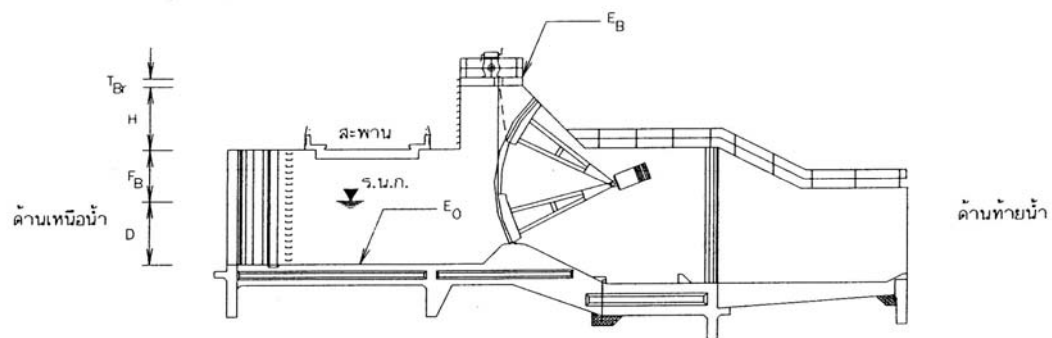


- เมื่อ E_B = ระดับพื้นสะพานเครื่องกว้าน ,เมตร
 E_O = ระดับธรณีฝายน้ำล้น ,เมตร
 H = ความสูงต่อม่อรับสะพานเครื่องกว้าน ,เมตร
 D = ความลึกน้ำหน้าฝายน้ำล้น กรณีน้ำหลากรอบ 50 ปี ,เมตร
 F_B = ระยะเพื่อล้น ใช้ 0.50 เมตร
 T_{Br} = ความหนาพื้นสะพานเครื่องกว้าน ,เมตร



บทที่ 5

เกณฑ์การออกแบบอาคารบังค้ำน้ำ

5.1 หลักการทั่วไปในการออกแบบ

ในการออกแบบอาคารบังค้ำน้ำ จะพิจารณารูปร่างลักษณะของอาคารที่สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวมทั้งให้ความปลอดภัยในการใช้งานได้ทุกกรณีตลอดอายุของอาคาร พร้อมทั้งก่อสร้างง่าย ประหยัดและสอดคล้องกับสภาพภูมิประเทศ โดยทั่วไปจะพิจารณาจากเงื่อนไขต่าง ๆ ดังนี้

- (1) ระดับพื้นอาคารวางอยู่บนชั้นดินเดิมหรือชั้นหินที่มีความแข็งแรงสามารถรับน้ำหนักอาคารได้โดยไม่เกิดการทรุดตัว
- (2) แนวอาคารจะต้องวางให้มีระยะสันและมีการขุดดินน้อย
- (3) สามารถระบายน้ำ หรือส่งน้ำให้ได้ตามปริมาณและระดับที่กำหนดไว้
- (4) ถ้ามีความจำเป็นจะพิจารณา ให้สามารถใช้เป็นอาคารช่วยเสริมการผันน้ำ ระหว่างการก่อสร้างได้ด้วย
- (5) แนวอาคารให้สอดคล้องกับสภาพภูมิประเทศในบริเวณดังกล่าว
- (6) คลองระบายน้ำลงลำน้ำเดิม จะต้องเชื่อมต่อกับลำน้ำเดิมให้สอดคล้องกลมกลืนกัน ไม่กีดขวางการไหลของน้ำ ซึ่งจะทำให้เกิดการกัดเซาะในบริเวณจุดตัดของคลองระบายน้ำ และลำน้ำเดิมได้
- (7) ใช้ทำหน้าที่ป้องกันอุทกภัยเสริมช่วยอาคารทางระบายน้ำล้น โดยการระบายน้ำจากอ่างเก็บน้ำลดระดับลงก่อนจะถึงฤดูน้ำหลาก ทำให้อ่างเก็บน้ำมีปริมาตรเพิ่มสามารถรับน้ำลงอ่างเก็บน้ำได้มากขึ้น
- (8) ทำหน้าที่ระบายน้ำทิ้งออกจากอ่างเก็บน้ำ เพื่อทำการตรวจสอบหรือซ่อมแซมตัวเขื่อน และอาคารท่อส่งน้ำ

ในการดำเนินการออกแบบตัวอาคารจะยึดหลักว่าต้องมีความปลอดภัย ก่อสร้างง่าย ประหยัดราคาก่อสร้าง รวมทั้งค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา ภายหลังจากก่อสร้างเสร็จแล้ว โดยการออกแบบจะพิจารณาสรรหาวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างจากแหล่งที่ใกล้กับหัวงานให้มากที่สุด

ตัวอาคารบังคับน้ำจะวางอยู่ใต้ฐานรากตัวเขื่อน มีส่วนประกอบต่างๆดังนี้

1) ทางชักน้ำเข้า (Approach Channel) ทำหน้าที่เป็นทางชักน้ำในอ่างเก็บน้ำมายังอาคารรับน้ำ ร่องน้ำต้องออกแบบให้สามารถรับน้ำในปริมาณที่ต้องการได้โดยไม่ให้ถูกกัดเซาะทำลายร่องน้ำและมีเสถียรภาพของความลาดเอียงของร่องน้ำที่ไม่เกิดพังทลาย

2) อาคารรับน้ำ (Intake Structure) ทำหน้าที่รับน้ำเข้าสู่ท่อระบายน้ำ (Conduit) มีลักษณะเป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กซึ่งออกแบบให้มีช่องระบายน้ำ อยู่ที่ระดับเก็บกักต่ำสุด (Dead Storage) ของอ่างเก็บน้ำ ช่องนี้จะเป็นช่องสำหรับการระบายน้ำถาวร ดังนั้นจึงจะออกแบบตะแกรงกันขยะปิดช่องนี้ไว้เพื่อป้องกันมิให้ขยะหรือวัสดุขนาดใหญ่ไหลเข้าไปอุดตันในท่อระบายน้ำ นอกจากนี้จะออกแบบบานเหล็ก (Bulkhead Gate) ไว้สำหรับปิดช่องระบายน้ำ ในกรณีที่จำเป็นต้องปิดกั้นน้ำเพื่อการซ่อมแซมบำรุงรักษาตัวท่อและอาคารอื่นๆ ด้านท้ายน้ำ

3) ท่อระบายน้ำ (Conduit) ออกแบบเป็นท่อคอนกรีตเสริมเหล็กภายในบุด้วย Steel Liner ตัวท่อระบายจะแบ่งเป็น 2 ช่วง คือช่วงแรกตั้งแต่ท้ายอาคารรับน้ำไปจนถึง Downstream Toe ของตัวเขื่อน จะเป็นท่อขนาดใหญ่ทำหน้าที่ผันน้ำในระหว่างการก่อสร้างตัวเขื่อน ต่อจากท่อผันน้ำ (Diversion Conduit) จะเป็นท่อที่มีขนาดเล็กต่อเชื่อมกับท่อผันน้ำด้วย Transition

4) อาคารบังคับน้ำ (Control Structure) ที่ปลายท่อ Irrigation Conduit จะเป็นอาคารบังคับน้ำ ซึ่งจะติดตั้งระบบควบคุมน้ำไว้ภายในได้แก่ ประตูน้ำจำนวน 2 ชุด ชุดแรกที่อยู่ด้านเหนือน้ำ เรียกว่า Guard Gate โดยปกติประตูตัวนี้จะเปิดชุดแรกเต็มที่อยู่เสมอ จะปิดก็ต่อเมื่อจำเป็นต้องมีการเปลี่ยนหรือซ่อมแซมประตูตัวถัดไปหรืออาคารสลายพลังงานด้านท้าย ประตูน้ำอีกชุดหนึ่งเรียกว่า Regulating Gate จะติดตั้งถัดจาก Guard Gate ออกไปทางท้ายน้ำจะทำหน้าที่ควบคุมปริมาณน้ำให้ไหลตามจำนวนที่ต้องการ

5) อาคารลดพลังงานท้ายน้ำ (Terminal Structure) การระบายน้ำจากท้ายท่ออาคารบังคับน้ำจะต้องผ่านอาคารสลายพลังงาน (Energy Dissipater) ก่อนที่จะปล่อยลงสู่ทางระบายน้ำท้าย อาคารสำหรับการออกแบบอาคารเพื่อสลายพลังงานนี้จะเลือกใช้ชนิดที่เหมาะสมกับสภาพภูมิประเทศและสภาพทางธรณีวิทยาโดยรูปแบบของอาคารจะเป็นไปตามมาตรฐานของ USBR. Engineering Monograph No. 25, Stilling Basin and Energy Dissipater

6) ทางระบายน้ำท้ายอาคาร (Tail Channel) ทำหน้าที่ระบายน้ำจาก Terminal Structure ลงสู่ลำน้ำเดิมโดยทั่วไปจะมีลักษณะเป็นคลองเปิด (Open Channel)

5.2 การออกแบบอาคารทางน้ำเข้า

5.2.1 ทางชักน้ำเข้า (Approach Channel)

การออกแบบทางชักน้ำเข้าจะใช้สูตรของแมนนิ่ง เช่นเดียวกับการออกแบบทางรับน้ำเข้าของอาคารระบายน้ำล้น

5.2.2 อาคารรับน้ำ (Intake Structure)

อาคารรับน้ำเป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก มีช่องรับน้ำเป็นรูปสี่เหลี่ยม ตั้งฉากกับคลองชักน้ำที่ช่องรับน้ำจะมีตะแกรงดักขยะ (Trashrack) ปิดอยู่เพื่อป้องกันไม่ให้สิ่งของลอยน้ำหรือสิ่งที่ไม่ไหลมากับน้ำไหลเข้าไปในท่อส่งน้ำ ที่ปากทางเข้าท่อส่งน้ำจะมีทางรับน้ำเป็นรูปโค้ง (Entrance Shapes) เพื่อให้การไหลของน้ำเข้าท่อมีความราบเรียบสม่ำเสมอและไหลผ่าน Transition ซึ่งเป็นส่วนเชื่อมต่อระหว่างอาคารรับน้ำ และท่อส่งน้ำ ทั้งนี้เพื่อเปลี่ยนรูปร่างของช่องรับน้ำรูปสี่เหลี่ยม เป็นท่อส่งน้ำรูปวงกลม หลักเกณฑ์การคำนวณออกแบบส่วนประกอบต่างๆ ของอาคารรับน้ำที่กล่าวไว้ข้างต้นมีรายละเอียด ดังนี้

ตะแกรงกันสวะ (Trashrack)

ทำด้วยเหล็กแผ่นตัดเป็นซี่ๆ ตามขนาดที่กำหนด นำมาเชื่อมต่อกันเป็นตะแกรง โดยซี่เหล็กแต่ละซี่มีระยะห่างกันตามแนวราบไม่มากกว่า 0.10 เมตร ทั้งนี้เพื่อป้องกันไม่ให้ขยะมาอุดตันที่ตะแกรงเหล็ก และป้องกันไม่ให้เศษขยะหลุดลอดเข้าไปภายในท่อส่งน้ำได้ การคำนวณหาขนาดพื้นที่ตัดของ Trashrack จะต้องใหญ่พอที่จะไม่ทำให้ความเร็วกระแสน้ำไหลผ่าน มีค่ามากกว่า 0.60 ม./วินาที ซึ่งพื้นที่หน้าตัดที่กล่าวถึงเป็นพื้นที่หน้าตัดสุทธิ ไม่รวมพื้นที่ของแผ่นเหล็กที่นำมาทำเป็นตะแกรง และพื้นที่เกิดการอุดตันออกไปด้วย โดยคำนวณได้ดังนี้

$$A_n = Q/V_n \quad (5-1)$$

$$\begin{aligned} \text{โดยที่ } A_n &= \text{พื้นที่หน้าตัดรวมขอบตะแกรงดักขยะ เป็น ม.}^2 \\ Q &= \text{ปริมาณน้ำไหลผ่านท่อสูงสุดเป็น ม.}^3/\text{วินาที} \\ V_n &= \text{ความเร็วกระแสน้ำไหลผ่านตะแกรงดักขยะ ม./วินาที} \\ &> 0.60 \text{ ม./วินาที} \end{aligned}$$

การคำนวณหาพื้นที่หน้าตัดรวมของตะแกรงดักขยะจะสมมุติให้มีการอุดตันที่ตะแกรงประมาณ 50% ดังนั้นพื้นที่หน้าตัดรวม คำนวณได้จาก

$$A_g = 2 A_n \quad (5-2)$$

โดยที่ A_g = พื้นที่หน้าตัดรวมของตะแกรงคักขยะ เป็น m^2

A_n = พื้นที่หน้าตัดสุทธิ เป็น m^2

พื้นที่หน้าตัดรวมเป็นพื้นที่ช่องรับน้ำรูปสี่เหลี่ยมของอาคารรับน้ำ โดยไม่มี Trashrack

ปิดอยู่

รูปร่างทางรับน้ำ (Entrance Shapes)

รูปร่างของทางรับน้ำจะเป็นรูปโค้งของ Ellipse มีโค้งด้านบน และด้านข้างสองข้าง ทั้งนี้เพื่อให้เส้นการไหลของน้ำ (Stream Flow) เข้า Transition มีความราบเรียบสม่ำเสมอ การคำนวณรูปร่างทางรับน้ำมีรายละเอียดดังนี้

สำหรับ Top Contraction Curve

$$\frac{X^2}{D^2} + \frac{Y^2}{(0.67D)^2} = 1 \quad (5-3)$$

สำหรับ Side Contraction Curve

$$\frac{X^2}{D^2} + \frac{Y^2}{(0.33D)^2} = 1 \quad (5-4)$$

โดย X = Coordinate ตามแกน X ของโค้ง เป็น เมตร

Y = Coordinate ตามแกน Y ของโค้ง เป็นเมตร

D = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในของท่อส่งน้ำเป็น เมตร

ช่วงต่อเชื่อม Transition

เป็นส่วนต่อระหว่าง Entrance Shapes กับตัวท่อส่งน้ำเนื่องจากท่อส่งน้ำเป็นท่อกกลม และ Entrance Shapes เป็นรูปสี่เหลี่ยม จึงจำเป็นต้องออกแบบให้อาคารส่วนนี้เชื่อมต่อกันได้ เพื่อให้การไหลของน้ำเป็นไปโดยราบเรียบสม่ำเสมอ และเกิด Loss น้อยที่สุด โดยมีการกำหนดความยาวของ Transition ให้เพียงพอที่จะทำให้มุมตีบอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด ดังนี้

$$\alpha_r = \tan^{-1} \left(\frac{1}{3F} \right) \quad (5-5)$$

โดยที่ α_r = มุมตีบที่ต้องการเป็น องศา

F = Froude Number

$$= \frac{V}{\sqrt{gy}}$$

V = ความเร็วกระแสน้ำไหลผ่านท่อ ม./วินาที
 y = ความลึกน้ำเป็น ม. ในที่นี้เท่ากับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ
 เพราะไหลน้ำเต็มท่อ

ความยาว Transition ที่ต้องการ

$$L_r = \left[\frac{(D_1 - D)}{(2 \tan \alpha_r)} \right] \quad (5-6)$$

ทั้งนี้ความยาว L_r จะต้องมีค่าน้อยกว่าความยาวที่กำหนดใช้งาน

ช่องสำหรับใส่ Bulkhead

วางไว้ด้านหน้าติดกับ Entrance Shapes สำหรับใส่ Bulkhead เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำไหลเข้าไปในท่อส่งน้ำ ทั้งนี้เพื่อเตรียมไว้สำหรับกรณีที่ต้องการซ่อมแซมตัวท่อ หรือ Gate Valve ด้านท้ายน้ำ

5.2.3 ท่อส่งน้ำ (Conduit)

เป็นท่ออยู่ถัดจากช่วงต่อเชื่อม (Transition) นิยมใช้เป็นคอนกรีตหุ้มท่อ โดยมี Steel Liner อยู่ภายในตลอดความยาว ซึ่ง Steel Liner จะช่วยป้องกันไม่ให้น้ำในท่อรั่วเข้าตัวเขื่อนได้ ในกรณีที่เกิดการทรุดตัวของฐานรากไม่เท่ากัน ทำให้ท่อคอนกรีตเสริมเหล็กเกิดการแตกร้าว

- Steel Liner กำหนดให้รับ Internal Stress ต้องรับแรงดันระเบิดของน้ำได้ โดยตรวจสอบจาก Hook Tension Stress
- คอนกรีตเสริมเหล็กหุ้มท่อ กำหนดให้รับ External Stress ต้องรับแรงเฉือน, แรงดัด และแรงอัดในแนวแกน (Truss) ที่เกิดจาก Stress ของดินกระทำต่อเปลือกท่อได้

สำหรับการกำหนดระดับธรณีท่อ (Invert) จะพิจารณาจาก

- (1) ระดับฐานรากที่มั่นคง สามารถรับน้ำหนักบรรทุกของท่อได้อย่างปลอดภัย
- (2) ระดับน้ำต่ำสุดในอ่างเก็บน้ำ (ปกติกำหนดให้เท่ากับ Dead Storage) และรับน้ำที่ปลายท่อทางออกก่อนส่งน้ำเข้าสู่ระบบส่งน้ำ หรือพิจารณาจากระดับธรณีที่ Intake Structure

การกำหนดขนาดท่อตามการพิจารณาในกรณีต่างๆ

กรณีที่ 1 วัตถุประสงค์เพื่อการเพาะปลูก หรือการชลประทานจะต้องมีขนาดเพียงพอที่จะระบายน้ำได้ไม่น้อยกว่าความต้องการน้ำสูงสุด โดยใช้ระดับน้ำต่ำสุดในอ่างเก็บน้ำ เป็นเกณฑ์วิเคราะห์ทางชลศาสตร์ โดยปกติทั่วไป Minimum Reservoir Water Elevation for design discharge จะคิดที่ความสูงประมาณ $H/3$, $H/4$, $H/5$ ขึ้นอยู่กับลักษณะความสัมพันธ์ของความจุและความลึกอ่างเก็บน้ำ

โดยที่ H = ระดับน้ำเก็บกัก – ระดับน้ำต่ำสุด

กรณีที่ 2 ต้องการระบายลงลำน้ำเดิมตามกฎหมาย หรือตามความต้องการใช้น้ำในทางสาธารณะที่เคยมีใช้อยู่ก่อนมีโครงการ โดยต้องระบายน้ำออกอย่างน้อยเท่ากับที่เคยมีปริมาณน้ำไหลอยู่เดิม หรือระบายน้ำตามวัตถุประสงค์ของโครงการเพื่อการอุปโภคและบริโภค

กรณีที่ 3 ต้องการระบายน้ำตาม กรณีที่ 1 และกรณีที่ 2 และเทียบกับปริมาณการผันน้ำ หากต้องใช้ Outlet เพื่อวัตถุประสงค์ในการผันน้ำ

กรณีที่ 4 ตามความต้องการผันน้ำในระหว่างการก่อสร้าง ซึ่งต้องปิดลำน้ำเดิมด้วย Cofferdam ดังนั้นในการคำนวณปริมาณน้ำผ่านท่อต้องวิเคราะห์ Flood Routing ผ่านท่อจาก Hydrograph ช่วงของการก่อสร้างปิดลำน้ำเดิม โดยพิจารณาปริมาณน้ำในรอบ 2, 5 และ 10 ปี และสามารถจะกำหนดความสูงของ Cofferdam ได้ด้วย (ถ้ามี)

การคำนวณการไหลของน้ำในท่อส่งน้ำ ต้องคำนวณการไหลภายใต้ความดัน (Under Pressure Flow) เนื่องจากที่ปลายท่อส่งน้ำจะมี Gate Valve ทำหน้าที่ควบคุมปริมาณน้ำอยู่ ดังนั้นในการวิเคราะห์ทางชลศาสตร์ เพื่อหาปริมาณน้ำไหลผ่านท่อ และ Head Losses ต่างๆ ของ Outlet Works ทั้งหมดจึงต้องเริ่มต้นจาก Intakes Structure จนถึงปลายทางน้ำไหลออก (Outlet)

การคำนวณหาปริมาณน้ำผ่านท่อส่งน้ำ และการหา Head Losses ต่างๆ จะใช้ตาม Bernoulli's Equation จะได้สมการ

$$H_T = h_L + h_v \quad (5-7)$$

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ } H_T &= \text{Total Head (ม.)} \\ h_L &= \text{ผลรวมของ Head Loss ต่างๆ ทั้งระบบ (ม.)} \\ &= h_t + h_e + h_f + h_c + h_{ex} + h_b + h_g \end{aligned}$$

(1) h_t = Trashrack Loss

$$h_t = K_t \left(\frac{V_n^2}{2g} \right) \quad (5-8)$$

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ } K_t &= \text{Trashrack loss Coefficient} \\ &= 1.45 - 0.45 (A_n/A_g) - (A_n/A_g)^2 \\ A_n &= \text{พื้นที่น้ำผ่านตะแกรงป้องกันสวะสุทธิ (ม.}^2\text{)} \\ A_g &= \text{พื้นที่ทั้งหมดของ Trashrack (ม.}^2\text{)} \\ V_n &= \text{ความเร็วการไหลของน้ำที่ไหลผ่านพื้นที่ Trashrack} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 0.60 \text{ ม./วินาที} \\
g &= \text{อัตราเร่งของแรงโน้มถ่วงของโลก} \\
&= 9.81 \text{ ม./วินาที}^2
\end{aligned}$$

(2) h_e = Entrance Losses ที่ปากท่อส่งน้ำ (Conduit)

$$h_e = K_e \left(\frac{V_e^2}{2g} \right) \quad (5-9)$$

$$\begin{aligned}
K_e &= \text{Entrance Loss Coefficient} \\
C &= \text{Coefficients of Discharge} \\
V_e &= \text{ความเร็วการไหลของน้ำที่ปากทางเข้า (ม./วินาที)} \\
g &= \text{อัตราเร่งของแรงโน้มถ่วงของโลก} \\
&= 9.81 \text{ ม./วินาที}^2
\end{aligned}$$

ตารางที่ 5-1 Coefficient of discharge and loss coefficient for conduit entrances

Item	Coefficient C			Loss Coefficient K		
	Max	Min.	Ave.	Max	Min.	Ave.
(a) Gate in thin wall unsuppressed contraction	0.70	0.60	0.63	1.80	1.00	1.50
(b) Gate in thin wall-bottom and sides suppressed	0.81	0.68	0.70	1.20	0.50	1.00
(c) Gate in thin wall-corners rounded	0.95	0.71	0.82	1.00	0.10	0.50
(d) square-cornered entrances	0.85	0.77	0.82	0.70	0.40	0.50
(e) Slightly rounded entrances	0.92	0.79	0.90	0.60	0.18	0.23
(f) Fully rounded entrances $\frac{r}{D} \geq 0.15$	0.96	0.88	0.95	0.27	0.08	0.10
(g) Circular bellmouth entrances	0.98	0.95	0.98	0.10	0.04	0.05
(h) Square bellmouth entrances	0.97	0.91	0.93	0.20	0.07	0.16
(i) Inward projecting entrances	0.80	0.72	0.75	0.93	0.56	0.80

ที่มา : USBR, “Design of Small Dams” 2nd Edition, Washington, 1974

(3) h_f = Friction Losses ของท่อส่งน้ำ

การสูญเสียแรงดันน้ำเนื่องจากความฝืดของผิวท่อคำนวณได้จาก

- Manning's Formula

$$h_f = n^2 L \frac{v^2}{R^{\frac{4}{3}}} \quad (5-10)$$

เมื่อ h_f = Friction head loss, ม.

n = สัมประสิทธิ์ความฝืดของผิวท่อ

Manning Roughness Coefficient (n)	Maximum	Minimum
-ท่อคอนกรีต	0.014	0.008
-ท่อเหล็กเหนียว	0.012	0.008

L = ความยาวของท่อ, ม.

R = รัศมีชลศาสตร์, ม.

v = ความเร็วของน้ำที่ไหลผ่านท่อ, ม./วินาที

g = อัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง เท่ากับ 9.81 ม./วินาที²

- Darcy-Weisbach Formula

$$h_f = \frac{fLv^2}{2gD} \quad (5-11)$$

เมื่อ h_f = Friction head loss, ม.

f = สัมประสิทธิ์ความฝืด

$$= \frac{124.51n^2}{D^{\frac{1}{3}}}$$

D = เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ, ม.

L = ความยาวของท่อ, ม.

v = ความเร็วของน้ำที่ไหลผ่านท่อ, ม./วินาที

g = อัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง เท่ากับ, 9.81ม./วินาที²

n = Manning's coefficient

(4) h_c = Contraction Losses เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงขนาดของท่อจากใหญ่เล็ก

$$h_c = K_c \left[\frac{V_d^2 - V_u^2}{2g} \right] \quad (5-12)$$

เมื่อ K_c = Contraction Coefficient
 = 0.10 กรณีค่อยๆ เปลี่ยนขนาด (Flare Angle ไม่เกิน 10°)
 = 0.50 กรณีเปลี่ยนขนาดทันทีทันใด (For Abrupt Contraction)
 V_d = ความเร็วการไหลของน้ำในท่อส่งน้ำเล็ก
 (Downstream Velocity) (ม./วินาที)
 V_u = ความเร็วการไหลของน้ำในท่อส่งน้ำใหญ่ (Upstream Velocity)
 g = อัตราเร่งของแรงโน้มถ่วงของโลก = 9.81 (ม./วินาที²)

(5) h_{ex} = Expansion Losses เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงขนาดท่อส่งน้ำจากเล็กไปหาใหญ่

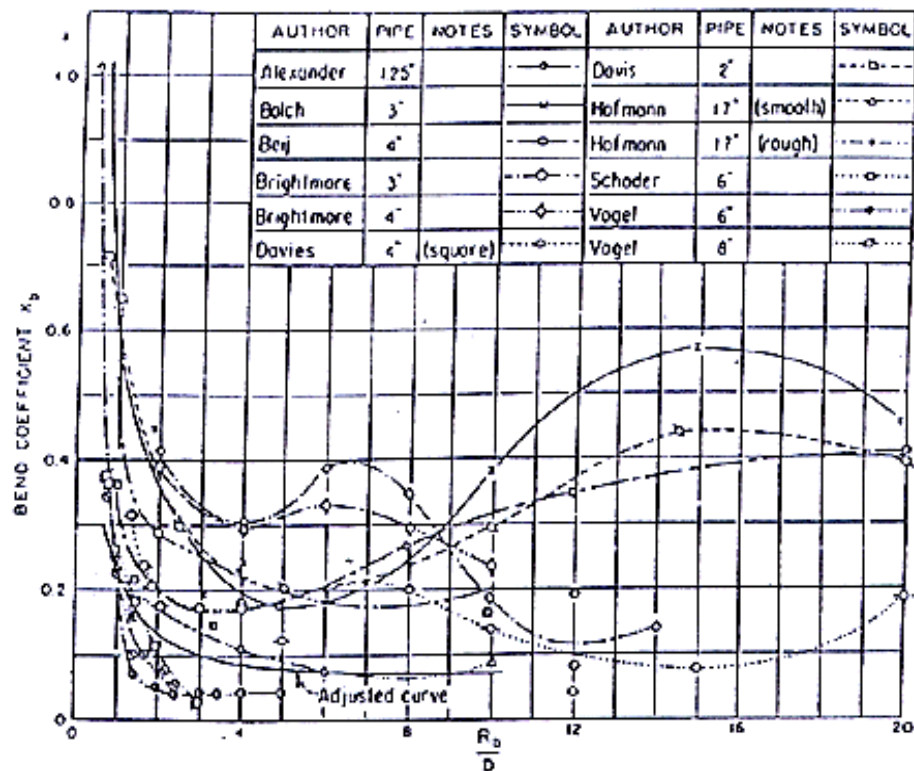
$$h_{ex} = K_{ex} \left[\frac{V_d^2 - V_u^2}{2g} \right] \quad (5-13)$$

เมื่อ K_{ex} = Expansion Coefficient จะผันแปรตามค่ามุมที่ผายออก
 (ดูจาก ตารางที่ 5-2)
 V_u = ความเร็วการไหลของน้ำในท่อเล็ก (Upstream Velocity)
 (ม./วินาที)
 V_d = ความเร็วการไหลของน้ำในท่อใหญ่ (Downstream Velocity)
 (ม./วินาที)
 g = อัตราเร่งของแรงโน้มถ่วงของโลก = 9.81 (ม./วินาที²)

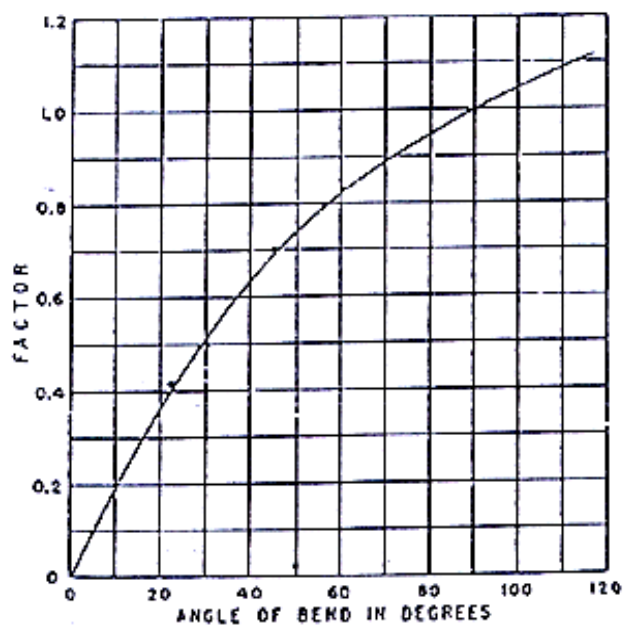
ตารางที่ 5-2 ค่า Expansion Coefficient ที่ผันแปรตามมุมที่ผายออก

Flare Angle (θ)	2°	5°	10°	12°	15°	20°	25°	30°	40°	50°	60°
K_{ex}	0.03	0.04	0.08	0.10	0.16	0.31	0.40	0.49	0.60	0.67	0.72

ที่มา : USBR, “Design of Small Canal Structures” Denver, 1974



(A) VARIATION OF BEND COEFFICIENT WITH RELATIVE RADIUS FOR 90° BENDS OF CIRCULAR CROSS SECTION, AS MEASURED BY VARIOUS INVESTIGATORS



(B) FACTORS FOR OTHER THAN 90° BENDS

รูปที่ 5-1 Bend Loss Coefficient

ที่มา : USBR, "Canals and Related Structures" Denver, 1961

(6) h_b = Bend Losses กรณีที่ท่อส่งน้ำเปลี่ยนแนวทิศทาง

$$h_b = K_b \left(\frac{V^2}{2g} \right) \quad (5-14)$$

เมื่อ K_b = bend Loss Coefficient ดูจาก รูปที่ 5 1
 V = ความเร็วของน้ำในท่อส่งน้ำ (ม./วินาที)
 g = อัตราเร่งของแรงโน้มถ่วงของโลก
 = 9.81 ม./วินาที²

