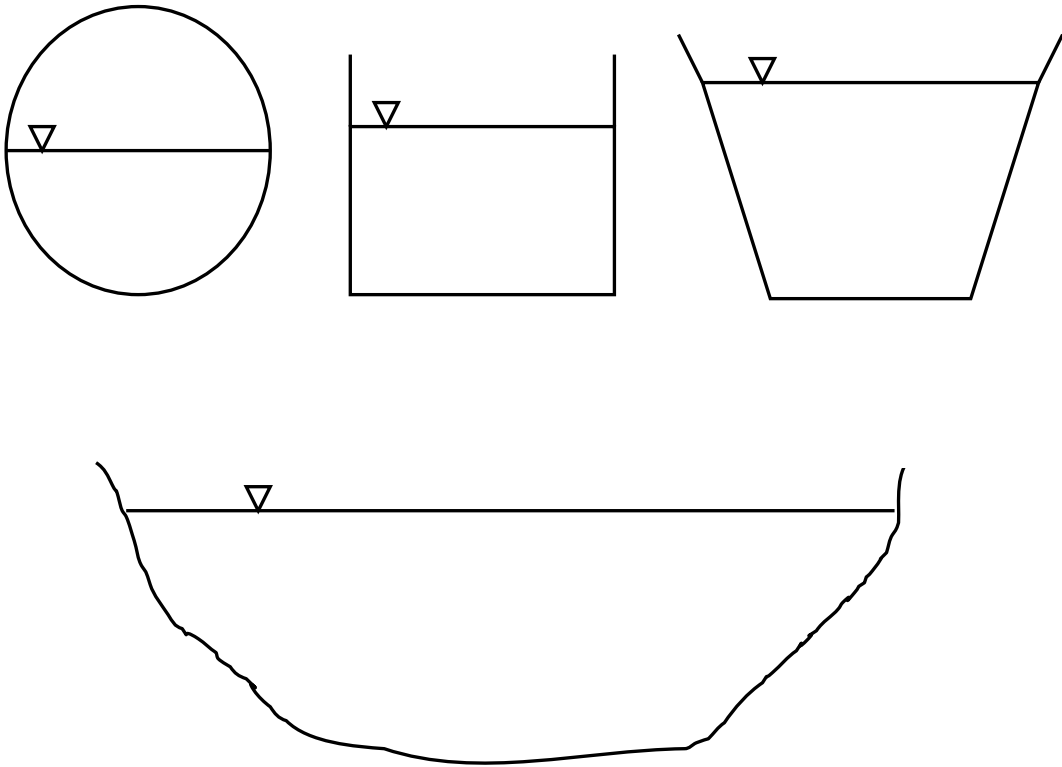


บทที่ 7 การไหลในทางน้ำเปิด

การไหลในทางน้ำเปิด คือ การไหลที่ผิวของเหลวนั้นเปิดสู่บรรยากาศ เช่น การไหลในแม่น้ำ ลำคลอง หรือการไหลในท่อแบบไม่เต็มท่อ เป็นต้น



7.1 การจำแนกประเภทของการไหล

7.1.1 เกณฑ์ของเวลา

Steady flow; $\frac{dV}{dt} = 0$ การไหลของน้ำนิ่ง

Unsteady flow; $\frac{dV}{dt} \neq 0$ ระดับของน้ำจะเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา

7.1.2 เกณฑ์ของระยะทาง

Uniform flow; $\frac{dV}{dx} = 0$

Non-Uniform flow; $\frac{dV}{dx} \neq 0$

ตามความเป็นจริงแล้วจะเกิดทั้งตาม Space and Time โดย

RVF = Rapidly Varied Flow

= ความลึกของการไหลเปลี่ยนทันทีทันใดจาก section หนึ่งไปสู่อีก section หนึ่ง

GVF = Gradually Varied Flow

= ความลึกของการไหลที่ค่อย ๆ เปลี่ยนจาก section หนึ่งไปสู่อีก section หนึ่ง

Steady Uniform Flow

Steady Non-uniform Flow

Unsteady Uniform Flow

Unsteady Non-uniform Flow

7.2 การแบ่งประเภทของการไหลในทางน้ำเปิด

Reynolds number (N_R) เป็นค่าที่ใช้แสดงรูปแบบการไหลของการไหลแบบราบเรียบ (Laminar flow) และการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent flow)

เมื่อ v = ความเร็วเฉลี่ยของการไหล

D = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ

ν = Kinematic viscosity

จากสมการดังกล่าวข้างบน สำหรับการไหลในทางน้ำเปิด

= Laminar flow

= Transition flow

= Turbulent flow

Froude number เป็นค่าที่ใช้แสดงรูปแบบการไหล Subcritical flow, Critical flow และ Supercritical flow

เมื่อ y_h = ความลึกชลศาสตร์ = $\frac{A}{T}$

T = ความกว้างของหน้าตัดการไหล

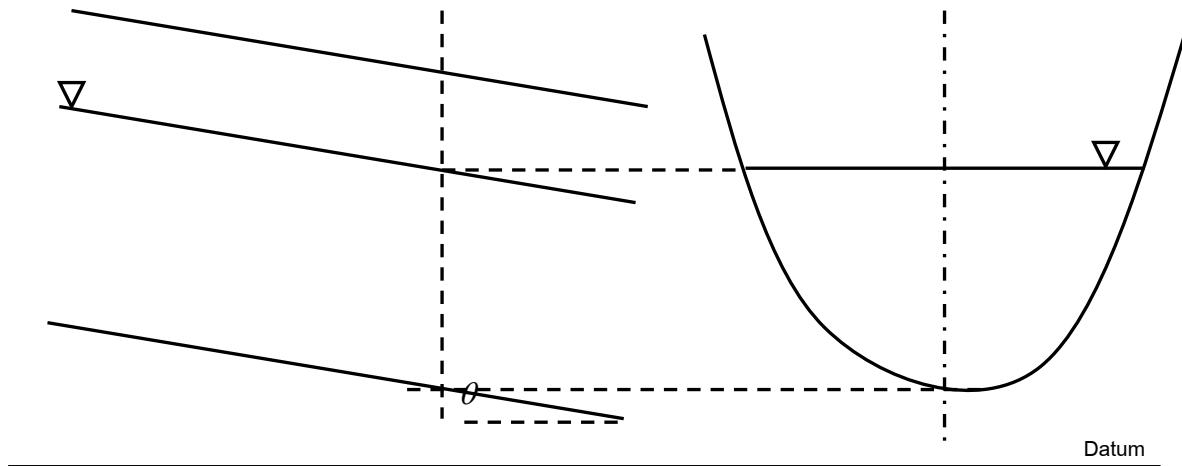
= Subcritical flow

= Critical flow

= Supercritical flow

7.3 สมการ Manning

การไหลสม่ำเสมอ (Uniform Flow) หรือการไหลปกติ (Normal flow) คือการไหลในทางน้ำเปิดที่มีหน้าตัดคงที่ตลอดแนวการไหล โดยมีความลึกเท่ากันในช่วงการไหลที่พิจารณา



