ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การคำนวณออกแบบอาคารท่อส่งน้ำแบบปากแตร
ด้วยโปรแกรม Excel (คำนวณแบบเดิม)

การออกแบบอาคารท่อส่งน้ำ(Outlet Works)

แบบMorning Glory

โครงการ อ่างเก็บน้ำห้วยสำเร็จ จังหวัด กำแพงเพชร

ข้อมูลทั่วไปในการออกแบบ

-	ระดับสันเขื่อน	=	+39.65	ม. (ร.ท.ก.)
-	ระดับน้ำสูงสุด ; (ร.น.ส.)	=	+36.58	ม. (ร.ท.ก.)
-	ระดับน้ำเก็บกัก ; (ร.น.ก.)	=	+35.00	ม. (ร.ท.ก.)
-	ระดับน้ำต่ำสุด ; (ร.น.ต.)	=	+25.50	ม. (ร.ท.ก.)
-	ระดับท้องลำน้ำ	=	+15.50	ม. (ร.ท.ก.)
-	ปริมาณน้ำชลประทาน	=	2.00	$ม.^3$./วินาที

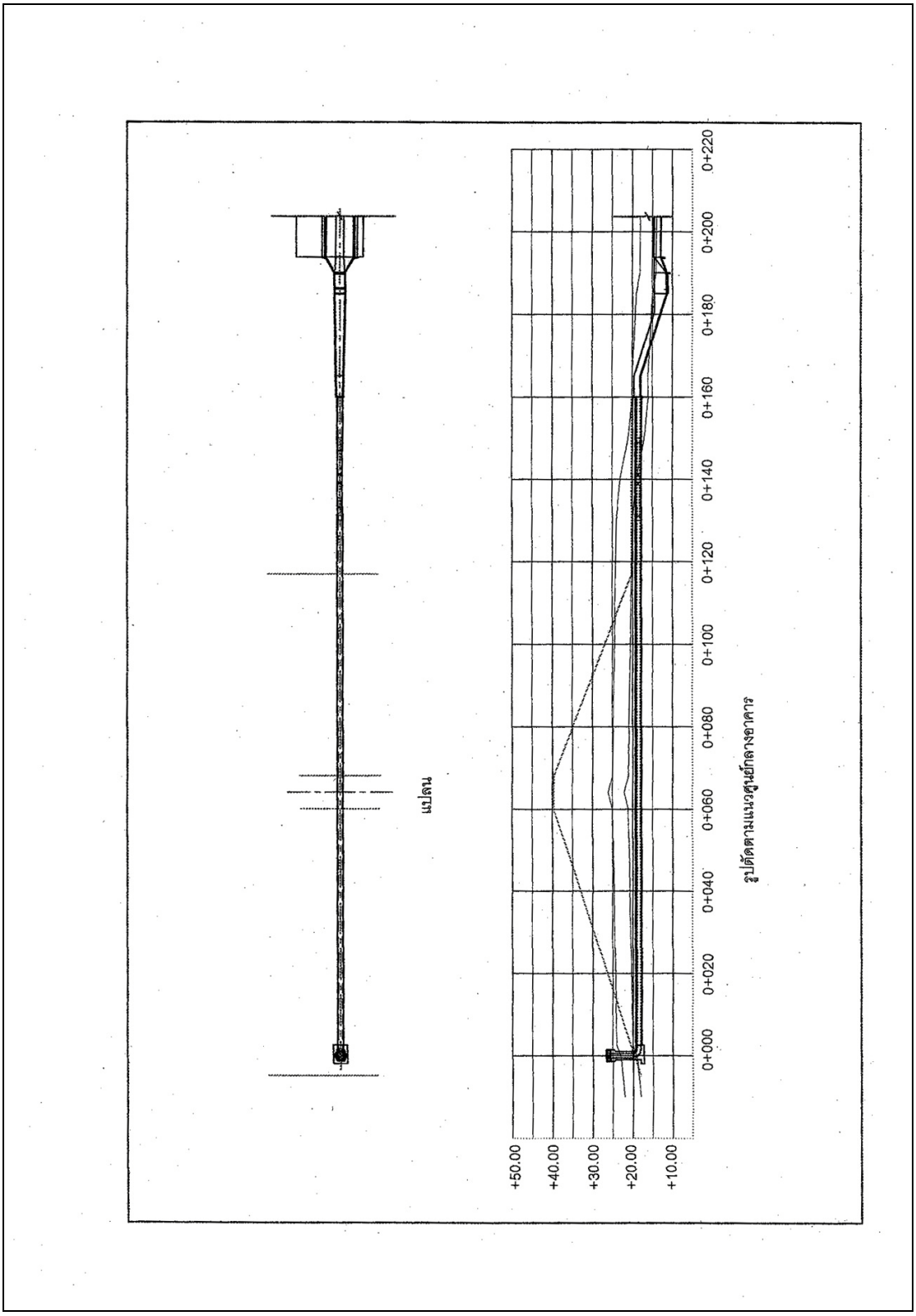
ข้อมูลคลองส่งน้ำ

-	ระดับน้ำที่ต้องการของคลองส่งน้ำ	=	+14.00	ม. (ร.ท.ก.)
-	ความกว้างก้นคลอง	=	2.00	ม.
-	ความลึกของน้ำ	=	1.12	ม.
-	ความลาดชันด้านข้าง	=	1:1.5	ม.
-	ความกว้างขานคลอง	=	1.00	ม.
-	ความสูงจากก้นคลองถึงขานคลอง	=	1.60	ม.
-	ความสูงจากก้นคลองถึงคันคลอง	=	1.85	ม.
-	ความกว้างคันคลองฝั่งซ้าย	=	6.00	ม.
-	ความกว้างคันคลองฝั่งขวา	=	2.00	ม.
-	ลาดตามยาวคลอง	=	1:8000	

ข้อมูลทั่วไปจากการร่างแบบ(เบื้องต้น)

-	ความกว้างสันเขื่อน	=	8.00	ม.
-	ความลาดชันเขื่อนด้าน U/S 1	=	1:3.0	
-	ความลาดชันเขื่อนด้าน U/S 2	=	1:3.0	
-	ความกว้างBerm U/S	=	0.00	ม.
-	ความลาดชันเขื่อนด้าน D/S 1	=	1:2.5	
-	ความลาดชันเขื่อนด้าน D/S 2	=	1:2.5	
-	ความกว้างBerm D/S	=	0.00	ม.

<u>ภาพผนวกที่ ก1</u> การคำนวณออกแบบอาคารท่อส่งน้ำแบบปากแตร ด้วย Ms.Excel (แบบเดิม)



<u>ภาพผนวกที่ ก1</u> (ต่อ)

- ระดับสันฝาย(สันปากแตร)	=	+25.50	ม. (ร.ท.ก.)
- ระดับธรณีด้านหน้าท่อ	=	+18.00	ม. (ร.ท.ก.)
- ระดับธรณีท้ายท่อ	=	+18.00	ม. (ร.ท.ก.)
- ความยาวท่อ	=	160.00	ม.
- ความลึกของชั้นหิน(โดยประมาณ)	=	4.00	ม.

ข้อมูลการกำหนด กม.อาคารจากการร่างแบบ(เบื้องต้น)

				ระดับดินเดิม	
- ตำแหน่ง กม.ที่1	=	0+000	;	+23.00	ม. (ร.ท.ก.)
- ตำแหน่ง กม.ที่ 2	=	0+003	;	+24.00	ม. (ร.ท.ก.)
- ตำแหน่ง กม.ที่ 3	=	0+060	;	+25.00	ม. (ร.ท.ก.)
- ตำแหน่ง กม.ที่4	=	0+064	;	+26.00	ม. (ร.ท.ก.)
- ตำแหน่ง กม.ที่ 5	=	0+068	;	+25.00	ม. (ร.ท.ก.)
- ตำแหน่ง กม.ที่ 6	=	0+130	;	+24.00	ม. (ร.ท.ก.)
- ตำแหน่ง กม.ที่ 7	=	0+140	;	+23.00	ม. (ร.ท.ก.)
- ตำแหน่ง กม.ที่ 8	=	0+150	;	+21.00	ม. (ร.ท.ก.)
- ตำแหน่ง กม.ที่ 9	=	0+160	;	+20.00	ม. (ร.ท.ก.)
- ตำแหน่ง กม.ที่ 10	=	0+165	;	+20.00	ม. (ร.ท.ก.)
- ตำแหน่ง กม.ที่ 11	=	0+185	;	+19.00	ม. (ร.ท.ก.)
- ตำแหน่ง กม.ที่ 12	=	0+190	;	+18.00	ม. (ร.ท.ก.)

ภาพผนวกที่ ก1 (ต่อ)

2 การคำนวณหาขนาดท่อส่งน้ำ

ท่อส่งน้ำใช้ท่อคอนกรีตเสริมเหล็กกลม มีท่อเหล็กกลม Steel Liner อยู่ภายใน เพื่อให้ผิวท่อเรียบ เป็นแบบหล่อคอนกรีต และเพื่อช่วยเสริมความแข็งแรงป้องกันน้ำรั่วซึมจากตัวท่อเข้าไปในตัวเขื่อน ปริมาณที่ออกแบบจะเลือกคำนวณที่ Design Head (Hd) เท่ากับ H/3 โดย H = ระดับน้ำเก็บกัก - ระดับน้ำต่ำสุด

2.1 การออกแบบเบื้องต้นเพื่อหาขนาดท่อส่งน้ำ

Design Head (Hd) ที่จะนำมาออกแบบขนาดท่อ ใช้ประมาณ H/3 โดยที่ H = ระดับน้ำเก็บกัก - ระดับน้ำต่ำสุด หมายความว่า จะส่งน้ำได้เต็มที่ได้ Full Supply ตลอดเวลาก็ต่อเมื่อระดับน้ำในอ่างอยู่สูงกว่าระดับที่กำหนด โดยการควบคุมด้วย Gate Valve แต่ถ้าระดับน้ำในอ่างฯ อยู่ต่ำกว่าที่กำหนดแล้ว จะส่งน้ำได้ไม่เต็มที่ตามความต้องการ

ปริมาณน้ำที่ออกแบบ ; Q	=	2.00	$ม^3$./วินาที
ความยาวท่อ โดยประมาณ ; L	=	160.00	ม.
Head ; H	=	(35.00 - 25.50)	ม.
	=	9.50	ม.
ค่า Available Head ; H/3	=	(9.50)/ 3	ม.
	=	3.17	ม.

$$H_T = \text{Intake loss} + \text{Friction loss} + \text{Gate loss} + \text{Exit loss} \quad \text{---- (1)}$$

- Intake loss = $0.20\, V^2/(2g)$
- Friction loss = $f.L.V^2/(D.2g)$

โดย

- $f = 124.58\, n^2/(D^{1/3})$
- $n = 0.012$; (ท่อเหล็ก)
- D = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ ; ม.

