# เกณฑ์การออกแบบอาคารในคลองส่งน้ำ

## *เอกสารประกอบการสอน*

*วิชา 02207421*

*การออกแบบคลองและอาคารส่งน้ำ*


รศ.สันติ ทองพำนัก

ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน

คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน



พ.ศ. 2555

# คำนำ

เอกสารฉบับนี้จัดทำขึ้นเพื่อใช้เป็นสื่อการเรียนการสอนวิชา 02207421 การออกแบบคลองและอาคารส่งน้ำ ของนิสิตคณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน โดยเนื้อหาจะกล่าวถึง รูปแบบและชนิดของอาคารในคลองส่งน้ำ การออกแบบทางชลศาสตร์และความมั่นคงของอาคาร เกณฑ์กำหนดการคำนวณออกแบบโครงสร้าง ซึ่งเป็นพื้นฐานความรู้ที่สำคัญต่อการศึกษาด้านวิศวกรรมศาสตร์

เอกสารฉบับนี้ จัดทำขึ้นโดยการรวบรวมจากรายงานการศึกษาโครงการแหล่งน้ำและชลประทานและออกแบบ ของบริษัทวิศวกรที่ปรึกษา ผู้จัดทำขอขอบคุณ บริษัทวิศวกรที่ปรึกษา ที่ได้มอบเอกสารรายงานและแบบมาให้ใช้ประโยชน์ ในการเรียนของนิสิตภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน

สันติ ทองพำนัก
ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน
คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

# สารบัญ

หน้า


**1. รูปแบบและชนิดของอาคารในคลองส่งน้ำ..... 1**

1.1 อาคารท่อระบายปากคลองส่งน้ำ(Head Regulator)..... 1

1.2 อาคารทดน้ำ(Check Structure)..... 3

1.3 อาคารน้ำตก(Drop Structure)..... 9

1.4 อาคารสำหรับให้คลองตัดผ่านร่องน้ำหรือทางระบายน้ำหรือถนน..... 22

1.5 ท่อส่งน้ำเข้านา (Farm Turnout)..... 31

1.6 สะพานน้ำ(Flume)..... 33

1.7 อาคารระบายน้ำล้นข้างคลอง(Side Channel Spillway)..... 37

1.8 อาคารรับน้ำข้ามคลอง(Overchute)..... 40

1.9 อาคารรับน้ำเข้าคลอง(Drain Inlet)..... 40

1.10 อาคารท่อระบายปลายคลองส่งน้ำ(Tail Regulator)..... 43

**2. การออกแบบทางชลศาสตร์และความมั่งคงของอาคาร..... 45**

2.1 ทั่วไป..... 45

2.2 Hydraulic Head Loss..... 46

2.3 การกัดเซาะพื้นท้องน้ำและด้านข้าง..... 47

2.4 การกัดเซาะภายใต้ฐานราก(Piping)..... 51

2.5 การรั่วซึมผ่านอาคารและฐานราก(Seepage)..... 52

2.6 แรงดันน้ำใต้ฐาน(Uplift Pressure)..... 53

2.7 แรงลอยตัว(Buoyancy Force)..... 55

2.8 เสถียรภาพของอาคาร..... 55

**3. เกณฑ์กำหนดการคำนวณออกแบบโครงสร้าง..... 57**

3.1 ทั่วไป..... 57

3.2 แรงที่กระทำต่ออาคาร..... 57

3.3 หน่วยแรงที่ยอมให้ในการออกแบบ(Allowable Stresses)..... 63

3.4 การกำหนดระยะห่างระหว่างผิวของเหล็กเสริม..... 64

3.5 ระยะต่อทาบของเหล็กเสริม(Length of Lapped Splice)..... 65

3.6 การป้องกันเหล็กเสริมด้วยความหนาของคอนกรีต..... 66
(Protective Covering of Reinforcement)

# สารบัญ (ต่อ)

หน้า


3.7 การเสริมเหล็กต้านทานการยืดและหดตัว..... 67
(Shrinkage and Temperature Reinforcement)
3.8 การงอเหล็กเสริม และรัศมีการงอเหล็กเสริม..... 68
3.9 รอยต่อของคอนกรีต..... 68
3.10 การกำหนดความหนาของ Cutoff Walls..... 69
3.11 การพอกมุม(Fillets)..... 69
3.12 ท่อคอนกรีตเสริมเหล็ก..... 69

# สารบัญรูป

หน้า


| | | |
|---|---|---|
| รูปที่ 1-1 | อาคารท่อระบายปากคลองส่งน้ำแบบท่อตรง..... | 2 |
| รูปที่ 1-2 | อาคารทดน้ำแบบ Open Check..... | 5 |
| รูปที่ 1-3 | อาคารทดน้ำแบบ Check and Pipe Inlet..... | 6 |
| รูปที่ 1-4 | อาคารอัดน้ำแบบ Duckbill Weir..... | 8 |
| รูปที่ 1-5 | อาคารน้ำตกแนวดิ่งVertical Drop..... | 10 |
| รูปที่ 1-6 | อาคารน้ำตกแบบพื้นเอียง..... | 12 |
| รูปที่ 1-7 | ตัวอย่างแบบมาตรฐานอาคารน้ำตกแบบพื้นเอียง..... | 13 |
| รูปที่ 1-8 | อาคารน้ำตกรางเท..... | 14 |
| รูปที่ 1-9 | Pipe Drop with Sump..... | 20 |
| รูปที่ 1-10 | Pipe Drop with Baffled Outlet..... | 21 |
| รูปที่ 1-11 | ท่อลอดคลองส่งน้ำธรรมชาติ..... | 23 |
| รูปที่ 1-12 | ท่อลอดถนน..... | 26 |
| รูปที่ 1-13 | กราฟสำหรับอ่านค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่า C ..... | 29 |
| รูปที่ 1-14 | ท่อส่งน้ำเข้านาแบบท่อตรง..... | 32 |
| รูปที่ 1-15 | รางน้ำ(Bench Flume)..... | 35 |
| รูปที่ 1-16 | สะพานน้ำ(Elevated Flume)..... | 36 |
| รูปที่ 1-17 | อาคารระบายน้ำล้นข้างคลอง(Side Channel Spillway)..... | 38 |
| รูปที่ 1-18 | อาคารรับน้ำข้ามคลอง(Overchute)..... | 41 |
| รูปที่ 1-19 | อาคารรับน้ำเข้าคลอง(Drain Inlet)..... | 42 |
| รูปที่ 1-20 | อาคารท่อระบายปลายคลองส่งน้ำ..... | 44 |
| รูปที่ 2-1 | Head Loss Coefficients for Pipe Bends..... (design of small dam ปี 1978 หน้า 360) | 48 |
| รูปที่ 2-2 | แสดงโค้งสำหรับหาขนาดหินหรือหินเรียงท้ายอาคาร Stilling Basin..... (USBR, Engineering Monograph No.25) | 50 |
| รูปที่ 3-1 | แสดงแรงดันด้านข้างที่กระทำต่อกำแพงกันดิน..... | 60 |

# เกณฑ์กำหนดในการออกแบบอาคารในคลองส่งน้ำ

## 1. รูปแบบและชนิดของอาคารในคลองส่งน้ำ

การออกแบบระบบส่งน้ำชลประทาน ซึ่งเป็นระบบส่งน้ำให้ไหลไปด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก และเป็นคลองเปิด (Open Channel) โดยอาจจะทำการออกแบบให้เป็นคลองดาดคอนกรีต ดังนั้นการออกแบบระบบส่งน้ำประเภทนี้ ต้องมีการพิจารณาหารูปแบบและชนิดของอาคารประกอบคลองให้เหมาะสม เพื่อให้เป็นเครื่องช่วยในการควบคุมการส่งน้ำจากต้นทางไปยังจุดปลายทางอย่างมีประสิทธิภาพ พร้อมทั้งประหยัดค่าบำรุงรักษา สะดวกต่อการดำเนินการ (Operation) และสูญเสียน้ำน้อยที่สุด ซึ่งอาคารต่างๆ ดังกล่าวที่สามารถได้เลือกใช้ มีดังต่อไปนี้

### 1.1 อาคารท่อระบายปากคลองส่งน้ำ (Head Regulator)

เป็นอาคารควบคุมปริมาณน้ำไหลเข้าปากคลองส่งน้ำทุกสายให้ได้ปริมาณตามที่ต้องการ ซึ่งอาคารนี้มีรูปแบบดังแสดงใน รูปที่ 1-1 ตัวอาคารประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วน คือ

(1) ส่วนแรกเป็นปากทางน้ำไหลเข้า (Inlet Transition) จะมีบานระบายแบบ Slide Gate ไว้สำหรับควบคุมการปิด-เปิด ให้น้ำไหลผ่านได้มากน้อยตามปริมาณที่ต้องการ

(2) ส่วนที่สองเป็นท่อคอนกรีตเสริมเหล็ก จะเป็นท่อกลมหรือท่อสี่เหลี่ยม

(3) ส่วนที่สามเป็นทางน้ำไหลผ่านออก (Outlet Transition) ต่อจากท้ายท่อ

อัตราการไหลของน้ำที่ใช้ในการออกแบบ กำหนดให้เท่ากับอัตราการไหลสูงสุดในคลองส่งน้ำนั้นและเพิ่มขึ้นอีก 10%

ในการคำนวณการออกแบบทางชลศาสตร์ของอาคารท่อระบายปากคลองส่งน้ำ มีเกณฑ์การคำนวณดังต่อไปนี้

1. สูตรน้ำไหลผ่านท่อ ในการกำหนดขนาดท่อใช้เกณฑ์ความเร็วของน้ำที่ไหลผ่านท่อไม่เกิน 1.50 ม./วินาที โดยใช้สูตร ดังนี้

$$V = C\sqrt{2g\,\Delta H}$$

$$Q = AV$$

เมื่อ $V$ = ความเร็วของน้ำที่ไหลผ่านท่อ, ม./วินาที

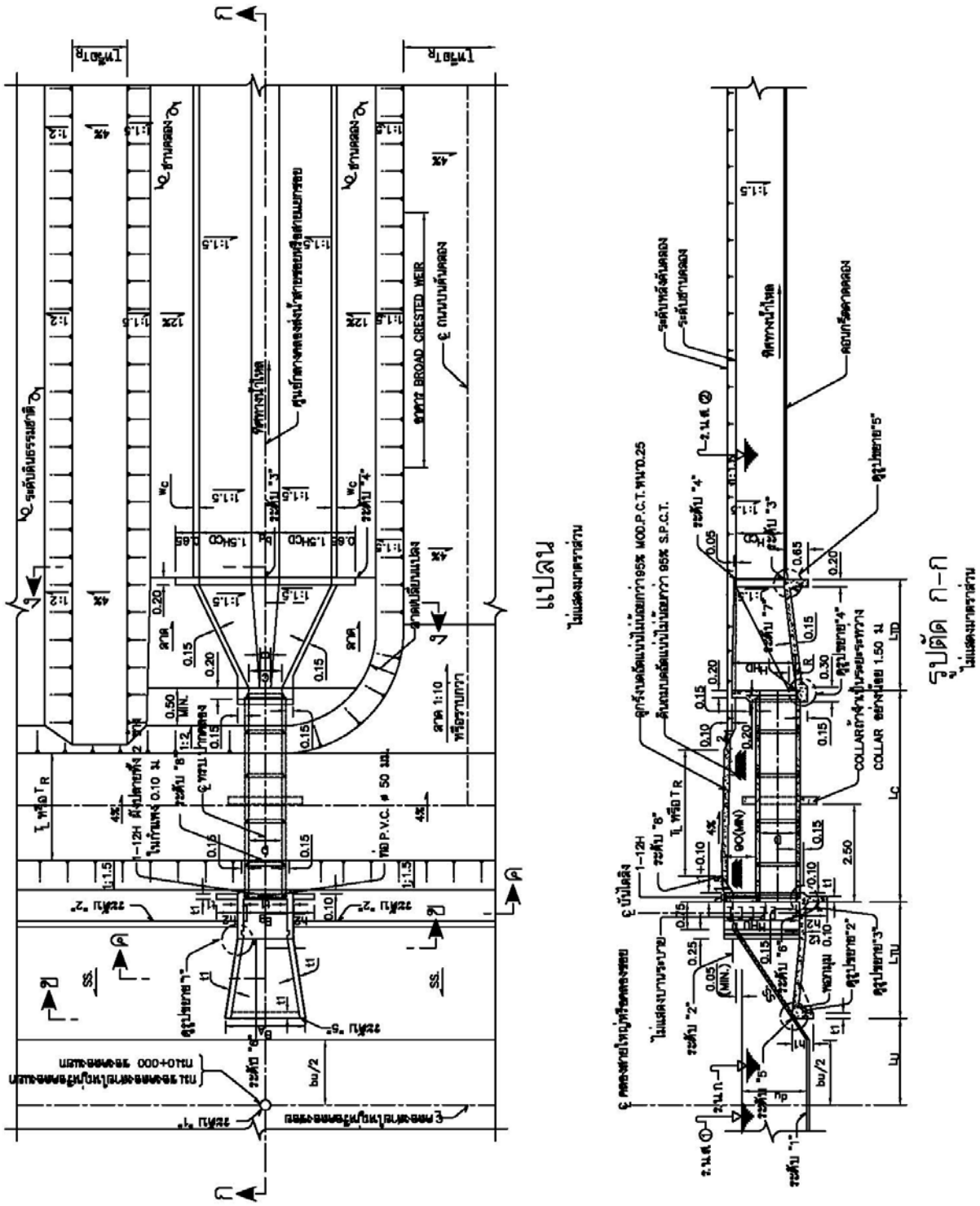
$Q$ = อัตราการไหลของน้ำ, ม.$^3$/วินาที

$A$ = พื้นที่หน้าตัดท่อ, ม.$^2$

$C$ = discharge coefficient

$\Delta H$ = ความแตกต่างของระดับน้ำด้านเหนือน้ำกับด้านท้ายน้ำ

เนื่องจากปากทางเข้า Inlet Transition มีลักษณะเป็นแบบ Rectangular Suppressed Weir ดังนั้นสูตรที่ใช้ในการคำนวณอัตราการไหลของน้ำผ่าน Inlet Transition เพื่อเข้าท่อ คือ



**รูปที่ 1-1 อาคารท่อระบายปากคลองส่งน้ำแบบท่อตรง**

$$Q = CLH^{3/2}$$

เมื่อ Q = ปริมาณน้ำ, ม.$^3$/วินาที

C = 1.71

L = ความยาวของส่วนที่น้ำไหลข้ามหรือไหลผ่าน, ม.

H = ความลึกน้ำเหนือระดับสันที่น้ำไหลข้าม, ม.

2. ความลึกของระดับน้ำท่วมเหนือปากท่อ หรือ เหนือช่องเปิดของบาน (Submergence)

- ด้านเหนือน้ำ (Upstream) จะต้องไม่น้อยกว่า 1.78 $h_{vp}$+ 0.08 ม.
- ด้านท้ายน้ำ (Down Stream) จะต้องไม่น้อยกว่า 0.05 ม. และไม่มากกว่า D/6 (D = เท่ากับความสูงของท่อหรือเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ)

เมื่อ $H_{VP}$ = Velocity Head ในท่อ

3. Total Head Loss ของอาคารคำนวณได้จากสูตรต่อไปนี้

$$H_L = 0.78\ H_{VP} + S_f \times L_c + 0.70\ (H_{VP} - H_{VCD})$$

เมื่อ $H_L$ = Total Head Loss, ม.

$H_{VP}$ = Velocity Head ในท่อ, ม.

$S_f$ = Friction Slope = $\frac{n^2 v^2}{R^{4/3}}$

n = 0.014

$L_c$ = ความยาวท่อ, ม.

$H_{VCD}$ = Velocity Head ของน้ำในคลองด้านท้าย, ม.

### 1.2 อาคารทดน้ำ (Check Structure)

ในกรณีที่มีน้ำไหลเข้าคลองน้อยกว่า F.S.L. และไม่สามารถที่จะจ่ายน้ำเข้าอาคารแยกจากคลองสายนั้นได้ ก็จะใช้อาคารทดน้ำสำหรับอัดน้ำให้สูงขึ้นอย่างน้อยเท่ากับระดับ F.S.L. โดยในระบบส่งน้ำชลประทานอาจจะเลือกใช้อาคารทดน้ำ ชนิด Open Check Controlled by Overflow Weir and Gate ในทุกค่าของปริมาณน้ำ (Q) เพื่อในฤดูแล้งเกษตรกรด้านท้ายน้ำก็ยังคงได้รับน้ำได้โดยเปิด Gate ซึ่งอาคารชนิดนี้มีลักษณะเป็นช่องเปิดสำหรับติดตั้งบานอัดน้ำ ด้านข้างเป็นกำแพง (Wing Wall) ซึ่งทั้งกำแพง และ Gate (เมื่อปิด) จะทำหน้าที่เป็นฝายทดน้ำ และยอมให้น้ำส่วนเกินหลังจากการนำไปใช้แล้ว ไหลข้ามทั้งสันกำแพงและสัน Gate ได้ตลอดเวลา นอกจากนั้นอาคารชนิดนี้ยังมีคุณสมบัติพิเศษที่สามารถเปิดบาน

ระบายได้ในยามฉุกเฉิน และเมื่อต้องการระบายตะกอน จากเหนือไปท้ายอาคาร, อาคารทดน้ำอาจจะพิจารณาเลือกใช้ 3 รูปแบบ ดังนี้

(1) แบบ Open Check ดังแสดงในรูปที่ 1-2

(2) แบบ Check and pipe inlet ดังแสดงในรูปที่ 1-3

(3) แบบ Duckbill Weir ดังแสดงในรูปที่ 1-4

**1. Open Check** ในการคำนวณออกแบบทางชลศาสตร์ของอาคารทดน้ำ ชนิด Open Check มีเกณฑ์คำนวณดังต่อไปนี้

1.1 ความเร็วของน้ำที่ไหลผ่านช่องบาน จะต้องไม่เกิน 1.50 เมตร/วินาที

1.2 Head Loss through check = 0.5 $\Delta H_V$

เมื่อ $\Delta H_V$ = ความแตกต่างของ Velocity Headที่ช่องบานและที่คลองด้านเหนือน้ำ หน่วยเป็นเมตร (ไม่น้อยกว่า 0.03 ม.)

1.3 เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำไหลข้าม Wing Wall ในช่วงเวลาส่งน้ำตามปกติ จะออกแบบโดยใช้อัตราการไหลของน้ำผ่านช่องบาน = 1.1 เท่า ของอัตราการไหลสูงสุดในคลองส่งน้ำ

1.4 ปริมาณน้ำที่ยอมให้ไหลข้าม กำแพง Wing Wall กำหนดให้เท่ากับ 0.25 เท่าของอัตราการไหลออกแบบ โดยคำนวณจากสูตร

$$Q = CLH^{3/2}$$

เมื่อ Q = อัตราการไหลของน้ำข้ามกำแพง

= 0.25 Q design , ม.$^3$/วินาที

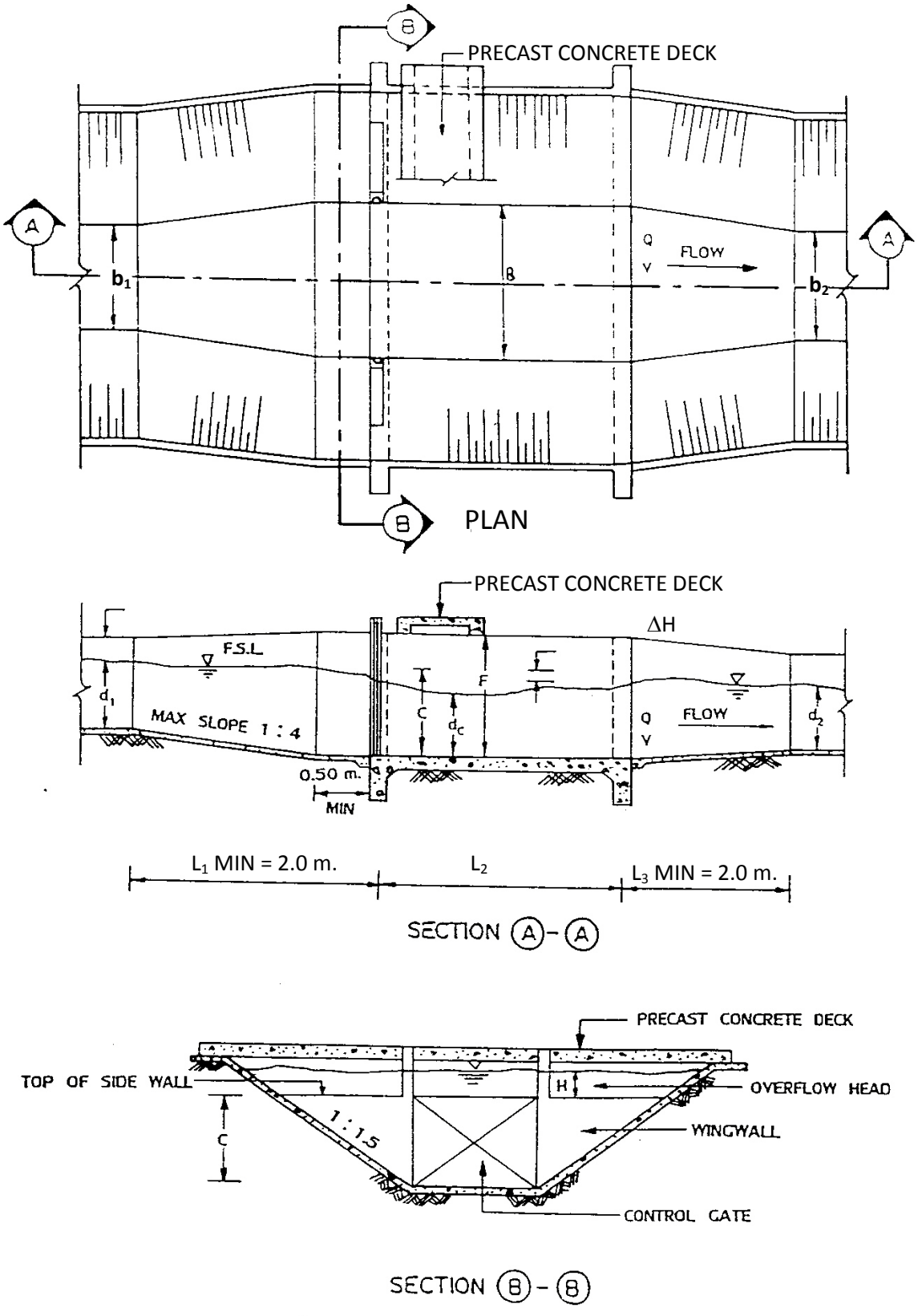
C = 1.822

L = ความยาวรวมของกำแพง , ม.

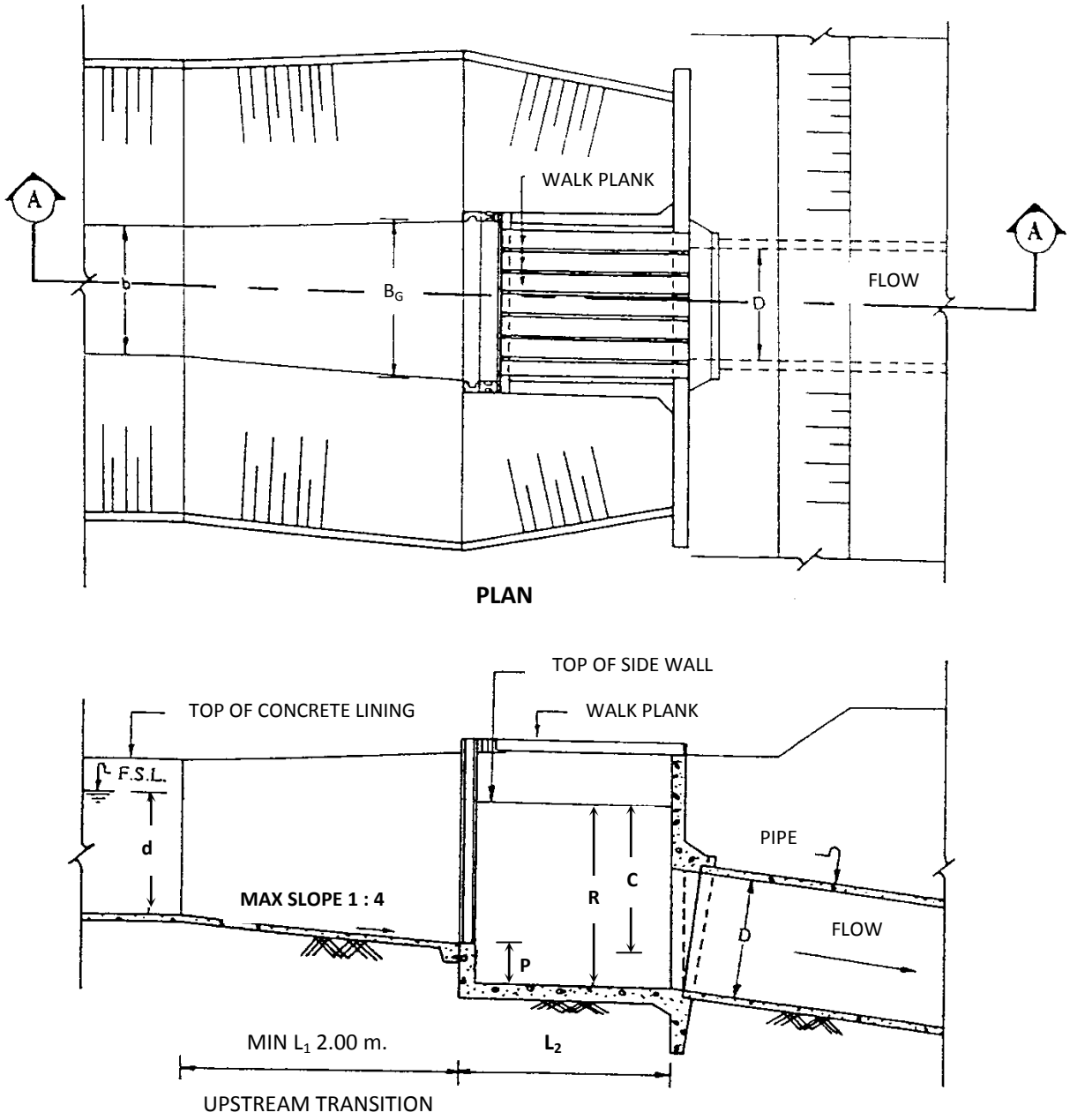
H = ความสูงของน้ำที่ท่วมเหนือกำแพง, ม. (0.5 เท่าของ Freeboard)

1.5 ความยาวของอาคารวัดจากช่องบานถึงส่วนที่เป็นคลองด้านท้ายน้ำ จะต้องยาวกว่า Length of Jump ที่เกิดขึ้นเมื่อมีการให้น้ำไหลผ่านช่องบานแบบ Partial Flow

**2. Check and pipe inlet** ในการคำนวณออกแบบทางชลศาสตร์ของอาคารทดน้ำชนิด Check and pipe inlet มักจะใช้ในกรณีที่มีถนนผ่านอาคารทดน้ำด้วย หลักเกณฑ์ในการคำนวณด้าน inlet ใช้เกณฑ์เช่นเดียวกับ Open Check แต่เปลี่ยนจาก wing wall เป็นกำแพงน้ำล้น (Overflow wall) ดังแสดงใน รูปที่ 1-3 ส่วนการคำนวณน้ำไหลผ่านท่อ ให้ใช้เกณฑ์การคำนวณแบบ Orifice flow ดังแสดงไว้ในเรื่องท่อเชื่อมและท่อลอดถนน (หัวข้อ 1.4) ทั้งนี้ขึ้นอยู่ที่รูปแบบของท่อที่ใช้งานจริงแต่ละแห่ง มีเกณฑ์ในการออกแบบด้านชลศาสตร์ดังนี้




**รูปที่ 1-2 อาคารทดน้ำแบบ Open Check**




**รูปที่ 1-3 อาคารทดน้ำแบบ Check and Pipe Inlet**

2.1 ความเร็วของน้ำที่ไหลผ่านช่องบานไม่เกิน 1.5 ม./วินาที

2.2 ความกว้างของช่องบาน B(min), ม. จะต้องไม่น้อยกว่า

$$B(min) = D + 0.16$$

เมื่อ D = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ, ม.

