

## บทที่ 2

### หลักการและการศึกษาที่ผ่านมา

#### 2.1 หลักการที่ใช้ในการศึกษา

เมื่อวิเคราะห์การไหลของน้ำ โดยให้มีการไหลผ่านประตูชนิดน้ำไหลลอดที่ด้านท้ายน้ำของประตูจะเกิดการไหลได้ 2 ลักษณะคือลักษณะหนึ่งเป็นการไหลแบบอิสระ (Free Flow) ส่วนลักษณะที่สองเป็นการไหลแบบจุ่มจม (Submerged Flow) สำหรับการศึกษาในเรื่องนี้จะทำการศึกษาเฉพาะในลักษณะของการไหลแบบอิสระ

1) การไหลแบบอิสระ (Free Flow) คือการไหลของลำเจตที่มีความเร็วสูงกว่าความเร็ววิกฤตเมื่อผ่านบานประตูแล้วจะสัมผัสกับอากาศ และจะไม่มีชั้นน้ำด้านท้ายน้ำที่ตกลงบนลำเจตดังแสดงในรูป 2-1 ในการวิเคราะห์การไหลแบบนี้จะสมมติว่ากำหนดสัมประสิทธิ์การหด :  $C_c$  (Contraction Coefficient) ให้ และในการวิเคราะห์จะถือว่าการไหลเป็นการไหลแบบเสมอต้นเสมอปลายที่ด้านเหนือน้ำของหน้าตัดการไหลที่ 1 และที่ด้านท้ายน้ำของหน้าตัดการไหลที่ 2

จากสมการพลังงาน เมื่อนำมาอธิบายการไหลระหว่างหน้าตัดการไหลที่ 1 และ 2 จะได้

$$y_1 + \frac{q^2}{2gy_1^2} = y_2 + \frac{q^2}{2gy_2^2}$$

จัดรูปใหม่ได้

$$q = y_1 y_2 \sqrt{\frac{2g}{y_1 + y_2}} \dots\dots\dots(2-1)$$

เมื่อจัดอยู่ในรูปผลคูณของความลึก  $G$  ความเร็วของลำเจต  $\sqrt{2gy_1}$  และสัมประสิทธิ์อัตราการไหล :  $C_d$  และเพราะว่า  $y_2 = C_c G$  ฉะนั้นสมการ (2.1) จัดรูปใหม่จะได้

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

$$q = CdG\sqrt{2gy_1} \quad \dots\dots\dots(2-2)$$

เมื่อ

$$C_d = \frac{C_c}{\sqrt{1 + C_c G/y_1}}$$

และเพราะว่า  $C_c$  ขึ้นอยู่กับรูปร่างของขอบเขต (Boundary Geometry) คือขึ้นอยู่กับ  $G/y_1$  ดังนั้น  $C_d$  จะขึ้นอยู่กับ  $G/y_1$  ด้วย

สำหรับการวิเคราะห์อัตราการไหลเมื่อพิจารณาจากสมการเขียนได้อยู่ในรูปสมการดังนี้

$$Q = C_d b G \sqrt{2g \left( y_1 + \alpha \frac{v_1^2}{2g} \right)}$$

โดย ค่า  $C_d$  เป็นสัมประสิทธิ์ของอัตราการไหล (Coefficient of discharge)

$b$  เป็นความกว้างของช่องทางน้ำเปิด

$G$  คือความสูงในการยกเปิดประตูระบาย

$y_1$  คือระดับความสูงของน้ำด้านเหนือน้ำ

$\alpha \frac{v_1^2}{2g}$  คือ Velocity head ของการไหล

และจากการศึกษาการทดลองพบว่าเทอมของ velocity head อาจไม่ต้องนำมาคิดคำนวณโดยให้ผลเข้าไปรวมอยู่ในค่า coefficient of discharge ( $C_d$ ) ดังนั้นจะได้

