Lesson 11 Flow Measurement-2

Sucharit Koontanakulvong

Hydraulics 1

2017

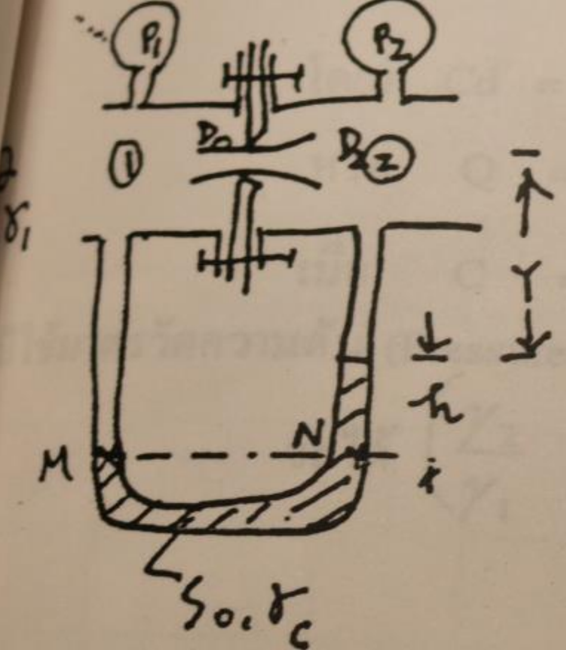
บทที่ 11 การวัดการไหล 2
(Flow Measurements)

การวัดการไหลในบทนี้จะอธิบายเกี่ยวกับอุปกรณ์หลักที่ใช้ในการวัดการไหล รวมทั้งสูตรที่ใช้ในการคำนวณ

เนื้อหา

1. ออร์ริฟิสมิเตอร์ (Orifice meter)
2. เวนจูรี่มิเตอร์ (Venturi meter)
3. หลอดพิทอท (Pitot tube)
4. นอสซ์ หรือฝาย (Notch & weir)
5. ประตูน้ำ

1. ***Orifice* Meter** เป็นเครื่องวัดอีกแบบหนึ่งที่ใช้วัดปริมาณการไหลในท่อประกอบด้วยแผ่นโลหะที่มีรูขอบคมที่ตรงกลางแผ่น (ดูรูปหน้า 4/23)



<u>การหาสูตรปริมาตรการไหล</u>

$$\frac{P_1}{\gamma_1} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma_2} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 \qquad \text{........(1)}$$

เนื่องจากอยู่ในระดับเดียวกัน $Z_1 = Z_2$

จะได้ $$\frac{P_1 - P_2}{\gamma_1} = \frac{V_2^2}{2g} - \frac{V_1^2}{2g} \qquad \text{........(2)}$$

จากสมการไหลต่อเนื่อง $V_1 A_1 = V_2 A_2$ ....(3)

แต่ $A_2 < A_0$ ให้ $A_2 = Cc\, A_0$ ....(4)

จากสมการที่ (3) และที่ (4) จะได้

$$V_1 = \frac{V_2 A_2}{A_1} = \frac{Cc\, A_0 V_2}{A_1} \qquad \text{........(5)}$$

แทนค่าในสมการที่ (2) จะได้

$$(P_1 - P_2)/\gamma = \left[1-(Cc\, Ao/A_1)^2\right] V_2^2/2g \qquad \text{........(6)}$$

จาก Differential Manometer ที่จุด M และ N ความดันเท่ากัน

S_o, γ_c

จากสมการที่ (3) และที่ (4) จะได้

$$V_1 = \frac{V_2 A_2}{A_1} = \frac{Cc\, A_0 V_2}{A_1} \quad \text{.........(5)}$$

แทนค่าในสมการที่ (2) จะได้

$$(P_1 - P_2)/\gamma = \left[1-(Cc\, Ao/A_1)^2\right] V_2^2/2g \quad \text{........(6)}$$

จาก Differential Manometer ที่จุด M และ N ความดันเท่ากัน

$$P_1 + \gamma_1 (y+h) = P_2 + \gamma_1 y + \gamma_2 h$$

$$\frac{P_1 - P_2}{\gamma} = \left[\frac{\gamma_2}{\gamma_1} - 1\right] h \quad \text{.........(7)}$$

แทนค่าในสมการ (6) จะได้ $V_2 = \sqrt{\dfrac{2g\left[\left(\gamma_2/\gamma_1\right)-1\right]h}{1-(Cc\, A_o A_1)^2}} = V_{2t}$ ....(8)

ให้ $V_{2a} = Cv\, V_{2t}$

$$Q = A_2\, V_{2a}$$

$$= (Cc\, A_o)(Cv\, V_{2t}) \quad \text{........(9)}$$

นค่าสมการ (9) ในสมการ (8) $Q = \dfrac{Cc\,Cv\,A_o\sqrt{2g\left[\left(\gamma_2/\gamma_1\right)-1\right]h}}{\sqrt{1-\left(Cc\,A_o/A_1\right)^2}}$

$$Q = \frac{Cd\;A_o\sqrt{2g\left[\left(\gamma_2/\gamma_1\right)-1\right]h}}{\sqrt{1-\left(Cc\,A_o/A_1\right)^2}}$$

โดยที่ $Cd = Cc\,Cv$

หรือ $Q = CA_o\sqrt{2g\left[\left(\gamma_2-\gamma_1\right)-1\right]h}$ ....(10)

เมื่อ $C = Cd\,/\sqrt{1-\left(Cc\,A_o/A_1\right)^2}$ = สปส. มาตรวัดแบบรูระบาย

ณีใช้มาตรวัดความดัน (Pressure Gage) ที่หน้าตัด (1) และ (2)

จะได้ $\left(\dfrac{\gamma_2}{\gamma_1}-1\right)h = \dfrac{P_1-P_2}{\gamma_1}$

$$Q = CA_o\sqrt{\frac{2g\left(P_1-P_2\right)}{\gamma_1}}$$

$$= CA_o\sqrt{2\Delta P/\rho} \qquad \text{..........(11)}$$

เมือ $\Delta P = P_1 - P_2$

$\rho = \gamma / g$

C หรือ K จากตาราง แนบ

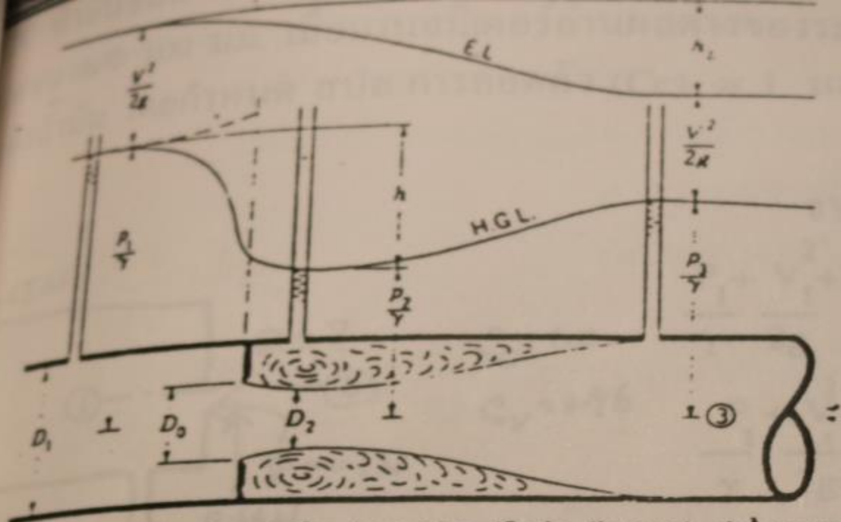
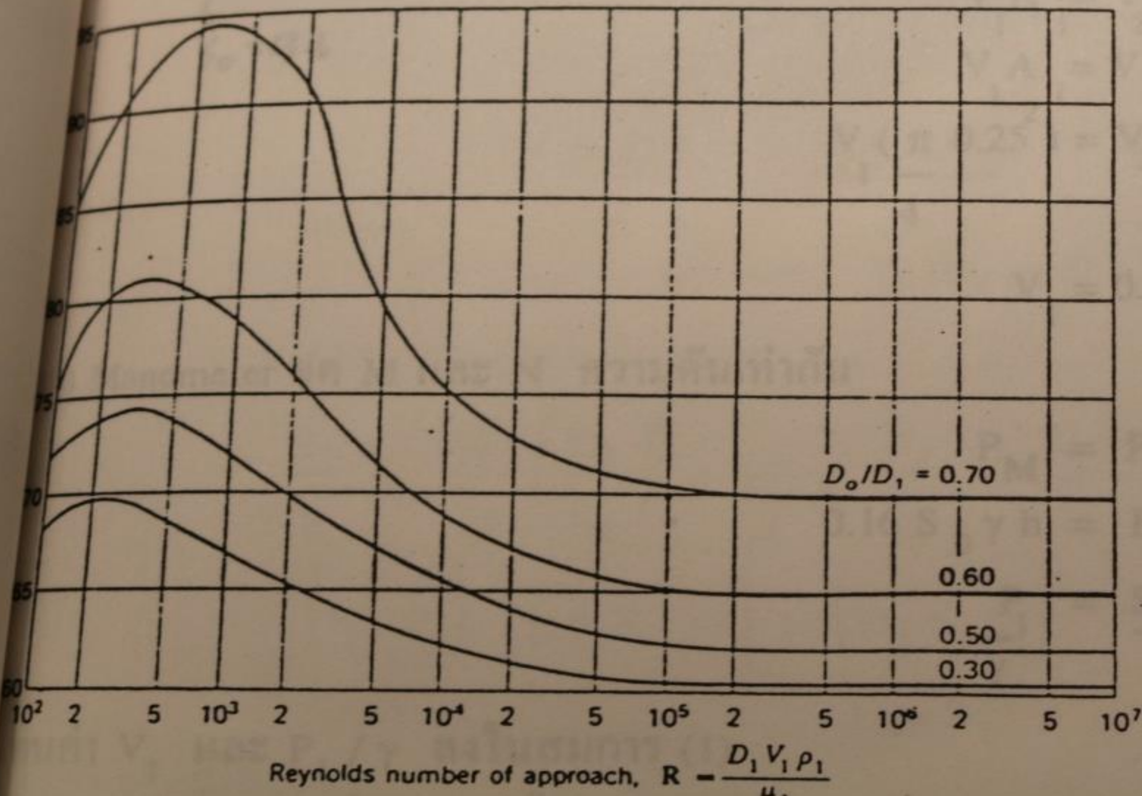
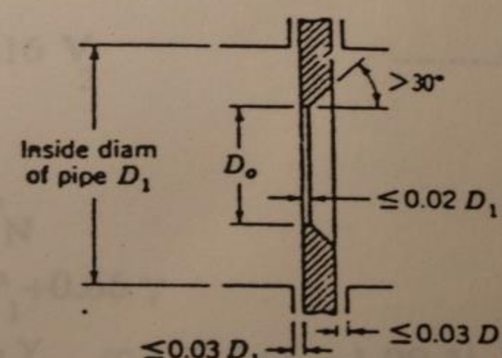


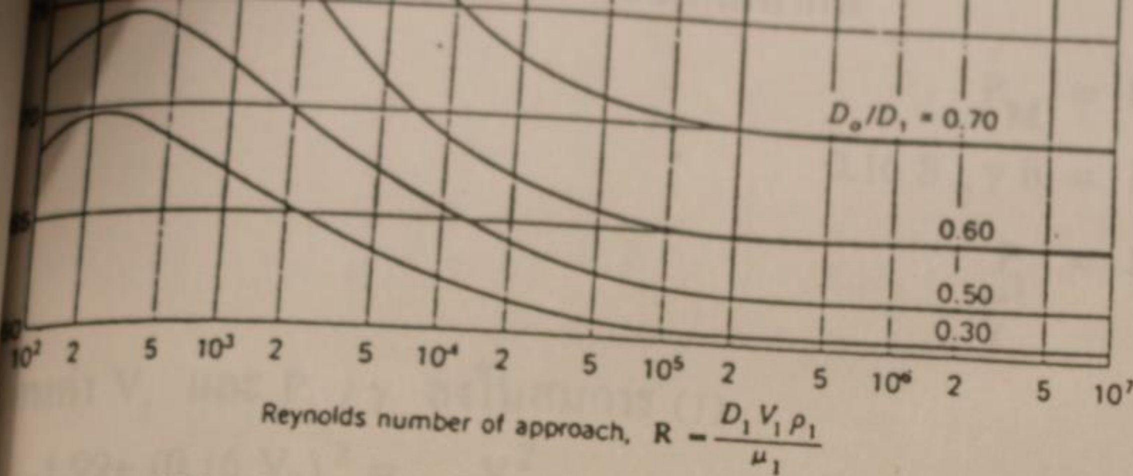
Figure Thin-plate orifice in a pipe. (Scale distorted: the region of eddying turbulence will usually extend 4 to 8 × D_1 dowstream depending upon the Reynolds number.)





