เอกสารประกอบการบรรยาย
หลักสูตรการจัดการน้ำเพื่อการชลประทาน
สำหรับข้าราชการลาว ระหว่าง 28 พ.ย. 2537 - 23 ธ.ค. 2537

การคำนวณปริมาณน้ำผ่านอาคารชลประทาน

Calculation of Flow Through Irrigation Structures

โดย

รองศาสตราจารย์ ดร.วราวุธ วุฒิวณิชย์

ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน
นครปฐม 73140

เอกสารประกอบการบรรยาย
หลักสูตรการจัดการน้ำเพื่อการชลประทาน
สำหรับข้าราชการลาว ระหว่าง 28 พ.ย. 2537 - 23 ธ.ค. 2537

การคำนวณปริมาณน้ำผ่านอาคารชลประทาน

Calculation of Flow Through Irrigation Structures

โดย

รองศาสตราจารย์ ดร.วราวุธ วุฒิวณิชย์

ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน
นครปฐม 73140

การคำนวณปริมาณน้ำผ่านอาคารชลประทาน

โดย

รศ.ดร. วราวุธ วุฒิวณิชย์

ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ ม.เกษตรศาสตร์ กำแพงแสน นครปฐม 73140

---

1. บทนำ

การส่งน้ำชลประทานจะประสพผลสำเร็จตามที่หวังไว้ขึ้นอยู่กับสองสิ่งคือ (1) การคาดคะเนปริมาณน้ำที่ส่งใกล้เคียงกับปริมาณน้ำที่ต้องการจริงในการเพาะปลูก และ (2) พนักงานส่งน้ำสามารถควบคุมการส่งน้ำได้ตามแผน เรื่องแรกได้กล่าวถึงมาแล้วในเรื่อง "การจัดส่งน้ำในระดับไร่นาและระดับโครงการ" ส่วนเรื่องหลังจะเกี่ยวกับเรื่องที่จะพูดถึงในที่นี้

ในระบบส่งน้ำชลประทานจะมีอาคารควบคุมน้ำอยู่ตามจุดต่าง ๆ เช่น ที่ปากคลองสายใหญ่ ปากคลองซอย ต้น คูน้ำที่บริเวณกลางคลอง และปลายคลองเป็นต้น การที่จะใช้อาคารเหล่านี้ควบคุมให้น้ำไหลไปยังพื้นที่ที่ต้องการและด้วยปริมาณและระดับที่ต้องการ จะต้องรู้ถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่ไหลผ่านอาคารกับตัวแปรต่าง ๆ เช่น ระดับน้ำด้านเหนือน้ำ ด้านท้ายน้ำ และขนาดของการปิด-เปิดบาน เป็นต้น

ในบทนี้จะกล่าวถึงการคำนวณปริมาณน้ำผ่านอาคารชลประทาน ซึ่งมีบานประตูควบคุมปริมาณน้ำ ลักษณะการไหลผ่านอาคารดังกล่าวจะแบ่งออกได้เป็น 2 กรณีคือ

(1) กรณีเปิดบานประตูเพียงบางส่วน ซึ่งการไหลมี 2 ลักษณะด้วยกันคือ

ก. การไหลแบบไหลออกอิสระ (Free Outflow)

ข. การไหลแบบท่วมท้ายน้ำ (Drowned Outflow หรือ Submerged)

(2) กรณีเปิดบานประตูพ้นน้ำ ลักษณะการไหลจะเป็นแบบความเร็วใต้วิกฤต (Sub-critical Flow)

นอกจากนี้ยังกล่าวถึงวิธีการคำนวณปริมาณน้ำผ่านไซฟอนที่มีรูปตัดไม่สม่ำเสมอ และการคำนวณปริมาณน้ำผ่านอาคารลดระดับที่เป็นท่อ

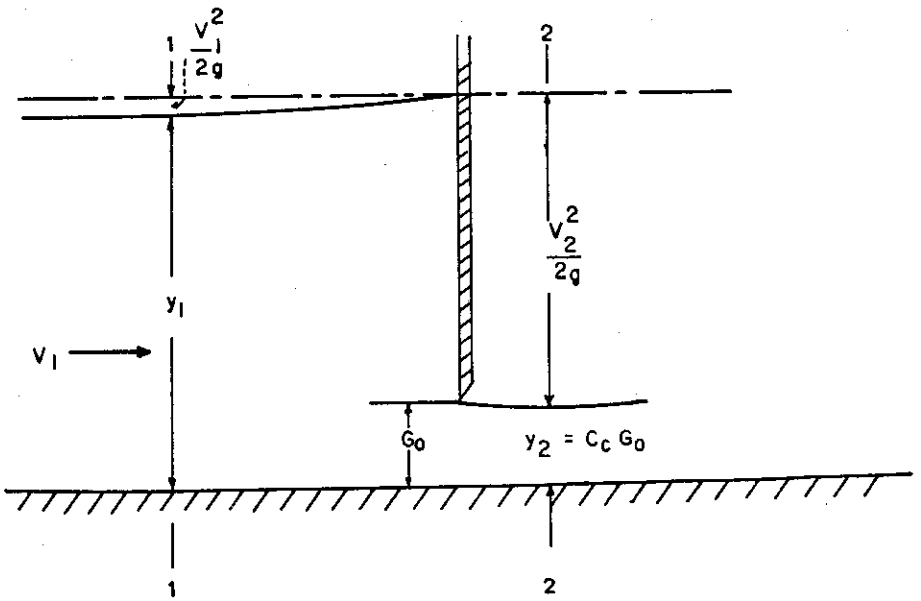
2. การไหลของน้ำลอดใต้บานประตูแบบไหลออกอิสระ (Free Outflow)

การไหลของน้ำลอดใต้บานประตูจะเป็นแบบไหลออกอิสระ หรือแบบท่วมท้ายน้ำขึ้นอยู่กับระดับน้ำทางด้านท้ายของบานประตูเป็นสำคัญ ถ้าระดับน้ำทางด้านท้ายน้ำไม่ลึกมากน้ำที่ไหลลอดใต้บานประตูจะเป็นแบบไหลออกอิสระไม่อยู่ภายใต้แรงดันของน้ำทางด้านท้าย แต่ถ้าระดับน้ำทางด้าน

ท้ายน้ำสูงขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงระดับหนึ่งซึ่งแรงดันของน้ำทางด้านท้ายน้ำมากกว่าแรงดันของกระแสน้ำที่พุ่งลอดใต้บานประตูจนทำให้อิทธิพลของน้ำทางด้านท้ายน้ำมีไปถึงบานประตู การไหลจะเป็นแบบท่วมท้ายน้ำ ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อที่ 3

2.1 <u>การไหลลอดใต้บานประตูตั้งตรงในแนวดิ่ง</u> (Vertical Sluice Gates)

การไหลของน้ำลอดใต้บานประตูที่ตั้งตรงในแนวดิ่ง ในลักษณะของการไหลแบบอิสระมีลักษณะดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 การไหลลอดใต้บานประตูแนวดิ่งแบบไหลออกอิสระ

จากรูปตัด 1-1 ด้านเหนือน้ำ และรูปตัด 2-2 ด้านท้ายน้ำเมื่อเขียนสมการของพลังงาน (Energy Equation) ระหว่างรูปตัดทั้งสองจะได้

$$y_1 + \frac{V_1^2}{2g} = y_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$ โดยสมมุติว่าการสูญเสียพลังงาน (head losses) มีค่าน้อยมากไม่นำมาคิด

ให้ $q = y_1 V_1 = y_2 V_2$ คือปริมาณน้ำต่อหนึ่งหน่วยความกว้าง จะได้ว่า

$$y_1 + \frac{q^2}{2g\, y_1^2} = y_2 + \frac{q^2}{2g\, y_2^2}$$

หรือ $q = y_1 y_2 \sqrt{\frac{2g}{y_1 + y_2}}$

โดยทั่วไปมักเขียนสมการออกมาในรูปของ G_o (Gate Openning) คูณกับอัตราความเร็ว $\sqrt{2gy_1}$ คูณสัมประสิทธิ์ปริมาณน้ำ C_d (Discharge Coefficient) ซึ่งจะได้

$$q = C_c G_o \sqrt{2gy_1 \frac{y_1}{y_1 + y_2}}$$

โดยให้ $y_2 = C_c G_o$

หรือ $q = C_d G_o \sqrt{2gy_1}$

ซึ่ง $C_d = C_c \sqrt{\frac{1}{1 + C_c \frac{G_o}{y_1}}}$

ดังนั้นค่า C_d จะขึ้นอยู่กับค่า $\frac{G_o}{y_1}$ เป็นสำคัญ สำหรับกรณีที่ $\frac{y_2}{y_1} = 0.321$ ค่า C_c โดยประมาณเท่ากับ 0.608 ซึ่งจะทำให้ค่า C_d โดยประมาณเท่ากับ 0.529

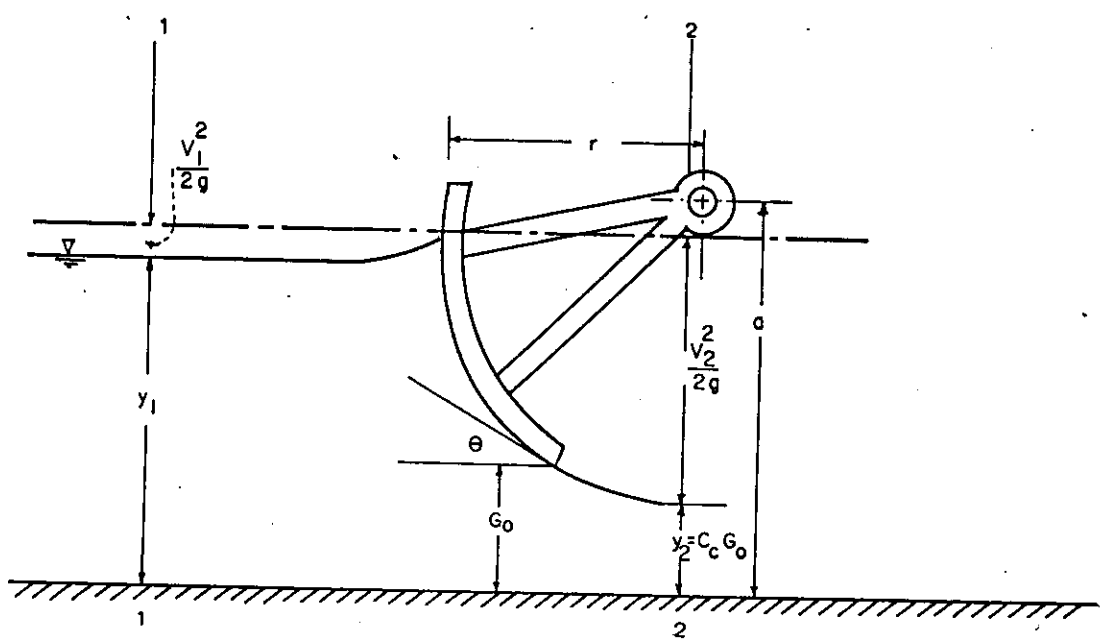
ถ้าบานประตูกว้าง L จะได้ว่า

$$Q = C_d L G_o \sqrt{2gy_1} \quad \text{.....} \quad (1)$$

เมื่อ Q = ปริมาณน้ำที่ไหลลอดใต้บานประตู

2.2 การไหลลอดใต้บานประตูโค้ง (Radial หรือ Tainter Gates)

รูปที่ 2 แสดงการไหลของน้ำลอดใต้บานประตูโค้งในลักษณะของการไหลแบบอิสระ

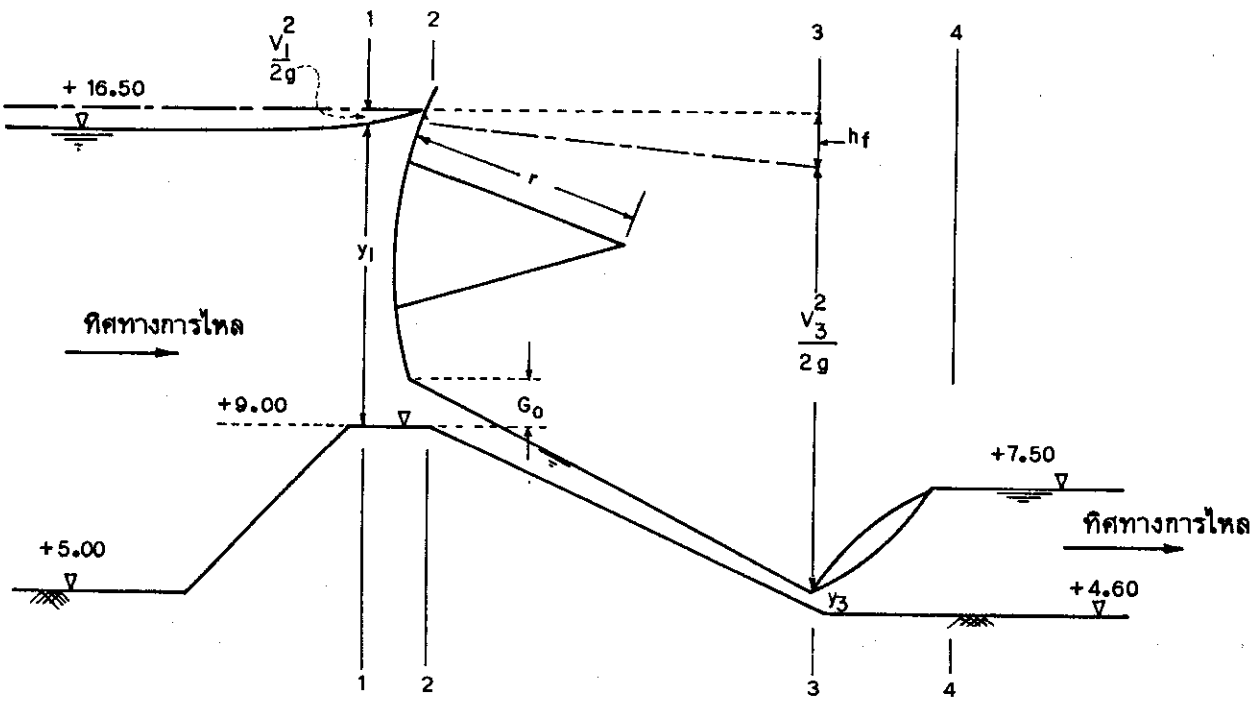


รูปที่ 2 การไหลลอดใต้บานประตูโค้งแบบไหลอิสระ

กรณีนี้ยังสามารถใช้สมการที่ (1) คำนวณปริมาณน้ำผ่านบานประตูได้ แต่ค่า c_d จะต่างออกไป c_d จะขึ้นอยู่กับ $\frac{G_o}{r}$, $\frac{a}{r}$ และ $\frac{y_1}{r}$ แทนที่จะเป็น $\frac{G_o}{y_1}$ ดังเช่นกรณี 2.1 ดังนั้นการหาค่า c_d สำหรับบานประตูโค้งจึงยุ่งยากกว่าบานประตูตรงในแนวดิ่ง

2.3 การคำนวณปริมาณน้ำไหลผ่านเขื่อนเจ้าพระยาเมื่อการไหลเป็นแบบไหลออกอิสระ

เขื่อนเจ้าพระยาเป็นเขื่อนผันน้ำ ประกอบด้วยบานประตูโค้ง 16 บาน แต่ละบานกว้าง 12.50 เมตร โดยมีระดับเก็บกักด้านเหนือน้ำอยู่ที่ +16.50 เมตร (รทก.) ระดับธรณีประตู + 9.00 เมตร (รทก.) และระดับพื้น Stilling basin ท้ายน้ำ + 4.60 เมตร (รทก.) ในการออกแบบไว้ครั้งแรกการปิด-เปิดบานประตูเขื่อนจะยอมให้ระดับน้ำเหนือและระดับน้ำเขื่อนต่างกันได้ไม่เกิน 9.00 เมตร กล่าวคือ เมื่อระดับน้ำเหนือน้ำอยู่ที่ + 16.50 เมตร (รทก.) จะต้องปล่อยน้ำจำนวนหนึ่งให้ไหลผ่านเขื่อน แล้วมีระดับน้ำท้ายน้ำอยู่ที่ + 7.50 เมตร (รทก.) เป็นต้น จะเห็นว่ากรณีดังกล่าวปริมาณน้ำที่ไหลผ่านเขื่อนเจ้าพระยาจะเป็นแบบไหลออกอิสระ ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ลักษณะทางชลศาสตร์ของเขื่อนเจ้าพระยา

การวิเคราะห์การไหลกรณีท้ายน้ำเป็นแบบอิสระจากรูปที่ 3

เขียนสมการของพลังงาน ระหว่างจุด 1 และจุด 2 จะได้

$$\frac{v_1^2}{2g} + y_1 = \frac{v_2^2}{2g} + y_2 + h_f \quad \text{.....} \quad (2)$$

เมื่อ v_1 และ v_2 คือ อัตราความเร็วของการไหลที่รูปตัดที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

y_1 และ y_2 คือ ความลึกของน้ำที่รูปตัดที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

h_f คือ การสูญเสียเฮด(head) เนื่องจากการไหลลอดใต้บานประตู

และจากสมการของคอนตินิวตี้ (Continuity) จะได้

$$y_1 V_1 = y_2 V_2 = q \quad \text{.....} \quad (3)$$

โดยที่ q มีค่าเท่ากับปริมาณน้ำที่ไหลผ่านต่อความกว้าง 1 หน่วย จากสมการ (2) และ (3) จะได้

$$\frac{v_1^2}{2g} + y_1 = \frac{(q/y_2)^2}{2g} + y_2 + h_f$$

$$\frac{q^2}{2g\, y_2^2} = (y_1 - y_2) + \frac{v_1^2}{2g} - h_f$$

$$q = y_2\sqrt{2g[(y_1 - y_2) + \frac{v_1^2}{2g} - h_f]} \quad \text{.....} \quad (4)$$

$$q = y_2 V_2 = C_c G_o V_2$$

หรือ $y_2 = C_c G_o$

เมื่อ C_c = ค่าสัมประสิทธิ์การบีบตัว (Contraction Coefficient)