Manning Eq.: ระบบ SI:

ระบบอังกฤษ:

เมื่อ n = สัมประสิทธิ์ความขรุขระของ Manning

R = รัศมีชลศาสตร์ = $\frac{A}{P}$

A = พื้นที่หน้าตัดการไหล

P = เส้นขอบเปียก

S = ความลาดชัน

สมการต่อเนื่อง:

เมื่อ A = พื้นที่หน้าตัดการไหล

v = ความเร็วเฉลี่ยของการไหล

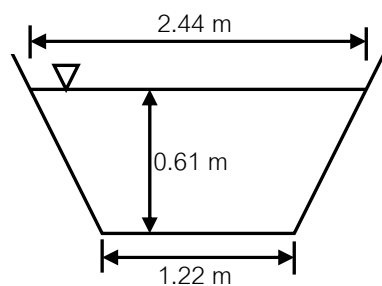
จากสมการ Manning Eq. และสมการต่อเนื่อง จะได้ว่า

ระบบ SI:

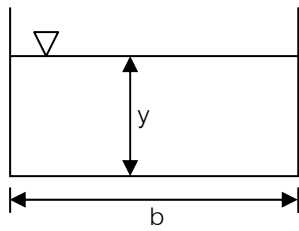
ระบบอังกฤษ:

ตัวอย่าง 7.1 จงคำนวณหาอัตราการไหลสำหรับท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในขนาด 200 mm และแนวท่อมีความลาดชัน = 0.001 และ $n = 0.013$

ตัวอย่าง 17.2 จงคำนวณหาความลาดชันที่น้อยที่สุดที่จะทำให้คลองรูปสี่เหลี่ยมคางหมูดังรูปสามารถส่งน้ำได้ด้วยอัตราการไหล $1.416 \text{ m}^3/\text{s}$ เมื่อ $n = 0.017$



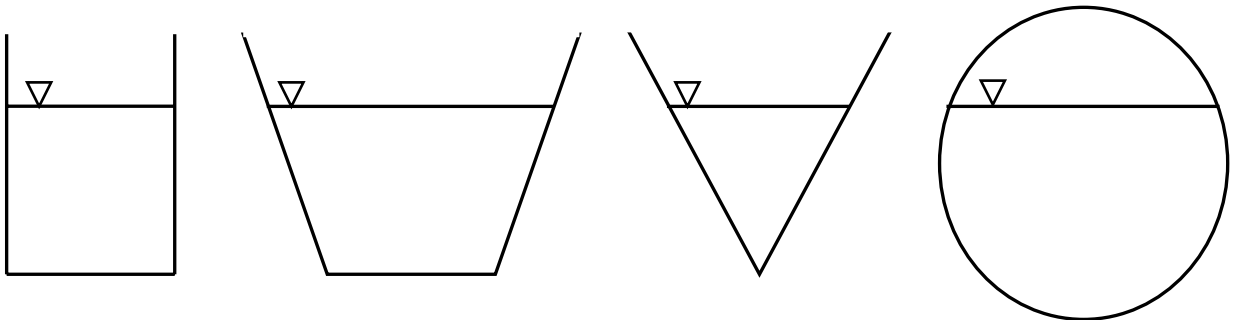
ตัวอย่าง 7.3 จงออกแบบคลองรูปสี่เหลี่ยมที่สามารถลำเลียงน้ำได้ $5.75 \text{ m}^3/\text{s}$ เมื่อ $n = 0.017$, $S = 1.2\%$ และ $b = 2y$



ตัวอย่าง 7.4 จากตัวอย่าง 7.3 จงคำนวณหาค่าความลึกของการไหล เมื่ออัตราการไหลสูงสุดเท่ากับ $12 \text{ m}^3/\text{s}$ และ $b = 2 \text{ m}$

7.4 ลักษณะทางเรขาคณิตของทางน้ำ

Section	Symbol	Rectangular	Trapezoidal	Triangular	Circular
Area	A	by	$(b + zy)y$	zy^2	$\frac{1}{8}(\theta - \sin \theta)D^2$
Wetted perimeter	P	$b + 2y$	$(b + 2y)\sqrt{1 + z^2}$	$2y\sqrt{1 + z^2}$	$\frac{1}{2}\theta D$
Hydraulic Radius	R	$\frac{by}{b + 2y}$	$\frac{(b + zy)y}{(b + 2y)\sqrt{1 + z^2}}$	$\frac{zy}{2\sqrt{1 + z^2}}$	$\frac{1}{4}\left(1 - \frac{\sin \theta}{\theta}\right)D$
Top width	B	b	$b + 2zy$	$2zy$	$D \sin \frac{\theta}{2}$
Hydraulic depth	D	y	$\frac{(b + zy)y}{(b + 2zy)}$	$\frac{y}{2}$	$\left(\frac{\theta - \sin \theta}{\sin \frac{\theta}{2}}\right) \frac{D}{8}$

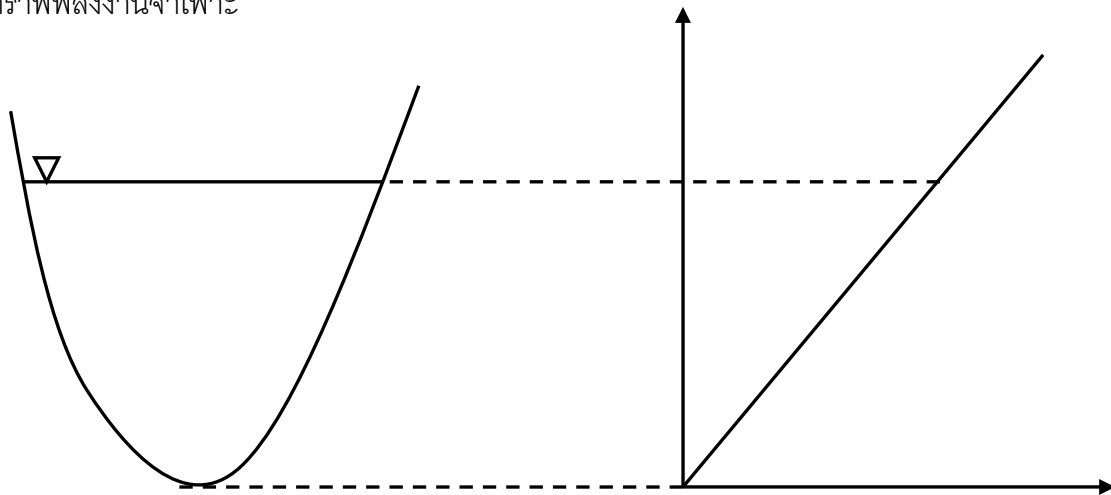


7.5 พลังงานจำเพาะ (Specific Energy)

