L 14 Open Channel flow

Sucharit Koontanakulvong

Hydraulics 1

2017

บทที่ 14

การไหลในทางน้ำเปิด (Open Channel Flow)

บทนี้จะกล่าวถึงการคำนวณความสูญเสียพลังงานในการไหลในทางน้ำเปิด การคำนวณพารามิเตอร์ทางชลศาสตร์ในการไหลแบบทางน้ำเปิด

เนื้อหา

1. คำนำ
2. สมการพลังงาน
3. สมการพื้นฐานความเร็วในทางน้ำเปิด
4. การหาอัตราการไหลในทางน้ำเปิด
5. พลังงานจำเพาะ
6. ปรากฏการณ์น้ำกระโดด (Hydraulic Jump)
7. การคำนวณหาระดับน้ำในทางน้ำเปิดยาว

1. คำนำ

- ⊗ สมการพื้นฐาน
- ⊗ ทางน้ำเปิดรูปแบบต่าง ๆ
- ⊗ พลังงานจำเพาะ
- ⊗ Hydraulic Jump
- ⊗ Gradually Change flow

Openchannel flow

⊗ Steady flow

⊗ Unsteady flow

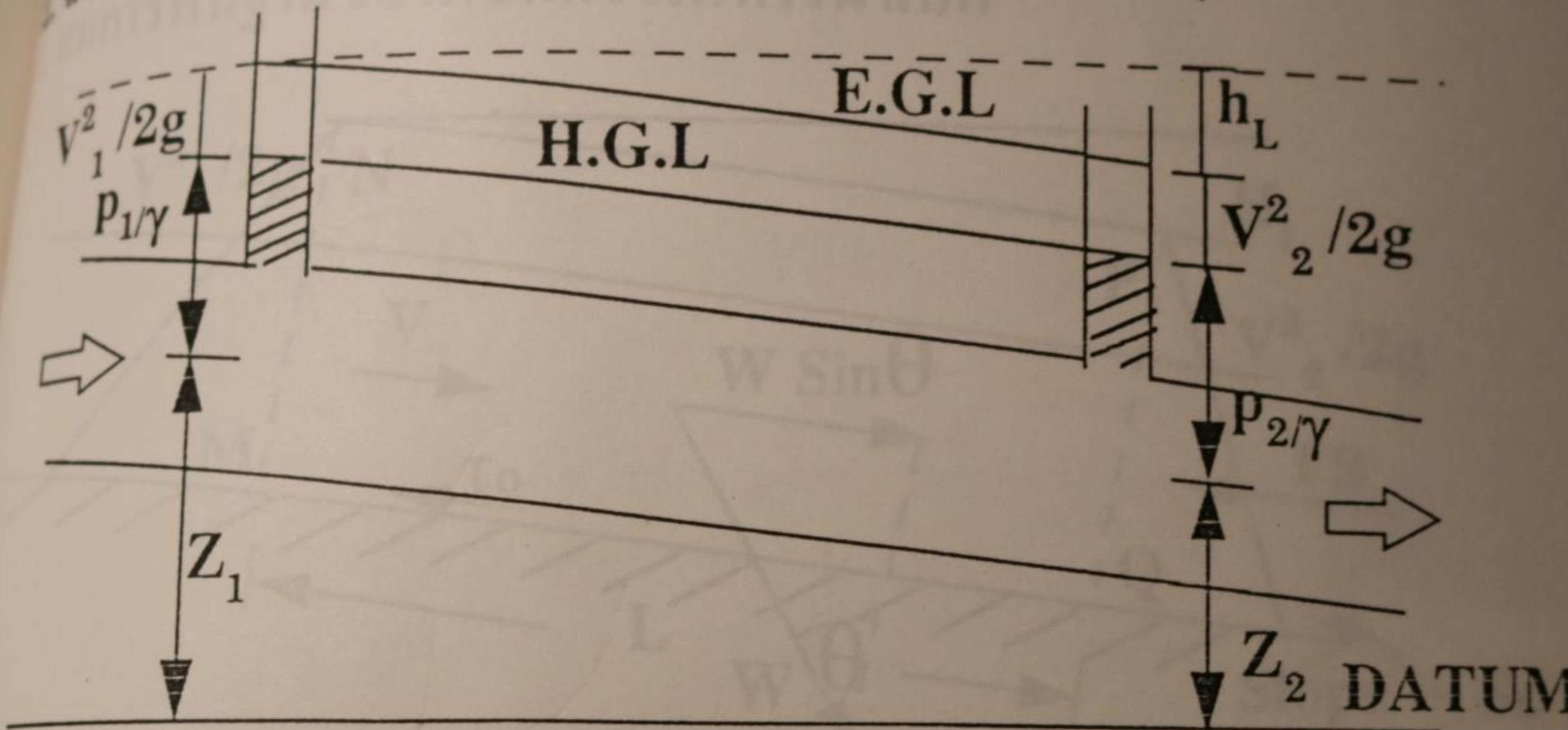
⊗ Uniform flow

⊗ Nonuniform flow

⊗ Gradually varied flow

⊗ Pasid varied flow

สมการพลังงาน

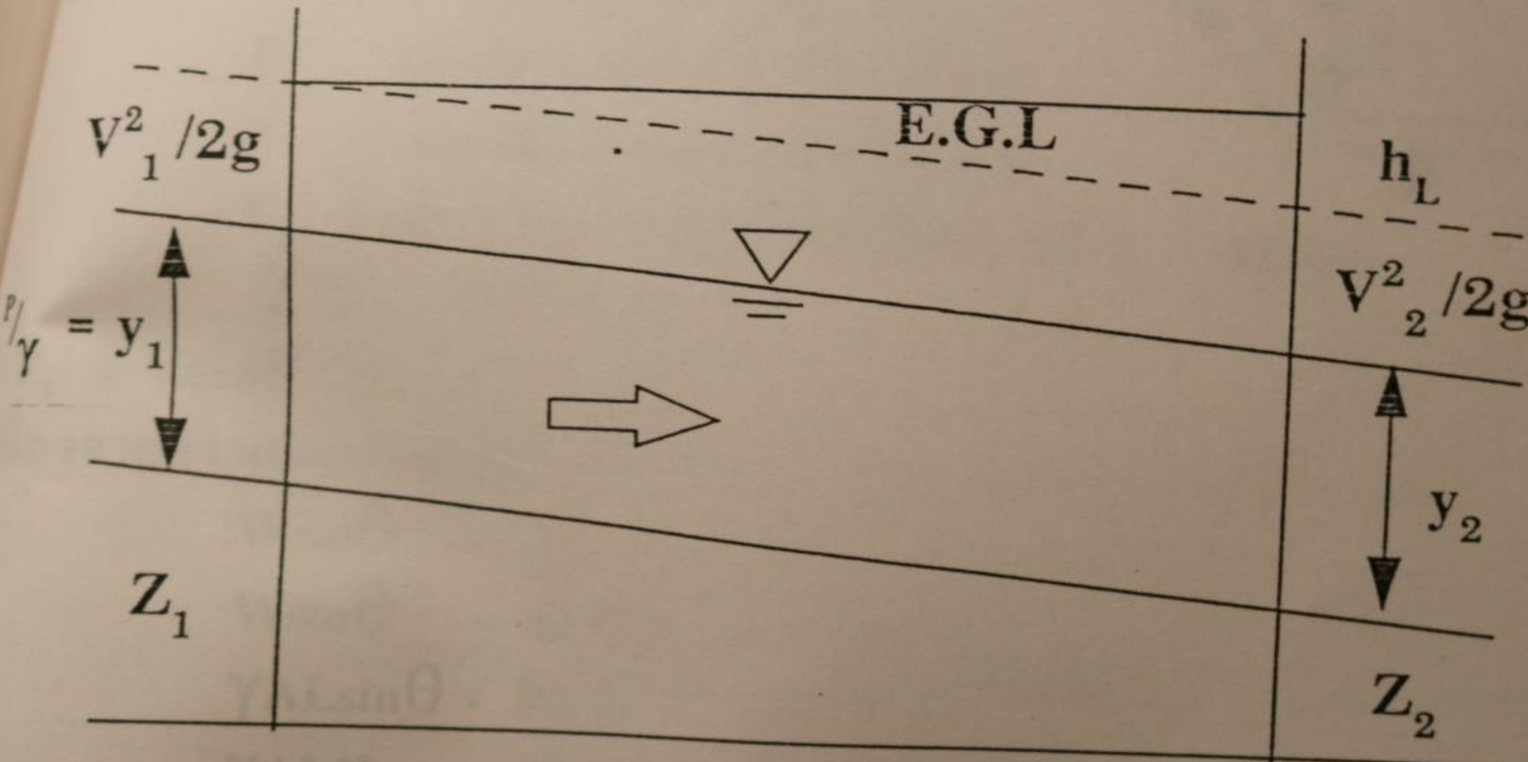


กรณี Pipe Flow

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + h_L$$

กรณี Pipe Flow

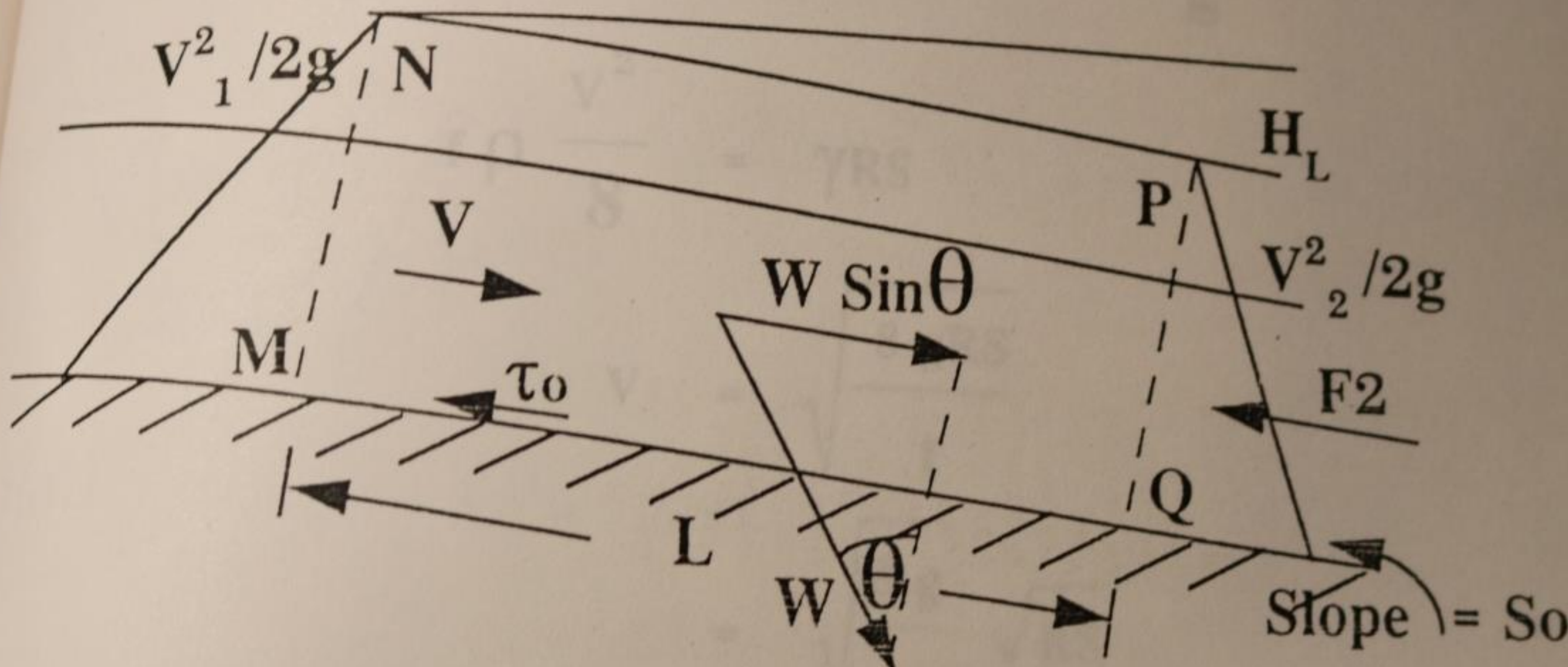
$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + h_L$$



