

พฤติกรรมทางกลของผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อ
ภายใต้แรงกดอัดและแรงดัด

นาย สิทธิชัย เลิศวิชัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ปีการศึกษา 2546

ISBN 974-533-306-9

**MECHANICAL BEHAVIOR OF MORTARLESS
REINFORCED CONCRETE MASONRY WALL
UNDER AXIAL AND FLEXURAL LOAD**

Mr. Sittichai Lertwichai

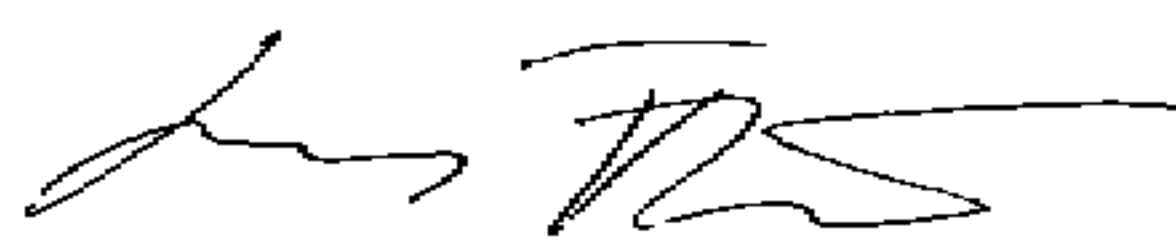
**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of Engineering in Civil Engineering
Suranaree University of Technology
Academic Year 2003
ISBN 974-533-306-9**

พฤติกรรมทางกลของผนังคอนกรีตเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อภายใต้
แรงกดอัดและแรงคด

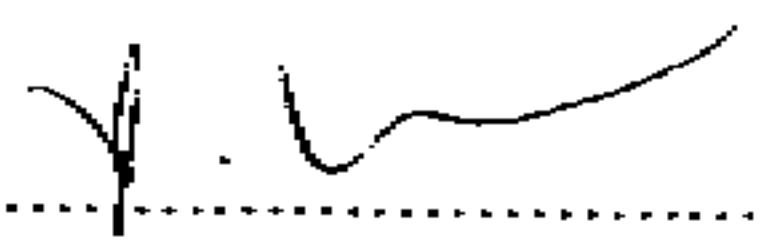
MECHANICAL BEHAVIORS OF MORTARLESS REINFORCED
CONCRETE MASONRY WALL UNDER AXIAL AND
FLEXURAL LOAD

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการ
ศึกษาด้านหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มงคล จีระวงศ์)
ประธานกรรมการ



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สิทธีชัย แสงอาทิตย์)
กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)



(รองศาสตราจารย์ ดร. อำนาจ อภิชาติवलลภ)
กรรมการ



(อาจารย์ ดร. ทนงศักดิ์ พิศาลสิน)
กรรมการ



(รองศาสตราจารย์ น.ท. ดร. สราวุฒิ สุจิตจร)
รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ



(รองศาสตราจารย์ น.อ. ดร. วรพจน์ จำพิศ)
คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

สิทธิชัย เลิศวิชัย : พฤติกรรมทางกลของผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อภายใต้
แรงกดอัดและแรงดัด (MECHANICAL BEHAVIORS OF MORTARLESS
REINFORCED CONCRETE MASONRY WALL UNDER AXIAL AND FLEXURAL
LOAD) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สิทธิชัย แสงอาทิตย์, 127 หน้า
ISBN 974-533-306-9

วิทยานิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษาพฤติกรรมการรับแรงกดอัดในแนวแกนและแรงดัด
ที่กระทำกับผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อ เปรียบเทียบแรงกดอัดและแรงดัดสูงสุดกับ
สมการออกแบบผนังวัสดุก่อเสริมเหล็กของ ACI และของ Australian Standard และเสนอสมการที่
เหมาะสมสำหรับการออกแบบผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อ ตัวแปรที่ใช้ในการ
ศึกษาแรงกดอัดของผนังประกอบด้วย อัตราส่วนความชะลูดของผนัง อัตราส่วนเหล็กเสริม และรูป
แบบการกรอกปูนกรอก ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาแรงดัดของผนังประกอบด้วย ระยะห่างระหว่างจุด
รองรับ อัตราส่วนเหล็กเสริม และรูปแบบการกรอกปูนกรอก

ผลการวิจัยพบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดอัดกับระยะหัดตัวในแนวแกนของผนัง
คอนกรีตบล็อกโดยส่วนใหญ่เป็นเส้นตรงถึง 65-80 เปอร์เซ็นต์ของแรงกดอัดสูงสุด การเพิ่มขึ้นของ
อัตราส่วนเหล็กเสริม และรูปแบบการกรอกปูนกรอกที่ใช้ในงานวิจัย ไม่ทำให้กำลังรับแรงกดอัด
ของผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ผนังที่ทดสอบมีอัตราส่วนความปลอดภัย
ของแรงกดอัดเมื่อเทียบกับสมการออกแบบของ ACI อยู่ในช่วง 2.45 ถึง 3.66 และอยู่ในช่วง 1.44 ถึง
2.87 เมื่อเทียบกับ Australian Standard

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัดกับการโก่งตัวทางด้านข้างเป็นแบบเส้นตรงสองช่วง การเพิ่ม
ขึ้นของอัตราส่วนเหล็กเสริมที่ใช้ในงานวิจัย ทำให้กำลังรับแรงดัดของผนังคอนกรีตบล็อกเพิ่มขึ้น
โดยเฉลี่ยประมาณ 33 เปอร์เซ็นต์ และการเพิ่มปูนกรอกจากกรอกปูนกรอกช่องเว้นช่องเป็นกรอก
ปูนกรอกทุกช่อง ทำให้กำลังรับแรงดัดของผนังคอนกรีตบล็อกเพิ่มขึ้น โดยเฉลี่ยประมาณ 65
เปอร์เซ็นต์ ผนังที่ทดสอบมีอัตราส่วนความปลอดภัยของแรงดัดเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 2.23 ถึง 4.59 เมื่อเทียบ
กับสมการของ ACI และ 1.34 ถึง 2.97 เมื่อเทียบกับสมการของ Australian Standard

นอกจากนั้นแล้ว สมการที่เหมาะสมในการออกแบบผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้
ปูนก่อได้ถูกเสนอในงานวิจัยนี้ด้วย

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

ปีการศึกษา 2546

ลายมือชื่อนักศึกษา.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

SITTICHAI LERTWICHAI : MECHANICAL BEHAVIORS OF
MORTARLESS REINFORCED CONCRETE MASONRY WALL UNDER
AXIAL AND FLEXURAL LOAD.

THESIS ADVISOR : ASST. PROF. SITTICHAI SEANGATITH, Ph.D.

127 PP. ISBN 974-533-306-9

AXIAL LOAD/FLEXURAL LOAD/MORTARLESS REINFORCED CONCRETE MASONRY WALL

The objectives of this research were to study the behaviors of mortarless reinforced concrete masonry walls under axial and flexural load, to compare the ultimate axial and flexural strengths with the design strengths given by ACI and Australian Standard and to propose appropriate design equations. The parameters studied were slenderness ratio, steel reinforcement ratio and pattern of grouting for axial load and span length, steel reinforcement ratio and pattern of grouting for flexural load.

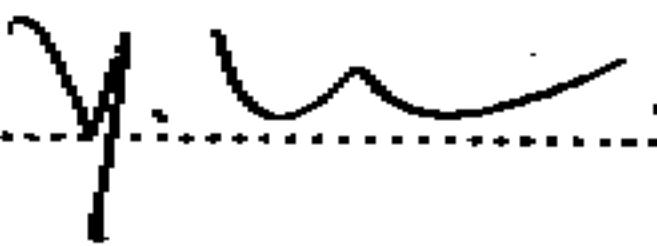
It was found that the relationship between axial load and axial deformation was linear up to 65-80 percent of ultimate load . Increasing the steel reinforcement ratio or increasing the grouting within the scope of study from partial to full grouting had little effect on the ultimate strength. The tested walls had factors of safety between 2.45 to 3.66 compared to design strength given by ACI standard, and between 1.44 to 2.87 compared to design strength given by Australian standard.

The relationship between the flexural load and the lateral deflection was bilinear. Increasing the steel reinforcement ratio increased the ultimate flexural strength by about 33 percent and increasing the grouting from partial to full grouting increased the flexural strength by 63 percent. The tested walls had factors of safety between 2.23 to 4.59 compared to design strength given by ACI standard and between

1.34 to 2.97 compared to design strength given by Australian standard.

In addition, equations for designing mortarless reinforced concrete masonry walls under axial and flexural load were proposed from this research work.