(7) h_g = Gate Losses จะเกิดที่บานระบายน้ำ (Gate Valve)
 ทั้งสองแห่ง (Guard Gate และ Regulating Gate)

$$h_g = h_{g1} + h_{g2} \quad (5-15)$$

$$h_{g1} = K_{g1} \left(\frac{V^2}{2g} \right)$$

เมื่อ h_{g1} = Guard Gate Loss
 V = ความเร็วการไหลของน้ำในท่อส่งน้ำของ Guard Gate (ม./วินาที)
 K_{g1} = Gate Loss Coefficient
 = 0.19 สำหรับการเปิด Gate เต็มที่ (100%)

$$h_{g2} = K_{g2} \left(\frac{V^2}{2g} \right)$$

เมื่อ h_{g2} = Regulating Gate Loss
 V = ความเร็วการไหลของน้ำไหลผ่าน Regulating Gate
 K_{g2} = Gate Loss Coefficient ซึ่งขึ้นอยู่กับเปอร์เซ็นต์ของการเปิด Gate และชนิดของ Gate (ดูจาก ตารางที่ 5-3)
 g = อัตราการเร่งของแรงโน้มถ่วงของโลก 9.81 (ม./วินาที²)

ตารางที่ 5-3 Gate Loss Coefficient ที่เปอร์เซ็นต์ของการเปิด Gate ต่าง ๆ

การเปิดบานระบายน้ำ (%)	K_g
100	0.19
75	1.15
50	5.60
25	24.00

ที่มา : USBR, “Design of Small Canal Structures” Denver, 1974

(8) h_v = Exit Losses เป็นการสูญเสีย head ที่ปลายท่อส่งน้ำออก (Outlet)

$$h_v = K_v \left(\frac{V^2}{2g} \right) \quad (5-16)$$

เมื่อ K_v = Exit Velocity head Coefficient
 = 1.00 เมื่อน้ำไหลออกจากปลายท่อเป็น Freely Discharge
 = $\left(\frac{a_1}{a_2} \right)$

เมื่อพื้นที่ปลายท่อถูกขยายจาก a_1 เป็น a_2

a_1 = พื้นที่ปลายท่อ
 a_2 = พื้นที่ปลายท่อที่ขยายออก
 V = ความเร็วการไหลของน้ำขณะออกจากท่อส่งน้ำ (ม./วินาที)
 g = อัตราเร่งของแรงโน้มถ่วงโลก 9.81 (ม./วินาที²)

จากการคำนวณ Head Losses ต่างๆ ของท่อตลอดความยาวแล้ว สามารถคำนวณหาปริมาณน้ำไหลผ่านท่อได้ดังสมการ

$$Q = A \sqrt{\frac{2gH_T}{K_L}} \quad (5-17)$$

เมื่อ Q = ปริมาณน้ำไหลผ่านท่อในระดับต่างๆ ของอ่างเก็บน้ำ (ม.³/วินาที)
 A = พื้นที่ของการเปิดบานระบายน้ำ (ม.²)
 H_T = Total head Losses หรือความสูงของระดับน้ำจากระดับท่อส่งน้ำ
 K_L = Total Loss Coefficient ($K_c + K_{ex} + K_b + K_{gl} + K_v$)

5.2.4 อาคารบังคับน้ำ (Control Structure)

อาคารบังคับน้ำ (Control Structure) ที่ปลายท่อ Irrigation Conduit จะเป็นอาคารบังคับน้ำ ซึ่งจะติดตั้งระบบควบคุมน้ำไว้ภายใน โดยการควบคุมปริมาณน้ำผ่านท่อจะเป็นแบบ Downstream Control โดยมีประตูควบคุมปริมาณน้ำ 2 ตัว เป็น Guard Gate 1 ตัว และ Operating Gate อีก 1 ตัว ประตูระบายน้ำทั้งคู่จะเป็นแบบ High Pressure Sliding Gates และจะตั้งอยู่ภายในอาคารควบคุมบริเวณท้ายน้ำ USBR ได้แนะนำวิธีกำหนดขนาดกำลังของระบบไฮดรอลิกไว้ใน Design Standard No. 7 โดยสมการดังต่อไปนี้

$$H = 0.6 AP + W \quad (5-18)$$

เมื่อ H = แรงยกหรือปิดบานประตูของระบบไฮดรอลิก ,ตัน
 A = พื้นที่บานประตู, ตร.ม.
 P = แรงดันของน้ำที่ศูนย์กลางของบานประตู, ตัน/ตร.ม.
 W = น้ำหนักของส่วนที่เคลื่อนที่ได้เช่น บานประตู ก้านชัก และ ลูกสูบไฮดรอลิกและน็อตต่างๆ , ตัน

5.2.4.1 แรงดันภายในตัวท่อ (Internal Pressure)

(1) Hydrostatic Pressure

คือแรงดันน้ำที่เกิดจากความแตกต่างของระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำและระดับน้ำที่ปลายท่อที่ Terminal Structure

$$H = EL_1 - EL_2 \quad (5-19)$$

H = Static Head, ม.
 EL_1 = ระดับน้ำสูงสุดในอ่างฯ , ม.(รทก.)
 EL_2 = ระดับน้ำปลายท่อ, ม.(รทก.)

(2) Circumferential Stress, S_c

แรงที่เกิดในตัวท่อตามแนวทรงกลม (Hoop Stress) ของตัวท่อที่เกิดจากแรงดันภายในต่างๆ สามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$S_c = PD/2 < S_a \quad (5-20)$$

เมื่อ S_a = Allowable Stress เท่ากับ 1,400 กก./ตร.ซม.
 P = แรงดันภายในท่อ, กก./ตร.ซม.

D = เส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยของท่อ, ซม.

t = ความหนาท่อ, ซม.

(3) ความหนาท่อ Steel Liner

Steel Liner เป็นท่อเหล็กเหนียวอยู่ที่ผิวในของท่อส่งน้ำ คำนวณหาความหนาได้ดังนี้

ความหนาด้านทานแรงดันน้ำ

ท่อเหล็กนี้จะต้องต้านทานแรงดันน้ำสูงสุดที่จะเกิดขึ้นได้ และคำนวณหาความหนาท่อได้จาก (Hook Tension Stress ซึ่งเกิดที่ศูนย์กลางท่อ)

$$T = \gamma_w \cdot h \cdot D / 2f_s \quad (5-21)$$

โดยที่ t = ความหนาท่อเหล็ก (Steel Line) ซม.

γ_w = หน่วยน้ำหนักของน้ำ = 0.001 กก./ซม.³

h = ความลึกน้ำสูงสุด เป็น (ซม.)

= ระดับน้ำสูงสุด – ระดับน้ำต่ำสุด

D = เส้นผ่าศูนย์กลางท่อ เป็น (ซม.)

f_s = หน่วยแรงดึงของเหล็กที่ยอมให้

= 1,000 กก./ซม.²

ความหนาดำสุดตามข้อกำหนด

จากข้อกำหนดของ USBR ในหนังสือ Welded Steel Penstock, USBR.

Engineering Monograph No.3, 1967 จะคำนวณความหนาท่อต่ำสุดได้ดังนี้

$$t_{\min} = \frac{D + 50.8}{400} \quad (5-22)$$

โดยที่ $t_{\min}$ = ความหนาผนังท่อต่ำสุด เป็น (ซม.)

D = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ เป็น (ซม.)

เปรียบเทียบความหนาท่อจากสมการ (5-21) และ (5-22) ถ้าค่าใดมากกว่าให้นำค่านั้นไปใช้งานต่อไป

5.2.4.2 แรงดันภายนอกตัวท่อ External Pressure

แรงภายนอกที่มากระทำตัวท่อที่ฝังอยู่ใต้ดิน ประกอบด้วย แรงกดดินบนท่อ น้ำหนักจรรที่เกิดจากรถบรรทุกแล่นผ่านและน้ำใต้ดินที่ทำให้ท่อลอยตัวขึ้น (Buoyant Force) ฉะนั้นความลึกของการกลบฝังท่อจึงสัมพันธ์กับการป้องกันการลอยตัว (Floating Prevention) ของท่อเพื่อให้น้ำหนักดินกดทับไว้

(1) Vertical Earth Pressure

น้ำหนักของดินเหนือท่อสามารถคำนวณได้จากสมการของ Marston's Formula (Handbook of Applied Hydraulics, Calvin Victor Davis)

$$\text{กรณีท่อฝังลึก} \quad H \leq 2.0 \text{ ม.} \quad (5-23)$$

$$W_v = W.H.$$

$$\text{กรณีท่อฝังลึก} \quad H > 2.0 \text{ ม.} \quad (5-24)$$

$$W_v = C_d \cdot W.B$$

$$\text{โดยที่ } W_v = \text{แรงดันดินในแนวตั้ง, กก./ชม}^2$$

$$W = \text{หน่วยน้ำหนักของดิน, กก./ลบ.ม.}$$

$$B = \text{ความกว้างร่องดินชุดเหนือท่อ, ซม.}$$

$$C_d = \text{ค่าสัมประสิทธิ์ของร่องดินชุด}$$

$$= \frac{1 - e^{2Ku \frac{H}{B}}}{2Ku} \quad (5-25)$$

$$e = 2.718$$

$$K = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} = \tan^2 (45 - \phi/2)$$

$$\phi = \text{ค่ามุมเสียดทานภายในของวัสดุดินถม}$$

$$u = \text{ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างวัสดุดินถมกับวัสดุดินชุด}$$

$$H = \text{ระยะฝังดินเหนือท่อ, ซม.}$$

(2) Truck Live Load

น้ำหนักจรรที่เกิดจากรถบรรทุกแล่นผ่านท่อสามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$W_t = \frac{P(1+i)}{(250+H)(10+H)} \quad (5-26)$$

$$\begin{aligned}
\text{เมื่อ } W_t &= \text{Vertical truck live load, กก./ชม}^2 \\
P &= \text{Load of rear wheel เท่ากับ 8,000 กก.} \\
i &= \text{Impact factor} \\
&= \frac{15.24}{L + 38.1} \leq 0.30 \\
H &= \text{Covering depth, ซม.} \\
L &= \text{Load length, ม.}
\end{aligned}
\tag{5-27}$$

5.2.5 อาคารลดพลังงานท้ายน้ำ (Terminal Structure)

การพิจารณาออกแบบ Stilling Basin จะเลือกจะใช้ Basin ชนิดใดนั้น จะพิจารณาจากความเร็วกระแสน้ำที่ไหลเข้า Basin และค่า Froude Number (Fr) ตลอดจนปริมาณน้ำไหลผ่านอาคารสำหรับ Stilling Basin ของท่อส่งน้ำของแหล่งน้ำแต่ละแห่ง

เพื่อป้องกันการกัดเซาะท้ายน้ำ จึงต้องออกแบบให้เหมาะสม และสอดคล้องกับลักษณะการใช้งานจริง โดยพิจารณาที่

- ระดับน้ำที่ระดับเก็บกัก
- สามารถส่งน้ำได้ตามที่ออกแบบ โดยเปิด gate ไม่เต็มที่

อย่างไรก็ดี จะต้องทำการตรวจสอบลักษณะการใช้งาน เช่น การระบายน้ำฉุกเฉิน โดยจะไม่ทำความเสียหายต่ออาคารสลายพลังงานที่ออกแบบไว้นั้น คือ จะพิจารณาที่

- ระดับน้ำที่ 80% ของความจุอ่างเก็บน้ำ
- เปิด gate เต็มที่

การเลือกชนิดของอาคารสลายพลังงานจะพิจารณาจากความเร็วกระแสน้ำ และปริมาณน้ำที่ออกจากปลายท่อ

$$\begin{aligned}
\text{ถ้า } V &< 9.144 && \text{เมตร/วินาที (30 ฟุต/วินาที)} \\
Q &< 9.60 && \text{ลูกบาศก์เมตร/วินาที (339 ลูกบาศก์ฟุต/วินาที)}
\end{aligned}$$

เลือกใช้ Impact-type Energy Dissipater

ถ้าเป็นอย่างอื่นเลือกใช้ Hydraulic Jump Stilling Basin

Impact Type Stilling Basin

อาคารชนิดนี้ทำหน้าที่สลายพลังงาน (ดู รูปที่ 5-2) ที่ไหลออกมาจากท่อส่งน้ำผ่านอาคารควบคุมปริมาณน้ำ (Control House) ให้มีความเร็วต่ำจนไม่สามารถกัดเซาะอาคารด้านท้ายน้ำได้ กำหนดให้ใช้ชนิด Impact Type Basin เพราะปริมาณน้ำที่ไหลผ่านมีค่าน้อย และอาคารชนิดนี้จะมีการขุดดินน้อย รวมทั้งค่าก่อสร้างประหยัดเพราะเป็นอาคารขนาดเล็ก

โดยสมมุติรูปร่างของ Jet ที่พุ่งออกมีพื้นที่หน้าตัดเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสกว้าง D การคำนวณหาขนาดรูปร่างมีรายละเอียดดังนี้

$$V = Q_m/A \quad (5-28)$$

$$D = \sqrt{A} \quad (5-29)$$

โดยที่	V	=	ความเร็วกระแสน้ำที่ไหลเข้า Basin ม./วินาที < 1.5 ม./วินาที
	Q_m	=	ปริมาณน้ำไหลผ่านท่อสูงสุดที่ระดับน้ำสูงสุด $m^3/วินาที$
	A	=	พื้นที่หน้าตัดท่อ m^2
	D	=	ความลึกน้ำไหลเข้า Basin ม.

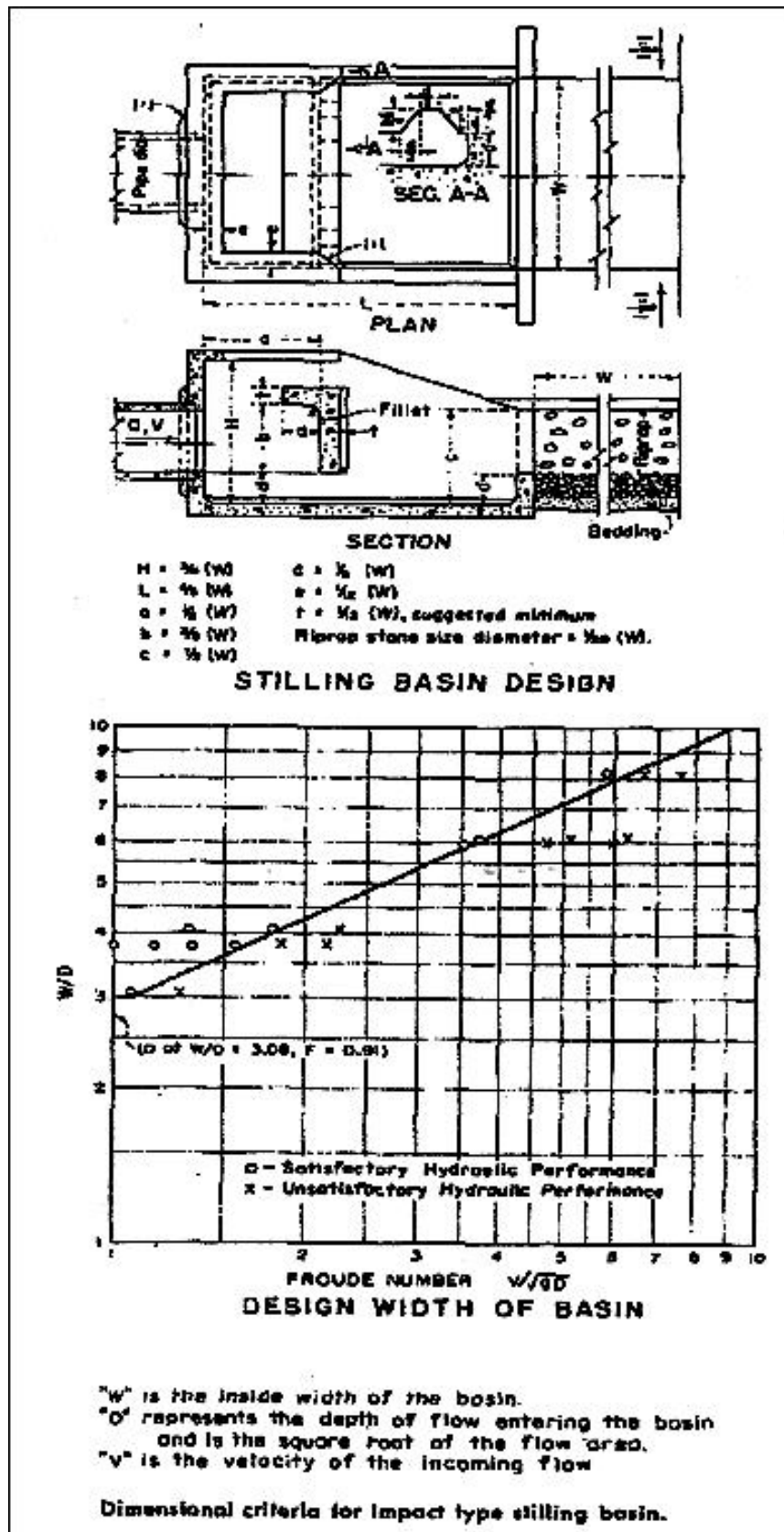
แล้วคำนวณหาค่า Froude Number = $V / \sqrt{gD}$ คำนวณหาค่า W (ความกว้างภายในของ Basin) และขนาดของส่วนต่าง ๆ ของ Basin ต่อไป

5.2.6 การป้องกันการกัดเซาะ

แนวคิดเช่นเดียวกับการป้องกันการกัดเซาะ ในบทที่ 4 ดังนี้

5.2.6.1 แรงกัดเซาะใต้ฐานอาคาร

สำหรับอาคารที่วางบนชั้นดินเดิมและขวางทางน้ำ จะต้องตรวจสอบแรงกัดเซาะใต้ฐานอาคารจาก Hydraulic Gradient กับประเภทของดินที่เป็นฐานราก โดยวิธีของ Lane's Weighted Creep Ratio ไม่น้อยกว่าค่าที่กำหนดไว้ใน ตารางที่ 5-4



รูปที่ 5-2 Impact Type Stilling Basin

ที่มา : USBR, "Design of Small Dams" 2nd Edition, Washington, 1974

$$\text{Lane's Weighted Creep Ratio } (C_w) = L_w/H$$

L_w = Weighted Creep Length หมายถึง ระยะทางที่น้ำไหลซึมผ่านได้ หรือข้างอาคาร โดยให้น้ำหนักความยาวแล้วแต่ทิศที่ซึมผ่านมี ดังนี้

- 1) ซึมผ่านด้านข้างของอาคารให้ใช้ความยาวจริง
- 2) ซึมผ่านในแนวดิ่งหรือชันกว่า 45 องศา ให้ใช้ความยาวจริง
- 3) ซึมลอดใต้อาคารในแนวราบหรือชันน้อยกว่า 40 องศา ให้ใช้เพียง 1 ใน 3 ของระยะจริง

H = Hydraulic Head ระหว่างจุดที่น้ำซึมเข้าและจุดออก

หากคำนวณค่า C_w ได้ต่ำกว่าที่กำหนดไว้ใน ตารางที่ 5-4 ให้เพิ่มค่าความยาว L_w โดยวิธีต่างๆ ดังต่อไปนี้

- เพิ่มระยะน้ำซึมในแนวดิ่งโดยใช้ Cutoff Wall หรือ Collars
- เพิ่มระยะน้ำซึมในแนวราบ โดยการขุด Aporn

สำหรับอาคารที่วางอยู่บนชั้นหิน ไม่ต้องมีการตรวจสอบด้วยวิธีของ Lane เพราะว่ามี Curtain Grouting ซึ่งโดยปกติแล้วจะมีค่า C_w มากเพียงพออยู่แล้ว

ตารางที่ 5-4 Lane's Weighted Creep Ratio

ชนิดของดิน	C_w
ดินตะกอนหรือทรายละเอียดมาก	8.50
ทรายละเอียด	7.00
ทรายขนาดปานกลาง	6.00
ทรายหยาบ	5.00
กรวดละเอียด	4.00
กรวดขนาดปานกลาง	3.50
กรวดหยาบ Cobbles และดินเหนียวอ่อน	3.00
ดินเหนียวแข็งปานกลาง	2.00
ดินเหนียวแข็ง	1.80

ที่มา : USBR, "Design of Small Dams" 2nd Edition, Washington, 1974

5.2.6.2 หินทิ้ง

หมายถึงหินใหญ่ที่ได้นำมาปูเรียงด้วยแรงคน หรือทิ้งจากรถขนหินในบริเวณที่ต้องการ ให้ได้ความหนาตามที่กำหนด โดยไม่ต้องแซมหินย่อยหรือมีการตกแต่งมากแต่อย่างใด หินที่ใช้ควรจะเป็นหินใหญ่ที่มีขนาดคละกััน การคำนวณหาขนาดของหินจะขึ้นอยู่กับความเร็วของกระแสน้ำ ส่วนความหนาของหินใช้ประมาณ 1.5 เท่าของขนาดหิน

5.2.6.3 หินเรียง

หมายถึงหินใหญ่ ที่นำมาเรียงกันเป็นชั้นให้เป็นระเบียบจนได้ความหนาที่ต้องการ โดยในช่องว่างระหว่างหินใหญ่นั้นจะอัดแซมด้วยหินย่อยหรือกรวดขนาดต่างๆ และทรายให้เต็มช่องว่าง ความหนาของหินเรียงใช้ประมาณครึ่งหนึ่งของหินทิ้ง

5.2.6.4 หินเรียงยาแนว

มีลักษณะเช่นเดียวกับหินเรียงแต่ต้องยาแนวตามช่องว่างระหว่างก้อนหินด้วยปูนทราย

5.2.6.5 GABION & MATTRESS

Gabion & Mattress เป็นกล่องลวดตาข่ายของโลหะที่ไม่เป็นสนิม หรือถูกเคลือบด้วยวัสดุที่ป้องกันการเป็นสนิม เช่น Polyvinyl เป็นต้น และมีความทนทานต่อการกัดกร่อน (corrosion) หรือผลจากกระบวนการ weathering ต่างๆ ภายในบรรจุหินขนาดต่างๆ ที่ทำได้ง่ายและมีความทนทานจนเต็มขนาดกล่อง แล้วนำมาปูวางในบริเวณที่ต้องการป้องกันการกัดเซาะ โดยเฉพาะบริเวณที่มีการกัดเซาะรุนแรง นิยมนำมาใช้ในกรณีที่ไม่สามารถคัดเลือกขนาดหินใหญ่ที่ใดเพียงพอด้านความเร็วของน้ำได้ตามวิธีการคำนวณขนาดก้อนหิน ซึ่งอาจใช้หินขนาดเล็กที่ทำได้ เช่น ขนาดเล็กสุด 50 มม. มีส่วนคละจนถึงขนาดโตสุด 300 มม. บรรจุในกล่องลวดตาข่าย (Mattress และ Gabion)

บทที่ 6

เกณฑ์กำหนดในการออกแบบถนน

6.1 หลักการทั่วไปในการออกแบบ

6.1.1 ถนนบนสันเขื่อน

วัตถุประสงค์ในการกำหนดให้มีถนนบนสันเขื่อน เพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับสันเขื่อนอันเนื่องจากการจราจร และน้ำฝนที่ตกลงมาชะล้างผิวบนของสันเขื่อน ถึงแม้ว่าการจราจรบนสันเขื่อนจะมีรถแล่นไปมาไม่มากนักก็ตาม แต่เมื่อถึงเวลาที่ต้องซ่อมแซมบำรุงรักษาเขื่อนก็จะมีรถขนาดใหญ่และมีน้ำหนักมากแล่นผ่านเพื่อไปยังจุดที่ต้องการ จึงจำเป็นต้องเตรียมการออกแบบถนนให้แข็งแรงเพื่อรองรับการจราจรที่อาจจะเกิดขึ้นได้ในระหว่างการก่อสร้างและภายหลังการก่อสร้างเสร็จแล้ว รายละเอียดในการออกแบบถนนบนสันเขื่อนมีดังนี้

1) ความกว้างผิวจราจรและไหล่ทาง

ผิวจราจรจะกำหนดให้มีความกว้างสอดคล้องกับความกว้างสันเขื่อน อย่างไรก็ตามความกว้างผิวจราจรจะต้องกว้างไม่น้อยกว่า 3.00 เมตร สำหรับสันเขื่อนกว้าง 6.00 เมตร ซึ่งเป็นการจราจรแบบสองช่องทาง โดยมีไหล่ทางกว้างข้างละไม่น้อยกว่า 1.50 เมตร ทั้งนี้ได้พิจารณาตามข้อกำหนดของ ASSHTO และมาตรฐานทางหลวงของกรมทางหลวง โดยมีการปรับปรุงให้เหมาะสมกับสภาพของสันเขื่อนและการใช้งานที่จะมีขึ้นในอนาคต

2) การป้องกันรถยนต์ตกถนน

เพื่อให้เกิดความปลอดภัยสำหรับรถยนต์ที่แล่นไปมาบนถนน จึงกำหนดให้ติดตั้งเสาหลักขอบถนน เป็นระยะๆ ตลอดสันเขื่อน ทั้งด้านเหนือน้ำและด้านท้ายน้ำ โดยให้มีระยะห่างกันต้นละ 5.00 เมตร ลักษณะทั่วไปของเสาหลักขอบถนน เป็นเสาคอนกรีตเสริมเหล็กขนาด $0.15 \times 0.15 \times 1.30$ เมตร โดยฝังลึกลงไปในดิน 0.60 เมตร และไพล่บนผิวดิน 0.70 เมตร ส่วนที่ไพล่บนผิวดิน จะทำแถบสีดำสลับขาว กว้าง 0.15 เมตร

3) โครงสร้างถนนบนสันเขื่อน

ออกแบบถนนบนสันเขื่อน เป็นไปตามมาตรฐานของกรมทางหลวง มีผิวถนนเป็นผิวจราจรลูกรัง กว้าง 6.00 เมตร

4) การระบายน้ำบนผิวถนน

เพื่อให้น้ำฝนที่ตกลงมาบนผิวถนนสามารถระบายออกไปได้โดยเร็วที่สุด จึงกำหนดให้ผิวถนนมีความลาด 2.5% ไปทางด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำโดยจุดยอด (Crown) ของผิวถนนอยู่ที่ Dam Axis

6.1.2 ถนนบำรุงรักษาท้ายเขื่อน

วัตถุประสงค์ในการกำหนดให้มีถนนท้ายเขื่อน เพื่อให้มีเส้นทางนำเครื่องจักรเครื่องมือต่างๆ เข้าไปซ่อมแซมบำรุงรักษาอาคารต่างๆ ที่อยู่ท้ายเขื่อน เช่น อาคารควบคุมการระบายน้ำ (Control House), Spillway และเพื่อใช้เป็นเส้นทางสำหรับเก็บข้อมูลจากอุปกรณ์มาตรวัดต่างๆ จึงจำเป็นต้องออกแบบให้มีความคงทน และใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) ความกว้างผิวจราจร

กำหนดให้ถนนมีความกว้าง 6 เมตร โดยมีผิวจราจรลูกรังกว้าง 6 เมตร

2) การป้องกันรอยน้ตตกถนน

จะทำการติดตั้งเสาหลักของถนน ทางด้านท้ายน้ำของถนน เป็นระยะๆ ห่างกันต้นละ 5.00 เมตร ในบริเวณที่ถนนสร้างบนดินถมที่มีความสูงกว่าระดับดินธรรมชาติ 1.00 เมตร ขึ้นไป

3) โครงสร้างถนนบำรุงรักษาท้ายเขื่อน

เส้นทางของถนนส่วนที่ตัดผ่านดินธรรมชาติ ถ้าวัสดุชั้น subgrade ซึ่งเป็นดินเดิมมีความแข็งแรงเพียงพอคือมีค่า CBR มากกว่า 25% ขึ้นไป ก็ให้ใช้ชั้นนี้เป็นชั้นรองพื้นทางด้วย สำหรับชั้นพื้นทาง (Base) เป็นหินคลุกหนา 0.15 เมตร และผิวจราจรเป็น Double Surface Treatment ส่วนไหล่ทางเป็น Single Surface Treatment

4) การระบายน้ำ

ถนนส่วนที่ตัดผ่านดินธรรมชาติ ในกรณีที่ระดับผิวจราจรมีค่าต่ำกว่าระดับดินธรรมชาติ จำเป็นต้องขุดดินธรรมชาติออกไป ดังนั้นเพื่อให้การระบายน้ำข้างถนนเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ และไม่เป็นอันตรายกับตัวถนน จึงออกแบบรางระบายน้ำรูปรางยูไว้ด้านข้างถนน การคำนวณปริมาณน้ำไหลผ่านรางระบายน้ำจะใช้ตามสมการของ Manning

6.1.3 ถนนเข้าห้วงงาน

เป็นถนนที่มีเส้นทางเชื่อมต่อระหว่างตัวเขื่อนกับถนนที่ใช้งานในปัจจุบัน เพื่อใช้เป็นเส้นทางในการตรวจสอบสภาพเขื่อน เมื่อก่อสร้างแล้วเสร็จและใช้เป็นเส้นทางขนส่งวัสดุเครื่องจักรเครื่องมือต่างๆ ระหว่างการก่อสร้าง การออกแบบถนนเข้าห้วงงาน มีรายละเอียดดังนี้

1) ความกว้างผิวจราจร

ถนนเข้าห้วงงานเป็นถนนที่มีปริมาณการจราจรของรถยนต์ไม่มากนัก และความเร็วของรถที่วิ่งไปมาจะไม่สูงมาก เพราะสภาพภูมิประเทศไม่อำนวยเนื่องจากมีสภาพเปลี่ยนแปลงสูงต่ำไปตลอด จึงกำหนดให้ถนนมีความกว้าง 6.00 เมตร มีผิวจราจรกว้าง 6.00 เมตร

2) การป้องกันรถยนต์ตกถนน

เนื่องจากการก่อสร้างถนนเข้าห้วงงาน จะสร้างไปบนดินธรรมชาติซึ่งจะมีระดับผิวถนนไม่แตกต่างไปจากระดับดินเดิมมากนัก เพราะต้องการให้ดินชุดและดินถมมีปริมาณใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องมีการป้องกันรถยนต์ตกถนน ยกเว้นในบริเวณที่ถนนตัดผ่านร่องน้ำที่มีความลึกมากก็จำเป็นต้องติดตั้งเสาหลักขอบถนน ไว้ในบริเวณดังกล่าว

3) โครงสร้างถนนเข้าห้วงงาน

เนื่องจากถนนนี้มีปริมาณการจราจรและความเร็วของรถยนต์ไม่สูงมากนัก ตามที่กล่าวไว้แล้วจึงกำหนดผิวจราจรเป็น Double Surface Treatment ส่วนไหล่ทางเป็น Single Surface Treatment

6.1.4 การออกแบบทางด้านเรขาคณิต (Geometric Design)

การออกแบบด้านเรขาคณิต (geometric design) คือการออกแบบแนวทางที่ประกอบด้วยแนวในทางราบ (horizontal alignment) และแนวในทางตั้ง (vertical alignment) การออกแบบรายละเอียดของแนวทั้งสองนี้ต้องอาศัยความรู้ในวิชาสำรวจเป็นสำคัญ

องค์ประกอบที่สำคัญ ในการออกแบบทางเรขาคณิต มีดังนี้

- ระยะการมองเห็นของคนขับที่สามารถมองเห็นพร้อมที่จะหยุด หรือแซงโดยปลอดภัย (Sight Distance) รวมทั้งบริเวณทางตัดหรือทางเชื่อม
- รัศมีทางโค้งทั้งแนวราบและแนวตั้ง (Vertical and Horizontal Curve) ที่สามารถขยับขานพาหนะด้วยความเร็วสูงอย่างปลอดภัย มีการพิจารณาการยกและการขยายถนนในแนวโค้ง
- ความเร็วของยานพาหนะที่จะพิจารณา ออกแบบให้รถเล่นบนถนนได้สูงสุดอย่างปลอดภัย
- ระยะการมองเห็นบนโค้งทางตั้ง และบนโค้งทางราบ
- ความยาววิกฤตของความลาดชัน
- เปอร์เซ็นต์ความลาดชันของถนน
- การระบายน้ำ (drainage)
- สภาพของดิน (Soil Condition)

- ความปลอดภัย (Safety)
- ความกว้างของถนน
- เครื่องป้องกันข้างถนน (Road Side Safeguards)
- ปริมาณจำนวนยานพาหนะชนิดต่างๆ
- พิจารณาลักษณะพื้นที่ทำการก่อสร้าง
- งบประมาณในการก่อสร้าง

โดยที่ความเร็วออกแบบและเปอร์เซ็นต์ความลาดชันจะเป็นหลักเบื้องต้นในการตั้งมาตรฐานขั้นต่ำสำหรับการออกแบบแนวในทางราบและในทางแนวตั้ง ผู้ออกแบบจะต้องใช้วิธีลองผิดลองถูก (Trial and Error) หาค่าที่เหมาะสมตามมาตรฐานลงในแปลน และรูปตัดตามยาวของทางที่ต้องการออกแบบ

(1) การคำนวณโค้งทางตั้ง

(2) การคำนวณโค้งทางราบ

ซึ่งรายละเอียดต่างๆ จะใช้ตามมาตรฐานของกรมทางหลวง ดังต่อไปนี้

(1) การคำนวณโค้งทางตั้ง: คำนวณหาขนาดความเหมาะสมของโค้งโดยไม่ทำให้เกิดอันตรายในขณะขับรถได้ดังนี้

$$y = (1/200) (g_2 - g_1) X^2 / L \quad (6-1)$$

$$e = (g_2 - g_1) L / 800 = AL / 800 \quad (6-2)$$

เมื่อ y = ระยะ coordinate ตามแกน y , ม.

g_2 = ลาดของถนนด้านปลายโค้งเป็นเปอร์เซ็นต์ โดยคิดเครื่องหมายตามลักษณะโค้ง

g_1 = ลาดของถนนด้านต้นโค้งเป็นเปอร์เซ็นต์ โดยคิดเครื่องหมายตามลักษณะโค้ง

X = ระยะ coordinate ตามแกน x , ม.