จาก Total Head: $E = Z + y + \frac{\alpha V^2}{2g}$

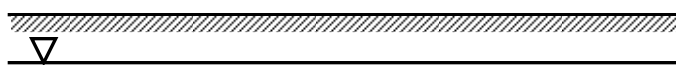
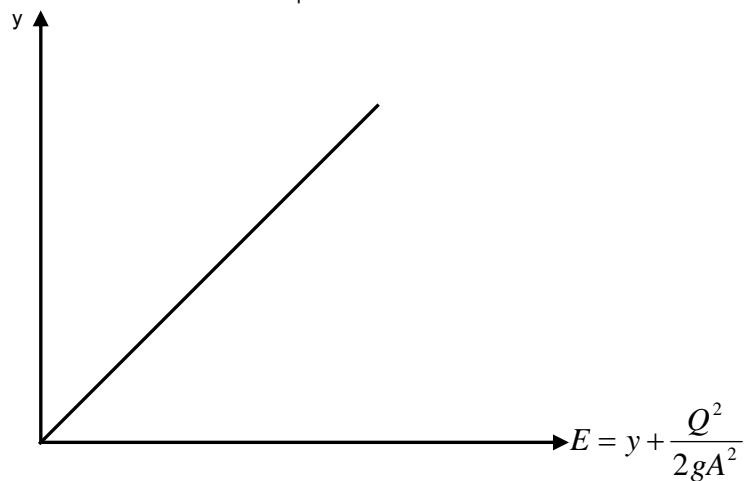
สำหรับ Open Chanel $E = y + \frac{\alpha Q^2}{2gA^2}$ เมื่อ $Z = 0$

จากสมการข้างต้น เมื่อสมมุติ y หลายค่า จะได้ E หลายค่า ซึ่งถ้า Q คงที่ $E \propto y, A$ ดังกราฟพลังงานจำเพาะ



y_c = Critical depth

ถ้า Q เปลี่ยนไป จะหาค่า E ได้ ถ้า plot กราฟจะได้



สรุป

1. เมื่อ $Q = 0$, $E=y$ เส้นกราฟเป็นเส้นตรงทำมุม 45°
2. เมื่อ $Q > 0$, E จะได้ค่าความลึก 2 ค่า (Alternate depth)
ค่ามาก หรือ y_1 เรียกว่า High stage
ค่าน้อย หรือ y_2 เรียกว่า Low stage
3. ที่ Critical flow จะมี Critical depth (y_c), Critical velocity (V_c), Critical discharge (Q_c), และ Critical slope (S_c),
4. ที่ Critical flow; $F_r = 1.0$
5. เมื่อ $y = y_1 > y_c$ เรียกว่า Subcritical flow $F_r < 1.0$
 $y = y_2 < y_c$ เรียกว่า Supercritical flow $F_r > 1.0$
6. สมการที่ใช้หาค่า y_c สำหรับทางน้ำเปิดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า

$$y_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}; q = \frac{Q}{b} = \text{อัตราการไหลต่อ 1 หน่วยความกว้าง}$$

$$F_r = 1 = \frac{V_c^2}{gy_c}$$

$$E_c = y_c + \frac{V_c^2}{2g} = y_c + \frac{y_c}{2} = \frac{3}{2} y_c$$

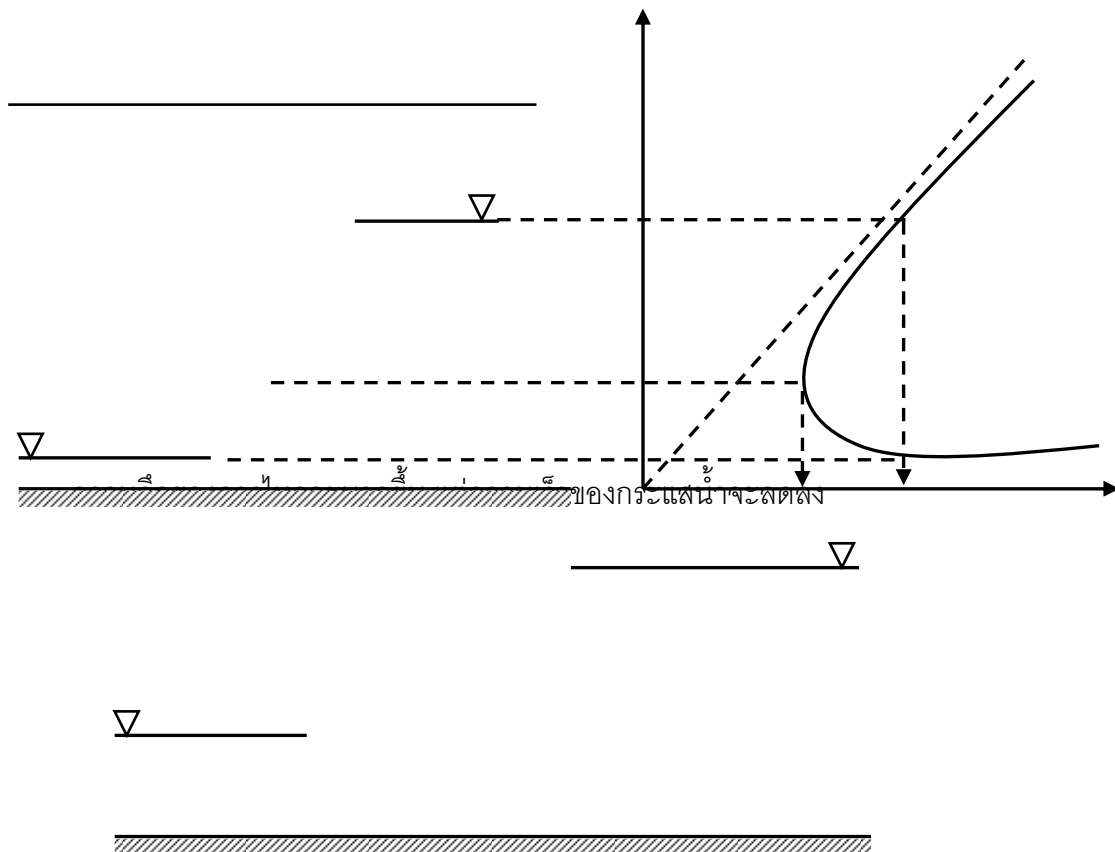
ตัวอย่าง 7.5 น้ำที่ถูกปล่อยจากประตูเข้าสู่ช่องทางการไหลรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้ากว้าง 1.5 m ที่ความลึก 0.6 m ด้วยความเร็ว 4.5 m/s จงหา