ดังนั้น Friction loss = $(124.58(0.012)^2.L) / D^{4/3} .(V^2/2g)$

- Gate loss = $0.19\, V^2/(2g)$

เนื่องจากมี Gate จำนวน 2 ตัว = $2\,(0.19)\, V^2/(2g)$

Gate loss = $0.38\, V^2/(2g)$

- Exit loss = $V^2/(2g)$

แทนค่าในสมการ (1) จะได้

$$H_T = 0.2\,(V^2/2g) + (124.58(0.012)^2.L)/ D^{4/3}.(V^2/2g) + 0.38\,(V^2/2g) + (V^2/2g) \quad \text{---- (2)}$$

จากค่า Q ที่ใช้ออกแบบ = 2.00 $ม^3$./วินาที

<u>ภาพผนวกที่ ก1</u> (ต่อ)

หาค่า V	= Q/A	=	$4.Q/(\pi .D^2)$	
Try ค่า D		=	1.00	ม.
V		=	2.55	ม./วินาที
ได้ค่า $V^2/2g$		=	0.33	ม.

แทนค่าต่างๆในสมการ (2) จะได้

H_T	=	0.07 + 0.95 + 0.13 + 0.33	
	=	1.47	< 3.17 (H/3) ; OK

ดังนั้นใช้ท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ; D = 1.00 ม.ได้

เลือกใช้ท่อขนาดผ่านศูนย์กลาง ; D	=	1.00	ม.
และเลือกใช้ ขนาด Gate Valve ขนาด	=	0.80	ม.

ใช้ท่อขนาด 1.0 ม. ซึ่งเป็นท่อขนาดใหญ่กว่าเพื่อสะดวกในการบำรุงรักษาและเลือกใช้ท่อขนาด0.8 ม. เพื่อรองรับขนาดGate Valveเพื่อความประหย่

2.2 การคำนวณหา Head Loss เนื่องจากปริมาณน้ำที่ใช้ออกแบบ (Design Discharge)

เมื่อน้ำไหลเต็มท่อ สามารถหา Losses ต่างๆได้ดังนี้ สมการการหาHead Losses คือ

$$H_T = h_t + h_e + h_b + h_{f1} + h_c + h_{exp} + h_{f2} + h_{g1} + h_{g2} + h_v$$

โดย

H_T	=	Total Losses ที่จะเอาชนะความสูญเสียต่างๆ เพื่อให้น้ำไหลได้ตามปริมาณที่ต้องการ
h_t	=	Trashrack Losses
h_e	=	Entrance Losses
h_b	=	Bend Losses
h_{f1}	=	Friction Losses ของท่อช่วงที่1
h_c	=	Contraction Losses
h_{exp}	=	Expandsion Losses
h_{f2}	=	Friction Losses ของท่อช่วงที่2
h_{g1}	=	Guard Gate Losses
h_{g2}	=	Operating Gate Losses
h_v	=	Exit Losses

ภาพผนวกที่ ก1 (ต่อ)

โดยมีรายละเอียดการคำนวณ ดังนี้

1) Trashrack Losses (h_t)

จากสมการ $h_t = K_t V_t^2 / 2g$ ---- (3)

โดย K_t = Trashrack Loss Coeffcient

$= 1.45 - 0.45(a_n / a_g) - (a_n / a_g)^2$

V_t = ความเร็วการไหลของน้ำที่ไหลผ่านพื้นที่ Trashrack น้อยกว่า 0.6 ม./วินาที

a_n = พื้นที่น้ำผ่านตะแกรงป้องกันสวะสุทธิ ; (ม.^{2})

a_g = พื้นที่ทั้งหมดของ Trashrack ; (ม.^{2})

g = อัตราเร่งตามแรงโน้มถ่วงของโลก

$= 9.81$ ม./วินาที^{2}

ในส่วนของการออกแบบ Trashrack พื้นที่หน้าตัดของ Trashrack จะต้องมีขนาดใหญ่พอที่ความเร็วของกระแสน้ำที่ไหลผ่านตะแกรงต้องอยู่ช่วงประมาณ 0 - 0.60 ม./วินาที เมื่อพิจารณาที่ระดับน้ำใช้งาน กรณี Maximum Loss เกิดขึ้นเมื่อมีการอุดตัน(Clogged) 50% ดังนั้น

$a_n = 0.5\, a_g$

ในส่วนของการออกแบบ Trashrack พื้นที่หน้าตัดของ Trashrack จะต้องมีขนาดใหญ่พอที่ความเร็วของกระแสน้ำที่ไหลผ่านตะแกรงต้องอยู่ช่วงประมาณ 0 - 0.60 ม./วินาทีเพื่อป้องกัน Trashrack สั่นและให้เกิดHead Lossน้อยที่สุด เมื่อพิจารณาที่ระดับน้ำใช้งาน

$a_n = Q / V_t$

$= 3.33$ ม.^{2}

$a_g = 2\, a_n$

$= 6.67$ ม.^{2}

เลือกใช้ขนาดช่องเปิดด้านข้าง ขนาด 1.20 x 1.00 $= 1.20$ ม.^{2}

จำนวนช่องเปิดด้านข้าง $= 6$ ช่อง

ดังนั้นพื้นที่ช่องเปิดทั้งหมด ; $a_g = 7.20$ > 6.67 ; OK

$V_t = 2.00 / (7.20 \times 0.5)$

$= 0.56$ ม.^{2}

$K_t = 1.45 - 0.45 (0.4\, a_g / a_g) - (0.4\, a_g / a_g)^2$

$= 1.45 - 0.45(0.50) - (0.50)^2$

$= 0.975$

แทนค่าต่างๆในสมการ (3) จะได้

$h_t = 0.015$ ม.

<u>ภาพผนวกที่ ก1</u> (ต่อ)

2) Entrance Losses (h_e)

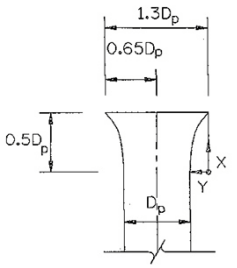
จากสมการ $h_e = K_e V_e^2 / 2g$ ----- (4)

2.1) การคำนวณหา ความยาวสันฝายปากแตร(Weir Crest)

จะต้องออกแบบทางเข้าให้มีลักษณะเหมือนรูปร่างของJet ของน้ำที่พุ่งผ่านOrifice ในลักษณะเดียวกันกับ Nappe Shape ของฝาย ถ้าทางเข้าสั้นเกินไปจะทำให้เกิดSubatmospheric Pressureและอาจเป็นเหตุให้เกิดCavitationได้ ทางเข้าที่ดีที่สุดคือทางเข้ารูปปากระฆังBellmouth Entranceซึ่งมีรูปร่างเหมือนกับ Free Jet Profile

สำหรับทางเข้ารูปวงกลม(Circular Entrance) รูปร่างของปากระฆังจะเป็นส่วนหนึ่งของโค้งวงรี(Elliptical Curve) ซึ่งหาได้จากสมการ

$$\frac{X^2}{(0.5D)^2} + \frac{Y^2}{(0.15D)^2} = 1$$



ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อตั้ง ; D_p		=	1.00	ม.
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางฝายปากแตร ; Dcrest	$= 1.3D_p$	=	1.30	ม.
Used			1.30	ม.
ระยะตำแหน่งของ Throath	$= 0.5$	=	0.50	ม.
Used			0.50	ม.
โดย K_e		=	Entrance Loss Coeffcient	
		=	0.1	
			(for circular bellmouth entrance)	
A_e		=	1.33	ม.^{2}
V_e		=	ความเร็วการไหลของน้ำที่ปากทางเข้า ; (ม/วินาที)	
		=	Q / A_e	
		=	1.51	ม./วินาที
g		=	อัตราเร่งตามแรงโน้มถ่วงของโลก	
		=	9.81	ม./วินาที^{2}

<u>ภาพผนวกที่ ก1</u> (ต่อ)

แทนค่าต่างๆในสมการ (4) จะได้

h_e = 0.012 ม.

3) Bend Losses (h_b)

จากสมการ $h_b = K_b V^2 / 2g$ —— (5)

K_b = ส.ป.ส.การสูญเสียของน้ำผ่านข้องอของท่อส่งน้ำ (Bend loss Coefficient)

จาก Fig. 10-12 Page 459, Design of Small Dams, 1987

V = ความเร็วการไหลของน้ำที่ไหลผ่านท่อ = Q / A

g = อัตราเร่งตามแรงโน้มถ่วงของโลก

= 9.81 ม./วินาที^{2}

3.1) **ข้องอแนวดิ่ง**

จำนวนข้องอแนวดิ่ง = 1 แห่ง

1) มุมงอ = 90 องศา

ขนาดท่อ ; D = 1.00 ม.

รัศมีความโค้งงอ ; R = 2.00 ม.

จาก Fig. 10-12 Page 459, Design of Small Dams, 1987

K_{bv1} = 0.14

แทนค่าต่างๆในสมการ (5) จะได้

h_{bv1} = 0.05 ม.

2) มุมงอ = 0 องศา

ขนาดท่อ ; D = 0.00 ม.

รัศมีความโค้งงอ ; R = 0.00 ม.

K_{bv2} = 0.00

h_{bv2} = 0.00 ม.

3) มุมงอ = 0 องศา

ขนาดท่อ ; D = 0.00 ม.

รัศมีความโค้งงอ ; R = 0.00 ม.

K_{bv3} = 0.00

h_{bv3} = 0.00 ม.

<u>ภาพผนวกที่ ก1</u> (ต่อ)

3.2) **ข้องอแนวราบ**

	จำนวนข้องอแนวราบ		=	0	แห่ง
1)	มุมงอ		=	0	องศา
	ขนาดท่อ	; D	=	0.00	ม.
	รัศมีความโค้งงอ	; R	=	0.00	ม.
	K_{bh1}		=	0.00	
	h_{bh1}		=	**0.00**	ม.
2)	มุมงอ		=	0	องศา
	ขนาดท่อ	; D	=	0.00	ม.
	รัศมีความโค้งงอ	; R	=	0.00	ม.
	K_{bh2}		=	0.00	
	h_{bh2}		=	**0.00**	ม.
3)	มุมงอ		=	0	องศา
	ขนาดท่อ	; D	=	0.00	ม.
	รัศมีความโค้งงอ	; R	=	0.00	ม.
	K_{bh3}		=	0.00	
	h_{bh3}		=	**0.00**	ม.
	h_b		=	**0.05**	ม.

4) Friction losses (h_f)

จากสมการของ Darcy - Weisbach

$$h_f = f \cdot L/D \cdot V^2 / 2g \qquad \text{---- (6)}$$

โดย

f	=	Friction loss coefficient
f	=	$124.5\, n^2 / D^{1/3}$
Kf	=	f . L/D
Kf	=	$(124.5\, n^2 / D^{1/3})L/D$
n	=	Coefficient of Roughness
L	=	ความยาวท่อ ; ม.

<u>ภาพผนวกที่ ก1</u> (ต่อ)

g		=	อัตราเร่งตามแรงโน้มถ่วงของโลก	
		=	9.81	ม./วินาที^{2}
D		=	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ ; ม.	
- ใช้ท่อขนาด	ϕ 1.00 ม. ยาว	=	140.00	ม.
- ใช้ท่อขนาด	ϕ 0.80 ม. ยาว	=	20.00	ม.