กรณีที่การไหลเป็นแบบอิสระ y_2 มีค่าน้อยเมื่อเทียบกับ y_1 และยากแก่การวัด และ h_f มีค่าน้อยควรให้รวมอยู่ในค่า C_c

ดังนั้นสมการที่ (4) กลายเป็น

$$q = C_c G_o\sqrt{2g(y_1 + \frac{v_1^2}{2g})}$$

$$Q = C_c L G_o\sqrt{2g(y_1 + \frac{v_1^2}{2g})}$$

L = ความกว้างของช่องการไหล

เนื่องจากกรณีที่การไหลเป็นแบบอิสระ ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านไม่มาก ค่า $\frac{v_1^2}{2g}$ จึงมีค่าไม่มากนัก จึงให้รวมอยู่ในค่า c_c และใช้แทนด้วยค่า c จะได้

$$Q = CLG_o\sqrt{2gy_1} \quad \text{.....} \quad (5)$$

นำค่า c และ $\frac{y_1}{r}$ (r คือรัศมีของบานประตูโค้ง) ซึ่งคำนวณได้จากการวัดปริมาณน้ำโดยตรงดังแสดงในตารางที่ 1 ไปเขียนกราฟจะได้โค้ง (Curve) ดังแสดงในรูปที่ 4 และ 5 ซึ่งสามารถใช้โค้งดังกล่าวไปคำนวณปริมาณน้ำได้โดยตรง

เนื่องจากค่าปริมาณน้ำที่วัดได้ในสนามจริง ๆ มีมากพอที่จะเขียนกราฟได้เฉพาะอัตราส่วน $\frac{G_o}{r} = 0.03$ เท่านั้น ส่วนในการคำนวณหาค่า c เมื่อ $\frac{G_o}{r}$ มีค่าอื่น ๆ ที่ไม่ใช่ 0.03 ได้มาจากรูปที่ 4 และในการหาค่า c เมื่อการเปิดบานประตูที่มี $\frac{G_o}{r} = 0.03$ หาได้จากรูปที่ 5 เมื่อได้ค่าปริมาณน้ำที่วัดได้จริง ๆ ในสนามกรณีที่เป็นการไหลแบบอิสระเพิ่มมากขึ้น ก็สามารถนำมาปรับปรุงโค้ง (Curve) สำหรับหาค่า c ให้ดีขึ้นได้

รูปที่ 4 เหมาะสำหรับใช้ตรวจสอบปริมาณน้ำที่ผ่านมาแล้ว ส่วนรูปที่ 5 เหมาะสำหรับใช้เป็นแนวทางในการโอเปอเรท (Operate) โดยพยายามโอเปอเรทให้ได้ค่า $\frac{G_o}{r} = 0.03$ จะทำให้หาค่า c เพื่อนำไปคำนวณหาปริมาณน้ำได้ถูกต้องยิ่งขึ้น

2.4 การโอเปอรเรทเขื่อนเจ้าพระยาเมื่อการไหลท้ายน้ำเป็นแบบอิสระ

การโอเปอเรทเขื่อนเจ้าพระยาในที่นี้ จะพิจารณาในกรณีที่ระดับน้ำเก็บกักด้านเหนือน้ำสูงสุดอยู่ที่ 16.50 และทางด้านท้ายน้ำเป็นแบบไหลอิสระ หรือระดับน้ำท้ายน้ำอยู่ต่ำกว่าระดับธรณีประตู ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นการโอเปอเรทเขื่อนเจ้าพระยาในฤดูแล้ง

หลักสำคัญในการโอเปอเรทก็คือพยายามควบคุมไฮดรอลิคจั้ม (Hydraulic Jump) ให้เกิดใน Stilling basin โดยอาศัย Rating curve ท้ายเขื่อนเจ้าพระยาช่วยในการคำนวณ

จากรูปที่ 3 จะเขียนสมการของพลังงานระหว่างรูปตัด 1-1 และรูปตัด 3-3 ได้ดังนี้

$$\frac{v_1^2}{2g} + Y_1 + Z_1 = \frac{v_3^2}{2g} + Y_3 + Z_3 + \text{losses}$$

สมมุติว่า head losses และ $\frac{v_1^2}{2g}$ มีค่าน้อยไม่นำมาคิด สมการข้างบนจะกลายเป็น

$$y_1 + Z_1 = \frac{v_3^2}{2g} + y_3 + Z_3$$

เมื่อ $Z_1 = 9$, $Z_3 = 4.6$, $y_1 = 16.5 - 9.0 = 7.5$ จะได้

ตารางที่ 1 การคำนวณหาค่า c ของเขื่อนเจ้าพระยา

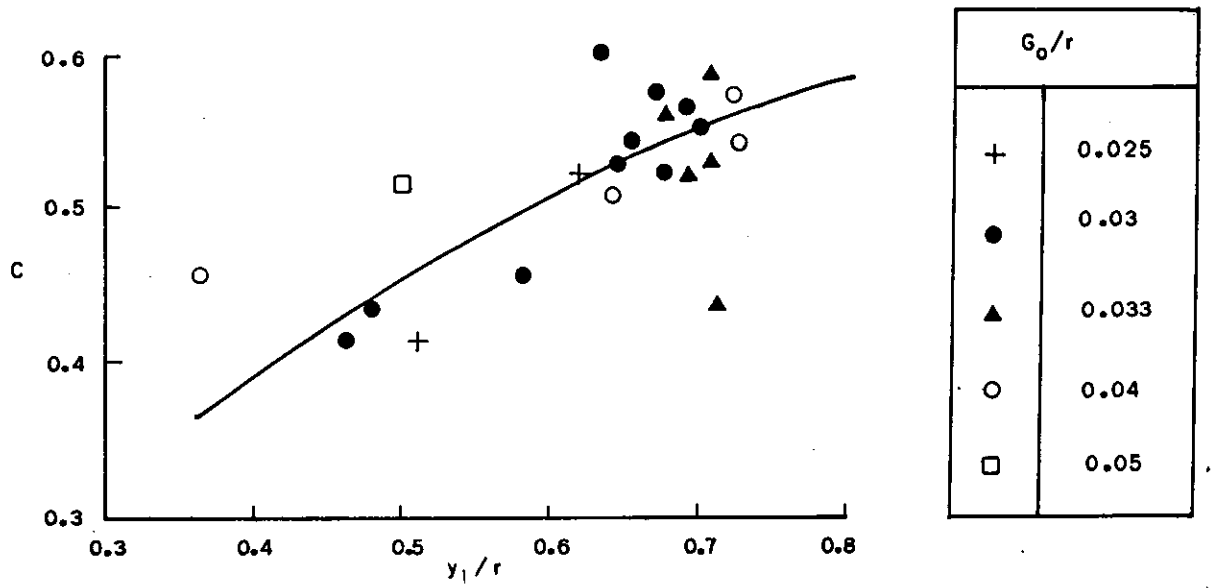
กรณีการไหลเป็นแบบไหลอิสระ

r = 10.0 เมตร บานประตูโค้งกว้างบานละ 12.50 เมตร รวม 16 บาน

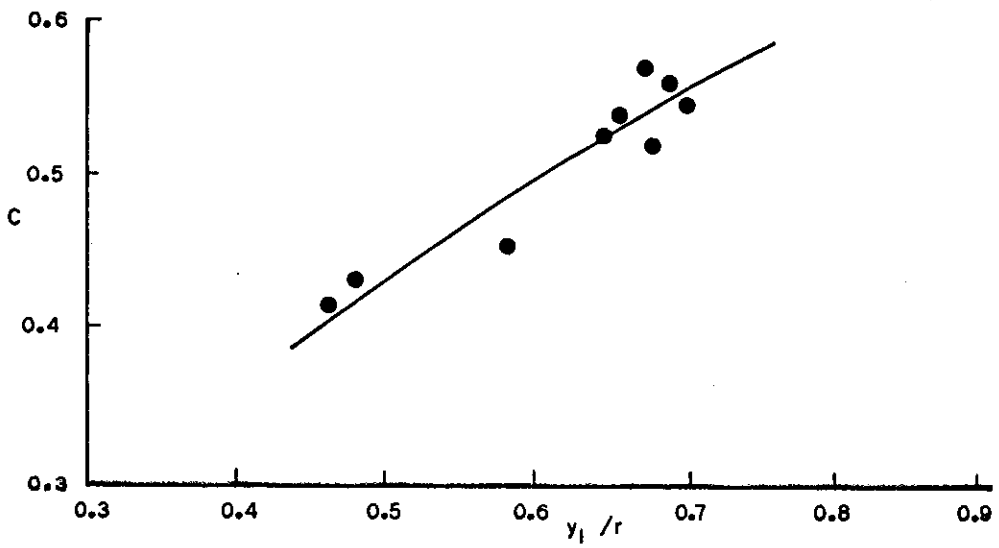
$Q = CLG_o\sqrt{2gy_1}$

ราดาระดับธรณีประตูเท่ากับ 9.00 เมตร (รทก.)

วัน เดือน ปี	ระดับน้ำเหนือน้ำ ม.(รทก.)	G ×จำนวนบานประตูที่เปิด	Q cms.	y_1	$\frac{y_1}{r}$	$\frac{G_o}{r}$	$C=\frac{Q}{LG_o\sqrt{2gy}}$
11 มีค.23	14.11	0.25×4	51.368	5.11	0.511	0.025	0.410
23 มีค.24	15.20	0.25×4	70.928	6.20	0.620		0.515
3 มีค.23	13.59	0.30×4	58.239	4.59	0.459	0.03	0.409
5 มีค.23	13.77	0.30×4	62.668	4.77	0.477		0.432
16 พค.23	14.80	0.30×4	71.91	5.80	0.580		0.449
8 มค.24	16.01	0.30×4	95.919	7.01	0.701		0.545
26 มค.24	15.26	0.30×4	98.671	6.27	0.627		0.593
30 มค.24	15.52	0.30×4	90.743	6.52	0.652		0.535
2 กพ.24	15.44	0.30×4	88.012	6.44	0.644		0.522
10 กพ.24	15.87	0.30×4	95.814	6.87	0.687		0.550
12 กพ.24	15.69	0.30×4	97.107	6.69	0.669		0.565
20 กพ.24	15.74	0.30×4	88.893	6.47	0.674		0.515
30 ธค.23	16.09	0.35×4	93.903	7.09	0.709	0.035	0.431
5 กพ.24	16.11	0.35×4	108.597	7.11	0.711		0.525
7 กพ.24	16.08	0.35×4	119.175	7.08	0.708		0.578
3 เมย.24	15.81	0.35×4	112.347	6.81	0.681		0.555
6 เมย.24	15.90	0.35×4	105.232	6.90	0.690		0.577
28 กพ.23	12.60	0.40×4	75.990	3.60	0.360	0.04	0.452
6 มค.24	16.25	0.40×4	127.875	7.25	0.725		0.536
18 กพ.24	16.17	0.40×4	133.855	7.17	0.717		0.564
30 มีค.24	15.39	0.40×4	111.960	6.39	0.639		0.500
31 มีค.23	13.98	0.50×4	126.157	4.98	0.498	0.05	0.511



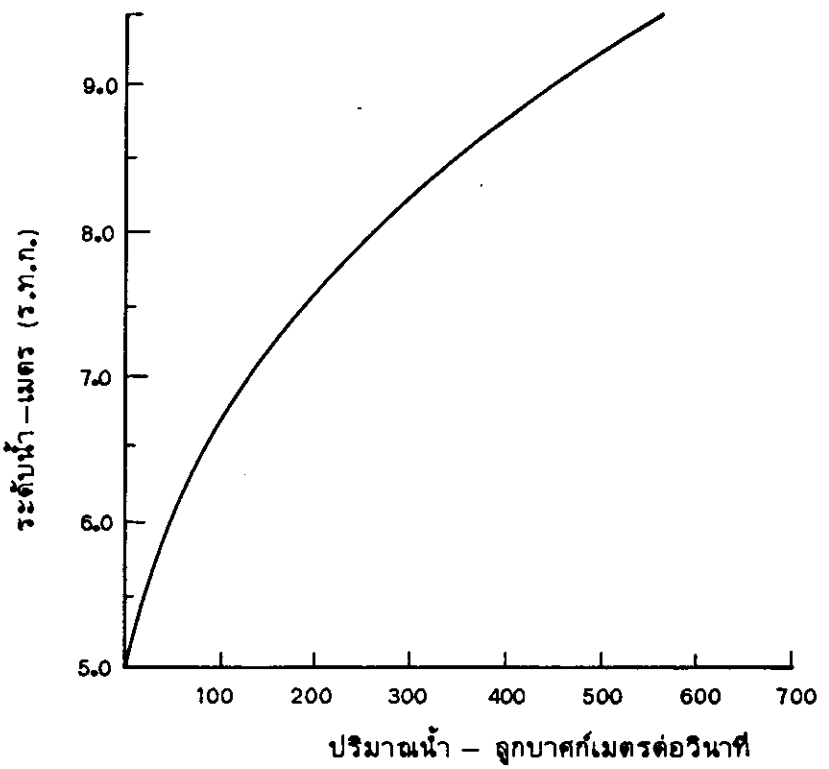
รูปที่ 4 โค้งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า C และค่า y_1/r สำหรับการไหลของน้ำผ่านเขื่อนเจ้าพระยาที่เป็นแบบอิสระและเปิดบานประตูระบายแต่ละบานเท่าๆ กัน (ฉลอง เกิดพิทักษ์ , 2527)



รูปที่ 5 โค้งแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง C และค่า y_1/r เมื่อ G_o/r =0.03 สำหรับการไหลของน้ำผ่านเขื่อนเจ้าพระยาที่เป็นแบบอิสระและเปิดบานประตูระบายแต่ละบานเท่าๆ กัน (ฉลอง เกิดพิทักษ์, 2527)

$$y_3 + \frac{v_3^2}{2g} = (7.5 + 9) - 4.6 = 11.9 \text{ เมตร} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (6)$$

ใช้สมการ (6) และ rating curve ท้ายเขื่อนตามรูปที่ 6 ประกอบการคำนวณ



รูปที่ 6 RATING CURVE ท้ายเขื่อนเจ้าพระยา

กรณีที่ 1

สมมุติว่าต้องการระบายน้ำผ่านเขื่อนเจ้าพระยาลงไปทางท้ายน้ำ 80 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

จาก rating curve ในรูปที่ 6 ระดับน้ำท้ายน้ำจะอยู่ที่ 6.60 เมตร

ก) สมมุติว่าเขื่อนเจ้าพระยาเปิดบานประตู 6 บานเท่า ๆ กัน

$$q = \frac{80}{12.5 \times 6} = 1.07 \text{ ลูกบาศก์เมตรต่อวินาทีต่อความกว้างหนึ่งเมตร}$$

จากสมการ (6) สมมุติให้ y_3 มีค่าเท่ากับ 0.071 เมตร

$$\frac{V_3^2}{2g} = 11.9 - 0.071 = 11.829 \text{ เมตร}$$

$$V_3 = 15.227 \text{ เมตร/วินาที}$$

Check

$$q = y_3 V_3 = 0.071 \times 15.227$$

$$= 1.08 \text{ ม.}^3\text{/วินาที ต่อความกว้างหนึ่งเมตร} \quad \text{O.K.}$$

จากรูปที่ 3 เขียนสมการของไฮดรอลิคจั้มระหว่างรูปตัด 3-3 และรูปตัด 4-4 จะได้

$$y_4/y_3 = \frac{1}{2}\left(\sqrt{1+8F_3^2} - 1\right) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (7)$$

โดยที่ $F_3 = \frac{V_3}{\sqrt{gy_3}} = \frac{15.227}{\sqrt{9.8 \times 0.071}} = 18.25$

แทนค่า F_3 และ y_3 ในสมการ (7) จะได้

$$y_4 = 1.80 \text{ เมตร}$$

เพื่อความปลอดภัย ความลึกท้ายน้ำตาม rating curve ต้องมากกว่า $1.10y_4$

ความลึกท้ายน้ำจาก rating curve ในรูปที่ 6

$$= 6.60 - 4.60 = 2.00 \text{ เมตร} > 1.1Y_4 \ (1.98) \quad \text{O.K.}$$

หาขนาดการเปิดบานประตู G_o จากสมการที่ 5

$$G_o = \frac{Q}{CL\sqrt{2g\,y_1}}$$

เมื่อ $\frac{y_1}{r} = \frac{7.5}{10} = 0.75$ ค่า c จากรูปที่ 5 จะเท่ากับ 0.59

$$\therefore G_o = \frac{80}{0.59 \times 12.5 \times 6 \times \sqrt{2 \times 9.8 \times 7.5}}$$

$$= 0.15 \text{ เมตร}$$

ข) สมมุติว่าเขื่อนเจ้าพระยาเปิดบานประตู 7 บานเท่า ๆ กัน

$$q = \frac{80}{12.5 \times 7} = 0.914 \text{ ม.}^3\text{/วินาที ต่อความกว้างหนึ่งเมตร}$$

สมมุติให้ y_3 มีค่าเท่ากับ 0.06 เมตร

$$\frac{V_3^2}{2g} = 11.9 - 0.06 = 11.84 \text{ เมตร}$$

$$V_3 = 15.234 \text{ เมตร/วินาที}$$

Check $q = V_3 y_3 = 15.234 \times 0.06 = 0.914$ ม./วินาที /ความกว้าง 1 เมตร

$$F_3 = \frac{V_3}{\sqrt{gy_3}} = \frac{15.234}{\sqrt{9.8 \times 0.06}} = 19.86$$

แทนค่า F_3 และ y_3 ลงในสมการ $y_4/y_3 = \frac{1}{2}(\sqrt{1 + 8F_3^2} - 1)$ จะได้

$$y_4 = 1.66 \text{ เมตร}$$

ซึ่งจะเห็นว่าค่า y_4 กรณีที่เปิดบานประตู 6 บานเท่า ๆ กัน มีค่ามากกว่า y_4 กรณีที่เปิดบานประตู 7 บานเท่า ๆ กัน จึงเห็นได้ว่าถ้าปริมาณน้ำคงที่ การเปิดบานประตูจำนวนมากจะป้องกันการกัดเซาะด้านท้ายน้ำได้ดีกว่าการเปิดบานประตูจำนวนน้อย