กรณี Open Channel Flow

$$y_1 + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} = y_2 + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g} + h_L$$

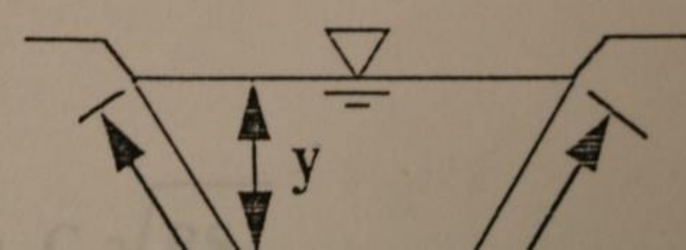
3. สมการพื้นฐานของความเร็วในทางน้ำเปิด



พิจารณาสมการโมเมนตัมในทิศทางขนานกับท้องน้ำ ระหว่างหน้าตัด (1) และ (2) โดยให้ MNPQ เป็น Control Volume

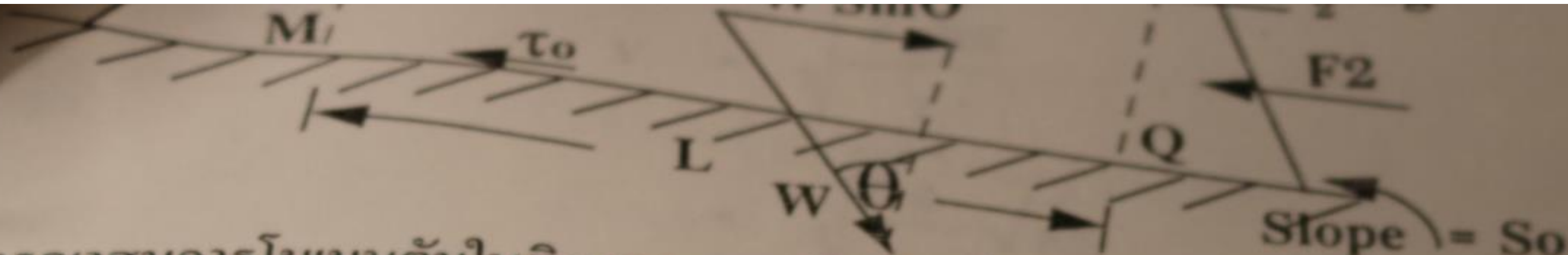
$$\sum F = (\text{โมเมนตัมออก}) - (\text{โมเมนตัมเข้า})$$

$$= \rho Q_2 V_2 - \rho Q_1 V_1$$



เนื่องจากหน้าตัด (1) = หน้าตัด (2) , $Q_1 = Q_2$

F : แรงดันรวมของน้ำที่หน้าตัด 1

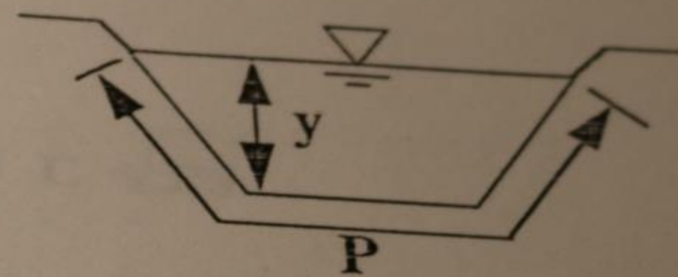


พิจารณาสมการโมเมนตัมในทิศทางขนานกับท้องน้ำ ระหว่างหน้าตัด (1) และ (2) โดยให้ MNPQ เป็น Control Volume

$$\Sigma F = \text{(โมเมนตัมออก) - (โมเมนตัมเข้า)}$$

$$= \rho Q_2 V_2 - \rho Q_1 V_1$$

เนื่องจากหน้าตัด (1) = หน้าตัด (2) , $Q_1 = Q_2$



F_1 : แรงดันรวมของน้ำที่หน้าตัด 1

F_2 : แรงดันรวมของน้ำที่หน้าตัด 2

F_3 : แรงเฉือนที่เกิดตามแนวสัมผัสกับผิว = $PL\tau_o$

$$\Sigma F = 0$$

$$F_1 + W\sin\theta - F_2 - F_3 = 0$$

เนื่องจากความลึกน้ำเท่ากัน $F_1 = F_2$

$$W\sin\theta - F_S = 0$$

$$W\sin\theta - PL\tau_o = 0$$

$$\gamma AL\sin\theta - PL\tau_o = 0$$

$$\gamma ALH_L - PL\tau_o = 0$$

สัมผัสกับผิว = $PL\tau_o$

$$\sum F = 0$$

$$F_1 + W\sin\theta - F_2 - F_3 = 0$$

เนื่องจากความลึกน้ำเท่ากัน $F_1 = F_2$

$$W\sin\theta - F_S = 0$$

$$W\sin\theta - PL\tau_o = 0$$

$$\gamma AL\sin\theta - PL\tau_o = 0$$

$$\gamma AL\frac{H_L}{L} - PL\tau_o = 0$$

$$\tau_o = \frac{\gamma A H_L}{PL}$$

$$\boxed{\tau_o = \gamma RS \quad .}$$

เมื่อ $R = A/P$; $S = H_L/L$

$$\because \quad \tau_o = f\rho \frac{V^2}{g}$$

$$f\rho \frac{V^2}{8} = \gamma RS$$

$$V = \sqrt{\frac{8\,gRS}{f}}$$

$$= \sqrt{\frac{8\,g}{f}}\sqrt{RS}$$

$$V = C\sqrt{RS}$$

โดยที่ $C = \sqrt{\frac{8\,g}{f}}$

ในการไหลแบบ Steady $S = S_o$, $V = C\sqrt{RS}$

$$C = \sqrt{\frac{8g}{f}}$$

ในการไหลแบบ Steady $S = S_o$, $V = C\sqrt{RS}$

Chezy Formular $V = C\sqrt{RS}$

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

$$C = \frac{1}{n} R^{1/6}$$

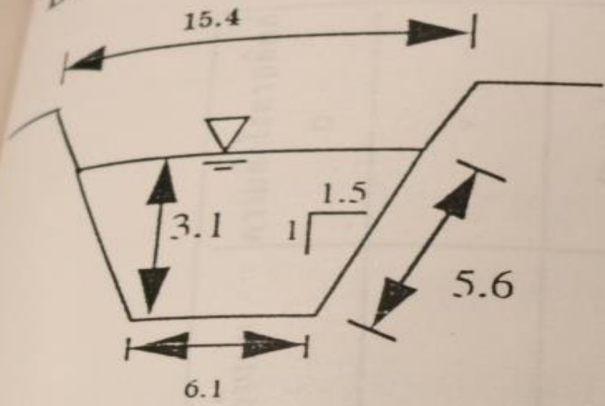
C	รางคอนกรีต	รางดิน
n	0.023	0.03

$$Q = AV$$

$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} S^{1/2} = CA\sqrt{RS} \quad m^3/s$$

$$V = \frac{1.49}{n} R^{2/3} S^{1/2} \quad ; V = ft/s, \ Q = ft^3/s$$

Ex.



คลองผิวคอนกรีต $n = 0.014$

$R = 44.61 \ m^3/s$

$S_o = ?$

ถ้าคลองยาว 1 กม. ท้องน้ำจะลดระดับลงกี่เมตร

วิธีทำ

$$A = 6.10 \times 3.10 + 2\left(\frac{1}{2} \times 4.65 \times 3.10\right)$$

$$= 33.33 \quad m^2$$

$$P = 6.10 + 2(5.60) = 17.30 \ m$$

$$R = \frac{A}{P} = \frac{33.33}{17.30} = 1.927$$

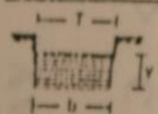
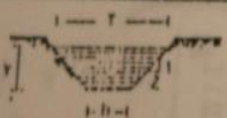
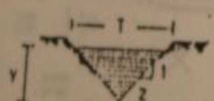
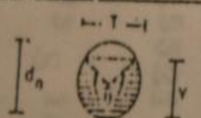
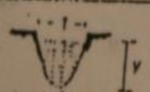
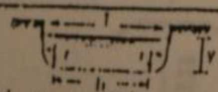
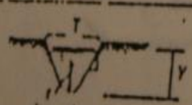
จากสูตร Manning $Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} S^{1/2}$

$$44.61 = \frac{1}{0.064} \times 33.33 \times 1.927^{2/3} S^{1/2}$$

$$S = 0.0001 \quad m / 1000$$

ท้องน้ำจะลดลง $= 1000 \times 0.0001 = 0.1$ m.

ตารางที่ มิติขั้นพื้นฐานทางเรขาคณิตของหน้าตัดทางน้ำ

หน้าตัด	พื้นที่ A	ด้านที่จมน้ำ P	รัศมีไฮดรอลิกส์ R	ความกว้างด้านบน T	ความลึกไฮดรอลิกส์ D
	by	$b + 2y$	$\frac{by}{b + 2y}$	b	y
	$(b + zy)y$	$b + 2y\sqrt{1 + z^2}$	$\frac{(b + zy)y}{b + 2y\sqrt{1 + z^2}}$	$b + 2zy$	$\frac{(b + zy)y}{b + 2zy}$
	zy^2	$2y\sqrt{1 + z^2}$	$\frac{zy}{2\sqrt{1 + z^2}}$	$2zy$	$\frac{1}{2}y$
	$\frac{1}{8}(\theta - \sin\theta)d_0^2$	$\frac{1}{2}\theta d_0$	$\frac{1}{4}\left(1 - \frac{\sin\theta}{\theta}\right)d_0$	$(\sin\frac{1}{2}\theta)d_0$ or $2\sqrt{y(d_0 - y)}$	$\frac{1}{8}\left(\frac{\theta - \sin\theta}{\sin\frac{1}{2}\theta}\right)d_0$
 พาราโบลา	$\frac{2}{3}Ty$	$T + \frac{8y^2}{3T}$	$\frac{2T^2y}{3T^2 + 8y^2}$	$\frac{3A}{2y}$	$\frac{2}{3}y$
 สี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีมุมมน $(y > r)$	$\left(\frac{\pi}{2} - 2\right)r^2 + (b + 2r)y$	$(\pi - 2)r + b + 2y$	$\frac{(\pi/2 - 2)r^2 + (b + 2r)y}{(\pi - 2)r + b + 2y}$	$b + 2r$	$\frac{(\pi/2 - 2)r^2}{b + 2r} + y$
 สามเหลี่ยมที่มีด้านล่างมน	$\frac{T^2}{4z} - \frac{r^2}{z}(1 - z\cot^{-1}z)$	$\frac{T}{z}\sqrt{1 + z^2} - \frac{2r}{z}(1 - z\cot^{-1}z)$	$\frac{A}{P}$	$2\left[z(y - r) + r\sqrt{1 + z^2}\right]$	$\frac{A}{T}$