4.1) หา h_{f1} **สำหรับท่อขนาด 1.00 ม. ยาว 140.00 ม.**

D_1	=	1.00	ม.
V_1	=	ความเร็วของน้ำในท่อ ขนาดD_1	
V_1	=	2.55	ม./วินาที
n	=	0.012	; สำหรับท่อเหล็ก
L_1	=	140	ม.
f_1	=	0.018	
Kf_1	=	2.51	

แทนค่าต่างๆในสมการ (6) จะได้

$$h_{f1} = \{ 124.5 (n)^2 / D_1^{1/3} \}(L_1 / D_1)(V_1^2 / 2g)$$

$$h_{f1} = 0.830 \text{ ม.}$$

4.2) หา h_{f2} **สำหรับท่อขนาด 0.80 ม. ยาว 20.00 ม.**

D_2	=	0.80	ม.
V_2	=	ความเร็วน้ำในท่อ ขนาดD_2	
V_2	=	3.98	ม./วินาที
n	=	0.012	; สำหรับท่อเหล็ก
L_2	=	20	ม.
f_2	=	0.019	
Kf_2	=	0.48	

แทนค่าต่างๆในสมการ (6) จะได้

$$h_{f2} = \{ 124.5 (n)^2 / D_2^{1/3} \}(L_2 / D_2)(V_2^2 / 2g)$$

$$h_{f2} = 0.390 \text{ ม.}$$

จะได้ $h_f = h_{f1} + h_{f2}$

$$= 1.220 \text{ ม.}$$

<u>ภาพผนวกที่ ก1</u> (ต่อ)

5) Contraction losses (h_c)

จากสมการ $h_c = K_c (V_2^2/ 2g - V_1^2/ 2g)$ ----- (7)

โดย K_c = ส.ป.ส.การสูญเสียแรงดันของน้ำเนื่องจากการลดขนาดท่อให้เล็กลง (Contraction loss Coefficient)

= 0.1 ; จากตารางแสดงค่า K_c

ตารางแสดงค่า K_c

ค่า K_c	ข้อกำหนด
0.1	กรณีค่อยๆเปลี่ยนขนาด Flare Angle ไม่เกิน 10^o
0.5	กรณีเปลี่ยนขนาดทันทีทันใด (For Abrupt Contraction)

V_1 = ความเร็วของน้ำในท่อ ก่อนผ่านContraction (ขนาดD_1)

= 2.55 ม./วินาที

V_2 = ความเร็วของน้ำในท่อ หลังผ่านContraction (ขนาดD_2)

= 3.98 ม./วินาที

แทนค่าต่างๆในสมการ (7) จะได้

h_c = **0.05** **ม.**

6) Expandsion losses (h_{exp})

จากสมการ $h_{exp} = K_{exp} (V_2^2/ 2g - V_1^2/ 2g)$ ----- (8)

เปลี่ยนขนาดท่อจาก 0.80 เป็นขนาดท่อ = 1.00 **ม.**

K_{exp} = ส.ป.ส.การสูญเสียแรงดันของน้ำที่ไหลผ่านการขยายท่อใหญ่ขึ้น

= (Expandsion loss Coefficient)

= 0.08

ตารางแสดงค่า K_{exp}

Flare Angle	ค่า K_{exp}	Flare Angle	ค่า K_{exp}
2^o	0.03	25^o	0.40
5^o	0.04	30^o	0.49
10^o	0.08	40^o	0.60
12^o	0.10	50^o	0.67
15^o	0.16	60^o	0.72
20^o	0.31		

<u>ภาพผนวกที่ ก1</u> (ต่อ)

V_1 = ความเร็วของน้ำในท่อ ก่อนผ่านการขยายท่อ (ขนาดD_1)
= 3.98 ม./วินาที

V_2 = ความเร็วของน้ำในท่อ หลังผ่านการขยายท่อ (ขนาดD_2)
= 2.55 ม./วินาที

แทนค่าต่างๆในสมการ (8) จะได้

h_{exp} = **0.04** **ม.**

7) Gate losses (h_g)

Gate losses จะเกิดขึ้นที่บานระบาย Guard Gate และ Regulating Gateทั้งสองแห่ง หาได้จากสมการ

$$h_g = K_g (V^2 / 2g) \quad \text{---- (9)}$$

โดย K_g = ส.ป.ส.การสูญเสียแรงดันของน้ำเนื่องจากผ่านGate
= (Gate loss Coefficient)

For Guard gate

K_g = 0.19 (fully open)

For Regulating gate

K_g = 0.19 (for 100% opening)
K_g = 1.15 (for 75% opening)
K_g = 5.6 (for 50% opening)
K_g = 24 (for 25% opening)

ขนาดของ Guard Gate และ Regulating Gate = 0.80 ม.

7.1) **หา h_{g1} สำหรับ Guard Gate ขนาด 0.80 ม.**

K_{g1} = 0.19 (fully open)
V = ความเร็วของน้ำในท่อ ที่ผ่าน Gate
= 3.98 ม./วินาที

แทนค่าต่างๆในสมการ (9) จะได้

h_{g1} = **0.150** **ม.**

7.2) **หา h_{g2} สำหรับ Regulating Gate ขนาด 0.80 ม.**

จากสมการที่ 9

h_{g2} = $K_g (V'^2_2 / 2g)$

โดย h_{g2} = $K_g (Q / \text{Area of gate opening})^2 / 2g$

V'_2 = ความเร็วของน้ำในท่อเมื่อเปิด Gate ต่างๆกัน

<u>ภาพผนวกที่ ก1</u> (ต่อ)

พิจารณาเมื่อเปิด Gate เต็มที่ (for 100% opening)

ดังนั้น Regulating Gate Loss

K_{g2} = 0.19

V_2 = 3.98 ม./วินาที

แทนค่าต่างๆในสมการ (9) จะได้

h_{g2} = **0.150** ม.

ดังนั้น =

h_g = $h_{g1} + h_{g2}$

= **0.300** ม.

8) Exit losses (h_v)

จากสมการ $h_v = K_v (V^2 / 2g)$ —— (10)

K_v = Exit Velocity head Coefficient

= 1.00

V = ความเร็วการไหลของน้ำขณะออกจากท่อส่งน้ำ

= Q / (Area of gate opening)

= 3.98 ม./วินาที

แทนค่าต่างๆในสมการ (10) จะได้

h_v = **0.81** ม.

9) ค่า Total Head Losses ทั้งหมด

Total head losses ; H_T = $h_t + h_e + h_b + h_{t1} + h_{exp} + h_{t2} + h_{g1} + h_{g2} + h_v$

= 0.02 + 0.01 + 0.05 + 0.83 + 0.04 + 0.39 + 0.15 + 0.15 + 0.81

= 2.443 < 3.17 (H/3) ; OK

ดังนั้นระดับน้ำในอ่างเพื่อให้ได้การไหลตามต้องการ = ระดับสันปากแตร + H_T ม. (ร.ท.ก.)

(Minimum reservoir water elevation for design discharge) = 25.50 + 2.44 ม. (ร.ท.ก.)

= +27.943 ม. (ร.ท.ก.)

<u>ภาพผนวกที่ ก1</u> (ต่อ)

Available Head For Maximum Design Discharge

Design Required Head for 100 % Openning

	(1) Element	(2) Area (ม.^{2})	(3) $(a1^2)/(an)^2$	(4) Loss type	(5) Loss symbol	(6) Los Coefficient	(3) x (6) KL
1	Trashrack	3.333	0.090	Trashrack	K_t	0.98	0.09
2	Entrance	1.327	0.568	Entrance	K_e	0.10	0.06
3	Bend V1	0.785	1.621	Bend 1	K_{bv1}	0.14	0.23
3	Bend V2	0.785	1.621	Bend 1	K_{bv2}	0.00	0.00
3	Bend V3	0.785	1.621	Bend 1	K_{bv3}	0.00	0.00
4	Friction 1	0.785	1.621	Friction	K_{f1}	2.51	4.07
5	Friction 2	0.503	3.958	Friction	K_{f2}	0.48	1.90
5	Bend H1	0.785	1.621	Bend 2	K_{bh1}	0.00	0.00
5	Bend H2	0.785	1.621	Bend 2	K_{bh2}	0.00	0.00
5	Bend H3	0.785	1.621	Bend 2	K_{bh3}	0.00	0.00
6	Contraction	0.636	2.471	Transition	K_c	0.10	0.25
7	Expansion	0.636	2.471	Transition	K_{exp}	0.08	0.20
8	Gate 1	0.503	3.958	Gate 1	K_{g1}	0.19	0.75
9	Gate 2	0.628	2.533	Gate 2	K_{g2}	0.19	0.48
10	Exit	0.503	3.958	Exit	K_v	1.00	3.96
					Total loss Coefficient (K_L)		11.98

Gate Opening 100%

Pipe Diameter = 1.00 ม. ; Area (a_1 = 0.785 ม.^{2}

Gate Diameter = 0.80 ม. ; Area (a_2 = 0.503 ม.^{2}

แทนค่าจะได้สมการดังนี้

$$Q = a_1\sqrt{2 g H_T / (K_L)}$$

$$Q = 1.005 (H_T)^{0.5}$$

ภาพผนวกที่ ก1 (ต่อ)

Available Head For Maximum Design Discharge

Design Required Head for 75 % Openning

	(1) Element	(2) Area (ม.^{2})	(3) $(a1^2)/(an)^2$	(4) Loss type	(5) Loss symbol	(6) Los Coefficient	(3) x (6) KL
1	Trashrack	3.333	0.090	Trashrack	K_t	0.98	0.09
2	Entrance	1.327	0.568	Entrance	K_e	0.10	0.06
3	Bend V1	0.785	1.621	Bend 1	K_{bv1}	0.14	0.23
3	Bend V2	0.785	1.621	Bend 1	K_{bv2}	0.00	0.00
3	Bend V3	0.785	1.621	Bend 1	K_{bv3}	0.00	0.00
4	Friction 1	0.785	1.621	Friction	K_{f1}	2.51*	4.07
5	Friction 2	0.503	3.958	Friction	K_{f2}	0.48	1.90
5	Bend H1	0.785	1.621	Bend 2	K_{bh1}	0.00	0.00
5	Bend H2	0.785	1.621	Bend 2	K_{bh2}	0.00	0.00
5	Bend H3	0.785	1.621	Bend 2	K_{bh3}	0.00	0.00
6	Contraction	0.636	2.471	Transition	K_c	0.10	0.25
7	Expansion	0.636	2.471	Transition	K_{exp}	0.08	0.20
8	Gate 1	0.503	3.958	Gate 1	K_{g1}	0.19	0.75
9	Gate 2	0.471	4.503	Gate 2	K_{g2}	1.15	5.18
10	Exit	0.503	3.958	Exit	K_v	1.00	3.96
					Total loss Coefficient (K_L)		16.67

