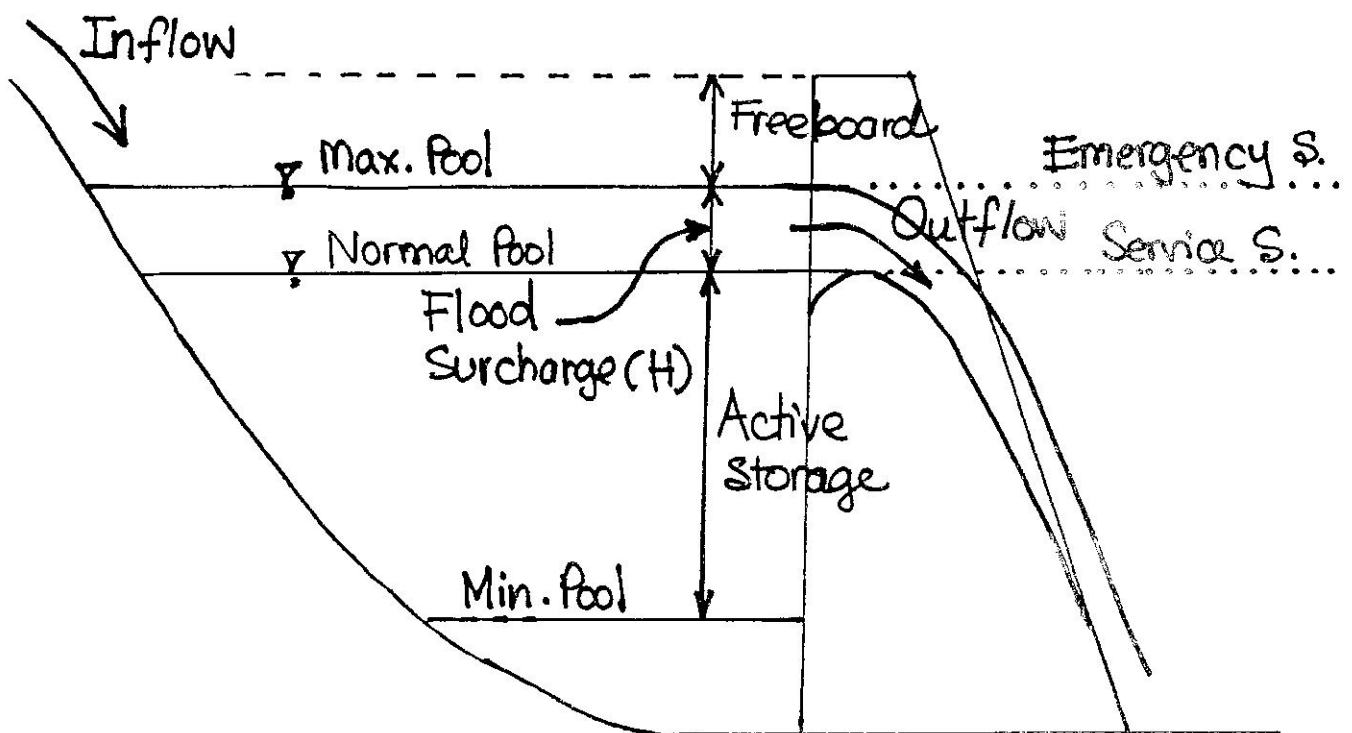


การออกแบบ ทางระบายน้ำล้น (Design of Spillways)

โดย รศ.ดร.วราวุธ วุฒินิชย์
ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน
คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
2551

ระบายน้ำล้น(Spillways)

อาคารที่ทำหน้าที่ระบายน้ำที่เกินความต้องการออกจากอ่างเก็บน้ำ เพื่อป้องกันไม่ให้อ่างเก็บน้ำหน้าเขื่อนสูงเกินกว่าระดับน้ำสูงสุดที่ออกแบบไว้ (Max. Pool Level) จนเกิดความเสี่ยงต่อการเกิด Overtopping และเป็นอันตรายต่อตัวเขื่อน



Crest Section + Conveyance Section + Discharge Section

ชนิดของทางระบายน้ำที่ล้น³

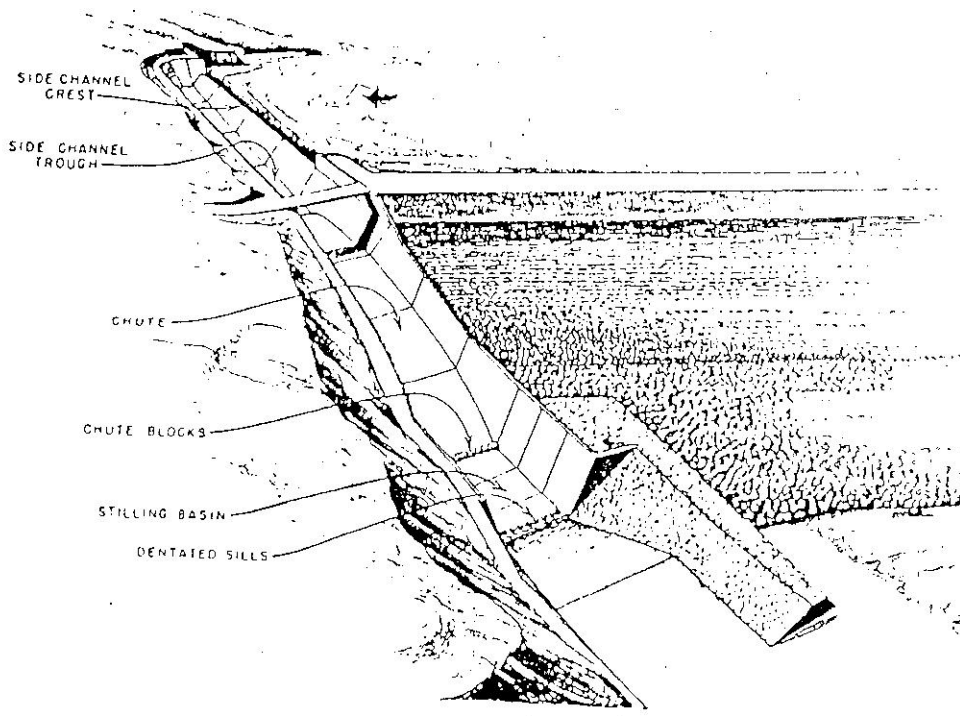
- แบ่งตามการใช้งาน
- แบ่งตามลักษณะโครงสร้างหรือรูปแบบ

(1) แบ่งตามการใช้งาน

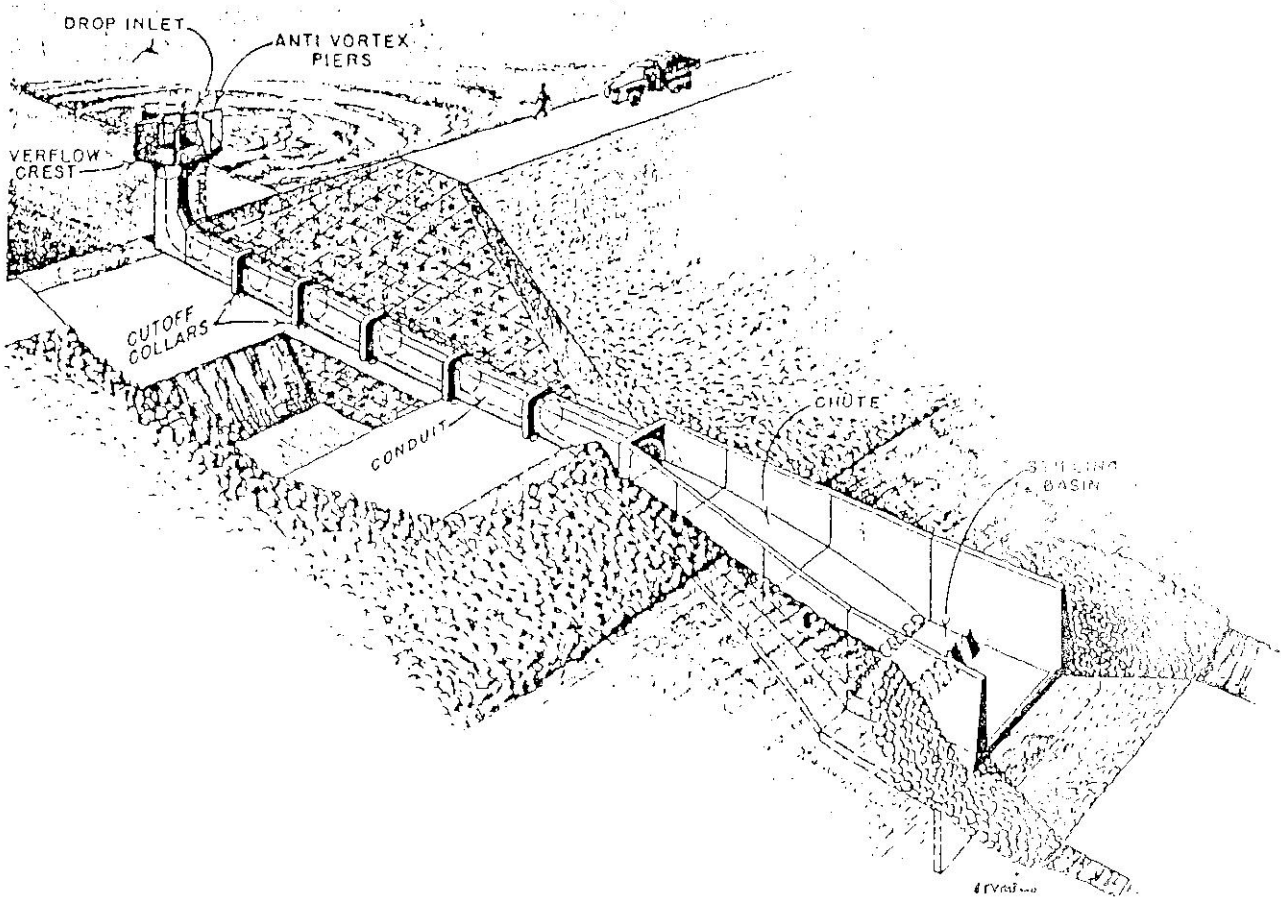
- **Service Spillway**
(ทางระบายน้ำล้นใช้การ)
 - ออกแบบจาก High Frequency Flood ใช้งานบ่อย
- **Auxiliary Spillway**
(ทางระบายน้ำล้นช่วยหรือเสริม)
 - ออกแบบจาก Low Frequency Flood ใช้งานนานๆครั้ง
- **Emergency Spillway**
(ทางระบายน้ำล้นฉุกเฉิน)
 - **Safety Structure** ของเขื่อน แต่ไม่ได้ป้องกันทายน้ำ

(2) แบ่งตามลักษณะโครงสร้าง หรือรูปแบบ

- **Overflow (Overfall)**
 - **Uncontrolled Ogee**
 - **Gated Controlled Ogee**
 - **Straight Drop(Free Overfall)**
- **Chute**
- **Side Channel**
- **Shaft**
 - **Morning Glory**
 - **Rectangular Box Inlet**
 - **Drop Inlet Pipe**
- **Siphon**



รูปที่ 11.6 ทางระบายน้ำดินแบบ Side Channel



รูปที่ 11.7 ทางระบายน้ำดินแบบ Morning Glory

การเลือก Design Flood

	Return Period(ปี)
เขื่อนเก็บกักน้ำขนาดใหญ่ ขนาดกลาง	500-1000 หรือ PMF
เขื่อนเก็บกักน้ำขนาดเล็ก	100
เขื่อนและฝายทดน้ำ	50-100

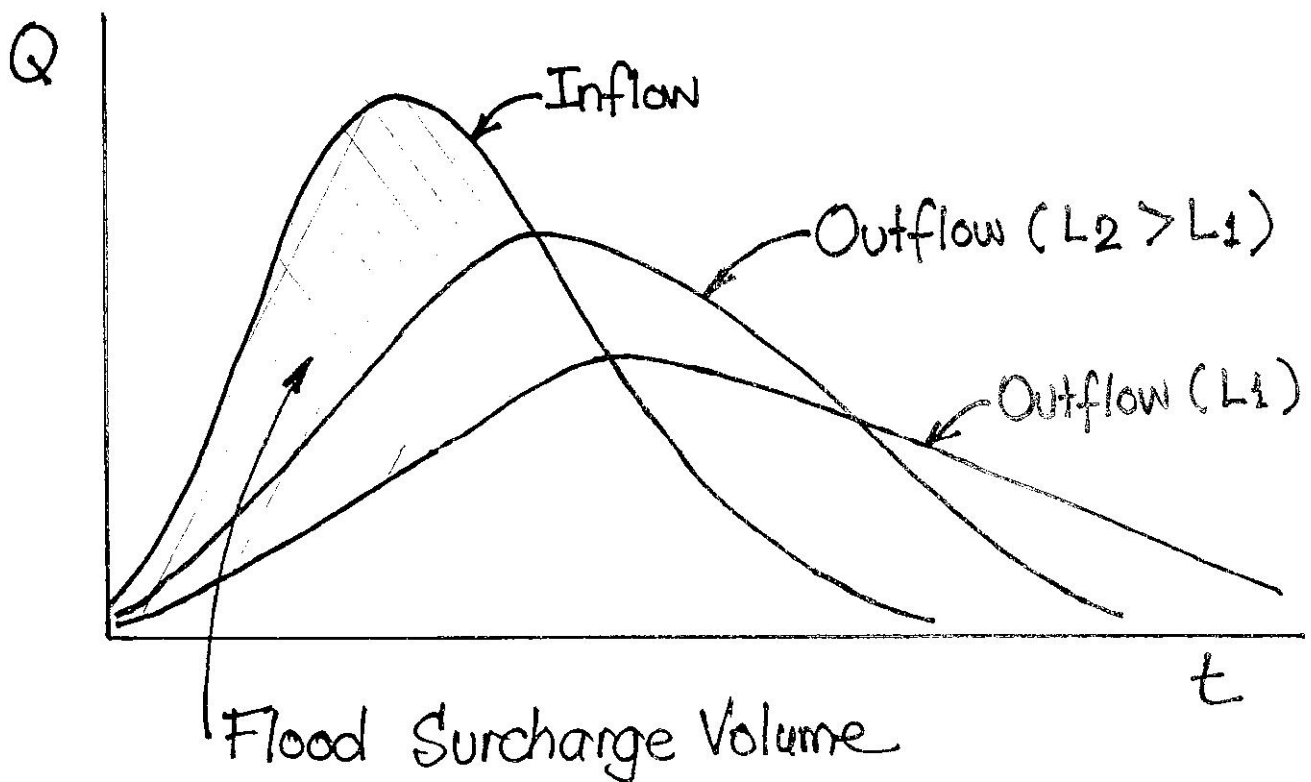
ค่า ลงทุน	VS.	ความเสี่ยงต่อ ความเสียหาย ที่จะเกิด
--------------	------------	---

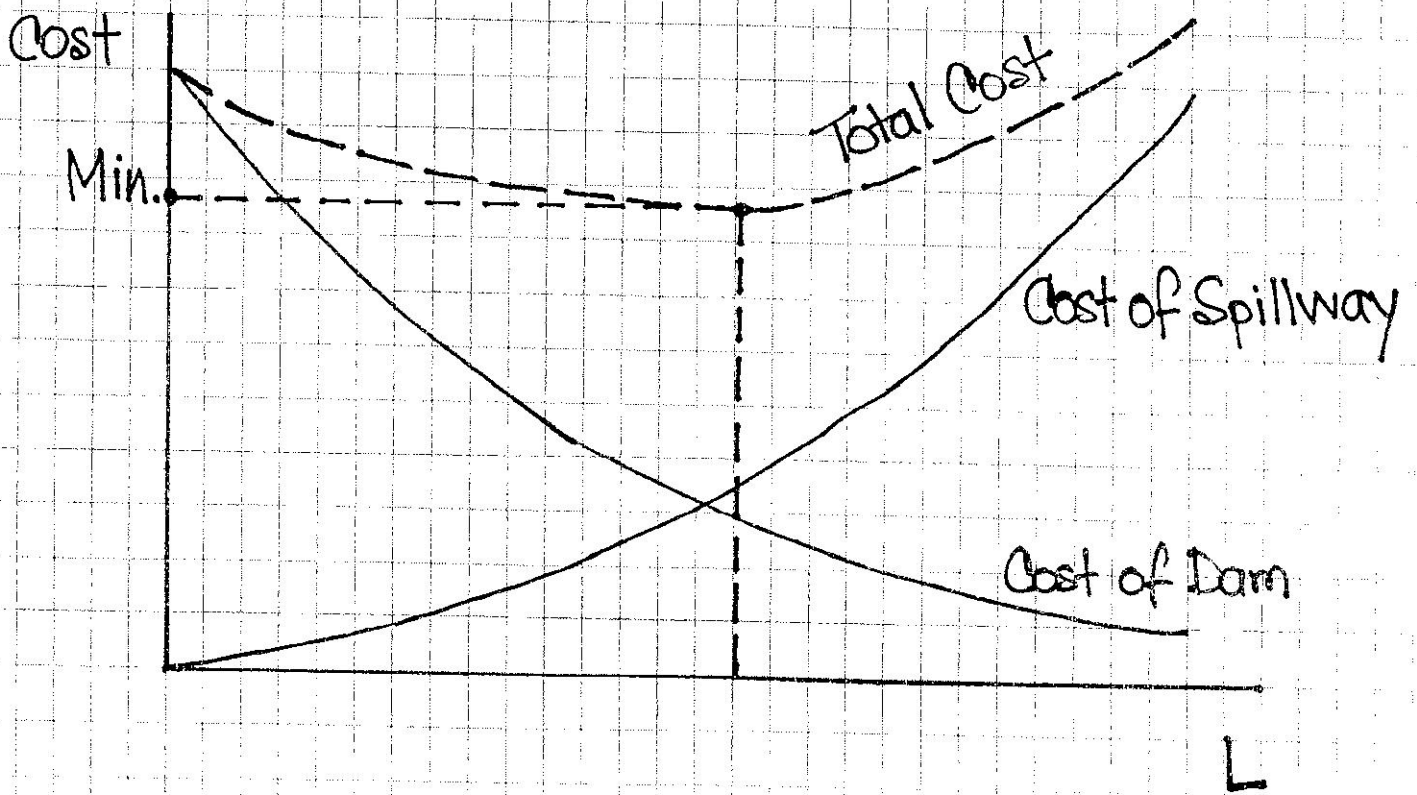
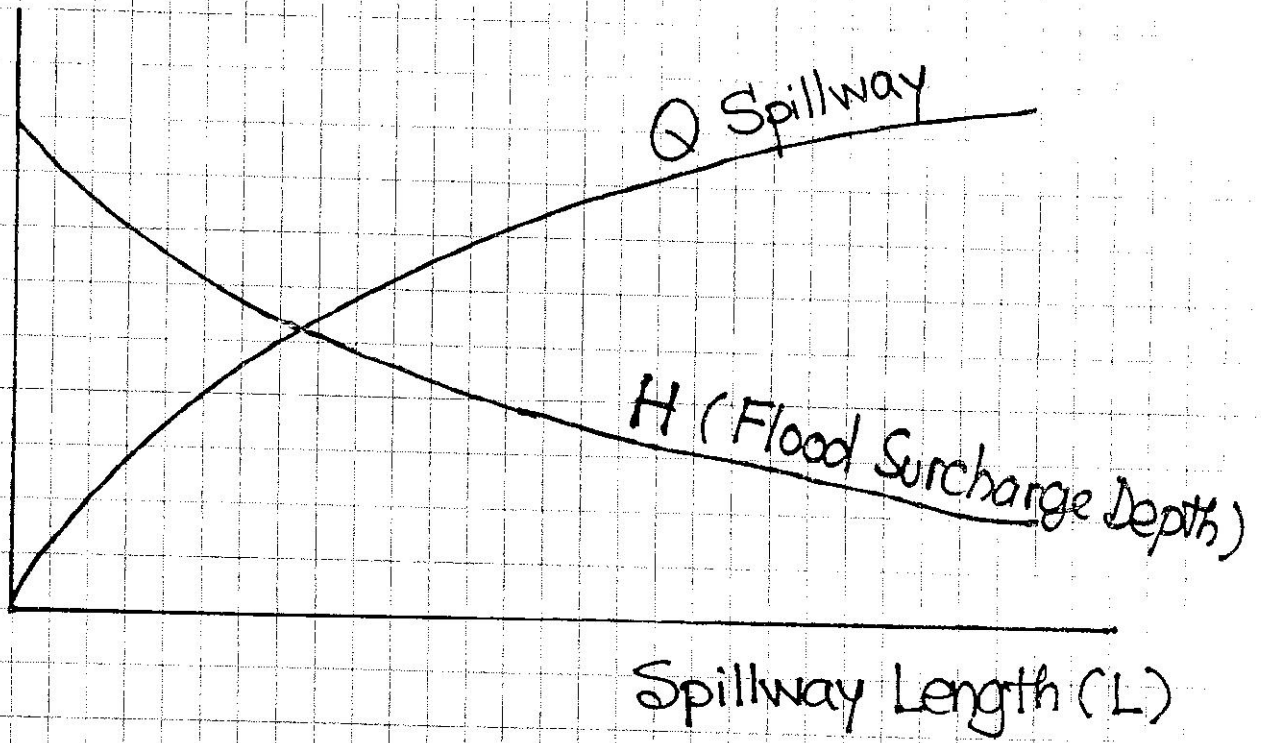
การกำหนดระดับสูงสุด(Max.Pool Level)

ให้ $H = \text{Flood Surcharge Depth}$
 $= \text{Max.Pool Level} -$
 $\text{Spillway Crest Level}$

$$H \propto \frac{1}{\text{Spillway Crest Length}(L)}$$

กรณี **Uncontrolled Spillway**





วิธีการคำนวณหาความยาว Spillway(L)

1. กรณีมีข้อจำกัดเกี่ยวกับ H_{max} (กำหนด H_{max})

(1) เลือกชนิดของทางระบายน้ำล้น

(2) สมมติ L

(3) Reservoir Flood Routing

- H'_{max}

- Max. Outflow(Q'_{max})