L = ความยาวโค้งตามแนวตั้ง, ม.

e = Middle Ordinate (MO) เป็นระยะตามแนวตั้งจากจุด PV1 ถึงพื้นผิวโค้ง, ม.

A = ผลต่างทางพีชคณิตของความลาดชันเป็นเปอร์เซ็นต์
 $= g_2 - g_1$

ความยาวโค้งทางโค้ง (L) จะต้องไม่ค่าน้อยกว่า KA ดังนี้

$$L = KA \quad (6-3)$$

ทั้งนี้ ASSHTO ได้กำหนดค่า K ไว้ให้เหมาะสมกับระยะมองเห็นปลอดภัยเพื่อการหยุดตาม ตารางที่ 6-1

ตารางที่ 6-1 สัมประสิทธิ์ความปลอดภัยเพื่อการหยุด

ความเร็วที่ใช้ออกแบบ (ไมล์/ชม.)	30	40	50	60	70
ค่าต่ำสุดของ K สำหรับ:					
โค้งกว่าทางโค้ง	28	50	80	150	240
โค้งหายทางโค้ง	35	50	70	140	140

นอกจากนี้ ความยาวโค้งจะต้องมีความยาวพอสมควรเพื่อให้ผู้ขับขี่รู้สึกสบาย โดยพิจารณาจากสมการดังต่อไปนี้

$$a = V^2 A / 100 L \quad (6-4)$$

$$= V^2 / 100 K$$

$$\begin{aligned} \text{โดยที่ } a &= V^2 / R \\ &= \text{ความเร่งบนโค้งทางโค้ง มีค่าอยู่ระหว่าง 0.05 g ถึง 0.1 g} \\ V &= \text{ความเร็วของยานยนต์, กม./ชม.} \\ R &= 100 L / A \\ L &= \text{ความยาวโค้ง, เมตร} \\ A &= \text{ค่าการเปลี่ยนเปอร์เซ็นต์ความลาดชัน} = g_2 - g_1 \\ K &= \text{ความยาวโค้งสำหรับการเปลี่ยนความลาดชัน 1\%} \\ g &= \text{ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก} = 9.81 \text{ ม./วินาที}^2 \end{aligned}$$

ทั้งนี้ NAASRA ได้กำหนดค่า K ไว้ตาม ตารางที่ 6-2

ตารางที่ 6-2 ความยาวโค้งสำหรับการเปลี่ยนความลาดชัน 1%

ความเร็วที่ใช้ในการออกแบบ กม./ชม.	K	
	a = 0.05 g	a = 0.10 g
40	3	1.5
60	6	3
80	10	5
100	16	8
120	23	12

ที่มา : คู่มือ การสำรวจและประมาณราคางานทาง สำนักงานเร่งรัดพัฒนาชนบท

อย่างไรก็ตาม โค้งทางโค้งจะต้องมีความยาวไม่น้อยกว่า 130 เมตร สำหรับเปอร์เซ็นต์ความลาดชันสูงสุด (Maximum Grading) กำหนดไว้ตาม ตารางที่ 6-3

ตารางที่ 6-3 เปอร์เซ็นต์ความลาดชันสูงสุด (Maximum Grading)

สภาพภูมิประเทศ	ความเร็วที่ใช้ในการออกแบบ (ไมล์/ชม.)				
	30	40	50	60	70
ทางราบ	6	5	4	3	3
ทางเนิน	7	6	5	4	4
ทางเขา	9	8	7	6	6

ที่มา : คู่มือ การสำรวจและประมาณราคางานทาง สำนักงานเร่งรัดพัฒนาชนบท

ซึ่งค่า g_1 และ g_2 ที่กำหนดในการคำนวณโค้งทางโค้งจะต้องมีค่าไม่มากกว่าที่กำหนดไว้ใน ตารางข้างบน

(2) การคำนวณโค้งทางราบ: การคำนวณขนาดทางโค้งทางราบจะต้องให้เกิดความปลอดภัยสำหรับผู้ขับขี่รถยนต์ โดยรัศมีของโค้งจะต้องมีค่ามากพอ ที่จะทำให้ระยะการมองเห็นตลอดจนอัตราการยกโค้ง อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ตาม ตารางที่ 6-4

ตารางที่ 6-4 เกณฑ์กำหนดความปลอดภัยการออกแบบโค้งทางราบ

ความเร็วที่ใช้ใน การออกแบบ (ไมล์/ชม.)	ค่า e สูงสุด	e + f	ค่ารัศมี ต่ำสุด (ฟุต)	ค่าองศาของ โค้งสูงสุด (องศา)
30	0.06	0.22	273	21.0
40	0.06	0.21	508	11.5
50	0.06	0.20	833	7.0
60	0.06	0.19	1,263	4.5
70	0.06	0.18	1,815	3.0
30	0.12	0.28	214	26.5
40	0.12	0.27	395	14.5
50	0.12	0.26	641	9.0
60	0.12	0.25	960	6.0
70	0.12	0.24	1,361	4.0

ที่มา : คู่มือ การสำรวจและประมาณราคางานทาง สำนักงานเร่งรัดพัฒนาชนบท

โดยที่ค่า e คือ อัตราการยกโค้ง (ฟุต/ฟุต) และ f คือ สัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานทาง
ข้างการคำนวณขนาดโค้งและรัศมีของโค้งวงกลมทางราบกระทำดังนี้

$$R = T \tan^{-1} (I/2) \quad (6-5)$$

$$L = R.\theta$$

โดยที่ R = รัศมีของโค้ง, ม.

T = เส้นสัมผัสของโค้ง, ม.

I = มุมที่โค้งเปลี่ยนทิศทาง, องศา

θ = มุมที่โค้งเปลี่ยนทิศทาง, เรเดียน

ทั้งนี้ รัศมีของโค้ง (R) จะต้องมีค่ามากกว่าที่กำหนดไว้ในตารางข้างต้น นอกจากนี้
จะต้องพิจารณาให้รัศมี (R) มีค่ามากพอที่จะทำให้ระยะการมองตามแนวโค้งทางราบเป็นไปตามสมการ
ข้างล่าง

$$R = S^2 / 8M \text{ สำหรับ } S < L \quad (6-6)$$

โดยที่ R = รัศมีของโค้งทางราบ, ฟุต
 S = ระยะการมองเห็นรถวิ่งบนโค้งทางราบ, ฟุต
 M = ระยะสิ่งกีดขวางอยู่ห่างจากโค้งทางราบ, ฟุต
และ $R = L(25-L)/8M$ สำหรับ $S > L$
โดยที่ L = ความยาวโค้งทางราบ, ฟุต

6.1.5 การออกแบบผิวจราจร (Pavement Design)

การออกแบบผิวจราจรนั้นจะพิจารณาจากลักษณะโครงสร้างของถนนลาดยาง, ปริมาณการจราจรน้อย ประกอบด้วย

- ผิวทางเซอร์เฟสทรีตเมนต์สองชั้น
- พื้นทางหินคลุก 200 มิลลิเมตร
- รองพื้นทางลูกรัง 150 - 200 มิลลิเมตร
- วัสดุคัดเลือกตามความจำเป็น

ถนนเข้าห้วงงานโครงการเป็นถนนที่มีปริมาณการจราจรของรถยนต์ไม่มากนัก และความเร็วของรถที่วิ่งไปวิ่งมาจะไม่สูงมาก จึงกำหนดให้ถนนมีความกว้าง 8 ม. โดยมีผิวจราจรกว้าง 6 ม. และมีไหล่ทาง 2 ข้าง กว้างข้างละ 1.00 ม. โดยผิวจราจรเป็นชนิด Double Surface Treatment และไหล่ทางเป็น Single Surface Treatment โดยให้ใช้มาตรฐานของกรมทางหลวง ซึ่งมีรายละเอียดตาม ตารางที่ 6-5

ตารางที่ 6-5 มาตรฐานผิวจราจรกรมทางหลวง

ลำดับ ที่	รายการโครงสร้าง	ความหนา (ม.)	ชั้นการบดอัด (ม.)	ความหนา แน่น	CBR	ชนิดของวัสดุ
1	ดินถมคันทาง	0.20	0.15	95% STP	< 2%	ดินถมตัวเชื่อม
2	วัสดุคัดเลือก “ข”	0.20	0.15	95% STP	< 6%	ลูกรัง
3	วัสดุคัดเลือก “ก”	0.20	0.15	95% STP	< 10%	ลูกรัง
4	รองพื้นทาง	0.20	0.15	95% STP	< 25%	ลูกรัง
5	พื้นทางและไหล่ทาง	0.20	0.15	95% STP	< 90%	หินคลุก
6	ไหล่ทาง	-	-	-	-	Single Surface Treatment
7	ผิวทาง	-	-	-	-	Double Surface Treatment

ที่มา : คู่มือ การสำรวจและประมาณราคางานทาง สำนักงานเร่งรัดพัฒนาชนบท

6.2 การออกแบบอาคารระบายน้ำ

โครงสร้างของอาคารประกอบในส่วนของถนนส่วนใหญ่จะเป็นอาคารระบายน้ำระบบไฟฟ้าบนสายทาง ชนิดของอาคารประกอบ มีดังนี้

- สะพาน คสล. (Bridge)
- ท่อเหลี่ยม คสล. (Box Culvert)
- ท่อกลม คสล. (Pipe Culvert)
- ท่อประปาที่ตัดผ่านสายทาง

กรณีถนนเข้าโครงการฝายน้ำล้นและอ่างเก็บน้ำ มีขนาดเล็ก จึงกำหนดให้ใช้ท่อกลม คสล. หรือท่อเหลี่ยม คสล. ก็เพียงพอ

(1) การออกแบบรูปทรงเรขาคณิตสำหรับสะพาน จะต้องคำนึงถึง

- รูปทรงทางเรขาคณิตของถนน
- ระดับน้ำสูงสุดในรอบ 25-50 ปี และระดับน้ำต่ำสุดในปีปกติ
- ความเร็วของน้ำที่ยอมให้ไหลผ่าน เพื่อพิจารณาเรื่องการกัดเซาะ
- ระดับคันทางช่วงประชิดสะพานที่ออกแบบ
- ช่วงเปิดแคบที่สุดที่ยอมได้
- เกณฑ์ความสูงของช่องลอดสำหรับการขนส่งทางน้ำ (ถ้ามี)
- ตำแหน่งและระดับโครงสร้างระบายน้ำเดิม (ถ้ามี)
- รูปตัดลำน้ำเดิมแสดงตำแหน่งและค่าระดับผิวดิน ตลอดลำน้ำและช่วงตลิ่ง อย่างละไม่น้อยกว่า 30 เมตร

(2) การออกแบบโครงสร้างของสะพาน

- จะพิจารณาถึงปริมาณการจราจร ชนิดของพาหนะที่ใช้เส้นทางเป็นหลัก
- รูปแบบของโครงสร้างสะพาน จะพิจารณาถึงการรับน้ำหนัก ทั้งของตัวสะพาน น้ำหนักบรรทุกจร, แรงกระแทกจากยานพาหนะ แรงลม ในการออกแบบจะถือรูปแบบมาตรฐานสะพานของกรมการเร่งรัดพัฒนาชนบท (เดิม) เป็นหลัก ประกอบกับมาตรฐานสากลต่างๆ

(3) ฐานรากของสะพาน

ในการออกแบบจะต้องอาศัย ข้อมูลผลการเจาะสำรวจ ในการเลือกชนิดของฐานราก ว่าแห่งใดควรจะใช้ฐานแผ่หรือตอกเสาเข็ม รวมทั้งขนาดของฐานแผ่ หรือความลึกของเสาเข็มในการคำนวณหาขนาดต่างๆ จะอ้างอิงตามมาตรฐานของกรมการเร่งรัดพัฒนาชนบท (เดิม) หรือตามมาตรฐาน สากลที่กรมทรัพยากรน้ำยอมรับ ทั้งนี้เพื่อให้ได้รากฐานที่มั่นคง, แข็งแรง และประหยัด

(4) ท่อระบายน้ำ

ในการกำหนดขนาดท่อลอดถนน ซึ่งมีทั้งท่อกลมและท่อเหลี่ยม จะต้องพิจารณาให้ระดับน้ำหน้าท่ออยู่ต่ำกว่าหลังถนนไม่น้อยกว่า 0.30 เมตร หากเป็นบริเวณลำน้ำเดิมและจะใส่ท่อเป็นทางระบายน้ำ นอกจากจะพิจารณาปริมาณน้ำเพื่อกำหนดขนาดท่อแล้วยังต้องพิจารณาวัสดุที่ต้องระบายมาตามลำน้ำด้วย หากมีท่อนซุง, กอไผ่ ไหลมาตามน้ำก็ไม่ควรใช้ท่อระบายน้ำ ในการพิจารณาขนาดของท่อต้องอาศัยข้อมูลทางอุทกวิทยา ทั้งน้ำฝน น้ำท่า และพื้นที่ระบายน้ำ (Drainage Area) ในการกำหนดระดับของหลังท่อ จะต้องพิจารณาระดับที่สูงสุดที่เคยไหลผ่าน ระดับหลังถนน ณ จุดบริเวณนั้น ทั้งนี้เพื่อจะไม่ยอมให้น้ำไหลข้ามผิวถนนไปได้ นอกจากนั้นจะต้องพิจารณาความแข็งแรงของตัวท่อในการรับน้ำหนัก พาหนะต่างๆ ที่วิ่งข้ามบนตัวท่อ พิจารณาคำนวณป้องกันการกัดเซาะข้างท่อที่กระแสน้ำเป็นตัวกระทำทำให้เกิดการกัดเซาะ

(5) การออกแบบป้องกันการกัดเซาะบริเวณคอสะพาน, หน้าท่อและท้ายท่อระบายน้ำ จะต้องพิจารณาข้อมูลปริมาณน้ำ, ความเร็วกระแสน้ำ, รูปตัดลำน้ำ บริเวณที่ตั้งอาคาร, ลักษณะดินในบริเวณนั้น พิจารณาคำนวณหารูปแบบในการป้องกันการกัดเซาะ ซึ่งอาจจะใช้หินก่อ หินเรียง หรือคาดคอนกรีต

(6) ระบบระบายน้ำผิวดิน, ใต้ดินถนนที่ตัดผ่านช่องเขา, เนิน, คอสะพาน จะต้องมีการระบายน้ำผิวดิน เพื่อป้องกันการกัดเซาะถนนอันเกิดจากการไหลและรวมตัวของน้ำมาสู่ตัวถนน นอกจากนั้นในบริเวณช่องเขาหรือเนินสูง ที่ถนนตัดผ่านไปมักจะมีปัญหาการพังทลายของดินสองข้างทาง อันเกิดจากน้ำหนักของดิน, การกัดเซาะของน้ำทำให้ลาดพังทลายลงมา ในการป้องกันจะต้องมีระบบระบายน้ำทั้งผิวดินและใต้ดินการระบายน้ำออกจากถนนเป็นวิธีการควบคุมให้น้ำไหลออกจากถนนโดยเร็วทั้งบนผิวถนนและจากใต้คันทางถนนที่มีระบบการระบายน้ำไม่ดีจะมีน้ำขังบริเวณผิวถนน น้ำที่ขังอยู่นี้จะซึมลงใต้ผิวถนนทำให้ชั้นทางใต้ผิวดินอิ่มตัว และอ่อนตัวลงทำให้ลดความแข็งแรง การออกแบบระบายน้ำฝน ซึ่งน้ำฝนส่วนหนึ่งไหลผ่านออกทางไหล่ทางผ่านลาดด้านข้างถนน (Side slope) ลงสู่คูข้างถนน (Side ditch) แล้วไหลลงที่ต่ำผ่านร่องลงสู่คูคลอง น้ำฝนอีกส่วนหนึ่งจะซึมลงใต้ผิวทางในการระบายน้ำจึงจะต้องคำนึงถึงหลักใหญ่ 3 ประการ คือ

1. การระบายน้ำบนคันทาง (Surface Drainage)
2. การระบายน้ำผิวดิน (Sub Surface Drainage) โดยการจำกัดและควบคุมน้ำใต้ดิน
3. ความกว้างของลำน้ำหรือคูระบายน้ำธรรมชาติหรือที่ก่อสร้างขึ้นประกอบกับการใช้ท่อระบายประเภทต่างๆ จะต้องพิจารณาถึงสภาพใกล้เคียงกันด้วย รายละเอียดการระบายน้ำชนิดของอาคารระบายน้ำ ขึ้นอยู่กับสภาพ ณ บริเวณแห่งนั้นๆ

6.2.1 การระบายน้ำ

การระบายน้ำข้างถนนจะทำการขุดรางระบายน้ำรูปสี่เหลี่ยมคางหมูไว้สองข้างถนน แล้วระบายน้ำลงสู่จุดที่มีระดับต่ำกว่า เช่น บริเวณท้องลําห้วยซึ่งถนนเข้าห้วยงานตัดผ่าน นอกจากนั้นในบริเวณที่ถนนตัดผ่านลําห้วยจะทำการวางท่อลอดถนน ซึ่งเป็นท่อคอนกรีตเสริมเหล็กรูปวงกลม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 1.00 เมตร ไว้ที่ท้องลําห้วยตัดกับถนนทุกแห่ง เพื่อระบายน้ำที่ไหลในลําห้วยออกไปโดยไม่ทำให้นํ้ากัดเซาะถนนหรือไหลล้นข้ามถนน ซึ่งจะทำให้เกิดความเสียหายได้

6.2.2 อาคารระบายน้ำ

ท่อลอดถนน (Road Crossing) เป็นอาคารตัดผ่าน (Crossing Structure) อีกชนิดหนึ่งในกรณีที่แนวคลองตัดผ่านถนนต่าง ๆ ในโครงการฯ ซึ่งถ้าสร้างสะพานแล้วจะเสียค่าก่อสร้างสูงกว่าการวางท่อ ในกรณีที่อัตราการไหลมากจะใช้เป็นท่อเหลี่ยม ถ้าอัตราการไหลน้อยจะใช้ท่อกลม ท่อลอดถนนอาจมีแถวเดียวหรือสองแถวหรือมากกว่าก็ได้แล้วแต่ปริมาณน้ำที่ไหลผ่าน

ข้อกำหนดต่าง ๆ สำหรับท่อลอดถนน หรือท่อลอดถนนท่อนํ้ามี ดังนี้

- Maximum Velocity ภายในท่อ = 1.5 ม./วินาที

- Total Head Loss $H = 0.4\Delta h_v + h_f + 0.7\Delta h_v$ (เมตร)

เมื่อ $h_f = S_f L_p = \text{Friction Head Loss}$

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

$L_p = \text{ความยาวของท่อทั้งหมด (เมตร)}$

- Minimum Inlet Submergence = $1.5 h_v$ แต่ไม่น้อยกว่า 0.08 ม.

- Maximum Outlet Submergence = $1/6$ (Diameter of Outlet Opening)

- Maximum Conveyance Angle = 27.5° และ Maximum Divergence Angle = 22.5°

- Cut off Depth and Thickness at Transition ตามข้อกำหนดอาคารท่อนํ้าและอาคารท่อนํ้าลดระดับ

- Lane's Weighted – Creep Ratio (C) ตามข้อกำหนดอาคารท่อนํ้าและอาคารท่อนํ้าลดระดับ

ข้อกำหนดสำหรับการออกแบบด้านโครงสร้าง

- คิดกรณีที่ไม่มีน้ำในท่อ

- ความลึกของดินถมทับหลังท่อโดยทั่วไป จะต้องไม่น้อยกว่า 60 ซม. สำหรับ Farm Road และไม่น้อยกว่า 90 ซม. สำหรับ Traffic Road

- ใช้หลักเกณฑ์ของ AASHO Standard HS 20 - 44 คำนวณแรงกดเนื่องจากน้ำหนักของรถบรรทุกนั้น ให้คิดจากน้ำหนักกดของล้อหลังทั้งคู่แผ่ออกเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสมีความยาวของด้านแผ่ 1.75 เท่า ของความลึก
- ในกรณีที่ความหนาของดินถมทับหลังท่อไม่เกิน 60 ซม. ให้คือน้ำหนักกดจากล้อรถโดยตรงสู่ผิวท่อโดยไม่ต้องแผ่
- ถ้าความหนาของดินถมหลังท่อเกินกว่า 3 เมตร ไม่ต้องคือน้ำหนักกดจากล้อรถ
- ถ้าความหนาของดินถมหลังท่อไม่เกิน 90 ซม. จะต้องเพิ่มแรงกระแทก (Impact Load) เนื่องจากน้ำหนักรถดังนี้

ความหนาของดินถมหลังท่อ (เมตร)	แรงกระแทก (% ของน้ำหนักกด)
<0.30	30
<0.60	20
<0.90	10
>0.90	0

6.2.3 การออกแบบระบบระบายน้ำ (Drainage Design)

ในการออกแบบโครงสร้างระบายน้ำ จะต้องทราบปริมาณน้ำในลำน้ำหรือในร่องน้ำ ที่ไหลตัดผ่านถนน และจะต้องทราบข้อมูลหลายๆ ประการ โดยมีหัวข้อที่จะต้องพิจารณาดังนี้

6.2.3.1 ลักษณะภูมิประเทศ

(1) ที่ดิน

ลักษณะภูมิประเทศที่ปกคลุมด้วยป่าทึบ ผิวดิน มีหญ้าและใบไม้อยู่หนาแน่น น้ำส่วนมากจะซึมลงดิน น้ำส่วนที่เหลือก็เป็นส่วนน้อยจะไหลบนดินลงแม่น้ำลำธาร หรือลักษณะเป็นทุ่งหญ้า น้ำปริมาณมากจะไหลเป็นน้ำท่าบนดิน (โดยมีอัตราซึมลงดินในปริมาณน้อย) ซึ่งทำให้ปริมาณน้ำส่วนมากไหลลงสู่แม่น้ำลำธาร

(2) ชนิดของดิน

ชนิดของดินมีอิทธิพลต่อปริมาณน้ำไหลบนดินมาก ดินต่างชนิดกันให้น้ำซึมได้มากน้อยต่างกัน ขึ้นอยู่กับขนาด ชนิด และ รูปร่างของเม็ดดิน เป็นต้น

(3) พื้นที่รองรับน้ำฝน (water shade area)

พื้นที่รองรับน้ำฝนมีเส้นปันน้ำล้อมรอบ ซึ่งแบ่งน้ำฝนที่ตกลงมาให้ไหลลงสู่พื้นที่รองรับน้ำฝนที่พิจารณา เส้นล้อมรอบพื้นที่รองรับน้ำฝน คือเส้นที่เกิดจากจุดหลายๆ จุดของพื้นที่ภูมิประเทศและสันเขา จึงแบ่งน้ำฝนให้ไหลเป็นทำนบกั้นจุดแบ่งดังกล่าว (Topographic Divide) ต่อเนื่องกันเป็นเส้น ซึ่งแผนที่ที่นิยมใช้ในการหาพื้นที่รองรับน้ำฝนจะมีอัตราส่วน ขนาด 1:50,000

(4) รูปร่าง

รูปร่างของพื้นที่รองรับน้ำฝนมีอิทธิพลต่อปริมาณน้ำไหลในลำน้ำ จุดบนลำน้ำที่ใกล้พื้นที่รับน้ำ จะมีปริมาณน้ำนองสูงสุด

(5) ความสูง

ความสูงหรือระดับภูมิประเทศ มีผลต่อการไหลของน้ำในเมื่อเทียบกับระดับน้ำทะเลปานกลาง ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับระดับและปริมาณน้ำใต้ดินที่จะมารวมหรือไม่ มาให้ปริมาณน้ำต่างกันไปตามความสูง

(6) ความลาดเอียง

ความลาดเอียงของพื้นที่รองรับน้ำฝนมีอิทธิพลต่อเวลาการไหลและต่อปริมาณน้ำนองมากที่สุด ถ้าภูมิประเทศความชันมากจะเพิ่มความเร็วในการไหลของน้ำลดเวลาการซึมลงดิน ทำให้น้ำฝนเหลือเป็นน้ำท่าไหลบนดินเป็นส่วนใหญ่

6.2.3.2 ข้อมูลน้ำฝน, น้ำท่า

ข้อมูลน้ำฝนนำไปคำนวณปริมาณน้ำจากวิธีการคำนวณ

UNIT HYDROGRAPH

6.2.3.3 แผนที่มาตราส่วน 1:50,000

ใช้ประกอบในการหาพื้นที่ที่ฝนตก (Catchment Area)

6.2.3.4 ผลการสำรวจรูปตัดลำน้ำ

ณ บริเวณที่ตั้งของสะพาน เพื่อมาคำนวณน้ำโดยวิธี Manning Formula

6.2.3.5 การคำนวณปริมาณน้ำนองสูงสุด

ณ จุดที่จะก่อสร้างโครงสร้างระบายน้ำมีหลายวิธีดังนี้

- (1) วิธี RATIONAL (ใช้สถิติข้อมูลน้ำฝน) $Q = 0.278CIA$
- (2) วิธี UNIT HYDROGRAPH (ใช้สถิติข้อมูลน้ำฝน)

(3) วิธี MANNING $Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} S^{1/2}$

(4) วิธี SLOPE AREA

(5) วิธีประเมินจากปริมาณน้ำนองสูงสุดของพื้นที่รับน้ำฝนหนึ่งหน่วยพื้นที่

(6) ข้อมูลด้านอุทกวิทยา (HYDROLOGICAL DATA) สำหรับโครงการ
แหล่งน้ำขนาดเล็ก ของกรมชลประทาน

(7) TALBOL 'S FORMULA

หรืออาจจะคำนวณปริมาณน้ำนองสูงสุดโดยใช้สูตร

ก. ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านท่อกลม ที่ตัดผ่านถนน $Q = CIA$

ข. สูตรของดร.บุญชอบ $Q = 6.58 A^{0.718}$

ค. Manning Formula $Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} S^{1/2}$

(1) กรณีพื้นที่รับน้ำ (Catchments Area) < 25 ตร.กม.

การคำนวณหาปริมาณน้ำหลากที่ระบายออกจากพื้นที่รับน้ำเหนือถนนผ่านท่อลอด
มีขนาดไม่เกิน 25 ตารางกิโลเมตร ใช้วิธี Rational Method คำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$Q_p = 0.278 CIA \quad (6-7)$$

เมื่อ Q_p = อัตราการไหลสูงสุดที่เกิดขึ้นจากฝนที่ตกลงมาในพื้นที่รับน้ำ
(ลบ.ม./วินาที)

C = สัมประสิทธิ์น้ำท่า (รูปที่ 6-1)

$C = 0.15$ สำหรับพื้นที่สวนสาธารณะ /พื้นที่ว่างเปล่า /พื้นที่เกษตรกรรม

$C = 0.40$ สำหรับพื้นที่ปลูกสร้างที่มีความหนาแน่นน้อย /สถานที่ราชการ

$C = 0.50$ สำหรับพื้นที่ปลูกสร้างที่มีความหนาแน่นปานกลาง

$C = 0.75$ สำหรับพื้นที่ปลูกสร้างย่านธุรกิจที่มีความหนาแน่นมาก

ค่า C สำหรับพื้นที่อื่น ๆ ดูจาก ตารางที่ 6-6

I = ความเข้มฝน (Rainfall Intensity) มิลลิเมตร/ชั่วโมง) ที่ได้จาก IDF – Curve
ประจำพื้นที่ เมื่อกำหนดให้ $t_c = t_d$ ความเข้มฝนจะได้จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มฝน
เวลาที่น้ำมารวมกันของพื้นที่รับน้ำนั้น และโอกาสของการเกิดซ้ำ Return Period ตัวอย่างสำหรับใช้
งานในพื้นที่ต่าง ๆ ได้แสดงไว้ใน (รูปที่ 6 2) และสำหรับการออกแบบจะต้องมีการจัดทำสำหรับ
พื้นที่นั้น ๆ

t_c = เวลารวมจุด (นาฬิกา) คำนวณจากสูตรที่พิจารณาปัจจัยของความลาดชันของสภาพภูมิประเทศ สภาพการใช้ที่ดินที่ปกคลุมสภาพภูมิประเทศ เป็นต้น โดย t_c ต่ำสุดไม่น้อยกว่า 30 นาที

t_d = ช่วงเวลาฝนตก (นาฬิกา)

A = พื้นที่รับน้ำฝนของโครงการกำหนดให้มีขนาดไม่เกิน 25 ตร.กม (พิจารณาจากแผนที่สภาพภูมิประเทศและเส้นชั้นความสูงของพื้นที่)

ตารางที่ 6-6 สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำผิวดิน

ภูมิประเทศและพืชพันธุ์	ค่า C		
	เนื้อดิน		
	Open Sandy Loam	Clay and Silt Loam	Tight Clay
พื้นที่ป่า			
ราบเรียบ ความลาดชัน 15-0%	0.10	0.30	0.42
เนิน ความลาดชัน 10-5%	0.25	0.35	0.50
ภูเขา ความลาดชัน 30-10%	0.30	0.50	0.60
พื้นที่ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์			
ราบเรียบ	0.10	0.30	0.40
เนิน	0.16	0.36	0.55
ภูเขา	0.22	0.42	0.60
พื้นที่เพาะปลูก			
ราบเรียบ	0.30	0.50	0.60
เนิน	0.40	0.60	0.70
ภูเขา	0.52	0.72	0.80

ที่มา : เกณฑ์กำหนดสำหรับการออกแบบก่อสร้าง และการบำรุงรักษาอาคารประกอบในโครงสร้างพื้นฐาน กรมทรัพยากรน้ำ

$$\text{เวลาที่น้ำมารวมกัน, โดยที่ } T_c = (0.87 \times L^3 / H)^{0.385} \quad (6-8)$$

เมื่อ T_c = เวลาที่น้ำไหลจากจุดไกลที่สุดของสายน้ำถึงจุดที่ตั้งโครงการ (ชั่วโมง)

L = ความยาวของสายน้ำสายหลักโดยวัดจากจุดไกลที่สุดของสายน้ำถึงจุดที่ตั้งโครงการ (กิโลเมตร)

H = ระดับความสูงที่แตกต่างกันระหว่างพื้นที่ท้องน้ำจุดไกลสุดกับระดับพื้นที่ท้องน้ำจุดระบายออก (เมตร)

(2) กรณีพื้นที่รับน้ำ (Catchments Area) > 25 ตร.กม.

