

เอกสารประกอบการสอน

ประมวลหลักปฏิบัติวิชาชีพในการออกแบบฝายและ
ประมวลหลักปฏิบัติวิชาชีพในการออกแบบอาคารสลายพลังงาน



รวบรวมและเรียบเรียง

โดย

รองศาสตราจารย์สันติ ทองพำนัก

ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

พ.ศ. 2552

รายงานประมวลหลักปฏิบัติวิชาชีพในการออกแบบฝาย

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	I
สารบัญรูป	II
สารบัญตาราง	III
➤ ความหมายของฝาย	1
➤ การแบ่งประเภทของฝาย	1
➤ อาคารประกอบของฝายท่อน้ำ	3
➤ การเลือกตำแหน่งที่ตั้งของฝาย	4
➤ การกำหนดระดับของสันฝาย	4
➤ การกำหนดความยาวของสันฝาย	5
➤ รูปร่างของฝายโอเก้(Ogee)	5
➤ การออกแบบโค้งสันฝายโอเก้ USBR	6
➤ การออกแบบโค้งสันฝายโอเก้ของ WES	14
➤ การวิเคราะห์การไหลซึมของน้ำและแรงดันใต้พื้นอาคาร	17
➤ การป้องกันการเกิด piping	19
➤ การออกแบบกำแพง Cuttoff	19
➤ การออกแบบพื้นด้านหน้าฝาย	20
➤ การออกแบบพื้นด้านท้ายฝาย	20
➤ การคำนวณหาความเร็วที่ตีนฝาย	21
➤ การวิเคราะห์รูปตัดตามยาวของการไหลของพิน้ำด้านเหนือน้ำ	22
➤ การวิเคราะห์ความลึกด้านท้ายน้ำ (Analysis of Tailwater Depth)	22
➤ การวิเคราะห์ความมั่นคงของตัวฝาย	23
➤ การป้องกันการกัดเซาะด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำ	26

สารบัญรูป

	หน้า	
รูปที่ 1	รูปร่างของฝายโอเกี(Ogee)	5
รูปที่ 2	ค่า K และค่า n สำหรับออกแบบ โค้งสันฝายโอเกีของ USBK	8
รูปที่ 3	ค่าแฟกเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ออกแบบ โค้งก่อนจุดยอดสันฝายโอเกีของ USBK	9
รูปที่ 4	รูปสันฝายโอเกีที่ออกแบบโดยใช้โค้งผสม	10
รูปที่ 5	สัมประสิทธิ์ของปริมาณการไหลข้ามสันฝายโอเกีที่มีผิวด้านหน้าอยู่ในแนวตั้ง	11
รูปที่ 6	สัมประสิทธิ์ของปริมาณการไหลเมื่อแตกต่างกันไปจาก H_0	11
รูปที่ 7	สัมประสิทธิ์ของปริมาณการไหลข้ามสันฝายในกรณีผิวด้านหน้ามีความลาดเอียง	12
รูปที่ 8	ผลกระทบของระดับพื้นด้านท้ายฝายที่มีต่อค่าของ C	12
รูปที่ 9	ผลกระทบของระดับน้ำด้านท้ายฝายที่มีต่อค่าของ C	13
รูปที่ 10	รูปร่างสันฝายโอเกี ตามมาตรฐาน WES	16
รูปที่ 11	ความสัมพันธ์ระหว่างเสดและค่าสัมประสิทธิ์การไหลของสันฝายโอเกีของWES	16
รูปที่ 12	การคำนวณหาความเร็วที่ตีนฝาย	21
รูปที่ 13	ขนาดใหญ่สุดของส่วนคละของหินเรียงด้านท้ายน้ำของอาคารสลายพลังงาน	28

สารบัญตาราง

	หน้า	
ตารางที่ 1	ค่า K_p ของค่อม่อกลาง	13
ตารางที่ 2	ค่า K_u ของกำแพงริมตลิ่ง	14
ตารางที่ 3	ค่า K และ ค่า n ของโค้งสันฝายโอเก้ของ WES	14
ตารางที่ 4	สัมประสิทธิ์การไหลซึมของ Bligh	18
ตารางที่ 5	Weighted Creep Ratio ของ Lane	18
ตารางที่ 6	ขนาดน้อยสุดของกำแพง Cutoff	20

รายงานประมวลหลักปฏิบัติวิชาชีพในการออกแบบอาคารสลายพลังงาน

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	V
สารบัญตาราง	VI
➤ อ่างสลายพลังงาน	31
➤ การแบ่งประเภทของอาคารสลายพลังงาน	31
➤ การวิเคราะห์ไฮดรอลิกจัม	32
➤ การวิเคราะห์ Rating curve ด้านทำynnน้ำ	36
➤ ข้อมูลที่ใช้ในการเลือกอาคารสลายพลังงาน	37
➤ ข้อพิจารณาในการออกแบบอ่างน้ำning	39
➤ การกำหนดระดับพื้นอ่างน้ำning	42
➤ อ่างน้ำningแบบที่ I หรืออ่างสลายพลังงานแบบที่ I	43
➤ อ่างน้ำningแบบที่ II หรืออ่างสลายพลังงานแบบที่ II	43
➤ อ่างน้ำningแบบที่ III หรืออาคารสลายพลังงานแบบที่ III	45
➤ อ่างน้ำningแบบที่ IV หรืออาคารสลายพลังงานแบบที่ IV	49
➤ อ่างน้ำningสำหรับค่าฟรูดนัมเบอร์น้อย	49
➤ อาคารสลายพลังงานแบบที่ VI	50
➤ อาคารสลายพลังงานแบบ Baffled Apron (อ่างน้ำningแบบ IX)	53

เอกสารอ้างอิง

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1 ไสโครลิกจัม	32
รูปที่ 2 การแบ่งประเภทของ ไสโครลิกจัม	34
รูปที่ 3 กรณีต่างๆ ของ โค้งความลึกด้านท้ายน้ำเทียบกับ โค้งความลึกหลังเกิดจัม	38
รูปที่ 4 กราฟสำหรับใช้หาระยะเพื่อล้นของอ่างน้ำนิ่ง	40
รูปที่ 5 ความยาวของ ไสโครลิกจัมบนพื้นราบ อ่างน้ำนิ่งแบบที่ I, II และ III	42
รูปที่ 6 อ่างน้ำนิ่งแบบที่ II หรืออาคารสลายพลังงานแบบที่ II	44
รูปที่ 7 อ่างน้ำนิ่งแบบที่ III หรืออาคารสลายพลังงานแบบที่ III	46
รูปที่ 8 อ่างน้ำนิ่งแบบที่ IV หรืออาคารสลายพลังงานแบบที่ IV	47
รูปที่ 9 อ่างน้ำนิ่งเพื่อเลือกสำหรับค่าฟรูดนัมเบอร์น้อย	48
รูปที่ 10 อาคารสลายพลังงานแบบที่ VI	52
รูปที่ 11 สัดส่วนพื้นฐานของอาคารสลายพลังงานแบบ Baffled Chute อ่างน้ำนิ่งแบบ IX)	54
รูปที่ 12 คำแนะนำของความสูงของ Baffle Pier และความเร็วที่ยอมให้	57
รูปที่ 13 ลักษณะการควบคุมที่ทางเข้า	58

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 ความยาวของไฮดรอลิกจุ่มบนพื้นราบ	36
ตารางที่ 2 ขนาดความกว้างที่แนะนำตามปริมาณการไหล	53

ประมวลหลักปฏิบัติวิชาชีพในการออกแบบฝาย

1. ความหมายของฝาย

ฝายก่อสร้างปิดกั้นลำน้ำธรรมชาติ เพื่อทำหน้าที่กั้นน้ำที่ไหลมาตามลำน้ำธรรมชาติให้มีระดับสูง จนสามารถไหลเข้าคลองส่งน้ำหรือคลองผันน้ำได้ตามปริมาณที่ต้องการในฤดูกาลชลประทาน ส่วนปริมาณน้ำที่เหลือจะไหลล้นข้ามสันฝายไป ฝายทุกแห่งต้องสร้างให้มีความสูงมากพอสำหรับกั้นน้ำให้ส่งเข้าคลองส่งน้ำได้ และจะต้องมีความยาวมากพอที่จะให้น้ำที่ไหลมาในช่วงหน้าฝน ไหลข้ามฝายไปได้อย่างปลอดภัย โดยไม่ทำให้เกิดน้ำท่วมตลิ่งสองฝั่งมากเกินไป ฉะนั้นฝายที่สร้างโดยทั่วไปจึงไม่สูงหรือไม่สร้างให้ระดับสันฝายสูงถึงระดับตลิ่งของลำน้ำ ฝายบางแห่งอาจต้องมีระดับสันฝายสูงเพื่อกั้นน้ำซึ่งไหลมาน้อยในบางฤดูให้สูงถึงระดับที่จะไหลเข้าคลองส่งน้ำได้เต็มที่ อาจจะมีการออกแบบฝายเป็นชนิดถอดหรือลดระดับสันฝายได้ หรือสามารถล้มพับลงนอนราบได้เอง

2. การแบ่งประเภทของฝาย

ถ้าพิจารณาจากวัสดุที่ใช้สร้างและอายุการใช้งาน สามารถแบ่งฝายได้ 4 ประเภท คือ

ฝายเฉพาะฤดู เป็นฝายที่สร้างขึ้นในลำน้ำขนาดเล็ก โดยใช้วัสดุที่มีราคาถูกและหาได้ง่ายในท้องถิ่นเป็นส่วนใหญ่ ได้แก่ กิ่งไม้ ใบไม้ ไม้ไผ่ เสาไม้ ทราชและกรวดเป็นต้น เมื่อถึงเวลาน้ำใหญ่หลากมาฝายจะแตกหายไปหมด ทำให้ต้องสร้างขึ้นใหม่ทุกปี

ฝายชั่วคราว เป็นฝายขนาดเล็กและมีลักษณะคล้ายกับฝายเฉพาะฤดู แต่มีความมั่นคงแข็งแรงและมีอายุการใช้งานนานกว่า เพราะสร้างให้แข็งแรงขึ้น และวัสดุที่ใช้ก็คงทนถาวรกว่า ถ้าหมั่นคอยดูแลซ่อมแซมวัสดุที่ชำรุดเสียหาย และที่หลุดลอยตามน้ำไปให้อยู่ในสภาพดีเหมือนเดิม ฝายประเภทนี้จะมีอายุการใช้งานได้นานหลายปี

ฝายกึ่งถาวร ฝายประเภทนี้จะมีอายุการใช้งานนานกว่าฝายชั่วคราว ถ้าคอยดูแลและบำรุงรักษาอยู่เสมออาจมีอายุการใช้งานได้ถึง 20 ปี เพราะใช้วัสดุที่มีขนาดใหญ่หรือแข็งแรงมากกว่า เช่น เสาไม้ที่มีขนาดใหญ่ตั้งแต่ 0.20 เมตรขึ้นไป และทำการก่อสร้างให้มีความมั่นคงมากขึ้น

โดยทั่วไป ฝายเฉพาะฤดู ฝายชั่วคราว และฝายกึ่งถาวร จะไม่มีการป้องกันอิทธิพลของน้ำที่ไหลผ่านฝาย ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้ฝายพังทลายได้ในที่สุด ดังต่อไปนี้

1. น้ำไหลซึมลอดใต้ตัวฝายและพื้นฝาย น้ำอาจจะกัดและพาเม็ดดินใต้ฝายหลุดออกไปได้ ในที่สุดจะเกิดโพรงขึ้นใต้ฝาย และฝายจะทรุดแล้วพังทลายไป
2. น้ำไหลล้นข้ามฝาย เมื่อตกลงสู่พื้นที่ท้องน้ำ (ด้านท้ายน้ำ) ที่ไม่มีการป้องกัน น้ำจะกัดเซาะท้องน้ำเป็นหลุมแล้วลุกลามเข้ามาใต้พื้นฝาย ทำให้ฝายทรุดตัวและพังทลายลงในที่สุด

3. น้ำไหลทะลุผ่านตัวฝายที่ไม่ทึบน้ำ อาจจะพัฒนาเอาวัสดุที่ใช้ทำตัวฝายหลุดออกมาได้ ฝายก็จะเหลือแต่โครง ทดน้ำไม่ได้
4. น้ำไหลซึมเข้าตลิ่ง อ้อมผ่านปีกฝายทั้ง 2 ข้าง แล้วไปทะลุออกที่ลาดตลิ่งด้านท้ายของ ฝาย น้ำจะกัดและพาเอาเม็ดดินหลุดออกไปได้เช่นเดียวกับน้ำไหลซึมลอดใต้ตัวฝาย จนกระทั่งปีกฝายขาดเกิดเป็นทางน้ำไหลอ้อมฝายไป ฝายจะทดน้ำไม่ได้ หรือพังทลาย ไปในที่สุด

ฝายถาวร เป็นฝายที่สร้างด้วยวัสดุต่าง ๆ ที่มีความแข็งแรง เช่น คอนกรีตล้วน หินก่อ คอนกรีตเสริมเหล็ก เป็นต้น มีการคำนวณออกแบบถูกต้องตามหลักวิชาการ จึงมั่นคงต่อแรงดันของน้ำ และทนทานต่อการกัดเซาะของน้ำได้ และการก่อสร้างก็จะทำถูกต้องตามหลักวิศวกรรม ฝายถาวรจึงมีอายุการใช้งานยืนยาว ถ้าได้รับการบูรณะซ่อมแซมอยู่เสมอจะใช้งานได้ตลอดไป

รูปร่างของฝายถาวรที่มีใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน พอสรุปได้ดังต่อไปนี้

1. ฝายคอนกรีตตันสันมนแบบโอเก้ (Ogee) เป็นฝายที่มีผิวด้านท้ายน้ำต่อจากจุดยอดสัน ฝาย โค้งเป็นรูปตัว S โดยทั่วไปมีผิวด้านเหนือน้ำอยู่ในแนวตั้ง ฝายแบบนี้มักสร้างในลำน้ำที่มีท้องน้ำเป็นหิน และภูมิประเทศเป็นหุบเขา ซึ่งยอมให้น้ำท่วมด้านเหนือน้ำได้ ในฤดูน้ำนอง ในกรณีที่จะสร้างฝายแบบนี้บนพื้นท้องน้ำที่เป็นทรายหรือกรวด ก็จะต้องมีการยึดความยาวของพื้นฝาย
2. ฝายคอนกรีตกลางสันมนแบบโอเก้ที่มีพื้นผิวบางและมีตอม่อค้ำยัน เป็นฝายที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยปกติผิวด้านเหนือน้ำมีความลาดเอียง ผิวด้านท้าย ต่อจากจุดยอดสันฝาย โค้งเป็นรูปตัว S แบบโอเก้ ต่อจากส่วนนี้เป็นผิวที่มีความลาดเอียงถึงพื้นด้านท้าย ผิวด้านทุกด้านจะสร้างด้วยคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีความหนาไม่มาก ภายในตัวฝายกลวง แต่จะมีกำแพงแบ่งเป็นระยะ ๆ เพื่อทำหน้าที่ค้ำยันผิวด้านเหนือน้ำซึ่งรับแรงดันจากน้ำ ฝายแบบนี้จะมีน้ำหนักเบากว่าฝายคอนกรีตตันแบบโอเก้ ดังนั้นจึงเหมาะสมที่จะใช้ก่อสร้างบนฐานรากที่ไม่แข็งแรงมากนัก ฝายแบบนี้มักจะ ออกแบบให้สูงไม่น้อยกว่า 6.00 เมตร
3. ฝายแบบคาคิ้วด้วยคอนกรีตทับบนดินถมอัดแน่น ฝายแบบนี้เหมาะสมกับฝายสูงไม่เกิน 2.0 เมตร หากฝายก่อสร้างในช่องลัด (Cutoff Channel) จะยิ่งสะดวกยิ่งขึ้นเพราะ ขุดแต่งดินให้เป็นรูปฝายก่อน แล้วจึงทำคอนกรีตเสริมหรืออาจจะเป็นหินก่อ คาคิ้ว บนดินทั้งด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำได้สันฝายมักจะมีแนวเข็มพืดหรือกำแพง Cutoff เพื่อสกัดการไหลซึมของน้ำ ปลายพื้นคอนกรีตด้านท้ายน้ำ จะต้องมีการจัดทำ filter และระบายน้ำใต้ดินเพื่อลดแรงดันของน้ำใต้พื้นฝาย

4. ฝายหิน เหมาะสำหรับในบริเวณที่หาหินได้ง่าย โดยทั่วไปจะเรียงหินทับบนชั้นของ filter เพื่อป้องกันกระแสน้ำกัดเซาะดินชั้นล่าง และได้สันฝายมีแนวเข้มน้ำหรือกำแพง Cutoff เพื่อป้องกันน้ำรั่วซึมผ่านฝาย โดยทั่วไปผิวฝายด้านท้ายน้ำจะมีความลาดเอียงแบนกว่า และหินมักจะใช้ก้อนใหญ่กว่า และเรียงยาวกว่าทางด้านเหนือน้ำ ฝายประเภทนี้ไม่ควรสร้างให้สูงมากกว่า 2.0 เมตร และปริมาณน้ำผ่านฝายไม่ควรมากกว่า 3.00 ลบ.เมตรต่อวินาที ต่อความยาวของสันฝาย 1.00 เมตร ทั้งนี้เกี่ยวกับความมั่นคงของฝายประเภทนี้ เพื่อเป็นการยึดทางเดินของน้ำใต้พื้นฝายนอกเหนือจากเข้มน้ำหรือกำแพง Cutoff แล้ว อาจเพิ่มชั้นดินเหนียว (Impervious Blanket) ปูขึ้นไปด้านเหนือน้ำแล้วปูทับด้วยชั้น Filter ซึ่งทำด้วยกรวดทรายและปูทับชั้นบนสุดด้วยหิน ชั้นดินเหนียวนี้จะต้องบดอัดให้ดีให้แน่นและมีความหนาเพียงพอเพื่อป้องกันการแตกร้า ไม่ควรสร้างฝายประเภทนี้ในบริเวณที่ท้องน้ำถูกกัดเซาะได้ง่าย เช่น ดินตะกอนทรายหรือดินทราย ท้องน้ำที่เหมาะสมที่สุดควรเป็นหินหรือดินดาน

3. อาคารประกอบของฝายทดน้ำ

นอกจากฝายซึ่งสร้างขึ้นสำหรับทดน้ำให้มีระดับสูงตามที่ต้องการแล้วที่บริเวณต้นน้ำของโครงการชลประทาน หรือที่บริเวณใกล้เคียงกับฝายยังจะต้องสร้างอาคารซึ่งเป็นอาคารประกอบอื่น ๆ อีกตามความจำเป็น เพื่อให้การทดน้ำและการส่งน้ำเป็นไปอย่างสมบูรณ์ อาคารประกอบที่สำคัญมีดังต่อไปนี้

ประตูหรือท่อปากคลองส่งน้ำ ที่บริเวณปากคลองส่งน้ำซึ่งรับน้ำจากแหล่งน้ำหน้าฝายทุกแห่งจะต้องมีอาคารสำหรับควบคุมปริมาณน้ำที่จะไหลเข้าคลองส่งน้ำตามที่ต้องการ คลองส่งน้ำที่มีขนาดใหญ่อาจจะสร้างเป็นอาคารที่มีรูปร่างคล้ายกับเขื่อนระบายน้ำ แต่มีขนาดเล็กกว่า ส่วนคลองส่งน้ำที่มีขนาดเล็กอาจจะสร้างเป็นอาคารแบบท่อ และมีบานประตูติดตั้งไว้ที่ปากทางเข้าท่อสำหรับใช้ควบคุมปริมาณน้ำด้วยเช่นกัน

ประตูระบายทราย ปกติแล้วมักจะสร้างควบคู่ไปกับฝายโดยอาจจะทำเป็นช่องระบายน้ำเล็กลงไปจนถึงระดับท้องน้ำธรรมชาติสำหรับระบายตะกอนทรายที่บริเวณหน้าประตูหรือท่อปากคลองส่งน้ำ และบริเวณด้านหน้าของฝายบางส่วนทิ้งไปทางด้านท้ายฝาย เพื่อป้องกันไม่ให้ตะกอนไหลเข้าไปตกรวมในคลองส่งน้ำจนสิ้นเงินช่องระบายทรายจะต้องมีแผงไม้อัดน้ำหรือประตูไว้สำหรับเปิดและปิดช่องดังกล่าวนี้

บันไดปลา เป็นร่องน้ำขนาดเล็กซึ่งสร้างไว้ที่บริเวณปลายฝายด้านใดด้านหนึ่ง มีลักษณะเป็นบ่อหรือแอ่งขังน้ำซึ่งมีความลาดเอียงและต่อเนื่องเป็นขั้นบันได โดยปากทางเข้าบ่อหรือแอ่งอาจจะลดระดับให้ต่ำกว่าระดับน้ำที่ต้องการทอดเล็กน้อย เมื่อน้ำถูกทอดจนถึงระดับที่ต้องการแล้วจะมีน้ำไหลลงไปตามร่องน้ำ ซึ่งจะมีน้ำขังอยู่เป็นแอ่งและไหลตกเป็นขั้นบันไดเตี้ย ๆ ทำให้

ปลาสามารถว่ายน้ำจากทางด้านฝายใต้บันไดที่มีน้ำไหลตลอดเวลาที่ขึ้นไปทางด้านหน้าฝายได้ ทางเข้าของแต่ละบ่อหรือแอ่งตามแนวบันได อาจจะเป็นรูใต้ฝายน้ำโดยเรียงสลับตำแหน่งกันไปก็ได้

ประตูเรือแพสัญจร ในลำน้ำที่ใช้เป็นทางคมนาคมด้วยนั้น จำเป็นที่จะต้องสร้างอาคารสำหรับให้เรือและแพผ่านไปมาได้ โดยสร้างไว้ทางด้านใดด้านหนึ่งติดกับฝาย หรือบริเวณที่เหมาะสมใกล้ ๆ กับตัวฝาย

4. การเลือกตำแหน่งที่ตั้งของฝาย

การเลือกตำแหน่งที่ตั้งฝายน้ำล้น โดยสรุปมีรายละเอียดดังนี้

1. เป็นบริเวณกว้างพอที่จะสร้างประตูระบายปากคลองส่งน้ำสายใหญ่ให้แนวศูนย์กลางของประตูตั้งฉากกับแนวศูนย์กลางของฝายเพราะจะช่วยป้องกันหรือลดปริมาณกรวดทรายในลำน้ำที่จะหลุดเข้าไปในคลองส่งน้ำลงได้มาก
2. เป็นบริเวณที่สามารถขุดคลองส่งน้ำสายใหญ่ออกจากหน้าฝายได้สะดวกโดยไม่ต้องสร้างอาคารพิเศษ เช่น รางน้ำ และอุโมงค์
3. ดิ่งของลำน้ำควรมีความมั่นคงดี ไม่ถูกน้ำกัดเซาะได้ง่าย
4. ฝายน้ำล้นควรก่อสร้างในช่วงที่ลำน้ำมีแนวตรง โดยยาวไปทางด้านเหนือน้ำ และท้ายน้ำจากตัวฝาย ด้านละไม่น้อยกว่า 50 เมตร
5. ควรก่อสร้างบริเวณที่เป็นดินซุด และเป็นดินที่ป้องกันการรั่วซึมได้ดี ไม่ควรก่อสร้างบนดินถมสูง ๆ เพราะอาจจะทำให้คอนกรีตที่เป็นโครงสร้างฝายเกิดรอยแตกแยกหรือเสียหายได้เนื่องจากการทรุดตัวไม่เท่ากันของดินถมใต้ฐานฝาย
6. เป็นบริเวณที่สามารถสร้างฝายได้โดยไม่ทำให้น้ำท่วมพื้นที่สองฟากตลิ่งด้านเหนือน้ำของฝาย จนสูงมากเกินไป หรือเมื่อสร้างฝายไปแล้วไม่ทำให้น้ำเปลี่ยนทางเดินได้โดยง่าย

5. การกำหนดระดับของสันฝาย

1. สันฝายจะต้องมีระดับสูงพอที่จะทอน้ำในฤดูน้ำน้อยให้ไหลเข้าสู่คลองส่งน้ำได้ตามปริมาณความต้องการของพื้นที่เพาะปลูก
2. โดยทั่วไป จะต้องไม่สร้างให้ระดับสันฝายสูงเสมอระดับตลิ่งลำน้ำ เพื่อไม่ให้เกิดน้ำท่วมพื้นที่ด้านเหนือน้ำตามสองฝั่งของตลิ่งมากเกินไปในเวลาที่มีปริมาณน้ำมากไหลหลากมา
3. ตามปกติจะกำหนดระดับสันฝายให้สูงกว่าระดับธรณีของประตูระบายปากคลองส่งน้ำสายใหญ่ ไม่น้อยกว่า 1.00 เมตร

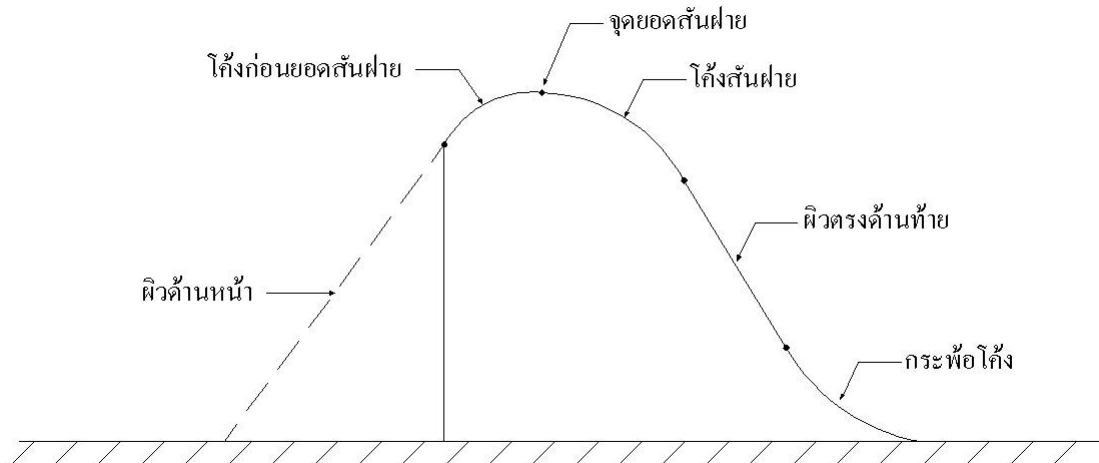
- ระดับน้ำเหนือสันฝายจะกำหนดให้มีระดับสูงพอที่จะให้น้ำไหลเข้าคลองได้เต็มที่ โดยปกติจะต้องอยู่สูงกว่าระดับน้ำสูงสุดในคลองส่งน้ำสายใหญ่บริเวณประตูระบาย ประมาณ 0.50 เมตร

6. การกำหนดความยาวของสันฝาย

ความยาวของสันฝายจะสัมพันธ์กับความลึกของน้ำเหนือสันฝาย ถ้าสันฝายยาว ความลึกของน้ำเหนือฝายจะมีค่าน้อย แต่ถ้าฝายมีความยาวของสันที่สั้น ความลึกดังกล่าวจะมีค่ามาก ซึ่งอาจจะทำให้น้ำหน้าฝายท่วมพื้นที่มากขึ้น โดยสรุปไม่มีเกณฑ์ตายตัวในการกำหนดความยาวของสันฝาย โดยปกติการกำหนดความยาวของสันฝาย จะไม่น้อยกว่าความกว้างของลำน้ำบริเวณที่จะสร้างฝายนั้น

7. รูปร่างของฝายโอเก้ (Ogee)

รูปร่างฝายโอเก้เลียนแบบมาจากผิวด้านล่าง (Lower Nappe) ของโค้งน้ำเมื่อไหลข้ามฝายสันคม รูปร่างของฝายแบบนี้จะประกอบไปด้วย (ดูรูปที่ 1)



