



รูปที่ 8-12 รายละเอียดของรอยต่อควบคุมทั้งในกรณี Contraction Joint และ Expansion Joint

#### 8.4.2 การออกแบบทางโครงสร้างของอาคารทางน้ำล้น

อาคารทางน้ำล้นส่วนใหญ่ทำจากวัสดุที่หลากหลาย เช่น คสล. อิฐก่อ หินก่อ หรือ หินกล่อ่ง (gabions) แม้วัสดุที่ทำอาคารจะหลายหลายแต่หลักเกณฑ์ในการออกแบบทางโครงสร้างใช้หลักเกณฑ์ที่คล้ายกัน โดยแบ่งการออกแบบดังนี้

##### 8.4.2.1 ตัวองค์อาคาร(Main structure)

(1) แรงที่กระทำกับองค์อาคาร

แรงภายนอกที่กับตัวองค์อาคารอันเป็นผลจากการไหลของน้ำประกอบด้วย

1. แรงดันจากน้ำ(static water pressure of the surface water)
2. แรงจากความดันยก(uplift water pressure)
3. แรงปฏิกิริยาของดินใต้ฐานขององค์อาคาร
4. แรงเสียดทานใต้ฐานอันเกิดจากการสมดุลย์ของแรงในแนวราบ
5. น้ำหนักขององค์อาคารและลิ่มน้ำที่กระทำกับอาคาร (weight of the structure and water wedges)

##### 8.4.2.2 การพิจารณาความมั่นคงทั่วไปของตัวอาคาร

ข้อพิจารณาความมั่นคง 3 ประการคือ

1. ผลรวมของโมเมนต์ที่ดินเขื่อนด้านท้ายน้ำ ต้องเป็นศูนย์

2. ผลรวมของแรงในแนวราบต้องเป็นศูนย์
3. ผลรวมของแรงในแนวตั้งต้องเท่ากับศูนย์

ในทางปฏิบัติต้องพิจารณาแฟคเตอร์ความปลอดภัย 1.5-2.0

$$\frac{\sum M_{\text{ต้าน}}}{\sum M_{\text{ทำให้ล้มคว่ำ}}} > 1.5$$

และเพื่อหลีกเลี่ยงองค์อาคารเอียงหรือมีแรงดึงเกิดขึ้นในฐานแรงลัพธ์ของแรงภายนอกควรกระทำผ่าน middle third ของฐาน

$$\text{eccentricity } .e. < \frac{B}{6}$$

นอกจากนี้ต้องออกแบบให้ด้านทานการไหลเลื่อนของอาคารอันเกิดจากแรงในแนวราบจำเป็นจะต้องพิจารณา

$$\frac{\text{แรงภายนอกในแนวราบ}}{\text{แรงภายนอกในแนวตั้ง}} < .f$$

เมื่อ  $f$  คือสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างฐานกับฐานราก

สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานขึ้นกับวัสดุที่ใช้ก่อสร้างตัวอาคารกับฐานราก U.S Bureau of reclamation แนะนำให้ใช้ 0.35 กรณีอาคารคอนกรีตกับดินทั่วไป varshney แนะนำให้ใช้ 0.65 กรณี คอนกรีตกับอิฐก่อ

#### 8.4.2.3 กรณีวิกฤติที่ต้องพิจารณา

สถิติการพังของอาคารน้ำล้นพบว่าไม่ได้เกิดจากการไม่เสถียรของอาคารในกรณีล้มคว่ำ หากแต่เกิดจากการม้วนกัดเซาะ (scour) ตัวอาคาร ดังนั้นการวิเคราะห์ความมั่นคงจึงมีความสำคัญในกรณีที่ตัวอาคารกับ apron แยกจากกันหรือใช้วัสดุต่างชนิดกัน กรณีที่ตัวอาคารอยู่บนหินโดยไม่มี Apron เช่นกัน

กรณีที่ต้องพิจารณาจึงแบ่งเป็น 2 กรณีคือ

##### 1. อาคารไม่ได้เป็นชิ้นเดียวกันกับพื้นอาคาร (Apron)

ลักษณะทั่วไปที่จะต้องพิจารณาในกรณีของอาคารที่มีหน้าลาด (Sloped) และหน้าแบบขั้นบันได (Stepped) โดยแสดงการพิจารณาแรงที่กระทำและโมเมนต์ภายใต้เงื่อนไขข้างนี้

1. น้ำซึมผ่านจากเหนือน้ำผ่านด้านฐานอาคารไปยังท้ายน้ำได้อย่างอิสระ
2. น้ำไม่ไหลข้ามอาคารและด้านท้ายน้ำไม่มีน้ำ

