บทที่ 3

การสร้างแบบจำลองทางด้านชลศาสตร์

3.1 กฎเกณฑ์เกี่ยวกับสิ่งที่คล้ายคลึงกัน (Laws of Similitude)

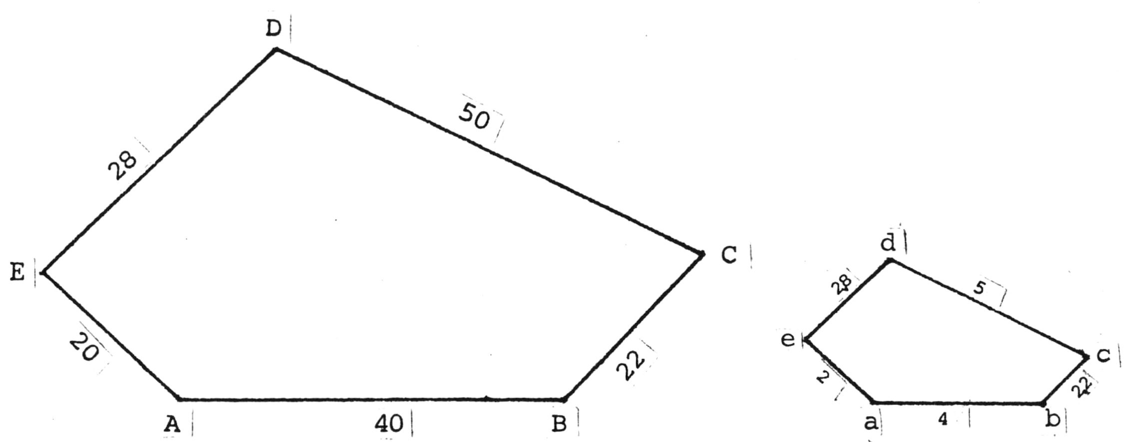
ในการค้นคว้าหรือวิจัยทดสอบงานในห้องปฏิบัติการทางชลศาสตร์จำเป็นต้องมีการจำลองแบบ ซึ่งการจำลองแบบเราอาจย่อส่วนโดยไม่ให้เท่ากันทุกทาง (Distorted model) ก็ได้ เช่น ย่อความยาวด้วยมาตราส่วนหนึ่งและย่อความสูงด้วยอีกมาตราส่วนหนึ่ง แต่การที่จะให้รูปจำลองทำงานได้คล้ายของจริง รูปจำลองก็ต้องมีสัดส่วนไปตามกฎเกณฑ์การคล้ายคลึงกัน (Law of Similitude) ซึ่งกฎนี้ได้กล่าวไว้ว่าจะต้องมี

3.1.1 ความคล้ายคลึงเชิงเรขาคณิต (Geometric Similitude)

วัตถุสองชิ้นจะมีส่วนคล้ายคลึงกันก็ต่อเมื่ออัตราส่วนของความยาวของด้านมีความสัมพันธ์และมีค่าคงที่เท่ากันตลอด เช่น ตามรูป 3-1 รูปห้าเหลี่ยมใด ๆ จะมีลักษณะคล้ายคลึงกันก็ต่อเมื่อ

$$\frac{ab}{AB} = \frac{bc}{BC} = \frac{cd}{CD} = \frac{de}{DE} = \frac{ea}{EA} = \frac{1}{10} = \text{ค่าคงที่}$$

$\frac{1}{10}$ ในที่นี้คือ มาตราส่วน (Scale Ratio or Length Ratio)



รูป 3-1 ความคล้ายคลึงกันด้านเรขาคณิต

ถ้า L_m = มิติของแบบจำลอง

L_p = มิติของแบบของจริง

L_r = มาตราส่วนหรืออัตราส่วนของความยาว

เพราะฉะนั้นจะได้อัตราส่วนของความยาว $L_r = \frac{L_m}{L_p}$ ซึ่งเรียกว่า อัตราส่วนของแบบจำลอง (Model scale ratio)

อัตราส่วนของพื้นที่

$$\Delta_r = \frac{\Delta_m}{A_p} = \frac{L_m^2}{L_p^2} = L_r^2 \qquad (3.1.1)$$

อัตราส่วนของปริมาตร

$$V_r = \frac{V_m}{V_p} = \frac{L_m^3}{L_p^3} = L_r^3 \qquad (3.1.2)$$

อัตราส่วนของรัศมีชลศาสตร์ (Hydraulic Radius)

$$R_r = \frac{R_m}{R_p} = \frac{\frac{A_m}{P_m}}{\frac{A_p}{P_p}} = \frac{\frac{L_m^2}{L_m}}{\frac{L_p^2}{L_p}} = \frac{L_m}{L_p} = L_r \qquad (3.1.3)$$

ตารางที่ 3-1 มิติตัวแปรทางชลศาสตร์

คุณลักษณะ	หน่วย SI	สัญลักษณ์	มิติ	
			ระบบ F-L-T	ระบบ M-L-T
ก. เกี่ยวข้องทางเรขาคณิต				
ความยาว	ม.	L	L	L
พื้นที่	ตร.ม.	A	L^2	L^2
ปริมาตร	ลบ.ม.	V	L/T	L/T
ข. คุณสมบัติของของไหล				
มวล	กก.	M	FT^2/L	M
น้ำหนักจำเพาะ	นิวตัน/ม^3	γ	F/L^3	M/L^2T^2
ความหนาแน่น	กก/ม^3	ρ	FT^2/L^4	M/L^3
ความหนืดสมบูรณ์	กก/วินาที	μ	FT/L^2	M/LT
ความหนืดคีนีเมติค	ม^2/วินาที	ν	L^2/T	L^2/T
แรงตึงผิว	นิวตัน/ม.	σ	F/L	M/T^2
ค. คุณลักษณะทางการไหล				
ความเร็ว	ม/วินาที	V	L/T	L/T
ความเร็วเชิงมุม	เรเดียน/วินาที	w	1/T	1/T
อัตราเร่ง	ม/(วินาที)^2	g	L/T^2	L/T^2
ความกดดัน	นิวตัน/ม^2	p	F/L^2	M/LT^2
แรง	นิวตัน	F	F	ML/T^2
ปริมาณการไหล	ม^3/วินาที	Q	L^3/T	L^3/T
งานหรือพลังงาน	นิวตัน-ม.	E	FL	ML^2/T^2
ความหยาบ (Manning)	-	n	$L^{1/6}$	$L^{1/6}$

I16039063

3.1.2 ความคล้ายคลึงเชิงจลน์ (Kinematic Similitude) นั่นก็คือต้องมี

ก. ทางเดินของอนุภาคของของไหล(Moving Particle) ที่อยู่ในลักษณะที่ไหลคล้ายคลึงกัน

ข. ต้องมีอัตราส่วน ความเร็ว, อัตราเร่ง ฯลฯ คล้ายกัน

ความเร็ว $$V_r = \frac{V_m}{V_p} = \frac{L_m/T_m}{L_p/T_p} = \frac{L_r}{T_r} \qquad (3.1.4)$$

อัตราเร่ง $$a_r = \frac{a_m}{a_p} = \frac{L_m/T_m^2}{L_p/T_p^2} = \frac{L_r}{T_r^2} \qquad (3.1.5)$$

อัตราส่วนของปริมาณการไหล $$Q_r = \frac{Q_m}{Q_p}$$

$$= \frac{V_m A_m}{V_p . A_p}$$

$$= \frac{\sqrt{2g_m L_m} . L_m^2}{\sqrt{2g_p L_p} . L_p^2} = \sqrt{L_r} . L_r^2$$

$$= L_r^{5/2} \qquad (3.1.6)$$

3.1.3 ความคล้ายคลึงเชิงพลวัต (Dynamic Similitude)

คือความคล้ายคลึงในเรื่องแรงมากระทำ เช่น แรงความหนืด (Viscaurs force) แรงโน้มถ่วงของโลก (Gravity force) แรงตึงผิว (Surface tension) แรงยึดหยุ่น (Elasticity force) แรงดัน (Pressure force) และแรงเฉื่อย (Inertia force) ซึ่งอัตราส่วนของแรงที่สัมพันธ์กันมีค่าคงที่ โดยวิธีเลียนแบบกฎที่สองของนิวตันว่าด้วยการเคลื่อนที่ เขียนเป็นรูปสมการได้ดังนี้

$$M.a = \text{ผลรวมของเวคเตอร์ } F_p+F_g+F_v+F_t+F_c$$

ในเมื่อ F_i = M.a ผลคูณของมวลวัตถุกับอัตราเร่ง ในที่นี้ก็คือ แรงที่เกิดจากความเฉื่อยของมวลวัตถุนั้น