(4) ถ้า $H'_{max} > H_{max}$ ให้เพิ่ม L

ถ้า $H'_{max} < H_{max}$ ให้ลด L

แล้วทำ Reservoir Flood Routing
ใหม่จน $H'_{max} = H_{max}$ ที่กำหนด

2. กรณีมีข้อจำกัดเกี่ยวกับ Q_{max} (คำนึงถึงการเกิดน้ำท่วมท้ายน้ำ)

ถ้า $Q'_{max} > Q_{max}$ ให้ลด L

ถ้า $Q'_{max} < Q_{max}$ ให้เพิ่ม L

แล้วทำ Reservoir Flood Routing

ใหม่จน $Q'_{max} = Q_{max}$ ที่กำหนด

3. เกณฑ์การเลือกขนาด Spillway ที่เหมาะสม

- $H'_{max} < H_{max}$ ที่กำหนด
- $Q'_{max} < Q_{max}$ ที่กำหนด
- Minimum Spillway + Dam Costs



Reservoir Flood Routing

$$\frac{dS}{dt} = I - Q$$

$$\Delta S = I \cdot \Delta t - Q \cdot \Delta t$$

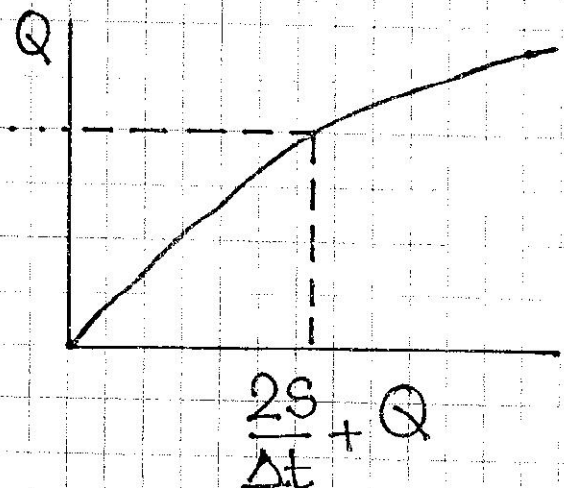
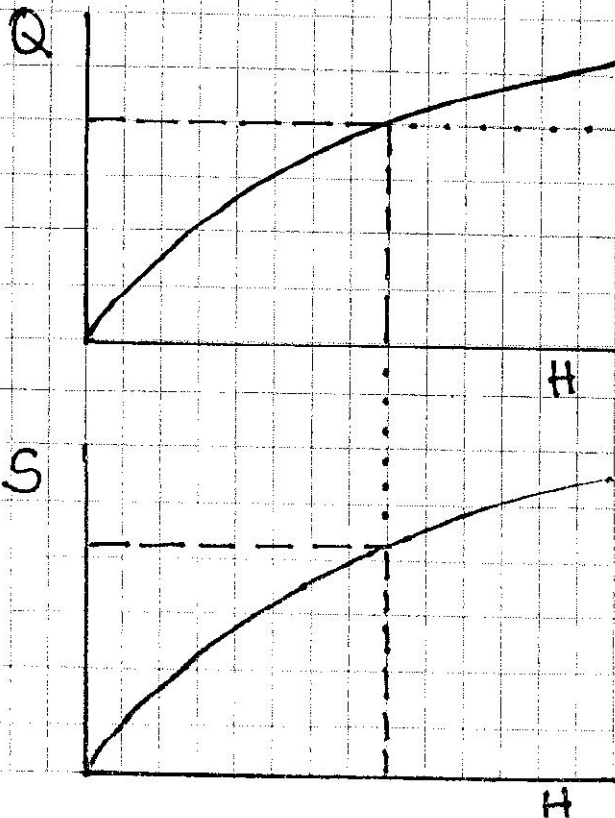
$$S_{j+1} - S_j = \frac{I_j + I_{j+1}}{2} \cdot \Delta t - \frac{Q_j + Q_{j+1}}{2} \cdot \Delta t$$

$$\left(\frac{2S_{j+1}}{\Delta t} + Q_{j+1} \right) = (I_j + I_{j+1}) + \left(\frac{2S_j}{\Delta t} - Q_j \right)$$

↙ Initial Condition

(Unknown) (Known at time j)

$$\left(\frac{2S_{j+1}}{\Delta t} - Q_{j+1} \right) = \left(\frac{2S_j}{\Delta t} + Q_j \right) - 2Q_j$$



Storage-Outflow
Function



การออกแบบ Overflow Spillway

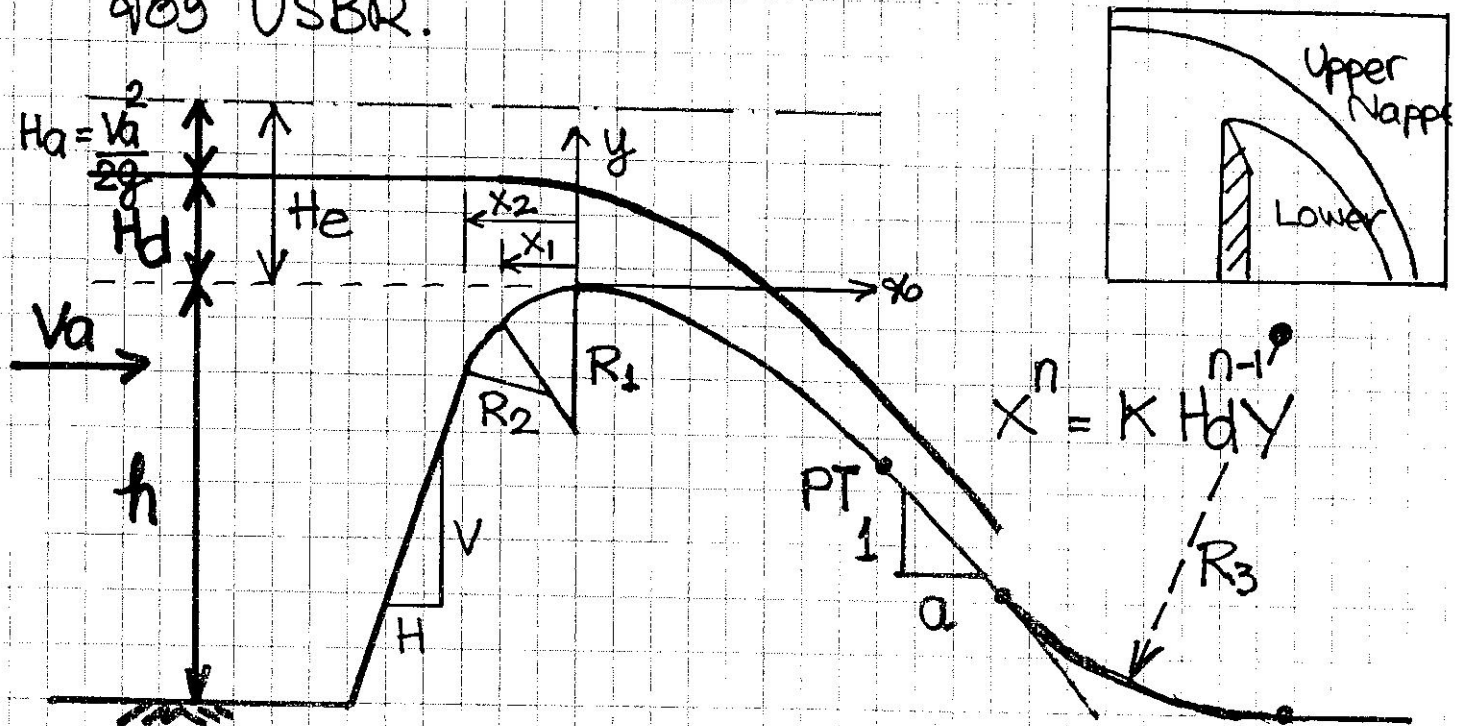
1. การออกแบบสันเขื่อนแบบ Ogee
2. การหาจุดสัมผัส (Point of Tangent, PT.)
3. การคำนวณหา V^2 ที่ท้ายเขื่อน
4. การคำนวณ Q ไหลลงท้ายสันเขื่อน
5. ตัวอย่างการคำนวณ



(1) การออกแบบสันเขื่อน (Spillway Crest)

→ Ogee Crest

US Army Corps of Engineers ได้พัฒนาสันเขื่อนแบบพลาตาราชานซึ่งเรียกว่า WES (Waterways Experiment Station) โดยพัฒนาจากผลการศึกษาของ USBR.



H_d = Design head excluding H_a

H_e = Effective head including H_a

$$H_a = \frac{V_a^2}{2g}$$

V_a = Approach Velocity

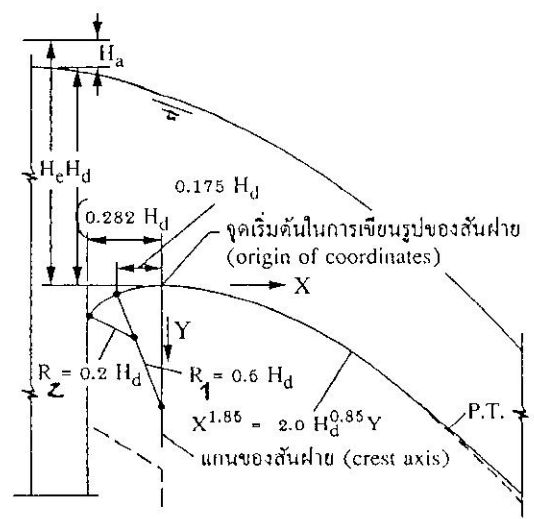
h = ความลึกของน้ำที่สันเขื่อน

x, y = Coordinate สันเขื่อน

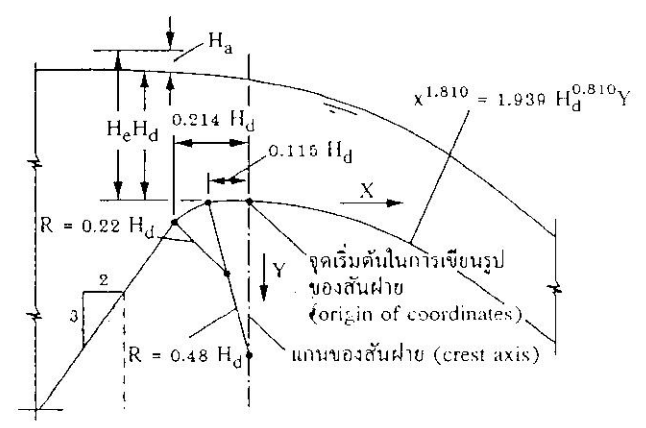
K, n, x_1, x_2, R_1, R_2
= ค่าคงที่

ตารางที่ 1 ค่า K, n, X1, R1, X2 และ R2

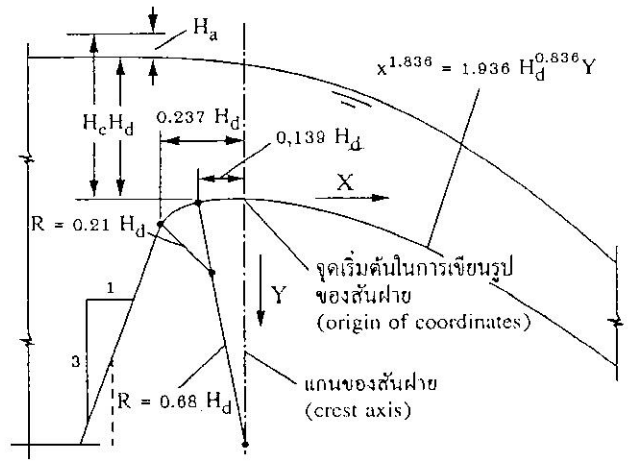
Upsteram Face Slope <hr/> V:H	K	n	X1	R1	X2	R2
Vertical	2.000	1.850	0.175Hd	0.50Hd	0.282Hd	0.20Hd
3:1	1.936	1.836	0.139Hd	0.68Hd	0.237Hd	0.21Hd
3:2	1.939	1.810	0.115Hd	0.48Hd	0.214Hd	0.22Hd
3:3	1.873	1.776	0.119Hd	0.45Hd	-	-



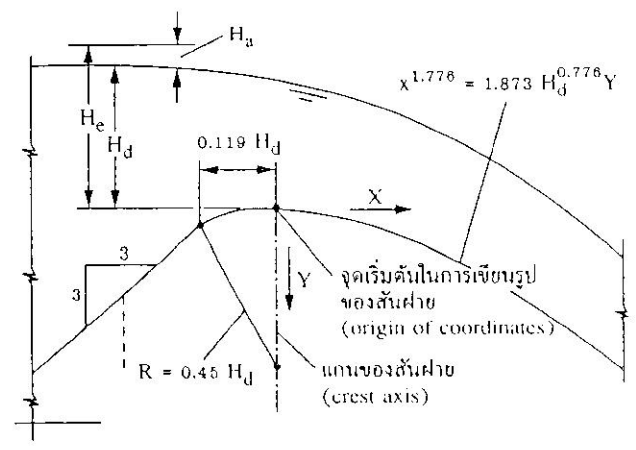
(ก) ฝายสันมนด้านหน้าอยู่ในแนวตั้ง



(ค) ฝายสันมนด้านหน้าที่มีความลาด 3:2



(ข) ฝายสันมนด้านหน้ามีความลาด 3:1



(ง) ฝายสันมนด้านหน้ามีความลาด 3:3

รูปที่ 10.20 รูปแบบมาตรฐานฝายสันมนของ WES (อ้างอิง 40)



(2) จุดสัมผัสระหว่างเส้นสัมผัสและลาดภายในท้ายหน้า

(Point of Tangent, PT)

กำหนดให้ลาดภายในท้ายหน้า (V:H) = 1:a

$$\frac{dy}{dx} = \frac{1}{a}$$

$$x^n = K H d^{n-1} Y$$

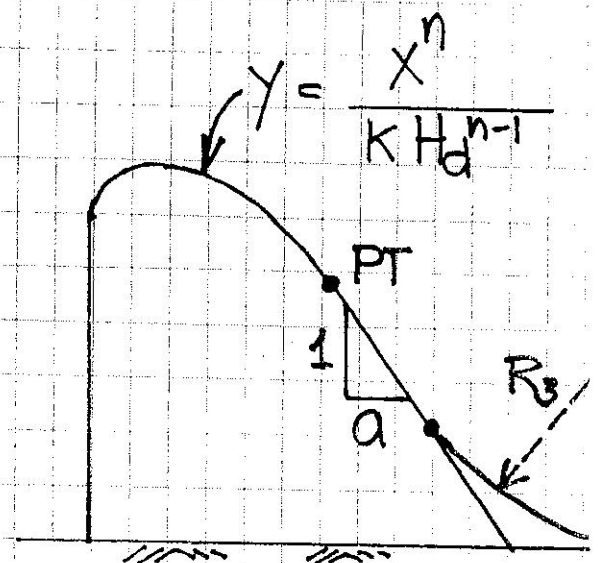
$$Y = \frac{x^n}{K H d^{n-1}}$$

$$\frac{d}{dx} \frac{x^n}{K H d^{n-1}} = \frac{1}{a}$$

$$\frac{n x^{n-1}}{K H d^{n-1}} = \frac{1}{a}$$

$$x = \frac{K H d^{n-1}}{a n}$$

PT คือจุดสัมผัส เมื่อ $x = \frac{K H d^{n-1}}{a n}$



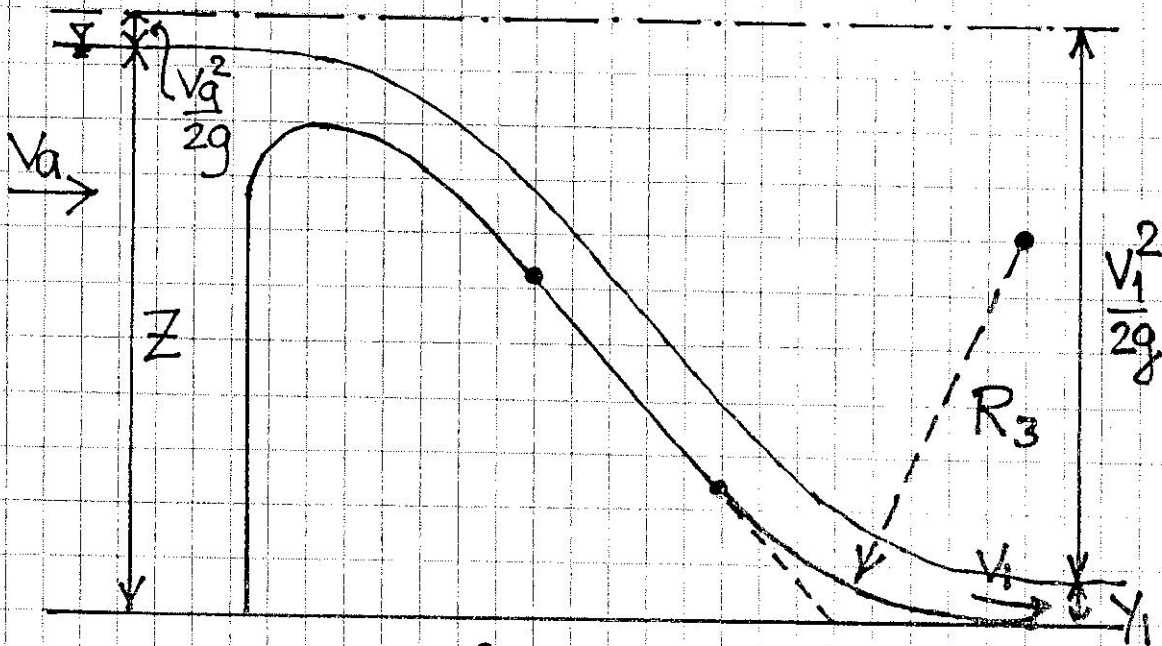


(3) การคำนวณหาโค้งตกท้ายฝาย

$$R_3 = 0.3048 \times 10^4 \text{ (m.)}$$

$$A = \frac{V_1 + 6.4 H_d + 4.88}{3.6 H_d + 19.52}$$

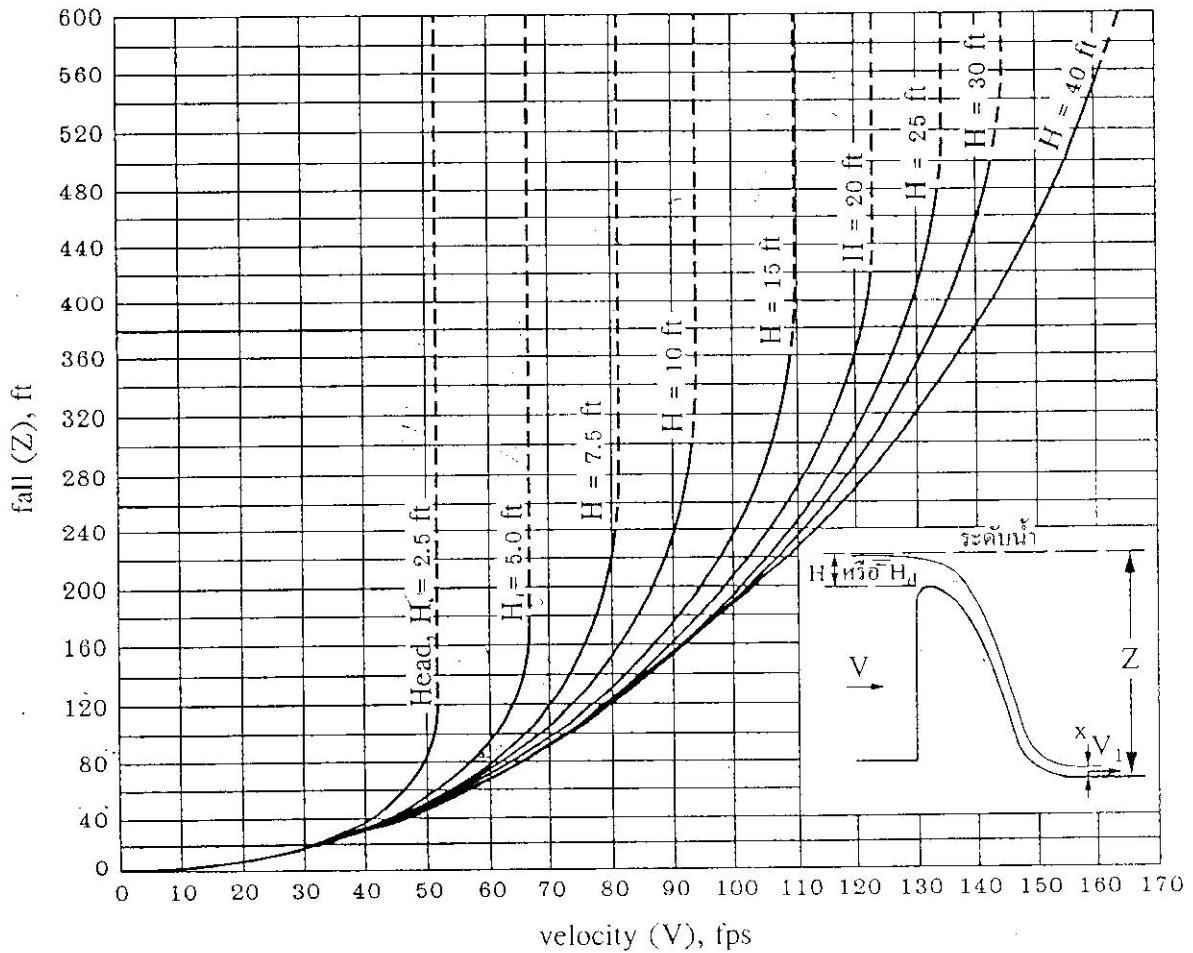
V_1 = ความเร็วขาที่ต้นฝายตกท้ายฝาย



$$Z + \frac{V_a^2}{2g} = Y_1 + \frac{V_1^2}{2g}$$

$$V_1 = \sqrt{2g \left(Z + \frac{V_a^2}{2g} - Y_1 \right)} \dots \dots \textcircled{1}$$

$$Y_1 = \frac{g}{V_1} \dots \dots \textcircled{2}$$



รูปที่ 10.18 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของกระแสน้ำที่ท้ายฝายน้ำสัน (V) กับความสูงของระดับน้ำ Z และหัวความลึกเหนือสันฝายที่ไหลออกแบบ (H_a) (อ้างอิง 40)

เมื่อน้ำไหลผ่านฝายสันมนดังที่แสดงในรูปที่ 10.18 ค่าความเร็วของการไหลด้านท้ายฝายตามทฤษฎีสามารถคำนวณได้จากการอาศัยความสัมพันธ์ของการไหลระหว่างด้านหน้าและด้านท้ายฝายตามสมการของแบร์นูลลี (Bernoulli) เมื่อไม่คิดค่าการสูญเสียพลังงาน จะได้ว่า

$$Z + \frac{V^2}{2g} = y_1 + \frac{V_1^2}{2g} \tag{10.6}$$

หรือ

$$V_1 = \sqrt{2g(Z + H_a - y_1)} \tag{10.7}$$



(4) สูตรการคำนวณ Q ไหลข้ามสันเขาย

1. กรณีไม่มีบานประตู

$$Q = C L_e H_e^{1.5}$$

Q = อัตราการไหลข้ามสันเขาย (cms)

C = Discharge Coef. (จากรูป 10.11)

L_e = Effective Length (m.)

