บทที่ 3

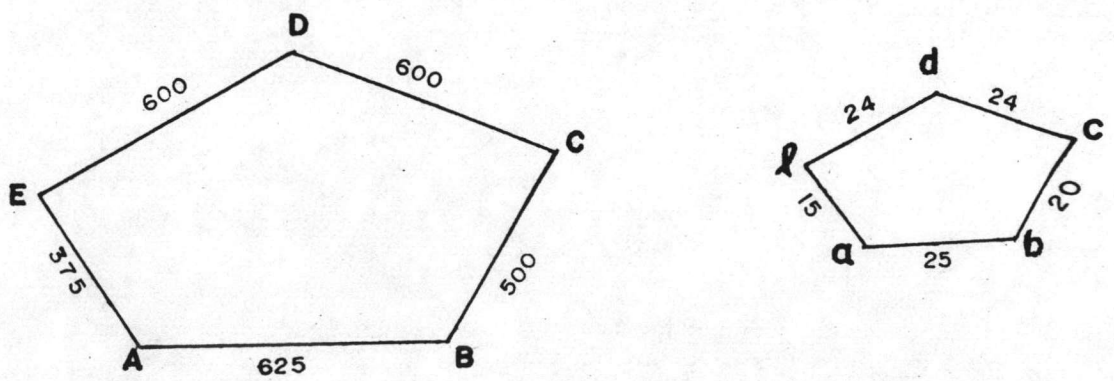
การออกแบบจำลองทางด้านชลศาสตร์

3.1 กฎเกณฑ์ความคล้ายคลึงกัน (Laws of Similitude)

แบบจำลอง (Model) มีความสำคัญสำหรับการศึกษาวิจัยในการทดลอง การทำนายปรากฏการณ์ต่าง ๆ ที่จะเกิดขึ้นในแบบของจริง (Prototype) แบบจำลองนี้ออกแบบสร้างได้โดยการย่อเปรียบเทียบมาตราส่วนกับแบบของจริง ซึ่งการย่ออัตราส่วนนี้อาจใช้มาตราส่วนที่ไม่เท่ากันทุกทางก็ได้ ซึ่งเรียกว่า Distorted Model เช่น ย่อความยาวด้วยมาตราส่วนหนึ่ง และย่อความสูงด้วยอีกมาตราส่วนหนึ่ง สัดส่วนที่ย่อจะเป็นไปตามกฎเกณฑ์ความคล้ายคลึงกัน (Laws of Similitude) ซึ่งมีความคล้ายคลึงกันอยู่ 3 แบบ คือ

3.1.1 ความคล้ายคลึงกันทางเรขาคณิต (Geometric Similarity)

รูปร่างของแบบจำลองมีความคล้ายคลึงกับแบบของจริง โดยอัตราส่วนของความยาวด้านต่าง ๆ มีความสัมพันธ์กันและมีอัตราส่วนเป็นค่าคงที่เท่ากันตลอด ดังรูป 3.1.1



รูป 3.1.1 แสดงความคล้ายคลึงทางเรขาคณิต

รูปห้าเหลี่ยมจะมีลักษณะคล้ายคลึงกันต่อเมื่อ

$$\frac{ab}{AB} = \frac{bc}{BC} = \frac{cd}{CD} = \frac{de}{DE} = \frac{ea}{EA} = \frac{1}{25} = \text{ค่าคงที่}$$

1/25 ในที่นี้คือ มาตราส่วน (Scale ratio หรือ Length ratio)

เมื่อ L_m = หน่วยความยาวของแบบจำลอง

L_p = หน่วยความยาวของแบบจริง

L_r = มาตราส่วนหรืออัตราส่วนของความยาว

อัตราส่วนความยาว, $L_r = L_m/L_p$ ...(3.1.1)

อัตราส่วนของพื้นที่, $A_r = A_m/A_p = L_m^2/L_p^2 = L_r^2$ ...(3.1.2)

อัตราส่วนของปริมาตร, $V_r = V_m/V_p = L_m^3/L_p^3 = L_r^3$ ...(3.1.3)

อัตราส่วนของค่ารัศมีชลศาสตร์, $R_r = R_m/R_p = \frac{A_m/P_m}{A_p/P_p}$

$$= \frac{L_m^2/L_m}{L_p^2/L_p} = L_r \quad \text{...(3.1.4)}$$

3.1.2 <u>ความคล้ายคลึงเชิงจลน์</u> (Kinematic Similarity)

จะมีลักษณะที่คล้ายคลึงกันคือ การเคลื่อนที่ของอนุภาคของของไหล (Moving Particle)

อัตราส่วนของความเร็ว, อัตราเร่งและอัตราการไหล นั่นคือ

อัตราส่วนของความเร็ว, $V_r = V_m/V_p = \frac{L_m/T_m}{L_p/T_p}$

$$= L_r/T_r \quad \text{...(3.1.5)}$$

อัตราส่วนของความเร่ง, $a_r = a_m/a_p = \frac{L_m/T_m^2}{L_p/T_p^2}$

$$= L_r/T_r^2 \quad \text{...(3.1.6)}$$

อัตราส่วนของอัตราการไหล, $Q_r = Q_m/Q_p = V_m A_m/V_p A_p$

$$= \sqrt{2gL_m}.L_m^2/\sqrt{2gL_p}.L_p^2$$

$$= L_r.L_r^2$$

$$= L_r^{5/2} \qquad \ldots(3.1.7)$$

3.1.3 <u>ความคล้ายคลึงเชิงพลวัต</u> (Dynamic Similarity)