School of Civil Engineering
Academic Year 2003

Student's Signature.....
Advisor's Signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บุคคล และกลุ่มบุคคลต่างๆ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ ช่วยเหลือ อย่างดียิ่ง ทั้งในด้านวิชาการและด้านการดำเนินงานวิจัย อาทิเช่น

- ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สิทธิชัย แสงอาทิตย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
- รองศาสตราจารย์ ดร. อำนาจ อภิชาติวัฒนกุล อาจารย์ ดร. ทนงศักดิ์ พิศาลสิน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มงคล จิรวรรณเดช อาจารย์ ดร. ฉัตรชัย โชติขยงกูร อาจารย์ ดร. สุขสันต์ หอพิบูลสุข อาจารย์ เชาวน หิรัญดิยะกุล อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
- คุณดิงศักดิ์ เหลืองเจริญทิพย์ คุณจิระ วงศ์พรหม คุณสวัสดิ์ เกตุสระน้อย คุณวิชาญ วีระชัยสุนทร คุณไชยา ยอดโลกสูง คุณสมนึก คงกลาง คุณนรงค์ เขียวสูงเนิน และคุณจิรวัฒน์ ด้านทองหลวง เจ้าหน้าที่ศูนย์เครื่องมือ ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำมาโดยตลอด
- คุณสายฝน มานิมนต์ และคุณณัฐญา กิ่งโคกกรวด ที่ช่วยเหลือเกี่ยวกับการติดต่อประสานงาน และอนุเคราะห์วัสดุที่จำเป็นในการดำเนินงานวิจัย
- คุณประสิทธิ์ ศรีภิรมย์ คุณอดิวัฒน์ วิมุตตะสูงวิริยะ คุณพรพิไล กิติรัตนตระการ คุณอมรรัตน์ สุริยวิจิตรเสรณี คุณศรัณย์ กำจัดโรค และคุณสิวฤทธิ์ หิรัญเรือง เพื่อนร่วมเรียนระดับปริญญาโทที่ให้อำนาจกำลังใจ กำลังกาย และให้คำปรึกษามาโดยตลอด
- คุณชัชชนก นวลฉิมพลี คุณธนาพร บุญมี คุณจักษดา ธำรงวุฒิ และบุคคลอื่นที่ได้ให้อำนาจกำลังใจและช่วยเหลือด้วยดีมาโดยตลอด
- ขอขอบพระคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้ทุนสนับสนุนในการทำวิจัย

ท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และญาติๆ ทุกคนที่ให้การอุปการะเลี้ยงดูอบรมและส่งเสริมการศึกษาเป็นอย่างดีตลอดมาในอดีต ทำให้ผู้วิจัยมีความรู้ ความสามารถ มีจิตใจที่เข้มแข็งและช่วยเหลือตัวเองได้จนประสบความสำเร็จในชีวิตตลอดมา

สิทธิชัย เลิศวิชัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป.....	ฉ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ค
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย.....	4
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
2 ปรัชญ่วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 บทนำ.....	6
2.2 ประวัติความเป็นมาและวิวัฒนาการของคอนกรีตบล็อก.....	6
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	7
2.4 สมการออกแบบผนังคอนกรีตบล็อกภายใต้แรงกดอัดในแนวแกน.....	11
2.4.1 สมการออกแบบผนังคอนกรีตบล็อกไม่เสริมเหล็ก	11
2.4.2 สมการออกแบบผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็ก.....	12
2.5 สมการออกแบบผนังคอนกรีตบล็อกภายใต้แรงดัด	14
2.5.1 สมการวิเคราะห์กำลังรับแรงดัดของผนังแบบกรอกปูนกรอกทุกช่อง และมีเฉพาะเหล็กเสริมรับแรงดัด	15

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.5.2	การวิเคราะห์กำลังรับแรงดัดของผนังแบบกรอกปูนกรอกทุกช่อง และมีเหล็กเสริมรับแรงอัด	16
2.5.3	การวิเคราะห์กำลังรับแรงดัดของผนังแบบกรอกปูนกรอกช่องเว้นช่อง และมีเฉพาะเหล็กเสริมรับแรงดึง.....	18
2.5.4	สมการออกแบบผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กภายใต้แรงดัด ของ Australian Standard AS3700-1998.....	20
2.6	สรุป	20
3	วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	22
3.1	บทนำ.....	22
3.2	การวิเคราะห์กำลังรับแรงดัดของผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อ แบบกรอกปูนกรอกช่องเว้นช่องและมีเหล็กเสริมรับแรงอัด.....	23
3.3	ตัวแปรที่ใช้ในงานวิจัย	30
3.3.1	อัตราส่วนความชะลูด.....	30
3.3.2	อัตราส่วนเหล็กเสริม	30
3.3.3	รูปแบบการกรอกปูนกรอก.....	31
3.4	การทดสอบคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย	31
3.4.1	การทดสอบหาลังรับแรงกดอัดของปูนกรอก	31
3.4.2	การทดสอบคุณสมบัติของเหล็กเส้นภายใต้แรงดึง	31
3.4.3	การทดสอบกำลังรับแรงกดอัดของคอนกรีตบล็อก	31
3.4.4	การทดสอบกำลังรับแรงกดอัดของปริซึมคอนกรีตบล็อก.....	31
3.5	การก่อสร้างผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อที่ใช้ในงานวิจัย.....	32
3.6	การทดสอบกำลังรับแรงกดอัดของผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อ	33
3.6.1	วัตถุประสงค์การทดสอบ	34
3.6.2	ตัวอย่างการทดสอบ.....	34
3.6.3	ขั้นตอนการทดสอบ	35

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.7 การทดสอบกำลังรับแรงค้ำของผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อ	37
3.7.1 วัตถุประสงค์การทดสอบ	37
3.7.2 ตัวอย่างการทดสอบ.....	37
3.7.3 ขั้นตอนการทดสอบ.....	39
4. ผลการศึกษา.....	41
4.1 บทนำ.....	41
4.2 ผลการทดสอบวัสดุที่ใช้ในการศึกษา.....	41
4.2.1 ผลการทดสอบค่ายุบตัวของปูนกรอก	41
4.2.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติของเหล็กเส้นภายใต้แรงดึง.....	41
4.2.3 ผลการทดสอบกำลังรับแรงกดอัดของปูนกรอก.....	44
4.2.4 ผลการทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตบล็อก	45
4.2.5 ผลการทดสอบกำลังรับแรงกดอัดของปริซึมคอนกรีตบล็อกไร้ปูนก่อ.....	47
4.3 ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อ	
ภายใต้แรงกดอัดในแนวแกน	49
4.3.1 พฤติกรรมการรับแรงกดอัดของผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบ	
ไร้ปูนก่อภายใต้แรงกดอัดในแนวแกน.....	49
4.3.2 รูปแบบการวิบัติของผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อภายใต้	
แรงกดอัดในแนวแกน	54
4.3.3 คุณสมบัติทางกลของผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อภายใต้	
แรงกดอัดในแนวแกน	55
4.3.4 ผลของอัตราส่วนความชะลูดของผนังต่อกำลังรับแรงกดอัดสูงสุดของ	
ผนัง	57
4.3.5 ผลของอัตราส่วนเหล็กเสริมต่อกำลังรับแรงกดอัดสูงสุดของผนัง	59
4.3.6 ผลของรูปแบบการกรอกปูนกรอกต่อกำลังรับแรงกดอัดสูงสุดของผนัง.....	59
4.3.7 ผลของอัตราส่วนเหล็กเสริมต่อความแข็งแรงของผนัง.....	59

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.3.8 ผลของรูปแบบการกรอกปูนกรอกต่อความแข็งแรงของผนัง	59
4.3.9 เปรียบเทียบค่าหน่วยแรงกดอัดสูงสุดที่ได้จากการทดสอบกับสมการออกแบบ ของ ACI และ สมการออกแบบของ Australian Standard	60
4.4 ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อ ใต้แรงค้ำ.....	64
4.4.1 พฤติกรรมการรับแรงค้ำของผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อ	64
4.4.2 รูปแบบการวิบัติของผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อ ใต้แรงค้ำ.....	67
4.4.3 คุณสมบัติทางกลของผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อ ภายใต้แรงค้ำ.....	69
4.4.4 ผลของอัตราส่วนเหล็กเสริมต่อกำลังรับแรงค้ำของผนังคอนกรีตบล็อกเสริม เหล็กแบบไร้ปูนก่อ	69
4.4.5 ผลของรูปแบบการกรอกปูนกรอกต่อกำลังรับแรงค้ำของผนังคอนกรีตบล็อก เสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อ	69
4.4.6 ผลของอัตราส่วนเหล็กเสริมต่อความแข็งแรงค้ำของผนังคอนกรีตบล็อกเสริม เหล็กแบบไร้ปูนก่อ	71
4.4.7 ผลของรูปแบบการกรอกปูนกรอกต่อความแข็งแรงค้ำของผนังคอนกรีตบล็อก เสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อ.....	72
4.4.8 เปรียบเทียบค่าโมเมนต์ค้ำสูงสุดที่ได้จากการทดสอบกับสมการออกแบบ ของ ACI และสมการออกแบบของ Australian Standard.....	73
5. บทสรุป	76
5.1 บทนำ	76
5.2 พฤติกรรมทางกลของผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อ ภายใต้แรงค้ำ	76