รูปที่ 1 รูปร่างของฝายโอเก้ (Ogee)

- ผิวด้านหน้าฝาย ซึ่งจะออกแบบได้ 2 ลักษณะ คือ อยู่ในแนวตั้ง (0:3 คือระยะราบ : ระยะตั้ง) หรือมีผิวด้านเอียงโดยความลาดเทที่นิยมใช้คือ 1:3 , 2:3 หรือ 3:3
- โค้งก่อนยอดสันฝายเป็นโค้งที่ต่อเชื่อมระหว่างส่วนที่ 1 และจุดยอดของสันฝาย โค้งนี้เกิดจากโค้ง 2 โค้ง ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของเส้นรอบวงกลมที่มีรัศมี R_1 และ R_2
- โค้งสันฝายส่วนที่เริ่มจากจุดยอดสันฝายถึงจุดเริ่มต้นของผิวด้านท้ายฝาย โค้งสันฝายนี้จะปฏิบัติตามสมการที่ 3

4. ผิดตรงด้านท้ายฝาย ส่วนนี้จะเป็นผิวด้านท้ายที่เอียงเป็นระนาบตรงเรียบ ความลาดที่ควรจะใช้อยู่ระหว่าง (ระยะตั้ง : ระยะราบ) 1:0.6 ถึง 1:0.8 อย่างไรก็ตามสามารถใช้ค่าความลาดเอียง 1:1 ได้

5. กระทบโค้งดินฝาย เป็นส่วนที่เชื่อมต่อระหว่างผิวด้านท้ายฝายและพื้นของอาคารสลายพลังงาน เพื่อช่วยให้การไหลจากฝายเข้าสู่อาคารสลายพลังงาน (หรืออ่างน้ำนิ่ง) เกิดการปั่นป่วนน้อยที่สุด รัศมีของกระทบนี้หาได้จากสมการ ดังต่อไปนี้

$$R = 0.305 \times 10^k \text{ ----- (1)}$$

$$K = \frac{V + 6.4H_0 + 4.88}{3.6H_0 + 19.5} \text{ ----- (2)}$$

เมื่อ V = ความเร็วที่ตีน (Toe) ฝาย, เมตรต่อวินาที

H_d = ความลึกของน้ำเหนือสันฝาย (เป็นเมตร) เมื่อปริมาณการไหลออกแบบไหลข้ามฝาย

นอกจากนี้ USBR ได้แนะนำให้ใช้ R มีค่าไม่น้อยกว่า 5 เท่าของความลึกการไหลที่ตีนฝาย

8. การออกแบบโค้งสันฝายโอเกีของ USBR

United States Bureau of Reclamation (USBR) ได้ทำการศึกษารูปร่างของสันฝายและได้เสนอสมการที่ใช้สำหรับหาโค้งโอเกี(Ogee) ไว้ดังนี้

$$\frac{Y}{H_0} = -K \left[\frac{X}{H_0} \right]^n \text{ ----- (3)}$$

เมื่อ X และ Y = Coordinate ของสันฝายทางด้านท้ายน้ำของจุดยอดของสัน (Apex) โดยจุดยอดเป็นจุด Origin

H₀ = ความลึกของน้ำเหนือสันฝายขณะเมื่อปริมาณการไหลออกแบบไหลข้ามสันฝาย หรือเรียกเสดออกแบบ (Design Head) ซึ่งรวมทั้งเสดความเร็ว (V_a² / 2g หรือ ha) ของน้ำที่ไหลเข้าสู่ฝาย

K และ n = ค่าคงที่ซึ่งขึ้นอยู่กับความลาดของผิวด้านหน้าฝาย และเสด (h_a) ที่เกิดจากความเร็วน้ำที่ไหลเข้าสู่ฝาย และสามารถหาค่าคงที่ได้จากรูปที่ 2

รูปที่ 3 ใช้สำหรับหาค่า R_1 , R_2 , X_c และ Y_c ของโค้งก่อนยอดสันฝาย กรณีที่ความสูงของสันฝายจากพื้นด้านหน้า (P) มีค่าเท่ากับหรือมากกว่าครึ่งหนึ่งของเสดออกแบบ (H_0) สามารถออกแบบโค้งสันฝายได้ตาม**รูปที่ 4**

การคำนวณปริมาณน้ำผ่านฝาย

ปริมาณน้ำไหลข้ามฝายสันมนแบบโอก็สามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$Q = 0.5522CL_e H_e^{3/2} \text{ ----- (4)}$$

เมื่อ Q = ปริมาณน้ำที่ไหลข้ามสันฝาย, m^3/s

C = สัมประสิทธิ์ของปริมาณการไหล

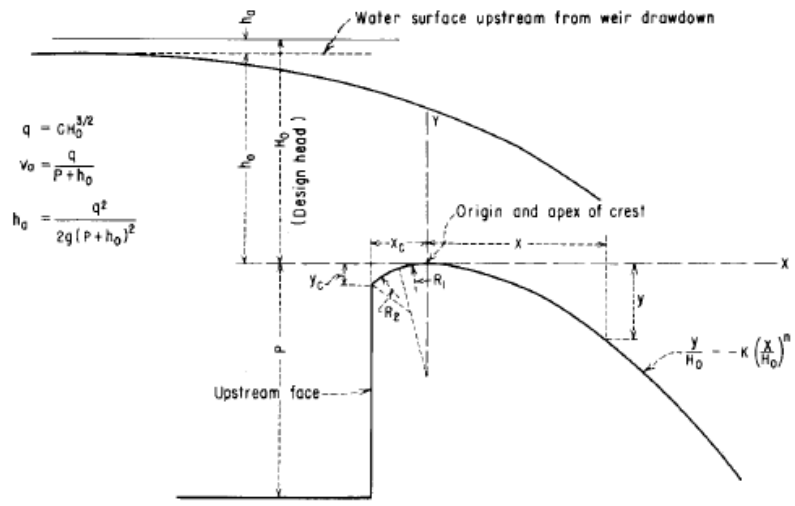
L_e = ความยาวประสิทธิผลของสันฝาย (Effective Length), เมตร

H_e = เสดรวมทั้งหมดเหนือสันฝายซึ่งรวมค่าเสดความเร็วด้วย, เมตร

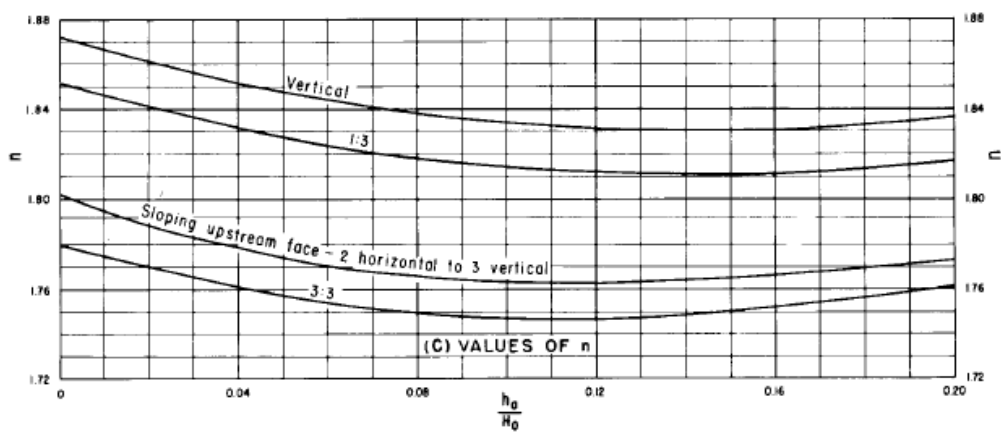
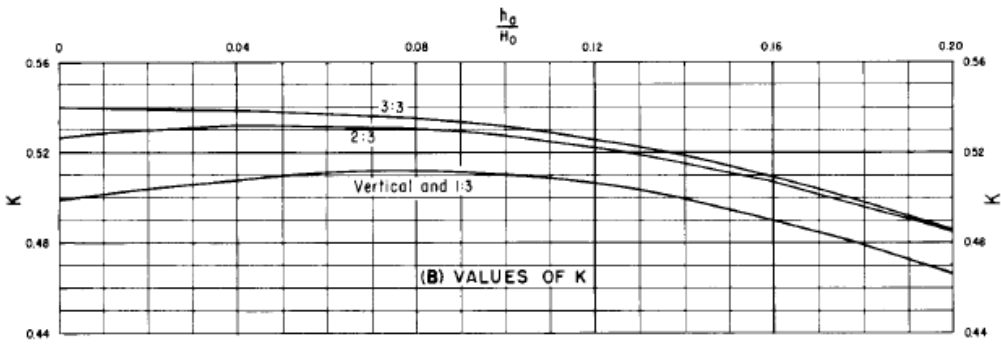
การหาค่าสัมประสิทธิ์การไหล

ค่า C ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่อไปนี้

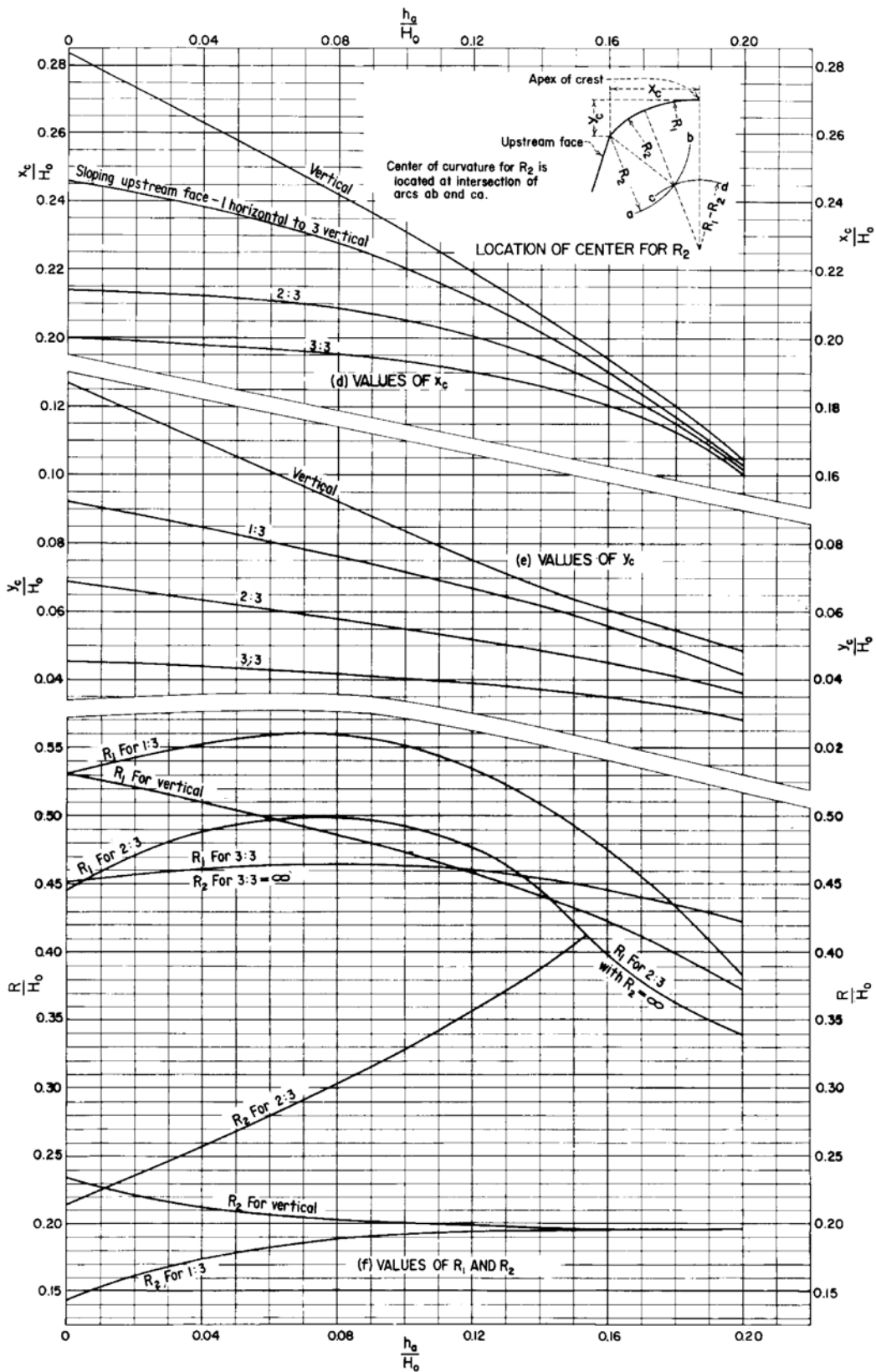
1. เสดทั้งหมดเหนือสันฝาย ทั้งในกรณีที่ปริมาณการไหลออกแบบสูงสุดไหลผ่าน และกรณีปริมาณการไหลค่าอื่นไหลผ่าน
2. ความลาดเทของผิวด้านหน้าของฝาย
3. ระดับของพื้น Basin ด้านท้ายฝาย
4. ระดับน้ำท้ายฝาย



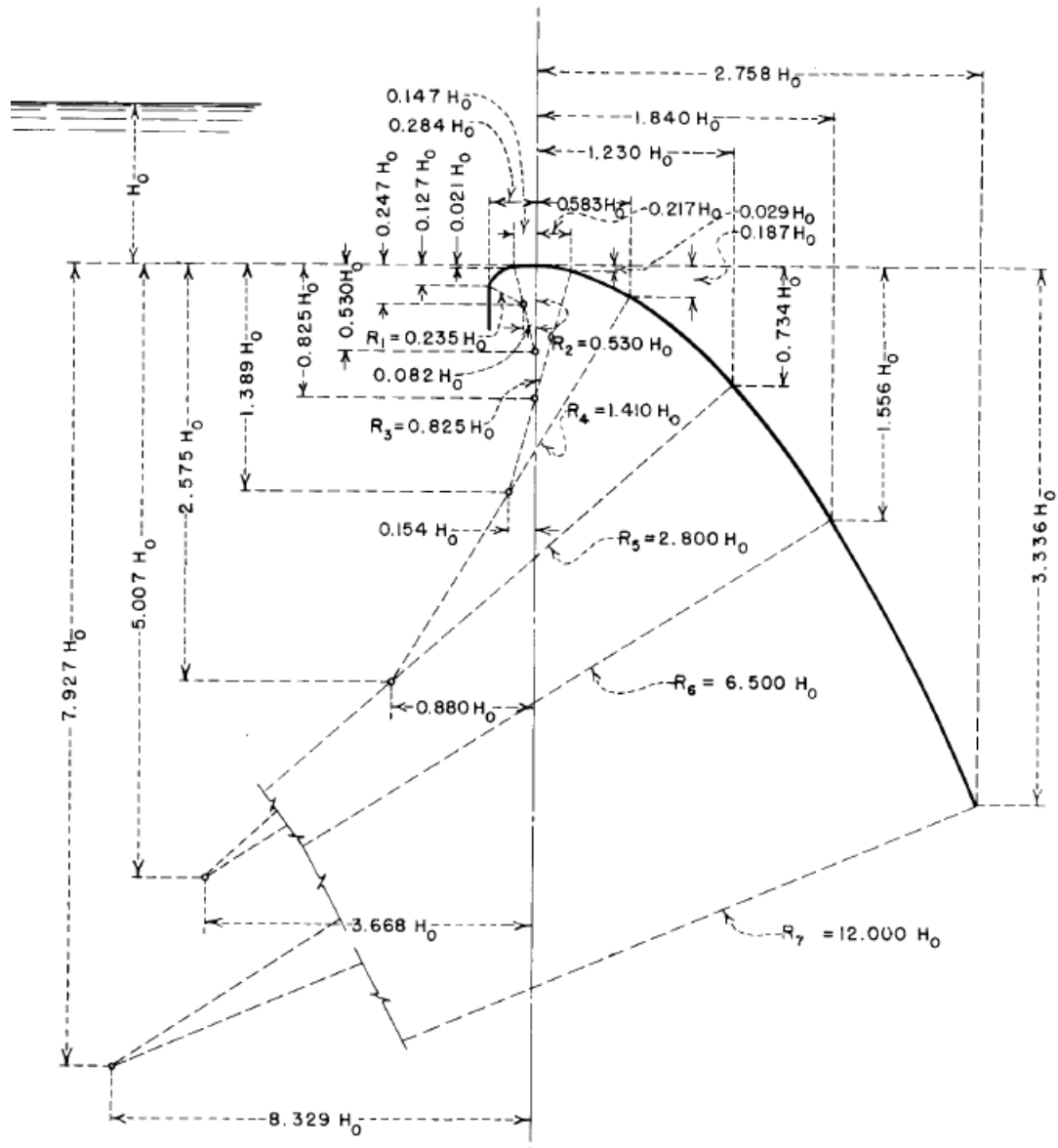
(A) ELEMENTS OF NAPPE-SHAPED CREST PROFILES



รูปที่ 2 ค่า K และค่า n สำหรับออกแบบโค้งสันฝายโอทิกของUSBR

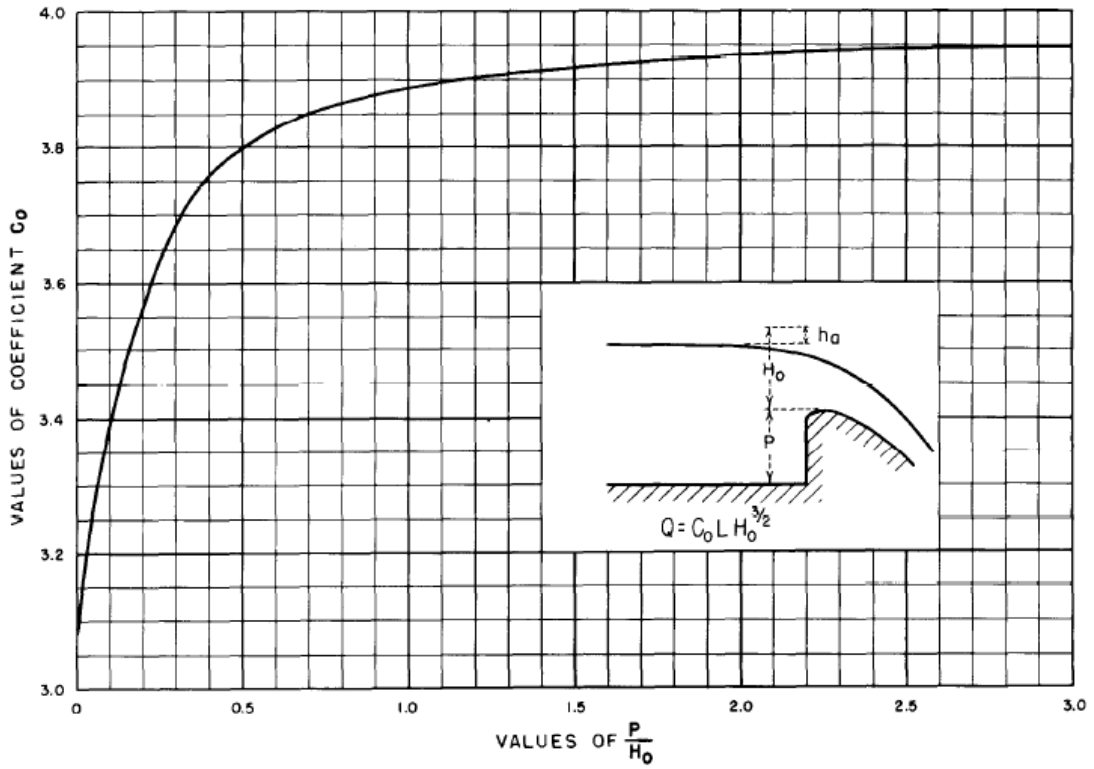


รูปที่ 3 ค่าแฟกเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ออกแบบโค้งก่อนจุดยอดสันฝายโอกีของ USBR

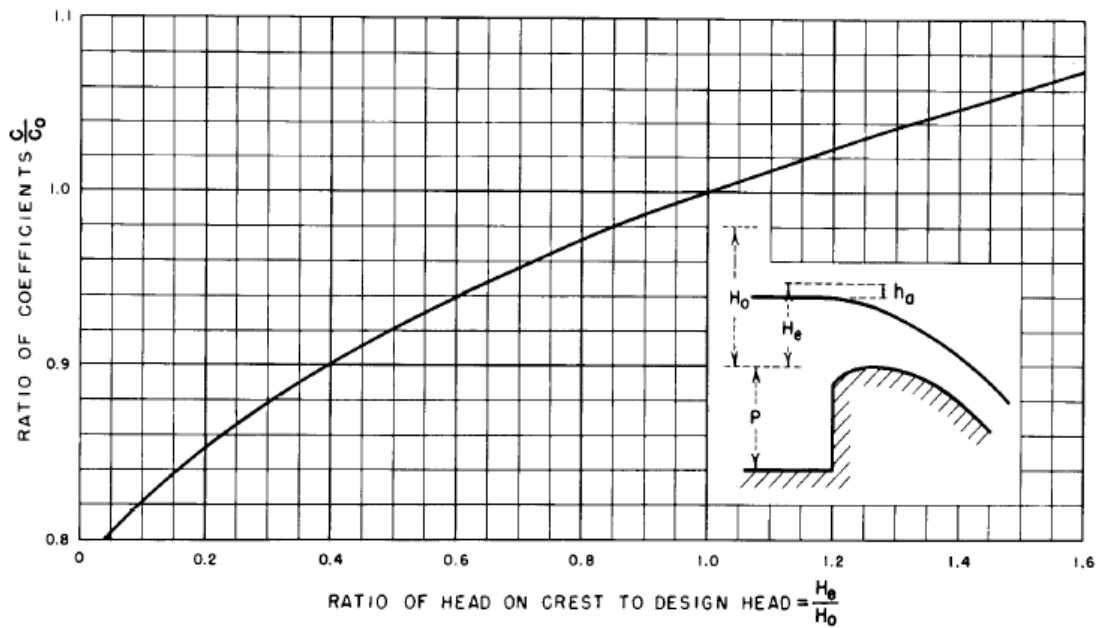


รูปที่ 4 รูปสันฝายโอเกีที่ออกแบบโดยใช้โค้งผสม

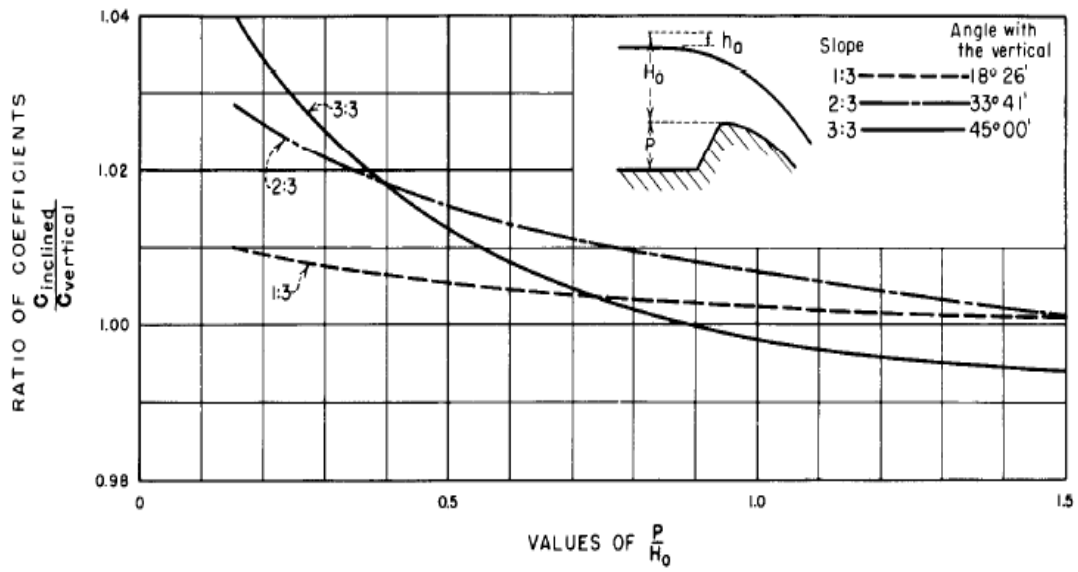
ฉะนั้นค่า C ของฝายสันมนหาได้จากรูป 5 และปรับแก้ค่า C เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของเสด ความลาดเอียงของฝิวด้านหน้า ระดับพื้น และระดับน้ำด้านท้ายฝายและสามารถหาได้จากรูปที่ 6 ถึง รูปที่ 9



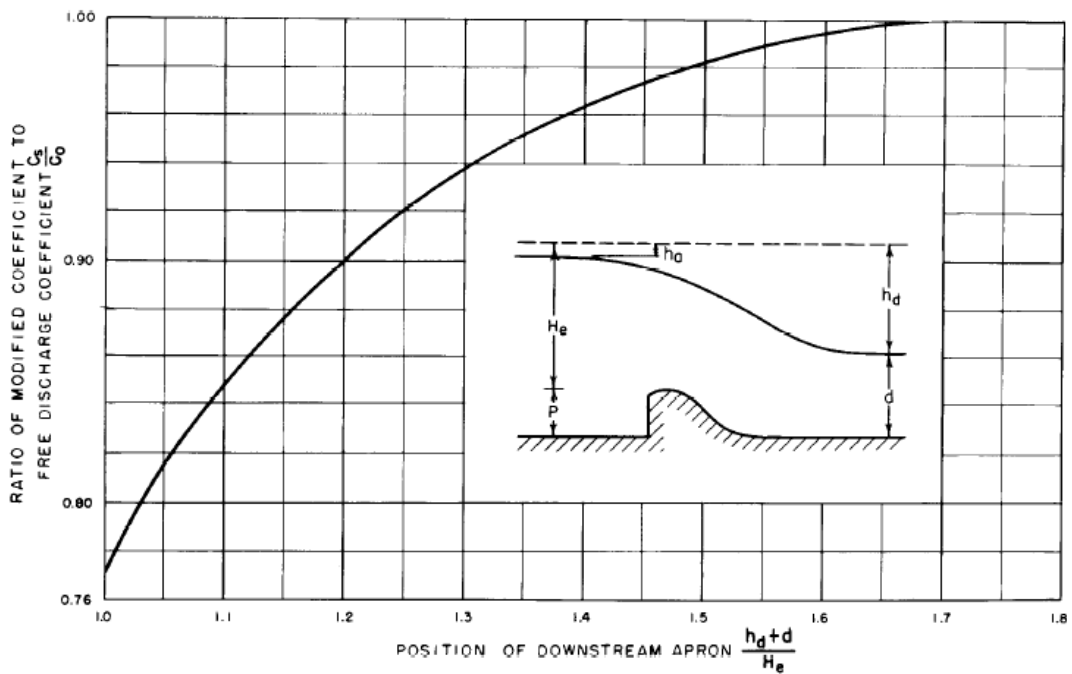
รูปที่ 5 สัมประสิทธิ์ของปริมาณการไหลข้ามสันฝายโอเก้ที่มีผิวด้านหน้าอยู่ในแนวตั้ง