Gate Opening 75%

Pipe Diameter = 1.00 ม. ; Area (a_1 = 0.785 ม.^{2}

Gate Diameter = 0.80 ม. ; Area (a_2 = 0.503 ม.^{2}

แทนค่าจะได้สมการดังนี้

$$Q = a\sqrt{2 g H_T / (K_L)}$$

$$Q = 0.852 (H_T)^{0.5}$$

ภาพผนวกที่ ก1 (ต่อ)

Available Head For Maximum Design Discharge

Design Required Head for 50 % Openning

	(1) Element	(2) Area (ม.^{2})	(3) $(a1^2)/(an)^2$	(4) Loss type	(5) Loss symbol	(6) Los Coefficient	(3) x (6) KL
1	Trashrack	3.333	0.090	Trashrack	K_t	0.98	0.09
2	Entrance	1.327	0.568	Entrance	K_e	0.10	0.06
3	Bend V1	0.785	1.621	Bend 1	K_{bv1}	0.14	0.23
3	Bend V2	0.785	1.621	Bend 1	K_{bv2}	0.00	0.00
3	Bend V3	0.785	1.621	Bend 1	K_{bv3}	0.00	0.00
4	Friction 1	0.785	1.621	Friction	K_{f1}	2.51	4.07
5	Friction 2	0.503	3.958	Friction	K_{f2}	0.48	1.90
5	Bend H1	0.785	1.621	Bend 2	K_{bh1}	0.00	0.00
5	Bend H2	0.785	1.621	Bend 2	K_{bh2}	0.00	0.00
5	Bend H3	0.785	1.621	Bend 2	K_{bh3}	0.00	0.00
6	Contraction	0.636	2.471	Transition	K_c	0.10	0.25
7	Expansion	0.636	2.471	Transition	K_{exp}	0.08	0.20
8	Gate 1	0.503	3.958	Gate 1	K_{g1}	0.19	0.75
9	Gate 2	0.314	10.132	Gate 2	K_{g2}	5.60	56.74
10	Exit	0.503	3.958	Exit	K_v	1.00	3.96
					Total loss Coefficient (K_L)		68.23

Gate Opening 50%

Pipe Diameter = 1.00 ม. ; Area (a_1) = 0.785 ม.^{2}

Gate Diameter = 0.80 ม. ; Area (a_2) = 0.503 ม.^{2}

แทนค่าจะได้สมการดังนี้

$$Q = a_1\sqrt{2\,g\,H_1 / (K_L)}$$

$$Q = 0.421\,(H_1)^{0.5}$$

<u>ภาพผนวกที่ ก1</u> (ต่อ)

Available Head For Maximum Design Discharge

Design Required Head for 25 % Openning

	(1) Element	(2) Area ($ม.^2$)	(3) $(a1^2)/(an)^2$	(4) Loss type	(5) Loss symbol	(6) Los Coefficient	(3) x (6) KL
1	Trashrack	3.333	0.090	Trashrack	K_t	0.98	0.09
2	Entrance	1.327	0.568	Entrance	K_e	0.10	0.06
3	Bend V1	0.785	1.621	Bend 1	K_{bv1}	0.14	0.23
3	Bend V2	0.785	1.621	Bend 1	K_{bv2}	0.00	0.00
3	Bend V3	0.785	1.621	Bend 1	K_{bv3}	0.00	0.00
4	Friction 1	0.785	1.621	Friction	K_{f1}	2.51	4.07
5	Friction 2	0.503	3.958	Friction	K_{f2}	0.48	1.90
5	Bend H1	0.785	1.621	Bend 2	K_{bh1}	0.00	0.00
5	Bend H2	0.785	1.621	Bend 2	K_{bh2}	0.00	0.00
5	Bend H3	0.785	1.621	Bend 2	K_{bh3}	0.00	0.00
6	Contraction	0.636	2.471	Transition	K_c	0.10	0.25
7	Expansion	0.636	2.471	Transition	K_{exp}	0.08	0.20
8	Gate 1	0.503	3.958	Gate 1	K_{g1}	0.19	0.75
9	Gate 2	0.157	40.528	Gate 2	K_{g2}	24.00	972.68
10	Exit	0.503	3.958	Exit	K_v	1.00	3.96
					Total loss Coefficient (K_L)		984.18

Gate Opening 25%

Pipe Diameter = 1.00 ม. ; Area (a_1) = 0.785 $ม.^2$

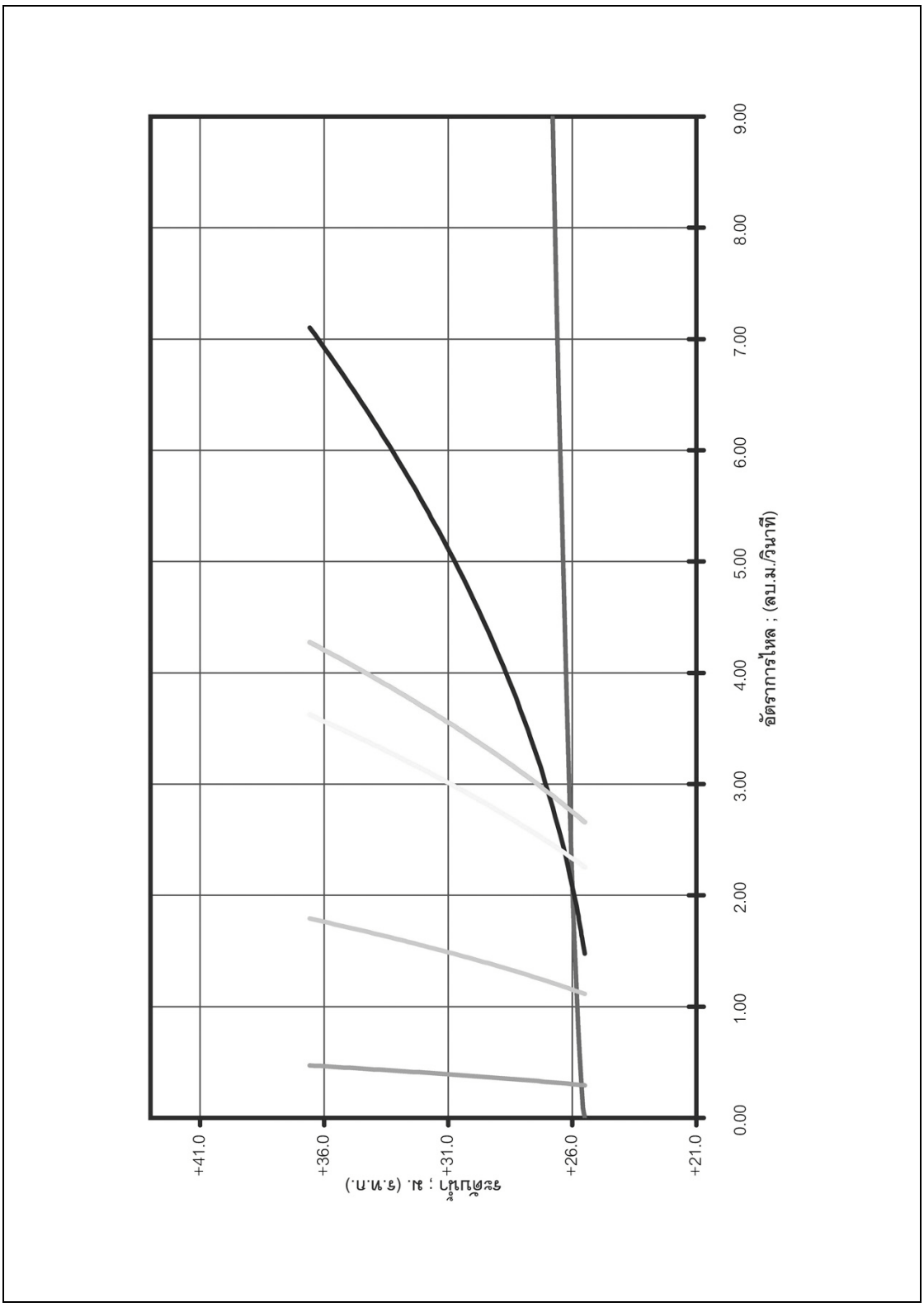
Gate Diameter = 0.80 ม. ; Area (a_2) = 0.503 $ม.^2$

แทนค่าจะได้สมการดังนี้

$$Q = a_1\sqrt{2 g H_T / (K_L)}$$

$$Q = 0.111 (H_T)^{0.5}$$

<u>ภาพผนวกที่ ก1</u> (ต่อ)



ภาพผนวกที่ ก1 (ต่อ)

3 การออกแบบ รางเท(Chute)

3.1 สภาวะการไหลของน้ำในรางเท

การคำนวณออกแบบรางเทนั้นจะกำหนดให้เป็นหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า โดยการไหลของน้ำใน รางเท เป็นการไหลแบบ Supercritical Flow ตลอดความยาวของ รางเท โดยตรวจสอบจากค่า Froude Number(Fr)ดังนี้

$$Fr = V / (g \cdot y)^{0.5}$$

โดย

Fr = Froude Number > 1

V = ความเร็วกระแสน้ำที่จุดพิจรณา ; ม./วินาที

y = ความลึกกระแสน้ำที่จุดพิจรณา ; ม.

3.2 การคำนวณความลึกของน้ำในรางเท (Water Surface Profile in Chute)

การคำนวณ Water surface profile ใน Chute โดยวิธี Direct Step Method ซึ่งมีสมการดังนี้

(จาก Open Channel Hydraulic ของ Ven Te Chow)

$$\Delta x = \frac{(E_2 - E_1)}{(So - Sf)}$$

โดย

Δx = ระยะห่างระหว่าง 2 จุดที่พิจารณา ; ม.

E1 , E2 = Specific Energy ที่จุดที่ 1 และ 2 ($E = y + V^2/(2g)$) ; ม.

V1, V2 = ความเร็วของน้ำที่จุดที่ 1 และ 2 ; ม./วินาที

So = ความลาดของพื้นรางเท

Sf = ค่าเฉลี่ยของ Friction Slope ระหว่าง 2 จุดที่พิจารณา

= $(S_{f1} + S_{f2})/2$

S_{f1} และ S_{f2} คำนวณจากสูตร $Sf = (V \cdot n/(R^{2/3}))^2$

R = Hydraulic Radius = A / P

A = Cross-section area ของน้ำไหล

P = Wetted perimeter

n = Manning's roughness coefficient = 0.014 สำหรับคอนกรีต

<u>ภาพผนวกที่ ก1</u> (ต่อ)

จุดที่ 1 และจุดที่ 2 แสดงไว้ในรูปที่ xxx ผลที่ได้จากการคำนวณแสดงไว้ใน ตาราง 3

โดย กม. ของปลายท่อส่งน้ำ = 0+160

กม. ของหน้าตัดควบคุม = 0+165

กม. จุดเริ่ม Stilling Basin = 0+185

กม. จุดสิ้นสุด Stilling Basin = 0+190

3.3 ความลึกของน้ำ ณ.จุดวิกฤต

การคำนวณหาความลึก Yc (Critical Depth) จะคำนวณหาจาก

$$Yc = (q^2/g)^{1/3}$$

โดย

Yc = ความลึกของน้ำ ณ.จุดวิกฤต ; ม.

q = Q/B ; ม.^{3}/วินาที/ม.