F_p = แรงกดดันซึ่งเชื่อมโยงกับการเคลื่อนที่หรือเป็นผลจากการเคลื่อนที่

F_g = แรงซึ่งเกิดจากการดึงดูดของโลกที่มีต่อมวลวัตถุนั้น คือ น้ำหนักนั่นเอง

F_v = แรงเฉือนซึ่งเกิดจากความหนืด

F_t = แรงซึ่งเกิดจากแรงตึงผิว

F_c = แรงซึ่งเกิดจากการอัดตัวของของเหลว

ดังนั้นปรากฏการณ์ของของเหลวที่เคลื่อนที่ และมีลักษณะคล้ายคลึงกันทั้งของแบบจำลองและแบบของจริงจะต้องเป็นไปตามอัตราส่วน

$$\frac{M_m \cdot a_m}{M_p \cdot a_p} = \frac{(F_p+F_g+F_v+F_t+F_c)_m}{(F_p+F_g+F_v+F_t+F_c)_p}$$

หรือ

$$\frac{M_m \cdot a_m}{M_p \cdot a_p} = \frac{(F_p)_m}{(F_p)_p} = \frac{(F_g)_m}{(F_g)_p} = \frac{(F_v)_m}{(F_v)_p} = \frac{(F_t)_m}{(F_t)_p} = \frac{(F_c)_m}{(F_c)_p}$$

นั่นคือ เราสามารถกล่าวได้ว่า ความคล้ายคลึงเชิงเรขาคณิต (Geometric similitude) จะคล้ายคลึงกันทางรูปร่างหรือรูปแบบ ส่วนความคล้ายคลึงเชิงจลน์ (Kinematic Similitude) จะคล้ายคลึงกันทางด้านการเคลื่อนที่ และการคล้ายคลึงเชิงพลวัต (Dynamic Similitude) จะคล้ายคลึงกันทางด้านแรงหรือระบบแรงต่าง ๆ ที่กระทำ

3.2 การออกแบบจำลอง

ในการสร้างแบบจำลองนั้น ก่อนอื่นจะต้องออกแบบโดยให้แบบจำลองที่จะสร้างนั้นเป็นไปตามกฎเกณฑ์การคล้ายคลึงกัน (Law of similitude) ปริมาณน้ำที่เครื่องสูบน้ำสามารถให้ได้ในแบบจำลองจะต้องพิจารณาเป็นอันดับแรก เพื่อการออกแบบหารูปร่างของทางระบายน้ำล้น (Spillway) ตามแบบของ USBR โดยใช้ค่าปริมาณน้ำมากที่สุดซึ่งเครื่องสูบน้ำสามารถจ่ายให้แบบจำลองได้มาทำการออกแบบ จากนั้นจึงทำการออกแบบตัวกะทะ (Bucket) ทั้งแบบส่วน

ของวงกลม (Roller bucket) ตามเกณฑ์ที่จะกล่าวต่อไป ส่วนของวงรีและรูปพาลาโบลา โดยให้ทุก ๆ ส่วนของโครงสร้างอยู่ในอัตราส่วนย่อแบบจำลอง (Model scale ratio) เดียวกัน

3.3 วิธีการคำนวณหาขนาดแบบจำลองทางระบายน้ำล้น (Spillway) และตัวกะทะ (Bucket)

เนื่องจากได้เคยมีการศึกษาเกี่ยวกับการสลายพลังงานของมวลน้ำจากทางน้ำล้น (Spillway) มาแล้ว เมื่อปี พ.ศ. 2522 โดยนายสุพงศ์ นิ่มกุลรัตน์ ในส่วนรายละเอียดได้เน้นหนักเฉพาะแอ่งน้ำนิ่ง (Stilling basin) ตามแบบของ USBR แบบที่ 3 โดยเปลี่ยนรูปแบบตัว Chute Blocks ได้ใช้อัตราการไหลของน้ำในการทดลอง 20 ลูกบาศก์ฟุตต่อวินาที หรือ 0.566 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที และอัตราส่วนย่อแบบจำลอง (Model scale ratio) 1:25 ได้ความสูงขับเหนือสันฝาย (Design head) เท่ากับ 0.426 เมตร ดังนั้นในการสร้างแบบจำลองครั้งนี้ใช้ความกว้างของทางระบายน้ำล้นเท่ากับ 0.938 เมตร และใช้อัตราการไหลของน้ำที่ความสูงขับ (Design head) เดียวกันมาทำการออกแบบ เพราะฉะนั้นจะได้ Q_m = 20.5 ลูกบาศก์ฟุตต่อวินาที

= 0.581 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

3.3.1 หาปริมาณน้ำที่ใช้ในแบบจำลองและความสูงขับเหนือสันฝาย (Design head) ที่ใช้ในการออกแบบ

จากสมการ 3.1.6 $$L_r^{5/2} = \frac{Q_m}{Q_p}$$

$$\left(\frac{1}{25}\right)^{5/2} = \frac{0.581}{Q_p}$$

เพราะฉะนั้น Q_p = 1815.625 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

ความกว้างของสันทางระบายน้ำล้น (L_m) = 0.938 เมตร

เพราะว่า $$L_r = \frac{L_m}{L_p}$$

เพราะฉะนั้น $L_p = 0.938 \times 25 = 23.45$ เมตร

ความสูงของหน้าทางระบายน้ำล้น $(h_m) = 1.08$ เมตร

เพราะฉะนั้น $h_p = 1.08 \times 25 = 27.0$ เมตร

สมการของปริมาณน้ำที่ไหลผ่านทางน้ำล้นตามรูปแบบของ WES (Waterway Experiment Station) ที่ไม่มีประตูระบายน้ำสำหรับระบบอังกฤษ

$$Q = CLH_e^{1.5}$$

เมื่อ Q = ปริมาณน้ำที่ไหลผ่าน, ลบ.ฟุต/วินาที

C = สัมประสิทธิ์ของการไหล (Coefficient of discharge)

L = ความกว้างที่สันทางน้ำล้น, ฟุต

H_e = ความสูงขับของพลังงาน (Energy head) รวมที่จุดยอด โดยรวมความสูงขับของความเร็ว (Velocity head) ด้วย, ฟุต

ในระบบเมตตริกจะได้ว่า $Q = 0.552\ CLH_e^{1.5}$

โดยที่ค่า Q, L และ H_e มีหน่วยเป็น ลบ.เมตร/วินาที เมตร และ เมตร ตามลำดับ

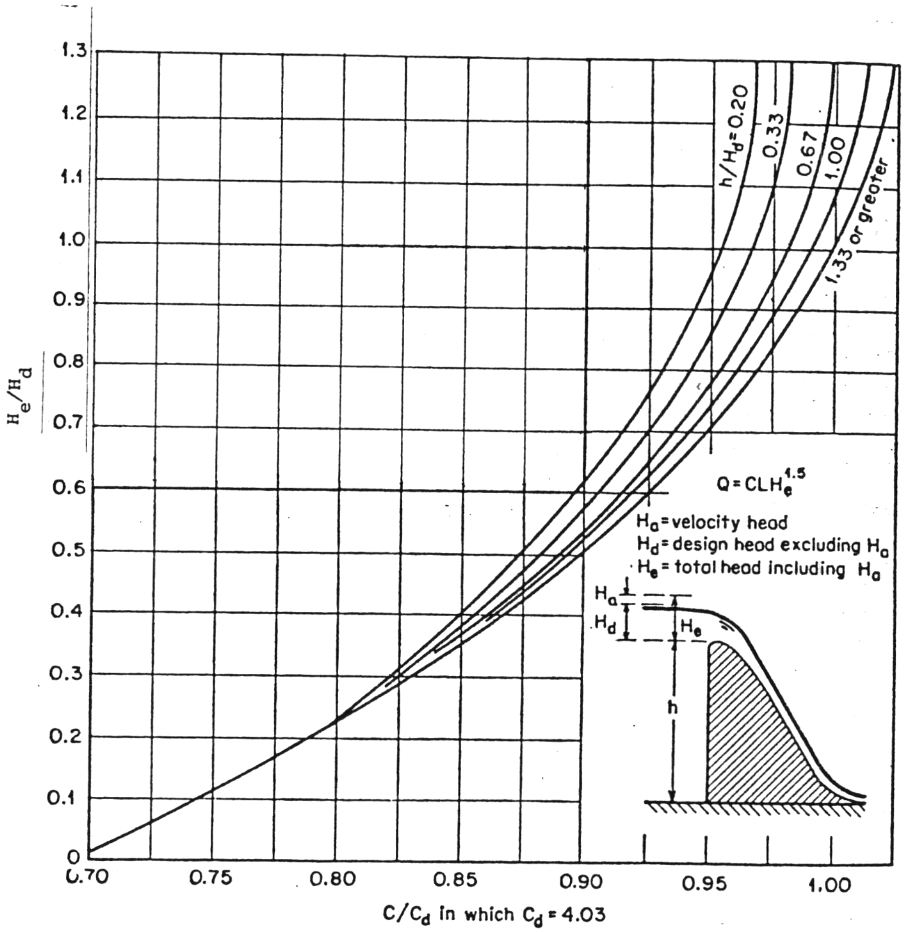
สัมประสิทธิ์ของการไหล (Coefficient of Discharge)