$Q = KA_o\sqrt{2gh}$

$h = \Delta(z + p/\gamma)$



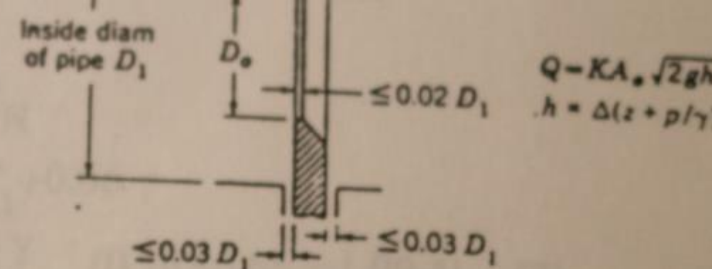


Figure VDI orifice meter and flow coefficients for flange taps. (*Adapted from NACA Tech. Mem.* 952.)

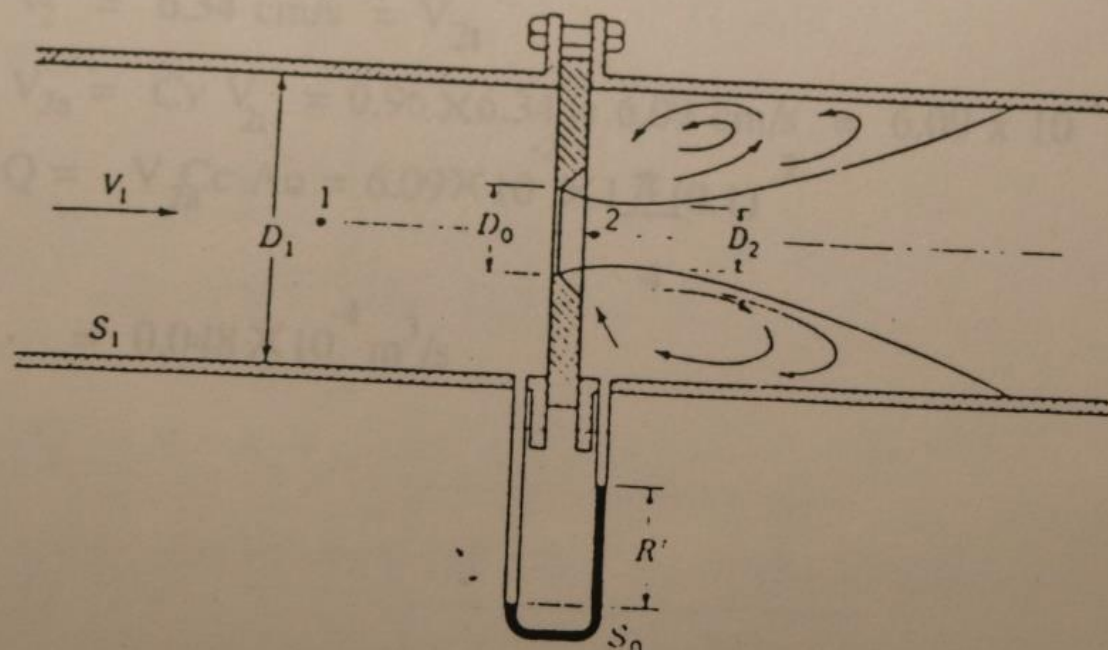
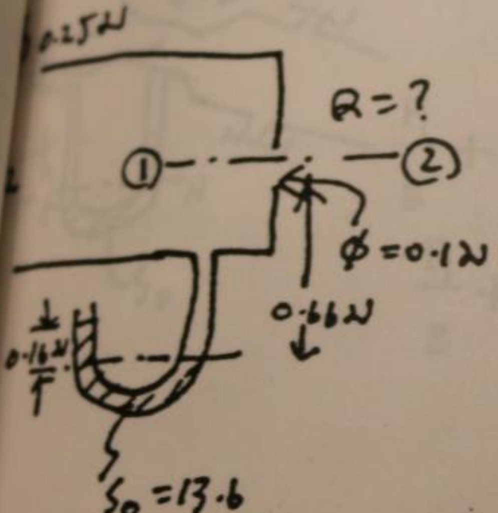


Fig. *Orifice in a pipe.*

Ex น้ำมันชนิดหนึ่งมีความถ่วงจำเพาะ 0.82 ไหลผ่านท่อขนาด Φ 250 มม. แล้วไปออกที่รูระบายขนาด Φ 100 มม. เมื่อมานอมิเตอร์อ่านผลต่างของระดับปรอทได้ 160มม.จงหาอัตราการไหลของน้ำมัน โดยกำหนด สปส.การคอดตัว (Cc) = 1 และ สปส.ความเร็ว (Cv) = 0.96



$C_c = 1.0$

$C_v = 0.96$

จากสมการระหว่างจุดที่ 1 และ 2

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

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + 0 = 0 + \frac{V_2^2}{2g} + 0 \qquad \text{..........(1)}$$

สมการไหลต่อเนื่อง

$$V_1 A_1 = V_2 A_2$$

$$V_1 A_1 = V_2\, Cc\, Ao$$

$$V_1 \left(\frac{\pi}{4} 0.25^2\right) = V_2 \times 1.0 \times \left(\frac{\pi}{4} 0.1^2\right)$$

$$V_1 = 0.16\, V_2 \qquad \text{..........(2)}$$

จาก Manometer จุด M และ N ความดันเท่ากัน

$$P_M = P_N$$

$S_o = 13.6$

$$V_1 A_1 = V_2 A_2$$

$$V_1 A_1 = V\, Cc\, Ao$$

$$V_1 \left(\frac{\pi}{4} 0.25^2\right) = V_2 \times 1.0 \times \left(\frac{\pi}{4} 0.1^2\right)$$

$$V_1 = 0.16\, V_2 \qquad \text{..........(2)}$$

จาก Manometer จุด M และ N ความดันเท่ากัน

$$P_M = P_N$$

$$0.16\, S_0 \gamma h = P_1 + 0.66\, \gamma$$

$$\frac{P_1}{\gamma} = \frac{S_o \gamma_w}{\gamma} (0.16) - 0.66 = 1.99 \text{ ม.} \quad ..(3)$$

แทนค่า V_1 และ P_1 / γ ลงในสมการ (1)

$$1.99 + \frac{(0.16\, V_2)^2}{2 \times 9.81} = \frac{V_2^2}{2 \times 9.81}$$

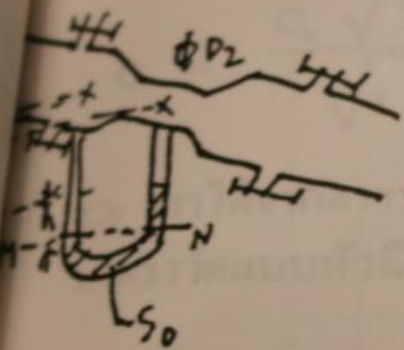
$$V_2 = 6.34 \text{ cm/s} = V_{2t}$$

$$V_{2a} = Cv\, V_{2t} = 0.96 \times 6.34 = 6.09 \text{ cm/s} = 6.09 \times 10^{-2} \text{ m/s}$$

$$Q = V_{2a} Cc\, Ao = 6.09 \times 10^{-2} \times 1 \frac{\pi}{4} (0.1)^2$$

$$= 0.048 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

Venturi Meter อุปกรณ์วัดอัตราการไหลในท่อ มีลักษณะเป็นท่อรูปกรวย ตัด 2 ท่อนมาต่อกัน ซึ่งจะช่วยลดการสูญเสียพลังงานได้มากกว่า Orifice Meter การวัดปริมาณ การไหล ก็อ่านจากผลต่างของระดับในมานอมิเตอร์



หาสมการหาอัตราการไหลของ Venturi Meter

จากสมการพลังงาน

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

$$\frac{P_1}{g} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_1}{g} + \frac{V_1^2}{2g} + 0 \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

จากสมการไหลต่อเนื่อง

จะได้

$$\frac{V_1\, p\, D_1^2}{4} = \frac{V_2\, p\, D^2{}_2}{4} \qquad \ldots\ldots\ldots (2)$$

$$V_1 = V_2\,(D_2 / D_1)^2$$

แทนค่าสมการ (2) ลงในสมการ (1)

$$\frac{P_1}{g} + \frac{V_1^2}{2g}\left(\frac{D_2}{D_1}\right)^4 . + Z_1 = \frac{P_2}{g} + \frac{V_2^2}{2g}$$

$$\left(P_1 - P_2\right) / g + Z = \left[1 - \left(D_2 - D_1\right)^4\right] V_2^2 / 2g \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

แทนค่าสมการ (2) ลงในสมการ (1)

$$\frac{P_1}{g} + \frac{V_1^2}{2g}\left(\frac{D_2}{D_1}\right)^4 + Z_1 = \frac{P_2}{g} + \frac{V_2^2}{2g}$$

$$\left(P_1 - P_2\right) / g + Z = \left[1 - \left(D_2 - D_1\right)^4\right] V_2^2 / 2g \qquad \text{..........(3)}$$

เนื่องจาก

$$P_M = P_N$$

$$P_1 + S_1 \gamma_w (z+y+h) = P_2 + S_2 \gamma_w Y + So\, \gamma_w h$$

$$(P_1 - P_2) / \gamma + Z = h(So/S - 1) \qquad \text{..........(4)}$$

แทนค่าสมการ 4 ลงในสมการ 3 จะได้

$$V_2 = \frac{\sqrt{2gh\left(S_0 / S_1 - 1\right)}}{\sqrt{1 - \left(D_2 - D_1\right)^4}} = V_{2t}$$

$$V_{2a} = Cv\, V_{2t}$$

$$Q = A_2 V_{2a} = A_2 Cv\, V_{2t}$$

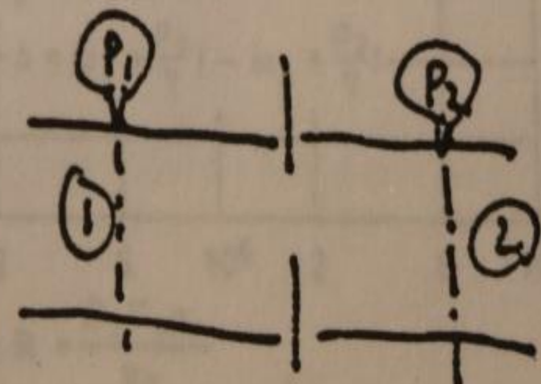
$$Q = \frac{Cv\, A_2 \sqrt{2gh\left(S_0 / S_2 - 1\right)}}{\sqrt{1 - \left(D_2 / D_1\right)^4}} \qquad \text{.........*}$$

กรณีใช้ Pressure Meter

จะได้ $$h\,(S_0 / S_1 - 1) = \left(P_1 - P_2\right) / \gamma\, g + Z$$

$$Q = \frac{C_v \sqrt{2g\left(\Delta P / \gamma + Z\right)}}{\sqrt{1 - \left(D_2 / D_1\right)^4}} \quad \text{..........*} \quad \Delta P = P_1 - P_2$$

Cv หาได้จากตารางความสัมพันธ์ Cv และ Re ดังรูปแนบ เช่นเดียวกับกรณีมาตราวัดแบบหัวฉีด (Flow Nozzle)