สมการความเร็ว และ สปส.ความเสียดทานแบบต่าง ๆ

Chezy Formula

$$V = C\sqrt{RS}$$

V : Average Velocity (m / s)

C : Coefficient ($m^{1/2}/s$)

R : Hydraulic radius (-) = $\dfrac{\text{Sectional area}}{\text{Wetted Length}}$

S : Slope of water surface

or Energy grade line

or Channel bottom (-)

Coefficient C

$$C = \sqrt{\frac{8g}{f}}$$

f : friction factor (Moody Diagram)

Coefficient C

$$C = \sqrt{\frac{8g}{f}} \quad f: \text{friction factor (Moody Diagram)}$$

$$C = \frac{23 + \dfrac{0.00155}{f} + \dfrac{1}{n}}{1 + \dfrac{n}{\sqrt{R}}\left(23 + \dfrac{0.00155}{S}\right)} \quad \text{(Kutter)}$$

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

$$C = \frac{87}{1 + \dfrac{m}{\sqrt{R}}} \quad \text{(Bazin)}$$

$$C\left(\frac{ft^{1/2}}{S}\right) = -42 \log\left(\frac{C}{RE} + \frac{\varepsilon}{R}\right) \quad \text{(Powell)}$$

Remark $\Rightarrow C\left(\frac{ft^{1/2}}{S}\right) \times 0.5521 = C\left(\frac{m^{1/2}}{S}\right)$

$$\sqrt{R}$$

$$C\left(\frac{ft^{1/2}}{S}\right) = -42 \log\left(\frac{C}{RE} + \frac{\varepsilon}{R}\right) \qquad \text{(Powell)}$$

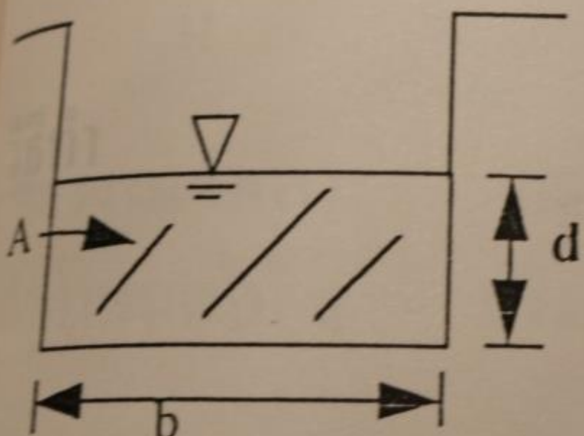
$$\text{Remark} \Rightarrow C\left(\frac{ft^{1/2}}{S}\right) \times 0.5521 = C\left(\frac{m^{1/2}}{S}\right)$$

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

$$h_L = \left[\frac{Vn}{R^{2/3}}\right]^2 L = \text{Using } S = \frac{h_L}{L}$$

4. การหาอัตราการไหลในทางน้ำเปิดรูปหน้าตัดต่าง ๆ

4.1 รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า



b = ความกว้าง

d = ความลึก

$Q = AV$

$$\boxed{Q = A \times C\sqrt{RS}}$$

$$= AC\sqrt{\frac{A}{P}S}$$

เมื่อ ค่า A , C , S มักจะคงที่

ถ้าจะหา Q_{max} ก็จะได้เมื่อ $P \rightarrow \min$

$$A = bd \quad \rightarrow \quad b = \frac{A}{d}$$

$$P = b + 2d \quad \rightarrow \quad \frac{A}{d} + 2d$$

$$A = bd \rightarrow b = \frac{A}{d}$$

$$P = b + 2d \rightarrow \frac{A}{d} + 2d$$

$$\frac{dP}{dd} = A\frac{d\,d^{-1}}{d\,d} + 2 = -Ad^{-2} + 2$$

$$\frac{dP}{dd} = 0$$

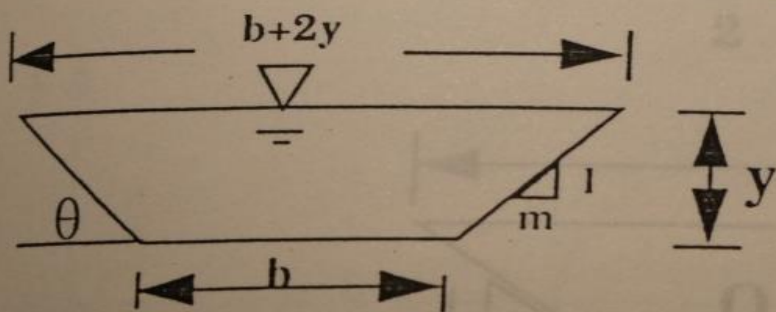
จะได้ $-Ad^{-2} + 2 = 0$

$$A = 2d^2$$

$$bd = 2d^2$$

Q_{max} เมื่อ $\frac{dP}{dd} = 0 \Rightarrow d = \frac{b}{2}$

4.2 หน้าตัดสี่เหลี่ยมคางหมู



ต้องการให้ได้ Q_{max}

หน้าตัดประหยัดที่สุด

$\frac{dP}{dy} = 0$ เมื่อ m คงที่

เมื่อ y คงที่

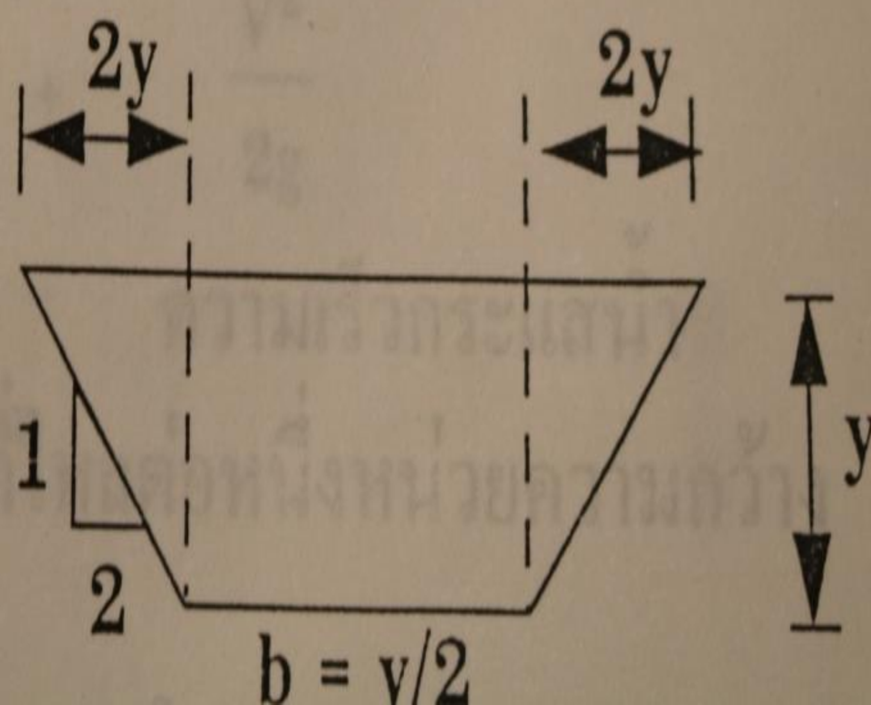
เมื่อ m คงที่ $b = 2y\left(\sqrt{1 + m^2} - m\right)$

เมื่อ y คงที่ $r = 3b$

Ex ออกแบบคลองดินขุด โดยหา ความลึก ความกว้างผิวน้ำ และความกว้างท้องคลอง Q = 5.4 ลบ.ม./ว. ความลาดของหน้าคลอง 1 : 2 ความลาดของคลอง 2 ม.ต่อ 5 กม.

กำหนดให้ ความกว้างท้องคลองเท่ากับครึ่งหนึ่งของความลึก

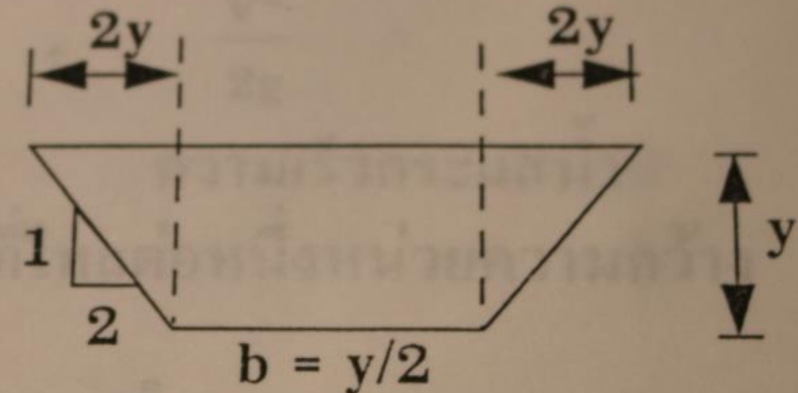
ทำ



1 : 2 ความลาดของคลอง 2 ม.ต่อ 5 กม.

กำหนดให้ ความกว้างท้องคลองเท่ากับครึ่งหนึ่งของความลึก

วิธีทำ



$$\text{ความกว้างของผิวน้ำ} = 2y + \frac{y}{2} + 2y = \frac{9\,y}{2}$$

$$\text{พื้นที่หน้าตัด} \quad A = \frac{1}{2}\left[\frac{y}{2} + \frac{9y}{2}\right]y = 2.5\,y^2$$

$$\text{เส้นขอบเปียก} \quad P = \frac{y}{2} + 2\sqrt{5}\,y = 4.972\,y$$

$$\text{รัศมีชลศาสตร์} \quad R = \frac{A}{P} = \frac{2.5\,y^2}{4.972\,y} = 0.503\,y$$

ของดินขุดมี สปส. ความขุขระ $n = 0.022 \leftrightarrow 0.013$

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

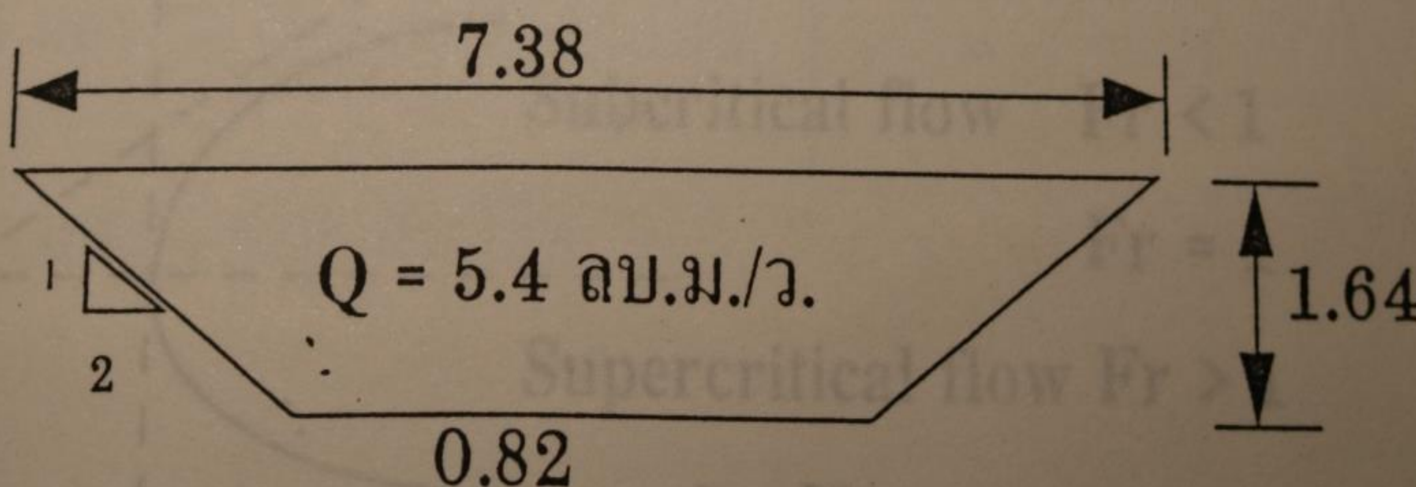
ดินขุดมี สปส. ความขุขระ n = 0.022 $\leftrightarrow$ 0.013

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

$$5.4 = \frac{1}{0.022} \times 2.5y^2 \times (0.5034)^{2/3} \left(\frac{2}{5000}\right)^{1/2}$$

y = 1.64 ม.