การคำนวณหาปริมาณน้ำหลากที่ระบายออกจากพื้นที่รับน้ำเหนือถนนผ่านท่อลอด มีขนาด 25 – 100 ตารางกิโลเมตร ใช้วิธี Snyder คำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$Q_p = 0.001 \times q_p \times (\alpha I - \phi) \times T_t \times A \quad (6-9)$$

เมื่อ Q_p = ปริมาณการไหลสูงสุดผ่านผิวดิน ณ จุดพิจารณา (ลบ.ม./วินาที)

q_p = ปริมาณการไหลสูงสุดของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า, ลิตร/วินาที/ตร.กม.

$$\text{โดยที่ } q_p = K_p / t_t \quad (6-10)$$

K_p = Peak Discharge Coefficient (ตารางที่ 6-7)

t_t = ช่วงเวลาฝนตกวิกฤติ (Critical Rainfall) (ชั่วโมง)

α = Reduction Factor ขึ้นอยู่กับขนาดของกลุ่มน้ำและช่วงเวลาของฝนตก (รูปที่ 6-3)

I = ความเข้มฝน Rainfall Intensity (มม./ชม.) หาจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มฝน – เวลา ที่นำมารวมกันของพื้นที่รับน้ำฝนและคาบอุบัติ (Return Period)

ϕ = ความสามารถซึมผ่านได้ของดิน (Infiltration Capacity) ขึ้นอยู่กับลักษณะของผิวดินและพืชปกคลุม (ตารางที่ 6-8 และ ตารางที่ 6-9)

A = พื้นที่รับน้ำฝน (ตร.กม.)

$$\text{โดยที่ } t_t \text{ ช่วงเวลาฝนวิกฤติ (Critical Rainfall) } = (1.5/5.5) \times L^{0.60} \times L_1^{0.30} \quad (6-11)$$

เมื่อ L = ความยาวของลำน้ำจากจุดไกลสุดถึงจุดทำการก่อสร้าง (กิโลเมตร)

L_1 = อัตราส่วน L_c / L

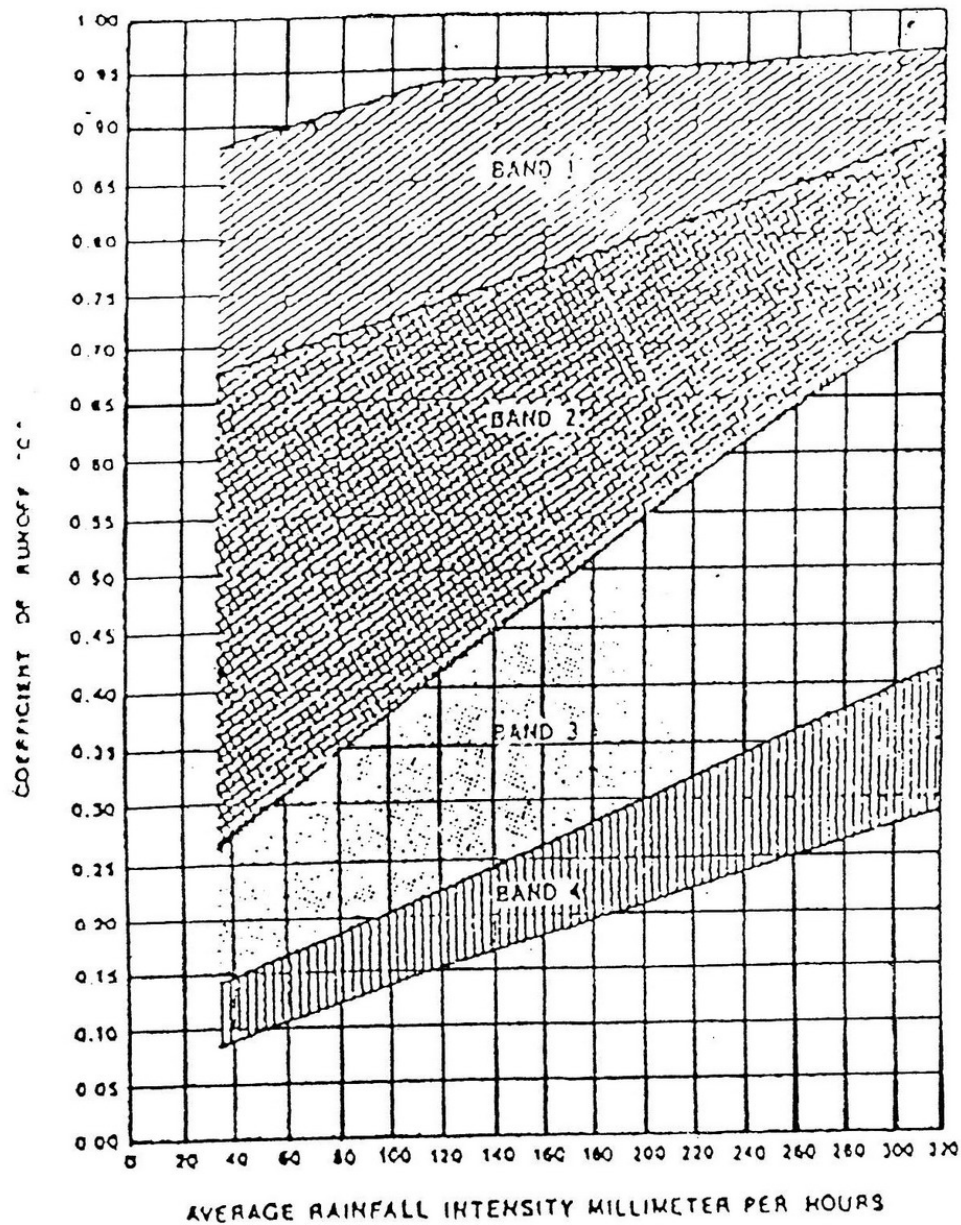
L_c = ความยาวลำน้ำ จากจุดใกล้จุดศูนย์ถ่วงของพื้นที่รับน้ำมากที่สุด ถึงจุดทำการก่อสร้าง (กิโลเมตร)

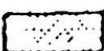
$$\text{Opening Area (m}^2\text{)} = Q/V \quad (6-12)$$

เมื่อ A = พื้นที่ช่องเปิดของโครงสร้างระบายน้ำ, ตร.ม.

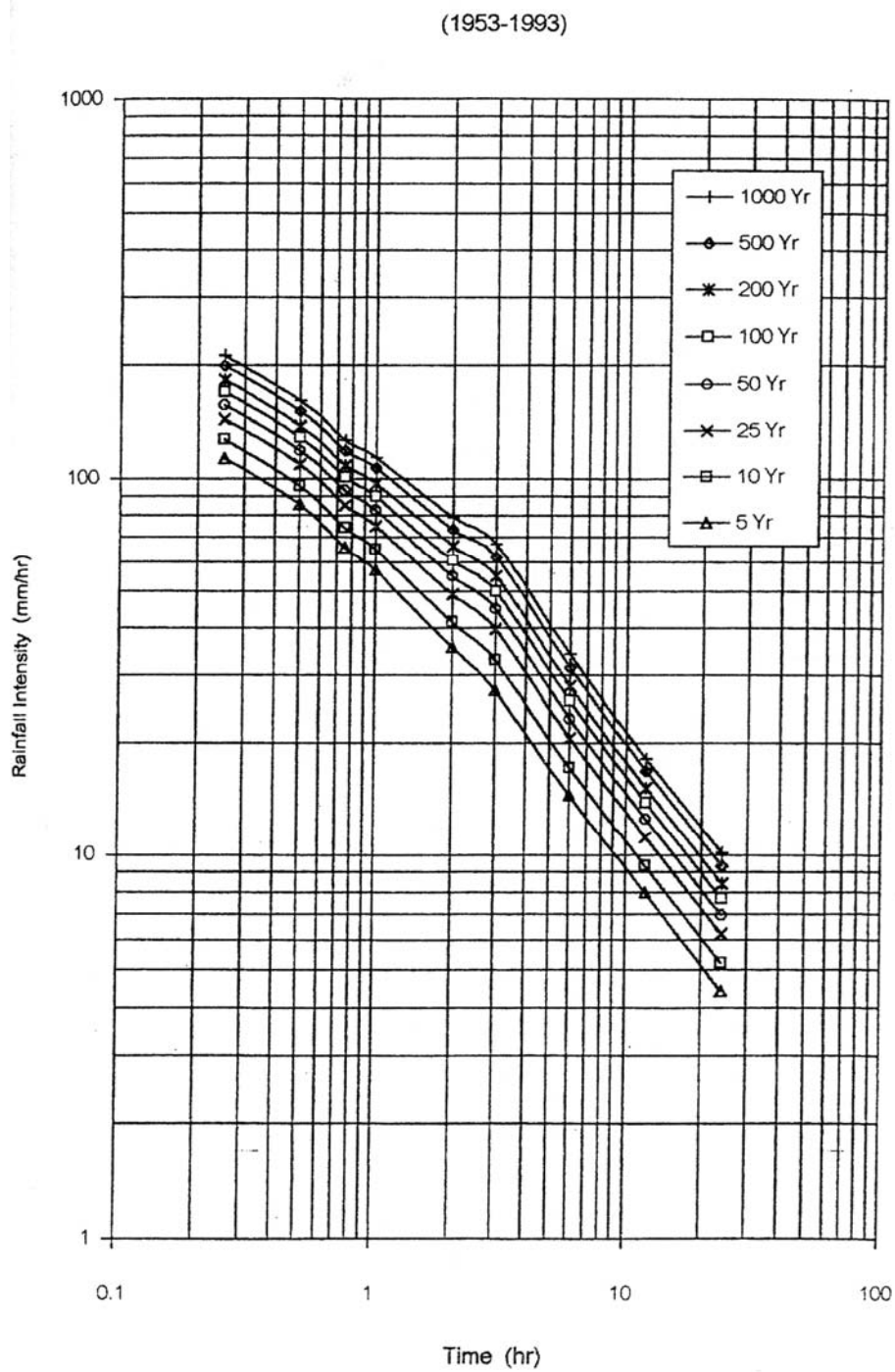
V = ความเร็วของน้ำในช่องเปิด, ม./วินาที (

ตารางที่ 6-10)

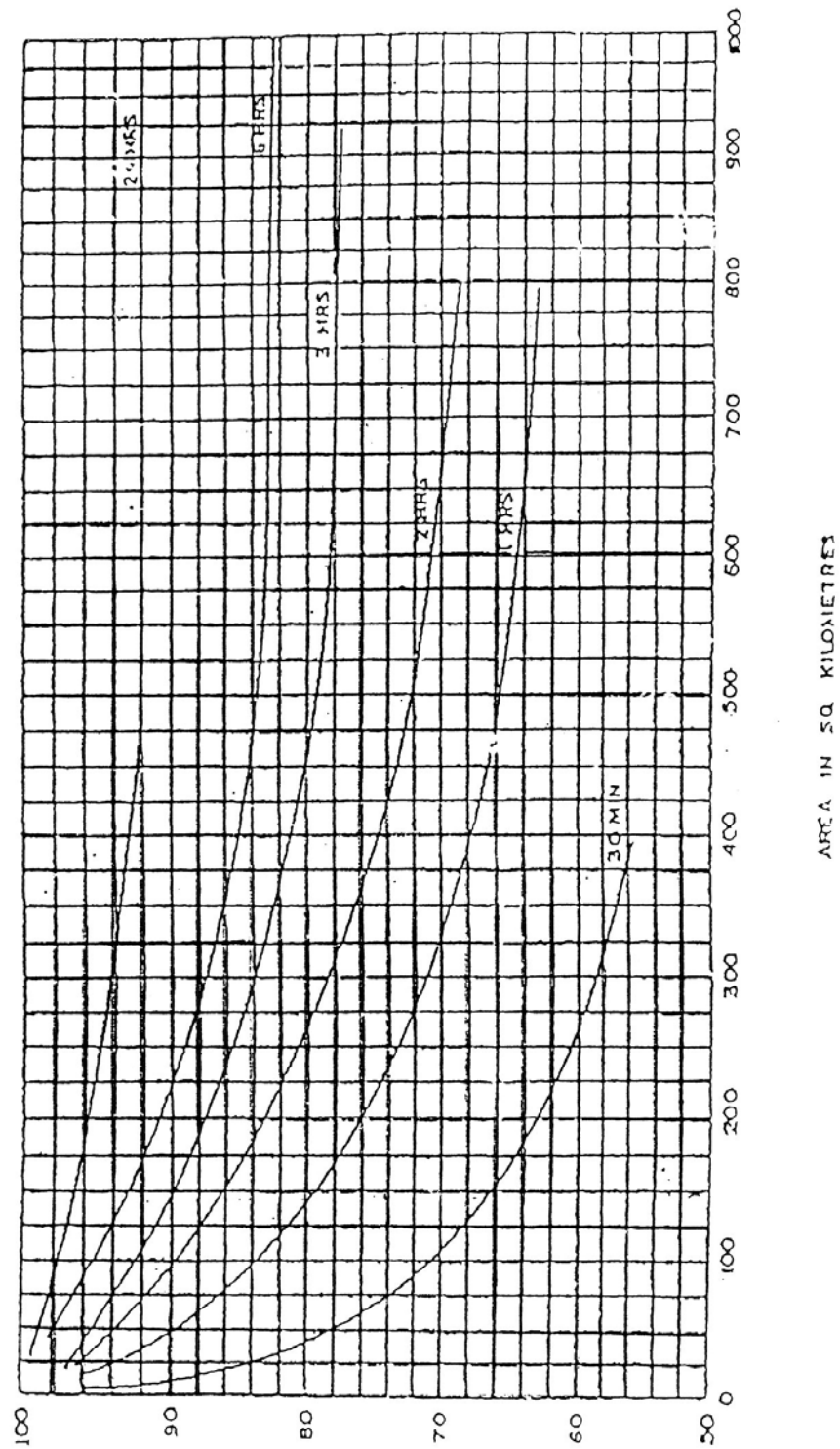


-  BAND 1 STEEP, BARREN, IMPERVIOUS SURFACES
-  BAND 2 ROLLING BARREN IN UPPER BAND VALUES, FLAT BARREN IN LOWER PART OF BAND STEEP FORESTED & STEEP GRASS ME
-  BAND 3 TIMBER LANDS OF MODERATE TO STEEP SLOPES, MOUNTAINOUS, FARMING
-  BAND 4 FLAT PERVIOUS SURFACES, FLAT FARMLANDS WOODED AREAS AND MEADOWS

รูปที่ 6-1 กราฟสำหรับอ่านค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่า C ที่ใช้สูตร Rational formula
ที่มา : การออกแบบแหล่งน้ำสำหรับงานเร่งรัดพัฒนาชนบท สำนักงานเร่งรัดพัฒนาชนบท



รูปที่ 6-2 ตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มฝน-ช่วงเวลา-ความถี่ฝน
ที่มา : การออกแบบแหล่งน้ำสำหรับงานเร่งรัดพัฒนาชนบท สำนักงานเร่งรัดพัฒนาชนบท



(2) % OF POINT RAINFALL FOR GIVEN AREA (%)

รูปที่ 6-3 ค่าลดความเข้มของฝนสำหรับพื้นที่รับน้ำ

ที่มา : การออกแบบแหล่งน้ำสำหรับงานเร่งรัดพัฒนาชนบท สำนักงานเร่งรัดพัฒนาชนบท

6.2.4 การออกแบบโครงสร้างทางระบายน้ำผ่านถนน

ทางน้ำผ่านถนนเป็นโครงสร้างระบายน้ำกึ่งถาวร เพื่อใช้สำหรับระบายน้ำผ่านถนนเป็นการชั่วคราว โดยใช้แบบมาตรฐานของกรมการเร่งรัดพัฒนาชนบท ซึ่งแบ่งตามประเภทของวัสดุป้องกันการกัดเซาะที่นำมาก่อสร้างได้ 5 ประเภท คือ ลูกกรัง ดินซีเมนต์ หินใหญ่และกรวดส่วนกละ อิฐดินซีเมนต์ และแผ่นพื้นคอนกรีตบล็อก ตาม รูปที่ 6-4 ถึง รูปที่ 6-7

ตารางที่ 6-7 สัมประสิทธิ์การไหลสูงสุด (Peak Discharge Coefficient), K_p

ภูมิประเทศของพื้นที่รับน้ำ	สัมประสิทธิ์การไหลสูงสุด, K_p
พื้นที่เชิงเขาและพื้นที่ราบชันเล็กน้อยปกคลุมด้วยป่าไม้หรือทุ่งหญ้า	28 – 30
พื้นที่ป่าสูงชันบริเวณต้นน้ำพื้นที่เชิงเขาที่ปกคลุมด้วยป่าไม้หรือทุ่งหญ้าบริเวณต่ำกว่าต้นน้ำ	30 – 32
พื้นที่เนินเขาและภูเขาเตี้ยที่เป็นป่าสูงชัน	32 - 34

ที่มา : เกณฑ์กำหนดสำหรับการออกแบบก่อสร้าง และการบำรุงรักษาอาคารประกอบในโครงสร้างพื้นฐาน กรมทรัพยากรน้ำ

ตารางที่ 6-8 แฟกเตอร์ของพืชปกคลุมดินที่มีผลต่อการซึมน้ำผ่านผิวดินของน้ำ Infiltration Cover Factors

พืชปกคลุมดิน Vegetation	ลักษณะสภาพ Condition	แฟกเตอร์พืช ปกคลุมดิน
ป่าไม้ Forest	<u>สภาพดี</u> สภาพป่าสมบูรณ์ ต้นไม้ขึ้นหนาแน่น ความหนาของซากพืชและฮิวมัส หน้าดินมากกว่า 25 มม. <u>สภาพปานกลาง</u> สภาพป่าปานกลาง ต้นไม้และพุ่มไม้เบาบางกระทบต่อความหนาแน่นของซากพืช และฮิวมัสหน้าดิน 5-25 มม. เกิดการกัดเซาะหน้าดินเล็กน้อย <u>สภาพเลว</u> สภาพป่าเสื่อมโทรม ต้นไม้และพุ่มไม้เป็นหย่อม ๆ ความหนาของฮิวมัสหน้าดินน้อยกว่า 5 มม. เกิดการกัดเซาะหน้าดินมากหรือใช้เพาะปลูกมากเกินไป	4.0-8.0 2.0-4.0 1.0-2.0
ทุ่งหญ้า (รวมทั้งข้าว) Grasses (including Rice)	<u>สภาพดี</u> ดินปกคลุมด้วยหญ้าหนาแน่นดีพอเหมาะและคุณภาพสูง พื้นที่ที่มีหญ้าขึ้นคลุมเป็นเวลานาน ผิวดินปลูกข้าวอย่างเหมาะสมทุกขั้นตอนการผลิต <u>สภาพปานกลาง</u> ดินปกคลุมด้วยพืชที่มีความหนาแน่น 30– 80 % ของดินสภาพดี ข้างต้นพื้นที่ ที่หญ้าขึ้นอย่างน้อย 2 ปี และไม่ได้ใช้เพาะปลูกมากเกินไป <u>สภาพเลว</u> ดินปกคลุมพืชที่มีความหนาแน่น 2.0- 1.0น้อยกว่า 30 % ของดินสภาพดีข้างต้นพื้นที่ดินเสื่อมโทรมใช้เพาะปลูกมากเกินไป	4.0-8.0 2.0-4.0 1.0-2.0
การเพาะปลูก ธัญพืชขึ้น หนาแน่นชิดติดกัน Close Growing Crops (Small Grains)	<u>สภาพดี</u> ความหนาแน่นของการเพาะปลูกธัญพืชเหมาะสมดินอยู่ในสภาพที่สมบูรณ์ดี <u>สภาพปานกลาง</u> ความหนาแน่นและความสมบูรณ์ของดินอยู่ในระดับ 30– 80 % ของดินสภาพดีข้างต้น <u>สภาพเลว</u> ความหนาแน่นและความสมบูรณ์ของดินอยู่ในระดับน้อยกว่า30%ของสภาพดินดีข้างต้น	2.5-3.0 1.5-2.0 1.0-1.5
การเพาะปลูกพืช เป็นแถว Row Crops	<u>สภาพดี</u> การเพาะปลูกพืชเจริญงอกงาม สภาพดินมีความสมบูรณ์ดี ปลูกพืชหมุนเวียนที่เหมาะสมดี ใช้ระบบการเพาะปลูกอย่างถูกหลักวิชาชีพ <u>สภาพปานกลาง</u> สภาพการเพาะปลูกและสภาพดินอยู่ในระดับ 30– 80 % ของสภาพดี ปลูกพืชหมุนเวียนที่ระดับพอใช้ <u>สภาพเลว</u> สภาพการเพาะปลูกและสภาพดินอยู่ในระดับน้อยกว่า 30 % ของสภาพดี ใช้วิธีการเพาะปลูกอย่างไม่ถูกต้อง	1.3-1.5 1.1-1.3 1.0-1.1

ตารางที่ 6-9 ความสามารถซึมผ่านดินของน้ำ (Infiltration Capacity)

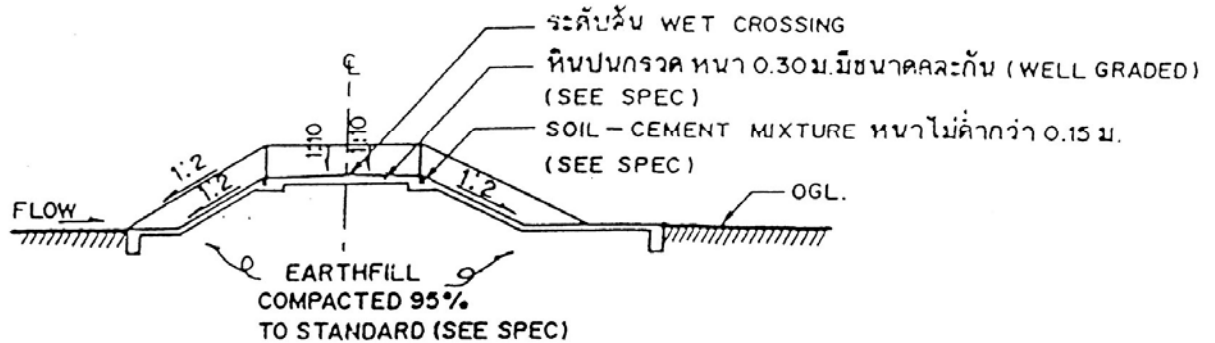
แฟกเตอร์พืชปกคลุม ดินชนิดต่าง ๆ Cover Factor Type	Infiltration Capacity ϕ - (mm./hr.)		
	ดินเหนียว Clays	ดินเหนียวผสมดินร่วน Clay Loams	ดินร่วนที่มีทรายปน Sandy Loams
1.0-2.0 เลว	2 - 9	4 - 13	5 - 20
2.0-4.0 ปานกลาง	5 - 17	8 - 27	13 - 45
4.0-8.0 ดี	10 - 35	15 - 55	25 - 90

ที่มา : เกณฑ์กำหนดสำหรับการออกแบบก่อสร้าง และการบำรุงรักษาอาคารประกอบในโครงสร้างพื้นฐาน กรมทรัพยากรน้ำ

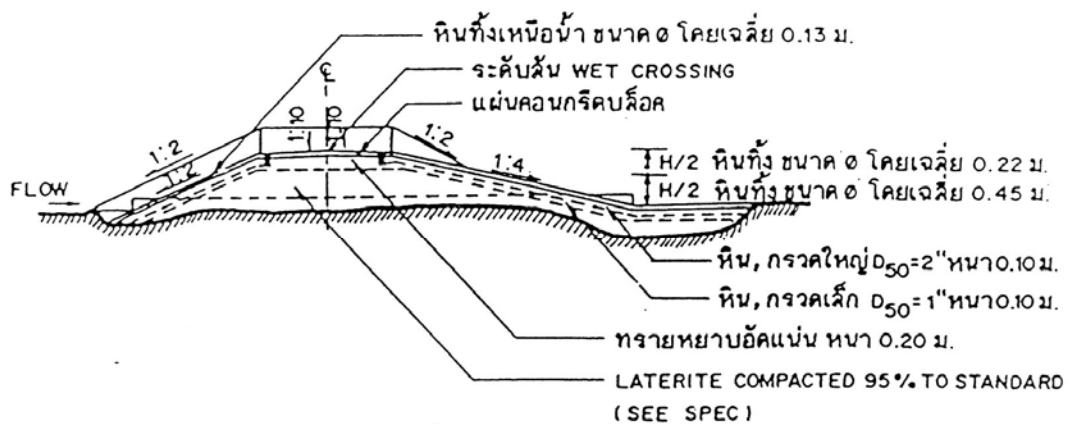
ตารางที่ 6-10 ความเร็วมากที่สุดของน้ำที่ไม่เกิดการกัดเซาะ

ชนิดของดิน	ความเร็ว (ม./วินาที)	
	น้ำใส	น้ำขุ่น
ทราย	0.46	0.76
ดินร่วนปนดินตะกอน	0.61	0.91
ดินเหนียวแข็ง	1.14	1.52
ดินดาน	1.83	1.83
กรวดละเอียด	0.76	1.52
กรวดหยาบ	1.22	1.83
หินใหญ่โตกว่ากรวด	1.83	1.83
หินก้อนใหญ่ ๆ	3.90-2.50	3.90-2.50
หินฟืดแข็ง	4.00	4.00

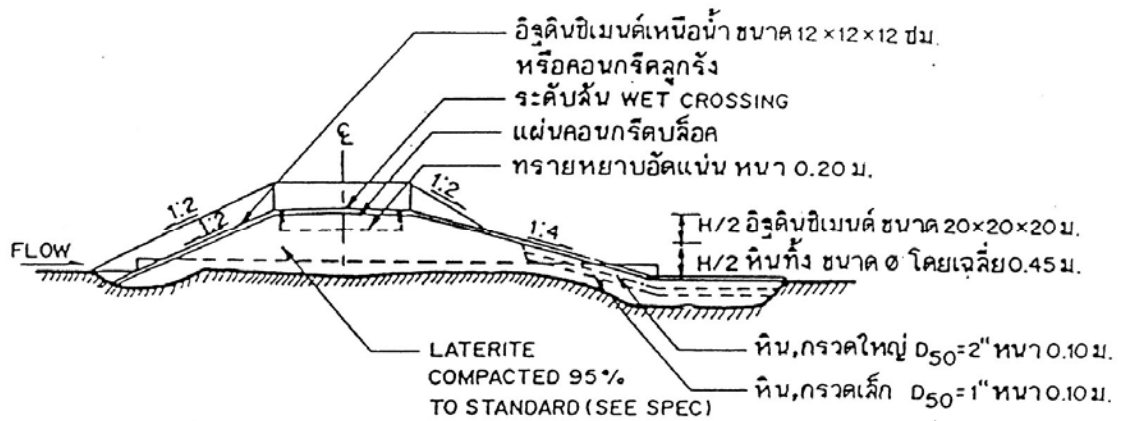
ที่มา : การออกแบบแหล่งน้ำสำหรับงานเร่งรัดพัฒนาชนบท สำนักงานเร่งรัดพัฒนาชนบท



รูปที่ 6-4 ทางน้ำผ่านถนนทำด้วยดิน — ซีเมนต์
ที่มา : สำนักงานเร่งรัดพัฒนาชนบท “แบบมาตรฐาน”

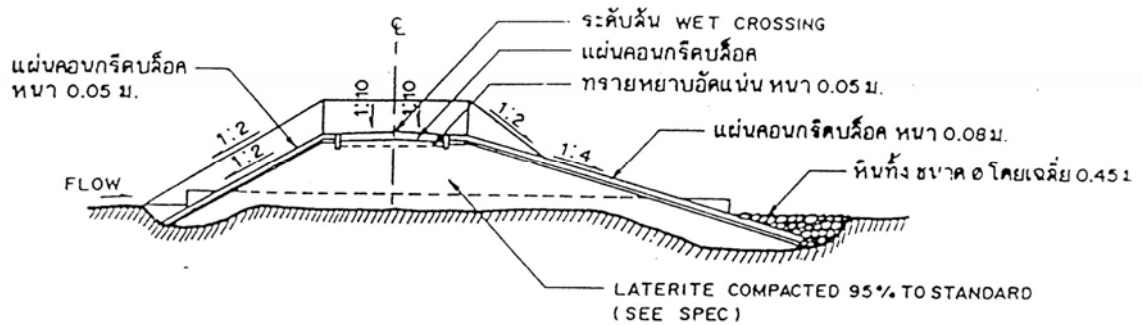


รูปที่ 6-5 ทางน้ำผ่านถนนทำด้วยหินใหญ่และกรวดส่วนกละ
ที่มา : สำนักงานเร่งรัดพัฒนาชนบท “แบบมาตรฐาน”



รูปที่ 6-6 ทางน้ำผ่านถนนทำด้วยซีเมนต์

ที่มา : สำนักงานเร่งรัดพัฒนาชนบท “แบบมาตรฐาน”



รูปที่ 6-7 ทางน้ำผ่านถนนทำด้วยแผ่นคอนกรีตบล็อก

ที่มา : สำนักงานเร่งรัดพัฒนาชนบท “แบบมาตรฐาน”

6.2.5 การป้องกันการกัดเซาะ

เกณฑ์กำหนดการออกแบบเช่นเดียวกับการป้องกันการกัดเซาะ ในบทที่ 4 ดังนี้

6.2.5.1 แรงกัดเซาะใต้ฐานอาคาร

สำหรับอาคารที่วางบนชั้นดินเดิมและขวางทางน้ำ จะต้องตรวจสอบแรงกัดเซาะใต้ฐานอาคารจาก Hydraulic Gradient กับประเภทของดินที่เป็นฐานราก โดยวิธีของ Lane's Weighted Creep Ratio ไม่น้อยกว่าค่าที่กำหนดไว้ใน ตารางที่ 6-11

$$\text{Lane's Weighted Creep Ratio } (C_w) = L_w/H$$

L_w = Weighted Creep Length หมายถึง ระยะทางที่น้ำไหลซึมผ่านได้ หรือข้างอาคาร โดยให้น้ำหนักความยาวแล้วแต่ทิศที่ซึมผ่านมี ดังนี้

