

บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำและที่มาของปัญหา

ในปัจจุบัน โครงสร้างอาคารที่พิกอาศัย ส่วนมากจะเป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กซึ่งใช้ระบบโครงสร้างแบบ พื้น-คาน-เสา โดยถือว่าน้ำหนักต่างๆจะถ่ายจากพื้นสู่คาน และจากคานสู่เสา ไล่ไปจนถึงฐานราก กำแพงซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้าง มักถูกมองเป็นเพียงวัสดุเสริมช่องว่าง (Filler Material) ซึ่งถือว่าไม่ได้ช่วยแบกรับน้ำหนักแต่อย่างใด ทั้งที่กำแพงสามารถรับน้ำหนักได้พอสมควร นอกจากนี้หากพิจารณาให้กำแพงรับน้ำหนักแล้ว พบว่าหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจะต่ำมาก เพราะกำแพงมีพื้นที่ในการรับแรงมาก ประกอบกับระบบโครงสร้างแบบกำแพงรับแรงนี้ สามารถก่อสร้างได้ง่าย ใช้เครื่องมือและอุปกรณ์น้อย ไม่ต้องพึ่งพาช่างฝีมือและกรรมกรมากเท่ากับโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไป ดังนั้น ความคิดที่จะเอากำแพงมารับน้ำหนักบรรทุกทุกแทนคานและเสาจึงน่าจะเป็นไปได้

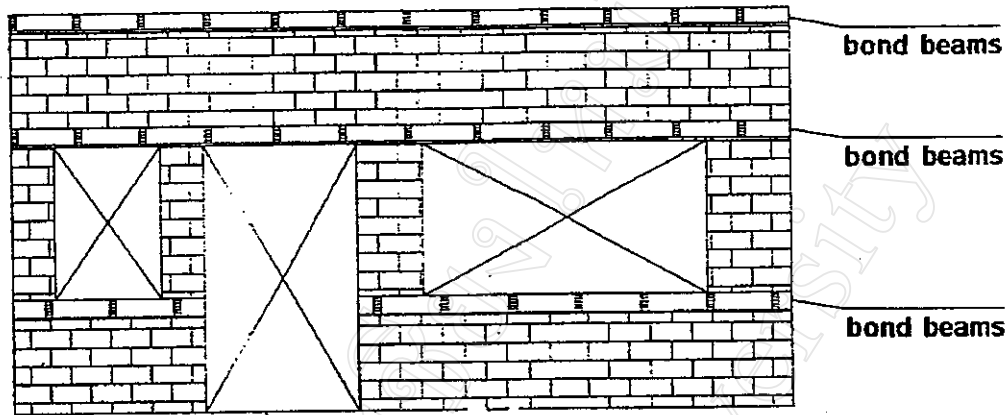
ระบบกำแพงรับน้ำหนัก มีมาตั้งแต่สมัยโบราณ สังเกตได้จากซากโบราณสถานต่างๆ ซึ่งแต่เดิมมักใช้อิฐเป็นวัสดุในการก่อสร้าง แต่ในปัจจุบันหลังจากที่มีการผลิตคอนกรีตบล็อกขึ้นมา การนำเอาคอนกรีตบล็อกมาใช้แทนอิฐก็มีมากขึ้น เนื่องจากข้อได้เปรียบหลายประการ ได้แก่

- มีการเปลี่ยนแปลงจากการยึดหดตัวอันเกิดจาก ความชื้น การคืบตัว และอุณหภูมิ น้อยมาก จึงทำให้เกิดการแตกร้าวน้อยกว่า
- มีกำลังสูง และสามารถควบคุมคุณภาพได้อย่างสม่ำเสมอ
- มีความคงทนต่อสภาพดินฟ้าอากาศ

จากคุณสมบัติดังกล่าว คอนกรีตบล็อกจึงเป็นวัสดุที่เหมาะสม สำหรับใช้ก่อสร้างกำแพงรับน้ำหนัก นอกจากนี้วัสดุอื่นอันได้แก่ ปูนก่อ และปูนกรอก ที่ใช้กันในงานก่อสร้างทั่วไปก็สามารถใช้ได้กับกำแพงคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก โดยการปรับส่วนผสมเพียงเล็กน้อยเพื่อให้ได้กำลังและก่อได้ง่ายขึ้น (เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ, 2528) ด้วยความสะดวกดังกล่าว ทำให้มีการก่อสร้างโดยใช้กำแพงคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนักกันมากขึ้น

ในโครงสร้างกำแพงคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนักโดยทั่วไปพบว่า ส่วนของผนังที่มีช่องเปิด จำเป็นต้องมีแนวคานเป็นองค์ประกอบเรียกว่า คานเอ็น (Bond Beams) เพื่อป้องกันการแตกร้าว

เนื่องจากความเค้นเฉือนเฉพาะที่ (Shear Stress Concentration) ที่เกิดขึ้น และคานเอ็นดังกล่าวโดยมากจะหล่อเป็นแนวตลอดความยาวของกำแพง ดังรูป 1.1



รูป 1.1 ตำแหน่งของคานเอ็นในอาคาร โดยทั่วไป

จากสาเหตุดังกล่าว ทำให้อิทธิพลของคานเอ็น ขยายผลไปถึงส่วนที่มีได้เป็นช่องเปิดด้วย ซึ่งน่าจะเป็นผลดีกับการรับน้ำหนักในแนวตั้งของกำแพงในบริเวณนั้น

โดยทั่วไป การเสริมวัสดุที่แข็งแรงมากกว่าเข้าไปในวัสดุที่แข็งแรงน้อยกว่าเพื่อเสริมในส่วนด้อยของวัสดุนั้น ย่อมทำให้วัสดุซึ่งมีความแข็งแรงน้อยกว่านั้นมีความสามารถในการรับกำลังได้มากขึ้น เช่นเดียวกับในกรณีของการเสริมคานเอ็น เนื่องจากคานเอ็นเป็นส่วนประกอบที่มีความแข็งแรงกว่าส่วนอื่นจึงน่าจะทำความสามารถในการรับน้ำหนักของกำแพงเพิ่มขึ้น การที่คานเอ็นจะเข้ามาช่วยเสริมกำลังของกำแพงได้อย่างไรนั้น เราสามารถพิจารณาได้จากลักษณะการวิบัติของกำแพงซึ่งโดยทั่วไปมี 3 รูปแบบด้วยกัน คือ

ก. เกิดการปริแยกของอิฐและแนวปูนก่อในแนวตั้ง (Splitting of Bricks and Head Joints)

ข. เกิดการรูดของแนวปูนก่อในแนวราบและปริแยกของแนวปูนก่อในแนวตั้ง (Slipping of Bed Joints and Splitting of Head Joints)

ค. เกิดการแยกตัวกลางระนาบของกำแพง (Middle Plane Spalling)

ซึ่งรูปแบบการวิบัติทั้ง 3 แบบ ดังกล่าวล้วนเกิดขึ้นจากแรงดึงทางด้านข้างทั้งสิ้น ดังนั้น คานเอ็นซึ่งมีเหล็กเสริมทำหน้าที่รับแรงดึงได้ดี อีกทั้งปูนกรอกในคานเอ็นยังสามารถช่วยยึดเหนี่ยวทำให้การแยกตัวของบล็อกเกิดขึ้นยากขึ้น การเสริมคานเอ็นจึงเสมือนการเพิ่มแรงซึ่งช่วยยึดรั้งการขยายตัวทางด้านข้างของกำแพง การยึดรั้งดังกล่าวนี้เองที่ทำให้รูปแบบการวิบัติของกำแพงเปลี่ยนไป ซึ่งอาจทำให้กำแพงมีกำลังเพิ่มขึ้น