2.3 ความยาวของกำแพงน้ำล้น หรือ Sidewalls คำนวณปริมาณน้ำที่ยอมให้ไหลข้ามกำแพงและสันบาน โดยคำนวณจากสูตร ดังนี้

$$Q = CLH^{1.5}$$

เมื่อ Q = อัตราการไหลของน้ำที่ยอมให้ไหลข้าม

= 25% Q design , ม.$^3$/วินาที

C = 1.822

L = ความยาวของกำแพง Sidewalls รวมความกว้างของบาน

H = ความสูงของน้ำที่ท่วม Sidewall ทั้งนี้ระดับหลังกำแพง Sidewall จะกำหนดไว้ที่ระดับน้ำใช้การสูงสุด (F.S.L)

**3. อาคารอัดน้ำแบบ Duckbill weir** เป็นอาคารอัดน้ำที่นำหลักการของฝายทดน้ำมาใช้ในการออกแบบ เหมาะสำหรับกรณีที่ปริมาณน้ำไหลผ่านไม่มากนัก ในที่นี้กำหนดไว้ไม่เกิน 2.5 ลบ.ม. ต่อวินาที รูปแบบของอาคารจะเป็นกำแพงคอนกรีตรูปคล้ายปากเป็ด สร้างขวางทางน้ำเพื่อให้น้ำเอ่อล้นแล้วล้นข้าม ดังแสดงในรูปที่ 1-4 การคำนวณออกแบบจะใช้สูตรจาก FAO Irrigation and Drainage Paper 26/2 “Small Hydraulic Structure” ดังนี้

$$Q = m \times B(t) \times (2 \times g)^{0.5} \times H(crt)^{1.5}$$

เมื่อ Q = ปริมาณน้ำผ่าน Duckbill Weir, ม.$^3$/วินาที

m = สัมประสิทธิ์ของการไหลข้ามสันฝาย

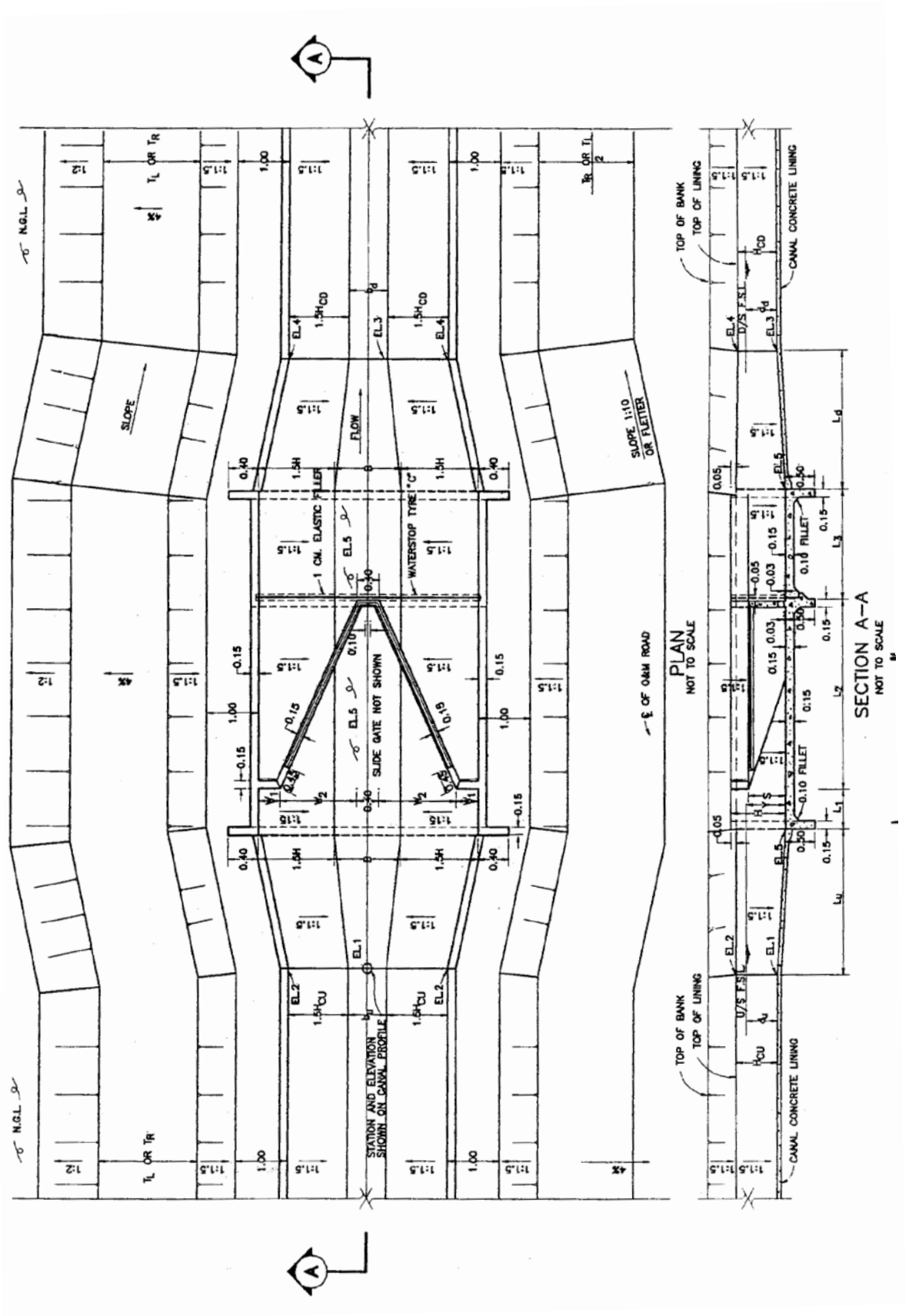
= 0.36 สำหรับสันฝายชนิดมุมมนด้านเหนือน้ำ

= 0.32 สำหรับสันฝายชนิดมุมฉาก

B(t) = ความยาวของสันฝาย , ม.

g = อัตราเร่งแรงโน้มถ่วง = 9.81 ม./วินาที$^2$

H(crt) = Head ของน้ำเหนือสันฝาย , ม.




**รูปที่ 1-4 อาคารอัดน้ำแบบ Duckbill Weir**

อาคารอัดน้ำทั้ง 3 รูปแบบ ข้างต้นอาจนำไปใช้ร่วมกับอาคารน้ำตก (Check Check) หรือท่อลอดถนน เพื่อยกระดับน้ำด้านเหนือน้ำขึ้นก่อนที่จะปล่อยให้น้ำไหลผ่านตัวอาคารไป

การวางตำแหน่งของอาคารทดน้ำ โดยทั่วไปจะวางไว้ โดยพิจารณาจากเหตุผลดังต่อไปนี้

- ตำแหน่งของอาคารสามารถทดน้ำให้ท่อส่งน้ำเข้านาได้
- ตำแหน่งด้านท้ายน้ำของตำแหน่งที่มีคลองแยกซอย
- ตำแหน่งที่มีจุดเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำที่ไหลผ่านและต้องการเปลี่ยนแปลงขนาดหน้าตัดคลองส่งน้ำ

### 1.3 อาคารน้ำตก (Drop Structure)

เนื่องจากระบบส่งน้ำต้องมีแนวไปตามความลาดเอียงของพื้นที่จะส่งน้ำ และต้องมีการลดระดับก้นคลองลงไปเรื่อยๆ จนถึงปลายทาง ซึ่งพื้นที่บางตอนอาจจะเป็นที่ชันมากน้อยต่างกัน ดังนั้นจึง จำเป็นต้องลดระดับก้นคลองไปตามสภาพพื้นที่แห่งนั้นด้วย ในกรณีเช่นนี้จะต้องใช้อาคารน้ำตก (Drop Structure) เพื่อช่วยลดพลังงานน้ำในที่ซึ่งมีการเปลี่ยนระดับอย่างกะทันหัน โดยใช้เกณฑ์การเลือกรูปแบบและชนิดของอาคารดังต่อไปนี้

**1.3.1 อาคารน้ำตกแนวดิ่ง (Vertical Drop Structure)** เป็นอาคารที่ลดระดับน้ำ และท้องคลองลงในแนวดิ่ง ดังแสดงใน รูปที่ 1-5 เหมาะสมสำหรับคลองซอยหรือคลองขนาดเล็กซึ่งมีอัตราการไหลไม่มากที่ต้องการลดระดับลงน้ำไม่เกิน 1.50 เมตร การไหลของน้ำผ่านอาคารจะเป็นการไหลแบบ Free flow อัตราการไหลคำนวณได้ดังนี้

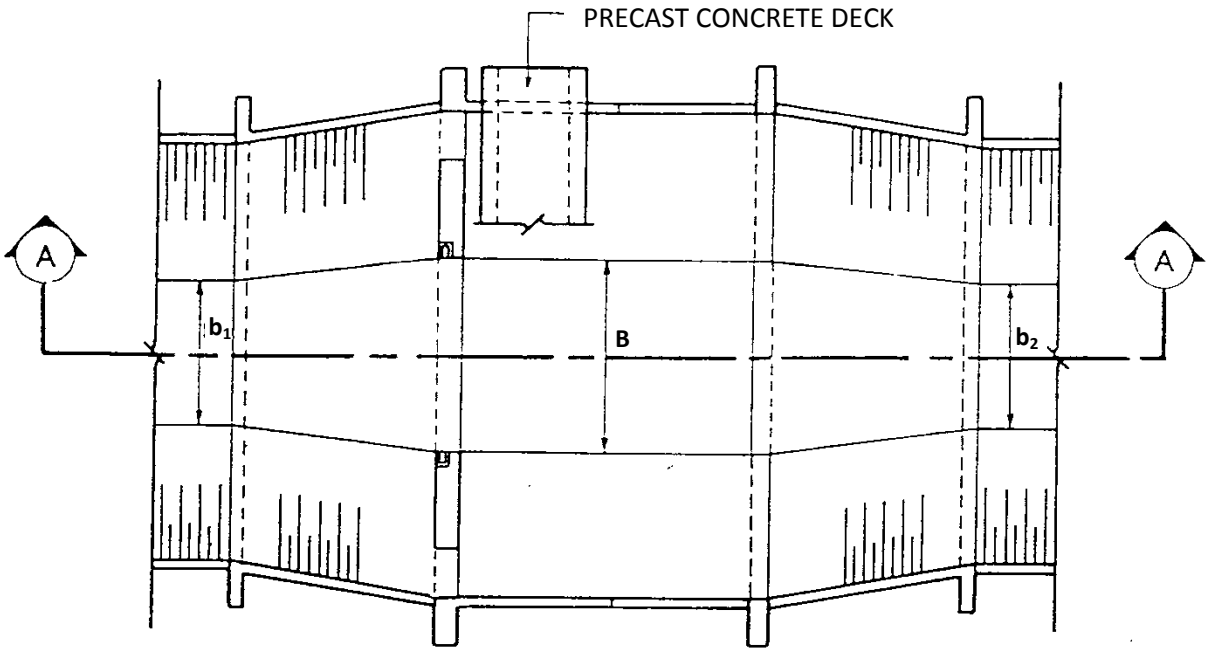
$$Q = (2/3)CBH^{3/2}\sqrt{2g}$$

เมื่อ Q = อัตราการไหล, ม.$^3$/วินาที

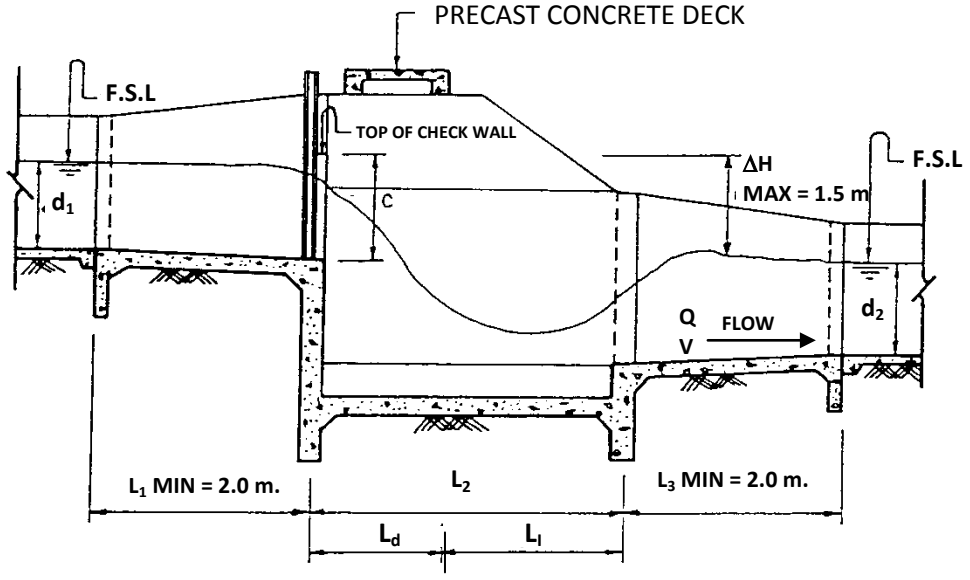
C = Coefficient of discharge = 0.65

B = Over flow crest length , ม.

H = Head or Water depth above the crest upstream, ม.




PLAN




SECTION Ⓐ – Ⓐ

**รูปที่ 1-5 อาคารน้ำตกแนวดิ่ง (Vertical Drop)**

ส่วนการป้องกันการกัดเซาะเนื่องจากแรงน้ำด้านท้ายอาคารทำได้โดยการออกแบบให้เป็น Stilling Pool ซึ่งความยาวของ Stilling Pool คำนวณได้จากสูตร

$$L = [2.5 + 1.1 (d_c/h) + 0.7 (d_c/h)^3] \sqrt{d_C h}$$

เมื่อ L = Length of Stilling Pool, ม.

$d_c$ = Critical depth, ม.

h = Different Height between B.L. of canal upstream and downstream, ม.

(จาก Canals and Related Structure, Chap.5 Canal Structure)

### 1.3.2 อาคารน้ำตกแบบพื้นเอียง (Rectangular Inclined Drop Structure)

เป็นอาคารน้ำตกที่ใช้กับคลองที่มีการลดระดับมากกว่า 0.90 เมตร แต่ไม่ควรเกิน 5.00 เมตร และความยาวของตัวอาคารไม่มากนัก (ดูรูปที่ 1-6 และ รูปที่ 1-7) อาคารน้ำตกแบบนี้มีเกณฑ์ การคำนวณทางด้านชลศาสตร์ดังต่อไปนี้

(1) ความลาดของร่องพื้นเอียงจะต้องไม่เกิน 1:2 ซึ่งโดยทั่วไปจะกำหนดให้เท่ากับ 1:2

(2) ความกว้างของร่องพื้นเอียงและความกว้างของ Stilling Pool กำหนดให้เท่ากัน

(3) ความกว้างของ Stilling Pool คำนวณได้จาก

$$B = \frac{18.476\sqrt{Q}}{Q + 9.919}$$

B = ความกว้างของ Stilling Pool เมตร

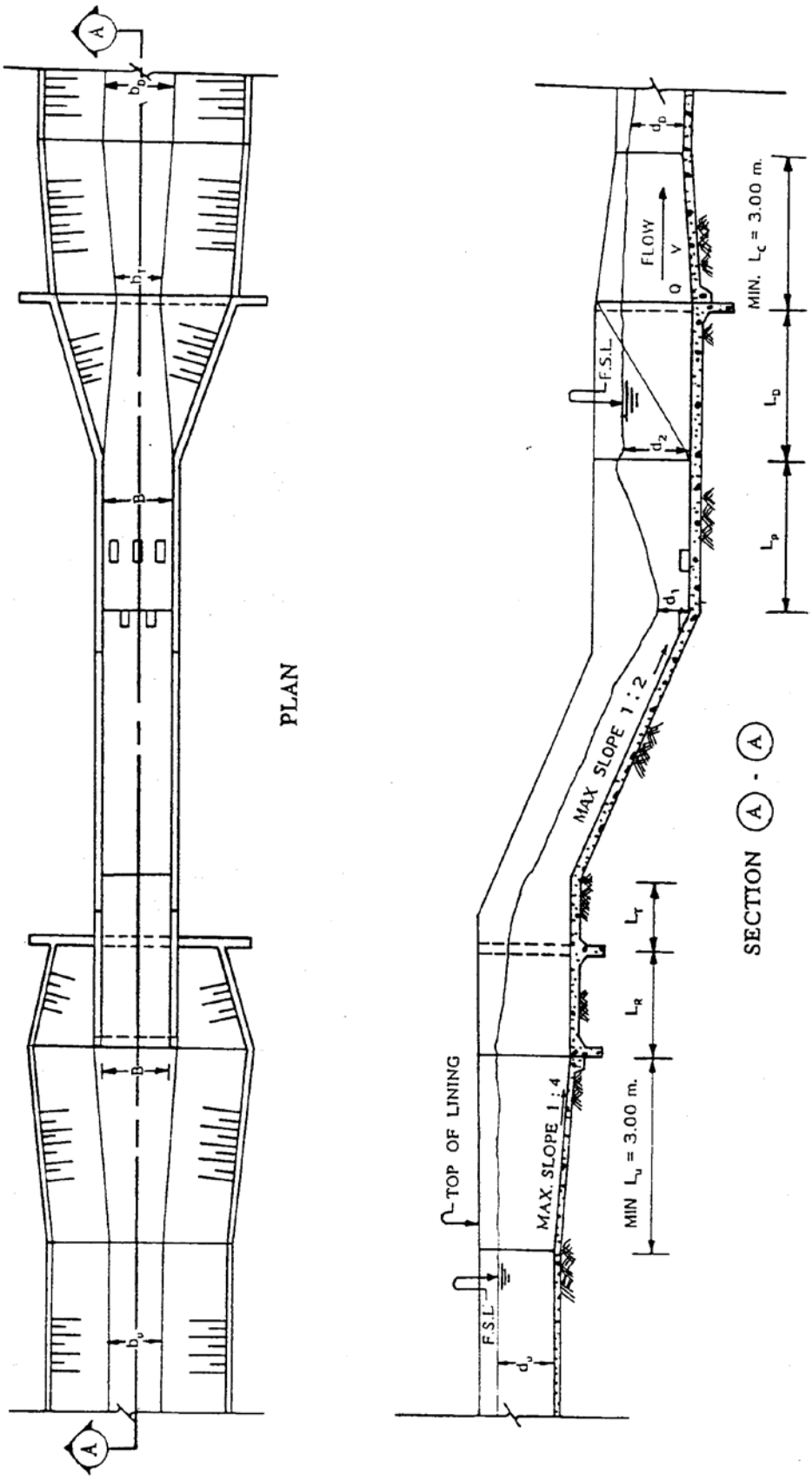
Q = อัตราการไหลออกแบบ ลบ.เมตร/วินาที

(4) ความยาวของ Stilling Pool จะต้องยาวไม่น้อยกว่า 4 เท่าของความลึกของน้ำหลักจากการเกิด Jump ($4d_2$)

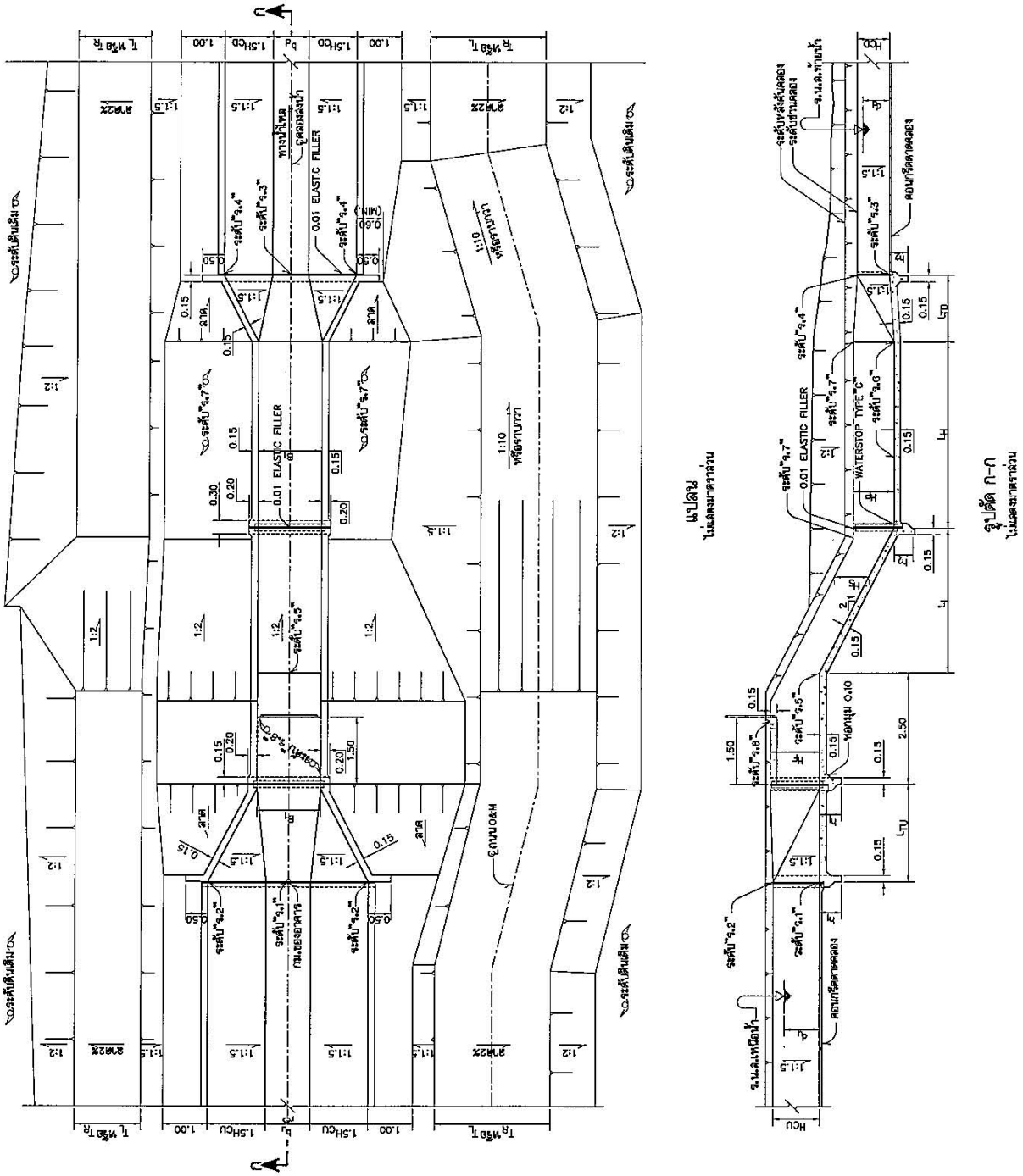
(5) การกำหนดระดับพื้นของ Stilling Pool จะต้องกำหนดให้ต่ำโดยที่เมื่อเกิด Hydraulic Jump แล้วระดับน้ำจะต้องไม่สูงกว่าระดับน้ำในคลอง

### 1.3.3 อาคารน้ำตกแบบรางเท (Chute Structure)

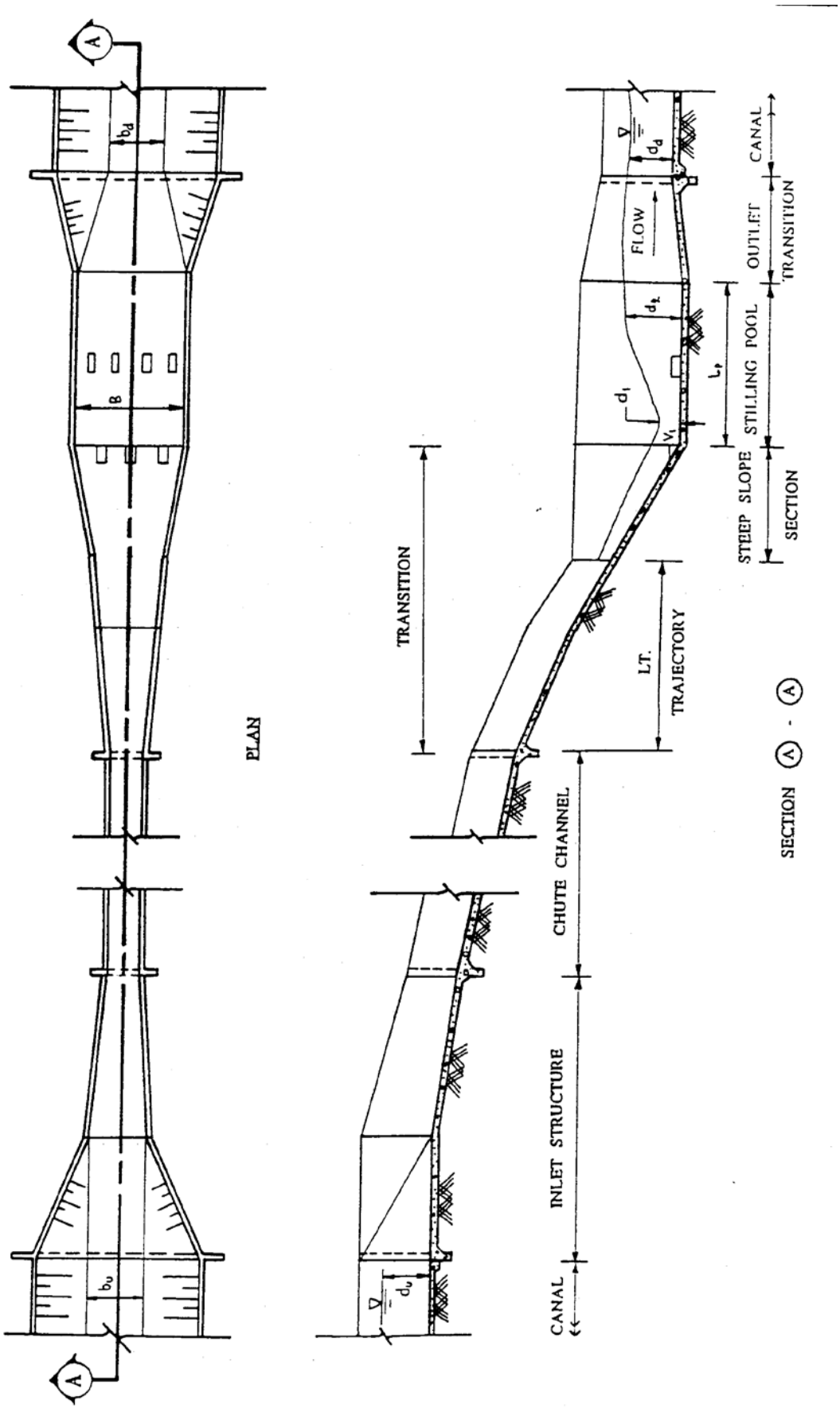
ใช้ในกรณีที่ต้องลดระดับน้ำในคลองส่งน้ำลงมากและปริมาณน้ำไหลผ่านค่อนข้างสูง ตัวอาคารมีความยาวมากไม่เหมาะที่จะใช้รูปแบบเป็นอาคารน้ำตกแนวดิ่ง หรืออาคารน้ำตกพื้นเอียง รูปร่างของน้ำตกแบบรางเทกำหนดเป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก มีรูปตัดขวางเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ด้านหน้าอาคารอาจจะมีอาคารอัดน้ำตามความจำเป็น ด้านท้ายน้ำมี Stilling Pool เพื่อสลายพลังงานของน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 1-8




**รูปที่ 1-6 อาคารน้ำตกแบบพื้นเอียง**



**รูปที่ 1-7 ตัวอย่างแบบมาตรฐานอาคารน้ำตกแบบพื้นเอียง**




**รูปที่ 1-8 อาคารน้ำตกรางเท**

การคำนวณออกแบบทางด้านชลศาสตร์สำหรับอาคารน้ำตกแบบรางเทมีเกณฑ์กำหนดดังต่อไปนี้

(1) ในการคำนวณเพื่อกำหนดความสูงของรางเท กำหนดค่า Manning's n เท่ากับ 0.014 สำหรับการคำนวณในทางพลังงานน้ำจะใช้ค่า n = 0.010

(2) ในการกำหนดรูปร่างของ Transition กำหนดมุมผายเข้าที่ทางเข้า และมุมผายออกที่ทางออก ไว้ดังนี้

Maximum Convergence Angle at Inlet Transition = $27.5^{o}$

Maximum Divergence Angle at Outlet Transition = $22.5^{o}$

การกำหนดค่ามุมผายเข้าออก ณ รูปตัดใดๆ ของรางเท นอกจากมุมที่ Inlet และ Outlet ข้างต้น เพื่อเป็นการหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิดคลื่นในรางเท คำนวณได้ดังนี้

Cotangent $\alpha$ = 3.375 F

เมื่อ F = Mean Value of Froude Number at the Beginning and End of Transition

$$= \frac{V}{\sqrt{(1-K)gd.Cos\theta}}$$

d = ความลึกน้ำในรางเท , ม.

$$= \frac{\text{พื้นที่รูปตัด ณ จุดนั้น}}{\text{ความกว้างของรางเท ณ จุดนั้น}}$$

g = 9.81 ม./วินาที$^2$

K = Acceleration Factor

= 0 ; สำหรับพื้น Transition ในแนวราบ

$$= \frac{V^2}{gRCos\theta}$$ ; สำหรับพื้น Transition ในโค้งรูปวงกลม

$$= \frac{(\tan\theta_L - \tan\theta_o)2\,h_V Cos^2\theta_o}{L_T}$$ ; สำหรับพื้น Transition ในโค้งรูปพาราโบล่า

อย่างไรก็ตามค่า K สูงสุด ไม่ควรเกิน 0.5 เพื่อไม่ให้เกิด Negative Pressure บนพื้นรางเท

เมื่อ $h_V$ = Velocity head of the origin of the trajectory , ม.