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.2.1	พฤติกรรมกรรับแรงกดอัดของผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็ก แบบไร้ปูนก่อภายใต้แรงกดอัด.....	76
5.2.2	ผลของรูปแบบการกรอกปูนกรอกต่อกำลังรับแรงกดอัดของผนังคอนกรีต บล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อ.....	76
5.2.3	ผลของอัตราส่วนเหล็กเสริมต่อกำลังรับแรงกดอัดของผนังคอนกรีตบล็อก เสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อ.....	77
5.2.4	ผลของตัวแปรที่ใช้ศึกษาต่อความแกร่งของผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็ก แบบไร้ปูนก่อ.....	77
5.2.5	การนำผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อไปใช้งาน ภายใต้แรงกดอัด	77
5.3	พฤติกรรมทางกลของผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อ ภายใต้แรงดัด	78
5.3.1	พฤติกรรมของผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อ ภายใต้แรงดัด	78
5.3.2	ผลของรูปแบบการกรอกปูนกรอกต่อกำลังรับแรงดัดของผนังคอนกรีต บล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อ	78
5.3.3	ผลของอัตราส่วนเหล็กเสริมต่อกำลังรับแรงดัดของผนังคอนกรีตบล็อก เสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อ	78
5.3.4	ผลของตัวแปรที่ใช้ศึกษาต่อความแกร่งดัดของผนังคอนกรีตบล็อก เสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อ	79
5.3.5	การนำผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อไปใช้งาน ภายใต้แรงดัด.....	79
5.4	ข้อจำกัดในงานวิจัย	79
5.5	ข้อเสนอแนะในงานวิจัยต่อไป	80
	เอกสารอ้างอิง	81

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก ผลการสอบเทียบเครื่องสูบไฮดรอลิก.....	84
ภาคผนวก ข วัสดุที่ใช้ก่อสร้างผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อ.....	86
ภาคผนวก ค การทดสอบวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย.....	100
ภาคผนวก ง ตารางแสดงคุณสมบัติต่างๆ ของวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย.....	114
ภาคผนวก จ แผนผังลำดับงานการวิเคราะห์กำลังรับแรงคดของผนัง.....	121
ประวัติผู้เขียน.....	127

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 รายชื่อตัวอย่างทดสอบและตัวแปรที่ใช้ในการทดสอบกำลังรับแรงกดอัดในแนวแกน	35
3.2 รายชื่อตัวอย่างทดสอบและตัวแปรที่ใช้ในการทดสอบกำลังรับแรงคด	39
4.1 คุณสมบัติทางกลของเหล็กเส้นภายใต้แรงดึง	42
4.2 คุณสมบัติทางกลของผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อภายใต้แรงกดอัด ในแนวแกน	56
4.3 ค่าหน่วยแรงกดอัดสูงสุดของผนังที่ได้จากการทดสอบและจากสมการออกแบบ	61
4.4 ค่าหน่วยแรงกดอัดสูงสุดของผนังที่ได้จากการทดสอบและจากสมการที่ปรับปรุง	63
4.5 คุณสมบัติทางกลของผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อภายใต้แรงคด	69
4.6 ค่าโมเมนต์สูงสุดของผนังที่ได้จากการทดสอบและจากสมการวิเคราะห์กำลังรับแรงคด ที่สร้างขึ้น	73
4.7 ค่าโมเมนต์สูงสุดของผนังที่ได้จากการทดสอบและจากสมการออกแบบผนัง คอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อภายใต้แรงคดที่เสนอ	74
ข.1 ค่าปริมาณความชื้นของคอนกรีตบล็อกประเภทไม่รับน้ำหนักและควบคุมความชื้น	91
ข.2 เกณฑ์ปริมาณความชื้นสำหรับคอนกรีตบล็อกประเภทรับน้ำหนักควบคุมความชื้น	92
ข.3 เกณฑ์กำหนดกำลังต้านทานและการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก	93
ข.4 อัตราส่วนผสมของปูนกรอกตามมาตรฐาน ASTM C476	98
ข.5 ความสูงมากที่สุดในการเทปูนกรอกของปูนกรอกแต่ละชนิดตามมาตรฐาน ACI	99
ง.1 ขนาดคละของทรายที่ใช้ในงานวิจัย	115
ง.2 ขนาดคละของหินที่ใช้ในงานวิจัย	116
ง.3 ค่าความชื้นเหลวปกติของปูนซีเมนต์	116
ง.4 ระยะเวลาการก่อตัวของปูนซีเมนต์ที่ใช้ในงานวิจัย	117
ง.5 กำลังรับแรงกดอัดของปูนกรอกที่ใช้ในงานวิจัย	118
ง.6 การดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกที่ใช้ในงานวิจัย	119
ง.7 พื้นที่หน้าตัดสุทธิของคอนกรีตบล็อก	120

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1	การก่อสร้างผนังรับน้ำหนักด้วยอิฐดินซีเมนต์.....2
1.2	รูปร่างของอิฐดินซีเมนต์.....2
1.3	ลักษณะการยัดชิดกันของอิฐดินซีเมนต์.....3
1.4	ลักษณะของผนังคอนกรีตบล็อกอัดแรง3
2.1	ลักษณะการถ่ายน้ำหนักที่กระทำเป็นจุดกับผนังกรอกปูนกรอก8
2.2	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงกดอัดในแนวแกนกับความเครียดในแนวแกน กับความเครียดในแนวแกนของ Dry-stacked masonry และ Mortar-jointed masonry9
2.3	รูปแบบการทดสอบและลักษณะของคอนกรีตบล็อกรูปแบบต่างๆ ใช้ในการศึกษา ของ Salzmann และคณะ10
2.4	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชะลูดกับ slenderness reduction factor ของผนัง12
2.5	ลักษณะหน้าตัดที่ใช้วิเคราะห์กำลังรับแรงดัดของผนังแบบกรอกปูนกรอกทุกช่อง และมีเฉพาะเหล็กเสริมรับแรงดึง15
2.6	ลักษณะหน้าตัดที่ใช้วิเคราะห์กำลังรับแรงดัดของผนังแบบกรอกปูนกรอกทุกช่อง และมีเหล็กเสริมรับแรงอัด17
2.7	ลักษณะหน้าตัดที่ใช้วิเคราะห์กำลังรับแรงดัดของผนังแบบกรอกปูนกรอกช่องเว้นช่อง และมีเฉพาะเหล็กเสริมรับแรงดึง18
3.1	แผนภูมิแสดงขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย.....23
3.2	แบบจำลองที่ใช้ในการคำนวณในทฤษฎีที่เสนอกรณีที่มีค่ามากกว่า d'24
3.3	แบบจำลองที่ใช้ในการคำนวณในทฤษฎีที่เสนอกรณีที่มีค่าน้อยกว่า d'29
3.4	ลักษณะการวางตัวของคอนกรีตบล็อกแบบเหลื่อมกัน.....33
3.5	เครื่องอัดไฮดรอลิกยี่ห้อ ENERPAC TM33
3.6	รูปแบบผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อนการทดสอบแรงกดอัด ในแนวแกน.....34

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.7 ลักษณะการติดตั้งตัวอย่างทดสอบผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อภายใต้แรงกดอัด.....	36
3.8 การติดตั้งเครื่องมือที่ใช้ทดสอบแรงอัดของผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อ.....	37
3.9 รูปแบบผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อในการทดสอบแรงค้ำ.....	38
3.10 ลักษณะการติดตั้งตัวอย่างทดสอบผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อภายใต้แรงค้ำ.....	40
3.11 การติดตั้งผนังตัวอย่างเข้ากับเครื่องทดสอบแรงค้ำของผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็ก.....	40
4.1 ความสัมพันธ์ของหน่วยแรงค้ำและความเครียดของเหล็กเส้นที่ใช้ในงานวิจัย.....	43
4.2 ลักษณะการวิบัติของเหล็กเส้นเสริมคอนกรีตภายใต้แรงค้ำ.....	43
4.3 ลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงกดอัดกับความเครียดของปูนกรอก.....	44
4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดของก้อนคอนกรีตบล็อก.....	46
4.5 ลักษณะการวิบัติของก้อนคอนกรีตบล็อกภายใต้แรงกดอัด.....	47
4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดของ ปริซึมคอนกรีตบล็อกไร้ปูนก่อ.....	48
4.7 ลักษณะการวิบัติของปริซึมคอนกรีตบล็อก.....	48
4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดอัดในแนวแกนกับระยะหัดตัวในแนวแกนของผนังที่มี อัตราส่วนเหล็กเสริม 0.0055 และ กรอกปูนกรอกช่องเว้นช่อง.....	50
4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดอัดในแนวแกนกับระยะหัดตัวในแนวแกนของผนังที่มี อัตราส่วนเหล็กเสริม 0.0047 และ กรอกปูนกรอกทุกช่อง.....	50
4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดอัดในแนวแกนกับระยะหัดตัวในแนวแกนของผนังที่มี อัตราส่วนเหล็กเสริม 0.0097 และ กรอกปูนกรอกช่องเว้นช่อง.....	51
4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดอัดในแนวแกนกับระยะหัดตัวในแนวแกนของผนังที่มี อัตราส่วนเหล็กเสริม 0.0083 และ กรอกปูนกรอกทุกช่อง.....	51
4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดอัดในแนวแกนกับการเปลี่ยนแปลงรูปร่างทางด้านข้างของ ผนังที่มีอัตราส่วนเหล็กเสริม 0.0055 และ กรอกปูนกรอกช่องเว้นช่อง.....	52

