลองซอยสายนี้ กำหนดให้

เนื้อที่ชลประทาน (irrigable area)		=	80 % ของเนื้อที่ทั้งหมด
ชลภาระ (Water Duty)		=	0.00018 ม.^{3}/วินาที/ไร่
ลาดคลอง (Longitudinal Slope,S)		=	1:8000
Manning'n	(n)	=	0.025
ลาดตลิ่ง	Ss	=	1:1.5
Critical Velocity	V_o	=	$0.350\ C^{0.66}$
	V/V_o	=	0.80 ถึง 1.10

วิธีคำนวณ

การคำนวณจะได้ Manning's formula ก่อนการคำนวณขนาดคลองส่งน้ำ จะต้องทำตารางแสดงจุดที่จะฝังท่อส่งน้ำเข้านา เลขที่ประจำแฉกส่งน้ำ ปริมาณน้ำที่จะส่งให้แฉกส่งน้ำ และปริมาณน้ำที่จะต้องส่งผ่านคลองส่งน้ำในช่วงต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

การคำนวณปริมาณน้ำในคลองส่งน้ำ

ระยะทาง (กม.)		แฉกส่งน้ำ เลขที่		อ่าน planimeter				เนื้อที่แฉกส่งน้ำ (ไร่)		ปริมาณน้ำ ประจำแฉก ม^3/วินาที	ปริมาณน้ำ ที่ต้องส่ง ม.^{3}/วินาที
จาก	ถึง	ขวา	ซ้าย	1	2	3	เฉลี่ย	ทั้งหมด	ชลประทาน		
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										
								4015	3212	0.5788	

จากสูตร Manning/s Formula:

$$V = (1/n)\, R^{2/3} S^{1/2}$$

<u>รูปตัดคลองที่ 1 กบ.</u> 0+000 ถึง 0+100

$Q = 0.5788$ ม.^{3}/วินาที

$A = (b+1.5d)d$

$P = b+(13)^{1/2}d$

$R = A/P$

$= (b+1.5d)d/(b+(13)^{1/2}d)$

สมมติ $b = 1.00$ ม.

$A = (1+1.5d)d$

$P = 1+13^{1/2}d$

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

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

$$0.5788/(d+1.5d^2) = (1/0.025)\,[(d+1.5d^2)/(1+13^{1/2}d)]^{2/3}(1/000)^{1/2}$$

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

โดยวิธี Trial and error method

สมมติ $d = 0.88$ ม.

แทนค่าทางด้านขวามือของสมการ

จะได้ $= (0.88+1.5*0.88^2)^{5/3}/(1+13^{1/2}*0.88)^{2/3} = 1.268$ ม.^{3}/วินาที

ยังน้อยกว่า 1.294 ม.^{3}/วินาที

สมมติ $d = 0.89$ ม.

ทางขวามือ $= (0.89+1.5*0.89^2)^{5/3}/(1+13^{1/2}*0.89)^{2/3} = 1.298$ ม.^{3}/วินาที

ใกล้เคียง $\approx$ 1.298 ม.^{3}/วินาที

สรุปใช้: $b = 1.00$ ม.

$d = 0.89$ ม.

$A = (1.1.5d)\, d = 2.08$ ม.^{2}

$P = 1+13^{1/2}d = 4.21$ ม.

$R = A/P = 0.494$ ม.

$V = (1/n)\, R^{2/3} S^{1/2}$

$= (/0.025)(0.466)^{2/3}(1/8000)^{1/2}$

$= 0.269$ ม./วินาที

$Q = 1.86*0.269 = 0.499$ ม.^{3}/วินาที

<u>รูปตัดคลองที่ 3 กม. 0+700 ถึง 1+200</u>

$Q = 0.4195$ ม.^{3}/วินาที

ใช้ $b = 1.00$ ม.

สมมติ $d = 0.77$ ม.

$A = (1+1.5d)d = 1.66$ ม.^{2}

$P = 1+(13)^{1/2}d = 3.78$ ม.

$R = A/P = 0.439$ ม.