การหาขนาดการเปิดบานประตู จากสมการที่ 5

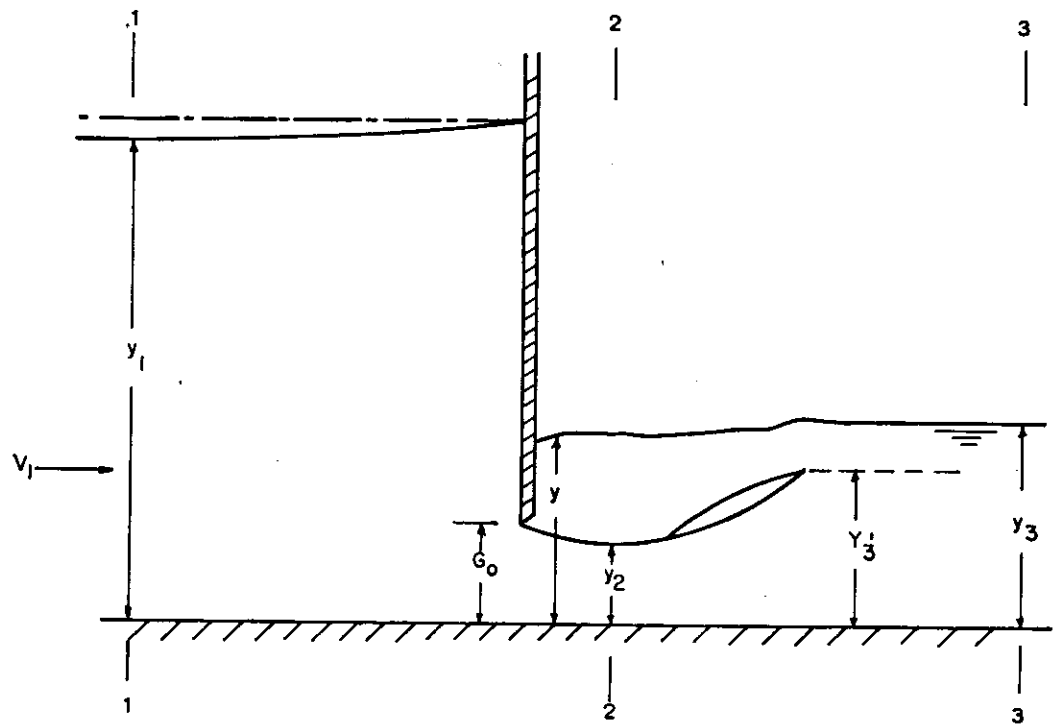
เมื่อ $\frac{y_1}{r} = 0.75$ จะได้ค่า c จากรูปที่ 5 เท่ากับ 0.59

$$G_o = \frac{80}{0.59 \times 12.5 \times 7 \times \sqrt{2 \times 9.8 \times 7.5}}$$

$$= 0.13 \text{ เมตร}$$

3. การไหลของน้ำลอดใต้บานประตูแบบท่วมท้ายน้ำ (Submerged Outflow)

การไหลของน้ำลอดใต้บานประตูจะเป็นแบบท่วมท้ายน้ำก็ต่อเมื่อความลึกของน้ำทางด้านท้ายน้ำของบานประตู (Y_3) มีค่ามากกว่าความลึกของไฮดรอลิคจั้ม (Y_3') ที่เกิดจากน้ำไหลลอดใต้บานประตู ดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 แสดงลักษณะการไหลแบบท่วมบานประตูด้านท้ายน้ำ

การไหลของน้ำแบบท่วมท้ายน้ำจะสามารถอธิบายได้ด้วยสมการพลังงานและสมการโมเมนตัม สมมุติให้การสูญเสียพลังงานในการไหลของน้ำจากรูปตัด 1-1 ไปรูปตัด 2-2 มีค่าน้อยมากจนตัดทิ้งได้ พลังงานที่ 1 จะเท่ากับที่ 2

$$Y_1 + \frac{V_1^2}{2g} = Y + \frac{V_2^2}{2g}$$

หรือ $$Y_1 + \frac{q^2}{2gY_1^2} = Y + \frac{q^2}{2gY_2^2} \qquad \text{.....} \qquad (8)$$

เนื่องจาก Piezometric Head ที่รูปตัด 2-2 เท่ากับ Y ไม่ใช่ Y_2

และโมเมนตัมที่รูปตัด 2-2 เท่ากับที่รูปตัด 3-3 จะได้

$$\frac{q^2}{gy_2} + \frac{Y^2}{2} = \frac{q^2}{gy_3} + \frac{y_3^2}{2} \quad \text{.....} \quad (9)$$

จากสมการที่ (8) และ (9) จะสามารถเขียนสมการการไหลลอดใต้บานแบบท่วมท้ายน้ำได้ในทำนองเดียวกับสมการที่ (1) และ C_d จะขึ้นอยู่กับ $\frac{Y_1}{G_o}$ และ $\frac{Y_3}{G_o}$ แต่อย่างไรก็ตาม ความสัมพันธ์ระหว่าง C_d vs. $\frac{Y_1}{G_o}$ และ $\frac{Y_3}{G_o}$ ไม่สะดวกที่จะนำมาใช้ในทางปฏิบัติในสนาม

การไหลของน้ำผ่านอาคารชลประทานทั่ว ๆ ไปในระบบส่งน้ำจะเป็นแบบท่วมท้ายน้ำเป็นส่วนใหญ่ เพียงแต่เปอร์เซนต์ของการท่วมบานด้านท้ายน้ำจะมากหรือน้อยต่างกันเท่านั้น การที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากคลองมีความลาดเทน้อยจึงทำให้การโอเปอเรทอาคารที่อยู่ในคลองด้านท้ายน้ำมีผลกระทบไปถึงท้ายน้ำของอาคารเหนือน้ำได้

U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station ได้พัฒนาสูตรสำหรับใช้คำนวณปริมาณน้ำผ่านประตูระบายกรณีที่เป็น Submerged flow โดยได้ดัดแปลงมาจากสูตรของ Standard orifice

$$Q = CLG_o \sqrt{2g\ h}$$

หรือ
$$Q = C\left(\frac{G_o}{h_s}\right) LG_o \left(\frac{h_s}{G_o}\right) \sqrt{2gh}$$

$$Q = C_s L h_s \sqrt{2gh} \quad \text{.....} \quad (10)$$

ซึ่ง
$C_s = C(G_o/h_s)$

G_o = การเปิดบานประตู

Q = ปริมาณน้ำ

C_s = สัมประสิทธิ์ปริมาณน้ำเมื่อการไหลเป็นแบบท่วมท้ายน้ำ

L = ความกว้างของช่องบานประตูระบาย

h_s = ระดับน้ำท้ายน้ำ – ระดับธรณีประตู

g = อัตราเร่งเนื่องจากศูนย์ถ่วง

h = ผลต่างของ head ทั้งหมดระหว่างเหนือน้ำและท้ายน้ำ ซึ่งรวมถึง approach velocity head ด้วย

ซึ่งสูตรดังกล่าวนี้ใช้กับประตูระบายที่มีระดับธรณีประตูต่ำ และระดับน้ำท้ายน้ำอยู่สูงกว่าระดับธรณีประตู

สูตรนี้ได้ทดลองใช้ในห้องทดลองกับประตูระบายที่มีบานโค้งโดยการวัดปริมาณน้ำผ่านประตูระบายที่เปิดบานประตูที่ค่าต่าง ๆ แล้วจึงคำนวณค่า C_s ในแต่ละปริมาณน้ำที่วัดได้จากสูตร

$$C_s = \frac{Q}{Lh_s\sqrt{2gh}}$$

นำค่า C_s ที่สัมพันธ์กับค่า $\frac{h_s}{G_o}$ ที่ได้จากการทดลองไปเขียนกราฟในกระดาษ log-log จะได้ค่าเป็นเส้นตรงดังแสดงในรูปที่ 8

ในระบบชลประทาน อัตราความเร็วของน้ำในคลองมีค่าต่ำ velocity head จึงมีค่าน้อย กับเพื่อความสะดวกในทางปฏิบัติในสนาม ค่า h จึงใช้ผลต่างระหว่างระดับน้ำเหนือน้ำและท้ายน้ำของบานประตู

กรณีที่การไหลเป็นแบบท่วมท้ายน้ำ นอกจากจะใช้สมการดังกล่าวกับประตูระบายบานโค้งแล้ว ยังใช้สูตรนี้กับอาคารชลประทานอื่น ๆ ได้อีก คือ

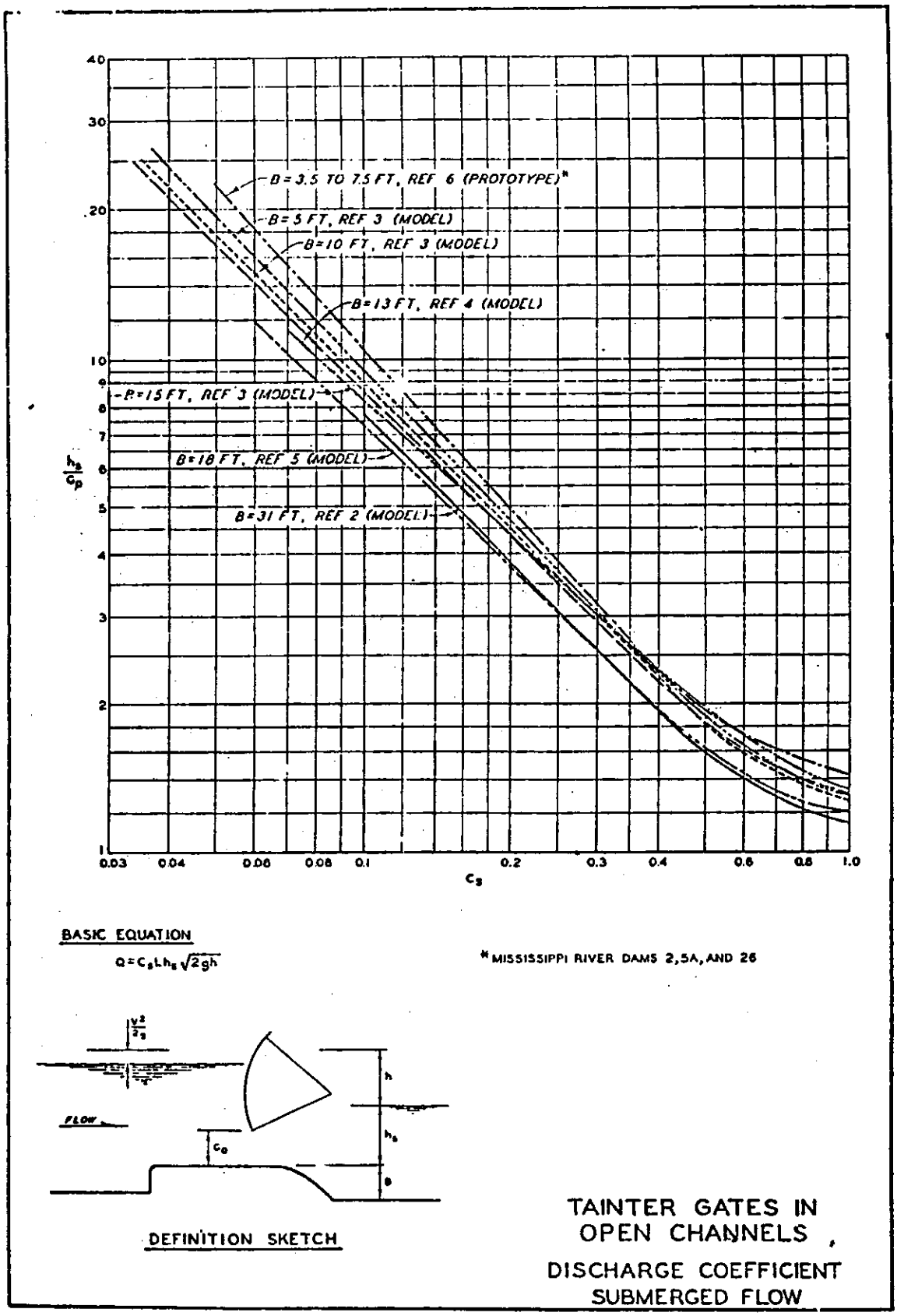
1. ประตูระบายบานตรง
2. ไปฟอน
3. ประตูระบายเป็นท่อสี่เหลี่ยม
4. ประตูระบายเป็นท่อกลม

จากประสบการณ์ของศาสตราจารย์ฉลอง เกิดพิทักษ์ และชัยวัฒน์ ขยันการนาวี (2523) ในการหา Calibration Curves ของอาคารชลประทานต่าง ๆ ในโครงการเจ้าพระยา และโครงการแม่กลอง สามารถสรุปประเด็นสำคัญในการจัดทำ Calibration Curves ในลักษณะเดียวกับรูปที่ 8 ได้ดังต่อไปนี้

จากข้อมูลในสนาม ถ้านำค่า C_s และค่า $\frac{h_s}{G_o}$ ไปเขียนในกระดาษ log-log แล้วได้ค่าความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง ก็สามารถใช้สูตรดังกล่าวนี้กับอาคารรูปร่างนั้น ๆ ได้ ดังเช่นที่ใช้ได้กับประตูระบาย

จากข้อมูลในสนามที่ได้จากการวัดปริมาณน้ำผ่านอาคารชลประทานสำคัญ ๆ เกือบร้อยแห่งทั้งในโครงการชลประทานเจ้าพระยาและแม่กลอง ศาสตราจารย์ฉลอง เกิดพิทักษ์ (2527) พบว่า

(1) ความสัมพันธ์ของค่า C_s และ $\frac{h_s}{G_c}$ จะไม่เป็นเส้นตรง เมื่อเปิดบานประตูมาก ๆ เกือบพ้นน้ำ หรือเปิดบานประตูน้อย ๆ



รูปที่ 8 Calibration curve ของ U.S. Army Corps of Engineers

(2) การวัดปริมาณน้ำที่การเปิดบานประตูต่างกันหลาย ๆ จุด ยิ่งได้จุดมากเท่าใด curve ที่ได้จะมีความถูกต้องมาก

(3) เมื่อมีจุดน้อย ๆ ถึงแม้ว่าความสัมพันธ์ของ C_s และ $\frac{h_s}{G_o}$ จะเป็นเส้นตรงก็ตาม การต่อ curve ออกไปจะทำให้ค่าที่ได้ไม่ค่อยถูกต้อง

(4) การวัดปริมาณน้ำในสนามควรให้ครอบคลุมช่วงที่ใช้โอเปอเรทอาคาร จึงจะทำให้การใช้ curve คำนวณปริมาณน้ำได้ค่าที่ถูกต้อง

(5) ถ้ามีการขุดลอกคลองท้ายอาคาร หรือลักษณะทางกายภาพของคลองท้ายอาคารเปลี่ยนแปลงไปจะโดยวิธีใดก็ตาม ควรจะได้วัดปริมาณน้ำเพื่อสร้าง curve ใหม่

(6) จากข้อ (1) จะเห็นได้ว่า curve นี้ไม่สามารถใช้ได้กับอาคารที่ยกบานประตูพ้นน้ำ

3.1 <u>การหา Calibration Curve สำหรับใช้คำนวณปริมาณน้ำผ่านประตูระบายไซฟอนและประตูระบายที่เป็นท่อกลม</u>

การหา Calibration Curve ที่จะยกมาเป็นตัวอย่างในที่นี้ประกอบด้วย

(1) การหา Calibration Curve ของประตูระบายบรมธาตุ กรณีที่เปิดบานประตู 4 บานเท่า ๆ กัน แสดงในตารางที่ 2 และรูปที่ 9

(2) การหา Calibration Curve ของประตูราบายบรมธาตุ กรณีที่เปิดบานประตู 3 บานเท่า ๆ กัน แสดงในตารางที่ 3 และรูปที่ 10

(3) การหา Calibration Curve ของไซฟอน กม. 2.700 คลอง 1 ซ้าย โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสามชุก ซึ่งเป็นท่อสี่เหลี่ยมสามท่อวางขนานกัน แต่ละท่อมีความยาวประมาณ 80 เมตร แสดงในตารางที่ 4 และรูปที่ 11

(4) การหา Calibration Curve ของประตูระบายกลางคลองที่ กม. 13.410 คลอง 1 ซ้าย โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสามชุก ซึ่งเป็นท่อกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.00 เมตร จำนวน 5 ท่อ แสดงในรูปที่ 12

ตารางที่ 2 การคำนวณหา Calibration Curve ของประตูระบายบรมธาตุ กรณีเปิดบานประตู 4 บานเท่า ๆ กัน

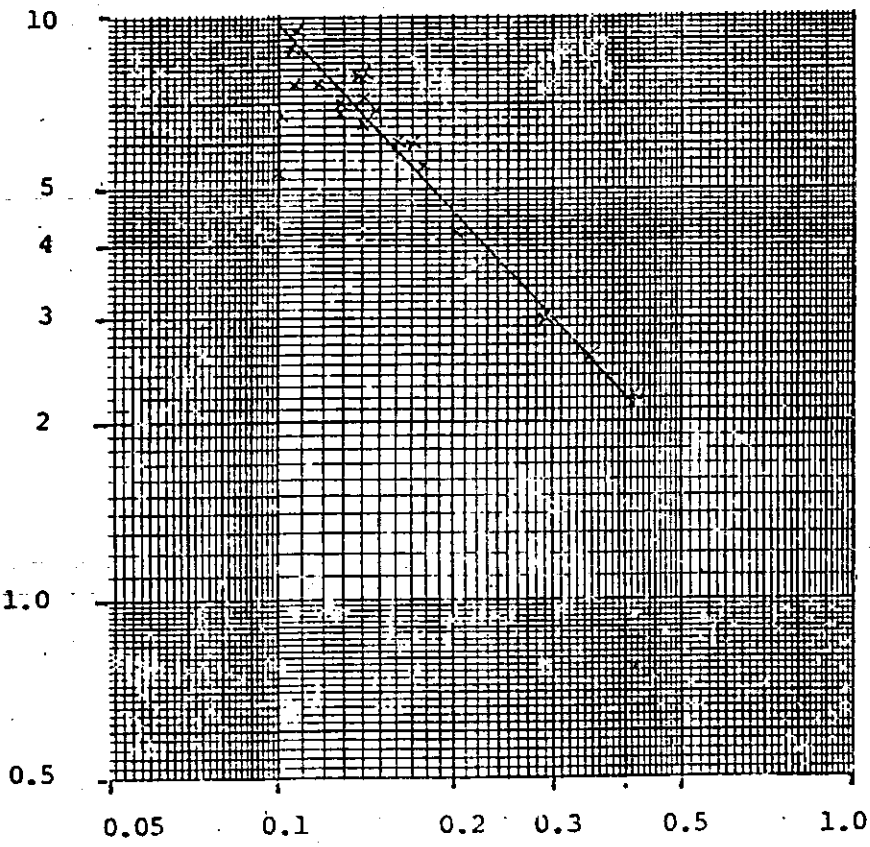
<u>ประตูระบายบรมธาตุ</u> โครงการบรมธาตุ

ราคาระดับที่ธรณีประตู 9.60 เมตร (รทก.)