H_e = Effective head including velocity head (m.)

การหาค่า C (รูป 10.11)

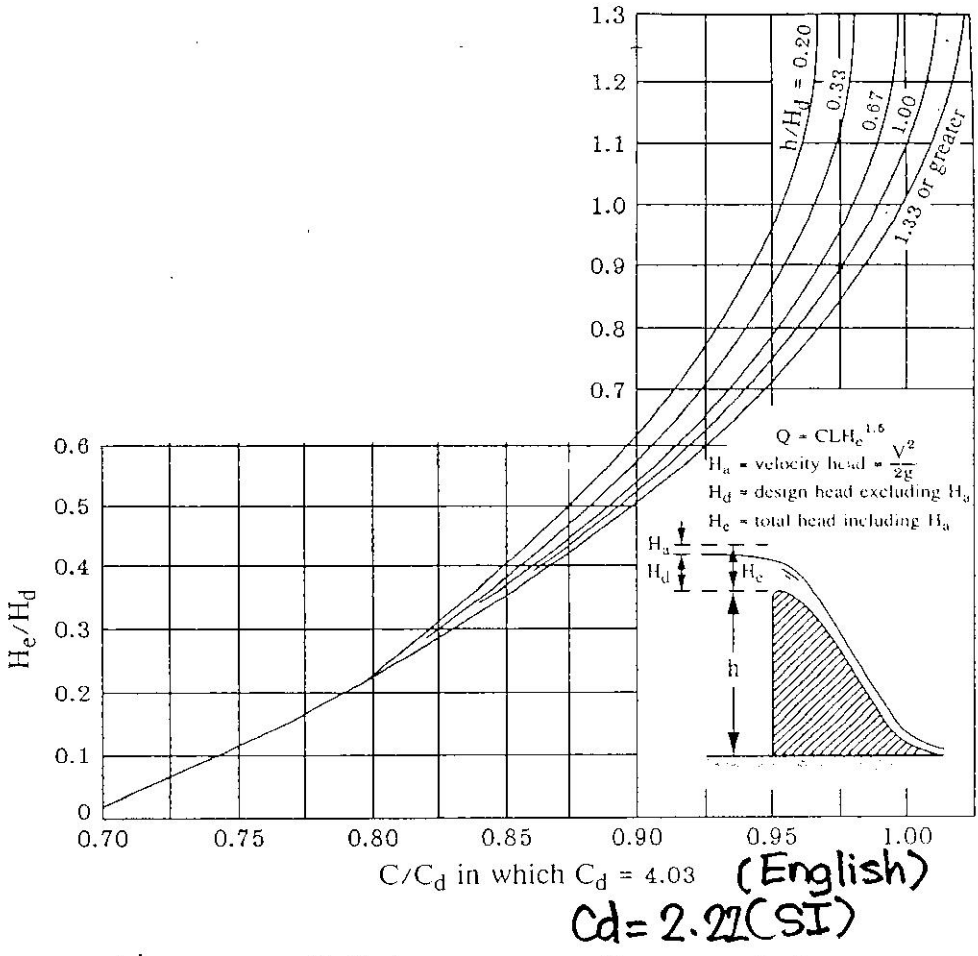
→ Vertical Upstream Face

(1) เขายสูง ($\frac{h}{H_d} \geq 1.33$)

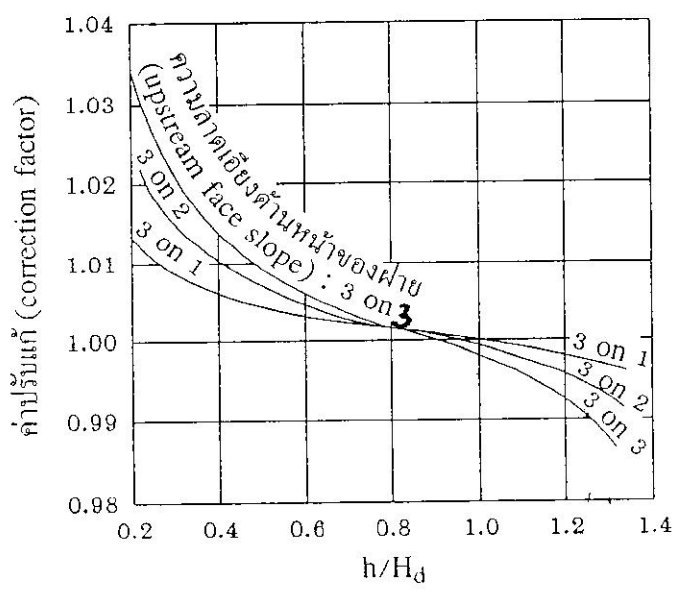
$$\frac{H_e}{H_d} = 1 \rightarrow \frac{C}{C_d} = 1.0 ; C_d = 2.22 \text{ (SI)} \\ = 4.03 \text{ (Eng.)}$$

(2) เขายเตี้ย ($\frac{h}{H_d} < 1.33$) → หาค่า C จากรูป 10.11

EX ถ้า $\frac{h}{H_d} = 1.0$ แล้ว $\frac{H_e}{H_d} = 1.2 \rightarrow \frac{C}{C_d} = 1.1$
→ $C = 1.1 \times 2.22 = 2.442$



รูปที่ 10.11 ความสัมพันธ์ระหว่าง H_c/H_d กับ C/C_d (อ้างอิง 40)



รูปที่ 10.13 ค่าปรับแก้เนื่องจากผิวลาดเอียงด้านหน้าของฝายสันนมน (อ้างอิง 40)

→ กรณี Slope Upstream Face

$C(\text{slope}) = C(\text{vertical}) \times \text{correction factor}$
(ดูรูป 10.13)

EX จาก EX. ที่แล้ว ถ้า Upstream Face Slope

$V:H = 3:3$ แปลว่า

จากรูป 10.13 ถ้า $\frac{H}{H_d} = 1$, Correction Factor = 0.998

$C = 0.998 \times 2.442 = 2.437$

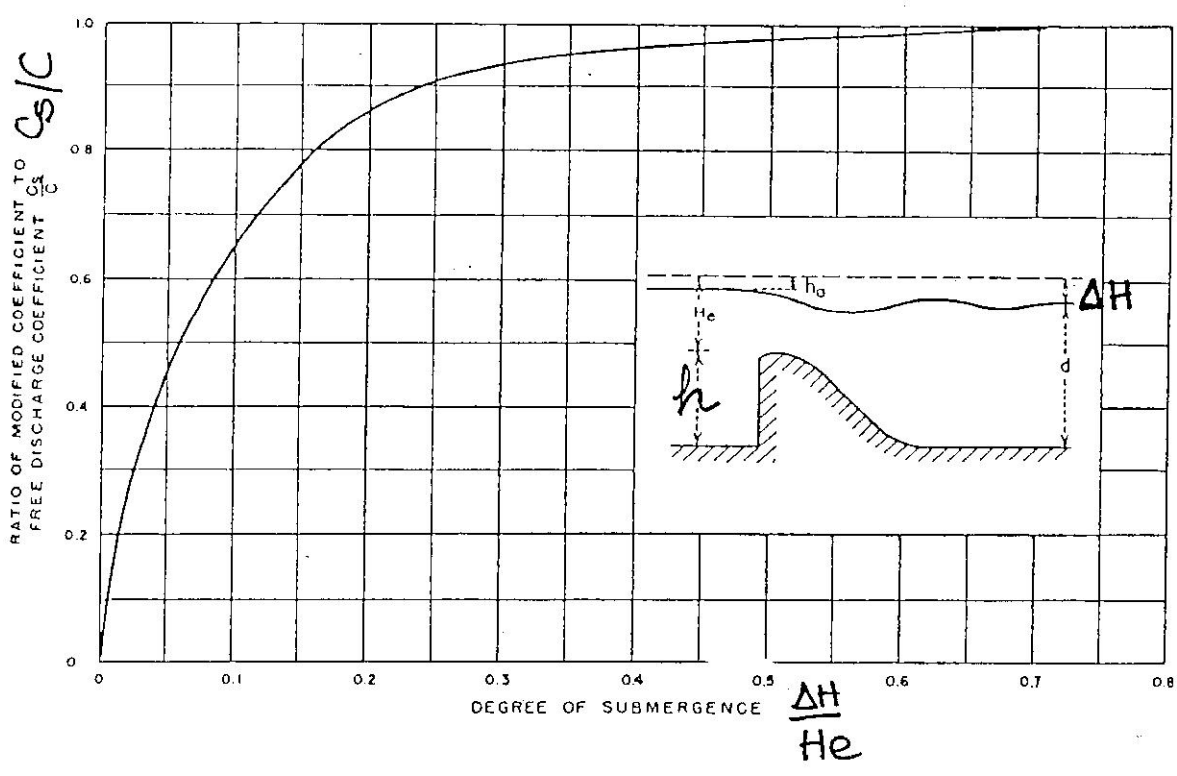


Figure 3.14 Ratio of Discharge Coefficients Due to Tailwater Effect

ନୀଚ୍ଛ $\Delta H < 0.7 H_e$ ବ:କ୍ଷ Tailwater Effect

କା C ବ:କ୍ଷ $\frac{C_s}{C}$ (ତାହା) 1.04

$$\frac{\Delta H}{H_e} = 0.25$$

$$\frac{C_s}{C} = 0.9 \rightarrow C_s = 0.9C$$

C_s = Submerged Flow Discharge Coef.

(1.1) กรณีไม่มีตอม่อ (Pier)

$$L_e = L$$

(1.2) กรณีมีตอม่อ

$$L_e = L - 2(NK_p + K_a)H_e$$

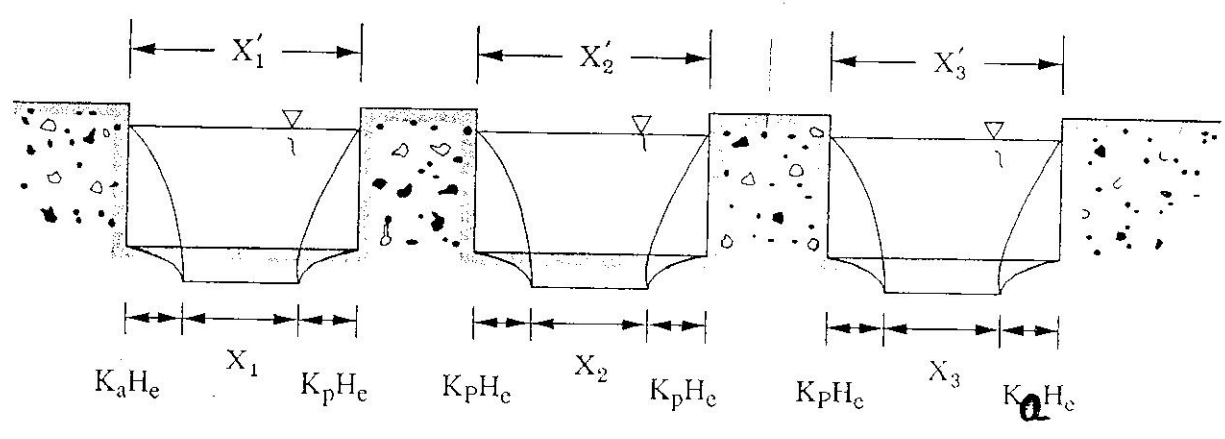
L = ความยาวหรือของเส้นผ่าศูนย์กลาง = $X_1' + X_2' + X_3'$

$L_e = X_1 + X_2 + X_3$

N = No. of piers

K_p = Pier contraction coef.

K_a = Abutment contraction coef. (ตาราง 10.1)



รูปที่ 10.14 การหดตัวของการไหลผ่านตอม่อและกำแพงริมตลิ่งข้างฝาย (อ้างอิง 2)

กรณีเปิดทางประตูหมอดทุกขา

ห่อหมอดขา = $\frac{1}{3} H_d$ ใช้ K_p โดยประมาณ
จากตาราง

ตาราง ค่า K_p โดยประมาณ

รูปทรงห่อหมอด	K_p
ห่อหมอดปลายเหลี่ยมหนา (Thick Square Nose)	0.10
ห่อหมอดปลายแหลม (Point Nose)	0.04
ห่อหมอดปลายกลมมน (Round Nose)	0.035

→ ถ้ามีขาประตูปิด K_p ของท่อเปิดข้างๆ จะเพิ่มจาก
ตารางประมาณ 2.5 เท่า



ค่า $K_p \propto$ ความลึกของช่องทาง ($\frac{H}{H_d}$)
 \propto ความลึกของหน้าเหนือตลิ่ง ($\frac{H_e}{H_d}$)
 \propto รูปร่างและตำแหน่งของตอม่อ

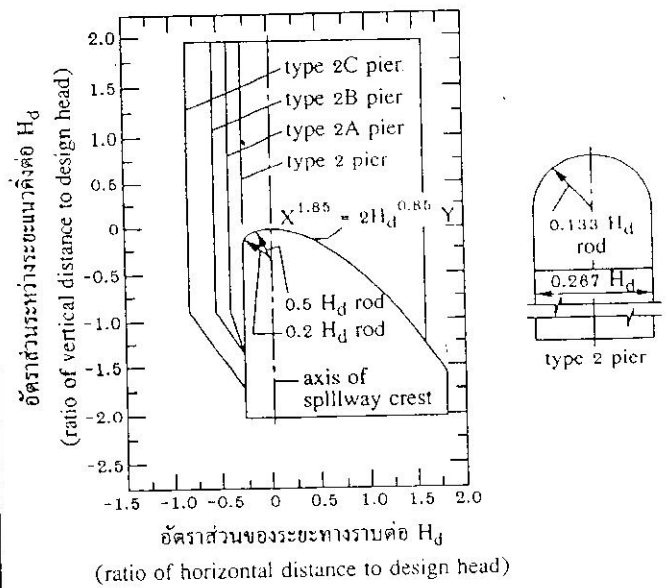
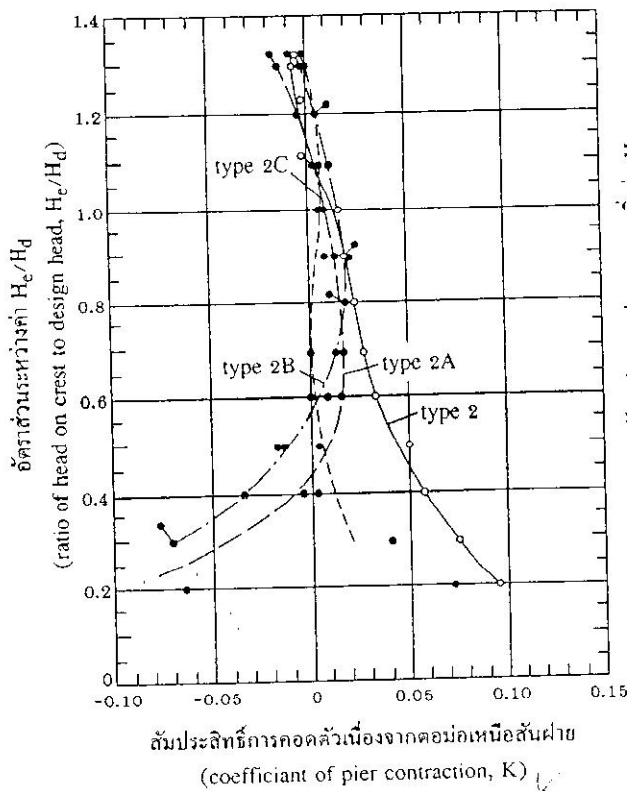
กรณีฝายล้น ($\frac{H}{H_d} \geq 1.33$) รูป 10.15, 10.16

ฝายเตี้ย ($\frac{H}{H_d} < 1.33$) รูป 10.17

กรณีฝายเตี้ย และตอม่อปลายแหลม หรือกลมขนาด $9\sqrt{K_p}$ ของรูป 10.17
 แต่ปรับค่าด้วยสูตรของ K_p ของฝายล้น

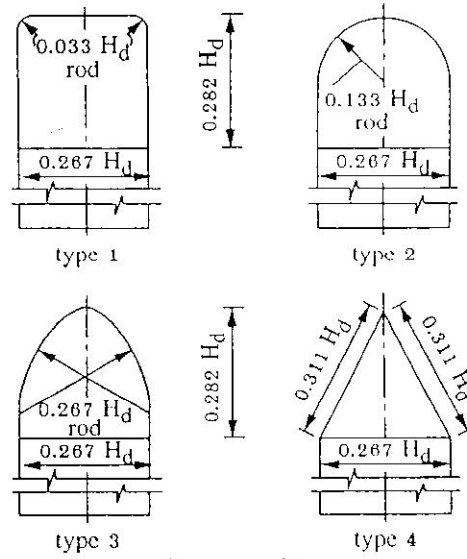
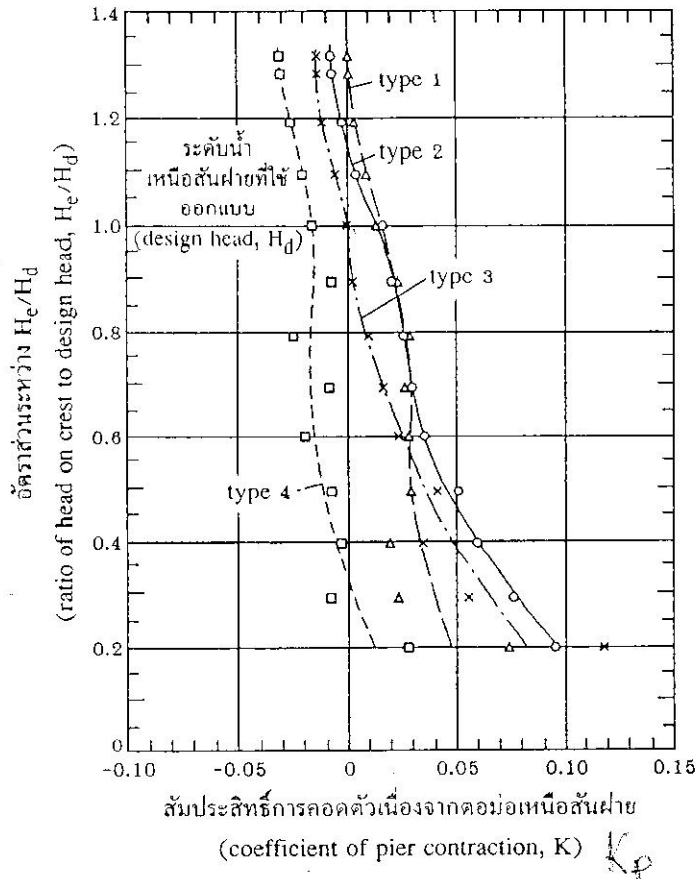
ตารางที่ 10.1 สัมประสิทธิ์การหดตัวเนื่องจากกำแพงริมตลิ่ง (K_p) โดยประมาณ (อ้างอิง 4)

แบบที่ 1	ลักษณะกำแพงริมตลิ่ง	รูปร่างกำแพงริมตลิ่ง	K_a
1	รูปสี่เหลี่ยมมุมฉาก 90° ไม่ลมนุม		0.20
2	รูปสี่เหลี่ยมมุมฉาก 90° ลมนุม เป็นรัศมีโค้ง r โดยที่ $0.15 H_d \leq r \leq 0.5 H_d$		0.10
3	กำแพงริมตลิ่งมีรัศมี $r > 0.5 H_d$ และมุม $0 \leq 45^\circ$ กับทิศทางการไหล		0.00



รูปที่ 10.15 สัมประสิทธิ์การหดตัวเนื่องจากตอม่อรูปครึ่งวงกลมแบบต่าง ๆ ของฝายสูง (WES) (อ้างอิง 17)