$$Q = C_d b G \sqrt{2gy_1}$$

$$Q = C_d A_0 \sqrt{2gy_1} \quad \dots\dots\dots(2-3)$$

## 2.2 การศึกษาสัมประสิทธิ์การหด (Contraction Coefficient) และสัมประสิทธิ์การไหล (Discharge Coefficient)

### 2.2.1 Southwell and Vaisey (1946) ได้ทำการศึกษาค่า Contraction Coefficient ( $C_c$ )

โดยในการวิเคราะห์ถือว่าการไหลเป็นการไหลแบบเสมอต้นเสมอปลาย (Uniform Flow) ที่ด้านเหนือน้ำที่หน้าตัดการไหลที่ 1 และที่ด้านท้ายของหน้าตัดการไหลที่ 2 ซึ่งได้ใช้ระเบียบวิธีผ่อนปรน (Relaxation Method) หาค่า  $C_c$  สำหรับกรณี เมื่อ  $y_2/y_1 = 0.321$  พบว่า  $C_c = 0.608$  ดังรูป 2-1

### 2.2.2 Benjamin (1956) ได้วิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์การบีบรัด ( $C_c$ )

โดยแบ่งการไหลออกเป็น 2 ส่วนด้วยหน้าตัดการไหล (รูป 2-2) โดยหน้าตัดการไหล B เป็นหน้าตัดการไหลใดๆ ที่เส้นสัมผัสกับผิวอิสระการไหลท่ามม 25 องศา กับพื้นน้ำ ในการวิเคราะห์สมมติว่าที่ด้านท้ายของหน้าตัดการไหล B จะมีค่า  $d^2y/dx^2$  ของผิวการไหลมีค่าน้อยและอนุพันธ์ชั้นสูง (Higher Derivatives) จะมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ ด้วยสมมติฐานนี้จะได้ว่าการกระจายความดันเป็นความดันสถิต ทำให้การวิเคราะห์อย่างประมาณสามารถทำได้ ซึ่งผลการวิเคราะห์จะเหมือนกับของคลื่นโดดเดี่ยว (Solitary Wave)

ผลการทดลองของ Benjamin แสดงไว้ในรูป 2-3 เป็นผลการทดลอง 2 ชุด โดยที่แต่ละชุดจะกำหนดความลึก  $W$  ไว้ ความแตกต่างระหว่างผลการทดลองทั้งสองและระหว่างผลการทดลองกับค่าทางทฤษฎีเป็นผลเนื่องจากการเกิดชั้นติดขอบซึ่งมีรูปร่างโดยประมาณแสดงไว้ในรูป 2-1 การทดลองทั้งสองมีค่า Froude Number เดียวกัน ดังนั้นการไหลจะคล้ายคลึงกัน นั่นคือค่า  $x_1/w$  ในรูป 2-2 เป็นค่าคงที่ ถ้ากำหนดให้  $\delta$  เป็นความหนาของชั้นติดขอบได้

$$\frac{\delta}{w} \propto Re^{-1/2} \propto \left(\frac{v}{vw}\right)^{1/2}$$

เพราะว่าพื้นทางน้ำเรียบและการไหลจะสงบเข้าอย่างรวดเร็ว จะทำให้เกิดชั้นติดขอบแบบราบเรียบมากกว่าชั้นติดขอบแบบสับสน และเพราะว่า  $F_r$  เป็นค่าคงที่ดังนั้น

$$\frac{\delta}{w} \propto \left(\frac{1}{w^{3/2}}\right)^{1/2} \propto (w)^{-3/4}$$

และ  $\frac{\delta}{w}$  แทนสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นของค่า  $C_c$  เนื่องจากขอบเขตชั้นติดขอบขยายเพิ่มขึ้น จึงสามารถตรวจสอบอย่างง่าย ๆ จากรูป 2-3 ว่าอัตราส่วนของค่าความห่าง  $\Delta_1$  และ  $\Delta_2$  ของเส้นผลการทดลองจากเส้นทฤษฎีจะมีค่า

$$\frac{\Delta_1}{\Delta_2} = \left(\frac{w_2}{w_1}\right)^{3/4} = \left(\frac{3.57}{1.02}\right)^{3/4} = 2.56$$