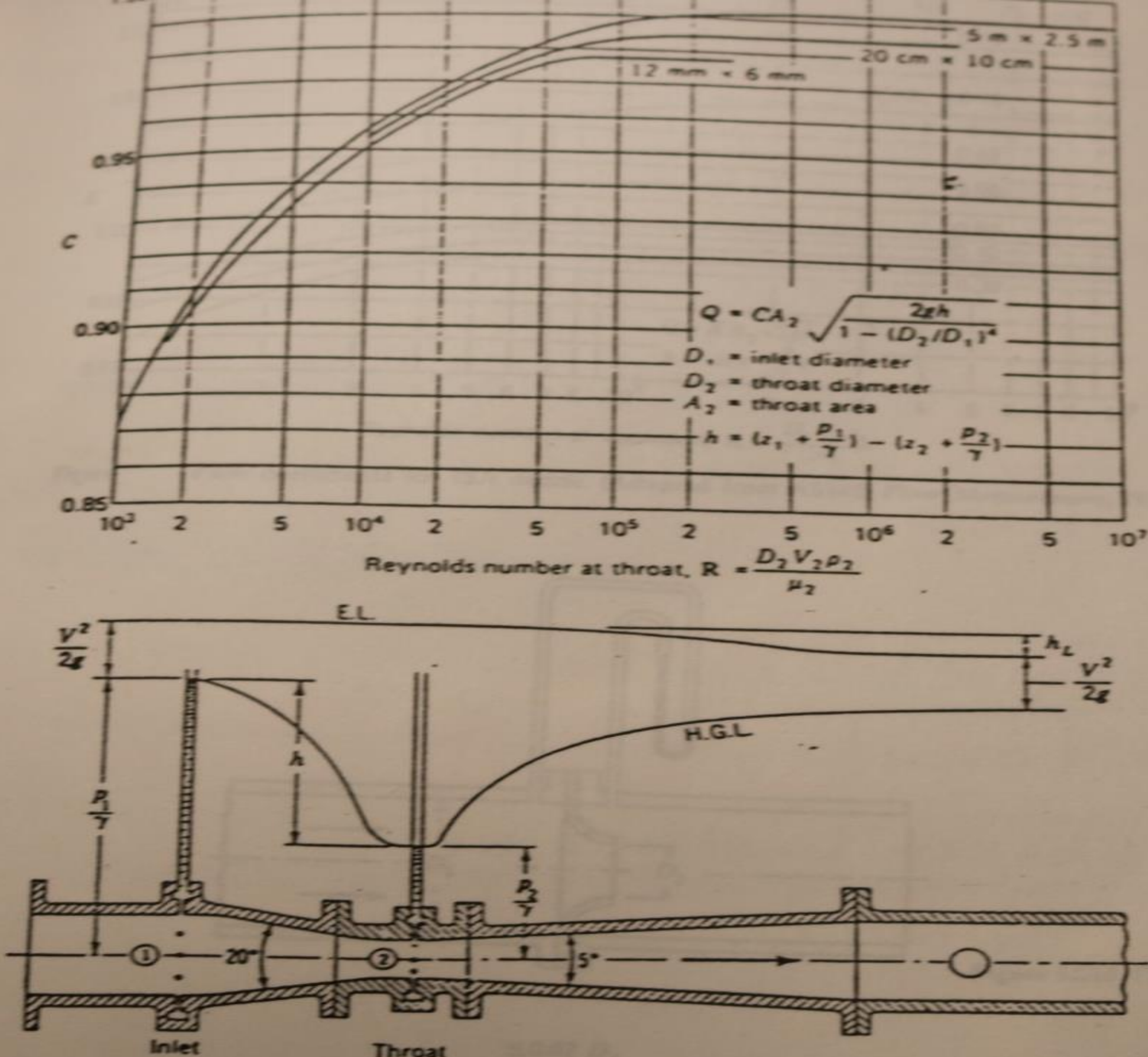


Figure Venturi meter with conical entrance and flow coefficients for $D_2/D_1 = 0.5$.

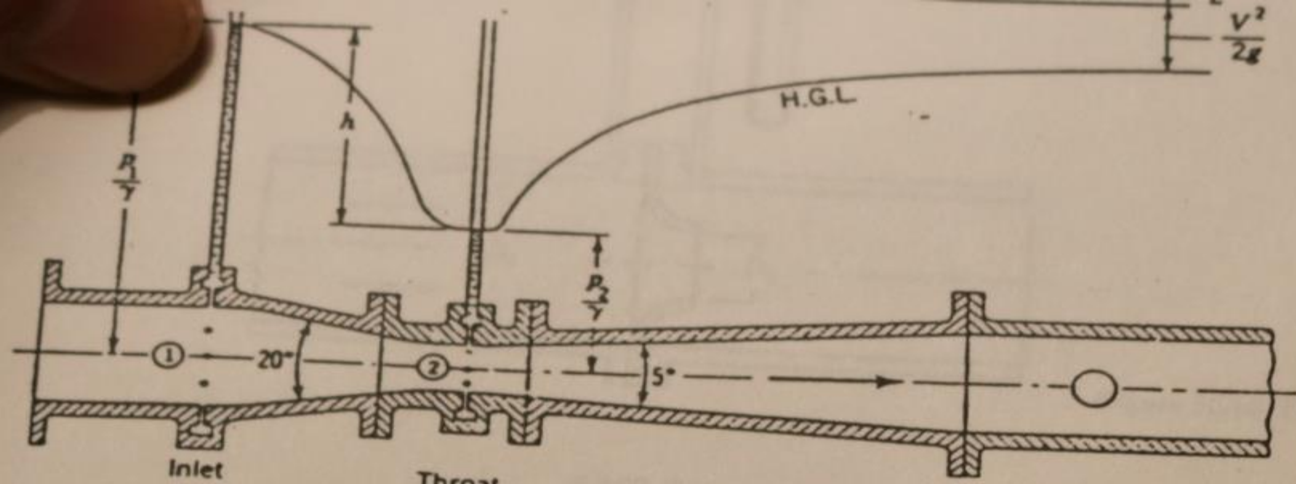


Figure Venturi meter with conical entrance and flow coefficients for $D_2/D_1 = 0.5$.

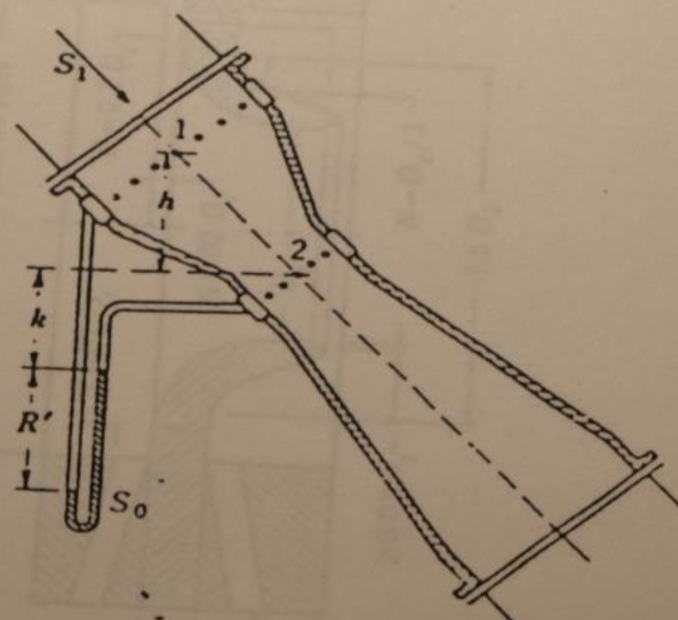


Fig. *Venturi meter.*

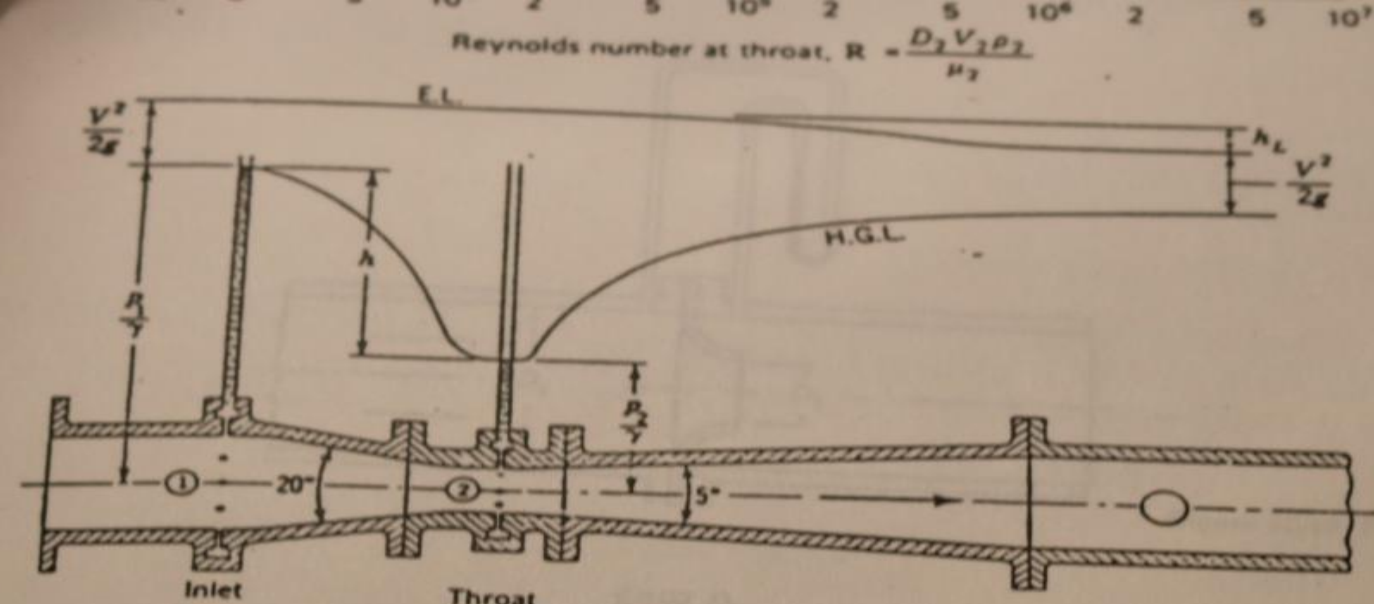
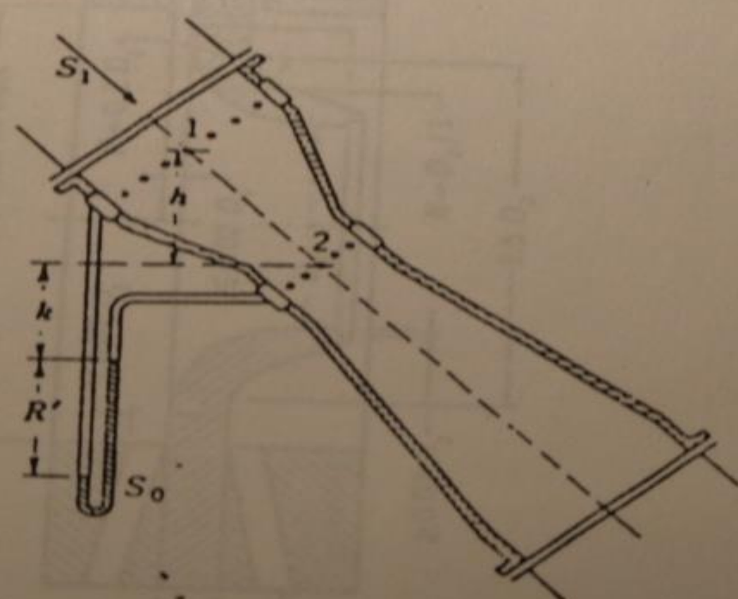


Figure Venturi meter with conical entrance and flow coefficients for $D_2/D_1 = 0.5$.