ความกว้าง $T = \frac{9y}{2} = \frac{9 \times 1.64}{2} = 7.38$ ม.



5. พลังงานจำเพาะ (Specific Energy)

พลังงานจำเพาะของลำน้ำ ที่ตอนใดตอนหนึ่งจะประกอบด้วย พลังงานศักย์ (เนื่องจากความลึก) และพลังงานจลน์

$$H = y + \frac{V^2}{2g}$$

พลังงานจำเพาะ ความลึก ความเร็วกระแสน้ำ

ถ้ากำหนดให้ q = ปริมาณน้ำที่ไหลต่อหนึ่งหน่วยความกว้าง

จะได้ $$H = y + \frac{q^2}{2g\,y^2} \Leftarrow q = vy$$

1) ถ้าให้ q คงที่ ให้หา $\rightarrow$ min ทำได้โดย $\frac{\partial H}{\partial y} = 0$

วิธีทำ $$\frac{dH}{dy} = \frac{d}{dy}\left(y + \frac{q^2}{2gy^2}\right) = \frac{dy}{dy} + \frac{q^2}{2g}\frac{d\,y^{-2}}{dy} = 0$$

1) ถ้าให้ q คงที่ ให้หา → min ทำได้โดย $\frac{\partial H}{\partial y} = 0$

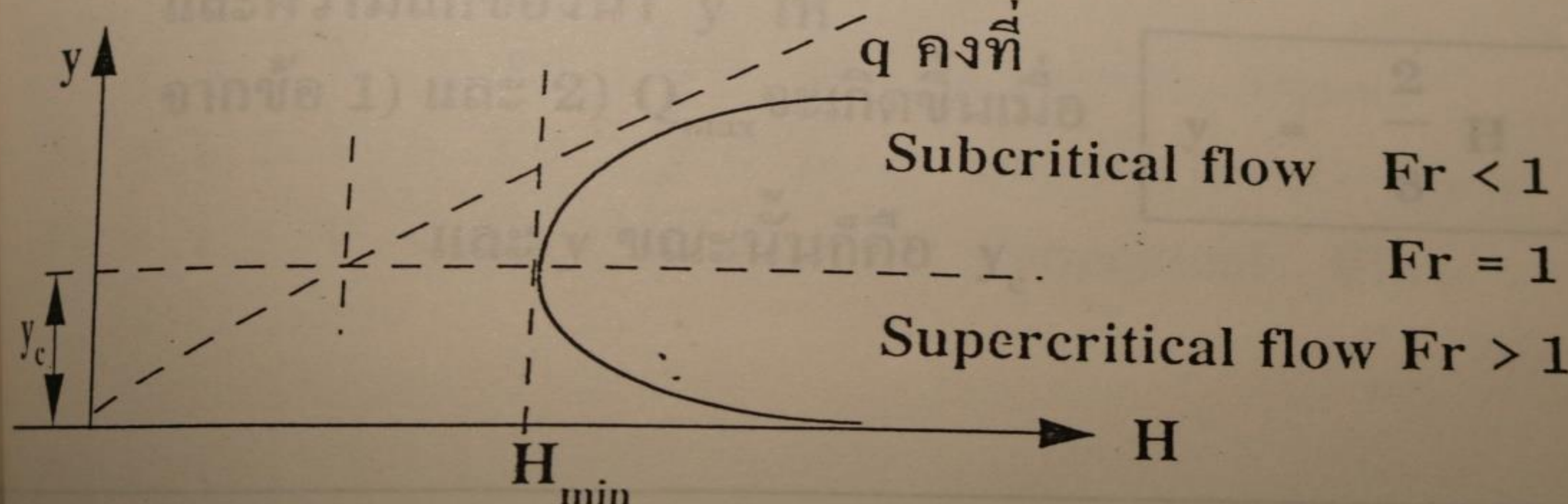
วิธีทำ $\frac{dH}{dy} = \frac{d}{dy}\left(y + \frac{q^2}{2gy^2}\right) = \frac{dy}{dy} + \frac{q^2}{2g}\frac{d\,y^{-2}}{dy} = 0$

$$y = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}$$ ค่า y ที่ให้ H น้อยที่สุด

$$y_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}$$ Critical depth

$$V_c = \frac{q}{y_c}$$

$$H_{min} = y_c + \frac{V_c^2}{2g} = y_c + \frac{y_c}{2} = \frac{3}{2}\,y_c$$



2) กำหนด H ให้ หา Q_{max}

$$H = y + \frac{V^2}{2g}$$

$$V = \sqrt{2g\left(H - y\right)}$$

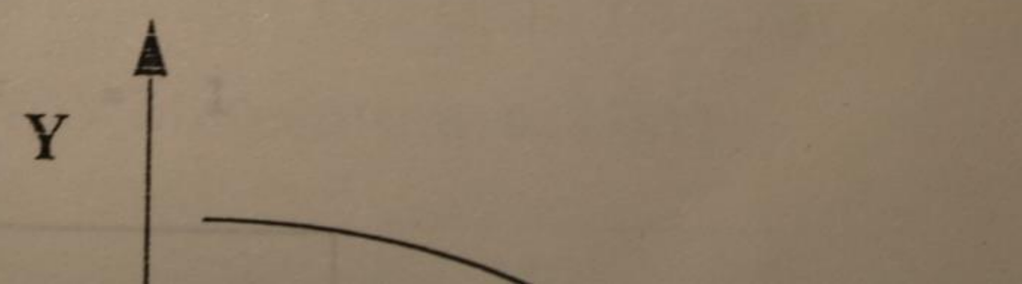
$$Q = AV = by\sqrt{2g\left(H - y\right)}$$