1.2 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง

1.2.1 ทฤษฎีการวิบัติของปรีซึม

จากการศึกษาถึงการวิบัติของกำแพงอิฐ พบว่าเกิดจากคุณสมบัติการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (Displacement properties) ที่ไม่เท่ากันระหว่างอิฐและปูนก่อ ปูนก่อในแนวราบ (Bed joint) จะรับน้ำหนักที่ถ่ายมาทั้งหมดเช่นเดียวกับอิฐ แต่เนื่องจากค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของปูนก่อน้อยกว่าโมดูลัสของอิฐประมาณ 2- 3 เท่า เมื่อพิจารณาสมการการขยายตัวทางด้านข้างของอิฐและปูนก่อเนื่องจากแรงในแนวตั้งเพียงอย่างเดียวดังนี้

$$e_{xb} = \frac{1}{E_b} \times \nu_b (\sigma_y) \quad \dots\dots\dots(1.1)$$

$$e_{xm} = \frac{1}{E_m} \times \nu_m (\sigma_y) \quad \dots\dots\dots(1.2)$$

โดยที่

e_{xb} = การเปลี่ยนรูปทางด้านข้างของบล็อก

e_{xm} = การเปลี่ยนรูปทางด้านข้างของปูนก่อ

ν_b = อัตราส่วนปัวซองของบล็อก

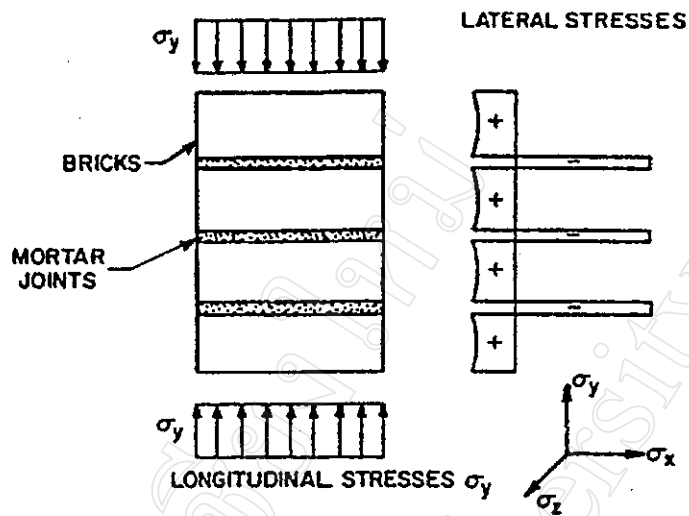
ν_m = อัตราส่วนปัวซองของปูนก่อ

E_b = โมดูลัสยืดหยุ่นของบล็อก

E_m = โมดูลัสยืดหยุ่นของปูนก่อ

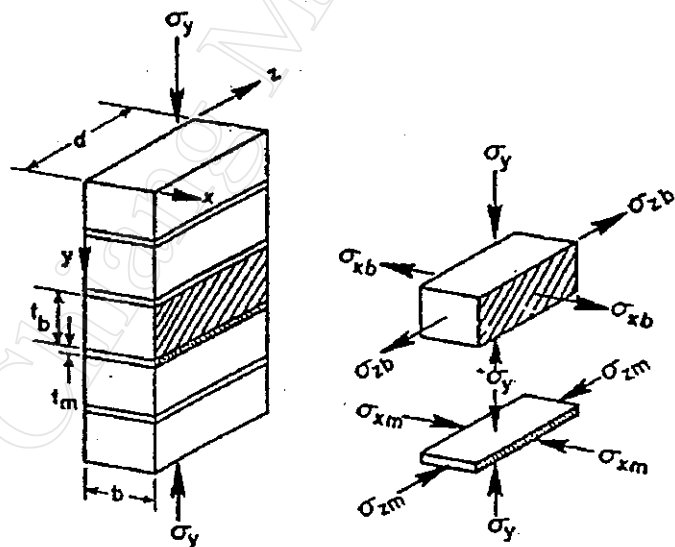
จากสมการข้างต้นเมื่อค่าอัตราส่วนปัวซองของวัสดุทั้งสองมีค่าใกล้เคียงกัน (ประมาณ 0.17 - 0.25) การเปลี่ยนรูปร่างทางด้านข้างของปูนก่อจะเกิดขึ้นสูงกว่าบล็อกในภาวะปกติ แต่เนื่องจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างบล็อกและปูนก่อทำให้การขยายตัวถูกจำกัด ส่งผลให้เกิดแรงดึงขึ้นในบล็อก และเป็นสาเหตุให้เกิดการวิบัติของกำแพงในที่สุด

Hilsdorf (1967) ทำการวิเคราะห์ กำลังรับแรงอัดของกำแพง โดยวิเคราะห์หน่วยแรงที่เกิดขึ้นของอิฐซึ่งก่อหลักเดียว ได้ผลดังรูป 1.2



รูป 1.2 แบบจำลองอิฐก่อในการวิเคราะห์ของ Hilsdorf
(ที่มา : Hilsdorf, 1967)

จากรูป 1.2 พบว่า เกิดแรงดึงขึ้นในอิฐและแรงอัดในปูนก่อ ดังนั้น ตรงบริเวณรอยต่อของวัสดุดังกล่าว จะเกิดแรงเฉือนสูงมาก และนี่ก็เป็นอีกสาเหตุหนึ่งของการวิบัติของกำแพง Francis et al. (1970) ได้วิเคราะห์หน่วยแรงที่เกิดขึ้นในอิฐซึ่งไม่มีรูกลวง ดังรูป 1.3



รูป 1.3 แบบจำลองอิฐก่อในการวิเคราะห์ของ Francis et al.
(ที่มา : Francis et al., 1970)

จากรูป 1.3 จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดที่เกิดขึ้นในอิฐ ดัง

$$e_{xb} = \frac{1}{E_b}(\sigma_{xb} + \nu_b(\sigma_y - \sigma_{zb})) \quad \text{.....(1.3)}$$

$$e_{zb} = \frac{1}{E_b}(\sigma_{zb} + \nu_b(\sigma_y - \sigma_{xb})) \quad \text{.....(1.4)}$$

เมื่อพิจารณาความเครียดที่เกิดขึ้นในปูนก่อ จะได้ว่า

$$e_{xm} = \frac{1}{E_m}(-\sigma_{xm} + \nu_m(\sigma_y - \sigma_{zm})) \quad \text{.....(1.5)}$$

$$e_{zm} = \frac{1}{E_m}(-\sigma_{zm} + \nu_m(\sigma_y - \sigma_{xm})) \quad \text{.....(1.6)}$$