$V = (1/0.025)*(0.439)^{2/3}(1/8000)^{1/2}$ ม./วินาที

$= 1.66*0.258 = 0.428$ ม.^{3}/วินาที

≈ 0.419 ม.^{3}/วินาที

<u>รูปตัดคลองที่ 4 กม. 1+200 ถึง กม. 1+700</u>

$Q = 0.3474$ ม.^{3}/วินาที

ใช้	b	=	1.00	ม.	ถ้าใช้	b = 0.80	ม.
	d	=	0.70	ม.	จะได้	d = 0.75	ม.
	A	=	1.435	ม.^{2}		A = 1.444	ม.^{2}
	P	=	3.526	ม.		P = 3.505	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

<u>รูปตัดคลองที่ 5 กม. 1+700 ถึง 2+200</u>

$Q = 0.2609$ ม.^{3}/วินาที

ใช้ $b = 0.80$ ม.

$d = 0.65$ ม.

$A = 1.154$ ม.^{2}

$P = 3.144$ ม.

$R = 0.367$ ม.

V = 0.299 ม./วินาที

Q = 0.264 ม.^{3}/วินาที

<u>รูปตัดคลองที่ 6 กม. 2+200 ถึง กม. 2+800</u>

Q = 0.1917 ม.^{3}/วินาที

ใช้ b = 0.80 ม.

d = 0.57 ม.

A = 0.943 ม.^{2}

P = 2.855 ม.

R = 0.330 ม.

V = 0.214 ม./วินาที

Q = 0.201 ม./วินาที

<u>รูปตัดคลองที่ 7 กม. 2+800 ถึง 8+300</u>

Q = 0.1016 ม.^{3}/วินาที

b = 0.80 ม.

d = 0.41 ม.

A = 0.58

P = 2.278

R = 0.255

V = 0.180

Q = 0.1044 ม.^{3}/วินาที

ค่า Freeboard., F

F = 0.20+2.20d เมตร

ในเมื่อ d = ความลึกของน้ำในคลองเป็นเมตร

เมื่อ d = 0.89

F = 0.20+0.2 (0.89)= 0.38

เมื่อ d = 0.70

F = 0.20+0.2 (0.7) = 0.34

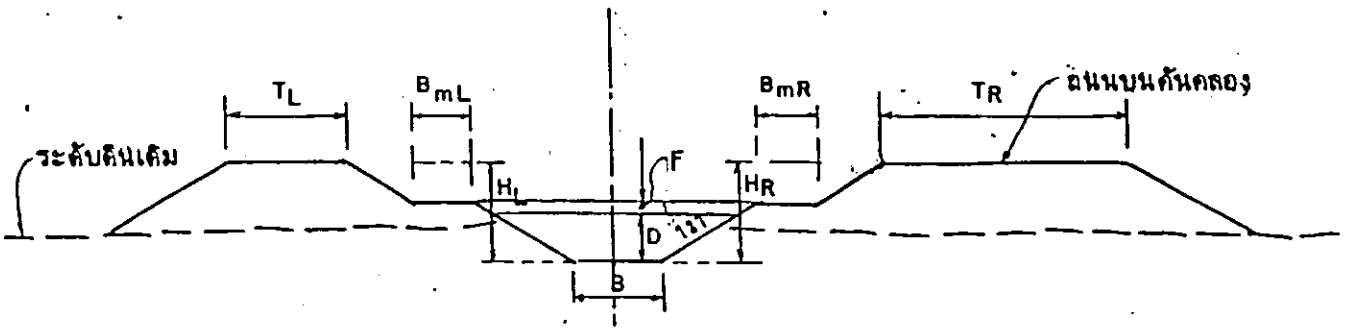
เมื่อ d = 0.41

F = 0.20+0.2(0.41) = 0.29

ตารางแสดงรายละเอียดและขนาดของคลองส่งน้ำ (โดยทฤษฎี)

กม. ถึง กม.		Q	A	V	R	n	S	B	D	F
0.000	0+100	0.581	2.08	0.279	0.494	0.025	1:8000	1.00	0.89	0.40
0.100	0+700	0.499	1.86	0.269	0.466	0.025	1:8000	1.00	0.83	0.40
0+700	1+200	0.428	1.66	0.258	0.439	0.025	1:8000	1.00	0.77	0.40
1+200	1+700	0.353	1.44	0.246	0.407	0.025	1:8000	1.00	0.70	0.35
1+700	2+200	0.264	1.16	0.229	0.367	0.025	1:8000	0.80	0.65	0.35
2+200	2+800	0.201	0.95	0.214	0.330	0.025	1:8000	0.80	0.57	0.35
2+800	3+300	0.105	0.58	0.180	0.255	0.025	1:8000	0.80	0.41	0.30
3+300	3+900	0.105	0.58	0.180	0.255	0.025	1:8000	0.80	0.41	0.30

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



การคำนวณระดับต่าง ๆ ในรูปตัดตามยาวคลอง

Slope ท้องคลอง = 1:8000

นั่นคือ ทางราบ 8000 ม. ระดับแตกต่าง = 1 เมตร

= 100 ซม.