จากการค้นคว้าและวิจัยในห้องทดลองของ WES (Waterway Experiment Station) พบว่า

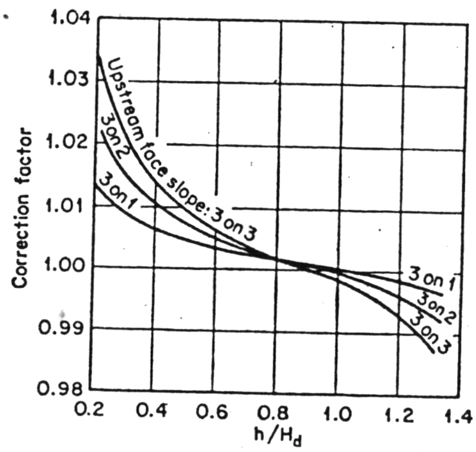
1. เมื่อความลาดเอนด้านหน้า (Slope of upstream face) อยู่ในแนวดิ่ง และ h มากกว่า 1.33 H_d แล้ว ค่าความเร็วขณะเข้าใกล้ (Approach velocity) ไม่ต้องนำมาคิด ให้ใช้ค่า $H_e = H_d$ และค่า $C = C_d = 4.03$ ดังรูป 3-2

2. เมื่อความลาดเอนด้านหน้า (Slope of upstream face) อยู่ในแนวดิ่ง และ h น้อยกว่า 1.33 H_d ผลของความเร็วขณะเข้าใกล้ (Approach velocity) จะต้องนำมาคิดด้วย โดยค่า $H_e = H_d + \frac{V_a^2}{2g}$ และค่า C จะหาได้จากรูป 3-2

3. ในกรณีที่ค่าความลาดเอนด้านหน้าเปลี่ยนไปเป็น 3:1, 3:2 หรือ 3:3 ค่า C จะเท่ากับค่า C ที่ได้จากรูปที่ 3-2 คูณด้วยตัวปรับค่า (Correction factor) ที่ได้จากรูป 3-3



รูป 3-2 ความสัมพันธ์ระหว่าง h/H_d กับ C/C_d และ H_e/H_d (จากหนังสือ Open-Channel Hydraulics ของ Ven Te Chow)



รูป 3-3 ตัวปรับค่า (Correction Factor) (จากหนังสือ Open-Channel Hydraulics ของ Ven Te Chow)

จากการที่ได้ทำการทดสอบค่า h ที่ใช้ในการออกแบบสำหรับการวิจัยครั้งนี้ พบว่า h มากกว่า 1.33 H_d และความลาดเอนด้านหน้าของทางน้ำล้นอยู่ในแนวดิ่ง ดังนั้นค่า $C = C_d = 4.03$ และ $H_e = H_d$

เพราะฉะนั้น $Q = 0.552\ CLH_d^{3/2}$

แทนค่า $1815.625 = 0.552 \times 4.03 \times 23.45\ H_d^{3/2}$

$$H_d^{3/2} = \frac{1815.625}{0.552 \times 4.03 \times 23.45}$$

$$= 34.805$$

$H_d = 10.66$ เมตร

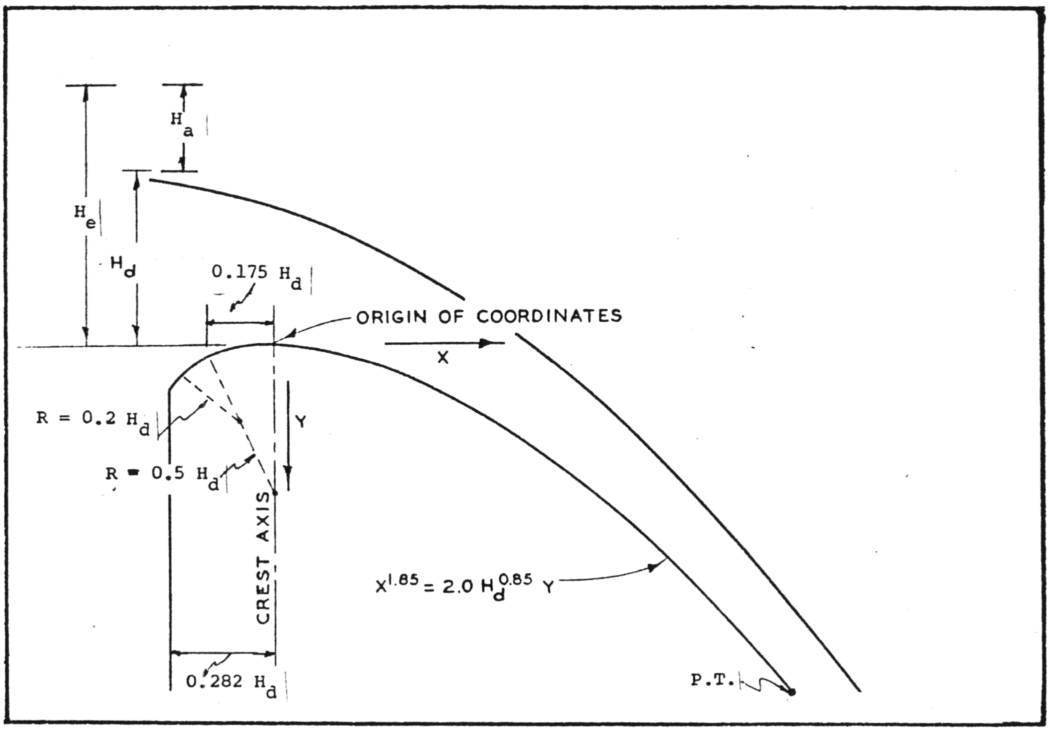
นั่นคือค่าความสูงขับเหนือสันฝาย (Design head) H_d ในแบบจำลอง

$$= \frac{10.66}{25}$$

$$= 0.426 \text{ เมตร}$$

3.3.2 การคำนวณหาสัดส่วนด้านหน้าทางน้ำล้น (Upstream Quadrant)

ตามรูป 3-4



รูป 3-4 สัดส่วนด้านหน้าทางระบายน้ำล้น (Upstream Quadrant)[23]

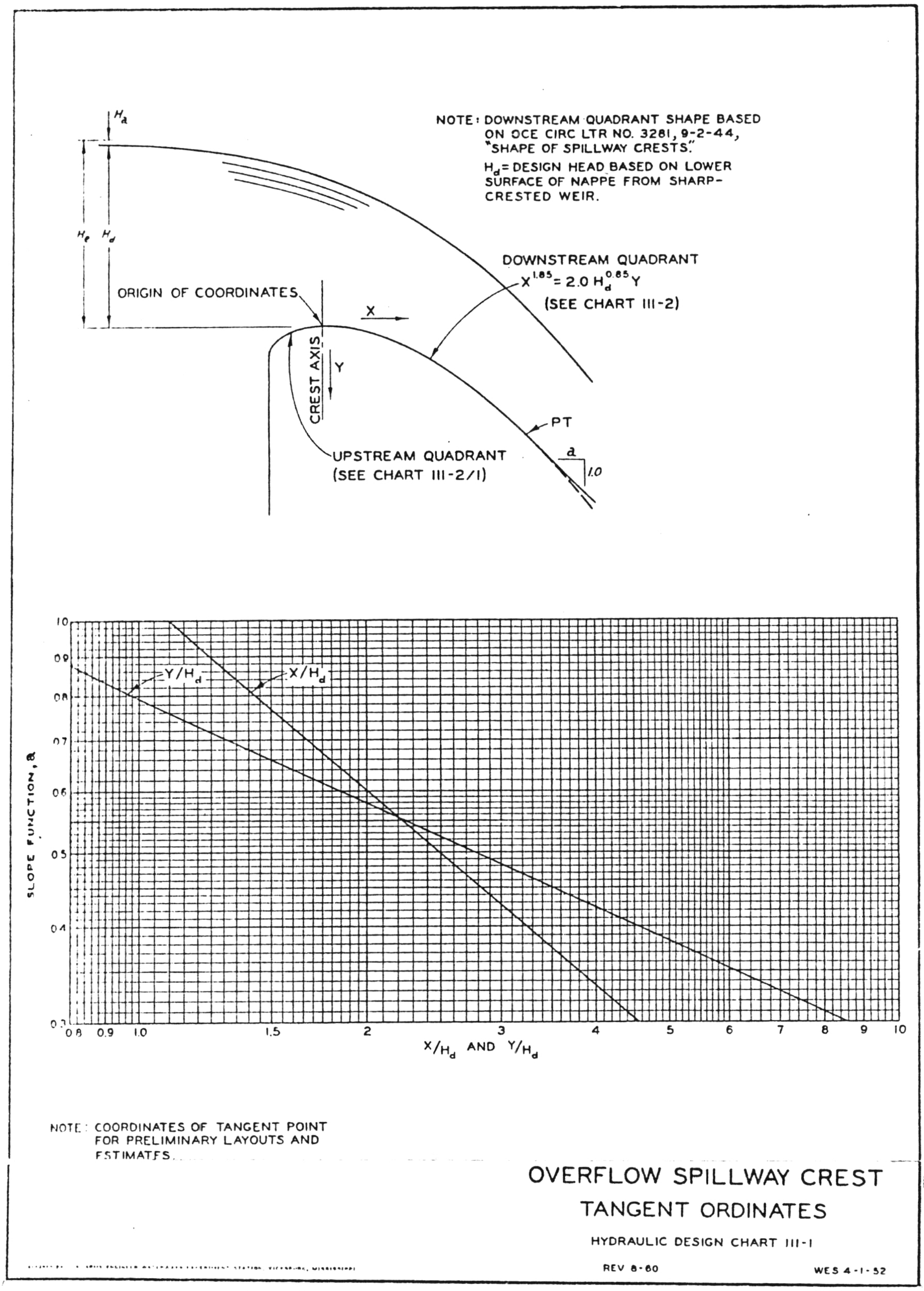
สามารถคำนวณได้ดังต่อไปนี้

$.175\ H_d = .175\ (42.6) = 7.46$ ซม.