## 2. อาคารเป็นชิ้นเดียวกับพื้นอาคาร (Apron)

อาคารทางระบายน้ำล้นที่เป็นชิ้นเดียวกับพื้นทั้งด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำจะค่อนข้างเสถียรและไม่มีปัญหาในกรณีล้มคว่ำจากโมเมนต์

### 8.4.3 การออกแบบตัวอาคารทางระบายน้ำล้นและพื้นอาคาร (Apron)

การออกแบบตัวอาคารให้พิจารณาแยกออกเป็นส่วนๆ และสามารถรับหน่วยแรงอันเกิดจากแรงภายนอก

1. ออกแบบตัวอาคาร (Spillway body) ตัวอาคารโดยปกติให้ออกแบบเป็นอาคารยื่น (Cantilever) ที่สามารถรับ โมเมนต์และแรงเฉือนที่เกิดขึ้น แต่อาคารส่วนใหญ่จะเป็นมวลขนาดใหญ่ (Massive) ซึ่งค่อนข้างยากที่จะเสียหายเนื่องจากการเกิดหน่วยแรง (stress) เกิน แต่ถึงกระนั้นก็ตามในกรณีที่ตัวอาคารเป็นกำแพงบางในแนวตั้งจำเป็นต้องตรวจสอบตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

1.1 หาแรงเฉือน โมเมนต์คัตและแรงตามแนวแกนที่จุดต่างๆบนตัวอาคาร

1.2 หาหน่วยแรงที่เกิดขึ้นที่หน้าตัดที่พิจารณา

$$P_1, P_2 = \frac{W}{A} + \frac{M \cdot x}{b \cdot d^2 / 6}$$

โดย  $P_1, P_2$  = หน่วยแรงอัดและหน่วยแรงดึงที่หน้าฝาย (แรงดึงด้านเหนือน้ำแรงอัดด้านท้ายน้ำ)

$W$  = น้ำหนักโครงสร้างเหนือจุดที่พิจารณา (X)

$b$  = ความกว้างของหน้าตัด ปกติใช้หนึ่งเมตร

$d$  = ความลึกของฝาย (ในทิศทางการไหล)

หน่วยแรงที่เกิดขึ้นต้องไม่เกินหน่วยแรงที่ยอมให้ของวัสดุนั้น ในกรณีเช่นนี้แนะนำให้ใช้โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กและออกแบบตามมาตรฐานการออกแบบคอนกรีตของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ในกรณีทั่วไปที่เป็นอาคารแบบแรงโน้มถ่วง (gravity weir) การเสริมเหล็กในตัวอาคารจะเป็นเหล็กเสริมกันร้าวเนื่องจากอุณหภูมิ

## 2. ออกแบบพื้นอาคารทางน้ำล้น(Apron)

แนวคิดสองประการในการพิจารณาความหนาของพื้นอาคารทางน้ำล้น ประการแรกสมมติให้ apron ประกอบด้วยโครงสร้างอิสระที่ไม่ได้เชื่อมต่อกัน และน้ำหนักของแต่ละส่วนต้องสมดุลกับแรงดันยก (uplift pressure) วิธีนี้ค่อนข้างปลอดภัย คำนวณได้ง่ายแต่โครงสร้างจะมีราคาแพงกว่าแนวคิดที่สอง

แรงดันยกใต้ Apron ความหนาของ Apron ทำกับแรงดันยกหารด้วยน้ำหนักของวัสดุที่ใช้ทำ Apron ในสถานะจมน้ำ

$$t = \frac{h_x}{(\gamma_f - 1)} \dots\dots\dots (\text{หน่วยเมตร})$$

โดย  $h_x = \text{แรงดันยกที่จุด X (m)}$ ,  $h_x = \frac{H(L - L_x)}{L}$

$t = \text{ความหนาของพื้น (m)}$

$\gamma_f = \text{ความหนาแน่นของวัสดุที่ใช้ทำพื้น. (kg/m}^3\text{)}$

ในกรณีที่อาคารเป็นคอนกรีต การเสริมเหล็กในพื้น (Apron) ด้วยวิธีนี้เนื่องจากถือว่าไม่มีหน่วยแรงดึงหรือแรงอัดเกิดในพื้นที่เสริมเหล็กกันรั่วจากอุณหภูมิต่ำนั้น