- (ก) ความลึกวิกฤตที่พลังงานจำเพาะนี้
- (ข) ความลึกวิกฤตที่อัตราการไหล
- (ค) ชนิดของการไหลและค่า Alternate depth

7.6 Hydraulic Jump

เป็นปรากฏการณ์ทางธรรมชาติของน้ำ มักจะเกิดขึ้นบริเวณท้ายฝายน้ำล้น ท่อลอด และประตูน้ำแบบไหลตลอดทั้งประตูบานตรงและประตูบานโค้ง

มีการเปลี่ยนแปลงสภาพการไหลจาก Supercritical flow เป็น Critical flow เป็น Subcritical flow



$$\text{สมการโมเมนตัม: } F_1 - F_2 - F_f = \rho Q(V_2 - V_1)$$

$F_f = 0$ คือ แรงเสียดทาน (ระยะทางในการเกิด Hydraulic jump ไม่มากจึงให้เป็นศูนย์)

สมการต่อเนื่อง:

ถ้าทราบ y_1 , V_1 หา y_2 ได้

ถ้าทราบ y_2 , V_2 หา y_1 ได้

Head Loss;

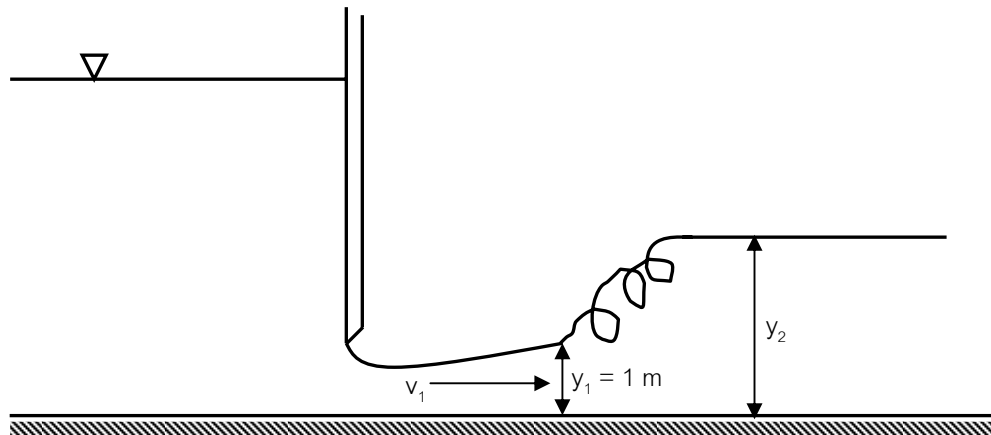
Momentum Eq. + Continous Eq.;

Hydraulic jump มีความสำคัญต่อ open Chanel ดังนี้

1. ทำให้การไหลมีการสูญเสียพลังงาน เช่น การไหลออกจากเขื่อน ฝ่ายน้ำล้น เป็นต้น
2. ยกกระดาน้ำให้สูงขึ้น สำหรับจ่ายน้ำให้คลองส่งน้ำ
3. เพื่ออัตราการไหลลดประตุน้ำ โดย Hydraulic jump จะรักษาระดับน้ำเดิมหลังประตุน้ำให้ต่ำ โดยไม่เกิดการไหลจมน้ำล้นประตุน้ำ (Submerged Flow)
4. ลดแรงดันจากน้ำใต้ดิน (Uplift pressure) ที่ต้นอาคารชลศาสตร์ โดยการทำให้ระดับน้ำบนอาคารสูงขึ้น
5. ช่วยในการผสมสารเคมี สำหรับบำบัดน้ำเสีย
6. ช่วยให้น้ำสัมผัสอากาศมากขึ้นและใช้ในขบวนการเติมคลอรีนในการชดน้ำเสีย
7. ช่วยขจัดฟองอากาศจากการไหลในทางน้ำเปิดรูปวงกลม
8. Hydraulic jump เกิดขึ้นที่ใด จะทำให้ระบุคุณสมบัติพิเศษของการไหลได้ เช่น การไหลเหนือหรือใต้วิกฤต ตำแหน่งหน้าตัดควบคุม เป็นต้น

ตัวอย่าง 7.6 จากรูป น้ำไหลออกจากอ่างเก็บน้ำด้วยอัตราการไหล $18 \text{ m}^3/\text{s}$ ไปยังคลองส่งน้ำรูปสี่เหลี่ยม โดยท้องคลองกว้าง 3 m เมื่อ ณ ที่ความลึก 1 m เกิด Hydraulic jump จงคำนวณ

- (ก) ความเร็วของการไหลก่อนการเกิด Hydraulic jump
- (ข) ความลึกการไหลหลังการเกิด Hydraulic jump
- (ค) ความเร็วของการไหลหลังการเกิด Hydraulic jump
- (ง) พลังงานที่สูญเสียไปจากการเกิด Hydraulic jump