Francis et al. (1970) สมมติให้ไม่เกิดการรูดไถลขึ้นระหว่างแนวอิฐและปูนก่อ
สำหรับการวิเคราะห์ เพราะฉะนั้น จะได้ว่า

$$e_{xb} = e_{xm} \quad \text{.....(1.7)}$$

$$e_{zb} = e_{zm} \quad \text{.....(1.8)}$$

จากสมมูลของแรงทางด้านข้างที่เกิดขึ้น จะได้ว่า

$$\sigma_{xb} \times d \times t_b = \sigma_{xm} \times d \times t_m \quad \text{.....(1.9)}$$

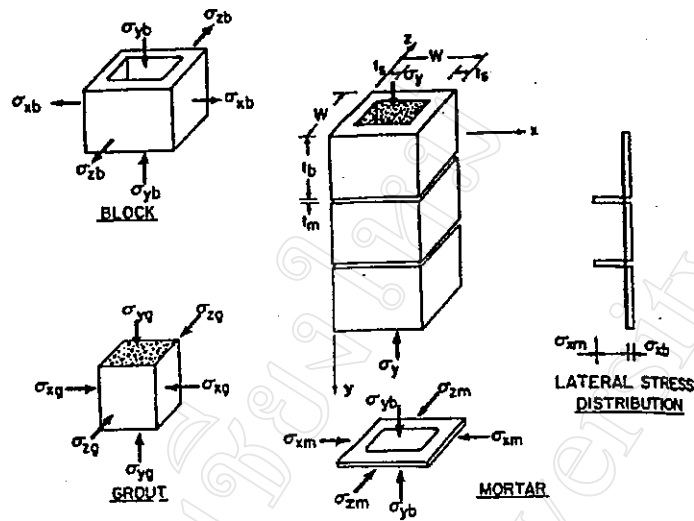
$$\sigma_{zb} \times d \times t_b = \sigma_{zm} \times d \times t_m \quad \text{.....(1.10)}$$

เมื่อกำหนด $\alpha = \frac{t_b}{t_m}$ และ $\beta = \frac{E_b}{E_m}$ จากสมการที่กล่าวมาทั้งหมดจะได้ว่า

$$\sigma_{xb} = \sigma_{zb} \frac{\sigma_y(\beta\nu_m - \nu_b)}{1 + \alpha\beta - \nu_b - \alpha\beta\nu_m} \quad \text{.....(1.11)}$$

ซึ่งหน่วยแรงดึงทางด้านข้าง σ_{xb}, σ_{zb} นี้เอง ทำให้ความสามารถในการรับแรงใน
แนวตั้งของอิฐมีค่าน้อยลง แต่อย่างไรก็ดี พฤติกรรมของกำแพงคอนกรีตบล็อกมีความสลับซับซ้อน
มาก เนื่องจากบล็อกที่ใช้โดยทั่วไปมีรูกลวง การถ่ายแรงอัดในแนวตั้ง จากบล็อกไปสู่ปูนก่อไม่
สม่ำเสมอ อาจเกิดการรูดขึ้นบางจุด ระหว่างบล็อกและปูนก่อ และนอกจากนี้ ความกว้างของ
กำแพงก็เข้ามามีส่วนเกี่ยวข้องกับกำลังรับน้ำหนักของกำแพงเช่นเดียวกัน สมการของแรงดึงด้าน
ข้างดังกล่าวจึงคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงสูงพอสมควร

เนื่องจากบล็อกกลวงมีพฤติกรรมขณะรับแรงต่างจากบล็อกซึ่งเป็นแท่งตัน ดังนั้น
Hamid and Drysdale (1979) จึงสร้างสมการสำหรับใช้ประเมินกำลังของปริซึมคอนกรีตบล็อกกลวง
ขึ้นมา เช่นเดียวกัน โดยกำหนดแรงที่กระทำต่อปริซึมคอนกรีตบล็อก ดังรูป 1.4 แล้วใช้เงื่อนไขการ
วิบัติของ Hilsdorf (1967) ในการวิเคราะห์



รูป 1.4 ลักษณะของแรงที่กระทำต่อปริซึมคอนกรีตบล็อกแบบกลวง
(ที่มา : Hamid and Drysdale, 1979)

สมการประเมินกำลังที่ได้แบ่งเป็น 2 ส่วนคือ ปริซึมที่มีปูนกรอก และ ไม่มีปูนกรอก
สมการสำหรับปริซึมที่มีปูนกรอกแบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ

- กรณีที่ปูนกรอก มีความเครียดที่กำลังอัดสูงสุดต่ำกว่าบล็อก นั่นคือวัสดุที่ใช้กรอก
จะถึงจุดวิบัติก่อน การวิบัติของปูนกรอกทำให้ปริมาตรของปูนกรอกเพิ่มขึ้นอย่างมาก ผลก็คือจะ
ทำให้เกิดหน่วยแรงดึงขึ้นในบล็อกตามมา สมการที่ได้ในกรณีนี้คือ

$$f'_{mg} = \frac{4.1\sigma_b + 1.14\alpha\sigma_{cm} + \beta\sigma_{cg}}{4.1\sigma_b + (1.14\alpha + \frac{c\beta}{n})\sigma_b} \times \frac{\sigma_b}{n\gamma K} \quad (1.12)$$

โดยที่

f'_{mg} คือ กำลังรับแรงอัดของปริซึมคอนกรีตบล็อกที่มีปูนกรอก

σ_b คือ กำลังรับแรงดึงของบล็อก

σ_b คือ กำลังรับแรงอัดของบล็อก

σ_{cm} คือ กำลังรับแรงอัดของปูนก่อ

σ_{cg} คือ กำลังรับแรงอัดของปูนกรอก

α คือ อัตราส่วนระหว่างความหนาของปูนก่อต่อความสูงของบล็อกมีค่าเท่ากับ

$$\frac{t_m}{t_b}$$

n คืออัตราส่วนระหว่างโมดูลัสยืดหยุ่นของบล็อกต่อโมดูลัสยืดหยุ่นของปูน

$$\text{กรอกมีค่าเท่ากับ } \frac{E_{block}}{E_{groul}}$$

η คือ อัตราส่วนระหว่างพื้นที่หน้าตัดสุทธิของบล็อกในด้านที่น้อยต่อพื้นที่

$$\text{หน้าตัดรวม มีค่าเท่ากับ } \left(\frac{A_{block}}{A_{block} + A_{groul}} \right)$$

c คือ อัตราส่วนระหว่างพื้นที่หน้าตัดด้านที่มากที่สุดต่อด้านที่น้อยที่สุดของปูน

กรอก

$$\beta \text{ มีค่าเท่ากับ } \left(\frac{\sqrt{1-\eta}}{1-\sqrt{1-\eta}} \right)$$

$$\gamma \text{ มีค่าเท่ากับ } \left(\frac{1}{1-(n-1)\eta} \right)$$

$$K \text{ คือ ตัวประกอบการปรับแก้หน่วยแรงมีค่าเท่ากับ } 1.08 - \frac{0.21}{n}$$

- กรณีที่บล็อกบรรลุถึงค่าหน่วยแรงอัดสูงสุดที่ความเครียดต่ำกว่าปูนกรอก ในกรณีนี้ กำลังของปริซึมจะขึ้นอยู่กับกำลังรับแรงอัดของบล็อก หรือกำลังรับแรงอัดของปูนกรอกอย่างใดอย่างหนึ่ง โดยทั่วไปเมื่อกำลังของปูนกรอกไม่สูงมากสมการที่ได้คือ

$$f'_{mg} = \frac{3.6\sigma_{tb} + \alpha\sigma_{cm}}{3.6\sigma_{tb} + \alpha\sigma_{cb}} \times \frac{\sigma_{cb}}{n\gamma K} \quad \dots\dots\dots(1.13)$$