แนวคิดที่สองถือว่าพื้นเป็นชิ้นเดียวกันและพิจารณาโมเมนต์และแรงเฉือนที่เกิดขึ้นที่หน้าตัดวิกฤติที่ตีนอาคารด้านท้ายน้ำ

ผู้ออกแบบควรพิจารณาหน่วยแรงดึงและแรงอัดให้ดีว่าเกิดด้านใด ในกรณีตัวอย่างนี้เป็นคานยื่นแบบกลับด้านล่างพื้นจะเป็นหน่วยแรงดึง แต่ในกรณีที่มีปีกฝาย (wing wall) ยึดติดกับพื้น Apron จะกลายเป็น inverted slab ที่มีค้ำยัน 3 ด้าน หน่วยแรงดึงจะกลับด้านกับที่กล่าวมาแล้ว

ในทางปฏิบัติที่ปลายของพื้น (apron) ควรมีความหนาไม่น้อยกว่า 30 ซม. เพื่อป้องกันการเกิด piping แม้จะถือว่าไม่มีแรงดันยก (uplift pressure) ก็ตาม

### 8.4.4 การออกแบบกำแพงกันดิน

ปีกของอาคารทางน้ำล้น (Wing walls) อาจทำจากผนังก่ออิฐ หินกล่อ่ง (Gabions) หรือคอนกรีตเสริมเหล็ก ขั้นตอนปกติในการออกแบบจำเป็นต้องหาแรงดันอันเนื่องมาจากดินถมหลังกำแพง ส่วนการวิเคราะห์ความมั่นคงหาด้วยวิธีเดียวกับตัวอาคาร

**(1) แรงดันดินแบบ Active กับดินแบบ Cohesionless**

เมื่อดินแบบอิมิตัวและแห้งกระทำกับกำแพง สามารถหาแรงดันได้ตามกรณีดังนี้

1 กรณีกระทำบนผิวกำแพงเรียบ

แรงที่กระทำกับกำแพงหาได้จาก

$$P_a = K_a \cdot \gamma_s \cdot Z^2 / 2$$

เมื่อ  $P_a$  = แรงดันดินแบบ Active

$\gamma_s$  = ความหนาแน่นของดิน

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

$\phi$  = มุมของแรงเสียดทานภายในของดิน

**(2) กรณีแรงดันดินแบบ Active บนกำแพงผิวหยาบ**

ปกติแล้วผิวกำแพงจะค่อนข้างหยาบ เพื่อให้ค่าที่ใกล้เคียงมีวิธีการอยู่หลายวิธี

แต่วิธีที่นิยมคือ Rebhann's และ Coulomb's methods

**(3) กรณีดินแบบเชื่อมแน่น (Cohesive soils)**

แรงดันดินแบบ Active โดยใช้ทฤษฎี Wedge theory สมมุติว่าดินมีรอยแตก เนื่องจากแรงดึงลึก  $Z_c$  (c) และ (a) แทนค่า soil cohesion และ unit adhesion

$$C_c = c \times l \quad C_w = a \times h$$

เมื่อ  $l$  และ  $h$  คือความยาวของแนวพังทลายและความสูงของแนวที่สัมผัสกับกำแพง จากไดอะแกรมหาค่าสูงสุดของแรงดัน

สำหรับดินเหนียวอ่อนที่ค่า cohesion น้อยกว่า 4.5 t/sq.m ค่า wall adhesion (a)

ให้ใช้เท่ากับค่า cohesion ถ้าค่า cohesion เกิน 4.5 t/sq.m .ให้ใช้ค่า (a) เท่า 4.5 t/sq.m

**(4) แรงดันแบบ Passive บนกำแพงกันดิน**

ผลจากการเคลื่อนที่ของปีกกำแพงในทิศทางของแรง Active แรงดันที่กระทำกับดินถมหน้ากำแพงเรียกว่าแรงดันแบบ Passive และจะลดค่าโมเมนต์ที่ทำให้ล้มคว่ำ ในการออกแบบส่วนใหญ่ ไม่จำเป็นต้องพิจารณาแรงแบบนี้

โดยความจริงฐานรากของปีกกำแพงไม่ลึกมากและซับซ้อนในการที่จะหา  
ค่าแรงต้านทานของดินและพื้นที่กระทำด้านแรง Active แนะนำให้ออกแบบโดยคิดโมเมนต์ที่ทำให้  
ให้ลึกกว่าที่ระดับพื้นมากกว่าที่ระดับดินของกำแพง