ความกว้างของบานประตู 6.00 × 4 = 24.00 เมตร (บานโค้ง)

ราคาระดับที่เสาระดับถูกต้อง

ระดับน้ำ-เมตร รทก.		h	2gh	h_s	G_o	$\frac{h_s}{G_o}$	Q	C_s
เหนือน้ำ	ท้ายน้ำ	เมตร		เมตร	เมตร		ม.^{3}/วินาที	
16.50	12.69	3.81	8.64	3.05	0.45	6.777	80.24	.127
16.52	12.25	4.27	9.15	2.65	0.35	7.571	61.392	.106
14.27	11.75	2.52	7.03	2.15	0.33	6.515	50.788	.140
14.29	11.98	2.31	6.73	2.38	0.35	6.80	56.004	.146
14.22	11.95	2.27	6.67	2.35	0.30	7.833	52.051	.138
14.30	11.70	2.60	7.14	2.10	0.30	7.00	45.84	.127
13.80	11.10	2.70	7.27	1.50	0.19	5.30	27.59	.10
11.38	11.74	2.14	6.48	2.14	0.28	6.687	33.98	.102
13.70	11.82	1.88	6.07	2.22	0.35	7.928	44.81	.139
16.52	15.40	1.12	4.69	5.80	2.60	2.23	275.68	.418
16.96	15.40	1.56	5.53	5.80	2.25	2.58	272.75	.354
16.60	15.38	1.22	4.89	5.78	2.65	2.181	282.86	.417
16.24	14.45	1.79	5.92	4.85	1.60	3.031	191.39	.278
16.05	13.25	2.80	7.41	3.65	0.60	6.08	111.77	.172
16.08	13.25	2.83	7.45	3.65	0.60	6.083	104.25	.160
16.54	13.22	3.22	7.94	4.00	0.56	7.143	108.46	.142
16.54	13.60	2.94	7.59	3.58	0.85	4.212	133.29	.204
16.54	13.18	3.36	8.16	2.95	0.56	5.27	102.23	.178
16.55	12.35	4.00	8.85	2.61	0.28	9.32	59.76	.108
15.60	12.47	3.13	7.83	2.87	0.33	8.70	56.53	.105
15.89	12.55	3.34	8.09	2.95	0.38	7.76	67.14	.117



× จุดได้จากการวัดปริมาณน้ำ

<u>รายละเอียด</u>

โครงการ บรมธาตุ

ชื่ออาคาร ประตูระบายบรมธาตุ

ลักษณะอาคาร - บานประตู - จำนวน, ชนิด, ความกว้าง - 4 - บานโค้ง - 6.00 เมตร

- ระดับธรณีประตู (เมตร) 9.40)
- L ใช้ในสูตร (มตร) 24

<u>หมายเหตุ</u>

<u>ข้อแนะนำในการใช้สูตร</u>

1. หาค่าบานประตูเปิด (G_o)
2. คำนวณค่า h_s = ระดับน้ำท้ายน้ำ - ระดับธรณีประตู
3. หาค่า h_s/G_o
4. ใช้ค่า h_s/G_o ที่คำนวณได้ หาค่า C_s จากกราฟ
5. หาค่า h = ระดับน้ำเหนือน้ำ - ระดับน้ำท้ายน้ำ
6. คำนวณค่า $Q = C_s L h_s \sqrt{2gh}$

รูปที่ 9 Calibration curve ของ ปตร.บรมธาตุ กรณีเปิดบานประตู 4 บานเท่า ๆ กัน

ตารางที่ 3 การคำนวณหา Calibration Curve ของประตูระบายบรมธาตุ กรณีเปิดบานประตู 3 บานเท่า ๆ กัน

<u>ประตูระบายบรมธาตุ</u> โครงการบรมธาตุ

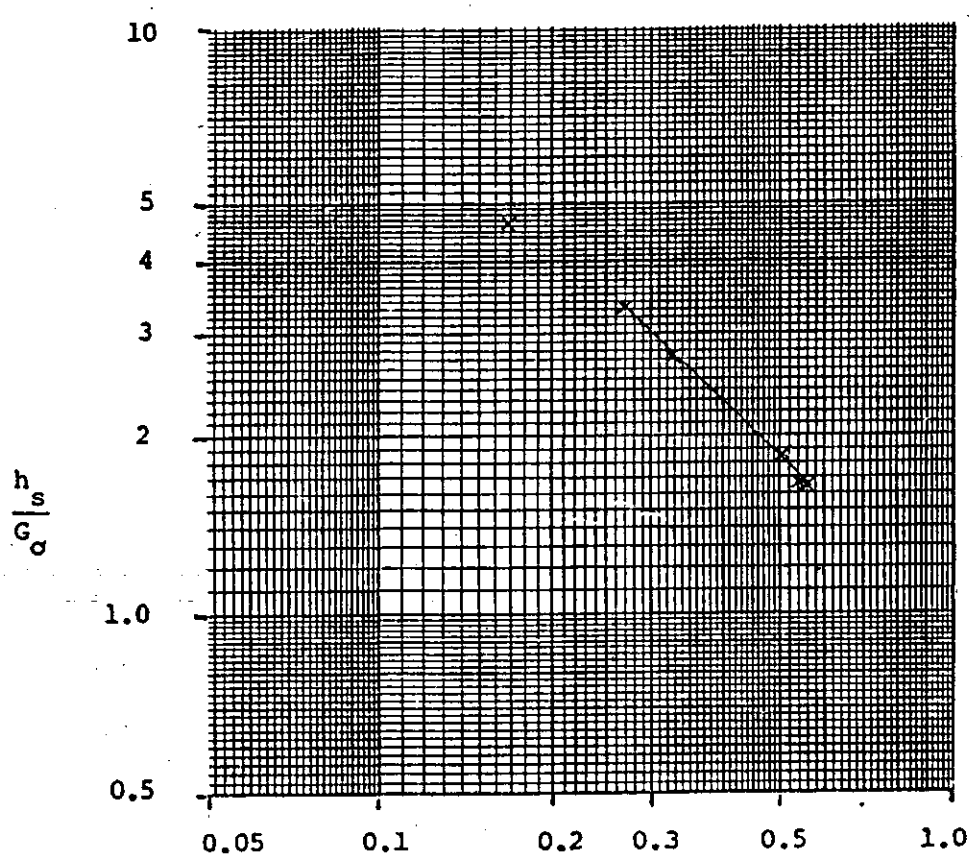
ราคาระดับที่ธรณีประตู 9.60 เมตร (รทก.)

ความกว้างของบานประตู 6.00 เมตร 4 บาน (บานโค้ง)

กรณีนี้เปิดบานประตู 3 บาน ความกว้าง = 6.00 × 3 = 18.00 เมตร

ราคาระดับที่เสาระดับถูกต้อง

ระดับน้ำ-เมตร รทก.		h	2gh	h_s	G_o	$\frac{h_s}{G_o}$		C_s
เหนือน้ำ	ท้ายน้ำ	เมตร		เมตร	เมตร		$ม.^3$/วินาที	
12.36	11.61	0.75	3.83	2.01	0.45	4.67	23.427	.17
16.55	13.75	2.80	7.41	4.15	1.25	3.32	149.742	.27
16.52	13.73	2.79	7.39	4.13	1.23	3.36	150.95	.275
16.54	14.25	2.29	6.70	4.65	1.70	2.74	184.05	.328
16.52	15.45	1.07	4.60	5.85	3.50	1.67	263.47	.54
16.49	15.45	1.04	4.51	5.85	3.50	1.67	265.632	.56
16.52	15.24	1.28	5.01	5.64	3.00	1.88	259.86	.51



$$C_s = \frac{Q}{Lh_s\sqrt{2gh}}$$

× จุดได้จากการวัดปริมาณน้ำ

รายละเอียด

โครงการ บรมธาตุ

ชื่ออาคาร ประตูระบายบรมธาตุ

ลักษณะอาคาร - บานประตู - จำนวน, ชนิด, ความกว้าง - 3 - บานโค้ง - 6.00 เมตร

- ระดับธรณีประตู (เมตร) 9.60
- L ใช้ในสูตร (เมตร) 18

หมายเหตุ

ข้อแนะนำในการใช้สูตร

1. หาค่าบานประตูเปิด (G_o)
2. คำนวณค่า h_s = ระดับน้ำท้ายน้ำ - ระดับธรณีประตู
3. หาค่า h_s/G_o
4. ใช้ค่า h_s/G_o ที่คำนวณได้ หาค่า C_s จากกราฟ
5. หาค่า h = ระดับน้ำเหนือน้ำ - ระดับน้ำท้ายน้ำ
6. คำนวณค่า $Q = C_s Lh_s\sqrt{2gh}$

รูปที่ 10 Calibration curve ของ ปตร.บรมธาตุ กรณีที่เปิดบานประตู 3 บานเท่า ๆ กัน

ตารางที่ 4 การคำนวณหา Calibration curve ของไฟฟอนคลอง 1 ซ้าย กม. 2.700 โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสามชุก

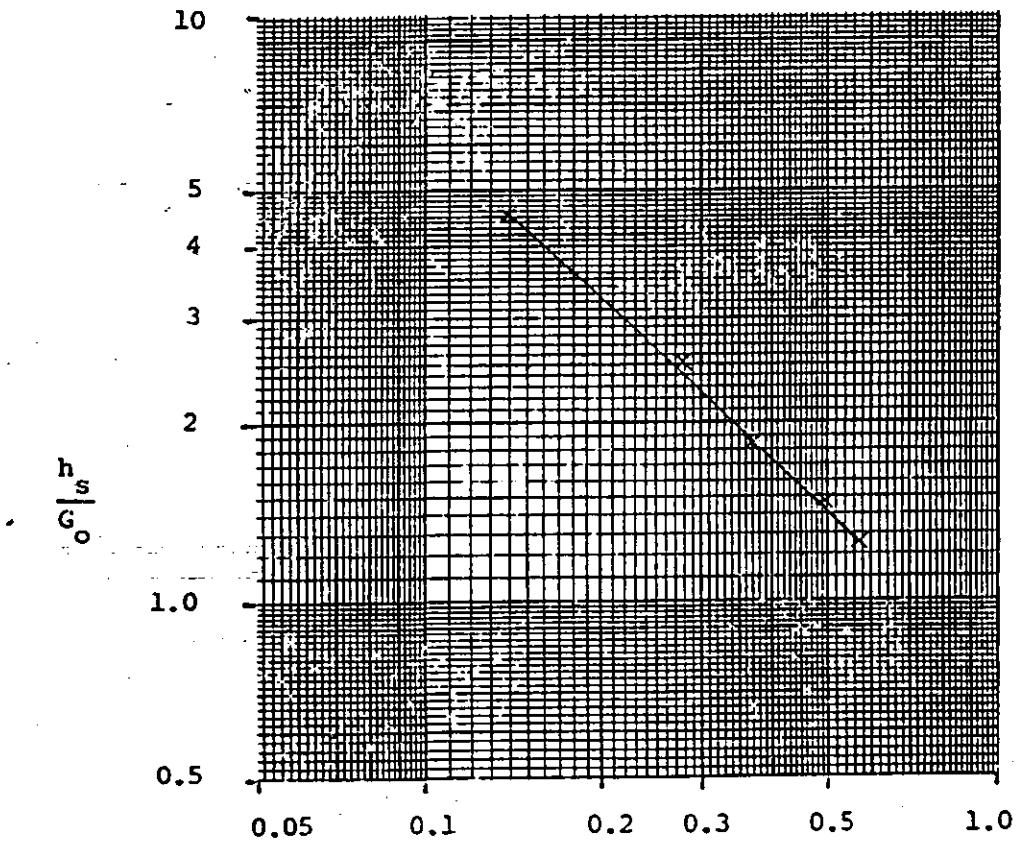
ราคาระดับที่ธรณีประตู 7.528 เมตร (รทก.)

ความกว้างของบานประตู 1.50 เมตร 3 บาน (บานตรง)

ระดับน้ำ-เมตร รทก.		h	$\sqrt{2gh}$	h_s	G_o	$\frac{h_s}{G_o}$	Q	C_s
เหนือน้ำ	ท้ายน้ำ	เมตร		เมตร	เมตร		$ม^3$/วินาที	
9.103	8.773	0.330	2.544	1.245	1.00	1.245	8.137	0.570
9.123	8.708	0.415	2.853	1.180	0.80	1.475	7.646	0.500
9.153	8.633	0.520	3.194	1.105	0.60	1.842	5.875	0.370
9.178	8.548	0.630	3.516	1.020	0.40	2.550	4.580	0.280
9.198	8.463	0.735	3.797	0.935	0.20	4.675	2.205	0.140

หมายเหตุ

ราคาเสาระดับด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำในตาราง เป็นราคาระดับที่ปรับให้เข้ากับราคาระดับที่ธรณีประตูแล้ว



รายละเอียด

โครงการ สามชุก

ชื่ออาคาร ไซฟอน กม.2.700 ของคลอง 1 ซ้าย

ลักษณะอาคาร - บานประตู - จำนวน, ชนิด, ความกว้าง - 3 - บานตรง - 1.50 เมตร

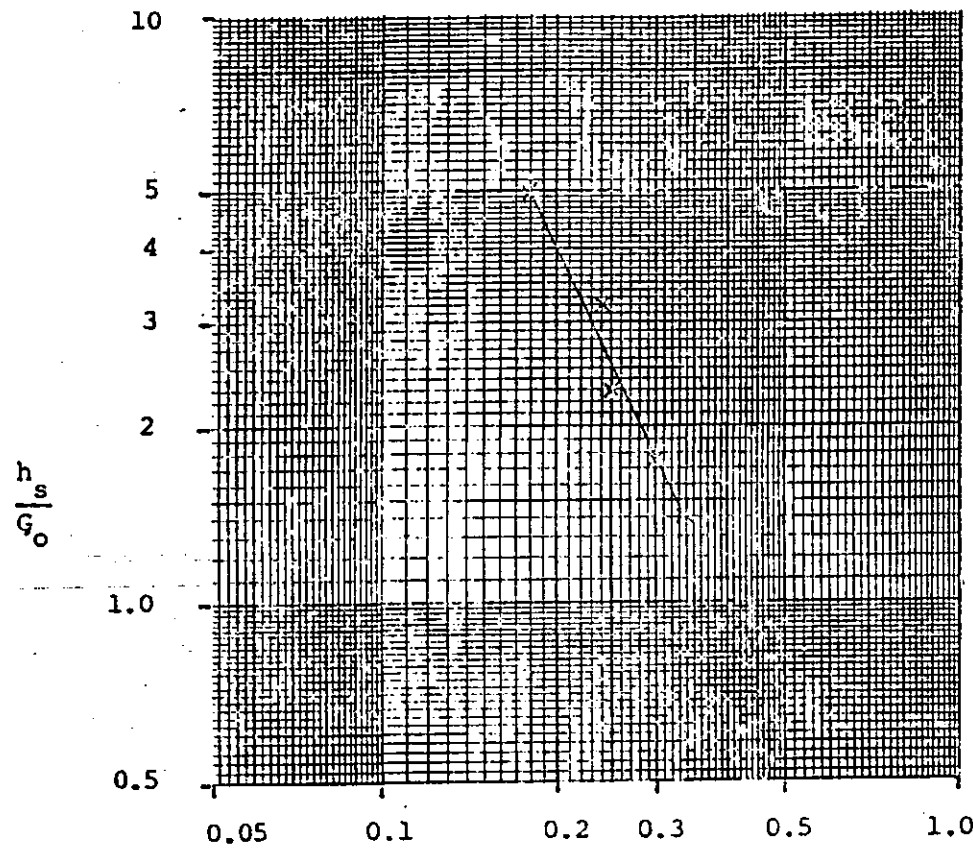
- ระดับธรณีประตู (เมตร) 7.528
- L ใช้ในสูตร (เมตร) 4.50

หมายเหตุ

ข้อแนะนำในการใช้สูตร

1. หาค่าบานประตูเปิด (G_o)
2. คำนวณค่า h_s = ระดับน้ำท้ายน้ำ - ระดับธรณีประตู
3. หาค่า h_s/G_o
4. ใช้ค่า h_s/G_o ที่คำนวณได้หาค่า C_s จากกราฟ
5. หาค่า h = ระดับน้ำเหนือน้ำ - ระดับน้ำท้ายน้ำ
6. คำนวณค่า $Q = C_s L h_s \sqrt{2gh}$

รูปที่ 11 Calibration Curve ของไซฟอน กม. 2.700 ของคลอง 1 ซ้าย



$$C_s = \frac{Q}{Lh_s\sqrt{2gh}}$$

× จุดได้จากการวัดปริมาณน้ำ

รายละเอียด

โครงการ สามชุก

ชื่ออาคาร ประตูระบายกลางคลอง 1 ซ้าย กม. 13.410

ลักษณะอาคาร – บานประตู – จำนวน, ชนิด, ความกว้าง – 5 – บานตรง – 1.00 เมตร

– ระดับธรณีประตู (เมตร) 6.755

– L ใช้ในสูตร (เมตร) 5.00

หมายเหตุ ปตร. ประกอบด้วยท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.00 เมตร จำนวน 5 ท่อ