- 1) ซึมผ่านด้านข้างของอาคารให้ใช้ความยาวจริง
- 2) ซึมผ่านในแนวดิ่งหรือชันกว่า 45 องศา ให้ใช้ความยาวจริง
- 3) ซึมลอดใต้อาคารในแนวราบหรือชันน้อยกว่า 40 องศา ให้ใช้เพียง 1 ใน 3 ของระยะจริง

H = Hydraulic Head ระหว่างจุดที่น้ำซึมเข้าและจุดออก

หากลำดับค่า C_w ได้ต่ำกว่าที่กำหนดไว้ใน ตารางที่ 6-11 ให้เพิ่มค่าความยาว L_w โดยวิธีต่างๆ ดังต่อไปนี้

- เพิ่มระยะน้ำซึมในแนวดิ่งโดยใช้ Cutoff Wall หรือ Collars
- เพิ่มระยะน้ำซึมในแนวราบ โดยการยึด Aporn

สำหรับอาคารที่วางอยู่บนชั้นหิน ไม่ต้องมีการตรวจสอบด้วยวิธีของ Lane เพราะว่ามี Curtain Grouting ซึ่งโดยปกติแล้วจะมีค่า C_w มากเพียงพออยู่แล้ว

6.2.5.2 หินทิ้ง

หมายถึงหินใหญ่ที่ได้นำมาปูเรียงด้วยแรงคน หรือทิ้งจากรถขนหินในบริเวณที่ต้องการ ให้ได้ความหนาตามที่กำหนด โดยไม่ต้องแซมหินย่อยหรือมีการตกแต่งมากแต่อย่างใด หินที่ใช้ควรจะเป็นหินใหญ่ที่มีขนาดคละกัน การคำนวณหาขนาดของหินจะขึ้นอยู่กับความเร็วของกระแสน้ำ ส่วนความหนาของหินใช้ประมาณ 1.5 เท่าของขนาดหิน

ตารางที่ 6-11 Lane's Weighted Creep Ratio

ชนิดของดิน	C_w
ดินตะกอนหรือทรายละเอียดมาก	8.50
ทรายละเอียด	7.00
ทรายขนาดปานกลาง	6.00
ทรายหยาบ	5.00
กรวดละเอียด	4.00
กรวดขนาดปานกลาง	3.50
กรวดหยาบ Cobbles และดินเหนียวอ่อน	3.00
ดินเหนียวแข็งปานกลาง	2.00
ดินเหนียวแข็ง	1.80

ที่มา : USBR, "Design of Small Dams" 2nd Edition, Washington, 1974

6.2.5.3 หินเรียง

หมายถึงหินใหญ่ ที่นำมาเรียงกันเป็นชั้นให้เป็นระเบียบจนได้ความหนาที่ต้องการ โดยในช่องว่างระหว่างหินใหญ่นั้นจะอัดแซมด้วยหินย่อยหรือกรวดขนาดต่างๆ และทรายให้เต็มช่องว่าง ความหนาของหินเรียงใช้ประมาณครึ่งหนึ่งของหินทิ้ง

6.2.5.4 หินเรียงยาแนว

มีลักษณะเช่นเดียวกับหินเรียงแต่ต้องยาแนวตามช่องว่างระหว่างก้อนหินด้วยปูนทราย

6.2.5.5 GABION & MATTRESS

Gabion & Mattress เป็นกล่องลวดตาข่ายของโลหะที่ไม่เป็นสนิม หรือถูกเคลือบด้วยวัสดุที่ป้องกันการเป็นสนิม เช่น Polyvinyl เป็นต้น และมีความทนทานต่อการกัดกร่อน (corrosion) หรือผลจากกระบวนการ weathering ต่างๆ ภายในบรรจุหินขนาดต่างๆ ที่หาได้ง่ายและมีความทนทานจนเต็มขนาดกล่อง แล้วนำมาปูวางในบริเวณที่ต้องการป้องกันการกัดเซาะ โดยเฉพาะบริเวณที่มีการกัดเซาะรุนแรง นิยมนำมาใช้ในกรณีที่ไม่สามารถคัดเลือกรูปแบบหินใหญ่ที่ใดเพียงพอด้านความเร็วของน้ำได้ตามวิธีการคำนวณขนาดก้อนหิน ซึ่งอาจใช้หินขนาดเล็กที่หาได้ เช่น ขนาดเล็กสุด 50 มม. มีส่วนคละจนถึงขนาดโตสุด 300 มม. บรรจุในกล่องลวดตาข่าย (Mattress และ Gabion)

บทที่ 7

เกณฑ์กำหนดในการออกแบบด้านโครงสร้าง

7.1 มาตรฐานทั่วไป

นอกจากการออกแบบต่าง ๆ ของอาคารให้เป็นไปตามความต้องการด้านศาสตร์และตามวัตถุประสงค์ในการใช้งานกรณีต่าง ๆ แล้ว โครงสร้างของอาคาร จะต้องออกแบบให้สามารถรับน้ำหนักบรรทุกทุกน้ำหนักจร และแรงคั้นน้ำสูงสุดได้อย่างปลอดภัย ส่วนแรงลม และแรงที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ จะนำมาพิจารณาในกรณีที่แรงเหล่านี้มีผลอย่างมากต่ออาคารเท่านั้น

การออกแบบจะเป็นไปตามมาตรฐานการปฏิบัติด้านวิศวกรรม ระหว่างประเทศที่กำหนดไว้ดังนี้

- (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 and Transportation Officials (AASHTO)
- (5) American Society for 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)

7.2 ข้อกำหนดและคุณสมบัติของวัสดุ

สำหรับการออกแบบอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก จะยึดมาตรฐานของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย และ United States Standard (ACI-Code 318-71) ทฤษฎี "Allowable Working Stress Design" หรือ ACI-318-77, 1977 (Ultimate Strength) ตาม ตารางที่ 7-1

ตารางที่ 7-1 หน่วยแรงที่ยอมให้ของคอนกรีต

รายการ		หน่วยแรงที่ยอมให้(กก./ชม. ²)						
		สำหรับคอนกรีตซึ่งมีกำลังอัดประลัย(กก./ชม. ²)						
		สูตร	100	140	175	210	280	350
อัตราส่วนโมดูลัส	n	$\frac{2,040,000}{15,210(f'c)^{1/2}}$	14	11	10	9	8	7
แรงดัด :								
- หน่วยแรงอัดที่ผิว	fc	$0.45f'c$	45.0	63.0	78.8	94.5	126.0	157.5
- หน่วยแรงดึงที่ฐานราก และกำแพงคอนกรีตล้วน	fc	$0.45(f'c)^{1/2}$	4.2	4.97	5.56	6.09	7.03	7.86
แรงเฉือน :								
- คานคอนกรีตล้วน	Vc	$0.29(f'c)^{1/2}$	2.9	3.4	3.8	4.20	4.90	5.40
- ตงคอนกรีตล้วน	Vc	$0.32(f'c)^{1/2}$	3.2	3.8	4.2	4.60	5.40	6.00
- โครงสร้างที่เสริมเหล็ก รับแรงเฉือน	Vc	$1.32(f'c)^{1/2}$	13.2	15.6	17.5	19.10	22.1	24.7
- แผ่นพื้นและฐานรากตามเส้นขอบ	Vc	$0.53(f'c)^{1/2}$	5.3	6.3	7.0	7.70	8.90	9.90
แรงกด :								
- เต็มพื้นที่(Full area load)	fc	$0.25(f'c)^{1/2}$	25.0	35.0	43.8	52.5	70.0	87.5
- หนึ่งในส่วนหนึ่งของพื้นที่ หรือ น้อยกว่า(Location partial area)	fc	$0.37(f'c)^{1/2}$	37.0	51.8	64.8	77.7	103.6	129.5

ที่มา: เอกสารประกอบการสอนวิชาคอนกรีตเสริมเหล็ก,แผนกวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,2523

7.2.1 คอนกรีต (Concrete)

กำหนดให้กำลังอัดประลัยของคอนกรีตไม่เสริมเหล็ก สำหรับอาคารชลศาสตร์มีค่า $f'c = 140$ กก./ชม.² และสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก มีค่า $f'c = 175$ กก./ชม.² หรือนอกจากระบุในแบบไว้เป็นอย่างอื่น เมื่อค่า $f'c$ คือ กำลังอัดประลัยของคอนกรีตรูปแท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอก มาตรฐาน ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 ซม. สูง 30 ซม. ที่มีอายุการบ่ม 28 วัน

7.2.2 เหล็กเสริมคอนกรีต (Reinforcing Steel)

คุณสมบัติและหน่วยแรงดึงที่ยอมให้ของเหล็กเสริมคอนกรีตจะต้องเป็นไปตามนี้

(1) เหล็กเส้นกลม ชั้นคุณภาพ SR24 มาตรฐาน มอก. 20-2527 มีกำลังดึงที่ขีดยึดไม่ต่ำกว่า 2,400 กก./ตร.ซม. มีกำลังดึงประลัยไม่ต่ำกว่า 3,900 กก./ตร.ซม. และมีความยืดตัวไม่น้อยกว่าร้อยละ 20 ในช่วงความยาว 0.20 เมตร

(2) เหล็กข้ออ้อย ชั้นคุณภาพ SD30 มาตรฐาน มอก. 24-2527 มีกำลังดึงที่ขีดยึดไม่ต่ำกว่า 3,000 กก./ตร.ซม. มีกำลังดึงประลัยไม่ต่ำกว่า 4,900 กก./ตร.ซม. และมีความยืดตัวไม่น้อยกว่าร้อยละ 16 ในช่วงความยาว 0.20 เมตร

7.2.3 เหล็กโครงสร้าง (Structural Steel)

เหล็กโครงสร้างในที่นี้หมายถึง วัสดุที่ใช้ในการทำบานประตูระบายน้ำ บานอัดน้ำ ประตูน้ำ (Intake Gate) ตะแกรงกันสวะ ราวลูกกรง บันไคลิง เครื่องกว้าน และอื่นๆ การออกแบบจะพิจารณาวัสดุที่มีคุณสมบัติมาตรฐานดังเกณฑ์ต่อไปนี้

(1) เหล็กโครงสร้างรูปพรรณ ตามมาตรฐาน มอก. 116-2529

(2) ทองบรอนซ์ (Bronze) ซึ่งใช้เป็น Gate seat ตามมาตรฐาน ASTM Designation : B 22-85

(3) เหล็กแผ่น (Steel Plate) ตามมาตรฐาน ASTM Designation : A-246

(4) เหล็กไร้สนิม (Stainless Steel) ตามมาตรฐาน ASTM Designation : ASTM 276-86a, ASTM A 167-86 types 304 and 316 ใช้เป็นสลักหุยกบานระบายและชิ้นส่วนข้อต่อบานที่จมน้ำ

(5) เหล็กหล่อ (Cast Iron) ตามมาตรฐาน ASTM Designation : A 48-83, Class 30

(6) สลักเกลียวที่ใช้ในงานประตูน้ำเหล็กหล่อ ราวลูกกรงบันไคลิง ตะแกรงกันสวะ (Trashrack) และอื่นๆ ตามมาตรฐาน ASTM Designation A 307-86a

(7) ท่อเหล็กที่ใช้ทำเสา, ราวและบันไคลิง ฯลฯ เป็นท่อชนิด Standard black pipe ตามมาตรฐาน มอก.276-2521 ประเภทที่ 2 การประกอบใช้วิธีเชื่อมทั้งหมด หรือพิจารณาใช้ท่อเหล็กท่อเหล็กอบสังกะสีตามมาตรฐาน มอก. 277-2521 ประเภทที่ 2 ในการประกอบเป็นเสา, ราวหรือบันไคลิง โดยใช้ข้อต่อแทน

7.3 แรงที่กระทำต่ออาคาร

แรงต่างๆ ที่กระทำต่ออาคารได้กำหนดไว้เพื่อสำหรับการออกแบบมีดังต่อไปนี้

7.3.1 น้ำหนักบรรทุกถาวร (Dead Load)

น้ำหนักของวัสดุต่าง ๆ สามารถหาได้ดังต่อไปนี้

- คอนกรีตเสริมเหล็ก	2,400	Kg./m. ³
- คอนกรีตล้วน	2,300	Kg./m. ³
- น้ำ	1,000	Kg./m. ³
- ดินแห้ง	1,760	Kg./m. ³
- ดินบดอัดแน่น	1,900	Kg./m. ³
- ดินถมด้วยน้ำ	2,100	Kg./m. ³
- เหล็กเหนียว	7,850	Kg./m. ³

7.3.2 น้ำหนักจร (Live Load)

ประกอบด้วย

- Surcharge for Wall	900	Kg./m. ²
- Operating Platform with Stoplog	750	Kg./m. ²
- Operating Platform without Stoplog	500	Kg./m. ²
- Live Load on Floor	300	Kg./m. ²
- สะพาน	500	Kg./m. ²

7.3.3 แรงลม (Wind Load)

ประกอบด้วย

- แรงลมกระทำที่ความสูงไม่เกิน 15 ม.	100	Kg./m. ²
- แรงลมกระทำที่ความสูงระหว่าง 15-30 ม.	150	Kg./m. ²

7.3.4 แรงดันด้านข้างที่กระทำต่อกำแพงกันดิน

ในกรณีที่ออกแบบอาคารที่คาดว่าจะใช้เครื่องจักรกลในการก่อสร้าง หรือทำงานอยู่บริเวณใกล้เคียง และทำให้เกิดแรงดันเพิ่มขึ้นต่ออาคารเนื่องจากเครื่องจักรนั้นได้คิดแรงกระทำหรือแรงดันด้านข้างเพิ่มขึ้นเท่ากับ Surcharge ของดินถมอัดแน่นแห้งสูง 0.60 เมตร

7.3.5 แรงดันน้ำ (Uplift Water Pressure)

โดยสมมติให้แรงกระทำพื้นฐานเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู ซึ่งแรงดันน้ำที่จุดใด ๆ จะเท่ากับ ความสูงของน้ำที่จุดนั้นๆ โดยอาศัยวิธีของ Lane's Method มาคำนวณ

7.3.6 แรงลอยตัว (Bouyance Force)

แรงลอยตัวหรือแรงพยุงพิจารณาเท่ากับน้ำหนักของน้ำ ที่ถูกแทนที่ด้วยโครงสร้างอาคาร โดยแรงลอยตัวเป็นผลทำให้เสถียรภาพของอาคารลดลง อย่างไรก็ตามแรงลอยตัวที่เกิดขึ้นจะส่งผลต่อโครงสร้างในกรณีที่ระดับน้ำด้านเหนือและท้ายฝายมีค่าใกล้เคียงหรือเท่ากัน เช่นในฤดูน้ำหลาก ส่วนในกรณีฝายทำการเก็บกักน้ำในขณะใช้งานและมีระดับน้ำเหนือน้ำสูงกว่าระดับด้านท้ายฝายแรงดันของน้ำที่กระทำพื้นฐานรากอาคารเป็นผลมาจาก Different Head ซึ่งแสดงอยู่ในรูปของ Uplift pressure

7.3.7 แรงดันน้ำที่กระทำต่อตัวฝาย (Hydrostatic Pressure)

ให้คิดในกรณีที่ระดับน้ำอยู่ที่ระดับสันฝาย และด้านท้ายน้ำไม่มีน้ำ

7.3.8 แรงที่กระทำต่อกำแพงในแนวดิ่ง (Vertical Wall Loads)

แรงที่กระทำต่อกำแพงในแนวดิ่ง จะประกอบไปด้วยแรงต่างๆ ดังต่อไปนี้

- แรงดันดินด้านข้าง (Active Soil Pressure)
- แรงดันน้ำด้านหลังกำแพง (Water Pressure)
- แรงดันข้างที่แปลงมาจาก Surcharge ด้านหลังกำแพง ซึ่งในการออกแบบ แต่ละกรณี

จะมีแรงที่กระทำต่อกำแพงแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับสภาพ และตำแหน่งที่ตั้งของอาคาร

7.4 เสถียรภาพของอาคาร (Stability of Structures)

กำหนดให้ค่า Safety Factor เสถียรภาพของอาคาร (Stability of Structures) มีค่าดังนี้

- Safety Factor Against Overturning ≥ 1.5 (คิด Uplift ด้วย)
- Safety Factor Against Sliding ≥ 1.5 (คิด Uplift ด้วย)
- Safety Factor (Bearing) > 2
- Safety Factor Against Uplift ≥ 1.3
- Slope Stability , F.S. ≥ 1.5

7.4.1 กรณีวิกฤตที่พิจารณา (Critical cases to be considered)

- กรณีก่อสร้างเสร็จใหม่ๆ และยังไม่ปล่อยน้ำผ่านอาคาร กำแพงข้างจะรับแรงดันดินเพียงด้านเดียว ในขณะที่พื้นฐานรากจะรับน้ำหนักกดของอาคารทั้งหมด
- กรณีเก็บกักที่ระดับปกติและท้ายน้ำแห้ง จะเกิดแรงดันน้ำสูงสุดกระทำต่อตัวอาคาร ส่วนกรณีที่ระดับน้ำหน้าอาคารอยู่สูงกว่าระดับเก็บกัก โดยปกติจะมีระดับน้ำด้านท้ายน้ำอยู่ เนื่องจากระดับเก็บกักที่ออกแบบเสมอตลิ่ง ระดับน้ำสูงกว่าจะไหลล้นออกข้างและไหลกลับลงลำน้ำเดิมท้ายฝาย ทำให้มีแรงดันน้ำด้านท้ายฝายหักล้างกับแรงดันน้ำด้านเหนือหน้า

7.4.2 การคำนวณความปลอดภัยอันเนื่องมาจากการพลิกคว่ำ (Safety Against Overturning)

ในการคำนวณออกแบบ เพื่อให้ฝายไม่เกิดการพลิกคว่ำนั้นจะต้องให้ผลลัพธ์ อันเนื่องมาจากแรงกระทำภายนอกทั้งหมด ที่กระทำต่อตัวฝายตกอยู่ในส่วนกึ่งกลางหนึ่งในสามของความยาวฐานฝาย และค่าความปลอดภัย (Factor of Safety) ของอัตราส่วนระหว่าง Stability Moments กับ Overturning Moments มากกว่า 1.50 โดยทำการตรวจสอบทั้งสองกรณี คือ หลังสร้างเสร็จ และขณะเก็บกักน้ำหรือท่น้ำเต็มที

$$F.S = \frac{\text{Stability Moment}}{\text{Overturning Moments}}$$

อาคารทางด้านชลศาสตร์มักถูกดันให้เลื่อนไถล เนื่องจากแรงดันในทางราบต่ออาคาร เหล่านี้สามารถคงทนอยู่ได้ก็เพราะแรงเสียดทาน(Friction) ที่เกิดขึ้นระหว่างผิวสัมผัสของอาคารกับพื้นดินที่รองรับอาคาร และค่าแรงเสียดทานนี้จะหาได้จากผลคูณระหว่างน้ำหนักของอาคารกับสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทาน "C" ตามค่าข้างล่างนี้

- | | |
|-----------------------------------|-----------------|
| - น้ำสัมผัสของคอนกรีตกับกรวด | C = 0.50 – 0.60 |
| - น้ำสัมผัสของคอนกรีตกับทราย | C = 0.40 – 0.50 |
| - น้ำสัมผัสของคอนกรีตกับดินเหนียว | C = 0.30 – 0.40 |
| - ดินเหนียวแน่น – ปานกลาง | C = 0.25 – 0.40 |
| - ดินเหนียวอ่อน – ดินตะกอน | C = 0.20 – 0.30 |

7.4.3 การคำนวณความปลอดภัยอันเนื่องมาจากการเลื่อนตัว (Safety Against Sliding)

ในการคำนวณออกแบบเพื่อป้องกันการเลื่อนตัวของฝายโดยใช้สูตร

$$S = H / V < 1/1.2 f$$

เมื่อ S = Sliding Coefficient
 H = ผลรวมของแรงในแนวราบ
 V = ผลรวมของแรงในแนวดิ่ง
 f = Friction Coefficient = 0.6

ในกรณีที่ฝายตั้งอยู่บนฐานรากที่เป็นหินจะต้องคำนวณหาแรงต้านของแรงเฉือนที่ฐาน แต่ค่า Safety Factor จะต้องมากกว่า 4

$$S.F. = (Z_o \cdot l + V \cdot f) / H > 4.0$$

เมื่อ Z_o = แรงเฉือนที่ฐานฝาย (กก./ม.2)
 l = ความยาวของฐานฝาย (ม.)
 H = แรงในแนวราบ
 V = แรงในแนวดิ่ง
 f = ค่าแรงเสียดทาน

7.4.4 การคำนวณความปลอดภัยอันเนื่องมาจากการทรุดตัว (Safety Against Settlement)

- ในการออกแบบตัวฝายเพื่อไม่ให้เกิดการทรุดตัวนั้น ค่าแรงกดสูงสุดที่ฐานฝายจะต้องน้อยกว่าค่า Allowable Bearing Stress ของดินที่ฐานฝายนั้นจะรับได้ในการคำนวณค่าแรงกดสูงสุด (Maximum Compression Stress) ที่ฐานฝายโดยใช้สูตร

$$q = (V/L)(1+6e/L) < q_a$$

เมื่อ q = แรงกดสูงสุดที่ฐานฝาย (ตัน/ม.2)
 V = น้ำหนักบรรทุกทุกกระทำตามแนวดิ่ง (ตัน)
 e = ระยะเยื้องศูนย์กลางของแรงลัพธ์ (ม.)
 L = ความยาวของฐานฝาย (ม.)
 q_a = Allowable Bearing Stress ของดินฐานราก (ตัน/ม.2)

หมายเหตุ : คัดต่อความกว้างฝาย 1 เมตร

- วิธีคำนวณความสัมพันธ์ของการทรุดตัวของดิน เนื่องจากการ Consolidation ซึ่งจะต้องมีการทดลองหา Void Ratio ของดินก่อนมีการ Consolidation แล้วจะใช้สมการต่อไปนี้หาการทรุดตัว

$$S_c = \frac{h}{1+e_o} C_c \log \frac{(P'_o + \Delta P)}{P'_o}$$

เมื่อ S_c = ระยะการทรุดตัว

h = ความหนาของชั้นดิน

e_o = Void Ratio ของดินอัดแน่นก่อนมีการ Consolidation

C_c = Consolidation Compression Index = 0.009 (L.L.-10)

P'_o = The Effective Overburden Pressure

ΔP = The Increase in stress

- การตรวจสอบเวลาของการทรุดตัว สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$t = \frac{T_v \cdot d^2}{C_v}$$

เมื่อ t = ระยะเวลาของการทรุดตัว

T_v = Time Factor ขึ้นกับเปอร์เซ็นต์การทรุดตัว (U_v)

C_v = สัมประสิทธิ์ของการยุบอัดตัว

d = ระยะทางไกลที่สุดที่น้ำไหลออกจากดิน

= $0.5h$ ในกรณีที่น้ำไหลออกได้ 2 ทาง

= h ในกรณีที่น้ำไหลออกได้ทางเดียว

h = ความหนาของชั้นดิน

7.5 เสถียรภาพของความลาดเอียงของคันดิน (Slope stability)

การวิเคราะห์เสถียรภาพของคันดินต้องพิจารณาทั้งลาดเหนือน้ำและท้ายน้ำ ทั้งนี้การวิเคราะห์พิจารณาในกรณีสร้างเสร็จใหม่ ซึ่งดินถมตัวเขื่อนยังคงมี Pore Pressure อยู่ กรณีทำการเก็บกักที่ระดับเก็บกักสูงสุด ซึ่งมีดินตัวเขื่อนที่อยู่ใต้แนว Top Flow Line เป็นดินอิ่มตัวไปด้วยน้ำ และในกรณีที่เกิด Sudden Drawdown ถึงต่ำสุด โดยที่น้ำยังไม่สามารถระบายออกไปได้

สำหรับเกณฑ์กำหนดทั่วไป ของพนักก้นน้ำจะเป็นคันดินถมบดอัดไม่น้อยกว่า 95% ของความแน่นมาตรฐาน (Standard Proctor Compaction Test) ความกว้างของหลังคันดินเท่ากับ

4.00-6.00 เมตร ลาดด้านข้าง 1:2, 1:1.5 (ตั้งราบ) โดยมีระดับหลังคันสูงกว่าระดับน้ำสูงสุดประมาณ 1.00 เมตร

วิธีการวิเคราะห์หาค่า F.S. ของคันดินจะใช้ตามวิธีการ Simplified Bishop Method โดยการสมมุติรูปของผิวการเคลื่อนพังเป็นส่วนโค้งของวงกลม โดยการตัดมวลดินออกเป็นชั้นๆ ตามแนวตั้งและพิจารณาสมดุลของแรงและโมเมนต์ที่จากแต่ละมวล รายละเอียดการวิเคราะห์ดูในหัวข้อ การวิเคราะห์เสถียรภาพของเขื่อนดิน

7.6 การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

7.6.1 การกำหนดช่วงห่างของเหล็กเสริม (Spacing of Reinforcement)

การกำหนดช่วงห่างของเหล็กเสริมในการออกแบบได้กำหนดไว้ดังนี้คือ

- (1) เหล็กเสริมที่ตัดได้ขนาด รูปร่างแล้ว จะต้องงอปลายทั้งสองข้าง และวางตามที่แสดงในแบบก่อสร้าง การวัดระยะห่างเหล็ก ให้วัดจากศูนย์กลางถึงศูนย์กลางเหล็ก
- (2) เหล็กเสริมจะต้องวางห่างจากผิวคอนกรีต โดยวัดระยะจากผิวคอนกรีตถึงผิวเหล็กตามเกณฑ์ ดังนี้
 - กรณีเหล็กเสริมชั้นเดียว ถ้าไม่แสดงไว้เป็นอย่างอื่นให้วางตรงกึ่งกลางความหนา
 - กรณีเหล็กเสริม 2 ชั้น ระยะระหว่างผิวเหล็กถึงผิวคอนกรีตที่ติดกับแบบไม่น้อยกว่า 2.5 เซนติเมตร และถ้าติดกับดินหรือหินให้ใช้ 7.5 เซนติเมตร นอกจากแสดงไว้เป็นอย่างอื่น
- (3) เหล็กเสริมต้องวางและผูกให้แน่น เพื่อมิให้เคลื่อนไหวยระหว่างเทคอนกรีต และในขณะที่กระทุ้ง หรือการสั่นคอนกรีต
- (4) เหล็กเดือย (Dowel Bars) ต้องมีขนาดและอยู่ในตำแหน่งตามแบบ ก่อนนำไปวางปลายด้านหนึ่งจะต้องทาด้วยยางมะตอยให้ทั่ว
- (5) ในขณะที่คอนกรีตยังไม่แข็งตัวห้ามมิให้กระทบกระเทือนที่ปลายเหล็กที่คอนกรีตยังไม่รับการหล่อหุ้ม

7.6.2 การป้องกันเหล็กเสริมโดยความหนาของคอนกรีต (Concrete Covering)

การเผื่อความหนาของคอนกรีตเพื่อป้องกันเหล็กเสริม ใช้ดังต่อไปนี้

- (1) สำหรับอาคารที่กระทบต่อแดด, ลม ใช้ความหนาจากเหล็กเสริมไม่น้อยกว่า 2.5 ซม.
- (2) สำหรับอาคารที่สัมผัสแดด ลม ฝน หรือดินถมกลับหรือจมอยู่ใต้น้ำ ใช้ความหนาของคอนกรีตจากเหล็กเสริม 4 ซม.
- (3) ผิวหน้าของคอนกรีตที่สัมผัสต่อการกัดเซาะ ใช้ความหนาของคอนกรีตจากเหล็กเสริม 6 ซม.

(4) คอนกรีตที่วางสัมผัสกับดินและหินโดยตรงใช้ความหนาของคอนกรีตจากเหล็กเสริม 6 ซม.

7.6.3 ความหนาน้อยที่สุดของผนังกำแพงและพื้นคอนกรีต

(1) คอนกรีตที่เสริมเหล็ก 2 ชั้น ควรหนาไม่น้อยกว่า 30 ซม.

(2) กำแพง Cantilever Wall สูงไม่เกิน 2.5 ม.

ที่เสริมเหล็กชั้นเดียว กำหนดให้ความหนาที่ฐาน = $1/10$ ของความสูง แต่ไม่น้อยกว่า 15 ซม.

(3) กำแพง Cantilever Wall ที่สูงกว่า 2.5 ม.

ความหนาที่ฐาน = 25 ซม. + 6.25 ซม./ม. ที่มากกว่า 2.5 ม. และต้องเสริมเหล็ก 2 ชั้น

(4) Counterfort ใช้ความหนาของพื้น (Footing)

และความหนาของกำแพงที่ฐาน = $1/12$ ของความสูง แต่ไม่น้อยกว่า 25 ซม.

(5) กำแพงคอนกรีตที่เป็นตัว WEIR กันน้ำ ให้ความหนาไม่น้อยกว่า 30 ซม.