และการวัดค่า  $\delta$  โดยตรงได้ผลลัพธ์สอดคล้องกันด้วย

### 2.2.3 Von Mises (1917) ได้วิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์การบีบรัด ( $C_c$ )

ในการไหล AB จากรูป 2-2 สำหรับกรณีไม่มีความโน้มถ่วงซึ่งผลลัพธ์ให้ไว้ในตาราง 2-2 วิธีของ Von Mises สำหรับกรณีไม่มีความโน้มถ่วงนี้ ค่า  $C_c$  จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่ออัตราส่วนของความกว้างที่เปิดต่อความกว้างของถังมีค่าเพิ่มขึ้น

2.2.4 Toch (1955) ได้ทำการวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของ ประตูปานโค้งทั้งกรณีการไหลแบบอิสระ (Free flow) และกรณีการไหลแบบจุ่มจม (Submerged flow) แสดงผลไว้ดังรูป 2-3

จากการทดลองของ Toch จะได้ว่าสัมประสิทธิ์การบีบรัด ( $C_c$ ) ขึ้นอยู่  $\theta$  เป็น ส่วนใหญ่และจะขึ้นอยู่กับอัตราส่วน  $w/y_1$  น้อยมาก ผลของอัตราส่วน  $w/y_1$  ยังไม่ได้อธิบาย อย่างสมบูรณ์จากการทดลอง แต่เมื่อกำหนดค่า  $\theta$  ให้ค่า  $C_c$  จะแตกต่างกันไม่เกิน 6%-7% จากค่าที่คำนวณได้

2.2.5 Von Mises and Toch (1955) ได้สร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่าง  $C_c$  และ  $\theta$  เนื่องจากผลการทดลองที่แสดงไว้ในรูป 2-3 ต้องมีถึงจะทำให้ผู้ออกแบบใช้งานได้ ซึ่ง ก่อให้เกิดความไม่สะดวกขึ้น และจากผลการทดลองของ Von Mises and Toch ได้

$$C_c = 1 - 0.75\theta + 0.36\theta^2$$

เมื่อค่า  $\theta$  เป็นจำนวนเท่าของ 90 องศา สมการข้างบนนี้ ให้ผลลัพธ์ถูกต้องภายใน  $\pm 5\%$  ถ้า  $\theta \leq 1$

2.2.6 Henry (1950) ได้ทำการวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหล ( $C_d$ ) ของประตูปานระบายนี้อย่างรูป 2-4 เป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง  $C_d$  และ  $y_1/h$  เส้น A เป็น ผลลัพธ์ที่ได้จากสมการ  $Q = Clh\sqrt{2g(y_1 + \alpha v_1/2g)}$  ซึ่งมาจากหลักสมการพลังงาน ส่วนเส้น B เป็นผลลัพธ์ที่ได้มาจากหลักของ Momentum ค่า  $F_0$  เป็นค่า Froude Number ของการไหลผ่านประตูระบาย

2.2.7 Puls , Louis G.(1931) ได้ทำการวิเคราะห์หาค่าอัตราส่วนของสัมประสิทธิ์อัตราการไหล กับการเปิดความสูงของบานระบายชนิดบานโค้ง โดยใช้รูปแบบจำลองชลศาสตร์ จากรูป 2-5 แสดง Typical Discharge Rating Curves