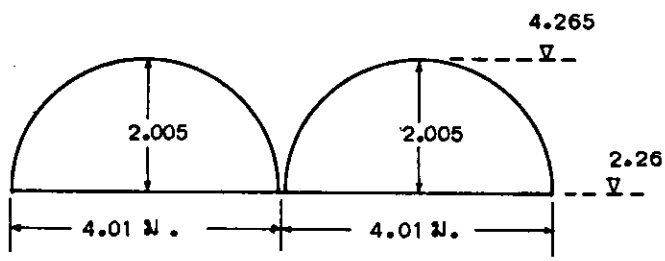
ข้อแนะนำในการใช้สูตร

1. หาค่าบานประตูเปิด (G_o)
2. คำนวณค่า h_s = ระดับน้ำท้ายน้ำ – ระดับธรณีประตู
3. หาค่า h_s/G_o
4. ใช้ค่า h_s/G_o ที่คำนวณได้หาค่า C_s จากกราฟ
5. หาค่า h = ระดับน้ำเหนือน้ำ – ระดับน้ำท้ายน้ำ
6. คำนวณค่า $Q = C_s L h_s \sqrt{2gh}$

รูปที่ 12 Calibration curve ของ ปตร. กลางคลอง 1 ซ้าย กม. 13.400

3.2 การคำนวณปริมาณน้ำผ่าน ปตร. กลางคลอง กม. 8.000 ของคลอง 1 ซ้าย โครงการโพธิ์พระยา

ปตร. กลางคลอง 1 ซ้าย กม. 8.000 ของโครงการโพธิ์พระยามีลักษณะเป็นท่อลอดครึ่งวงกลมคว่ำลง 2 ท่อ แต่ละท่อมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 4.01 เมตร ระดับที่เส้นผ่าศูนย์กลางหรือระดับธรณีประตู คือ 2.26 และระดับส่วนบนของท่อ 4.265 หรือรัศมีของท่อเท่ากับ 2.005 เมตร รายละเอียดของท่อ ดังแสดงในรูปที่ 13



รูปที่ 13 แสดงรูปตัดของ ปตร. บริเวณที่น้ำไหลผ่าน

ใช้สูตรของ U.S. Corps of Engineers น้ำท่วมบานประตูด้านท้ายน้ำ ในการสร้าง Curve เพื่อใช้ในการคำนวณสูตรดังกล่าวนี้คือ

$$Q = C_s h_s L \sqrt{2gh}$$

ซึ่ง Q = ปริมาณน้ำที่ไหลผ่าน

C_s = สัมประสิทธิ์ปริมาณน้ำกรณีที่การไหลเป็นแบบท่วมท้ายน้ำ

h_s = ระดับน้ำท้ายน้ำ – ระดับธรณีประตู

L = ความกว้างของทางน้ำ

ซึ่ง h = ความแตกต่างระหว่างระดับน้ำเหนือน้ำและท้ายน้ำ

$$C_s = \frac{Q}{h_s L \sqrt{2gh}}$$

สำหรับอาคารนี้

ราคาระดับธรณีประตู = 2.26

L = 4.01 × 2 = 8.02 เมตร

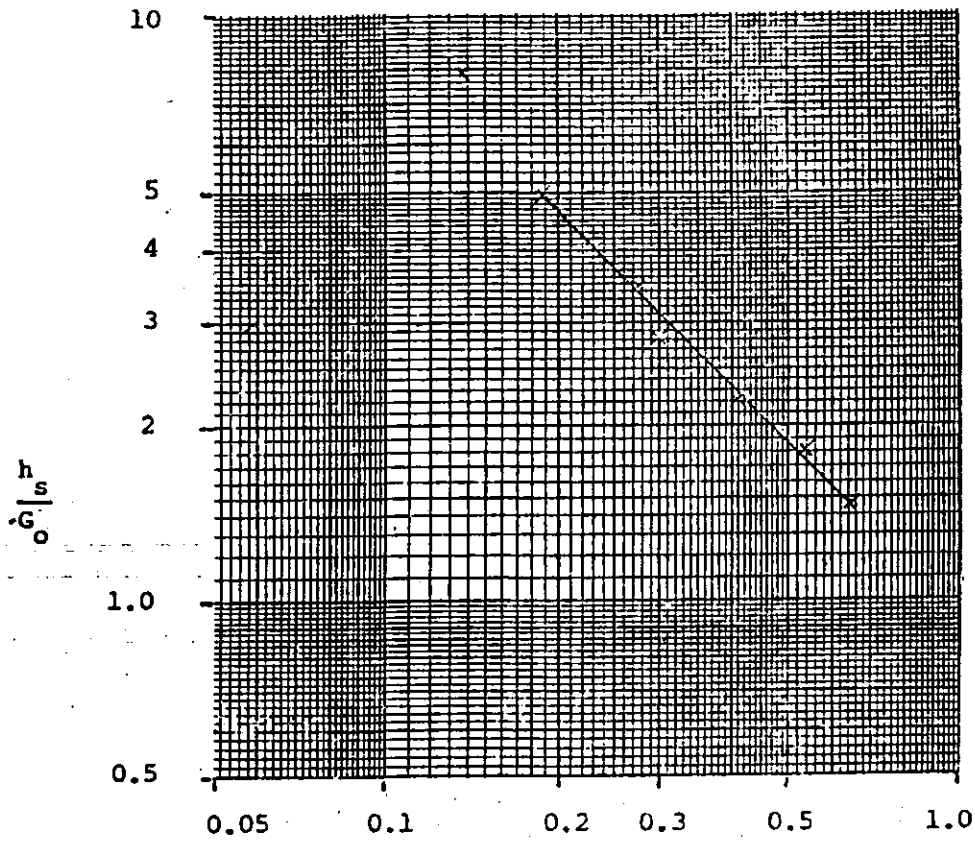
ปรากฏว่าเมื่อนำค่า C_s และ $\frac{h_s}{G_o}$ ที่คำนวณได้จากตารางที่ 5 ไปพล็อตในกระดาษ log-log แล้ว ได้ความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงดังแสดงในรูปที่ 14

ตารางที่ 5 การหา Calibration Curve ประตูระบายกลางคลองสายใหญ่ฝั่งซ้าย กม. 8.000 โครงการโพธิ์พระยา

ราคาระดับธรณีประตู 2.26 เมตร (รทก.)

ท่อครึ่งวงกลมกว้าง 4.01 × 2 = 8.02 เมตร บานประตูตรง

ระดับ - เมตร รทก.			h	$\sqrt{2gh}$	h_s	G_o	$\frac{h_s}{G_o}$	Q	C_s
เหนือน้ำ	เหนือน้ำที่แก้แล้ว	ท้ายน้ำ							
5.855	5.830	4.48	1.35	5.14	2.22	0.15	14.80	8.058	.088
5.785	5.760	4.630	1.13	4.71	2.37	0.30	7.90	12.304	.137
5.685	5.660	4.755	0.905	4.21	2.495	0.50	4.99	15.931	.189
5.575	5.550	4.855	0.695	3.69	2.595	0.75	3.46	20.929	.273
5.610	5.585	5.090	0.495	3.11	2.830	1.00	2.83	21.397	.303
5.530	5.505	5.130	0.375	2.71	2.870	1.30	2.21	25.573	.410
5.465	5.420	5.175	0.245	2.19	2.915	1.60	1.80	27.685	.540
5.415	5.390	5.20	0.19	1.93	2.940	2.005	1.47	29.480	.650



× จุดได้จากการวัดปริมาณน้ำ

รายละเอียด

โครงการ โพธิ์พระยา

ชื่ออาคาร ประตูระบายกลางคลอง กม. 8.000

ลักษณะอาคาร – บานประตู – จำนวน, ชนิด, ความกว้าง – 2 – บานตรง – 4.01 เมตร

– ระดับธรณีประตู (เมตร) 2.26

– L ใช้ในสูตร (เมตร) 8.02

หมายเหตุ ----------

ข้อแนะนำในการใช้สูตร

1. หาค่าบานประตูเปิด (G_o)
2. คำนวณค่า h_s = ระดับน้ำท้ายน้ำ – ระดับธรณีประตู
3. หาค่า h_s/G_o
4. ใช้ค่า h_s/G_o ที่คำนวณได้ หาค่า C_s จากกราฟ
5. หาค่า h = ระดับน้ำเหนือน้ำ – ระดับน้ำท้ายน้ำ
6. คำนวณค่า $Q = C_s L h_s \sqrt{2gh}$

รูปที่ 14 Calibration curve ของ ปตร. กลางคลอง 1 ซ้าย กม. 8.000 โครงการโพธิ์พระยา

4. <u>การไหลแบบความเร็วใต้วิกฤตผ่านทางน้ำที่ถูกบีบ</u> (Subcritical Flow Through Constrictions)

กรณีที่เปิดบานประตูพ้นน้ำ ช่องประตูซึ่งแคบกว่ารูปตัดควรจะบีบการไหลของน้ำทำให้เกิดทางด้านเหนือน้ำของจุดที่แคบกว่าปกติ ถ้าการไหลของน้ำในคลองเป็นแบบใต้วิกฤต ซึ่งเป็นลักษณะทั่ว ๆ ไปของการไหลในคลองส่งน้ำชลประทาน ณ จุดที่เป็นคอคอดน้ำจะไหลด้วยอัตราเร่ง ระดับน้ำลดลงอย่างรวดเร็ว และเกิด Separation Zone ซึ่งทำให้การไหลสัมผัสกับความกว้างน้อยกว่าความกว้างจริง จุดที่รูปตัดการไหลแคบที่สุดคือที่รูปตัด 2 ซึ่งเป็นลักษณะเดียวกับ Vena Contracta ใน Orifice Flow เมื่อน้ำไหลผ่านช่องคอคอดแล้วการไหลจะเริ่มขยายตัวออกจนเต็มความกว้างของทางน้ำด้านซ้ายของช่องประตูจะเกิดการไหลปั่นป่วน (Eddy Water) การไหลของน้ำผ่านช่องที่เป็นคอคอดแสดงอยู่ในรูปที่ 15

การวิเคราะห์คุณสมบัติของการไหลอย่างง่าย ๆ มีสมมุติฐานดังต่อไปนี้.-

(1) พื้นทางน้ำราบ หรือใกล้เคียงแนวราบ

(2) การสังเกตจากการทดลองแสดงว่าระดับน้ำที่ Vena contracta สามารถประมาณได้โดยใกล้เคียงให้เท่ากับระดับที่รูปตัด 3 ของรูปที่ 15 ซึ่งอยู่ท้ายน้ำของช่องที่ถูกบีบ ดังนั้นความลึกสามารถใช้เท่ากับ y_2 ได้

(3) ได้นำสัมประสิทธิ์ปริมาณน้ำมาใช้ในการวิเคราะห์ ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ดังกล่าวจะรวมเฉพาะผลกระทบทั้งหมดของทางน้ำที่เป็นคอคอด Eddy loss, การกระจายของอัตราความเร็วไม่สม่ำเสมอ และเป็น nonhydrostatic distribution of pressure ค่าต่าง ๆ ที่สัมพันธ์กับการวิเคราะห์มีดังนี้.-

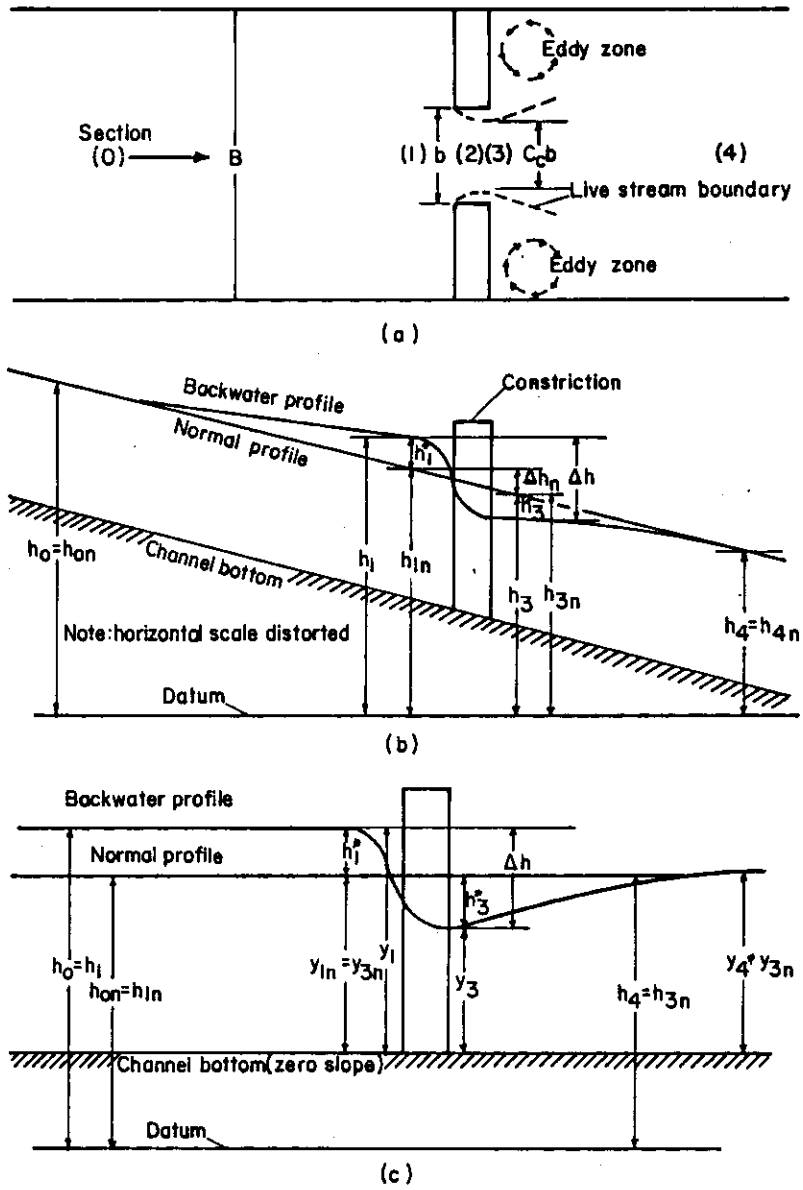
h_e = eddy loss เนื่องจากการไหลปั่นป่วน (Turbulent) ที่ทำให้เกิด separation zones เหนือน้ำ ซึ่งสมมุติว่าค่า loss นี้ สามารถแสดงได้ในรูปของ velocity head ที่รูปตัด 3 หรือ

$$h_e = k_e\left(\frac{V_3^2}{2g}\right)$$

ซึ่ง k_e คือค่าคงที่

α_1 และ α_3 = สัมประสิทธิ์ของพลังงานที่รูปตัด 1 และ 3 ตามลำดับ

α_1' และ α_3' = สัมประสิทธิ์ของความดันที่รูปตัด 1 และ 3 ตามลำดับ สมมุติว่าการ



รูปที่ 15 แสดงรายละเอียดการไหลผ่านทางน้ำที่เป็นคอดอด (a) plan (b) elevation (c) elevation โดยสมมุติให้พื้นท้องน้ำอยู่ในแนวระดับ

วิเคราะห์จาก hydrostatic distribution of pressure สามารถแสดงได้ในรูปของ velocity head ที่รูปตัด 3 ดังนั้น

$$\alpha_3' y_3 = k_p\left(\frac{V_3^2}{2g}\right) + y_3$$

ซึ่ง k_p คือสัมประสิทธิ์แทนสำหรับ nonhydrostatic pressure distribution

C_c = สัมประสิทธิ์ของทางน้ำที่เป็นคอคอด (contraction) ที่รูปตัด 3

ใช้สมการพลังงานที่รูปตัด 1 และ 3 (รูปที่ 15(c)) สามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} + \alpha_1' y_1 = \alpha_3 \frac{V_3^2}{2g} + \alpha_3' y_3 + h_e + h_f$$

ซึ่ง h_f คือ friction loss

ถ้าสมมุติให้ $\alpha_1' = 1$, $\alpha_3' y_3 = k_p\left(\frac{V_3^2}{2g}\right) + y_3$ และ $h_e = k_e\left(\frac{V_3^2}{2g}\right)$

$$\alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} + y_1 = (\alpha_3 + k_p + k_e)\frac{V_3^2}{2g} + y_3 + h_f \quad \ldots\ldots\ldots \quad (11)$$

ปริมาณน้ำผ่านรูปตัด 3 คือ

$$Q = C_c A_3 V_3 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (12)$$

ซึ่ง A_3 คือพื้นที่น้ำที่รูปตัด 3 แก้สมการ (11) และ (12) เพื่อหาปริมาณน้ำจะได้

$$Q = CA_3\sqrt{2g\left(\Delta h - h_f + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g}\right)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (13)$$

ซึ่ง $\Delta h = y_1 - y_3$ และ C แทนค่าสัมประสิทธิ์ปริมาณน้ำทั้งหมด ซึ่งเท่ากับ

$$C = \frac{C_c}{\sqrt{\alpha_3 + k_e + k_p}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (14)$$

เป็นการแสดงค่าทางทฤษฎี สำหรับการใช้ในทางปฏิบัติ ค่า C อาจแสดงได้ด้วย dimensionless function และหาได้จากการทดลอง

ในการนำสมการ (13) ไปใช้ในทางปฏิบัติ เนื่องจาก h_f มีค่าน้อย และ α_1 มีค่าใกล้ 1.00 จึงสมมุติให้ $h_f = 0$ และ $\alpha_1 = 1.00$ ซึ่งข้อสมมุติเหล่านี้จะไปปรับค่า C โดย

อัตโนมัติ จึงทำให้ค่า ที่คำนวณได้จากการวัดค่าปริมาณน้ำจริงในสนามอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ และสมการที่ (13) จะสามารถเขียนใหม่ได้ดังนี้.-

$$Q = CA_3 \sqrt{2g(\Delta h + \frac{V_1^2}{2g})} \quad \text{.....} \quad (15)$$

ตัวอย่างต่อไปนี้เป็นการนำสมการ (15) ไปใช้หาค่า c ของประตูระบายโพธิ์พระยาเขื่อนเจ้าพระยาและประตูระบายเริงราง กรณียกบานประตูทั้งหมดพ้นน้ำโดยให้ค่า $h_f = 0$ และ $= 1.00$

4.1 <u>ประตูระบายโพธิ์พระยา</u>

ความกว้าง = 12.50 × 2 = 25.00 เมตร

ระดับธรณีประตู = 0.20 เมตร (รทก.)