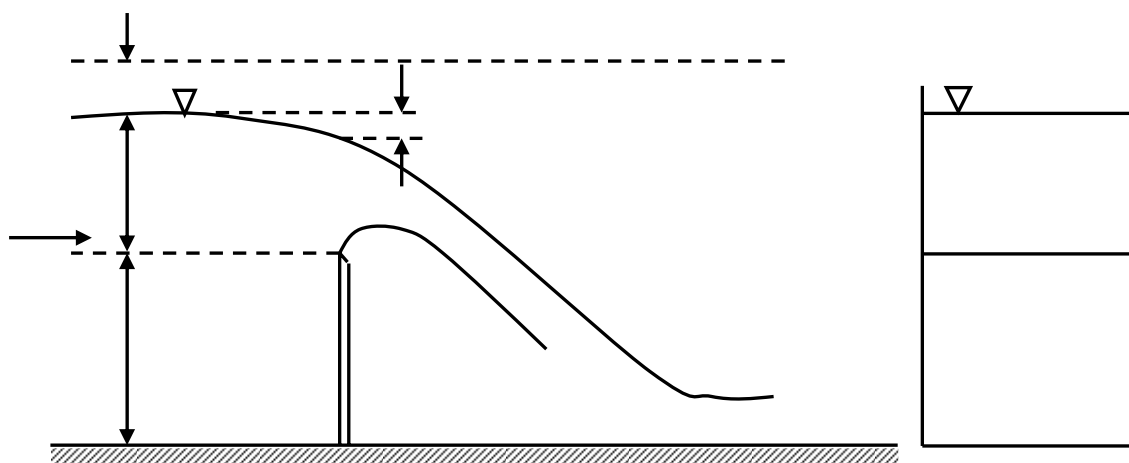
7.7 การวัดอัตราการไหลในทางน้ำเปิด

ในแม่น้ำหรือคลองธรรมชาติขนาดใหญ่ สามารถหาอัตราการไหลได้ โดยใช้เครื่องมือวัดกระแสน้ำ (Current meter) พร้อมกับเครื่องมือหยั่งความลึกของน้ำจุดต่าง ๆ ซึ่งอาจจะเป็นสายเทป หรือเครื่องมือวัดความลึกด้วยระบบคลื่นเสียงสะท้อน โดยหลักการหาอัตราการไหลจะเป็นการแบ่งพื้นที่ย่อยของทางน้ำเปิดแล้วหาความเร็วเฉลี่ยในแต่ละพื้นที่ย่อย จากนั้นก็จะหาอัตราการไหลในแต่ละพื้นที่ย่อย แล้วจึงรวมเป็นอัตราการไหลผ่านหน้าตัดทางน้ำที่ต้องการได้

7.7.1 ฝายวัดน้ำ (Weirs)

ฝายสันคมรูปสี่เหลี่ยม (Rectangular weir)

ฝายสันคมรูปสี่เหลี่ยมที่ใช้หาอัตราการไหลผ่านฝายจะมีผิวของฝายวัดน้ำทางด้านเหนือน้ำในแนวตั้ง และวางแนวตั้งฉากกับทิศทางการไหลดังภาพข้างล่าง โดยจะต้องมีความดันบรรยากาศบริเวณใต้แนวน้ำล้น (Nappe) และแนวทางน้ำควรอยู่ในแนวเส้นตรง โดยไม่มีสิ่งกีดขวางการไหล ซึ่งความสูงของระดับน้ำเหนือสันฝาย h จะต้องวัดที่ระยะห่างจากสันฝายไปทางด้านเหนือน้ำยังจุดที่มีระดับผิวน้ำอยู่ในแนวราบ เพื่อหลีกเลี่ยงผลของความโค้งของผิวน้ำในบริเวณใกล้ ๆ กับฝายวัดน้ำ



สมการมาตรฐานในการคำนวณอัตราการไหลผ่านฝายวัดน้ำรูปสี่เหลี่ยมที่ไม่มีการบีบด้านข้าง มีความสัมพันธ์กับความยาวสันฝายความลึกของการไหลเหนือสันฝาย และความเร็วในทางน้ำทางด้านเหนือฝาย ดังนี้

เมื่อ C_d = สัมประสิทธิ์อัตราการไหลขึ้นอยู่กับเงื่อนไขการไหลข้ามฝาย

L = ความยาวสันฝาย

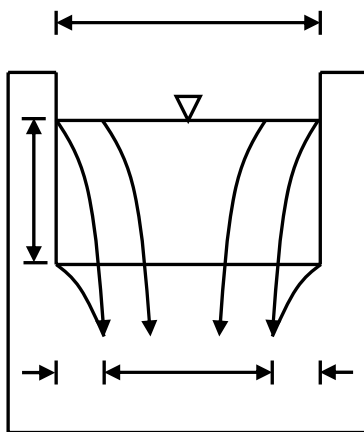
h = ความสูงของระดับน้ำเหนือสันฝาย

V_o = ความเร็วในทางน้ำเปิดทางด้านเหนือฝาย

ในกรณีที่ $P \gg h$ จะทำให้ $\frac{V_o^2}{2g} \Rightarrow 0$

ดังนั้น

สำหรับในกรณีที่ฝายวัดน้ำมีส่วนด้านข้างที่ขวางทางน้ำ

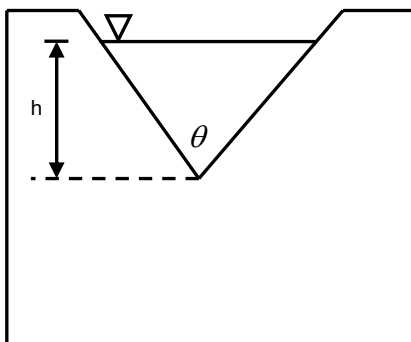


เมื่อ L' คือ ความยาวประสิทธิผลของสันฝายและ n คือ จำนวนด้านที่เกิดการบีบตัว (ในที่นี้มี $n=2$)

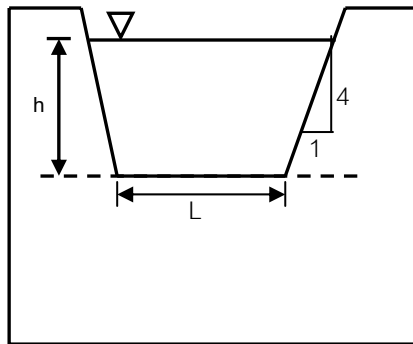
จากสมการข้างต้น จะสมมุติว่า การบีบตัวทางด้านข้างแต่ละด้านเท่ากับ 10% ของความสูงของระดับน้ำเหนือสันฝาย หรือเท่ากับ $0.1h$

ฝายสันคมรูปสามเหลี่ยม (Triangular weir)

ฝายสันคมรูปสามเหลี่ยมเป็นฝายสันคมที่ใช้สำหรับการไหลที่มีอัตราการไหลไม่มาก



ฝายสันคมรูปสี่เหลี่ยมคางหมู (Cipolletti weir)



ตัวอย่าง 7.7 ฝายสันคมรูปสี่เหลี่ยมคางหมูหนึ่งมี $C_w = 1.84$ และมีความสูง 1 m ถ้าวัดความสูงของระดับน้ำเหนือสันฝายได้ 0.5 m จงหาอัตราการไหล โดยไม่คิดผลของความเร็วด้านเหนือน้ำจะมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนต่างจากกรณีที่คำนวณโดยคิดความเร็วด้านเหนือน้ำเท่าไร

7.7.2 รางวัดน้ำ (Measuring flume)

ถ้ามีน้ำตะกอนแขวนลอยปะปนมาด้วย จะมีตะกอนบางส่วนตกทับถมและสะสมอยู่ทางด้านเหนือฝายวัดน้ำ เป็นผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสัมประสิทธิ์ฝายวัดน้ำ นอกจากนี้ ยังทำให้การใช้งานของฝายวัดน้ำมีการสูญเสียพลังงานมาก (Large head loss) ซึ่งการแก้ปัญหาในกรณีดังกล่าว สามารถทำได้โดยใช้รางน้ำเวนจูรี (Venturi flume) แทนฝายวัดน้ำ โดยรางน้ำแบบพาร์แชล (Parshall flume) ดังภาพข้างล่าง เป็นรางน้ำเวนจูรีแบบหนึ่งที่ถูกใช้กันมากในคลองชลประทาน