" 1000 ม. " = 100/8

= 12.50 ซม.

ทางราบ 1000 เมตร ระดับต่าง = 12.50 ซม.

" 100 " " = 1.25 ซม.= 0.0125 ม.

" 500 " " = 6.25 ซม.= 0.0625 ม.

" 600 " " = 7.50 ซม.= 0.075 ม.

" 1700 " " = 21.25 ซม.= 0.2125 ม.

" 3300 " " = 41.25 ซม.= 0.4125 ม.

" 3900 " " = 48.75 ซม.= 0.4875 ม.

ถ้าให้ระดับท้องคลองที่ กม. 0+000 = +100.000

จะได้ท้องคลองที่ กม. 0+100 = 100.000-0.0125

= +99.9875

" 0+700 = +99.9875-0.0750

= +99.9125

ระดับน้ำที่ กม. 0+700 จะมี 2 ค่า

1. ก่อนถึง FTO ระดับ = +99.9125+0.830

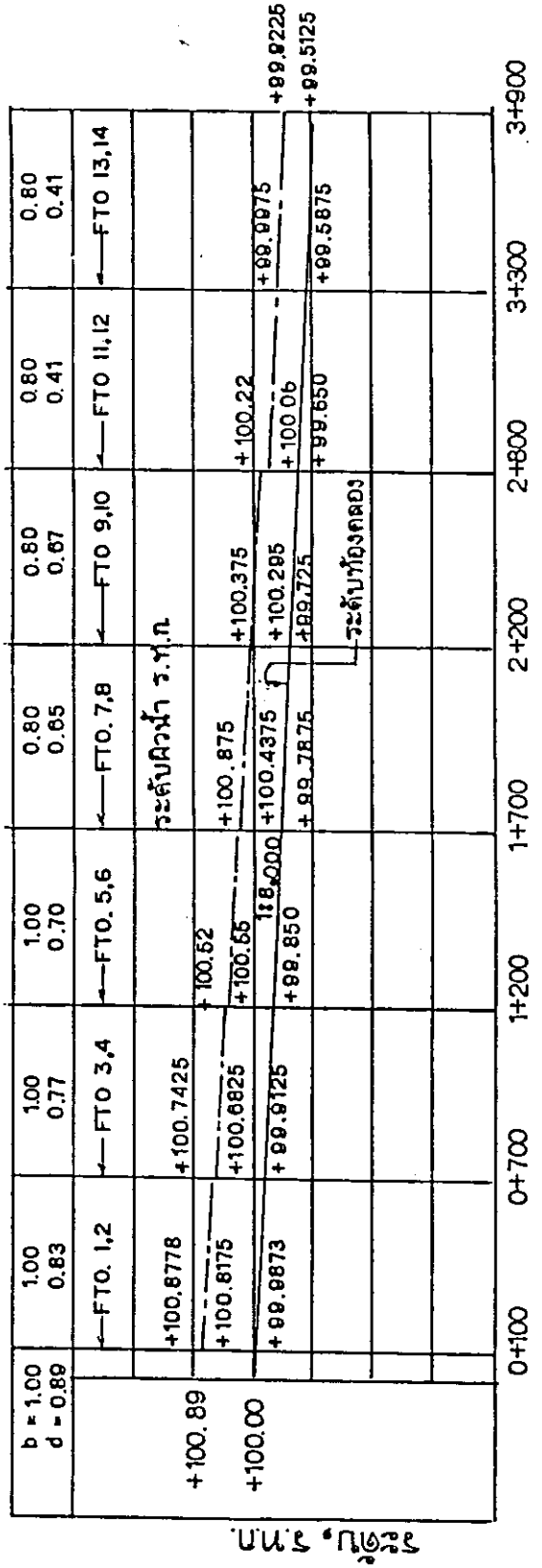
= +100.7425

2. หลัง FTo ระดับ = +99.9125+0.77

= +100.6825

ที่ กม. อื่น ๆ ก็ใช้วิธีคำนวณเช่นเดียวกัน

รูปตัดตามยาว (PROFILE) คลองส่งน้ำ(โดยทฤษฎี)