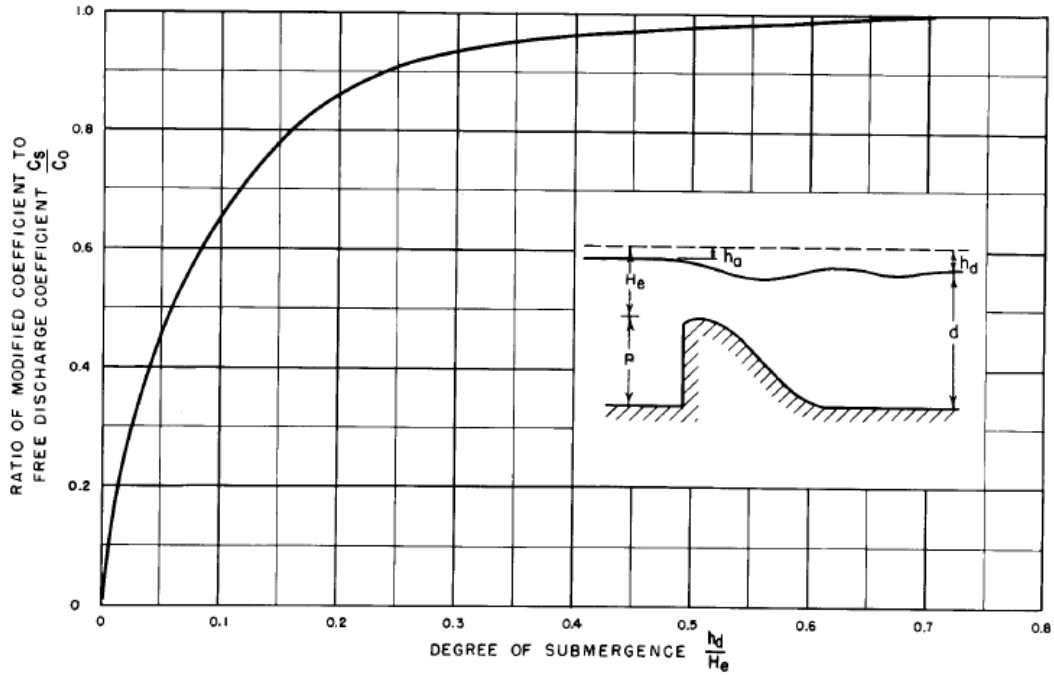
รูปที่ 6 สัมประสิทธิ์ของปริมาณการไหลเมื่อเฮดต่างไปจาก H_0



รูปที่ 7 สัมประสิทธิ์ของปริมาณการไหลข้ามสันฝายในกรณีผิวด้านหน้ามีความลาดเอียง



รูปที่ 8 ผลกระทบของระดับพื้นด้านท้ายฝายที่มีต่อค่าของ C



รูปที่ 9 ผลกระทบของระดับน้ำด้านท้ายฝายที่มีต่อค่าของ C

การหาค่าความยาวประสิทธิผลของสันฝาย

ความยาวประสิทธิผลของสันฝาย (L_e) สามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$L_e = \frac{L' - 2(N \cdot K_p + K_a)H_e}{\dots} \quad (5)$$

- เมื่อ
- L' = ความยาวสุทธิของสันฝาย ไม่รวมความหนาของตอม่อกลาง
 - N = จำนวนตอม่อกลาง
 - K_p = สัมประสิทธิ์การบีบตัวของกรไหลเมื่อผ่านตอม่อกลาง ซึ่งหาได้จาก **ตารางที่ 1**
 - K_a = สัมประสิทธิ์การบีบตัวของกรไหลเมื่อผ่านตอม่อริมหรือกำแพงริมตลิ่ง ซึ่งหาได้จาก **ตารางที่ 2**

ตารางที่ 1 ค่า K_p ของตอม่อกลาง

ลักษณะของตอม่อกลาง	K_p
ตอม่อมีหัวเหลี่ยมมุมมนด้วยรัศมีเท่ากับ 0.1 เท่าของความหนาตอม่อ	0.02
ตอม่อมีหัวมนกลม	0.01
ตอม่อมีหัวแหลม	0.00

ตารางที่ 2 ค่า Ka ของกำแพงริมตลิ่ง

ลักษณะของกำแพงริมตลิ่ง	Ka
กำแพงริมตลิ่งเป็นเหลี่ยมโดยมี Head wall ทำมุม 90° กับทิศทางการไหลของน้ำ	0.2
กำแพงริมตลิ่งเป็นเหลี่ยมมุมมนโดยมี Head wall ทำมุม 90° กับทิศทางการไหลและมุมมนด้วยรัศมีระหว่าง 0.15 H ₀ และ 0.5H ₀	0.1
กำแพงตลิ่งเป็นเหลี่ยมมุมมนด้วยรัศมีมากกว่า 0.5H ₀ และ Head wall ทำมุมไม่เกิน 45° กับทิศทางการไหล	0.0

9. การออกแบบโค้งสันฝายโอกีของ WES

United States Army Corps of Engineers โดย Waterway Experiment Station (WES) ได้พัฒนารูปร่างสันฝายแบบโอกีไว้ 4 แบบดังแสดงในรูป 10 และได้เสนอสมการที่ใช้สำหรับหาโค้งสันฝายไว้ดังนี้

$$X^n = \frac{KH_d^{n-1}Y}{\dots\dots\dots} \quad (6)$$

เมื่อ H_d = ความลึกของน้ำเหนือสันฝาย ไม่รวมเสดความเร็วของน้ำที่ไหลเข้าสู่ฝาย
 K และ n = ค่าคงที่ซึ่งขึ้นอยู่กับความลาดเอียงของผิวด้านหน้าฝายและหาได้จากตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่า K และ n ของโค้งสันฝายโอกีของ WES

ความลาดของผิวด้านหน้าฝาย	K	n
แนวตั้ง	2.00	1.850
3:1 (ระยะตั้ง : ระยะราบ)	1.936	1.836
3:2	1.939	1.810
3:3	1.873	1.776

สำหรับค่าความลาดที่ไม่ตรงกับค่าในตาราง 3 สามารถหาค่า K และ n ได้โดยประมาณด้วยการ Interpolate จากค่าที่ให้ไว้ในตาราง

การคำนวณปริมาณน้ำผ่านฝาย

ปริมาณน้ำไหลข้ามสันฝายมนแบบโอกีสามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$Q = \frac{0.5522C(L' - K_p NH_e)H_e^{3/2}}{\dots\dots\dots} \quad (7)$$

เมื่อ L' = ความยาวสุทธิของสันฝาย ไม่รวมความหนาดมอกกลาง , เมตร

$$\begin{aligned}
 N &= \text{จำนวนด้านของตอม่อกลางที่บีบการไหลของน้ำ} \\
 &= 2 \text{ เท่าของจำนวนตอม่อกลาง} \\
 K_p &= \text{สัมประสิทธิ์การบีบตัวของกรไหลเมื่อผ่านตอม่อกลางในทางปฏิบัติจะ} \\
 &\text{ใช้ค่าเท่ากับ} \\
 &0.05 \\
 H_e &= \text{เสดทั้งหมดเหนือสันฝายรวมเสดความเร็วของน้ำที่เข้าสู่ฝายด้วย , เมตร}
 \end{aligned}$$

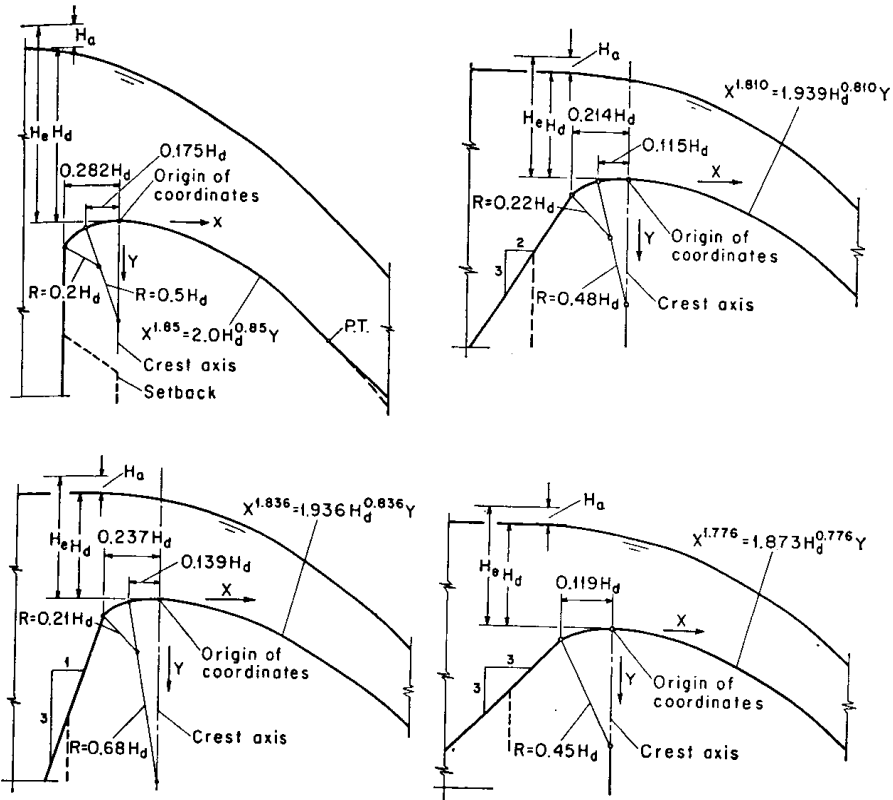
การหาค่าสัมประสิทธิ์การไหล

ค่าสัมประสิทธิ์การไหลผ่านสันฝายของ WES สามารถหาได้จาก **รูปที่ 11** โดยแบ่งออกเป็น 2 กรณีดังนี้

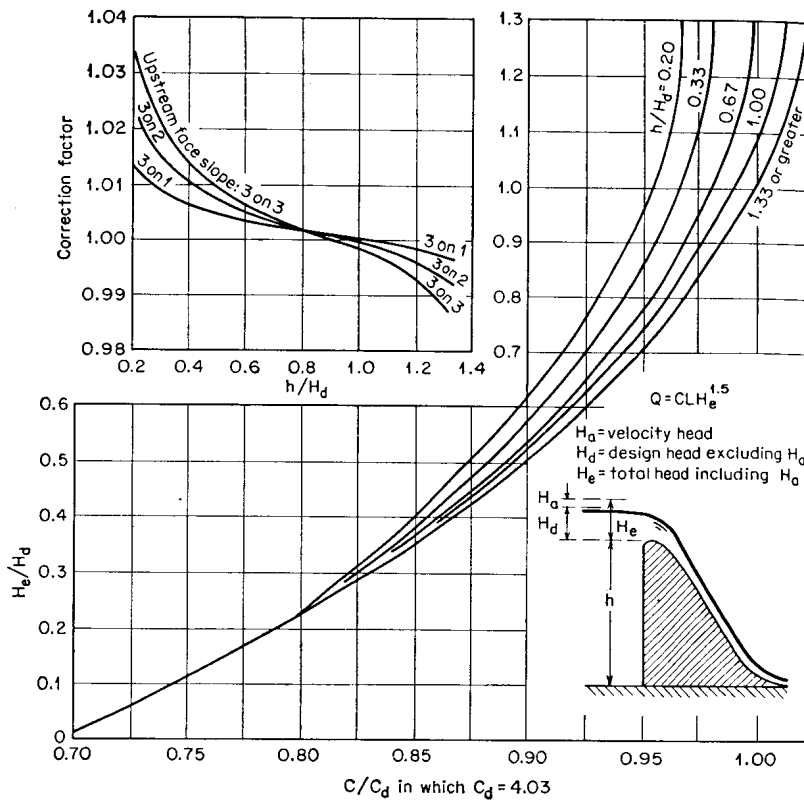
กรณีแรก ถ้าความสูงของสันฝาย (h) มีค่าเท่ากับหรือมากกว่า 1.33 หรือ $h/H_d \geq 1.33$ ไม่ต้องพิจารณาเสดความเร็วเข้าสู่ฝายเพราะถือว่ามีค่าน้อย จะทำให้ H_e/H_d เท่ากับ 1.0 และจะได้ $C = C_d = 4.03$

กรณีที่สอง ถ้า $\frac{h}{H_d}$ มีค่าน้อยกว่า 1.33 จะต้องนำเอาเสดความเร็ว มาคิดรวมกับค่า H_d ด้วย และใช้ **รูปที่ 11** หาค่า C จากค่า H_e/H_d และ h/H_d

ทั้งสองกรณี ถ้าฝาด้านหน้าฝายไม่อยู่ในแนวตั้ง (3:0) จะต้องมีการปรับแก้ค่า C ด้วยการคูณค่า C ที่ได้มาในตอนแรกด้วย Correction factor ซึ่งสามารถหาได้จาก **รูปที่ 10** สำหรับกรณีที่พื้นและระดับน้ำด้านท้ายฝายมีผลต่อการไหลของน้ำผ่านสันฝาย จะต้องมีการปรับแก้ค่า C เช่นเดียวกับที่ได้กล่าวถึงแล้วในการออกแบบโค้งสันฝายของ USBR



รูปที่ 10 รูปร่างสันฝายโอเก้ ตามมาตรฐาน WES



รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างเฮดและค่าสัมประสิทธิ์การไหลของสันฝายโอเก้ของWES

10. การวิเคราะห์การไหลซึมของน้ำและแรงดันใต้พื้นอาคาร

เนื่องจากการไหลซึมของน้ำจากด้านหน้าฝาย ซึมและไปตามแนวใต้พื้นฝาย และปรากฏออกด้านท้ายสุดของพื้นอาคาร การไหลซึมดังกล่าวอาจนำพาเม็ดดินใต้พื้นอาคารให้หลุดออกไปกับน้ำได้ ทำให้เกิดโพรง (Piping) ได้ฐานราก จนทำให้อาคารทรุดตัวและพังลงในที่สุด ฉะนั้นเพื่อให้เกิดความปลอดภัย จึงต้องออกแบบให้ฝายมีความยาวเพียงพอ จนน้ำไม่สามารถนำพาเม็ดดินใต้ฐานออกไปได้ นอกจากอาจจะทำให้เกิดโพรง แล้วการไหลซึมของน้ำ ยังทำให้เกิดแรงดันยกตัว (Uplift Pressure) ซึ่งมีผลต่อความมั่นคงของฝายด้วย

1. วิธีของ Bligh สามารถคำนวณหาระยะทางที่น้อยที่สุดของการไหลซึมลอดได้ฐานได้โดยสมการต่อไปนี้

$$L_{\min} = C \Delta H \quad \text{-----} \quad (8)$$

เมื่อ L_{\min} = ระยะทางน้อยที่สุดของการไหลซึมได้ฐานโดยไม่เกิด piping

C = สัมประสิทธิ์การไหลซึมของ Bligh

ΔH = ผลต่างของระดับน้ำด้านหน้าและด้านท้ายของฝาย

โดย L เป็นระยะทางจริงที่น้ำไหลซึมผ่าน ไม่ว่าจะ เป็นระยะทางในแนวราบหรือระยะทางในแนวตั้ง

2. วิธีของ Lane สามารถคำนวณหาระยะทางที่น้อยที่สุดของการไหลซึมลอดได้ฐานได้โดยใช้สมการต่อไปนี้

$$L_{\min} = C_w \Delta H \quad \text{-----} \quad (9)$$

เมื่อ C_w = Weighted creep ratio = $\frac{L}{\Delta H}$

ΔH = ผลต่างของระดับน้ำด้านหน้าและด้านท้ายของฝาย

สำหรับค่า L มีหลักเกณฑ์ในการพิจารณาดังนี้

- 1) ถ้าเป็นระยะตามแนวตั้งหรือแนวเอียงที่ทำมุมกับพื้นราบมากกว่า 45° ให้ใช้ความยาวจริง
- 2) ถ้าเป็นระยะตามแนวราบที่เลาะใต้พื้นอาคาร หรือแนวเอียงที่ทำมุมกับพื้นราบน้อยกว่า 45° ให้ใช้ $\frac{1}{3}$ ของความยาวจริง

ตารางที่ 4 สัมประสิทธิ์การไหลซึมของ Bligh

ชนิดดินฐานราก	C
- ทรายละเอียดมากหรือดินตะกอน	18
- ทรายละเอียด	15
- ทรายหยาบ	12
- กรวดและทราย	9
- หิน กรวด และทราย	4 ถึง 6

ตารางที่ 5 Weighted Creep Ratio ของ Lane

ชนิดดินฐานราก	Weighted Creep Ratio
- ทรายละเอียดมากหรือดินตะกอน	8.5
- ทรายละเอียด	7.0
- ทรายหยาบปานกลาง	6.0
- ทรายหยาบ	5.0
- กรวดละเอียด	4.0
- กรวดหยาบปานกลาง	3.5
- กรวดหยาบ	3.0
- หินใหญ่มีกรวดแทรก	2.5
- ดินเหนียวอ่อน	3.0
- ดินเหนียวแข็งปานกลาง	2.0
- ดินเหนียวแข็ง	1.8
- ดินเหนียวแข็งมากหรือดินดาน	1.6

3. แรงดันยกตัว (Uplift pressure)

แรงนี้เกิดจากการไหลซึมของน้ำไปตามแนวใต้พื้นอาคารซึ่งจะมีผลต่อความมั่นคงของตัวฝาย และความหนาของพื้นต้านท้ายฝาย สามารถคำนวณหาแรงดันยกตัวได้จากสมการต่อไปนี้

$$U_x = \left[1 - \frac{L_x}{L} \right] \Delta H + H_d \text{-----} \quad (10)$$

- เมื่อ U_x = แรงดันยกตัว , เมตร
 L_x = ระยะทางการไหลซึมของน้ำจากจุดเริ่มต้นถึงตำแหน่งใด ๆ ที่พิจารณาได้
 พื้นอาคาร , เมตร
 L = ระยะทางทั้งหมดของการไหลซึมของน้ำใต้พื้นอาคาร , เมตร

ΔH = ผลต่างของระดับน้ำด้านเหนือน้ำและด้านท้ายน้ำของฝาย , เมตร

H_d = ความลึกของน้ำด้านท้ายฝาย วัดจากใต้พื้นฝาย , เมตร

เกณฑ์ในการคำนวณหา L และ L_x เป็นไปตามวิธีของ Bligh หรือวิธีของ Lane ที่เลือกใช้
จะนั้นในการคำนวณหาแรงดันยกตัว ควรหาจากสองวิธีมาเปรียบเทียบกัน และเลือกใช้ค่าที่มากกว่า
ใช้ในการออกแบบความหนาพื้นด้านท้ายฝาย และวิเคราะห์ความมั่นคงของฝาย

11. การป้องกันการเกิด piping

ในกรณีถ้าความยาวของการไหลซึมและใต้พื้นฝาย มีขนาดน้อยกว่า L_{min} เพื่อป้องกันการเกิด Piping สามารถดำเนินการได้ดังนี้

1. เพิ่มความยาวแนวราบของพื้นด้านเหนือน้ำ (Upstream apron)
2. สร้างกำแพง Cutoff และ/หรือ ตอกเข็มพิค เพื่อเพิ่มความยาวในแนวดิ่ง
3. ทำตัวกรองน้ำและท่อระบายน้ำใต้พื้นไว้ที่พื้นฝายด้านท้ายน้ำ เพื่อกรองเม็ดดินไว้ และให้แต่น้ำระบายออกจากใต้พื้นขึ้นสู่ด้านบน โดยวางท่อผ่านพื้นและให้แนวท่อเอียงเล็กน้อยไปตามการไหลของน้ำที่ไหลลงจากฝาย

การพิจารณาความยาวของการไหลซึม เพื่อความปลอดภัยควรคำนวณโดยใช้หลักการของ Lane และควรพิจารณาเพิ่มระยะทางการไหลซึมด้วยการสร้างกำแพง Cutoff และการตอกเข็มพิค ใต้พื้นอาคารด้านเหนือน้ำ

12. การออกแบบกำแพง Cutoff

อย่างน้อยควรจะต้องสร้างกำแพง Cutoff 2 ตำแหน่ง คือ ต้นทางของพื้นด้านเหนือน้ำและด้านปลายของพื้นด้านท้ายน้ำ ซึ่งนอกจากจะช่วยป้องกันการเกิด piping แล้ว ยังช่วยป้องกันน้ำกัดเซาะใต้พื้นอาคาร โดยเฉพาะตัวที่อยู่ด้านปลายของพื้นด้านท้ายน้ำ เพราะน้ำที่ไหลตกจากฝายจะมีความแรงและปั่นป่วนมาก

ขนาดของความลึกและกำแพง Cutoff น้อยสุดเป็นไปตามเกณฑ์ที่แสดงในตาราง... แต่ก็ไม่ควรจะลึกมากกว่า 2.0 เมตร ถ้าจำเป็นต้องสร้างกำแพง Cutoff มากกว่า 2 แนว ต้องกำหนดให้กำแพง 2 แห่งที่อยู่ใกล้กัน มีระยะห่างไม่น้อยกว่า 2.0 เท่าของความลึกของ Cutoff ตัวที่ลึกกว่า ซึ่งโดยทั่วไปในทางปฏิบัติจะใช้ระยะห่าง

2 เท่า

ตารางที่ 6 ขนาดน้อยสุดของกำแพง Cutoff

ความลึกน้ำ (ม.)	ความลึกกำแพง (ม.)	ความหนา (ม.)
ไม่เกิน 1.0 ม.	0.50	0.20
1.01 – 2.00	1.00	0.30
2.01 – 3.00	1.50	0.40
มากกว่า 3.00	2.00	0.50

13. การออกแบบพื้นด้านหน้าฝาย

พื้นคอนกรีตด้านหน้าฝายเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับท้องน้ำที่เป็นทรายหรือกรวด พื้นด้านหน้าฝายช่วยป้องกันการกัดเซาะและช่วยให้แรงดันยกตัว (Uplift pressure) ใต้ตัวฝายและพื้นที่ด้านท้ายฝายมีขนาดลดลง ทำให้ความหนาของพื้นด้านท้ายฝายมีขนาดลดลงได้ ต้นทางของพื้นด้านหน้าฝาย ควรต้องมีการทำกำแพง Cutoff เพื่อยืดระยะทางการไหลซึม และป้องกันการกัดเซาะเข้าใต้พื้น พื้นด้านหน้าฝายควรมีความยาวไม่น้อยกว่า 3 เท่าของความสูงฝาย และความหนาไม่น้อยกว่า 0.30 เมตร

14. การออกแบบพื้นด้านท้ายฝาย

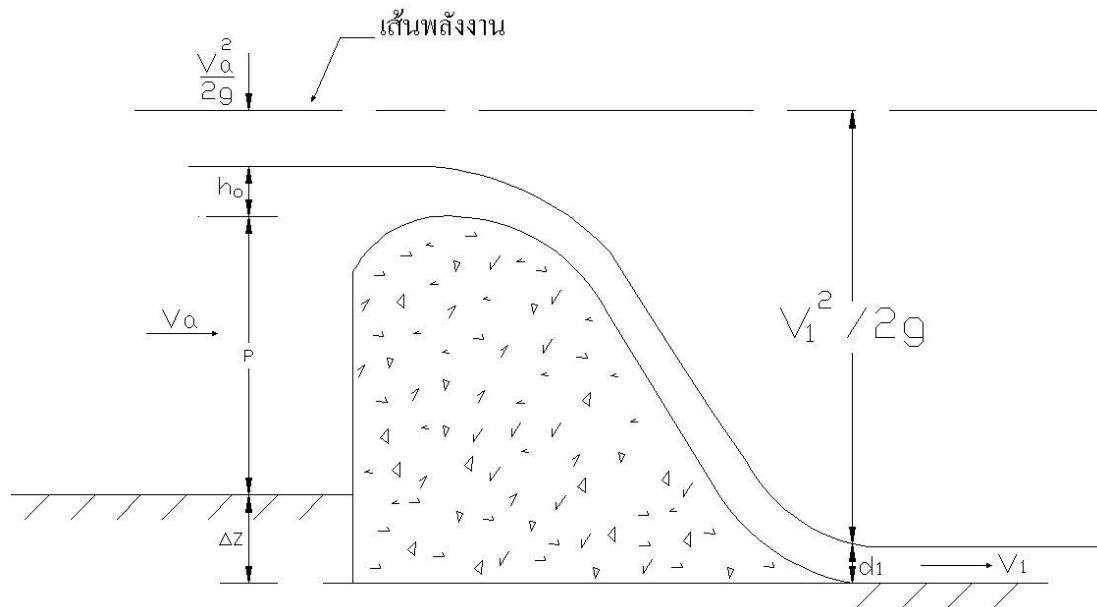
ความยาวของพื้นด้านท้ายฝาย เป็นไปตามขนาดความยาวของอ่างน้ำนิ่งที่เลือกใช้ และความหนาต้องมีขนาดเพียงพอที่จะต้านทานแรงดันยกตัวใต้พื้นอาคารได้ ถึงแม้ว่าการยึดความยาวของพื้นด้านเหนือน้ำ และการตอกเข็มพิคใต้พื้นด้านเหนือน้ำ จะช่วยลดความยาวและความหนาของพื้นด้านท้ายน้ำลงได้ก็จริง แต่ไม่ควรจะให้พื้นด้านท้ายน้ำสั้นและหนาน้อยเกินไป เพื่อป้องกันแรงกระแทกของน้ำที่ไหลตกจากสันฝายไม่ให้เกิดเซาะท้องน้ำได้ ฉะนั้นพื้นไม่ควรหนาน้อยกว่า 0.30 เมตร การคำนวณหาความหนาของพื้นด้านแรงดันยกตัว ควรเพื่อเกณฑ์ความปลอดภัย 1.3 และสามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$t = 1.3 \frac{\gamma_w \cdot U_x}{\gamma_c} \text{ ----- (11)}$$

- เมื่อ t = ความหนาของพื้น
 γ_w = น้ำหนักหนึ่งหน่วยของน้ำ
 γ_c = น้ำหนักหนึ่งหน่วยของคอนกรีตเสริมเหล็ก

15. การคำนวณหาความเร็วที่ตีนฝาย

ความเร็วของน้ำที่ตีนฝายมีความสำคัญต่อการเลือกชนิดของอ่างน้ำนิ่ง สามารถคำนวณหาความเร็วโดยอาศัยหลักการของพลังงานจากสมการต่อไปนี้



รูปที่ 12 การคำนวณหาความเร็วที่ตีนฝาย

$$\Delta z + P + h_o + \frac{V_a^2}{2g} = d_1 + \frac{V_1^2}{2g} \text{ ----- (12)}$$

- เมื่อ Δz = ผลต่างของระดับพื้นด้านหน้าและด้านท้ายฝาย
- P = ความสูงของสันฝายจากพื้นด้านหน้า
- h_o = ความลึกของน้ำเหนือสันฝาย
- V_a = $\frac{q}{P + h_o}$ = ความเร็วของน้ำด้านหน้าฝาย
- q = ปริมาณการไหลต่อหนึ่งหน่วยความกว้างของ Approach Channel ด้านหน้าฝาย
- d_1 = ความลึกของน้ำที่ตีนฝาย
- V_1 = $\frac{q}{d_1}$ = ความเร็วของน้ำที่ตีนฝาย

16. การวิเคราะห์รูปตัดตามยาวของการไหลของผิวน้ำด้านเหนือน้ำ

การสร้างฝายทดน้ำจะมีผลกระทบต่อระดับน้ำปกติด้านเหนือน้ำของฝาย เพราะฝายจะยกระดับน้ำให้สูงกว่าปกติโดยเฉพาะในช่วงฤดูน้ำหลาก ไม่เฉพาะที่ตำแหน่งหน้าฝาย แต่จะส่งผลย้อนกลับขึ้นไปด้านเหนือน้ำเป็นระยะไกล ซึ่งอาจจะทำให้น้ำล้นตลิ่งแล้วเข้าท่วมพื้นที่ได้ ฉะนั้นจะต้องมีการวิเคราะห์หาระยะทางของลำน้ำด้านเหนือน้ำพร้อมความสูงของระดับน้ำที่ได้รับผลกระทบจากการสร้างฝาย แล้วกำหนดระดับสันคันดินสองข้างตลิ่งให้สูงพอที่จะป้องกันน้ำล้นตลิ่งได้ การคำนวณหน้าข้างการไหลของปริมาณการไหลต่าง ๆ ตามขนาดของรอบปีการเกิดซ้ำสามารถกระทำได้โดยใช้วิธี Standard Step

17. การวิเคราะห์ความลึกด้านท้ายน้ำ (Analysis of Tailwater Depth)