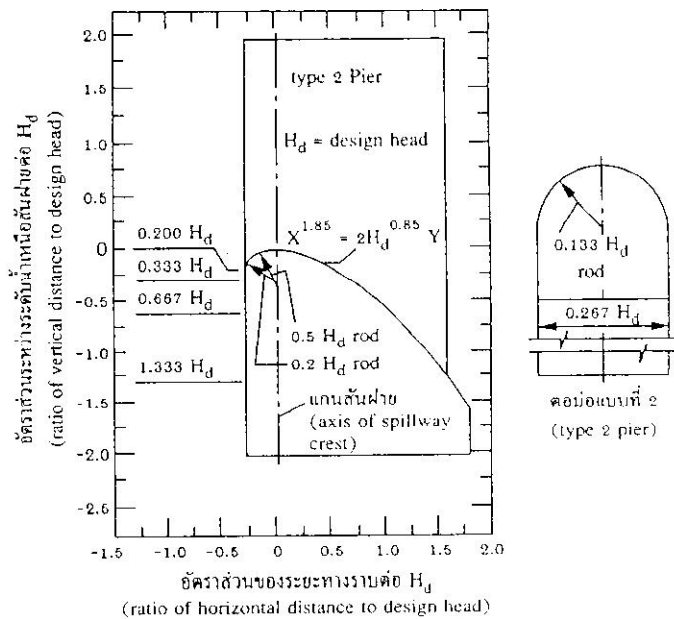
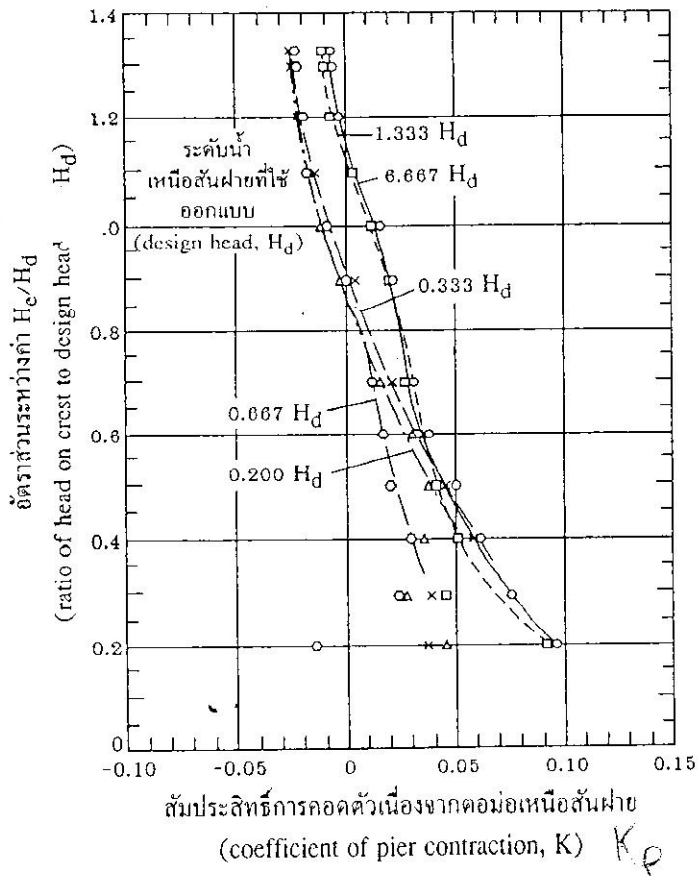
$$\frac{h}{H_d} \geq 1.33$$



รูปร่างของตอม่อ (pier nose shapes)
ลักษณะและจำนวนของตอม่อเหนือสันฝาย
ดูได้จากแบบแปลน

รูปร่างของตอม่อมีผลต่อลักษณะการหดตัวของหน้าตัดการไหล (high gated overflow crests pier contraction coefficients effect of nose shape)

รูปที่ 10.16 สัมประสิทธิ์การหดตัวเนื่องจากตอม่อรูปร่างต่าง ๆ ของฝายสูง (WES) (อ้างอิง 40) $\frac{h}{H_d} \geq 1.33$



ความเร็วขณะเข้าใกล้ของฝายเดี่ยวมีผลต่อการหดตัวของหน้าตัดการไหล (low gated ogee crests pier contraction coefficients effect of approach depth)

รูปที่ 10.17 สัมประสิทธิ์การหดตัวเนื่องจากตอม่อครึ่งวงกลมของฝายเดี่ยว (WES) (อ้างอิง 40) $\frac{h}{H_d} < 1.33$



2. กรณีมีบานประตูระบายเปิดไม่เต็มกัก Gated Ogee Crest

สูตรคำนวณ Q ลอดใต้บานประตู

$$Q = \frac{2}{3} \sqrt{2g} C_g L (H_1^{1.5} - H_2^{1.5})$$

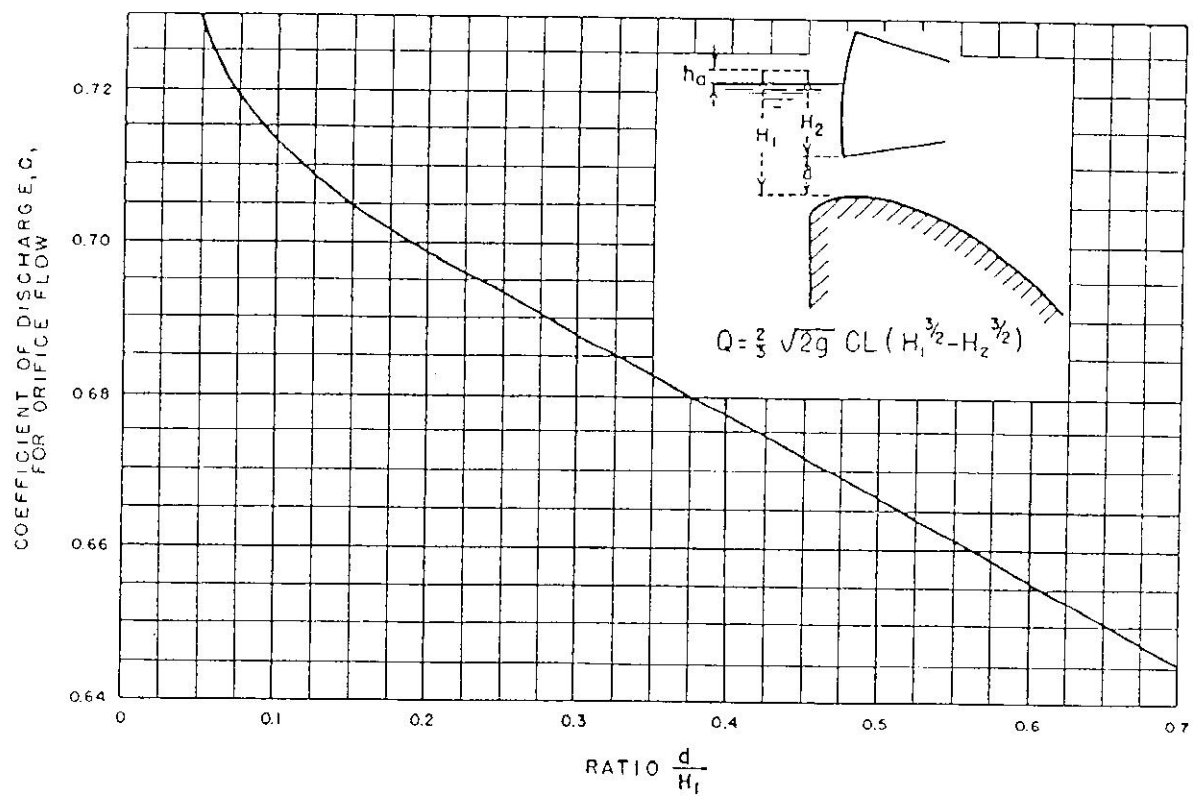
H_1 = Total head including velocity head
บนน้ำก่อนบาน

H_2 = Total head including velocity head
บนน้ำขอบบานประตูตกต่ำ

L = ความยาวช่องเปิด

C_g = Discharge coef. of Undergate Flow

- เมื่อ
- Q คือ ปริมาณน้ำที่ไหลลอคได้บานประตู
 - H_1 และ H_2 คือ Total Head (รวม Velocity Head) วัดถึงปลายล่างและปลายบนของช่องเปิดตามลำดับ
 - C คือ สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำผ่านสันฝายแบบมีบานระบาย ซึ่งจะเปลี่ยนไปตามชนิดของบานระบาย รูปร่างของสันฝาย ความกว้างของช่องเปิด ความเร็วของน้ำที่ไหลเข้าสู่ฝายและอิทธิพลทางด้านท้ายน้ำ ซึ่งจะหาได้จาก รูปที่ 3.17 อย่างไรก็ตาม ค่านี้มีความเชื่อถือได้สำหรับฝายน้ำสันขนาดเล็กเท่านั้น



รูปที่ 3.17 สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำลอคได้บานประตู



EX. 1 ออกแบบปากทางระบายน้ำแบบ
Ogee Crest ซึ่งไม่มีขากระดาดระบายน้ำ

กำลังไหล $Q = 1,000 \text{ cms}$

ลักษณะปากทาง = 50 m.

ระดับน้ำที่ออก = +270 m

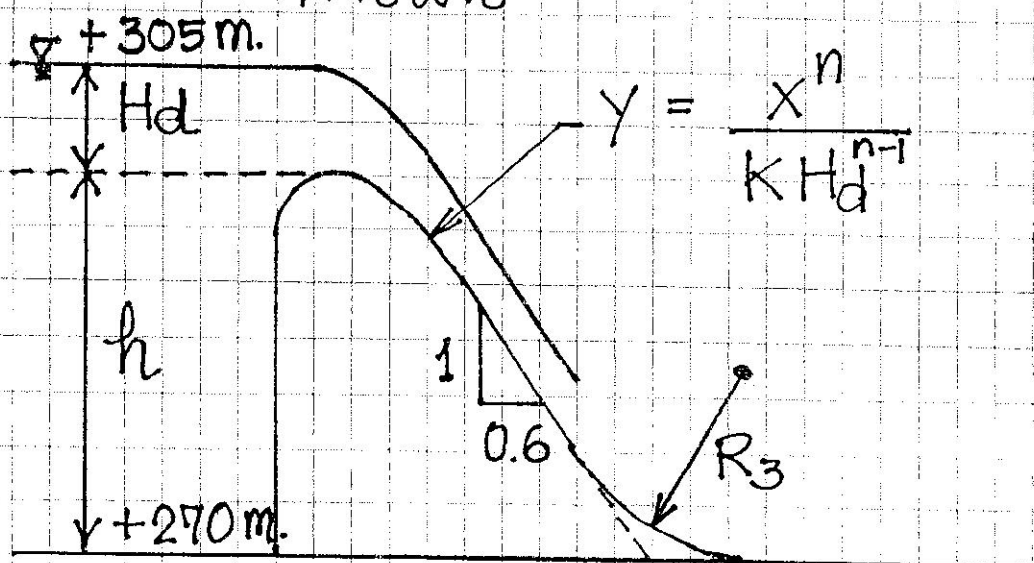
ระดับน้ำที่ลากสูงสุด (Max. Pool) = +305 m.

ทางน้ำมีความลาดชัน (V:H) = 1:0.6

จงคำนวณหา

(1) ระดับความสูงของฝาย

(2) รูปร่างของสันฝายซึ่งเข้ากับความลาดชัน
ทางฝาย



(1) การหาระดับความสูงของชาย

$$Q = C L e H_e^{1.5}$$

กรณีไม่มีปลาร. (ไม่มีปลอก)

$$L_e = L = 50 \text{ m.}$$

สมมติว่าชายเป็นชายสูง $\frac{h}{H_d} \geq 1.33$

$$\frac{H_e}{H_d} = 1.0 \longrightarrow H_e = H_d$$

$$\frac{C}{C_d} = 1.0 \longrightarrow C = C_d = 2.22$$

$$1000 = 2.22 (50) H_e^{1.5}$$

$$H_e = H_d = \left(\frac{1000}{2.22 \times 50} \right)^{\frac{2}{3}} = 4.33 \text{ m.}$$

$$h = (305 - 270) - 4.33 = 30.67 \text{ m.}$$

check $\frac{h}{H_d} = \frac{30.67}{4.33} = 7.08 > 1.33 \dots (\text{OK})$

แสดงว่าชายสูงหรือชายต่ำก็ตามสมมติว่าชายที่ต่ำไว้

$$\frac{V_a^2}{2g} \sim 0 \longrightarrow H_d = H_e = 4.33 \text{ m.}$$

$$\text{ระดับสันชาย} = 270 + 30.67 = +300.67 \text{ m}$$



(2) การคำนวณหาารูปร่างสันเขื่อน (Ogee Crest)

จากตารางที่ 1 การสันเขื่อนเขื่อนอยู่ท้ายเขื่อน

$$K = 2.0$$

$$n = 1.85$$

$$X_1 = 0.175 H_d = 0.175 \times 4.33 = 0.76 \text{ m.}$$

$$R_1 = 0.5 H_d = 0.5 \times 4.33 = 2.17 \text{ m.}$$

$$X_2 = 0.282 H_d = 0.282 \times 4.33 = 1.22 \text{ m.}$$

$$R_2 = 0.2 H_d = 0.2 \times 4.33 = 0.87 \text{ m.}$$

$$X^{1.85} = 2 H_d^{1.85-1} Y$$

$$Y = \frac{X^{1.85}}{2 H_d^{0.85}}$$

$$Y = \frac{X^{1.85}}{2(4.33)^{0.85}} = 0.1439 X^{1.85}$$

คำนวณหาจุดตัดสันเขื่อน (PT.)

$$\frac{dy}{dx} = \frac{d}{dx} 0.1439 X^{1.85} = \frac{1}{0.6}$$

$$0.1439 (1.85) X^{0.85} = \frac{1}{0.6}$$

$$X = \left(\frac{1}{0.6 \times 0.1439 \times 1.85} \right)^{\frac{1}{0.6}}$$



$$X = 8.65 \text{ m.}$$

$$Y = 0.1439 (8.65)^{1.85}$$

$$= 7.79 \text{ m.}$$

X (m.)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	8.65
Y (m.)	0	0.14	0.52	1.10	1.87	2.83	3.96	5.27	6.74	7.79

คำนวณหาระยะที่น้ำไหลเข้า (R₃)

$$Z = 305 - 270 = 35 \text{ m.}$$

$$H_a = 0 \text{ (เขื่อนสูง)}$$

$$V_1 = \sqrt{2g(Z + H_a - Y_1)}$$

$$= \sqrt{2 \times 9.81 (35 + 0 - Y_1)}$$

$$= \sqrt{2 \times 9.81 (30 - \frac{V_1}{V_1})}$$

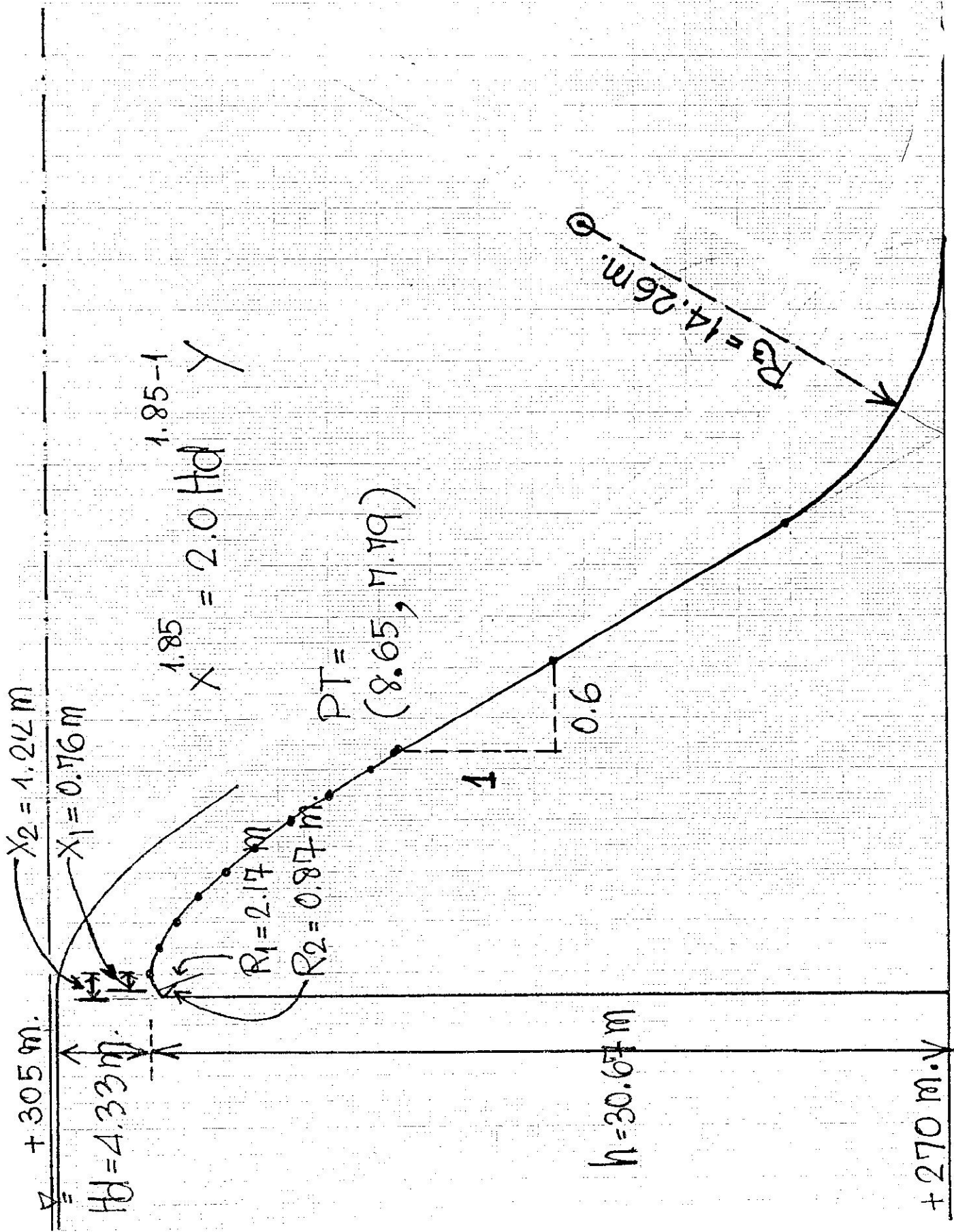
$$= \sqrt{2 \times 9.81 (30 - \frac{20}{V_1})}$$

Trial & Error $V_1 = 25.91 \text{ m/s}$

$$A = \frac{V_1 + 6.4 H_d + 4.88}{3.6 H_d + 19.52} = \frac{25.91 + 6.4(4.33) + 4.88}{3.6(4.33) + 19.52}$$

$$= \frac{58.502}{35.108} = 1.67$$

$$R_3 = 0.3048 \times 10^A = 0.3048 \times 10^{1.67} = 14.26 \text{ m.}$$

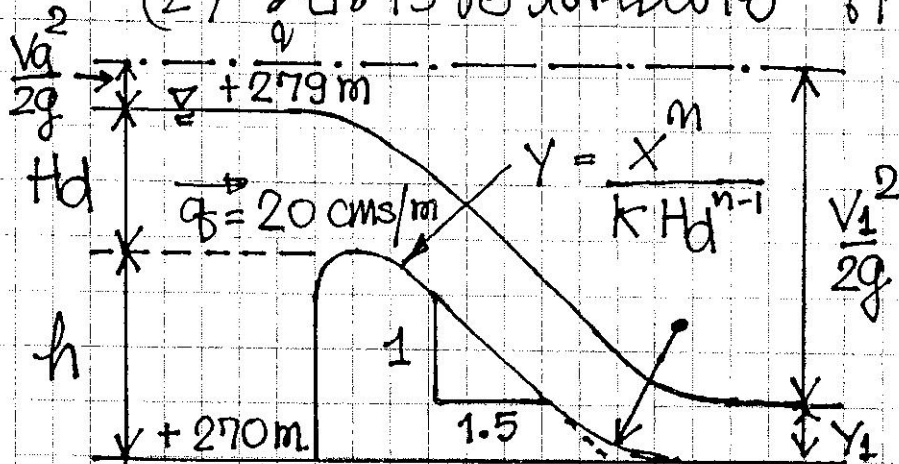




EX.2 จากข้อ 1 ถ้าระดับน้ำชลประทานสูงที่สุด = 279 ม.
จงคำนวณหา

(1) ระดับปริมณฑลสูงของช่องทาง (h)

(2) รัศมีของสันเขื่อนที่ $\alpha = 1.5$



สันเขื่อนที่ปลอดภัยคือ $\frac{h}{H_d} \geq 1.33$

จาก EX.1 $H_e = H_d = 4.33$ m.

$$h = (279 - 270) - 4.33 = 4.67 \text{ m.}$$

Check $\frac{h}{H_d} = \frac{4.67}{4.33} = 1.08 < 1.33 \rightarrow$ ปลอดภัย

$$V_a = \frac{q}{h + H_d} = \frac{20}{9} = 2.22 \text{ m/s}$$

$$H_a = \frac{V_a^2}{2g} = \frac{(2.22)^2}{2 \times 9.81} = 0.25 \text{ m.}$$

$$H_e = H_d + H_a = 4.33 + 0.25 = 4.58 \text{ m.}$$



$$\frac{H_e}{H_d} = \frac{4.58}{4.33} = 1.058$$

จากรูปที่ 10.11 $\frac{C}{C_d} = 0.99$

$$C = 0.99 \times 2.22 = 2.1978$$

$$1000 = 2.1978 \times 50 \times H_e^{1.5}$$

$$H_e = \left(\frac{20}{2.1978} \right)^{\frac{2}{3}} = 4.36 \text{ m.}$$

$$H_d = H_e - H_a = 4.36 - 0.25 = 4.11 \text{ m.}$$

$$\frac{H_e}{H_d} = \frac{4.36}{4.11} = 1.061 \approx 1.058$$

$$\rightarrow H_d = 4.11 \text{ m.}$$

$$\rightarrow H = 9 - 4.11 = 4.89 \text{ m}$$

(2) คำนวณหารูปอ่างล้นเขย (Ogee Crest)

$$K = 2.0$$

$$n = 1.85$$

$$X_1 = 0.175(4.11) = 0.72 \text{ m.}$$

$$R_1 = 0.5(4.11) = 2.06 \text{ m.}$$

$$X_2 = 0.282(4.11) = 1.16 \text{ m.}$$

$$R_2 = 0.2(4.11) = 0.82 \text{ m.}$$

$$Y = \frac{X^{1.85}}{2(4.11)^{0.85}} = 0.1504 X^{1.85}$$



พหุคูณ PT. $\alpha = 1.5$

$$X = \left(\frac{1}{1.5 \times 0.1504 \times 1.85} \right)^{\frac{1}{0.85}} = 2.80 \text{ m.}$$

$$Y = 0.1504 (2.80)^{1.85} = 1.01 \text{ m.}$$

X (m)	0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	2.8
Y (m)	0	0.04	0.15	0.32	0.54	0.82	1.01