<u>การออกแบบคลองส่งน้ำในทางปฏิบัติ</u>

1. การเลือกขนาดความกว้างของท้องคลอง ให้เลือกขนาดจากค่า b ต่ำสุดเท่ากับ 0.40 ม. และให้ใช้ขนาดใหญ่ขึ้นทุก ๆ 0.20 ม. นั่นคือจาก 0.40 ม. เป็น 0.60 ม. 0.80 ม. 100 ม. ตามลำดับไป จนถึง 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 Requlator) อยู่ระหว่างต้นคลองและปลายคลองอีก เพื่อที่จะทดน้ำทางด้านเหนือน้ำของอาคารนี้ให้มีระดับสูงเพียงพอที่จะให้น้ำไหลเข้าท่อส่งน้ำเข้านา (Farm Turnout - FTO.) ได้สะดวก

ดังนั้น จากที่ได้คำนวณและเขียนแบบไว้แล้วอาจจะนำมาคำนวณใหม่ได้ดังนี้ :

<u>คลองช่วงที่ 1</u> กม. 0+000 ถึง 1+300

	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.
	Q	=	0.594	ม.^{3}/วินาที

<u>คลองช่วงที่ 2</u> กม. 1+300 ถึง กม. 2+300

	Q	=	0.3474	ม.^{3}/วินาที
ใช้	b	=	1.00	ม.
	d	=	0.70	ม.
	A	=	1.435	ม.^{2}
	P	=	3.526	ม.

R = 0.407 ม.

V = 0.246 ม./วินาที

Q = 0.353 ม.^{3}/วินาที

<u>คลองช่วงที่ 3</u> กม. 2+300 ถึง กม. 3+400

Q = 0.1917 ม.^{3}/วินาที

ใช้ b = 0.00 ม.

d = 0.60 ม.

A = 1.020 ม.^{2}

P = 2.965 ม.

R = 0.344 ม.

V = 0.220 ม./วินาที

Q = 0.224 ม.^{3}/วินาที

<u>คลองช่วงที่ 4</u> กม. 3+400 ถึง 3+900 (คลองทิ้งน้ำ)

Q = 0.1016 ม.^{3}/วินาที

ใช้ b = 0.80 ม.

d = 0.45 ม.

A = 0.664 ม.^{2}

P = 2.423 ม.

R = 0.274 ม.