เป็นความคล้ายลคึงเนื่องจากแรงที่มากระทำกับระบบของของเหลวซึ่งอาจแบ่งได้เป็น

แรงภายนอก เช่น

แรงซึ่งเกิดเนื่องจากความโน้มถ่วงของโลก $= F_G$

แรงซึ่งเกิดเนื่องจากความดันซึ่งเป็นผลเนื่องจากการเคลื่อนที่ (Pressure Force) $= F_p$

แรงสัมพันธ์กับคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของของเหลว เช่น

แรงซึ่งเกิดจากความหนืดของของเหลว $= F_V$

แรงซึ่งเกิดจากแรงตึงผิวของของเหลว $= F_T$

แรงซึ่งเกิดจากแรงยืดหยุ่นของของเหลว $= F_E$

แรงลัพธ์ซึ่งเป็นผลมาจากความเฉื่อย (Inertial Force) หรือเป็นผลคูณของมวลกับอัตราเร่ง ซึ่งมีสัญญลักษณ์ เป็น F_I

อัตราส่วนของแรงที่สัมพันธ์กันมีค่าคงที่ โดยใช้กฎข้อ 2 ของนิวตัน ซึ่งเขียนเป็นรูปสมการได้ดังนี้

Ma = ผลรวมของเวคเตอร์ $F_G+F_P+F_V+F_T+F_E$ .....(3.1.8)

ดังนั้นปรากฏการณ์ของของเหลวที่เคลื่อนที่ และมีลักษณะคล้ายคลึงกันทั้งของแบบจำลองและแบบของจริง จะต้องเป็นไปตามอัตราส่วน

$$\frac{M_m . a_m}{M_p . a_p} = \frac{(F_G+F_P+F_V+F_T+F_E)m}{(F_G+F_P+F_V+F_T+F_E)p}$$

หรือ $$= \frac{(F_G)m}{(F_G)p} = \frac{(F_P)m}{(F_P)p} = \frac{(F_V)m}{(F_V)p} = \frac{(F_T)m}{(F_T)p} = \frac{(F_E)m}{(F_E)p} \quad .....(3.1.9)$$

3.2 การออกแบบจำลอง

การออกแบบ (Design) แบบจำลองนั้นจะต้องเป็นไปตามกฎเกณฑ์ความคล้ายคลึงกัน (Laws of Similitude) โดยพิจารณาถึงปริมาณน้ำที่ไหลผ่านทางน้ำล้น นำมาออกแบบหาขนาดรูปร่างของทางน้ำล้นซึ่งสำหรับการวิจัยนี้เป็นแบบ Ogee Spillway แอ่งน้ำนิ่งเป็นแบบ USBR Type III ประกอบด้วย Chute Blocks, Floor Blocks และ End Sill อีกทั้งยังมีการเพิ่มท่อน้ำฝังเข้าไปใน Floor Blocks โครงสร้างทุกส่วนจะอยู่ใน Model Scale Ratio เดียวกัน

3.3 การคำนวณหาขนาดแบบจำลองทางน้ำล้นและแบบแอ่งน้ำนิ่ง

เนื่องจากแบบจำลองทางน้ำล้นนี้ในปี พ.ศ. 2522 นายสุพงศ์ นิ่มกุลรัตน์ ได้ทำการออกแบบสร้างไว้เรียบร้อยแล้ว สำหรับวิทยานิพนธ์เรื่อง "การศึกษาเกี่ยวกับทางน้ำล้นโดยใช้แบบจำลอง" โดยใช้ปริมาณน้ำมากที่สุดมาออกแบบ (Q_m) คือ 0.581 ลบ.ม.ต่อวินาที แบบจำลองนี้มี Model Scale Ratio = 1:25

3.3.1 การออกแบบทางน้ำล้น

ก. หาอัตราการไหลและความสูงของน้ำที่ใช้ในการออกแบบ

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

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

$$Q_p = 1815.61 \text{ ลบ.ม.ต่อวินาที}$$

ความกว้างของทางน้ำล้น, L_m = 3 ft. = 0.938 m.

$$L_r = L_m/L_p$$

$$\frac{1}{25} = \frac{0.938}{L_p}$$

$$L_p = 23.45 \text{ ม.}$$

ความสูงของทางน้ำล้น, $h_m = 1.08$ ม.

$$h_p = 1.08 \times 25 = 27.0 \text{ ม.}$$

สมการของอัตราการไหลผ่านทางน้ำล้นแบบ WES Shape ซึ่งไม่ได้ควบคุมด้วยประตูระบายน้ำ

$$Q = CLH_e^{1.5} \quad \text{สำหรับหน่วยอังกฤษ} \qquad .....(3.3.1)$$

หรือ $$Q = 0.552\, CLH_e^{1.5} \quad \text{สำหรับหน่วยเมตริก} \qquad .....(3.3.2)$$

เมื่อ Q = อัตราการไหลของน้ำที่ไหลผ่าน, ลบ.ม./วินาที

C = สัมประสิทธิ์ของการไหล (Coefficient of Discharge)