$.5\ H_d = .5\ (42.6) = 21.3$ ซม.

$.2\ H_d = .2\ (42.6) = 8.52$ ซม.

$.282\ H_d = .282\ (42.6) = 12.01$ ซม.



รูป 3-5 ความสัมพันธ์ระหว่างความลาดเอนด้านหลังทางน้ำล้น X/Hd และ Y/Hd[22]

3.3.3 หาพิกัด (Co-ordinates) ของจุดสัมผัสหรือ P.T ตามรูป 3-5 ใช้ค่าความลาดเอนด้านหลังทางน้ำล้น (Slope) a = 0.7

เพราะฉะนั้น $\frac{X}{H_d} = 1.67$

$$X = 1.67 \times 42.6 = 71.14 \text{ ซม.}$$

$$\frac{Y}{H_d} = 1.3$$

$$Y = 1.3 \times 42.6 = 55.38 \text{ ซม.}$$

3.3.4 หาพิกัดด้านหลังทางระบายน้ำล้น (Downstream Quadrant)

ดังที่เคยได้กล่าวมาแล้วในบทนำตอนต้นว่า สมการทั่วไปในการหาพิกัดทางด้านหลังทางระบายน้ำล้น (Downstream Quadrant) คือ

$$X^n = K H_d^{n-1} Y$$

ที่ซึ่งความลาดเอนด้านหน้าของทางระบายน้ำล้นอยู่ในแนวดิ่ง ค่า K = 2.00, n = 1.85 ดังนั้นสมการจะเป็น

$$X^{1.85} = 2 \times H_d^{0.85} Y$$

$$H_d = 0.426 \text{ เมตร}$$

$$2 H_d^{0.85} = 2(42.6)^{0.85} = 48.6 \text{ ซม.}$$

เพราะฉะนั้น $X^{1.85} = 48.6\, Y$

คำนวณได้ดังตารางที่ 3-2

X	Y
0	0
2	-.07
4	-.27
6	-.57
8	-.96
10	-1.46
12	-2.04
14	-2.71
16	-3.48
18	-4.32
20	-5.25
22	-6.26
24	-7.36
26	-8.53
28	-9.79
30	-11.12
32	-12.53
34	-14.02
36	-15.58
38	-17.22
40	-18.93
42	-20.72
44	-22.58
46	-24.52
48	-26.53
50	-28.61
52	-30.76
54	-32.98
56	-35.28
58	-37.64

X	Y
60	-42.59
64	-45.16
66	-47.81
68	-50.52
70	-53.31
72	-56.16

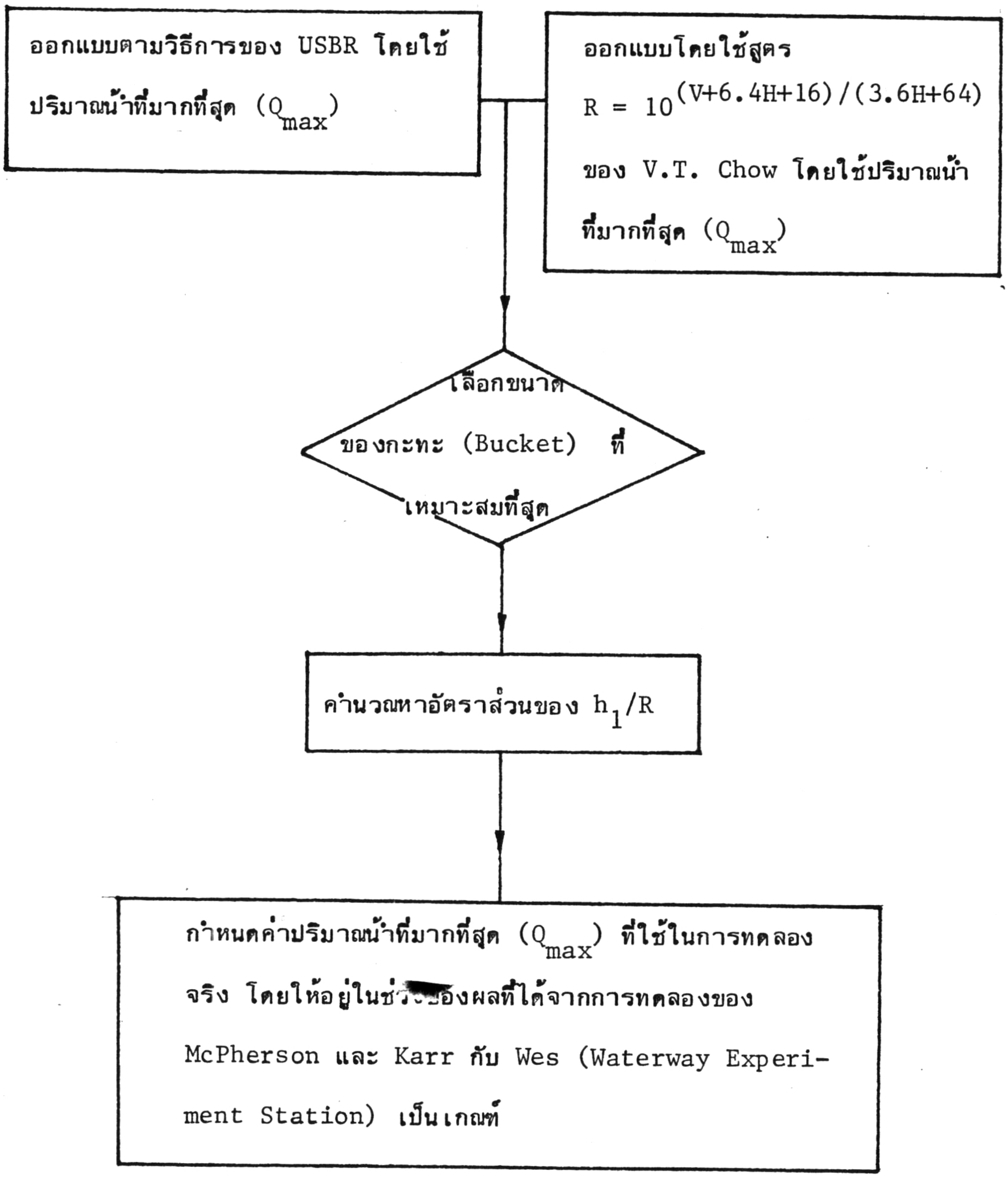
ตารางที่ 3-2 พิกัดทางด้านหลังของทางระบายน้ำล้น (Spillway)

3.3.5 การคำนวณหาขนาดและสัดส่วนของกะทะ (Bucket)