ความลึกด้านท้ายน้ำ (TW) เป็นความลึกของน้ำที่เกิดขึ้นตามสภาพปกติ (ไม่มีฝายทดน้ำขวางลำน้ำ) ของลำน้ำและหน้าตัดด้านท้ายของอ่างน้ำนิ่ง (Stilling Basins) ความลึกของน้ำด้านท้ายมีความสำคัญต่อการเกิดไฮดรอลิกจัม (Hydraulic Jump) และการกำหนดระดับของพื้นอ่างน้ำนิ่ง (Stilling Basins) โดยระดับน้ำด้านท้ายต้องมากกว่าหรือเท่ากับระดับน้ำหลังเกิดไฮดรอลิกจัม มิฉะนั้นแล้ว ตำแหน่งของการเกิดไฮดรอลิกจัมจะเคลื่อนที่ออกมาทางด้านท้ายน้ำของอ่างน้ำนิ่ง และจะทำให้เกิดการกัดเซาะอย่างรุนแรงต่อพื้นและตลิ่งลำน้ำ

ในการกำหนดระดับพื้นของอ่างน้ำนิ่งนั้น จะต้องมีการเปรียบเทียบความลึกด้านท้ายน้ำกับความลึกหลังเกิดไฮดรอลิกจัมเมื่อปริมาณการไหลขนาดต่าง ๆ ไหลตกจากฝายลงมา ฉะนั้นจะต้องมีการจัดทำ Rating Curve ของหน้าตัดทางด้านท้ายฝายซึ่งโดยปกติจะไม่มีการตรวจวัดข้อมูลระดับน้ำหรือความลึกของน้ำและปริมาณการไหล จึงต้องมีการพิจารณาจัดทำ Rating Curve โดยอาศัยการคำนวณจากสมการแมนนิง

$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} S^{1/2} \quad \text{-----} \quad (13)$$

เมื่อ	Q	=	อัตราการไหลในลำน้ำ, ลบ.เมตร/วินาที
	n	=	ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของแมนนิง
	A	=	พื้นที่หน้าตัดของน้ำที่ไหลในคลอง, ตร.เมตร
	R	=	รัศมีชลศาสตร์, เมตร = A/P
	P	=	ความยาวของเส้นขอบเปียก, เมตร
	S	=	ความลาดเทของเส้นพลังงาน หรือ
		=	ความลาดชันของท้องลำน้ำในกรณีการไหลแบบ Uniform

ค่าสัมประสิทธิ์ n สามารถประเมินกำหนดได้จากชนิดของวัสดุหรือดินตามผิวลำน้ำและลักษณะของลำน้ำ (ซึ่งจะมีเลือกใช้ได้จากหนังสือ หรือตำราที่เกี่ยวข้องกับชลศาสตร์ และการไหลในทางปิด) ขั้นตอนการสร้าง Rating Curve พอสรุปได้ดังนี้

1. ทำการสำรวจหน้าตัดของลำน้ำตรงตำแหน่งที่จะสร้างฝายทดน้ำ
2. ทำการสำรวจความลาดชันของท้องลำน้ำ
3. เขียนรูปหน้าตัดด้วยมาตราส่วนที่เหมาะสมลงในกระดาษ
4. กำหนดความลึกของน้ำค่าต่าง ๆ เพื่อหาค่า A , P และ R ที่สอดคล้องกับความลึกของน้ำ และรูปหน้าตัด
5. ทำการประเมินกำหนดค่า n ตามชนิดของวัสดุหรือดินและลักษณะของลำน้ำ
6. คำนวณหาค่าความเร็วและอัตราการไหลตามสมการของแมนนิง
7. เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกหรือระดับน้ำและอัตราการไหล ซึ่งก็คือ

Rating Curve

ในกรณีที่มีการปรับแต่งลำน้ำด้านท้ายต่อจากอ่างน้ำนิ่ง เป็นช่วงระยะความยาวที่เหมาะสม การวิเคราะห์หา Rating Curve จะใช้ข้อมูลหน้าตัดและลักษณะของลำน้ำจากการปรับแต่งลำน้ำดังกล่าว

18. การวิเคราะห์ความมั่นคงของตัวฝาย

ฝายจะต้องมีความมั่นคงปลอดภัยจากกรณีต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. ความมั่นคงต่อการเกิด piping
2. ความมั่นคงต่อการพลิกคว่ำ (Overturning)
3. ความมั่นคงต่อการเลื่อนตัว (Sliding)
4. ความมั่นคงต่อการรับน้ำหนักกดของดินใต้ฐาน

1. ความมั่นคงต่อการไหลซึมของน้ำใต้ฐาน

การไหลซึมของน้ำใต้ฐานเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงได้ยากแต่การไหลซึมของน้ำใต้ฐาน จะต้องไม่นำพาเอาเม็ดดินหลุดออกมาด้วย เพื่อไม่ให้ดินตามแนวใต้ฐานฝาย เกิดเป็นโพรง (piping) และพังทลายลงในที่สุด การวิเคราะห์และการป้องกันได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อการป้องกันการเกิด

Piping

2. ความมั่นคงต่อการพลิกคว่ำ

สาเหตุโดยตรงของการพลิกคว่ำมาจากว่า แรงในแนวราบมากกว่าในแนวดิ่งจนเป็นสาเหตุให้แรงลัพธ์ของแรงทั้งหมดรวมแรงลอยตัวด้วย ตามระนาบแนวราบใต้ฐานฝาย ตกออกนอกส่วน

กึ่งกลางหนึ่งในสาม (Middle Third) ของความยาวฐาน ค่าความปลอดภัยของอัตราส่วนระหว่างโมเมนต์ด้านการพลิกคว่ำกับโมเมนต์ที่ทำให้เกิดการพลิกคว่ำเท่ากับหรือมากกว่า 1.50

$$F.S = \frac{\sum M_R}{\sum M_O} \geq 1.50 \text{ -----} \quad (14)$$

เมื่อ $F.S$ = แฟกเตอร์ความปลอดภัยต่อการพลิกคว่ำ
 $\sum M_R$ = ผลรวมของโมเมนต์ด้านการพลิกคว่ำที่เกิดจากแรงต่าง ๆ
 $\sum M_O$ = ผลรวมของโมเมนต์ที่ทำให้เกิดการพลิกคว่ำที่เกิดจากแรงต่าง ๆ

เกณฑ์ของ Middle Third ใช้ได้กับรูปร่างของระนาบแนวราบใต้ฐานเขื่อนเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า และเกิดจากสาเหตุที่ไม่ต้องการให้เกิดแรงเค้นดึง (tension stress) ที่ปลายระนาบแนวราบใต้ฐานเขื่อน เพราะอาจทำให้ฝายพังทลายลงด้วยการพลิกคว่ำในที่สุด การตรวจสอบสามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$e \geq l/6 \text{ -----} \quad (15)$$

เมื่อ e = ระยะระหว่างตำแหน่งของแรงลัพธ์กับจุดศูนย์กลางพื้นที่ของระนาบแนวราบใต้ฐาน
 l = ความยาวของฐานฝาย

กระทำการตรวจสอบค่า e ด้วยเกณฑ์ของ Middle third ในกรณีฝายไม่มีน้ำด้านหน้า และกรณีฝายทค่น้ำเต็มทีและด้านท้ายน้ำแห้ง

3. ความมั่นคงต่อการเลื่อนตัว

สาเหตุโดยตรงของการเลื่อนตัวมาจากว่า แรงสุทธิในแนวราบมากกว่าผลรวมของแรงต้านหรือแรงเสียดทานตามแนวราบใต้ฐานฝาย แรงเสียดทานนี้เกิดขึ้นระหว่างผิวสัมผัสของฐานฝายกับพื้นดินที่รองรับอาคาร โดยทั่วไปนิยมเผื่อความปลอดภัยระหว่าง 1.5 ถึง 2.00

$$F.S \times \sum P \leq C \cdot \sum V \text{ -----} \quad (16)$$

หรือ $F.S = \frac{C \cdot \sum V}{\sum P} \geq$ ค่าความปลอดภัยที่กำหนดใช้

เมื่อ $F.S.$ = แฟกเตอร์ความปลอดภัยต่อการเลื่อนตัว
 $\sum P$ = แรงสุทธิในแนวราบที่กระทำต่อตัวฝาย
 $\sum V$ = แรงสุทธิในแนวตั้งรวมแรงค้ำยันตัว

C = สัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทาน เลือกใช้ตามเกณฑ์ต่อไปนี้

- หน้าสัมผัสระหว่างคอนกรีตกับกรวด $C = 0.5$
- หน้าสัมผัสของคอนกรีตกับทราย $C = 0.4$
- หน้าสัมผัสระหว่างคอนกรีตกับดินเหนียว $C = 0.3$

ในกรณีที่ฝายตั้งอยู่บนฐานรากที่เป็นหิน และต้องพิจารณาแรงต้านแรงเฉือนที่ฐาน ค่าความปลอดภัยไม่ควรจะน้อยกว่า 4.0 และสามารถตรวจสอบได้โดยใช้สมการต่อไปนี้

$$F.S = (S_a A + f \sum V) / \sum P \geq 4.0 \text{ ----- (17)}$$

เมื่อ S_a = ความสามารถในการต้านแรงเฉือน (Shearing stress) ตามระนาบแนวราบที่ฐานฝาย, กก./ม.²

A = พื้นที่รับแรงเฉือน

f = สัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทาน = 0.6

กรณีที่ความมั่นคงต่อการเลื่อนตัวไม่ผ่านเกณฑ์ความปลอดภัย จะต้องพิจารณาเพิ่มแรงต้านทานการเลื่อนตัวให้มากขึ้นโดยการเพิ่มน้ำหนักตัวฝาย หรือพิจารณาให้ดินหลังกำแพง Cutoff ที่อยู่ใต้พื้นฝายรับแรงส่วนที่เกิน และออกแบบการเสริมเหล็กที่ Cutoff ให้เพียงพอตามหลักการของการออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก

4. ความมั่นคงต่อการรับน้ำหนักกดของดินใต้ฐาน

เพื่อให้ฝายมีความมั่นคงต่อแรงกด (Bearing) ที่กระทำต่อฐานรากทั้งในกรณีที่ฝายท่อน้ำเต็มๆ และกรณีที่ไม่มีน้ำทั้งสองด้าน แรงกดที่เกิดขึ้นจะต้องน้อยกว่า แรงกดสูงสุดที่ดินสามารถจะรับได้ แรงกดที่เกิดขึ้นใต้ฐานสามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้ (พิจารณาสันฝายยาว 1 เมตร)

$$q = \frac{\sum V}{l} \left(1 + \frac{6e}{l} \right) \leq q_s \text{ ----- (18)}$$

เมื่อ q = แรงกดหนึ่งหน่วยสูงสุดที่ฐานฝาย

$\sum V$ = แรงสุทธิในแนวตั้งรวมแรงดันยกตัว

l = ความยาวฐานฝาย

q_s = แรงกดหนึ่งหน่วยสูงสุดที่ดินฐานราก สามารถจะแบกรับได้

กรณีแรงกดที่เกิดขึ้นที่ฐานรากมากกว่า q_s อาจจะแก้ไขโดยการลดความสูงของตัวฝายเพื่อลดน้ำหนักกดที่กระทำต่อฐานราก หรือโดยการเพิ่มพื้นที่รับแรงกดโดยการเพิ่มความลาดเทของผิวหน้าตัวฝาย หรืออาจจะต้องมีการตอกเข็มรับน้ำหนักใต้ฐานราก

19. การป้องกันการกัดเซาะด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำ

ในกรณีที่อาคารชลศาสตร์ เช่น ฝายทดน้ำ สร้างขึ้นในลำน้ำธรรมชาติหรือคลอง ต้องมีการป้องกันการกัดเซาะซึ่งอาจเกิดขึ้นจากความปั่นป่วนและความแรงของกระแสน้ำ ตรงช่วงต่อของขอบอาคารกับเนื้อดิน โดยเฉพาะด้านท้ายของอาคารสลายพลังงานหรืออ่างน้ำนิ่ง ซึ่งการไหลมีความปั่นป่วนและมีคลื่นผิวน้ำ

การป้องกันการกัดเซาะทั้งพื้นที่ท้องน้ำ และลาดตลิ่งสองฝั่งมักนิยมใช้หินทิ้ง หินเรียง หรือหินเรียงยาวแนว โดยมีความยาวของการป้องกันขึ้นอยู่กับชนิดของดินท้องน้ำและลาดตลิ่ง และความเร็วของกระแสน้ำ

ขนาดของหินทิ้งหรือหินเรียง

ขนาดของหินทิ้งหรือหินเรียงด้านท้ายอาคารสลายพลังงานขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ เช่น ความเร็วกระแสน้ำ ทิศทางการไหล สภาพการปั่นป่วนของการไหล และลักษณะคลื่น วิธีการหาขนาดหินที่นิยมใช้ดังนี้

1) วิธีของ USBR ใช้โค้งในรูปที่ 13 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของหินหรือน้ำหนัก กับความเร็วของการไหลที่ท้องน้ำ ซึ่งคำนวณหาได้ยาก ในทางปฏิบัติให้ใช้ความเร็วเฉลี่ยของกระแสน้ำตรงตำแหน่งของ End Sill ของอ่างน้ำนิ่ง

สำหรับอาคารชลศาสตร์ที่ไม่มีอาคารสลายพลังงานให้หาความเร็วกระแสน้ำจากสมการต่อไปนี้

$$V_b = \sqrt{2g\Delta z} \quad \text{-----} \quad (19)$$

เมื่อ Δz = ความแตกต่างของระดับน้ำด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำ ในกรณีฝายทดน้ำให้ใช้ความสูง

ของสันฝายเหนือพื้นด้านท้ายน้ำ

2) วิธีของเบอร์รี่ (Berry) สำหรับหินที่มีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.65 สามารถหาขนาดของหินได้จากสมการต่อไปนี้

$$V_b = 2.57\sqrt{d} \quad \text{-----} \quad (20)$$

เมื่อ V_b = ความเร็วของกระแสน้ำที่ท้องน้ำ, ฟุต/วินาที

d = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหิน, นิ้ว

3) วิธีของมาวิสและลอชชี เป็นไปตามสมการดังต่อไปนี้

$$V_b = \frac{1}{2}\sqrt{d} \cdot \sqrt{s-1} \quad \text{-----} \quad (21)$$

เมื่อ V_b = ความเร็วของกระแสน้ำที่ท้องน้ำ, เมตร/วินาที

d = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหิน, มิลลิเมตร

s = ความถ่วงจำเพาะของหิน, ไม่มีหน่วย

ความยาวของการป้องกันการกัดเซาะ

1) ความยาวของส่วนป้องกันการกัดเซาะโดยการใช้หินเรียง มีแนวทางในการวิเคราะห์หาโดยใช้หลักการของการเกิดความลึกที่ถูกกัดเซาะ และสามารถสรุปเป็นสมการได้ดังต่อไปนี้

$$L_u = 2.55q^{2/3} - 1.5D_u \text{ ----- (22)}$$

$$L_d = 3.00q^{2/3} - 1.5D_d \text{ ----- (23)}$$

เมื่อ L_u = ความยาวของส่วนป้องกันการกัดเซาะด้านเหนือน้ำ, เมตร
 L_d = ความยาวของส่วนป้องกันการกัดเซาะด้านท้ายน้ำ, เมตร
 q = อัตราการไหลต่อหนึ่งหน่วยความกว้างของทางน้ำ, (ลบ.เมตร/วินาที)/
เมตร

D_u = ความลึกของการไหลที่สอดคล้องกับอัตราการไหลออกแบบ ตรง
ตำแหน่งของขอบ

Apron ด้านเหนือน้ำของฝาย, เมตร

D_d = ความลึกของการไหลที่สอดคล้องกับอัตราการไหลออกแบบตรงตำแหน่ง
ของขอบ

Apron ด้านท้ายน้ำของฝายหรือด้านท้ายของอ่างสลายพลังงาน, เมตร

2) ความยาวของหินเรียงด้านเหนือน้ำไม่ควรน้อยกว่าความลึกของน้ำเหนือสันฝาย แต่ไม่น้อยกว่า 5.0 เมตร

3) ความยาวของหินเรียงด้านท้ายน้ำไม่ควรน้อยกว่า 4 เท่าของความลึกด้านท้ายน้ำของอาคารสลายพลังงาน

จากเกณฑ์ที่กล่าวข้างต้น ผู้ออกแบบควรพิจารณาเลือกความยาวที่มากที่สุด

ความหนาของชั้นหินทิ้งและหินเรียง

หินทิ้งและหินเรียงจะประกอบด้วยส่วนกละของหินขนาดเล็กที่สุด ซึ่งมีขนาดตั้งแต่ 3 นิ้ว หรือ 75 มม. ขึ้นไปจนถึงหินขนาดใหญ่ที่สุด ตามเกณฑ์ที่กล่าวข้างต้น (เป็นหินใหญ่ที่มีขนาดเล็กที่สุดซึ่งในทางปฏิบัติอาจจะใช้ขนาดใหญ่กว่าก็ได้) ส่วนกละต้องมีขนาดลดหลั่นกันอย่างดีโดย 40% ของปริมาณหินเรียงหรือหินทิ้ง ต้องมีขนาดเล็กกว่าขนาดหินใหญ่ที่ต้องการ

โดยทั่วไปความหนาของชั้นหินเรียง ไม่ควรจะน้อยกว่า 1.5 เท่า ของขนาดหินที่ใหญ่ที่สุด และทำการจัดเรียงโดยให้หินขนาดเล็กอยู่เต็มช่องว่างระหว่างหินขนาดใหญ่

SIZE OF RIPRAP TO BE USED DOWNSTREAM FROM STILLING BASINS

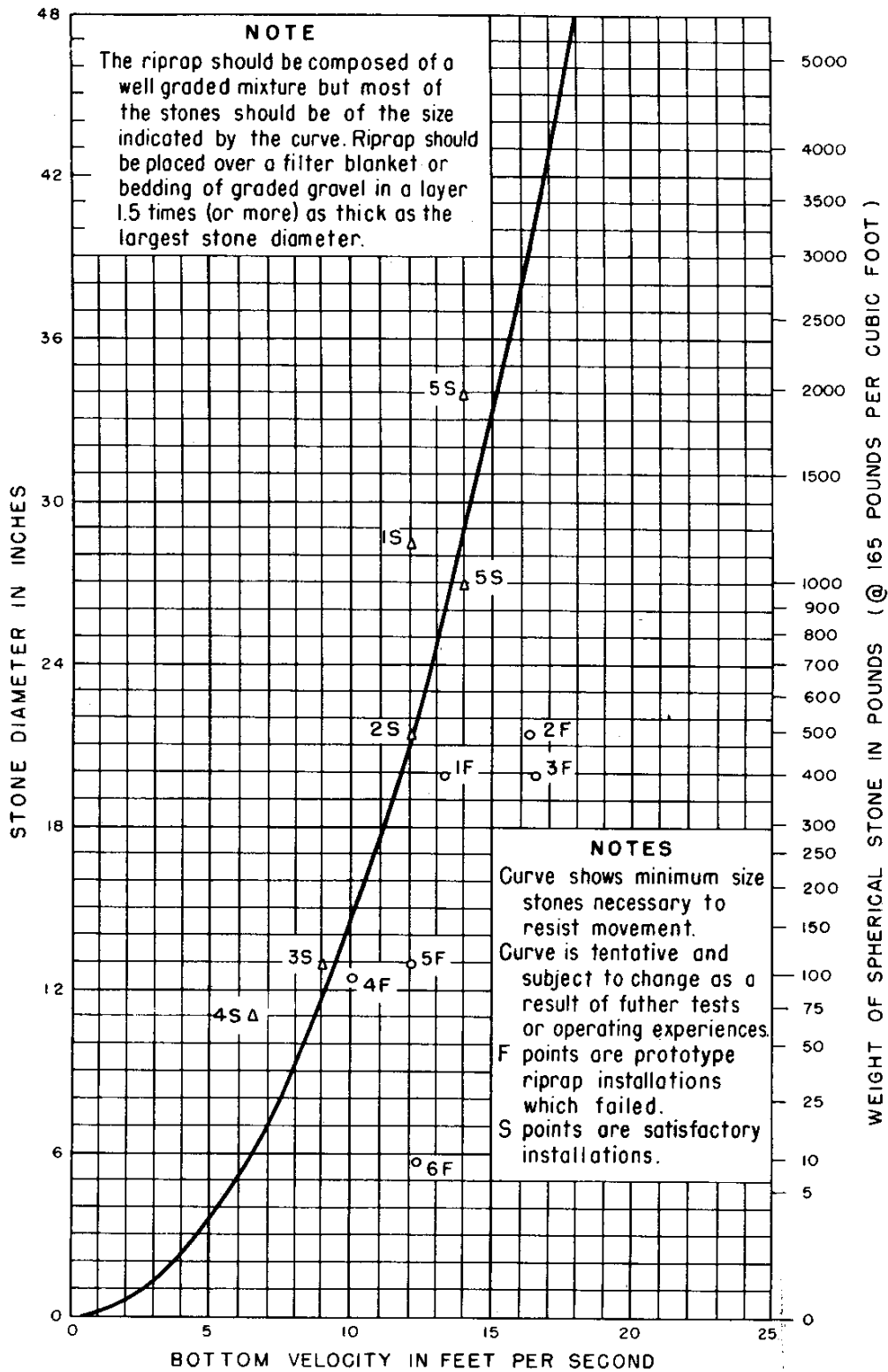


FIGURE 165.—Curve to determine maximum stone size in riprap mixture.

รูปที่ 13 ขนาดใหญ่ที่สุดของส่วนคละของหินเรียงด้านท้ายน้ำของอาคารสลายพลังงาน

ชั้นวัสดุกรองใต้หินทิ้งหรือหินเรียง

เพื่อป้องกันความเสียหายของหินทิ้งหรือหินเรียง จากการที่อนุภาคของดินใต้ชั้นหินเรียงไหลหลุดออกมาตามการไหลซึมของน้ำผ่านช่องว่างของหิน เป็นเหตุให้มีการทรุดตัวและพังทลายลงในที่สุด ฉะนั้นควรจัดทำชั้นวัสดุกรอง (Filter Layers) ระหว่างชั้นของหินเรียงและดินผิวทางน้ำ รายละเอียดของเกณฑ์การออกแบบเป็นไปตามการออกแบบการป้องกันคลื่น และพื้นที่ของน้ำสำหรับเกณฑ์ทั่วไปในการออกแบบวัสดุกรอง เพื่อป้องกัน Piping มีดังต่อไปนี้

- 1) มีความสามารถที่ยอมให้น้ำซึมผ่านได้ดีกว่าชั้นดินพื้นท้องน้ำและลาดตลิ่งของลำน้ำ
- 2) ช่องว่างระหว่างอนุภาคของวัสดุกรอง ต้องมีขนาดเล็ก จนพอที่จะไม่ให้อนุภาคของดินพื้นท้องน้ำและลาดตลิ่งถูกพัดพาหลุดออกไปได้ตามช่องว่างดังกล่าว
- 3) ความหนาของวัสดุกรองต้องหนาเพียงพอให้มีการจัดเรียงส่วนกละตามขนาดได้เป็นอย่างดี

การหาขนาดส่วนกละของชั้นวัสดุกรอง

สามารถสรุปได้ดังนี้

- 1) หาขนาดของหินเรียง และกำหนดส่วนกละของขนาด
- 2) นำตัวอย่างดินในระดับความลึก 0.50 เมตรจากท้องน้ำมาทำการวิเคราะห์และสร้างเส้นโค้งของการกระจายขนาดส่วนกละ (Sieve Analysis)
- 3) ใช้เกณฑ์ต่อไปนี้ในการกำหนดช่วงค่าของขนาดวัสดุของแต่ละชั้น
 - ก) เพื่อให้ น้ำสามารถไหลซึมได้สะดวกจากชั้นดินผิวทางน้ำผ่านชั้นวัสดุกรอง (อาจมีมากกว่า 1 ชั้น) และชั้นของหินเรียง ส่วนกละของวัสดุระหว่างชั้นที่อยู่ติดกัน ควรเป็นไปตามเกณฑ์ต่อไปนี้

$$L_1 \leq \frac{d_{15} \text{ ของวัสดุชั้นบน}}{d_{15} \text{ ของวัสดุชั้นล่าง}} \leq L_2 \quad \text{-----} \quad (24)$$

เมื่อ d_{15} คือขนาดของรูตะแกรงที่ปริมาณดินหนัก 15% ของดินตัวอย่างทั้งหมด สามารถลอดผ่านไปได้ ส่วน L_1 และ L_2 คือค่าต่ำสุดและสูงสุดของอัตราส่วนของขนาด ซึ่งขึ้นอยู่กับรูปร่างและส่วนกละของวัสดุและสามารถหาได้จากเกณฑ์ต่อไปนี้

ลักษณะของวัสดุ	L ₁	L ₂
อนุภาคกลมมน (gravel)	5	10
อนุภาคเป็นเหลี่ยม (broken gravel, rubble)	6	20
อนุภาคผสมคละกันอย่างดี (Well – graded grains)	12	40

ข) เพื่อป้องกันการอุดตันของชั้นวัสดุรองส่วนคละต้องเป็นไปตามเกณฑ์ต่อไปนี้

$$d_5 \geq 0.75 \text{ มิลลิเมตร}$$

ค) เพื่อป้องกันไม่ให้ดินผิวทางน้ำ ที่มีขนาดเล็กละเอียด ถูกชะพาไปกับน้ำที่ไหลซึมผ่านส่วนคละต้องเป็นไปตามเกณฑ์ต่อไปนี้

$$\frac{d_{15} \text{ ของวัสดุชั้นบน}}{d_{85} \text{ ของวัสดุชั้นล่าง}} \leq 5 \quad \text{-----} \quad (25)$$

และ
$$L_1 \leq \frac{d_{50} \text{ ของวัสดุชั้นบน}}{d_{50} \text{ ของวัสดุชั้นล่าง}} \leq L_2 \quad \text{-----} \quad (26)$$

โดย d₈₅ และ d₅₀ มีความหมายในทำนองเดียวกันกับ d₁₅ และ L₁ และ L₂ สามารถหาได้จากเกณฑ์ต่อไปนี้

ลักษณะของวัสดุ	L ₁	L ₂
อนุภาคกลมมน (gravel)	5	10
อนุภาคเป็นเหลี่ยม (broken gravel, rubble)	10	30
อนุภาคผสมคละกันอย่างดี (Well – graded grains)	12	60

ง) เมื่อวิเคราะห์ได้ขนาดส่วนคละของวัสดุรองที่อยู่ระหว่างดินผิวทางน้ำ (Subgrade) และชั้นของหินเรียง ทำการเขียนโค้งของการกระจายขนาดส่วนคละของวัสดุรองทุกชั้นลงในกระดาษกราฟแผ่นเดียวกับเส้นโค้งของการกระจายขนาดส่วนคละของดินผิวทางน้ำและหินเรียง

ประมวลหลักปฏิบัติวิชาชีพในการออกแบบอาคารสลายพลังงาน

1. อ่างสลายพลังงาน

อาคารสลายพลังงาน เป็นอาคารชลศาสตร์ที่ได้รับการออกแบบขึ้นเพื่อให้ทำหน้าที่สลายพลังงานจลน์ (Kinetic Energy) จากการไหลของน้ำด้วยความเร็วสูงเช่น การไหลลงจากฝายทดน้ำหรือทางน้ำล้นของเขื่อน การไหลของน้ำผ่านรางเท การไหลลอดผ่านประตูน้ำจะทำการออกแบบให้อาคารสลายพลังงานอยู่ด้านท้ายน้ำของอาคารดังกล่าวเสมอ อาคารสลายพลังงานที่ดีจะต้องสามารถทำให้การไหลของน้ำที่เรื่อนั้นช้าลง หรือทำให้พลังงานเนื่องจากความเร็วลดลง โดยไม่ทำให้อาคารหรือส่วนใดส่วนหนึ่งของอาคารหรือคลองส่งน้ำเสียหาย