แต่บางกรณีที่กำลังของปูนกรอกสูงมาก ถึงแม้เปลือกบล็อกที่อยู่รอบแตกออกแต่ปูนกรอกก็สามารถรับกำลังต่อไปได้ เพราะฉะนั้นกำลังของปริซึมจึงขึ้นอยู่กับกำลังของปูนกรอกเพียงอย่างเดียว ดังสมการ 1.14

$$f'_{mg} = (1-\eta)\sigma_{cg} \quad \dots\dots\dots(1.14)$$

สำหรับปริซึมที่ไม่มีปูนกรอก Hamid and Drysdale (1983) ก็ใช้หลักการเดียวกันกับ สมการ 1.13 ถึง สมการ 1.14 ในการวิเคราะห์ ได้ผลดังสมการ 1.15

$$f'_{mu} = \eta \frac{3.6\sigma_{tb} + \alpha\sigma_{cm}}{3.6\sigma_{tb} + \alpha\sigma_{cb}} \times \frac{\sigma_{cb}}{K} \quad \dots\dots\dots(1.15)$$

โดยที่

f'_{mu} คือ กำลังรับแรงอัดของปริซึมคอนกรีตบล็อกที่ไม่มีปูนกรอก

1.2.2 ทฤษฎีการวิบัติของกำแพง

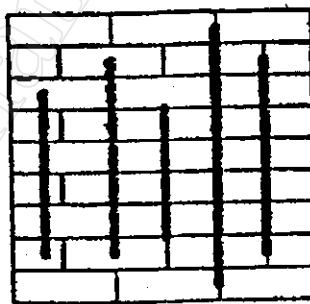
พฤติกรรมการแตกร้าวของกำแพง มีความแตกต่างจากปรีซึมมากพอสมควร เนื่องจากมีความกว้างของกำแพงและอิทธิพลของบล็อกข้างเคียงเข้ามาเกี่ยวข้อง ซึ่งตัวแปรดังกล่าวไม่มีในการทดสอบแบบปรีซึม จากตัวแปรดังกล่าวทำให้รูปแบบการแตกร้าว มีหลายรูปแบบมากขึ้น

Andreaus (1996) สรุปว่าการวิบัติของกำแพงเนื่องจากน้ำหนักกระทำในแนวระนาบ เกิดจากสาเหตุหลัก 3 ประการคือ

- ก. การรูดของแนวปูนก่อ (Slipping of Mortar Joints)
- ข. การแตกร้าวของอิฐและการปริแยกของแนวปูนก่อ (Cracking of Bricks and Splitting of Mortar Joints)
- ค. การแยกตัวกลางระนาบของกำแพง (Middle Plane Spalling)

จากสาเหตุทั้ง 3 ประการดังกล่าว เมื่อพิจารณาเฉพาะกรณีที่มียาน้ำหนักกระทำในแนวตั้งเท่านั้น พบว่า รูปแบบของการวิบัติที่อาจเกิดขึ้นได้ มี 3 รูปแบบ คือ

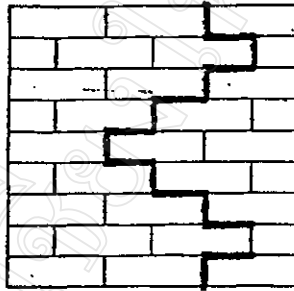
- เกิดการปริแยกของอิฐและแนวปูนก่อในแนวตั้ง (Splitting of Bricks and Head Joints) การวิบัติในรูปแบบนี้จะเกิดขึ้นในกรณีที่อิฐมีความแข็งแรงน้อย และจะเกิดขึ้นในระนาบตั้งตั้งฉากกับกำแพง ดังรูป 1.5 รอยร้าวอยู่ในแนวปูนก่อ (Head Joints) และผ่านกลางอิฐที่ตำแหน่ง ตรงกับแนวปูนก่อ จากลักษณะดังกล่าว สรุปได้ว่าเป็นการวิบัติเนื่องจากแรงดึง (Tension Failure) โดยเกิดแรงดึงสลายแรงยึดเหนี่ยว (Tensile Debonding) ขึ้นระหว่างปูนก่อและอิฐ เป็นผลให้กำแพงวิบัติในที่สุด



รูป 1.5 ลักษณะการปริแยกของอิฐและแนวปูนก่อในแนวตั้ง
(ที่มา : Andreaus, 1996)

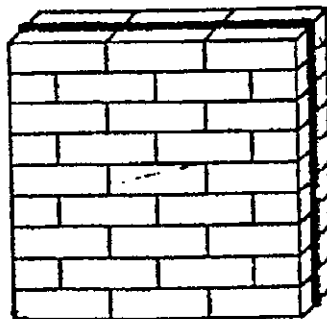
- เกิดการรูดของแนวปูนก่อในแนวราบและปริแยกของแนวปูนก่อในแนวตั้ง (Slipping of Bed Joints and Splitting of Head Joints) การวิบัติในรูปแบบนี้มีสาเหตุเช่นเดียว

กับรูปแบบแรก แต่จะเกิดขึ้นในกรณีที่อิฐมีความแข็งแรงมากเมื่อเทียบกับปูนก่อ การวิบัติจะเริ่มจากการรูดของแนวปูนก่อในแนวราบก่อน หลังจากนั้นจะเกิดการปริแยกของแนวปูนก่อในแนวตั้ง ก่อให้เกิดรอยร้าวดังรูป 1.6 เมื่อเกิดการแตกร้าวดังกล่าวแล้ว กำแพงยังคงรับน้ำหนักต่อไปได้ระดับหนึ่งก่อนที่จะยุบพังลงด้วยแรงอัด



รูป 1.6 ลักษณะการรูดของแนวปูนก่อในแนวราบและการปริแยกของแนวปูนก่อในแนวตั้ง
(ที่มา : Andreaus, 1996)

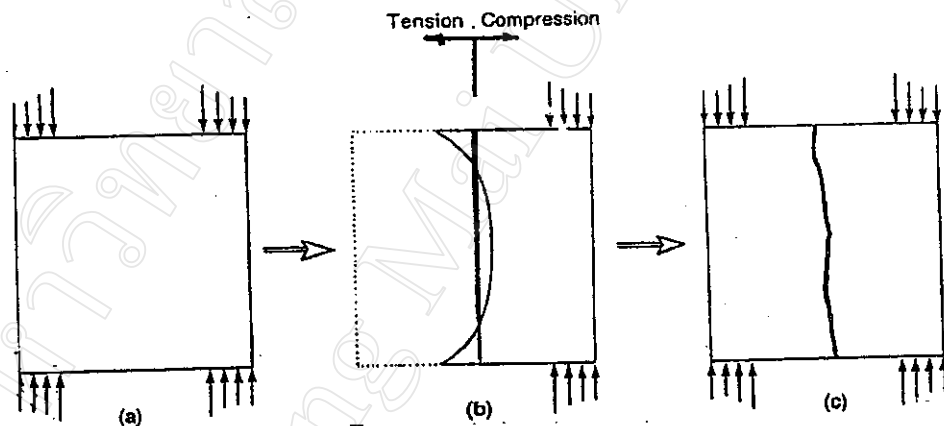
- เกิดการแยกตัวกลางระนาบของกำแพง (Middle Plane Spalling) รูปแบบการวิบัตินี้เกิดขึ้นเมื่อมีแรงอัดกระทำต่อกำแพงสูงมาก ทั้งในแนวตั้งและแนวราบ โอกาสที่กำแพงจะเกิดการแยกตัวออกจากด้านข้างแบบกรณีที่ 1 และ กรณีที่ 2 นั้นไม่สามารถเกิดขึ้นได้เนื่องจากถูกบีบอัดโดยแรงทางด้านข้าง ดังนั้น การวิบัติจะเกิดขึ้นในระนาบที่ขนานกับผิวสัมผัสของกำแพงที่ตำแหน่งกึ่งกลางของความหนา ดังรูป 1.7 การแยกตัวจะเกิดขึ้นอย่างฉับพลันจากบริเวณขอบแล้วขยายผลไปทั่วทั้งกำแพง การวิบัติในรูปแบบนี้พบเห็นได้ ในกรณีที่ผนังกว้างมากทำให้เกิดหน่วยแรงบีบอัด (Confined Stress) ทางด้านข้าง