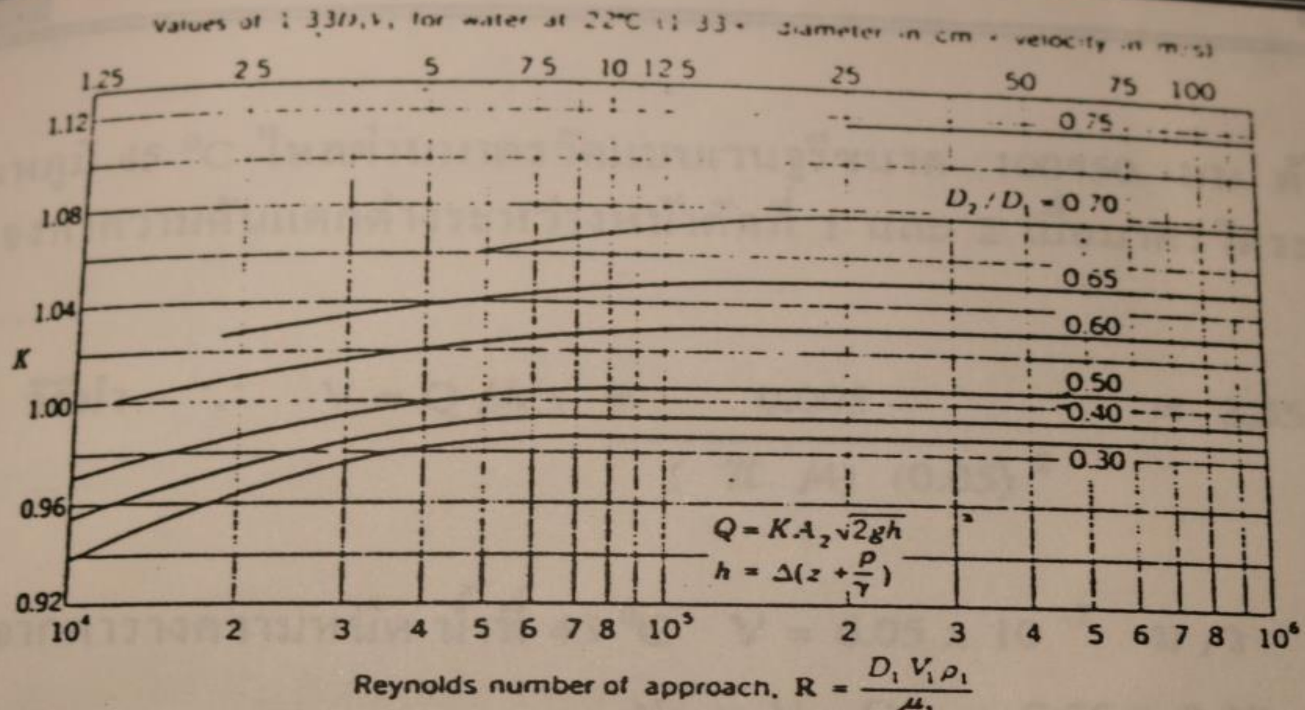
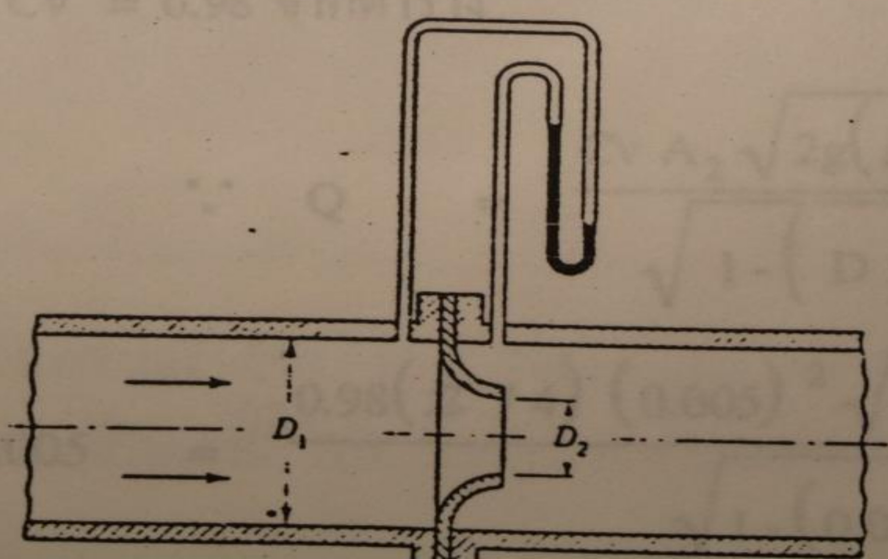


Figure Flow coefficients for ISA nozzle. (Adapted from ASME *Flow Measurement*, 1959.)



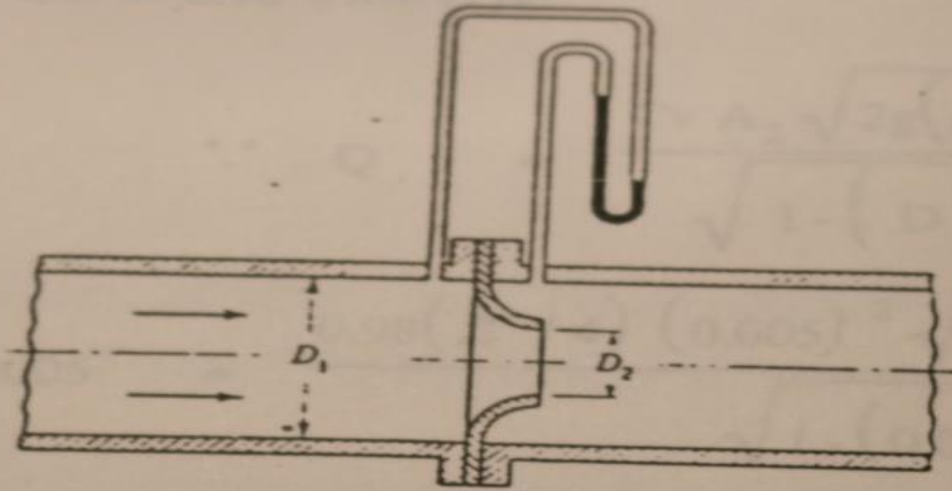
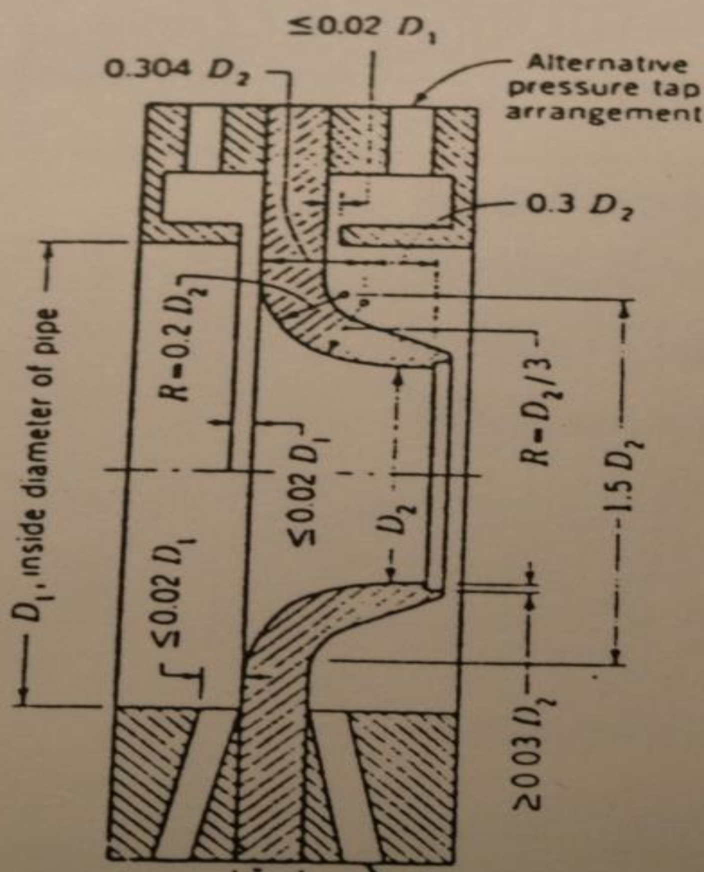


Figure 12.19 Flow nozzle.



EX น้ำที่อุณหภูมิ 45 °C ไหลผ่านมาตรวัดแบบเวนจูรีขนาด 100*50 มม. ด้วยอัตราการไหล 5 ลิตร/วินาที จงหาความดันแตกต่างระหว่างหน้าตัดที่ 1 และ 2 เมื่อมาตรวัดระบบเวนจูรีวางอยู่ในแนวราบ

วิธีทำ $\because$ $V = Q/A_2 = \dfrac{0.005}{(\pi/4)(0.05)^2} = 2.55$ ม/ว

จากตารางความหนืด น้ำที่ 45 °C $\nu = 6.05 \times 10^{-7}$ ม/ว

$$N_r = \frac{V_2 D_2}{\nu} = \frac{2.55 \times 0.05}{6.05 \times 10^{-7}} = 2.11 \times 10^5$$

จะได้ค่า $C_v = 0.98$ จากตาราง

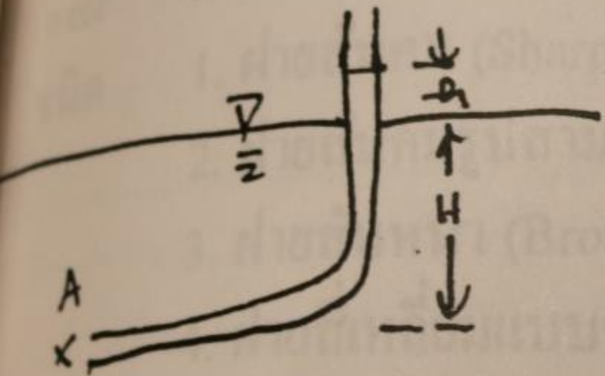
$$\because \quad Q = \frac{C_v A_2 \sqrt{2g\left(\Delta P/\gamma + Z\right)}}{\sqrt{1-\left(D_2/D_1\right)^4}}$$

$$0.005 = \frac{0.98(\pi/4)(0.005)^2\sqrt{2 \times 9.8\left(\Delta P/9.81 + 0\right)}}{\sqrt{1-\left(0.05/0.1\right)^4}}$$

ΔP = 3.16 kPa <u>Ans</u>

8 Pitot Tube เครื่องมือวัดความเร็วของของไหลที่กำลังไหลจะมีปลายโค้งงอ 90° ประดิษฐ์โดย Henri pitot ในปี 1732

การหาสมการของหลอดพิทอทหาได้ จากสมการพลังงาน



$$\frac{Pa}{\gamma} + \frac{Va^2}{2g} + Za = \frac{Pb}{\gamma} + \frac{V_b^2}{2g} + Zb$$

$$(h+H) + 0 + 0 = H + \frac{V_b^2}{2g} + 0$$

$$\frac{V_b^2}{2g} = h$$

ให้ K: สปส.ของ Pitot Tube
$$K\frac{V_b^2}{2g} = h$$

$$V_b = \frac{\sqrt{2gh}}{K} = \frac{\sqrt{2g}}{\frac{K}{\sqrt{h}}}$$

$$V = C\sqrt{h}$$ .....*C : constant

EX จากการทดลองวัดความเร็วด้วย Pitot Tube และวัดความเร็วของกระแสน้ำจริงเปรียบเทียบได้ค่าดังตารางข้างล่างนี้ ให้หาค่าคงที่ของ Pitot Tube ที่ทำการวัด

V	1.86	2.96	4.20	6.47	7.97	cm/s
h	0.756	1.72	3.50	9.12	14.40	cm
$\sqrt{h}$	0.87	1.31	1.87	3.02	3.80	

ลากเส้นกราฟตัดจุด origin จะหาค่าคงที่ C ได้ เลือกจุดที่เหมาะสมจากเส้นตรงที่ลากขึ้น แทนค่าหาค่าคงที่ได้ดังนี้

ให้จุด B เท่ากับ (8,3.7)

$$C = \sqrt{\frac{2g}{K}} = \frac{V}{\sqrt{h}} = \frac{8}{3.7} = 2.162$$

สมการของ Pitot Tube เครื่องนี้ จะเท่ากับ

$V = 2.162\sqrt{h}$ (cm/s) เมื่อ h มีหน่วยเป็น cm

h:cm

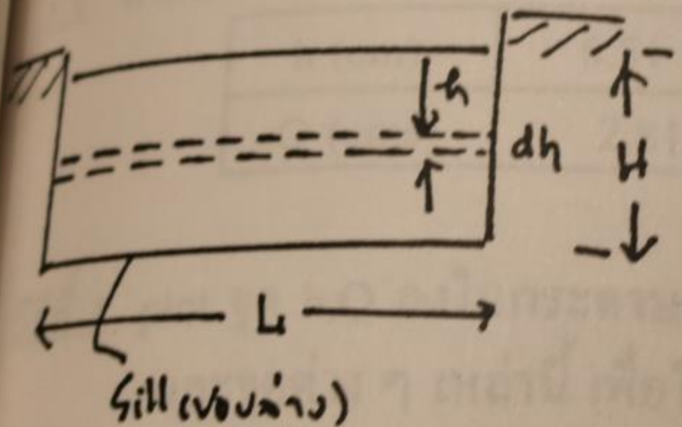
4. Notch and Weir

Notch เป็นออร์ริฟิสอย่างหนึ่งที่ระดับผิวน้ำอยู่ต่ำกว่าขอบบน

weir เป็นทำนบกั้นน้ำประเภทหนึ่งที่น้ำไหลท่วมด้านบน

ชนิด
1. ฝายสันคม (Sharp-crested weir)
2. ฝายสันคมรูปสามเหลี่ยม (Triangular weir)
3. ฝายสันหนา (Broad-crested weir)
4. ฝายสี่เหลี่ยมแบบจม (Submerged rectangular weir)