Q = ปริมาณน้ำไหลผ่าน Chute ; ม.^{3}/วินาที

B = ความกว้างของ Chute ; ม.

g = อัตราเร่งจากแรงโน้มถ่วงของโลก ; ม./วินาที^{2}

= 9.81 ม./วินาที^{2}

3.4 การคำนวณความสูงของกำแพงใน Chute

Freeboard ใน Chuteใช้สูตร ของ USBR Design standard

$$F = 0.609 + 0.037\ V\ (y)^{(1/3)}$$

F = Freeboard (ม.)

V = ความเร็วเฉลี่ย (ม./วินาที)

y = ความลึกของน้ำ (ม.)

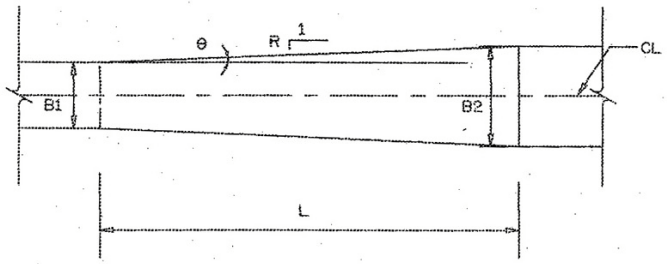
ความสูงของกำแพงใน Chute = y + F

ผลที่ได้จากการคำนวณแสดงไว้ใน ตาราง 3

<u>ภาพผนวกที่ ก1</u> (ต่อ)

3.5 ตรวจสอบมุมผายของกำแพง (Flare Angle)

เนื่องจากการไหลของน้ำใน Chute เป็น Supercritical flow ซึ่งมีความเร็วสูง ถ้าขยายความกว้างเร็วเกินไป น้ำอาจจะไม่แตะกำแพงข้างได้



$$A = \tan^{-1}(0.5 (B_2 - B_1) / L)$$

B_1 = width at U/S section	=	1.50	ม.
B_2 = width at D/S section	=	2.50	ม.
L = length between section	=	20.00	ม.
Angle of wall , "A"	=	1.43 °	
Flare Angle	=	$\tan^{-1}(1 / 3F)$	
ความเร็วของน้ำเฉลี่ยที่ U/S และ D/S V ;	=	2.76	ม./วินาที
ความลึกของน้ำเฉลี่ยที่ U/S และ D/S d ;	=	0.55	ม.
Ave.Froude Number Fr	=	$V / (g . d)^{0.5}$	
Fr	=	1.18	
Flare Angle	=	15.71 °	

Angle of Wall < Flare Angle ; OK

<u>ภาพผนวกที่ ก1</u> (ต่อ)

ตาราง 3 การคำนวณช่วงความยาวในแต่ละช่วงความลึกใน CHUTE

โดยวิธี Direct Step Method

Q = 2.000 Start at Km 0+160.00

n = 0.014 ระดับพื้น +18.000

STATION (Km.)	ΔL (m.)	d (m.)	b (m.)	A (m2.)	P (m.)	R1 (m.)	R2 (m.)	Rav (m.)	V1 (m2./s)	V2 (m2./s)	Vav (m2./s)	S0	Sf	E1 (m.)	E2 (m.)	dE (m.)	S0 - Sf	ΔX (m.)	Bottom level (m.-MSL.)	Fr	Wall hight (m.)
0+160.00	0.000	0.800	1.50	1.20	3.10	0.39	0.39	0.000	1.667	1.667	3.979	-	-	0.94	0.94	-	-	-	+18.000		1.47
0+165.00	5.000	0.355	1.70	0.60	2.41	0.39	0.25	0.319	1.667	3.310	2.488	0.00000	0.00657	0.94	0.91	-0.03	-0.01	5.00	+18.000	1.77	1.05
0+168.00	3.000	0.196	1.82	0.36	2.21	0.25	0.16	0.206	3.310	5.597	4.453	0.32500	0.03193	0.91	1.79	0.88	0.29	3.00	+17.025	4.03	0.93
0+171.00	3.000	0.153	1.94	0.30	2.25	0.16	0.13	0.147	5.597	6.755	6.176	0.32500	0.09663	1.79	2.48	0.69	0.23	3.00	+16.050	5.52	0.90
0+174.00	3.000	0.130	2.06	0.27	2.32	0.13	0.12	0.124	6.755	7.465	7.110	0.32500	0.16080	2.48	2.97	0.49	0.16	3.00	+15.075	6.61	0.88
0+177.00	3.000	0.116	2.18	0.25	2.41	0.12	0.11	0.110	7.465	7.891	7.678	0.32500	0.21854	2.97	3.29	0.32	0.11	3.00	+14.100	7.39	0.87
0+180.00	3.000	0.107	2.30	0.25	2.51	0.11	0.10	0.102	7.891	8.122	8.006	0.32500	0.26535	3.29	3.47	0.18	0.06	3.00	+13.125	7.92	0.86
0+183.00	3.000	0.101	2.42	0.24	2.62	0.10	0.09	0.095	8.122	8.219	8.170	0.32500	0.30016	3.47	3.54	0.07	0.02	3.00	+12.150	8.28	0.85
0+185.00	2.000	0.097	2.50	0.24	2.69	0.09	0.09	0.092	8.219	8.231	8.225	0.32500	0.32154	3.54	3.55	0.01	0.00	2.00	+11.500	8.43	0.85

ภาพผนวกที่ ก1 (ต่อ)

4 การออกแบบ Stilling Basin

4.1 ความกว้างของ Stilling Basin

ความกว้างของ Stilling Basin ใช้สูตร Empirical ซึ่งแนะนำโดย C.D. Smith ซึ่งเป็นค่าโดยประมาณ

$W = k(Q)^{0.5}$

W = ความกว้างของ Stilling Basin มีหน่วยเป็นฟุต

K = 0.7

W = 5.88 ฟุต

= 1.79 ม.

ใช้ความกว้างของ Stilling Basin = 2.50 ม.

OK

4.2 ชนิดของ Stilling Basin

จาก ตารางที่ 3

ความลึกของน้ำก่อนเกิด Jump ; d_1 = 0.085 ม.

ความเร็วของน้ำก่อนเกิด Jump ; V_1 = 9.43 ม/วินาที

$Fr_1 = V / (g \cdot d_1)^{0.5}$

= 10.33

V < 18 ม./วินาที และ Fr.> 4.50 ใช้ Stilling Basin Type III

4.3 หาความสูงของกำแพง Stilling Basin

จากสมการหาความลึกหลัง Jump

$d_2/d_1 = 0.5((1 + 8Fr_1^2)^{(0.5)} - 1)$

d_2 = 1.20 ม.

ระดับน้ำใน Stilling Basin = 11.50 + 1.20 ม. (ร.ท.ก.)

= +12.700 ม. (ร.ท.ก.)

Freeboard ใน Stilling Basin, Fb คำนวณจากสูตร

$Fb = 0.1 (V_1 + d_2)$

โดย V_1 = ความเร็วของกระแสน้ำไหลเข้า Basin ; ม./วินาที

d_2 = ความลึกของน้ำหลัง Hydraulic Jump ; ม.

แทนค่า

Fb = 1.06 ม.

ความสูงกำแพง Stilling Basin ; H_b = $Fb + d_2$ ม.

= 2.26 ม.

เลือกใช้ความสูงของกำแพง Stilling Basin = 3.00 ม.

<u>ภาพผนวกที่ ก1</u> (ต่อ)

4.4 หาความยาวของกำแพง Stilling Basin

จากรูปแสดงรายละเอียดDimesionของStilling Basin

	Fr	=	10.33	ม.
ได้ค่า	L / d_2	=	2.71	
	L	=	3.25	ม.
เลือกใช้ความยาว Stilling Basin		=	5.00	ม.

4.5 รายละเอียด Stilling Basin

ได้ค่า	$h3 / d_1$	=	2.33				
ได้ค่า	$h4 / d_1$	=	1.59				
Height of chute block ($h_1=d_1$)		=	0.09	ม.	USED =	0.10	ม.
Spacing of chute block ($s_1=d_1$)		=	0.09	ม.	USED =	0.10	ม.
Width of chute block ($w_1=d_1$)		=	0.09	ม.	USED =	0.10	ม.
Height of end sill (h_4)		=	0.14	ม.	USED =	0.15	ม.
Height of baffle blocks (h_3)		=	0.20	ม.	USED =	0.20	ม.
Spacing of baffle block ($s_3=0.75h_3$)		=	0.15	ม.	USED =	0.15	ม.
Width of baffle block ($W_3=0.75h_3$)		=	0.15	ม.	USED =	0.15	ม.

4.6 การออกแบบความลึกของ Cutoff Wall

ความลึกของ Cutoff Wall จะกำหนดให้ลึกพอที่จะพ้นจากการกัดเซาะของกระแสน้ำปั่นป่วนใน Basin ด้านท้าย (Scouring) ดังนั้นจะกำหนดความลึกของ Cutoff ดังนี้

ความลึกของ D/S Cutoff	=	$0.60\ y_2$;	แต่ไม่มากกว่า 2.50	ม.
	=		0.60 x 1.20	ม.
	=		0.72	ม.
เลือกใช้ความลึกของ Cutoff Wall	=		1.00	ม.

<u>ภาพผนวกที่ ก1</u> (ต่อ)

หาความหนา Steel Liner

คำนวณหาความหนาท่อน้อยสุดที่ยอมได้ ท่อเหล็กนี้จะต้องต้านทานแรงดันน้ำสูงสุดที่จะเกิดขึ้น โดยคำนวณจากสมการ

$$t = 0.5x(\gamma_w.h.D)/(Fs.e)$$

t	=	ความหนาท่อเหล็ก (Steel Liner) ; ซม.	
γ_w	=	หน่วยน้ำหนักของน้ำ	
	=	1000.00	กก./ม.^{3}
	=	1000×10^{-6}	กก./ซม.^{3}
h	=	ความสึกน้ำสูงสุด (ระดับน้ำสูงสุด-ระดับน้ำที่ต่ำสุด) ; ซม.	
	=	11.08	ม.
	=	1108.00	ซม.
D	=	เส้นผ่าศูนย์กลางท่อ	
	=	1.00	ม.
	=	100.00	ซม.
Fs	=	หน่วยแรงดึงของเหล็กที่ยอมให้	
Fs	=	1200.00	กก./ซม.^{2}
e	=	efficientcy of joint = 0.70 (for welded plate)	

แทนค่าต่างๆจะได้

t	=	0.660	มม.

คำนวณหาความหนาท่อน้อยที่สุดที่ยอมได้จาก Welded Steel Penstock, USBR 1967, P.14 จากสมการ

t_{min}	=	(D + 50.8)/400	
t_{min}	=	ความหนาท่อต่ำสุด ; ซม.	
D	=	เส้นผ่าศูนย์กลางท่อเป็น ซม. = 100 ซม.	