L = ความกว้างสันทางน้ำล้น, เมตร

H_e = ความสูงรวมของน้ำ โดยรวม Velocity Head ด้วย, เมตร

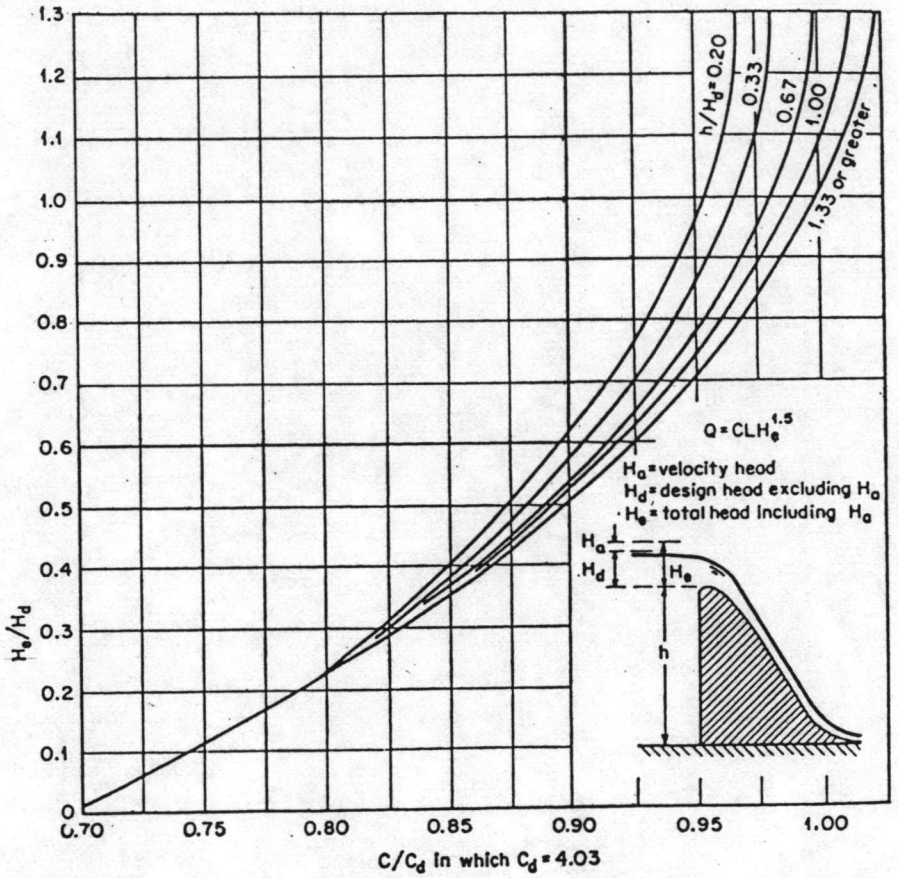
สัมประสิทธิ์การไหล (Coefficient of Discharte) จากการค้นคว้าและวิจัยในห้องทดลองของ WES พบว่า

1. เมื่อความลาดเอนด้านหน้า (Slope of upstream face) อยู่ในแนวดิ่ง และ h มากกว่า 1.33 H_d จากรูป 3.3.1, Approach Velocity ไม่ต้องนำมาคิด ให้ใช้ค่า $H_e = H_d$ และ $C = C_d = 4.03$

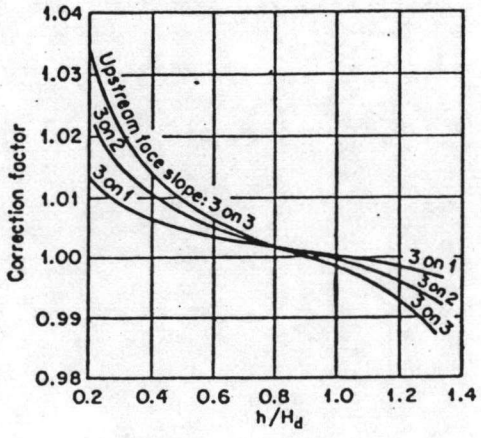
2. เมื่อความลาดเอนด้านหน้าอยู่ในแนวดิ่ง และ $h < 1.33\, H_d$ ผลของ Approach Velocity จะต้องนำมาคิดด้วย โดย $H_e = H_d + V_a^2/2g$ ค่า C จะหาได้จากรูป 3.3.1

I 15816680

3. เมื่อความลาดเอนด้านหน้าเปลี่ยนไป 3:1, 3:2 หรือ 3:3 ค่า C จะเท่ากับค่า C ซึ่งได้จากรูป 3.3.1 คูณด้วย Correction Factor ที่ได้จากรูป 3.3.2



รูป 3.3.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง h/H_d กับ C/C_d และ H_e/H_d [16]



รูป 3.3.2 ค่า Correction Factor [16]