$L_T$ = Length of trajectory , ม.

R = Radius of curvature of the floor , ม.

V = Velocity at the point being considered , ม./วินาที

$\theta$ = Slop angle of the floor at the point being considered , องศา

$\theta_o$ = Slope angle of the floor at the beginning of the trajectory , องศา

$\theta_L$ = Slope angle of the floor at the end of the trajectory , องศา

(3) ขนาดของรางเท (Chute Section)

การคำนวณระดับน้ำในรางเท แต่ละช่วงคำนวณจาก Bernoulli' s equation ดังนี้

$$d_1 + H_{V1} + Z = d_2 + H_{V2} + H_f$$

(เมื่อพิจารณาที่ Section 1 ด้านเหนือน้ำและ Section 2 ด้านท้ายน้ำ)

เมื่อ $d_1$ = ความลึกของน้ำด้านเหนือน้ำ , ม.

$H_{V1}$ = Velocity head ที่ด้านเหนือน้ำ , ม.

$Z$ = ความแตกต่างของระดับพื้นรางเทด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำ , ม.

$d_2$ = ความลึกของน้ำด้านท้ายน้ำ , ม.

$H_{V2}$ = Velocity head ด้านท้ายน้ำ , ม.

$H_f$ = Friction losses กรณีที่รางเทยาวกว่า 10 ม. (ถ้าสั้นกว่านี้สมมติไม่มี Friction losses) , ม.

= $S_a \times L$

$S_a$ = Average Friction slope in the reach

$L$ = Length of the reach , ม.

$S_f$ = $\frac{n^2V^2}{R^{4/3}}$ ; Friction slope at a point in the chute section

$n$ = 0.014

$v$ = Velocity ในรางเท , ม./วินาที

$R$ = Hydraulic radius , ม.

ความสูงของผนังรางเท = Max. depth in section + $F_b$

เมื่อ $F_b$ = ระยะพันน้ำ (Freeboard)

หรือ = 0.4 $d_c$ + $F_b$ (ใช้ค่ามาก)

เมื่อ $d_c$ = Critical Depth , ม.

ระยะพื้นน้ำ ($F_b$) = 0.30 ม. เมื่อปริมาณน้ำ $\leq$ 2.80 ม.$^3$/วินาที

= 0.45 ม. เมื่อปริมาณน้ำมากกว่า 2.80 ม.$^3$/วินาที

(4) Trajectory

ช่วงระหว่างรางเท ถึง Stilling Pool จะมีส่วนที่เป็นลาดเชื่อมถึงกันด้วย Trajectory Section ส่วนของ Trajectory Section สามารถคำนวณลักษณะของโค้งได้จากสูตรต่อไปนี้

$$Y = X \tan \theta_o + \left(\tan \theta_L - \tan \theta_o\right) X^2 / 2L_T$$

เมื่อ $X$ = Horizontal distance from the origin to a point on the Trajectory

$Y$ = Vertical distance from the origin to point X on the Trajectory

$L_T$ = Horizontal length from the origin to the end fo the Trajectory

ค่า $L_T$ คำนวณได้จากสูตรของ K (Acceleration Factor) โดยค่า K ไม่ควรเกิน 0.5

$\theta_o$ = The angle of inclination of the chute channel at the origin of the trajectory

$\theta_L$ = The angle of inclination of the chute channel at the end of the trajectory

ช่วงของ Steep Slope Section ที่เชื่อม Trajectory กับ Stilling Pool กำหนดความลาดอยู่ระหว่าง 1:1.5 ถึง 1:3 (ตั้ง : ราบ)

(5) บ่อน้ำนิ่ง (Stilling Pool) การคำนวณขนาดความกว้างของ Stilling Pool ที่มีรูปตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าและมีพื้นอยู่ในแนวราบคำนวณได้จากสูตรต่อไปนี้

$$B = \frac{18.476\sqrt{Q_D}}{Q_D + 9.919}$$

เมื่อ $B$ = ความกว้างของ Stilling Pool , เมตร

$Q_D$ = ปริมาณน้ำออกแบบ , ลบ.ม./วินาที

การคำนวณระดับน้ำใน Stilling Pool จะกำหนดให้ระดับพื้นต่ำจนกระทั่งระดับน้ำใน Pool น้ำหลังจากเกิด Hydraulic Jump เท่ากับหรือต่ำกว่า Tail Water Depth

การคำนวณหาค่า $d_2$ ใน Stilling Pool คำนวณจากสูตรต่อไปนี้

$$d_2 = \frac{d_1}{2}\left(\sqrt{1 + 8F_1^2} - 1\right)$$

เมื่อ $d_2$ = Depth after the jump , ม.

$d_1$ = Depth before the jump , ม.

$V_1$ = Velocity before the jump , ม./วินาที

g = Acceletation of gravity = 9.81 , ม./วินาที$^2$

$F_1$ = $V_1/\sqrt{gd_1}$

### 1.3.4 อาคารน้ำตกแบบท่อ (Pipe Drop)

อาจเรียกว่าอาคารท่อน้ำตก จะเลือกใช้อาคารน้ำตกแบบท่อในกรณีที่ปริมาณน้ำไม่มากนัก และความเหมาะสมตามสภาพภูมิประเทศ การคำนวณออกแบบมีอยู่ 2 กรณี คือ กรณีที่ Hydraulic Jump เกิดในท่อและกรณีที่มีอาคารสลายพลังงาน (Energy Dissipator)

**ก) Pipe Drop with Sump** ใช้ในกรณีที่ต้องการควบคุมให้ Hydraulic Jump เกิดขึ้นในท่อโดยไม่จำเป็นต้องมีอาคารสลายพลังงานหรือ Energy Dissipator ด้านท้ายของท่อ ดังแสดงในรูปที่ 1-9 อาคารรูปแบบนี้มีเกณฑ์การคำนวณทางชลศาสตร์ดังต่อไปนี้

(1) ความยาวของช่วงต่อ หรือ Transition ด้านเหนือน้ำจะต้องไม่น้อยกว่า 3.00 เมตร และความลาดของพื้นไม่เกิน 1:4 (ตั้ง : ราบ)

(2) ความเร็วสูงสุดของน้ำที่ไหลผ่านท่อจะต้องไม่เกิน 1.5 เมตร/วินาที

(3) ความลาดของกันท่อช่วงต้น (Upstream Pipe Slope) จะต้องไม่ชันกว่า 1:2 (ตั้ง : ราบ)

(4) การลดพลังงานของน้ำท้ายอาคารกำหนดให้เกิด Hydraulic Jump ในท่อ โดยให้มี Sumped Section ใกล้ๆ กับปากท่อ (Pipe Outlet)

(5) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อจะต้องไม่เล็กกว่า 0.40 เมตร และไม่โตกว่า 1.20 เมตร

(6) เกณฑ์กำหนดอื่นๆ ให้เป็นไปตามเกณฑ์ในการคำนวณออกแบบท่อลอดถนน (Roadway Crossing)

**ข) Pipe Drop with Baffled Outlet** เป็นอาคารน้ำตกแบบท่อ ที่ใช้ในกรณีที่มีปริมาณน้ำไหลผ่านอาคารในปริมาณที่สูงขึ้น และต้องการลดระดับน้ำมาก ทำให้เกิดกระแสน้ำที่ไหลเร็วและแรงกระแทกของน้ำที่ด้านท้ายอาคารสูง ดังนั้นก่อนที่จะปล่อยให้น้ำเข้าสู่คลองจึงต้องมีอาคารสำหรับลดหรือสลายพลังงาน เพื่อรับแรงกระแทกของน้ำ ในกรณีนี้จะใช้ Baffled Outlet เป็นอาคารสลายพลังงานดังแสดงในรูปที่ 1-10 อาคารน้ำตกรูปแบบ Pipe Drop with Baffled Outlet นี้ มีเกณฑ์การคำนวณทางด้านชลศาสตร์ดังต่อไปนี้

(1) ความเร็วของน้ำในท่อ กำหนดให้ไม่เกิน 3.5 ม./วินาที

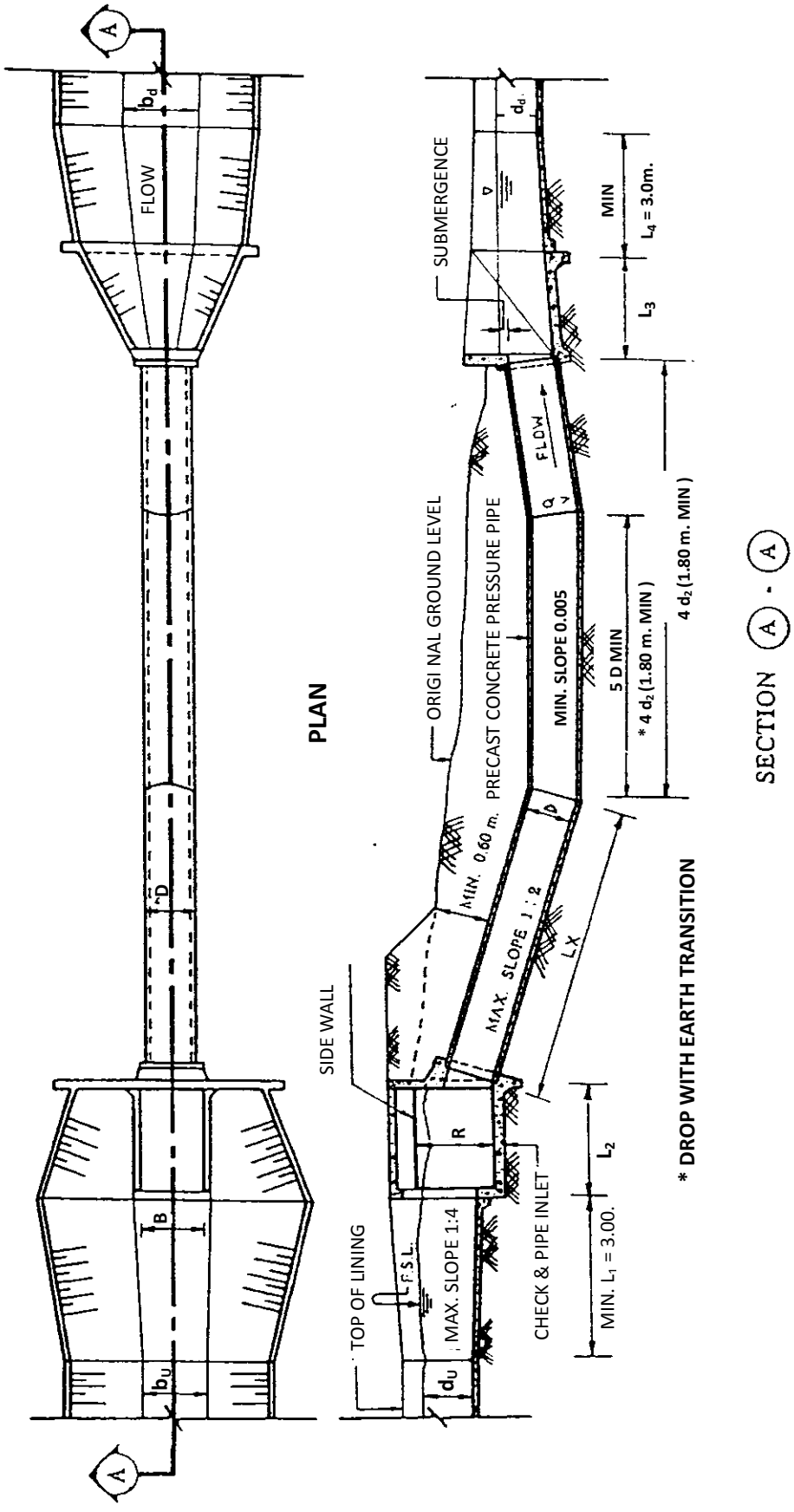
(2) การออกแบบ Inlet และ Outlet Tramsition กำหนดไว้ดังนี้

- Maximum convergence angle = $27.5^{o}$
- Maximum divergence angle = $22.5^{o}$
- Maximum slope at inlet transition = 1 : 4 (ดิ่ง : ราบ)
- Maximum slope of inclined pipe = 1 : 2 (ดิ่ง : ราบ)
- Minimum slope of inlet pipe = 0.005
- Slope of outlet pipe = 0 (Horizontal)
- Minimum inlet submergence = $1.5\ \Delta H_V \not< 0.08$ m.
- ระดับปากท่อด้านเหนือน้ำ = ระดับ ร.น.ส. – $1.5\Delta H_V$ (0.08 min.)

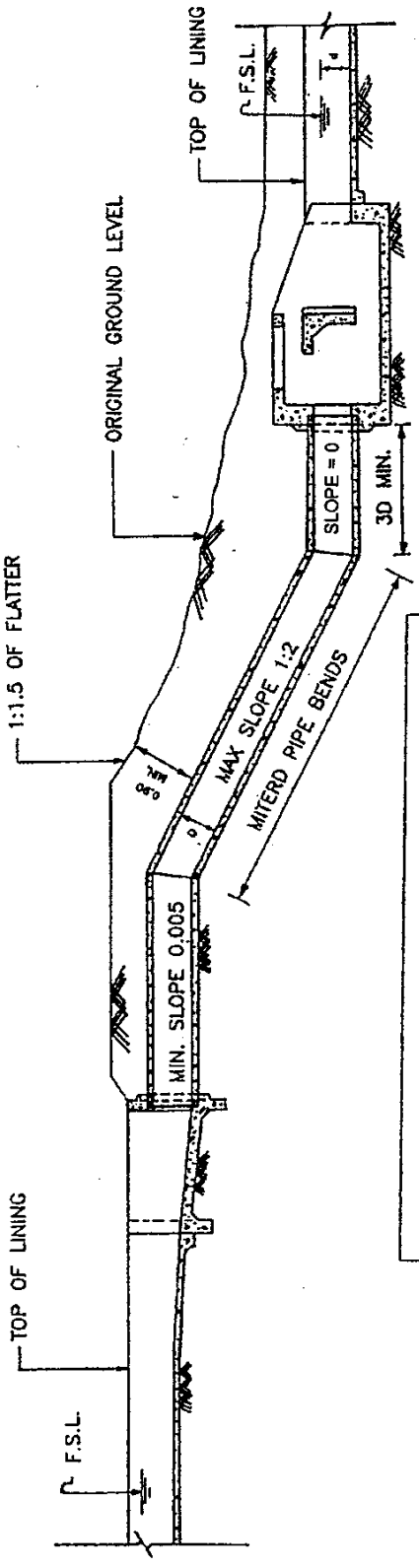
ในเมื่อ $\Delta H_V$ = Difference in Velocity Head at Pipe and Canal ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อจะต้องไม่เล็กกว่า 0.40 ม. และไม่โตกว่า 1.20 ม.

(3) การออกแบบ Baffle และ Basin ท้ายอาคาร คำนวณตามหลักและวิธีออกแบบ Energy Dissipator ของ USBR, Design of Small Canal Structures.

(4) เกณฑ์กำหนดอื่นๆ เป็นไปตามเกณฑ์ในการคำนวณออกแบบท่อลอดถนน




**รูปที่ 1-9 Pipe Drop with Sump**




GUIDE LINE

PIPE. DIA. SELECTION DATA

| MAX. V ≤ 3.500 m/s Q. ( cms. ) | | PIPE DIA. | PIPE AREA |
|---|---|---|---|
| FROM | INCLUDING | m. | $m^2$ |
| 0 | 0.26 | 0.30 | 0.0707 |
| 0.26 | 0.72 | 0.50 | 0.0963 |
| 0.72 | 1.03 | 0.60 | 0.2827 |
| 1.03 | 1.84 | 0.80 | 0.5027 |
| 1.84 | 2.87 | 1.00 | 0.7854 |
| 2.87 | 4.14 | 1.20 | 1.1310 |

**รูปที่ 1-10 Pipe Drop with Baffled Outlet**

### 1.4 อาคารสำหรับให้คลองตัดผ่านร่องน้ำหรือทางระบายน้ำ หรือถนน

คลองส่งน้ำบางสายอาจจะมีแนวตัดผ่านกับร่องน้ำหรือทางระบายน้ำ หรือถนน ซึ่งอาจจะมีสภาพและลักษณะจำเพาะต่างๆ ฉะนั้นจึงควรมีหลักเกณฑ์การเลือกรูปแบบ หรือชนิดของอาคารให้เหมาะสมกับสภาพ และลักษณะจำเพาะนั้นๆ โดยรวมเทคนิคหลายๆ ประการเข้าไปด้วย

**(1) ท่อเชื่อม (Siphon)** : ท่อเชื่อมในที่นี้เป็นท่อลอดแบบหนึ่ง ซึ่งให้น้ำไหลเต็มท่อภายใต้ความดัน (Under Pressure) และช่วงกลางระหว่างหัวกับท้ายท่อจะแอ่นโค้งต่ำลงหรือหักงอลง ดังแสดงในรูปที่ 1-11 ซึ่งเรียกเฉพาะว่า Inverted Siphon ดังนั้นจะเลือกอาคารชนิดนี้ สำหรับให้คลองลอดใต้ร่องน้ำหรือทางระบายน้ำหรือถนนในเมื่อมีข้อจำกัด ดังต่อไปนี้

(ก) ถ้าปริมาณน้ำในคลองส่งน้ำน้อยกว่าปริมาณน้ำในร่องระบายน้ำ จะให้คลองส่งน้ำลอดใต้ร่องระบายน้ำ

(ข) ถ้าปริมาณน้ำในร่องระบายน้ำน้อยกว่าปริมาณน้ำในคลองส่งน้ำ จะให้ร่องระบายน้ำลอดใต้คลอง

(ค) ในกรณีที่คลองส่งน้ำไปตัดผ่านถนนจะพิจารณาถึงระดับน้ำสูงสุดในคลองส่งน้ำ (F.S.L.) กับระดับหลังถนนเป็นเกณฑ์กำหนดดังต่อไปนี้

- ถ้าระดับน้ำสูงสุด (F.S.L.) ในคลองต่ำกว่าระดับหลังถนนมากกว่า 0.50 เมตร จะใช้ท่อลอด (Culvert) ชนิดไม่อยู่ภายใต้ความดันสำหรับให้คลองส่งน้ำลอดใต้ถนน
- ถ้าระดับน้ำสูงสุด (F.S.L.) ในคลอส่งน้ำต่ำกว่าระดับหลังถนนน้อยกว่า 0.50 เมตร จะใช้ท่อเชื่อม (Siphon) ลอดใต้ถนนโดยกำหนดให้หลังท่อต้องต่ำกว่าระดับถนน 0.60 เมตร เป็นอย่างน้อย

(ง) ข้อจำกัดของขนาดท่อเชื่อม และความเร็วของน้ำในท่อและมาตรการสำหรับการบำรุงรักษามีดังนี้

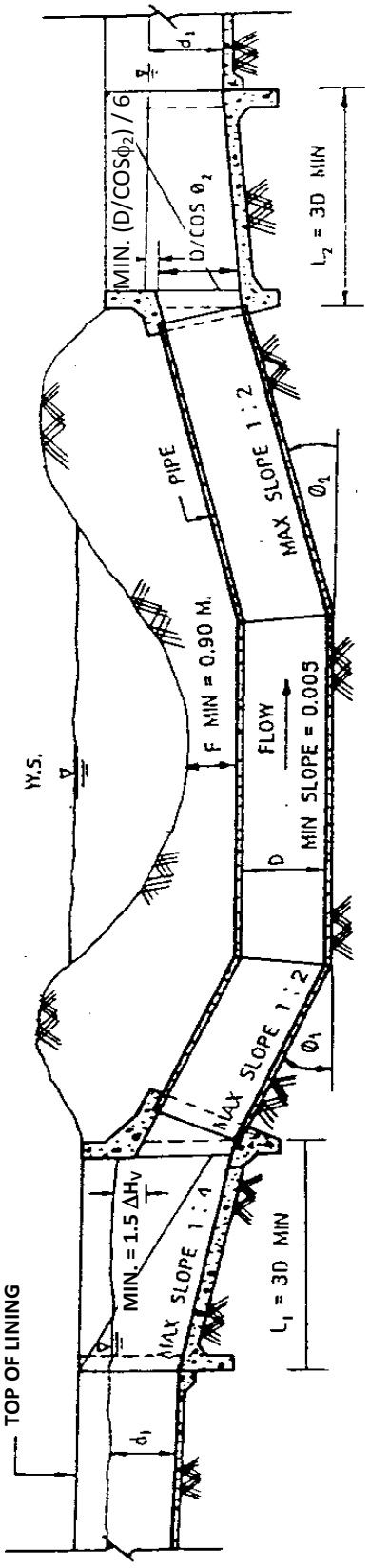
- ขนาดไม่ควรน้อยกว่า 0.60 เมตร สำหรับความยาวไม่เกิน 20 เมตร
- ขนาดจะไม่น้อยกว่า 0.80 เมตร สำหรับความยาวเกิน 20 เมตร
- ความเร็วของน้ำในท่อไม่น้อยกว่า 1.50 เมตร/วินาที และไม่ควรเกิน 3.00 เมตร/วินาที

ในการออกแบบท่อเชื่อม (Siphon) มีเกณฑ์ในการคำนวณออกแบบทางชลศาสตร์ดังต่อไปนี้

1) กำหนดให้การไหลของน้ำในท่อลอดเป็นแบบ Under Pressure Full Flow

2) Convergence loss ที่ Inlet Transition (Hi) = $0.4\ \Delta H_V$ ม.

เมื่อ $\Delta H_V$ = Difference in velocity heads at pipe and canal, ม.




**รูปที่ 1-11 ท่อลอดคลองส่งน้ำธรรมชาติ**

3) ในกรณีที่มีอาคารอัดน้ำ Loss ที่ Check (Hck) = 0.5 $\Delta H_V$ ม.

เมื่อ $\Delta H_V$ = Difference in velocity heads at check opening and upstream canal section, ม.

4) Loss ที่บานอัดน้ำ (Hg) = 1.0 $\Delta H_V$ ม.

เมื่อ $\Delta H_V$ = Difference in velocity heads at the gate opening and the upstream canal section, ม.

5) Friction Loss ในท่อ ($H_f$) = $L \times S_f$ ม.

เมื่อ L = ความยาวท่อ, ม.

$S_f$ = $\frac{n^2 V^2}{R^{4/3}}$

n = 0.014

V = Full velocity in pipe, ม./วินาที

6) Bend losses ($H_b$) = $\frac{\zeta V_P^2}{2g}$

เมื่อ $V_P$ = ความเร็วของน้ำในท่อ

$\zeta$ = สัมประสิทธิ์สำหรับ Bend losses

7) Divergence loss ที่ Outlet Transition ($H_O$) = 0.7 $\Delta H_V$ ม.

เมื่อ $\Delta H_V$ = Difference in velocity heads at pipe and canal, ม.

8) Transition Friction Losses ไม่คิด

9) เพื่อเป็น Safety Factor ผลรวมของ Losses ต่างๆ ให้เพิ่มขึ้น 10%

10) ความเร็วสูงสุดในท่อกำหนดไว้ดังนี้ = 1.50 ม./วินาที สำหรับท่อลอดที่ไม่ยาวนัก

= 3.0 ม./วินาที สำหรับท่อยาว

11) ความลาดสูงสุดที่ Inlet และ Outlet Transition = 1:4(max)(ตั้ง:ราบ), Inlet Transition

= 1:6(max)(ตั้ง:ราบ), Outlet Transition

12) ความลาดสูงสุดของท่อช่วงต้นและช่วงปลาย = 1:2 (max) (ตั้ง:ราบ)

13) ความลาดก้นท่อช่วงกลางไม่น้อยกว่า 1:200

14) ความสูงของน้ำท่วมปากทางเข้าท่ออย่างน้อย = 1.5 $\Delta H_V$ แต่ไม่น้อยกว่า 0.08 ม.

15) ความลึกของน้ำท่วมเหนือปากท่อทางออก (Outlet Submergence) $\leq \frac{1}{6}$ (Depth of outlet opening) ม.

16) ระยะพ้นน้ำต่างๆ ให้เป็นไปตามเกณฑ์ที่ใช้กับท่อลอดถนน

**(2) ท่อลอด (Culvert)** : โดยทั่วไป ท่อลอดจะเป็นท่อตรง ดังแสดงใน รูปที่ 1-12 และน้ำจะไหลภายใต้ความดันน้อยมาก หรือ ไม่มีความดันเลย หรือไหลแบบ Free Flow ซึ่งตัวท่ออาจจะเป็นท่อกลม หรือท่อเหลี่ยม มีตั้งแต่หนึ่งแถวขึ้นไป

ดังนั้นจะเลือกอาคารชนิดนี้ สำหรับคลองส่งน้ำ ตัดผ่านถนนในกรณีที่ไม่มีข้อจำกัดตามหัวข้อ (1)

ในการออกแบบท่อลอดถนน (Road Crossing) มีเกณฑ์ในการคำนวณออกแบบทางชลศาสตร์ดังต่อไปนี้

1) กำหนดให้การไหลของน้ำเป็นแบบไหลเต็มท่อ (Full Flow) และให้ Transition ที่เชื่อมต่อกับคลองเป็นแบบ Broken Back Type สำหรับกรณีที่ต้องการอัดน้ำ จะกำหนดให้อาคารอัดน้ำเป็นแบบ Check and Pipe Inlet

2) Convergence loss ที่ Inlet Transition , $H_I$ = 0.4 $\Delta H_V$ ม.