แทนค่าต่างๆจะได้

t_{min}	=	3.77	มม.
USED t_{max}	=	3.77	มม.
เผื่อค่าสึกกร่อน 1/6 นิ้ว	=	4.23	มม.
รวมความหนาท่อที่ต้องการ	=	11.50	มม.
เลือกใช้ความหนา Steel Liner	=	12.70	มม.

<u>ภาพผนวกที่ ก1</u> (ต่อ)

x Flare Angle of Conduit Contraction

เพื่อให้การไหลของน้ำมีความคล่องตัว และเกิดแรงต้านน้อยที่สุดเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงขนาดของท่อ จะต้องคำนวณหาความยาวของช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลง

สูตร $$\tan \alpha_r = \frac{1}{3F}$$

เมื่อ

α_r	=	มุมตีบที่ต้องการเป็นองศา	
F ; Froude Number	=	$= V / (g.D)^{0.5}$	
D_1	=	เส้นผ่าศูนย์กลางท่อส่งน้ำขนาดที่1	
	=	1.00	ม.
D_2	=	เส้นผ่าศูนย์กลางท่อส่งน้ำขนาดที่ 2	
	=	0.80	ม.
V_{ave}	=	$(V_2 + V_1)/2$	
	=	3.26	ม./วินาที
D_{ave}	=	$(D_2 + D_1)/2$	
	=	0.90	ม.
g	=	ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงโลก	
	=	9.81	ม./วินาที^{2}
F	=	1.10	

แทนค่าต่างๆจะได้

$\tan \alpha_r$ = 0.304

หาความยาวได้จากสมการ

$$L = \frac{D_1 - D}{2 \tan \alpha_1}$$ ม.

L = ความยาว Transition

แทนค่าต่างๆจะได้

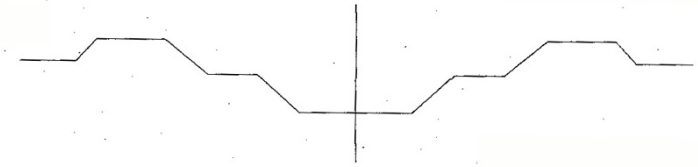
L = 0.33 ม.

เลือกใช้ความยาว L = 2.00 ม.

OK

<u>ภาพผนวกที่ ก1</u> (ต่อ)

ออกแบบTransition



จากข้อมูลการกำหนดขนาดคลองดังนี้

ระดับ F.S.L.	=	+14.000	ม. (ร.ท.ก.)
ความกว้างก้นคลอง ; b	=	2.00	ม.
L.S.	=	1:8000	
Manning's Coefficient ; n	=	0.018	
ความลาดด้านข้าง ; Z	=	1:1.5	
ความสูงจากคันคลองถึงก้นคลอง	=	2.10	ม.
ระดับพื้นคลอง	=	+12.876	ม. (ร.ท.ก.)
ระดับ หลังคัน	=	+17.676	ม. (ร.ท.ก.)
d	=	1.12	ม.
A	=	4.14	$ม.^2$
P	=	6.053	ม.
R	=	0.68	ม.
Q	=	2.00	$ม.^3$/วินาที

การกำหนดขนาด Transition กับคลองส่งน้ำ

ระดับน้ำหลังเกิด Jump	=	+12.610	ม. (ร.ท.ก.)
ระดับพื้น Stilling Basin	=	+11.500	ม. (ร.ท.ก.)
ระดับ F.S.L.	=	+14.000	ม. (ร.ท.ก.)
ระดับพื้นคลอง	=	+12.876	ม. (ร.ท.ก.)
- ความแตกต่างระดับพื้นคลองและ Stilng Basin	=	1.376	ม.
ใช้ลาดความชันของพื้นประมาณ	=	1:4	
ความยาวTransition	=	5.50	ม.
- ความแตกต่างความกว้างพื้นคลองและ Stilng Basin		0.50	ม.
มุมผายTransition	=	22	องศา
ความยาวTransition	=	0.62	ม.
ความยาวTransition max	=	5.50	ม.
Used ความยาวTransition ; Ld	=	5.50	ม.

<u>ภาพผนวกที่ ก1</u> (ต่อ)

เกณฑ์กำหนดทั่วไปการออกแบบโครงสร้าง

น้ำหนักและแรงกระทำต่าง ๆต่ออาคาร

น้ำหนัก น้ำ	; γ_w	=	1,000	kg./m^3
ความหนาแน่นของดินชื้น Moist	; γ_m	=	2,000	kg./m^3
น้ำหนัก ดินอิ่มตัวด้วยน้ำ	; γ_{Sat}	=	2,150	kg./m^3
น้ำหนัก คอนกรีตเสริมเหล็ก		=	2,400	kg./m^3
Surcharge สำหรับกำแพงข้าง		=	300	kg./m^2

หน่วยแรงที่ยอมให้ของคอนกรีตเสริมเหล็ก

fc'	กำลังอัดประลัยของคอนกรีต		=	210	kg./cm^2
fc	**แรงดัด** (Flexure)				
	หน่วยแรงอัดที่ผิว	= 0.45fc'	=	94.5	kg./cm^2
	หน่วยแรงดึงที่ผิวในฐานรากและกำแพงคอนกรีตล้วน	= 0.42 fc'$^{0.5}$	=	6.09	kg./cm^2
Vc	**แรงเฉือน** (Shear)				
	คานที่ไม่มีเหล็กเสริมรับแรงเฉือน	= 0.29 fc'$^{0.5}$	=	4.20	kg./cm^2
	ตงที่ไม่มีเหล็กเสริมรับแรงเฉือน	= 0.32 fc'$^{0.5}$	=	4.64	kg./cm^2
	องค์อาคารเสริมลูกตั้งหรือคอม้าหรือใช้ประกอบกัน	= 1.32 fc'$^{0.5}$	=	19.13	kg./cm^2
	ระยะเรียงของลูกตั้งต้องไม่เกิน d/4	= 0.795 fc'$^{0.5}$	=	11.52	kg./cm^2
	แผ่นพื้นและฐานราก(แรงเฉือนตามขอบ)	= 0.53 fc'$^{0.5}$	=	7.68	kg./cm^2
u	**แรงยึดหน่วง** (Bond)				
	สำหรับเหล็กรับแรงดึงเหล็กบน(Top Bars)	2.29 fc'$^{0.5}$ /D	(ไม่เกิน 25.00)		
	สำหรับเหล็กรับแรงดึงเหล็กอื่น	3.23 fc'$^{0.5}$ /D	(ไม่เกิน 35.00(D มีหน่วยเป็น cm.)		
	สำหรับเหล็กรับแรงอัด	1.72 fc'$^{0.5}$ /D	(ไม่เกิน 28.00)		

สำหรับเหล็กข้ออ้อย (Deformed Bar)

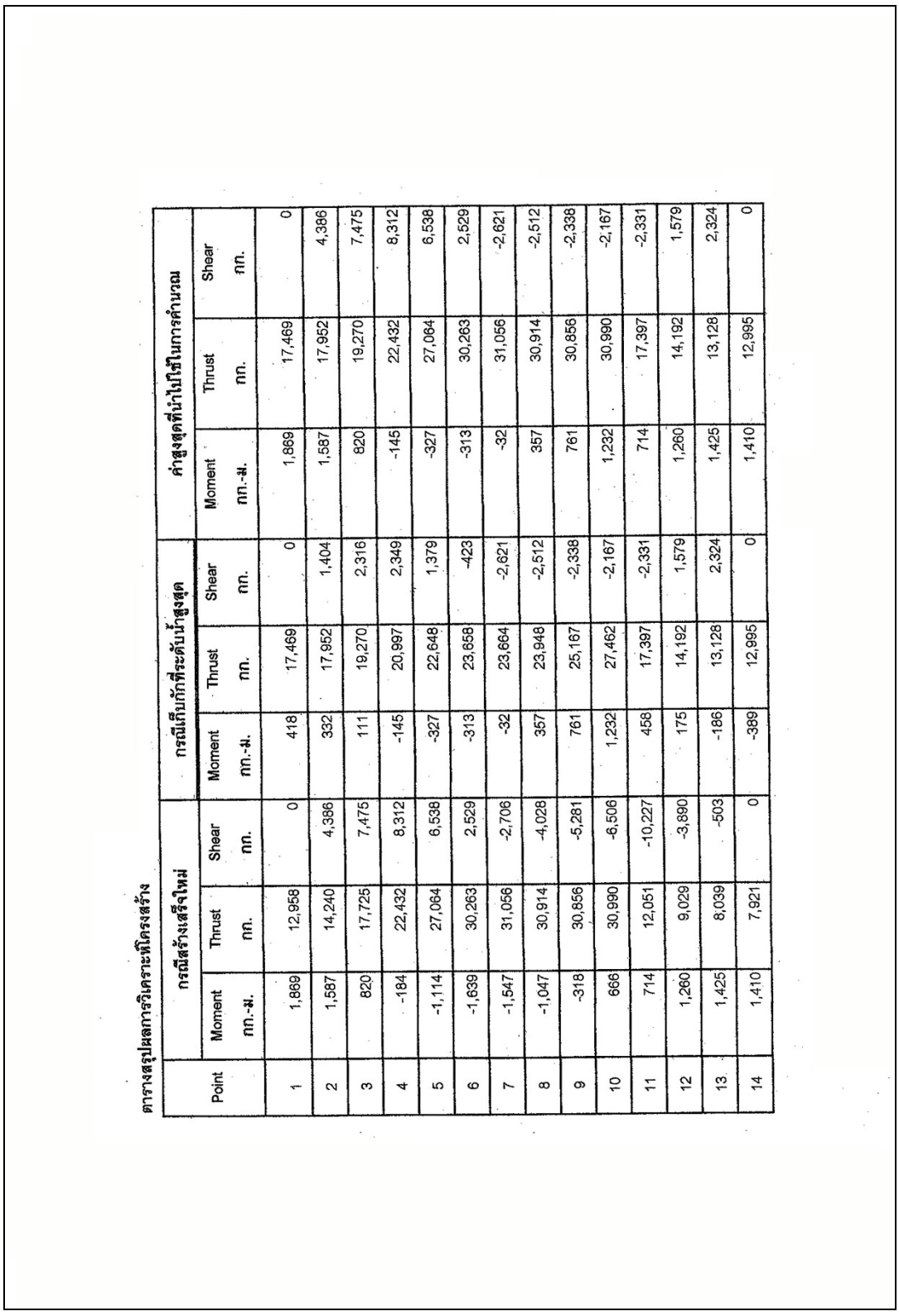
ความต้านทานแรงดึงที่จุดคลาก ; fy		=	3000	kg./cm^2
รับแรงดึงในอาคารรับแรงดัด ; fs		=	1500	kg./cm^2
เกณฑ์เพื่อการคำนวณ				
	fs	=	1500	kg./cm^2
	fc	=	94.5	kg./cm^2
	n	=	9	
	k	=	0.362	
	j	=	0.879	
	R	=	15.035	