แต่ในที่นี้ให้ h มากว่า 1.33 H_d และความลาดเอนด้านหน้าของทางน้ำล้นอยู่ในแนวดิ่ง

ดังนั้น $C = C_d = 4.03$ และ $H_e = H_d$

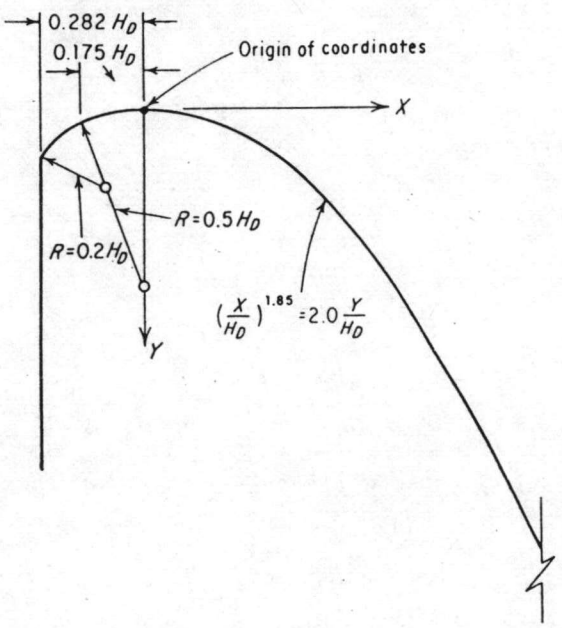
จากสมการ 3.3.2, $Q = (CLH_e^{1.5})\ 0.552$

$$1815.61 = 0.552 \times 4.03 \times 23.45\ H_d^{1.5}$$

$$H_d = 10.66 \text{ ม.}$$

นั่นคือ Design Head (H_d) ในแบบจำลอง = 10.66/25 = 0.426 ม.

ข. หา Upstream Quadrant ตามรูป 3.3.3



รูป 3.3.3 แสดงสัดส่วนของ Upstream Quadrant ของทางน้ำล้น[19]

$0.282\ H_d = 0.282 \times 0.426 = 0.12$ ม.

$0.175\ H_d = 0.175 \times 0.426 = 0.075$ ม.

$R_1 = 0.5\ H_d = 0.5x0.426 = 0.213$ ม.

$R_2 = 0.2\ H_d = 0.2x0.426 = 0.085$ ม.

ค. หาพิกัดจุดสัมผัส (Point of Tangent) ตามรูป 3.3.4

ใช้ค่า Slope, a = 0.7

$x/H_d = 1.67 \quad x = 1.67x.426 = 0.711$ ม.

$y/H_d = 1.3 \quad y = 1.3x.426 = 0.544$ ม.

ง. หาพิกัด Downstream Quadrant ตามสมการ

$$x^n = KH_d^{n-1}.y \qquad .....(3.3.3)$$

เมื่อ K = 2.0, n = 1.85

$$x^{1.85} = 2H_d^{0.85}.y$$

$H_d = 42.6$ ซม. , $2H_d^{0.85} = 2(42.6)^{0.85} = 48.53$

$$x^{1.85} = 48.53\ y \qquad .....(3.3.4)$$

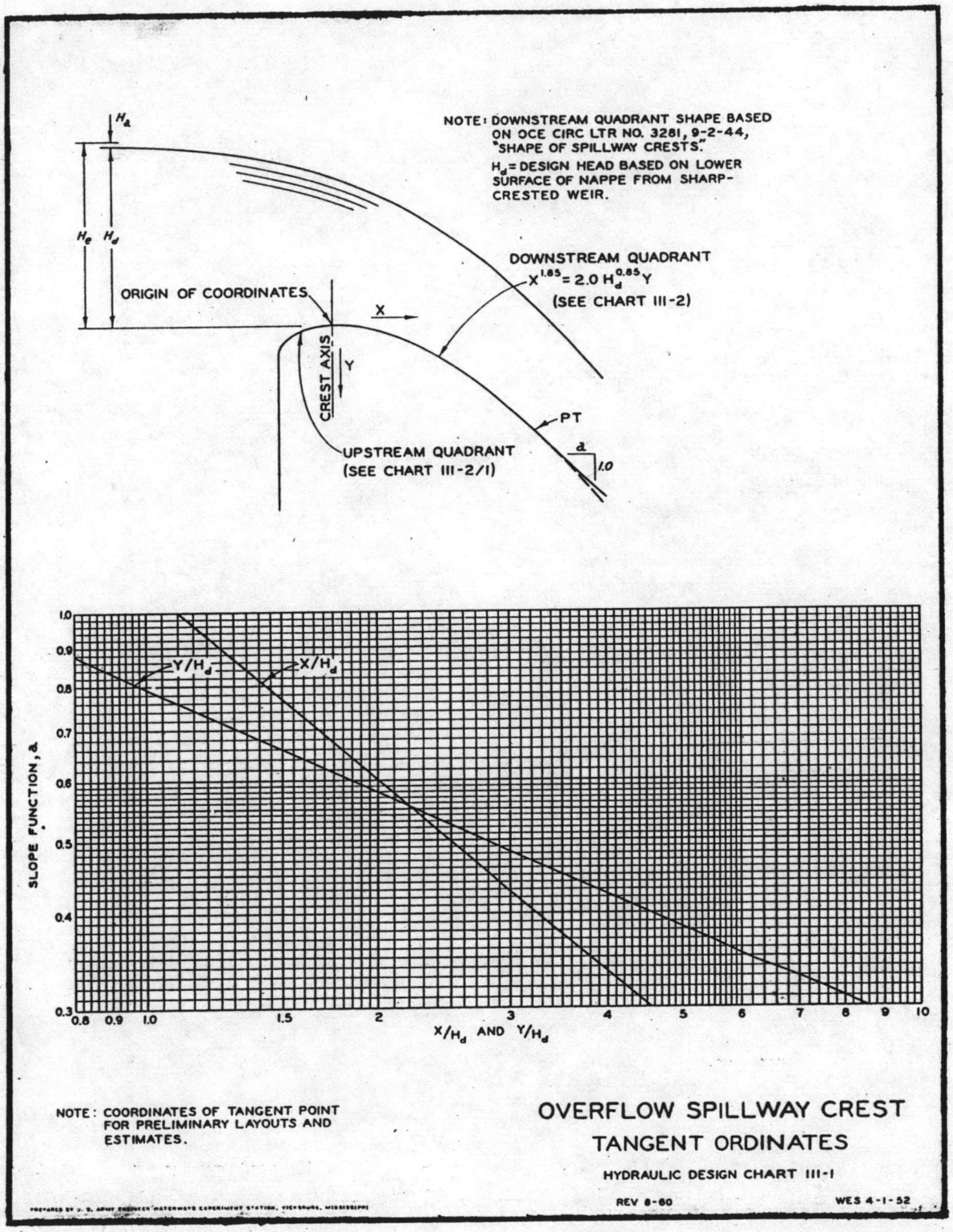
นำสมการ 3.3.4 ไปหาจุดพิกัด ได้ดังตารางที่ 3.3.1