รูป 1.7 ลักษณะการแยกตัวกลางระนาบของกำแพง (Middle Plane Spalling)
(ที่มา : Andreaus, 1996)

รูปแบบการวิบัติทั้ง 3 รูปแบบดังกล่าว ล้วนเกิดจากหน่วยแรงดึงในวัสดุทั้งสิ้น ดังนั้น คานเอ็นเสริมเหล็กซึ่งสามารถรับแรงดึงได้มากกว่า น่าจะช่วยยึดรั้งและมีผลช่วยลดการแยกตัวทางด้านข้าง นอกจากนี้ปูนกรอกในส่วนของคานเอ็นยังช่วยเพิ่มการยึดเหนี่ยวภายในบล็อก ส่งผลให้การเกิดการแตกกลางระนาบยากขึ้น การเสริมคานเอ็นจึงมีลักษณะเหมือนหนึ่งมีแรงทางด้านข้างกระทำกับกำแพงอีกแรงหนึ่งนั่นเอง

Shrive (1982) พบว่ากำลังของคอนกรีตบล็อกที่ก่อโดยวางปูนก่อเฉพาะเปลือกหน้า (Shell Face) ของบล็อก จะมีกำลังภายใต้น้ำหนักที่กระทำเยื้องศูนย์สูงกว่าน้ำหนักที่กระทำตรงศูนย์ เนื่องจากน้ำหนักที่กระทำตรงศูนย์จะทำให้เกิดหน่วยแรงดึงในส่วนแอมบล็อกสูงกว่าแบบเยื้องศูนย์ ทำให้บล็อกเกิดการแยกตัวในส่วนแอม (Web) ได้ง่าย กำลังแบกทานจึงต่ำกว่า ลักษณะการถ่ายแรงเฉพาะบริเวณเปลือกหน้าของบล็อกข้างต้นเรียกว่า Double Deep-Beam Action ซึ่งการถ่ายแรงในลักษณะดังกล่าวทำให้เกิดแรงดึงบนผิวบนและล่างของบล็อก ดังรูป 1.8



รูป 1.8 การวิบัติของบล็อกเมื่อวางปูนก่อเฉพาะเปลือกหน้า (Shell face) ของบล็อก
(ที่มา : Shrive, 1982)

Parsons (1931) หาค่ากำลังอัดสูงสุดของกำแพงคอนกรีตบล็อก โดยใช้สมการ 1.16

$$M = Kb\sqrt{mu} \quad \dots\dots\dots (1.16)$$

โดยที่

M = กำลังอัดของกำแพงคอนกรีตบล็อก

m = กำลังอัดของปูนก่อ

K = สัมประสิทธิ์ใช้ปรับค่ากำลังอัด เท่ากับ 1.0 โดยประมาณ

- b = สัดส่วนของพื้นที่หน้าตัดรับแรงอัดต่อพื้นที่หน้าตัดรวมในกรณีก่อบล็อกแบบแนวปูนก่อไม่เต็มหน้าตัด หรือสัดส่วนระหว่างพื้นที่หน้าตัดสุทธิต่อพื้นที่หน้าตัดรวมในกรณีที่ก่อแบบเต็มหน้า
- u = กำลังอัดของบล็อกต่อหน่วยพื้นที่หน้าตัดรวม

ในการออกแบบกำแพงคอนกรีตบล็อกทั่วไป Eurocode 6 (1995) ได้แนะนำสมการซึ่งใช้ในการหา กำลังอัดของกำแพงวัสดุก่อดังนี้

$$f_k = K(f_b)^{0.65} (f_m)^{0.25} \dots\dots\dots(1.17)$$

โดยที่

f_k = กำลังอัดของกำแพงวัสดุก่อ

K = ค่าคงที่มีค่าอยู่ระหว่าง 0.4-0.6

f_b = กำลังอัดของก้อนวัสดุก่อมาตรฐาน หาได้จาก $f'_b \times \left(\frac{h}{\sqrt{A}}\right)^{0.37}$

f'_b = กำลังของก้อนวัสดุก่อที่ใช้

h = ความสูงของก้อนวัสดุก่อ

A = พื้นที่ ที่รับแรง (Loaded Area)

สำหรับค่า K ที่ใช้ออกแบบ Eurocode 6 (1995) แนะนำให้ใช้ $K=0.6$ ในกรณีที่ก่อกำแพงแบบแผงเดี่ยว โดยความหนาของกำแพงเท่ากับความหนาของก้อนวัสดุก่อ

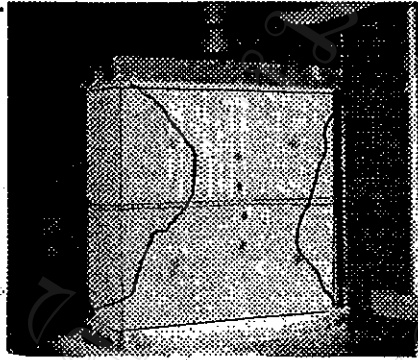
1.2.3 ผลการทดสอบการบีบอัดของปรีซึม

ประวัติ ตั้งสิริวัฒนากุล (2526) ทำการทดสอบปรีซึมคอนกรีตบล็อก โดยใช้คอนกรีตบล็อกขนาด 3, 4, 6 และ 8 นิ้ว พบว่าความเครียดสูงสุดของปรีซึมคอนกรีตบล็อก แบบไม่กรอกปูนมีค่าอยู่ระหว่าง 0.0024 ถึง 0.0034 สำหรับปรีซึมคอนกรีตบล็อกที่กรอกปูนจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.001 ถึง 0.0020 นอกจากนี้ยังพบว่าลักษณะการแตกร้าวของปรีซึมคอนกรีตบล็อกที่ไม่เสริมเหล็กจะมีลักษณะเป็นแนวยาวตามแนวดิ่ง เนื่องจากแรงดึงทางด้านข้าง

Drysdale et al. (1993) ทำการทดสอบปรีซึมของคอนกรีตบล็อกพบว่า การแตกร้าวของปรีซึมวัสดุก่อ เกิดเนื่องมาจากหน่วยแรงดึงแยก ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในข้างต้น แต่มีอิทธิพลของการจับยึดที่ปลายเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย ทำให้รูปแบบการแตกร้าวที่เกิดขึ้นแบ่งเป็น 2 รูปแบบ คือ