ระดับน้ำเหนือน้ำ = 5.93 เมตร (รทก.)

ระดับน้ำท้ายน้ำ = 5.85 เมตร (รทก.)

ปริมาณน้ำที่วัดได้ Q = 270.828 ม.^{3}/วินาที

A_1 = (5.93-0.20) × 25 = 143.25 ม.^{2}

A_3 = (5.85-0.20) × 25 = 141.25 ม.^{2}

$V_1 = \frac{Q}{A_1}$ = 1.89 ม./วินาที

$\frac{V_1^2}{2g}$ = 0.182 เมตร

Δh = 5.93 - 5.85 = 0.08 เมตร

$Q = CA_3 \sqrt{2g(\Delta h + \frac{V_1^2}{2g})}$

$C = \frac{270.828}{320.09} = 0.846$

4.2 <u>เขื่อนเจ้าพระยา</u>

ความกว้างของบาน = 12.50 × 16 = 200 เมตร

ระดับธรณีประตู = 9.00 เมตร (รทก.)

วัดปริมาณน้ำครั้งที่ 1 = 3,761.947 ม.^{3}/วินาที

ระดับน้ำเหนือน้ำ = 16.87 เมตร (รทก.)

ระดับน้ำท้ายน้ำ = 16.75 เมตร (รทก.)

A_1 = (16.87-9) × 200 = 1,574 ม.^{2}

A_3 = (16.75-9) × 200 = 1,550 ม.^{2}

Δh = 0.12 เมตร

$V_1 = \frac{Q}{A_1}$ = 2.39 ม./วินาที

$\frac{V_1^2}{2g}$ = 0.291

$Q = CA_3 \sqrt{2g(\Delta h + \frac{V_1^2}{2g})}$

$C = \frac{3,761.947}{4,399.27}$ = 0.855

วัดปริมาณน้ำครั้งที่ 2 = 3,838.462 ม.^{3}/วินาที

ระดับน้ำเหนือน้ำ = 16.835 เมตร (รทก.)

ระดับน้ำท้ายน้ำ = 16.715 เมตร (รทก.)

A_1 = 1,567 ม.^{2}

A_3 = 1,543 ม.^{2}

Δh = 0.12

$V_1 = \frac{Q}{A_1}$ = 2.45 ม./วินาที

$\frac{V_1^2}{2g}$ = 0.306

$C = \frac{3,838.462}{4,458.6}$ = 0.861

ค่า C เฉลี่ย = 0.858

4.3 <u>ประตูระบายเริงราง</u>

ความกว้างของบาน = 6.00 × 3 = 18 เมตร

ระดับธรณีประตู = 3.97 เมตร (รทก.)

ระดับน้ำเหนือน้ำ = 9.52 เมตร (รทก.)

ระดับน้ำท้ายน้ำ = 9.45 เมตร (รทก.)

ปริมาณน้ำที่วัดได้ Q = 193.127 $ม.^3$/วินาที

A_1 = (9.52 - 3.97)18 = 99.9 $ม.^2$

A_3 = (9.45 - 3.97)18 = 98.64 $ม.^2$

Δh = 0.07 เมตร

$V_1 = \frac{Q}{A_1}$ = 1.933 ม./วินาที

$\frac{V_1^2}{2g}$ = 0.191 เมตร

$$Q = CA_3 \sqrt{2g(h + \frac{V_1^2}{2g})}$$

$$C = \frac{193.127}{223.10} = 0.866$$

ในทางปฏิบัติเมื่อทราบค่า c แต่ไม่ได้วัดปริมาณน้ำ จึงหาค่า V_1 ไม่ได้ จึงได้ปรับปรุงให้สามารถคำนวณหาปริมาณน้ำได้ดังต่อไปนี้.-

เพราะว่า $V_1 = \frac{Q}{A_1}$

แทนค่า V_1 ลงในสมการจะได้

$$Q = CA_3 \sqrt{2g(\Delta h + \frac{Q^2}{A_1^2/2g})}$$

$$Q^2 = \frac{C^2A_3^2 Q^2}{A_1^2} + C^2A_3^2 2g \Delta h$$

$$A^2 (1 - \frac{C^2A_3^2}{A_1^2}) = C^2A_3^2 2g \Delta h$$

$$Q^2 = \frac{C^2A_3^2 2g \Delta h}{1 - C^2 \frac{A_3^2}{A_1^2}}, \quad Q = CA_3 \sqrt{\frac{2g \Delta h}{1 - C^2 \frac{A_3^2}{A_1^2}}} \quad .. (16)$$

ดังนั้นเมื่อหราบค่า c และระดับน้ำเหนือและท้าย จึงสามารถคำนวณหาค่าปริมาณน้ำกรณียกบานประตูพ้นน้ำ

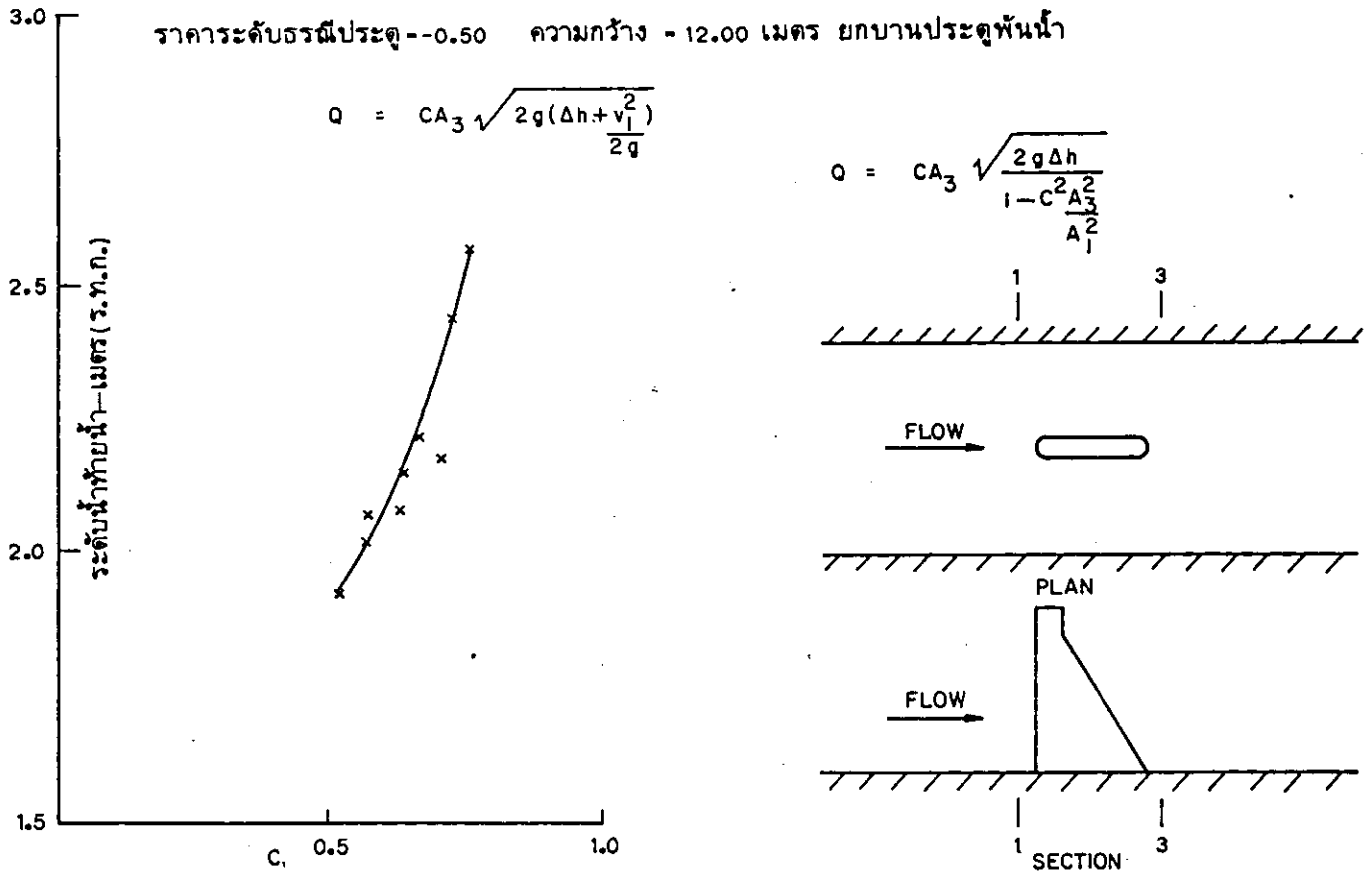
ในทางปฏิบัติ ค่า c กรณียกบานประตูพ้นน้ำของบานประตูระบายอาจผันแปรมาก จึงจำเป็นต้องวัดปริมาณน้ำที่ไหลผ่านประตูระบายกรณียกบานประตูระบายพ้นน้ำให้ครอบคลุมช่วงของปริมาณน้ำต่าง ๆ กันให้มากที่สุด แล้วนำค่า c ที่คำนวณได้จากการวัดปริมาณน้ำมาเขียนกราฟเพื่อหาความสัมพันธ์กับระดับน้ำท้ายประตูระบาย ดังเช่นของประตูระบายปากคลองผักไห่-เจ้าเจ็ด ซึ่งรายละเอียดดังแสดงในรูปที่ 16

4.3 <u>ประตูระบายปากคลองผักไห่-เจ้าเจ็ด</u> โครงการผักไห่

ระดาระดับธรณีประตู = - 0.50

ประตูระบายบานโค้ง ความกว้างของช่อง 6.00 × 2 = 12.00 เมตร

ระดับน้ำ-เมตร รทก.		A_3	A_1	Q	h	$2g(h+\frac{V_1^2}{2g})$	C
เหนือน้ำ	ท้ายน้ำ			cms.			
2.25	2.22	32.64	33.	22.80	.03	1.032	.677
2.50	2.47	35.64	36.	29.15	.03	1.115	.733
2.60	2.57	36.84	37.2	32.98	.03	1.172	.764
1.94	1.92	29.28	29.04	10.97	.02	0.731	.512
2.04	2.02	30.48	30.24	12.86	.02	0.757	.557
2.10	2.08	31.20	30.96	15.75	.02	0.807	.626
2.10	2.07	31.20	30.84	15.98	.03	0.925	.554
2.18	2.15	32.16	31.80	19.98	.03	0.991	.627



รูปที่ 16 Cvs. ระดับน้ำท้ายน้ำ ปตร. ปากคลองผักไห่–เจ้าเจ็ด โครงการผักไห่

5. การหา Calibration curve ของประตูระบายที่เป็นท่อลดระดับ

ในบางกรณีมีความจำเป็นต้องออกแบบประตูระบายปากคลองชอยให้เป็นท่อลดระดับ เนื่องจากลักษณะภูมิประเทศบังคับ หรือด้วยความจำเป็นอย่างอื่น อาคารนี้จะมี impact basin อยู่ที่ทางออกเพื่อใช้ขจัดกำลังงานเนื่องจากการลดระดับ ดังแสดงในรูปที่ 17 ในโครงการชลประทานในประเทศไทยมีอาคารชลประทานชนิดนี้อยู่ไม่มากนัก

การวิเคราะห์เพื่อหา Calibration curve สำหรับอาคารประเภทนี้มีดังต่อไปนี้.-

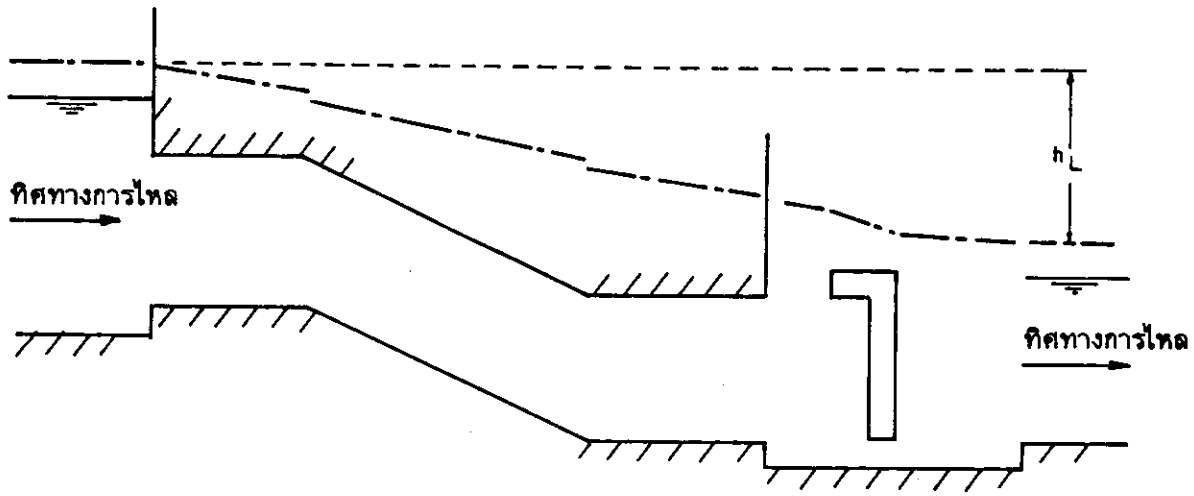
การไหลของน้ำผ่านอาคารจะเกิด head losses ซึ่งสมมุติให้เท่ากับ h_L

h_L = Entrance losses + friction losses + bend losses + Exit losses + ...

$$= K_1 \frac{V^2}{2g} + f\frac{L}{D}\frac{V^2}{2g} + K_2 \frac{V^2}{2g} + K_3 \frac{V^2}{2g} + \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (17)$$

เมื่อ V = อัตราความเร็วของการไหลในท่อ

f = friction factor ของท่อ



รูปที่ 17 ลักษณะของอาคารลดระดับ

L = ความยาวของท่อ

D = เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ

K_1, K_2, K_3, ... คือ สัมประสิทธิ์ของการสูญเสียพลังงานเนื่องจาก entrance losses, bend losses และ exit losses ตามลำดับ

จากสมการ (17) $h_L = (K_1 + f\frac{L}{D} + K_2 + K_3 + ...)\frac{V^2}{2g}$

$$V^2 = 2g\, h_L \frac{1}{(K_1 + f\frac{L}{D} + K_2 + K_3 + ...)}$$

ให้ $K = K_1 + f\frac{L}{D} + K_2 + K_3$ และ $C = \sqrt{\frac{1}{K}}$

$$V = \sqrt{2g\, h_L} \times \sqrt{\frac{1}{K}}$$

$$= C\sqrt{2g\, h_L}$$

$$Q = CA\sqrt{2g\, h_L} \quad \text{.....} \quad (18)$$

ค่า $f\frac{L}{D} + K_2 + K_3 + ...$, มีค่าเปลี่ยนแปลงไม่มากนักจึงสมมุติให้มีค่าคงที่ ส่วนค่า K_1 ผันแปรไปตามการปิดเปิดบานประตู ดังนั้นค่า C จะแปรผันไปตามขนาดการปิดเปิด

บานประตูระบาย จึงขอแนะนำให้เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า C และขนาดการปิดเปิดบานประตู กราฟดังกล่าวจะหาได้โดยการวัดปริมาณน้ำและ head losses (h_L) ของน้ำที่ไหลผ่านอาคารเมื่อเปิดบานประตูที่ระยะต่าง ๆ เมื่อสมมุติให้ความเร็วทางด้านเหนือน้ำ และท้ายน้ำมีค่าใกล้เคียงกัน h_L ก็คือความแตกต่างระหว่างระดับน้ำทางด้านเหนือและท้ายน้ำ

ตัวอย่างอาคารลักษณะดังกล่าวเช่น ที่ ปตร. ปากคลอง 3 ซ้าย 1 ขวา ของโครงการสามชุกและที่ ปตร. ปากคลองชอย 8 ขวา ของโครงการมโนรมย์ ค่า C จะผันแปรไปตามการปิดเปิดบาน ดังแสดงในรูปที่ 18 และ 19 ตามลำดับ

6. <u>การคำนวณปริมาณน้ำผ่านไซฟอนที่มีรูปตัดที่ยากแก่การคำนวณ</u>

กรณีที่ไซฟอนมีรูปตัดแปลก ๆ การคำนวณปริมาณน้ำผ่านไซฟอนโดยหลักของ การไหลลอดใต้บานประตูแบบท่วมท้ายน้ำตามที่กล่าวมาแล้วในข้อ 3.1 จึงไม่สะดวก ควรใช้วิธีที่กล่าวถึงในข้อ 5 มากกว่า โดยพิจารณาว่าขณะที่น้ำไหลผ่านไซฟอนจะเกิด head losses (h_L) ซึ่งเท่ากับผลรวมของ Entrance losses, Friction losses, Bend losses และ Exit losses ในทำนองเดียวกับที่กล่าวถึงแล้วในเรื่องประตูระบายที่เป็นท่อลดระดับ