2. การแบ่งประเภทของอาคารสลายพลังงาน

ถ้าพิจารณาตามวิธีที่ใช้สลายพลังงานแล้ว สามารถแบ่งอาคารสลายพลังงานออกได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ คือ

ก. แบบอ่างน้ำนิ่ง (stilling Basin)

แบบนี้จะใช้ไฮดรอลิกจัมเป็นตัวสลายพลังงานส่วนเกิน โดยทำให้จัมเกิดขึ้นภายในอ่างที่กำหนดไว้ พลังงานจะถูกสลายไปจากการไหลอลวน หรือความปั่นป่วนของกระแสน้ำในบริเวณอ่าง ความเร็วของน้ำจะลดลงจากการไหลแบบเหนือวิกฤต เป็นการไหลแบบใต้วิกฤต และถูกปล่อยออกสู่น้ำทางด้านท้ายของอ่างโดยไม่เกิดการอลวนมาก การออกแบบต้องคำนึงถึงว่าจะต้องเกิดไฮดรอลิกจัมและเกิดภายในอ่างตลอดเวลา และความยาวของอ่างจะต้องน้อยที่สุด

ข. แบบกระแทก (Impact Type)

ลักษณะของอาคารแบบนี้ก็คือ น้ำที่ไหลมาจะถูกบังคับให้พุ่งกระทบเข้ากับสิ่งกีดขวางหรืออาศัยการกระแทกตัวระหว่างแท่งน้ำต่อแท่งน้ำเอง ทำให้น้ำกระจายไปทุกทิศทุกทาง เป็นผลทำให้พลังงานถูกสลายไป ในบางลักษณะของอาคาร พวยน้ำจะพุ่งลงไปใอ่างซึ่งมีน้ำขังอยู่แล้ว ซึ่งก็มีผลทำให้พลังงานถูกสลายไปเช่นกัน

ค. แบบ Bucket

เป็นการเบี่ยงเบนทิศทางการไหลของน้ำให้พุ่งสู่อากาศหรือไหลม้วนตัว

การออกแบบอาคารสลายพลังงานมักจะมาจากผลการศึกษาแบบจำลองว่าถ้าอาคารสลายพลังงานลักษณะนี้ควรจะมีขนาดเป็นอย่างไรสำหรับอัตราการไหลต่าง ๆ แต่ละแบบก็มีทั้งข้อดีและข้อเสียต่างกันออกไปดังเช่น แบบอ่างน้ำนิ่ง ถึงแม้ว่าจะทำให้สภาพการไหลของน้ำทางด้านท้ายน้ำราบเรียบดีที่สุดในแต่มีราคาแพงมาก ดังนั้นจึงไม่นิยมใช้กับเขื่อนที่มีความสูงมาก ส่วนอาคารแบบ Flip Bucket หรือ Submerged Roller Bucket มีราคาถูกกว่ามาก แต่ต้องการฐานรากที่เป็นหินแข็ง

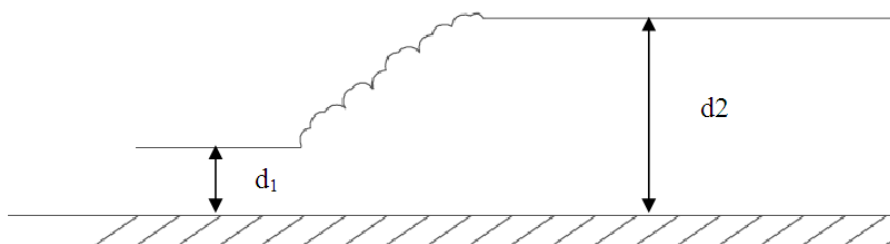
3. การวิเคราะห์ไฮดรอลิกจัม

ไฮดรอลิกจัม เป็นปรากฏการณ์ของการไหลที่น้ำเปลี่ยนจากสภาวะการไหลที่มีความลึกน้อยแต่เร็วมากไปสู่สภาวะการไหลที่มีความลึกมากแต่ความเร็วต่ำ

ในการวิเคราะห์ จะใช้ Froude Number (Fr) เป็นดัชนีบอกสภาวะการไหล โดยสภาวะการไหลที่มีความลึกน้อยแต่เร็วมาก จะมีค่า Froude Number (Fr) มากกว่า 1.0 เรียกว่า Supercritical Flow แต่ถ้าการไหลที่มีความลึกมากแต่ความเร็วต่ำ จะมีค่า Froude Number (Fr) น้อยกว่า 1.0 เรียก Subcritical Flow

ไฮดรอลิกจัม จะเกิดขึ้นในทางน้ำที่มีสภาวะการไหลปกติเป็น Subcritical Flow แต่เมื่อน้ำไหลผ่านอาคารชลศาสตร์ที่ทำให้การไหลด้านท้ายอาคารเป็น Supercritical Flow การไหลจะต้องเปลี่ยนกลับไปเป็น Subcritical Flow ตัวอย่างของการไหลผ่านอาคารที่อาจทำให้เกิด Hydraulic Jump

1. การไหลล้นจากฝายทดน้ำ หรือ Spillway ของเขื่อน
2. การไหลลอดประตูน้ำกรณีความสูงของการเปิดบานมีค่าน้อย
3. การไหลลงจาก Chute หรือ รางเท



รูปที่ 1 ไฮดรอลิกจัม

ความสัมพันธ์ระหว่างความลึกก่อนและหลังเกิดจัม ในทางน้ำรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า หรือทางน้ำที่มีความกว้างมาก สามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$\frac{d_2}{d_1} = \frac{1}{2}(\sqrt{1+8F_1^2} - 1) \quad \text{-----} \quad (1)$$

- เมื่อ
- d_1 = ความลึกก่อนเกิดจัม
 - d_2 = ความลึกหลังเกิดจัม
 - F_1 = Froude Number ของการไหลก่อนเกิดจัม
 - = $V_1 / \sqrt{gd_1}$

3.1 การสลายพลังงานของไฮดรอลิกจัมป์

การสูญเสียพลังงานของการเกิดไฮดรอลิกจัมป์บนพื้นราบสามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$E_L = \frac{(d_2 - d_1)^3}{4d_1d_2} \quad \text{-----} \quad (2)$$

เมื่อ E_L = พลังงานที่สูญเสียไปเมื่อเกิด Jump , หน่วยเป็นเมตร

3.2 การแบ่งประเภทของไฮดรอลิกจัมป์

ประเภทของจัมป์ จะแบ่งตามค่าของ Froude Number ดังต่อไปนี้

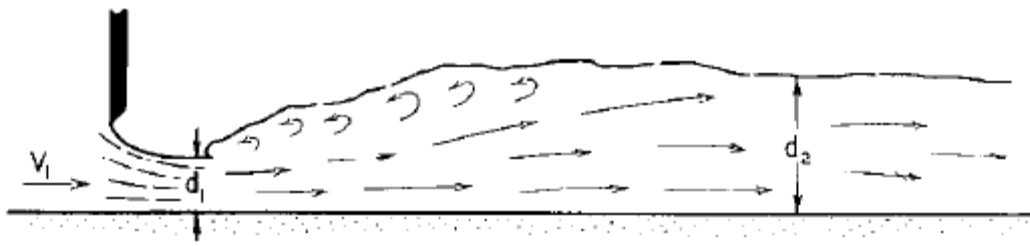
แบบที่ 1 เรียกว่า Pre-jump เมื่อ $F_1 = 1.7 - 2.5$ ผิวหน้าเป็นคลื่นขนาดเล็ก ในช่วงนี้ไม่จำเป็นต้องใช้ stilling Basin มีการสลายพลังงานประมาณ 20%

แบบที่ 2 เรียกว่า Transition เมื่อ $F_1 = 2.5 - 4.5$ ปกติมักพบเห็นเสมอ ๆ ในอาคารขนาดเล็ก มีการปั่นป่วนของน้ำที่พื้นและที่ผิวน้ำสลับกันไปไม่แน่นอน ทำให้เกิดคลื่นขนาดใหญ่ซึ่งสามารถเคลื่อนที่ไปทางด้านท้ายน้ำได้เป็นระยะทางหลาย ๆ กิโลเมตร ซึ่งอาจทำให้เกิดความเสียหายต่อตลิ่งและหินทิ้งได้

แบบที่ 3 เป็นแบบ Well-Stabilized Jump เมื่อ $F_1 = 4.5 - 9.0$ จัมป์มีความมั่นคงดี และสามารถสลายพลังงานระหว่าง 45-70%

แบบที่ 4 F_1 มากกว่า 9.0 น้ำจะพุ่งเข้าสู่จัมป์ด้วยความเร็วสูงมาก d_1 และ d_2 จะมีค่าต่างกันมาก กรณีนี้ความยาวจัมป์จะต้องวัดจากตำแหน่งคลื่นม้วนบนผิวน้ำ เนื่องจากกระแสน้ำความเร็วสูงพุ่งขึ้นจากพื้นก่อนที่จะหดรณะจัมป์ คลื่นม้วนอาจเคลื่อนตัวลงตามแนวหน้าจัมป์สู่กระแสน้ำที่พุ่งด้วยความเร็วสูงทำให้เกิดคลื่นเคลื่อนตัวไปทางด้านท้ายน้ำได้เป็นบางครั้ง ผิวน้ำปั่นป่วนมาก อาจสลายพลังงานได้ถึง 85%

ความยาวของจัมป์ในรูป 2 จะสัมพันธ์กับจัมป์ชนิดต่าง ๆ ที่กล่าวมานี้



$$F_1 = 1.7 \text{ to } 2.5$$

A – Pre – jump – very low energy loss



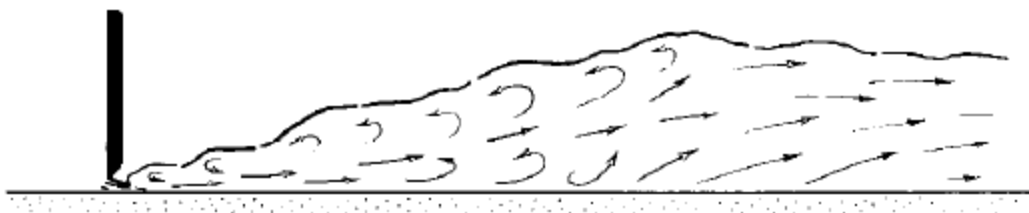
$$F_1 = 2.5 \text{ to } 4.5$$

B – Transition – rough – water surface



$$F_1 = 4.5 \text{ to } 9.0 \text{ – range of good jumps}$$

C – Least affected by tail water variations



$$F_1 = 9.0 \text{ upward}$$

D – Effective but rough

รูปที่ 2 การแบ่งประเภทของไฮดรอลิกจัม

3.3 การพิจารณาในเชิงปฏิบัติ

เมื่อพิจารณาชนิดของจัมตามที่ได้ออกมาในหัวข้อที่แล้ว จะสามารถสรุปสาระสำคัญสำหรับการออกแบบได้ว่า

1. จัมทุกแบบในรูปที่ 2 เกี่ยวข้องกับการออกแบบอ่าง น้ำนิ่ง
2. จัมในรูป 2 (A) หรือจัมแบบที่ 1 ไม่ต้องการ baffles หรืออุปกรณ์พิเศษในอ่างน้ำนิ่ง เพียงต้องการให้มีความยาวที่เหมาะสมเท่านั้น ซึ่งปกติก็ค่อนข้างสั้น ความยาวของอ่างหาได้จากรูปที่ 2A
3. จัมในรูป 2 (B) จะมีปัญหาเรื่องคลื่นยกที่จะแก้ ปกติจะพบในการออกแบบอาคารในคลอง อาคารท่อน้ำ ทางระบายน้ำสั้นของเขื่อนเตี้ย และ outlet Works Baffle Pier หรืออุปกรณ์ช่วยอื่น ๆ ใช้ไม่ได้ผลมากนัก แนวทางการแก้ไขที่อาจทำได้คือการเปลี่ยนมิติของอาคารเพื่อเลี่ยงการเกิดจัมในช่วง Froude Number มีค่า 2.5 – 4.5
4. จัมในรูป 2 (C) เป็นช่วงที่ไม่มีปัญหาอะไรเลย สามารถใช้ Baffles และ Sills เพื่อช่วยลดความยาวของเบซินได้
5. ถ้า Froude Number เพิ่มมากขึ้น จัมจะอ่อนไหว (Sensitive) ต่อความลึกท้ายน้ำ (Tailwater Depth) มากขึ้น เช่น ถ้า Froude Number เท่ากับ 8 หรือมากกว่าแนะนำว่าให้ใช้ความลึกท้ายน้ำมากกว่า Conjugate depth มากขึ้น เพื่อให้แน่ใจว่าจัมอยู่ในอ่าง
6. ถ้า Froude Number มากกว่า 10 ความลึกหลังเกิดจัม (Conjugate depth) จะมีค่ามากถึงต้องการอ่างน้ำนิ่งที่มีระดับพื้นต่ำ และกำแพงข้างสูง สำหรับทางระบายน้ำสั้นที่มีความสูงมาก ๆ จะทำให้ราคาอ่างน้ำนิ่งสูงเกินไป กรณีเช่นนี้อาคารสลายพลังงานแบบ Bucket จะประหยัดกว่า
7. กรณีที่ยกบานระบายเพียงเล็กน้อยจะทำให้ Froude Number มีค่าสูงมาก แต่ไม่ใช่ปัญหาตรงใดที่ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับปริมาณการไหลออกแบบ (design low)

3.4 ความยาวของจัม

ความยาวของจัมบนพื้นราบสามารถหาได้จากสูตรในตารางที่ 1

3.5 การหาโค้งความลึกหลังเกิดจัม

โค้งความลึกหลังเกิดจัม หรือ ความสัมพันธ์ระหว่าง d_2 กับ Q ที่ค่าต่าง ๆ จะใช้เปรียบเทียบกับโค้งความลึกด้านท้ายน้ำ (Tailwater Depth) เพื่อใช้เลือกประเภทของอาคารสลายพลังงาน และกำหนดระดับพื้นของอ่างน้ำนิ่ง สามารถสรุปขั้นตอนได้ดังนี้

1. หาความลึกและความเร็วของน้ำที่หน้าตัดด้านท้ายของอาคาร เช่น หน้าตัดที่ตีน (Toe) ของฝายท่อน้ำ หรือหน้าตัดตรงตำแหน่ง Vena Contracta เมื่อน้ำไหลตลอดผ่านประตูน้ำ

2. หาคความลึกหลังเกิดจัม (d₂) หรือ ความลึก Conjugate ของ d₁ จากสมการที่ 1
3. เปลี่ยนค่าต่าง ๆ ของปริมาณการไหล (Q) แล้วหาค่า d₁, V₁ และ d₂ ตามขั้นตอนที่ 2 และ 3
4. สร้างโค้งความสัมพันธ์ระหว่าง Q และ d₂

ตารางที่ 1 ความยาวของไฮโดรลิกจัมบนพื้นราบ

ผู้ที่ทำการศึกษา	สูตรที่เสนอ
Bakhmeteff	$L_j = 5(d_2 - d_1)$
Smetana	$L_j = 6(d_2 - d_1)$
Wu	$L_j = 10(d_2 - d_1)F_1^{0.16}$
Page	$L_j = 5.6d_2$
Chertoussov	$L_j = 10.3d_1(F_1 - 1)^{0.81}$
Posey	$L_j = 4.5 - 7(d_2 - d_1)$ โดยประมาณ

4. การวิเคราะห์ Rating curve ด้านท้ายน้ำ

สามารถแบ่งได้เป็น 5 กรณีดังต่อไปนี้

- 1) โค้งความลึกหลังเกิดจัม และ โค้งความลึกด้านท้ายน้ำ (Tailwater Depth) ซ้อนทับกัน หรือเป็น โค้งเดียวกัน กรณีนี้ไม่น่าจะมีโอกาสเกิดขึ้น จะเกิดจัม ทุก ๆ ค่าปริมาณการไหล อาคารสลายพลังงานจะเป็นคอนกรีตเสริมเหล็กธรรมดา แต่ต้องมีความยาวเพียงพอที่จะให้เกิดจัม อยู่ในอ่าง
- 2) โค้งความลึกหลังเกิดจัม อยู่ต่ำกว่าโค้งความลึกด้านท้ายน้ำ ทุกค่าของปริมาณการไหล แสดงว่าเกิด Drowned jump ซึ่งการสลายพลังงานไม่มีประสิทธิภาพ ฉะนั้นอาคารสลายพลังงานควรเป็นแบบพื้นเอียง (Sloping Apron) หรือเป็นแบบ Roller Bucket
- 3) โค้งความลึกหลังจัม อยู่เหนือกว่าโค้งความลึกด้านท้ายน้ำ ทุกค่าของปริมาณการไหล กรณีนี้ตำแหน่งของการเกิดจัม จะอยู่ห่างมากจากท้ายของอาคารหลัก วิธีแก้ไขคือทำให้เกิดจัม ใกล้ด้านท้ายอาคารหลัก และสามารถกระทำได้ดังนี้
 - ก) ลดระดับพื้นของอาคารสลายพลังงานลงเพื่อทำให้เกิดจัมภายในอ่าง
 - ข) สร้างเนินหรือเขื่อนเตี้ยด้านท้ายของพื้นเอียงของอ่างน้ำนิ่ง
 - ค) ใช้อาคารสลายพลังงานแบบ Bucket เพื่อทำให้การไหลพุ่งขึ้นสู่อากาศแล้วตกลงในลำน้ำในระยะทางที่ปลอดภัยด้านท้ายเขื่อน แต่ในกรณีนี้ต้องมั่นใจในความแข็งแรงของท้องน้ำและตลิ่ง

- 4) โค้งความลึกหลังเกิดจัม อยู่เหนือโค้งความลึกด้านท้ายน้ำ ในช่วงของปริมาณการไหลน้อย และอยู่ต่ำกว่าในช่วงปริมาณการไหลมาก ในกรณีนี้ขอแนะนำว่า ควรสร้างเนินหรือเขื่อนเตี้ยและพื้นเอียงในอาคารสลายพลังงาน แต่ถ้าความเร็วที่เข้าสู่อาคาร มีค่าไม่มากจนเกินไป ก็สามารถสร้าง Baffle Piers และ Dentated Sill ที่พื้นด้านท้ายน้ำ เพื่อให้ชะลอความเร็วของน้ำให้ลดลงได้
- 5) โค้งความลึกหลังเกิดจัม อยู่ต่ำกว่าโค้งความลึกด้านท้ายน้ำ ในช่วงที่ปริมาณการไหลมีค่าน้อย และอยู่เหนือกว่าในช่วงที่ปริมาณการไหลมีค่ามาก แสดงว่าในช่วงที่ปริมาณการไหลมีค่ามาก ความลึกด้านท้ายน้ำมีความลึกไม่เพียงพอที่จะทำให้เกิดจัม ในอ่างด้านท้ายน้ำ ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยการสร้างเนินหรือเขื่อนเตี้ย หรือกดพื้นอ่างให้ต่ำลง เพื่อให้เกิดจัม ที่มีประสิทธิภาพ และในช่วงปริมาณการไหลมีค่าน้อยจะเกิด Drowned Jump ก็สร้างพื้นอ่างเอียงไปด้านท้ายน้ำควบคู่กันด้วย

5. ข้อมูลที่ใช้ในการเลือกอาคารสลายพลังงาน

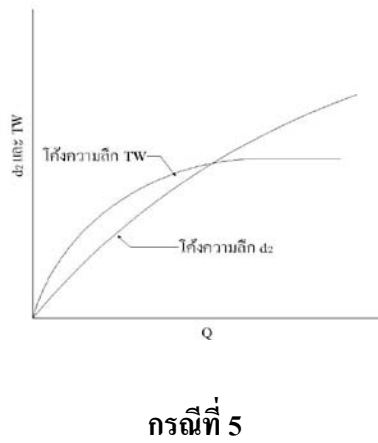
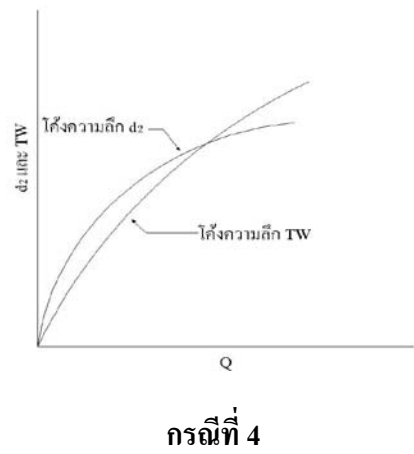
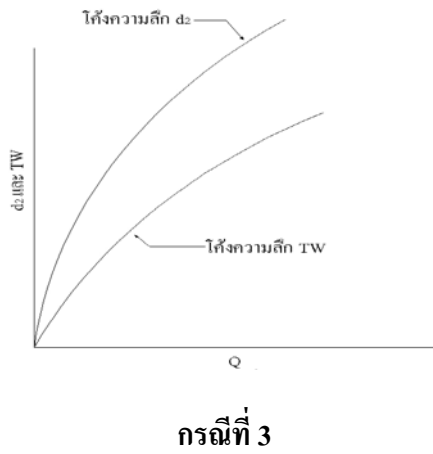
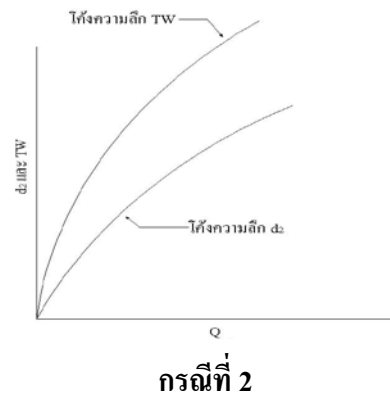
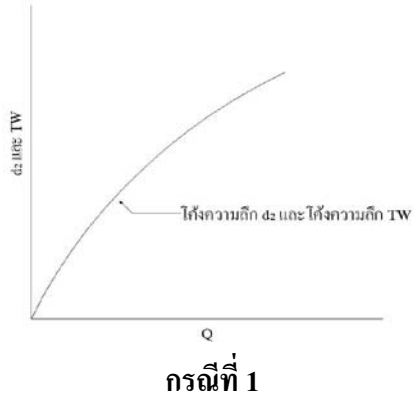
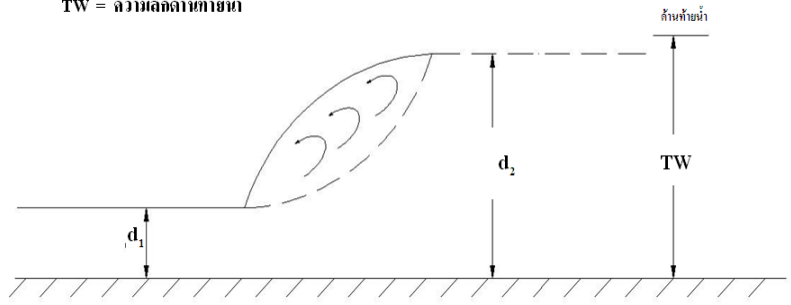
การกำหนดเกณฑ์เฉพาะเจาะจง กระทำได้ยาก แต่อย่างไรก็ดี พอที่จะสรุปข้อมูลที่ใช้ในการเลือกอาคารสลายพลังงานไว้ดังนี้

1. ความถี่ของการเกิดและขนาดของปริมาณน้ำท่วม
2. ระดับของการป้องกัน ที่จะต้องเตรียมพร้อมเมื่อปริมาณน้ำท่วมขนาดใหญ่ไหลผ่าน
3. ชนิดของอาคารหลัก เช่น เขื่อนและทางระบายน้ำล้น
4. ธรรมชาติของฐานรากและลำน้ำด้านท้าย
5. ความเร็วและพฤติกรรมกรการไหล
6. ระดับน้ำของความลึกด้านท้ายน้ำ (Tailwater) ที่ปริมาณการไหลต่าง ๆ หรือ Rating curve ของความลึก Tailwater
7. ความเสียหายและความปลอดภัยของอาคารด้านท้ายน้ำ

เกณฑ์ที่กล่าวมา เป็นเพียงแนวทางที่ให้ผู้ออกแบบได้ใช้เลือกชนิดของอาคารสลายพลังงานในเบื้องต้น ซึ่งการตัดสินใจขั้นสุดท้าย ควรพิจารณาจากผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองโดยใช้แบบจำลองกายภาพด้านชลศาสตร์

กรณีเขื่อนคอนกรีตโค้งที่มีน้ำไหลผ่านทางน้ำล้นแบบ Free Fall โดยปกติจะทำการสร้างอ่างน้ำนิ่งที่มีความลึกมากด้านท้ายน้ำต่อจากทางน้ำล้น ถ้าเป็นเขื่อนดินที่มีทางน้ำล้นแบบรางเท (Chute) ก็จะเลือกอาคารสลายพลังงานที่ใช้หลักการของการเกิดไฮดรอลิกจัม แต่ถ้าเป็นการไหลจากอ่างเก็บน้ำผ่านอุโมงค์หรือท่อ อาคารสลายพลังงานที่น่าจะดีที่สุด เป็นแบบที่อาศัยการสลายพลังงานด้วย Jet diffusion สำหรับอาคารน้ำล้นของเขื่อนสูงและความลึก Tailwater ที่มีค่ามากก็อาจจะใช้อาคารสลายพลังงานแบบ Roller Bucket

d_2 = ความลึกหลังเกิดจัม
 TW = ความลึกด้านซ้าย



รูปที่ 3 กรณีต่าง ๆ ของโค้งความลึกด้านซ้ายน้ำเทียบกับโค้งความลึกหลังเกิดจัม

แม่น้ำที่มีพื้นที่ท้องน้ำเป็นหินเนื้อแน่นแข็งแรง อาคารสลายพลังงานที่มีความเหมาะสมที่สุด น่าจะเป็นแบบ Bucket เพราะจะทำให้ความยาวของอ่างน้ำนิ่งสั้นลงมาก แต่ในกรณีที่ท้องน้ำเป็นหินอ่อนที่มีรอยแยกรอยร้าว หรือเป็นดินตะกอนแม่น้ำ อาคารสลายพลังงานน่าจะเป็นแบบไฮดรอลิกจัมที่อ่างน้ำนิ่งยาว

ความถูกต้องหรือแน่นอนของระดับน้ำ Tailwater จะมีผลมากต่อประสิทธิภาพการทำงานของอาคารสลายพลังงาน และใช้เป็นปัจจัยในการกำหนดระดับพื้นของอาคารสลายพลังงานด้วย