3.3.2 <u>การออกแบบแอ่งน้ำนิ่ง</u>

ก. หาขนาด Chute Blocks, ความสูงหน้าทางน้ำล้น (Prototype),

$h_p = 27.0$ เมตร

ความสูงทั้งหมด (Z), $h_p+H_d = 27.0+10.66$ เมตร



รูป 3.3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างจุดพิกัดสัมผัสกับ Slope Function, a[17]

ตาราง 3.3.1 แสดงจุดพิกัดของ Downstream Quadrant ของทางน้ำล้น

x (เซนติเมตร)	$x^{1.85}$	$y = \frac{x^{1.85}}{48.53}$ (เซนติเมตร)
0	0	0
5	19.64	0.4
10	70.79	1.46
15	149.89	3.09
20	255.21	5.26
25	385.65	7.95
30	540.35	11.13
35	718.66	14.81
40	920.05	18.96
45	1144.05	23.57
50	1390.26	28.65
55	1658.33	34.17
60	1947.96	40.14
65	2258.86	46.55
70	2590.79	53.39

นำค่าของจุดพิกัด x,y ไปทำการสร้างแบบจำลองทางน้ำล้น

$= 37.66$ เมตร

ความเร็วที่ปลายทางน้ำล้น, $V_p = \sqrt{2gz}$

$= \sqrt{2x9.81x37.66}$

$= 27.18$ เมตรต่อวินาที

เนื่องจาก $\frac{V_m}{V_p} = L_r^{\frac{1}{2}}$

$V_m = 27.18(1/25)^{\frac{1}{2}}$

$= 5.44$ เมตรต่อวินาที

$Q_m = 0.581$ ลบ.ม.ต่อวินาที

$q_m = .581/.938$ ลบ.ม.ต่อวินาทีต่อความกว้าง 1 ม.

$= 0.619$ ลบ.ม.ต่อวินาทีต่อความกว้าง 1 ม.

ความสูงของ Chute Block, $y_1 = q_m/V_1 = 0.619/5.44$

$= 0.114$ เมตร (Model)

ข. หาขนาดของ Floor Blocks

เพราะว่า $F_r = F_1 = V_1/\sqrt{gy_1}$

$= 5.44/\sqrt{9.81x.114}$

$= 5.14$

จากรูป 3.3.5 เป็นกราฟระหว่าง F_r (Froude Number) กับ h_3 (ความสูงของ Floor Block)

เมื่อ F_r = 5.14 จะได้ h_3/y_1 = 1.46

ความสูงของ Floor Block, h_3 = 1.46x11.4 = 16.6 ซม. (Model)

ค. หาขนาดของ End Sill ตามรูป 3.3.5

เมื่อ F_r = 5.14 จะได้ h_4/y_1 = 1.28

ความสูงของ End Sill, h_4 = 1.28x11.4 = 14.6 ซม. (Model)

ง. หาระดับท้ายน้ำ (T.W. Depth) ตามรูป 3.3.6 เป็นกราฟระหว่าง F_1 กับ $\frac{\text{T.W. Depth}}{y_1}$

เมื่อ F_1 = 5.14 ที่ $\frac{\text{T.W.}}{y_2} = 1$ จะได้ $\frac{\text{T.W.}}{y_1}$ = 6.90

ในกรณีนี้ T.W. = y_2 y_2 = 6.90 y_1

ระดับความสูงท้ายน้ำ = 6.90x11.4 = 78.66 ซม.