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดอัดในแนวแกนกับการเปลี่ยนแปลงรูปร่างทางด้านข้างของ ผนังที่มีอัตราส่วนเหล็กเสริม 0.0047 และ กรอกปูนกรอกทุกช่อง.....	52
4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดอัดในแนวแกนกับการเปลี่ยนแปลงรูปร่างทางด้านข้างของ ผนังที่มีอัตราส่วนเหล็กเสริม 0.0097 และ กรอกปูนกรอกช่องเว้นช่อง.....	53
4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดอัดในแนวแกนกับการเปลี่ยนแปลงรูปร่างทางด้านข้างของ ผนังที่มีอัตราส่วนเหล็กเสริม 0.0083 และ กรอกปูนกรอกทุกช่อง.....	53
4.16 ตัวอย่างลักษณะการวิบัติของผนังตัวอย่างชนิดกรอกปูนกรอกช่องเว้นช่อง.....	54
4.17 ตัวอย่างลักษณะการวิบัติของผนังตัวอย่างชนิดกรอกปูนกรอกทุกช่อง.....	55
4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงกดอัดในแนวแกนกับอัตราส่วนความชะลูด ของผนังแบบกรอกปูนกรอกช่องเว้นช่อง.....	58
4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงกดอัดในแนวแกนกับอัตราส่วนความชะลูด ของผนังแบบกรอกปูนกรอกทุกช่อง.....	58
4.20 ลักษณะการที่การกรอกปูนกรอกช่วยรับแรงกดอัดของผนัง.....	60
4.21 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงกดอัดและอัตราส่วนความชะลูดของผนังแบบ กรอกปูนกรอกช่องเว้นช่อง.....	63
4.22 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงกดอัดและอัตราส่วนความชะลูดของ ผนังแบบกรอกปูนกรอกทุกช่อง.....	64
4.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กระทำกับผนังกับการโก่งตัวทางด้านข้างที่กลาง ความสูงของผนังชุดที่มีอัตราส่วนเหล็กเสริม 0.0055 และ กรอกปูนกรอกช่องเว้นช่อง.....	65
4.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กระทำกับผนังกับการโก่งตัวทางด้านข้างที่กลาง ความสูงของผนังชุดที่มีอัตราส่วนเหล็กเสริม 0.0047 และ กรอกปูนกรอกทุกช่อง.....	66
4.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กระทำกับผนังกับการโก่งตัวทางด้านข้างที่กลาง ความสูงของผนังชุดที่มีอัตราส่วนเหล็กเสริม 0.0097 และ กรอกปูนกรอกช่องเว้นช่อง.....	66
4.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กระทำกับผนังกับการโก่งตัวทางด้านข้างที่กลาง ความสูงของผนังชุดที่มีอัตราส่วนเหล็กเสริม 0.0083 และ กรอกปูนกรอกทุกช่อง.....	67
4.27 ลักษณะของรอยบดแตกที่เกิดขึ้นในด้านรับแรงอัดของผนัง.....	68

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.28	ลักษณะการโค้งตัวทางด้านข้างภายใต้แรงดัด.....68
4.29	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์กับอัตราส่วนเหล็กเสริมที่ใช้ในงานวิจัย.....70
4.30	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความแรงแรงดัดกับอัตราส่วนเหล็กเสริมที่ใช้ในงานวิจัย.....70
4.31	รูปแบบของคานที่ถูกรองรับด้วยจุกรองรับอย่างง่ายและตำแหน่งของแรงกระทำที่ใช้ในการหาความแรงแรงดัด.....71
4.32	ลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงดัดสูงสุดที่คำนวณได้จากสมการออกแบบของ ACI และ Australian Standard กับอัตราส่วนเหล็กเสริม เทียบกับผลที่ได้จากการทดสอบ.....75
ก.1	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกที่ได้จากเครื่อง UTM กับความดันที่ได้จากเครื่องสูบไฮดรอลิก.....85
ข.1	ลักษณะของความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรง และความเครียดของเหล็กเส้นเสริมคอนกรีต.....89
ข.2	ความสัมพันธ์ของแรงกดอัดและค่าการหดตัวในแนวแกนของก้อนคอนกรีตบล็อก.....96
ข.3	ความสัมพันธ์ของแรงกดอัดและค่าการหดตัวในแนวแกนของปริซึมคอนกรีตบล็อก.....96
ค.1	UTM ยี่ห้อ SHIMADZU TM รุ่น UH-Series มีค่ากำลังทดสอบสูงสุด 200 ตัน.....102
ค.2	ช่องว่างที่มีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ถูกสร้างขึ้นโดยใช้คอนกรีตบล็อกเพื่อใช้เป็นแบบหล่อตัวอย่างทดสอบกำลังรับแรงกดอัดของปูนกรอก.....103
ค.3	ลักษณะของตัวอย่างทดสอบกำลังรับแรงกดอัดของปูนกรอก.....105
ค.4	UTM กำลังการทดสอบสูงสุด 120 ตัน.....108
ค.5	การติดตั้งเหล็กตัวอย่างทดสอบเข้ากับเครื่องทดสอบ UTM.....109
ค.6	ลักษณะของคอนกรีตบล็อกที่ใช้ในงานวิจัย.....111
ค.7	การติดตั้งคอนกรีตบล็อกเข้ากับเครื่องทดสอบ.....112
ค.8	การติดตั้งปริซึมคอนกรีตบล็อกเข้ากับเครื่องทดสอบ.....113
จ.1	แผนผังการวิเคราะห์กำลังรับแรงดัดของผนังแบบกรอกปูนกรอกทุกช่องและมีเฉพาะเหล็กเสริมรับแรงดึง.....122

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
จ.2	แผนผังการวิเคราะห์กำลังรับแรงดัดของผนังแบบกรอกปูนกรอกทุกช่องและมี เหล็กเสริมรับแรงอัด123
จ.3	แผนผังการวิเคราะห์กำลังรับแรงดัดของผนังแบบกรอกปูนกรอกทุกช่องและมี เฉพาะเหล็กเสริมรับแรงดึง124
จ.4	แผนผังการวิเคราะห์กำลังรับแรงดัดของผนังแบบกรอกปูนกรอกช่องเว้นช่องและมี เหล็กเสริมรับแรงอัด.....125

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

a_v	=	สัมประสิทธิ์ความชะลูด
A_b	=	พื้นที่วางปูนก่อของคอนกรีตบล็อก ตามข้อกำหนดของ AS3700-98 ข้อที่ 4.5.4
A_c	=	พื้นที่หน้าตัดของปูนกรอก ตามข้อกำหนดของ AS3700-98 ข้อที่ 4.5.7
A_n	=	พื้นที่หน้าตัดสุทธิของคอนกรีตบล็อกตามข้อกำหนดของ ACI 530-92 ข้อที่ 5.12
A_s	=	พื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริม
A'_s	=	พื้นที่ของเหล็กเสริมรับแรงอัด
A_{st}	=	พื้นที่หน้าตัดทั้งหมดของเหล็กเสริมในแนวแกน
b_e	=	ความกว้างประสิทธิผลของหน้าตัดผนัง
b_w	=	ความกว้างของช่องที่กรอกปูนกรอก
d	=	ระยะทางจากผิวนอกสุดของด้านที่รับแรงอัดของคอนกรีตถึงเหล็กรับแรงดึง
d'	=	ระยะทางจากผิวนอกสุดของด้านที่รับแรงอัดของคอนกรีตถึงเหล็กรับแรงอัด
E_g	=	โมดูลัสยืดหยุ่นของปูนกรอก
E_m	=	โมดูลัสยืดหยุ่นของวัสดุก่อ
E_s	=	โมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็กเสริม
EI	=	ความเกร็งคด
f_b	=	หน่วยแรงกดอัด รับโดยคอนกรีตบล็อก
f'_b	=	หน่วยแรงกดอัดในคอนกรีตบล็อกที่ตำแหน่งเหล็กเสริมรับแรงอัด
f'_{cg}	=	กำลังรับแรงกดอัดของปูนกรอก
f'_{uc}	=	กำลังรับแรงกดอัดของคอนกรีตบล็อก
f'_m	=	กำลังรับแรงกดอัดของปริซึมคอนกรีตบล็อก
f_s	=	หน่วยแรงดึงในเหล็กเส้นเสริมคอนกรีต
f'_s	=	หน่วยแรงอัดในเหล็กเสริมรับแรงอัด