ก. การแตกร้าวเนื่องจาก แรงเฉือน (Shear Failure) จะเกิดขึ้นในกรณีที่การจับยึดที่ปลายของวัสดุตัวอย่างมีความเสียดทานสูง ดังรูป 1.9 ซึ่งผลของการจับยึดดังกล่าวนี้จะกล่าวในรายละเอียดต่อไป

ข. การแตกร้าวเนื่องจากการปริแยกของก้อนอิฐในแนวตั้งลักษณะเช่นนี้จะพบเห็นได้ทั่วไปในกรณีที่มีการจับยึดที่ปลายของวัสดุตัวอย่างมีความเสียดทานน้อยมาก ดังรูป 1.10



รูป 1.9 การแตกร้าวของปริซึมคอนกรีตบล็อก ในกรณีที่ปลายมีการยึดรั้งด้วยแรงเสียดทาน
(ที่มา : Drysdale et al., 1993)



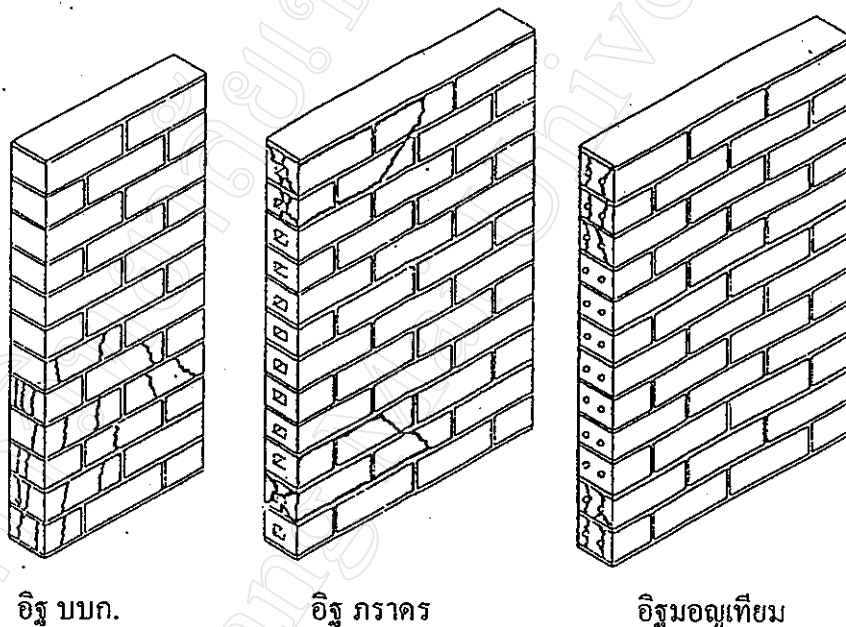
รูป 1.10 การแตกร้าวของปริซึมคอนกรีตบล็อก ในกรณีที่ปลายไม่มีการยึดรั้งด้วยแรงเสียดทาน
(ที่มา : Drysdale et al., 1993)

1.2.4 ผลการทดสอบการวิบัติของกำแพง

Department of Scientific and Industrial Research Building Research Station (1974) ทำการทดสอบพฤติกรรมของกำแพงอิฐเต็มแผ่น โดยมีเหล็กเสริม (Wall Ties) ยึดทางด้านหน้าของกำแพง ผลการทดสอบพบว่า รอยร้าวของกำแพงอิฐเริ่มเกิดขึ้นจาก Head joint บริเวณด้านบนของกำแพงก่อนแล้วจึงค่อยขยายตัวลงมาทางด้านล่างในแนวตั้ง รอยร้าวเริ่มต้น (First Crack) เกิดขึ้นในช่วงน้ำหนักบรรทุก 50% ถึง 75% ของน้ำหนักประลัยเมื่อน้ำหนักแบบตรงศูนย์ และเมื่อน้ำหนักแบบเอียงศูนย์ ที่ระยะเอียงศูนย์เท่ากับ $1/6$ เท่าของความหนาของกำแพง รอยร้าวเริ่มต้น (First

Crack) เกิดขึ้นเมื่อน้ำหนักบรรทุกประมาณ 81% ของน้ำหนักประลัย และกำลังอัดที่ได้มีค่าประมาณ 78 % ของกำลังอัดเมื่อทดสอบแบบตรงศูนย์ นอกจากนี้ยังพบว่า กำแพงตัวอย่างส่วนใหญ่ มีการขยายตัวทางด้านหน้าของกำแพงในส่วนบนสูงกว่าส่วนกลางและส่วนล่างอีกด้วย

อนุเทพ แช่วระกูล (2538) ทำการทดสอบกำลังรับแรงอัดในระนาบตั้งของกำแพงอิฐท้องถิ่น 3 ชนิดคือ อิฐ บบก. อิฐ ภารคร และ อิฐมอญเทียม พบว่ารูปแบบการวิบัติของอิฐดังกล่าว เกิดจาก การรูดของแนวปูนก่อ การแตกร้าวของอิฐและการปริแยกของแนวปูนก่อ และการแตกกลางระนาบของกำแพงร่วมกัน ดังรูป 1.11 การแตกกลางระนาบที่เกิดขึ้นจะไม่เด่นชัดเนื่องจากอิฐมีรูกลวงการแตกจะเกิด ณ ตำแหน่งที่มีรูกลวง นอกจากนี้บางตัวอย่างมีการแตกตัวกลางระนาบหลายแนวอีกด้วย



รูป 1.11 ลักษณะการวิบัติของกำแพงซึ่งก่อจากอิฐท้องถิ่น
(ที่มา : อนุเทพ , 2538)

1.2.5 ผลของการยึดเหนี่ยวด้านข้าง

Drysdale และ Hamid (1984) กล่าวว่าแรงทางด้านข้างที่กระทำกับวัสดุแล้วส่งผลต่อความสามารถในการรับแรงในแนวตั้งวัสดุนั้น สามารถอธิบายจากเงื่อนไขการวิบัติของ Saint Venant โดยสมมติกำแพงเป็นวัสดุยืดหยุ่นแบบสมบูรณ์ (Linear Elastic Material) และวัสดุจะวิบัติก็ต่อเมื่อ ค่าความเครียดของวัสดุเกินค่าความเครียดประลัย ในที่นี้แทนด้วย ϵ_u จากความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด เมื่อพิจารณาใน 2 มิติ จะได้ว่า

$$\varepsilon_p = \frac{\sigma_p}{E_p} - \nu_{np} \frac{\sigma_n}{E_n} \quad \dots\dots\dots(1.17)$$

$$\varepsilon_n = \frac{\sigma_n}{E_n} - \nu_{pn} \frac{\sigma_p}{E_p} \quad \dots\dots\dots(1.18)$$