7.6.4 การกำหนดแรงยึดเหนี่ยวของคอนกรีต (Bond and Anchorage requirement)

แรงยึดเหนี่ยวของเหล็กกับคอนกรีตที่ใช้ออกแบบ สำหรับเหล็กเส้นกลมและเหล็กข้ออ้อยตาม ตารางที่ 7-2 ถึง ตารางที่ 7-4

ตารางที่ 7-2 หน่วยแรงยึดเหนี่ยวที่ยอมให้ของคอนกรีต (เหล็กบนรับแรงดึง)

fc	f'c	ขนาดเหล็ก (มม.)						
		RB	RB	RB	RB	-	RB	RB
		6	9	12	15	16	19	25
กก./ซม ²	กก./ซม ²	-	-	DB	-	DB	DB	DB
45	140	11.0	11.0	11.3	9.0	-	7.1	5.4
		-	-	22.6	-	16.9	14.3	10.8
77.9	173	11.0	11.0	11.0	10.0	-	7.9	6.0
		-	-	25.1	-	18.8	15.9	12.0
78.8	175	11.0	11.0	11.0	10.0	-	7.9	6.1
		-	-	25.0	-	18.9	15.9	12.1
94.5	210	11.0	11.0	11.0	11.0	-	8.7	6.0
		-	-	25.0	-	20.7	17.5	13.3
126	280	11.0	11.0	11.0	11.0	-	10.1	7.7
		-	-	25.0	-	23.9	20.2	15.3
157.5	350	11.0	11.0	11.0	11.0	-	11.0	8.6
		-	-	25.0	-	25.0	22.5	17.1

ที่มา: เอกสารประกอบการสอนวิชาคอนกรีตเสริมเหล็ก, แผนกวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2523

ตารางที่ 7-3 หน่วยแรงยึดเหนี่ยวที่ยอมให้ของคอนกรีต (เหล็กอื่นที่รับแรงดึง)

fc	F'c	ขนาดเหล็ก (มม.)						
		RB	RB	RB	RB	-	RB	RB
		6	9	12	15	16	19	25
กก./ซม ²	กก./ซม ²	-	-	DB	-	DB	DB	DB
45	140	11.0	11.0	11.0	11.0	-	10.1	7.6
		-	-	31.8	-	23.9	20.1	15.3
77.9	173	11.0	11.0	11.0	11.0	-	11.0	8.5
		-	-	35.0	-	26.6	22.4	17.0
78.8	175	11.0	11.0	11.0	11.0	-	11.0	8.5
		-	-	35.0	-	26.7	22.5	17.1
94.5	210	11.0	11.0	11.0	11.0	-	11.0	9.4
		-	-	35.0	-	29.3	24.6	18.7
126	280	11.0	11.0	11.0	11.0	-	11.0	10.8
		-	-	35.0	-	33.8	28.4	21.6
157.5	350	11.0	11.0	11.0	11.0	-	11.0	11.0
		-	-	35.0	-	35.0	31.8	24.2

ที่มา: เอกสารประกอบการสอนวิชาคอนกรีตเสริมเหล็ก, แผนกวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2523

7.6.5 แรงเฉือนและแรงดึงทแยงที่ยอมให้

แรงเฉือนที่ยอมให้สำหรับการออกแบบให้ปฏิบัติตามมาตรฐาน ACI 318-63

(Building Code)

7.6.6 การเสริมเหล็กต้านทานการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

(1) เมื่อเสริมเหล็กชั้นเดียวใช้ $\phi 12$ มม. @ 0.30 ม. ต่ำสุด

(2) เหล็กเสริมชั้นเดียวที่อยู่กลางแจ้ง

- คอนกรีตที่มีรอยต่อห่างไม่เกิน 10 ม. ให้เสริมเหล็ก 0.30% ของหน้าตัดคอนกรีต

- คอนกรีตที่มีรอยต่อห่างเกิน 10 ม. ให้เสริมเหล็ก 0.40% ของหน้าตัดคอนกรีต

ตารางที่ 7-4 ระยะฝังและระยะทาบของเหล็กเสริม

fc	f'c	ขนาดเหล็ก (มม.)						
		RB	RB	RB	RB	-	RB	RB
		6	9	12	15	16	19	25
กก./ชม ²	กก./ชม ²	-	-	DB	-	DB	DB	DB
45	140	60 (60) -	60 (60) -	60 (60) 30 (30)	60 (60) -	- 34 (30)	81 (57) 47 (33)	139 (99) 81 (58)
77.9	173	60 (60) -	60 (60) -	60 (60) 30 (30)	60 (60) -	- 34 (30)	72 (57) 42 (30)	123 (89) 73 (52)
78.8	175	60 (60) -	60 (60) -	60 (60) 30 (30)	60 (60) -	- 30 (30)	72 (57) 42 (30)	123 (89) 73 (52)
94.5	210	60 (60) -	60 (60) -	60 (60) 30 (30)	60 (60) -	- 30 (30)	81 (57) 38 (30)	139 (99) 66 (47)
126	280	60 (60) -	60 (60) -	60 (60) 30 (30)	60 (60) -	- (60) 30 (30)	60 (60) 33 (30)	98 (70) 58 (41)
157.5	350	60 (60) -	60 (60) -	60 (60) 30 (30)	60 (60) -	- (60) 30 (30)	60 (60) 30 (30)	88 (69) 52 (37)

หมายเหตุ : คำนวณวงเล็บสำหรับเหล็กบน และค่าในวงเล็บสำหรับเหล็กอื่น

ที่มา : เอกสารประกอบการสอนวิชาคอนกรีตเสริมเหล็ก,แผนกวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,2523

(3) เหล็กเสริมสองชั้น

- ด้านที่ไม่ติดกับดิน ระยะรอยต่อห่างไม่เกิน 10 ม. แต่อยู่กลางแจ้งใช้เสริมเหล็ก 0.20% ของหน้าตัดคอนกรีต

- ด้านที่ติดกับดิน ระยะรอยต่อห่างไม่เกิน 10 ม. แต่อยู่กลางแจ้งใช้เสริมเหล็ก 0.10% ของหน้าตัดคอนกรีต

ทั้ง 2 กรณี ถ้ารอยต่อห่างมากกว่า 10 ม. ให้เพิ่มเหล็กเสริมอีก 0.05% ของหน้าตัดคอนกรีต

(4) เมื่อคอนกรีตหนาเกิน 40 ซม. ให้ใช้เหล็กเสริมน้อยที่สุดเท่ากับเหล็กเสริมน้อยที่สุดของคอนกรีตหนา 40 ซม.

7.6.7 การงอเหล็กเสริม (Hook and Bend of Reinforcement Bars)

7.6.7.1 มาตรฐานการงอ

ในมาตรฐานการงอจะใช้ข้อกำหนดดังต่อไปนี้

(1) การงอครึ่งวงกลม ส่วนที่เหลือจากการงอจะต้องไม่น้อยกว่า 4 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็กเสริม และปลายที่เหลือต้องไม่น้อยกว่า 6.5 ซม.

(2) การงอ 90 องศา ส่วนที่เหลือจากการงอจะต้องไม่น้อยกว่า 12 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็กเสริม

(3) สำหรับเหล็กผูกตั้ง (Stirrup) และเหล็กปลอกเท่านั้น การงอ 90 องศา และการงอ 135 องศา ส่วนที่เหลือจากการงอจะต้องไม่น้อยกว่า 6 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลาง แต่ต้องไม่น้อยกว่า 6.50 ซม.

7.6.7.2 รัศมีของการงอ

รัศมีของการงอมาตรฐาน (วัดด้านในของการงอ) จะต้องไม่น้อยกว่าค่าที่ให้ไว้ในตารางที่ 7-5 ยกเว้นเหล็กที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 22 มม. ถึงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 34 มม. แต่สำหรับเหล็ก Structural Grade และ Intermediate Grade เท่านั้น รัศมีการงอน้อยสุดจะเท่ากับ 2.5 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลาง

ตารางที่ 7-5 การงอเหล็ก

เส้นผ่าศูนย์กลางเหล็กเสริม	รัศมีการงอ
9, 10, 12, 15	2.5 d
16, 19, 20, 22, 25	3.0 d
28	4.0 d

ที่มา : เอกสารประกอบการสอนวิชาคอนกรีตเสริมเหล็ก, แผนกวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2523

7.6.7.3 การงอนอกเหนือจากมาตรฐาน

การงอเหล็กดัดและเหล็กปลอก จะต้องมีการงอด้านในไม่น้อยกว่าหนึ่งเท่าของเส้นผ่าศูนย์กลาง การงอสำหรับเหล็กเสริมอื่นๆ จะต้องมีการงอ ด้านในไม่น้อยกว่าค่าที่ระบุไว้ เมื่อการงอเหล็กจะทำให้เกิดความเค้นสูงที่จุดงอ ดังนั้นรัศมีของการงอจะต้องให้กว้างพอเพื่อป้องกันการแตกหักของคอนกรีต การงอทุกชนิดจะต้องทำแบบการดัดเย็น

7.6.8 การต่อเหล็กเสริม

จะต้องต่อโดยวิธีทาบกัน และรอยต่อของเหล็กแต่ละเส้นต้องสลับกันห้ามต่อเหล็กตรงจุดที่รับแรงมากที่สุดในคาน ดังนี้

- (1) เหล็กเส้นกลม ให้วางทาบกันไม่น้อยกว่า 40 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็ก เมื่อปลายต้องงอขอมาตรฐาน หรือ 50 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็ก เมื่อปลายไม่งอขอมาตรฐาน
- (2) เหล็กข้ออ้อย ให้วางทาบกันไม่น้อยกว่า 30 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็ก โดยปลายไม่งอขอมาตรฐาน

7.7 การออกแบบ Anchor Bars

ในกรณีที่ฐานรากมีคุณภาพดีและสามารถยึดฐานของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กเข้ากับหินฐานรากได้อย่างมั่นคงได้ จะพิจารณาให้มี Anchor bars ยึดฐานอาคารกับชั้นหินฐานราก เพื่อป้องกันการขยับตัว หรือลอยตัวอันเนื่องมาจากแรงดันน้ำใต้อาคาร (Uplift Pressure) ซึ่งมีข้อกำหนดดังนี้

- (1) กำหนดให้ใช้เหล็กเสริมข้ออ้อยขนาดไม่น้อยกว่า $\varnothing 25$ มม. เป็น Anchor bars
- (2) ระยะห่างของ Anchor bars ไม่น้อยกว่า 1.50 เมตร
- (3) ความลึกของ Anchor bars ในชั้นหินฐานรากไม่น้อยกว่า 1.00 เมตร
- (4) จะต้องยึด Anchor bars ให้ติดกับชั้นหินฐานรากอย่างมั่นคงแข็งแรง การพิจารณาคำนวณออกแบบ Anchor bars จะทำการตรวจสอบดังนี้

- ตรวจสอบแรงดึงในเหล็ก Anchor bars ซึ่งจะต้องมีค่ามากกว่าแรงกระทำ Uplift Pressure
- ตรวจสอบระยะการฝังของเหล็ก Anchor bars การยึดตัวระหว่างเหล็กและซีเมนต์ grout ในหลุมเจาะติดตั้ง Anchor bars การยึดตัวระหว่างผิวของซีเมนต์ grout กับหิน
- ตรวจสอบการยกตัวของชั้นหิน โดยพิจารณาจากน้ำหนักของหินที่ Anchor bars ยึดอยู่แต่ละจุดโดยสมมุติให้หินมีการแตกร้าวเป็นมุม 45 องศา กับแนว Anchor bars และหินน้ำหนักประมาณ 2.60 ตัน/ลบ.ม.

7.8 การออกแบบกำแพงกันดิน

สำหรับกำแพงกันดินชนิดแข็งแรงแรง (Rigid Walls) ซึ่งเป็นผนังคอนกรีตเสริมเหล็ก การโค้งของกำแพงมีน้อยมาก การออกแบบจำเป็นต้องพิจารณา รายละเอียดดังนี้

- องค์ประกอบโครงสร้างของกำแพง อาทิเช่น ฐาน(Base) ผนังกันดิน(Stem) จะต้องมีความแข็งแรงเพียงพอต่อการต้านทานแรงเฉือนและ โมเมนต์ดัดที่เกิดจากดินหรือน้ำหนักบรรทุกอื่นๆ
- โครงสร้างของกำแพงจะต้องปลอดภัยต่อการพลิกคว่ำ (Overturning)
- โครงสร้างกำแพงจะต้องปลอดภัยต่อการเลื่อนไถล(Sliding)
- วัสดุที่เป็นฐานรากรอบกำแพง จะต้องมีความลึกมากพอที่จะไม่ทำให้เกิดการเคลื่อนพิบัติ (Bearing failure) ภายใต้น้ำหนักบรรทุกที่กระทำ
- การทรุดตัวของกำแพง จากความอัดตัวของฐานรากภายใต้มวลดิน

7.8.1 กำแพงกันดินรูปตัว U (U-Shape Retaining Wall)

กำแพงกันดินรูปตัว U ทำหน้าที่เป็นส่วนหนึ่งของ Chute โดยมีดินถมข้างกำแพงดินทั้งสองข้าง จากสภาพดังกล่าวทำให้อาคารมีแรงกระทำต่างๆ ได้แก่ แรงดันดินด้านข้างอาคาร แรงดันน้ำด้านข้างอาคาร แรงดันน้ำใต้พื้นอาคาร (Uplift Pressure) เป็นต้น ดังรูปที่ 7-1 การออกแบบอาคารชนิดนี้ จะต้องมีความแข็งแรงเพียงพอที่รับแรงต่างๆ ข้างต้นได้ สำหรับขนาดอาคารพอจะกำหนดเป็นแนวทางเบื้องต้นได้ดังนี้

- ความหนาหลังกำแพงกันดินจะต้องหนาไม่น้อยกว่า 0.25 เมตร
- ความหนากำแพงกันดินที่พื้นและความหนาพื้นต้องหนาพอที่จะไม่ทำให้ระยะห่างของเหล็กเสริมหลักคามีค่าน้อยกว่า 0.10 เมตร

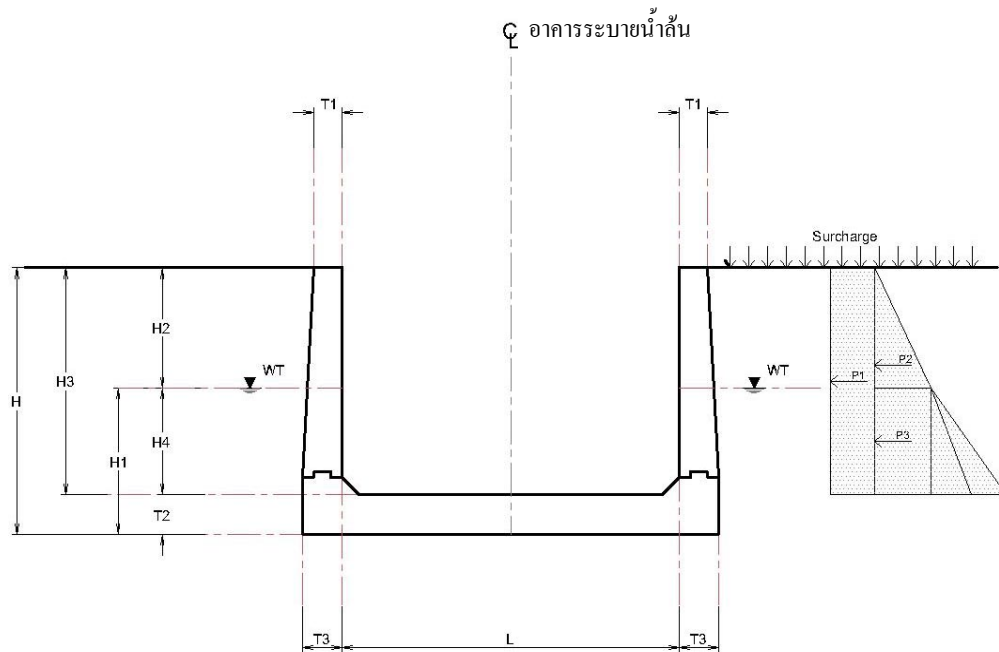
7.8.2 กำแพงกันดินชนิดกำแพงยื่น (Cantilever Retaining Wall)

กำแพงยื่น (Cantilever) จะต้องมีความหนาที่ฐานอย่างน้อยเท่ากับ 12.5 ซม. ต่อความสูง 100 ซม.จนถึงความสูง 240 ซม. ความหนาของกำแพงที่ฐานอย่างน้อยเท่ากับ 20 ซม. และ เพิ่มอีก 6.25 ซม. สำหรับความสูงของแต่ละเมตรของกำแพงสูงกว่า 240 ซม. และจะต้องการเสริมเหล็กสองชั้น อาคารมีแรงกระทำต่างๆ ได้แก่ แรงดันดินด้านข้างอาคาร แรงดันน้ำด้านข้างอาคาร แรงดันน้ำใต้พื้นอาคาร (Uplift Pressure) เป็นต้น ดังรูปที่ 7-2

7.8.3 กำแพงกันดินชนิดเอียง (Slope Wall)

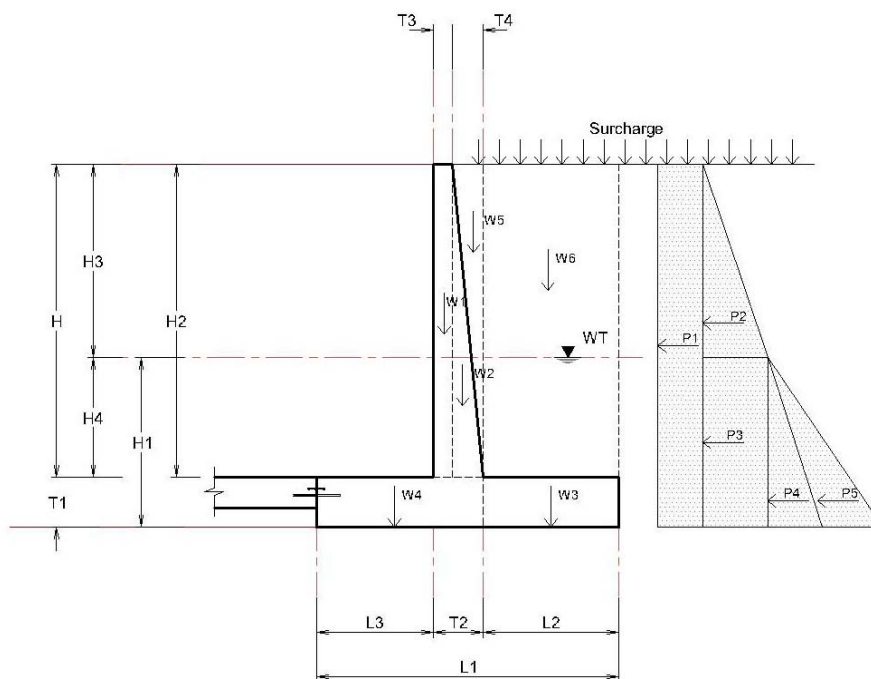
กำแพงกันดินชนิดเอียง (Slope Wall) การออกแบบจะต้องพิจารณาเสถียรภาพของความลาดเอียงของคันดิน (Slope stability) เสียก่อนถึงมาพิจารณาออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กตามแรงกระทำต่างๆ ที่กระทำต่ออาคาร ได้แก่ แรงดันดินด้านข้างอาคาร แรงดันน้ำด้านข้างอาคาร

แรงดันน้ำใต้พื้นอาคาร (Uplift Pressure) เป็นต้น การออกแบบจะมีวิธีการคำนวณเหมือนกำแพงยื่น (Cantilever)



รูปที่ 7-1 แสดงรูปแบบแรงที่กระทำต่อกำแพงกันดินแบบรูปตัวยู (U-Shape Retaining Wall)

ที่มา : เอกสารประกอบการบรรยาย เรื่อง “เกณฑ์กำหนดในการคำนวณออกแบบเขื่อนเก็บกักน้ำและอาคารประกอบ” gzt2544,



รูปที่ 7-2 แสดงรูปแบบแรงที่กระทำต่อกำแพงกันดินแบบกำแพงยื่น (Cantilever Retaining Wall)

ที่มา : เอกสารประกอบการบรรยาย เรื่อง “เกณฑ์กำหนดในการคำนวณออกแบบเขื่อนเก็บกักน้ำและอาคารประกอบ” gzt2544,

7.9 การออกแบบกำแพงฐานรากใต้ดิน (Cut Off Wall)

กำแพงฐานรากใต้ดิน เป็นส่วนที่ติดต่อกับพื้นของอาคารที่ฝังลึกลงในดินตามแนวดิ่ง โดยมีความยาวตลอดความกว้างของตัวอาคาร โดยที่นิยมกันนั้นจะออกแบบให้กำแพงฐานรากใต้ดิน ที่ปลายสุดอาคารทั้งด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำ และอาจจะมีที่พื้น หรือตอม่อของตัวอาคารเพิ่มขึ้นอีกก็ได้ ตามความจำเป็น ขนาดของกำแพงใต้ฐานรากที่กำหนดเป็นมาตรฐาน ดังนี้

- Cut off Wall ของฝายน้ำล้นและอาคารระบายน้ำล้นไม่น้อยกว่า 1.50 ม.
- Cut off Wall ของอาคารคลองส่งน้ำและระบบส่งน้ำ ไม่น้อยกว่า 1.00 ม.
- Cut off Wall ควรจะมีระยะห่างไม่น้อยกว่า 1.2 เท่าของความลึกของ Cut off
- Cut off Wall ควรมีความหนาไม่น้อยกว่า 0.30 ม.

7.10 การออกแบบรอยต่อของคอนกรีตในอาคาร

(1) รอยต่อคอนกรีตจะทำตามตำแหน่งที่แสดงไว้ในแบบก่อสร้างทุกแห่ง การเทคอนกรีตต้องทำให้เสร็จเป็นช่วงๆ โดยยึดถือเอารอยต่อนี้เป็นเกณฑ์ ดังนี้

- รอยต่อสำหรับงานก่อสร้าง (Construction Joint) ก่อนเทคอนกรีตติดต่อกับช่วงเก่า ต้องมีการขัดถู ล้างสิ่งสกปรกออกเสียก่อน แล้วจึงทำการเทคอนกรีตส่วนต่อไปนี้ได้
- รอยต่อเพื่อหด (Contraction Joint) ผิวหน้าของรอยต่อด้านหนึ่งที่เกิดจากด้านติดกับแบบหล่อ จะต้องรอให้คอนกรีตแข็งตัวเสียก่อนแล้วจึงถอดแบบ เพื่อเทคอนกรีตในอีกด้านหนึ่ง ผิวคอนกรีตที่แข็งตัว แล้วจะต้องทาด้วยน้ำยาเคลือบผิวชนิดใดชนิดหนึ่ง ก่อนที่จะเทคอนกรีตในช่วงต่อไป
- รอยต่อเพื่อขยาย (Expansion Joint) ช่วงว่างระหว่างการเทคอนกรีตครั้งแรก และครั้งที่สอง ให้มีระยะห่างกันอย่างน้อย 1 เซนติเมตร และให้ใส่ช่องว่างระหว่างผิวคอนกรีตด้วยวัสดุประเภท Elastic Filler และอุดรอยต่อด้วยวัสดุประเภท Joint Sealant

(2) แผ่นใยโสรอยต่อ (Elastic Filler) ประกอบด้วยแผ่นขานอ้อยหรือเส้นใยอื่นๆ ที่เหมาะสมอัดเป็นแผ่นและอาบด้วยยางมะตอยชนิดเหลว

(3) วัสดุอุดรอยต่อ (Joint Sealant) เป็นยางมะตอยผสมทรายอัตราส่วน 1:3 ใช้ยาแนวอุดรอยต่อเพื่อขยายบริเวณใกล้ถึงผิวคอนกรีต

(4) วัสดุกันน้ำ (Water Stop) มีลักษณะ ขนาด และคุณสมบัติ ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 7-6 คุณสมบัติวัสดุกันน้ำ (Water Stop)

รายการ	Rubber Water Stop	PVC. Water Stop
หน่วยแรงยึดอย่างน้อย	2,500 P.S.I	2,000 P.S.I
ความถ่วงจำเพาะไม่เกิน	1.20	1.50
ความแข็งน้อยที่สุด วัดโดย Shore Durometer Type A	60	80
ความดูดน้ำไม่เกิน	5%	0.30%
ยืดจนขาดอย่างน้อย	450%	400%
ทนแรงกดได้มากที่สุด	30%	20%

ที่มา : ข้อกำหนดการก่อสร้างโครงการพัฒนาแหล่งน้ำ, สำนักพัฒนาแหล่งน้ำ, กรมทรัพยากรน้ำ 2545,

(5) การพอกมูม การพอกมูมจะพบบ่อยๆ ในอาคารคอนกรีต เพื่อเพิ่มความแข็งแรงหรือเพื่อลดความเค้นสูงที่จุดต่างๆของอาคาร และเพื่อความสะดวกในการเทคอนกรีต

การพอกมูมโดยทั่วไปจะอยู่ที่มุมในท่อดัดแบบสี่เหลี่ยมและที่ฐานของกำแพงในแนวตั้งมีขนาดต่างๆ ตามตารางที่ 7-7

ตารางที่ 7-7 การพอกมูม

ขนาดของพอกมูม (ซม.)	ขนาดของท่อดัดสี่เหลี่ยม (ม.)	ความสูงของกำแพงหรือ กำแพงอื่น (ม.)
5.0 x 5.0	0 - 1.20	
7.5 x 7.5	1.20 – 2.00	0.00 – 2.50
10.0 x 10.0	2.00 -2.50	2.50 – 3.00
15.0 x 15.0	มากกว่า 2.50	มากกว่า 3.00

ที่มา : เอกสารประกอบการสอนวิชาคอนกรีตเสริมเหล็ก,แผนกวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2523

7.11 การออกแบบทางข้าม

7.11.1 การออกแบบบันได

ขั้นบันไดประกอบด้วยส่วนที่เรียกว่า ลูกตั้ง ลูกนอน และจมูกบันได โดยได้มีกำหนดระยะลูกตั้งและลูกนอน สำหรับอาคารชนิดต่างๆไว้ดังนี้

- ระยะลูกตั้ง ห้ามมากกว่า 0.20 ม. สำหรับที่พักอาศัย และ 0.19 ม. สำหรับ อาคาร
สาธารณะ

- ระยะลูกนอน ไม่น้อยกว่า 0.22 ม. สำหรับที่พักอาศัยและ 0.24 ม. สำหรับ อาคาร
สาธารณะบันไดที่พบเห็นโดยทั่วไปมี 2 ลักษณะคือ บันไดท้องเรียบและบันไดพับผ้า รูปที่ 7-3

การเสริมเหล็ก การเสริมเหล็กในบันไดตำแหน่งที่ต้องพิจารณาเป็นพิเศษ คือการงอ
เหล็กบันไดบริเวณคานที่รองรับ, บริเวณขานพัก ซึ่งการดัดงอเหล็กบริเวณต่างๆ แสดงใน รูปที่ 7-3

7.11.2 สะพานเดินคนข้าม

การออกแบบสะพานให้คนเดินข้าม มีดังนี้

- (1) ใช้มาตรฐาน ASSHTO : Standard Specification for Highway Bridges Thirteen
Edition 1983
- (2) Type : Slab Bridge สำหรับ Span ไม่เกิน 10.00 ม. Box
Girder สำหรับ Span ระหว่าง 10.00 ม. 20.00 ม.
- (3) Foundation : ถ้าดินฐานรากรับน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยได้ตั้งแต่
20 ตัน/ตร.ม. ขึ้นไปใช้ฐานรากชนิดแผ่ (Spread
Footing) ถ้าดินฐานรากรับน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยได้
น้อยกว่า 20 ตัน/ตร.ม. ให้ใช้ฐานรากชนิดเสาตอก
(Pile Footing)
- (4) Load : HS 20-44

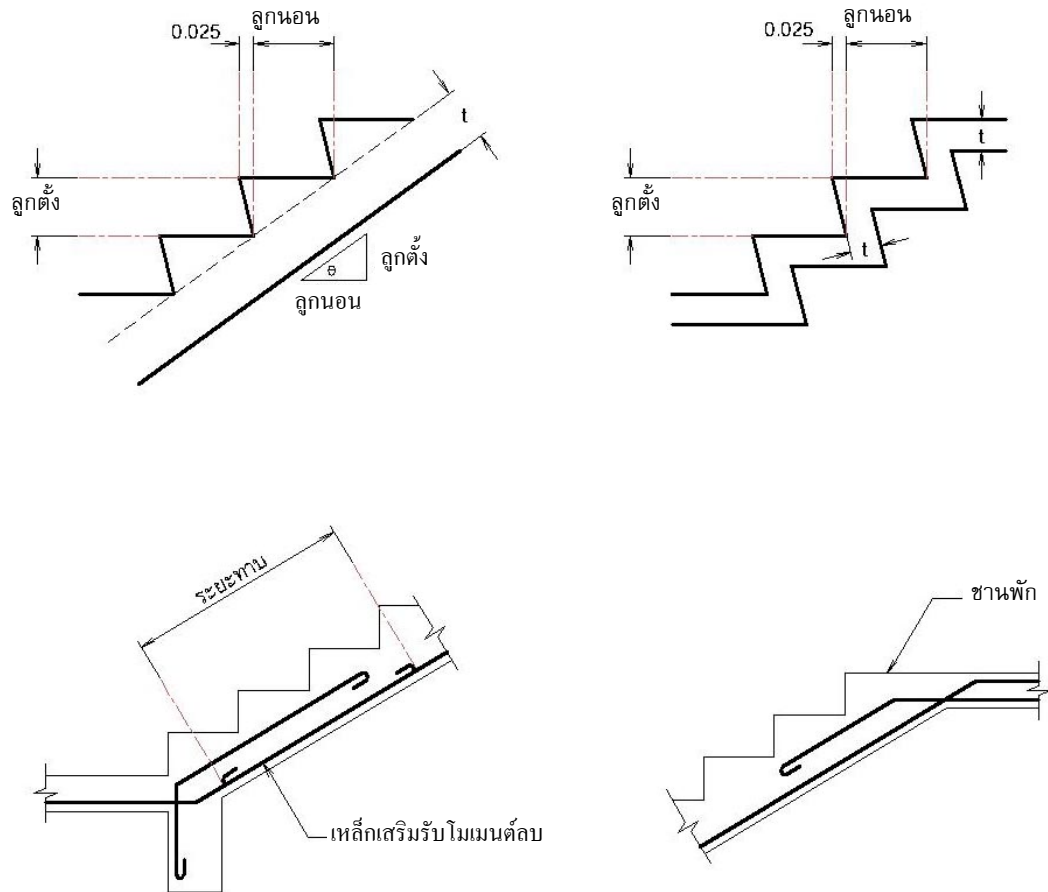
7.11.3 สะพานรถยนต์

ใช้หลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณออกแบบตามหลักการของสะพานทางหลวงทั่วไป กับ
น้ำหนักของตัวสะพาน (Dead Load) และน้ำหนักบรรทุกจรบนสะพาน (Live Load) จะมารวมลงบน
ตอม่อทั้งเส้น โดยต้องกำหนดให้เป็นคานสามัญ (Simple Beam) พาดระหว่างตอม่อรับน้ำหนักต่างๆ ดังนี้

- ใช้น้ำหนักของตัวสะพาน (Dead Load) ซึ่งใช้ขนาดความกว้างไม่น้อยกว่า 3.05 ม.
ความหนาคิดตามโมเมนต์และแรงเฉือนที่เกิดขึ้นจากน้ำหนักต่างๆ

7.11.4 สะพานบริการ

ใช้หลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณออกแบบเหมือนสะพานรถยนต์



รูปที่ 7-3 แสดงรูปแบบบันไดและการเสริมเหล็กบันได

ที่มา : รายงานเกณฑ์กำหนดในการออกแบบโครงการพัฒนาลุ่มน้ำคลองหลังสวน จังหวัดชุมพร, กรมทรัพยากรน้ำ 2546,

7.11.5 สะพานเครื่องกว้าน

ใช้หลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณออกแบบเหมือนสะพานรถยนต์โดยน้ำหนักบรรทุกจร (Live Load) อื่นๆ ประกอบด้วย

ก) น้ำหนักของเครื่องกว้านและล้อม้วนลวด (Drivers and Drums) จะกำหนดขึ้นจาก อัตรากำลังยก (Lifting Capacity) ของเครื่องกว้านนั้นๆ คือ

อัตราค่าล้งยก	น้ำหนักเครื่องกว้าน	น้ำหนักล้อม้วนลวด 1 ตัว
(ตัน)	(กก.)	(กก.)
4	945	460
6	1,145	680
12	1,600	760

ข) น้ำหนักบรรทุกของบานระบายขึ้นกับขนาดของบานระบาย

7.11.6 ท่อเหลี่ยม

เกณฑ์การออกแบบนั้นพอจะแยกออกเป็นข้อๆ ดังนี้

(1) ความลึกของดินทับหลังท่อจะต้องไม่น้อยกว่า 2 ฟุต

(2) รถที่วิ่งข้ามท่อใช้ ASSHTO Standard (คูรูปประกอบ) น้ำหนักของล้อรถ สำหรับถนน H20-40 และแรงกดเนื่องจากน้ำหนักของรถบรรทุกนั้นให้คิดจากน้ำหนักกดของล้อหลังทั้งคู่แผ่ออกเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีความยาวของด้าน 1.75 เท่าของความลึก) และมีเกณฑ์เพิ่มเติมดังนี้

- ความหนาของดินทับหลังท่อไม่เกิน 2 ฟุต ให้คือน้ำหนักกดของล้อรถโดยตรงสู่ผิวท่อ โดยไม่ต้องแผ่เป็นมุม 45 องศา

- ความหนาของดินทับหลังท่อเกิน 10 ฟุต ไม่ต้องคือน้ำหนักกดจากล้อรถเลย

- ความหนาของดินทับหลังท่อไม่เกิน 3 ฟุต ต้องเพิ่มแรงกระแทก (Impact) เนื่องจากรถที่ข้ามหลังท่ออีกครั้งนี้

ความหนาของดินทับหลังท่อ (ฟุต-นิ้ว)	แรงกระแทก (% ของน้ำหนักกด)
0-0 ถึง 1-0	30
1-1 ถึง 2-0	20
2-1 ถึง 2-11	10
ตั้งแต่ 3-0 ขึ้นไป	0

(3) คิดเฉพาะกรณีที่ในท่อไม่มีน้ำเลยแต่มีดินทับหลังท่อด้วยความหนาตามที่เป็นอย่างจริง

(4) ในกรณีที่ใช้ท่อแถวเดียวไม่พออาจจะใช้ท่อคู่ ท่อสามแถวหรือมากกว่านั้นได้ ขึ้นอยู่กับสภาพน้ำที่ไหลผ่านและมีเกณฑ์กว้างๆ ว่าพยายามให้น้ำกว้างของท่อใกล้เคียงกับขนาดความกว้างของคลองที่ต่อเชื่อมกับท่อนี้จะให้ผลดีทางด้านชลศาสตร์ด้วย ส่วนในด้านโครงสร้างนั้นให้ใช้หลักการวิเคราะห์โครงสร้างหาโมเมนต์และแรงเฉือนออกมา และหาหลักเสริมตามหลักเกณฑ์การออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็กต่อไป

7.11.7 ท่อกลม

เฉพาะตัวท่อนี้แยกคำนวณ 2 กรณี ดังนี้

(1) คิดเมื่อมีแรงดันของน้ำเต็มท่อ และพยายามที่จะระเบิดท่อออกด้วยแรงดึง (Tension) ภายในเนื้อท่อ ณ จุดของความลึกต่างๆกัน
กำหนดให้

W = น้ำหนักของน้ำ (กก./ม.³)

D = เส้นผ่าศูนย์กลางท่อ (เมตร)

h = ระดับต่างของผิวน้ำหน้าท่อกับจุดศูนย์กลางของท่อ ณ จุดนั้นๆ (เมตร)

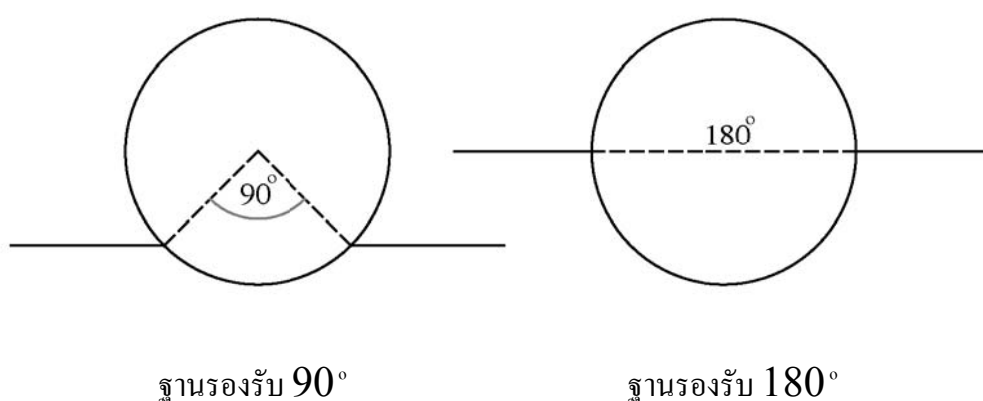
T = แรงดึงที่เกิดในเปลือกท่อ (กก.)

t = ความหนาของเปลือกท่อซึ่งมีเกณฑ์กำหนดให้ใช้ ไม่น้อยกว่า 8 ซม.