6. ข้อพิจารณาในการออกแบบอ่างน้ำนิ่ง

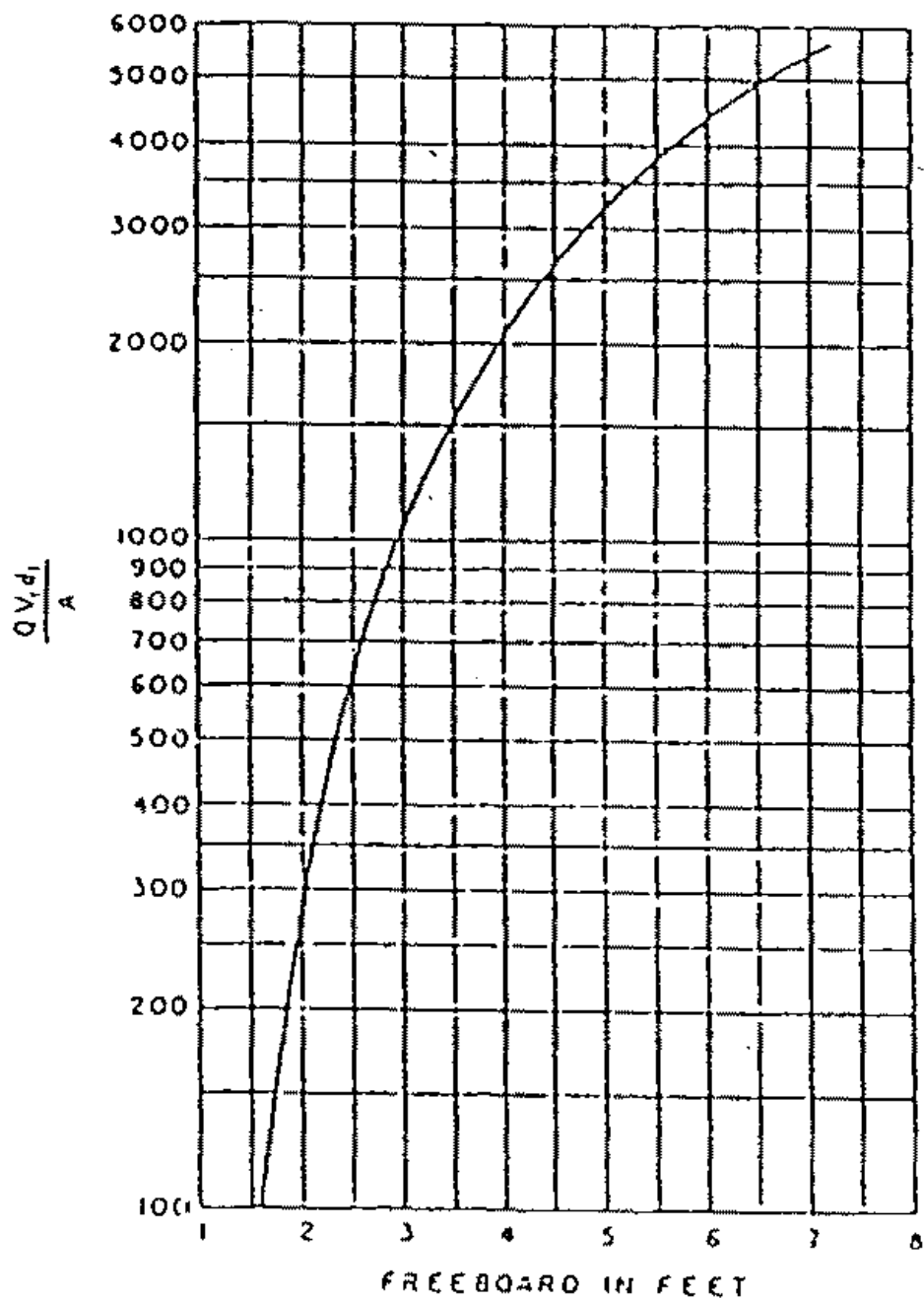
6.1 ระยะเวลาเพื่อล้น (Free Board) : การออกแบบระยะเวลาเพื่อล้นจะต้องพิจารณาผลของการกระแทกของน้ำต่อ Floor Blocks, และความปั่นป่วนของกระแสน้ำเนื่องจากคลื่นและการรวมตัวกันของอากาศกับน้ำ USBR ได้เสนอกราฟในรูปที่ 4 เพื่อใช้สำหรับหาระยะเพื่อล้นของอ่างน้ำนิ่ง รูปที่ 4 เป็นโค้งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาเพื่อล้นกับ $\frac{QV_1d_1}{A}$ เมื่อ V_1 และ d_1 เป็นความเร็วและความลึกก่อนเกิดไฮดรอลิกจัมตามลำดับ และระยะเวลาเพื่อล้นเป็นค่าสูงเหนือเส้นพลังงาน (Energy Gradient) ด้านท้ายน้ำ นอกจากกราฟดังกล่าว USBR ยังได้เสนอสูตรที่ใช้หาระยะเพื่อล้นที่มีหน่วยเป็นฟุตสำหรับเขื่อนขนาดเล็กไว้ดังนี้

$$\text{ระยะเวลาเพื่อล้น} = 0.1(V_1 + d_1) \text{ -----} \quad (3)$$

6.2 ความกว้างของอ่างน้ำนิ่ง : โดยทั่ว ๆ ไปมักจะออกแบบความกว้างของอ่างน้ำนิ่งให้เท่ากับความกว้างของรางหรือทางน้ำล้น ยกเว้นในกรณีที่น้ำไหลเข้ามามีความเร็วสูง จะทำการออกแบบให้อ่างน้ำนิ่งมีความกว้างมากกว่า โดยมีมุมผายออกเพียงเล็กน้อย เพื่อลดความหนาแน่นของอัตราการไหล (Discharge Concentration) ลดการเกิดคลื่นและการปั่นป่วนของกระแสน้ำทางด้านท้ายน้ำของจัม

การเลือกความกว้างของอ่างน้ำนิ่งจะต้องพิจารณาควบคู่ไปกับการเลือกความยาว เพื่อให้ได้อาคารที่เหมาะสมในเชิงเศรษฐศาสตร์ ซึ่ง US. Corps of Engineers ได้เสนอแนะการเลือกความกว้างไว้ดังนี้

1. จะต้องไม่ให้เกิดแรงดันลอยตัว (Uplift) บนพื้นของอ่างมากเกินไป
2. ระดับของอ่างจะต้องไม่ต่ำเกินไปเพื่อหลีกเลี่ยงการขุดดินบริเวณฐานรากลึกมากเกินไป
3. ความเร็วของน้ำที่ไหลออกจากอ่างจะต้องไม่มากเกินไปจนก่อให้เกิดการกัดเซาะ



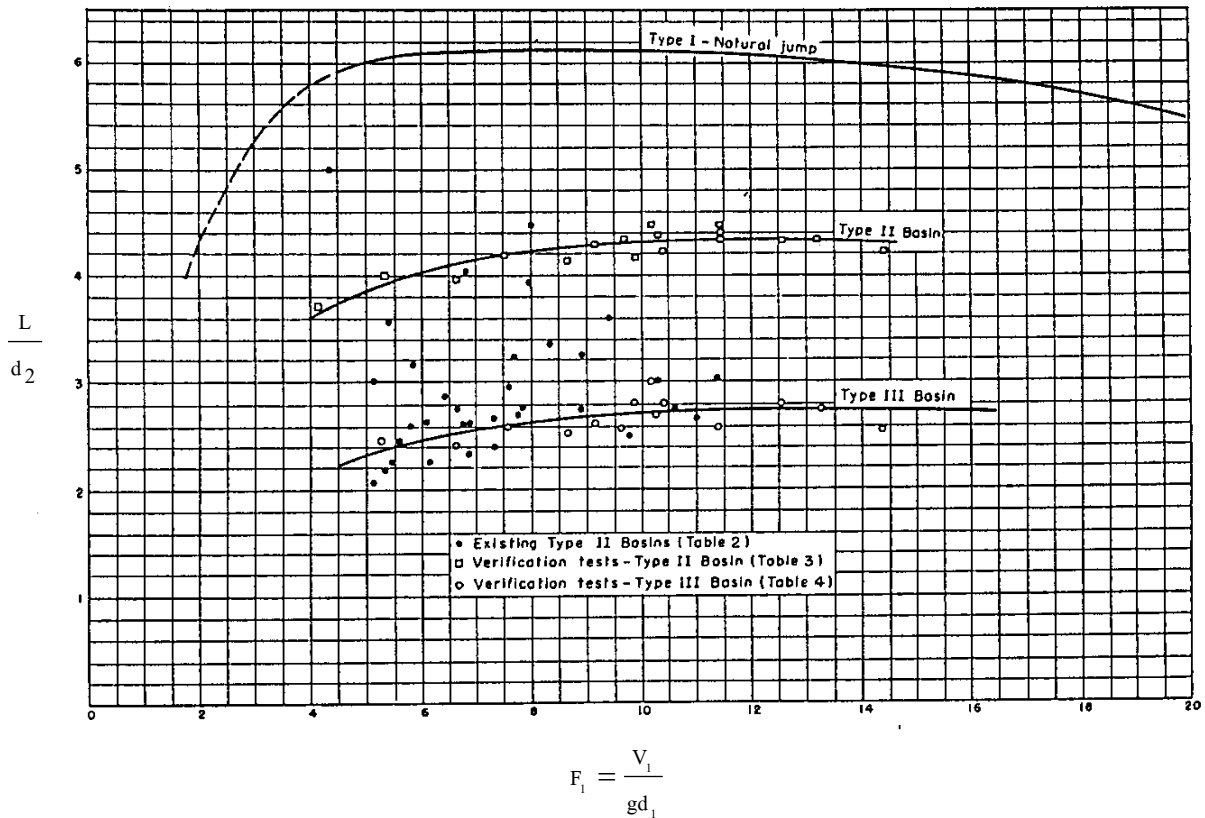
รูปที่ 4 กราฟสำหรับใช้หาระยะเพื่อล้นของอ่างน้ำนิ่ง

และเพื่อเป็นแนวทางเบื้องต้นในการออกแบบความกว้าง ได้มีผู้เสนอแนะสูตรไว้ดังนี้

$$W = 1.81K\sqrt{Q} \text{ ----- (4)}$$

เมื่อ W = ความกว้างของอ่างน้ำนิ่ง , เมตร
 K = ค่าคงที่
 = 1.0 สำหรับอ่างน้ำนิ่งที่รับน้ำจากรางเทหรือทางน้ำล้น
 = 1.3 สำหรับอาคารในคลอง
 Q = ปริมาณการไหลสูงสุด , ลบ.เมตร/วินาที

6.3 ความยาวของอ่างน้ำนิ่ง : โดยปกติความยาวของอ่างเท่ากับความยาวของจัมที่เกิดขึ้นในอ่าง (ยกเว้นอ่างน้ำนิ่งแบบ D) และอัตราส่วน $\frac{L}{d_2}$ จะมีค่าอยู่ระหว่าง 4 ถึง 5 และจากการทดลองพบว่า ถ้ามีการติดตั้ง Floor Block และ End Sill ที่เหมาะสม อัตราส่วน $\frac{L}{d_2}$ เท่ากับ 3 ก็นับว่าเป็นการเพียงพอแล้ว แต่สำหรับบริเวณพื้นทางน้ำไม่มั่นคง ในทางปฏิบัติมักจะใช้ $\frac{L}{d_2}$ อย่างน้อยเท่ากับ 4 และสำหรับบริเวณที่พื้นทางน้ำมีความมั่นคงดีอาจจะออกแบบโดยใช้ $\frac{L}{d_2}$ เพียง 2.5 เท่านั้น รูปที่ 5 เป็นโค้งที่ใช้หาค่าความยาวของอ่างน้ำนิ่งของ USBR



รูปที่ 5 ความยาวของไฮดรอลิกจัมบนพื้นราบ อ่างน้ำนิ่งแบบที่ I, II และ III

7. การกำหนดระดับพื้นอ่างน้ำนิ่ง

ไฮดรอลิกจัมจะเกิดเมื่อความลึก หลังเกิดจัม (d_2) หรือความลึก Conjugate ของ d_1 เท่ากับความลึกด้านท้ายน้ำ แต่ตามลักษณะทางชลศาสตร์ ความลึกด้านท้ายน้ำ จะเปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณการไหล ดังนั้นจึงเป็นการยากที่จะออกแบบอาคารสลายพลังงานให้มีความลึกหลังเกิดจัม เท่ากับความลึกด้านท้ายน้ำตลอดเวลา บางครั้งความลึกด้านท้ายน้ำอาจมีค่ามากกว่าความลึกหลังเกิดจัม ซึ่งจะทำให้เกิด Drowned Jump หรือบางครั้งความลึกหลังเกิดจัมมากกว่าความลึกด้านท้ายน้ำ จะทำให้จัมเคลื่อนตัวไปทางด้านท้ายน้ำห่างออกไป ในการออกแบบจะต้องมีการเปรียบเทียบโค้งความลึกหลังการเกิดจัมและโค้งความลึกด้านท้ายน้ำ เพื่อกำหนดระดับพื้นของอ่างน้ำนิ่ง เพื่อให้โค้งของความลึกหลังเกิดจัม เข้าใกล้โค้งของความลึกด้านท้ายน้ำมากที่สุด โดยไม่มีส่วนใดของโค้งความลึกหลังเกิดจัม ในช่วงปริมาณการไหลน้อยกว่าหรือเท่ากับปริมาณการไหลสูงสุดผ่านอาคาร อยู่เหนือความลึกด้านท้ายน้ำ

นอกจากการกหนดระดับพื้นอ่างน้ำนิ่ง การกำหนดใช้ความกว้างของอ่างให้เหมาะสม จะมีส่วนช่วยให้โค้งความลึกหลังเกิดจัมเข้าใกล้โค้งความลึกด้านท้ายน้ำมากยิ่งขึ้น การใช้อ่างน้ำนิ่งที่กว้างขึ้น จะทำให้ความลึกหลังเกิดจัมมีค่าน้อยลง ระดับพื้นอ่างจะได้ไม่ต้องอยู่ในระดับที่ลึกมากเกินไป ซึ่งทำให้ต้องเสียค่าขุดดินมาก

ปริมาณการไหลออกแบบสูงสุดอาจจะไม่ใช่เป็นปัจจัยที่ใช้กำหนดระดับพื้นอ่างน้ำนิ่งเสมอไป ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณการไหลที่ทำให้เกิดระยะห่างมากที่สุด ระหว่างโค้งความลึกหลังเกิดจัมและโค้งความลึกด้านท้ายน้ำ

8. อ่างน้ำนิ่งแบบที่ I หรืออ่างสลายพลังงานแบบที่ I

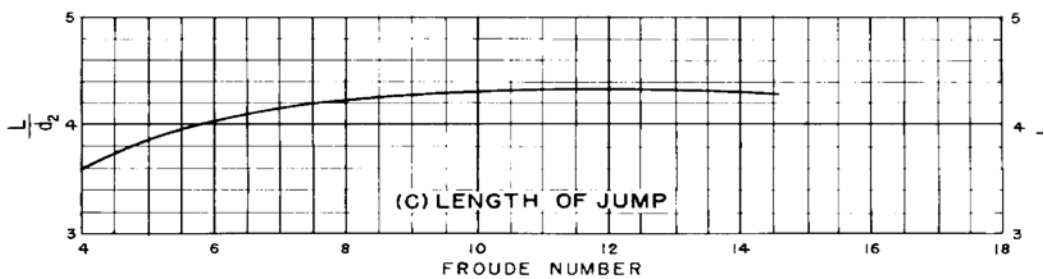
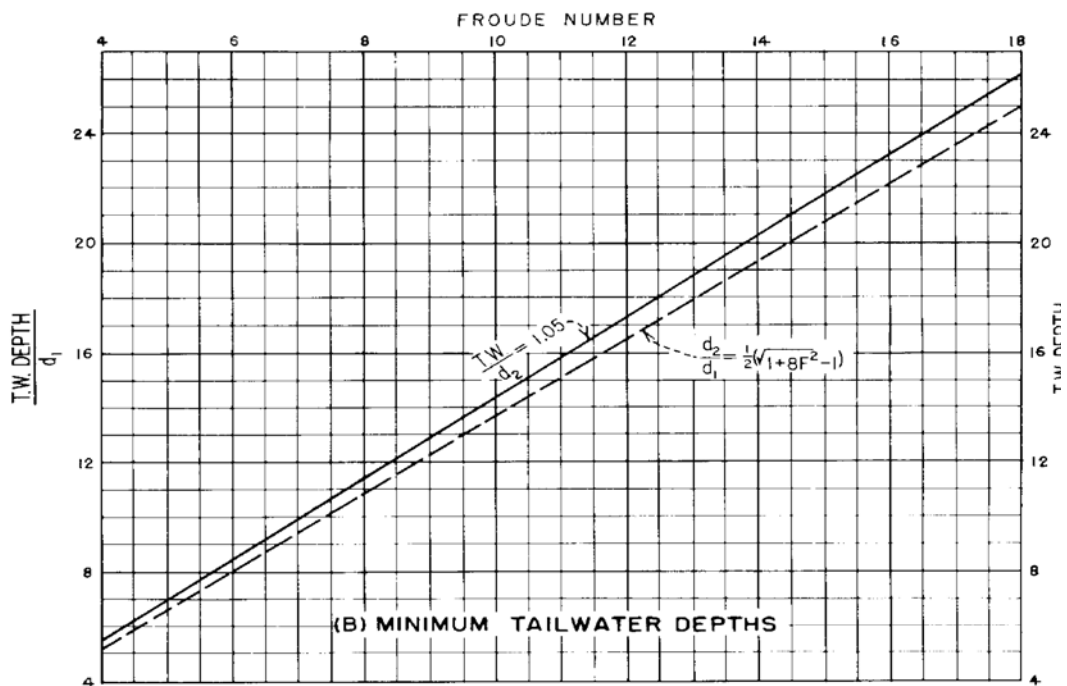
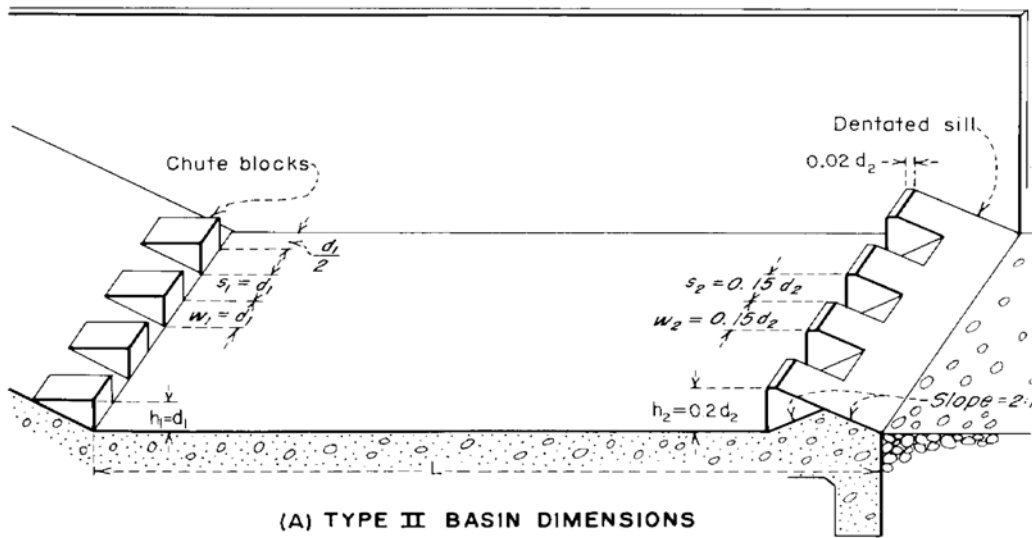
อ่างน้ำนิ่งแบบนี้เป็นแบบที่ไม่มีการควบคุมจัมให้เกิด ณ จุดใดจุดหนึ่ง โดยใช้ Chute Blocks และ Baffle Blocks ฉะนั้นเงื่อนไขของการไหลเปลี่ยนไปตำแหน่งที่เกิดจัมก็จะเปลี่ยนไปด้วย อ่างแบบนี้จึงไม่เหมาะสมที่จะใช้ในทางปฏิบัติ เพราะอ่างจะมีความยาวมาก ในการออกแบบสามารถหาความยาวของจัมได้จาก **รูปที่ 5** ซึ่งความยาวของอ่างทั้งหมดต้องรวมระยะห่างระหว่างอาคารหลักถึงตำแหน่งก่อนเกิดจัมด้วย อ่างแบบที่ I นี้ใช้ควบคุมจัมซึ่งมีฟรูดนัมเบอร์ไม่เกิน 2.5

9. อ่างน้ำนิ่งแบบที่ II หรืออ่างสลายพลังงานแบบที่ II

เหมาะสำหรับเขื่อนขนาดใหญ่และทางน้ำล้นของเขื่อนดิน และอาคารในคลองขนาดใหญ่ ทำการลดความยาวของอ่างโดยการติดตั้งอุปกรณ์พิเศษบางอย่าง เช่น ตัวกันกระแทก และ Block แบบต่าง ๆ อ่างแบบที่ II ใช้ควบคุมไฮดรอลิกจัม ซึ่งมีฟรูดนัมเบอร์มากกว่า 4.5 ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ข้อสรุปในการออกแบบมีดังต่อไปนี้

1. การกำหนดระดับพื้นอ่าง จะต้องกำหนดให้เหมาะสมกับความลึก Tail-water เพื่อทำให้ไฮดรอลิกจัมเกิดขึ้นในอ่าง และควรเผื่อค่าความปลอดภัยไว้อย่างน้อย 5% ของค่าความลึก Conjugate ของ d_1
2. ไม่ควรใช้อ่างแบบที่ II สำหรับค่าฟรูดนัมเบอร์ที่ต่ำกว่า 4 (ถ้าต่ำกว่า 4 ควรใช้อ่างแบบที่ IV)
3. ความสูงของ Chute Blocks เท่ากับ d_1
4. ความกว้างและระยะห่างของ Chute Blocks ควรเท่ากับ d_1 แต่อาจจะปรับได้เพื่อให้ได้จำนวนบล็อกเป็นเลขลงตัว ด้านข้างของกำแพงควรมีช่องว่างเป็นระยะ $\frac{d_1}{2}$ เพื่อลดการกระจายของน้ำและรักษาความดันให้อยู่ในระดับที่ต้องการ
5. ความยาวของอ่างหาได้จาก **รูปที่ 6**
6. ความสูงของ Dentated Sill มีค่าเท่ากับ $0.2 d_2$ ความกว้างและระยะห่างมากที่สุดเท่ากับ $0.15 d_2$ ส่วนที่เป็นซี่ควรอยู่ติดกับกำแพง ความลาดเทของซี่มีค่าเท่ากับ 2:1 (ราบ:ตั้ง) สำหรับกรณีที่อ่างมีความกว้างไม่มาก ซึ่งออกแบบมาแล้วจะได้ซี่เพียง 2-3 อัน ให้พิจารณาลดความกว้างและระยะห่างตามความเหมาะสมกับความกว้างของอ่าง แต่ความกว้างจะต้องเท่ากับระยะห่างของซี่ รายละเอียดดูได้จาก **รูปที่ 6**

7. ถ้ารางเทตรงทางเข้าสู่อ่างมีความลาดเทเท่ากับ 45° หรือมากกว่า ควรออกแบบมูรอยเชื่อมต่อระหว่างรางเทและพื้นอ่างให้เป็นโค้ง โดยรัศมีเท่ากับหรือมากกว่า $4d_1$



รูปที่ 6 อ่างน้ำนิ่งแบบที่ II หรืออ่างสลายพลังงานแบบที่ II

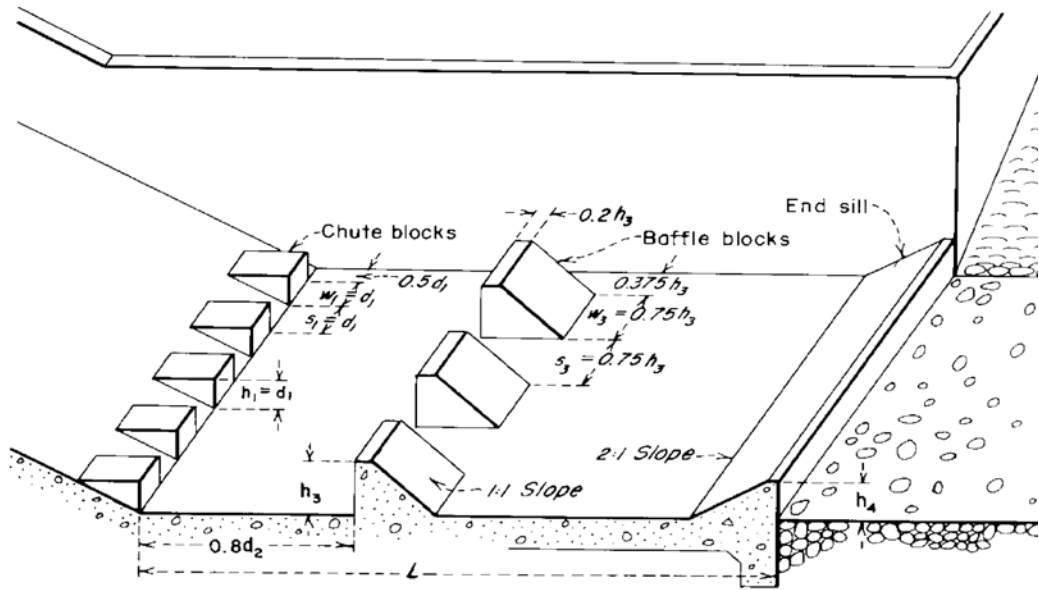
10. อ่างน้ำนิ่งแบบที่ III หรืออาคารสลายพลังงานแบบที่ III

อ่างน้ำนิ่งแบบนี้ไม่ยาวมากเหมาะสำหรับอาคารในคลองชลประทานทั่วไป อาคารทางออก (Outlet Work) และทางน้ำล้นขนาดเล็ก ความเร็วเข้าสู่อ่างไม่เกิน 18 เมตร/วินาที และ q ไม่เกิน 18.6 ลบ.เมตร/วินาที/เมตร อาคารแบบนี้มีราคาสูงกว่าแบบที่ II และจะทำหน้าที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพเมื่อฟรูดนัมเบอร์เท่ากับหรือมากกว่า 4.5 ข้อสรุปในการออกแบบมีดังต่อไปนี้

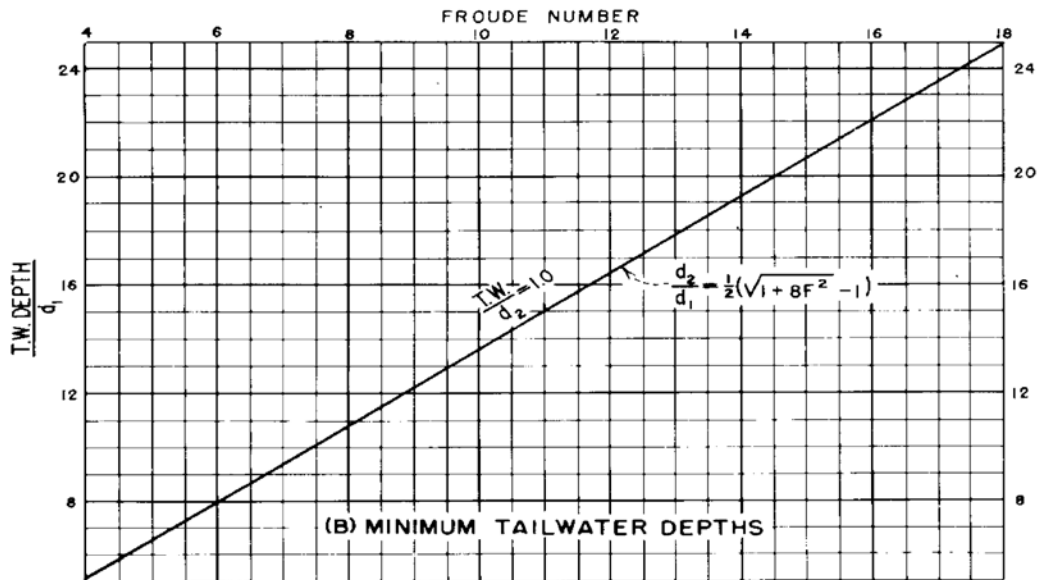
1. ความยาวของอ่างหาได้จาก **รูปที่ 7**
2. ความสูง ความกว้าง และระยะห่างของ Chute Block ควรเท่ากับ d_1 แต่ความสูงต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 8 นิ้ว ความกว้างและระยะห่างอาจลดลงได้เพื่อความเหมาะสม และควรห่างจากกำแพงเท่ากับ $0.5d_1$
3. ความสูงของ Baffle Blocks จะขึ้นอยู่กับฟรูดนัมเบอร์ ดังแสดงใน **รูปที่ 7** ด้านหน้าของ Baffle Blocks จะต้องอยู่ในแนวค้ำเท่านั้น ส่วนความกว้างและระยะห่างควรเท่ากับ 0.75 เท่าของความสูง อย่างไรก็ตามอาจจะเปลี่ยนแปลงได้แต่ผลรวมของความกว้างเท่ากับผลรวมของระยะห่าง
4. Baffle Blocks ต้องอยู่ห่างจาก Chute Block เป็นระยะทางเท่ากับ $0.8d_2$
5. ขนาดของ End Sill หาได้จาก **รูปที่ 7** และผิวหน้ามีความลาดเอียง 2:1 (ราบ: ตั้ง)
6. ถังระบายน้ำล้น (Chute) ชันกว่า 45 องศา มุมรอยต่อระหว่างรางระบายน้ำล้นและพื้นอ่างควรทำเป็นพื้นโค้งด้วยรัศมีเท่ากับหรือมากกว่า $4d_1$