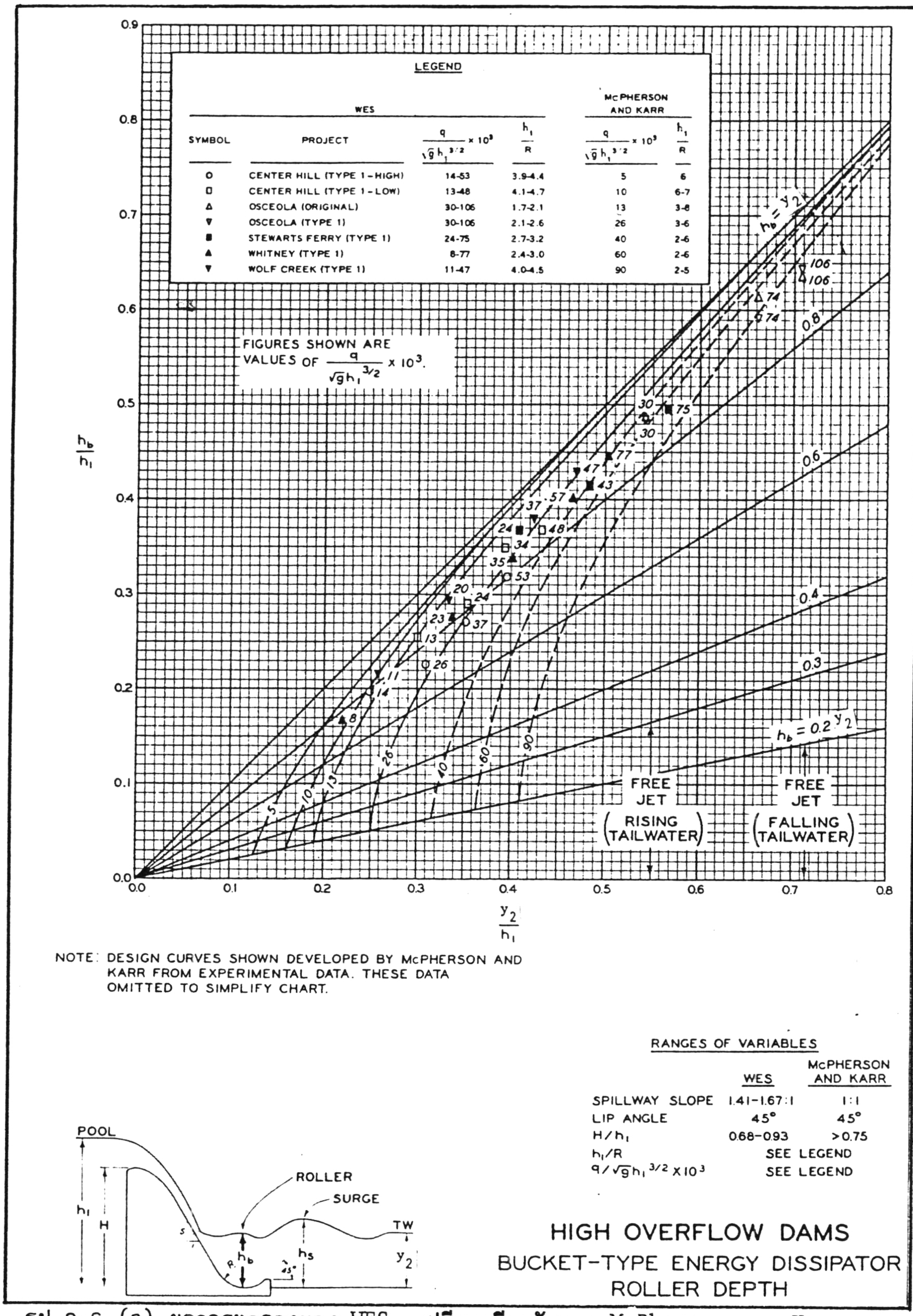
จากการทดลองในห้องปฏิบัติการและปรับปรุงแก้ไขให้ดีขึ้น โดย McPherson และ Karr ปริมาณน้ำที่ปล่อยไหลข้ามทางระบายน้ำล้น (Spillway) นั้น ได้กำหนดให้ไหลกระจายไปทั่วกะทะ (Bucket) และจุดที่ปรากฏในรูป 3-6 เป็นผลจากการทดลองของ WES (Waterways Experiment Station) ซึ่งปรากฏว่าสอดคล้องกับเส้นโค้ง (Curves) ของ McPherson และ Karr ได้ดี สำหรับค่าสัมประสิทธิ์ของอัตราการไหลต่อหนึ่งหน่วยความกว้าง (q parameters) ที่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 26×10^{-3} แต่จะให้ผลไม่สู้ดีนัก เมื่อค่าสัมประสิทธิ์ของอัตราการไหลต่อหนึ่งหน่วยความกว้าง (q parameter) สูง ๆ ขึ้นไป ดังนั้นเพื่อให้อัตราการไหลสอดคล้องกับขนาดของกะทะ (Bucket) และความสูงของทางระบายน้ำล้น (Spillway) ทั้งได้ตามมาตรฐานในการสลายพลังงานตามที่ได้มีการทดลองและปรับปรุงมาแล้ว ในการวิจัยครั้งนี้ จึงจำกัดค่าสัมประสิทธิ์ของอัตราการไหลต่อหนึ่งหน่วยความกว้าง (q parameter) สูงสุดเพียงแค่ 26×10^{-3} ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดอัตราการไหล Q และความสูงขับเหนือสันฝาย (Design head), H_d ในการทดลองตามผังลำดับของวิธีการในการกำหนดขนาดของกะทะส่วนของวงกลม (Roller bucket)

สำหรับความสูงของขอบกะทะ (Bucket lip) จากการทดลองของ WES โดยกำหนดระดับท้องแม่น้ำให้อยู่ที่ระดับต่าง ๆ กัน นับตั้งแต่ที่ระดับขอบกะทะ (Bucket lip) ไปจนถึงระดับต่ำกว่าท้องกะทะ (Bucket invert) พบว่าไม่มีผลต่อความสูงของคลื่นในกะทะ (Roller) และคลื่นปลายกะทะ (Surge) แต่ประการใด จึง

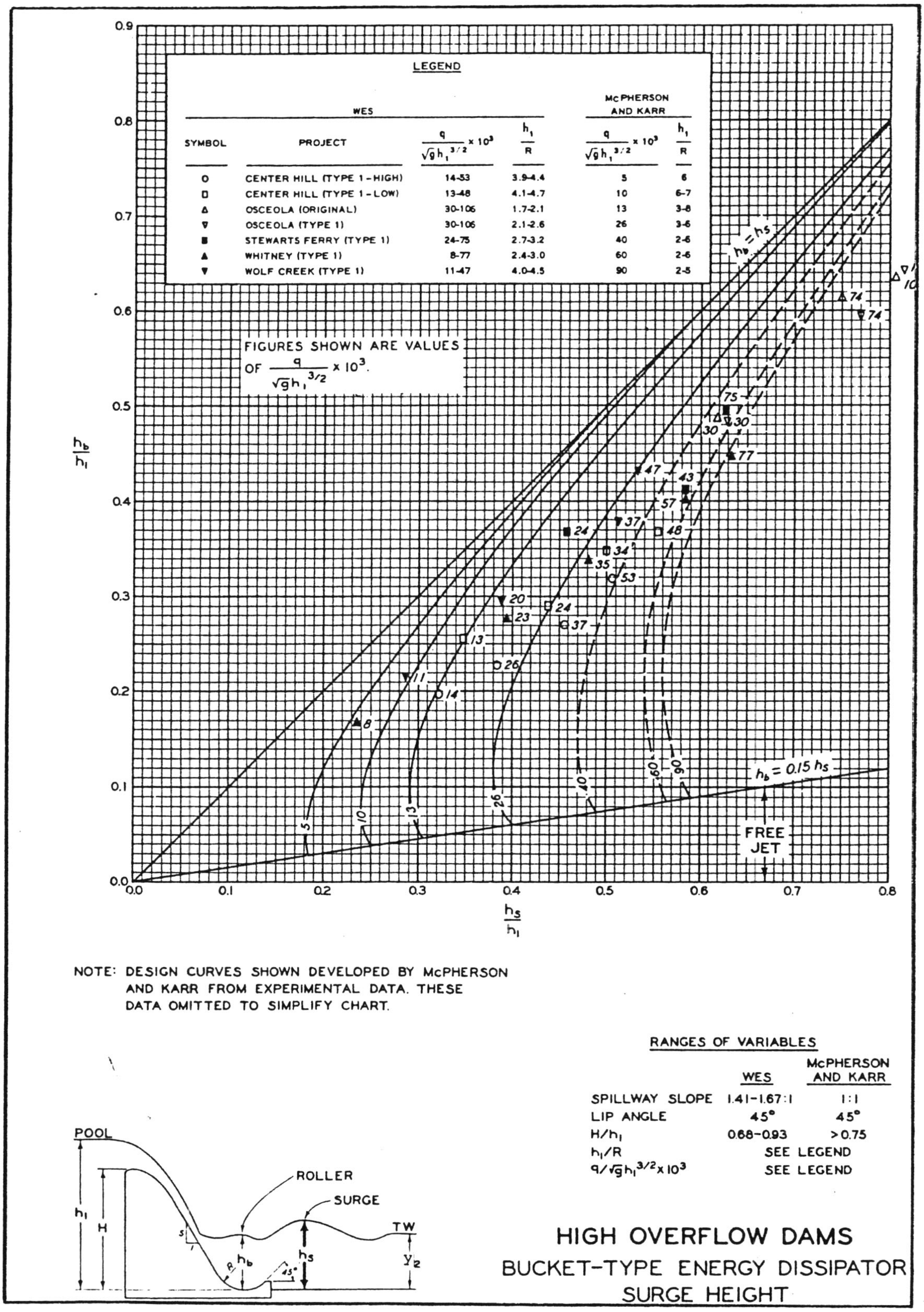
ไม่จำเป็นต้องนำมาพิจารณา



ผังลำดับวิธีการกำหนดขนาดของกะทะส่วนของวงกลม (Roller bucket) ที่ใช้เป็นมาตรฐานในการเปรียบเทียบ



รูป 3-6 (a) ผลการทดลองของ WES เปรียบเทียบกับของ McPherson และ Karr ระหว่างอัตราส่วน h_b/h_1 กับ y_2/h_1 [22]