$$= b\sqrt{2g\left(Hy^2 - y^3\right)}$$

$$Q_{max} \rightarrow \frac{d}{dy}\left(Hy^2 - y^3\right) = 0$$

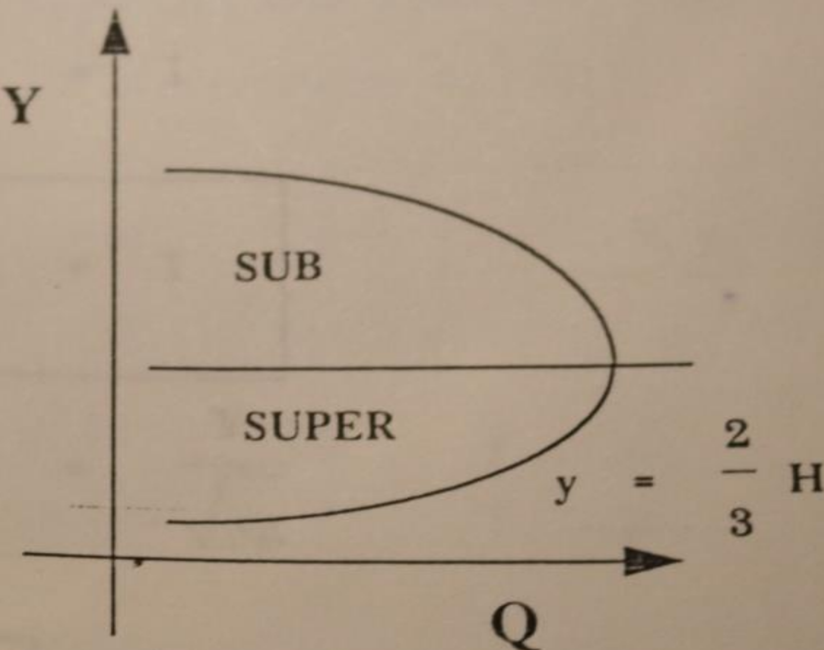
จะได้ $H = \frac{3}{2} y$

หรือ $\boxed{y_c = \frac{2}{3} H}$



จะได้ $H = \frac{3}{2} y$

หรือ $\boxed{y_c = \frac{2}{3} H}$



สรุป เมื่อกำหนดค่าพลังงานจำเพาะ H

และความลึกของน้ำ y ให้

จากข้อ 1) และ 2) Q_{max} จะเกิดขึ้นเมื่อ $\boxed{y = \frac{2}{3} H}$

และ y ขณะนั้นก็คือ y_c

$\therefore$

แทนค่าที่ได้ในสมการพลังงาน

$$H = y + \frac{V^2}{2g}$$

$$\frac{3}{2}y = y + \frac{V^2}{2g}$$

$$\frac{y}{2} = \frac{V^2}{2g}$$

$$\frac{V^2}{yg} = 1$$

จะได้ $$\frac{V}{\sqrt{yg}} = 1$$

จะได้ $$\frac{V}{\sqrt{yg}} = 1$$

$$\boxed{\frac{V_c}{\sqrt{gy_c}} = 1}$$

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{yg}}$$

$$\boxed{\text{Critical depth} \; ; \; Fr = 1}$$

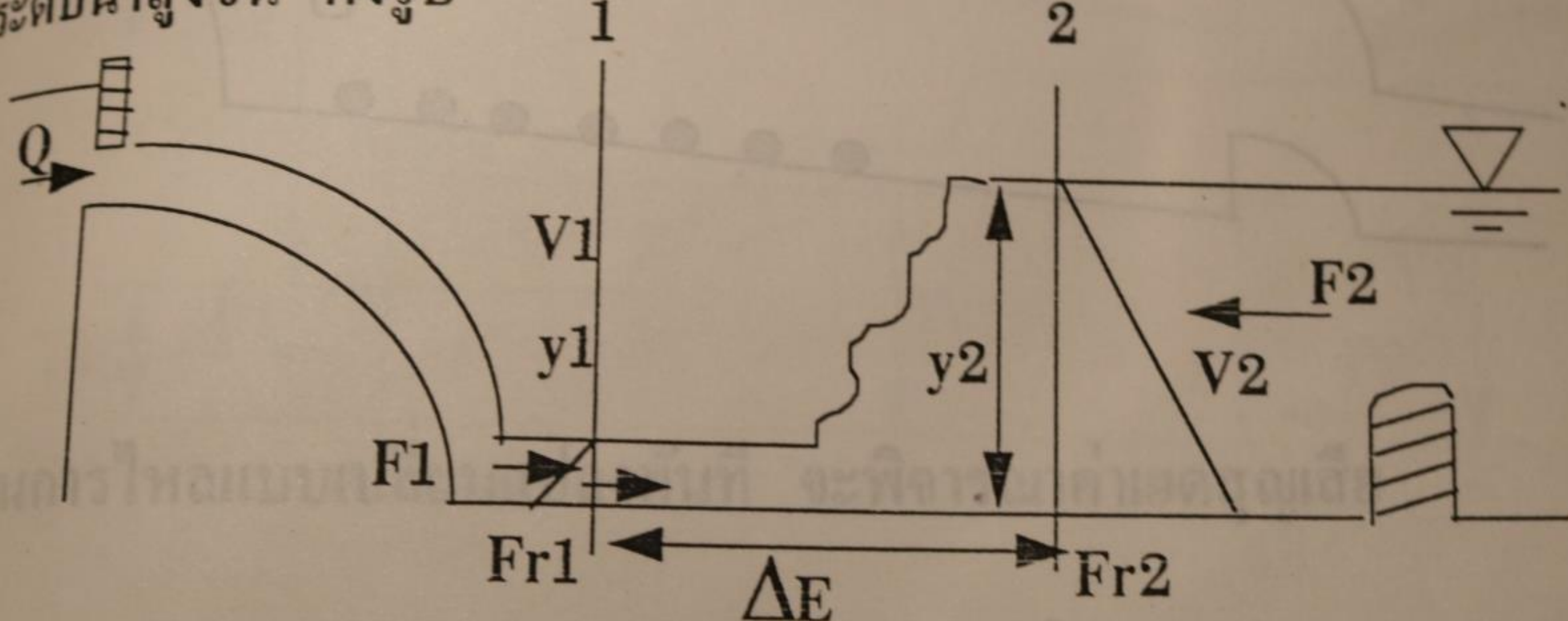
$Fr = 1$; $V = Vc$; $y = yc$ Critical Flow

$Fr > 1$; $V > Vc$; $y < yc$ Supercritical Flow

$Fr < 1$; $V < Vc$; $y > yc$ Subcritical Flow

6. ปรากฏการณ์น้ำกระโดด

ปรากฏการณ์น้ำกระโดด เป็นปรากฏการณ์ที่มวลน้ำซึ่งไหลด้วยความเร็วสูง แล้วเปลี่ยนเป็นความเร็วต่ำอย่างกระทันหัน ระดับน้ำสูงขึ้น ดังรูป



ในกรณีการไหลในทางน้ำรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า และไม่มีความลาด

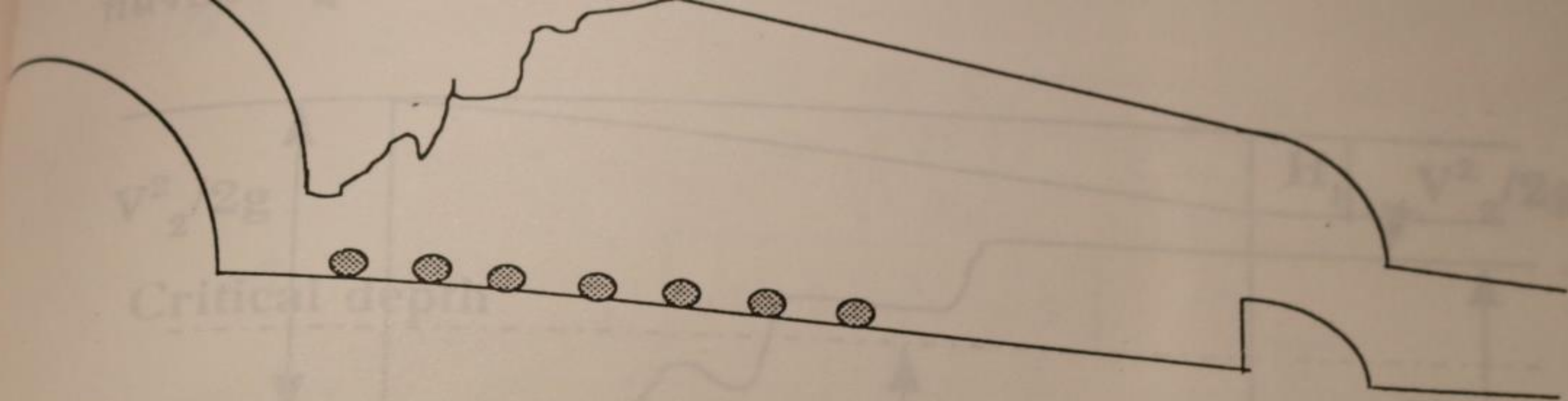
จากสมการ Continuity และสมการ Momentum จะได้ค่า

$$y_2 = -\frac{y_1}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{y_1}{2}\right)^2 + \frac{2V_1^2 y_1}{g}}$$

หรือ $$\frac{y_2}{y_1} = \frac{1}{2}\left[\sqrt{1+8Fr_1^2} - 1\right]$$

หรือ $$Fr_1 = \frac{V_1}{\sqrt{gy_1}}$$

และที่สูญเสียเนื่องจากน้ำกระโดด $$\Delta E = H_L = \frac{(y_2 - y_1)^3}{4y_1y_2}$$



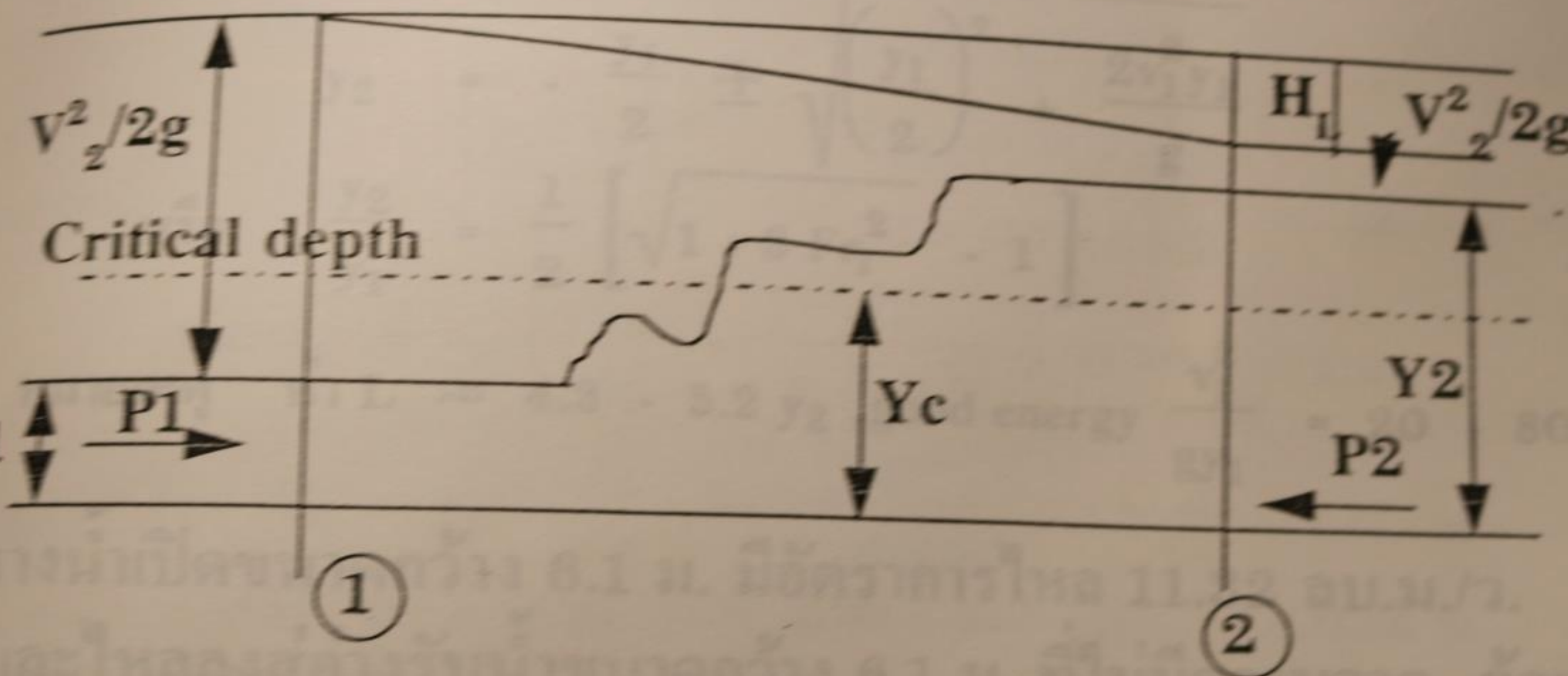
ในการไหลแบบเปลี่ยนแปลงทันที จะพิจารณาค่าเฮดสูญเสีย

โดยกำหนดจาก $$h_L = K \frac{V^2}{2g}$$

หรือ $$h_L = K\left[\frac{V_2^2}{2g} - \frac{V_1^2}{2g}\right]$$

โดยค่า **K** จะขึ้นกับแต่ละสภาพการไหลเช่น การลด /เพิ่มขนาดคลองกระทันหัน

การ derive สูตรความสัมพันธ์ของความลึกของน้ำ ก่อนและหลังปรากฏการณ์น้ำกระโดด



พิจารณา section 1 และ 2 ต่อหนึ่งหน่วยความกว้าง และอัตราการไหล q ต่อหน่วยความกว้าง

$$P_1 = \rho g \bar{h} A = \rho g \left(\frac{1}{2} y_1\right) y_1 = \frac{1}{2} \rho g y_1^2$$

$$P_2 = \frac{1}{2} \rho g y_2^2$$

พิจารณา section (1) และ (2) ต่อหนึ่งหน่วยความกว้าง และอัตราการไหล q ต่อหน่วยความกว้าง

$$P_1 = \rho g \bar{h} A = \rho g\left(\frac{1}{2} y_1\right) y_1 = \frac{1}{2} \rho g y_1^2$$

$$P_2 = \frac{1}{2} \rho g y_2^2$$

จากทฤษฎี Momentum

$$F = ma$$

$$\Delta P_X dt = \Delta \text{ Linear Momentum} = \frac{W}{g}\left(\Delta V_x\right)$$

$$\frac{1}{2} \rho g\left(y_2^2 - y_1^2\right) dt = \frac{\rho g q dt}{g}\left(V_1 - V_2\right) \qquad \ldots\ldots\ldots(1)$$

จากสมการ Continuity $v_2 y_2 = v_1 y_1$ และ $v_1 = \frac{q}{y_1}$

แทนค่าในสมการ (1) ได้ $\frac{q^2}{g} = \frac{1}{2} y_1 y_2\left(y_1 + y_2\right) \qquad \ldots\ldots\ldots(2)$

เนื่องจาก $\frac{q^2}{g} = y_c \quad \therefore \; y_c^3 = \frac{1}{2} y_1 y_2\left(y_1 + y_2\right) \qquad \ldots\ldots\ldots(3)$

จากสมการ (2) $\quad y_1 + y_2 = \frac{q^2}{g}\left(\frac{2}{y_1 y_2}\right) = \frac{v_1^2 y_1^2}{g} \frac{2}{y_1 y_2} = \frac{2}{g} \frac{v_1^2 y_1}{y_2}$

$$\frac{y_2^2}{y_1} + y_1 y_2 - \frac{2v_1^2}{g} = 0$$

$$y_2 = -\frac{y_1}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{y_1}{2}\right)^2 + \frac{2v_1^2 y_1}{g}}$$