จ. ระยะระหว่าง Chute Blocks กับ Floor Blocks

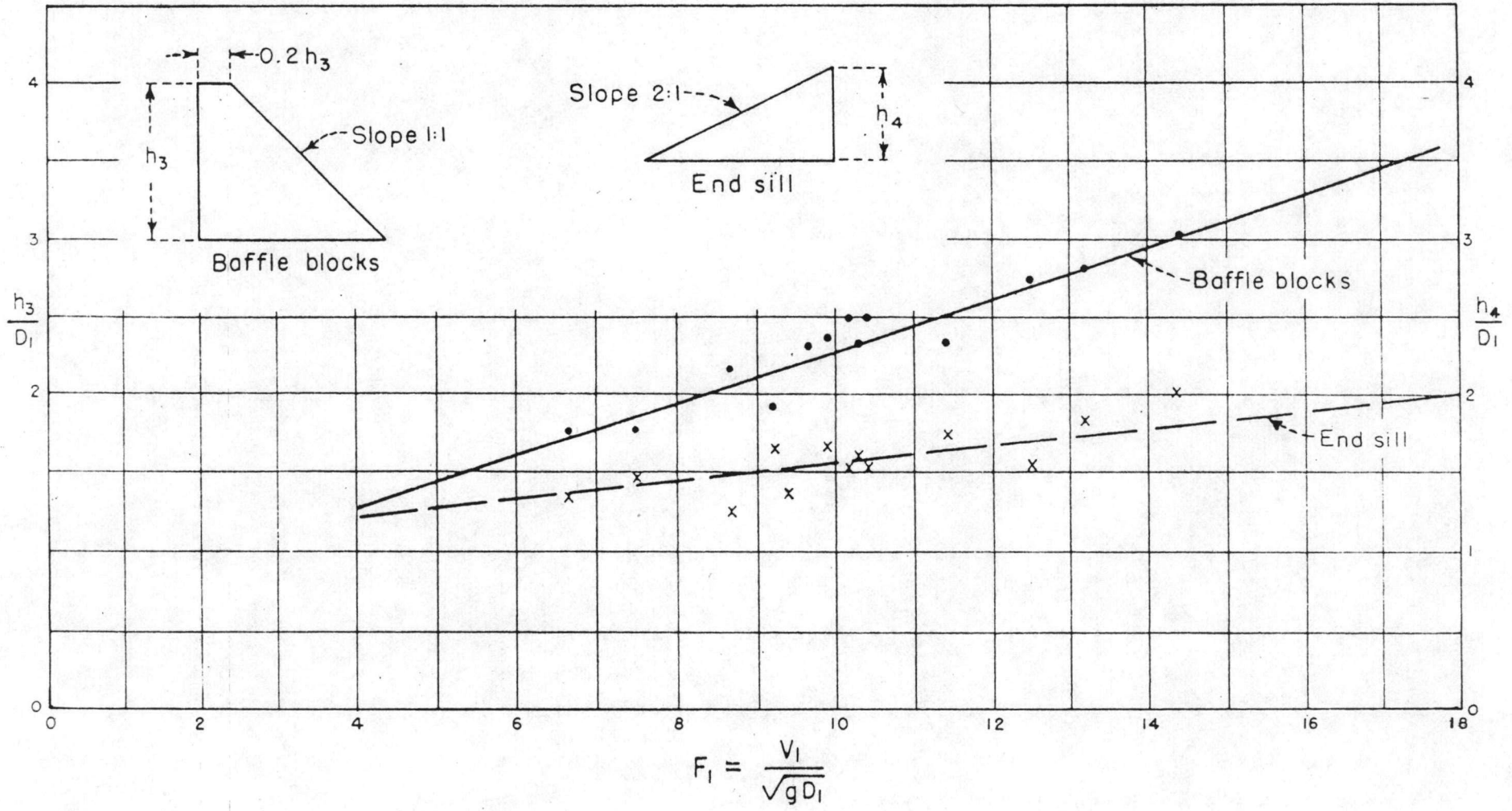
จาก USBR[15] ให้ = 0.8 y_2

= 0.8x78.66 = 62.9 ซม.