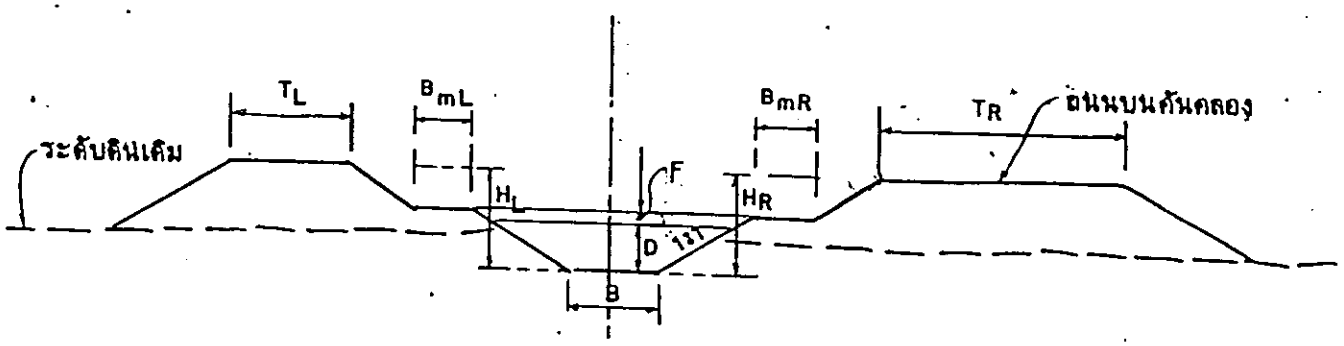
V = 0.189 ม./วินาที

Q = 0.125 ม.^{3}/วินาที

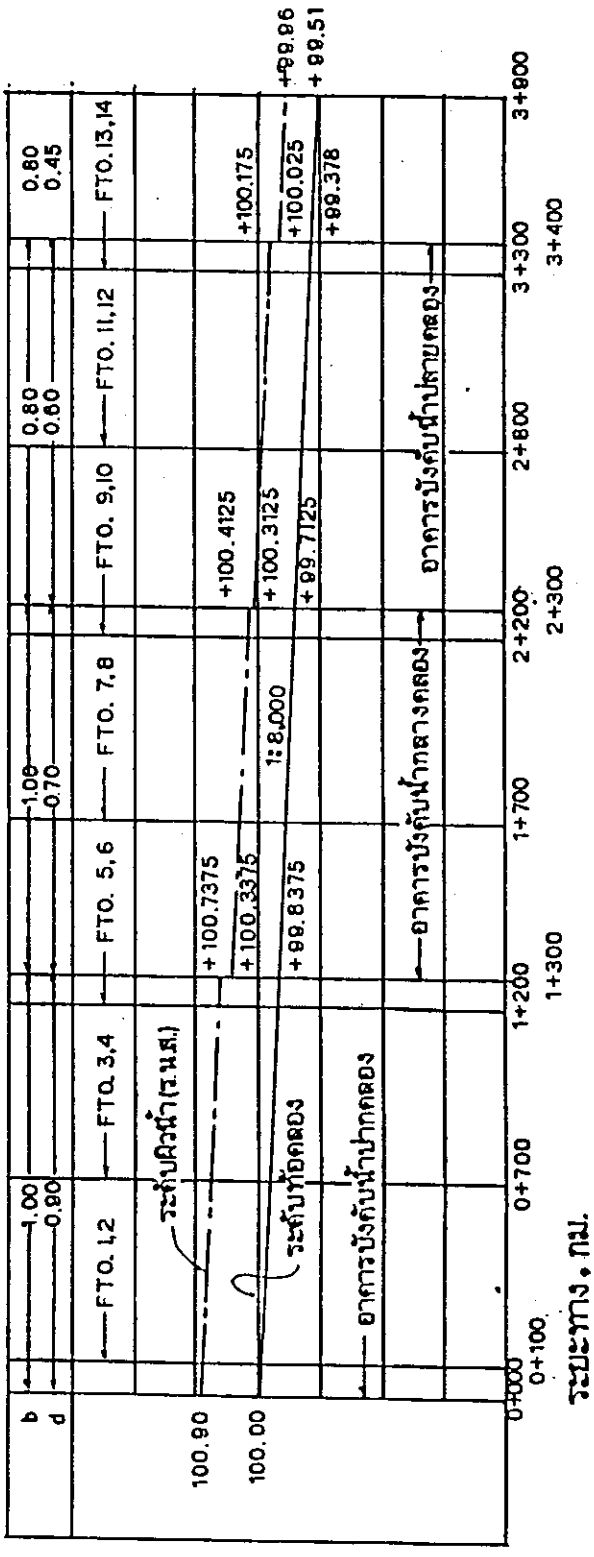
ตารางแสดงรายละเอียดและขนาดคลองส่งน้ำ (โดยปฏิบัติ)

กม. ถึง กม.		Q	A	V	R	n	S	B	D	F
0+000	1+300	0.594	2.115	0.281	0.498	0.025	1:8000	1.00	0.90	0.40
1+300	2+300	0.353	1.435	0.246	0.407	0.025	1:8000	1.00	0.70	0.35
2+300	3+400	0.224	1.02	0.22	0.344	0.025	1:8000	0.80	0.60	0.35
3+400	3+900	0.125	0.664	0.189	0.274	0.025	1:8000	0.80	0.45	0.35

กม.ถึง กม.		H_L	H_R	B_{mL}	B_{mR}	T_L	T_R	R_L	R_R	หมายเหตุ
0+000	1+300	1.80	1.80	2.00	2.00	2.00	6.00			คลองดิน
1+300	2+300	1.55	1.55	2.00	2.00	2.00	6.00			คลองดิน
2+300	3+400	1.45	1.45	2.00	2.00	2.00	6.00			คลองดิน
3+400	3+900	1.25	1.25	2.00	2.00	2.00	6.00			คลองดิน