## 2.3 การศึกษาความสัมพันธ์ของการยกเปิดบานประตูกับความสูงระดับน้ำ

2.3.1 Alexander H-D. Cheng , James A.Liggett , and Phillip L.F. (1976)

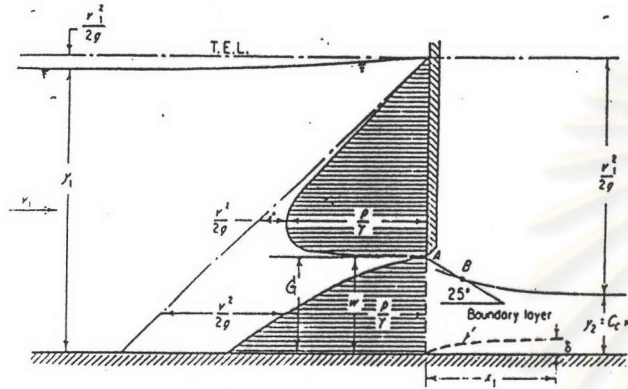
ได้ทำการทดลองหาความสัมพันธ์ในเรื่อง Boundary Calculation of Sluice ซึ่งใช้วิธีการเรียกว่า The Boundary Integral Equation Method (BIEM)

ผลการทดลองของ Vertical Sluice Gate แสดงในรูป 2-6 และตาราง 2-3 ส่วน Radial Sluice Gate แสดงในตาราง 2-4

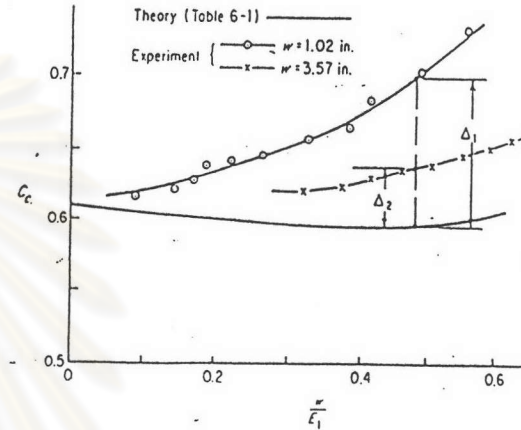
2.3.2 Southwell , Vaisey และ Isaacs (1947)

ได้ทำการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของการยกเปิดบานประตูกับความสูงระดับน้ำ ได้ค่าสัมประสิทธิ์การบีบรัด  $C_c = d_2/b$  ค่า  $d_2$  แสดงในรูป 2-7 เป็นค่าความลึกของการไหลด้านท้ายประตูระบาย และได้ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การบีบรัด  $C_c$  กับการเปิดบานประตูระบาย แสดงในรูป 2-7 และได้ค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหล  $C_d = Q / b\sqrt{2gd_1}$  ค่า  $d_1$  เป็นค่าความลึกด้านหน้าประตูระบาย

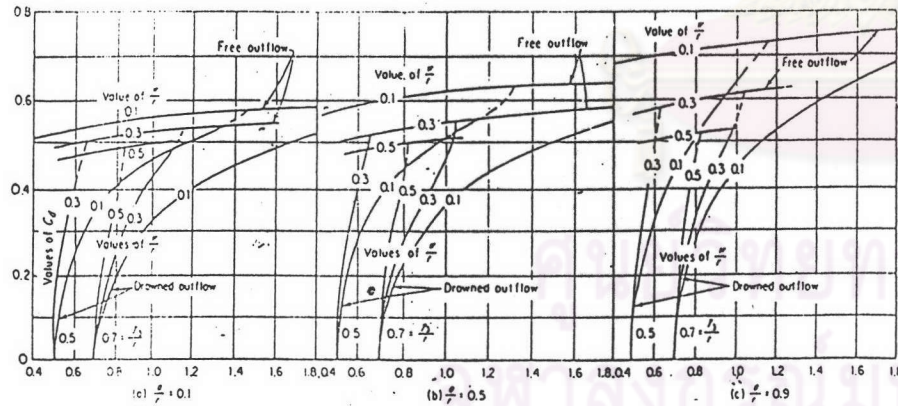
ในกรณีของประตูระบายที่เป็นแบบ Bevelled Tip แสดงในรูป 2-8 แล้วคำนวณหาอัตราส่วนระหว่าง  $b/B = 3$  ,  $a/B = 0.003$  และค่า  $\beta = 0 , 5 , 14.5 , 30 , 45 , 65$  และ  $90$  จะได้ค่า  $C_d$  และค่า  $C_c$  แสดงในตาราง 2-5 แต่ค่า  $C_d$  สำหรับอัตราส่วน  $b/B = 0.3-0.4$  และค่า  $\beta = 0-90$  แสดงในรูป 2-7