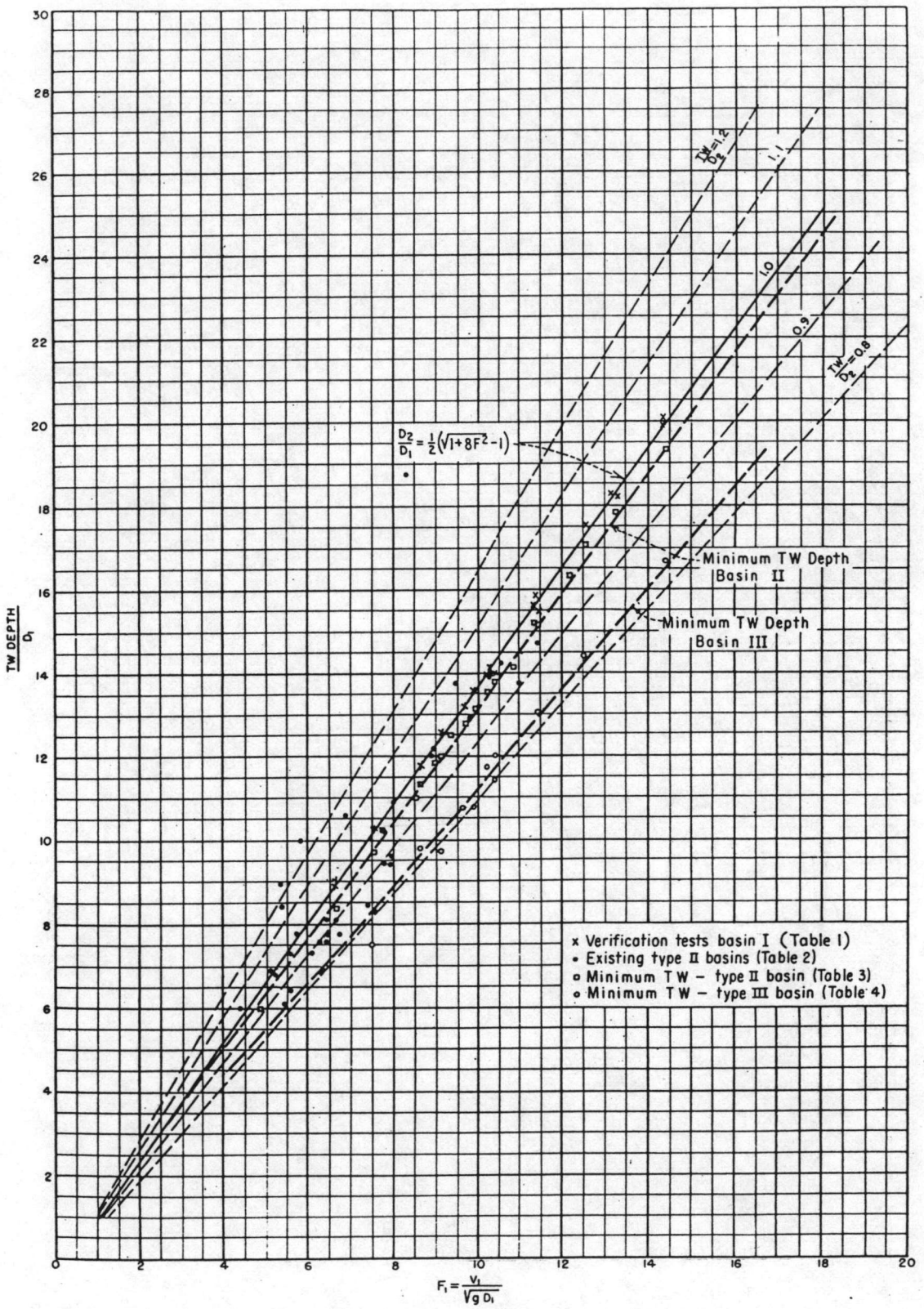
ฉ. ความยาวของแอ่งน้ำนิ่ง ตามรูป 3.3.7 เป็นกราฟระหว่าง F_1 กับ L/y_2 ของ USBR

ได้ L/y_2 = 2.35

ความยาวแอ่งน้ำนิ่ง, L_j = 2.35x78.66 = 185 ซม.