รูปตัดตามยาว(PROFILE) คลองส่งน้ำ(โดยปฏิบัติ)



ภาคผนวกที่ 2 ตัวอย่างการใช้คอมพิวเตอร์ Spread sheet หาขนาดคลอง

ในการพิจารณาเลือกใช้ขนาดคลองส่งน้ำที่เหมาะสมกับ Slope ของพื้นดิน Side Slope และ Critical Velocity โดยปกติจะใช้วิธี trial & error ซึ่งอาจจะทำให้เสียเวลามาก การใช้คอมพิวเตอร์ Spread Sheet คำนวณและพิมพ์ผลการคำนวณออกมาก่อน แล้วนำมาพิจารณาเลือกจะทำได้สะดวกและรวดเร็วกว่า

จากตัวอย่างในหน้า 221 จะเห็นได้ว่าค่าที่เปลี่ยนแปลง (Variables)จะต้องนำมาใส่คือ ค่า Ss, n, S ความกว้างก้คลอง (B) แลความลึก (D) เริ่มต้น ความลึกใน sectionต่อไปจะเพิ่มทีละ 5 ซม. ส่วนค่า (C) ใน Kennedy's Critical Velocity นั้นเลือกใช้ตามชนิดของดิน ผลการคำนวณจะพิมพ์ออกมาดังตาราง

ตารางหน้า 221 และ 223 เป็นผลการคำนวณเปรียบเทียบเมื่อเปลี่ยนค่า Longitudinal Slope เป็น 1:6000 และ 1:8000 ตามลำดับ ส่วนค่าอื่นๆ คงใช้ค่าเดียวกัน

Canal Section (CS)

			C		m
		extremely fine soil =	0.365	very fine silt =	0.640
Sa =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 =	0.640
		coarse silt =	0.711	c =	0.365