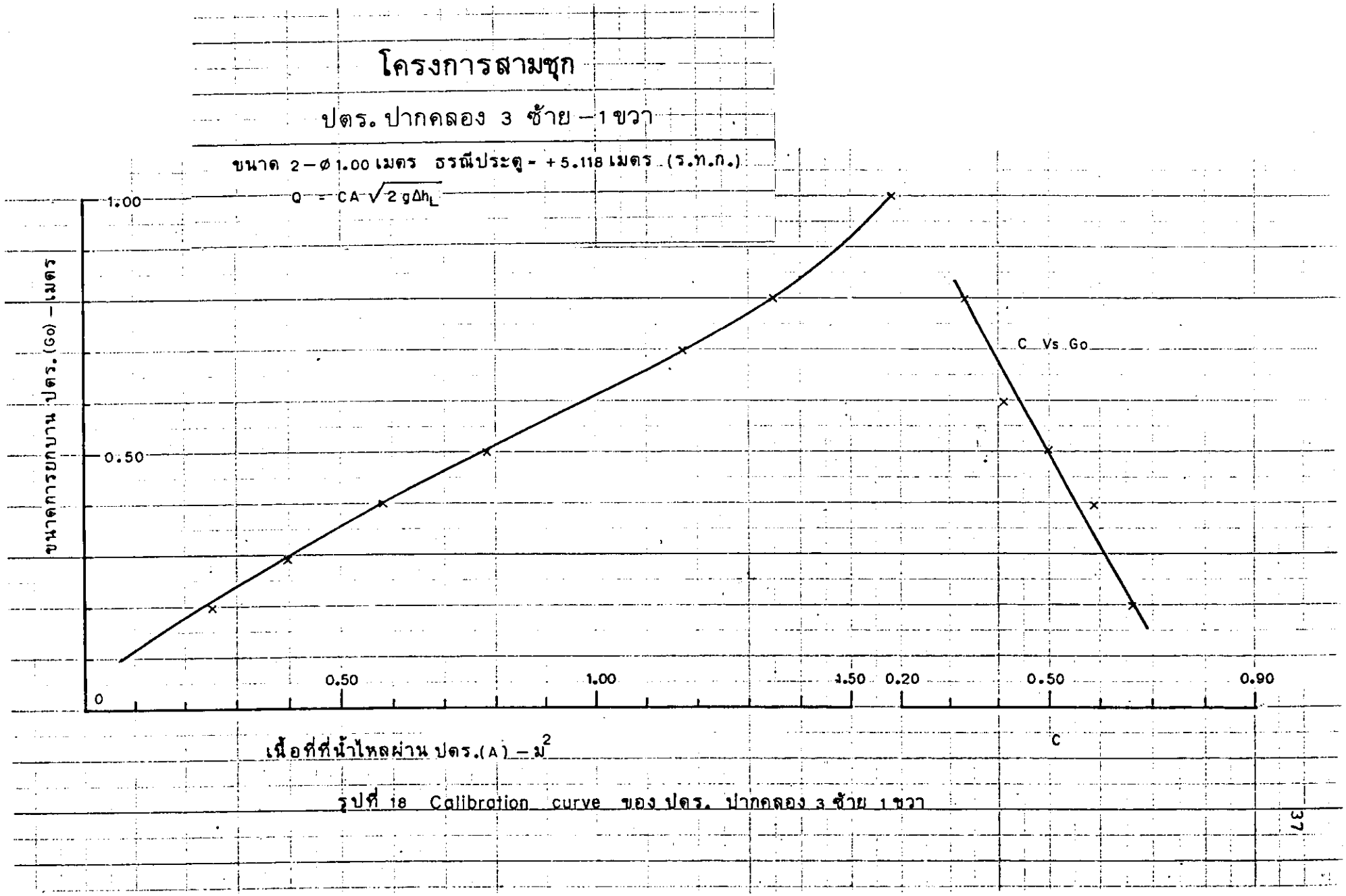
$$h_L = K \frac{V^2}{2g} \quad \text{.....} \quad (19)$$

เมื่อ $K = K_1 + f \frac{L}{D} + K_2 + K_3 + \text{.....}$

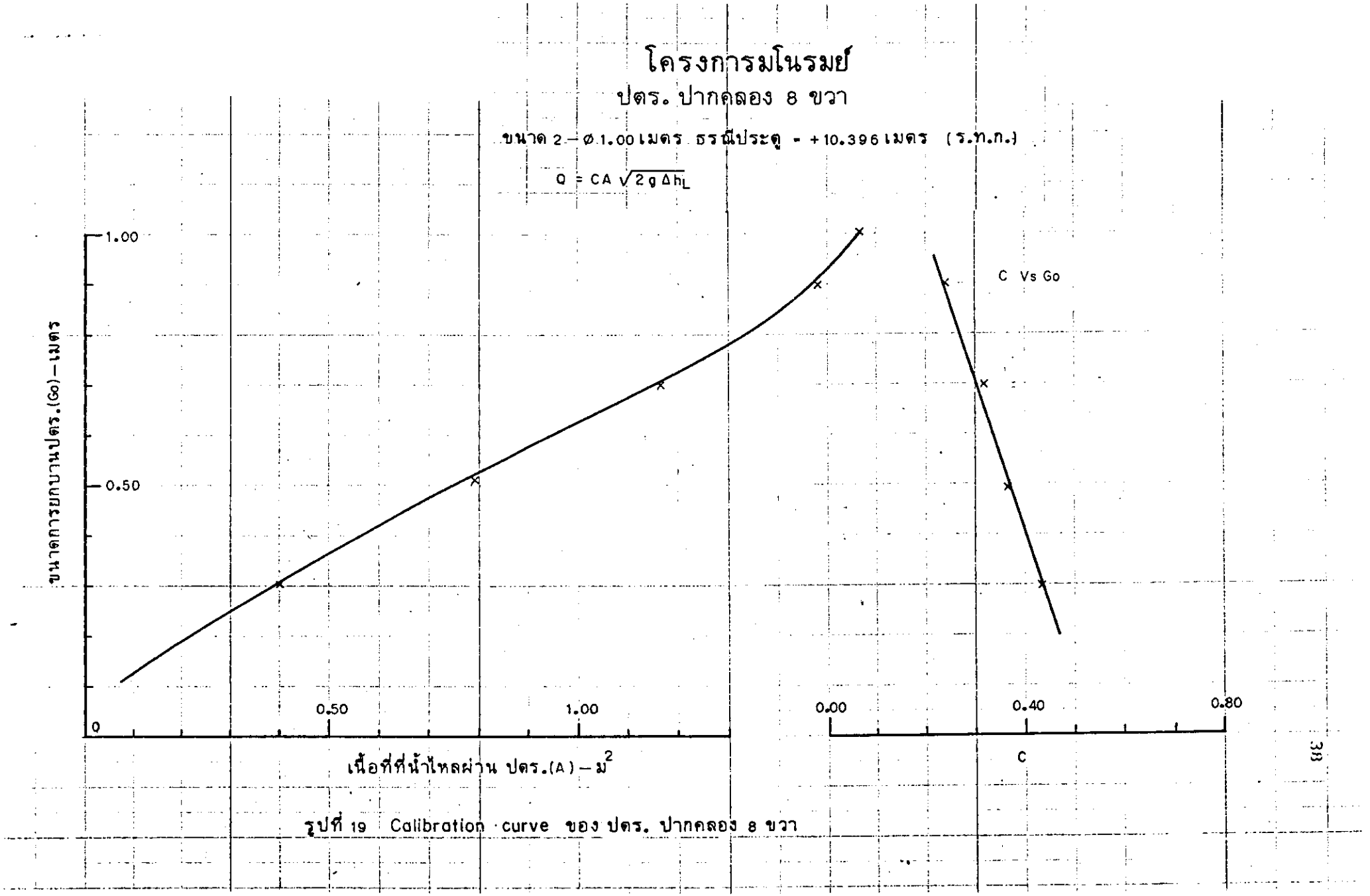
$$Q = A \sqrt{2g \frac{h_L}{K}} \quad \text{.....} \quad (20)$$

โดยการตรวจวัดค่า Q, A และ h_L (h_L คือความแตกต่างของระดับต้ำด้านเหนือ และท้ายน้ำ) ในสนามที่ Q และ h_L ต่าง ๆ กัน จะสามารถคำนวณหาค่า K ที่ Q ต่าง ๆ ได้ เมื่อนำเอาไปเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง K และ Q จะมีประโยชน์และสะดวกในการคำนวณปริมาณน้ำที่ไหลผ่านไซฟอนดังกล่าว

ยกตัวอย่างไซฟอนพระธรรมราชาประกอบด้วยท่อ 2 ท่อ มีรูปร่างไม่สม่ำเสมอ แต่ละท่อเมื่อมีน้ำไหลเต็ม มีพื้นที่หน้าตัดท่อละ 10 $ม.^2$ ดังนั้นการคำนวณปริมาณน้ำผ่านไซฟอนโดยคิดว่าการไหลท้ายไซฟอนเป็นแบบท่วมท้ายน้ำ โดยอาศัยสูตรของ U.S. Corps of Engineers จึงไม่สะดวก



รูปที่ 18 Calibration curve ของ ปตร. ปากคลอง 3 ซ้าย 1 ขวา



รูปที่ 19 Calibration curve ของ ปตร. ปากคลอง 8 ขวา

จากข้อมูลการวัดปริมาณน้ำในสนาม คือ

$A = 2 \times 10 = 20$ ม.^{2}

$Q_1 = 44.21$ cms. มี $h_L = 0.38$ เมตร

$Q_2 = 34.594$ cms. มี $h_L = 0.21$ เมตร

$Q_3 = 37.334$ cms. มี $h_L = 0.25$ เมตร

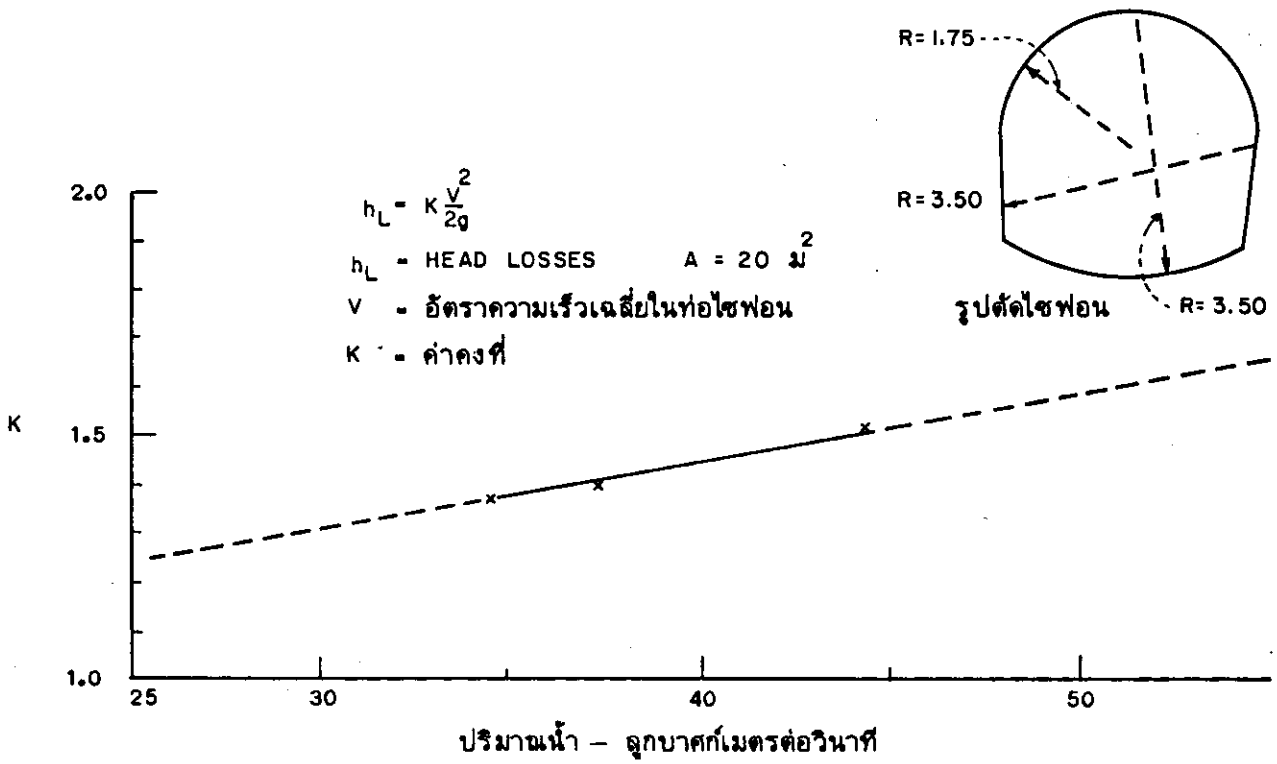
และจากสมการ $Q = AxV$ และ $h_L = K\frac{V^2}{2g}$ สามารถหาความสัมพันธ์ได้ดังนี้

เมื่อ $Q = 44.21$ cms. $K = \frac{A^2 2gh_L}{Q^2} = 1.526$

$Q = 34.594$ cms. $K = 1.377$

$Q = 37.334$ cms. $K = 1.408$

เมื่อนำค่า Q และ K ไปเขียนกราฟจะได้ความสัมพันธ์โดยประมาณเป็นเส้นตรง ดังแสดงในรูปที่ 20



รูปที่ 20 ความสัมพันธ์ระหว่าง K และ Q ของไซฟอนพระธรรมราชาโครงการรังสิตเหนือ

การใช้กราฟในรูปที่ 20 คำนวณหาปริมาณน้ำทำได้ดังนี้

(1) จากข้อมูลในสนามจะสามารถนำมาหาค่า h_L ได้ ซึ่งเท่ากับความแตกต่างของระดับน้ำเหนือและท้ายไซฟอน

(2) สมมุติค่า Q และหา K จากกราฟ

(3) คำนวณหา Q จากสมการที่ 20 ค่า A จะเท่ากับพื้นที่หน้าตัดท่อ เมื่อน้ำไหลเต็มท่อ

(4) ตรวจสอบค่า Q ที่คำนวณเท่ากับ Q สมมุติหรือไม่ ถ้าไม่เท่าก็สมมุติ Q ใหม่จนกระทั่ง Q คำนวณเท่ากับ Q สมมุติ

หมายเหตุ: สำหรับไซฟอนพระธรรมราชานี้เป็นท่อคอนกรีตเสริมเหล็ก ทางเข้าค่อนข้างราบเรียบ ความยาวประมาณ 30 เมตร ไซฟอนนี้ลอดคลองรังสิตซึ่งมีความลึกประมาณ 6 เมตร ซึ่งค่า K เฉลี่ยประมาณ 1.434 เนื่องจากต้องส่งน้ำและระบายน้ำผ่านไซฟอนนี้ทั้งการเพาะปลูกฤดูฝนและฤดูแล้ง จึงทำให้เวลาในการซ่อมแซมมีน้อย สำหรับไซฟอนที่ยาวและลึกมากกว่านี้ค่า K จะเพิ่มมากขึ้น ดังตัวอย่างของไซฟอนส่งน้ำสายใหญ่ฝั่งขวาของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาหนองหวาย ซึ่งลดน้ำพอง ลักษณะเป็นท่อคอนกรีตมีความยาวประมาณ 80 เมตร และลึกประมาณ 14 เมตร เมื่อมีปริมาณน้ำไหลผ่านประมาณ 10-15 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ค่า K = 3.00

ในทางปฏิบัติผลกระทบต่อค่า K นอกจากลักษณะทางเข้า, ทางออก, ความยาว และลักษณะรูปตัดของท่อลอดแล้ว ขณะที่วัดปริมาณน้ำเพื่อหาค่า K นั้น อาจมีสิ่งหนึ่งสิ่งใดติดอยู่ในท่อไซฟอน ทำให้พื้นที่น้ำไหลในบางรูปตัดลดลง ต่อเมื่อได้ทำความสะอาดแล้ว ค่า K จะเปลี่ยนไป จึงต้องวัดปริมาณน้ำเพื่อหาค่า K ใหม่

บรรณานุกรม

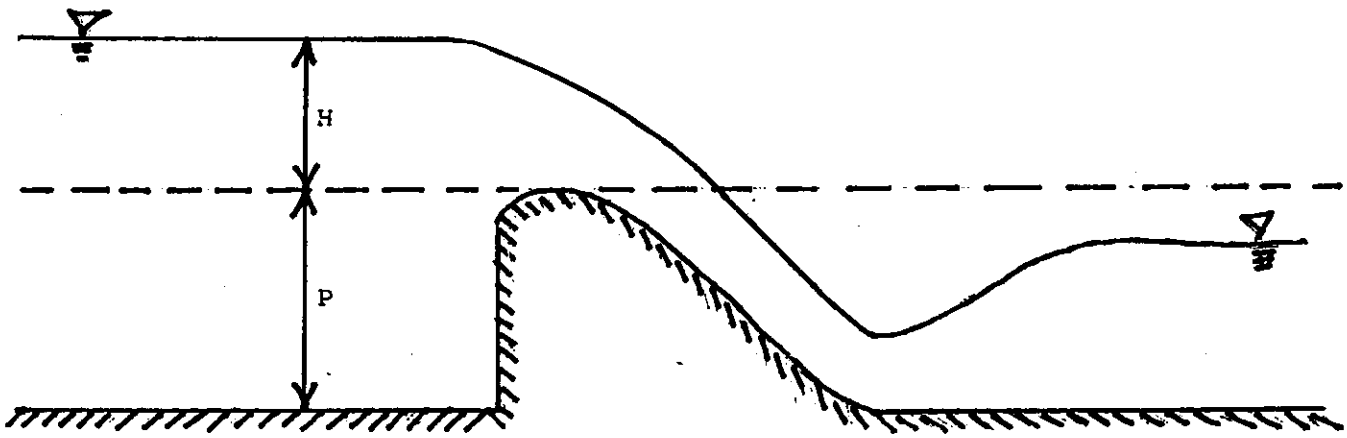
1. ฉลอง เกิดพิทักษ์ และ ชัยวัฒน์ ขยันการนาวี "คู่มือคำนวณปริมาณน้ำผ่านอาคารชลประทานที่สร้างเสร็จแล้ว" กรมชลประทาน, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2523

2. ฉลอง เกิดพิทักษ์, การจัดการน้ำในลุ่มน้ำของประเทศไทย, ฟิสิกส์เซนเตอร์การพิมพ์, 2527

ภาคผนวก
การคำนวณปริมาณน้ำผ่านฝาย

การไหลของน้ำผ่านสันฝายแบบ

"โอจี่"