#### (5) การวิเคราะห์เสถียรภาพของกำแพงกันดิน

##### 1. กรณีกำแพงยึดติดกับพื้น

ในทางปฏิบัติสำหรับกรณีแบบนี้ เสถียรภาพของกำแพงไม่วิกฤต  
เนื่องจากกำแพงและพื้นยึดเป็น โครงข้อแข็ง แต่โมเมนต์ที่เกิดขึ้นจำเป็นต้องคำนวณเพื่อหาปริมาณ  
เหล็กเสริมและหน้าตัดคอนกรีตที่เพียงพอ

เนื่องจาก โมเมนต์ที่เกิดขึ้นค่อนข้างน้อย ดังนั้นความหนาของพื้นหา  
จากน้ำหนักที่สมดุลกับแรงดันยกดังที่กล่าวมาแล้ว แต่ปริมาณเหล็กเสริมหาจาก โมเมนต์ และ  
ตรวจสอบกับเหล็กเสริมกันร้าวจากอุณหภูมิ

##### 2. กำแพงกันดินแบบโน้มถ่วง (Gravity wall)

กำแพงแบบนี้ส่วนใหญ่ทำจากอิฐก่อ หรือหินกล่อ (Gabions) ความ  
มั่นคงและราคาจำเป็นจะต้องพิจารณาจากรูปทรง ปกติแล้วแรงที่ทำให้ไถลเลื่อนไม่วิกฤติ ถ้าฐาน  
กำแพงต่ำกว่า Apron แรงดันที่ฐานต้องตรวจสอบที่ส่วนบนของฐานว่าทำให้ดินกำแพงแตกหักหรือ  
มีหน่วยแรงดึงเกิดที่ฐานหรือไม่ ส่วนที่ระดับดินให้ตรวจสอบความต้านทานของดินด้วย

#### 8.4.5 การออกแบบทางโครงสร้างของท่อส่งน้ำ

คลองชักน้ำมีหลายรูปแบบไม่ว่าจะเป็นรูปแบบสะพาน ท่อส่งน้ำที่มีเครื่องมือ  
ควบคุมการส่งน้ำ ในกรณีสะพานจะออกแบบให้รับด้วยกำแพงหรือเป็นโครงข้อแข็งซึ่งเชื่อมด้วย  
พื้นในการรับน้ำการ ใ้ท่อเป็นคลองชักน้ำเป็นสิ่งที่พบเห็นทั่วไป ท่ออาจเป็นรูปสี่เหลี่ยมหรือ  
วงกลม โดยคำนึงถึงความยากง่ายในการระบายตะกอนทราย

##### (1) อาคารรับน้ำแบบสะพาน(Bridge-type intakes)

โดยทั่วไปจะมีสองลักษณะคือสะพานแบบพื้นบนกำแพง (Slab bridge on  
gravity walls) กับ ท่อลอด (Box culvert)

##### 1) กรณี Slab bridge

พื้นสะพานออกแบบเป็นคานอย่างง่าย แรงที่กระทำบนกำแพงเนื่องจาก  
สะพานจำเป็นต้องพิจารณาเสถียรภาพร่วมกับแรงอื่นที่กระทำ

2) กรณี Box culvert

การออกแบบ Box culvert มีวิธีวิเคราะห์หลายวิธี แนะนำใช้วิธี Slope deflection methods

(2) ท่อส่งน้ำชนิดท่อกลม (Circular culvert)

ท่อส่งน้ำจะมีขนาดมาตรฐานผลิตและออกแบบจากโรงงาน อย่างไรก็ตามการพิจารณาเลือกใช้ท่อให้สอดคล้องกับน้ำหนักบรรทุก (AASHTO) เป็นสิ่งจำเป็นสำหรับผู้ออกแบบระบบส่งน้ำ โดยจะต้องพิจารณาในปัจจัยต่อไปนี้

1. ความแข็งแรงและน้ำหนักบรรทุกของท่อ
2. น้ำหนักบรรทุกอื่นๆบนท่อฝังดิน (Surcharge loads)
3. น้ำหนักบรรทุกจรบนท่อใต้ดิน
4. ชนิดของท่อส่งน้ำ

ท่อส่งน้ำมีหลายชนิดเช่นท่อคอนกรีต ท่อคอนกรีตเสริมเหล็ก ท่อคอนกรีตอัดแรงท่อเหล็ก ท่อPVC เป็นต้น ท่อคอนกรีตไม่เสริมเหล็กควรมีขนาดไม่เกิน 0.60m เกินกว่านี้ให้ใช้ท่อคอนกรีตเสริมเหล็ก และให้ใช้ safety factor =1.50 ในการพิจารณาการรับน้ำหนักและชนิดการวางท่อ