1 Rectangular Notch or Sharp crested weir



เมื่อน้ำไหลผ่านน็อซหรือฝายเกิดการลดขนาดหรือความลึก จะมีแรงต้านอันเนื่องมาจากแรงเสียดทาน ทำให้ปริมาณการไหลจริง(Qa)ต่างจากปริมาณการไหลตามทฤษฎี (Qt)

ให้ L : ความกว้างของน็อซ

H : ความสูงที่ระดับผิวน้ำอยู่เหนือขอบล่าง

Cd : สปส. แห่งการไหล

ปริมาณน้ำที่ไหลผ่าน dh = พื้นที่แถบเล็ก x ความเร็วกระแสน้ำ

$$dQt = Ldh\sqrt{2gh}$$

ปริมาณที่ไหลจริง

$$\int_0 dQa = Cd\ Ldh\sqrt{2gh}$$

$$Q = Cd\ L\sqrt{2g}\int_0^H h^{\frac{1}{2}}\ dh$$

การหาค่าคงที่

ปริมาณน้ำที่ไหลผ่าน dh = พื้นที่แถบเล็ก x ความเร็วกระแสน้ำ

$$dQt = Ldh\sqrt{2gh}$$

ปริมาณที่ไหลจริง

$$\int_0 dQa = Cd\ Ldh\sqrt{2gh}$$

$$Q = Cd\ L\sqrt{2g}\int_0^H h^{\frac{1}{2}}\ dh$$

การหาค่าคงที่

จากสมการ

$$Q = Cd\ L\sqrt{2g}\left|\left(\frac{3}{2}\right)h^{\frac{3}{2}}\right|_0^H$$

$$Q = \left(\frac{2}{3}\right)Cd\sqrt{2g}\ LH^{\frac{3}{2}} \qquad \ldots\ldots\ldots*$$

$$Q = \left(\frac{2}{3}\right)Cd\sqrt{2g}\ LH^{\frac{3}{2}}$$

หรือ

$$Q = KH^{\frac{3}{2}}$$

การทดลองหาค่าคงที่ของฝายนี้ โดยทดลองวัด Q และ H และ plot ในกระดาษ

และ $H^{3/2}$ จะได้ค่าคงที่ออกมา

EX หาค่าคงที่และค่า Cd จากการทดลองฝายสันคมที่มีความกว้าง 0.6 เมตรนี้

h (cm)	6.51	7.16	7.75	8.27	8.70
Q (cms)	2.81	3.18	3.54	3.87	4.19

วิธีที่ 1 plot จุด h,Q ลงในกระดาษกราฟ และลากเส้นตรงที่ผ่านจุด (0,0) และจุดต่าง ๆ เหล่านี้ เพื่อให้เกิด error น้อยที่สุด

เลือกจุด P(1.5,2.5) จากเส้นตรงที่ plot ขึ้น

จากสมการ $$Q = \left(2/3\right) Cd \sqrt{2g}\, LH^{\frac{3}{2}}$$

หรือ $$Q = KH^{\frac{3}{2}}$$

จะได้ $$K = \left(2/3\right) Cd\sqrt{2g}\, L$$

หรือ $$K = Q / H^{\frac{3}{2}} = 2.5/1.5^{\frac{3}{2}} = 1.36$$

$$Cd = \frac{1.361}{\left(2/3\right)\sqrt{2g}\ 0.6}$$

วิธีที่ 2 โดยการหาค่าคงที่จากสมการ

$$Q = k\,H^{n}$$

$$Cd = \frac{1.361}{(2/3)\sqrt{2g}\ 0.6}$$

วิธีที่ 2 โดยการหาค่าคงที่จากสมการ

$$Q = k H^n$$

$$\log Q \doteq \log k + n \log H$$

พล็อตค่าที่ได้ลงในกระดาษ log-log จะได้ค่า n และ log k ออกมาจะเป็นสมการ Empirical สำหรับ weir ชุดนี้ ดังนี้

$\log_n h$	1.87	1.97	2.05	2.11	2.16
$\log_n Q$	1.03	1.12	1.26	1.35	1.43

อ่านค่า slope = n = 1.5 = 3/2

อ่านค่า absicca = log k = 0.3

k = 1.36

∴ สมการของฝายนี้เท่ากับ

$$Q = 1.36\, H^{3/2}$$

วิธีที่ 2 โดยการหาค่าคงที่จากสมการ

$$Q = k H^n$$

$$\log Q \doteq \log k + n \log H$$

พล็อตค่าที่ได้ลงในกระดาษ log-log จะได้ค่า n และ log k ออกมาจะเป็นสมการ Empirical สำหรับ weir ชุดนี้ ดังนี้

$\log_n h$	1.87	1.97	2.05	2.11	2.16
$\log_n Q$	1.03	1.12	1.26	1.35	1.43

อ่านค่า slope = n = 1.5 = 3/2

อ่านค่า absicca = log k = 0.3

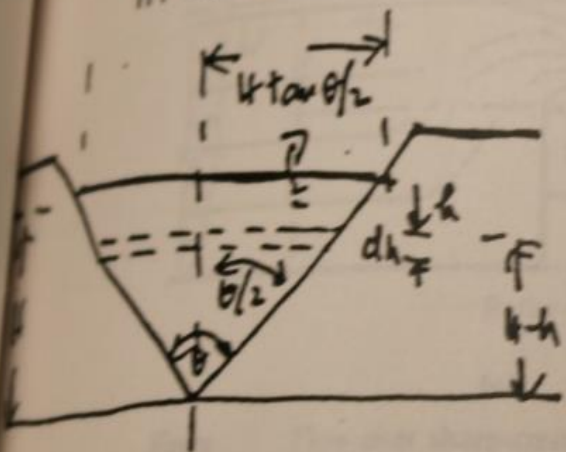
k = 1.36

∴ สมการของฝายนี้เท่ากับ

$$Q = 1.36 H^{3/2}$$

4.2 Triangular Weir (V-notch)

นิยมใช้น็อชรูปตัว V เพราะไม่มีขอบล่างที่ทำให้เกิดการยุบตัวของน้ำที่ไหลผ่าน ค่า Cc จึงคงที่ ไม่ว่า H จะมีค่าเท่าใด



กำหนดให้ H: ความสูงของระดับผิวน้ำ

θ : มุมของน็อช

ความกว้างของน็อชที่ระดับผิวน้ำ $= 2H \tan \theta/2$

ความเร็วของน้ำที่ผ่านแถบเล็ก ๆ ที่มีความหนา dh และอยู่ใต้น้ำ h ;

$$Vt = \sqrt{2gH}$$

$$dQ = Cd\ Vt\ As$$

$$= Cd\sqrt{2gH}\ 2(H - h)\ \tanh(\theta / 2)\ dh$$

$$Q = \int dQ = 2Cd\sqrt{2g}\ \tan(\theta / 2) \int_0^H (H - h)\ h^{1/2} dh$$

$$= 2Cd\sqrt{2g}\ \tan(\theta / 2) \left| (2/3)\ Hh^{3/2} - (2/5)\ h^{5/2} \right|_0^H$$

$$= 2Cd\sqrt{2g}\ \tan(\theta / 2) \left| (2/3) H.H^{3/2} - (2/5)\ H^{5/2} \right|$$

จะได้ $$Q = (8/15)\ Cd\ \sqrt{2g}\ \tan(\theta / 2)\ H^{5/2} \qquad \text{..........*}$$

EX น้ำไหลผ่านฝายสันคมรูปสามเหลี่ยมมุมฉาก โดยมีระดับน้ำอยู่สูงกว่าฝาย 0.15 ม. ตกลงในถังน้ำที่เจาะรูระบายด้านล่างซึ่งมี ϕ เท่ากับ 0.65 ม. เมื่อน้ำอยู่ในสภาพสมดุลย์ จงหาความสูงของน้ำในถังด้านล่าง (h) เมื่อกำหนดให้สัมประสิทธิ์อัตราการไหลผ่านฝายสันคมและรูระบายเท่ากับ 0.59 และ 0.61 ตามลำดับ

เมื่อสภาพน้ำสมดุลย์ อัตราการไหลจากฝายสันคม = อัตราการไหลของรูระบาย

หา $Q_1 = (8/15)\, Cd\sqrt{2g}\, \tan(\theta/2)\, H^{5/2}$

$= (8/15)\, 0.59\sqrt{2 \times 9.81}\, \tan(90^0/2)\, H^{5/2}$ ....(1)

หา $Q_2 = Cd\, Ao\, \sqrt{2gh}$

$= 0.61\, (\pi/4) \times (0.65)^2 \sqrt{2 \times 9.81\, h}$ ....(2)

เพราะว่า $Q_1 = Q_2$

จะได้ $h = 2.10$ ม.

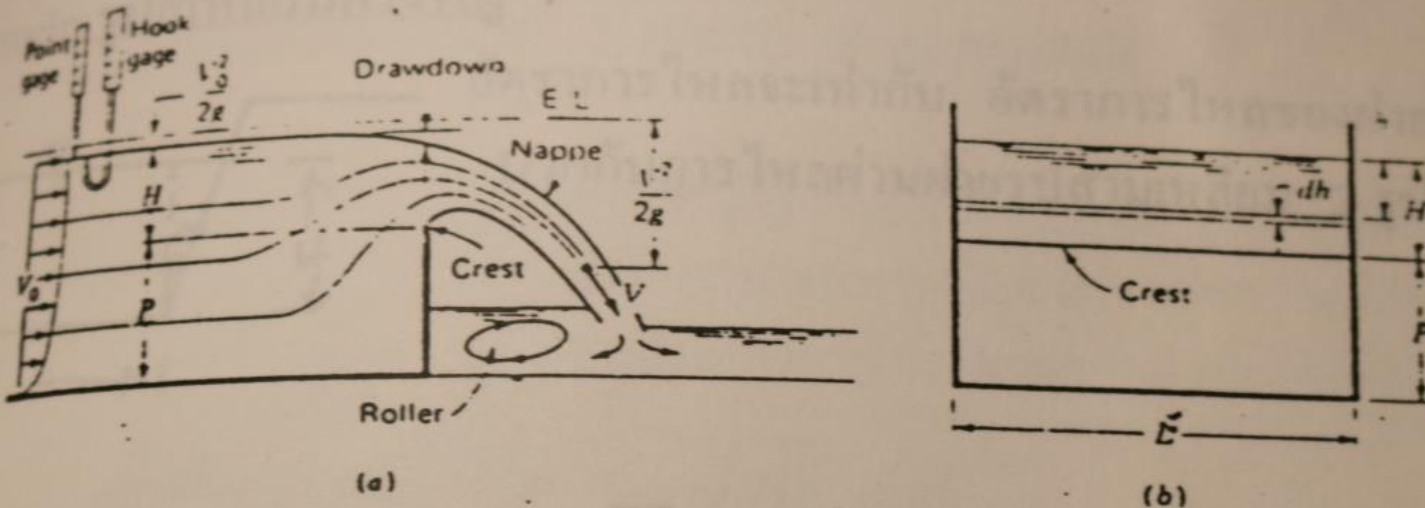


Figure Flow over sharp-crested weir. (a) Side view. (b) Looking upstream.

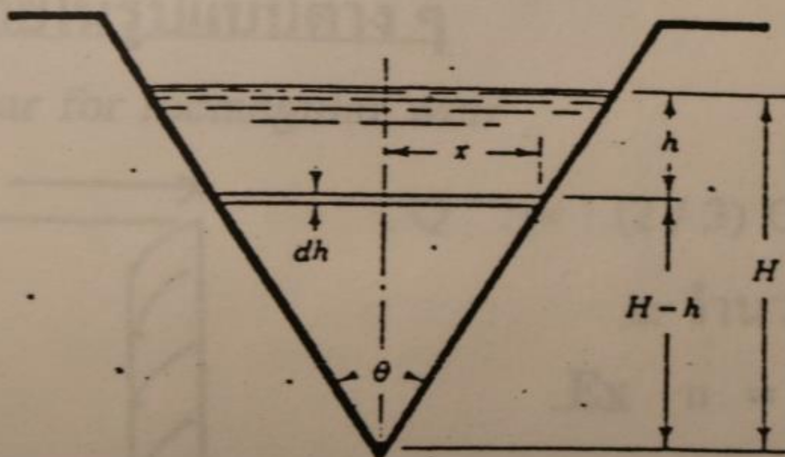


Figure Triangular weir.