ข้อควรรู้ในการออกแบบ

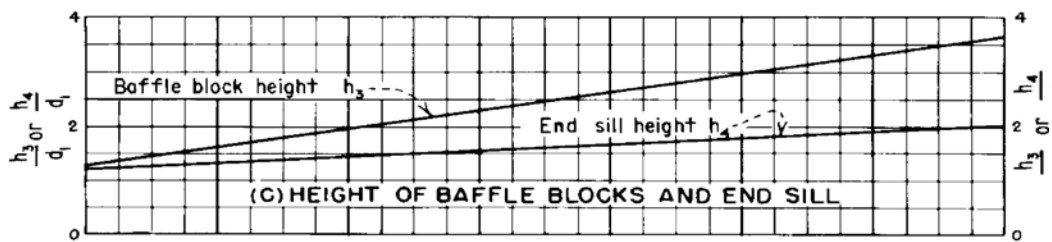
1. Chute Blocks ไม่ควรสูงกว่า d_1 เพื่อป้องกันไม่ให้ Chute Blocks ชกกระแสน้ำขึ้นเหนือ Baffle Blocks
2. ไม่จำเป็นต้องจัดเรียง Baffle Blocks ให้เหลื่อมกับ Chute Blocks เพราะไม่ก่อให้เกิดผลดีในทางชลศาสตร์มากนัก
3. ตำแหน่ง ความสูง และระยะห่างของ Baffle Blocks มีความสำคัญมากต่อการสลายพลังงาน ฉะนั้น ตำแหน่ง และความสูง ควรต้องออกแบบให้ได้ตามข้อกำหนด
4. ต้องไม่ทำการลบมุมตามขอบของ Chute Blocks, Baffle Blocks และ End Sill เพราะจะทำให้ลดประสิทธิภาพในการสลายพลังงานลงครั้งหนึ่ง



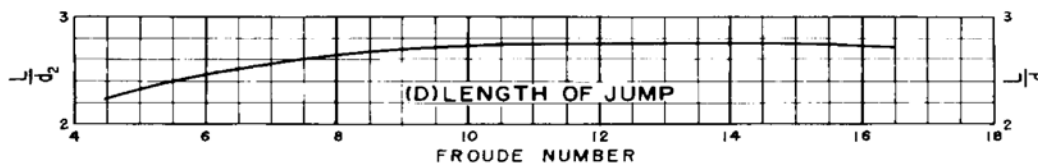
(A) TYPE III BASIN DIMENSIONS



(B) MINIMUM TAILWATER DEPTHS

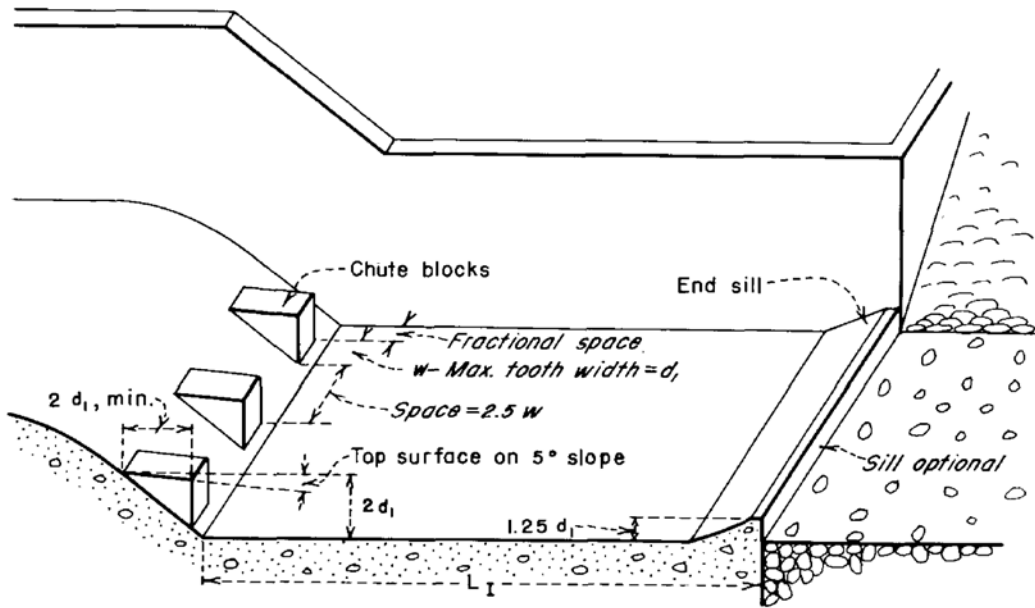


(C) HEIGHT OF BAFFLE BLOCKS AND END SILL

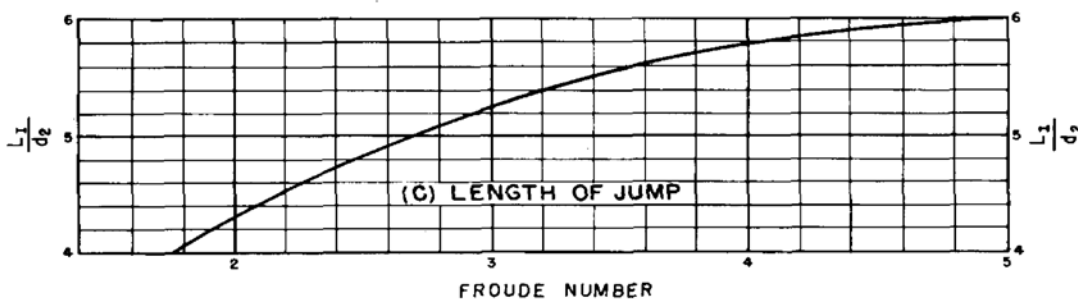
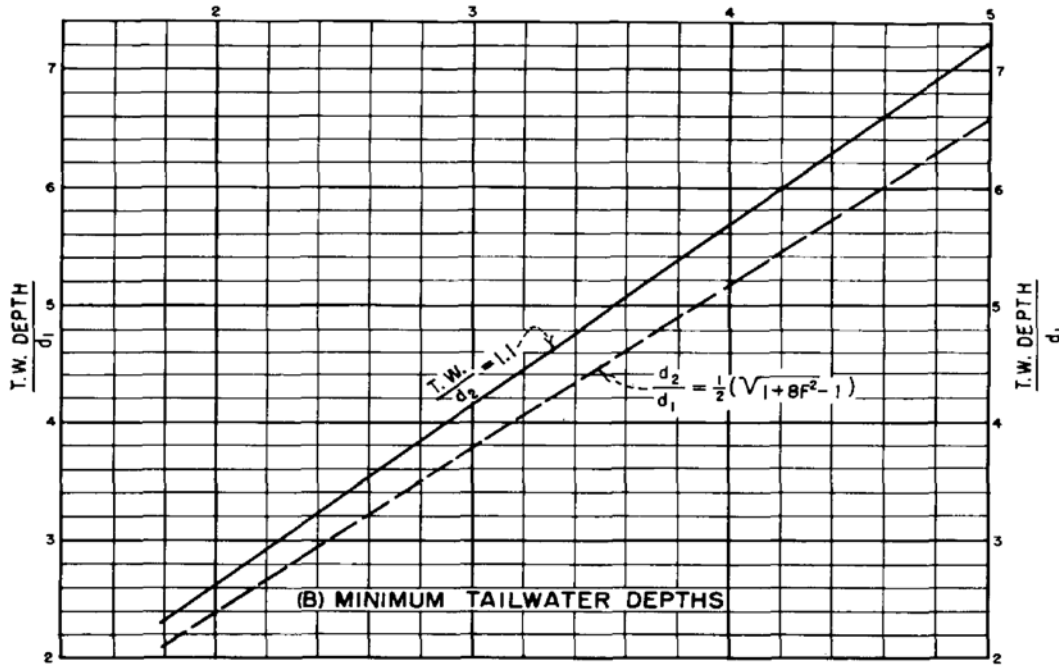


(D) LENGTH OF JUMP

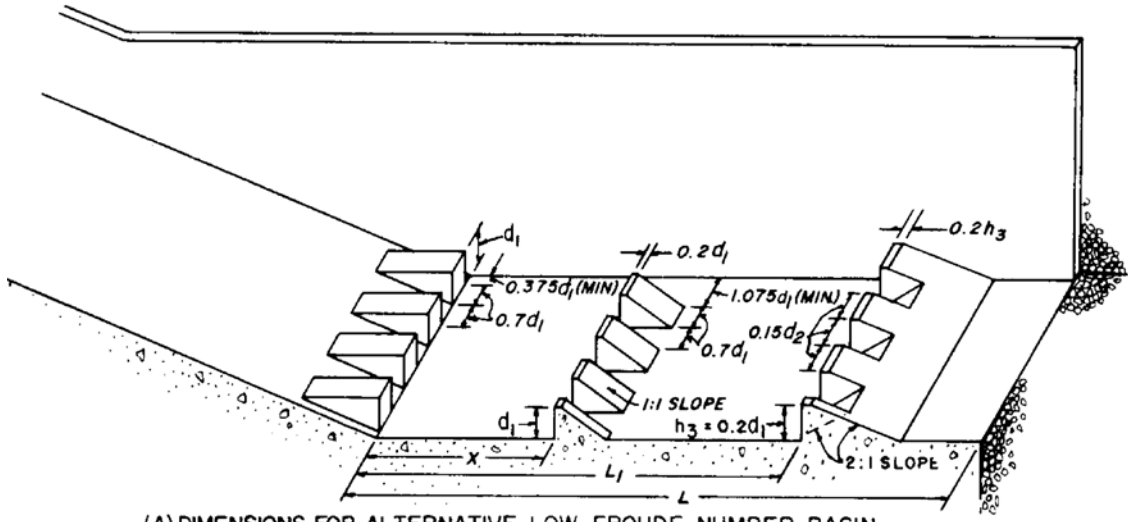
รูปที่ 7 อ่างน้ำนิ่งแบบที่ III หรืออาคารสลายพลังงานแบบที่ III



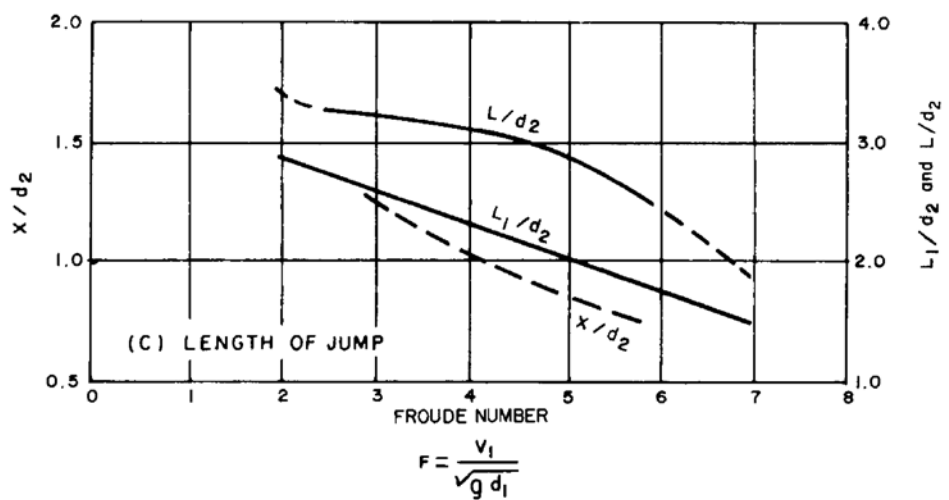
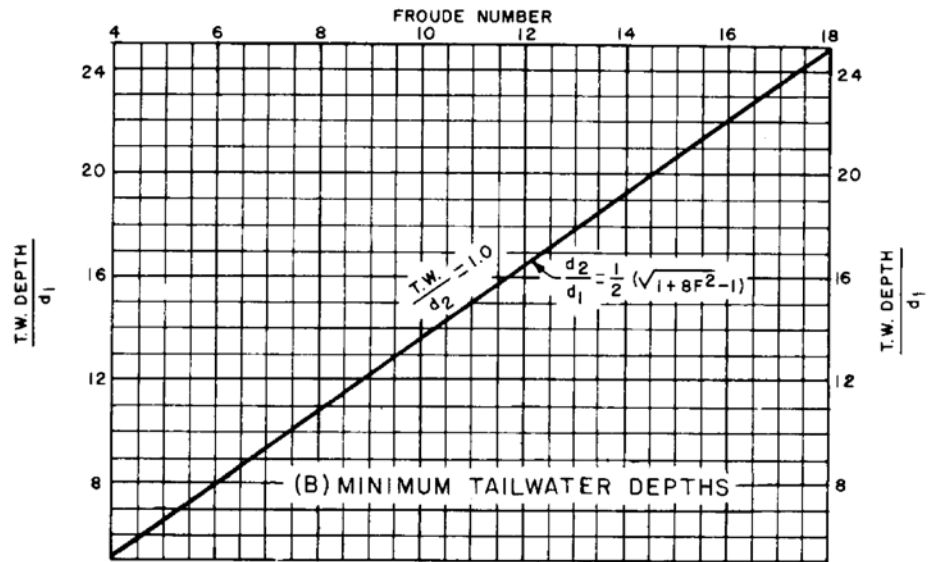
(A) TYPE IV BASIN DIMENSIONS
FROUDE NUMBER



รูปที่ 8 อ่างน้ำนิ่งแบบที่ IV หรืออาคารสลายพลังงานแบบที่ IV



(A) DIMENSIONS FOR ALTERNATIVE LOW FROUDE NUMBER BASIN



รูปที่ 9 อ่างน้ำนิ่งเพื่อเลือกสำหรับค่าฟรูดนัมเบอร์น้อย

11. อ่างน้ำนิ่งแบบที่ IV หรืออาคารสลายพลังงานแบบที่ IV

อาคารแบบนี้เหมาะสำหรับอาคารในคลอง อาคารทางออก และเขื่อนทดน้ำ ค่าฟรูดนัมเบอร์ของการไหลควรอยู่ระหว่าง 2.5 และ 4.0 ไฮดรอลิกจัมจะไม่มั่นคงและจะเกิดคลื่น ซึ่งจะทำความเสียหายให้แก่หินเรียงและคลองที่ไม่ได้คาด ในกรณีของอาคารทางออก ถ้าเสดเท่ากับหรือมากกว่า 15 เมตร และฟรูดนัมเบอร์อยู่ระหว่าง 2.5 และ 4.5 ควรจะได้ทำการศึกษาจากแบบจำลองข้อสรุปในการออกแบบมีดังนี้

1. ความกว้างของ Block เท่ากับ 0.75 ถึง 1.0 เท่าของ d_1 และระยะระหว่าง Block เท่ากับ 2.5 เท่าของความกว้าง
2. ผิวบนของ Block มีความลาดเท 5 องศา และอยู่สูงจากพื้นอ่างเท่ากับ $2d_1$ ดังแสดงในรูปที่ 8
3. ความลึกด้านท้ายน้ำ (TW) ควรมีความมากกว่าความลึก Conjugate ของ d_1 เท่ากับ 5 ถึง 10% เพราะจะจัมเปลี่ยนแปลงง่ายต่อความลึกท้ายน้ำ และอาจเกิดขึ้นนอกร่าง ถ้าความลึกด้านท้ายน้ำมีค่าประมาณ $1.1d_2$ จัมจะมีประสิทธิภาพดี และการเกิดคลื่นจะลดลง
4. ความยาวของอ่างหาได้จากรูปที่ 8
5. ขนาดของ End Sill หาได้จากรูปที่ 8 มีความสูง $1.25d_1$ และความลาดเทของผิวด้านหน้า 2:1 (ราบ:ตั้ง)

12. อ่างน้ำนิ่งสำหรับค่าฟรูดนัมเบอร์น้อย

การไหลที่ฟรูดนัมเบอร์มีค่าน้อย โดยเฉพาะในช่วงระหว่าง 2.5 ถึง 4.5 การไหลจะปั่นป่วนและเกิดคลื่นที่ผิวน้ำและการสลายพลังงานจะมีประสิทธิภาพน้อยกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการสลายพลังงานและลดความยาวของอ่างน้ำนิ่ง USBR ได้เสนออ่างน้ำนิ่งเพื่อเลือกใช้ทดแทนอ่างน้ำนิ่งแบบที่ I และแบบที่ IV โดยอ่างแบบนี้ประกอบไปด้วย Chute Block , Baffle Block และ Dentated Sill การออกแบบพอสรุปได้ดังนี้ รูปที่ 9

1. ความสูงของ Chute Block เท่ากับ d_1
2. ความกว้างและระยะห่างของ Chute Block ควรเท่ากับ $0.7d_1$ และมีระยะห่างจากกำแพงอย่างน้อย $0.375d_1$
3. ความสูงของ Baffle Block เท่ากับ d_1 มีผิวด้านหน้าอยู่ในแนวตั้ง และมีสันกว้าง $0.2d_1$
4. ความกว้างและระยะห่างของ Battle Block ควรเท่ากับ $0.7d_1$ และมีระยะห่างจากกำแพงอย่างน้อย $1.075d_1$
5. ความสูงของ Dentated Sill เท่ากับ $0.2d_1$ มีผิวด้านหน้าอยู่ในแนวตั้งและมีสันกว้าง 0.2 เท่าของความสูง
6. ผิวด้านท้ายของ Dentated Sill มีความลาดเอียง 2:1 (ราบ:ตั้ง)

7. ความกว้างและระยะห่างของซี่ Dentated Sill ควรเท่ากับ $0.15d_2$ โดย d_2 คือ Conjugate depth ของ d_1
8. ความกว้างและระยะห่างของ Chute Block , Baffle Block และซี่ Dentated Sill สามารถปรับได้เพื่อให้เหมาะสมกับความกว้างของอ่าง
9. ตำแหน่งของ Baffle Block หาได้จากรูปที่ 9
10. ตำแหน่งของ Dentated Sill หาได้จากรูปที่ 9
11. ความยาวของอ่างทั้งหมด (L) หาได้จากรูปที่ 9 ซึ่งเป็นค่าน้อยที่สุด ฉะนั้นสามารถปรับเพิ่มความยาวของอ่างได้

13. อาคารสลายพลังงานแบบที่ VI

เป็นอาคารสลายพลังงานของน้ำโดยทำให้เกิดการกระแทกกันระหว่างลำน้ำกับกำแพงคอนกรีตเสริมเหล็กซึ่งถูกสร้างขวางความกว้างของอ่าง และขอบล่างของกำแพงมีช่องบากอยู่ 2 แห่ง เพื่อลดความเร็วของกระแสน้ำ เหมาะสำหรับอาคารทางออกที่เป็นท่อ อาคารน้ำตก และรางเทแบบท่อ คัดแปลงมาใช้อาคารทางออกที่เป็นทางน้ำเปิดได้ ข้อดีของอาคารน้ำนิ่งแบบนี้คือ ไม่ขึ้นกับระดับน้ำด้านท้ายน้ำ จึงเหมาะสมกับอาคารชลศาสตร์ที่มีอัตราการไหลเปลี่ยนแปลงรวดเร็ว และมีการสลายพลังงานได้ดีกว่าอาคารสลายพลังงานแบบไอครอลิคจัม

ข้อควรพิจารณาในการออกแบบมีดังนี้

1. ความสูงของน้ำในอ่างไม่ควรเกิน $\frac{b}{2} + f$ ซึ่งเป็นเงื่อนไขที่ดีที่สุดทางชลศาสตร์
2. เพื่อป้องกันการเกิด cavitation หรือความเสียหายจากการกระแทก ความเร็วสูงสุดตรงทางเข้าอ่างไม่ควรเกิน 15 เมตร/วินาที หรือฟรูดนัมเบอร์ไม่ควรเกิน 9.00 และไม่ควรรู้ให้ฟรูดนัมเบอร์น้อยกว่า 4.0 จะทำให้อ่างมีขนาดใหญ่เกินไป
3. ความเร็วทางทฤษฎีของน้ำที่ปลายท่อขึ้นอยู่กับความสูงของน้ำระหว่างระดับน้ำสูงสุดหน้าท่อกับระดับน้ำที่ปลายท่อ และความเร็วของน้ำออกจากท่อต้องไม่เกิน 15 เมตร/วินาที (50 ฟุต/วินาที) แต่ถ้าท่อมีความยาวมาก ควรจะพิจารณาการสูญเสียพลังงานเนื่องจากแรงเสียดทานด้วย
4. การสลายพลังงานจะดีที่สุดเมื่อความกว้างของอ่างมีค่าเท่ากับค่าที่ได้จากกราฟรูปที่ 10 หรือมีขนาดใหญ่กว่าเล็กน้อย ขนาดอ่างที่กว้างเกินไป จะทำให้ลำน้ำที่พุ่งออกจากท่อไหลตลอดแผ่ลดความเร็ว น้ำ (กำแพงประทะน้ำ) เป็นผลให้ประสิทธิภาพการสลายพลังงานลดลง โดยเฉพาะในกรณีที่มีปริมาณการไหลน้อยกว่าค่าออกแบบ
5. ถ้าความลาดเทของท่อหรือทางน้ำเปิดเพียงมากกว่า 15 องศา ควรจะออกแบบช่วงปลายท่อที่น้ำไหลเข้าสู่อาคารให้อยู่ในแนวระดับหรือมีความลาดเทไม่เกิน 15 องศา และ

- ปลายท่อส่วนนี้ควรมีความยาวอย่างน้อย 3 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ หรือ 3 เท่าของความกว้างของทางน้ำเปิดในกรณีที่เป็นรางเทแบบทางน้ำเปิด
6. ขอบล่างของแผงคอนกรีตลดความเร็วกระแสน้ำ (Baffle) ต้องมีระดับเดียวกับระดับท้องท่อตรงตำแหน่งเริ่มต้นของอ่าง
 7. เพื่อลดการกัดเซาะทางด้านท้ายน้ำ ควรออกแบบให้มี End Sill และมีการเรียงหินใหญ่ (Riprap) บนพื้นและบนลาดด้านข้างของทางน้ำที่ต่อจากอาคาร ก้อนหินควรมีขนาดเฉลี่ยประมาณ $\frac{1}{20}$ ของความกว้างของอาคาร และเรียงหินไปเป็นระยะทางไม่น้อยกว่าความกว้างของอาคาร และกำหนดให้หินเรียงหนาไม่น้อยกว่า $\frac{1}{6}$ เท่าของความกว้างของอาคาร
 8. ขนาดของท่อที่ปล่อยน้ำเข้าอ่างควรคำนวณจากความเร็ว 3.66 เมตร/วินาที (12 ฟุต/วินาที) และสมมติว่าน้ำไหลเต็มท่อ
 9. End Sill ด้านท้ายน้ำที่มี Wing wall บานออก 45° ช่วยไม่ให้ระดับน้ำท้ายอาคารลดลงมาก และยังช่วยป้องกันการกัดเซาะ และลดความสูงของคลื่นด้วย เพราะ End Sill แบบนี้ช่วยให้การไหลกระจายตัวสม่ำเสมอมากขึ้นตลอดความกว้าง
 10. ในกรณีที่มือน้ำท่วมปากท่อทั้งด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำ จะต้องมีการติดตั้งระบบระบายอากาศ และท่อระบายอากาศควรมีขนาด $\frac{1}{6}$ เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ
 11. ขนาดของอาคารน้ำนิ่งแบบที่ VI มีวิธีการคำนวณดังต่อไปนี้
สมมติรูปร่างของเจอน้ำที่พุ่งออกมาที่มีพื้นที่หน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสกว้าง d

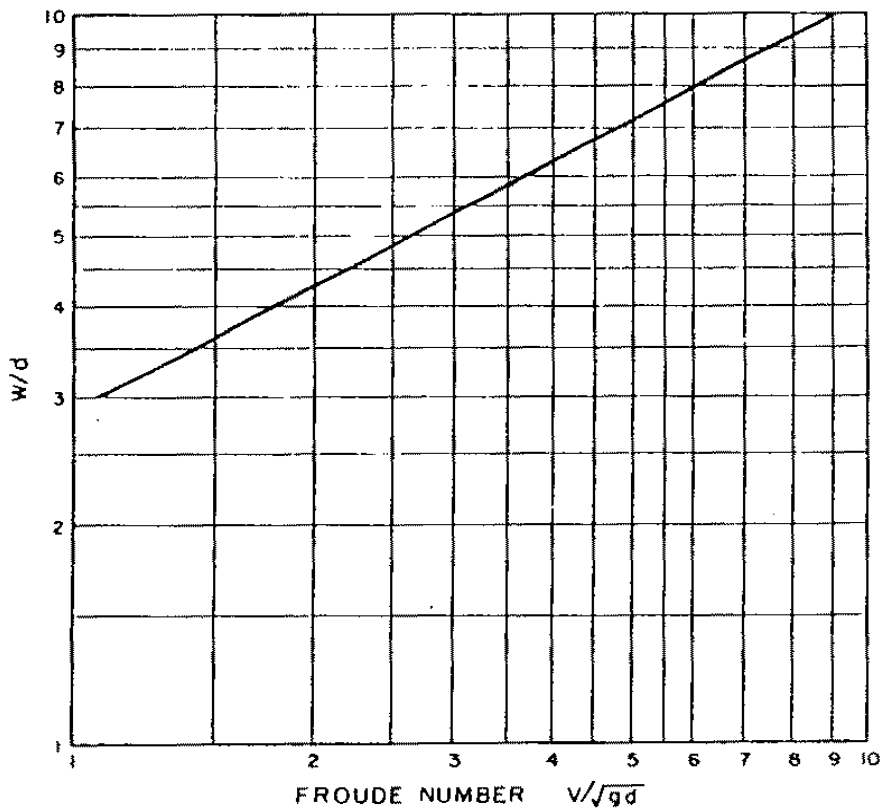
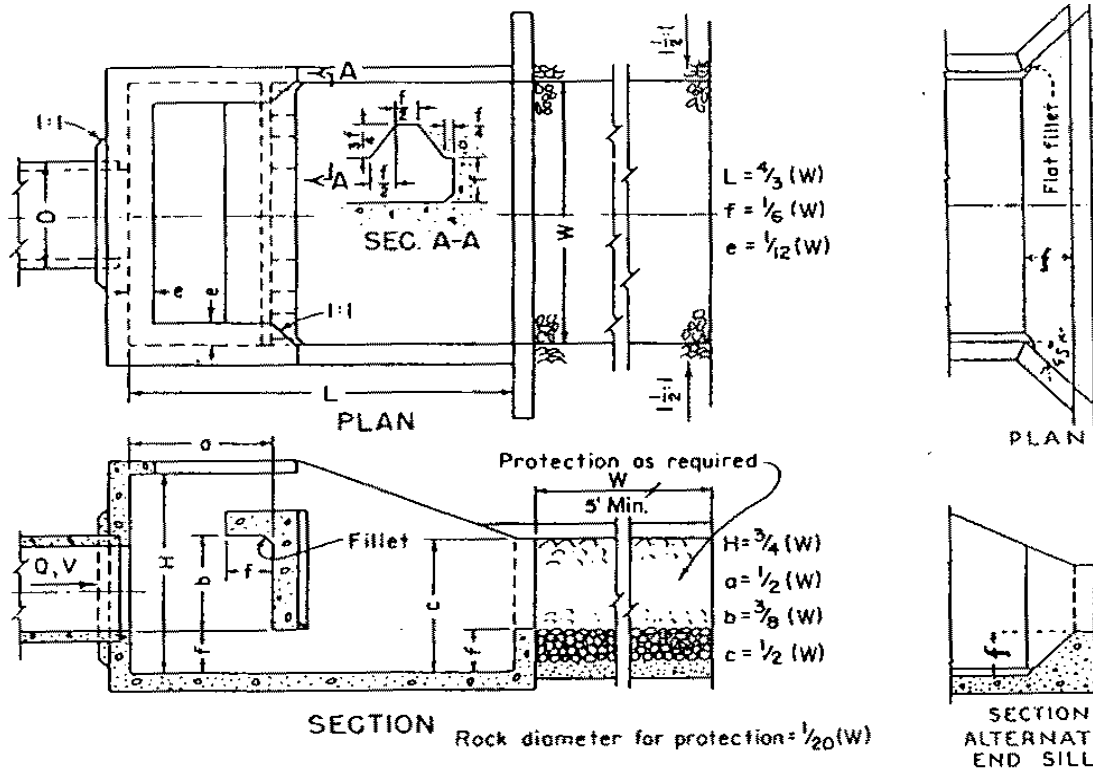
$$d = \sqrt{A} \quad \text{-----} \quad (5)$$