3) ความลาดสูงสุดของพื้น Inlet และ Outlet Transition = 1:4 (max)(ตั้ง:ราบ), Inlet Transition
= 1:6 (max)(ตั้ง:ราบ), Outlet Transition

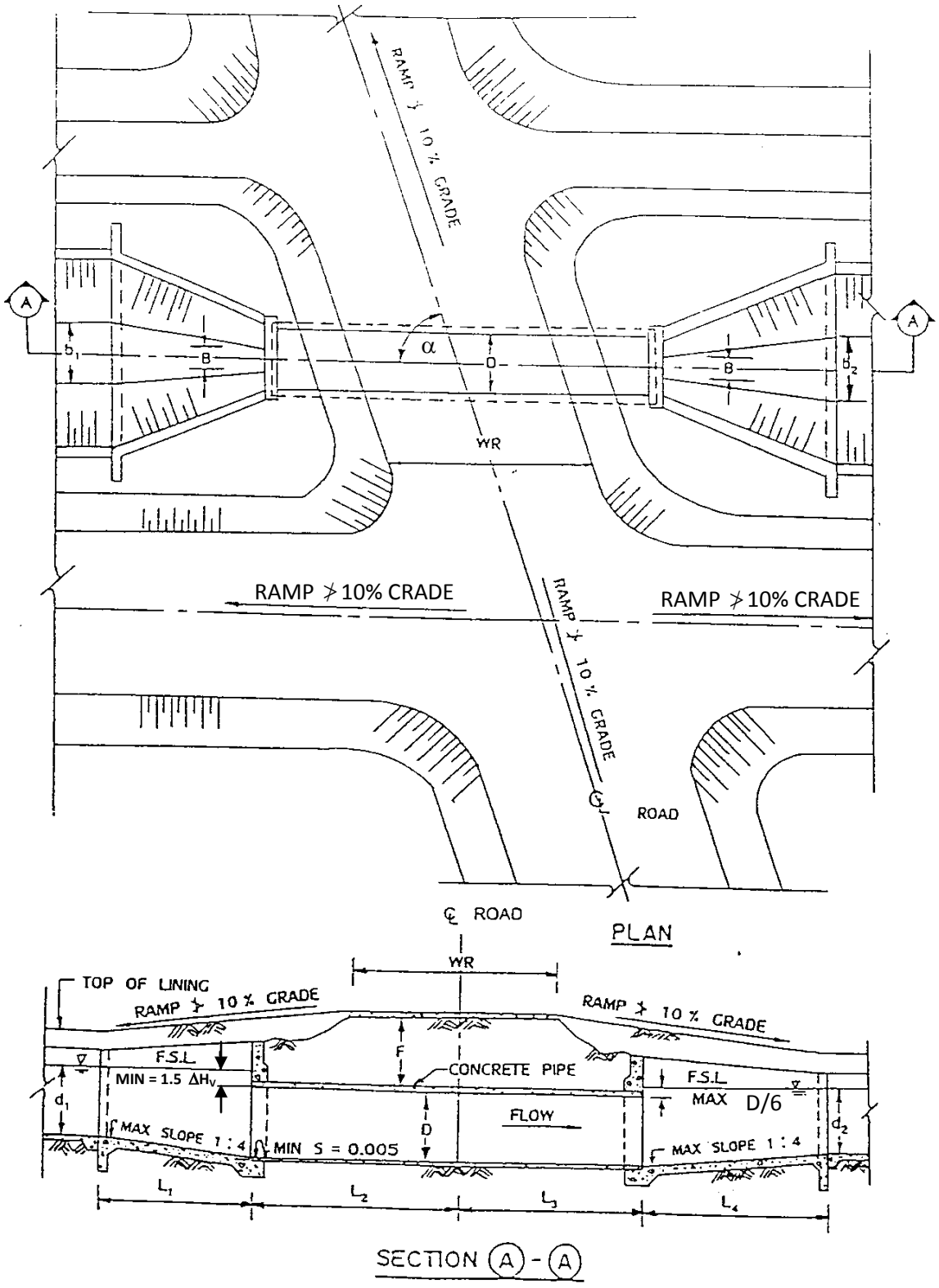
4) ความสูงของน้ำท่วมปากทางเข้าท่ออย่างน้อย = 1.5 $\Delta H_V$ แต่ไม่น้อยกว่า 0.08 ม.

5) ความเร็วสูงสุดในท่อไม่เกิน = 1.5 ม./วินาที

6) Friction Loss ในท่อคำนวณจาก $H_f$ = L x $S_f$
เมื่อ L = ความยาวท่อ, ม.
$S_f$ = $\frac{V^2 n^2}{R^{4/3}}$

7) Divergence loss ที่ Outlet Transition , $H_O$ = 0.7 $\Delta H_V$ ม.

8) สัมประสิทธิ์ความขรุขระ Manning's n = 0.014




**รูปที่ 1-12 ท่อลอดถนน**

9) ระดับพื้นอาคารที่ Inlet = ระดับน้ำใช้การสูงสุด, F.S.L. - (Pipe opening + 1.5 $\Delta H_V$) โดยที่ 1.5 $\Delta H_V$ ไม่น้อยกว่า 0.08 ม.

10) ระยะพันน้ำ (Freeboard) ของอาคารมีเกณฑ์ดังนี้

ระยะพันน้ำที่ Cutoff = ระยะพันน้ำของคลองที่ Cutoff

ระยะพันน้ำที่กำแพงปากท่อ (Headwall) = 1.20 เท่าของระยะพันน้ำของคลองที่ Cutoff

11) ความลึกของน้ำท่วมเหนือปากท่อทางออก (outlet submergence) $\leq \frac{1}{6}$ (Depth of outlet opening) ม.

12) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อไม่เล็กกว่า 0.60 ม.

13) ความลึกและความหนาของ Cutoff ใช้เกณฑ์ดังนี้

| ความลึกของน้ำ (เมตร) | ความลึกของ Cutoff Walls (เมตร) | ความหนาของ Cutoff Walls (เมตร) |
|---|---|---|
| 0 – 1.00 | 0.50 | 0.20 |
| 1.01 – 2.00 | 1.00 | 0.30 |
| 2.01 – 3.00 | 1.50 | 0.40 |
| มากกว่า 3.00 | อย่างน้อย 2.00 | 0.50 |

สำหรับการออกแบบท่อลอดคลองส่งน้ำ (Drain Culvert) มีเกณฑ์กำหนดในการคำนวณออกแบบทางชลศาสตร์ดังต่อไปนี้

1. การประเมินปริมาณน้ำหลาก แบ่งออกเป็น 2 วิธีตามขนาดของพื้นที่ลุ่มน้ำ ดังนี้

ก. กรณีพื้นที่ลุ่มน้ำไม่เกิน 25 ตารางกิโลเมตร

เกณฑ์การคำนวณปริมาณน้ำหลากสำหรับพื้นที่ไม่เกิน 20 ตร.กม. จะใช้สูตร Rational Formula โดยใช้ค่าความเข้มของฝน (Rainfall Intensity) ที่คาบความถี่การเกิดซ้ำ 10 ปี ดังนี้คือ

$$Q = 0.278\ CIA$$

เมื่อ $Q$ = ปริมาณน้ำหลากสูงสุด, ม.$^3$/วินาที

$C$ = ค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่า (Runoff Coefficient)

$I$ = ความเข้มของฝน (Rainfall Intensity), มม./ชม.

$A$ = พื้นที่รับน้ำฝน, ตร.กม.

สำหรับค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่า C อ่านได้จากกราฟแสดงไว้ใน รูปที่ 1-13 ซึ่งจะขึ้นอยู่กับสภาพภูมิประเทศ และความเข้มของฝน (Rainfall Intensity)

ในการหาค่า I ใช้ค่าช่วงเวลา (Duration) เท่ากับ Time of Concentration, Tc ซึ่งขึ้นอยู่กับความยาวของร่องน้ำ, L และความแตกต่างระดับพื้นดินที่จุดออกและจุดไกลสุดของพื้นที่รับน้ำ, H มีสมการดังนี้

$$Tc = (0.87L^3/H)^{0.385}$$

เมื่อ Tc = Time of Concentration, ชั่วโมง

L = ความยาวตามแนวลำน้ำสายใหญ่จากจุดออกจนถึงจุดไกลสุดของพื้นที่รับน้ำ, กม.

H = ความแตกต่างระดับพื้นดินที่จุดออกและจุดไกลสุดของพื้นที่รับน้ำ (ม.)

ข. กรณีพื้นที่ลุ่มน้ำมากกว่า 20 ตารางกิโลเมตร

ในการประเมินปริมาณน้ำหลากสูงสุดสำหรับพื้นที่ลุ่มน้ำมีขนาดโตมากกว่า 20 ตารางกิโลเมตร จะใช้วิธี Unit Hydrograph โดย Snyder

2. Inlet invert ของท่อลอดคลองส่งน้ำกำหนดให้เสมอหรือต่ำกว่าระดับดินเดิมของทางระบายน้ำนั้น หรืออยู่เสมอหรือต่ำกว่าระดับก้นคลองระบายน้ำ

3. ความลาดของท่อลอดคลองส่งน้ำอย่างน้อยที่สุดกำหนดให้เท่ากับ 1:200 และ ความลาดชันที่สุดไม่ชันกว่า Critical Slope แต่ถ้าชันกว่าจะออกแบบให้ท่อวางเป็น 2 ช่วง โดยความลาดของท่อช่วงแรกท้าย Inlet จะกำหนดให้ชันมากกว่า Critical Slope เพื่อให้น้ำไหลสู่ท่อแบบ Free Flow และเป็นแบบ Inlet Control, ส่วนความลาดของท่อก่อนถึง Outlet กำหนดให้ราบได้ถึง 1:200

4. ความเร็วของน้ำในท่อให้อยู่ในเกณฑ์ดังต่อไปนี้

$V \leq 3.00$ ม./วินาที เมื่อมี Concrete Outlet Transition

$V \leq 3.66$ ม./วินาที เมื่อมี Energy Dissipater ที่ Outlet

$V \leq 1.00$ ม./วินาที เมื่อมี Inlet และ Outlet transition เป็นดิน

5. เส้นผ่าศูนย์กลางท่อลอดคลองส่งน้ำ

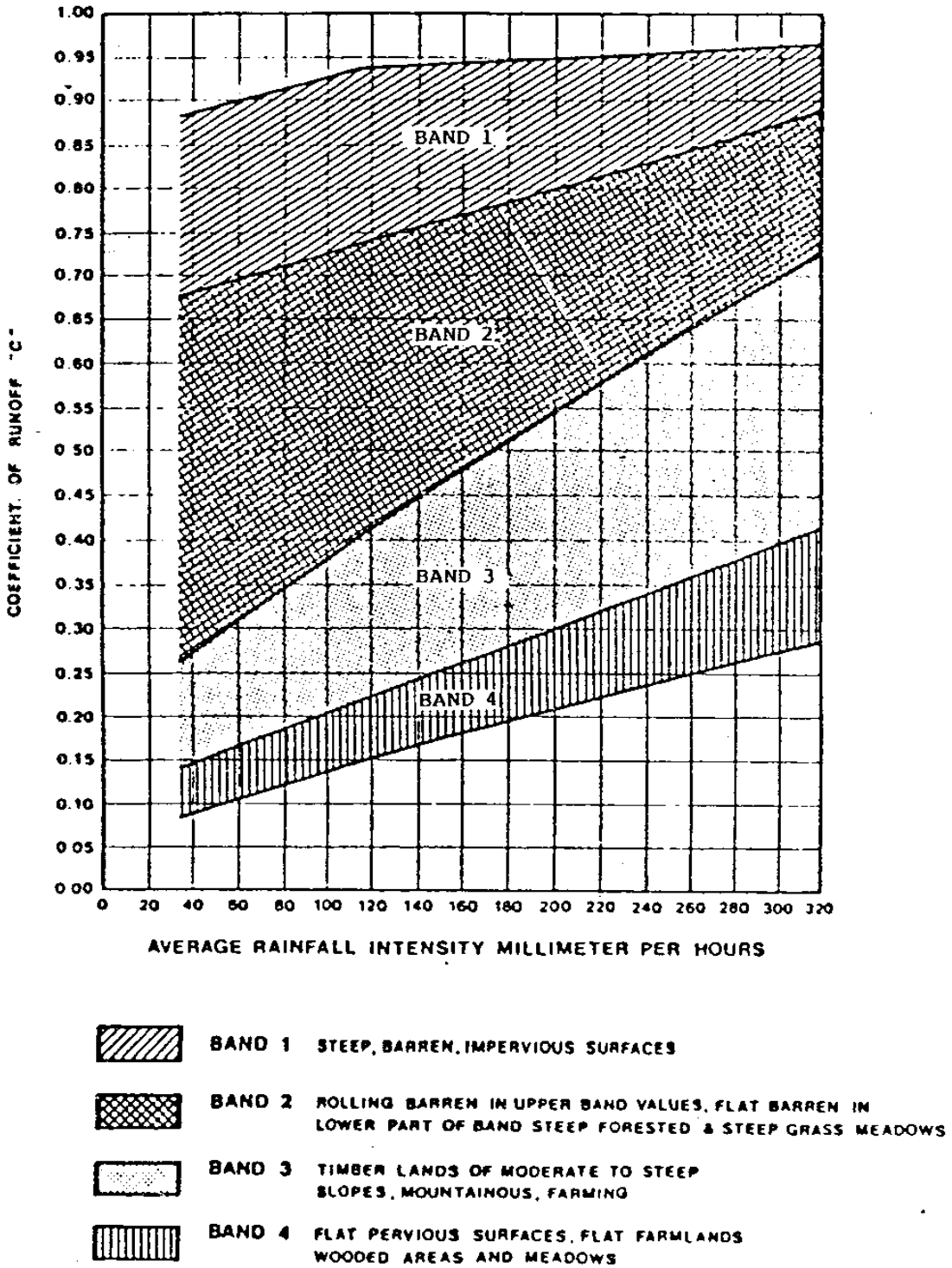
$$D = 1.13\sqrt{Q/V}$$

เมื่อ D = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ , ม.

= ไม่เล็กกว่า 1.00 ม.

Q = ปริมาณน้ำหลากที่ต้องการระบาย, ม.$^3$/วินาที

V = ความเร็วของกระแสน้ำ, ม./วินาที




**รูปที่ 1-13 กราฟสำหรับอ่านค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่า C**

6. Hydraulic Control

ก. Inlet Control เมื่อระดับน้ำด้านหน้าท่อท่วมปากท่อ แต่การไหลของน้ำเป็นแบบไม่เต็มท่อ และระดับน้ำท้ายอาคารอยู่ต่ำไม่กระทบกระเทือนต่อระดับน้ำด้านเหนือน้ำ ตลอดจนความลาดเอียงของท่อส่วนเหนือน้ำช่วงท้าย Inlet ท่อมีความลาดเอียงมากกว่า Critical Slope ความสูงของน้ำที่หน้า Inlet คำนวณจากสูตร Orifice Equation คือ

$$V = C\sqrt{2g\,\Delta H}$$

$$Q = AV$$

เมื่อ $V$ = ความเร็วของน้ำที่ไหลผ่านท่อ, ม./วินาที

$Q$ = อัตราการไหลของน้ำ, ม.$^3$/วินาที

$A$ = พื้นที่หน้าตัดท่อ, ม.$^2$

$C$ = discharge coefficient

$\Delta H$ = ความแตกต่างของระดับน้ำด้านเหนือน้ำกับด้านท้ายน้ำ

ข. Outlet Control เมื่อระดับน้ำท้ายอาคารอยู่สูงจนกระทั่งกระทบกระเทือนต่อระดับน้ำด้านเหนือน้ำ และการไหลของน้ำในท่อ จะคำนวณเพื่อหาค่า Losses ต่างๆ เพื่อแสดงลักษณะของการไหลได้ดังนี้

- Inlet loss ($H_I$)

$$H_I = K_i\ \Delta H_V$$

เมื่อ $\Delta H_V$ = Difference in Velocity head at canal and pipe section, ม.

- Pipe losses ($H_P$)

$$H_P = H_f + H_b$$

เมื่อ $H_f$ = Friction loss คำนวณจากสูตร ของ Manning คือ

$$H_f = S*L$$

$$S = \frac{(V_P)^2 n^2}{R^{4/3}}$$

$n$ = 0.014 for concrete pipe

$S$ = Friction slope of the pipe

$L$ = ความยาวท่อ, ม.

$Vp$ = ความเร็วของกระแสน้ำในท่อ, ม./วินาที

- Bend losses ($H_b$)

$$H_b = \frac{\zeta V_P^2}{2g}$$

- Outlet losses ($H_o$)

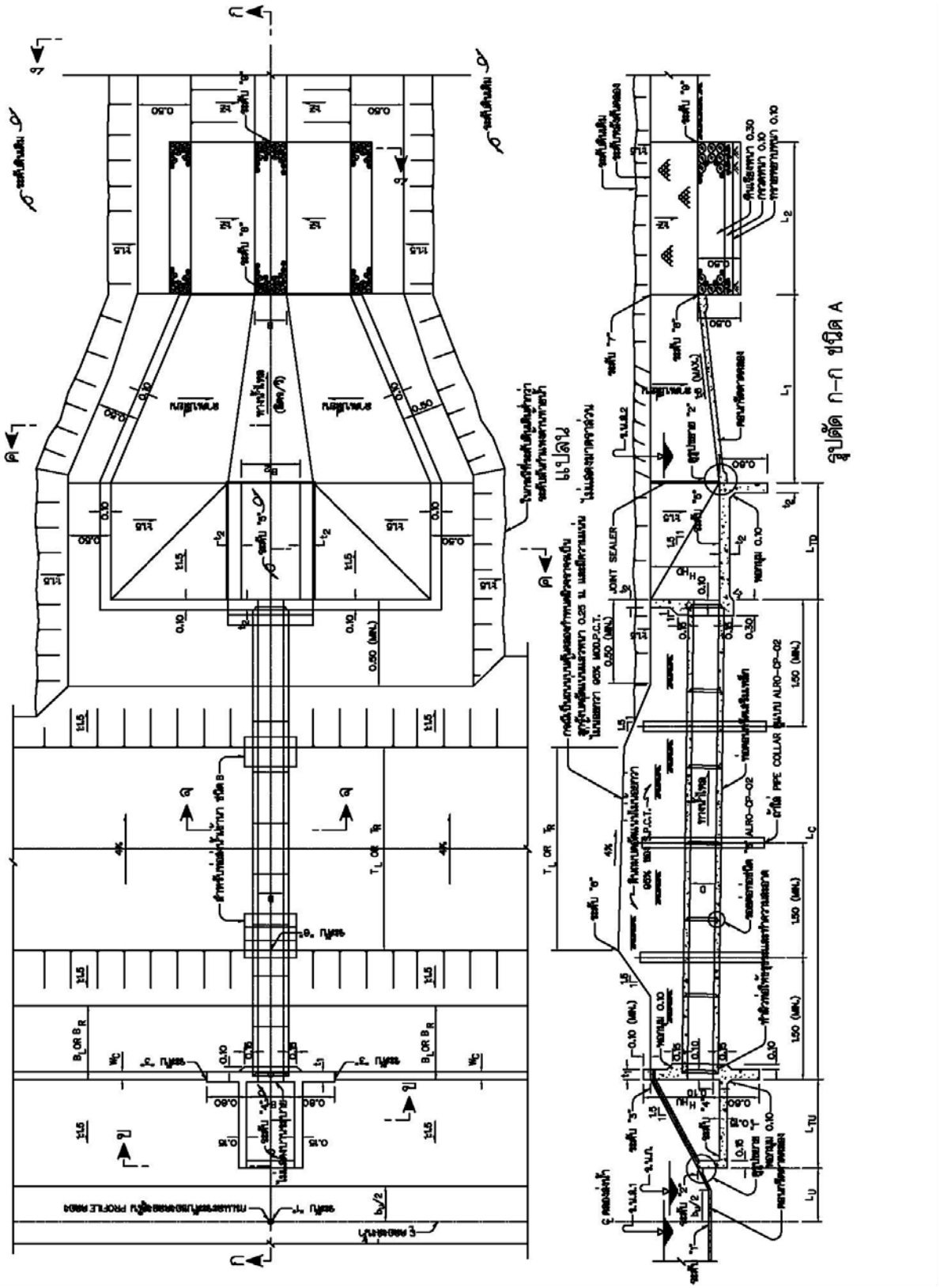
$$H_o = Ko\ \Delta H_V$$

ค่าของ Ki, Ko และ $\zeta$ หาได้จาก หัวข้อที่ 2.2.2 และ 2.2.3 ตามลำดับ

### 1.5 ท่อส่งน้ำเข้านา (Farm Turnout)

ท่อส่งน้ำเข้านาเป็นอาคารเพื่อส่งน้ำจากคลองเข้าไปยังแปลงเพาะปลูกหรือเหมืองซอยขนาดเล็กในระบบชลประทานราษฎร์ให้ได้ตามปริมาณพอดีกับความต้องการใช้น้ำของพืชหรือพอดีสำหรับเตรียมแปลงเพาะปลูก อาคารนี้จะประกอบด้วย ท่อคอนกรีตกลม มีบานระบายแบบ Slide Gate อยู่ด้านหน้า และอาจจะออกแบบอาคารวัดน้ำ (Broad-Crested Weir) เผื่อไว้ให้ทำการก่อสร้างเพิ่มเติมในภายหลังโดยเกษตรกรได้ เมื่อเกษตรกรมีความต้องการควบคุมการใช้น้ำอย่างจริงจังซึ่งได้แสดงไว้ใน รูปที่ 1-14

ในการคำนวณออกแบบ ท่อส่งน้ำเข้านา จะออกแบบเป็น Simple Turnout โดยใช้วิธีการคำนวณเช่นเดียวกันกับท่อระบายปากคลองส่งน้ำ



**รูปที่ 1-14 ท่อส่งน้ำเข้านาแบบท่อตรง**

### 1.6 สะพานน้ำ (Flume)

สะพานน้ำมี 2 ลักษณะที่วางบนพื้นดิน หรืออาจจะเรียกว่า รางน้ำ (Bench Flume) และสะพานน้ำที่วางบนฐานตอม่อ (Elevated Flume) ดังแสดงในรูปที่ 1-15 และ รูปที่ 1-16 ตามลำดับ

ในกรณีคลองส่งน้ำต้องผ่านพื้นที่ลุ่มกว้าง หรือผ่านทางระบายน้ำธรรมชาติขนาดใหญ่ และลึกมาก หรือถ้าระดับน้ำในคลองส่งน้ำค่อนข้างต่ำ ซึ่งเมื่อพิจารณาแล้วว่าไม่เหมาะสมในหลายๆ ด้านที่จะใช้อาคารชนิดอื่น เพราะจะให้ค่าลงทุนการก่อสร้าง และบำรุงรักษาสูง รวมทั้งความมั่นคงของตัวอาคารด้วย

ดังนั้นจึงควรเลือกสะพานน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 1-16 (Elevated Flume) เพื่อให้คลองตัดผ่านพื้นที่ที่มีสภาพดังกล่าว แต่มีข้อจำกัดว่าในฤดูน้ำนอง (Flood) ระดับท้องผิวล่างของรางคอนกรีตต้องสูงไม่น้อยกว่า 0.50 ม. จากระดับน้ำสูงสุดในพื้นที่ลุ่มหรือในทางระบายน้ำนั้น

ส่วนรางน้ำจะออกแบบเพื่อใช้สำหรับลำเลียงน้ำในคลองส่งน้ำลัดเลาะไปตามขอบเนินหรือไหล่เขา เพราะไม่สามารถจะสร้างคลองส่งน้ำรูปสี่เหลี่ยมคางหมูได้

การคำนวณออกแบบทางชลศาสตร์ กำหนดไว้ดังนี้

(1) การไหลของน้ำใน Flume ให้เป็นแบบ Subcritical Flow

(2) สัดส่วนระหว่างความกว้างของ Flume ต่อความลึกของน้ำ , (B/D) กำหนดให้อยู่ระหว่าง 1 ถึง 3

(3) ความลาดของก้น Flume ไม่ควรชันกว่า 1: 500

(4) ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ Manning's n = 0.015

(5) ระยะพ้นน้ำ (Freeboard) ที่ Transition Cut off ต่อกับคลองดาดคอนกรีต จะใช้เท่ากับ Freeboard ของคลองส่งน้ำ ณ ตำแหน่งนั้นๆ

ระยะความลึกของ Cut off ของ Transition ใช้ค่าดังนี้

| **ความลึกของน้ำ ที่ Cutoff (d) , ม.** | **Cutoff wall** | |
|---|---|---|
| | **ความลึกอย่างน้อย , ม.** | **ความหนาอย่างน้อย , ม.** |
| 0.00 – 0.90 | 0.60 | 0.15 |
| 0.91 – 1.80 | 0.75 | 0.20 |
| > 1.80 | 0.90 | 0.20 |

(6) Loss ที่ inlet transition = $0.3\ \Delta H_V$

(7) Loss ที่ outlet transition = $0.5\ \Delta H_V$

(8) Friction loss ใน Flume ($h_f$) = $L \times S_f$

L = Length of Flume , ม.

$S_f$ = Slope of Flume = $\frac{v^2 n^2}{R^{4/3}}$

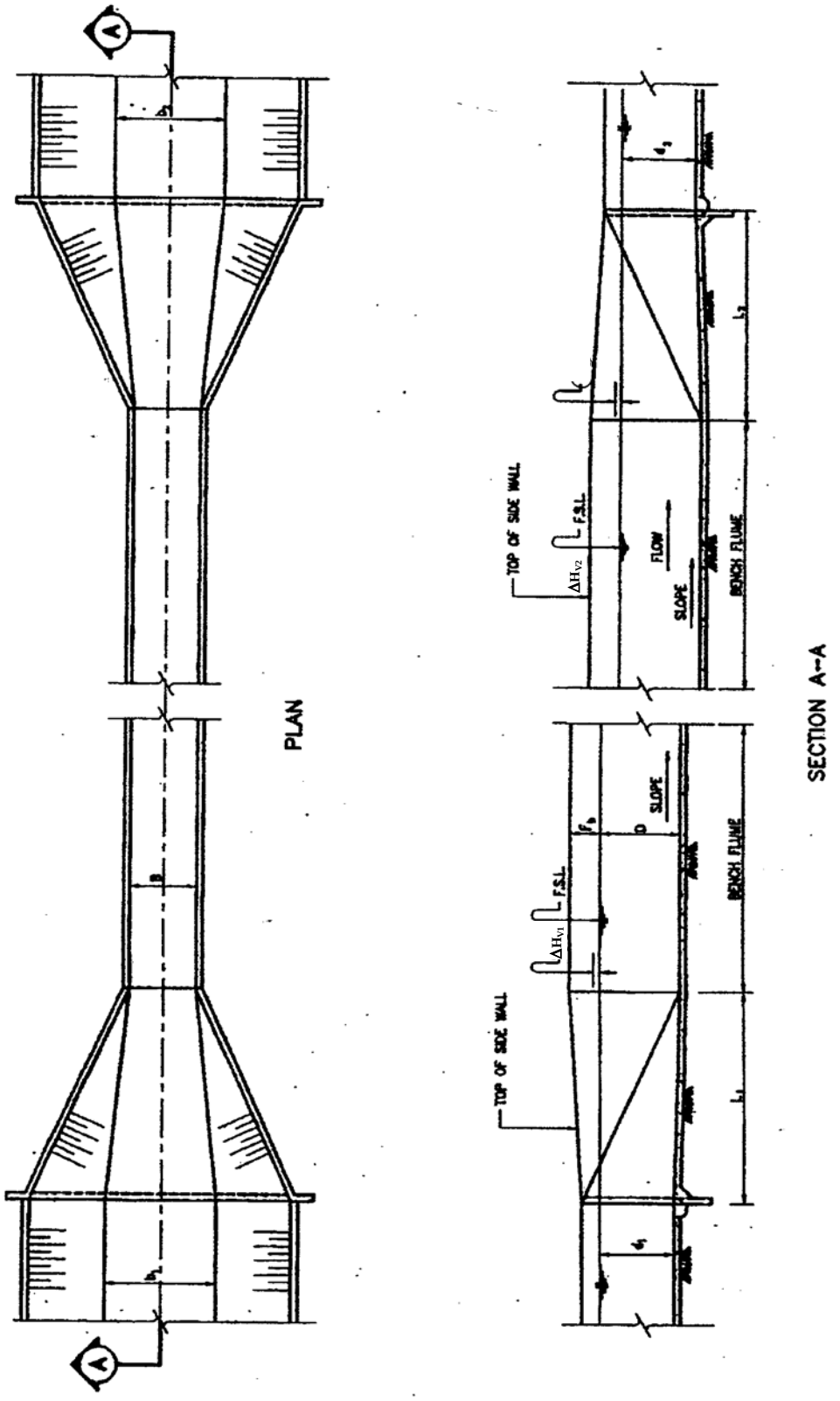
(9) Total headloss ($H_T$) = $0.3\Delta H_V + h_f + 0.5\Delta H_V$

เมื่อ $\Delta H_V$ = Difference in velocity head at canal and flume section , ม.