ภาพผนวกที่ ก1 (ต่อ)

ตารางแสดงการวิเคราะห์ Reinforced Concrete Design Combined Bending and Compression

Point	M1	T	e	t ความหนา	d	l/6	l/2 - k*d/3	e< (6)	6)< e <= (	e> (7)	Case Ia fc1	Case Ia fc2	Case Ib e'	Case Ib fc1	M2	f3(allowable	Case II-A Asa	Case II-A Asb	Case II-A As1	Case II-A As2	fc1	M4	Case II-B Asa	Case II-B Asb	Case II-B Asc	Case II-B As1	Case II-B As2
	(T.m.)	(T.)	(m.)	(m.)	(m.)	(m.)					(ksc)	(ksc)	(m.)	(ksc)	(T.m.)	(T.m.)	(cm2)	(cm2)	(cm2)	(cm2)	(ksc)	(T.m.)	(cm2)	(cm2)	(cm2)	(cm2)	(cm2)
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)	(22)	(23)	(24)	(25)	(26)	(27)
1	1.87	17.47	0.11	0.25	0.17	0.04	0.10	0	0	1	0.00	0.00	0.00	0.00	2.66	4.35	11.85	11.85		0.20	57.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	1.69	17.95	0.09	0.25	0.17	0.04	0.10	0	1	0	0.00	0.00	-0.01	12.68	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	0.82	19.27	0.04	0.25	0.17	0.04	0.10	0	1	0	0.00	0.00	-0.05	-128.50	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	0.18	22.43	0.01	0.25	0.17	0.04	0.10	1	0	0	10.73	7.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	1.11	27.06	0.04	0.25	0.17	0.04	0.10	1	0	0	21.52	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	1.64	30.29	0.05	0.25	0.17	0.04	0.10	0	1	0	0.00	0.00	-0.04	-142.91	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	1.55	31.06	0.05	0.25	0.17	0.04	0.10	0	1	0	0.00	0.00	-0.04	-168.06	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8	1.05	30.91	0.03	0.27	0.19	0.04	0.11	1	0	0	20.22	2.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9	0.76	30.86	0.02	0.32	0.24	0.05	0.13	1	0	0	13.83	5.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	1.23	30.99	0.04	0.42	0.34	0.07	0.17	1	0	0	11.54	3.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11	0.71	17.40	0.04	0.42	0.34	0.07	0.17	1	0	0	6.55	1.72	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12	1.26	14.19	0.09	0.32	0.24	0.05	0.13	0	1	0	0.00	0.00	-0.03	-15.77	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
13	1.42	13.13	0.11	0.27	0.19	0.04	0.11	0	1	0	0.00	0.00	0.01	33.42	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
14	1.41	12.89	0.11	0.25	0.17	0.04	0.10	0	0	1	0.00	0.00	0.00	0.00	1.89	4.35	8.90	8.66		0.23	43.37	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

<u>ภาพผนวกที่ ก1</u> (ต่อ)

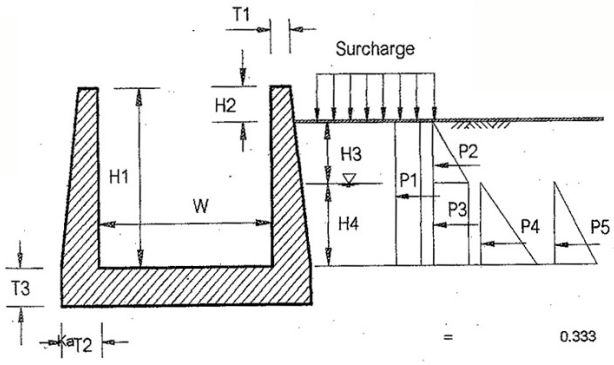


ตารางสรุปผลการวิเคราะห์โครงสร้าง

Point	กรณีสร้างเสร็จใหม่			กรณีเก็บกักที่ระดับน้ำสูงสุด			ค่าสูงสุดที่นำไปใช้ในการคำนวณ		
	Moment กก.-ม.	Thrust กก.	Shear กก.	Moment กก.-ม.	Thrust กก.	Shear กก.	Moment กก.-ม.	Thrust กก.	Shear กก.
1	1,869	12,958	0	418	17,469	0	1,869	17,469	0
2	1,587	14,240	4,386	332	17,952	1,404	1,587	17,952	4,386
3	820	17,725	7,475	111	19,270	2,316	820	19,270	7,475
4	-184	22,432	8,312	-145	20,997	2,349	-145	22,432	8,312
5	-1,114	27,064	6,538	-327	22,648	1,379	-327	27,064	6,538
6	-1,639	30,263	2,529	-313	23,858	-423	-313	30,263	2,529
7	-1,547	31,056	-2,706	-32	23,664	-2,621	-32	31,056	-2,621
8	-1,047	30,914	-4,028	357	23,948	-2,512	357	30,914	-2,512
9	-318	30,856	-5,281	761	25,167	-2,338	761	30,856	-2,338
10	666	30,990	-6,506	1,232	27,462	-2,167	1,232	30,990	-2,167
11	714	12,051	-10,227	458	17,397	-2,331	714	17,397	-2,331
12	1,260	9,029	-3,890	175	14,192	1,579	1,260	14,192	1,579
13	1,425	8,039	-503	-186	13,128	2,324	1,425	13,128	2,324
14	1,410	7,921	0	-389	12,995	0	1,410	12,995	0

ภาพผนวกที่ ก1 (ต่อ)

การออกแบบกำแพงและพื้นChute



	=	0.333		
Surcharge	=	300.00	กก./ม.^{2}	
H1	=	1.20	ม.	
H2	=	0.30	ม.	
H3	=	0.30	ม.	
H4	=	0.60	ม.	
W	=	1.50	ม.	
T1	=	0.20	ม.	
T2	=	0.20	ม.	
น้ำหนัก ดินถมบดอัดแน่น	Moist	=	2000	กก./ม.^{2}
น้ำหนัก ดินอิ่มตัวด้วยน้ำ	Saturated	=	2100	กก./ม.^{2}

1 การออกแบบกำแพง

	แรง (กก.)			ระยะแขน (ม.)	โมเมนต์ (กก.ม.)
P1	= Surchage x Ka x (H1-H2)	=	89.9	0.45	40.46
P2	= 0.5 ($Ka.\gamma_m H3^2$)	=	30.0	0.70	20.98
P3	= ($Ka.\gamma_m H3$)H4	=	119.9	0.30	35.96
P4	= 0.5 ($Ka.\gamma_{sub} H4^2$)	=	65.9	0.20	13.19
P5	= 0.5 ($\gamma_w H4^2$)	=	180.0	0.20	36.00
ΣP		=	**485.7**		**147**

พิจรณา โมเมนต์ที่โคนกำแพง

M_{max} ที่โคนกำแพง		=	147	กก.ม.
$Shear_{max}$		=	486	กก.
dm	= $\sqrt{M / b R}$	=	0.03	ม.
dv	= V / (b . V)	=	0.01	ม.
ใช้ความหนาของกำแพง	T2	=	0.20	ม.

<u>ภาพผนวกที่ ก1</u> (ต่อ)

ความลึกประสิทธิผลของกำแพง	d	=	0.13	ม.	
ปริมาณเหล็กเสริม	; As = M / (fs.j.d)	=	146.59x100 /(1500x0.879x13)	ซม.^{2}	
		=	0.86	ซม.^{2}	
เลือกใช้ปริมาณเหล็กเสริม 1	16@0.20	As =	10.05	ซม.^{2}	
		O =	25.13	ซม.	
เหล็ก Temp	Ast = 0.002bt	=	0.002 x 100 x 20	cm^2	
		=	4.00	cm^2	
ดังนั้นใช้เหล็ก Temp	16@0.20	As =	10.05	cm^2	
		O =	25.13	cm.	

2 การออกแบบพื้น

B		=	1.50	m.
ความหนาพื้น	T3	=	0.20	m.
d		=	0.13	m.
นน.กำแพงทั้ง 2 ข้าง		=	1152.00	Kg.
นน.พื้น		=	912.00	Kg.
คิดเป็น นน.รวม		=	2064.00	Kg.
คิดเป็น นนแผ่ที่พื้น W		=	678	Kg/m

W=677.65 Kg./m.

Mที่กึ่งกลางพื้น			98	Kg.-m.
Mที่ขอบริมพื้น		=	-92	Kg.-m.
M^-max		=	-92	Kg.-m.
M^+max		=	98.21	Kg.-m.
Vmax		=	508	Kg.
dm	= $\sqrt{M / b R}$	=	0.03	m.
dv	= V / (b . V)	=	0.01	m.
ใช้ความหนาของพื้น	T3	=	0.20	m.
ความลึกประสิทธิผลของพื้น	d	=	0.13	m.