ทุกๆ เส้นผ่าศูนย์กลางท่อ 1 เมตร

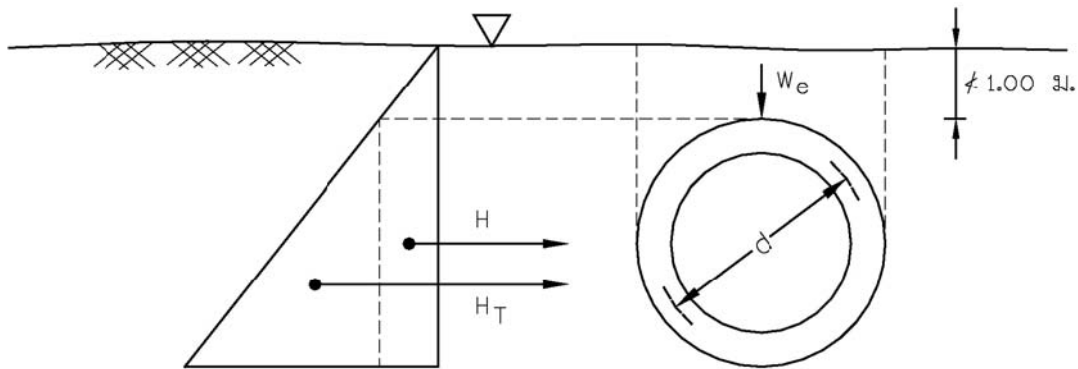
$$\text{จะได้ } T = 0.5.W.h.D$$

(2) คิดเมื่อมีทั้งแรงดันของน้ำในท่อและมีแรงดันดินและน้ำหนักดินนอกท่อ ซึ่งแยกการคิด 2 กรณี คือ เมื่อภายในท่อมีน้ำไหลเต็มขณะเดียวกัน ไม่มีน้ำหนักดินกดทับหลังท่อและเมื่อภายในไม่มีน้ำแต่มีดินทับบนหลังท่อ นอกจากนี้ค่าแรงและโมเมนต์เกิดขึ้นกับท่อยังแตกต่างกันไปตามลักษณะฐานรองรับท่ออีกด้วย ซึ่งลักษณะฐานรองรับท่อที่นิยมกันมี 2 แบบ คือ แบบฐานรองรับ 90° และ 180°
รูปที่ 7-4



รูปที่ 7-4 ลักษณะแบบฐานรองรับท่อ

ที่มา : รายงานเกณฑ์กำหนดในการออกแบบโครงการพัฒนาลุ่มน้ำคลองหลังสวน จังหวัดชุมพร, กรมทรัพยากรน้ำ 2546,



รูปที่ 7-5 ลักษณะแรงกระทำต่อท่อ

ที่มา : รายงานเกณฑ์กำหนดในการออกแบบโครงการพัฒนาลุ่มน้ำคลองหลังสวน จังหวัดชุมพร, กรมทรัพยากรน้ำ 2546, กำหนดให้

- W_s = น้ำหนักของท่อ (ปอนด์/ฟุต)
- W_w = น้ำหนักของน้ำในท่อ (ปอนด์/ฟุต)
- W_e = น้ำหนักของดินที่กดทับบนหลังท่อ (ปอนด์/ฟุต)
- d = เส้นผ่าศูนย์กลางกลางเฉลี่ยของท่อ (ฟุต)
- H = แรงดันดินด้านข้างท่อเฉพาะที่แบ่งเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า (ปอนด์/ฟุต)
- H_T = แรงดันดินด้านข้างท่อเฉพาะที่แบ่งเป็นรูปสามเหลี่ยม (ปอนด์/ฟุต)

มาตรฐานท่อคอนกรีต

การออกแบบท่อคอนกรีตหล่อสำเร็จ หรือท่อที่ใช้ในงานชลศาสตร์จะต้องเป็นไปตามข้อกำหนดของ มอก.128-2528 สำหรับการออกแบบท่อหล่อสำเร็จรับแรงดึงหรือท่อหล่อในที่จะต้องเป็นไปตามข้อกำหนด USBR ความสูงของดินถมหลังท่อจะต้องไม่น้อยกว่า 60 ซม.

7.12 อาคารบังคับน้ำ/อาคารจุดปล่อยน้ำ

การออกแบบด้านโครงสร้างอาคารบังคับน้ำหรืออาคารจุดปล่อยน้ำ มีขั้นตอนดังนี้

- (1) เขียนรูปตัดตามยาวของอาคารบังคับน้ำ/อาคารจุดปล่อยน้ำ จากผลการออกแบบทางชลศาสตร์
- (2) ตรวจสอบความยาวของทางเดินของน้ำใต้อาคาร (Percolation Path) จากค่า Weighted creep ration, C_w ถ้าความยาวไม่พออาจต้องตอกเข็มปิด เพิ่มความยาวพื้นทึบ (Impervious floor) ด้านหน้าประตูระบายปากคลอง หรือเพิ่มความยาวของกำแพงปีก (Wing wall) แล้วแต่กรณี ทั้งนี้

ให้ตรวจสอบในกรณีที่ระดับน้ำด้านหน้าประตูระบายปากคลองเป็นระดับน้ำนองสูงสุด (Maximum flood) และน้ำในคลองส่งน้ำแห้ง

(3) หาค่าแรงดันของน้ำใต้พื้นอาคาร (Uplift pressure) ไว้ทุกๆ จุดจากผลการตรวจสอบในข้อ 2)

(4) แยกส่วนของตอม่อ พื้นตอม่อ และส่วนประกอบ ออกมาคำนวณเพื่อตรวจสอบในด้านความคงทนต่อการพลิกหงายของตอม่อ (overturning) และการเลื่อนไถล (Sliding)

(5) ทำการออกแบบโครงสร้างเสริมเหล็กในส่วนประกอบอื่นๆ

7.13 อาคารปากทางน้ำเข้า, อาคารรับน้ำ (Intake Structure)

อาคารปากทางน้ำเข้าหรืออาคารรับน้ำเป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก มีช่องเปิดให้น้ำไหลเข้าหนึ่งช่อง(หรือหลายช่อง) มีกำแพงกันดินด้านข้างสองข้าง พื้นบนและพื้นล่างอาคารนี้จะต้องต้านทานแรงกระทำจากภายนอก ได้แก่ แรงดันน้ำที่มีความลึกครึ่งหนึ่งของความลึกน้ำสูงสุด น้ำหนักจากดินไม้ที่ลอยมาวางอยู่บนอาคาร และอื่นๆ โดยมีรายละเอียดการคำนวณ ดังนี้

แรงดันน้ำที่นำมาพิจารณา เป็นแรงดันที่เกิดจากความลึกของน้ำเพียงครึ่งหนึ่งจากความลึกน้ำสูงสุด โดยที่ความลึกน้ำสูงสุดเป็นความแตกต่างระหว่างระดับน้ำสูงสุดและระดับน้ำต่ำสุด การคำนวณแรงดันน้ำกระทำอาคารรับน้ำ และความแข็งแรงของโครงสร้าง มีรายละเอียด ดังนี้

ความสูงน้ำที่นำมาใช้คำนวณ ; $h = (\text{ระดับน้ำสูงสุด} - \text{ระดับน้ำต่ำสุด})/2$

แรงดันน้ำแผ่กระจายรูปสี่เหลี่ยม ; $P_1 = \gamma_w \cdot h_1$

γ_w = หน่วยน้ำหนักน้ำ = 1,000 กก./ม³.

h_1 = ความลึกน้ำเหนือผิวบน Trashrack (ม.)

แรงดันน้ำรูปสามเหลี่ยม ; $P_2 = \gamma_w \cdot h_2$

γ_w = หน่วยน้ำหนักน้ำ = 1,000 กก./ม³.

h_2 = ความสูงของ Trashrack (ม.)

น้ำหนักแผ่ตามแนวดิ่ง ; $W_1 = \gamma_w \cdot h_1 + \gamma_c \cdot t_1$

γ_c = หน่วยน้ำหนักของคอนกรีต = 2,400 กก./ม³.

t_1 = ความหนาพื้นบน (ม.)

น้ำหนักแผ่ตามแนวดิ่งที่ฐาน ; $W_2 = [W_1 L_2 + 2(\gamma_c \cdot t_2 \cdot L_2) + \gamma_c \cdot t_3 \cdot L_1] / (L_1 - 2 t_3) \gamma_w \cdot h$

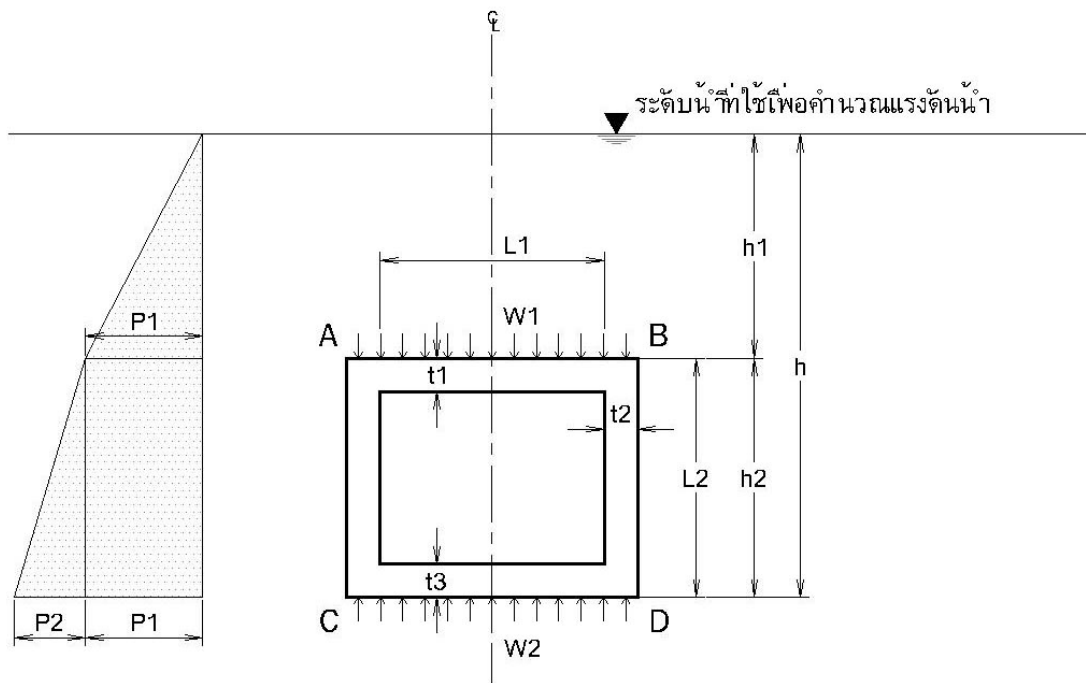
t_2 = ความหนากำแพง Intake (ม.)

t_3 = ความหนาพื้นล่าง Intake (ม.)

L_2 = ความสูง Intake (ม.)

L_1 = ความกว้าง Intake (ม.)

นำค่าแรงต่างๆ ที่กระทำกันกับอาคารไปคำนวณหาโมเมนต์และแรงเฉือนที่ส่วนต่างๆ ของอาคารต่อไป



รูปที่ 7-6 แสดงรูปแบบแรงที่กระทำต่ออาคารท่อเหลี่ยม

ที่มา : เอกสารประกอบการบรรยาย เรื่อง “เกณฑ์กำหนดในการคำนวณออกแบบเขื่อนเก็บกักน้ำและอาคารประกอบ” gtz,2544

7.14 อาคารท่อดำน้ำ (Concrete Conduit)

ท่อดำน้ำเป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก ภายในเป็นรูปวงกลมมี Steel liner หุ้มภายนอกมีฐานกว้างโดยมีลาดด้านข้างขึ้นไปจนบรรจบกันส่วนที่เป็นส่วนโค้งด้านบน ฐานท่อดำน้ำอยู่ชั้นหินหรือบนดินเดิมที่มีความสามารถรับน้ำหนักตัวท่อและดินถมได้ โดยไม่เกิดการทรุดตัว ขนาดท่อที่กำหนดจะต้องสามารถทนแรงดันดินจากดินถมสูงสุดถึงระดับสันเขื่อน และแรงต่างๆ ที่กระทำภายในท่อ เป็นต้น ดังแสดงไว้ในรูปที่ 7-7 โดยกำหนดระดับดินถมหลังท่อที่ระดับสันเขื่อน ระดับฐานท่อที่

ระดับ A ซึ่งเป็นระดับพื้นผิวล่างที่จุดศูนย์กลางเขื่อนดิน ระดับนี้จะกำหนดได้จากการกำหนดรูปร่างท่อทาง Hydraulic แล้ว การคำนวณแรงต่างๆ กระทำได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{แรงแผ่กระจายตามแนวดิ่ง} & ; V = \gamma_m \cdot h_3 \\ \text{แรงดันดินข้างรูปสี่เหลี่ยม} & ; h = \gamma_m \cdot h_3 K_a \\ \text{แรงดันดินข้างรูปสามเหลี่ยม} & ; q = \gamma_m \cdot h_2 K_a \\ \text{แรงดันน้ำภายในท่อ} & ; p = \gamma_m \cdot (h_2 + h_3/2) \\ \text{แรงเนื่องจากน้ำหนักตัวเอง} & ; C = 2.40 \text{ ตัน/ม.}^3 \end{aligned}$$

โดยที่ γ_m = หน่วยน้ำหนักของดินมีความชื้นเป็น ตัน/ม.³.

= γ_{moist} เมื่อไม่คิดแรงดันน้ำ

= γ_{sat} เมื่อคิดแรงดันน้ำ

h_3 = ความสูงดินถมหลังท่อ ม.

h_2 = ความสูงท่อ ม.

h_4 = ความสูงน้ำเหนือหลังท่อ ม.

K_a = Active Earth Pressure Coefficient

= $\tan^2(45-\theta/2)$

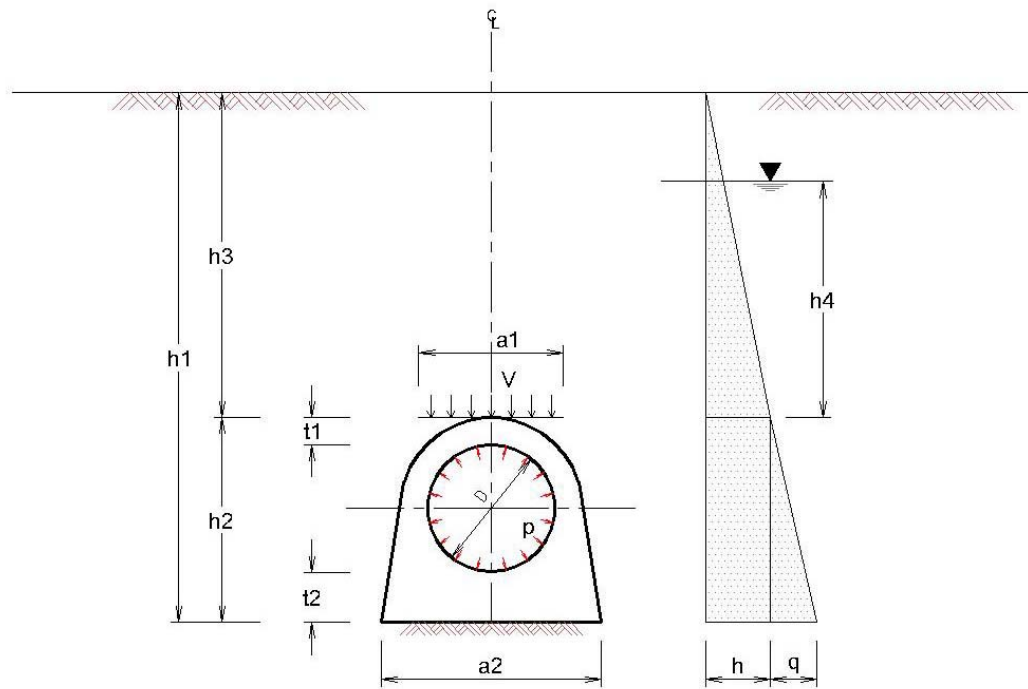
θ = Angle of Friction ของดินเป็น องศา

การคำนวณเพื่อหาความแข็งแรงของตัวท่อจะแบ่งเป็น 2 กรณี ดังนี้

กรณีที่ 1 ก่อสร้างเสร็จยังไม่มีน้ำในอ่าง ในกรณีนี้จะไม่คิดแรงน้ำ ดังนั้นจะมีแรงกระทำเนื่องจากดินถมเท่านั้น ได้แก่ V , q , h และ c โดย γ_m เป็นหน่วยน้ำหนักดินมีความชื้น $\gamma_{(\text{moist})}$

กรณีที่ 2 ก่อสร้างเสร็จแล้วระดับน้ำที่อยู่ระดับน้ำสูงสุด ในกรณีนี้จะคิดแรงน้ำ และแรงดันดินจากดินถมกระทำกับตัวท่อ แรงต่างๆ ได้แก่ V , q , h , p และ c โดย γ_m เป็นหน่วยน้ำหนักของดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ $\gamma_{(\text{sat})}$

การคำนวณหาค่าโมเมนต์ แรงเฉือน และ Thrust ที่กระทำตัวท่อ จะคำนวณโดยใช้ค่า Coefficient จากหนังสือ Beggs Defometer Stress Analysis of Single Conduits Engineering Monograph No.14 ของ USBR โดย Phillips และ Aller (1968) หลังจากการคำนวณหาค่าโมเมนต์ แรงเฉือน และ Thrust ที่จุดต่างๆ แล้ว จึงไปคำนวณหาปริมาณเหล็กเสริม ทั้งนี้ระยะห่างของเหล็กเสริมหลักจะต้องไม่น้อยกว่า 0.10 เมตร เพื่อให้การก่อสร้างเกิดความสะดวก



รูปที่ 7-7 แสดงรูปแบบแรงที่กระทำต่ออาคารท่อส่งน้ำ (Concrete Conduit)

ที่มา : เอกสารประกอบการบรรยาย เรื่อง “เกณฑ์กำหนดในการคำนวณออกแบบเขื่อนเก็บกักน้ำและอาคารประกอบ” gtz,2544

7.15 อาคารควบคุมปริมาณน้ำ (Control House)

อาคารตัวนี้เป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กทั้งหมด มีส่วนประกอบต่างๆ ได้แก่ หลังคา คาน เสา กำแพงกันดินและพื้นล่าง ตัวอาคารต้องต้านทานแรงดันดิน แรงดันน้ำ และแรงกระทำจาก Surcharged Load รวมทั้งจะต้องมีน้ำหนักมากพอที่จะทำให้อาคารไม่เกิดการลอยตัว เนื่องจากมีแรงดันน้ำใต้ดินสูง การกำหนดแรงกระทำกับอาคาร เพื่อคำนวณหาขนาดอาคารให้สามารถต้านทานแรงต่างๆ ได้มีรายละเอียดดังนี้

(1) หลังคา จะต้องต้านทานแรงจากน้ำหนักจร 100 กก./ม.^2 และน้ำหนักของตัวเองได้ การคำนวณหาโมเมนต์ จะคำนวณในลักษณะของแผ่นพื้นสองทางตามวิธีการที่กล่าวในหนังสือของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (วสท.) เรื่องการคำนวณอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก

(2) กำแพงกันดิน จะต้องต้านทานแรงกระทำจากดินถมข้างอาคาร แรงดันน้ำและแรงดันจาก Surcharged Load ขนาด 500 กก./ม.² ได้ แรงดันน้ำใต้ดินจะสมมุติให้ต่ำกว่าระดับผิวดินประมาณ 0.50 เมตร

การคำนวณกำแพงจะทำเป็นสองลักษณะคือ ถ้าอัตราส่วนระหว่างความยาวกำแพง และความสูงมากกว่าสอง การคำนวณกำแพงจะคำนวณแบบกำแพงกันดินชนิดยื่น(Cantilever Retaining Wall) โดยมีแรงต่างๆ กระทำกับกำแพง เช่นเดียวกับกำแพงกันดิน และที่บริเวณจุดต่อของกำแพงจะเสริมเหล็กพิเศษ เพื่อรับโมเมนต์ลบที่เกิดจากแรงดันดินและแรงอื่นๆ สำหรับลักษณะที่ 2 ถ้าอัตราส่วนดังกล่าวข้างต้นน้อยกว่าหรือเท่ากับสอง การคำนวณกำแพงจะคำนวณเป็นแผ่นพื้น โดยมีมุมของกำแพง ทั้งสี่มุมเป็นจุดรองรับ และมีแรงดันดินเป็นแรงกระทำกับกำแพงกันดิน

(3) พื้นล่าง จะต้องต้านทานแรงกระทำจากน้ำหนักอาคารทั้งหมด โดยคิดให้พื้นล่างเป็นแผ่นพื้นภายในและคำนวณในลักษณะของแผ่นพื้นสองทาง ตามวิธีการที่กล่าวไว้ในเอกสารของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (วสท.)

การคำนวณ โมเมนต์กระทำกับกำแพงมีดังนี้

$$M+ = WL_1^2/16$$

$$M- = WL_1^2/9$$

$$V = WL_1^2/2$$

โดยที่ $M+$ = โมเมนต์ที่กึ่งกลางความกว้างกำแพง เป็น กก-ม.

$M-$ = โมเมนต์ที่มุมกำแพง เป็น กก-ม.

W = แรงกระทำกับด้านข้างกำแพง เป็น กก./ม.

$$= (f_1+f_2)/2$$

f_1 = หน่วยแรงกระทำที่ฐานกำแพง กก./ม.².

f_2 = หน่วยแรงกระทำที่จุดสูงกว่าฐานกำแพงหนึ่งเมตร กก./ม.².

L_1 = ความกว้างกำแพงระหว่างจุดศูนย์กลางของที่รองรับ เป็นเมตร

V = แรงเฉือนตามขอบที่รองรับ เป็น กก.

เมื่อได้ค่าโมเมนต์แรงเฉือนแล้ว จึงนำไปคำนวณหาความหนากำแพง และปริมาณเหล็กเสริมต่อไป

7.16 การคำนวณอาคาร *Stilling Type Basin*

การเสริมเหล็กและปริมาณเหล็กเสริมของอาคารชนิดนี้ จะพิจารณาเลือกจากอาคารที่ปรากฏในหนังสือ Design of Small Canal Structures, 1978 ของ USBR โดยให้สอดคล้องกับขนาดของอาคารที่กำหนดไว้

7.17 การคำนวณตะแกรงกันสวะ (*Trashrack*)

ตะแกรงกันสวะทำด้วยเหล็กรูปพรรณประกอบกันด้วยการเชื่อม มีส่วนประกอบต่างๆ คือ เหล็กแท่งตามแนวตั้ง ห่างกันประมาณ 0.10 เมตร เหล็กแผ่นตามแนวนอนเพื่อรองรับเหล็กตั้ง เหล็กฉากเป็นกรอบตะแกรง และหัวสำหรับใช้ในการเคลื่อนย้ายหรือยกตะแกรงกันสวะ การคำนวณหาขนาดเหล็กประกอบต่างๆ จะต้องให้สามารถต้านทานแรงดันน้ำที่ความลึกน้ำครึ่งหนึ่งของความลึกน้ำสูงสุด ดังนี้

$$P = \gamma_m \cdot h$$

โดย P = แรงดันน้ำที่กระทำกับตะแกรงดักลย เป็น กก/ชม².

γ_m = หน่วยน้ำหนักของน้ำ เป็น กก/ชม³.

= 0.001 กก/ชม³.

h = ความลึกน้ำที่กระทำกับ Trashrack เป็น ชม.

= 0.5 (ระดับน้ำสูงสุด-ระดับน้ำต่ำสุด) x 100

7.18 การคำนวณแผงเหล็กกันน้ำ (*Bulkhead*)

Bulkhead ทำด้วยเหล็กรูปพรรณและแผ่นเหล็กประกอบกันด้วยการเชื่อม ซึ่งมีส่วนประกอบต่างๆ คือ เหล็กแผ่นประกอบอยู่ด้านน้ำ เพื่อปิดไม่ให้น้ำไหลเข้าท่อส่งน้ำ เหล็กแผ่นตามแนวตั้ง และตามแนวนอน และเหล็กฉากประกอบกันเป็นกรอบ และยึดเหนี่ยวให้เกิดความแข็งแรง รวมทั้งหัวสำหรับใช้ในการเคลื่อนย้าย หรือ ยก Bulkhead การคำนวณหาขนาดเหล็กประกอบต่างๆ จะต้องให้สามารถต้านทานแรงดันน้ำที่ความลึกน้ำครึ่งหนึ่งของความลึกสูงสุด เช่นเดียวกับ Trashrack รายละเอียดการคำนวณ มีวิธีการเช่นเดียวกับการคำนวณส่วนต่างๆ ของตะแกรงกันสวะ (Trashrack)

7.19 การออกแบบบานระบาย

7.19.1 บานประตูเหล็กโค้ง (Radial gate)

7.19.1.1 บานประตูเหล็กโค้ง (Radial gate)

บานประตูมีลักษณะเป็นบานเหล็กยึดด้วยโครง (Frame) ตัวบานประตูเป็นผิวโค้งหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าโดยออกแบบให้ความดันที่ระดับบานประตูถ่ายแรงให้กับโครงรับบานประตู ประตูสามารถเก็บกักน้ำไม่ให้รั่วซึมภายใต้ความดันของน้ำที่เก็บกักไว้ การพิจารณาความแข็งแรงของบานประตู จะพิจารณากรณีที่ระดับน้ำสูงถึงยอดประตู การยกบานจะใช้ระบบกว้านขดลวดเพื่อทำหน้าที่ยกบานประตูเพื่อระบายน้ำ ให้สามารถระบายน้ำหลากได้ โดยกำหนดตำแหน่งของจุดหมุนให้สูงกว่าน้ำหลากในรอบ 20-25 ปี ขึ้นอยู่กับสภาพของลำน้ำ และระดับล่างสุดของประตูกรณีเขื่อนประตูจะต้องสูงกว่าในรอบ 100 ปี และท่อนกั้น (Stoplog) สำหรับใส่ในร่อง groove เพื่อปิดกั้นน้ำชั่วคราว เมื่อต้องการตรวจซ่อมบานประตูน้ำ

วัสดุที่นำมาใช้ในการผลิตบาน จะเป็นไปตามมาตรฐานซึ่งเป็นที่ยอมรับ เช่น JIS, ASTM หรือเทียบเท่า

1) Gate Leaf & Vertical Truss	JIS G 3101, SS41
2) Transverse Beam	JIS G 3101, SS41
3) Gate Arm	JIS G 3101, SS41
4) Guide Frame	JIS G 3101, SS41, JIS G 4303, SUS 304
5) Rubber Seal & Clamp	Synthetic Rubber, JIS G 4303, SUS 304
6) Stoplog	JIS G 3101, SS46

7.19.1.2 อุปกรณ์เครื่องกลของระบบควบคุม

ระบบการยกเพื่อเปิดปิดประตูบานโค้ง จะควบคุมผ่านชุดกระบอกลไฮดรอลิกที่เหมาะสมเพื่อการใช้งานในการควบคุมระดับ และการระบายที่ต้องการประสิทธิภาพสูง โดยต้องคำนึงถึงอุปกรณ์ประกอบและรายละเอียดด้านอื่นๆ ดังนี้

- กระบอกลไฮดรอลิก
- ระบบควบคุมการเปิด-ปิด
- การคำนวณแรงสำหรับกระบอกลไฮดรอลิก
- อาคารควบคุม(Control house)

- ระบบไฟฟ้าควบคุม(Electrical Control system)
- เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรองฉุกเฉิน

7.19.2 บานประตูเหล็กทรง (Vertical gate)

7.19.2.1 เงื่อนไขการออกแบบ

โครงสร้างของบานระบายน้ำจะต้องถูกออกแบบให้ป้องกันการรั่วซึมของน้ำ และต้องมีความมั่นคงแข็งแรงเพียงพอที่จะรับแรงภายนอกที่กระทำกับตัวบาน เช่น แรงดันน้ำ แรงดันคลื่น และการพิจารณาตะกอนที่เจือปนมากับน้ำ นอกจากนี้ต้องออกแบบให้สามารถปิด เปิด ได้สะดวกในกรณีต่างๆ ด้วย

7.19.2.2 ชนิดและรูปร่างของประตูเหล็กบานตรง

ชนิดของบานระบายตามหัวข้อนี้จะเป็นบานระบายตรง ชนิดบานเดี่ยว (I-Leaf Gate หรือ Fixed Wheel Gate) ซึ่งแต่ละบานจะประกอบไปด้วยแผ่นเหล็กหน้าบาน (Skin Plate) คานหลักตามแนวนอน (Main Horizontal Beam) คานตั้ง (Vertical Side Beam) ยางกันน้ำรั่ว (Rubber Seal) ลูกล้อและเพลาล้อ (Mine Wheel and Shaft) หูหิ้วบานและอุปกรณ์ต่างๆ ที่จำเป็น โดยที่แผ่นเหล็กหน้าบาน (Skin Plate) จะอยู่ทางด้านเหนือน้ำ โดย (Skin Plate) จะอยู่ทางด้านเหนือน้ำ โดย (Skin Plate) จะต้องหนาไม่น้อยกว่า 9 มม. ไม่รวมค่าเผื่อในการผุกร่อน (Corrosion) 2 มม.