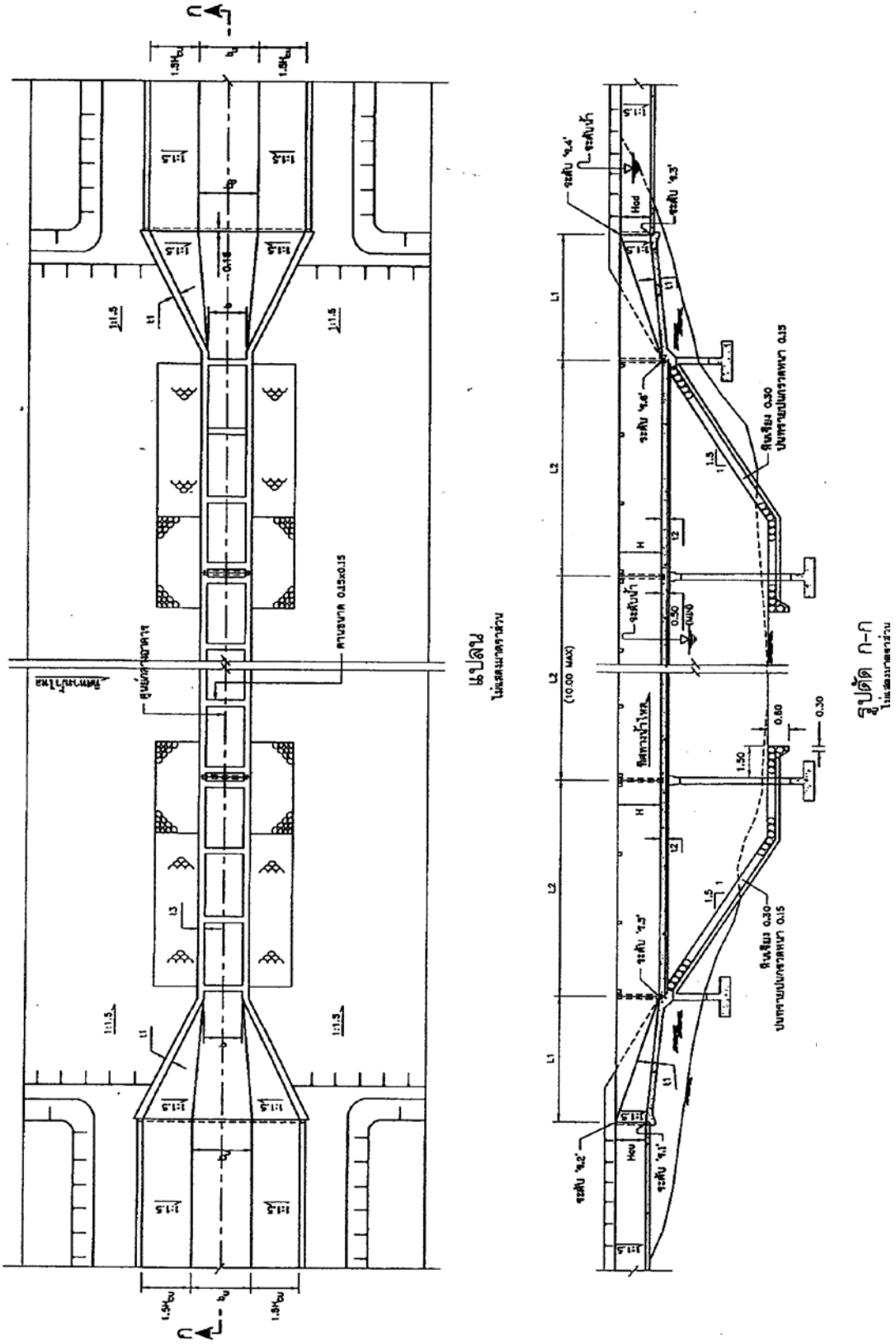
ด้านฐานรากและความมั่นคงของอาคาร

Bench Flume กำหนดให้ดินรองรับอาคารนี้ ต้องเป็นดินหรือหินที่สามารถรับน้ำหนักอาคารและน้ำหนักอื่นๆ ตามที่ออกแบบได้หรือเป็นดินถมบดอัดแน่นไม่น้อยกว่า 95% ของ S.P.C.T

Elevated Flume ช่วง Span ขึ้นอยู่กับสภาพภูมิประเทศ ปริมาณน้ำและอื่นๆ ช่วงต่อของ Span กำหนดให้มีแผ่นยางกันน้ำ




**รูปที่ 1-15 รางน้ำ (Bench Flume)**



**รูปที่ 1-16 สะพานน้ำ (Elevated Flume)**

## 1.7 อาคารระบายน้ำล้นข้างคลอง (Side Channel Spillway)

ในการออกแบบอาคารระบายน้ำล้นข้างคลอง (Side Channel Spillway) ดังแสดงในรูปที่ 1-17 มีเกณฑ์ในการคำนวณออกแบบทางชลศาสตร์ ดังต่อไปนี้

1) การไหลล้นสันระบายน้ำ (Overflow Crest) สันของ Spillway จะต้องอยู่ในแนวราบ และสูงกว่า ร.น.ส. ประมาณ 5-10 ซม. เพื่อไม่ให้เกิดความสูญเปล่าของน้ำโดยไม่จำเป็นจากการเกิดคลื่นตามปกติ เพื่อให้มีความปลอดภัยจากที่น้ำไหลท่วมหลังคันคลองอย่างเพียงพอ ระดับของผิวน้ำสูงสุดที่ยอมให้เกิดเข้ามาได้ในส่วน Freeboard ของคลอง ประมาณ 50% ของ Freeboard คลองส่งน้ำ

ความยาวของสันฝาย จะคำนวณหาได้โดยใช้สูตรของฝายชนิด Standard Suppressed Rectangular คือ

$$Q = 1.84\ LH^{1.5}$$

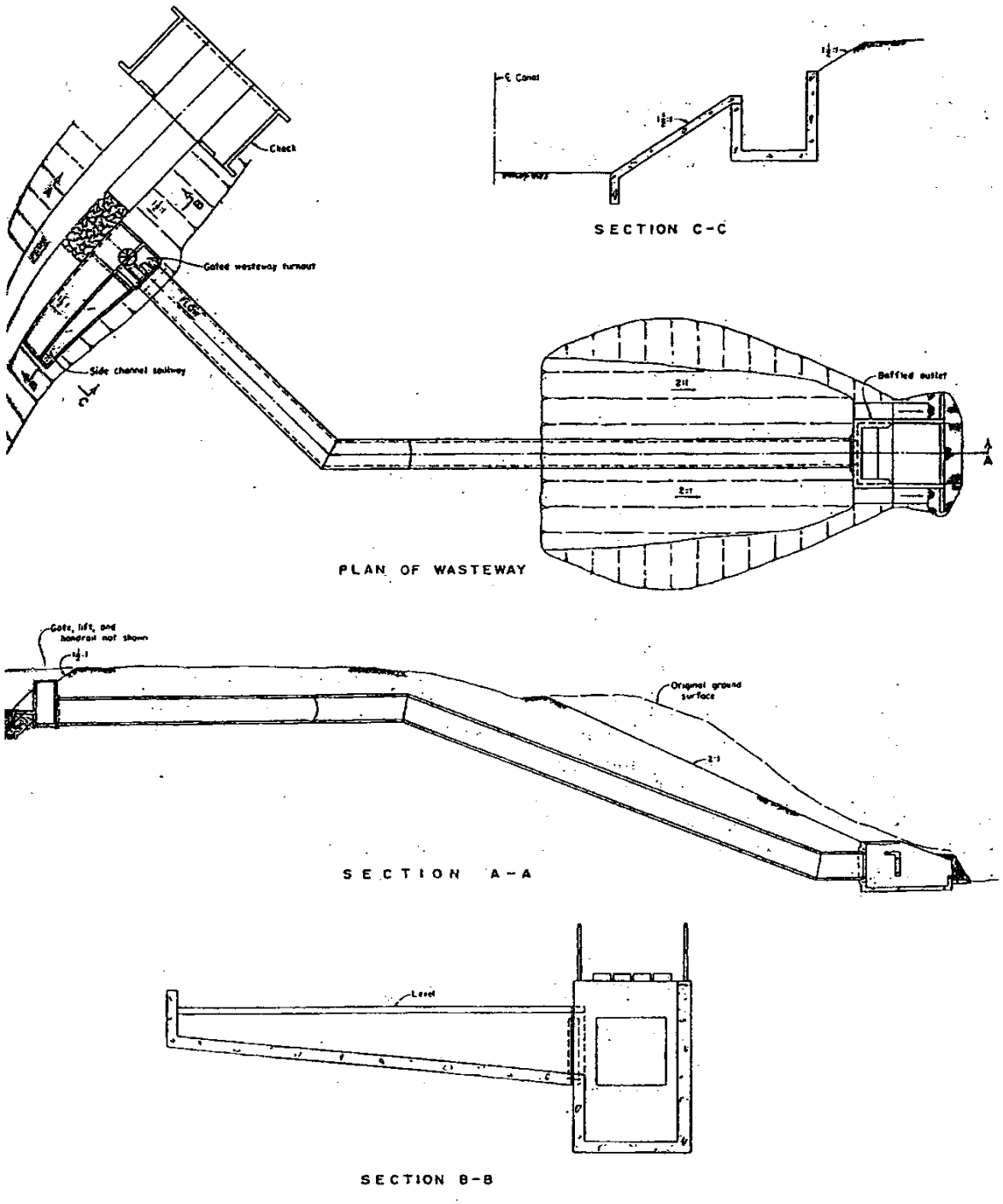
โดย L = ความยาวสันฝาย , ม.

H = ความสูงของน้ำเหนือสันฝาย , ม.

Q = ปริมาณน้ำไหลข้ามสันฝาย , ม.$^3$/วินาที

2) ทางระบายด้านข้าง (Side Channel) ตามปกติรางด้านข้างจะมีรูปตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าความกว้าง ความลึก และลาดจะต้องพอเหมาะที่จะให้การไหลของน้ำมีลักษณะเป็น Free Flow เนื่องจากอาจจะมีต้นหญ้า และขยะลอยมากับน้ำด้วย อีกทั้งมีขนาดที่สามารถก่อสร้างได้โดยสะดวก ความกว้างที่เหมาะสมจะต้องค่อยๆ เปลี่ยนไปจากประมาณ 60 ซม. ที่ปลายด้านเหนือน้ำจนประมาณ 1.20 ม. ที่ปลายด้านท้ายน้ำ ยกเว้นเมื่อปริมาณน้ำไม่เกิน 1.50 ม.$^3$/วินาที ความกว้างที่ปลายด้านท้ายน้ำประมาณ 90 ซม. ก็เพียงพอแล้วในบางสภาพการทำความกว้างของรางคงที่อาจเป็นที่เหมาะสม เพื่อแน่ใจว่าการไหลของน้ำผ่าน Spillway เข้าสู่รางด้านข้าง จะเป็นไปอย่างอิสระ ระดับของผิวน้ำในรางจะต้องอยู่ต่ำกว่าสันของ Spillway เพื่อให้เป็นไปตามที่ต้องการนี้ จะทำได้โดยกำหนดให้ระดับพื้นรางที่ปลายทางด้านท้ายน้ำอยู่ต่ำกว่าสันฝายเป็นระยะเท่ากับ Specific Energy บวกกับ 30 ซม. โดยขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำเมื่อการไหลเต็มที่ ตามที่กำหนดไว้ในการออกแบบ และสมมติการไหลของน้ำในรางเป็น Critical Flow ดังนั้น Specific Energy จะเท่ากับ Critical Depth บวกกับ Velocity Head ($D_c + hv_c$) ซึ่งสำหรับรางเทที่มีรูปตัดขวางเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าแล้ว Specific Energy จะเท่ากับ 1.5 $d_c$ ฉะนั้นความสูงของกำแพงด้านท้ายน้ำอย่างน้อยที่สุดต้องเป็น 1.5 $d_c$

ลาดของพื้นรางจะต้องเอียงพอที่จะทำให้การไหลของน้ำลงสู่ Pool เป็นไปในลักษณะ Super Critical อย่างไรก็ตาม การที่น้ำไหลเข้าสู่รางด้านข้างโดยผ่านสันของ Spillway ทำให้เกิดการอืดตัวของน้ำ (Bulking) ดังนั้นความลาดเอียงของพื้นจะต้องกำหนดไว้ให้ชันกว่า Critical Slope ความลาดเอียงที่มักใช้กันมากคือ 1:20 (ด้านตั้ง : ด้านราบ)




**รูปที่ 1-17 อาคารระบายน้ำล้นข้างคลอง (Side Channel Spilway)**

3) บานระบายน้ำ (Wasteway Turnout Gate)

ตามปกติแล้วการใช้บานระบายเพื่อการทิ้งน้ำจากคลอง ก็ต่อเมื่อต้องการระบายน้ำออกจากคลองให้หมด การที่จะทำให้ส่วนของคลองท้ายน้ำลงไปไม่มีน้ำอยู่เลยนั้น ปริมาณน้ำของคลองที่ได้ออกแบบไว้จะต้องไหลผ่านบานของทางทิ้งน้ำนี้ได้ โดยที่ไม่มีการไหลข้ามบานของ Check ด้านท้ายน้ำหรือเข้าสู่รางด้านข้าง เพื่อที่จะให้ปริมาณน้ำที่กำหนดไว้ของคลองไหลผ่านทางทิ้งน้ำเป็นครั้งคราวเช่นนี้ การที่จะกำหนดขนาดพื้นที่ของบานจะทำได้โดยกำหนดให้ความเร็วของน้ำที่ไหลผ่านช่องบานเท่ากับ 3 ม./วินาที ซึ่งเมื่อได้ขนาดของบานจากการกำหนดความเร็วดังกล่าวแล้ว ก็จะต้องกำหนดให้มี Head อย่างเพียงพอโดยใช้สมการของช่องเปิด (Ofifice)

$$Q = CA\sqrt{2gh}$$

4) อ่างรับน้ำ (Pool)

เพื่อให้การไหลของน้ำผ่านบาน หรือจากรางน้ำด้านข้างเป็นไปในลักษณะของการไหลอย่างอิสระ (Free Flow) พื้นของบ่อจะต้องอยู่ต่ำเพียงพอ ที่ระดับผิวน้ำในบ่ออยู่ไม่สูงเกินแนวศูนย์กลางของบาน และประมาณไม่สูงกว่าพื้นของรางด้านข้าง ถ้าการไหลของน้ำนี้เป็นไปโดยการใช้ท่อ ส่วนบนสุดของท่อจะต้องจมอยู่ใต้น้ำไม่น้อยกว่า $1.5H_{VP}$ เมื่อให้ Entrance Loss เป็น $0.5H_{VP}$ และ Pipe Velocity Head เป็น $H_{VP}$

5) ท่อ (Pipe)

อาคารทิ้งน้ำส่วนมากประกอบด้วย ท่อ ต่อออกจากบ่อรับน้ำลอดใต้ถนนบนคันคลองเข้าสู่ส่วน Outlet ขนาดของท่อไม่ควรเล็กกว่า 60 ซม. เพราะในน้ำที่ระบายทิ้งนั้นมีเศษหญ้าหรือขยะลอยปะปนมาด้วย หากส่วน Outlet เป็นชนิดทำด้วยคอนกรีต การหาขนาดของท่อจะทำได้โดยถือว่าความเร็วสูงสุดที่ยอมให้เป็น 3.00 ม./วินาที เมื่อเป็นการไหลเต็มท่อ ลาดของพื้นท่อควรใช้ประมาณ 0.001 เพื่อที่จะระบายน้ำออกได้หมดโดยไม่ทำให้เกิดการไหลเป็นลักษณะ Supercritical หากต่อท่อกับ Baffled Outlet การหาขนาดท่อจะต้องถือว่าความเร็วสูงสุดที่ยอมให้เป็น 3.60 ม./วินาที เมื่อเป็นการไหลเต็มท่อ ลาดของท่ออาจทำได้ชันถึง 1:1.5 เมื่อมีการออกแบบอย่างอื่นที่เหมาะสม

6) อาคารปากทางทิ้งน้ำ (Wasteway Outlet Structure)

การเลือกชนิดของส่วน Outlet ขึ้นอยู่กับสภาพภูมิศาสตร์ หากพลังงานส่วนเกินมีไม่มากควรใช้ Transition ชนิด Type 2 ตามแบบของ U.S.B.R. เพื่อการป้องกันการกัดเซาะของช่องทางที่ใช้เพื่อการทิ้งน้ำ หากพบว่าสมควรที่จะมีการลดระดับลง พลังงานส่วนที่เกินจะต้องถูกทำให้สลายโดยการใช้ Pipe Drop, Baffled Outlet, Baffled Apron Drop หรือ Stilling Pool

### 1.8 อาคารรับน้ำข้ามคลอง (Overchute)

ในกรณีที่คลองส่งน้ำชลประทานตัดผ่านกับลำน้ำธรรมชาติ และระดับก้นร่องน้ำธรรมชาติสูงกว่าระดับผิวน้ำในคลองชลประทาน หากไม่ต้องการที่จะนำน้ำธรรมชาติเข้าสู่คลองชลประทาน ก็จะมีอาคารรับน้ำข้ามคลอง (Overchute) เพื่อรับน้ำดังกล่าวข้ามคลองชลประทานไป ลักษณะของ Overchute นี้ การออกแบบเหมือนกับสะพานน้ำ (Flume) ดังแสดงในรูปที่ 1-18

1) ระยะ Clearance ต่ำสุดระหว่าง ร.น.ส. ของคลองส่งน้ำกับระดับท้องของพื้น Overchute เท่ากับ 0.30 ม.

2) ระยะ Clearance ต่ำสุดระหว่างระดับน้ำในราง Overchute กับระดับหลังคันคลอง เท่ากับ 0.60 ม.

3) อาคารทางเข้า (Inlet) ใช้ตามมาตรฐาน Concrete Transition ของ Design of Small Canal Structures (U.S.B.R.)

4) อาคารทางออก (Outlet) มีเกณฑ์การใช้ดังนี้

- ความลาดพื้น Overchute มีค่าน้อย (Flat Slope) จะใช้อาคารทางออกเป็นแบบ Standard Outlet Transition ของ U.S.B.R. แบบ Broken Back Transition

- ความลาดพื้น Overchute มีค่าชันมาก (Steep Slope) จนทำให้ความเร็วของน้ำในราง Overchute มีค่ามากกว่า 6 ม./วินาที อาคารทางออกจะต้องมีอาคารสลายพลังงาน เช่น Stilling Pool หรือ Baffled Apron

5) ลักษณะการออกแบบทางชลศาสตร์อื่นๆ เหมือนกับการออกแบบสะพานน้ำ

### 1.9 อาคารรับน้ำเข้าคลอง (Drain Inlet)

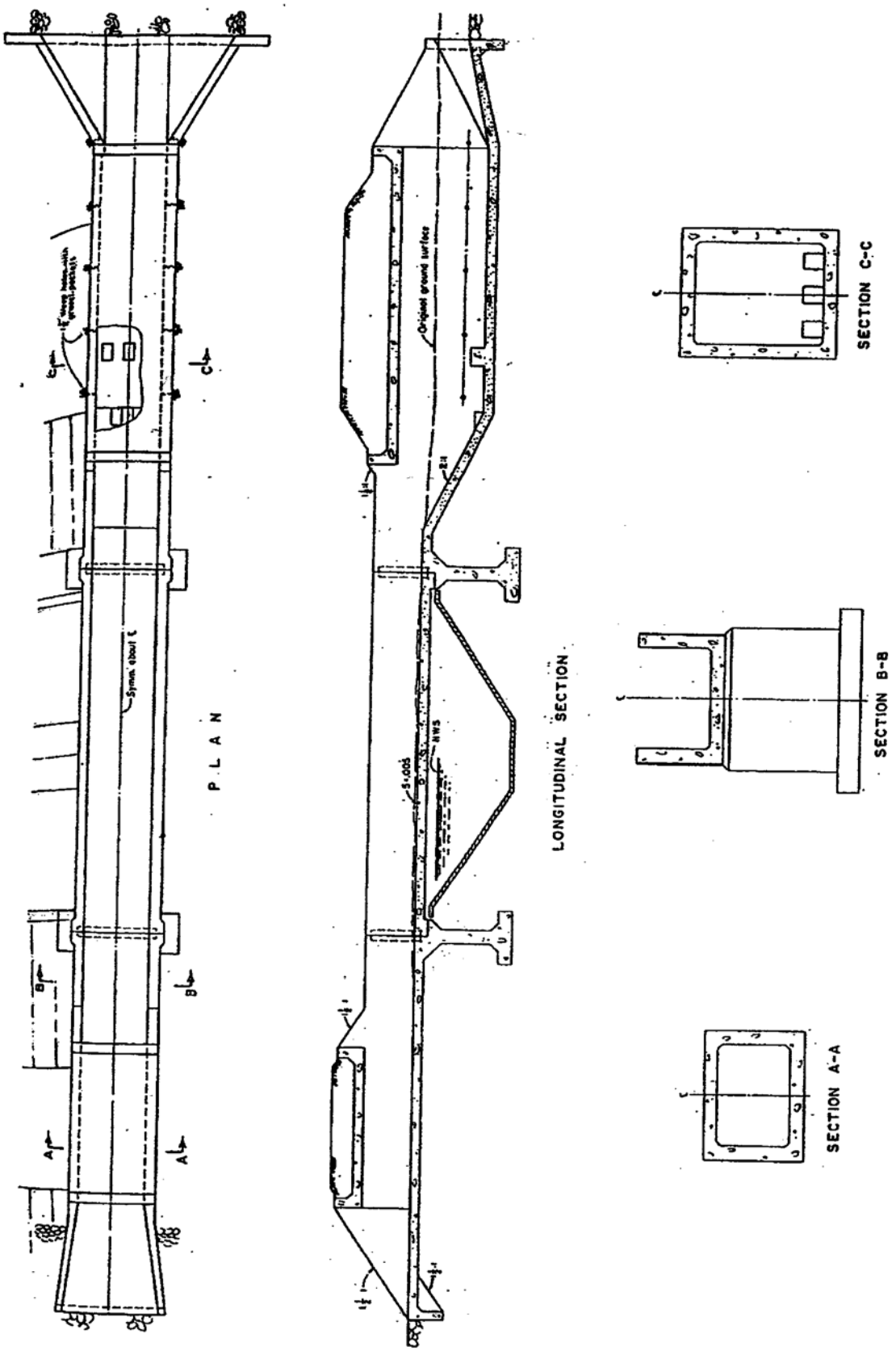
ในกรณีที่ร่องน้ำหรือลำน้ำเล็กๆ ไหลตัดผ่านคลองส่งน้ำ และมีปริมาณน้ำไม่มากนัก พอที่จะไม่ทำอันตรายแก่คลองส่งน้ำได้ มักจะสร้างอาคารรับน้ำเข้าคลอง (Drain Inlet) เพื่อรับน้ำจำนวนนั้นเข้าสู่คลองส่งน้ำ เพื่อประโยชน์ในการเพิ่มปริมาณน้ำให้แก่ คลองส่งน้ำ ซึ่งในการออกแบบอาจจะเลือกใช้ Drain Inlet ชนิดท่อ เนื่องจากคลองส่งน้ำในโครงการส่วนมากมีขนาดคลองเล็ก สามารถรับน้ำเข้าคลองได้ไม่มาก ดังนั้นการเลือกใช้เป็นชนิดท่อจึงเหมาะสมที่จะใช้ในโครงการ ดังแสดงในรูปที่ 1-19

1) Inlet Transition จะใช้เป็นชนิด Earth Inlet Trancition

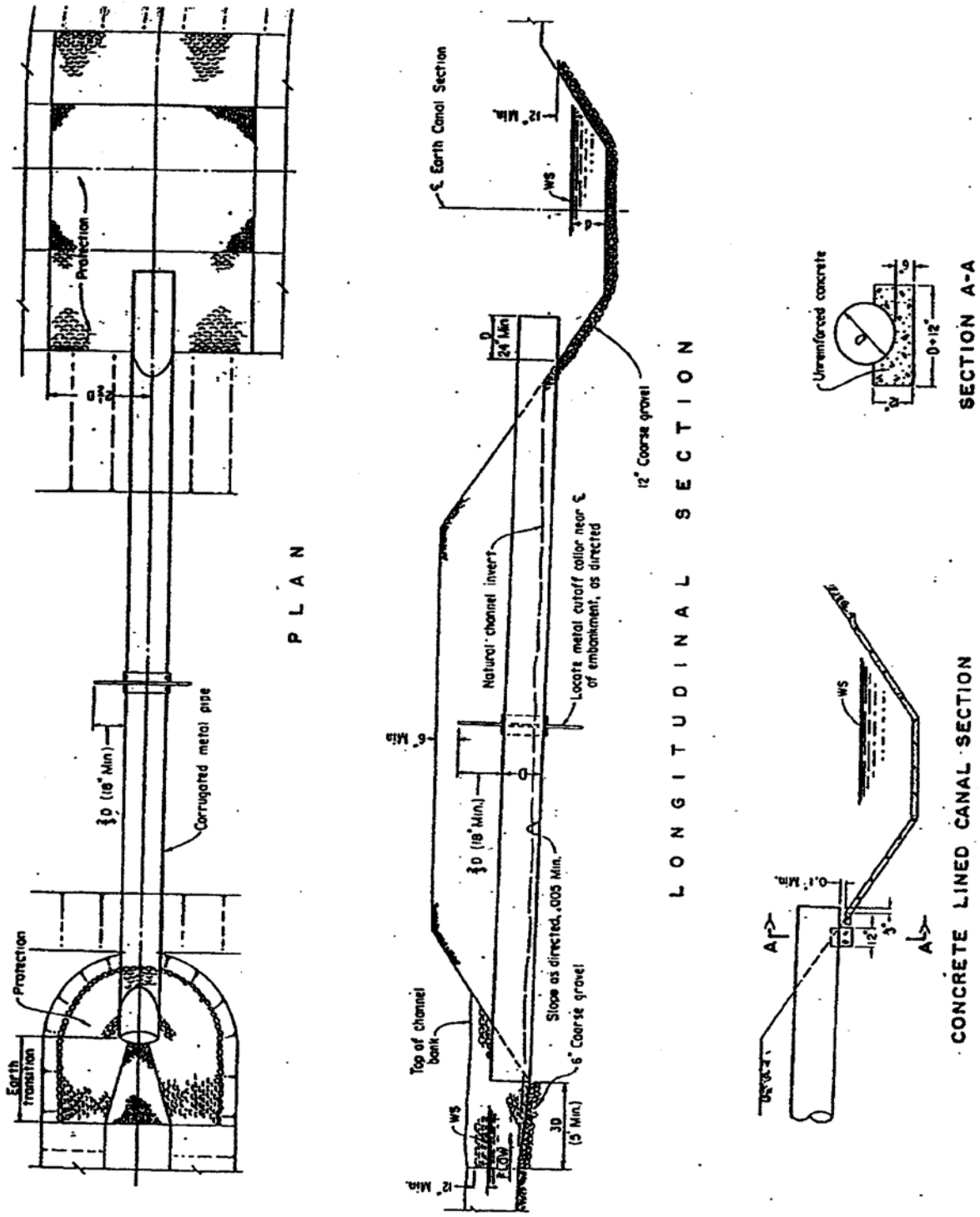
2) ความสูงของน้ำท่วมปากทางเข้าท่อ (อย่างน้อย) = 1.5 $\Delta H_V$ แต่ไม่น้อยกว่า 0.08 ม.

3) ลาดความชันของการวางท่อต้องราบกว่า Critical Slope

4) ความเร็วของน้ำในท่อออกแบบต้องไม่เกิน 1.5 ม./วินาที




**รูปที่ 1-18 อาคารรับน้ำข้ามคลอง (Overchute)**




**รูปที่ 1-19 อาคารรับน้ำเข้าคลอง (Drain Inlet)**

5) ขนาดท่อที่เล็กที่สุดใช้ = 0.50 ม.

และคำนวณหาจากสมการ

$$D = 1.128\sqrt{\frac{Q}{V}}$$

โดย D = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ, ม.

Q = ปริมาณน้ำหลาก , ม.$^3$/วินาที

V = ความเร็วของน้ำภายในท่อ , ม./วินาที

6) ระยะ Clearance ต่ำสุดของระดับหลังท่อกับระดับหลังคันคลอง = 0.60 ม.