เมื่อ $A = \frac{Q}{V}$

ความเร็วตามทฤษฎี , $V = \sqrt{2gh}$ ซึ่งต้องไม่เกิน 15 เมตร/วินาที
 $h =$ ผลต่างของระดับน้ำหน้าท่อกับระดับน้ำที่ปลายท่อ (เมตร)

ฟรูดนัมเบอร์, $F = \frac{V}{\sqrt{gd}}$ ซึ่งต้องไม่เกิน 9.0

จากค่าฟรูดนัมเบอร์ นำไปหาค่าขนาดและมิติของอาคารตามรูปที่ 10



W , ft., Is the inside width of the basin
 V , fps, Is the theoretical velocity of the incoming flow and is $\sqrt{2gh}$
 h , ft., Is the head to be dissipated
 A , ft.², Is the area of flow entering the basin and is Q/V
 d , ft., Represents the depth of flow entering the basin and is \sqrt{A}

รูปที่ 10 อาคารสลายพลังงานแบบที่ VI

14. อาคารสลายพลังงานแบบ Baffled Apron (อ่างน้ำนิ่งแบบ IX)

อาคารสลายพลังงานแบบ Baffle Apron มีลักษณะเป็นพื้นเอียงที่มี Baffle Blocks เป็นแถว ๆ ตามพื้นเอียง Blocks แต่ละแถวจะวางในลักษณะสลับฟันปลา กัน เหมาะสำหรับเป็นอาคารสลายพลังงานตรงตำแหน่งที่มีการลดระดับพื้นทางน้ำ เช่น อาคารน้ำตกแนวเอียง และอาคารทิ้งน้ำปลายคลองส่งน้ำ และโดยเฉพาะอย่างยิ่งตรงในตำแหน่งที่ไม่ทราบการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำด้านท้ายของอาคาร

ข้อพิจารณาในการออกแบบมีดังนี้

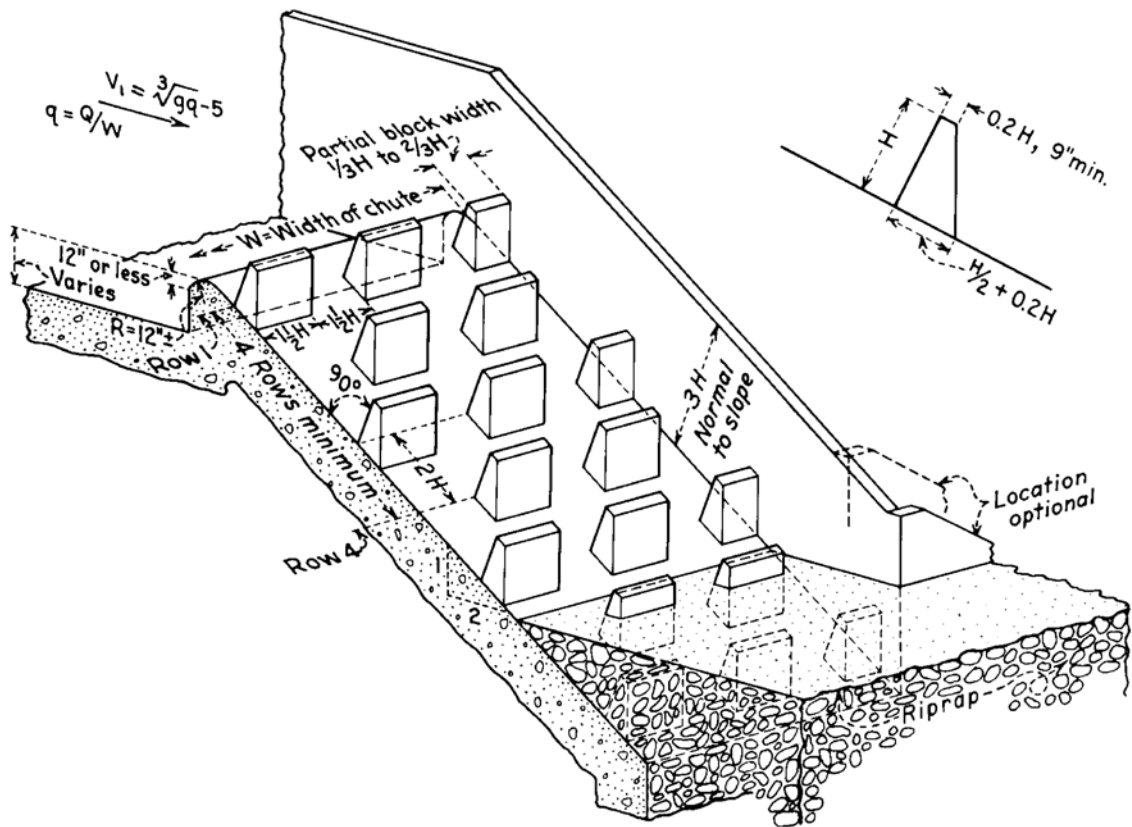
1. ขนาดของอาคารต้องกำหนดให้เหมาะสมกับปริมาณน้ำนองสูงสุดที่ไหลผ่าน โดยปกติอาคารแบบนี้จะรองรับ q ได้ประมาณ 10-80 ลบ.ฟุต/วินาที/ฟุต และค่าใน **ตารางที่ 2** เป็นขนาดความกว้างที่แนะนำตามปริมาณการไหลสูงสุดที่ไหลผ่าน ความกว้างสามารถปรับได้เพื่อให้พอดีกับระยะห่างและความกว้างของ Baffle Block ทุกตัวในแถว

ตาราง 2 ขนาดความกว้างที่แนะนำตามปริมาณการไหล

ปริมาณการไหลทั้งหมด Q ลบ.ฟุต/วินาที	ปริมาณการไหลต่อหนึ่งหน่วยความกว้างของรางเท q ลบ.ฟุต/วินาที/ฟุต
0 – 39	5 – 10
40 – 99	10 – 15
100 – 189	15 – 20
190 - 460	20 - 30

2. ความเร็วตรงทางเข้าของอาคาร ต้องไม่เกินความเร็ววิกฤต เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำไหลแรงเกินไปจนพุ่งข้ามบล็อกแถวต่าง ๆ หลังจากปะทะบล็อกแถวแรก (**ดูรูปที่ 11**)

$$V_1 = \sqrt[3]{gq} - 5 \quad \text{-----} \quad (6)$$



รูปที่ 11 สัดส่วนพื้นฐานของอาคารสลายพลังงานแบบ Baffled Chute (อ่างน้ำนิ่งแบบ IX)

โดยที่ $V_1 =$ ความเร็วตรงทางเข้าอาคารเป็น ฟุต/วินาที ตามปกติ V_1 ไม่ควรเกิน $\frac{1}{2}V_c$ และสามารถหาค่า V_1 ได้จากกราฟ D ในรูปที่ 12

3. ความลาดเอียงของพื้นเอียงไม่ควรจะชันกว่า 1:2 (ระยะตั้ง:ระยะราบ) กรณีพื้นเอียงที่มีความลาดเอียงน้อยกว่า 1:2 ควรจะมีจำนวนแถวของ Baffles block เท่ากับพื้นเอียงที่มีความลาดเอียง 1:2 หรืออีกนัยหนึ่ง คือ ระยะตั้งระหว่างแถวของ Baffle block ควรเท่ากับทุกความลาดเอียงของพื้นเอียง

4. ความยาวของพื้นก่อนเข้าสู่อาคาร (Inlet Floor) ไม่ควรน้อยกว่า $2d_1$ เมื่อ d_1 เป็นความลึกของน้ำก่อนเข้าสู่อาคาร

5. บล็อกแถวแรกจะต้องอยู่ไม่ต่ำกว่าสัน Sill เกิน 1 ฟุต

6. ความสูงของบล็อก (H) ควรมีค่าอยู่ระหว่าง $0.8D_c$ ถึง $0.9D_c$ ขนาดต่าง ๆ ของบล็อก แสดงไว้ตามรูปที่ 11

7. ระยะระหว่างบล็อกควรมีค่าประมาณ $\frac{3}{2}H$ แต่ไม่ควรน้อยกว่า H ส่วนบล็อกที่ติดกำแพงควรมีความกว้างอยู่ระหว่าง $\frac{1}{3}$ ถึง $\frac{2}{3}$ เท่าของความกว้างของบล็อกที่ไม่ติดกำแพง และควรจะเป็นแถวที่ 1,3,5,7

8. ระยะห่างระหว่างแถวหาได้ดังนี้

$$\text{ระยะห่างระหว่างแถววัดตามพื้นเอียง} = \frac{H}{\text{ความลาดเทของรางเท}}$$

ถ้าความลาดเทของพื้นเอียง เท่ากับ 1:2 ระยะห่างระหว่างแถวเท่ากับ 2 H แต่ต้องไม่เกิน 6 ฟุต

9. ผิวหน้าของบล็อกควรตั้งฉากกับพื้นเอียง และการจัดวางบล็อกแสดงไว้ในรูปที่ 11

10. อาคารแบบนี้ควรมีบล็อกอย่างน้อย 4 แถว เพื่อให้ควบคุมการไหลและสลายพลังงานได้อย่างเพียงพอ และควรขึ้นพื้นเอียงลงได้ระดับพื้นที่องถ้ำน้ำด้านท้ายน้ำเป็นระยะไม่น้อยกว่าระยะห่างระหว่างแถว และจัดให้มีบล็อกจำนวน 1 แถวเป็นอย่างน้อยอยู่ได้ระดับพื้นที่องถ้ำน้ำเพื่อป้องกันการกัดเซาะของน้ำ และหากมีบล็อกอยู่ได้ระดับพื้นที่องถ้ำน้ำเกินกว่า 1 แถว ก็จะทำให้ป้องกันการกัดเซาะได้ดียิ่งขึ้น

11. ความสูงของผนังอาคารควรมีค่าเท่ากับ 3H เมื่อวัดตั้งฉากกับพื้นของรางเท

12. ควรปูหินเรียง ขนาด 6-12 นิ้ว เพื่อป้องกันการกัดเซาะของน้ำบริเวณพื้นและลาดด้านข้างของถ้ำน้ำด้านท้ายน้ำ และควรเรียงหินบนลาดดินถมข้างผนังอาคารทั้ง 2 ด้าน ให้มีความยาวออกไปอย่างน้อยเท่ากับความสูงของผนัง

13. นอกเหนือจากกำแพง Cutoff ตรงตำแหน่งทางเข้าอาคาร ควรต้องมีกำแพง Cutoff และกำแพงปีก ด้านท้ายน้ำ เพื่อลดการซึมของน้ำผ่านได้และข้างอาคาร และเพื่อดินถมข้างอาคารยังคงอยู่ตามแนวอาคาร กำแพงปีก อาจจะทำเป็นส่วนต่อเนื่องมาจากกำแพง Cutoff หรือจะอยู่ในตำแหน่งด้านเหนือน้ำของกำแพง Cutoff เล็กน้อย และกำแพงปีกควรจะสูงกว่าระดับน้ำด้านท้ายอาคาร

14. นอกจากนี้ควรพิจารณาเกี่ยวกับแรงดันยกตัวของน้ำใต้พื้นอาคาร และเสถียรภาพของอาคารจากการเลื่อนไถลด้วย

15. การควบคุมที่ทางเข้ามีดังนี้

1) การควบคุมโดยใช้ Sill ดังรูปที่ 13 ทางเข้าก่อนถึง Sill ควรยาวอย่างน้อย $2d_1$ สันของ Sill ควรเป็นส่วนโค้งมีรัศมีไม่เกิน 9 ฟุต แต่มักนิยมใช้ 6 ฟุต ความสูงของ Sill หากจากสมการที่ ...

$$h_s = E_1 - E_C - 0.5\Delta h_v \quad \text{-----} \quad (7)$$

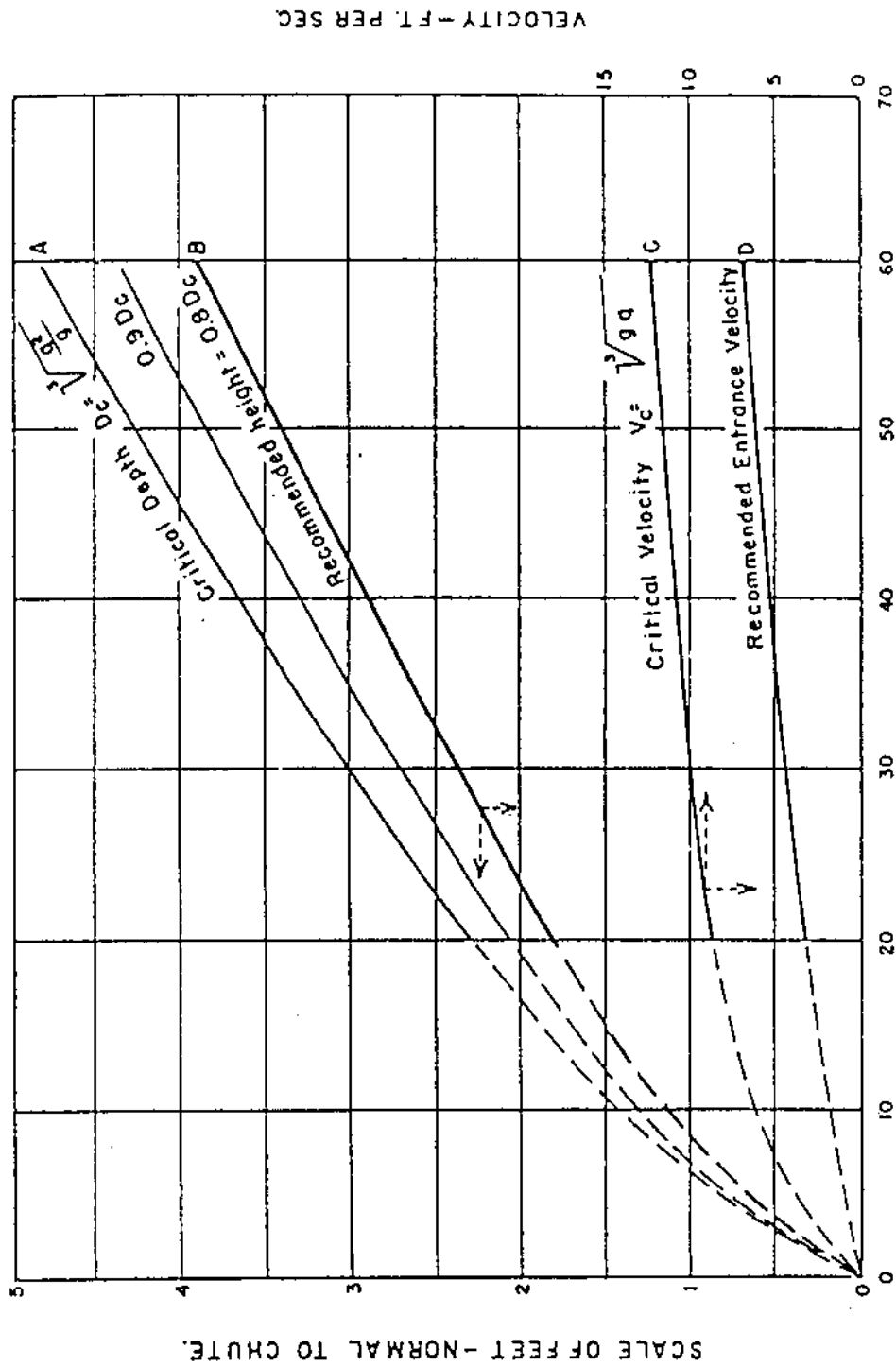
โดย $E_1 = d_1 + \frac{V_1^2}{2g}$

$$E_C = d_C + \frac{V_C^2}{2g} = 1.5 d_C$$

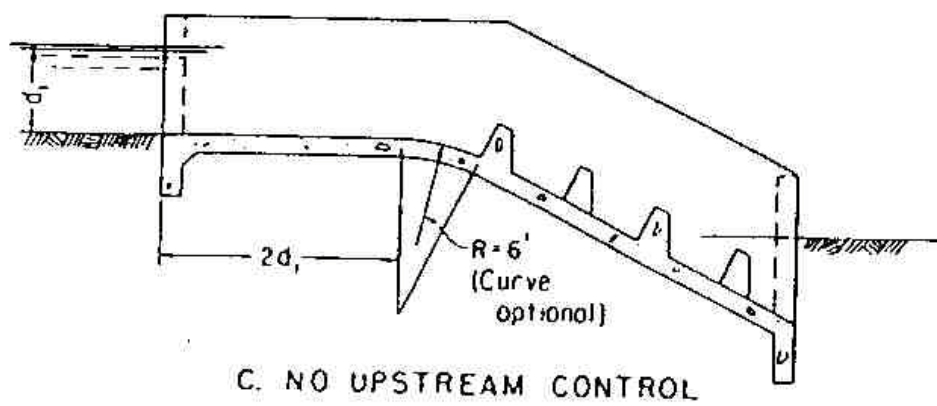
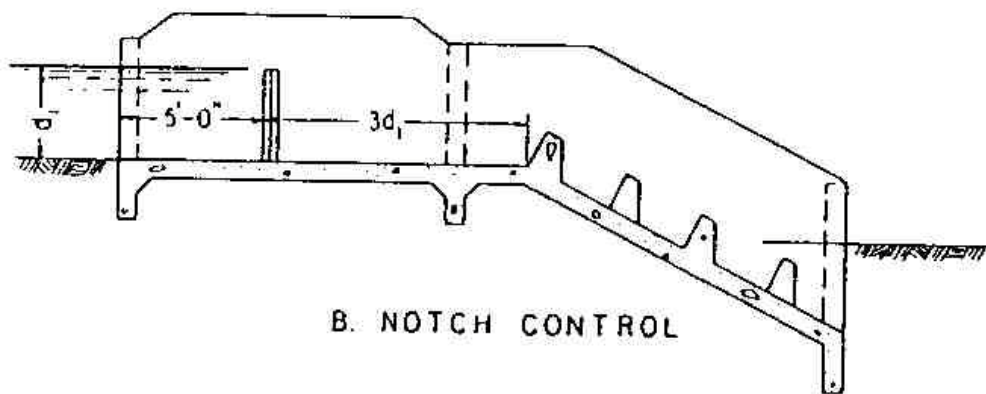
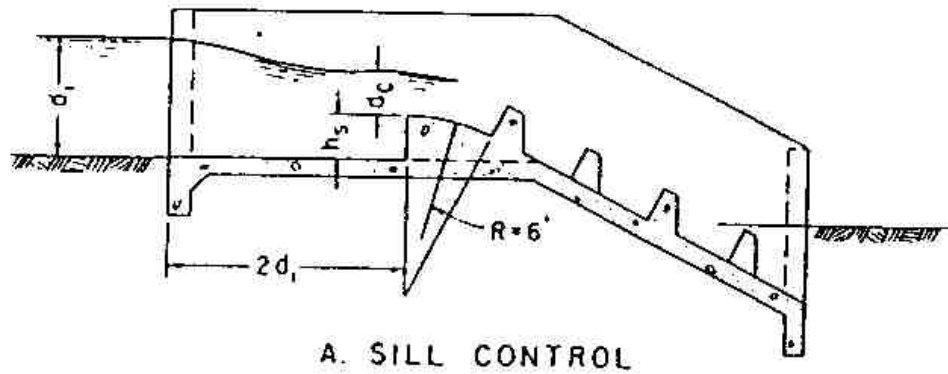
และ $\Delta h_v = \frac{V_C^2}{2g} - \frac{V_1^2}{2g}$

2) การควบคุมโดยใช้ช่องบิบ (Notch) ดังแสดงในรูปที่ 13 ทำการบิบน้ำตัดการไหลตรงทางเข้าให้เล็กลง เพื่อควบคุมความลึกทางด้านเหนือน้ำ แต่ทำให้ความเร็วที่ทางเข้าเพิ่มขึ้นเป็นเหตุให้น้ำกระเซ็นเมื่อน้ำไหลไปปะทะแถวแรกของบล็อก

3) ทางเข้าไม่มีการควบคุม ดังแสดงในรูปที่ 13 ใช้ในกรณีที่ไม่ต้องการควบคุมระดับน้ำทางด้านเหนือน้ำ เพราะว่ารระดับน้ำมั่นคงและไม่มีการกัดเซาะ เพื่อที่จะลดการกระเซ็นของน้ำเมื่อน้ำไหลไปปะทะแถวแรกของบล็อก ควรทำพื้นทางเข้าให้โค้ง เข้าไปหาพื้นเอียง



รูปที่ 12 ค่าแนะนำของความสูงของ Baffle Pier และความเร็วที่ยอมรับได้



รูปที่ 13 ลักษณะการควบคุมที่ทางเข้า

เอกสารอ้างอิง

1. C.D. Smith. 1978. Hydraulics Structures.
2. D.L.Visher and W.H. Hager. 1995. Energy Dissipator. Hydraulic Structures Design Manual No 9. International Association for Hydraulic Research. A.A. Balkema ; Rotterdam, The Netherlands.
3. E.F.Brater , H.W. King, J.E. Lindell and C.Y. Wei. 1996. Handbook of Hydraulics. McGraw-Hill
- 4.L.W.May. 1999. Hydraulic Design Handbook.
5. M.G.Bos , J.A.Replogle , A.J.Clemmens. 1984. Flow Measuring Flumes for Open Channel Systems. John Wiley & Sons.
6. P.Novak, A.I.B. Moffat, C.Nalluri and R. Narayanan. 1996. Hydraulic Structures. E & FN SPON, An Imprint of Chapman & Hall
7. R.Baban. 1995. Design of Diversion Weirs. Small Scale Irrigation in Hot Climate. John Wiley & Sons.
8. R.M. Khatsuria. 2005. Hydraulic of Spillway and Energy Dissipators. Marcel Dekker, Newyork.
9. R.S. Vanshney, S.G. Gupta, R.L. Gupta. 1982. Theory and Design of Irrigation Structures. Volume II Canal and Storage Works. Nem Chand & Bros. Roorkee(U.P.).India
10. S. Kumar Garg. 1984. Irrigation Engineering and Hydraulic Structures. Khanna Publishers, Delhi India.
11. United Nations. 1973. Design of Low - Head Hydraulic Structures. Water Resourees Series No. 45 . New York, USA.
12. US. Department of Transport. 2006. Hydraulic Design of Energy Dissipators for Culverts and Channels. Publication No. FHWA – NHI – 06 – 086. Ferderal Highway Administration. USA.
13. USBR. 1967. Canal and Related Structures. Department of Interior, Office Chief Engineer, Denver, Colorado, USA
14. USBR. 1964. Hydraulic Design of Stilling Basins and Energy Dissipators. Water Resources Technical Publication. Engineering Monograph No. 25 , USA
15. USBR. 1978. Design of Small Canal Structures. A Water Resources Technical Publication. Denver, Colorado, USA.
16. USBR. 1978. Hydraulic Design of Stilling Basin for Pipe or Channel Outlets. A Water Resources Technical Publication, Research Report No. 24. Denver, Colorado USA.
17. USBR. 1987. Design of Small Dam. A Water Resources Technical Publication, USA
18. V.T. Chow. 1993. Open Channel Hydraulics. McGraw-Hill.

เอกสารอ้างอิง

1. กรมชลประทาน. 2538. มาตรฐานและคู่มือการออกแบบอาคารชลประทานในระบบส่งน้ำและระบายน้ำ
2. กรมชลประทาน. 2545. แนวทางและหลักเกณฑ์การออกแบบเขื่อนเก็บกักน้ำและอาคารประกอบ
3. กรมทรัพยากรน้ำ. 2547. รายงานการออกแบบโครงการฝายน้ำล้นลำน้ำพรหม บ้านหนองคอนไทย หมู่ที่ 13 ตำบลหนองคอนไทย อำเภอกุฉินารายณ์ จังหวัดชัยภูมิ (รายงานเล่มที่ 23).
4. กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน. 2544. เกณฑ์การออกแบบ งานศึกษาความเหมาะสมและผลกระทบสิ่งแวดล้อม โครงการเพิ่มประสิทธิภาพแหล่งน้ำ และการใช้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพด้วยระบบท่อส่งน้ำในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ.
5. กองสำรวจและออกแบบ. 2529. การออกแบบแหล่งน้ำสำหรับงานเร่งรัดพัฒนาชนบท. สำนักงานเร่งรัดและพัฒนาชนบท
6. คณะกรรมาธิการวิสามัญกรรมาธิการ. 2546. การวางแผนและออกแบบระบบส่งน้ำชลประทาน สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
7. ทศพล บัวผัน, ธีรภัทร สามไพบุลย์, พรพงศ์ เทพหัสดิน ณ อยุธยา. 2542. การออกแบบฝายมาตรฐาน มข. – นิวซีแลนด์ แบบที่ 2 โดยใช้โปรแกรม Visual Basic 4.0. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร บัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น
8. ปฏิภาณ อมาตยกุล. _____. การออกแบบอาคารส่งน้ำชลประทาน. ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ นครปฐม.
9. ประกอบ วิโรจน์กัญและคณะ. 2534. คู่มือการออกแบบฝายมาตรฐาน มข. – นิวซีแลนด์. โครงการพัฒนาลุ่มน้ำขนาดเล็ก ไทย – นิวซีแลนด์ สถาบันแหล่งน้ำและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ขอนแก่น
10. ปราโมทย์ ไม้กลัด. 2524. คู่มืองานเขื่อนดินขนาดเล็กและฝาย. สมาคมศิษย์เก่าวิศวกรรมชลประทาน
11. วราวุธ วุฒินิชย์. 2534 . การออกแบบอาคารบังคับน้ำ เล่ม 1 และเล่ม 2 ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ นครปฐม.
12. สถาบันแหล่งน้ำและสิ่งแวดล้อม . 2529. คู่มือการสร้างฝายแบบ มข. 2527. โครงการร่วมมือด้านการพัฒนาแหล่งน้ำในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ นิวซีแลนด์- มหาวิทยาลัยขอนแก่น คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ขอนแก่น

13. สนั่น ศรีอ่อน. 2532. หลักเกณฑ์การออกแบบเขื่อนทดน้ำและอาคารประกอบ. เอกสารประกอบการบรรยายโครงการฝึกอบรม หลักสูตรการสำรวจธรณีเทคนิคสำหรับงานชลประทาน ตามมาตรฐานใหม่ 2531. กองออกแบบ กรมชลประทาน
14. สันติ ทองพำนัก. 2534. วิศวกรรมชลศาสตร์. เอกสารประกอบการสอน ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ นครปฐม.
14. สมาคมศิษย์เก่าวิศวกรรมชลประทาน . 2534. 72 ปี อาจารย์อรุณ อินทรपालิต. ชลกรณับพิเศษ
15. ส่วนเทคโนโลยีและมาตรฐาน. 2550. คู่มือเกณฑ์กำหนดการออกแบบ โครงการพัฒนาแหล่งน้ำ. เอกสารหมายเลข สพน. 053. สำนักงานพัฒนาแหล่งน้ำ. กรมทรัพยากรน้ำ