พหุคูณ R3

$$Z = 279 - 270 = 9 \text{ m.}$$

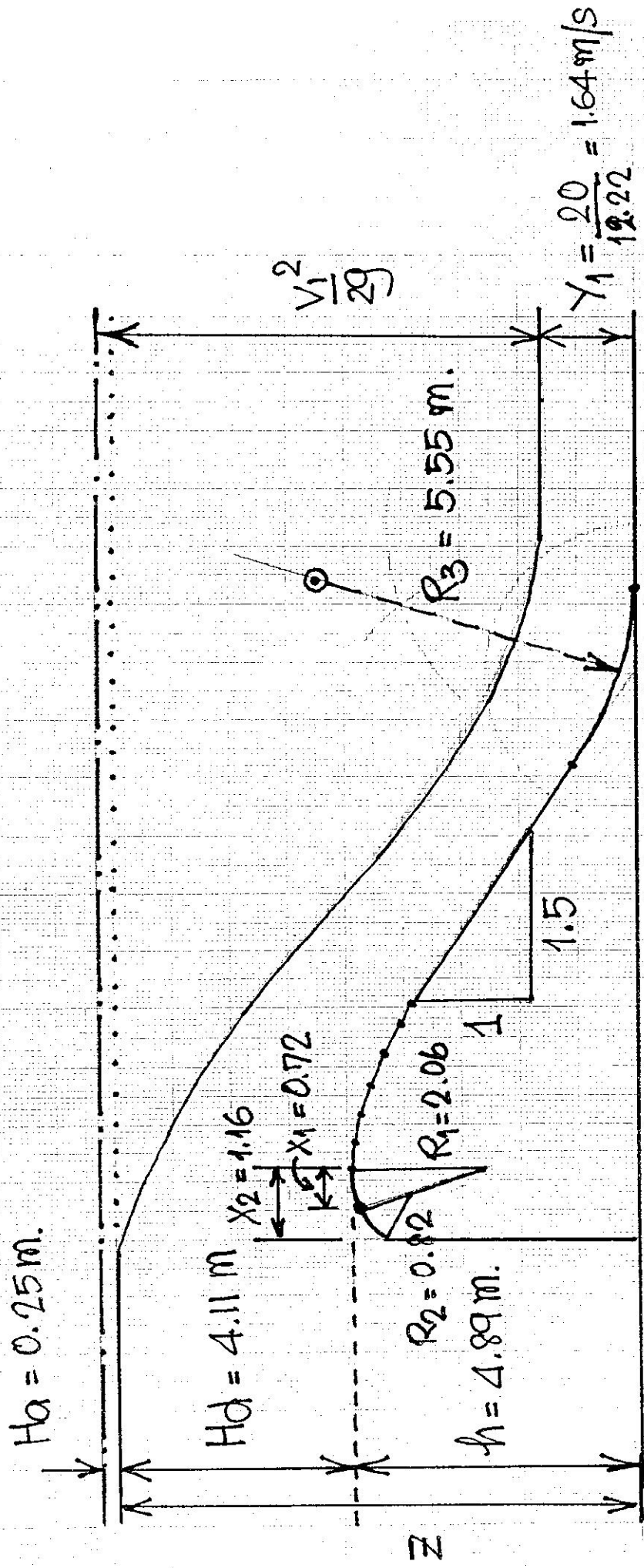
$$\frac{V_a^2}{2g} = H_a = 0.25 \text{ m.}$$

$$V_1 = \sqrt{2 \times 9.81 \left(9 + 0.25 - \frac{20}{V_1} \right)}$$

Trial & Error $V_1 = 12.22 \text{ m/s}$

$$A = \frac{12.22 + 6.4(4.11) + 4.88}{3.6(4.11) + 19.52} = \frac{43.404}{34.316} = 1.26$$

$$R_3 = 0.3048 (10)^{1.26} = 5.55 \text{ m.}$$





EX.3 จากข้อ 1. เส้นผ่าศูนย์กลาง $(L) = 50$ m.

มีท่อต่อแบบที่ 1 5 ตำแหน่ง แต่ละตำแหน่งมีระยะห่างเท่ากัน มีกำแพงชลลึงรูปสี่เหลี่ยมมุมฉาก 90°

รูปมุมฉาก

(1) ถ้าระดับน้ำชลลึงรูปสี่เหลี่ยมมุมฉาก = + 305 m.

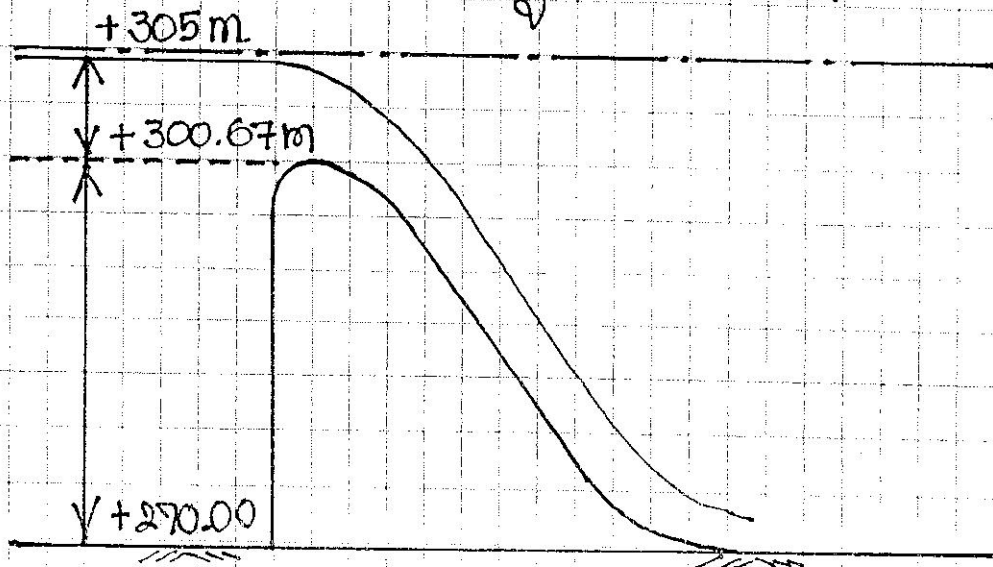
และระดับน้ำอยู่ + 300.67 m.

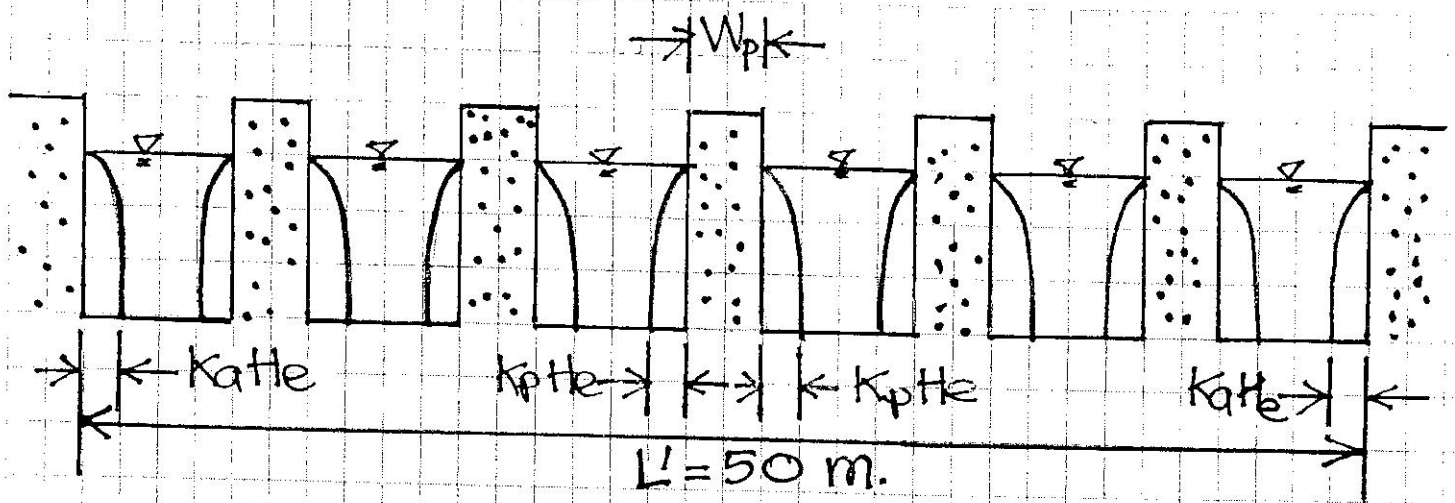
(2) ระดับน้ำชลลึงรูปสี่เหลี่ยมมุมฉาก ถ้าระดับน้ำชลลึงรูปสี่เหลี่ยมมุมฉาก = + 305 m.

และ $Q_{max} = 1,000$ cms.

(3) ระดับน้ำชลลึงรูปสี่เหลี่ยมมุมฉาก ถ้า $Q_{max} = 1,000$ cms.

และระดับน้ำอยู่ + 300.67 m.





ข้อที่ (1) จงหา Q

สมมติว่าชายน้ำไหลลงสู่ $\frac{h}{Hd} \geq 1.33$
จากรูปที่ 10.1

$$\frac{H_e}{H_d} = 1.0 \rightarrow \frac{C}{C_d} = 1.0$$

$$\rightarrow C = 2.22$$

$$H_e = H_d = 305 - 300.67 = 4.33 \text{ ม.}$$

จากรูปที่ 10.16

$$\begin{aligned} \text{ความหนาของบานที่ 1} \quad W_p &= 0.267 H_d \\ &= 0.267 \times 4.33 \\ &= 1.16 \text{ ม.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L &= L' - 5W_p \\ &= 50 - 5(1.16) = 44.2 \text{ ม.} \end{aligned}$$



$$L_e = L - 2(N \cdot K_p + K_a) H_e$$

จากรูปที่ 10.16 $\frac{H_e}{H_d} = 1 \rightarrow K_p = 0.02$

จากตารางที่ 10.1 $K_a = 0.1$

$$\begin{aligned} L_e &= 44.2 - 2(5 \times 0.02 + 0.1) 4.33 \\ &= 44.2 - 1.732 = 42.47 \text{ m.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q &= C L_e H_e^{1.5} \\ &= 2.22 \times 42.47 \times (4.33)^{1.5} \\ &= 849.51 \text{ cms.} \end{aligned}$$

(2) จงหาระดับปล้นขบพาย

$$Q = C L_e H_e^{1.5}$$

$$1,000 = 2.22 \{ 44.2 - 2(5 \times 0.02 + 0.1) H_e \} H_e^{1.5}$$

$$\frac{1,000}{2.2} = (44.2 - 0.4 H_e) H_e^{1.5}$$

$$450.45 = 44.2 H_e^{1.5} - 0.4 H_e^{2.5}$$

$$0.4 H_e^{2.5} - 44.2 H_e^{1.5} + 450.45 = 0$$

Trial & Error

$$H_e = H_d = 4.84 \text{ m. (ค่าคงที่)}$$

$$\text{ระดับชั้นน้ำผาย} = 305 - 4.84 = +300.16 \text{ m.}$$

(3) จงหา^๒ระดับน้ำ^๑สุดท้าย

$$\text{จาก (2)} \quad H_e = H_d = 4.84 \text{ m.}$$

$$\text{ระดับน้ำ^๒สุดท้าย} = \text{ระดับชั้นน้ำผาย} + H_d$$

$$= 300.67 + 4.84$$

$$= +305.51 \text{ m.}$$



การออกแบบทางระบายน้ำล้นแบบรางชน

(Chute Spillway)

- นิยมใช้กับเขื่อนดิน
- Control Section + Chute + Discharge Section

(1) ทางน้ำ

(2) การออกแบบสันเขื่อน (Crest Design)

(3) การออกแบบรางชน (Design of Chute)

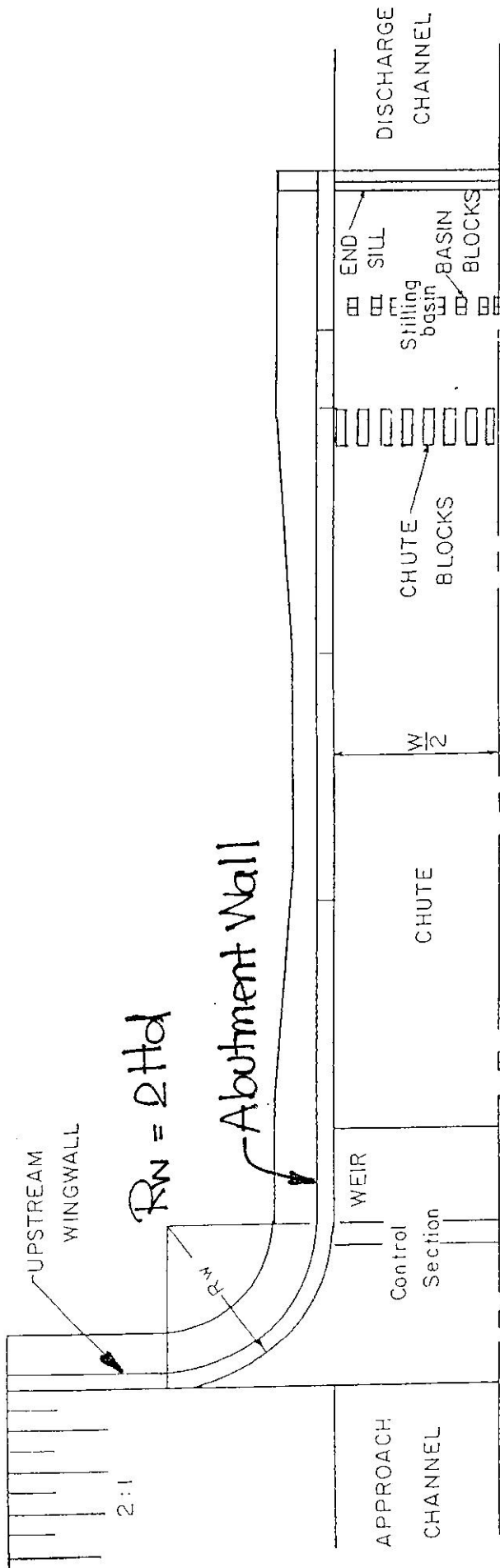
- Transition

- Water Surface Profile

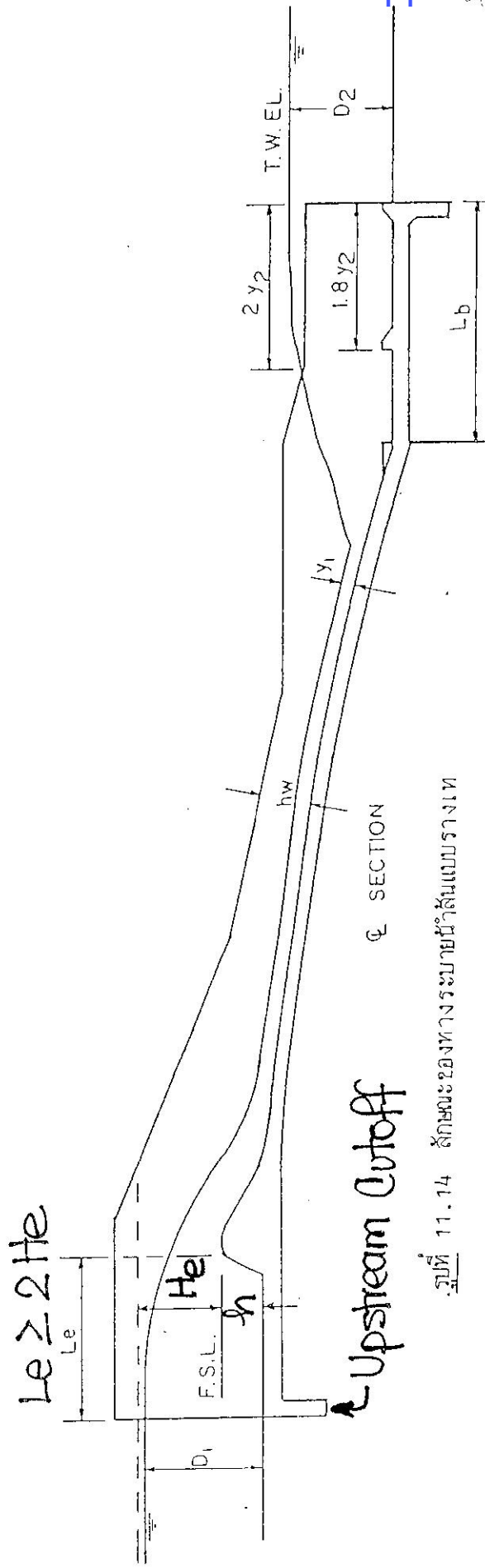
- Vertical Curve

- Wall Height

- Joints and Drain



HALF PLAN



รูปที่ 11.14 ลักษณะของทางระบายน้ำสันเขื่อนแบบรากเข็ม



(1) ทางเข้า (Approach Channel)

ส่วนที่อยู่ระหว่าง Wing Wall กับสันเขื่อน

$$L_e \geq 2 H_e$$

$$R_w = 2 H_d$$

(2) Crest Design

ส่วนที่อยู่บนเขื่อน Ogee Crest
(ดู Overflow Spillway)

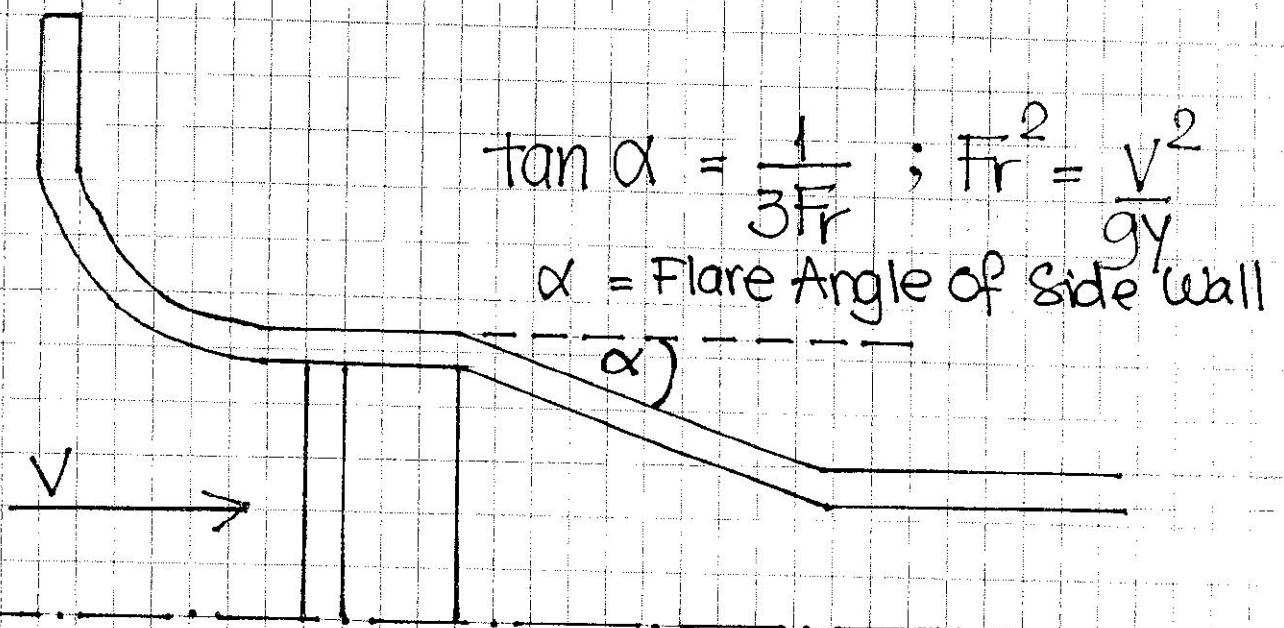
(3) การออกแบบรางระบาย (Design of Chute)

คือทางน้ำเปิดที่ชันน้ำที่รับน้ำที่ไหลลงสันเขื่อน เพื่อส่งต่อไปยังอาคารชลประทานหรือระบายลงสู่ปากน้ำ
การออกแบบรางระบายตามลักษณะภูมิประเทศ
slope ชื้น → รางยาว
slope มาก → เลี้ยวทำจุดค้ำยัน - ตามลักษณะภูมิประเทศ



(3.1) Transition

ปกติน้ำในรางน้ำไหลแบบ Supercritical ถ้าความกว้างของรางน้ำ (W) น้อยกว่าความกว้างของ Control Section และ Discharge Section ต้องมี Transition เพื่อลด Shock Wave และต้องมีการทำโมเดลทดลองโดย เกณฑ์การออกแบบเบื้องต้น



Transition แบบ Converge $\rightarrow \alpha < 8^\circ$

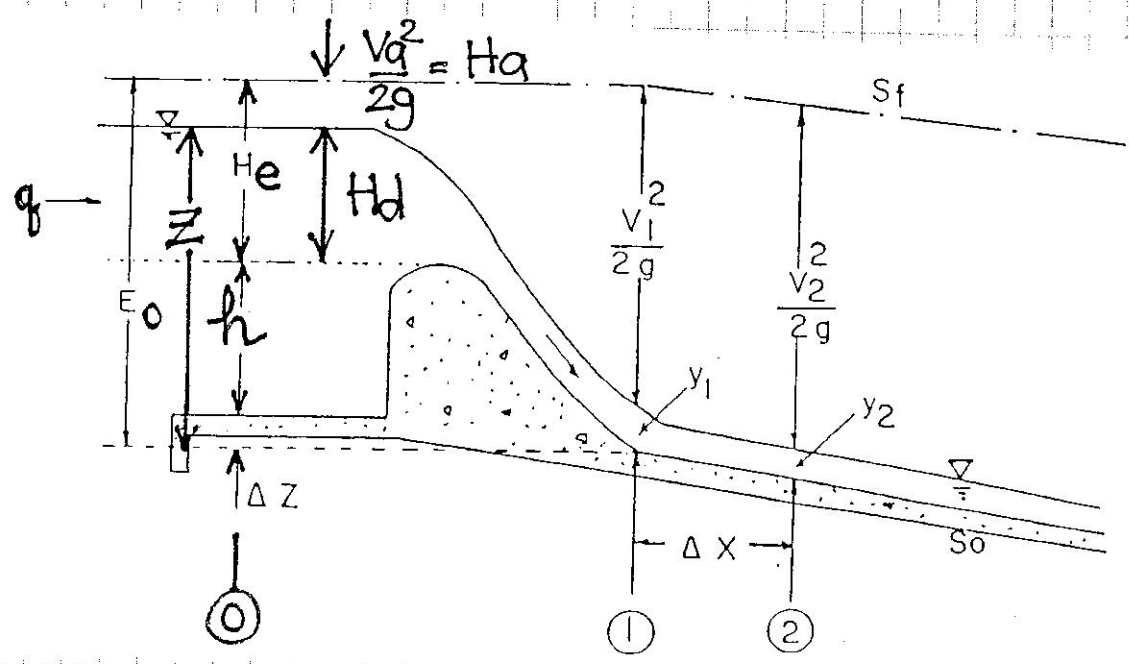
Transition แบบ Diverge $\rightarrow \alpha < 4^\circ$