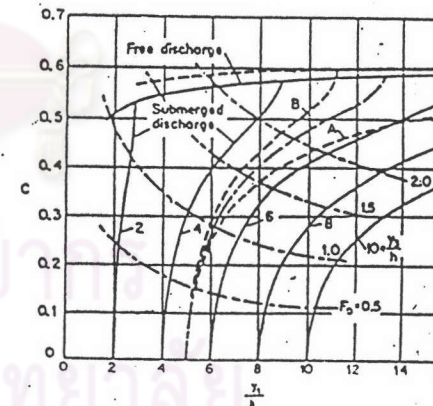
รูป 2-1 The Vertical Sluice Gate



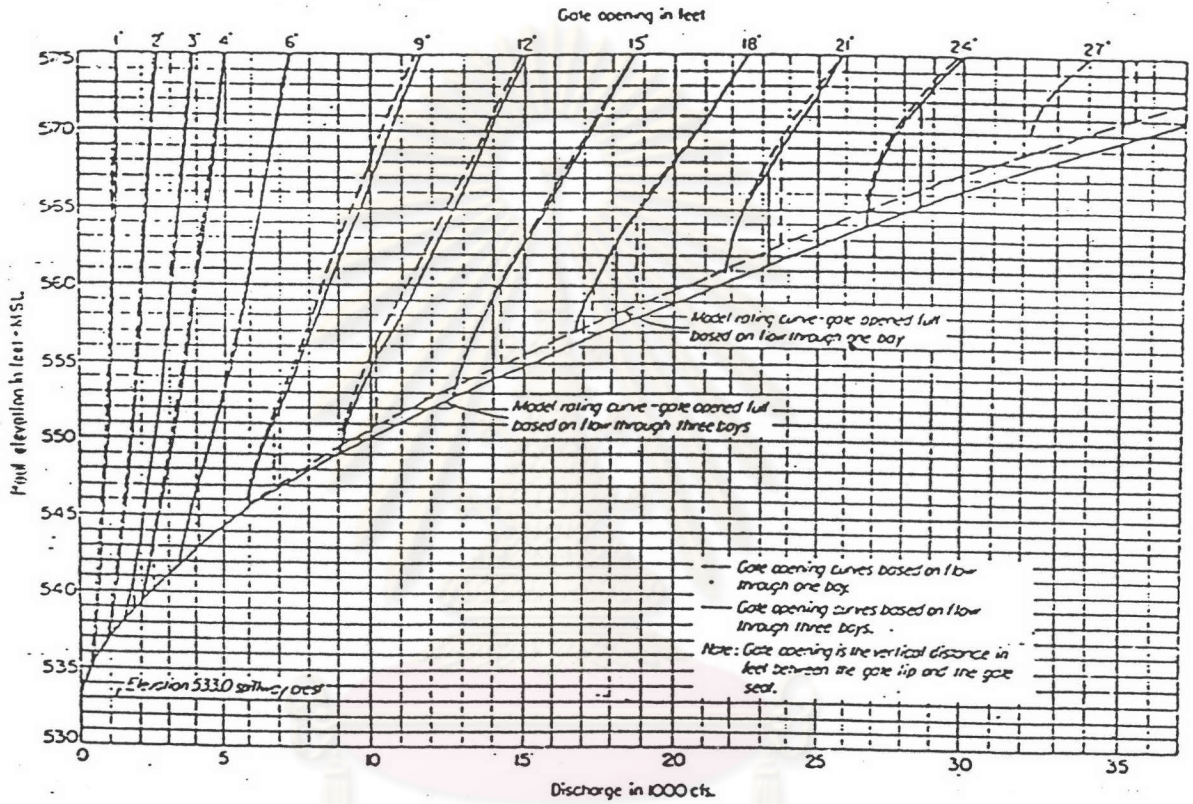
รูป 2-2 The Contraction Coefficient of the Vertical Sluice Gate, after T. Brooke Benjamin