7.19.2.3 วัสดุที่ใช้ทำบานระบาย

(1) มาตรฐานของวัสดุ (Standard) วัสดุอุปกรณ์ต่าง ๆ และการสร้าง (Fabrication) จะต้องปฏิบัติตามข้อกำหนดมาตรฐานของสมาคมวิศวกรรมฉบับพิมพ์ครั้งล่าสุด ดังรายชื่อต่อไปนี้

ANSI	American National Standard Institute
AISI	American Iron and Steel Institute
IEEE	Institute of Electrical and Electronic Engineer, USA.
ASME	American Society of Mechanical Engineer
ASTM	American Society for Testing and Materials
NEMA	National Electrical and Manufactures Association, USA.
ICEA	Insulatid Cable Engineers Association, USA.
AWS	American Welding Society
IEC	International Electrical Code, USA.
SSPE	Steel Structures Painting Council, USA.

NEC	National Electrical Code, USA.
AISC	American Institute of Steel Construction
ISO	International System Organization
AIEE	American Institute of Electrical and Electronic Engineers
JIS	Japanese Industrial Standard
SAE	Society of Automotive Engineer, USA.
DIN	Dentate Industric Norm, Germany
มอก.	มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, ประเทศไทย

(2) คุณภาพของวัสดุ วัสดุที่ใช้ทำบานระบายจะต้องเป็นของใหม่ โดยพิจารณาถึงความแข็งแรง ความเหนียว (Ductility) และความเหมาะสมกับงานวิศวกรรม

7.19.2.4 การพิจารณาแรงที่กระทำต่อบานระบาย

แรงที่กระทำกับตัวบานระบายที่ควรคำนึงถึง ในการคำนวณออกแบบบานได้แก่ น้ำหนักของตัวบาน (Weight of Gate) แรงดันน้ำ (Hydrostatic Pressure) แรงจากคลื่น (Wave Force) แรงลม (Wind Load) ค่าการลอยตัว (Bouyance Force) และแรงยกบานเมื่อเปิด ปิดบานระบาย (Operating Forec)

7.19.2.5 การป้องกันน้ำรั่วผ่านบานระบาย

ในตัวบานระบายในขณะปิดบาน สิ่งที่ต้องป้องกันคือ การรั่วซึมของบานระบายทั้ง 4 ด้าน ระบบป้องกันการรั่วซึมสำหรับบานระบายชนิด Fixed Wheel Gate จะต้องป้องกันโดยใช้อย่างกันรั้วทั้ง 4 ด้าน (ด้านบน ด้านข้าง 2 ด้าน และด้านล่าง) อยางกันน้ำรั่วของบานระบายจะต้องเป็นชนิด Synthetic Rubber Seal และต้องมีสัมประสิทธิ์ความเสียดทานน้อยกว่า 0.7

เมื่อมีการต่ออย่างกันรั้ว จุดที่เป็นรอยต่อจะต้องสามารถรับแรงดึง (Tensile Strength) ได้ไม่น้อยกว่า 80% ของส่วนที่ไม่ได้ต่อ

การป้องกันน้ำรั่วที่บานจะติดตั้ง Gate Seat ซึ่งทำด้วย Bronze โดยรอบทั้ง 4 ด้าน ซึ่งโดยที่ Gate Seat เมื่อเวลาปิดบานจะแนบติดกันบริเวณขอบกรอบบานที่ตัวประตูสัมผัส (Frame Seat) สำหรับการยึด Gate Seat ให้ใช้สลักเกลียวที่ทำด้วยเหล็กกล้าปลอดสนิมเช่นกับผิวของ Gate Seat จะต้องผ่านกรรมวิธีเครื่องมือกล ผิวจะต้องเรียบ ไม่บิดเบี้ยวเป็นคลื่น ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานน้อยกว่า 0.35

7.19.2.6 ข้อกำหนดการผุกร่อนและวิธีป้องกัน

ในตัวบานระบายชนิดเหล็กเหนียวนี้ เมื่อจมอยู่ในน้ำและสัมผัสกับความชื้น ค่าการผุกร่อนของชิ้นส่วนบานระบาย (Corrosion Allowance) จะมีค่าไม่เกิน 2 มิลลิเมตร

7.19.2.7 ข้อกำหนดในการคำนวณเพื่อออกแบบบานระบาย

- (1) หาค่าระดับน้ำสูงสุด และต่ำสุดของด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำ เพื่อที่จะหาค่าแรงดันน้ำที่มากที่สุด (Maximum Hydrostatic Load)
- (2) พิจารณาแรงดันอื่น ๆ นอกเหนือจากแรงดันน้ำ เช่นแรงลม (Wind Load) แรงจากคลื่น (Wave Force)
- (3) คำนวณหาขนาดวัสดุที่ทำบานระบาย โดยกระจายแรงดันที่เกิดขึ้นเข้าหาตัวคานหลัก (Main Horizontal Beam) ด้วยวิธีการสมดุลของแรง ซึ่งคานหลักทุกตัวจะวางตามแนวนอน
- (4) คำนวณหาขนาดของตัวคานหลัก โดยการหาค่า Maximum Bending Moment Maximum Shear Force กำหนดขนาดตัวคานหลัก หาค่าความเค้นดัด (Bending Stress) ความเค้นเฉือน (Shear Stress) จะยอมให้มีการโก่งตัวไม่เกิน 1/800 ของความกว้างบาน ซึ่งในที่นี้ความกว้างของบานหมายถึง ความกว้างที่รวมทั้งตัวศูนย์กลางล้อบานทั้งสองข้าง ในกรณีที่เป็นบาน Stoplog และบาน Sluice Gate จะยอมให้มีการโก่งตัวไม่เกิน 1/600 ของความกว้างของตัวบาน
- (5) จัดวางคานตามแนวตั้ง (Vertical Beam) แบ่งระยะห่างให้เท่ากันตามแนวนอน คำนวณหาขนาดของ Moment กำหนดขนาดของคานตั้งและหาค่าความเค้นดัด (Bending Stress)
- (6) พิจารณาขนาดคานตั้งด้านริมสุดของตัวบาน โดยให้แรงที่ค่าจากคานหลักตามแนวนอน พิจารณากำหนดตัวล้อที่รองรับ (Fixed Wheel Support) กำหนดขนาดซึ่งลักษณะจะเป็นคานต่อเนื่อง หาขนาดของ Moment ที่มากที่สุด และขนาดของแรงเฉือนที่มากที่สุด หาค่าความเค้นดัด (Bending Stress) และหาความเค้นเฉือน (Shear Stress)
- (7) คำนวณหาขนาดความหนาของแผ่นเหล็กหน้าบาน (Skin Plate) โดยการตรวจสอบหาค่า Bending Stress ตามสูตร DIN 19704 (Design Standard for Hydraulic Structures) ดังนี้

$$\sigma = \frac{1}{100} k a^2 \frac{P}{t^2}$$

- เมื่อ σ = Stress (kg/cm²)
- k = Factors in Table
- a = Short Side of a rectangle (cm)
- b = long side of a rectangle (cm)
- P = Hydraulic pressure (kg/cm²)
- t = Plate thickness (cm)

(8) คำนวณหาขนาดล้อยอบาน สลักล้อยและแอก Self Lubricating โดยนำแรง
 เงื่อนจากข้อ 6 มารวมกันในแต่ละช่วง แรงที่มากที่สุดจะนำมาหาขนาดของล้อยอบานและอุปกรณ์ตาม
 สูตร Hertz Formula for Line Contact

$$P = 0.418 \sqrt{\frac{pe}{B_0 R}}$$

- P = Hertz contact stress (kg/cm²)
- p = Working load of roller (kg)
- e = Modulus of Elasticity of roller = 2.1×10^6 (kg/cm²)
- B₀ = Clear seating width of roller (m)
- R = Radius of Roller (cm)

$$C = 1.52 \sqrt{\frac{Pe}{B_0 R}}$$

- C = Half the contact width (cm)
- Z = Depth where maximum shearing stress occur (cm)
- = 0.78 C

ซึ่งค่า Hertz's Contact Stress จะต้องไม่เกินค่า Allowable Contact Stress

$$P_a = \frac{100}{Z_v} H_B$$

- P_a = Allowable contact stress (kg/cm²)
- v = Safety factor = 1.3 (for line contact)
- H_B = Roller's Brinell hardness (kg/cm²)

แล้วคำนวณหาค่าแรงกดที่กระทำกับปลอก Self Lubricating โดยที่

$$\sigma_a = \frac{P}{dt}$$

เมื่อ σ_a = Allowable contact stress (kg/cm²)

P = Working load of roller (kg)

d = Dia. of wheel pin (cm)

t = Clear width of Bearing (cm)

โดยที่ค่า $\sigma_a \leq 200$ kg/cm²

(9) คำนวณหาขนาดของช่องบาน แผ่นรองรับล้อบาน (Wheel track) และ
กานรองรับล้อบาน (wheel rail) ตามสูตร Andre's Formula

$$P_c = 0.2813 P \left(3 \sqrt{\frac{E_c}{E_x I_x b^2}} \right)$$

P_c = Concrete Stress under the rail (kg/cm²)

P = Working load per wheel (kg)

E_x = Concrete Modulus of Elasticity = 1.4×10^5 (kg/cm²)

E_s = Steel Modulus of elasticity = 2.1×10^6 (kg/cm²)

I_x = Moment of Inertia of wheel rail (cm⁴)

b = Width of the wheel track (cm)

โดยค่าที่ $P_c \leq 40$ kg/cm²

$$P_s = \frac{0.4999}{Z_x} p \left(3 \sqrt{\frac{E_s I_x}{E_c b}} \right)$$

โดยที่ P_s = Steel Stress in Rail foot (kg/cm²)

Z_x = Section Modulus of Wheel Load (cm³)

โดยที่ค่า $P_s \leq 1200$ kg/cm²

$$\sigma_b = \frac{p}{b_p t_w}$$

ห1 Local stress in web plate

เมื่อ σ_b = Local stress in the web plate (kg/cm²)

p = working load of the wheel (kg)

b_p = width subject to pressure

$$= 2C + 2(t_r + t_f) \text{ (cm)}$$

t_w = Thickness of the web plate (cm)

= Contact width of Hertz (cm)

= Thickness of the wheel track (cm)

t_r = Thickness of the upper flange of the wheel rail (cm)

โดยที่ค่า Local Stress in web Plate $\sigma_b \leq 2200 \text{ kg/cm}^2$

(10) ทำการคำนวณหาน้ำหนักทั้งหมดของตัวระบายที่ได้ออกแบบไปแล้ว

โดยที่น้ำหนักต่อปริมาตรของเหล็กเหนียว, เหล็กหล่อ, เหล็ก และเหล็กกล้าไร้สนิม = 7850 kg/cm³

น้ำหนักยางกันน้ำรั้วต่อความยาว 1.00 ม. = 1.5 กก.

เมื่อได้น้ำหนักทั้งหมดของตัวบานระบายแล้วจะต้องเผื่อน้ำหนักอุปกรณ์อื่น ๆ เช่น สลักเกลียวประมาณ 5% ของน้ำหนักบาน

(11) คำนวณหาแรงฝืดเนื่องจากการเลื่อนของล้อบานด้านข้างตามสูตร

$$F_w = \frac{(u_1 + u_2 d/2)P}{D}$$

เมื่อ F_w = Friction force of the wheel rotation (kg)

P = Total hydraulic pressure during gate operation (kg)

u_1 = Coefficient of the wheel 0.1 (cm)

u_2 = Coefficient of Sliding friction of the pin 0.2

d = Diameter of the wheel pin (cm)

D = Wheel Diameter (cm)

ในกรณีที่เป็นการงานฝาท่อชนิด Sluice Gate มีลักษณะตัวกันน้ำรั้วเป็นทองบรอนซ์
ใช้ ค่าแรงฝืด ดังนี้

$$F_p = 0.35 P \text{ (kg)}$$

F_p = Friction force of the Bronze Seat (kg)

(12) คำนวณหาแรงฝืดเนื่องจากยางกันน้ำรั่ว

$$F_r = u_r P b \sum L$$

เมื่อ F_r = Friction force of the rubber Seal (Kg)

u_r = Coefficient of Sliding friction between metal and rubber = 0.7

P = Main hydraulic pressure working on the rubber (kg/cm²)

$\sum L$ = Total Sliding length of the rubber (cm)

b = Clear width of rubber Subject to pressure (cm)

(13) คำนวณหาน้ำหนักที่ยกเปิดบาน (Operating Load) เพื่อหาขนาด Capacity เครื่องกว้านมีดังนี้

$$F_Q = \text{น้ำหนักบาน} + F_w + F_r \text{ (kg)}$$

$$F_Q = \text{Operating Load (kg)}$$

จากนั้นกำหนดขนาดเครื่องกว้านชนิดลูกม้วนลวด

7.19.3 เครื่องกว้านบานระบาย (Gate Hoist)

เครื่องกว้านบานระบายจะต้องออกแบบให้สามารถทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของบานระบายน้ำให้สามารถเปิด ปิดและลงระดับการเปิดบานให้ได้ตามต้องการ เครื่องกว้านบานระบายนี้ ต้องมีความมั่นคงแข็งแรงทนทานต่อสภาพแวดล้อมและการใช้งานมีประสิทธิภาพดีใช้งานง่าย

- ระบบส่งกำลังและอุปกรณ์เครื่องกว้าน (Hoisting System and Power Supply)

เครื่องกว้านบานระบายนี้ต้องสามารถเปิด ปิด บานระบายได้ด้วยกำลังขับเคลื่อนจากมอเตอร์ไฟฟ้า และสามารถให้แรงคนเปิด ปิดได้ด้วย เครื่องกว้านนี้จะมีส่วนประกอบเป็นชุดเฟืองทดที่รับกำลังขับเคลื่อนจาก เกียร์มอเตอร์ถ่ายทอดกำลังออกทางเพลาขับ 2 ด้าน และกำลังเพลาขับนี้จะส่งไปขับเฟืองลูกม้วนลวด (Drum Gear) ให้หมุนดึงเชือกลวด (Wire Rope) ซึ่งที่ปลายยึดติดอยู่กับหุบบานระบาย เป็นการเปิดปิดบานระบาย ในการลงระดับบานระบายไว้ที่ตำแหน่งต้องการ โดยชุดเบรกจะติดตั้งไว้กับชุดเฟืองทดหรือมอเตอร์ก็ได้

ในกรณีที่ให้แรงคนหมุนเครื่องกว้านเพื่อเปิดปิดบานระบายแทนกำลังขับเคลื่อนจากมอเตอร์ไฟฟ้า เครื่องกว้านนี้จะต้องมีกลไกสำหรับตัดต่อกำลังระหว่างมอเตอร์ไฟฟ้ากับชุดเกียร์ทดหมุนและอุปกรณ์มือหมุนไว้ด้วย

- ความเร็วในการเปิด ปิดบานระบาย

ความเร็วในการเปิด ปิดบานระบาย เป็นสิ่งสำคัญในการออกแบบคำนวณติดตั้งเครื่องกว้านบานระบายความเร็วของเครื่องกว้านที่ใช้ในการยกเปิดบานระบายกำหนดให้ไม่เกิน 0.30 เมตร ต่อนาที และความเร็วของเครื่องกว้านที่ใช้ในการลดระดับปิดบานระบายกำหนดให้ไม่เกิน 0.30 เมตร ต่อนาทีเช่นกัน

- ระยะยกบานระบาย

เครื่องกว้านบานระบาย จะต้องมีความสามารถยกบานระบายจากตำแหน่งที่บานระบายปิดสนิท จนบานระบายสามารถเปิดเต็มที่ได้แล้ว ยังต้องเผื่อระยะยกในกรณีที่ยกบานแขวน (Dogging) เมื่อไม่ใช้งานหรือเพื่อการซ่อมบำรุงบานระบายได้ด้วย

7.19.4 ท่อนกั้นน้ำ (Stoplog)

ด้านหน้าและด้านหลังของอาคารรับน้ำ จะต้องมีการมี groove และ Stoplog จำนวน 1 ชุด สามารถสับเปลี่ยนได้ทุกช่อง เพื่อใช้ในการตรวจสอบ และบำรุงรักษา บานประตูเหล็กโค้งโดยหนึ่งชุดมี หลายชิ้นย่อยๆ แยกจากกันเพื่อความสะดวกในการขนย้ายและติดตั้งใหม่ด้วยระบบ Lifting Frame วัสดุที่ใช้ทำ Stoplog เป็น Fabricated Steel มีส่วนประกอบดังนี้ คือ Skin plate, Seals และ Supporting Framework และอื่น ๆ ส่วน Lifting Frame ทำจาก Fabricated Steel ซึ่งได้รับการออกแบบให้สามารถรองรับ Max Load ที่เกิดจาก Stoplog ได้

การออกแบบ Stoplog จะต้องพิจารณา Load และ Condition ต่าง ๆ ดังนี้

- Hydrostatic Pressure ที่ระดับเก็บกัก
- Dead Load ของ Stoplogs
- Lifting & friction Forces
- แต่ละชิ้นจะต้องหนักไม่เกิน 7 ตัน เพื่อการใส่และถอดบานกั้นน้ำจะใช้รถ crane

ขนาด 45 ตัน จอดอยู่บนสะพานยกแต่ละบาน

- ทุกชิ้นจะต้องมีขนาดและความแข็งแรงเท่ากันทุกชิ้น

เอกสารอ้างอิง

1. คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2523 , เอกสารประกอบการสอนวิชา
คอนกรีตเสริมเหล็ก,แผนกวิชาวิศวกรรมโยธา
2. gtz,2544 , เอกสารประกอบการบรรยาย เรื่อง “เกณฑ์กำหนดในการคำนวณออกแบบ
เขื่อนเก็บกักน้ำและอาคารประกอบ”
3. สำนักพัฒนาแหล่งน้ำ กรมทรัพยากรน้ำ, 2545, ข้อกำหนดการก่อสร้างโครงการพัฒนา
แหล่งน้ำ
4. กรมทรัพยากรน้ำ, เกณฑ์กำหนดสำหรับการออกแบบก่อสร้าง และการบำรุงรักษาอาคาร
ประกอบในโครงสร้างพื้นฐาน
5. กองสำรวจและออกแบบ กรมการเร่งรัดพัฒนาชนบท, 2529, การออกแบบแหล่งน้ำ
สำหรับงานเร่งรัดพัฒนาชนบท
6. รศ.กิริติ ลีวัจนกุล “วิศวกรรมชลศาสตร์” ภาควิชาวิศวกรรมโยธา วิทยาลัย
วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต
7. สำนักงานเร่งรัดพัฒนาชนบท, คู่มือ การสำรวจและประมาณราคางานทาง
8. สำนักงานเร่งรัดพัฒนาชนบท, การออกแบบแหล่งน้ำสำหรับงานเร่งรัดพัฒนาชนบท
9. กองสำรวจและออกแบบ สำนักงานเร่งรัดพัฒนาชนบท, งานออกแบบและตรวจแบบ
แหล่งน้ำ
10. ปราโมทย์ ไม้กลัด, เมษายน 2524 “คู่มืองานเขื่อนดินขนาดเล็กและฝาย” สมาคมศิษย์
เก่าวิศวกรรมชลประทาน พิมพ์ครั้งที่ 1
11. SCS, “National Engineering Handbook Section 4 ” , Hydrology.
12. USBR, “Design of Small Dams” 2nd Edition, Washington, 1974
13. USBR, “Design of Small Canal Structures” Denver, 1974
14. USBR, “Canals and Related Structures” Denver, 1961
15. USBR (1968), “Hydraulic Design of Stilling Basin and Energy Dissipater” Engineering
Monograph. No.25



บันทึกข้อความ

สำนักงานรองอธิบดี (2)
รับที่..... 0582
วันที่..... - 1 พ.ค. 2550
เวลา..... 15.44

ส่วนราชการ สำนักพัฒนาแหล่งน้ำ ส่วนเทคโนโลยีและมาตรฐาน โทร. 0 2271 6000 ต่อ 6624

ที่ ทส 0607/ **0805**

วันที่ 1 พฤษภาคม 2550

เรื่อง ขออนุมัติคู่มือเกณฑ์กำหนดการออกแบบโครงการพัฒนาแหล่งน้ำ

เรียน อธิบดีกรมทรัพยากรน้ำ

1. เรื่องเดิม

1.1 การพัฒนาแหล่งน้ำของกรมทรัพยากรน้ำ เป็นกิจกรรมเพื่อให้ราษฎรในชนบทที่แห้งแล้งและขาดแคลนนํ้านอกเขตชลประทาน ได้มีน้ำใช้เพียงพอกับความต้องการในการยังชีพขั้นพื้นฐาน ได้แก่ การอุปโภค บริโภค ตลอดทั้งปีและเพื่อใช้เสริมการเกษตรยังชีพเท่าที่แหล่งน้ำธรรมชาติจะอำนวยให้ทำการพัฒนาได้ งานพัฒนาแหล่งน้ำมีหลายประเภทตามลักษณะของแหล่งน้ำสภาพภูมิประเทศและความต้องการของราษฎร ได้แก่ อ่างเก็บน้ำ ฝายน้ำล้น คลองส่งน้ำ เป็นต้น ซึ่งงานแต่ละประเภทมีสิ่งก่อสร้างและหลักเกณฑ์การออกแบบที่แตกต่างกันออกไป งานอ่างเก็บน้ำและฝายน้ำล้น เป็นงานที่ให้ประโยชน์สูงและมีสิ่งก่อสร้างขนาดใหญ่กว่างานประเภทอื่น จึงมีขั้นตอนในการออกแบบรายละเอียดและความยุ่งยากมากกว่างานอย่างอื่น ปัจจุบันแนวทางและเกณฑ์กำหนดการออกแบบโครงการพัฒนาแหล่งน้ำของกรมทรัพยากรน้ำยังไม่มีใช้งานอย่างเป็นทางการ

1.2 ตามคำสั่งสำนักพัฒนาแหล่งน้ำที่ 1/2550 ลงวันที่ 31 มกราคม 2550 เรื่อง แต่งตั้งคณะทำงานเพื่อจัดทำคู่มือเกณฑ์กำหนดการออกแบบโครงการพัฒนาแหล่งน้ำ สำนักพัฒนาแหล่งน้ำมีการทบทวนหน้าที่เกี่ยวกับการกำหนดหลักเกณฑ์การสำรวจการออกแบบและการประมาณราคาโครงการพัฒนาแหล่งน้ำและซ่อมแซมปรับปรุงอาคารแหล่งน้ำ ซึ่งมีความจำเป็นจะต้องจัดทำเกณฑ์กำหนดการออกแบบโครงการพัฒนาแหล่งน้ำ เพื่อใช้เป็นเกณฑ์กำหนดในการออกแบบโครงการพัฒนาแหล่งน้ำของกรมทรัพยากรน้ำ จึงแต่งตั้งคณะทำงานมีองค์ประกอบจำนวน 11 ราย และมีอำนาจหน้าที่ดังรายละเอียดคำสั่งที่แนบมา

2. ข้อเท็จจริง

คณะทำงานเพื่อจัดทำคู่มือเกณฑ์กำหนดการออกแบบโครงการพัฒนาแหล่งน้ำ ตามคำสั่งสำนักพัฒนาแหล่งน้ำที่ 1/2550 ได้ปฏิบัติหน้าที่รวบรวมและศึกษาทบทวนรายละเอียดเกณฑ์กำหนดในการออกแบบโครงการพัฒนาแหล่งน้ำที่มีใช้ในปัจจุบัน พิจารณาเลือกสรรและปรับปรุงเกณฑ์กำหนดในการออกแบบโครงการพัฒนาแหล่งน้ำที่เหมาะสมสอดคล้องกับหลักวิชาการและเทคโนโลยีสมัยใหม่ และจัดทำคู่มือเกณฑ์กำหนดการออกแบบโครงการพัฒนาแหล่งน้ำเสร็จแล้ว ซึ่งคู่มือดังกล่าวมีเนื้อหาสาระสำคัญประกอบด้วย

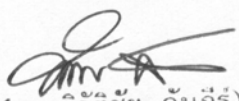
/ 2.1 เกณฑ์กำหนด...

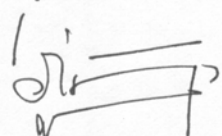
- 2.1 เกณฑ์กำหนดในการออกแบบด้านอุทกวิทยา
- 2.2 เกณฑ์กำหนดในการออกแบบเขื่อนดิน
- 2.3 เกณฑ์กำหนดในการออกแบบด้านชลศาสตร์
- 2.4 เกณฑ์กำหนดในการออกแบบอาคารบังคับน้ำ
- 2.5 เกณฑ์กำหนดในการออกแบบถนน
- 2.6 เกณฑ์กำหนดในการออกแบบด้านโครงสร้าง

ตามรายละเอียดคู่มือเกณฑ์กำหนดการออกแบบโครงการพัฒนาแหล่งน้ำ เอกสารสำนักพัฒนาแหล่งน้ำ
หมายเลข สพน. 053 เมษายน 2550 ที่แนบมา

3. ข้อเรียนเพื่อโปรดพิจารณา

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณา หากเห็นชอบ โปรดอนุมัติคู่มือเกณฑ์กำหนดการออกแบบ
โครงการพัฒนาแหล่งน้ำ ตามข้อ 2. เพื่อสำนักพัฒนาแหล่งน้ำจะได้แจ้งให้สำนักที่เกี่ยวข้องถือปฏิบัติ
ในการออกแบบโครงการพัฒนาแหล่งน้ำต่อไป


(นายนิติชัย คัมภีร์)
ผู้อำนวยการสำนักพัฒนาแหล่งน้ำ

อ.ง.ม.ล.
อ.นิ.  9 ม.ค. 60
(นายนิทัศน์ ภูวัฒนกุล)
รองอธิบดี ปฏิบัติราชการแทน
อธิบดีกรมทรัพยากรน้ำ



คำสั่งสำนักพัฒนาแหล่งน้ำ

ที่ ๑ /2550

เรื่อง แต่งตั้งคณะทำงานเพื่อจัดทำคู่มือเกณฑ์กำหนดการออกแบบ โครงการพัฒนาแหล่งน้ำ

เนื่องจากสำนักพัฒนาแหล่งน้ำ มีภารกิจหน้าที่เกี่ยวกับการกำหนดหลักเกณฑ์การสำรวจ การออกแบบและการประมาณราคา โครงการพัฒนาแหล่งน้ำและซ่อมแซมปรับปรุงอาคารแหล่งน้ำ ซึ่งมีความจำเป็นจะต้องจัดทำเกณฑ์กำหนดการออกแบบโครงการพัฒนาแหล่งน้ำ เพื่อใช้เป็นเกณฑ์กำหนดในการออกแบบโครงการพัฒนาแหล่งน้ำของกรมทรัพยากรน้ำ จึงแต่งตั้งคณะทำงานขึ้น ประกอบด้วย

1. นายประสิทธิ์	พัททวี	ตำแหน่งวิศวกรโยธา 8 วช	ประธานคณะทำงาน
2. นายโอภาส	คล้ายเอม	ตำแหน่งวิศวกรโยธา 8 วช	คณะทำงาน
3. นายฉลอง	ศรียอดแสง	ตำแหน่งวิศวกรโยธา 8 วช	คณะทำงาน
4. นายบุญช่วย	ยังอยู่	ตำแหน่งวิศวกรโยธา 8 วช	คณะทำงาน
5. นายประ โมทย์	ไกรยูรเสน	ตำแหน่งวิศวกรโยธา 7 วช	คณะทำงาน
6. นายสุรชัย	จิระบรรจง	ตำแหน่งวิศวกรโยธา 6 ว	คณะทำงาน
7. นายพงศ์พล	ผิวงาม	ตำแหน่งวิศวกรโยธา 5	คณะทำงาน
8. นายศิวดล	อุปพงษ์	ตำแหน่งวิศวกรโยธา 5	คณะทำงาน
9. นายอาทิตย์	หล้าพิมพ์สิงห์	ตำแหน่งวิศวกรโยธา 5	คณะทำงาน
10. นายวรวิทย์	ชัยวิมลกุล	ตำแหน่งวิศวกรโยธา 6 ว	คณะทำงานและเลขานุการ
11. น.ส. นันทิพา	นำเกียรติวงษา	ตำแหน่งจนท.บริหารงานทั่วไป	คณะทำงานและผู้ช่วยเลขานุการ

โดยคณะทำงานมีหน้าที่ ดังนี้

1. รวบรวมและศึกษารายละเอียดเกณฑ์กำหนดในการออกแบบโครงการพัฒนาแหล่งน้ำ ที่มีใช้ในปัจจุบัน

2. พิจารณาเลือกสรรและปรับปรุงเกณฑ์กำหนดในการออกแบบ โครงการพัฒนาแหล่งน้ำที่เหมาะสมสอดคล้องกับหลักวิชาการและเทคโนโลยีสมัยใหม่
3. จัดทำคู่มือเกณฑ์กำหนดการออกแบบโครงการพัฒนาแหล่งน้ำ สำหรับให้บุคลากรที่เกี่ยวข้องถือปฏิบัติและใช้เป็นแนวทางในการออกแบบโครงการพัฒนาแหล่งน้ำของกรมทรัพยากรน้ำ
4. ปฏิบัติงานอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องตามที่ได้รับมอบหมาย

ทั้งนี้ตั้งแต่บัดนี้เป็นต้นไป

สั่ง ณ. วันที่ 31 มกราคม 2550



(นายนิวัติชัย คัมภีร์)
ผู้อำนวยการสำนักพัฒนาแหล่งน้ำ