รูป 3-6 (b) ผลการทดลองของ WES เปรียบเทียบกับของ McPherson และ Karr ระหว่างอัตราส่วน h_b/h_1 กับ h_s/h_1 [22]

รัศมี R ของกะทะแบบส่วนของวงกลม (Roller bucket) สามารถประมาณตามสูตรที่ได้จากการทดลอง[1]

$$R = 10^{(V+6.4H_d+16)/(3.6H_d+64)}$$

ที่ซึ่ง R = รัศมีของกะทะ (Bucket)

V = ความเร็วก่อนเข้ากะทะ (Bucket), ฟุตต่อวินาที

H_d = ความสูงขับเหนือสันฝาย (Design head) ไม่รวมความเร็วขณะเข้าใกล้ (Velocity approach), ฟุต

สำหรับค่าความเร็ว V นั้นสามารถคำนวณมาได้จากสูตร[1] $V = 2g(h_1-0.5H)$ ซึ่ง h_1 คือผลควมของความสูง H (รูป 3-7) กับความสูงของทางระบายน้ำล้น (Spillway) และจากรูป 3-7 ในที่นี้จากอัตราการไหลสูงสุดจะได้

H (รูป 3-7) = 34.97 ฟุต 0.5 H = 17.485 ฟุต

h_1 = 88.56+34.97 = 123.53 ฟุต

ดังนั้น

$$V = 64.4(123.53-17.485)$$

$$= 82.6 \text{ ฟุตต่อวินาที}$$

หรือจากรูป 3-7 ที่ Z = 123.53 ฟุต และ H = 34.97 ฟุต

จะได้ V = 80 ฟุตต่อวินาที

ดังนั้นในการวิจัยนี้จะกำหนดใช้ค่าความเร็วก่อนเข้ากะทะ (Bucket) เป็น 80 ฟุตต่อวินาที สำหรับการคำนวณหาค่ารัศมี R ของกะทะรูปส่วนของวงกลม (Roller bucket)

---

1. Ven Te Chow "Open-Channel Hydraulics" McGraw-Hill 1959, p. 383, 384.

ส่วนยกกำลัง = (80+(6.4x34.97)+16/((3.6x34.97)+64)

= 1.684

ดังนั้น $R = 10^{1.695}$

= 49 ฟุต

ย่ออัตราส่วน 1:25

R = 1.96 ฟุต หรือ 59.74 ซม.

ถ้าใช้วิธีการคำนวณหารัศมี R ของกะทะ (Bucket) โดยใช้รูป 3-8 ของ USBR ที่อัตราการไหลสูงสุด สามารถคำนวณหาค่า F_r (Froude Number) จากค่า V_1 และ y_1 ซึ่งมีตำแหน่งตามรูป 3-9 ได้ดังนี้

V_1 = 80 ฟุตต่อวินาที

y_1 = 10.4167 ฟุต

$$F_{r1} = \frac{V_1}{\sqrt{gy_1}} = \frac{80}{\sqrt{32.2 \times 10.4167}}$$

$$= 4.3$$

จากรูป 3-8 เมื่อค่า $F_{r1} = 4.3$ จะได้

$$\frac{R}{y_1 + V_1^2/2g} = 0.43$$

R = 47.21 ฟุต

ย่อมาตราส่วน 1:25

R = 1.9 ฟุต หรือ 58 ซม.

จากทั้งสองวิธีที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น ค่ารัศมี R ที่คำนวณได้มีค่าใกล้เคียงกันมาก นำค่าทั้งสองมาเฉลี่ยแล้วปัดเศษให้เป็นจำนวนเต็มเพื่อความสะดวกในการสร้างแบบจำลองจะได้รัศมี R ของกะทะ (Bucket) เท่ากับ 60 ซม. สำหรับค่าอัตราการไหลสูงสุด

จากรูป 3-6 การทดลองของ McPherson และ Karr ช่วงของอัตราส่วน h_1/R ที่อยู่ระหว่าง 2-6 จะได้ผลดีสำหรับค่าสัมประสิทธิ์ของอัตรการไหลต่อหนึ่งหน่วยความกว้าง (q parameter) ระหว่าง 40-60 และจากการทดลองของ WES (Waterway Experiment Station) ที่ช่วงของอัตราส่วน h_1/R ที่อยู่ระหว่าง 2.4-3 จะให้ผลดีสำหรับค่าสัมประสิทธิ์ของอัตราการไหลต่อหนึ่งหน่วยความกว้าง (q parameter) ที่อยู่ระหว่าง 8-77 ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้จะใช้เกณฑ์เหล่านี้เป็นตัวควบคุมปริมาณน้ำที่ใช้ในการทดลองซึ่งจะกล่าวในบทต่อไป

จากสมการของวงกลมที่สมมาตรกันทั้งแกน x และ y คือ $x^2+y^2 = r^2$

$$x^2+y^2 = 3600$$

สมการเส้นตรงของทางระบายน้ำล้น (Spillway) ที่มีความลาดเอน a = 0.7 รูป 3-5

$$7x-10y = 0$$

เมื่อแก้สมการทั้งสอง จะได้จุดสัมผัสระหว่างทางระบายน้ำล้น (Spillway) กับกะทะส่วนของวงกลม (Roller bucket)

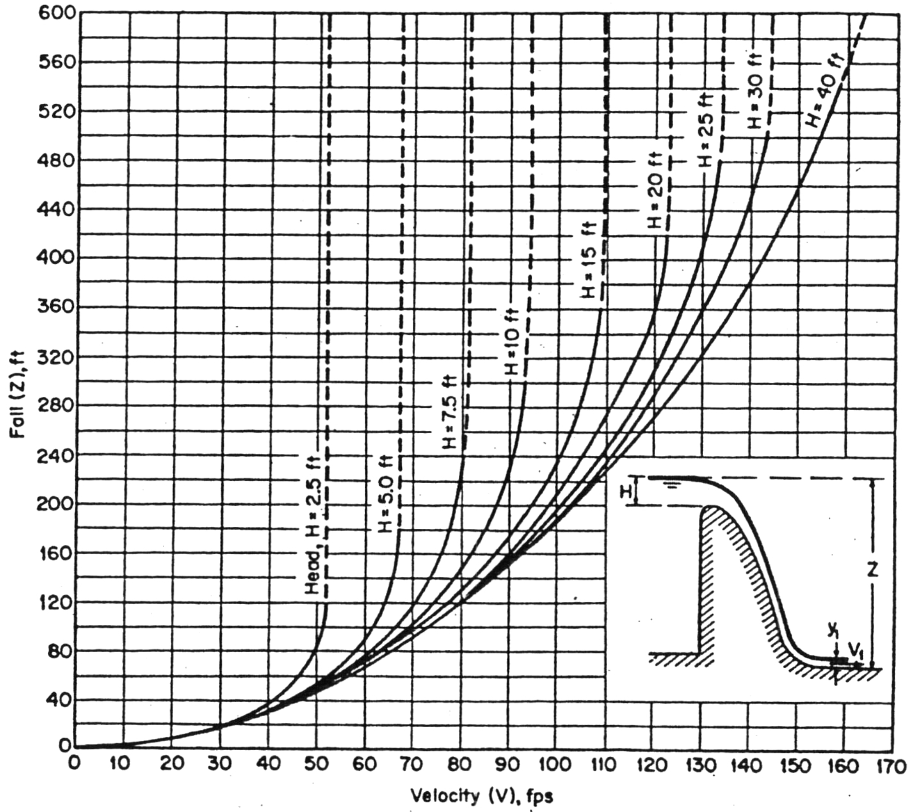
$$x = -49.2 \text{ ซม.}$$

$$y = -34.4 \text{ ซม.}$$

คำนวณหาจุดขอบกะทะ (Bucket lip) ซึ่งกำหนดให้ทำมุม 45^0 กับแนวราบ

จากสมการของวงกลม $2x+2y\frac{dy}{dx} = 0$

เมื่อ $\frac{dy}{dx} = 1 \quad x = y$

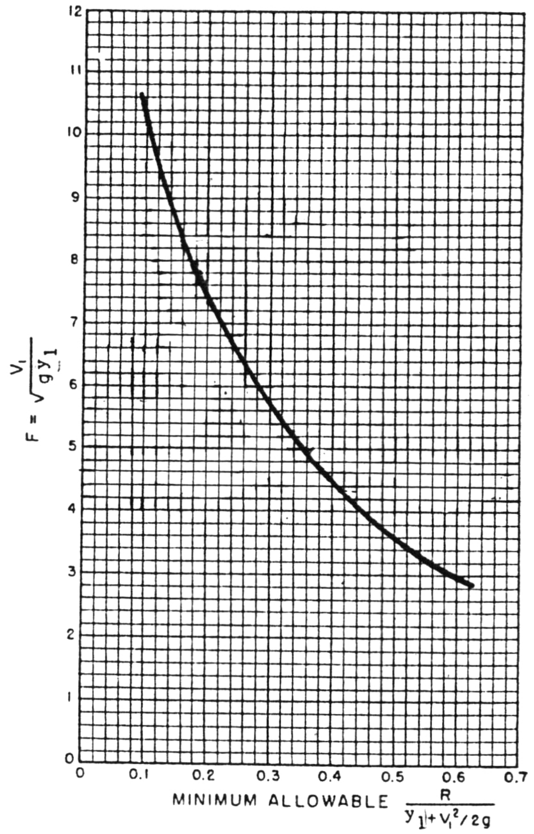


รูป 3-7 เส้นโค้งสำหรับหาความเร็วที่ฐานทางระบายน้ำล้นซึ่งลาด 1 ต่อ 6 ถึง 8 (จากหนังสือ Open-Channel Hydraulics ของ V.T. Chow 1959)