หรือ $$\frac{y_2}{y_1} = \frac{1}{2}\left[\sqrt{1+8\,Fr_1^2} - 1\right]$$

หมายเหตุ ค่า L $\approx$ 4.3 - 5.2 y_2 ,good energy $\frac{v_1^2}{gy_1}$ = 20 - 80

Ex2 รางน้ำเปิดขนาดกว้าง 6.1 ม. มีอัตราการไหล 11.32 ลบ.ม./ว.
และไหลลงสู่อ่างรับน้ำขนาดกว้าง 6.1 ม. ที่ไม่มีความลาด ด้วยอัตราการเร็วเฉลี่ย 6.1 ม/ว. ถามว่า

1. ความสูงของน้ำกระโดดเท่ากับเท่าไร

2. การสูญเสียพลังงานเป็นเท่าไร

วิธีทำ

1) กำหนดให้ $v_1 = 6.1$ ม/ว. , $Q = 11.32$ ม^3/ว. , $B = 6.1$ ม.

$$\therefore \; q = \frac{Q}{B} = \frac{11.32}{6.1} = 1.86 \text{ ลบ.ม./ว./ม.}$$

$$y_1 = \frac{q}{v_1} = \frac{1.86}{6.1} = 0.305 \text{ ม.}$$

แทนค่า
$$y_2 = -\frac{y_1}{2} + \sqrt{\left(\frac{y_1}{2}\right)^2 + \frac{2y_1v_1^2}{g}}$$

$$= -\frac{0.305}{2} + \sqrt{\left(\frac{0.305}{2}\right)^2 + \frac{2(0.305)(6.1)^2}{9.81}}$$

$$= 1.37 \text{ ม.}$$

ความสูงของน้ำกระโดด $= 1.37 - 0.305 = 1.065$ ม.

ค่า
$$y_c = \sqrt[3]{\frac{(1.86)^2}{9.81}} = 0.707 \text{ ม.}$$

จะเห็นว่าค่า y1 และ y2 เป็นค่า supercritical และ subcritical depths

2) ค่าพลังงานที่สูญเสีย

$$v_2 = \frac{q}{y_2} = \frac{1.86}{1.37} = 1.36 \text{ ม/ว}$$

$$H_L = \frac{\left(y_2 - y_1\right)^3}{4y_1y_2} = \frac{\left(1.37 - 0.305\right)^3}{4 \times 1.37 \times 0.305} = .72 \text{ ม}$$

$$\text{หรือ } E_1 = y_1 + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{6.1^2}{2 \times 9.81} + 0.305 = 2.20 \text{ ม}$$

$$E_2 = y_2 \div \frac{v_2^2}{2g} = \frac{1.36^2}{2 \times 9.81} + 1.307 = 1.46 \text{ ม}$$

$$\Delta E = y_1 - y_2 = 2.20 - 1.46 = 0.74 \text{ ม}$$

Loss enery per second = $\rho g Q H$

$$= \frac{9810}{1000} \times (11.32) \times (2.20 - 1.46)$$

$$= 82.71 \text{ kW}$$

7. การไหลที่เปลี่ยนแบบช้า ๆ

Gradually varied flow

คือ การไหลที่ความลึก พื้นที่หน้าตัด ความหยาบของพื้นผิว ความลาดเอนของท้องน้ำ และไฮดรอลิกซ์เรเดียส์ค่อย ๆ เปลี่ยนตลอดความยาวของท้องน้ำ

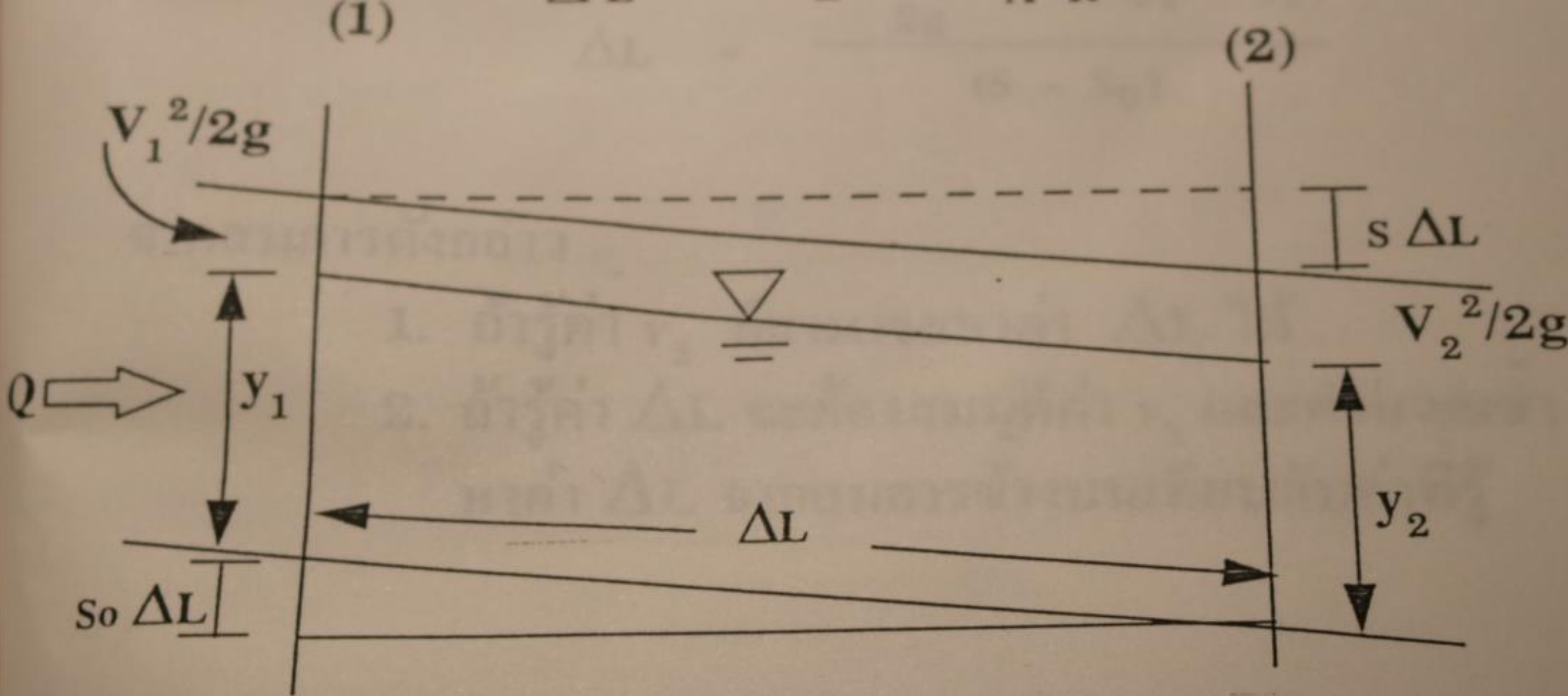
$$Q = \frac{1}{n} A R^{2/3} S^{1/2}$$

$$S = \frac{Q^2 n^2}{A^2 R^{4/3}}$$

= ความลาดของเส้นพลังงาน

$$= \frac{\Delta H}{\Delta L} = \frac{h_L}{L} = \frac{Q^2 n^2}{A^2 R^{4/3}}$$

(1)



จากสมการพลังงาน

$$Z_1 + y_1 + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + y_2 + \frac{V_2^2}{2g} + h_L \qquad \text{.........(1)}$$

จากสมการการไหลต่อเนื่อง

$$Q_1 = Q_2$$

$$h_L = \Delta L \times \frac{Q^2 n^2}{\bar{A}^2 \bar{R}^{4/3}}$$

$$\bar{n} = \frac{n_1 + n_2}{2}$$

$$\bar{A} = \frac{A_1 + A_2}{2}$$

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2}{2}$$

S_0 = ความลาดของท้องน้ำ = $\frac{\Delta Z}{\Delta L}$

S = ความลาดของเส้น E.G.L = $\frac{H_L}{\Delta L}$

$$S_0 \Delta L + y_1 + \frac{V_1^2}{2g} = y_2 + \frac{V_2^2}{2g} + S\,\Delta L$$

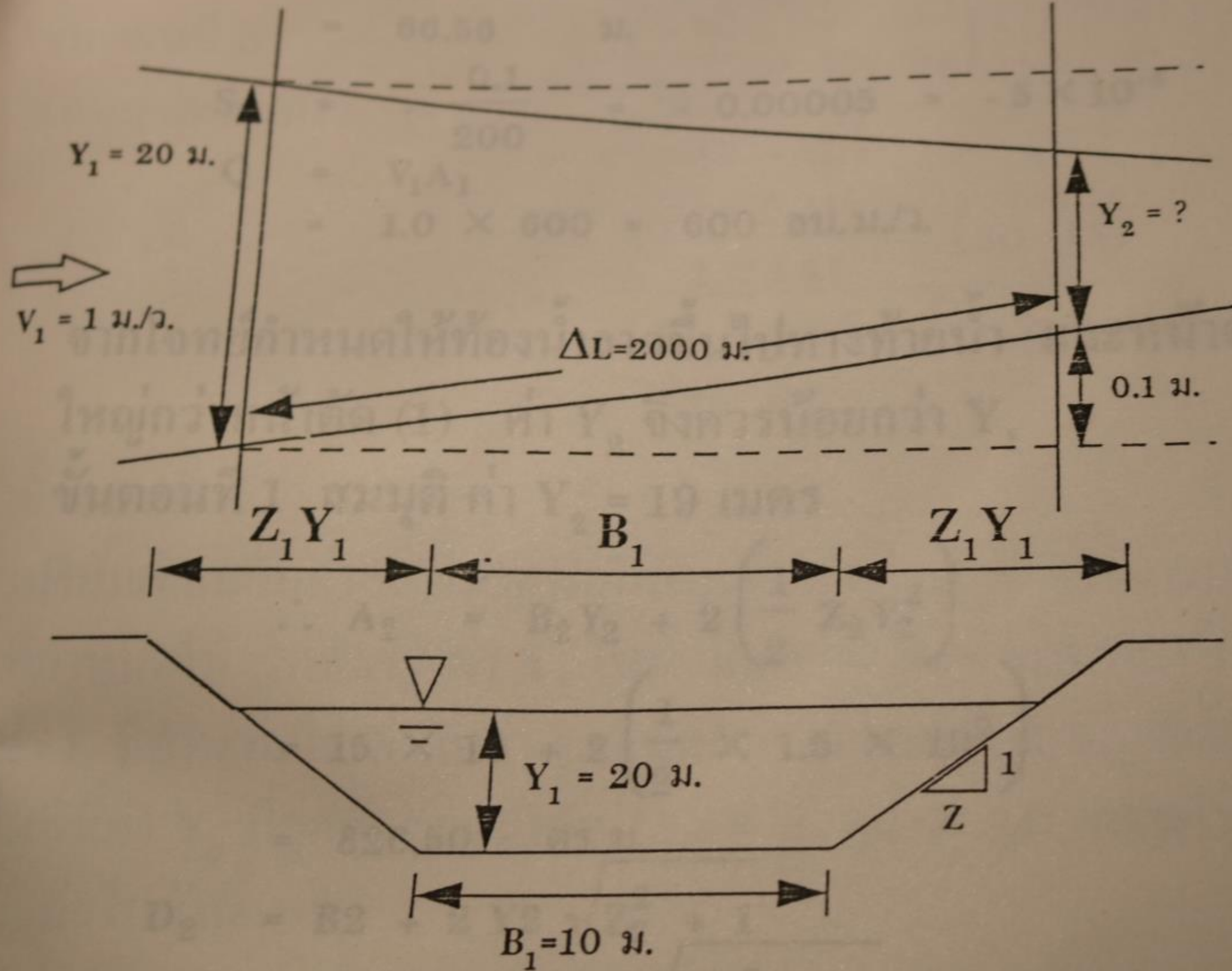
$$\Delta L = \frac{\frac{V_1^2 - V_2^2}{2g} + (y_1 - y_2)}{(S - S_0)}$$