โดยที่

ε_n = ความเครียดในแนวดิ่ง

ε_p = ความเครียดในแนวราบ

E_n = โมดูลัสยืดหยุ่นในแนวดิ่ง

E_p = โมดูลัสยืดหยุ่นในแนวตั้ง

ν_{np} = อัตราส่วนปัวของแนวราบเนื่องจากในแนวดิ่ง

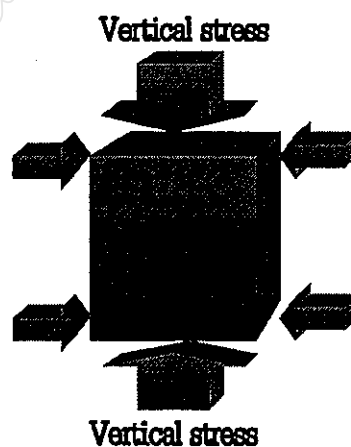
ν_{pn} = อัตราส่วนปัวของแนวดิ่งเนื่องจากในแนวราบ

σ_n = หน่วยแรงในแนวดิ่ง

σ_p = หน่วยแรงในแนวราบ

จากสมการทั้งสองนี้เราจะพบว่าเมื่อหน่วยแรงอัดแนวราบเพิ่มขึ้น ทำให้สามารถเพิ่มหน่วยแรงอัดแนวดิ่งได้มากขึ้นตามไปด้วย ตราบใดที่ ε_p และ ε_n ยังมีค่าไม่เกิน ε_u วัสดุก็ยังไม่วิบัติ ถ้าพิจารณามิติที่ 3 ด้วย หน่วยแรงอัดในระนาบราบอีกระนาบหนึ่ง ก็จะช่วยให้สามารถเพิ่มหน่วยแรงอัดแนวดิ่งได้มากขึ้นเช่นเดียวกัน

แต่อย่างไรก็ดี ในกรณีที่มีแรงอัดกระทำในแนวราบเป็นบางจุด ดังรูป 1.12 สมการของ Saint Venant ซึ่งพิจารณาในกรณีที่ มีหน่วยแรงแผ่กระจายคงที่ ไม่สามารถใช้คาดคะเน พฤติกรรมดังกล่าวได้



รูป 1.12 ลักษณะของวัสดุเมื่อมีแรงในแนวราบกระทำเป็นบางจุด

เราพบว่ารูปแบบของแรงที่กระทำทางด้านข้าง ดังในรูป 1.12 มีลักษณะใกล้เคียงกับพฤติกรรมของวัสดุที่ใช้ทดสอบกำลังรับแรงอัดที่มี การฉาบคลุม (Capping) และมีแรงยึดเหนี่ยวที่ปลายสูง

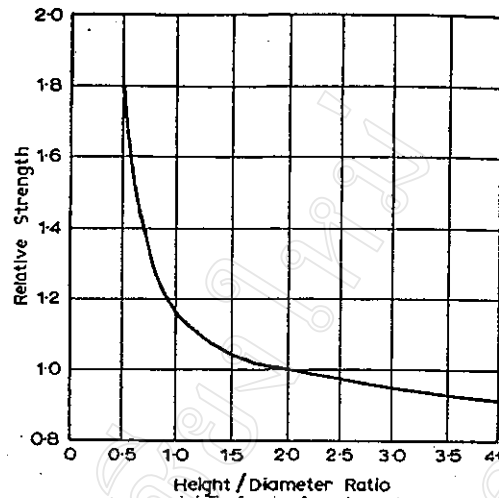
Neville (1981) ทำการศึกษาถึงการวิบัติของแท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอก ภายใต้แรงอัด พบว่า เมื่อกระทำการให้แรงอัดแก่แท่งคอนกรีต แท่งคอนกรีตจะพยายามขยายตัวออกทางด้านข้างโดยรอบ เนื่องจากผลของอัตราส่วนปัวซอง แต่บริเวณปลายของแท่งคอนกรีต ซึ่งสัมผัสอยู่กับแผ่นโลหะที่ใช้กดไม่สามารถขยายตัวได้เนื่องจากความเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสของแผ่นโลหะและแท่งคอนกรีต แรงเสียดทานนี้จะไปต้านทานกับแรงดึงที่ทำให้เกิดการปริแยกทางด้านข้าง ทำให้รูปแบบการวิบัติของแท่งคอนกรีตเปลี่ยนไป ถ้าไม่มีแรงเสียดทานที่ปลายทั้งสองด้าน การวิบัติจะปริแยกเป็นแนวตรงตลอดความยาวของแท่ง แต่เนื่องจากแรงเสียดทานดังกล่าวทำให้ลักษณะการวิบัติที่ได้เป็นรูปกรวย ดังรูป 1.13



รูป 1.13 ลักษณะการวิบัติเนื่องจากมีแรงเสียดทานที่ปลาย

บริเวณที่เป็นกรวยดังกล่าว เป็นบริเวณที่แรงเสียดทานที่ปลายมีอิทธิพลไปถึง จากการศึกษาพบว่า ส่วนที่เป็นกรวยจะมีความสูงประมาณ $\frac{\sqrt{3}}{2}$ เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลาง (d) ดังนั้น สำหรับแท่งคอนกรีตที่มีความสูงมากกว่า $1.7d$ จะเห็นรอยปริแยก เนื่องจากแรงดึงแยก (Tensile Splitting) และอิทธิพลของแรงเสียดทานก็จะน้อยลงไป เมื่ออัตราส่วน h/d มีค่าเพิ่มขึ้น สำหรับกรณี que แท่งคอนกรีตมีความสูงต่ำกว่า $1.5d$ อิทธิพลของแรงเสียดทานจะทำให้แท่งคอนกรีตสามารถรับแรงได้สูงขึ้นมาก ดังรูป 1.14

คานเอ็นที่อยู่บนกำแพงเป็นองค์ประกอบหนึ่งที่ทำให้เกิดแรงเสียดทานซึ่งเป็นแรงหักล้างกับแรงดึงแยก (Tensile Splitting) ของกำแพง ย่อมจะทำให้รูปแบบการวิบัติของกำแพงเปลี่ยนไปเช่นเดียวกับแท่งคอนกรีตทดสอบ ส่งผลให้ กำแพงรับน้ำหนักได้มากขึ้น



รูป 1.14 ความสัมพันธ์ระหว่าง h/d และกำลังของคอนกรีตรูปทรงกระบอก
(ที่มา : Neville, 1981)

Mayes และ Clough (1975) ศึกษาอิทธิพลของการฉาบคลุม (Capping) ส่วนบนของตัวอย่างทดสอบโดยวัสดุต่าง ๆ พบว่า ถ้าทำการฉาบคลุมด้วยวัสดุที่มีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นสูงกว่า จะทำให้ชิ้นตัวอย่างทดสอบสามารถรับแรงได้มากขึ้น เนื่องจากหน่วยแรงดึงในวัสดุทดสอบจะถูกถ่ายสู่วัสดุที่ฉาบคลุม (Capping) แต่ถ้าใช้วัสดุฉาบคลุมที่มีค่าโมดูลัสต่ำกว่า จะทำให้เกิดแรงดึงในตัวอย่างทดสอบ อาจเกิดการปริแยกเนื่องจากหน่วยแรงดึง (Tensile Splitting) ได้ นอกจากนี้ ยังพบว่า ความสูงของวัสดุที่ใช้ทดสอบยิ่งมากขึ้นเท่าใด อิทธิพลของการฉาบคลุมก็จะยิ่งลดน้อยลงไปด้วย ดังนั้น ถ้าเราเปรียบเทียบเอ็นแสม์กับวัสดุฉาบคลุมอย่างหนึ่ง เนื่องจากเอ็นแสม์มีโมดูลัสยืดหยุ่นสูงกว่าบล็อกในแถวอื่น ดังนั้น จึงน่าจะทำให้กำแพงรับน้ำหนักได้มากขึ้น แต่ทั้งนี้ทั้งนั้น ระยะระหว่างคานเอ็นแสม์แต่ละอัน ก็จะส่งผลถึงอิทธิพลของกำแพงต่างกันไปด้วย