B (m.)	D (m.)	A (m^2)	P (m.)	R (m.)	V m/sec	Q m^3/sec	Vo m/sec	V/Vo
0.40	0.25	0.1938	1.3014	0.1489	0.1452	0.0281	0.1503	0.9663
0.40	0.30	0.2550	1.4817	0.1721	0.1600	0.0408	0.1689	0.9470
0.40	0.35	0.3238	1.6619	0.1948	0.1737	0.0562	0.1864	0.9319
0.40	0.40	0.4000	1.8422	0.2171	0.1867	0.0747	0.2031	0.9197
0.40	0.45	0.4837	2.0225	0.2392	0.1992	0.0963	0.2190	0.9098
0.40	0.50	0.5750	2.2028	0.2610	0.2111	0.1214	0.2342	0.9013
0.60	0.30	0.3150	1.6817	0.1873	0.1692	0.0533	0.1689	1.0020
0.60	0.35	0.3937	1.8619	0.2115	0.1835	0.0722	0.1864	0.9843
0.60	0.40	0.4800	2.0422	0.2350	0.1969	0.0945	0.2031	0.9695
0.60	0.45	0.5737	2.2225	0.2582	0.2096	0.1202	0.2190	0.9571
0.60	0.50	0.6750	2.4028	0.2809	0.2217	0.1496	0.2342	0.9465
0.60	0.55	0.7837	2.5831	0.3034	0.2334	0.1829	0.2490	0.9373
0.60	0.60	0.9000	2.7633	0.3257	0.2446	0.2202	0.2632	0.9294
0.80	0.40	0.5600	2.2422	0.2498	0.2050	0.1148	0.2031	1.0095
0.80	0.45	0.6638	2.4225	0.2740	0.2180	0.1447	0.2190	0.9958
0.80	0.50	0.7750	2.6028	0.2978	0.2305	0.1786	0.2342	0.9839
0.80	0.55	0.8938	2.7831	0.3211	0.2423	0.2166	0.2490	0.9735
0.80	0.60	1.0200	2.9633	0.3442	0.2536	0.2589	0.2632	0.9643
0.80	0.65	1.1538	3.1436	0.3670	0.2649	0.3056	0.2770	0.9561
0.80	0.70	1.2950	3.3239	0.3896	0.2756	0.3570	0.2905	0.9488
1.00	0.50	0.8750	2.8028	0.3122	0.2378	0.2081	0.2342	1.0154
1.00	0.55	1.0038	2.9831	0.3365	0.2500	0.2509	0.2490	1.0042
1.00	0.60	1.1400	3.1633	0.3604	0.2617	0.2983	0.2632	0.9942
1.00	0.65	1.2838	3.3436	0.3839	0.2730	0.3504	0.2770	0.9853
1.00	0.70	1.4350	3.5239	0.4072	0.2839	0.4074	0.2905	0.9772
1.00	0.75	1.5938	3.7042	0.4303	0.2945	0.4693	0.3036	0.9699
1.00	0.80	1.7600	3.8844	0.4531	0.3048	0.5364	0.3164	0.9632
1.00	0.85	1.9338	4.0647	0.4757	0.3149	0.6089	0.3289	0.9572
1.00	0.90	2.1150	4.2450	0.4982	0.3247	0.6867	0.3412	0.9516
1.50	1.00	3.0000	5.1056	0.5876	0.3624	1.0872	0.3650	0.9929
1.50	1.05	3.2288	5.2858	0.6108	0.3719	1.2007	0.3766	0.9875
1.50	1.10	3.4650	5.4661	0.6339	0.3812	1.3208	0.3880	0.9825
1.50	1.15	3.7088	5.6464	0.6568	0.3903	1.4476	0.3992	0.9778
1.50	1.20	3.9600	5.8267	0.6796	0.3993	1.5812	0.4102	0.9734
1.50	1.25	4.2188	6.0069	0.7023	0.4081	1.7217	0.4210	0.9693
1.50	1.30	4.4850	6.1872	0.7249	0.4168	1.8693	0.4317	0.9654
1.50	1.35	4.7588	6.3675	0.7474	0.4254	2.0242	0.4423	0.9617
1.50	1.40	5.0400	6.5478	0.7697	0.4338	2.1863	0.4527	0.9582
2.00	1.00	3.5000	5.6056	0.6244	0.3774	1.3208	0.3650	1.0339
2.00	1.05	3.7538	5.7858	0.6488	0.3871	1.4531	0.3766	1.0280
2.00	1.10	4.0150	5.9661	0.6730	0.3967	1.5926	0.3880	1.0225
2.00	1.15	4.2838	6.1464	0.6970	0.4060	1.7393	0.3992	1.0172
2.00	1.20	4.5600	6.3267	0.7208	0.4152	1.8934	0.4102	1.0123
2.00	1.25	4.8438	6.5069	0.7444	0.4242	2.0549	0.4210	1.0076
2.00	1.30	5.1350	6.6872	0.7679	0.4331	2.2240	0.4317	1.0032
2.00	1.35	5.4338	6.8675	0.7912	0.4418	2.4008	0.4423	0.9990
2.00	1.40	5.7400	7.0478	0.8144	0.4504	2.5854	0.4527	0.9950
2.00	1.45	6.0538	7.2280	0.8375	0.4589	2.7780	0.4630	0.9911

Canal Section (CS)

			extremely fine soil =	0.365	very fine silt =	0.640
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:	5000	<=Data	sandy loamy silt =	0.658	m =	0.640
			coarse silt =	0.711	c =	0.365