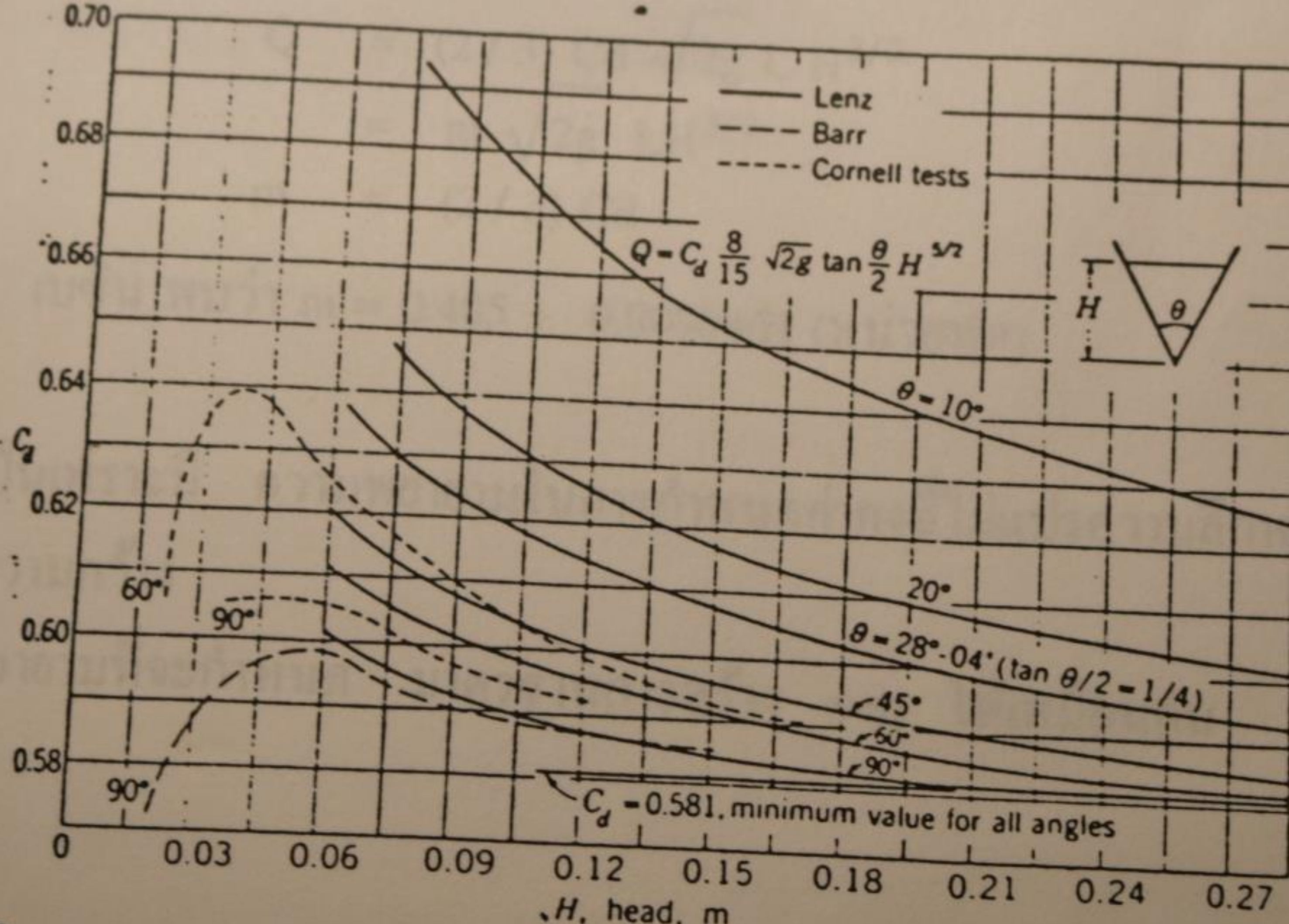
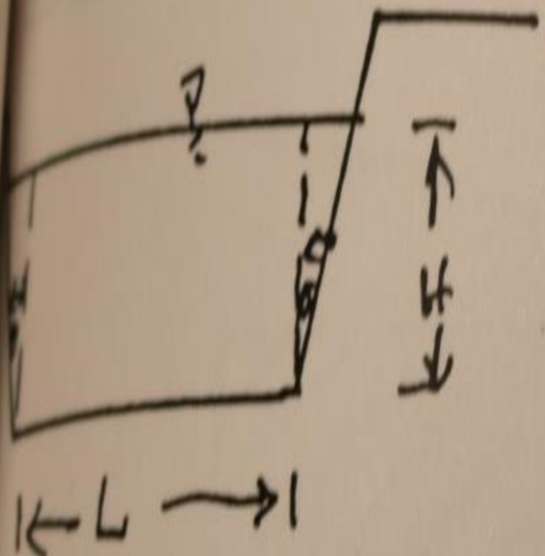


Figure Coefficients for triangular weirs.

4.3 weir รูปสี่เหลี่ยมคางหมู

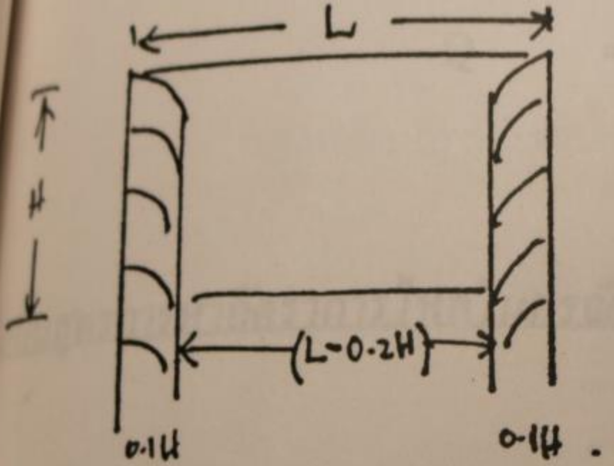


อัตราการไหลจะเท่ากับ อัตราการไหลของฝายด้านสี่เหลี่ยม บวกกับการไหลผ่านฝายรูปสามเหลี่ยม 2 รูป จะได้

$$Q = (2/3)\,Cd\sqrt{2g}\,LH^{3/2} + (8/15)\,Cd\,\sqrt{2g}\,\tan(2\theta/2)H^{5/2}$$

4.4 <u>สมการของฝายในรูปแบบต่าง ๆ</u>

Francis formular for rectangular weir



$$Q = (2/3)\ Cd \sqrt{2g}\ (L - 0.1X \ln H)\ H^{3/2}$$

n: จำนวนด้านข้างที่ลดขนาด

<u>Ex</u> n = 2, Cd = 0.623

$$Q = 3.3(L\text{-}0.1n\ H)H^{3/2}$$

Bazin formular for rectangular weir

$$Q = (2/3)\ Cd \sqrt{2g}\ L\ H^{3/2}$$

$$= m \sqrt{2g}\ LH^{3/2}$$

$$m = (2/3)\ Cd$$

เบซิน พบว่า m = 0.405 + 0.00984/H (หน่วยฟุต)

- ทั้งนี้เป็นเพราะมี ความพยายามในการกำหนดค่าคงที่ไม่แปรความลึกหรือองค์ประกอบอื่น เช่น ความกว้าง

4.5 การปรับแก้สมการอันเนื่องจาก Velocity of approach

ข้อสมมุติฐานเดิมที่ว่าความเร็วของน้ำที่ต้นน้ำเท่ากับ 0 จึงพิจารณาเฉพาะค่า h อย่างเดียว แต่ถ้า V มีอิทธิพลแล้ว จำเป็นต้องมาพิจารณาค่า Velocity head นี้เพิ่มไปด้วย

เดิม $$dQ = Cd\sqrt{2gh}\ L\,dh$$

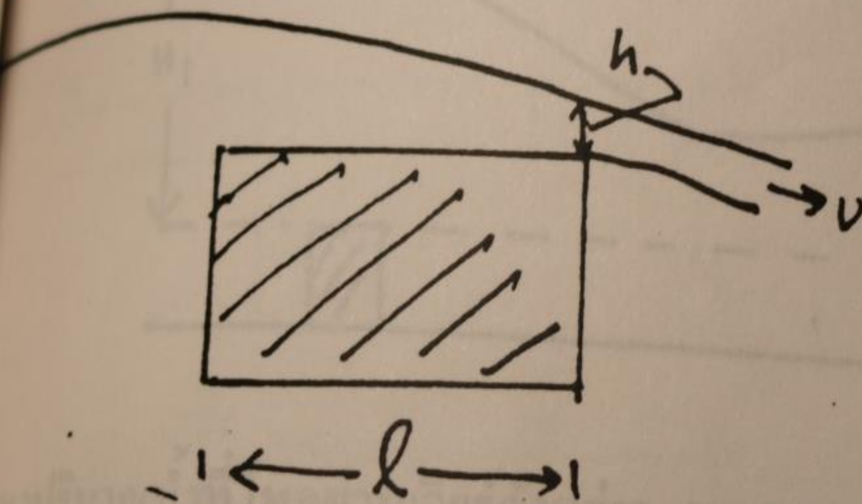
จะเป็น $$Q = Cd\sqrt{2g}\ L\int_{V^2/2g}^{H+V^2/2g} h\,dh$$

$$= Cd\sqrt{2g}\ L\left|\left(\frac{2}{3}\right)h^{3/2}\right|_{V^2/2g}^{H+V^2/2g}$$

$$Q = Cd\sqrt{2g}\ L\left|\left(H+\frac{V_1^2}{2g}\right)^{3/2} - \frac{(V_1^2)^{3/2}}{2g}\right| \quad ....$$

<u>จึงเป็นสูตรการหาอัตราการไหลในกรณีที่ความเร็วไหลเข้ามีอิทธิพลด้วย</u>

4.6 Broad-crested weir (เวียที่มีขอบล่างหนา)



Q เป็นฟังก์ชั่นของค่าความสูงน้ำ H

ความหนาของขอบล่าง l

ความกว้างของขอบล่าง b

สมมุติให้ความกว้างของขอบล่างกว้างมากชนิดที่ทำให้ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านอย่างสม่ำเสมอตลอดความลึกของน้ำที่ขอบด้านปลายทางออก

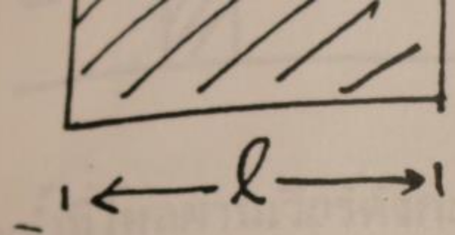
ถ้ายังไม่พิจารณาความสูญเสียพลังงานใด ๆ จะได้

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

$$V = \sqrt{2g\,(H - h)}$$

$$Q = Cd\,(Bh)\,V = Cd\,Bh\sqrt{2g(H - h)} \quad \ldots\ldots(1)$$

จะหาค่า Q ที่ไหลได้มากที่สุด ได้โดย



ทำให้ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านอย่างสม่ำเสมอตลอด ความลึกของน้ำที่ขอบด้านปลายทางออก ถ้ายังไม่พิจารณาความสูญเสียพลังงานใด ๆ จะได้

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

$$V = \sqrt{2g\,(H - h)}$$

$$Q = Cd\left(Bh\right)V = Cd\,Bh\sqrt{2g\left(H - h\right)} \quad \ldots\ldots(1)$$

จะหาค่า Q ที่ไหลได้มากที่สุด ได้โดย

เมื่อ $Q = Cd\sqrt{2g}\,b\left|Hh^2 - h^3\right|^{1/2}$

$$\frac{dQ}{dh} = 2Hh - 3\,h^2 = 0 \quad ;\ h = \frac{2}{3}H \quad \ldots\ldots(3)$$