Boult (1979) ทำการทดลองโดยใช้สัดส่วนความสูงต่อความหนาของคอนกรีตบล็อก (h/t) เป็นตัวแปร พบว่า เมื่อสัดส่วน h/t มีค่าอยู่ระหว่าง 1-3 ผลของการยึดที่ปลายจะเพิ่มกำลังจากการทดสอบให้สูงขึ้น เมื่อสัดส่วน h/t มีค่าสูงขึ้น ระหว่าง 3-5 การยึดเหนี่ยวที่ปลายจะมีผลน้อยลง และเมื่อ h/d มีค่า 5-12 การยึดที่ปลายจะไม่มีผลต่อกำลังของกำแพงเลย

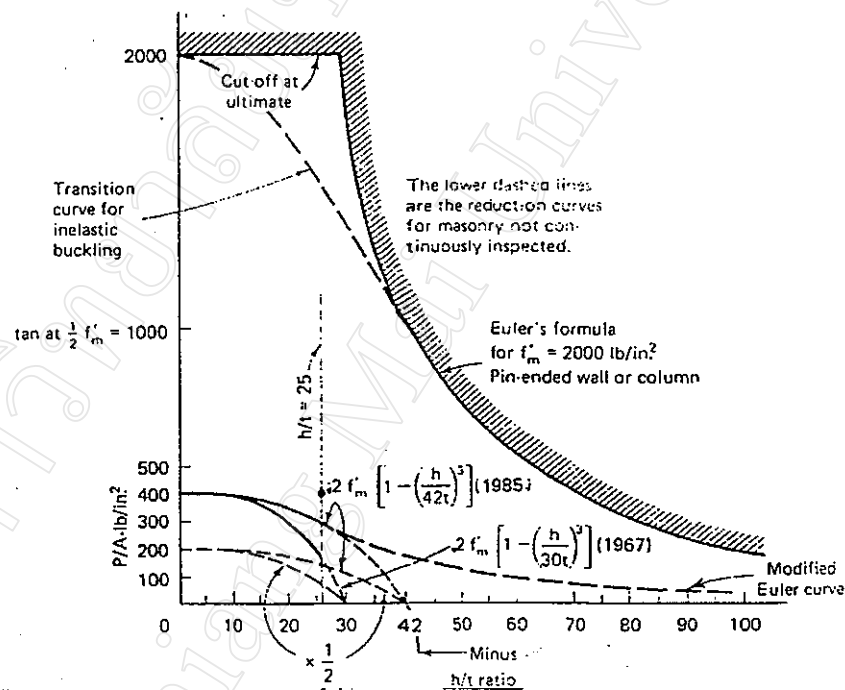
1.2.6 ผลของความชะลูดของกำแพง

Bradshaw (1965) ได้ทำการทดสอบอิทธิพลของการยึดที่ปลายที่ความชะลูดต่าง ๆ กันต่อกำลังรับน้ำหนักของกำแพง พบว่า เมื่อก่อบล็อกขนาด $9 \times 9 \times 9$ นิ้ว เพียงหลักเดียว กำลังรับน้ำหนักของบล็อกที่ก่อบล็อกที่จันทกระทั้งวางเรียงกันได้ 4 ก่อบล็อก เมื่อสูงกว่านั้นอิทธิพลของการยึดที่

ปลายจะไม่มีผล และเมื่อก่อด้วยบล็อกขนาดเดียวกัน โดยเรียงกัน 2 และ 3 หลัก็ ปรากฏว่า ความ
 ละเอียด (h/d) ที่ทำให้อิทธิพลของการยึดที่ปลายไม่มีผลต่อกำลังมีค่าประมาณ 5 เท่ากัน

อนุเทพ แชนวระกุล (2538) พบว่าอัตราส่วนความละเอียด ตั้งแต่ 9.00 ขึ้นไปจะมีผล
 ทำให้กำลังรับแรงอัดของกำแพงอิฐลดลง

นอกจากนี้ The Uniform Building Code (UBC) ยังได้ระบุข้อกำหนดในการออกแบบ
 แบบว่าค่าความละเอียดของกำแพง (h/t) ไม่เกิน 25 จะไม่มีผลกระทบต่อความสามารถในการรับแรง
 อัดของกำแพง ถ้ากำแพงมีความละเอียดอยู่ในช่วงดังกล่าว ไม่จำเป็นต้องใช้ตัวคูณ เพื่อลดกำลังในการ
 ออกแบบ ค่าความสัมพันธ์ระหว่างความละเอียดกับกำลังของกำแพงแสดง ดังรูป 1.15



รูป 1.15 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างความละเอียดกับกำลังของกำแพง

(ที่มา : Schneider and Dickey, 1994)

1.3 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.3.1 ศึกษาพฤติกรรมของกำแพงคอนกรีตบล็อก เมื่อมีคานเอ็นเข้ามาเป็นองค์ประกอบในกำแพง

1.3.2 ศึกษาอิทธิพลของคานเอ็นในกำแพงคอนกรีตบล็อก เมื่อความห่างของคานเอ็น แตกต่างกัน

1.4 ขอบเขตและแนวคิดของการศึกษา

ในการวิจัยนี้จะศึกษาเฉพาะในกรณีที่กำแพงรับน้ำหนักบรรทุกทุกแผ่นกระจายสม่ำเสมอในแนวแกน แบบตรงศูนย์เท่านั้น โดยมีรายละเอียดดังนี้

1.4.1 มีคานเอ็นในส่วนบนสุดและส่วนล่างสุดของกำแพงคอนกรีตบล็อกทุกตัวอย่าง เพื่อจำลองสภาพที่ใกล้เคียงกับผนังอาคารจริง ซึ่งด้านล่างจะก่อบนคานและด้านบนมีคานเอ็นยึด

1.4.2 ฝีมือการทำงานของช่างปูนใกล้เคียงกับสภาพจริงโดยใช้ช่างปูนท้องถิ่นซึ่งมีความชำนาญในการก่อกำแพงคอนกรีตบล็อก

1.4.3 ทำการศึกษาโดยใช้ซีเมนต์บล็อกท้องถิ่นซึ่งมีขนาด 29x15x14 cm.

1.5 ประโยชน์ที่จะได้รับจากการศึกษา

1.5.1 ทราบถึงพฤติกรรมของกำแพงคอนกรีตบล็อก เมื่อมีคานเอ็นเข้ามาเป็นองค์ประกอบในกำแพง

1.5.2 ทราบอิทธิพลของคานเอ็นในกำแพงคอนกรีตบล็อก เมื่อความห่างของคานเอ็นในกำแพง แตกต่างกัน

1.5.3 ข้อมูลจากการศึกษาจะเป็นพื้นฐานในการพัฒนาแนวทางการออกแบบกำแพงคอนกรีตบล็อกให้มีความมั่นคงปลอดภัยและประหยัดต่อไป