7) ระดับของปลายท่อทางด้านท้ายน้ำต้องอยู่สูงกว่าขอบของ Concrete Lining ของคลองส่งน้ำ

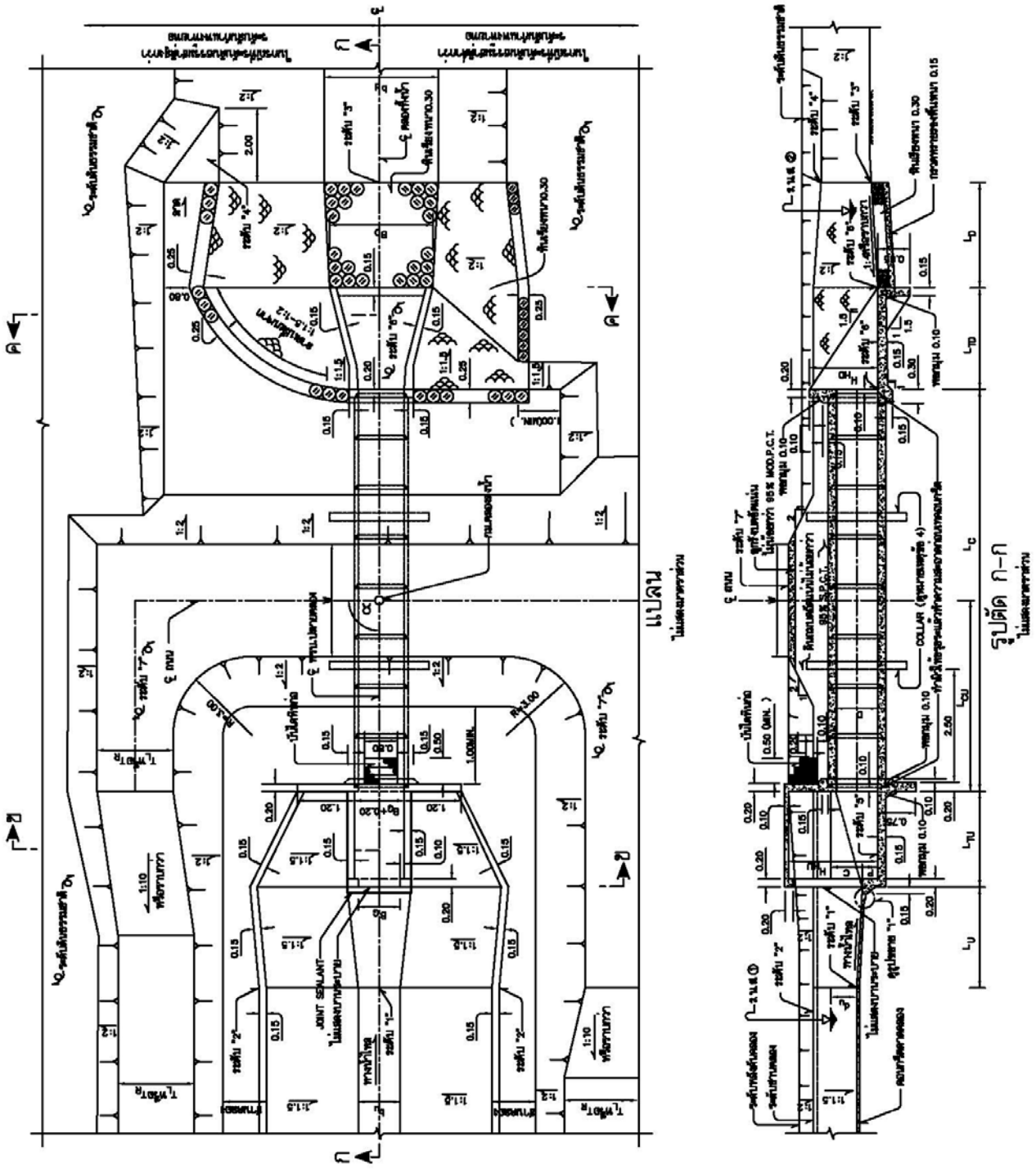
8) ปลายท่อด้านท้ายน้ำต้องยื่นออกจากขอบของคันคลองส่งน้ำ (อย่างน้อย) = D (ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ)

9) ลักษณะการออกแบบทางชลศาสตร์ เหมือนกับการออกแบบท่อลอดถนน

### 1.10 อาคารท่อระบายปลายคลองส่งน้ำ (Tail Regulator)

อาคารปลายคลองมีไว้สำหรับงานส่งน้ำ และบำรุงรักษา เพื่อทำหน้าที่เป็นอาคารอัดน้ำให้เข้า F.T.O. หรือเข้าอาคารตัวอื่นทางด้านเหนือน้ำ และยังเป็นอาคารระบายน้ำออกจากคลอง เมื่อต้องการซ่อมแซมหรือบำรุงรักษาคลองด้วย ดังนั้นจึงเลือกอาคารดังแสดงใน รูปที่ 1-20 ซึ่งประกอบไปด้วยบานระบายแบบ Slide Gate สำหรับอัดน้ำและระบายน้ำ และท่อคอนกรีตกลมสำหรับระบายน้ำไปยังร่องน้ำซึ่งจะต้องขุดต่อไปจนถึงคลองระบายธรรมชาติ

ในการคำนวณออกแบบท่อระบายปลายคลองส่งน้ำมีเกณฑ์การคำนวณเช่นเดียวกับท่อลอดถนนที่มีอาคารอัดน้ำเป็นแบบ Check and Pipe Inlet โดยปริมาณน้ำที่ใช้ในการออกแบบเป็นปริมาณน้ำของคลองส่งน้ำตั้งแต่อาคารอัดน้ำ (Check) แห่งสุดท้ายจนถึงอาคารระบายปลายคลอง แต่ทั้งนี้ขนาดของท่อระบายปลายคลองควรมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 0.60 เมตร



**รูปที่ 1-20 อาคารท่อระบายปลายคลองส่งน้ำ (Tail Regulator)**

## 2. การออกแบบทางชลศาสตร์และความมั่นคงของอาคาร

### 2.1 ทั่วไป

ตามประเภทและรูปแบบของอาคารชลประทานต่างๆ นั้น จะต้องมีการตรวจสอบทางชลศาสตร์เพื่อที่อาคารจะสามารถระบายน้ำได้เพียงพอกับความต้องการและต้องตรวจสอบความมั่นคงของอาคารเพื่อความปลอดภัยและความมั่นคง ดังต่อไปนี้

(1) สำหรับอาคารชลประทาน (Conveyance Structure) ต้องมีการตรวจสอบขนาดให้พอเพียงกับปริมาณน้ำสูงสุดไหลผ่าน ซึ่งจะต้องเท่ากับปริมาณน้ำที่ใช้ในการออกแบบ ทั้งนี้เพื่อรักษาสภาพการไหลของน้ำให้อยู่ในสภาพปกติ

(2) ต้องตรวจสอบการออกแบบส่วนประกอบอาคารในส่วนที่เป็นกำแพงสำหรับน้ำไหลข้ามโดยไม่ให้เกิดความเสียหายและรักษาระดับน้ำในคลองให้อยู่ในเกณฑ์ความปลอดภัยในกรณีเกิดเหตุฉุกเฉินหรือเกิดจากการควบคุมการส่งน้ำผิดพลาด

(3) อาคารต้องมีความต้านทานต่อการพลิกคว่ำ (Overturning) โดยมีสัดส่วนความปลอดภัย 2.00 สำหรับสภาพปกติ (ไม่มีแรงเนื่องจากแผ่นดินไหว)

(4) อาคารต้องมีความต้านทานต่อการเลื่อนไหล (Sliding) โดยมีสัดส่วนความปลอดภัย 1.50 สำหรับสภาพปกติ (ไม่มีแรงเนื่องจากแผ่นดินไหว)

(5) อาคารต้องมีความต้านทานการลอยตัว (Floating) โดยมีสัดส่วนความปลอดภัย 1.30

(6) ใต้พื้น และด้านข้างอาคารต้องไม่เกิดแรงดันน้ำมากเกินกำหนดจนเป็นเหตุให้น้ำพัดพาเอาเม็ดดินหลุดหนีไป (Piping) และเกิดการกัดเซาะจนเป็นโพรงภายใต้พื้นอาคาร (Undermining)

(7) ในกรณีที่ต้องใช้วัสดุกรอง (Filter Material) เพื่อป้องกัน Piping วัสดุกรองจะต้องมีคุณสมบัติดังนี้

(ก) Permeability ของวัสดุกรองต้องมีมากกว่า Permeability ของวัสดุที่จะถูกกรองหรือจะถูกป้องกันไม่ให้เกิด Piping

(ข) ความพรุน (Pores) ของวัสดุกรองจะมีการวิเคราะห์หาลำดับขนาดส่วนคละ (Gradation) เพื่อป้องกันไม่ให้เม็ดของวัสดุพื้นฐานรากถูกพัดพาหลุดผ่านวัสดุกรองออกไปได้ หรือเกิดการอุดตัน

(ค) ความหนาของวัสดุกรองต้องหนาเพียงพอสำหรับให้วัสดุนั้นจัดเรียงส่วนคละ (Gradation) ในตัวของมันเองได้ดีด้วย

หน่วยที่ใช้ในการคำนวณด้านชลศาสตร์ที่กล่าวถึงในบทนี้ จะใช้ระบบเมตริก ยกเว้นบางสูตรที่ใช้ระบบอังกฤษก็จะระบุหน่วยที่ใช้อธิบายไว้ด้วย

## 2.2 Hydraulic Head Loss

Losses ต่างๆ ที่จะนำมาพิจารณาในการออกแบบจะคิดเฉพาะ Loss ที่สำคัญๆ โดยทั่วไปจะพิจารณาดังต่อไปนี้

(1) Friction Loss

จะใช้สูตร Manning สำหรับคำนวณโดยให้ Manning's n = 0.016 สำหรับคอนกรีตที่หล่อกับที่และ n = 0.014 สำหรับท่อคอนกรีตหล่อสำเร็จ (Precast Concrete) สำหรับคอนกรีตดาดคลอง n = 0.018

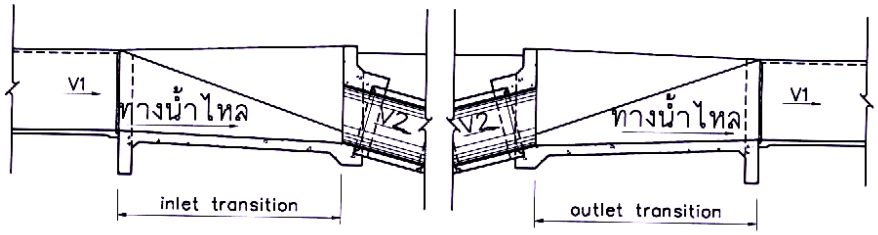
(2) Transition Loss

โดยทั่วไปอาคารที่ใช้สำหรับระบบส่งน้ำชลประทานจะมี Transition สำคัญๆ สองส่วนที่ต้องคำนวณหา Loss ได้แก่ ทางน้ำไหลเข้า (Inlet Transition) กับทางน้ำไหลออก (Outlet Transition) ซึ่ง Transition เหล่านี้จะต้องพิจารณาถึงรูปร่างลักษณะต่างๆ ที่จะนำมาใช้ในการออกแบบเพราะ Transition แต่ละลักษณะจะมีผลทำให้เกิด Loss มากหรือน้อยต่างกัน ดังนั้นการคำนวณหา Losses (ยกเว้น Friction Loss เพราะมีค่าน้อยมาก) ใน Transitions จะใช้ค่า Inlet Coefficient (Ki) และ Outlet Coefficient (Ko) ตามลักษณะของ Transition ต่อไปนี้เป็นตัวคูณกับความแตกต่างของ Velocity Head ณ ที่จุดปลาย Transition ต่อกับคลองและ ณ ที่จุดต่อกับปากท่ออีกจุดหนึ่ง

| **ชนิดหรือลักษณะ Transition-Closed Conduit** | **Ki** | **Ko** |
|---|---|---|
| Broken Back - หน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า | 0.30 | 0.50 |
| Broken Back - ท่อกลมหรือท่อสี่เหลี่ยมผืนผ้า | 0.40 | 0.70 |
| คลองรูปสี่เหลี่ยมคางหมู - ท่อกลม | 0.50 | 1.00 |
| Through – The bank | 0.78 | 1.00 |

$$\text{Transition Loss (Inlet)} = \text{Ki} \left( \frac{V_2^2}{2g} - \frac{V_1^2}{2g} \right)$$

$$\text{Transition Loss (Outlet)} = \text{Ko} \left( \frac{V_2^2}{2g} - \frac{V_1^2}{2g} \right)$$



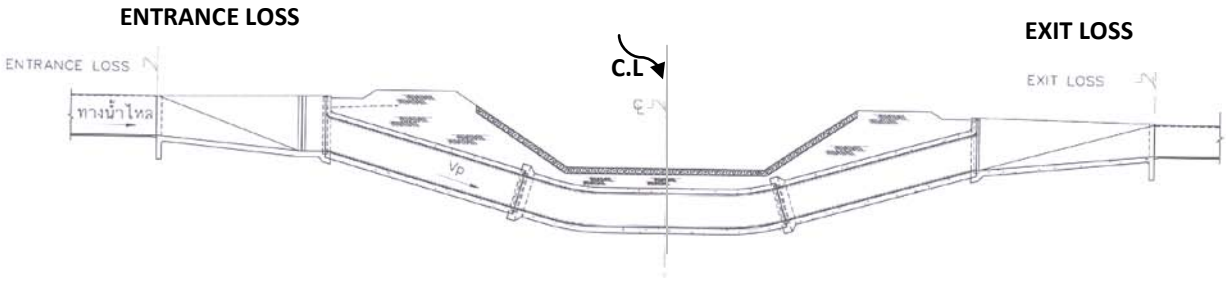
(3) Bend Loss

Loss เนื่องจากการหักเหหรือการเปลี่ยนทิศทางการไหลของน้ำในท่อ คำนวณได้จากสูตร $H_b = \zeta \frac{V_p^2}{2g}$ ซึ่ง $\zeta$ จะหาได้จากรูปที่ 2-1

(4) Losses ที่จะต้องเผื่อไว้เพื่อความปลอดภัย

(ก) ตามปกติในการออกแบบจะมีการเผื่อ Hydraulic Head Loss ไว้อีก 10 เปอร์เซ็นต์ของผลรวม Losses ทั้งหลายของส่วนต่างๆ ในอาคารนั้นๆ

(ข) ส่วน Entrance Loss ที่ปากท่อจะใช้ค่าเท่ากับ $0.78 \frac{V_p^2}{2g}$ และ Exit Loss ที่ปลายท่อเท่ากับ $\frac{V_p^2}{2g}$ โดยที่ $V_p$ คือความเร็วของน้ำไหลในท่อ



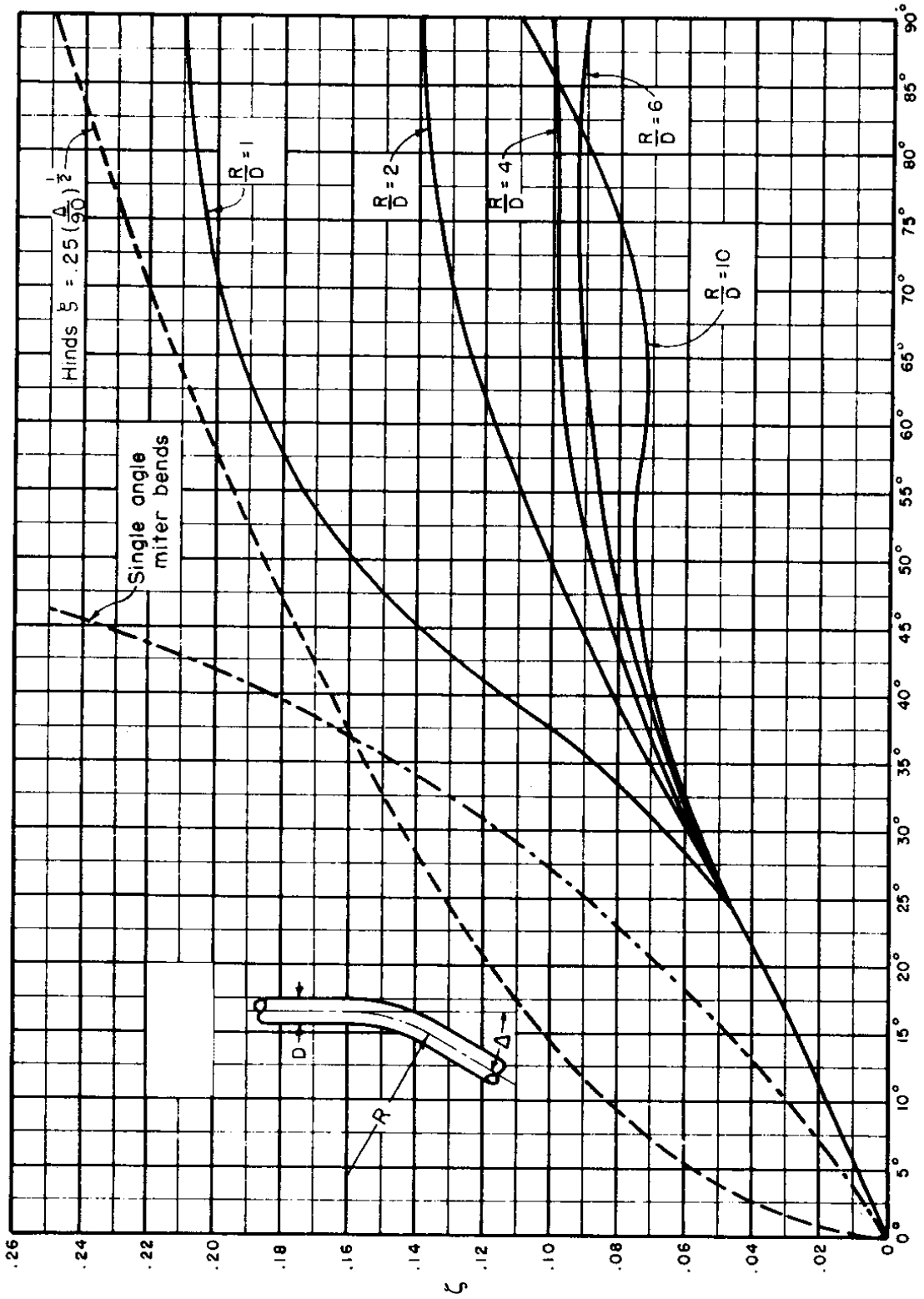

(ค) สำหรับ Friction Loss และBend Loss ใช้ค่าเช่นเดียวกันกับหัวข้อ (1) และหัวข้อ (2)

## 2.3 การกัดเซาะพื้นท้องน้ำและด้านข้าง

ในหัวข้อนี้ จะเน้นเฉพาะการกัดเซาะบนพื้นท้องน้ำและด้านข้างอาคารในส่วนที่ไม่มีคอนกรีตดาดคลอง และยังอยู่ในขอบเขตอิทธิพลทางชลศาสตร์ เช่น ยังมีความปั่นป่วนการไหล (Turbulent Flow) มีคลื่นน้ำ และยังมีความเร็วพอที่จะทำความเสียหายได้ ดังนั้นจะใช้เกณฑ์กำหนดออกแบบต่อไปนี้

(1) การป้องกันการกัดเซาะ

การป้องกันการกัดเซาะจะใช้วิธีปูหินเรียง (Rock Riprap) หนาไม่น้อยกว่า 0.25 เมตร ทับบนชั้นกรวดและทรายหยาบซึ่งจะปูต่อจากปลายพื้นที่เป็นคอนกรีตให้ยาวพอจนพ้นเขตอันตราย




R = รัศมีความโค้ง

D = เส้นผ่าศูนย์กลางท่อ

**รูปที่ 2-1 Head Loss Coefficients for Pipe Bends (design of small dam ปี 1978 หน้า 360)**

(2) การเลือกขนาดหิน

การกำหนดขนาดของหินเรียงดังสมการของเบอรี่ (Berry's Equation)

$$V_b = 2.57\sqrt{d}$$

เมื่อ $V_b$ = ความเร็วของกระแสน้ำที่พื้นหรือกันร่องน้ำ, ฟุต/วินาที

$d$ = เส้นผ่าศูนย์กลางของหินที่จะใช้, นิ้ว

และสมการมาวิสและลอซซี่ (Mavis & Laushcy's Equation)

$$V_b = \frac{1}{2}\sqrt{d_1}\sqrt{s-1}$$

เมื่อ $V_b$ = ความเร็วของกระแสน้ำที่พื้นหรือกันร่องน้ำ, ฟุต/วินาที

$d_1$ = เส้นผ่าศูนย์กลางของหินที่จะใช้, มม.

$S$ = ความถ่วงจำเพาะของหิน

ขนาดของ Riprap ต้องมากกว่า d ถ้าใช้สมการเบอรี่ และมากกว่า $d_1$ สำหรับสมการมาวิสและลอซซี่

หินเรียงด้านท้ายน้ำควรมีขนาดไม่เล็กกว่า 25 ซม. (จำนวน 60%) ปนกับหินขนาดเล็กกว่า 25 ซม. โดยมีขนาดลดหลั่นกันไป (จำนวน 40%)

(จากหนังสือ Hydraulic Design of Stilling Basins and Energy Dissipators ของ A.J.PETERKA ปี 1974, หน้า 208)

นอกจากนี้ขนาดของหินทิ้งหรือหินเรียงท้ายอาคารสามารถหาได้จากรูปที่ 2-2

(3) ความยาวอย่างน้อยของหินเรียงด้านท้ายน้ำ

ใช้ทฤษฎีของ Bligh คำนวณหาความยาวของหินเรียง ดังนี้

$$Ld = 0.662C\sqrt{Hb \cdot q}$$

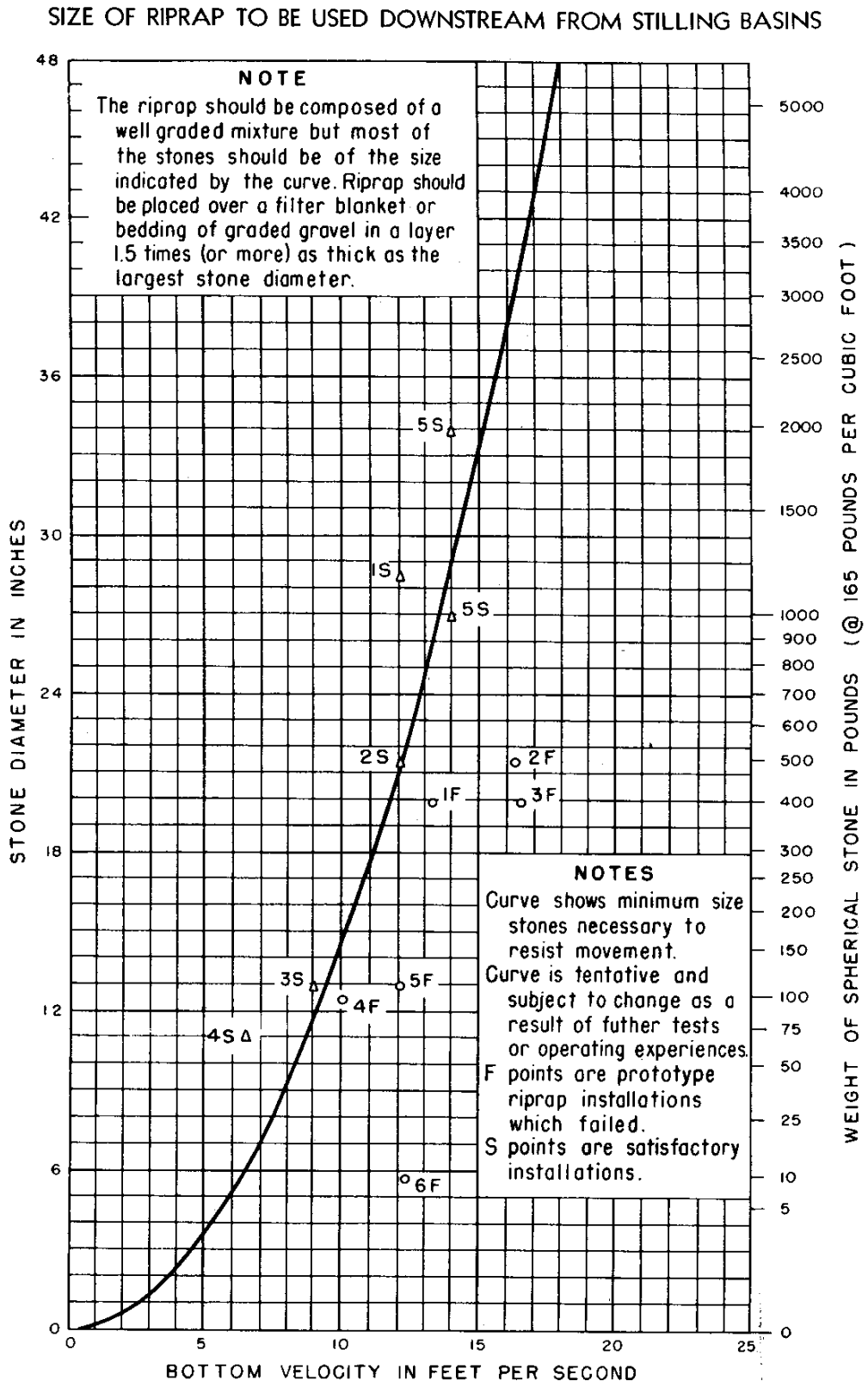
$$La = 0.613\sqrt{Ha}$$

$$Lp = Ld - La$$

เมื่อ Ld = ความยาวของพื้นท้ายอาคารรวมกับความยาวของส่วนป้องกันการกัดเซาะ (Riprap), ม.

La = ความยาวของพื้นท้ายอาคาร, ม.

Lp = ความยาวของส่วนป้องกันการกัดเซาะ (riprap), ม.




**รูปที่ 2-2 แสดงโค้งสำหรับหาขนาดหินหรือหินเรียงท้ายอาคาร Stilling Basin**

**(USBR, Engineering Monograph No.25)**

C = Bligh's ratio

q = ปริมาณน้ำต่อความยาวของฝาย, ม.$^3$/วินาที/ม.

Ha = ผลต่างของระดับสันฝาย และระดับพื้นท้ายน้ำ, ม.

Hb = ผลต่างของระดับสันฝาย และระดับน้ำด้านท้ายน้ำ, ม.

แสดงค่า Bligh's ratio, C

| ชนิดดิน | C |
|---|---|
| ดินทรายละเอียด | 18 |
| ดินทรายเม็ดเล็ก | 15 |
| ดินทรายเม็ดใหญ่ | 12 |
| ดินกรวดทรายและค่อนข้างแน่น | 8 |
| หินร่วน กรวดก้อนใหญ่ ซึ่งมีทรายคละกัน | 6 |

(4) ความยาวอย่างน้อยของหินเรียงด้านเหนือน้ำ

$$Lr_1 = 3D_1$$

เมื่อ $Lr_1$ = ความยาวอย่างน้อยของหินเรียง, ม.

D1 = ความลึกของน้ำจากระดับธรณีของประตูระบายถึงระดับน้ำสูงสุดในการออกแบบ, ม.