(3.2) การคำนวณ Water Surface Profile

เพื่อหาความลึก และความเร็วในทาง
 เพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับการออกแบบกำแพง
 (side wall) Vertical Curve และอาคารชลประทาน
 ฝายต่าง ๆ

Step Method



No energy loss at Control Section

$$\begin{aligned}
 E_0 &= Z + H_a = \Delta Z + h + H_d + \frac{V_a^2}{2g} \\
 &= y_1 + \frac{V_1^2}{2g} = y_1 + \frac{Q^2}{2g y_1^2}
 \end{aligned}$$

y_1 = Supercritical Depth หารโดยใช้ Trial & Error



เมื่อทราบ Y_1 จะสามารถหา Y_2, V_2 ได้ โดยวิธี Step Method

$$\Delta E = \frac{E_2 - E_1}{S_0 - S_f}$$

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

$$S_f = \left(\frac{nV}{R^{2/3}} \right)^2 = \frac{S_{f1} + S_{f2}}{2}$$

n สำหรับสภาพภาคหน้าหรือหลัง = 0.012

วิธีการ

(1) ทราบ Y_1, V_1

$$\text{หรือ } E_1 = Y_1 + \frac{V_1^2}{2g}$$

$$S_{f1} = \left(\frac{nV_1}{R_1^{2/3}} \right)^2$$

(2) สมมติ Y_2

$$\text{หรือ } V_2 = \frac{Q}{Y_2} \rightarrow E_2 = Y_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

$$S_{f2} = \left(\frac{nV_2}{R_2^{2/3}} \right)^2$$



(3) ภาวะ S_0

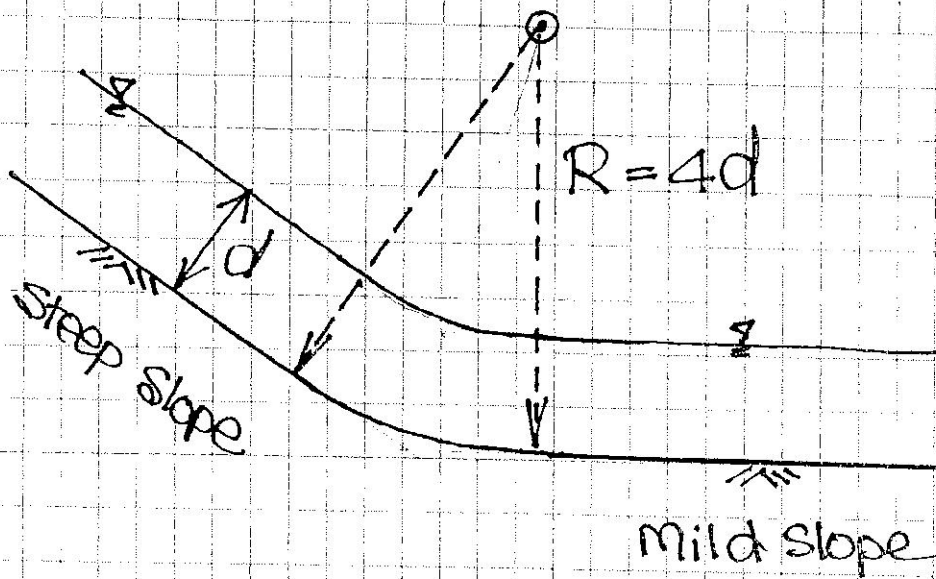
$$\text{หรือ } S_f = \frac{S_{f1} + S_{f2}}{2}$$

$$\Delta X = \frac{E_2 - E_1}{S_0 - S_f}$$

(3.3) โค้งราบเรียบ (Vertical Curve)

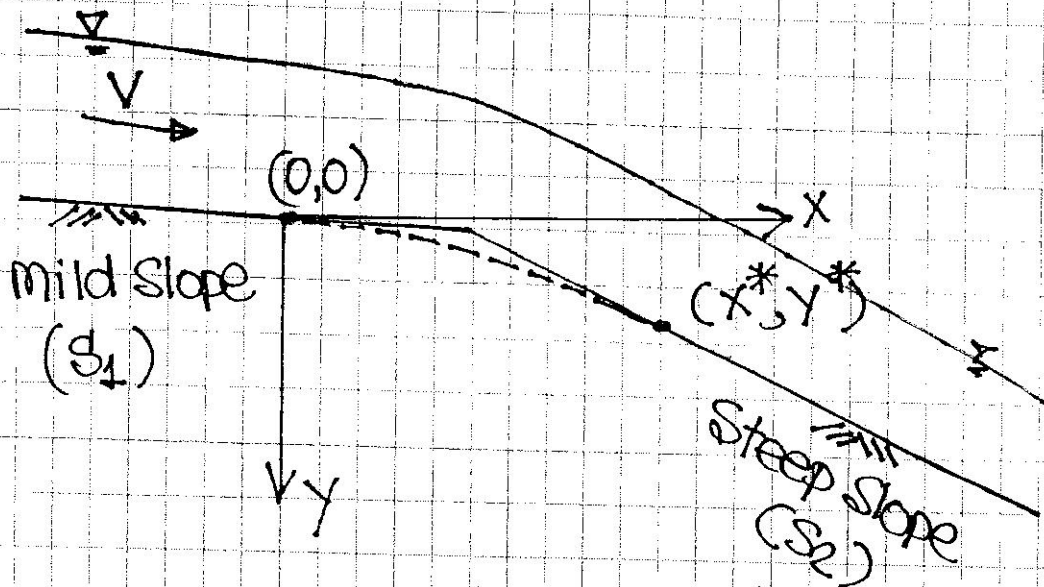
กรณี Steep slope \rightarrow Mild slope

หรือ Simple Curve





กรณี Mild Slope \rightarrow Steep Slope
 $\frac{Q^2}{g}$ Parabola Curve



สมมติอัตราเร่งในแนวดิ่ง $= \frac{2}{3}g$

$$X = V_x \cdot t$$

$$Y = V_y \cdot t + \frac{1}{2} \left(\frac{2}{3}g \right) t^2$$

$$V^2 = V_x^2 + V_y^2$$

$$\rightarrow t = \frac{X}{V_x}$$

$$Y = V_y \left(\frac{X}{V_x} \right) + \frac{g}{3} \left(\frac{X}{V_x} \right)^2$$

$$= X \left(\frac{V_y}{V_x} \right) + \frac{g}{3} \frac{X^2}{V_x^2} \left(\frac{V^2}{V_x^2} \right)$$



$$\begin{aligned}
 Y &= X \cdot S_1 + \frac{\rho}{3} \frac{X^2}{V^2} \left(1 + \frac{V^2}{V_{x^2}}\right) \\
 &= X \cdot S_1 + \frac{\rho}{3} \frac{X^2}{V^2} (1 + S_1^2) \quad \dots \dots \textcircled{1}
 \end{aligned}$$

จุดที่ขบสารถัดคืออยู่ที่ (X^*, Y^*) ที่สัมพันธ์กับค่า S_2

$$\frac{dy}{dx} = S_1 + \frac{\rho}{3} \left(\frac{1+S_1^2}{V^2}\right) 2X$$

$$S_2 = S_1 + \frac{\rho}{3} \left(\frac{1+S_1^2}{V^2}\right) 2X^*$$

$$X^* = \frac{3(S_2 - S_1)}{(1 + S_1^2)} \frac{V^2}{2\rho} \quad \dots \dots \textcircled{2}$$

(3.4) ความสูงกำแพงเขย่ง (Wall Height, h_w)

$$h_w \geq 1.5 Y + 0.5 V$$

Y = ความลึกน้ำในช่องทาง

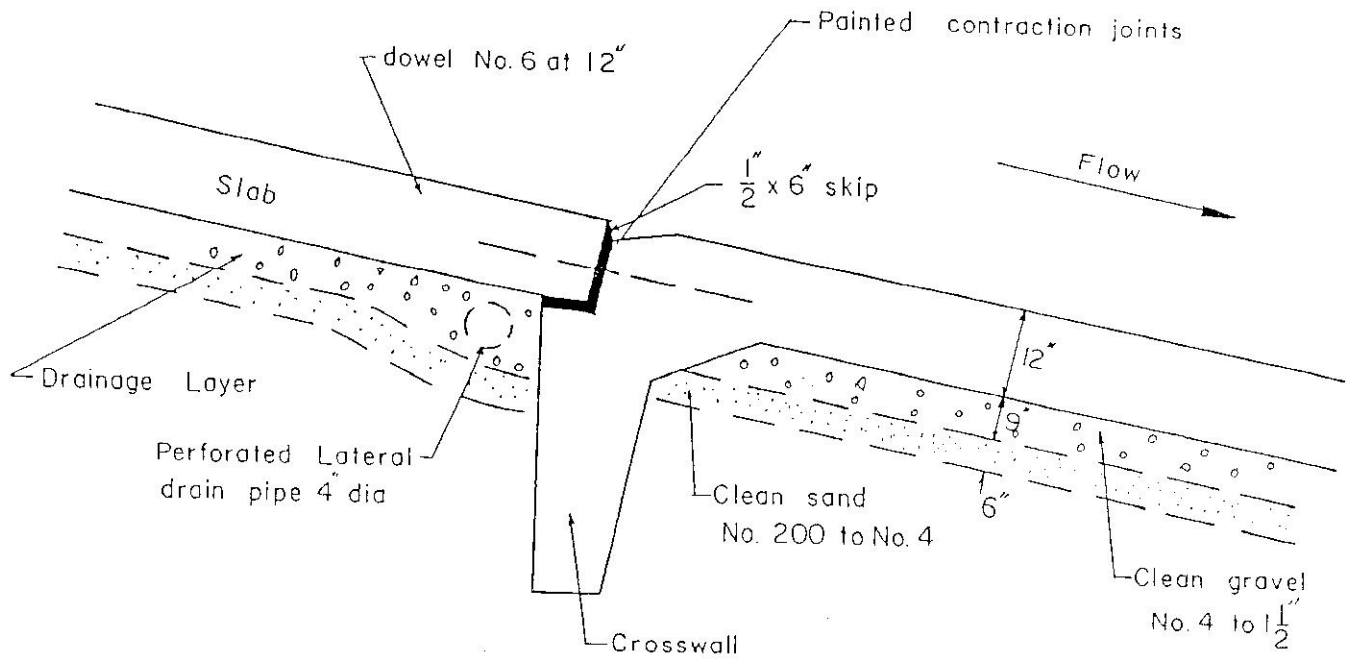
V = ความเร็วน้ำในช่องทาง

(3.5) Joints and Drains

รอยต่อแบบ Skip Joint ขนาดเล็ก $\frac{1}{2}$ " จะก่อให้เกิด

Neg. Pressure $\sim -0.05 \frac{V^2}{2g}$ ที่ $V < 30.5 \text{ m/s}$

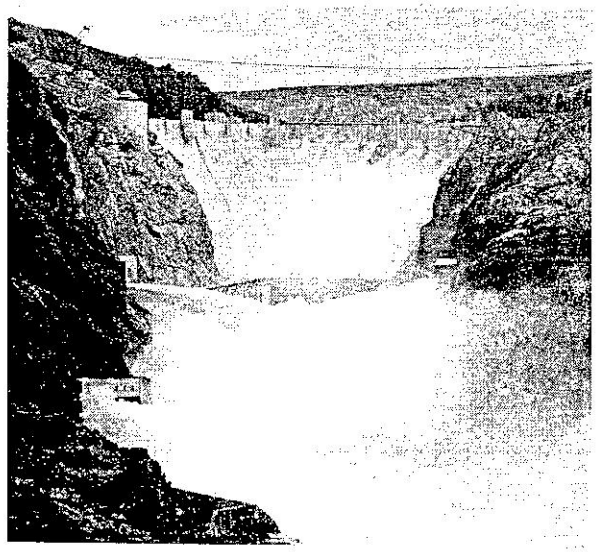
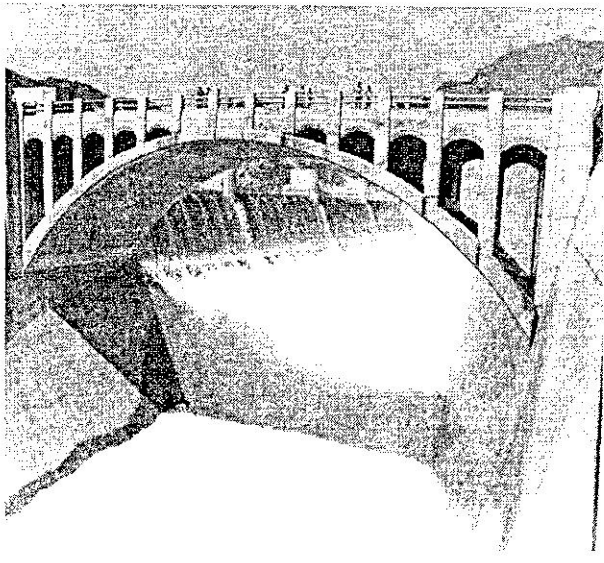
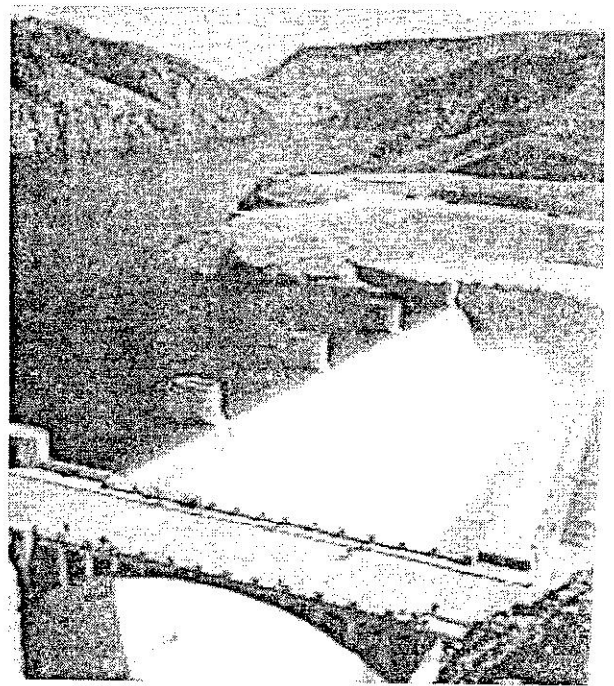
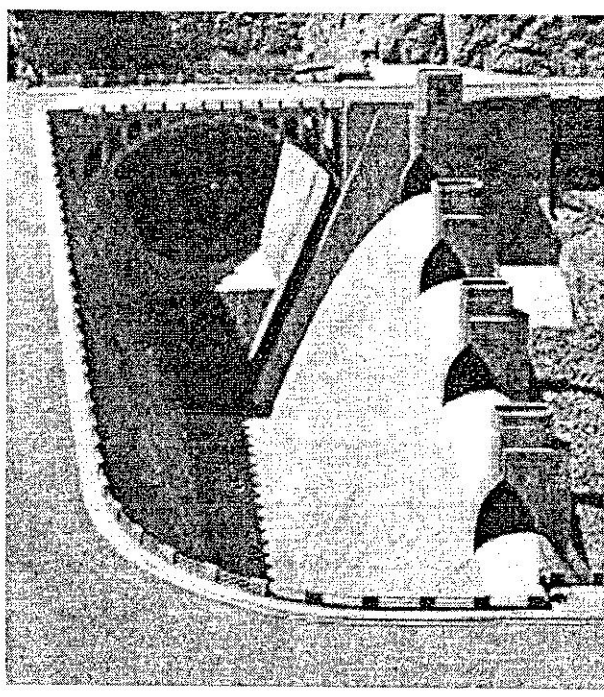
Cavitation นอกจากนั้นจะต้องมีการออกแบบระบบระบายน้ำใต้ฐานรางเท ดังรูปที่ 11.18 เพื่อป้องกันการพัดพาเม็ดดินใต้ฐานรากและอันตรายเนื่องจากแรงยกตัว

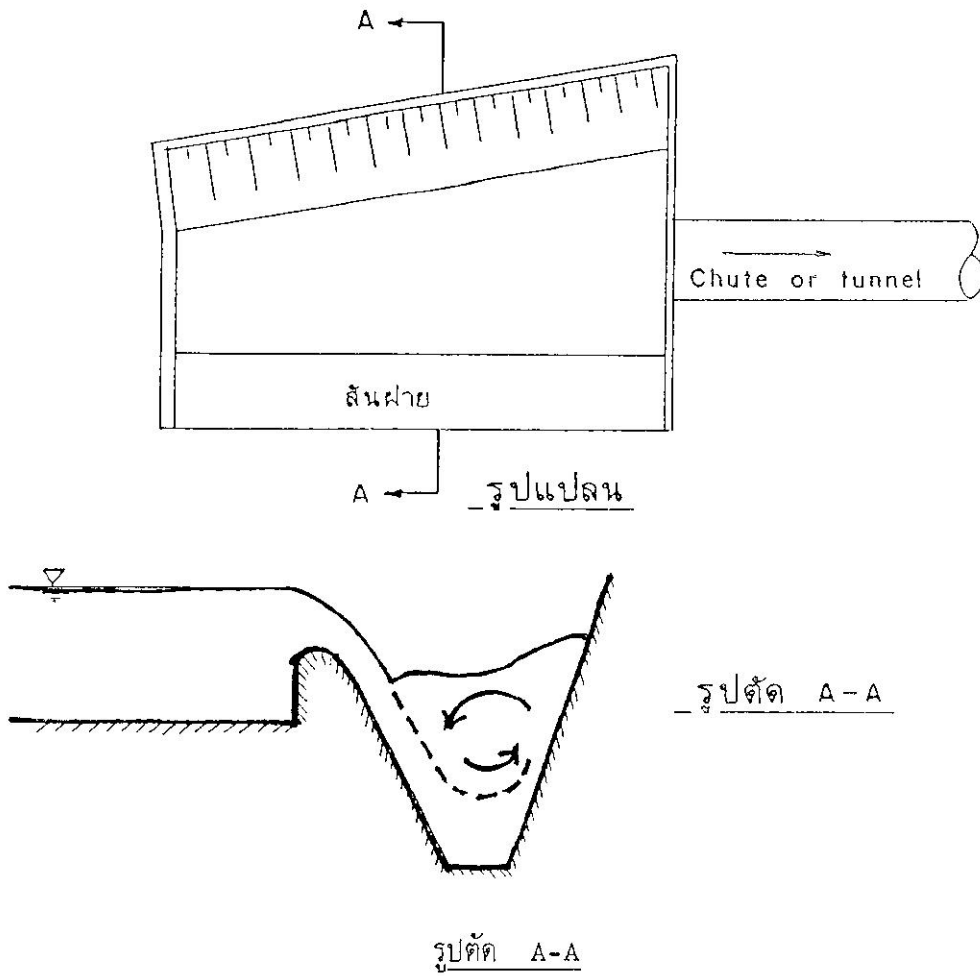


รูปที่ 11.18 Typical Joint and Drainage Detail สำหรับทางระบายน้ำสันแบบรางเท

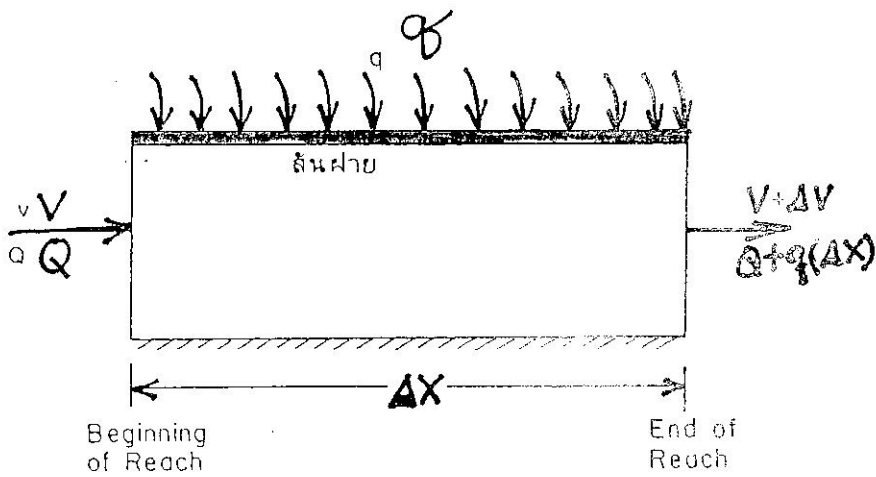
Side Channel Spillway

เหมาะสำหรับช่องเขาแคบ
และมีปริมาณน้ำที่ต้องระบายมาก
จึงจำเป็นต้องสร้างสันฝายยื่นเข้าไปใน
อ่างเก็บน้ำ





รูปที่ 12.1 ลักษณะของทางระบายน้ำสันแบบ Side Channel



รูปที่ 12.2 นิยามต่าง ๆ สำหรับการหาสมการการไหลของน้ำใน Side Channel

จากรูปที่ 12.2 เมื่อพิจารณาเฉพาะช่วง Δx (Short Reach)

โดยกำหนดให้

$$v = \text{Upstream Velocity}$$

$$v + \Delta v = \text{Downstream Velocity}$$

$$Q = \text{Upstream Discharge}$$

$$Q + q \cdot \Delta x = \text{Downstream Discharge}$$

และ $q = \text{Discharge per unit length of weir crest}$

จะสามารถเขียนโมเมนต์ฟังก์ชันได้ดังนี้ **Momentum Function = $\frac{F}{\gamma}$**

ที่ด้านเหนือน้ำ

$$M_u = \frac{Qv}{g}$$

ที่ด้านท้ายน้ำ

$$M_d = \frac{(Q + q \cdot \Delta x)(v + \Delta v)}{g}$$

$$\Delta M = M_d - M_u$$

$$= \frac{(Q + q \cdot \Delta x)(v + \Delta v)}{g} - \frac{Qv}{g}$$

$$= \frac{q \cdot \Delta x \cdot v + (Q + q \cdot \Delta x) \Delta v}{g}$$

$$= \frac{Q \cdot \Delta v}{g} + \frac{q \cdot \Delta x \cdot (v + \Delta v)}{g}$$