$$\Delta L = \frac{\dfrac{V_1^2 - V_2^2}{2g} + (y_1 - y_2)}{(S - S_0)}$$

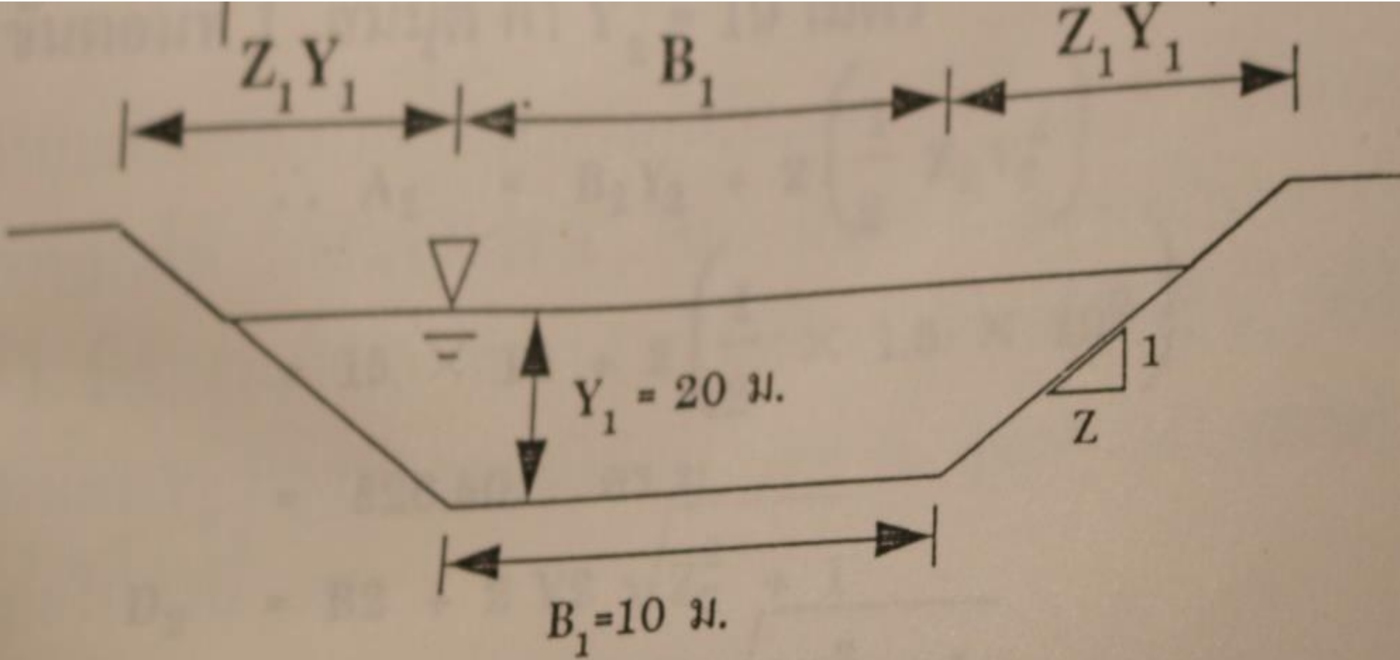
จากสมการดังกล่าว

1. ถ้ารู้ค่า v_2 ก็สามารถหาค่า ΔL ได้
2. ถ้ารู้ค่า ΔL จะต้องสมมุติค่า v_2 และคำนวณซ้ำหาค่า ΔL จากสมการข้างบนเทียบกับค่าที่รู้

Ex คลองสายหนึ่งมีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู ณ.หน้าตัดที่ 1 ค่า B_1 = 10 เมตร Z_1 = 1 เมตร Y_1 = 20 เมตร v_1 = 1 เมตร/วินาที ในหน้าตัดถัดไปที่ (2) ทางด้านท้ายน้ำ 2000 เมตร ท้องน้ำอยู่สูงกว่าท้องน้ำที่จุดวัด (1) 0.1 เมตร ค่า B_2 = 15 เมตร Z_2 = 1.5 เมตร n = 0.035 จงคำนวณหาความลึกของน้ำที่จุดที่ (2)



Y1 = 20 ม.
Y2 = ?
V1 = 1 ม./ว.
ΔL=2000 ม.
0.1 ม.
Z1Y1
B1
Z1Y1
Y1 = 20 ม.
1
Z
B1=10 ม.



วิธีทำ หาค่า A_1 $= B_1Y_1 + 2\left(\frac{1}{2} Z_1Y_1Y_1\right)$

$$= 10 \times 20 + 2\left(\frac{1}{2} \times 1 \times 20^2\right)$$

$$= 600 \quad \text{ตร.ม.}$$

หาค่า $A_1 = B_1Y_1 + 2\left(\frac{1}{2} Z_1Y_1Y_1\right)$

$$= 10 \times 20 + 2\left(\frac{1}{2} \times 1 \times 20^2\right)$$

$$= 600 \quad \text{ตร.ม.}$$

$$P_1 = B_1 + 2 Y_1 \sqrt{Z_1^2 + 1}$$

$$= 10 + 2 \times 20 \sqrt{1^2 + 1}$$

$$= 66.56 \quad \text{ม.}$$

$$S_0 = -\frac{0.1}{200} = -0.00005 = -5 \times 10^{-4}$$

$$Q = V_1A_1$$

$$= 1.0 \times 600 = 600 \quad \text{ลบ.ม./ว.}$$

จากโจทย์กำหนดให้ท้องน้ำลาดขึ้นไปทางท้ายน้ำ และหน้าตัด (2) ใหญ่กว่าหน้าตัด (1) ค่า Y_2 จึงควรน้อยกว่า Y_1

ขั้นตอนที่ 1 สมมุติ ค่า Y_2 = 19 เมตร

$$\therefore A_2 = B_2Y_2 + 2\left(\frac{1}{2} Z_2Y_2^2\right)$$

$$= 15 \times 19 + 2\left(\frac{1}{2} \times 1.5 \times 19^2\right)$$

$$= 826.50 \quad \text{ตร.ม.}$$

$$D_2 = B2 + 2\,Y2\sqrt{Z_2^2 + 1}$$

$$= 15 + 2 \times 19\sqrt{1.5^2 + 1}$$

$$= 83.51 \quad \text{ม.}$$

$$\text{ค่าเฉลี่ยของ A} = \frac{A_1 + A_2}{2} = \frac{600 + 826.50}{2} = 713.25 \text{ ม.}^2$$

$$\text{ค่าเฉลี่ยของ P} = \frac{P_1 + P_2}{2} = \frac{66.56 + 83.51}{2} = 75.04 \text{ ม.}$$

$$R = \frac{\overline{A}}{P} = \frac{713.25}{75.04} = 9.50 \text{ ม.}$$

ขั้นตอนที่ 2

แทนค่าในสมการ $S = \frac{Q^2 n^2}{\overline{A}^2 \overline{R}^{4/3}} = \frac{600^2 \times 0.035^2}{738.25^2 \times 9.50^{4/3}}$

$= 4.02 \times 10^{-5}$

และ $V_2 = \frac{Q}{A_2} = \frac{600}{826.50} = 0.73 \text{ m/s}$

ขั้นตอนที่ 3

แทนค่าในสมการ $\Delta L = \frac{\frac{V_1^2 - V_2^2}{2g} + \left(y_1 - y_2\right)}{\left(S - S_0\right)}$

$$= \frac{\frac{1^2 - 0.73^2}{2 \times 9.81} + \left(20 - 19\right)}{4.02 \times 10^{-5} - \left(-5 \times 10^{-4}\right)}$$

$= 1895$ เมตร

ขั้นตอนที่ 4

เปรียบเทียบกับค่า L ที่กำหนดให้พบว่า ค่าคำนวณ ค่าน้อยกว่า L ที่กำหนดให้ ให้สมมุติค่า Y_2 ใหม่ และคำนวณซ้ำขั้นตอนที่ 1 จนค่า L ที่คำนวณได้เท่ากับค่า L ที่กำหนดให้ก็จะได้ค่า Y_2 ที่ต้องการ ในที่นี้ค่า Y_2 ที่ถูกต้องจะเท่ากับ 18.94 ม. ดูจาก ต.ย. การคำนวณขั้นต่อไปดังนี้

สมมติให้ $Y_2 = 18.94$

คำนวณ $A_2 = 15 \times 18.94 + 2\left(\frac{1}{2} \times 1.5 \times 18.94^2\right)$

$= 822.1854$ ม.^{2}

$$P_2 = 15 + 2 \times 18.94 \sqrt{1.5^2 + 1}$$
$$= 83.29 \text{ ม.}$$

$$\frac{A_1 + A_2}{2} = 600 + \frac{822.1854}{2} = 711.10 \text{ ม.}^2$$

$$P_1 + P_2 = \frac{66.56 + 83.29}{2} = 74.93$$

$$R = \frac{711.10}{74.93} = 9.43$$

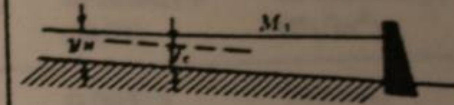
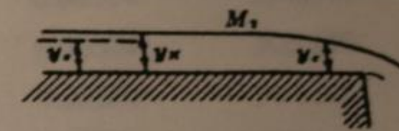
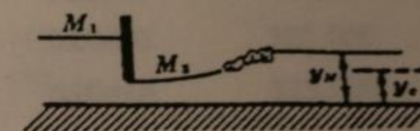
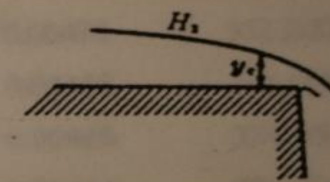
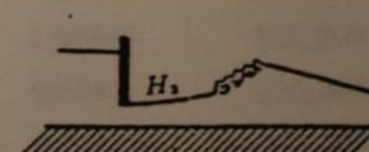
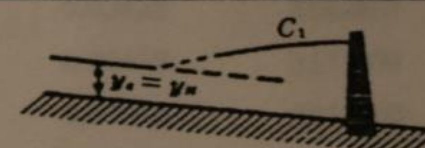
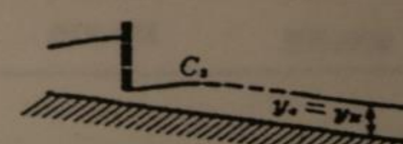
แทนค่าสมการ