นำค่า h_1 และ R มาคำนวณหาอัตราส่วนของแบบจำลองโดย

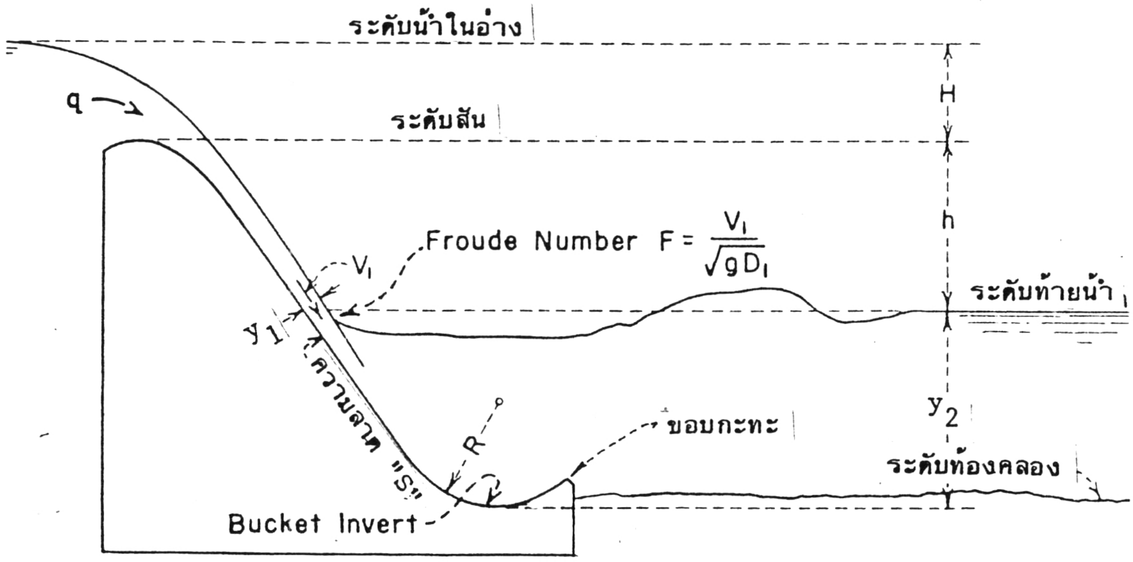
$$h_1/R = (1.08+.426)/0.60$$

$$= 2.51$$



รูปที่ 3-8 รัศมีที่น้อยที่สุดที่ยอมให้ของกะทะ (Bucket)

(จากหนังสือ Hydraulic Design of Stilling Basins and Bucket Energy Dissipaters ของ USBR 1958 P. 101)

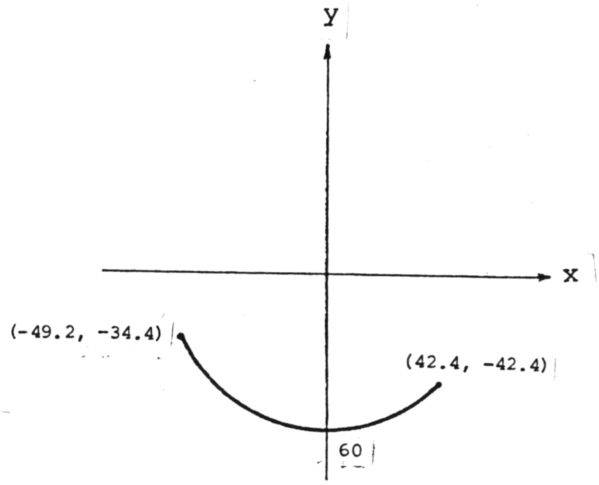


รูปที่ 3-9 แสดงความหมายของสัญญลักษณ์ที่ใช้

นำค่า x ไปแทนค่าในสมการของวงกลมข้างบนจะได้

$$x = 42.4$$

$$y = -42.4$$



รูป 3-10 รูปทรงทางด้านเรขาคณิตของกะทะรูปส่วนของวงกลม (Roller bucket)

พิกัดต่าง ๆ ของรูปวงกลมสามารถคำนวณได้จากสมการของวงกลม ดังตารางที่ 3-3

x	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
y	59.79	59.16	58.10	56.57	54.55	51.96	48.73	44.72	39.69	33.17	23.98

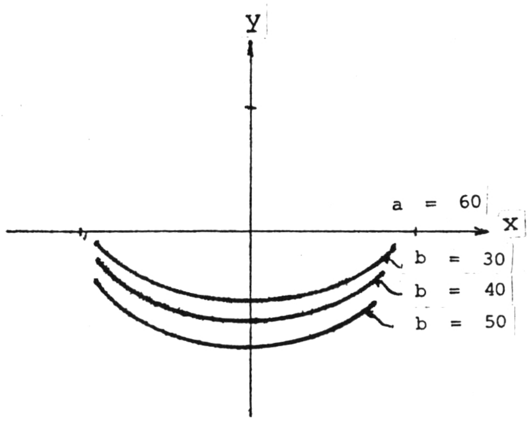
ตารางที่ 3-3 พิกัดของรูปวงกลมมีรัศมีเท่ากับ 60 ซม.

การคำนวณหาขนาดรูปทรงของกะทะรูปส่วนวงรี สำหรับการวิจัยครั้งนี้ ค่าความยาวของแกนหลัก (Major axis) จะคงที่คือเท่ากับรัศมีของวงกลม โดยจะปรับเฉพาะค่าความยาวทางด้านแกนรอง (Minor axis) เพียง 3 ครั้งเท่านั้น ดังนั้นจากสมการของรูปวงรีที่สมมาตรทั้งแกนหลัก (Major axis) และแกนรอง (Minor axis) คือ x, y ตามลำดับ จะมีค่า a = 60ในขณะที่ค่า b ถูกกำหนดเป็น 30, 40 และ 50 สมการของรูปวงรีที่ a = 60 และ b = 50 คือ

$$2,5000\ x^2+3,600\ y^2 = 9x10^6$$

$$5,000\ x + 7,200\ y \frac{dy}{dx} = 0$$

ซึ่งสมการของรูปวงรีนี้จะสัมผัสกับทางระบายน้ำล้น (Spillway) ที่ $\frac{dy}{dx} = -\frac{10}{7}$ และพิกัดต่าง ๆ ของรูปวงรีสามารถคำนวณได้จากสมการของรูปวงรีดังกล่าวข้างบน ตามรูป 3-11 และตารางที่ 3-4



รูป 3-11 รูปทรงทางด้านเรขาคณิตของกะทะรูปส่วนของวงรี

ดังนั้น $35,000\ x - 72,000\ y = 0$ เป็นสมการของเส้นตรงที่สัมผัสกับวงรีนี้ เมื่อแก้สมการเส้นตรงกับสมการวงรีจะได้จุดสัมผัสที่

$$x = -52$$

$$y = -25$$

คำนวณหาจุดขอบกะทะ (Bucket lip) ซึ่งกำหนดให้ทำมุม 45^0 กับแนวราบ $\frac{dy}{dx} = 1$

ดังนั้น $5,000\ x + 7,200\ y = 0$

$$x = -\frac{72\ y}{50}$$

โดยการแทนค่า x นี้ในสมการของวงรี จะได้

$$x = 46$$

$$y = -32$$

ในทำนองเดียวกัน กรณีของค่า b เท่ากับ 4 และ 3 ก็สามารถคำนวณหาได้ด้วยวิธีการดังกล่าว ซึ่งได้รวมแสดงไว้แล้วในตารางที่ 3-4

b = 30 $900x^2+3600y^2 = 324x10^4$		b = 40 $1,600x^2+3,600y^2 = 576x10^4$		b = 50 $2,500x^2+3,600y^2 = 9x10^6$	
x	y	x	y	x	y
0	30.00	0	40.00	0	50.00
5	29.90	5	39.86	5	49.83
10	29.58	10	39.44	10	49.30
15	29.05	15	38.73	15	48.41
20	28.28	20	37.71	20	47.14
25	27.27	25	36.36	25	45.45
30	25.98	30	34.64	30	43.30
35	24.37	35	32.49	35	40.61
40	22.36	40	29.81	40	37.27
45	19.84	45	26.46	45	33.07
50	16.58	50	22.11	50	27.64
55	11.99	55	15.99	55	19.98
60	0.00	60	0.00	60	0.00