ลักษณะการไหลผ่านรางวัดน้ำแบบพาร์แชลนี้ โดยปกติจะเป็นการไหลแบบอิสระ (Free-flow) โดยมีความลึกวิกฤตที่สันฝาย และมีน้ำกระโดดที่หน้าตัดทางออก ซึ่งคอขวด (Throat) ของรางน้ำแบบพาร์แชล จะมีขนาดแปรเปลี่ยนตั้งแต่ความกว้าง $W = 3$ in จนถึง $W = 50$ ft อย่างไรก็ตาม รูปแบบและระยะต่าง ๆ ที่แสดงในภาพข้างล่างนี้เป็นกรณีที่มีคอขวดกว้าง 1 ft ถึง 8 ft ($0.30 \text{ m} \leq W \leq 2.4 \text{ m}$) โดยในกรณีที่คอขวดกว้าง 8 ft สามารถใช้วัดอัตราการไหลได้สูงถึง 140 cfs จะมีสมการอัตราการไหลผ่านรางน้ำแบบพาร์แชล ขึ้นอยู่กับความกว้างของคอขวด (W) และความลึกทางด้านเหนือน้ำ (h_a) ดังนี้

สำหรับหน่วยอังกฤษ

$$(W, h_a = \text{ft และ } Q = \text{cfs})$$

สำหรับหน่วย SI

$$(W, h_a = \text{m และ } Q = \text{cms})$$

สำหรับในกรณีที่รางน้ำแบบพาร์แชลที่มี 8 ft ถึง 50 ft ($2.4 \text{ m} \leq W \leq 15.20 \text{ m}$)

สำหรับหน่วยอังกฤษ

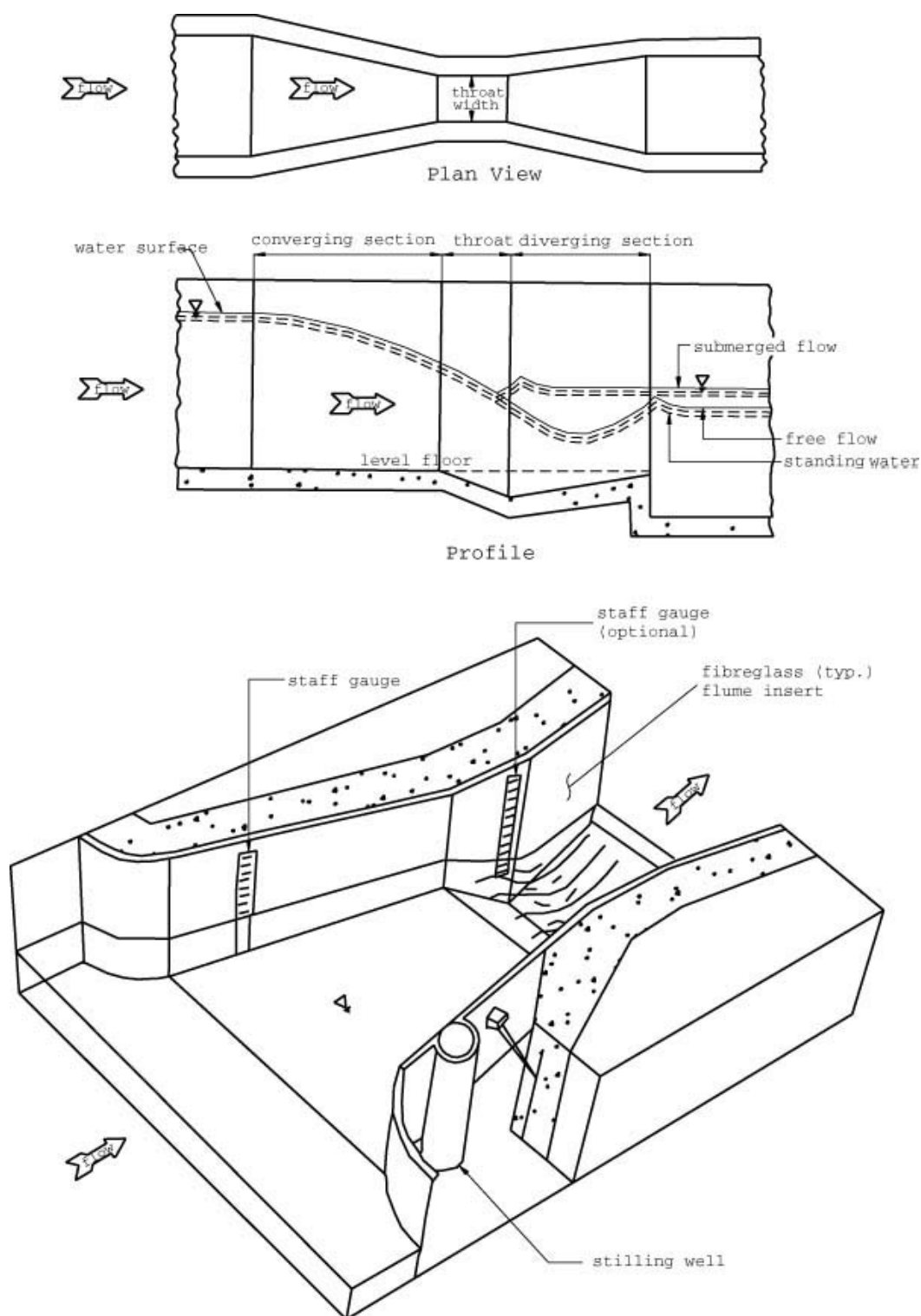
$$(W, h_a = \text{ft และ } Q = \text{cfs})$$

สำหรับหน่วย SI

$$(W, h_a = \text{m และ } Q = \text{cms})$$

ถ้าความลึกทางด้านท้ายน้ำมีมากจนท่วมน้ำกระโดด และเกิดการไหลแบบจมน้ำก็จะต้องวัดความลึก h_s แล้วจึงคำนวณอัตราการไหลใหม่ ในกรณีนี้จะทำให้อัตราการไหลลดลง

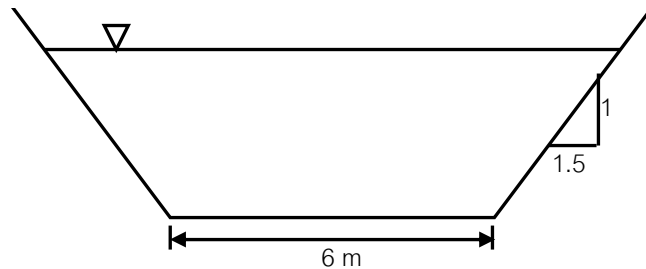
ในการติดตั้งหรือก่อสร้างรางน้ำแบบพาร์เซล ควรจะอยู่ในแนวที่มีทางน้ำตรง และมีสภาพการไหลสม่ำเสมอ (Uniform flow) โดยส่วนมากในงานชลประทานมักจะสร้างด้วยคอนกรีตธรรมดาและคอนกรีตเสริมเหล็ก แต่ถ้าเป็นการทดลองในห้องปฏิบัติการชลศาสตร์ทั่วไป ก็มักจะทำจากพลาสติกเพราะจะได้เห็นพฤติกรรมการไหลทั้ง 3 มิติ