รูป 2-3 The Discharge Coefficient of the Radial Gate, after A.Toch



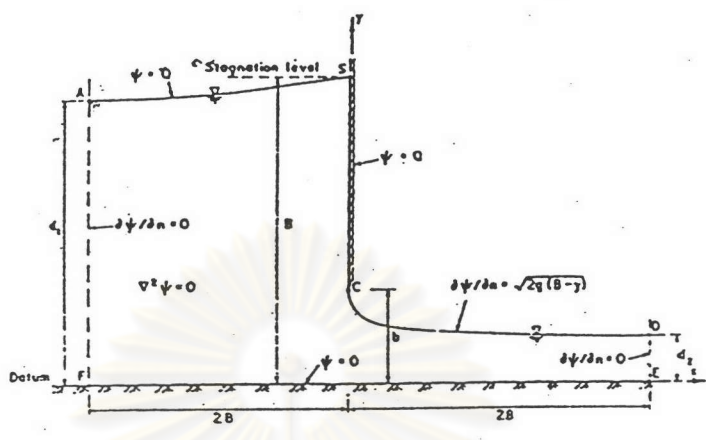
รูป 2-4 Discharge Coefficient for Vertical Sluice Gate



รูป 2-5 Discharge rating curve from hydraulic - model

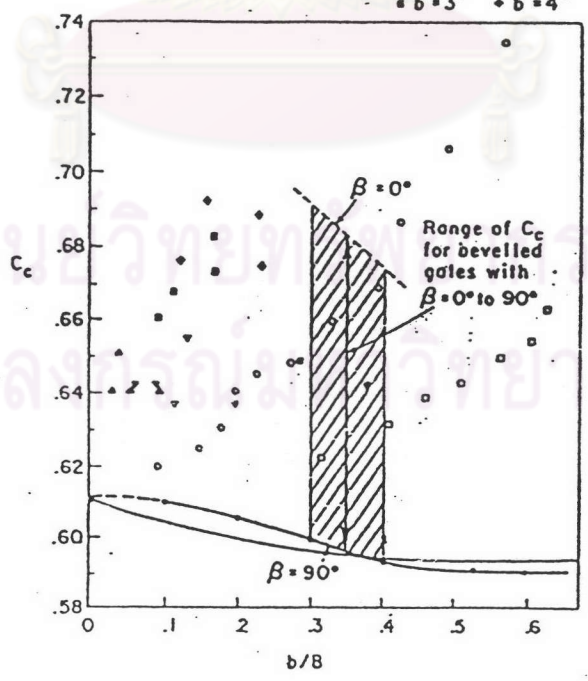
study of one 40- by 38 - ft Tainter gate

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



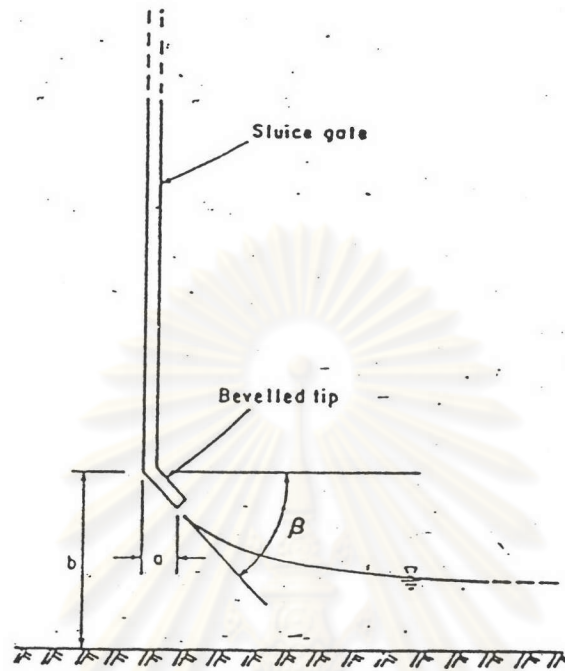
รูป 2-6 Definition Sketch of Vertical Sluice Gate