ตารางที่ 3-4 แสดงพิกัดของสมการรูปวงรีที่ค่า b ต่างกัน

การคำนวณหาขนาดรูปทรงของกะทะรูปพาลาโบลา (Parabolical bucket) ซึ่งกำหนดทดลอง 3 ขนาดด้วยกัน ดังนั้นจากสมการพาลาโบลา (Parabola) ที่อยู่เหนือแกน x และสมมาตรกับแกน y ค่า a จะถูกกำหนดให้เท่ากับ 10, 14 และ 17.6 โดยค่า a ที่มากที่สุดนี้ถูกกำหนดขึ้นเพื่อให้สอดคล้องกับความลาดของทางระบายน้ำล้น (Spillway) สมการของรูปพาลาโบลา (Parabola) ขนาด a = 17.6 ดังกล่าวนี้คือ

$$x^2 - 70.4\,y = 0$$

$$2x - 70.4\,\frac{dy}{dx} = 0$$

สมการของรูปพาลาโบลา (Parabola) นี้จะสัมผัสกับทางระบายน้ำล้น (Spillway) ที่ $\frac{dy}{dx} = -\frac{10}{7}$ ดังนั้น $14\,x + 704 = 0$ เป็นสมการเส้นตรงที่สัมผัสกับสมการพาลาโบลา

(Parabola) นี้ เมื่อแก้สมการทั้งสองนี้แล้วจะได้จุดสัมผัสที่

$$x = -50.3$$

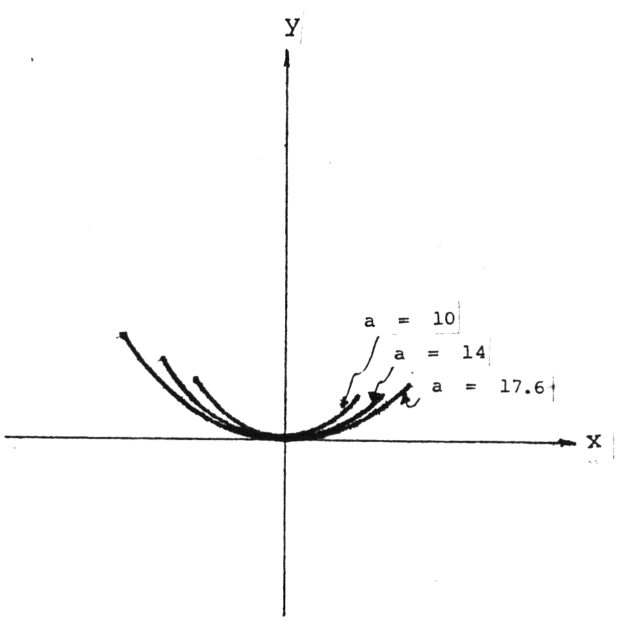
$$y = 36.0$$

คำนวณหาจุดขอบกะทะ (Bucket lip) ซึ่งกำหนดให้ทำมุม 45^0 กับแนวราบ ฉะนั้น $\frac{dy}{dx} = 1$ จะได้ $2x-70.4 = 0$ เป็นสมการเส้นตรงที่ลาด 45^0 สัมผัสกับพาลาโบลา (Parabola) นี้ เมื่อแก้สมการนี้กับสมการพาลาโบลา (Parabola) ที่ได้กล่าวมาแล้ว จะได้จุดขอบกะทะ คือ

$$x = 35.2$$

$$y = 17.6$$

ในทำนองเดียวกันกรณีของค่า a = 10 และ 14 ก็สามารถคำนวณหาได้ด้วยวิธีการดังกล่าว ซึ่งได้รวมแสดงไว้ในรูป 3-12 และตารางที่ 3-5



รูปที่ 3-12 รูปทรงทางด้านเรขาคณิตของกะทะรูปพาลาโบลา (Parabola bucket)

a = 10 $x^2-40y = 0$		a = 14 $x^2-56y = 0$		a = 17.60 $x^2-70.4y = 0$	
x	y	x	y	x	y
0	0	0	0	0	0
5	0.63	5	0.45	5	0.36
10	2.50	10	1.79	10	1.42
15	5.63	15	4.02	15	3.20
20	10.00	20	7.14	20	5.68
25	15.63	25	11.16	25	8.88
30	22.50	30	16.07	30	12.78
35	30.63	35	21.88	35	17.4
40	40.00	40	28.57	40	22.73
45	50.63	45	36.16	45	28.76
50	62.50	50	44.64	50	35.51
55	75.63	55	54.02	55	42.97
60	90.00	60	64.29	60	51.14

ตารางที่ 3-5 แสดงพิกัดของสมการรูปพาลาโบลา (Parabora) ที่ค่า a ต่างกัน

ในการสร้างแบบจำลอง (Model)ที่ใช้ในการทดลองนี้ จำต้องทำฝาย (Weir)ขึ้นมาตรงปลายรางน้ำสำหรับปรับค่าระดับน้ำทางด้านท้ายน้ำ (Tailwater depth) โดยสามารถเลื่อนขึ้นลงได้ และยังสามารถใช้วัดค่าปริมาณน้ำที่ไหลผ่านทางระบายน้ำล้นได้ด้วย ซึ่งจะสร้างเป็นแบบฝายขอบคม (Sharp crest weir) ในการออกแบบใช้สมการ

$$Q = \frac{2}{3} C_d \sqrt{2g}.LH^{3/2}$$

กำหนดให้ L = 0.938 ม. ค่า C_d = 0.6 โดยการประมาณล่วงหน้าก่อนเมื่อสร้างแบบจำลองเสร็จแล้วจึงทำการปรับค่า (Calibrate) ฝาย (Weir) เพื่อจะได้ค่า C_d ที่แน่นอนต่อไป

$$0.581 = \frac{2}{3} \times 0.6\sqrt{2 \times 9.815} \times 0.938 \times H^{3/2}$$

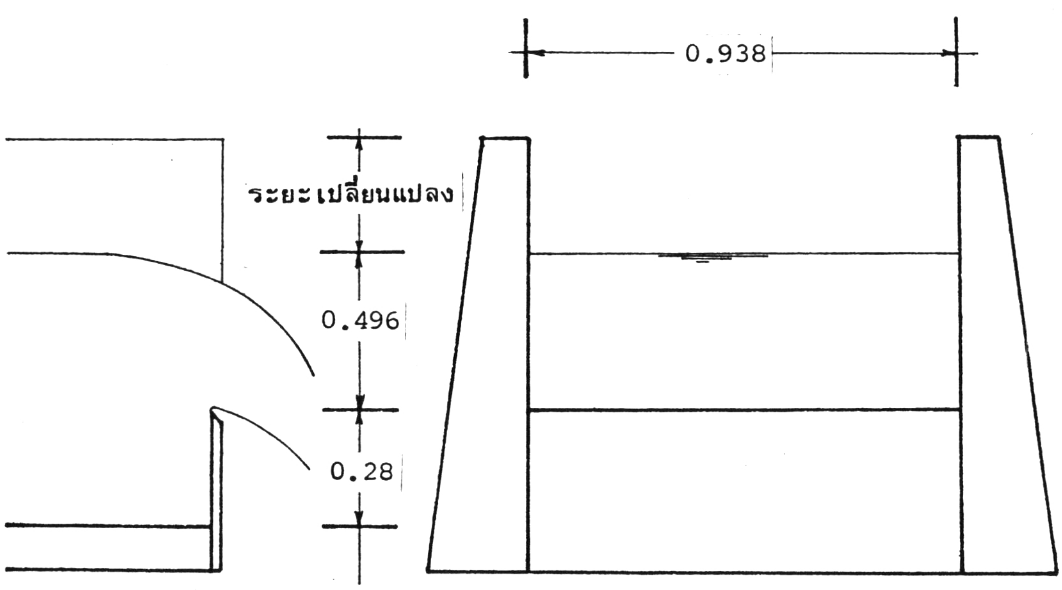
$$H^{3/2} = \frac{0.581 \times 3}{2 \times 0.6\sqrt{2 \times 9.815} \times 0.938} = 0.3495$$

$$H = 0.496 \text{ ม.}$$

ซึ่งความสูงของฝาย (Weir) ที่สร้างต้องปรับระดับความสูงจากพื้นรางน้ำถึงสันฝายได้ เพื่อการเปลี่ยนระดับน้ำด้านท้ายน้ำที่ระดับต่าง ๆ กัน โดยกำหนดให้ความสูงของผนังรางน้ำมากที่สุดไม่เกิน .776 ม. ดังนั้น ความสูงของฝาย (Weir) ต้องเท่ากับ .776-.496

$$= 0.28 \text{ ม.}$$

นั่นคือ ปลายรางน้ำจะมีลักษณะเป็นรูปฝายสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 0.498x0.938 ม. ตามรูป 3-13



รูป 3-13 แสดงรูปร่างและขนาดของฝาย (Weir) ที่สร้าง