### 2.4 การกัดเซาะภายใต้ฐานราก (Piping)

การออกแบบต้องให้อาคารปลอดภัยจากการกัดเซาะภายใต้ฐานราก (Subsurface Erosion) อันเนื่องจากเกิดแรงดันน้ำซึมผ่าน (Seepage Force) มากเกินไปจนเกิดการพัดพาเอาเม็ดวัสดุหนีไปกับน้ำด้วย (Piping) ฉะนั้นจะใช้วิธีต่อไปนี้เป็นเกณฑ์กำหนดสำหรับออกแบบ

(1) วิธีการตรวจสอบในขั้นต้นที่เริ่มเกิด Piping

โดยใช้สมการของ L.F.Harza ดังนี้

$$iF = \frac{h}{L} = (1-P)(S-1)$$

เมื่อ iF = Floating Gradient

h = Different Head

L = Length of Path

P = Porosity

S = Specific Gravity

(จากหนังสือ GROUNDWATER AND SEEPAGE, M.E. Harry, 1962)

การใช้สมการดังกล่าว เป็นการหาค่าวิกฤตของ Floating Gradient สำหรับวัสดุที่มี Specific Gravity ค่าหนึ่งแต่มี Porosity ต่างกัน เช่น วัสดุฐานรากมี S = 2.65 ก็จะให้ค่าวิกฤตของ Floating Gradient ตามค่า P ดังต่อไปนี้

| **P** | **ค่าวิกฤต iF** |
|---|---|
| 0.30 | 1.15 |
| 0.35 | 1.07 |
| 0.40 | 0.99 |
| 0.45 | 0.91 |
| 0.50 | 0.825 |

ตามค่าวิกฤต iF ซึ่งคำนวณขึ้นจากสมการและจากที่ได้สมมติค่า P ต่างๆ กันนั้น จะใช้ค่า iF เป็นตัวบ่งบอกว่า ถ้า h เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ก็จะเริ่มเกิด Piping ทันที

(2) Safety Against Piping

ตามหลักการทั่วไป ถ้าอัตราส่วนของทางเดินของน้ำซึม (Length of Path = L) ต่อความแตกต่างระดับน้ำ (Water Head = h) มีมาก ย่อมจะมีความปลอดภัยสูงกว่า ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้ค่า L/h ไม่น้อยกว่า 5 ซึ่งถ้าตรวจสอบหาความปลอดภัยของวัสดุที่มีคุณสมบัติ S = 2.65, P = 0.5 โดยใช้สมการของ Harza จะได้ h/L (หรือ iF) = 0.825 ซึ่งเท่ากับว่า "Safety Against Piping" จะมีค่าเป็น 5/0.825 หรือประมาณ 6

ในกรณีที่ฐานรากเป็นดินที่มีความซึมน้ำสูง (Highly Pervious Foundation) และไม่มี Cutoff Wall จะใช้ค่า L/h ไม่น้อยกว่า 8 แต่มักจะใช้ 10 กันเป็นส่วนมาก เพราะจะช่วยให้มีความปลอดภัยดีขึ้นในหลายๆ ด้าน

## 2.5 การรั่วซึมผ่านอาคารและฐานราก (Seepage)

ในหัวข้อนี้จะไม่มีการพิจารณาการรั่วซึมของน้ำผ่านตัวอาคาร เพราะได้ใช้คอนกรีตเป็นตัวอาคาร ดังนั้นจะพิจารณาเฉพาะการรั่วซึมภายใต้ฐานรากเท่านั้น ซึ่งเป็นการพิจารณาถึงความปลอดภัยต่อแรงดันน้ำยกขึ้น (Uplift Pressure) และปลอดภัยต่อการพัดพาเอาเม็ดวัสดุใต้ฐานหนีออกไป (Piping) โดยจะใช้ "Weighted Creep Theory" ของ Lane เป็นเกณฑ์กำหนด ซึ่งในขั้นต้นนี้ต้องยึดหลักการหรือข้อกำหนดของ Lane ต่อไปนี้

(1) กำหนดให้ Weighted Creep Distance เป็นระยะทางรวมของน้ำซึมไปตามผิวสัมผัสระหว่าง อาคารกับดินฐานราก ซึ่งจะเท่ากับผลรวมระยะทางน้ำซึมแนวตั้ง (ต้องมีมุมชันกว่า 45°) กับหนึ่งในสาม (1/3) ของระยะทางในแนวนอน (ต้องมีมุมราบกว่า 45°)

(2) กำหนดให้ Weighted Creep Ratio = (Weighted Creep Distance)/(ความแตกต่างระดับน้ำด้านเหนือกับท้ายน้ำ)

(3) การกำหนดความปลอดภัยจาก Piping ต้องมีการออกแบบฐานรากของอาคารให้มี Weighted Creep Distance ยาวเพียงพอเพื่อให้มี Weighted Creep Ratio เหมาะสมกับดินฐานรากชนิดต่างๆ ดังต่อไปนี้

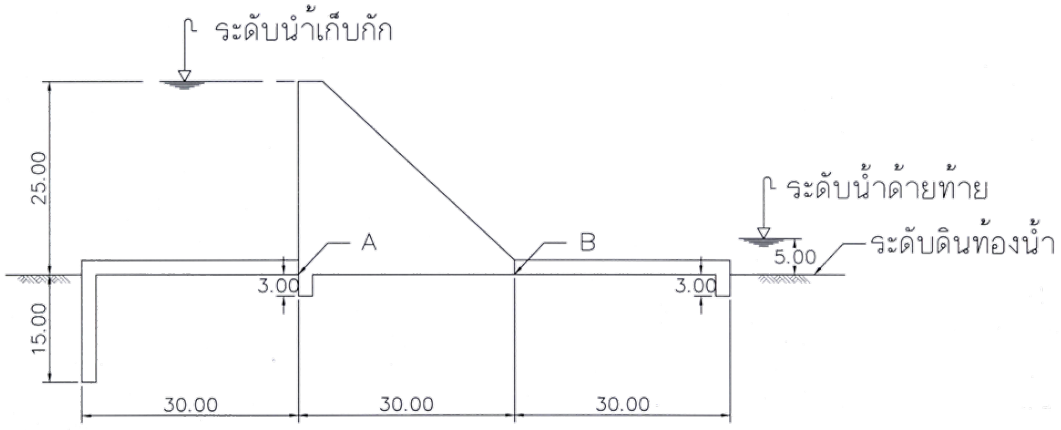
| ลำดับที่ | ชนิดดินฐานราก | Weighted-Creep Ratio |
|---|---|---|
| 1 | ทรายละเอียดมากหรือดินตะกอนทราย (Very fine sand or silt) | 8.5 |
| 2 | ทรายละเอียด (Fine sand) | 7.0 |
| 3 | ทรายขนาดปานกลาง (Medium sand) | 6.0 |
| 4 | ทรายหยาบ (Coarse sand) | 5.0 |
| 5 | กรวดละเอียด (Fine gravel) | 4.0 |
| 6 | กรวดขนาดปานกลาง (Medium gravel) | 3.5 |
| 7 | กรวดหยาบปนหินเล็ก (Coarse gravel including cobbles) | 3.0 |
| 8 | หินใหญ่มีทั้งหินเล็กและกรวดปนบ้าง (Boulders with some cobbles and gravel) | 2.5 |
| 9 | ดินเหนียวชนิดไม่แน่น (Soft clay) | 3.0 |
| 10 | ดินเหนียวแน่นปานกลาง (Medium clay) | 2.0 |
| 11 | ดินเหนียวค่อนข้างแน่นมาก (Hard clay) | 1.8 |
| 12 | ดินเหนียวแน่นมาก (Very hard clay or hardpan) | 1.6 |

(4) หลักการของ Lane ในข้อ (1) (2) และ (3) ข้างต้นนั้นจะมีผลเฉพาะในกรณีที่เส้นทางเดินของน้ำ (Percolation Path) ต้องเดินไปตามผิวสัมผัสระหว่างอาคารกับดินฐานรากเท่านั้น โดยไม่มีการลัดทางเดิน (Short Path) เช่นในกรณีที่ให้ระยะห่างกันระหว่าง Cutoff wall หรือเข็มพืดน้อยกว่า 2 เท่าของความลึกของ Cutoff wall หรือเข็มพืด ดังนี้เป็นต้น

### 2.6 แรงดันน้ำใต้ฐาน (Uplift Pressure)

ฐานรากของอาคารทุกแห่งจะออกแบบให้มีน้ำหนักและแรงต้านทานต่อแรงดันน้ำยกขึ้น (Uplift Pressure) ภายใต้ฐานรากได้ทุกๆ กรณี โดยคำนึงถึงสภาพการณ์ต่างๆ ของการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำที่จะทำให้เกิดมีแรงดันใต้ฐานมากที่สุด ซึ่งเกณฑ์กำหนดการออกแบบความปลอดภัยจะนำ Weighted Creep Theory ของ Lane และใช้หลักการที่กำหนดไว้แล้วในหัวข้อ 2.5 มาทำการคำนวณหา

แรงดันน้ำยกขึ้น ณ จุดใดจุดหนึ่งภายใต้ฐานรากนั้นได้ทุกจุด ทั้งนี้แล้วแต่ความต้องการจะวิเคราะห์ตรงจุดใด ดังแสดงวิธีการวิเคราะห์ต่อไปนี้




ถ้าให้ H = Weighted Creep distance ในแนวนอน

และ V = Weighted Creep distance ในแนวตั้ง

ดังนั้น ผลรวมของ Weighted Creep Distance = $\frac{H}{3}+V$

$$\frac{H}{3}+V = \left(\frac{30+30+30}{3}\right) + \left(15+15+4(3)\right) = 72$$

ถ้าให้ $\Delta H$ = ความแตกต่างระดับน้ำด้านเหนือน้ำกับท้ายน้ำ = 20

เพราะฉะนั้น Weighted Creep Ratio = $\frac{\frac{H}{3}+V}{\Delta H} = \frac{72}{20} = 3.6$

จะเห็นได้ว่าฐานรากของอาคารตามสัดส่วนดังรูปข้างต้นนี้จะมีความปลอดภัยจาก Piping ได้ ต้องสร้างอาคารบนดินฐานรากที่มีค่าของ Weighted Creep Ratio ไม่น้อยกว่า 3.6 ตามที่ได้กำหนดเป็นเกณฑ์ไว้แล้วในหัวข้อ 2.5 (3)

วิธีวิเคราะห์หาแรงดันน้ำยกขึ้น (Uplift Pressure) ที่ใต้พื้นตรงจุด A และ B จะคำนวณหาได้โดยทฤษฎีการสูญเสียพลังแรงดันของน้ำจาก Head Water ไปทางด้านท้ายน้ำ ดังนี้

(1) Uplift Pressure ที่จุด A = $25 - \frac{20}{72}(15 + 15 + 30/3)$

= 13.9 ตัน/ม.$^2$

(2) Uplift Pressure ที่จุด B = $25 - \frac{20}{72}(15 + 15 + (60/3) + 3 + 3)$

= 9.4 ตัน/ม.$^2$

## 2.7 แรงลอยตัว (Buoyancy Force)

อาคารต่างๆ ที่มีช่องว่างอยู่ภายใน เมื่อมีน้ำท่วมอาคารเหล่านี้จะต้องตรวจสอบการลอยตัวด้วย โดยแรงลอยตัวจะมีค่าเท่ากับน้ำหนักน้ำที่มีปริมาตรเท่ากับอาคารส่วนที่แทนน้ำ ดังนั้นจะต้องจัดเตรียมอาคารให้อาคารมีน้ำหนักมากกว่าแรงลอยตัว โดยกำหนดให้มีอัตราส่วนความปลอดภัยต่อการลอยตัวไม่น้อยกว่า 1.3

## 2.8 เสถียรภาพของอาคาร

### (1) กรณีวิกฤตที่ควรพิจารณา (Critical Cases to be Considered)

กรณีวิกฤตที่ควรพิจารณาในการคำนวณออกแบบสำหรับเสถียรภาพของอาคารไม่ให้เกิดการพลิกคว่ำ (Overturning) การเลื่อน (Sliding) รวมทั้งไม่ให้เกิดการทรุดตัว (Settlement) จะต้องทำการตรวจสอบในกรณีต่างๆ เช่น

- กรณีหลังก่อสร้างเสร็จใหม่ๆ
- กรณีเก็บกักที่ระดับเก็บกักปกติและระดับน้ำด้านท้ายน้ำแห้ง

### (2) เสถียรภาพต่อการพลิกคว่ำ (Stability Against Overturning)

เป็นการพิจารณาเสถียรภาพของอาคารอันเกิดจากโมเมนต์ของแรงกระทำ (Acting Moment) และโมเมนต์ของแรงต้าน (Resisting Moment) รอบจุดหมุนที่ฐานของอาคาร (Toe of Structure) ซึ่งอาจทำให้อาคารเสียเสถียรภาพและหมุนพลิกคว่ำรอบจุดหมุนได้ ในการออกแบบจะต้องตรวจสอบโดยคำนวณโมเมนต์ที่กระทำต่ออาคาร และวิเคราะห์หาอัตราส่วนความปลอดภัยต่อการพลิกคว่ำ (Factor of Safely) ให้อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ อัตราส่วนความปลอดภัยจะพิจารณาอัตราส่วนของโมเมนต์ของแรงต้านต่อโมเมนต์ของแรงกระทำ

$$F.S. = \frac{\sum M_R}{\sum M_A} \geq 2$$

$\sum M_A$ เป็นโมเมนต์ลัพธ์ของแรงกระทำที่จะทำให้อาคารพลิกคว่ำ เช่น โมเมนต์เนื่องจากแรงดันน้ำเป็นต้น $\sum M_R$ เป็นโมเมนต์ลัพธ์ของแรงต้านทานการพลิกคว่ำ เช่น โมเมนต์เนื่องจากน้ำหนักของตัวอาคาร เป็นต้น โดยค่าอัตราส่วนความปลอดภัยต่อการพลิกคว่ำมีค่าเท่ากับ 2

### (3) เสถียรภาพต่อการเลื่อนตัว (Stability Against Sliding)

อาคารที่มีแรงทางด้านข้างแตกต่างกัน จะต้องสามารถที่จะต้านทานโอกาสที่จะเกิดการลื่นไถล ความต้านทานในการลื่นไถลนี้เกิดจากการทนแรงเฉือนระหว่างผิวของฐานรากของอาคารที่ติด

กับดินใต้ฐานราก หรือระหว่างการทนแรงเฉือนที่เกิดระหว่างเนื้อดินใต้ฐานรากเอง ซึ่งเรานำมาคิดเพียงหาความผิดระหว่างฐานรากและผิวดินเท่านั้น เนื่องจากเป็นอาคารขนาดเล็ก

กำหนด Factor of Safety = 1.5

ดังนั้น $F.S. = f.\frac{\sum N}{\sum H} \geq 1.5$

เมื่อ $\sum H$ = ผลรวมของแรงดันด้านข้างตามแนวราบ

$\sum N$ = ผลรวมของแรงที่ทำตามแนวดิ่ง

f = สัมประสิทธิ์ของของแรงเสียดทาน = 0.35

**(4) การคำนวณความปลอดภัยอันเนื่องมากจากแรงแบกทานของชั้นดิน (Safety Against Bearing Failure)**

เป็นการพิจารณาเสถียรภาพของอาคารเนื่องจากความเค้นที่เกิดขึ้นต่อฐานรากเนื่องจากน้ำหนักของอาคารและกำลังรับน้ำหนักของฐานราก นอกจากนี้ยังต้องพิจารณาถึงระยะเยื้องศูนย์ (Eccentricity) ของแรงลัพธ์ในแนวดิ่งที่กระทำต่อฐานราก เนื่องจากการกระทำของแรงภายนอกต่างๆ ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังนี้

สำหรับฐานสี่เหลี่ยม

$$\text{Eccentricity} = \frac{B}{2} - \frac{\sum M}{\sum W} \leq \frac{B}{6}$$

โดย B = ความกว้างที่ฐานรากของอาคาร, ม.

$\sum M$ = โมเมนต์ลัพธ์ของแรงที่กระทำต่ออาคาร, ตัน-ม.

$\sum W$ = แรงลัพธ์ในแนวดิ่งที่กระทำต่อฐานราก, ตัน

ทั้งนี้ระยะเยื้องศูนย์ดังกล่าวจะต้องมีค่าไม่เกิน $\frac{B}{6}$ และค่าระยะเยื้องศูนย์สามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ความเค้นที่ฐานรากเนื่องจากแรงภายนอกที่กระทำต่ออาคารได้ดังนี้

$$\sigma = \frac{\sum W}{B}\left(1+\frac{6e}{B}\right)$$

ค่าความเค้นต่ำสุด $(\sigma_{min}) = \frac{\sum W}{B}\left(1-\frac{6e}{B}\right)$ จะต้องมากกว่าหรือเท่ากับศูนย์

ค่าความเค้นสูงสุด $(\sigma_{max}) = \frac{\sum W}{B}\left(1+\frac{6e}{B}\right)$ จะต้องไม่เกินกำลังแบกทานของฐานราก

## 3. เกณฑ์กำหนดการคำนวณออกแบบโครงสร้าง

### 3.1 ทั่วไป

การออกแบบอาคาร นอกจากจะออกแบบให้เป็นไปตามความต้องการทางด้านชลศาสตร์แล้ว ยังต้องออกแบบให้สามารถรับน้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อโครงสร้างได้ น้ำหนักบรรทุกเหล่านี้ ได้แก่ น้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load) น้ำหนักบรรทุกจร (Live Load) แรงดันดิน (Earth Pressure) แรงดันน้ำ (Water Pressure) นอกจากนี้ โครงสร้างจะต้องมีความมั่นคง (Stability) และทนทาน (Durability) องค์ประกอบสำคัญที่จะต้องนำมาพิจารณาในการคำนวณออกแบบ มีดังต่อไปนี้

- ความปลอดภัยต่อการพลิกคว่ำ (Overturning)
- ความปลอดภัยต่อการเลื่อนไถล (Sliding)
- ความปลอดภัยต่อการแบกทานของฐานราก (Stability on Strength of Foundation)

ในการคำนวณออกแบบโครงสร้างทั่วไปของอาคารในระบบส่งน้ำจะต้องอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานการออกแบบของกรมชลประทานและเกณฑ์มาตรฐานการปฏิบัติงานด้านวิศวกรรมระหว่างประเทศที่กำหนดไว้ดังนี้

1. American Concrete Institute (ACI)
2. United States Department of the Interior, Bureau of Reclamation (USBR)
3. United States Department of the Army Corps of Engineer
4. American Association of State Highway Officials (AASHO)
5. American Society of Testing of Materials (ASTM)
6. American Institute of Steel Construction (AISC)
7. American Water Works Association (AWWA)
8. Thai Industrial Standards (TIS)
9. Japanese Industrial Standards (JIS)

### 3.2 แรงที่กระทำต่ออาคาร

แรงต่างๆ ที่กระทำต่ออาคาร มีดังต่อไปนี้

**(1) น้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Loads)**

น้ำหนักของวัสดุต่างๆ สามารถหาได้ ดังต่อไปนี้

| | | |
|---|---|---|
| น้ำหนักของคอนกรีตเสริมเหล็ก | 2,400 | กก./ลบ.ม. |
| น้ำหนักของคอนกรีตล้วน | 2,300 | กก./ลบ.ม. |
| น้ำหนักของน้ำ | 1,000 | กก./ลบ.ม. |
| น้ำหนักของดินแห้ง | 1,600-1,800 | กก./ลบ.ม. |
| น้ำหนักของดินถมอัดแน่น (Compacted Dry Soil) | 1,900 | กก./ลบ.ม. |
| น้ำหนักของดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturated Soil) | 2,150-2,200 | กก./ลบ.ม. |
| น้ำหนักของกรวดหรือหิน | 1,600-2,000 | กก./ลบ.ม. |
| น้ำหนักของทรายแห้ง | 1,600-1,800 | กก./ลบ.ม. |
| น้ำหนักของทรายเปียก | 1,900-2,200 | กก./ลบ.ม. |
| น้ำหนักของเหล็กหล่อ | 7,000-7,700 | กก./ลบ.ม. |
| น้ำหนักของเหล็กเหนียว | 7,600-7,900 | กก./ลบ.ม. |

**(2) น้ำหนักบรรทุกจร (Live Load)**

| | | |
|---|---|---|
| Surcharge ของกำแพง | 300 | กก./ตร.ม. |
| Operating Platform without Stoplogs | 500 | กก./ตร.ม. |
| Operating Platform with Stoplogs | 750 | กก./ตร.ม. |
| อาคารทั่วไปที่มีรถผ่าน (ที่ไม่ใช่ทางหลวง) | H20-44(AASHTO-Truck Loading System) | |
| อาคารทั่วไปที่มีรถผ่าน (ทางหลวง) | HS20-44(AASHTO-Truck Loading System) | |

**(3) น้ำหนักอุปกรณ์ (Equipment Load)**

น้ำหนักของบานระบาย เครื่องกว้านและของอื่นๆ คิดตามน้ำหนักจริง

**(4) น้ำหนักเครื่องกว้าน (Hoist Load)**

ในการคำนวณออกแบบขนาดของเครื่องกว้านของบานระบายคำนวณหาได้จากสมการดังนี้

ขนาดเครื่องกว้าน (Hoist Load) = น้ำหนักบานระบาย + นน.ก้านยก + Friction, กก.

โดย

- น้ำหนักบานระบาย จะกำหนดไว้ในแบบฝาท่อ
- น้ำหนักก้านยก = $(6{,}165.376)\ D^2.\ L$, กก.

  โดย $D$ = เส้นผ่าศูนย์กลางก้านยก, ม.

  $L$ = ความยาวก้านยก, ม.

- Friction = C.P

โดย P = แรงดันน้ำในแนวราบที่กระทำต่อตัวบานและคำนวณหาได้จากสมการ

$$P = \frac{1}{2}\gamma_W (H+H_2)H_1.B, \text{ กก.}$$

โดย $\gamma_W$ = ความหนาแน่นของน้ำ

= 1,000 กก./ม.$^3$

H = ความสูงของน้ำหน้าบานระบาย, ม.

$H_1$ = ความสูงของบานระบาย, ม.

$H_2$ = ความสูงของน้ำเหนือบานระบาย, ม.

B = ความกว้างของบานระบาย, ม.

C = ค่าสัมประสิทธิ์ของความฝืด

= 0.05 สำหรับบานเหล็กมีลูกกลิ้ง

= 0.35 สำหรับบานเหล็กไม่มีลูกกลิ้ง และผิวสัมผัสเป็นโลหะ

**(5) แรงดันของดินที่กระทำต่อกำแพงในแนวดิ่ง**

แรงดันดินด้านข้างที่กระทำต่อกำแพงกันดินแสดงในรูปที่ 3.1 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1) แรงจากน้ำหนักบรรทุกบนดินถมข้างอาคาร (Surcharge Load, S) กระทำกับข้างอาคารตามแนวราบ ($P_1$) ซึ่งหาได้จากสมการ

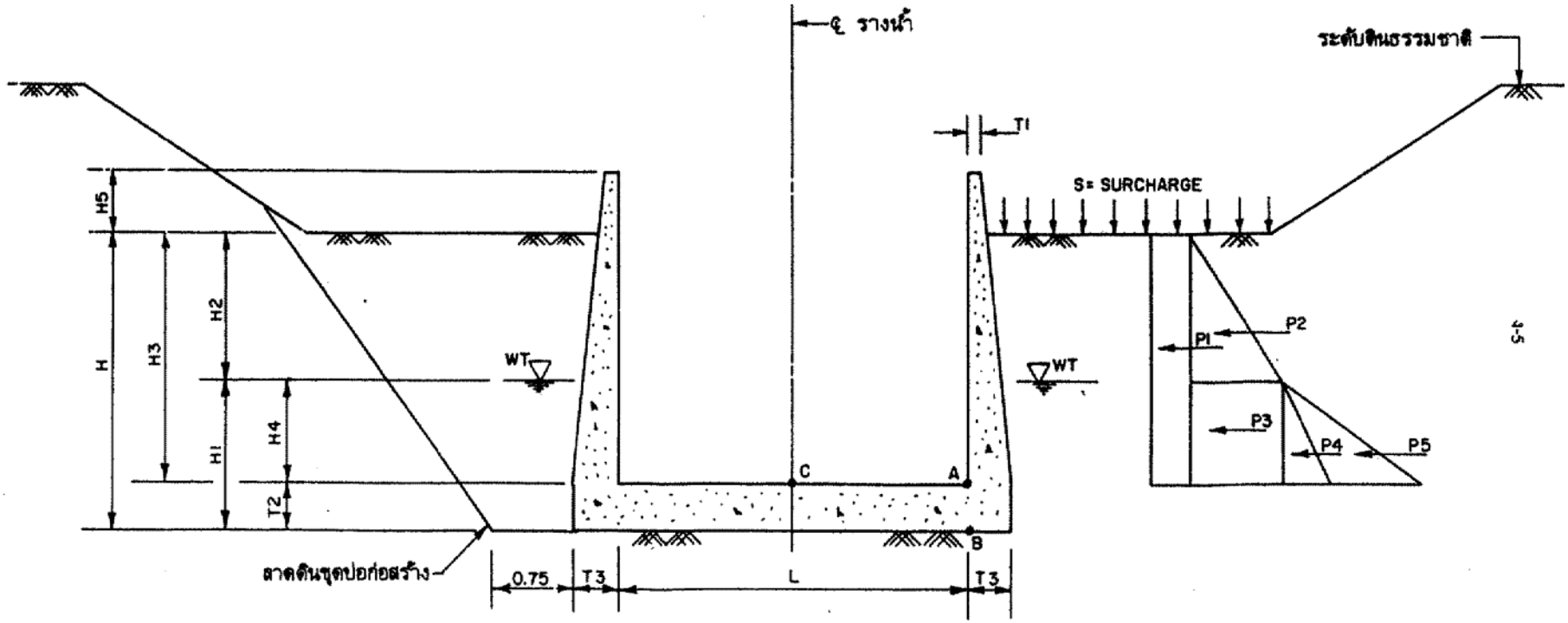
แรง $P_1$ = $S.Ka.H_3$, กก./ม. (ของความยาวกำแพง)

โดย S = Surcharge Load, กก./ม.$^3$

Ka = Coefficient of Active Earth Pressure

= $\frac{1-\text{Sin}\phi}{1+\text{Sin}\phi}$ ; $\phi$ คือมุมเสียดทานภายในของดิน, องศา (Angle of Internal Friction)

$H_3$ = ความสูงของดินถมข้างอาคาร, ม. (แสดงไว้ในรูปที่ 3.1)




**รูปที่ 3-1** แสดงแรงดันด้านข้างที่กระทำต่อกำแพงกันดิน

2) แรงดันดินข้างอาคารตามแนวราบ ได้แก่ แรงดันดินส่วนสูงกว่าน้ำใต้ดิน ($P_2$) แรงดันดินส่วนที่ต่ำกว่าน้ำใต้ดิน ($P_3$ และ $P_4$) ซึ่งหาแรงต่าง ๆ ได้จากสมการดังนี้

แรง $P_2$ = $\frac{1}{2}$ Ka . $\gamma_S$. $H_2^2$, กก./ม.(ของความยาวกำแพง)

แรง $P_3$ = Ka . $\gamma_S$. $H_2$. $H_4$, กก./ม.(ของความยาวกำแพง)

แรง $P_4$ = $\frac{1}{2}$ Ka . ( $\gamma_{sat} - \gamma_w$). $H_4^2$, กก./ม.(ของความยาวกำแพง)

โดย $H_2$ = ความสูงของดินถมเหนือระดับน้ำใต้ดิน,ม. (แสดงในรูปที่ 3.1)

$H_4$ = ความสูงของดินส่วนที่จมน้ำ, ม. (แสดงในรูปที่ 3.1)

$\gamma_{sat}$ = น้ำหนักของดินอิ่มตัวด้วยน้ำ = 2,150 กก./ม.$^3$

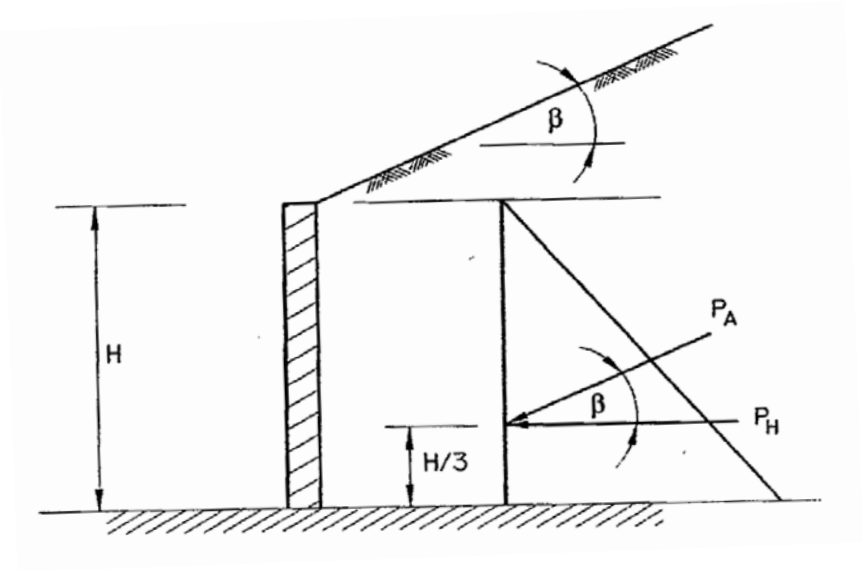
$\gamma_w$ = น้ำหนักของน้ำ = 1,000 กก./ม.$^3$

$\gamma_s$ = น้ำหนักของดินถมอัดแน่น = 1,900 กก./ม.$^3$

3) แรงดันน้ำใต้ดินส่วนที่กระทำกับข้างอาคารตามแนวราบ ($P_5$) ซึ่งหาได้จากสมการ

แรง $P_5$ = $\frac{1}{2}$ $\gamma_W$. $H_4^2$, กก./ม. (ของความยาวกำแพง)

**(6) แรงดันของดินที่กระทำต่อกำแพงในแนวดิ่ง (ผิวดินลาดขึ้น)**




คำนวณได้จากสูตรของ Rankine ดังต่อไปนี้

$P_A$ = $\frac{1}{2}$ $K_a$ $\gamma_s$. $H^2$, กก.