Theoretical	Experimental
— Fongmeier & Strelkoff	Benjamin
— BIEM	• $b = 1.02^\circ = b = 3.57^\circ$
x Issacs	Rajaratnam
♦ Southwell & Vaisey	▲ $b = 1^\circ$ - ▽ $b = 2^\circ$
	■ $b = 3^\circ$ - ◆ $b = 4^\circ$



รูป 2-7 Sluice Gate Contraction Coefficient Versus Various Gate Opening Ratio





รูป 2-8 Belled Tip which is used to Represent Sluice Gate with Partially Rounded or Damaged Exit

ตาราง 2-1 ความสัมพันธ์ระหว่าง  $C_c$  กับ  $w/E_1$

$w/E_1$	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
$C_c$	0.611	0.606	0.602	0.600	0.598	0.598

ตาราง 2-2 Downstream Profile of Vertical Sluice Gate with  $b/B = 0.3$ 

x, in feet (1)	y, in feet FEM (2)	y, in feet BIEM (3)	$\psi$ , in square feet per second FEM <sup>a</sup> (4)	$\psi$ , in square feet per second BIEM <sup>b</sup> (5)
0.00000	0.300	0.300	1.300	1.303
0.004006	0.289	0.288	1.302	1.304
0.010974	0.278	0.277	1.304	1.304
0.021181	0.267	0.265	1.305	1.304
0.031193	0.258	0.256	1.305	1.303
0.044680	0.248	0.246	1.306	1.303
0.074332	0.231	0.230	1.307	1.303
0.139618	0.209	0.208	1.307	1.303
0.300813	0.187	0.186	1.305	1.303
0.603109	0.180	0.180	1.304	1.303
1.000000	0.179	0.179	1.304	1.303
2.000000	0.179	0.179	1.304	1.302

<sup>a</sup>Isaacs (11).

<sup>b</sup>Solution of the 6th iteration.

Note:  $B = 1$  ft;  $Q$  (Isaacs) = 1.304 cfs/ft; and  $Q$  (BIEM) = 1.303 cfs/ft;  $Q$  is the arithmetic mean of column (4) or (5).

ตาราง 2-3 Downstream Profile of Radial Sluice Gate

x, in feet (1)	y, in feet FEM <sup>a</sup> (2)	y, in feet BIEM <sup>b</sup> (3)	$\psi$ , in square feet per second FEM <sup>a</sup> (4)	$\psi$ , in square feet per second BIEM <sup>b</sup> (5)
0.39981	3.28	3.28	41.98	41.92
0.42409	3.20	3.23	41.68	41.90
0.46759	3.15	3.17	41.79	41.91
0.57881	3.03	3.04	41.89	41.91
0.90283	2.80	2.79	41.98	41.92
1.22311	2.63	2.62	42.01	41.92
1.54893	2.51	2.50	42.02	41.92
2.04077	2.37	2.36	42.03	41.93
3.51683	2.17	2.16	42.03	41.93
4.96725	2.09	2.08	42.03	41.92
8.03810	2.06	2.05	42.04	41.92
15.42010	2.06	2.05	42.04	41.92

<sup>a</sup>Isaacs (11).

<sup>b</sup>Solution of the 8th iteration.

Note:  $B = 8.556$  ft;  $Q$  (Isaacs) = 41.96 cfs/ft; and  $Q$  (BIEM) = 41.92 cfs/ft;  $Q$  is the arithmetic mean of column (4) or (5).

ตาราง 2-4 Contraction and Discharge Coefficients for Bevelled Gates

$\beta$ (1)	$C_c$ (2)	$C_d$ (3)
90°	0.600	0.550
65°	0.611	0.561
45°	0.630	0.576
30°	0.641	0.587
14.5°	0.652	0.597
5°	0.678	0.618
0°	0.692	0.630