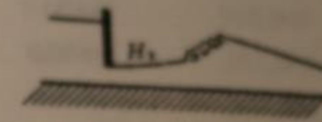
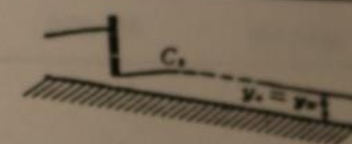
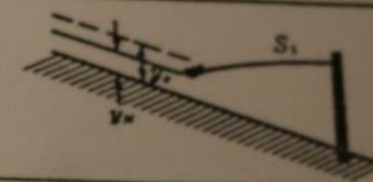
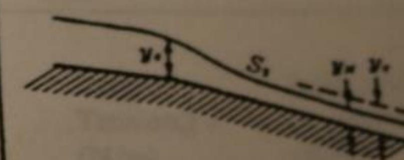
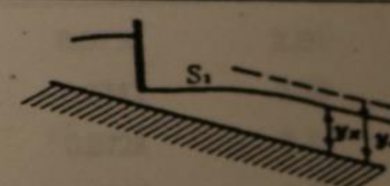
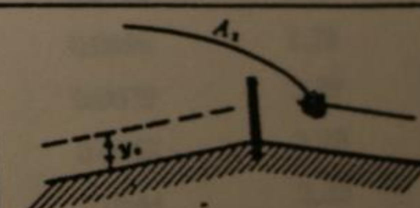
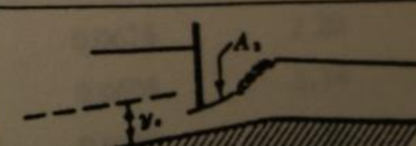
$$S = \frac{600^2 \times 0.035^2}{711.1^2 \times 9.49^{4/3}} = 4.34 \times 10^{-5}$$

$$V_2 = \frac{600}{822.19} = 0.73 \text{ ม./ว.}$$

แทนค่าสมการ

$$\Delta L = \frac{\frac{1^2 - 0.73^2}{2 \times 9.81} + (20 - 18.94)}{(4.34 + 5) \times 10^{-4}}$$
$$= 1994 \text{ ม.}$$
$$\approx 2000 \text{ ม.}$$

Channel Slope	Depth Relations	$\left(\frac{dy}{dL}\right)$	Type of Profile	Symbol	Type of Flow	Form of Profile
Mild $0 < S < S_c$	$y > y_N > y_c$	+	Backwater	M_1	Subcritical	
	$y_N > y > y_c$	−	Dropdown	M_2	Subcritical	
	$y_N > y_c > y$	+	Backwater	M_3	Supercritical	
Horizontal $S = 0$ $y_N = \infty$	$y > y_c$	−	Dropdown	H_2	Subcritical	
	$y_c > y$	+	Backwater	H_3	Supercritical	
Critical $S_N = S_c$ $y_N = y_c$	$y > y_c = y_N$	+	Backwater	C_1	Subcritical	
	$y_c = y = y_N$		Parallel to bed	C_2	Uniform, Critical	
	$y_c = y_N > y$	+	Backwater	C_3	Supercritical	

$y_N = \infty$	$y_c > y$	+	Backwater	H_3	Supercritical	
Critical $S_N = S_c$ $y_N = y_c$	$y > y_c = y_N$	+	Backwater	C_1	Subcritical	
	$y_c = y = y_N$		Parallel to bed	C_2	Uniform, Critical	
	$y_c = y_N > y$	+	Backwater	C_3	Supercritical	
Steep $S > S_c > 0$	$y > y_c > y_N$	+	Backwater	S_1	Subcritical	
	$y_c > y > y_N$	−	Dropdown	S_2	Supercritical	
	$y_c > y_N > y$	+	Backwater	S_3	Supercritical	
Adverse $S < 0$ $y_N = \infty$	$y > y_c$	−	Dropdown	A_2	Subcritical	
	$y_c > y$	+	Backwater	A_3	Supercritical	

Homework Hydraulics L 14

1. A flow rate of 2.1 m^3/s is to be carried in an open channel at a velocity of 1.3 m/s

Determine the dimension of the channel cross section and required slope.

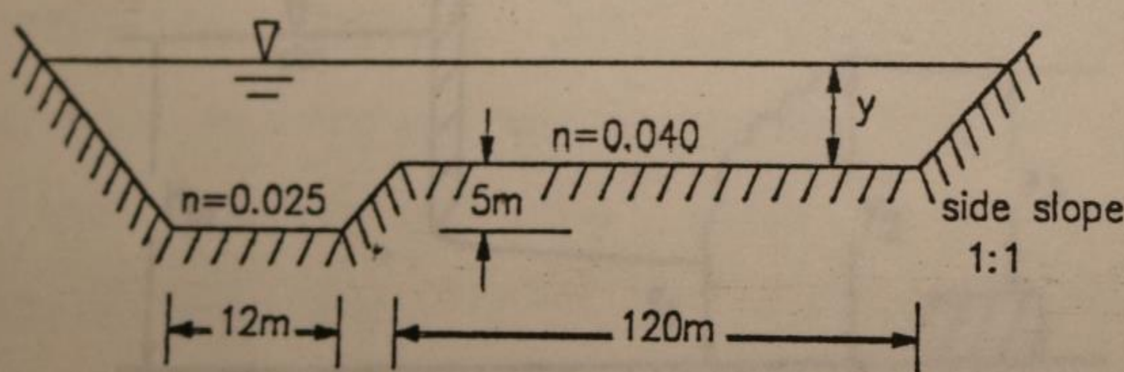
a) If the channel cross section is rectangular with depth equal to one-half the width, use $n = 0.020$

b) If the depth must be equal to twice the width (rectangular shape)

c) If the channel cross section is semi circular.

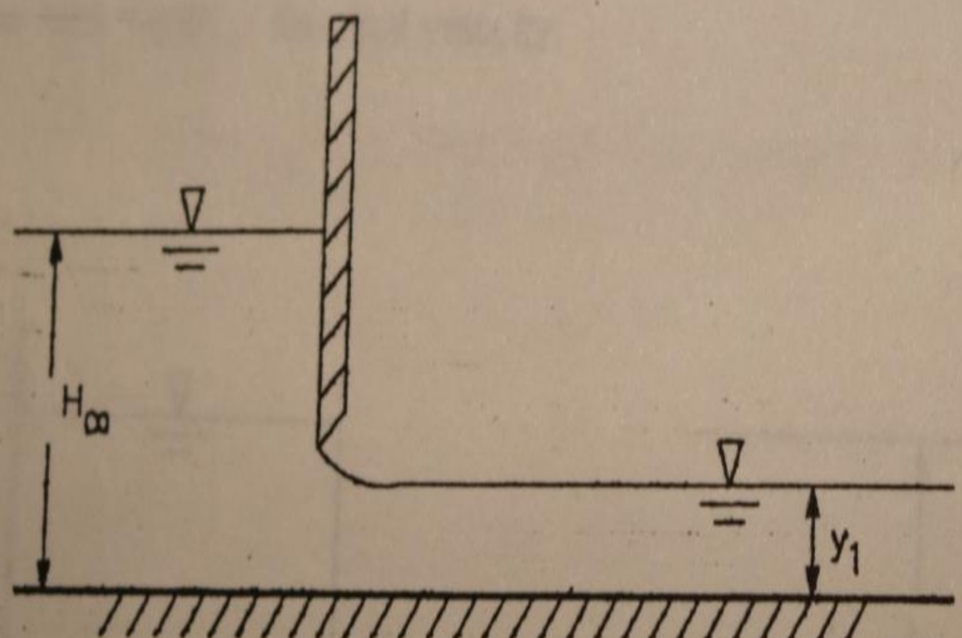
d) If the channel cross section is trapezoidal with depth equal to the width of the channel bottom and side slope of 1:1

2. Tabulate the discharge in steady flow through the channel and floodway in the figure, take s = 0.0010 and y = 2.438 m.



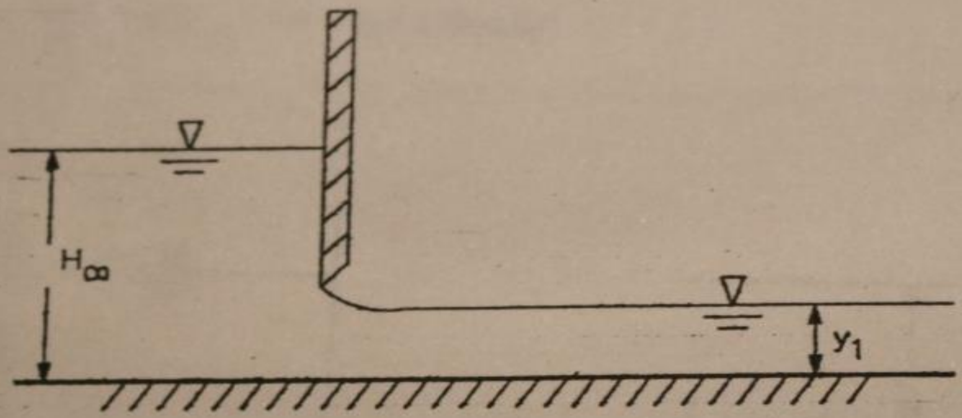
For Q = 25000 cfs through the section in the figure, find the depth of flow in the floodway. (i.e. evaluate y) in feet, when the slope of energy grade line is 0.0004

3. A large reservoir 5 m. deep has a rectangular sluice gate 1 m. wide . How does the volumn flow rate change as the sluice gate is raised . What is the maximum discharge and what is the gate openning at that time.



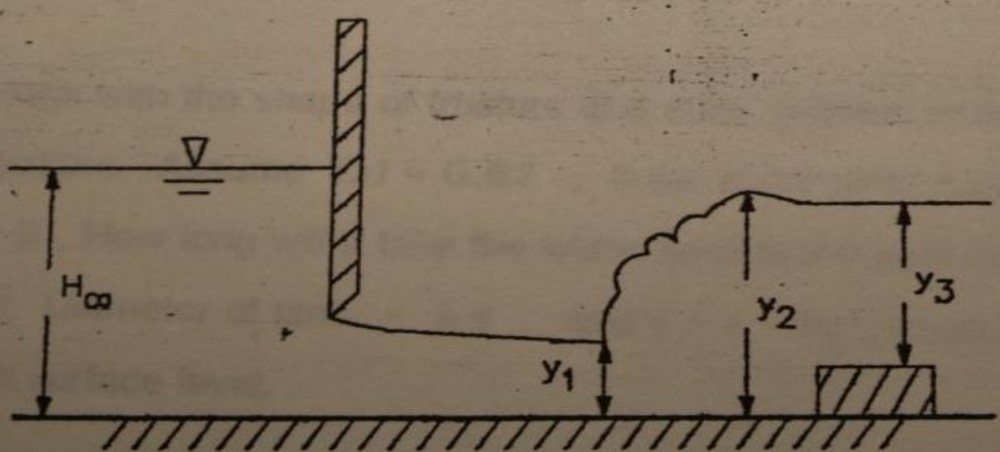
The flow can be made subcritical by placing a step downstream of the gate . Suppose the flow leaving the sluice gate is $y_1 = 0.5$ m. deep over the step.

3. A large reservoir 5 m. deep has a rectangular sluice gate 1 m. wide. How does the volumn flow rate change as the sluice gate is raised. What is the maximum discharge and what is the gate openning at that time.



The flow can be made subcritical by placing a step downstream of the gate.

Suppose the flow leaving the sluice gate is $y_1 = 0.5$ m. deep over the step.



4. The clean-earth ($n = 0.020$) channel in the figure is 6 m. wide and laid on a slope of 0.005236 Water flows at 30 m^3/s in the channel and enters a reservoir so that the channel is 3 m. just before the entry. Assuming gradually varied flow calculate the distance L