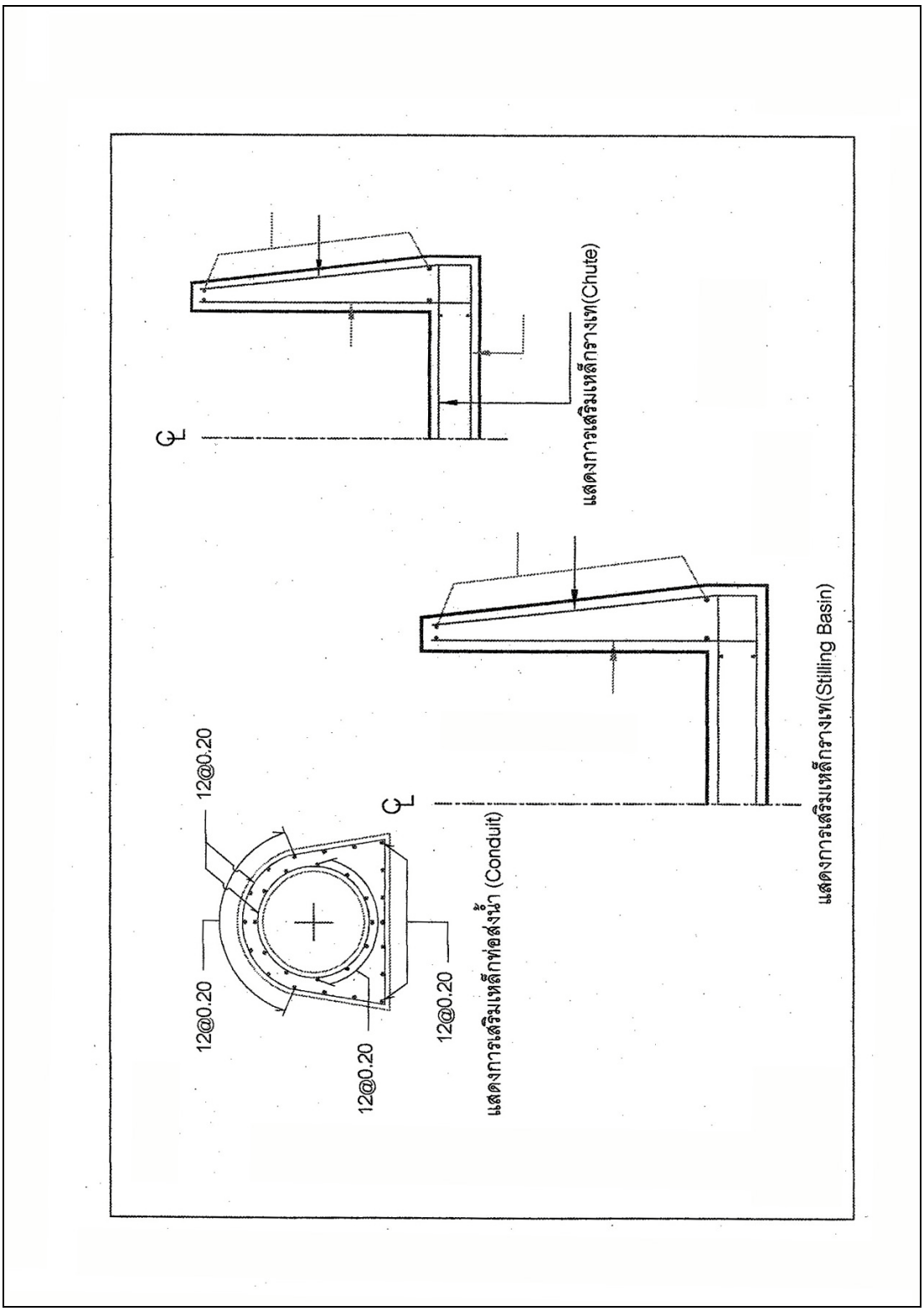
ที่พื้นรับทั้งโมเมนต์ลบและโมเมนต์บวก

1) ปริมาณเหล็กเสริม(ล่าง) (M-)	As = M / (fs.j.d)	=	92.38x100 /(1500x0.879x13)	cm^2
		=	0.54	cm^2
เลือกใช้เหล็กเสริม 1	16@0.20	As =	10.05	cm^2

<u>ภาพผนวกที่ ก1</u> (ต่อ)

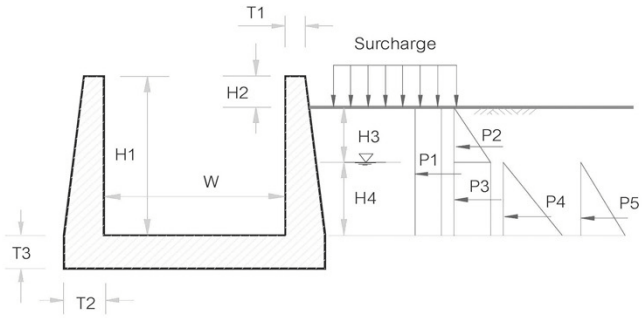
		O =	25.13	cm
2) ปริมาณเหล็กเสริม(บน) (M+)	As = M / (fs.j.d)	=	98.21x100 /(1500x0.879x13)	cm^2
		=	0.57	cm^2
เลือกใช้เหล็กเสริม 1	16 @ 0.20	As =	10.05	cm^2
		O =	25.13	cm
เหล็ก Temp	Ast = 0.002bt	=	0.002 x 100 x 20	cm^2
		=	4.00	cm^2
ดังนั้นใช้เหล็ก Temp	16@0.20	As =	10.05	cm^2
		O =	25.13	cm.

ภาพผนวกที่ ก1 (ต่อ)



<u>ภาพผนวกที่ ก1</u> (ต่อ)

การออกแบบกำแพงและพื้นStilling Basin



Ka		=	0.333	
Surcharge		=	300.00	กก./ม.^{2}
H1		=	3.00	ม.
H2		=	0.30	ม.
H3		=	1.20	ม.
H4		=	1.50	ม.
W		=	2.50	ม.
T1		=	0.20	ม.
T2		=	0.30	ม.
น้ำหนัก ดินถมบดอัดแน่น	Moist	=	2000	กก./ม.^{2}
น้ำหนัก ดินอิ่มตัวด้วยน้ำ	Saturated	=	2100	กก./ม.^{2}

1 การออกแบบกำแพง

แรง (กก.)				ระยะแขน (ม.)	โมเมนต์ (กก.ม.)
P1 = Surchage x Ka x (H1-H2)	=	269.7		1.35	364
P2 = 0.5 (Ka.γ_mH3^2)	=	479.5		1.90	911
P3 = (Ka.γ_mH3)H4	=	1198.8		0.75	899
P4 = 0.5 (Ka.γ_{sub}H4^2)	=	412.1		0.50	206
P5 = 0.5 (γ_wH4^2)	=	1125.0		0.50	563
ΣP	=	**3485.1**			**2943**

พิจรณา โมเมนต์ที่โคนกำแพง

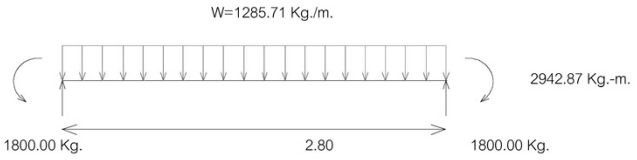
M_{max} ที่โคนกำแพง		=	2,943	กก.ม.
$Shear_{max}$		=	3,485	กก.
dm	= $\sqrt{M / b R}$	=	0.14	ม.
dv	= V / (b . V)	=	0.08	ม.
ใช้ความหนาของกำแพง	T2	=	0.30	ม.
ความลึกประสิทธิผลของกำแพง	d	=	0.23	ม.

<u>ภาพผนวกที่ ก1</u> (ต่อ)

ปริมาณเหล็กเสริม	;	As = M / (fs.j.d)	=	2942.87x100 /(1500x0.879x23)	ซม.^{2}
			=	9.70	ซม.^{2}
เลือกใช้ปริมาณเหล็กเสริม 1	16@0.20		As =	10.05	ซม.^{2}
			O =	25.13	ซม.
เหล็ก Temp		Ast = 0.002bt	=	0.002 x 100 x 30	cm^2
			=	6.00	cm^2
ดังนั้นใช้เหล็ก Temp	16@0.20		As =	10.05	cm^2
			O =	25.13	cm.

2 การออกแบบพื้น

B		=	2.50	m.
ความหนาพื้น	T3	=	0.35	m.
d		=	0.28	m.
นน.กำแพงทั้ง 2 ข้าง		=	3600.00	Kg.
นน.พื้น		=	2604.00	Kg.
คิดเป็น นน.รวม		=	6204.00	Kg.
คิดเป็น นนแผ่ที่พื้น W		=	1286	Kg/m



Mที่กึ่งกลางพื้น			-1,683	Kg.-m.
Mที่ขอบริมพื้น		=	-2,687	Kg.-m.
M^-max		=	-2,687	Kg.-m.
M^+max		=	0.00	Kg.-m.
Vmax		=	1,607	Kg.
dm	= $\sqrt{M / b R}$	=	0.13	m.
dv	= V / (b . V)	=	0.04	m.
ใช้ความหนาของพื้น	T3	=	0.35	m.
ความลึกประสิทธิผลของพื้น	d	=	0.28	m.

ที่พื้นรับแต่โมเมนต์ลบ (เสริมเหล็กเหล็กล่าง)

1) ปริมาณเหล็กเสริม(ล่าง) (M-)	As = M / (fs.j.d)	=	2687.33x100 /(1500x0.879x28)	cm^2
		=	7.28	cm^2
เลือกใช้เหล็กเสริม 1	16@0.20	As =	10.05	cm^2
		O =	25.13	cm
2) ปริมาณเหล็กเสริม(บน) (M+)	As = M / (fs.j.d)	=	0.00x100 /(1500x0.879x28)	cm^2
		=	0.00	cm^2

<u>ภาพผนวกที่ ก1</u> (ต่อ)

เลือกใช้เหล็กเสริม 1	0 @ 0.20	As =	0.00		cm^2
		O =	0.00		cm
เหล็ก Temp	Ast = 0.002bt	=	0.002 x 100 x 35		cm^2
		=	7.00		cm^2
ดังนั้นใช้เหล็ก Temp	16@0.20	As =	10.05		cm^2
		O =	25.13		cm.

ตรวจสอบความมั่นคงแรงกระทำกับฐานราก

นน.อาคารรวมกับน้ำด้านในอาคาร	=	13.70	ตัน
คิดเป็น นนแผ่กระทำกับฐานราก	=	4.42	ตัน./ม^2
Allowable Bearing Capacity	=	20.0	ตัน./ม^2

OK แสดงว่าฐานรากสามารถรับนน.ของอาคารได้

ตรวจสอบแรงยึดหน่วง (ก้านพง)

แรงเฉือน(Max)	=	3,485	kg.
หน่วยแรงยึดหน่วงที่เกิดขึ้น ; U = V / (O.j.d)	=	6.86	kg./cm^2
หน่วยแรงยึดที่ยอมให้ได้ ; Ua = 3.23 fc'0.5/D	=	29.25	kg./cm^2
		OK	

เนื่องจากหน่วยแรงยึดหน่วงที่เกิดขึ้นในเหล็กเสริมมีค่าต่ำกว่าหน่วยแรงยึดหน่วงที่ยอมให้ แสดงว่าไม่เกิดการลื่นหลุดของเหล็กเสริม

ตรวจสอบแรงยึดหน่วง (พื้น)

แรงเฉือน(Max)	=	1,607	kg.
หน่วยแรงยึดหน่วงที่เกิดขึ้น ; U = V / (O.j.d)	=	2.60	kg./cm^2
หน่วยแรงยึดที่ยอมให้ได้ ; Ua = 3.23 fc'0.5/D	=	29.25	kg./cm^2
		OK	

เนื่องจากหน่วยแรงยึดหน่วงที่เกิดขึ้นในเหล็กเสริมมีค่าต่ำกว่าหน่วยแรงยึดหน่วงที่ยอมให้ แสดงว่าไม่เกิดการลื่นหลุดของเหล็กเสริม

<u>ภาพผนวกที่ ก1</u> (ต่อ)

การออกแบบConduit

พิจารณาจากผลการวิเคราะห์ โมเมนต์

M_{max}			=	1,869	กก.ม.
$Shear_{max}$			=	8,312	กก.
dm	= $\sqrt{M / b R}$		=	0.11	ม.
dv	= V / (b . V)		=	0.20	ม.
ใช้ความหนาของกำแพง		T2	=	0.25	ม.
ความลึกประสิทธิผลของกำแพง		d	=	0.20	ม.
ปริมาณเหล็กเสริม	;	As = M / (fs.j.d)	=	1869.33x100 /(1500x0.879x20)	ซม.^{2}
			=	7.09	ซม.^{2}
เลือกใช้ปริมาณเหล็กเสริม 1		16@0.20	As =	10.05	ซม.^{2}
			O =	25.13	ซม.
เหล็ก Temp		Ast = 0.002bt	=	0.002 x 100 x 25	cm^2
			=	5.00	cm^2
ดังนั้นใช้เหล็ก Temp		16@0.20	As =	10.05	cm^2
			O =	25.13	cm.

<u>ภาพผนวกที่ ก1</u> (ต่อ)