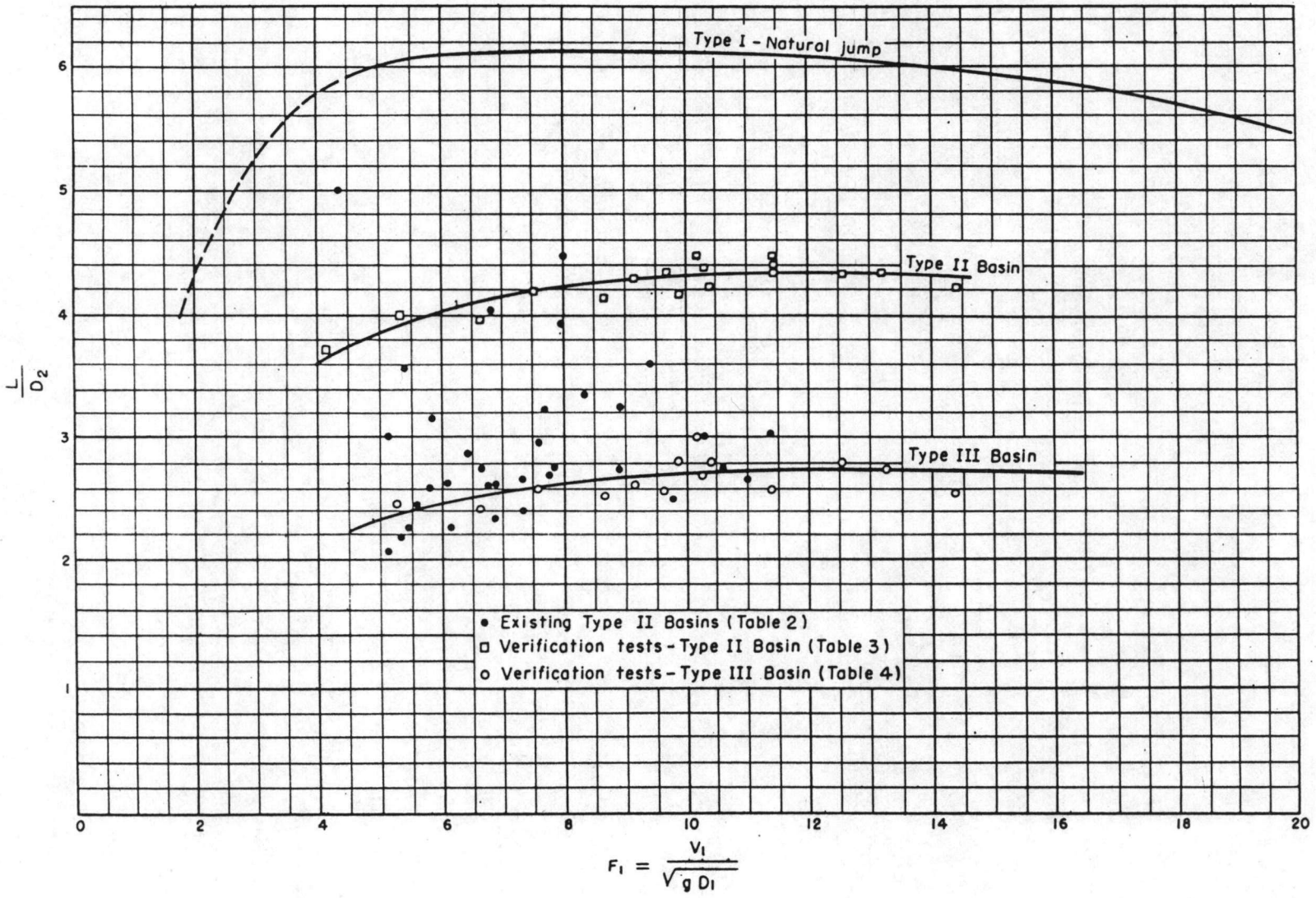


รูป 3.3.5 แสดงความสูงของ Floor blocks และ End sill[15]



Minimum tail water depths (Basins I, II, and III).

รูป 3.3.6 ความสัมพันธ์ระหว่าง F_1 กับ T.W. Depth[15]



Length of jump on horizontal floor (Basins I, II, and III).

รูป 3.3.7 แสดงความยาวของ Jump บนพื้นราบ กับ F_1 [15]

เวีย (Weir) ซึ่งถูกสร้างขึ้นตรงปลาย Flume เพื่อควบคุมระดับท้ายน้ำโดยการปรับ เลื่อนขึ้นลงได้และยังสามารถวัดค่า Q ได้นี้เป็น Sharp crested weir ซึ่งค่า Q หาได้จาก

$$Q = 2/3\ C_d\sqrt{2g}\ L.H^{3/2}$$

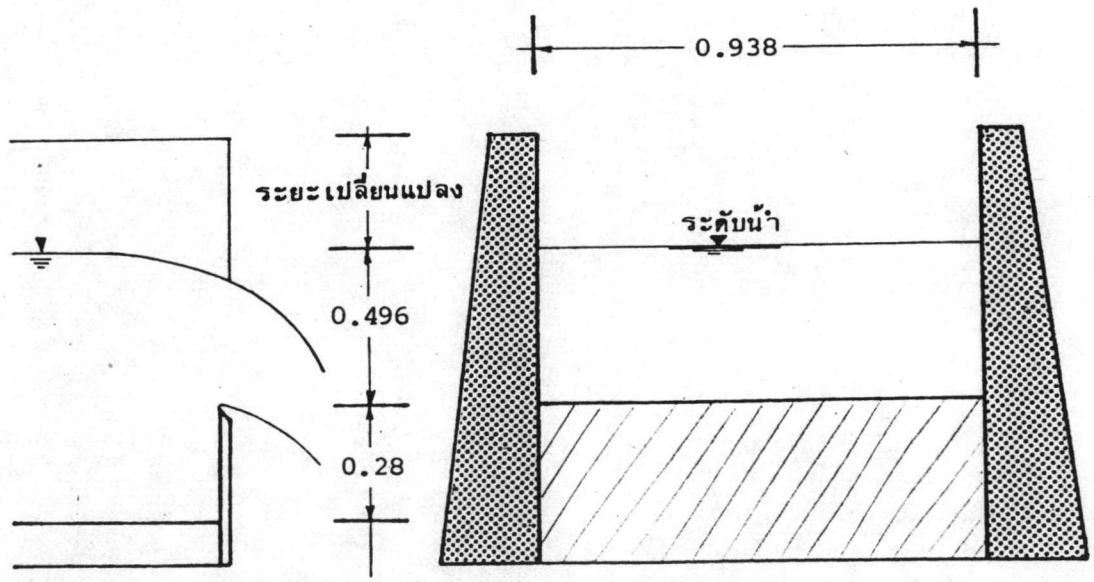
ในเมื่อ $L = 0.938$, $C_d = 0.6$ (สมมติ) ซึ่งจะหาค่าจริงได้หลังจากการ Calibrate แล้ว

$$0.581 = 2/3 \times 0.6\ \sqrt{2x9.81} \times 0.938\ H^{3/2}$$

$$H = 0.496\ m.$$

ดังนั้นความสูงของ Weir ที่สร้างขึ้นต้องปรับความสูงจากพื้น Flume จนถึงสันเวียได้ (เมื่อกำหนดความสูง Flume = 0.776 เมตร) = 0.776-0.496 = 0.28 m.

เวียจึงมีขนาด 0.496x0.938 ดังรูป 3.3.8



รูป 3.3.8 แสดงเวียสี่เหลี่ยมผืนผ้าซึ่งใช้ในการวิจัย

ตาราง 3.3.2 แสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างแบบของจริงและแบบจำลอง (ใช้ในการวิจัย)

ค่า, หน่วย	แบบของจริง (Prototype)	แบบจำลอง (Model)
ratio	25	1
Q, m^3/sec.	1815.61	0.581
q, m^3/sec/m.	77.4	0.619
B, m.	23.45	0.938
H_d, m.	10.66	0.426
h, m.	27.0	1.08
F_r,	5.14	5.14
y_1 , m.	2.85	0.114
h_3 , m.	4.15	0.166
h_4 , m.	3.65	0.146
L_j , m.	46.25	1.85
D_{PIPE} , m.	0.71	0.0285
, m.	0.43	0.0170