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

f_{sy}	=	กำลังครากของเหล็กเสริม
F_a	=	หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ของผนัง
F_b	=	หน่วยแรงอัดที่เกิดจากแรงดัดที่ยอมให้ของคอนกรีตบล็อก
F_d	=	แรงกดอัดในแนวแกนที่ใช้ออกแบบผนัง
F_s	=	หน่วยแรงอัด หรือดัดที่ยอมให้ของเหล็กเสริม
h	=	ความสูงของผนัง
H	=	ความสูงของผนัง
k	=	อัตราส่วนระหว่างระยะทางจากผิวนอกสุดของผนังที่รับแรงอัดกับตำแหน่งของแกนสะเทิน
k_b	=	อัตราส่วนระหว่างระยะทางจากผิวนอกสุดของผนังที่รับแรงอัดกับตำแหน่งของแกนสะเทินที่สภาวะสมดุล
k_c	=	ตัวคูณกำลัง
k_t	=	สัมประสิทธิ์ความหนา
k_s	=	ตัวคูณลด
M_m	=	โมเมนต์ดัดที่ยอมให้ของผนังซึ่งถูกควบคุมโดยหน่วยแรงอัดที่ยอมให้ของวัสดุก่อ
M_s	=	โมเมนต์ดัดที่ยอมให้ของผนังซึ่งถูกควบคุมโดยหน่วยแรงดัด
n	=	อัตราส่วนโมดูลาร์
P_a	=	แรงกดอัดในแนวแกนที่ยอมให้ของผนัง
r	=	radius of gyration ของผนังซึ่ง
R	=	slenderness reduction factor
S_r	=	อัตราส่วนความชะลูด
t	=	ความหนาของผนัง
t_s	=	face-shell thickness ของคอนกรีตบล็อก
z	=	ระยะจากผิวนอกสุดของด้านที่รับแรงอัดถึงแรงอัดลัพธ์
ϵ_m	=	ความเครียดอัดสูงสุดของวัสดุก่อ
ϵ_s	=	ความเครียดดัดของเหล็กเส้นเสริมคอนกรีต

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

Δ	=	การโก่งตัวทางด้านข้างที่จุดพิกัดยึดหย่อนของผนังที่ทดสอบ
ϕ	=	ตัวคูณลดกำลัง
ρ	=	อัตราส่วนเหล็กเสริม
ρ_b	=	อัตราส่วนเหล็กเสริมสมดุล
ACI	=	American Concrete Institute
ASTM	=	American Society for Testing and Materials
FS.	=	Factor of safety
MDG.	=	Masonry Design Guide
UTM	=	Universal Testing Machine

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

โดยส่วนใหญ่แล้วโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กในประเทศไทยมีรูปแบบการก่อสร้างเป็นระบบเส-พื้น-คาน-เสา ซึ่งการก่อสร้างโครงสร้างรูปแบบดังกล่าว เป็นการก่อสร้างที่ค่อนข้างยุ่งยากและใช้เวลามาก โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ถ้าหากแรงงานที่ใช้ก่อสร้างมีความรู้ ความสามารถ ทักษะและประสบการณ์ในการก่อสร้างที่น้อยอาจจะทำให้เกิดปัญหาต่างๆ ในการก่อสร้างเช่น การประกอบแบบที่ไม่เรียบร้อยทำให้ปูนรั่วออกมามาก เป็นผลทำให้คุณภาพของงานที่ออกมาอยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำ โดยเฉพาะการก่อสร้างโครงสร้างที่มีขนาดเล็กเช่น การก่อสร้างบ้านพักอาศัยขนาดเล็กซึ่งไม่มีการควบคุมการก่อสร้างอย่างทั่วถึง นอกจากนั้นแล้ว รูปแบบการก่อสร้างดังกล่าวยังเป็นรูปแบบการก่อสร้างที่ต้องใช้แบบหล่อคอนกรีตซึ่งมักจะทำด้วยไม้ ทำให้เกิดการตัดไม้ทำลายป่าอันเป็นผลเสียต่อสภาพแวดล้อมอีกด้วย

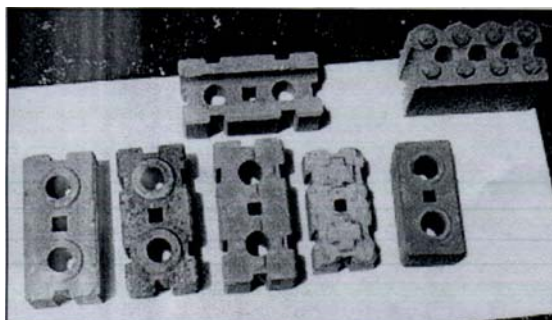
ด้วยปัญหาของรูปแบบการก่อสร้างแบบพื้น-คาน-เสา ที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น จึงได้มีแนวความคิดที่จะนำรูปแบบการก่อสร้างแบบอื่นมาใช้ รูปแบบการก่อสร้างรูปแบบหนึ่งที่สามารถช่วยลดปัญหาดังกล่าวได้คือผนังคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก (load bearing concrete masonry wall) ซึ่งเป็นผนังคอนกรีตบล็อกที่สามารถรับน้ำหนักประเภทอื่นนอกเหนือจากน้ำหนักของตัวเองได้เช่น ผนังของโรงงานซึ่งรับแรงปฏิกิริยาจากโครงหลังคาหรือน้ำหนักจากรางเครน ผนังกำแพงกันดิน และผนังรับแรงเฉือน (shear wall) เป็นต้น ซึ่งรูปแบบการก่อสร้างผนังรับน้ำหนักจะสามารถขจัด การสร้างเสาและคานได้ทั้งหมดและยังไม่จำเป็นต้องใช้ไม้แบบซึ่งเป็นการช่วยลดปัญหาการตัดไม้ทำลายป่าได้ อีกทั้งวัสดุที่ใช้ก็สามารถหาได้ง่ายในท้องตลาด

โดยทั่วไปแล้ว ในการก่อสร้างผนังคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก คอนกรีตบล็อกจะถูกก่อขึ้นเป็นผนังด้วยปูนก่อ (mortar) จากนั้น ผนังดังกล่าวจะถูกเสริมเหล็กเข้าไปในโพรงช่องว่างของคอนกรีตบล็อก จากนั้นจึงทำการเทปูนกรอก (grout) ลงในโพรงช่องว่างของคอนกรีตบล็อก ซึ่งขั้นตอนการก่อปูนก่อเป็นขั้นตอนที่เสียเวลาในการก่อสร้างมากเนื่องจากจะต้องรอให้ปูนก่อมีอายุครบ 1 วัน เพื่อที่จะให้ปูนก่อมีกำลังเพียงพอจึงสามารถที่จะทำการเทปูนกรอกได้ นอกจากนั้นแล้ว การก่อปูนก่อจะต้องใช้แรงงานที่มีทักษะในการก่อสร้างค่อนข้างสูง ดังนั้น เพื่อเป็นการลดปัญหาในการเสียเวลาและแรงงานดังกล่าวจึงได้มีแนวความคิดที่จะพัฒนารูปแบบการก่อสร้างแบบใหม่คือ การไม่

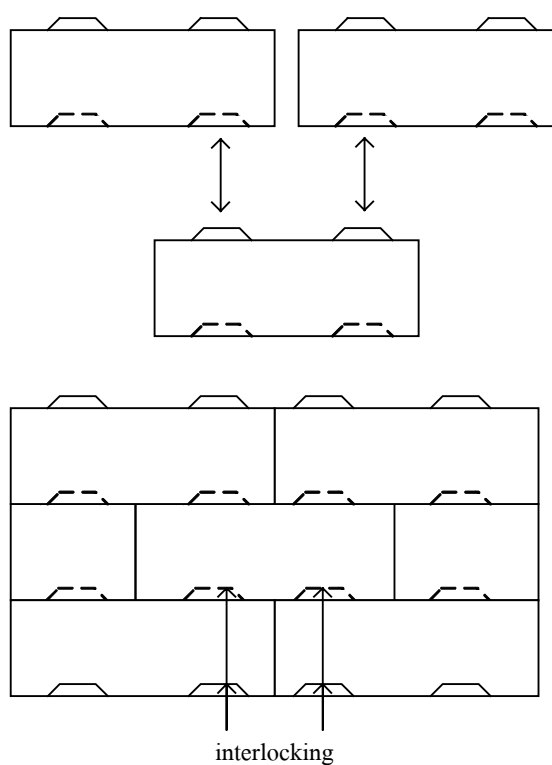
ใช้ปูนก่อในการก่อสร้างผนังคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก ซึ่งแนวความคิดนี้มีลักษณะที่คล้ายกับแนวความคิดของการก่อสร้างผนังด้วยอิฐดินซีเมนต์ซึ่งมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 1.1 โดยที่อิฐดินซีเมนต์เป็นก้อนอิฐที่มีรูปร่างที่สามารถขัดกันระหว่างก้อนได้ (interlocking) ดังแสดงในรูปที่ 1.2 และมีลักษณะการยึดขัดกันดังแสดงในรูปที่ 1.3 ซึ่งการยึดขัดกันในลักษณะดังกล่าวทำให้อิฐดินซีเมนต์ยึดติดกันโดยไม่จำเป็นต้องใช้ปูนก่อเป็นตัวประสาน โดยไม่จำเป็นต้องใช้ปูนก่อเป็นตัวประสาน อย่างไรก็ตาม ผนังระบบนี้จะไม่ค่อยมีความแข็งแรงมากนักเมื่อรับแรงที่กระทำจากด้านข้าง (lateral load) อีกทั้งยังไม่เป็นที่ยอมรับสำหรับการก่อสร้างบ้านระดับกลางขึ้นไป (อนุสรณ์ และ อนุรุทธิ์, 2542) สำหรับอีกแนวความคิดหนึ่งคือ การใช้ผนังคอนกรีตบล็อกอัดแรง (Marzahn, 1992) ซึ่งก่อสร้างโดยทำการเสริมลวดอัดแรงภายในช่องที่เทปูนกรอก จากนั้นจึงทำการอัดแรงลวดโดยใช้ไฮดรอลิกแจ็ก (hydraulic jack) แล้วจึงทำการเทปูนกรอก ซึ่งระบบการอัดแรงดังกล่าวนี้จะเป็นระบบการอัดแรงลวดแบบ pretension โดยที่ผนังดังกล่าวจะมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 1.4 ในการก่อสร้างผนังระบบนี้จำเป็นต้องใช้ความรู้และทักษะของแรงงานที่ค่อนข้างสูงอีกทั้งยังต้องเสียค่าใช้จ่ายสูงอีกด้วย ซึ่งไม่เหมาะสำหรับการก่อสร้างภายในประเทศไทย