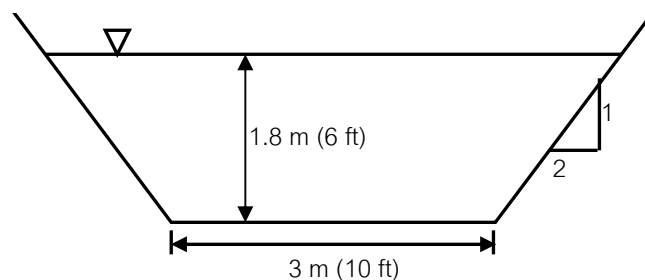
แบบฝึกหัดท้ายบท

1. คลองรูปสี่เหลี่ยมมีความกว้างท้องคลอง 20 ft และมีความลาดชัน $S = 0.0001$ จงคำนวณหาความลึกของการไหลเมื่อมีอัตราการไหล $400 \text{ ft}^3/\text{s}$ และ $n = 0.013$

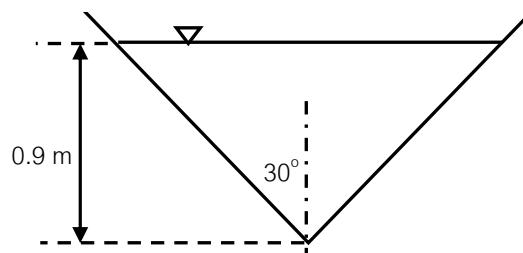
2. คลองรูปสี่เหลี่ยมคางหมู ดังรูป จงคำนวณหาความลึกของการไหลเมื่อมีอัตราการไหล $23 \text{ m}^3/\text{s}$, $n = 0.014$ และ $S = 0.33 \text{ m/Km}$



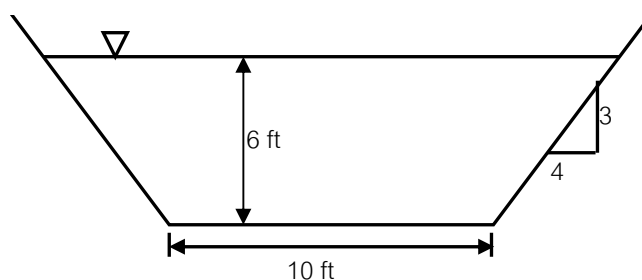
3. จงคำนวณหาอัตราการไหล ทั้งในหน่วย SI และหน่วยอังกฤษ สำหรับคลองรูปสี่เหลี่ยมคางหมู ดังรูป เมื่อ $S = 0.0001$ และ $n = 0.020$



4. จากรูป จงคำนวณหาอัตราการไหล เมื่อ $S = 0.01$ และ $n = 0.0120$

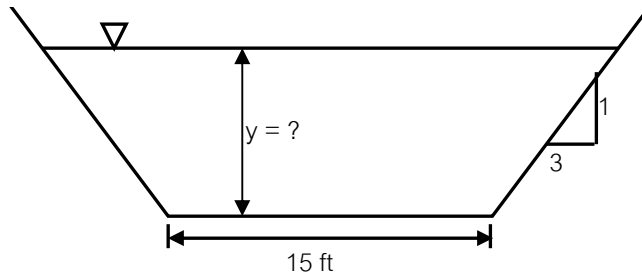


5. จากรูป เป็นรูปแบบของคลองรูปสี่เหลี่ยมคางหมูที่มีขนาดเท่าของจริง หากมีการจำลองแบบคลองนี้ด้วยอัตราส่วน 1:9 จงคำนวณหาอัตราการไหล ความกว้างท้องคลอง และ n ที่ต้องใช้ในการจำลองแบบนี้ เมื่อ $S = 0.0009$ และ $n = 0.030$



6. คลองรูปสี่เหลี่ยมที่มีความกว้างท้องคลอง 3.6 m อัตราการไหล $4.25 \text{ m}^3/\text{s}$, $n = 0.025$ และ $S = 1:4000$ จงคำนวณหาความลึกของการไหล

7. คลองรูปสี่เหลี่ยมคางหมู ดังรูป จงคำนวณหาความลึกของการไหล เมื่อ อัตราการไหล = 400 cfs, $S = 1:10,000$ และ $n = 0.025$

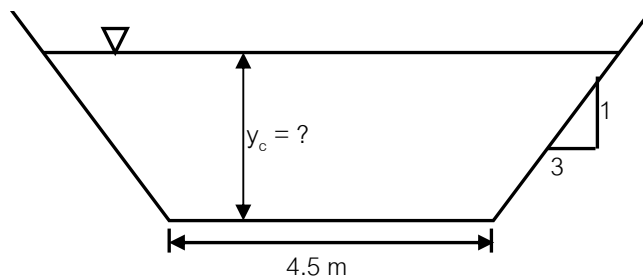


8. จงคำนวณหาพลังงานจำเพาะสำหรับคลองรูปสี่เหลี่ยมที่มีความกว้างท้องคลอง 10 ft และ อัตราการไหล 225 cfs เมื่อ มีความลึกการไหล (a) 1.5 ft (b) 3 ft และ (c) 6 ft

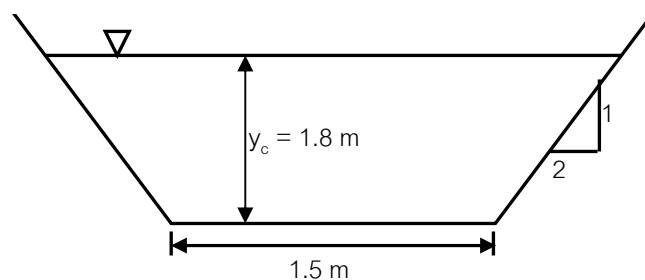
9. จงคำนวณหาความลึกของการไหลของคลองรูปสี่เหลี่ยมที่มีความกว้างท้องคลอง 1.8 m, อัตราการไหล $0.85 \text{ m}^3/\text{s}$ และพลังงานจำเพาะ 1.2 m

10. คลองรูปสี่เหลี่ยมที่มีความกว้างท้องคลอง 15 ft, ความลึกการไหล 4 ft และอัตราการไหล 500 cfs จงหาว่าการไหลในสภาวะนี้เป็นแบบ Subcritical flow หรือ Supercritical flow