หารตลอดด้วย Δx

$$\frac{\Delta M}{\Delta x} = \frac{Q \cdot \Delta v}{g \cdot \Delta x} + \frac{q(v + \Delta v)}{g}$$

จาก Chain's Rule จะได้

$$\frac{\Delta M}{\Delta t} = \frac{\Delta M}{\Delta x} \cdot \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

$$\frac{\Delta x}{\Delta t} = \text{ความเร็วเฉลี่ย}$$

$$= \bar{v} = v + \frac{1}{2} \Delta v$$

$$\frac{\Delta M}{\Delta t} = \left[\frac{Q \Delta v}{g \Delta x} + \frac{q}{g} (v + \Delta v) \right] \left(v + \frac{1}{2} \Delta v \right)$$

$$= \frac{Q\Delta v}{g\Delta x} (v + \frac{1}{2} \Delta v) + \frac{q}{g} (v + \Delta v)(v + \frac{1}{2} \Delta v)$$

แต่ $\frac{\Delta M}{\Delta t}$ คือ Accelerating Force ซึ่งมีค่าเท่ากับลาดคิวน้ำในร่องน้ำคูณด้วยปริมาณการไหลของน้ำเฉลี่ย $(Q + \frac{1}{2} \Delta Q)$ หรือ

$$\frac{\Delta M}{\Delta t} = \frac{\Delta h}{\Delta x} (Q + \frac{1}{2} \Delta Q)$$

$$\therefore \frac{\Delta h}{\Delta x} (Q + \frac{1}{2} \Delta Q) = \frac{Q\Delta v}{g\Delta x} (v + \frac{1}{2} \Delta v) + \frac{q}{g} (v + \Delta v)(v + \frac{1}{2} \Delta v)$$

$$\Delta h = \frac{\frac{Q\Delta v}{g\Delta x} (v + \frac{1}{2} \Delta v) + \frac{q}{g} (v + \Delta v)(v + \frac{1}{2} \Delta v)}{\frac{1}{\Delta x} (Q + \frac{1}{2} \Delta Q)}$$

$$= \frac{\frac{Q\Delta v}{g\Delta x} (v + \frac{1}{2} \Delta v) + \frac{Q}{g} \frac{q\Delta x}{Q\Delta x} (v + \Delta v)(v + \frac{1}{2} \Delta v)}{\frac{1}{\Delta x} (Q + \frac{1}{2} \Delta Q)}$$

$$= \frac{\frac{Q}{g} (v + \frac{1}{2} \Delta v) [\Delta v + q (\frac{\Delta x}{Q}) (v + \Delta v)]}{(Q + \frac{1}{2} \Delta Q)}$$

$$= \frac{Q}{g} (v + \frac{1}{2} \Delta v) [\Delta v + q (\frac{\Delta x}{Q}) (v + \Delta v)] \dots\dots\dots (12.1)$$

ถ้าสมมติให้

Q_1 และ Q_2 = ปริมาณการไหลของน้ำที่ด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำตามลำดับ

v_1 และ v_2 = ความเร็วของน้ำที่ด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำตามลำดับ

จะได้ว่า

$$v + \frac{1}{2} \Delta v = \frac{v_1 + v_2}{2}$$

$$Q + \frac{1}{2} \Delta Q = \frac{Q_1 + Q_2}{2}$$

$$\Delta v = v_2 - v_1$$

$$\Delta Q = Q_2 - Q_1$$

$$Q = Q_1$$

$$q \cdot \Delta x = Q_2 - Q_1$$

แทนค่าข้างบนลงไปในสมการที่ (12.1) จะได้

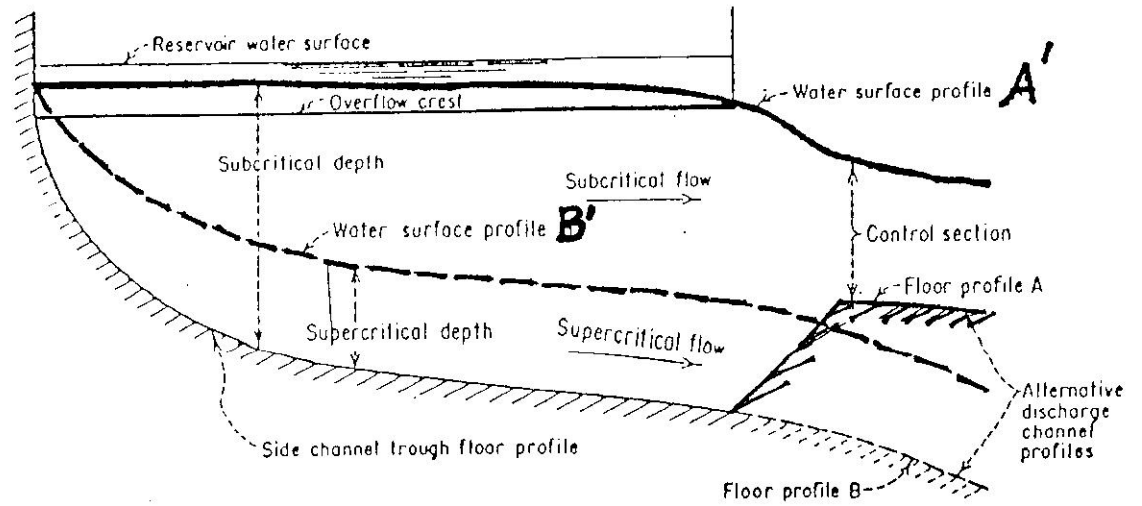
$$\begin{aligned} \Delta h &= \frac{Q_1}{g} \left[\frac{\left(\frac{v_1 + v_2}{2} \right)}{\left(\frac{Q_1 + Q_2}{2} \right)} \right] \left[(v_2 - v_1) + \frac{(Q_2 - Q_1)}{Q_1} v_2 \right] \\ \Delta h &= \frac{Q_1}{g} \frac{(v_1 + v_2)}{(Q_1 + Q_2)} \left[(v_2 - v_1) + \frac{v_2(Q_2 - Q_1)}{Q_1} \right] \dots\dots\dots(12.2) \end{aligned}$$

หรือในทำนองเดียวกันจะพิสูจน์ได้ว่า

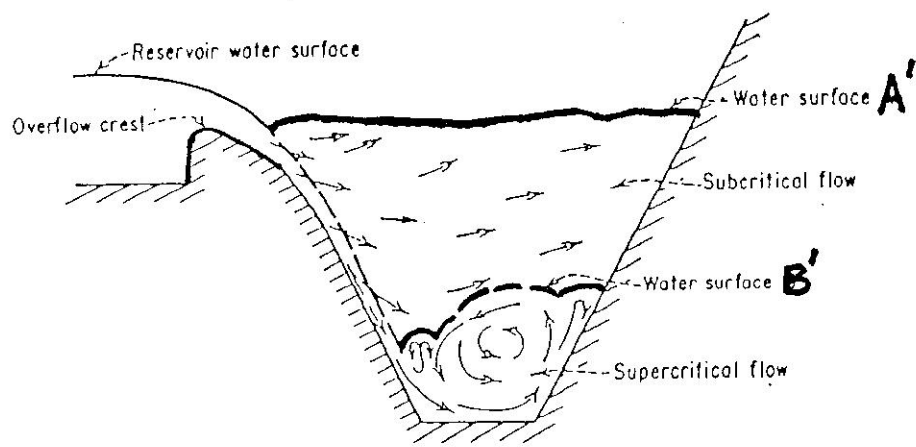
$$\begin{aligned} \Delta h &= \frac{Q_2}{g} \frac{(v_1 + v_2)}{(Q_1 + Q_2)} \left[\frac{Q_1}{Q_2} \left\{ (v_2 - v_1) + v_2 \frac{(Q_2 - Q_1)}{Q_1} \right\} \right] \\ &= \frac{Q_2}{g} \frac{(v_1 + v_2)}{(Q_1 + Q_2)} \left[\frac{1}{Q_2} \left\{ Q_1(v_2 - v_1) + v_2(Q_2 - Q_1) \right\} \right] \\ &= \frac{Q_2}{g} \frac{(v_1 + v_2)}{(Q_1 + Q_2)} \left[\frac{1}{Q_2} \left\{ Q_1 v_2 - Q_1 v_1 + v_2 Q_2 - v_2 Q_1 \right\} \right] \\ &= \frac{Q_2}{g} \frac{(v_1 + v_2)}{(Q_1 + Q_2)} \left[\frac{1}{Q_2} \left\{ (v_2 Q_2 - v_1 Q_2) + (v_1 Q_2 - Q_1 v_1) \right\} \right] \\ &= \frac{Q_2}{g} \frac{(v_1 + v_2)}{(Q_1 + Q_2)} \left[(v_2 - v_1) + \frac{v_1(Q_2 - Q_1)}{Q_2} \right] \dots\dots\dots(12.3) \end{aligned}$$

เมื่อรู้ระดับน้ำที่จุดใดจุดหนึ่งในร่องน้ำจะสามารถคำนวณหาระดับผิวน้ำที่จุดอื่น ๆ ในร่องน้ำได้โดยวิธีการ Trial and Error โดยใช้สมการที่ (12.2) หรือ (12.3) เช่น ถ้ารู้สภาวะการไหลของน้ำทางด้านท้ายน้ำจะหาสภาวะการไหลของน้ำทางด้านเหนือน้ำโดยใช้สมการที่ (12.2) หรือถ้ารู้สภาวะการไหลของน้ำทางด้านเหนือน้ำจะสามารถหาสภาวะการไหลทางด้านท้ายน้ำได้โดยใช้สมการที่ (12.3)

สำหรับช่วงร่องน้ำ Δx ที่จุดใด ๆ จะสามารถคำนวณหา Q_1 และ Q_2 ได้ และถ้ารู้ความลึกและความเร็วของน้ำที่ปลายใดปลายหนึ่งของร่องน้ำจะต้องสมมติความลึกที่อีกปลายหนึ่งเพื่อหาความเร็วของน้ำที่จุดนั้นหลังจากนั้นจึงนำมาแทนค่า ในสมการ (12.2) หรือ

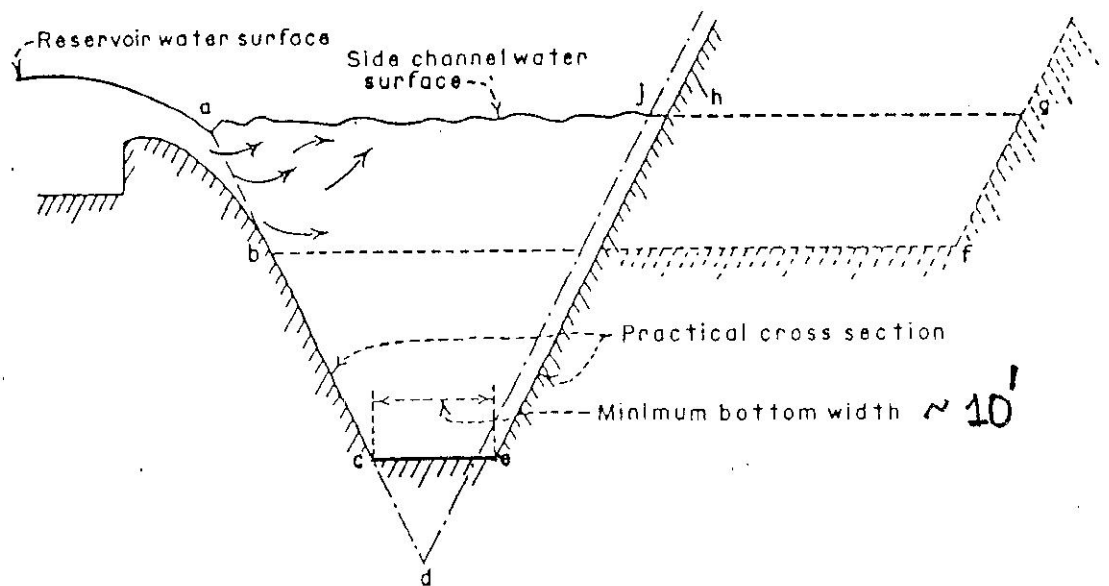


(A) SIDE CHANNEL PROFILE



(B) SIDE CHANNEL CROSS SECTION

รูปที่ 12.3 ลักษณะการไหลของน้ำในทางระบายน้ำล้นแบบ side channel



รูปที่ 12.4 รูปตัดของร่องน้ำสำหรับทางระบายน้ำล้นแบบ Side Channel



ตัวอย่างการออกแบบ Side Channel Spillway

✓ ให้ออกแบบ Side Channel Spillway ยาว 30 m.
เพื่อระบาย $Q_{max} = 60 \text{ cms}$ โดยที่ระดับสันเขื่อนอยู่ที่
+ 300 m.

วิธีทำ

$$q = \frac{60}{30} = 2 \text{ cms/m}$$

สมมติ 1

ถ้าเป็นเขื่อนสูง $\frac{h}{H_d} \geq 1.33$

$$\frac{H_e}{H_d} = 1 \rightarrow \frac{C}{C_d} = 1$$

$$C = 1 \times 2.22 = 2.22$$

→ ต้องการให้ Side Channel ไหลแบบ
Subcritical Flow โดยที่ Control Section ทำหน้าที่

สมมติ 2 ให้ Degree of Submergence $\frac{\Delta H}{H_e} = 0.25$

จากรูปที่ 3.14

$$\frac{C_s}{C} = 0.9$$

$$C_s = 0.9 \times 2.22 = 2.00$$

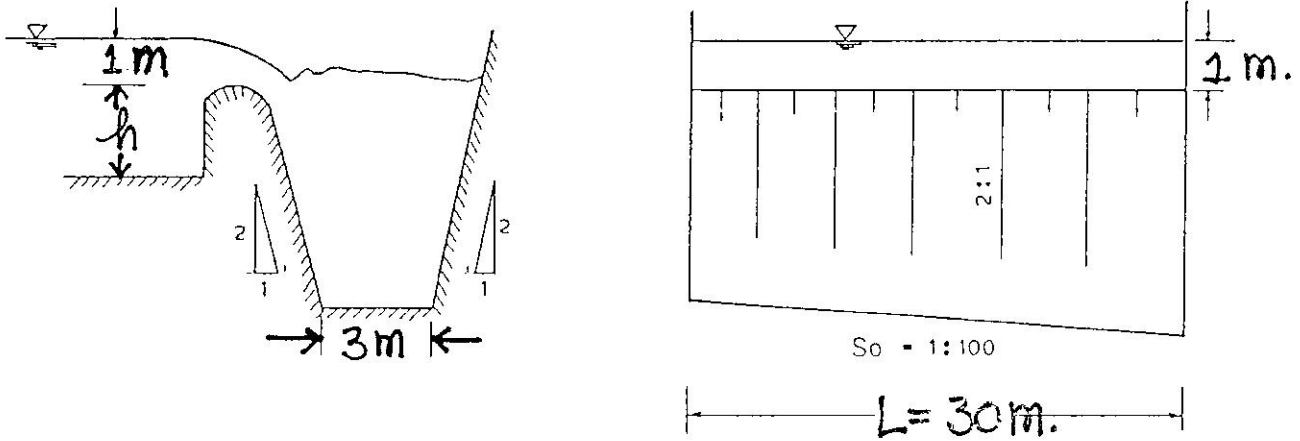
$$q = C_s H_e^{1.5}$$

$$H_e = \left(\frac{2}{2.0} \right)^{2/3} = 1.0 \text{ m.}$$

สมมติ 3 : ให้รูปตัดของร่องน้ำเป็นสี่เหลี่ยมคางหมูดังรูปที่ 12.5
โดยมีความลาดเทด้านข้าง (ตั้ง : ราบ) เท่ากับ 2 : 1
ความกว้างของก้นร่องน้ำเท่ากับ **3 m.**

ความลาดเทก้นร่องน้ำ (Bottom Profile) 1 : 100

(การสมมติความลาดเทก้นร่องน้ำ ควรจะให้ค่อนข้างราบ เพื่อให้ความลึกของน้ำในร่องน้ำมาก
และความเร็วช้า การไหลของน้ำจะได้ไม่เป็นแบบ Supercritical เมื่อปริมาณน้ำน้อยกว่า
ที่ออกแบบไว้มาก ๆ)

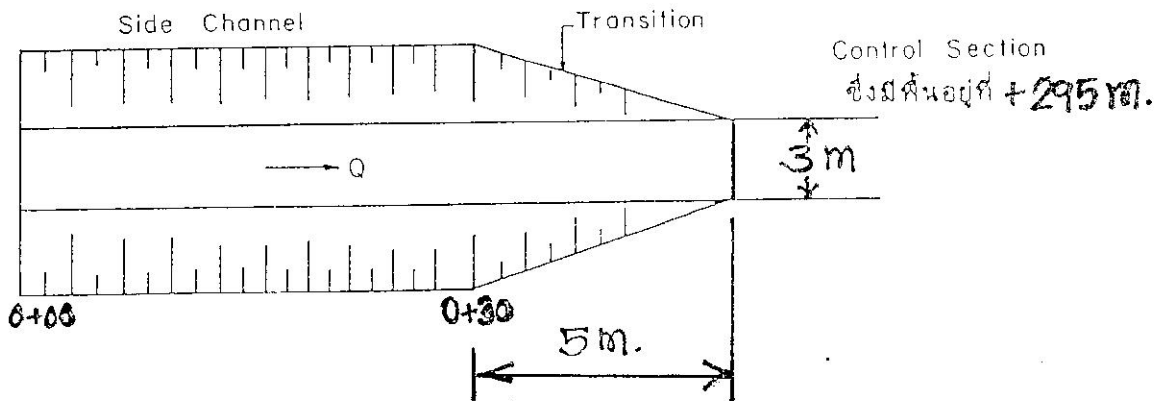


รูปที่ 12.5 ทางระบายน้ำสันแบบ Side Channel สำหรับตัวอย่างการออกแบบ

สมมติ 4 : ให้ Control Section อยู่ที่ระดับเดียวกับระดับพื้นปลายสุดของร่องน้ำ
โดยมีระดับอยู่ที่ **+295** และมีรูปตัดเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีความกว้างเท่ากับ
3 m. ดังรูปที่ 12.6

ที่ Control Section สถานะการไหลของน้ำจะเป็นแบบวิกฤต

∴ ให้ y_c = ความลึกวิกฤต



รูปที่ 12.6 ลักษณะของ Control Section ตามข้อสมมติที่ 3



$$q' = \frac{Q}{b} = \frac{60}{3} = 20 \text{ cms/m}$$

$$\boxed{\omega} \rightarrow y_c = \sqrt[3]{\frac{q'^2}{g}} = \sqrt[3]{\frac{20^2}{9.81}} = 3.44 \text{ m.}$$

$$V_c = \frac{20}{3.44} = 5.81 \text{ m/s}$$

$$\begin{aligned} E_c &= y_c + \frac{V_c^2}{2g} \\ &= 3.44 + \frac{5.81^2}{2 \times 9.81} = 3.44 + 1.72 \\ &= 5.16 \text{ m.} \end{aligned}$$

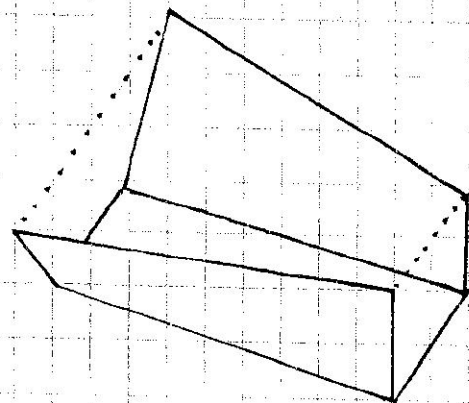
สมการที่ 5 Transition Head Loss = $0.2 \left[\frac{V_c^2}{2g} - \frac{V_{0+30}^2}{2g} \right]$

$$y_{0+30} + \frac{V_{0+30}^2}{2g} = y_c + \frac{V_c^2}{2g} + 0.2 \left[\frac{V_c^2}{2g} - \frac{V_{0+30}^2}{2g} \right]$$

Trial & Error หา y_{0+30}

สมการที่ $y_{0+30} = 5.25 \text{ m.}$

$$\begin{aligned} A_{0+30} &= (3 + 0.5 \times 5.25) \times 5.25 \\ &= 29.53 \text{ m}^2 \end{aligned}$$



$$V_{0+30} = \frac{60}{29.53} = 2.03 \text{ m/s}$$

$$\frac{V_{0+30}^2}{2g} = \frac{(2.03)^2}{2 \times 9.81} = 0.21 \text{ m.}$$



$$5.25 + 0.21 = 5.16 + 0.2 (1.72 - 0.21)$$

$$5.46 = 5.16 + 0.30$$

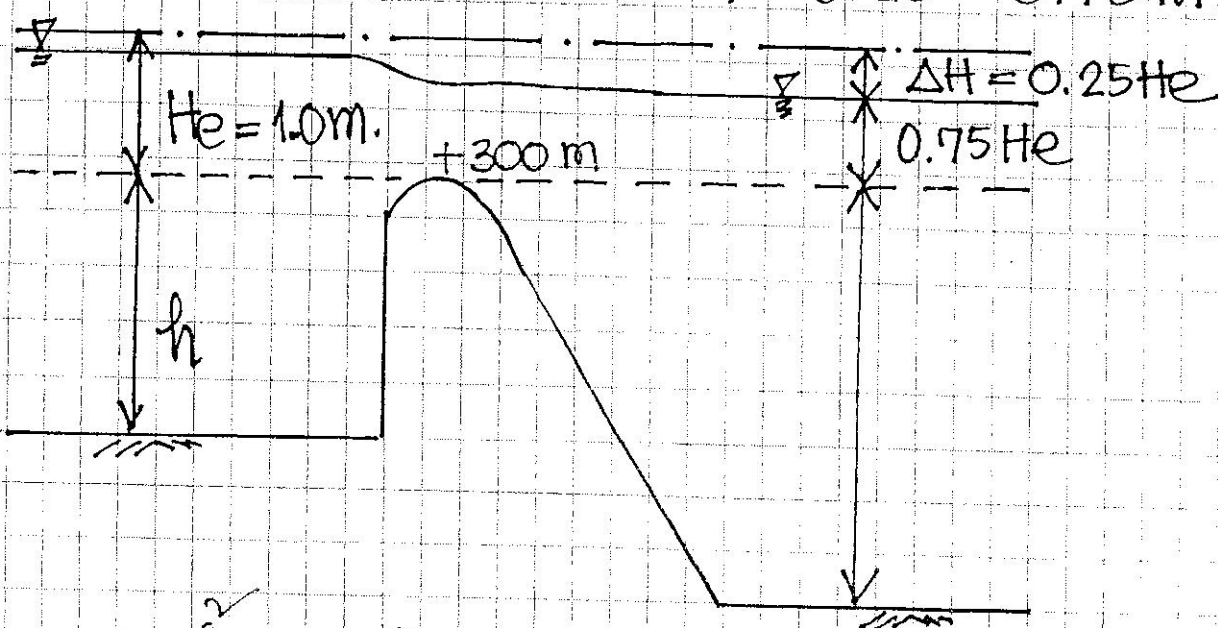
$$\rightarrow y_{0+30} = 5.25 \text{ m.}$$