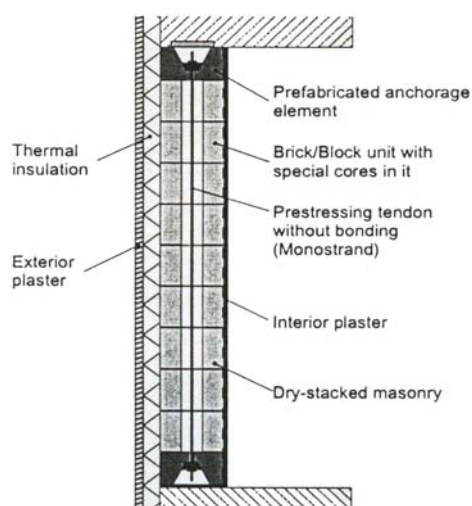
รูปที่ 1.1 การก่อสร้างผนังรับน้ำหนักด้วยอิฐดินซีเมนต์



รูปที่ 1.2 รูปร่างของอิฐดินซีเมนต์



รูปที่ 1.3 ลักษณะการยึดติดกันของอิฐดินซีเมนต์



รูปที่ 1.4 ลักษณะของผนังคอนกรีตบล็อกอัดแรง (Marzahn, 1992)

ด้วยปัญหาที่ได้กล่าวมาข้างต้น งานวิจัยนี้จึงเสนอการศึกษาพฤติกรรมของผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อภายใต้แรงกดอัดและภายใต้แรงคัต ซึ่งคาดว่าจะสามารถช่วยประหยัดเวลาในการก่อสร้างและลดต้นทุนทางด้านแรงงานในการก่อสร้างได้ เนื่องจากสามารถก่อ

สร้างได้ง่ายโดยไม่จำเป็นต้องใช้ทักษะในการก่อสร้างสูง นอกจากนั้นแล้วยังไม่เกิดปัญหาการตัดไม้ทำลายป่า ซึ่งเป็นทางหนึ่งที่จะช่วยรักษาสภาพแวดล้อมได้ อย่างไรก็ตาม การเสริมเหล็กอาจทำให้ต้นทุนของวัสดุในการก่อสร้างผนังคอนกรีตบล็อกสูง แต่การเสริมเหล็กจะทำให้ลดข้อด้อยของผนังดังกล่าวในการรับแรงกระทำทางด้านข้างได้ นอกจากนั้นแล้ว ข้อด้อยอีกประการหนึ่งของผนังรูปแบบนี้คือ อาจจะมีน้ำปูนกรอกซึมออกมาบริเวณรอยต่อ (joint) ระหว่างก้อนคอนกรีตบล็อกทำให้เห็นเป็นรอยของน้ำปูนและไม่สวยงาม แต่อย่างไรก็ตาม ในการก่อสร้างผนังโดยส่วนมากจะฉาบปูนปิดรอยต่อของผนังอยู่แล้วซึ่งก็สามารถปิดรอยที่เกิดขึ้นดังกล่าวได้

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาพฤติกรรมการรับแรงกดอัดและแรงดัดที่กระทำกับผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อ โดยการทดสอบผนังดังกล่าวภายใต้แรงกดอัดในแนวแกนและแรงดัด

1.2.2 เพื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบที่ได้จากข้อ 1.2.1 กับสมการออกแบบผนังวัสดุก่อเสริมเหล็กของ American Concrete Institute ACI 530-92 และของ Australian Standard AS3700-1998 เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการเสนอสมการการออกแบบผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อที่เหมาะสมต่อไป

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 คอนกรีตบล็อกที่ใช้ในการก่อสร้างผนังในงานวิจัยเป็นคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนักชนิดกลวงตามมาตรฐาน มอก. 57-2516

1.3.2 รูปแบบการวางคอนกรีตบล็อกเป็นแบบเหลื่อมกัน (running bond)

1.3.3 ไม่พิจารณาถึงผลของการกระทำร่วมระหว่างแรงกดอัดในแนวแกนและแรงดัด

1.3.4 ทำการศึกษาถึงผลของ อัตราส่วนเหล็กเสริม อัตราส่วนความชื้นของผนัง (ในกรณีทดสอบกำลังรับแรงกดอัดในแนวแกน) ระยะห่างระหว่างจุดรองรับ (ในกรณีทดสอบกำลังรับแรงดัด) และการกรอกปูนกรอก (ทุกช่องและช่องเว้นช่อง) ที่มีต่อคุณสมบัติทางกลของผนัง

1.3.5 แรงกดอัดที่ใช้ในงานวิจัยมีลักษณะเป็นแรงกระทำแบบจุด และแรงดัดที่ใช้ในงานวิจัยเกิดจากการให้แรงกระทำแบบให้แรงสี่จุด (four-point loading)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 เข้าใจพฤติกรรมและลักษณะการวิบัติ และสามารถออกแบบผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อภายใต้แรงกดอัดและแรงดัดได้อย่างเหมาะสมในเชิงวิศวกรรม

1.4.2 ทำให้ได้รูปแบบการก่อสร้างที่ง่ายและรวดเร็ว ซึ่งช่วยให้ประหยัดค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นเกี่ยวกับค่าแรงงาน ลดปัญหาการตัดไม้ทำลายป่า และไม่จำเป็นต้องใช้แรงงานที่มีความรู้ความสามารถสูงในการก่อสร้าง

บทที่ 2

ปรัทัศนัวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงประวัติความเป็นมาในการใช้คอนกรีตบล็อกในงานก่อสร้าง รวมทั้งงานวิจัยต่างๆ ที่ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับคอนกรีตบล็อกและผนังคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนักซึ่งสามารถใช้เป็นแนวทางในงานวิจัยนี้ได้พอสมควร นอกจากนั้นแล้วในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่ใช้ในการคำนวณออกแบบผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบใช้ปูนก่อภายใต้แรงกดอัดในแนวแกนและภายใต้แรงคดที่มีอยู่ในปัจจุบัน และข้อจำกัดของสมการออกแบบดังกล่าว สุดท้าย บทนี้จะสรุปให้ทราบว่า จากที่ผ่านมาได้มีการพัฒนาเกี่ยวกับผนังคอนกรีตบล็อกอย่างไรและวิธีการเพื่อพัฒนาสมการออกแบบผนังคอนกรีตบล็อกเพื่อให้ได้สมการออกแบบผนังคอนกรีตบล็อกแบบใช้ปูนก่อที่เหมาะสมกับการใช้งานภายในประเทศไทยต่อไป

2.2 ประวัติความเป็นมาและวิวัฒนาการของคอนกรีตบล็อก

คอนกรีตบล็อกถูกผลิตขึ้นครั้งแรกในประเทศอังกฤษเมื่อประมาณปี ค.ศ.1850 โดยโจเซฟ กริบส์ คอนกรีตบล็อกถูกสร้างให้มีลักษณะตันซึ่งลอกเลียนแบบมาจากก้อนหินในสมัยนั้น จากนั้นก็ไม่ได้มีการพัฒนาเกี่ยวกับคอนกรีตบล็อกขึ้นมากเท่าไรนัก จนกระทั่งถึงประมาณปี ค.ศ.1910 คอนกรีตบล็อกได้ถูกพัฒนาควบคู่ไปกับการพัฒนาซีเมนต์จึงทำให้อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกเกิดขึ้นอย่างเป็นจริงเป็นจัง อย่างไรก็ตาม อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกที่เกิดขึ้นในสมัยนั้นยังถูกจำกัดอยู่เนื่องจากเครื่องมือที่ใช้ยังไม่ทันสมัยรวมทั้งหินก้อนใหญ่ยังถูกใช้ในการก่อสร้างอยู่มาก จากนั้นหลังสงครามโลกครั้งที่ 2 เหล็กเริ่มเข้ามามีบทบาทในการก่อสร้างในขณะเดียวกันความต้องการใช้งานของคอนกรีตบล็อกก็เพิ่มขึ้นและการใช้คอนกรีตบล็อกตันและคอนกรีตบล็อกกลวงก็ถูกใช้กันอย่างกว้างขวาง