แทนค่า h จากสมการ (3) ในสมการ (2)

จะได้ $Q = Cd\sqrt{2g}\,b\left(H\left(\frac{4}{9}\right)H^2 - \left(\frac{8}{27}\right)H^3\right)^{1/2}$

$$= 0.385\,Cd\,B\sqrt{2g}\,H^{3/2} \quad \ldots\ldots(4)$$

EX จงออกแบบความกว้างของฝายสันหนา เพื่อรับน้ำหลากในอัตราวันละ 50,000 ลบ.ม.โดยมีความสูงของระดับน้ำด้านเหนือน้ำ 40 ซม. กำหนดให้สัมประสิทธิ์อัตราการไหลเท่ากับ 0.61

อัตราการไหลน้ำหลาก = 50,000 ลบ. ม./วัน

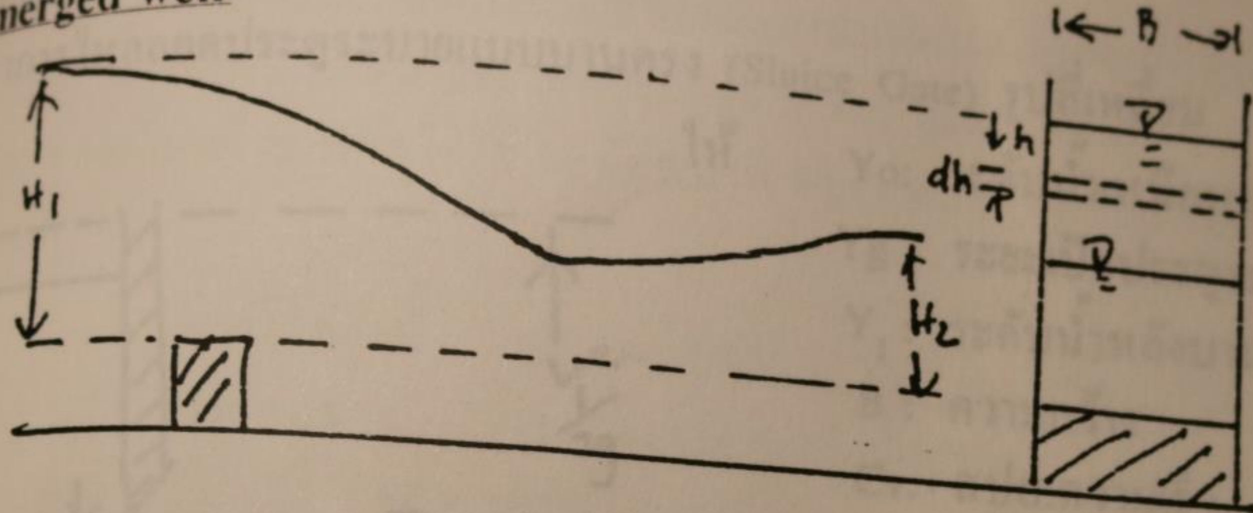
$$= \frac{50,000}{24 \times 3,600} \text{ ลบ. ม./ วินาที } = 0.58 \text{ cms.}$$

จากสมการฝายสันหนา $Q = 0.385 Cd\sqrt{2g}\, B\, H^{3/2}$

แทนค่า $0.58 = 0.385 \times 0.51 \sqrt{2 \times 9.81}\ B \times (0.4)^{3/2}$

จะได้ความกว้างของฝายสันหนา $B \doteq 2.20$ ม.

4.7 Submerged weir



การหาปริมาณน้ำที่ไหลผ่านเวียร์ดังกล่าว จะแยกออกเป็นสองส่วน

ส่วนแรกเป็นแบบ free weir

ส่วนที่สองเป็นแบบ drowned orifice

การคำนวณใน

ส่วนแรก

$$dq = Cd\,(Bdh)\sqrt{2gh}$$

$$\int_0^{Q_1} dq = Cd\,\sqrt{2g}\;B\int_0^{H_1-H_2} hdh$$

$$Q_1 = (2/3)Cd\sqrt{2g}\;B\left|h^{3/2}\right|_0^{H_1-H_2}$$

$$= (2/3)Cd\sqrt{2g}\;B\left(H_1 - H_2\right)^{3/2}$$

หาปริมาณน้ำที่ไหลผ่านเวียร์ดังกล่าว จะแยกออกเป็นสองส่วน

ส่วนแรกเป็นแบบ free weir

ส่วนที่สองเป็นแบบ drowned orifice

การคำนวณใน

ส่วนแรก

$$dq = Cd\,(Bdh)\sqrt{2gh}$$

$$\int_0^{Q_1} dq = Cd\sqrt{2g}\,B\int_0^{H_1-H_2} hdh$$

$$Q_1 = (2/3)Cd\sqrt{2g}\,B\left|h^{3/2}\right|_0^{H_1-H_2}$$

$$= (2/3)Cd\sqrt{2g}\,B\left(H_1 - H_2\right)^{3/2}$$

ส่วนสอง แบบจมน้ำ

$$dq = Cd\,B\dot{H}_2\sqrt{2g(H_1 - H_2)}$$

$$= Cd\,B\,H_2\sqrt{2g(H_1 - H_2)}$$

รวมอัตราการไหล

$$\sum Q = Q_1 + Q_2$$

$$= (2/3)Cd\sqrt{2g}\,B\left(H_1 - H_2\right)^{3/2} + Cd\,BH_2\sqrt{2g(H_1 - H_2)} \quad \ldots\ldots *$$

ส่วนสอง แบบจมน้ำ $dq = Cd\,B\dot{H}_2\sqrt{2g\left(H_1 - H_2\right)}$

$$= Cd\,B\,H_2\sqrt{2g\left(H_1 - H_2\right)}$$

รวมอัตราการไหล $\sum Q = Q_1 + Q_2$

$$= \left(2/3\right)Cd\sqrt{2g}\,B\left(H_1 - H_2\right)^{3/2} + Cd\,BH_2\sqrt{2g\left(H_1 - H_2\right)} \quad \ldots\ldots*$$

EX ฝายสันคมที่บริเวณขอบสระว่ายน้ำกว้าง 3ม. ถ้าระดับน้ำในสระว่ายน้ำสูงกว่าระดับสันฝาย 0.5 ม. และขณะที่ระบายน้ำออกจากสระเพื่อเปลี่ยนน้ำ ฝายระดับน้ำนอกสระอยู่สูงกว่าระดับสันฝาย 0.25 ม. จงหาอัตราการไหลออกจากสระ เมื่อ Cd = 0.6

จากโจทย์ $H_1 = 0.5$ ม. $H_2 = 0.25$ ม.

$H_1 - H_2 = 0.25$ ม. , $Cd = 0.6$

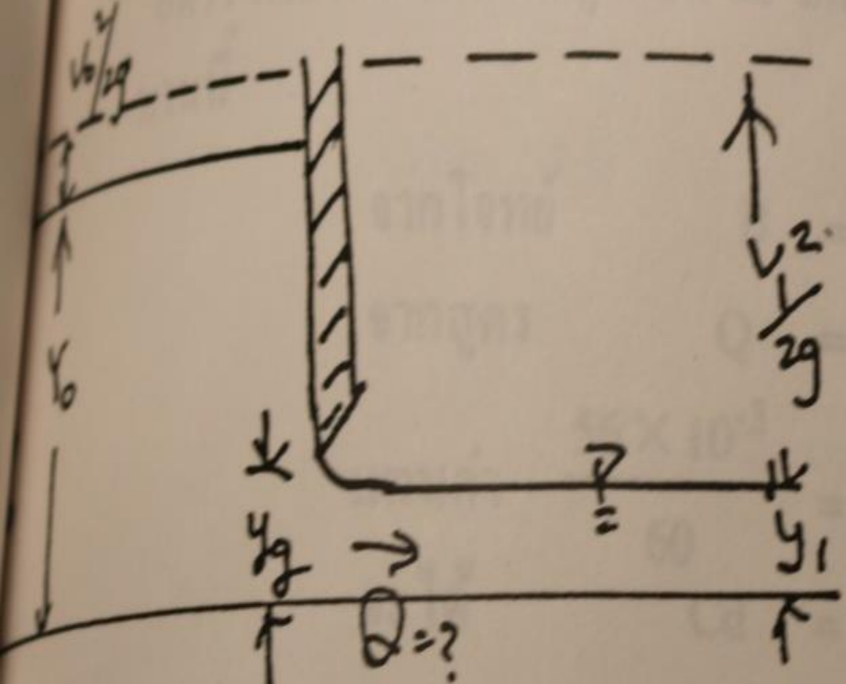
แทนค่า $Q = \left(2/3\right)Cd\sqrt{2g}\,B\left(H_1 - H_2\right)^{3/2} + Cd\,BH\sqrt{2g\left(H_1 - H_2\right)}$

$$= \left(2/3\right)0.6\sqrt{2 \times 9.8} \times 3 \times \left(0.25\right)^{3/2}0.6 \times 3 \times 0.25\sqrt{2 \times 9.8 \times 0.25}$$

$$= 1.66 \text{ ลบ.ม./วินาที}$$

5. Flow over sluice Gate

อัตราการไหลลอดประตูระบายแบบบานตรง (Sluice Gate) รูปสี่เหลี่ยม



ให้ Yo: ระดับน้ำเหนือบานประตู

Yg : ระยะเปิดประตูระบาย

Y_1 : ระดับน้ำหลังบานประตู

B : ความกว้าง

Cv: สปส.ความเร็ว

Cc: สปส.การคอดตัว

จากสมการไหลต่อเนื่อง $V_o A_o = V_1 A_1$

$V_o B Y_o = V_1 B Y_1$

$V_o = V_1 Y_1 / Y_o$ ....(1)

จากสมการพลังงาน $V^2_o/2g + Y_o = V_1^2/2g + Y_1$

จากสมการพลังงาน $V^2o/2g+Yo = V_1^2/2g+Y_1$

แทนค่า Vo จากสมการ (1)

$$V_1 = \frac{\sqrt{2gYo}}{\sqrt{Y_1/Y_o+1}} \qquad \text{.........(2)}$$

ให้ $A_1 = Cc\ Ag$

$Y_1 = Cc\ Yg$

จะได้ $$V_1 = \frac{\sqrt{2g\ Yo}}{\sqrt{Cc\ Yg/Yo+1}} \qquad \text{.........(3)}$$

$$V\ actual = \frac{Cv\sqrt{2g\ Yo}}{\sqrt{Cc\ Yg/Yo+1}}$$

$$Q = BY_1V_1\ actual = \frac{Cv\ Cc\ BYg\sqrt{2gYo}}{\sqrt{CcYg/Yo+1}}$$

จะได้ $Q = Cd\ BYg\sqrt{2gYo}$

เมื่อ $$Cd = \frac{Cv\ Cc}{\sqrt{Cc\ Yg/Yo+1}} \qquad \text{.........*}$$

ในการทดสอบการไหลลอดประตูระบายน้ำแบบบานตรงในห้องปฏิบัติการ พบว่าเมื่อใช้ประตูจำลองขนาดกว้าง 4 ซม. เปิดประตูสูง 2 ซม. วัดระดับน้ำด้านเหนือน้ำได้ 0.236 ม. อัตรา การไหลผ่านประตูวัดได้ 56 ลิตร/นาที จงหา สปส. อัตราการไหลของประตูระบายบานนี้

จากโจทย์ $B = 4$ ซม. , $Yg = 2$ ซม., $Yo = 0.236$ ม.