โดย $K_a$ = Coefficient of Active Earth Pressure

$K_a$ = $\cos\beta \times \frac{\cos\beta - \sqrt{\cos^2\beta - \cos^2\phi}}{\cos\beta + \sqrt{\cos^2\beta - \cos^2\phi}}$

$\phi$ = Angle of Internal Friction, องศา

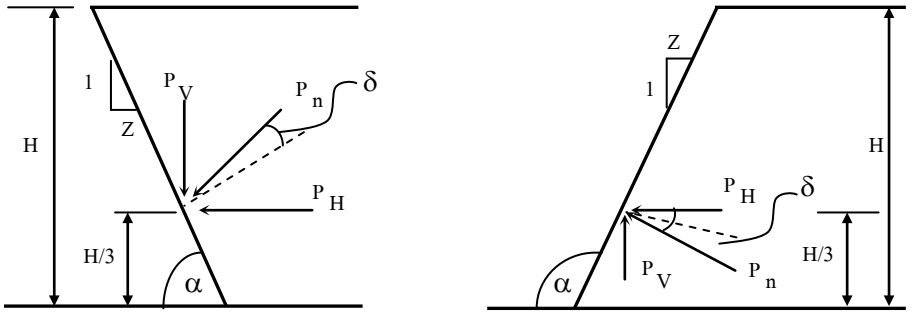
B = มุมระหว่างลาดของผิวดินด้านหลังกำแพงทำกับแนวราบ

$\gamma_s$ = Unit Weight of Soil, กก./ม.$^3$

$P_H$ = แรงที่กระทำในแนวราบ

= $P_A \cdot \cos\beta$, กก.

**(7) แรงดันของดินที่กระทำต่อกำแพงเอียง**




$$P_n = \frac{K_a \gamma H^2}{2}, \quad P_H = \frac{P_n}{\sqrt{1+z^2}}, \quad P_V = \frac{z P_n}{\sqrt{1+z^2}}$$

$$K_a = \frac{\sin^2(\alpha+\varnothing)}{\sin^2\alpha.\sin(\alpha-\delta)\left[1+\sqrt{\frac{\sin(\varnothing+\delta)\sin\varnothing}{\sin(\alpha-\delta)\sin\alpha}}\right]^2}$$

เมื่อ $K_a$ = Coefficient of Active Earth Pressure

H = ความสูงของดิน, ม.

$\alpha$ = มุมที่กำแพงทำกับแนวราบ $0^o < \alpha < 180^o$

$\varnothing$ = Angle of Internal Friction, องศา

$\delta$ = Angle of Wall Friction, องศา

= $0^o$ for Smooth Surface

= $\frac{2\varnothing}{3}$ for Common Estimate

$\gamma$ = Unit Weight ของดิน, ตัน/ม.$^3$

$P_n$ = แรงที่กระทำในแนวตั้งฉากกับกำแพง, ตัน

$P_H$ = แรงที่กระทำในแนวราบ, ตัน

$P_V$ = แรงที่กระทำในแนวดิ่ง, ตัน

**(8) แรงดันน้ำ (Uplift Water Pressure)**

แรงดันน้ำที่กระทำต่อโครงสร้างสามารถหาได้โดยใช้หลักการ การกระจายแรงดันรูปสามเหลี่ยม (Triangular Distribution) ซึ่งกระทำในทิศทางตั้งฉากกับผิวของโครงสร้าง สำหรับโครงสร้างที่อยู่ในน้ำ หรือโครงสร้างที่ได้รับอิทธิพลจากน้ำใต้ดินจะเกิดแรงลอยตัว (Uplift) หรือ Vertical Component กระทำที่ฐานของโครงสร้าง แรงลอยตัวนี้คำนวณได้จาก Hydrostatic Pressure แรงลอยตัวที่จุดใดๆ ที่กระทำต่อโครงสร้างจะเท่ากับแรงดันทางท้ายน้ำ (Tailwater Pressure) และค่อยๆ เพิ่มขึ้นตามลาดชลศาสตร์ (Hydraulic Gradient) ระหว่างหัวน้ำและท้ายน้ำ ในกรณีนี้ความสัมพันธ์ของลาดชลศาสตร์ (Hydraulic Gradient) สมมติให้เป็นเส้นตรง(รายละเอียดในหัวข้อ 2.6)

## 3.3 หน่วยแรงที่ยอมให้ในการออกแบบ (Allowable Stresses)

**(1) คอนกรีต**

กำหนดให้กำลังอัดประลัยของคอนกรีต สำหรับอาคารชลประทานทั่วไปมีค่า ($fc'$) = 175 กก./ตร.ซม. และคอนกรีตดาดคลองมีค่า ($fc'$) = 140 กก./ตร.ซม. นอกจากระบุในแบบไว้เป็นอย่างอื่น เมื่อค่า ($fc'$) คือแรงกดประลัยของแท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอกมาตรฐานที่มีอายุการบ่มครบ 28 วัน

**(2) หน่วยแรงที่ยอมให้ของคอนกรีต (กก./ซม.$^2$)**

อัตราส่วนโมดูลัส, n $= \dfrac{2.04\times10^6}{15210\sqrt{fc'}}$

| | | |
|---|---|---|
| แรงอัดที่ผิวที่เกิดจากแรงดัด, fc | = | $0.45\ fc'$ |
| แรงดึงที่ผิวฐานรากของกำแพงคอนกรีตล้วน, fc | = | $0.42\sqrt{fc'}$ |
| แรงเฉือนของคานคอนกรีตล้วน, Vc | = | $0.29\sqrt{fc'}$ |
| แรงเฉือนของแผ่นพื้นและฐานรากตามเส้นขอบ, Vc | = | $0.53\sqrt{fc'}$ |
| แรงแบกทาน (Bearing) รับเต็มพื้นที่, fb | = | $0.42\ fc'$ |
| แรงแบกทาน (Bearing) รับหนึ่งในสามของพื้นที่หรือน้อยกว่า, fb | = | $0.37\ fc'$ |

**(3) หน่วยแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเหล็กเสริมกับคอนกรีตที่ยอมให้ (Allowable Bond Stress)**

แรงยึดเหนี่ยวของคอนกรีตที่ใช้ในการออกแบบ ตามมาตรฐาน ACI 318-63 ดังนี้

**(1) หน่วยแรงยึดเหนี่ยวที่ยอมให้สำหรับรับเหล็กแรงดึง**

ก) <u>เหล็กข้ออ้อย</u>

- เหล็กบน $u = \frac{2.29\sqrt{fc'}}{D} \leq 25$ กก./ซม.$^2$

- เหล็กอื่นๆ $u = \frac{3.23\sqrt{fc'}}{D} \leq 35$ กก./ซม.$^2$

ข) <u>เหล็กเส้นกลม</u>

- เหล็กบน $u = \frac{1.145\sqrt{fc'}}{D} \leq 11$ กก./ซม.$^2$

- เหล็กอื่นๆ $u = \frac{1.615\sqrt{fc'}}{D} \leq 11$ กก./ซม.$^2$

**(2) หน่วยแรงยึดเหนี่ยวที่ยอมให้สำหรับเหล็กรับแรงอัด**

ก) เหล็กข้ออ้อย $u = \frac{1.72\sqrt{fc'}}{D} \leq 28$ กก./ซม.$^2$

ข) เหล็กเส้นกลม $u = \frac{0.86\sqrt{fc'}}{D} \leq 11$ กก./ซม.$^2$

เมื่อ $u$ = แรงยึดเหนี่ยวที่ยอมให้, กก./ซม.$^2$

$fc'$ = แรงอัดประลัยของคอนกรีต, กก./ซม.$^2$

$D$ = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเหล็กเสริม, ซม.

**(4) หน่วยแรงดึงที่ยอมให้สำหรับเหล็กเสริมคอนกรีต**

**(Allowable Tensile Stress of Steel)**

| | | | |
|---|---|---|---|
| เหล็กเส้นข้ออ้อย (SD 30) | fs | = | 1500 กก./ซม.$^2$ (มอก.24-2536) |
| เหล็กเส้นกลมเกลี้ยง (SR 24) | fs | = | 1200 กก./ซม.$^2$ (มอก.20-2543) |

**3.4 การกำหนดระยะห่างระหว่างผิวของเหล็กเสริม (Clear Distance)**

**(1)** ระยะห่างน้อยที่สุดของเหล็กเสริมที่เรียงขนานกันในชั้นเดียวกัน จะต้องไม่น้อยกว่าเส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็กเสริมหรือไม่น้อยกว่า 4/3 เท่าของหินหรือไม่น้อยกว่า 2.5 ซม. และขนาดของหินจะต้องไม่ใหญ่กว่า

1) $\frac{1}{5}$ เท่าของระยะที่แคบที่สุดของแบบ

2) $\frac{1}{3}$ เท่าของความหนาแผ่นพื้น (Slab)

**(2)** ในกรณีที่มีการเสริมเหล็กมากกว่า 2 ชั้นขึ้นไป เหล็กเสริมชั้นบนจะต้องอยู่ห่างจากเหล็กเสริมชั้นล่างในแนวดิ่งไม่น้อยกว่า 2.5 ซม.

**(3)** สำหรับเหล็กเสริมที่รับแรงอัดที่มีเหล็กปลอก ระยะห่างระหว่างเหล็กเสริมตามแนวยาวจะต้องไม่น้อยกว่า 1.5 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางเหล็กเสริมหรือไม่น้อยกว่า 1.5 เท่าของหินหรือไม่น้อยกว่า 4 ซม.

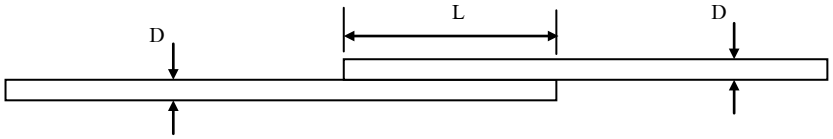
**(4)** ระยะห่างระหว่างเหล็กต่อทาบกัน หรือระหว่างเหล็กต่อทาบกันเหล็กเส้นอื่นๆ ให้ใช้เช่นเดียวกันกับข้อกำหนดสำหรับระยะช่องว่างระหว่างเหล็กเส้น

**(5)** ในกำแพงหรือพื้น (Slab) นอกเหนือจากรอยต่อในการก่อสร้าง (Construction Joint) เหล็กเสริมเอก (Primary Flexural Reinforcement) จะต้องห่างกันไม่มากกว่า 3 เท่าของความหนากำแพงหรือพื้นไม่มากกว่า 30 ซม.

### 3.5 ระยะต่อทาบของเหล็กเสริม (Length of Lapped Splice)

ระยะต่อทาบของเหล็กเสริมโดยไม่งอขอที่ปลายเหล็กเป็นไปดังต่อไปนี้ เมื่อคอนกรีตมีกำลังอัดประลัยเท่ากับ 175 กก./ซม.$^2$ และเป็นเหล็กเสริมชนิด SD 30

**(1) เมื่อเป็นการต่อทาบของเหล็กเสริมที่ขนานกัน**

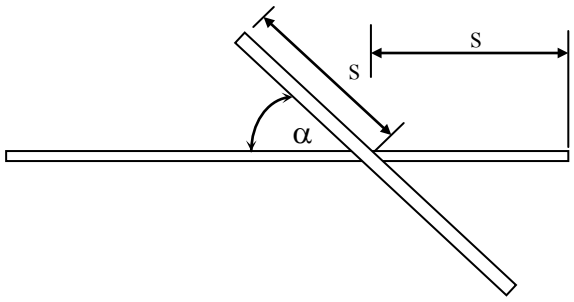



เมื่อ D = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กเส้น (มม.)

L = ระยะการต่อทาบ (ซม.)

| D (มม.) | L (ซม.) |
|---|---|
| 10 | 35 |
| 12 | 45 |
| 16 | 60 |
| 20 | 75 |
| 25 | 110 |
| 28 | 140 |

**(2) เมื่อเป็นการต่อทาบเหล็กเสริมที่ไม่ขนานกัน**




| มุม α (องศา) | S (ซม.) |
|---|---|
| 0 ถึง 10 | 0.5L |
| 10 ถึง 30 | 0.6L |
| 30 ถึง 50 | 0.7L |
| 50 ถึง 65 | 0.8L |
| 65 ถึง 80 | 0.9L |
| 80 ถึง 90 | 1.0L |

## 3.6 การป้องกันเหล็กเสริมด้วยความหนาของคอนกรีต (Protective Covering of Reinforcement)

การเผื่อความหนาของคอนกรีต เพื่อป้องกันเหล็กเสริม ใช้ดังต่อไปนี้

(1) สำหรับพื้นบันได ใช้ความหนาจากผิวเหล็กเสริม = 2.5 ซม.

(2) สำหรับพื้นใต้สะพานใช้ความหนาจากผิวเหล็กเสริม = 2.5 ซม.

(3) สำหรับอาคารที่สัมผัสแดด ลม ฝน หรือดินถมกลับหรือจมอยู่ใต้น้ำ ใช้ความหนาของคอนกรีตจากผิวเหล็กเสริม = 5 ซม.

(4) ผิวหน้าของคอนกรีตที่สัมผัสต่อการกัดเซาะ สำหรับน้ำจืดและน้ำเค็มใช้ความหนาของคอนกรีตจากผิวเหล็กเสริม = 6 ซม. และ 8 ซม. ตามลำดับ

(5) คอนกรีตที่วางสัมผัสกับดิน และหินโดยตรง ใช้ความหนาของคอนกรีตจากเหล็กเสริม = 8 ซม.

### 3.7 การเสริมเหล็กต้านทานการยืดและหดตัว (Shrinkage and Temperature Reinforcement)

ข้อกำหนดดังต่อไปนี้ จะใช้สำหรับหาขนาดเหล็กเสริมเพื่อต้านการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ เปอร์เซ็นต์ที่ระบุจะขึ้นอยู่กับพื้นที่หน้าตัดทั้งหมด (ยกเว้นพอกมุม) ของคอนกรีตที่จะต้องเสริมเหล็ก แต่ถ้าหน้าตัดของคอนกรีตหนากว่า 40 ซม. ให้ใช้ความหนาเพียง 40 ซม. ในการคำนวณหาปริมาณเหล็กเสริม

**(1) จำนวนเหล็กเสริมน้อยที่สุดของอาคารชลศาสตร์ (ยกเว้นอาคารขนาดเล็ก)**

1) เมื่อผิวคอนกรีตสัมผัสอากาศและเสริมเหล็กเพียงชั้นเดียว จะต้องไม่น้อยกว่า **ϕ**12 เรียงระยะห่าง 30 ซม.

2) เมื่อผิวคอนกรีตไม่สัมผัสอากาศและเสริมเหล็กสองชั้น จะต้องไม่น้อยกว่า **ϕ**12 เรียงระยะห่าง 45 ซม.

**(2) การเสริมเหล็กชั้นเดียว**

1) พื้นคอนกรีตที่มีรอยต่อห่างกันไม่เกิน 9.00 เมตร
   - ไม่สัมผัสโดยตรงกับแสงแดด.....0.25%
   - สัมผัสโดยตรงกับแสงแดด.....0.30%

2) พื้นคอนกรีตที่มีรอยต่อห่างกันเกิน 9.00 เมตร
   - ไม่สัมผัสโดยตรงกับแสงแดด.....0.35%
   - สัมผัสโดยตรงกับแสงแดด.....0.40%

3) กำแพงและส่วนอื่นๆ ของอาคารที่เสริมเหล็กชั้นเดียว จำนวนเปอร์เซ็นต์รวมของเหล็กเสริมอย่างน้อยจะต้องเท่ากับจำนวนรวมของเปอร์เซ็นต์เหล็กเสริมของชั้นทั้งสองของการเสริมเหล็กชนิดสองชั้นที่แสดงไว้ในข้อ (3) แล้วแต่กรณี

**(3) การเสริมเหล็กสองชั้น**

1) พื้นคอนกรีตที่มีรอยต่อห่างกันไม่เกิน 9.00 เมตร
   - ผิวหน้าสัมผัสกับดิน.....0.10%
   - ผิวหน้าไม่สัมผัสกับดินโดยตรงและไม่ถูกแสงแดด.....0.15%
   - ผิวหน้าไม่สัมผัสกับดิน และสัมผัสโดยตรงกับแสงแดด.....0.20%

2) พื้นคอนกรีตที่มีรอยต่อห่างกันเกิน 9.00 เมตร
   - ถ้าช่วงห่างของรอยต่อเกิน 9.00 เมตร ในทิศทางใดๆ ที่ขนานกับการเสริมเหล็กจะต้องเพิ่มเหล็กเสริมในทิศทางนั้นๆ อีก 0.05%

3) ถ้าพื้นคอนกรีตถูกยึดไว้ในแนวใดแนวหนึ่ง เป็นระยะสองเท่าจากเส้นที่ถูกยึดถึงปลายที่ปล่อยอิสระ จะพิจารณาให้เสริมเหล็กเป็นเปอร์เซ็นต์ตามหัวข้อ (1) และ (2)

### 3.8 การงอเหล็กเสริม และรัศมีการงอเหล็กเสริม

(1) การงอ :ในมาตรฐานการงอจะยึดตามข้อกำหนด “มาตรฐานรายละเอียดการเสริมเหล็กในอาคารคอนกรีต” ของกรมชลประทาน มีนาคม 2535 หมายเลข มฐย-4-016 ถึง มฐย-4-017

(2) รัศมีของการงอขอมาตรฐานที่ปลายเหล็ก : จะยึดตามข้อกำหนด “มาตรฐานรายละเอียดการเสริมเหล็กในอาคารคอนกรีต” ของกรมชลประทาน มีนาคม 2535 หมายเลข มฐย-4-031 ถึง มฐย-4-032

(3) การงอนอกเหนือจากมาตรฐาน : จะยึดตามข้อกำหนด “มาตรฐานรายละเอียดการเสริมเหล็กในอาคารคอนกรีต” ของกรมชลประทาน มีนาคม 2535 หมายเลข มฐย-4-033 ถึง มฐย-4-046

### 3.9 รอยต่อของคอนกรีต

รอยต่อสำหรับงานคอนกรีตเสริมเหล็กแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ รอยต่อเพื่อการหดตัว (Contraction Joint) รอยต่อเพื่อการขยายตัว (Expansion Joint) และรอยต่อเพื่อการก่อสร้าง (Construction Joint) ซึ่งรอยต่อของคอนกรีตทั้ง 3 ประเภท มีรายละเอียดดังนี้

#### (1) รอยต่อเพื่อการหดตัว (Contraction Joint)

เป็นรอยต่อในอาคารคอนกรีตเพื่อการหดตัวของคอนกรีต ผิวสัมผัสของรอยต่อจะต้องฉาบด้วย Sealing Compound บริเวณผิวของคอนกรีตที่เทเสร็จก่อนแล้ว เพื่อป้องกันการยึดติดกันของผิวสัมผัสตรงบริเวณรอยต่อและถ้าหากมีการติดตั้ง Dowel Bars ด้วยแล้ว ต้องใช้เหล็กเส้นชนิดกลมเกลี้ยง และปลายของ Dowel Bars ซึ่งจะฝังอยู่ในคอนกรีตที่จะเทใหม่นี้ต้องป้องกันไม่ให้เกิดแรงยึดหน่วงระหว่างคอนกรีตและ Dowel Bars โดยการฉาบทาด้วย Sealing Compound และห่อด้วยกระดาษหรือใช้วัสดุอื่นที่เหมาะสมเพื่อป้องกันการเกิดแรงยึดเหนี่ยวกับคอนกรีต

#### (2) รอยต่อเพื่อการขยายตัว (Expansion Joint)

เป็นรอยต่อในอาคารคอนกรีตเพื่อการขยายตัว มีลักษณะคล้ายกับรอยต่อเพื่อการหดตัว แต่บริเวณผิวสัมผัสของคอนกรีตจะติดตั้งแผ่น Elastic Sheet หนาประมาณ 1-2 ซม. แล้วแต่ กรณีเพื่อให้คอนกรีตที่ขยายตัวแล้วไม่อัดกันจนแตกและถ้าหากจะมี Dowel Bars ก็ต้องเป็นเหล็กกลมเกลี้ยงพร้อมทั้งป้องกันการยึดหน่วงระหว่างเหล็ก Dowel Bars กับคอนกรีตที่เทใหม่ และที่สำคัญก็คือที่ปลายของเหล็ก Dowel Bars ที่อยู่ในคอนกรีตที่จะเทใหม่นั้นจะต้องสามารถเคลื่อนตัวในช่องว่างได้ เพื่อป้องกันแรงอัดระหว่างคอนกรีตและเหล็ก Dowel Bars

**(3) รอยต่อเพื่อการก่อสร้าง (Construction Joint)**

รอยต่อเพื่อการก่อสร้าง เป็นรอยต่อซึ่งมีจุดมุ่งหมายเพื่อความสะดวกในการก่อสร้างหรือเกิดขึ้น เมื่อการเทคอนกรีตเกิดการชะงักงันขึ้น รอยต่อเพื่อการก่อสร้างจะอยู่ในตำแหน่งที่อำนวยความสะดวกในการก่อสร้าง ลดการหดตัวเริ่มแรก และการแตกร้าวของคอนกรีต เพื่อมีเวลาพอที่จะติดตั้งงานเหล็กในคอนกรีตหรือเพื่อความสะดวกในการทำงานคอนกรีตอย่างอื่น เช่น งาน Backfill Concrete หรืองาน Second-Stage Concrete

### 3.10 การกำหนดความหนาของ Cutoff Walls

Cutoff Walls ซึ่งทำหน้าที่ลดอัตราการไหลซึมของน้ำลอดใต้อาคาร เพื่อป้องกันการกัดเซาะของน้ำ จะออกแบบเป็นคอนกรีตเสริมเหล็กโดยทั่วไปจะมีขนาดและสัดส่วนตามตารางข้างล่างเป็นอย่างน้อย

| ความลึกของน้ำที่ Cutoff (d), ม. | Cutoff Wall | |
|---|---|---|
| | ความลึกอย่างน้อย, ม. | ความหนาอย่างน้อย, ม. |
| 0.00-0.90 | 0.60 | 0.15 |
| 0.91-1.80 | 0.75 | 0.20 |
| > 1.80 | 0.90 | 0.20 |

### 3.11 การพอกมุม (Fillets)

การพอกมุมคือการปาดมุมฉาก ในอาคารคอนกรีต เช่นที่มุมในท่อลอดแบบสี่เหลี่ยม และที่ฐานของกำแพงในแนวดิ่งเพื่อเพิ่มความแข็งแรงหรือเพื่อลดความเค้นสูงที่จุดนั้น และเพื่อความสะดวกในการเทคอนกรีต และถอดแบบคอนกรีตขนาดพอกมุมที่ใช้กับอาคารต่างๆ กำหนดไว้ดังนี้

| ขนาดของพอกมุม (ซม.) | ขนาดของท่อลอดสี่เหลี่ยม (ม.) | ความสูงของกำแพงหรือกำแพงยื่น (ม.) |
|---|---|---|
| 5.0 × 5.0 | 0.00 -1.20 | - |
| 7.5 × 7.5 | 1.20 - 2.00 | 0.00-2.50 |
| 10.0 × 10.0 | 2.00-2.50 | 2.50-3.00 |
| 15.0 × 15.0 | มากกว่า 2.50 | มากกว่า 3.00 |

หมายเหตุ : พอกมุมอาจจะไม่จำเป็นต้องมี ถ้าไม่เหมาะสมในการออกแบบอาคารบางชนิด

### 3.12 ท่อคอนกรีตเสริมเหล็ก

**ท่อกลม**

การนำท่อคอนกรีตหล่อสำเร็จหรือท่อที่ใช้งานชลศาสตร์ จะต้องเป็นไปตามข้อกำหนดของ มอก. 128-2528 สำหรับการออกแบบท่อหล่อสำเร็จรับแรงดัน หรือท่อหล่อในที่จะต้องเป็นไปตามข้อกำหนด USBR ความสูงของดินถมหลังท่อจะต้องไม่น้อยกว่า 60 ซม.

**ท่อเหลี่ยม**

ลักษณะโดยทั่วไปเป็นท่อรูปสี่เหลี่ยมประกอบด้วย กำแพงด้านข้าง 2 ข้าง พื้นล่างและเพดานท่อ ถ้าเป็นชนิด 2 หรือ 3 แถว ก็จะมีกำแพงกลางเพิ่มขึ้นอีก ถ้าเป็นอาคารท่อลอด (Culvert) จะรับน้ำหนักบรรทุกจากดินถมหลังท่อ น้ำหนักรถยนต์ แรงดันดินและแรงดันน้ำด้านข้าง ดังนั้นอาคารจะต้องมีความแข็งแรงเพียงพอที่จะรับแรงต่างๆ ข้างต้นได้ รวมทั้งฐานรากอาคารจะต้องมีความมั่นคงแข็งแรงไม่เกิดการทรุดตัวเนื่องมาจากน้ำหนักบรรทุกของอาคารอีกด้วย

เกณฑ์การออกแบบอาคารท่อลอด พอจะแยกเป็นข้อๆ ได้ดังนี้

1) ความลึกของดินทับหลังท่อจะต้องไม่น้อยกว่า 0.60 ม.

2) รถที่วิ่งข้ามท่อใช้หลักเกณฑ์ของ ASSHTO น้ำหนักของล้อรถสำหรับถนนที่ไม่ใช้ทางหลวงเป็น H20-44 และแรงกดเนื่องจากน้ำหนักของรถบรรทุกนั้นให้คิดจากน้ำหนักของล้อหลังทั้งคู่แผ่ออกเป็นรูปปิรามิดฐานสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีความยาวของด้าน 1.75 เท่าของความลึก และมีเกณฑ์เพิ่มเติมดังนี้

- ความหนาของดินทับหลังท่อไม่เกิน 0.60 ม. ให้คิดน้ำหนักของล้อรถโดยตรงสู่ผิวท่อ โดยไม่ต้องแผ่เป็นรูปปิรามิดฐานสี่เหลี่ยมจัตุรัส
- ความหนาของดินทับหลังท่อที่เกิน 3.00 ม. ไม่ต้องคิดน้ำหนักจากล้อรถเลย
- ความหนาของดินทับหลังท่อที่ไม่เกิน 0.90 ม. ต้องเพิ่มแรงกระแทก (Impact) เนื่องจากรถที่ข้ามหลังท่ออีกดังนี้

| ความหนาของดินทับหลังท่อ | แรงกระแทก (%ของน้ำหนักกด) |
|---|---|
| 0-0.30 | 30 |
| 0.30-0.60 | 20 |
| 0.60-0.90 | 10 |
| มากกว่า 0.90 ขึ้นไป | 0 |

3) คิดเฉพาะกรณีในท่อไม่มีน้ำเลย แต่มีดินทับหลังท่อด้วยความหนาตามที่เป็นจริง

4) ในกรณีที่ใช้ท่อแถวเดียวไม่พออาจจะใช้ท่อคู่ ท่อสามแถวหรือมากกว่านั้นได้ แต่มีเกณฑ์กว้างๆ ว่า พยายามให้หน้ากว้างของท่อใกล้เคียงกับขนาดกว้างของคลองที่ต่อเชื่อมท่อ ทั้งนี้จะให้ผลดีทางด้านชลศาสตร์ด้วย

5) การวิเคราะห์หาแรงต่างๆ ที่กระทำกับตัวอาคาร ตลอดจนการวิเคราะห์ Moment Thrusts และ Shears ที่เกิดขึ้นในส่วนต่างๆ ของอาคาร จะใช้ทฤษฎีและตารางต่างๆ ของ Portland Cement Association (PCA) ในหนังสือ Concrete Culvert and Conduits, 1975 หรือใช้มาตรฐานการคำนวณของ U.S. Department of Agriculture, Soil Conservation Service หรือใช้วิธีของ Moment Distribution