11. จากรูป จงคำนวณหาความลึกวิกฤตและความลาดชันของแนวคลอง เมื่อ อัตราการไหล $11 \text{ m}^3/\text{s}$ และ $n = 0.020$



12. จากรูป เมื่อ $S = 0.002$ จงพิจารณาว่าการไหลนี้เป็นแบบ Subcritical flow หรือ Supercritical flow

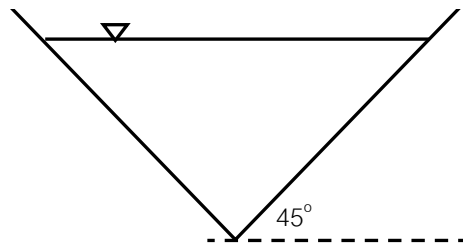


13. คลองรูปสี่เหลี่ยมที่มีความกว้างท้องคลอง 8 ft , $n = 0.015$, และ $S = 0.0035$ จากข้อมูลที่ให้มาข้างล่างนี้ จงหาว่าจุดที่ 1 และ 2 ห่างกันเท่าใด

	ความลึกการไหล	ความเร็ว	รัศมีชลศาสตร์	พลังงานจำเพาะ
หน้าตัด	(ft)	(ft/s)	(ft)	(ft)
1	3.00	15.00	1.715	6.49
2	3.20	14.06	1.775	6.26

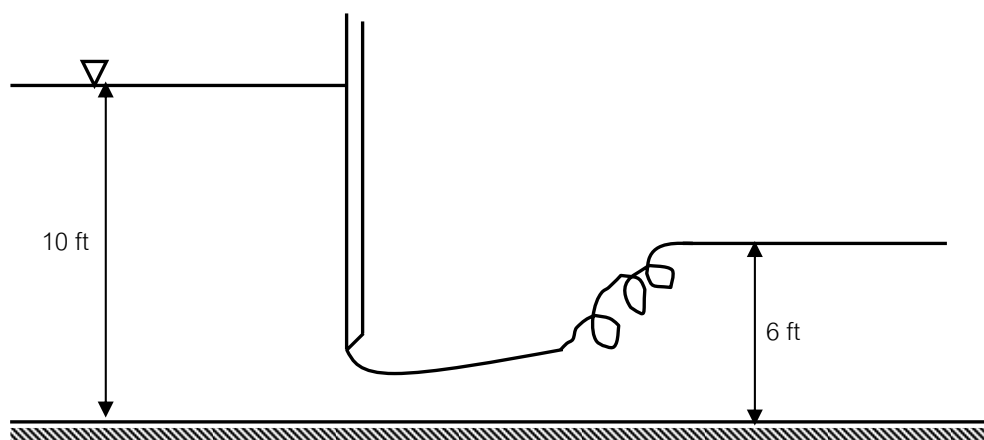
14. น้ำไหลในคลองรูปสี่เหลี่ยม แล้วเกิด Hydraulic jump เมื่อความลึกของการไหลก่อนและหลังการเกิด Hydraulic jump เท่ากับ 0.6 m และ 1.5 m ตามลำดับ จงคำนวณหาความลึกวิกฤต

15. น้ำไหลในคลองรูปสามเหลี่ยม (V-shaped) ดังรูป แล้วเกิด Hydraulic jump เมื่อความลึกของการไหลก่อนและหลังการเกิด Hydraulic jump เท่ากับ 0.9 m และ 1.2 m ตามลำดับ จงคำนวณหาอัตราการไหล



16. เมื่อเกิด Hydraulic jump ในคลองรูปสี่เหลี่ยม และความลึกของการไหลก่อนและหลังการเกิด Hydraulic jump เท่ากับ 3 ft และ 8 ft ตามลำดับ จงคำนวณหาพลังงานที่สูญเสียจากการเกิด Hydraulic jump นี้ เมื่อระยะทางของการเกิด Hydraulic jump เท่ากับ 200 ft

17. จากรูป เมื่อน้ำไหลจากอ่างเก็บน้ำเข้าสู่คลองส่งน้ำรูปสี่เหลี่ยมที่มีความกว้างท้องคลอง 5 ft จงคำนวณหาอัตราการไหล



18. ฝ่ายสันคมรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าแห่งหนึ่งมีความสูง 2 ft และความกว้าง 4 ft ถ้าผลการวัดความสูงของระดับน้ำเหนือสันฝายได้ค่าที่ได้ไม่ถูกต้องเท่ากับ 0.38 ft ในขณะที่ค่าที่ถูกต้องเท่ากับ 0.40 ft จงหาเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของอัตราการไหลผ่านฝ่ายสันคมนี้
19. น้ำไหลผ่านฝ่ายสันคมรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ($C_w = 3.30$) ที่มีความยาวสันฝาย 4 ft ด้วยอัตราการไหล 10 cfs จงหาว่า ถ้าระดับน้ำเหนือสันฝายผิด โดยวัดได้สูงกว่าค่าจริง 0.02 ft จะมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของการคำนวณอัตราการไหลเท่าไร
20. จากข้อ 19 แต่เป็นการไหลผ่านฝ่ายสันคมรูปสามเหลี่ยม ($C_d = 0.58$) ที่มีมุมสันฝาย 60°

คำตอบ

1. $y = 6.85 \text{ ft}$
2. $y = 1.77 \text{ m}$
3. $Q = 6.23 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q = 230 \text{ ft}^3/\text{s}$
4. $Q = 1.44 \text{ m}^3/\text{s}$
5. $Q_m = 1.56 \text{ ft}^3/\text{s}$, $S_{o,m} = S_{o,p} = 0.0009$, $n_{o,m} = 0.208$
6. $y = 1.95 \text{ m}$
7. $y = 7.05 \text{ ft}$
8. $y = 1.5 \text{ ft}$ $E = 4.99 \text{ ft}$
 $y = 3.0 \text{ ft}$ $E = 3.87 \text{ ft}$
 $y = 6.0 \text{ ft}$ $E = 6.22 \text{ ft}$
9. $y = 0.10, 1.19 \text{ m}$
10. Subcritical flow
11. $y_c = 0.72 \text{ m}$, $S_c = 0.00491$
12. ถ้า $n > 0.0136$ จะเป็น Subcritical flow, ถ้า $n < 0.0136$ จะเป็น Supercritical flow
13. $\Delta x = 34 \text{ ft}$
14. $y_c = 0.98 \text{ m}$
15. $Q = 2.46 \text{ m}^3/\text{s}$
16. $h_L = 1.30 \text{ ft}$, Power loss = 1924 hp
17. $Q = 145 \text{ ft}^3/\text{s}$
18. 7.5%
19. 3.63%
20. 2.30%