จากสูตร $$Q = Cd\, B\, Yg\sqrt{2gYo}$$

แทนค่า $$\frac{56 \times 10^{-3}}{60} = Cd \times 0.04 \times 0.02\sqrt{2 \times 9.8 \times 0.236}$$

จะได้ $Cd = 0.54$ <u>Ans</u>

สรุป สมการการหาอัตราการไหล / ความเร็ว ผ่านอาคารวัดน้ำแบบต่าง ๆ

Orifice $$Q = Cd\,A\sqrt{2gH}$$

Orifice Meter $$Q = CAo\sqrt{2g\left(\frac{\gamma_2}{\gamma_1} - 1\right)h}$$

เมื่อ $$C = \frac{Cd}{\sqrt{1-\left(Cc\,Ao/A1\right)^2}}$$

Venturi Meter $$Q = \frac{Cv\,A_2\sqrt{2gh\left(S_o/S_1 - 1\right)}}{\sqrt{1-\left(D_2/D_1\right)^4}}$$

Pitot Tube $$V = K\sqrt{2gh}$$

Weir

Weir

Shap - crested $Q = (2/3)\, Cd\sqrt{2g}\, L\, H^{3/2}$

Triangular $Q = (8/15)\, Cd\sqrt{2g}\, \tan(\theta/2)\, H^{5/2}$

Broad - crested $Q = 0.385\, Cd\sqrt{2g}\, BH^{3/2}$

Submerged $Q = (2/3)\, Cd\sqrt{2g}\, B\,(H_2 - H_1)^{3/2} + Cd\, BH_2\sqrt{2g(H_2 - H_1)}$

Gate $Q = CB\, Yg\sqrt{2gYo}$

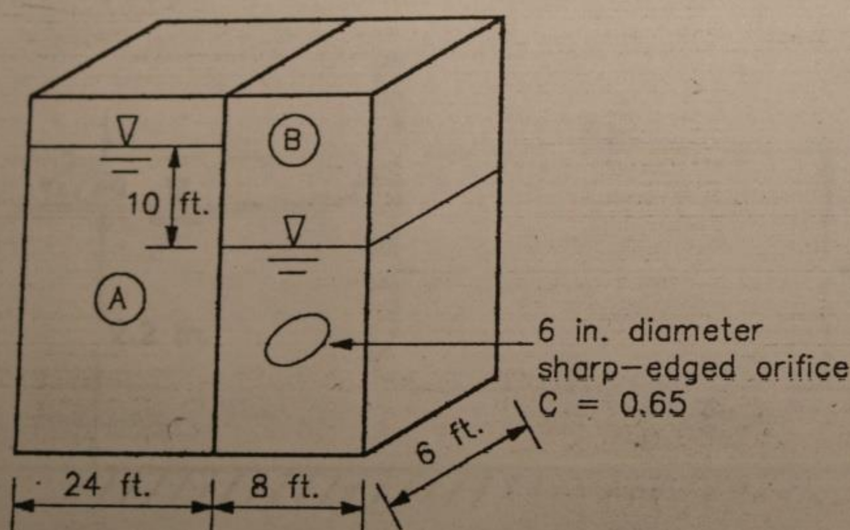
เมื่อ $C = \dfrac{Cc\, Cv}{\sqrt{(Cc\, Yg/Yo) + 1}}$

Note

Homework Hydraulics L 11

1. A rectangular tank is divided by a partitiion into two chambers as shown in the below figure. At a certain time, the water level in chamber A is 10.0 ft higher than thai in chamber B . Find the time it will take for the water surfaces in the two chambers to be at the same level.

6 in. diameter sharp-edged orifice , C = 0.65



1. จากอัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาตร $dV = CA\sqrt{2gh}\,dt$

เนื่องจาก A , ความสูง h เปลี่ยนแปลงตามเวลา dt ในขณะที่ถัง A มีระดับน้ำลดลง dh_A ถัง B จะมีระดับน้ำเพิ่มขึ้น dH_B ทำให้ความแตกต่างระดับน้ำเหลือเท่ากับ dH_2

ปริมาตรน้ำที่ออกจากถัง A = ปริมาตรน้ำที่เข้ามาถัง B

$$6 \times 24 \times dh_A = 6 \times 8 \times dh_B$$

$$dh_A = 3\,dh_B$$

$$dh = dh_A + dh_B$$

$$dh_A = 0.25\,dh$$

$$dV = 0.25\,dh \times 24 \times 6 = 36\,dh$$

$$A = \pi/4 \times (6/12)^2 = 0.1963\ ft^2$$

แทนค่า

$$dV = CA\sqrt{2gh}\,dt$$

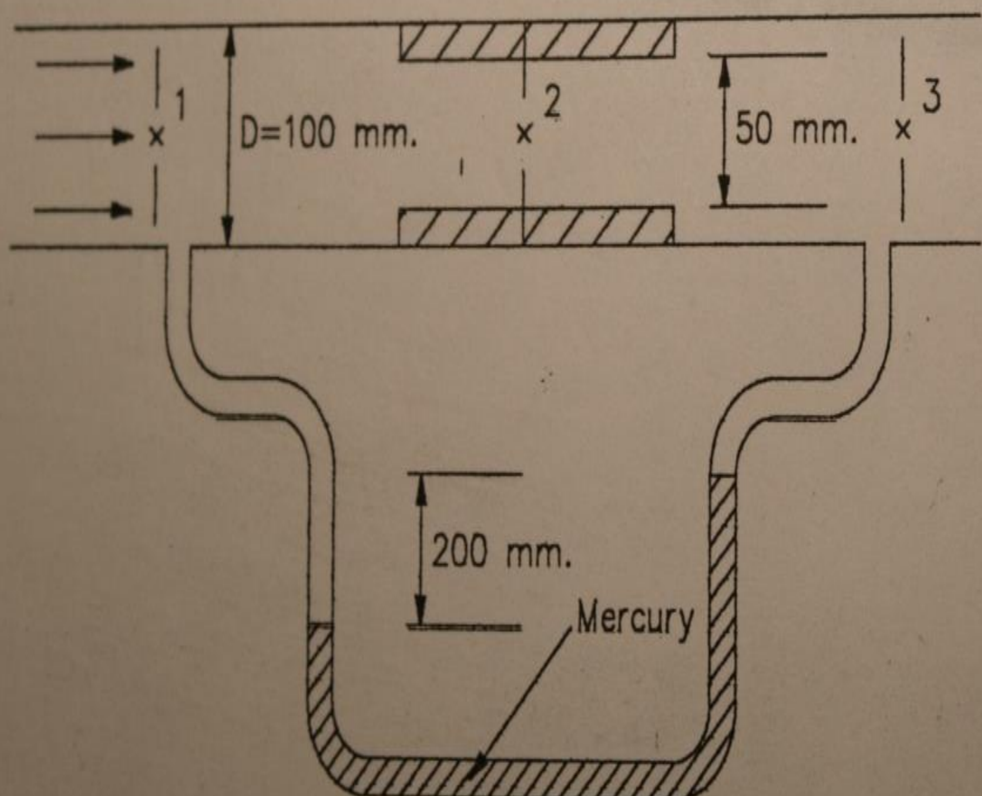
$$36\,dh = 0.65 \times 0.1963\sqrt{2 \times 9.81\,h}\,dt$$

$$dt = 35.16\sqrt{h}\,dh$$

$$\int dt = \int 35.16\sqrt{h}\,dh$$

$$t = 35.16 \times 2\sqrt{h}\,\Big]_0^{12} = 222\ sec$$

2. A 100 mm. diameter pipe has a 50 mm. diameter , long constriction. If the mercury manometer indicates a column height difference of 200 mm. Estimate the flow rate of the water passed by the pipe.



2.

จากสมการพลังงาน จุด 1 กับ จุด 2 $\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} - h_1\frac{V_2^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g}$

จากสมการพลังงาน จุด 2 กับ จุด3 $\frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} - h_2\frac{V_2^2}{2g} = \frac{P_3}{\gamma} + \frac{V_3^2}{2g}$

และจากสมการต่อเนื่อง $V_1 = V_3 = (d_1/D_1)^2 V_2$

The pressure chang indicated leg the manometer $P_1 - P_3 = (P_1 - P_2) + (P_2 - P_3)$

จะได้ $P_1 - P_2 = (K_1 + K_2) \times \frac{1}{2} \times \rho V_2^2$ แต่ $Q = \frac{\pi d^2}{4} V_2$

และ $P_1 - P_3 = \gamma(S_{hg} - 1)h$

$$Q = \frac{\pi d^2}{4}\sqrt{2gh(S_{Hg}-1)/(h_1+h_2)}$$

จากตารางได้ $K_1 = 0.478$ และ $K_2 = (1 - A_1/A_2)^2 = (1 - 0.25)^2$

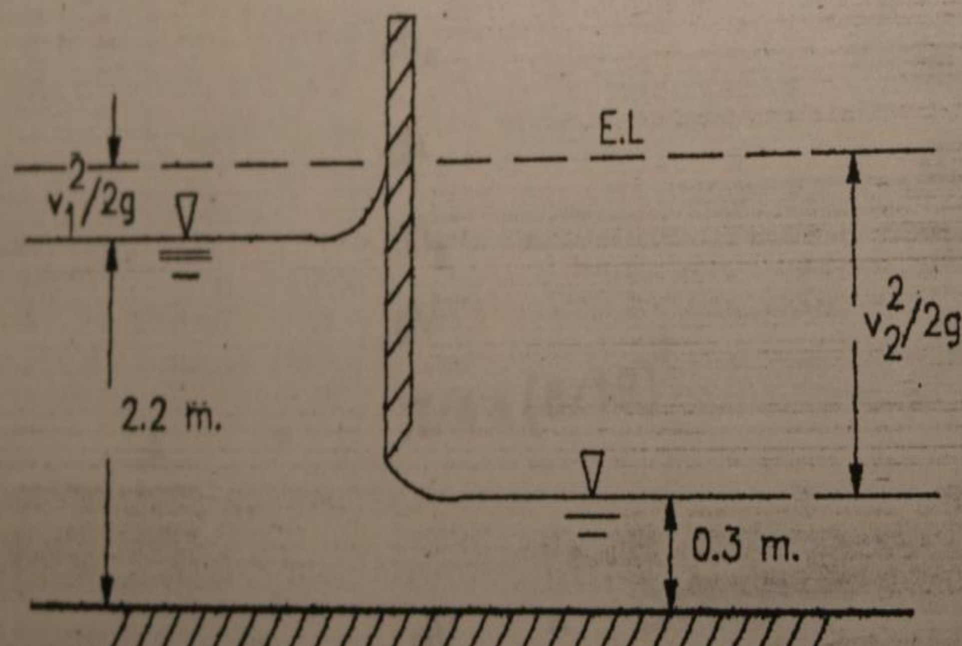
$= 0.5625$

แทนค่า ได้ $Q = 13.53$ ลิตร/วินาที

3. For the sluice gate shown below , If Cv = 0.98 What is the flow rate, if Cc = 0.62

What is the height of openning ?

(consider the approach velocity too)



3.

$$V_2 = C_V \left[2g(h_1-h_2) + \frac{V_1^2}{2g} \right]^{3/2}$$

Find V_2 by Trial and error ; First trial $V_1^2/2g = 0$

$V_2 = 0.98\,[\,2 \times 9.81 \times (2.2-0.9) + 0\,]^{3/2} = 4.95$ m/s

$h_1 V_1 = h_2 V_2$

$22V_1 = 0.9 \times 4.95$ $\qquad V_1 = 2.03$ m/s

$V_1^2/2g = 2.03^2/(2 \times 9.81) = 0.21$ m

$V_2 = 5.33$ m/s $\qquad$ ใช้ไม่ได้ ต้อง Trial อีก

$22V_1 = 0.9 \times 5.33$ $\qquad V_1 = 2.18$ m/s

$V_1^2/2g = 0.242$ m

$V_2 = 5.39$ m/s $\qquad$ OK.

$Q = h_2 V_2$

$= 0.9 \times 5.39 = 4.35$ m3/s

เมื่อ $C_c = 0.62$ $\qquad h_2 = 0.9/0.62$

$= 1.45$ m

4. A sharp-crested suppressed weir is under a head of 2.2 ft. The weir's length is 10.0 ft, and its height is 4.0 ft. Determine the flow rate of water over the weir.

Given $C = 0.611 + 0.075H/H_w$

Under the same conditions except that the weir is submerged and the downstream water surface is 0.96 ft above the top of the weir, Determine the flow rate of water over the weir.

4.

$$C = 0.611 + 0.075H/Hw$$

$$C = 0.611 + 0.075\,(2.2/0.4) \qquad = 0.6522$$

$$Q = \frac{2}{3} C\,L \sqrt{2g}\; H^{3/2}$$

$$Q = \frac{2}{3} \times 0.6522 \times 10 \times \sqrt{2 \times 32.2} \times 2.2^{3/2} = 116\ ft^3/s$$

เนื่องจาก $Q = Q_1 [\,1 - (d/h)^n\,]^{0.385}$

$$Q_1 = 116\ ft^3/s$$

$$Q = 116 \times [\,1 - (0.96/2.2)^{3/2}\,]^{0.385} \qquad = 100\ ft^3/s$$