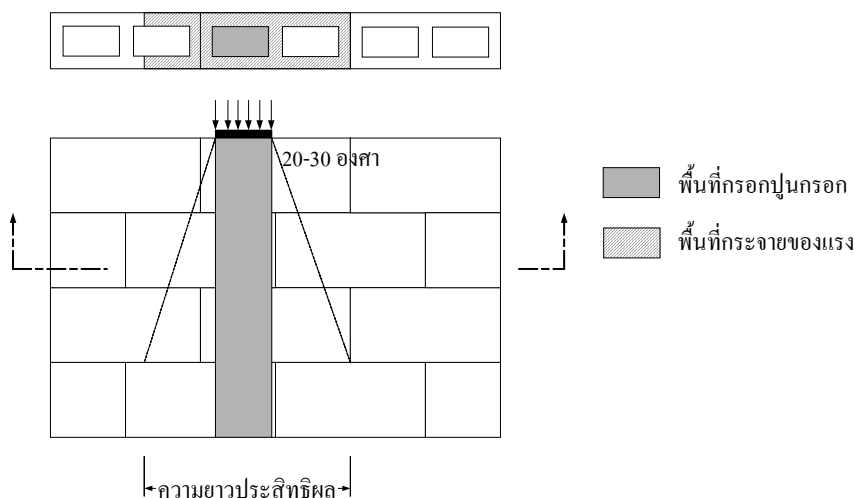
ประเทศไทยเป็นประเทศในเขตร้อนชื้นและอุดมด้วยป่าไม้ สมัยก่อนจึงนิยมสร้างบ้านด้วยไม้มาตลอด ส่วนอิฐโดยเฉพาะอิฐดินเผา มักจะถูกใช้ในงานก่อสร้างใหญ่ๆ และต้องการความแข็งแรงทนทานเช่น เเจดีย์และกำแพงเมือง เป็นต้น เมื่อความรู้ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีก้าวหน้าไป รวมทั้งป่าไม้ในประเทศไทยเริ่มลดน้อยลงและคอนกรีตเสริมเหล็กเริ่มเข้ามามีบทบาทในงานก่อสร้าง ทำให้โครงสร้างไม้และโครงสร้างแบบอิฐก่อกลายเป็นที่ไม่นิยมและลดน้อยลงไป

วัสดุที่อยู่ในประเทศไทยมักถูกผลิตขึ้นมาจากวัสดุที่มีอยู่ตามธรรมชาติและเศษวัสดุที่ได้จากกระบวนการผลิต ตัวอย่างเช่น อิฐดินเผาจะถูกผลิตมาจากดินลูกรังปนทรายซึ่งมีอยู่ทั่วไปตามธรรมชาติ คอนกรีตบล็อกจะถูกผลิตมาจากหินปูนซึ่งเป็นเศษหินที่ได้จากการระเบิดภูเขาเพื่อนำหินที่ได้จากการระเบิดมาใช้ในงานก่อสร้างและการผลิตปูนซีเมนต์ จากแนวคิดที่จะนำวัสดุจากธรรมชาติมาใช้เริ่มมีมากขึ้น และเพื่อความเป็นไปได้ในการที่จะใช้วัสดุรูปแบบดังกล่าวในการก่อสร้างภายในประเทศและเป็นที่ไปอย่างมีมาตรฐาน ดังนั้น ว.ส.ท. (วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย) จึงได้ทำการร่างมาตรฐานการออกแบบโครงสร้างด้วยวัสดุก่อขึ้นในปี พ.ศ. 2518 ทำให้ในปัจจุบันโครงสร้างวัสดุก่อรับน้ำหนัก (load bearing masonry structure) เป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายมากขึ้น แต่ถึงอย่างไรก็ตาม คอนกรีตบล็อกที่ใช้ในประเทศไทยโดยทั่วไปแล้วยังไม่มีมาตรฐานในการผลิตที่ดีพอทำให้วัสดุที่ใช้มีคุณภาพต่ำ เป็นผลให้การใช้งานของวัสดุก่อส่วนใหญ่ถูกจำกัดอยู่เพียงแค่โครงสร้างรอง (secondary structure) ของโครงสร้างหลัก (primary structure) ซึ่งเป็นโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก (ปรีดา และอนุสรณ์, 2544) จึงเป็นที่น่าเสียดายที่ข้อดีต่างๆ ของวัสดุก่อเช่น ความแข็งแรงทนทาน วัสดุที่ใช้ผลิตสามารถหาได้ง่ายตามธรรมชาติและมีราคาถูกเมื่อเทียบกับวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างอื่นๆ เป็นต้น ไม่ได้ถูกหยิบยกมาพิจารณาในการออกแบบโครงสร้างภายในประเทศนัก

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการทำปริญญานิพนธ์งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับผนังคอนกรีตบล็อกพบว่า มีหลายงานวิจัยทั้งในและต่างประเทศที่ได้ศึกษาพฤติกรรมของผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กซึ่งเป็นแนวทางในงานวิจัยได้พอสมควร

ปรีดา และ อนุสรณ์ (2544) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับผลของปูนกรอกต่อพฤติกรรมของการรับน้ำหนักบรรทุกทุกเป็นจุดของกำแพงคอนกรีตบล็อกไม่เสริมเหล็ก จากการศึกษาดังกล่าวพบว่า กำแพงที่กรอกปูนกรอกได้ตำแหน่งที่น้ำหนักบรรทุกที่กระทำเป็นจุดนั้น สามารถรับน้ำหนักได้มากกว่า กำแพงที่ไม่ได้กรอกปูนกรอก แต่สามารถรับน้ำหนักเพิ่มได้ไม่มากนัก ทั้งนี้เนื่องจากว่า เมื่อเปรียบเทียบพื้นที่ที่เกิดจากการกระจายน้ำหนักกระทำเป็นจุดผ่านแผ่นเหล็กถ่ายแรงเป็นมุมประมาณ 20-30 องศา เทียบกับแนวตั้ง และวัดระยะความยาวประสิทธิผลพื้นที่ที่ครึ่งหนึ่งของความสูงกำแพง ดังรูปที่ 2.1 ในกำแพงปูนกรอกกับไม่กรอกปูน จะเห็นว่าพื้นที่เพิ่มขึ้นเนื่องมาจากการกรอกปูนประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับพื้นที่ของกำแพงที่ไม่กรอกปูน จึงทำให้กำแพงรับน้ำหนักเพิ่มได้ไม่มากนัก นอกจากนั้นจากการศึกษายังพบอีกว่า ปูนกรอกมีผลต่อกำลังในการรับแรงของผนังแล้ว ปูนกรอกยังสามารถช่วยทำให้กำแพงบิดี้นาลงได้อีกด้วย

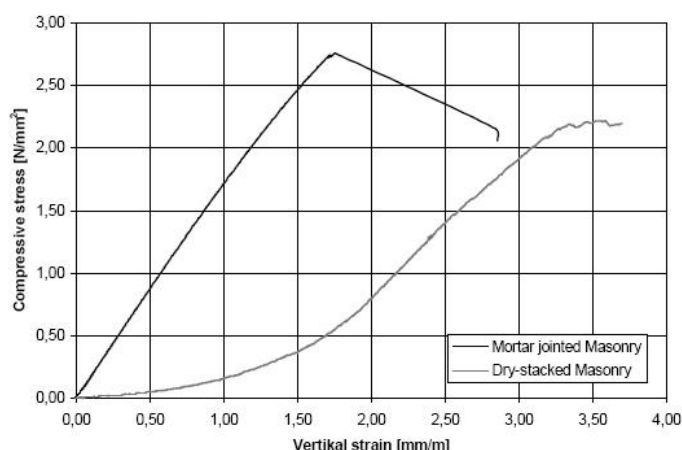


รูปที่ 2.1 ลักษณะการถ่ายน้ำหนักที่กระทำเป็นจุดกับผนังกรอกปูนกรอก

สิทธิชัย และจิรวัดน์ (2544) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับกำลังรับแรงกดอัดของคอนกรีตบล็อก และปริซึมคอนกรีตบล็อก ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบหาลำดับรับแรงกดอัดของคอนกรีตบล็อก และปริซึมคอนกรีตบล็อก และเปรียบเทียบผลการทดสอบที่ได้กับความสัมพันธ์ที่ได้กำหนดไว้ในมาตรฐานสำหรับอาคารวัสดุก่อของ ว.ส.ท. และของ ACI ในการศึกษาตัวอย่างคอนกรีตบล็อกจะถูกรวบรวมแบบสุ่มจากโรงงานผลิตคอนกรีตบล็อกจำนวน 9 โรงงานในเขตจังหวัดนครราชสีมา และปริมณฑล จากกั้นคอนกรีตบล็อก และปริซึมคอนกรีตบล็อกซึ่งถูกก่อโดยปูนก่อชนิด N ตามมาตรฐาน ASTM C270 ได้ถูกทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C67 และ ASTM E447 ตามลำดับ จากผลการทดสอบพบว่าค่าความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงกดอัดเฉลี่ยของปริซึมคอนกรีตบล็อก และกำลังรับแรงกดอัดเฉลี่ยของก้อนคอนกรีตบล็อกที่ได้มีค่าต่ำกว่าค่าที่ระบุไว้ในมาตรฐานสำหรับอาคารวัสดุก่อของ ว.ส.ท. และของ ACI ถึง 40 เปอร์เซ็นต์