B (m)	D (m.)	A (m ^ 2)	P (m.)	R (m.)	V m/sec	Q m ^ 3/sec	Vo m/sec	V/Vo
0.40	0.25	0.1938	1.3014	0.1489	0.1258	0.0244	0.1503	0.8369
0.40	0.30	0.2550	1.4817	0.1721	0.1385	0.0353	0.1689	0.8202
0.40	0.35	0.3238	1.6619	0.1948	0.1504	0.0487	0.1864	0.8070
0.40	0.40	0.4000	1.8422	0.2171	0.1617	0.0647	0.2031	0.7964
0.40	0.45	0.4837	2.0225	0.2392	0.1725	0.0834	0.2190	0.7878
0.40	0.50	0.5750	2.2028	0.2610	0.1828	0.1051	0.2342	0.7806
0.60	0.30	0.3150	1.6817	0.1873	0.1466	0.0462	0.1689	0.8678
0.60	0.35	0.3937	1.8619	0.2115	0.1589	0.0626	0.1864	0.8524
0.60	0.40	0.4800	2.0422	0.2350	0.1705	0.0818	0.2031	0.8396
0.60	0.45	0.5737	2.2225	0.2582	0.1815	0.1041	0.2190	0.8289
0.60	0.50	0.6750	2.4028	0.2809	0.1920	0.1296	0.2342	0.8197
0.60	0.55	0.7837	2.5831	0.3034	0.2021	0.1584	0.2490	0.8118
0.60	0.60	0.9000	2.7633	0.3257	0.2119	0.1907	0.2632	0.8049
0.80	0.40	0.5600	2.2422	0.2498	0.1775	0.0994	0.2031	0.8743
0.80	0.45	0.6638	2.4225	0.2740	0.1888	0.1253	0.2190	0.8624
0.80	0.50	0.7750	2.6028	0.2978	0.1996	0.1547	0.2342	0.8521
0.80	0.55	0.8938	2.7831	0.3211	0.2099	0.1876	0.2490	0.8430
0.80	0.60	1.0200	2.9633	0.3442	0.2198	0.2242	0.2632	0.8351
0.80	0.65	1.1538	3.1436	0.3670	0.2294	0.2647	0.2770	0.8280
0.80	0.70	1.2950	3.3239	0.3896	0.2387	0.3091	0.2905	0.8217
1.00	0.50	0.8750	2.8028	0.3122	0.2060	0.1802	0.2342	0.8794
1.00	0.55	1.0038	2.9831	0.3365	0.2165	0.2173	0.2490	0.8697
1.00	0.60	1.1400	3.1633	0.3604	0.2266	0.2584	0.2632	0.8610
1.00	0.65	1.2838	3.3436	0.3839	0.2364	0.3035	0.2770	0.8533
1.00	0.70	1.4350	3.5239	0.4072	0.2458	0.3528	0.2905	0.8463
1.00	0.75	1.5938	3.7042	0.4303	0.2550	0.4064	0.3038	0.8399
1.00	0.80	1.7600	3.8844	0.4531	0.2640	0.4646	0.3164	0.8342
1.00	0.85	1.9338	4.0647	0.4757	0.2727	0.5273	0.3289	0.8289
1.00	0.90	2.1150	4.2450	0.4982	0.2812	0.5947	0.3412	0.8241
1.50	1.00	3.0000	5.1056	0.5876	0.3138	0.9415	0.3650	0.8599
1.50	1.05	3.2288	5.2858	0.6108	0.3221	1.0399	0.3766	0.8552
1.50	1.10	3.4650	5.4661	0.6339	0.3301	1.1438	0.3880	0.8509
1.50	1.15	3.7088	5.6464	0.6568	0.3380	1.2536	0.3992	0.8468
1.50	1.20	3.9600	5.8267	0.6796	0.3458	1.3693	0.4102	0.8430
1.50	1.25	4.2188	6.0069	0.7023	0.3534	1.4910	0.4210	0.8394
1.50	1.30	4.4850	6.1872	0.7249	0.3610	1.6189	0.4317	0.8361
1.50	1.35	4.7588	6.3675	0.7474	0.3684	1.7530	0.4423	0.8329
1.50	1.40	5.0400	6.5478	0.7697	0.3757	1.8934	0.4527	0.8299
2.00	1.00	3.5000	5.6056	0.6244	0.3268	1.1438	0.3650	0.8953
2.00	1.05	3.7538	5.7858	0.6488	0.3353	1.2585	0.3766	0.8903
2.00	1.10	4.0150	5.9661	0.6730	0.3435	1.3793	0.3880	0.8855
2.00	1.15	4.2838	6.1464	0.6970	0.3516	1.5063	0.3992	0.8809
2.00	1.20	4.5600	6.3267	0.7208	0.3596	1.6397	0.4102	0.8767
2.00	1.25	4.8438	6.5069	0.7444	0.3674	1.7796	0.4210	0.8726
2.00	1.30	5.1350	6.6872	0.7679	0.3751	1.9260	0.4317	0.8688
2.00	1.35	5.4338	6.8675	0.7912	0.3826	2.0791	0.4423	0.8651
2.00	1.40	5.7400	7.0478	0.8144	0.3901	2.2390	0.4527	0.8617
2.00	1.45	6.0538	7.2280	0.8375	0.3974	2.4058	0.4630	0.8584