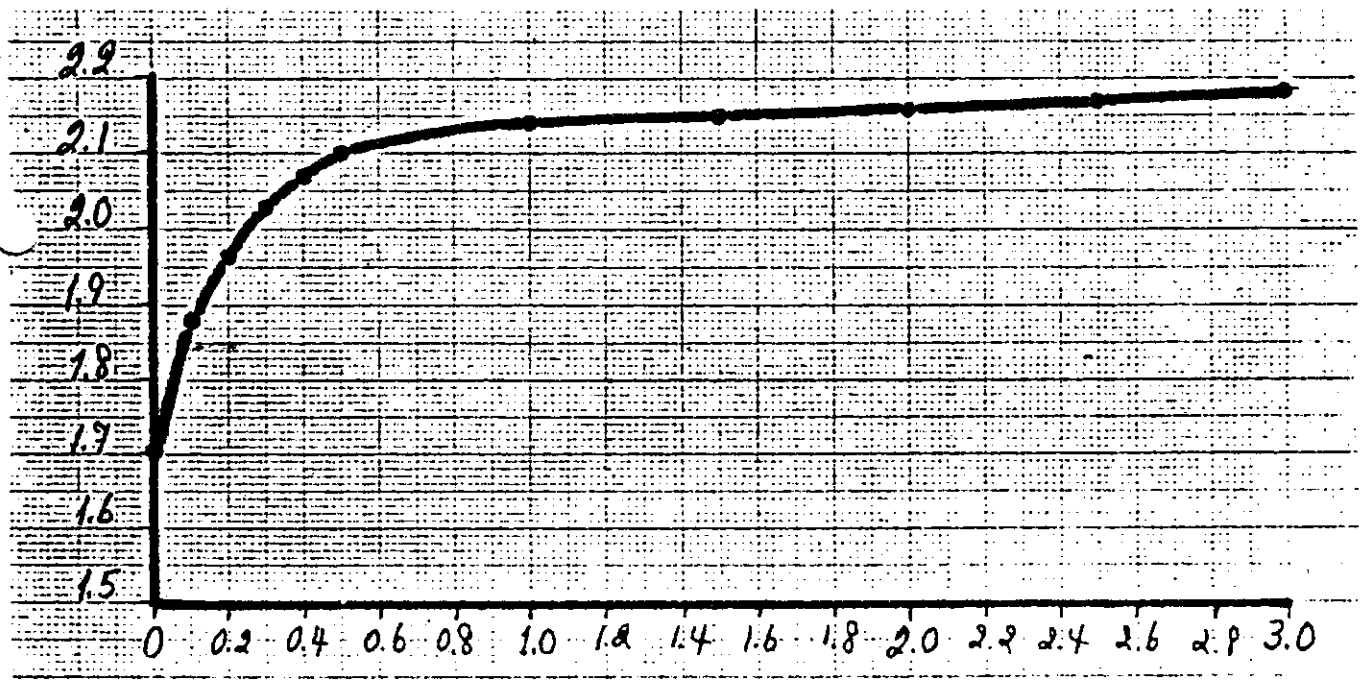
สูตร $Q = CLH^{3/2}$

เมื่อ Q = ปริมาณน้ำที่ไหลข้ามฝาย ม^3./วินาที

C = ส.ป.ส. การไหลผ่านฝาย

L = ความยาวของสันฝาย - เมตร

H = ความสูงของน้ำเหนือสันฝาย - เมตร



ค่าสัมประสิทธิ์การไหลของน้ำผ่านสันฝายแบบ " โอจี้ "

กรณีที่ระดับน้ำด้านท้ายฝายต่ำกว่าสันฝาย

การคำนวณปริมาณน้ำที่ไหลข้ามสันฝาย "โอจี้"

สมมุติ ความยาวสันฝาย L = 50 เมตร

ฝายสูง P = 2.50 เมตร

ความสูงของน้ำเหนือสันฝาย H = 1.00 เมตร

และระดับน้ำทางด้านท้ายน้ำไม่ท่วมสันฝาย

ให้คำนวณหา Q

1. $\frac{P}{H} = \frac{2.50}{1.00} = 2.50$

2. หาค่า C จากกราฟ กรณีที่ระดับน้ำทางด้านท้ายน้ำต่ำกว่าสันฝาย

   C = 2.17

3. $Q = 2.17 \times 50 \times (1.00)^{3/2}$

   $= 108.5$ ม.^{3}/วินาที

การคำนวณหากราฟน้ำไหลล้นสันฝาย " โอจี้ "

กรณีที่ระดับน้ำทางด้านท้ายน้ำไม่ท่วมสันฝาย

$Q = CLH^{3/2}$

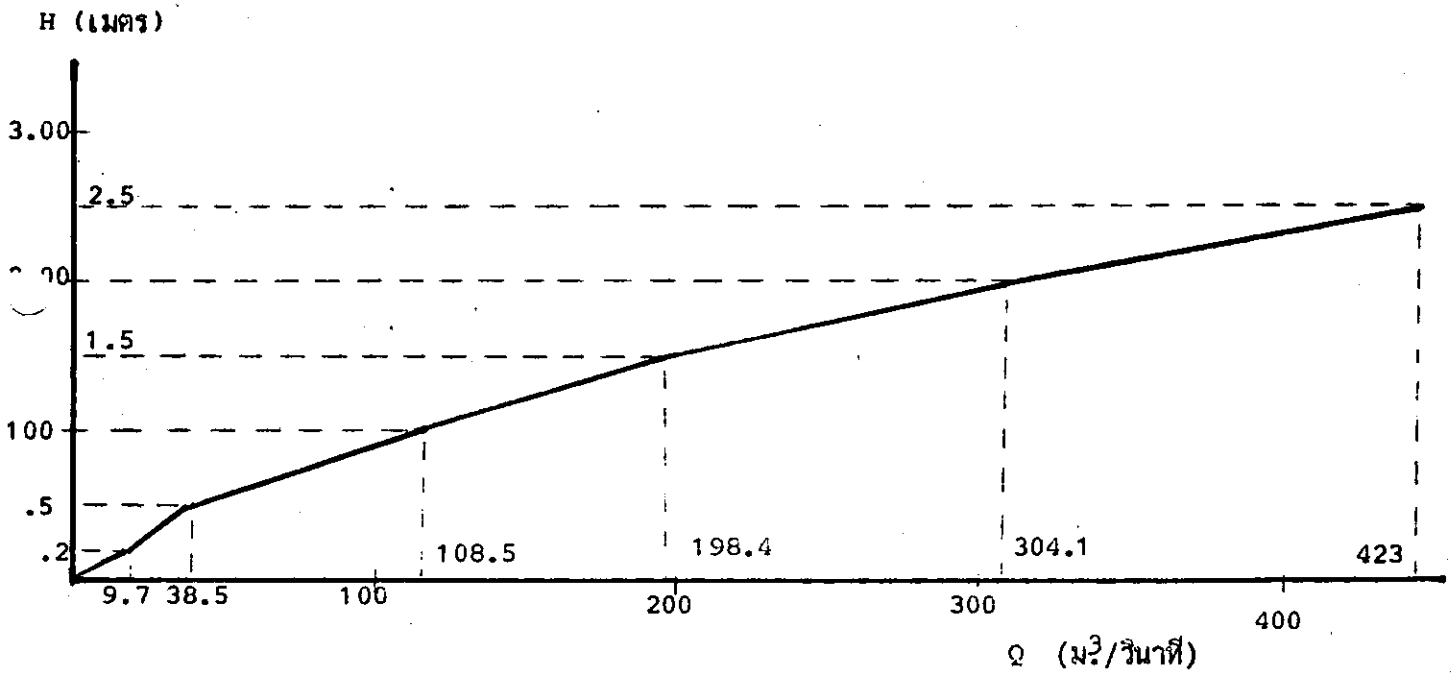
$Q = C(50)H^{3/2} = 50CH^{3/2}$

P = 2.50 เมตร

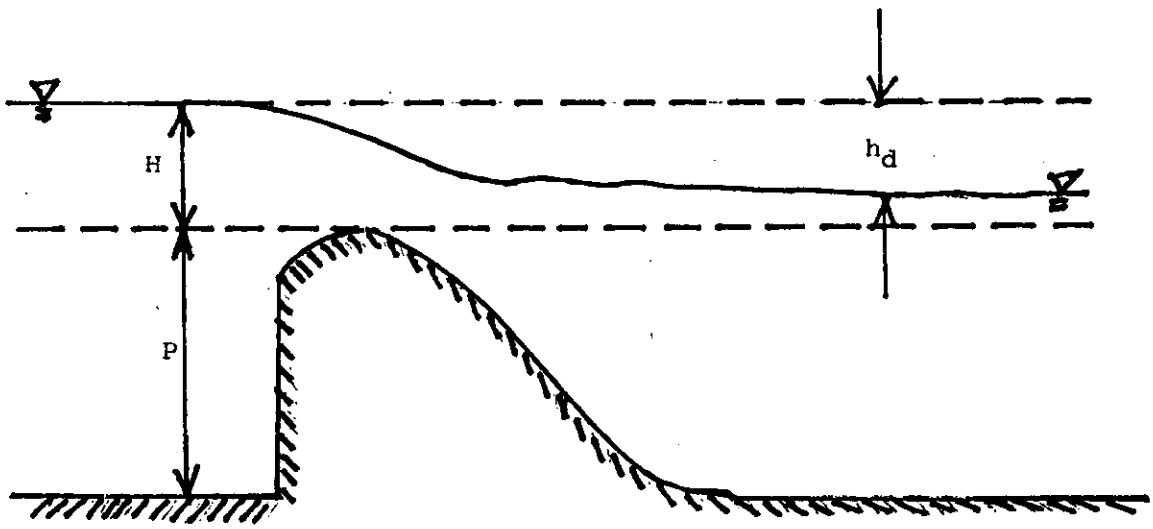
P/H

H (เมตร)	2.50/H	C	$Q = 50\ CH^{3/2}$ ม.^{3}/วินาที
.20	12.5	2.18	9.7
.50	5.0	2.18	38.5
1.00	2.5	2.17	108.5
1.50	1.7	2.16	198.4
2.00	1.25	2.15	304.1
2.50	1.00	2.14	422.9

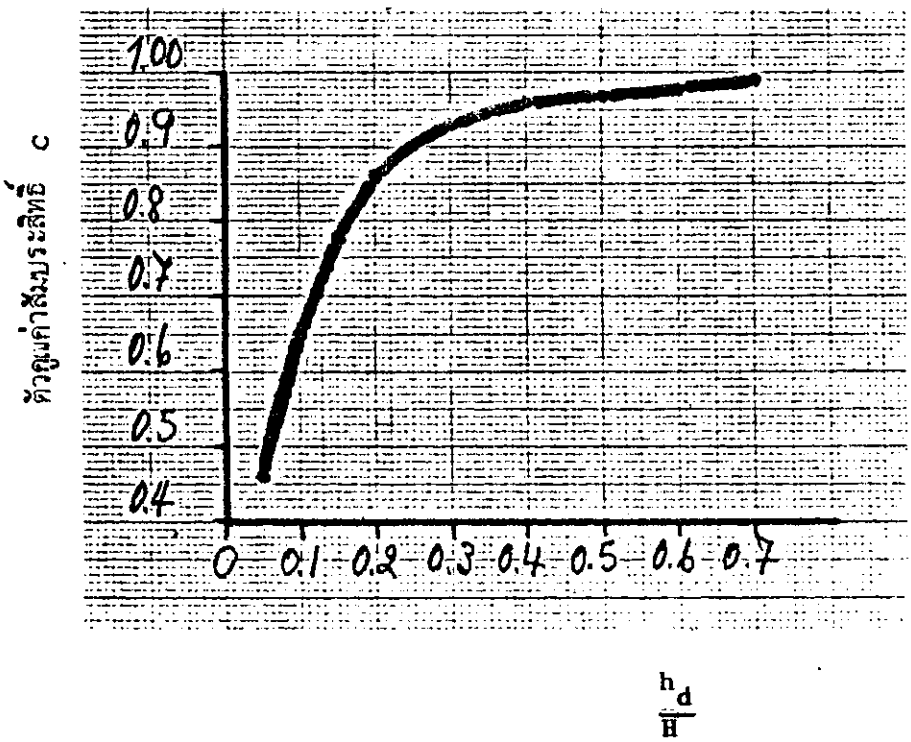
การเขียนกราฟ



การเขียนกราฟปริมาณน้ำที่ไหลผ่านสันฝายแบบ โอจี้ กรณีที่ระดับน้ำท้ายน้ำต่ำกว่าสันฝาย

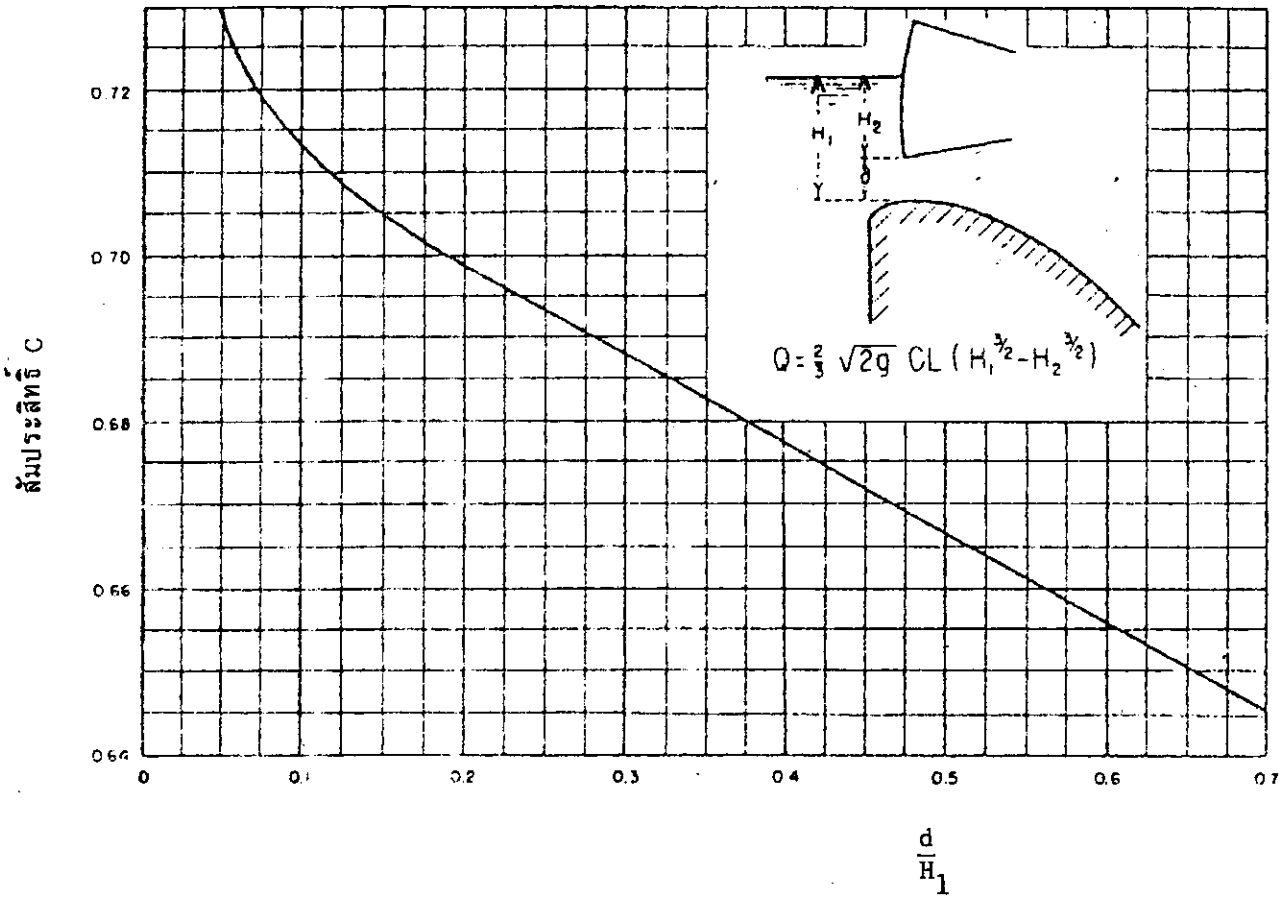


กรณีที่น้ำท่วมสันฝาย



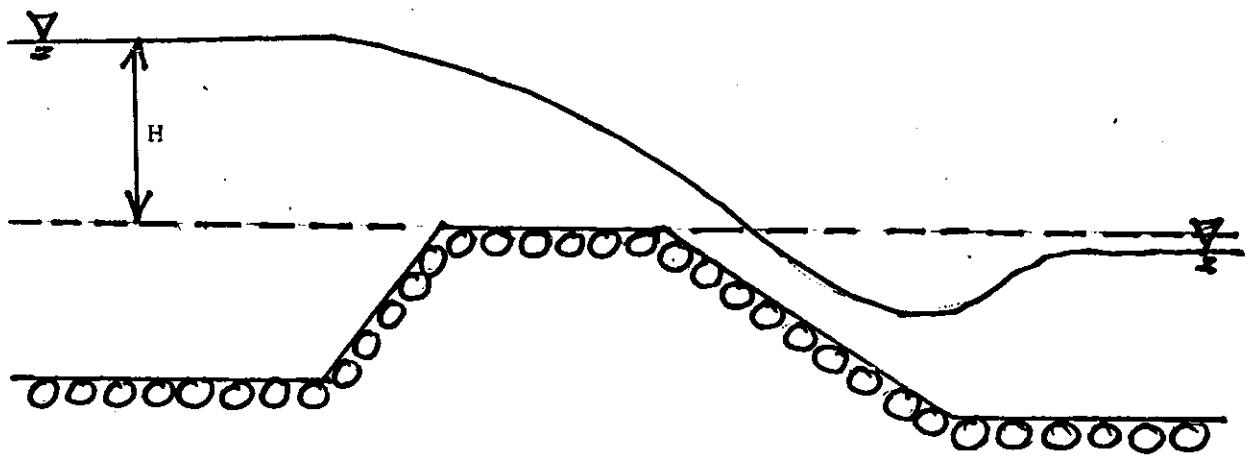
ตัวคูณค่าสัมประสิทธิ์ C

กรณีที่ระดับน้ำท้ายฝายสูงกว่าสันฝาย



สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำลอดใต้บานประตูที่ติดตั้งอยู่บนสันฝาย **โอจี**

การคำนวณปริมาณน้ำผ่านฝายสันกว้าง



กรณีที่ระดับน้ำด้านท้ายฝายต่ำกว่าสันฝาย

สูตร $Q = CLH^{3/2}$

Q = ม3/วินาที

L = ม.

H = ม.

$C \approx 1.64$ ถึง 1.83