จากสมการที่ 2 $\frac{\Delta H}{H_e} = 0.25$

$$\Delta H = 0.25 \times 1 = 0.25 \text{ m.}$$

ระดับน้ำภายในช่องลอดน้ำ $= H_e - \Delta H$

$$= 1 - 0.25 = 0.75 \text{ m.}$$



ระดับน้ำล้นใน Side Channel

$$= \text{ระดับต้นน้ำ} + 0.75 H_e$$

$$= +300 + 0.75 = +300.75 \text{ m.}$$

Calculation of Water Surface Profile in Side Channel

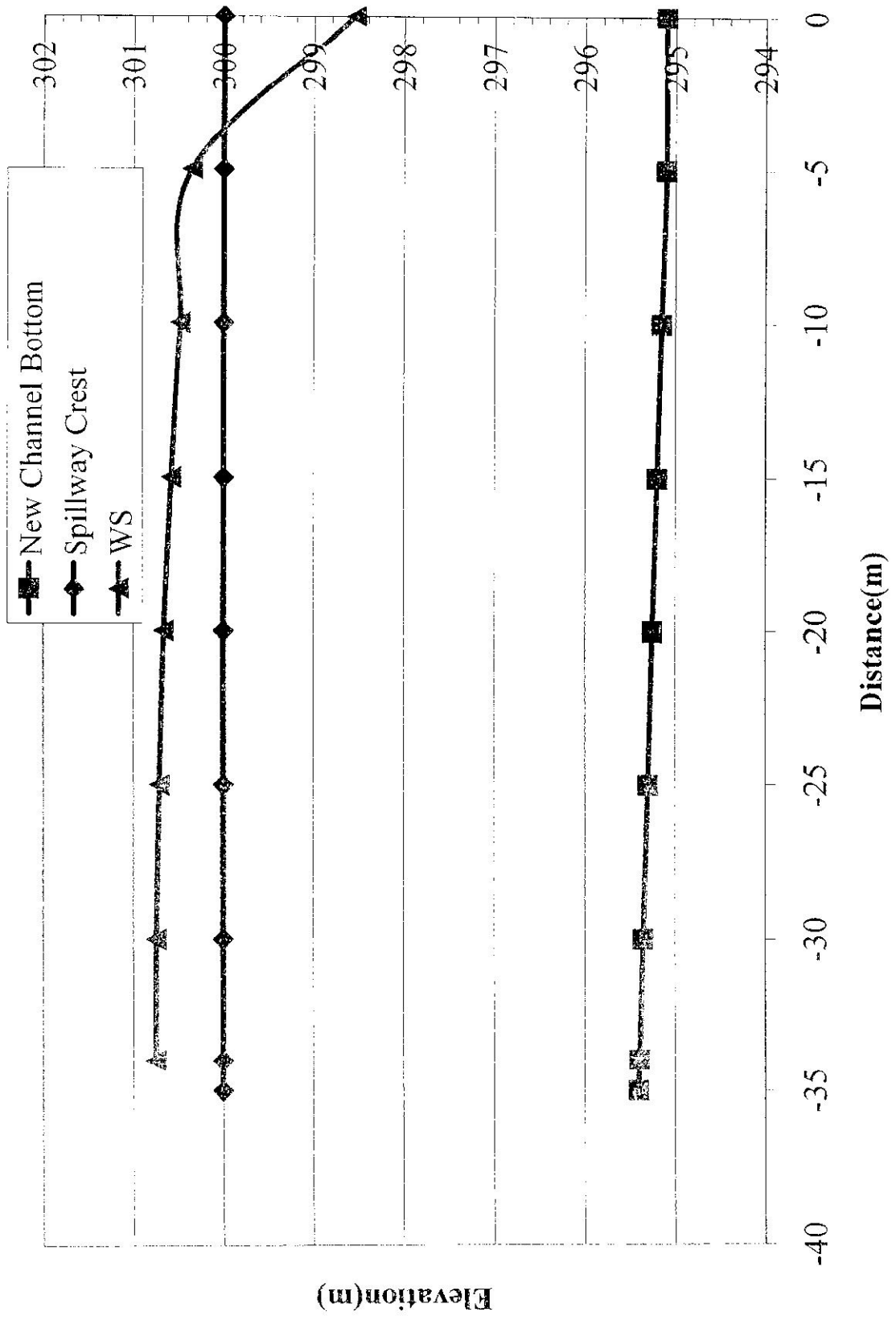
$$Q(\text{cms}) = 60 \quad b(\text{m}) = 3 \quad z(V:H=1:Z) = 0.5 \quad S_o = 1:100 = 0.01 \quad q(\text{cms/m}) = 2$$

Station	Δx	Bottom Elev.	Trial Δy	Water Surface Elev.	y	A	Q	v	$Q1+Q2$	$Q1/g*(Q1+Q2)$	$v1+v2$	$v2-v1$	$Q2-Q1$	$(Q2-Q1)/Q1$	$v2*(Q2-Q1)/Q1$	$(13)+(16)$	$\Delta y=(11)*(12)*(17)$	Remark
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	
0+30	0	295.06		300.25	5.25	29.53	60.0	2.0317										
0+25	5	295.05	0.15	300.40	5.35	30.36	50.0	1.6468	55.0	0.04633	3.67858	0.38491	10.0	0.2	0.40635	0.79126	0.13	Too low
			0.13	300.38	5.33	30.19	50.0	1.6559	55.0	0.04633	3.68768	0.37581	10.0	0.2	0.40635	0.78216	0.13	OK
0+20	5	295.10	0.13	300.51	5.41	30.86	40.0	1.2960	45.0	0.04531	2.95194	0.35993	10.0	0.3	0.41398	0.77391	0.10	Too low
			0.10	300.48	5.38	30.61	40.0	1.3067	45.0	0.04531	2.96260	0.34926	10.0	0.3	0.41398	0.76325	0.10	OK
0+15	5	295.15	0.10	300.58	5.43	31.03	30.0	0.9667	35.0	0.04369	2.27340	0.33994	10.0	0.3	0.43556	0.77549	0.08	Too low
			0.08	300.56	5.41	30.86	30.0	0.9720	35.0	0.04369	2.27867	0.33466	10.0	0.3	0.43556	0.77022	0.08	OK
0+10	5	295.20	0.08	300.64	5.44	31.12	20.0	0.6427	25.0	0.04077	1.61474	0.32927	10.0	0.5	0.48600	0.81527	0.05	Too low
			0.05	300.61	5.41	30.86	20.0	0.6480	25.0	0.04077	1.62001	0.32400	10.0	0.5	0.48600	0.81000	0.05	OK
0+05	5	295.25	0.05	300.66	5.41	30.86	10.0	0.3240	15.0	0.03398	0.97200	0.32400	10.0	1.0	0.64800	0.97200	0.03	Too low
			0.03	300.64	5.39	30.70	10.0	0.3258	15.0	0.03398	0.97378	0.32223	10.0	1.0	0.64800	0.97023	0.03	OK
0+01	4	295.29	0.03	300.67	5.38	30.61	2.0	0.0653	6.0	0.01699	0.39111	0.26044	8.0	4.0	1.30310	1.56354	0.01	Too low
			0.01	300.65	5.36	30.44	2.0	0.0657	6.0	0.01699	0.39147	0.26008	8.0	4.0	1.30310	1.56318	0.01	OK

Adjust Channel Bottom

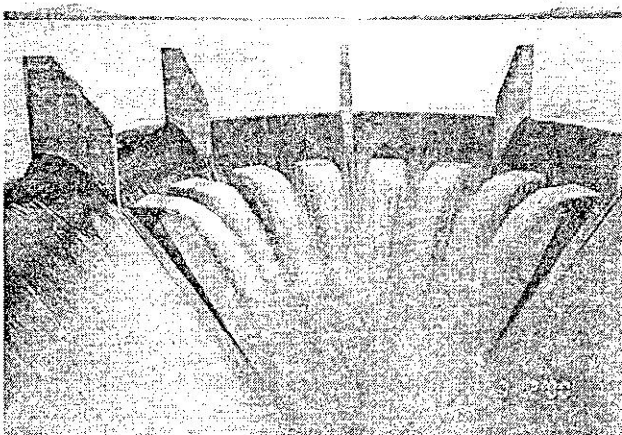
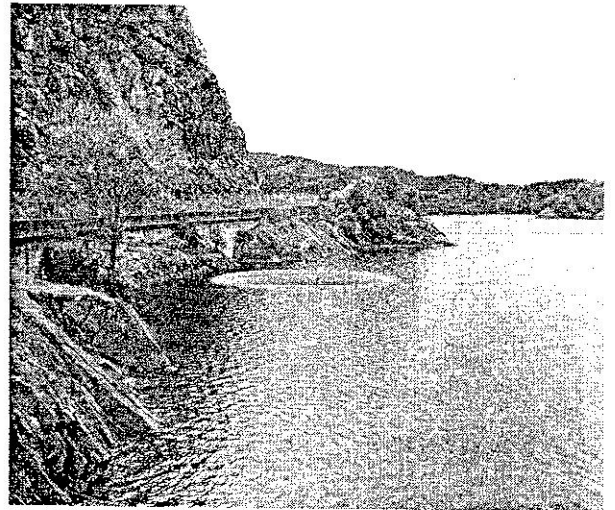
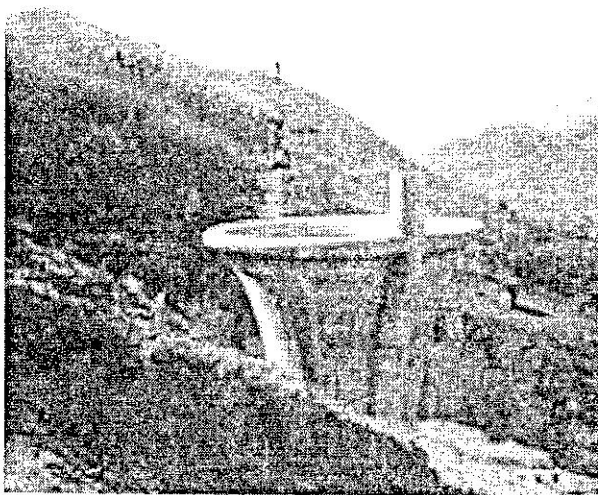
Station	Calculated WS.	Design WS	Assumed Channel Bottom	Increase Channel Bottom by	New Channel Bottom	New WS
0+00					295.40	
0+01	300.65	300.75	295.29	0.10	295.39	300.75
0+05	300.64				295.35	300.74
0+10	300.61				295.30	300.71
0+15	300.56				295.25	300.66
0+20	300.48				295.20	300.58
0+25	300.38				295.15	300.48
0+30	300.25				295.10	300.35

Station	New Channel Bottom	Spillway Crest	WS	x
0+00	295.40	300		-35
0+01	295.39	300	300.75	-34
0+05	295.35	300	300.74	-30
0+10	295.30	300	300.71	-25
0+15	295.25	300	300.66	-20
0+20	295.20	300	300.58	-15
0+25	295.15	300	300.48	-10
0+30	295.10	300	300.35	-5
0+35	295.10	300	298.54	0



Morning Glory Spillway

เหมาะสำหรับช่องเขาแคบ
และมีปริมาณน้ำที่ต้องระบายมาก
จึงจำเป็นต้องสร้างสันฝายโค้งเป็น
วงกลม ยื่นเข้าไปในอ่างเก็บน้ำ เช่น
เดียวกับ **Side Channel Spillway**



ส่วนประกอบ

- (1) **Circular Concrete Weir Crest**
- (2) **Vertical or Inclined Shaft**
- (3) **Tunnel**
- (4) **Energy Dissipator**

การไหลของน้ำผ่าน

Morning Glory Spillway แบ่งออกได้ 3 แบบ

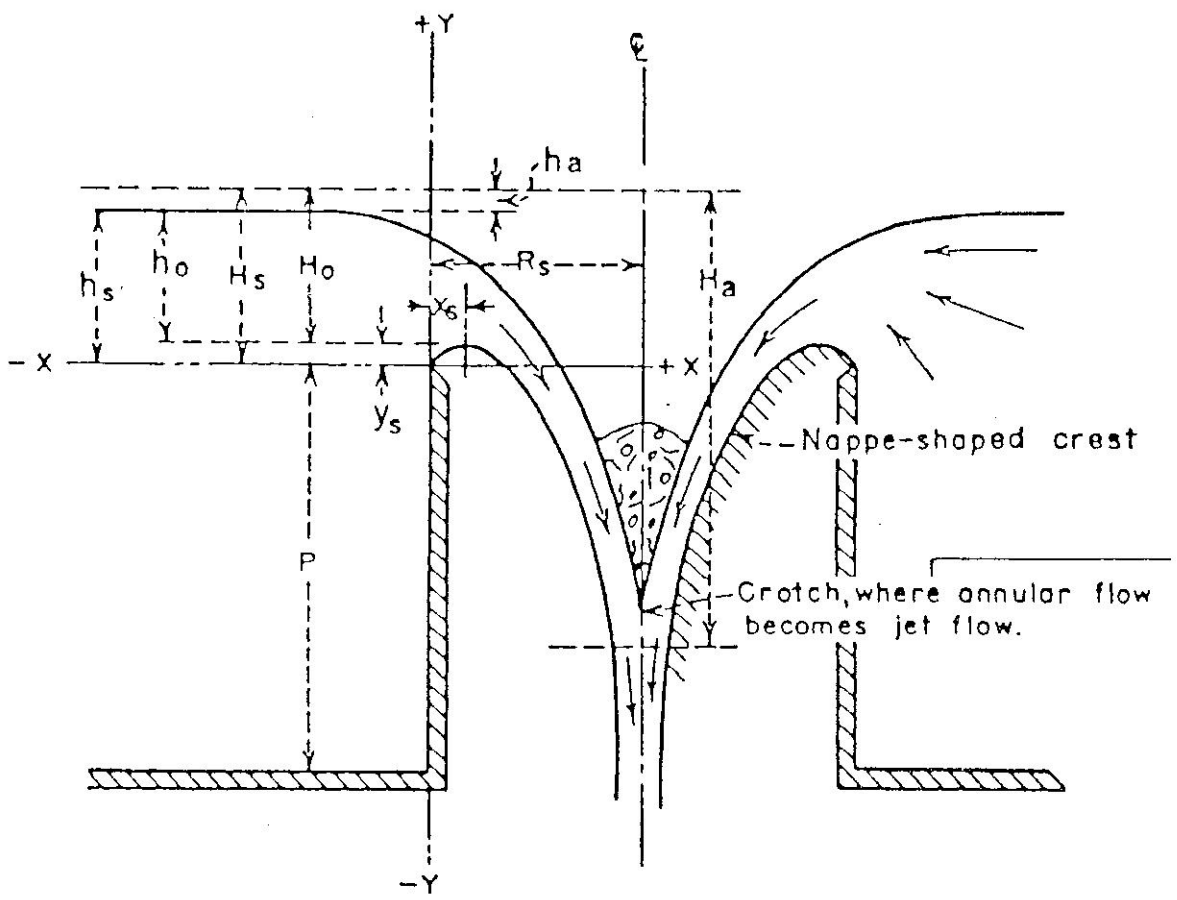
แบบที่ 1 **Crest Control**

แบบที่ 2 **Orifice or Tube Control**

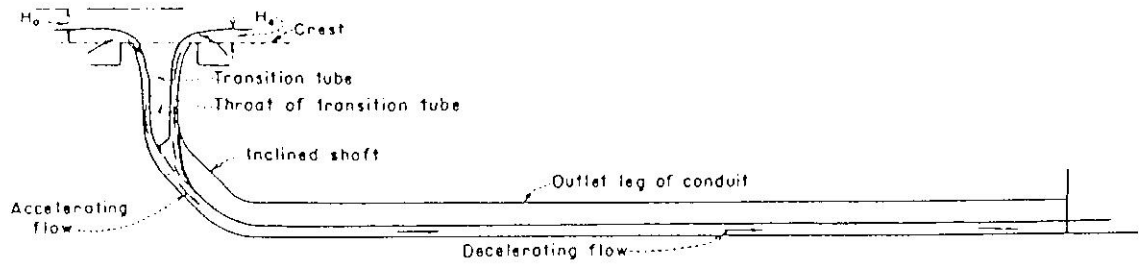
แบบที่ 3 **Conduit Control**

เกณฑ์การออกแบบ

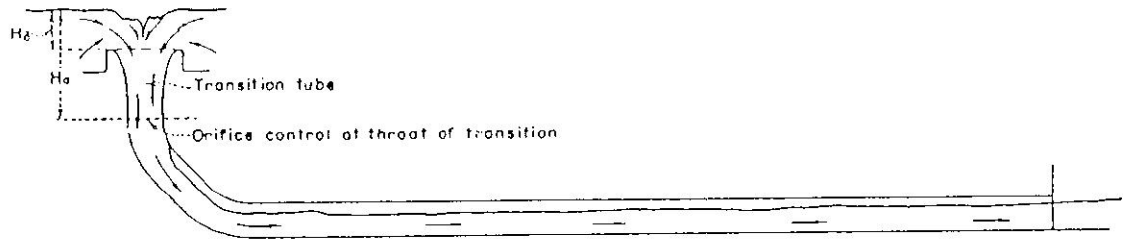
ออกแบบให้น้ำไหลแบบ **Free Flow**



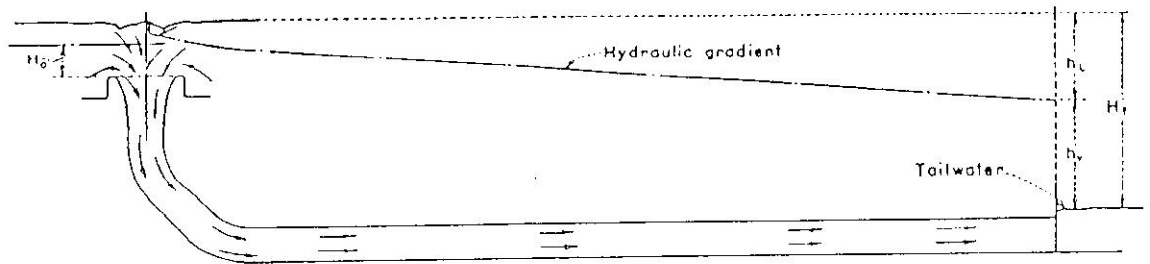
13.2 Elements of Nappe-Shape Profile for Circular Weir



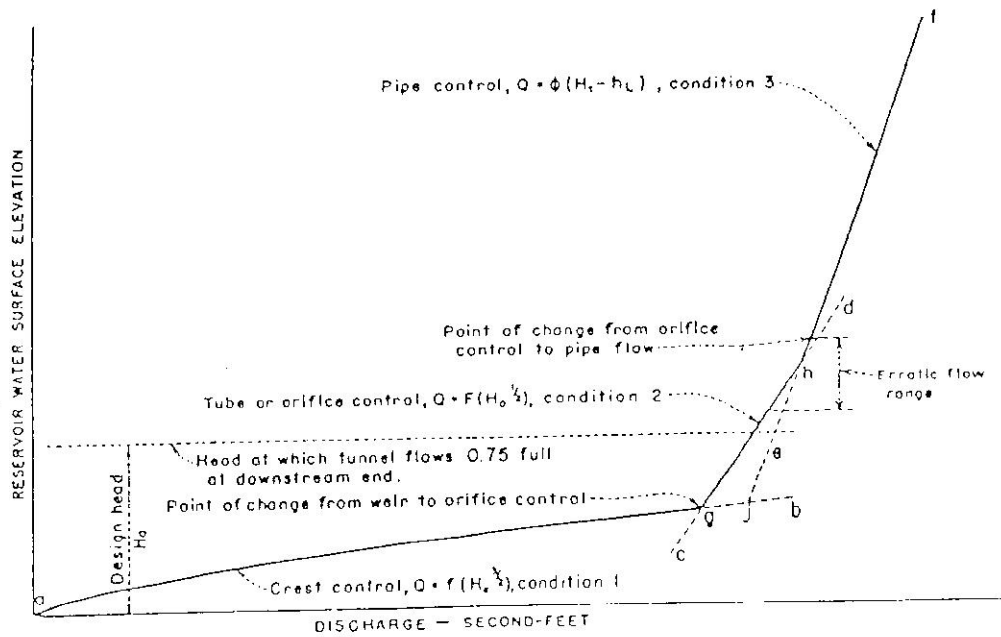
CONDITION 1. CREST CONTROL



CONDITION 2. TUBE OR ORIFICE CONTROL



CONDITION 3. FULL PIPE FLOW



รูปที่ 13.1 ลักษณะการไหลของน้ำผ่านทางระบายน้ำล้นแบบ Morning Glory