Marzahn (1992) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบความสามารถในการรับแรงกดอัดในแนวแกนของ Dry-stacked masonry ซึ่งถูกก่อสร้างโดยไม่ใช้ปูนก่อแต่ใช้การอัดแรงแทน และ Mortar-jointed masonry ซึ่งเป็นผนังรูปแบบเดิมที่ถูกก่อสร้างกันโดยทั่วไป Marzahn ได้เสนอว่าการที่ไม่มีปูนก่อ นั้นเป็นผลดีต่อกำลังรับแรงกดอัดในแนวแกนของผนังเนื่องจากไม่มีปฏิสัมพันธ์กันระหว่างคอนกรีตบล็อกและปูนก่อ การวิจัยของ Marzahn ได้ใช้ตัวอย่างทดสอบซึ่งเป็นกำแพงที่ก่อด้วยคอนกรีตบล็อก 2 ขนาดด้วยกันคือ ตัวอย่างที่มีความสูงของคอนกรีตบล็อกจำนวน 5 ก้อน และความกว้างจำนวน 1 ก้อน และ 2 ก้อน คอนกรีตบล็อกตามลำดับ จากการทดสอบพบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงกดอัดในแนวแกนกับความเครียดในแนวแกนมีลักษณะดังแสดงในรูปที่

2.2 จากรูปดังกล่าวพบว่า Mortar joint masonry จะมีค่า maximum compressive strength สูงกว่าของ Dry-stacked masonry ประมาณ 18 % นอกจากนั้นแล้วยังพบว่า เมื่อ Dry-stacked masonry มีอัตราส่วนของความสูงต่อความหนาของผนังมากกว่า 2 การวิบัติของผนังตัวอย่างทดสอบจะวิบัติในลักษณะของการเฉือนในแนวทแยงมุมของผนัง



รูปที่ 2.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงกดอัดในแนวแกนกับความเครียดในแนว

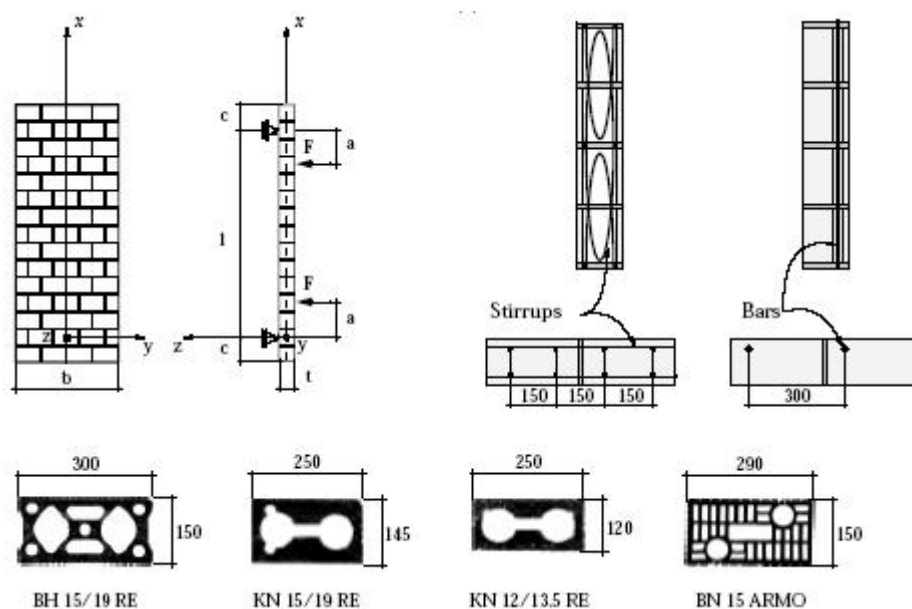
แกนของ Dry-stacked masonry และ Mortar-jointed masonry (Marzahn,1992)

Ramamurthy และ Ambalavanan (1997) ศึกษาถึงผลของกำลังรับแรงอัดของปริซึมคอนกรีตบล็อกที่เกิดจากลักษณะทางกายภาพของคอนกรีตบล็อกที่ใช้ ความหนาของชั้นปูนก่อ และอัตราส่วนระหว่างความสูงและความหนาของคอนกรีตบล็อก จากการศึกษาดังกล่าวพบว่ารูปร่างของคอนกรีตบล็อกที่ใช้มีผลต่อรูปแบบการวิบัติ (mode of failure) กำลังรับแรงอัด ของปริซึมคอนกรีตบล็อก นอกจากนั้นยังพบว่า เมื่อความหนาของชั้นปูนก่อมากขึ้นจะทำให้กำลังรับแรงอัดของของปริซึมคอนกรีตบล็อกลดลง

Khalaf (1997) พยายามที่จะหารูปแบบการทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัดของปริซึมคอนกรีตบล็อกให้สอดคล้องกับสภาพการใช้งานจริง เช่น งานผนังคอนกรีตบล็อกที่ใช้ปูนกรอกและงานผนังที่รับแรงทางด้านข้าง เป็นต้น ซึ่งการทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัดของปริซึมคอนกรีตบล็อกที่ใช้กันอยู่ทั่วไปในปัจจุบันไม่ได้คำนึงถึงผลของปูนกรอกและการรับแรงทางด้านข้าง ดังนั้น Khalaf จึงเสนอที่จะใช้ ปูนกรอกในการทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัดของปริซึมคอนกรีตบล็อก นอกจากนั้น จะทำการทดสอบแรงอัดขนานกับ ผิวหน้าของปริซึมวัสดุก่อ โดยที่ใช้ตัวแปรในการวิจัย คือ อัตราส่วนผสมของปูนกรอกและปูนก่อ การใส่และไม่ใส่ปูนกรอกในปริซึมวัสดุก่อ จากการทดสอบพบ

ว่า การเปลี่ยนแปลงส่วนผสมของปูนก่อกั้น มีผลเพียงเล็กน้อยสำหรับปริซึมวัสดุก่อที่ไม่ได้กรอกปูนกรอกที่ถูกกดทิศทางที่ขนานกับระนาบของผิวหน้าวัสดุก่อ เมื่อเปรียบเทียบกับกับการกดแบบตั้งฉากกับระนาบผิวหน้าวัสดุก่อ

Salzmann et al. (n.d.) ได้เสนอผลการทดสอบผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กที่ถูกกระทำโดยแรงคด โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมการรับแรงคดของผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบใช้ปูนก่อกที่มีระบบการก่อสร้างผนังคอนกรีตบล็อกแบบ murfor และแบบ ARMO ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 รูปแบบการทดสอบและลักษณะของคอนกรีตบล็อกรูปแบบต่างๆ ใช้ในการศึกษาของ Salzmann และคณะ (Salzmann et al., n.d.)

จากการศึกษาของ Salzmann และคณะ พบว่าผนังที่ใช้ทดสอบทั้งสองรูปแบบมีกำลังรับแรงคดมากขึ้นเมื่อมีปริมาณเหล็กเสริมในผนังมากขึ้น นอกจากนั้นแล้วผนังที่ใช้ทดสอบส่วนใหญ่ยังสามารถถูกทำนายค่าแรงคดสูงสุดได้โดยใช้สมการที่ (2.1) ซึ่งสร้างถูกขึ้นจากการทดสอบผนังโดยพิจารณาพฤติกรรมของผนังในช่วงยืดหยุ่นเชิงเส้น (linear - elastic)

$$M_u = \frac{A_s f_y t}{2} \quad (2.1)$$

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่ได้กล่าวมาในข้างต้นเป็นเพียงส่วนหนึ่งจากงานวิจัยที่ได้ค้นคว้ามาทั้งหมด ซึ่งจากการศึกษาและค้นคว้าเพื่อหาทฤษฎีที่ใช้ในการคำนวณออกแบบผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อภายใต้แรงกดอัดในแนวแกนและภายใต้แรงคดยังไม่พบบางงานวิจัยใดที่ศึกษาเกี่ยวกับผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อโดยตรง อย่างไรก็ตาม จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่ามีความมาตรฐานต่างๆ ที่ได้เสนอสมการเพื่อใช้คำนวณออกแบบผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อภายใต้แรงกดอัดในแนวแกนและภายใต้แรงคด ซึ่งสามารถใช้เป็นแนวทางสำหรับการเสนอสมการออกแบบผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อได้ดังต่อไปนี้

2.4 สมการออกแบบผนังคอนกรีตบล็อกภายใต้แรงกดอัดในแนวแกน

2.4.1 สมการออกแบบผนังคอนกรีตบล็อกไม่เสริมเหล็ก

ACI 530-92 ได้เสนอสมการออกแบบผนังคอนกรีตบล็อกไม่เสริมเหล็กภายใต้แรงกดอัดในซึ่งอยู่ในรูป

$$F_a = 0.25 f'_m \quad (2.2)$$

โดยที่

F_a คือ หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ (allowable compressive stress) ของผนัง

f'_m คือ หน่วยแรงกดอัดจำเพาะ (specified compressive stress) ของคอนกรีตบล็อก สามารถหาได้จาก การทดสอบกำลังรับแรงกดอัดของปริซึมคอนกรีตบล็อก

โดยที่ค่าหน่วยแรงกดอัดที่ยอมให้นี้หาได้โดยการลดค่าหน่วยแรงกดอัดจำเพาะด้วย อัตราส่วนความปลอดภัย (factor of safety) เพื่อป้องกันการบดแตก (crushing) ของคอนกรีตบล็อก หรือการโก่งเดาะทางด้นข้างของผนัง ซึ่งจากสมการที่ (2.2) สามารถสังเกตได้ว่าผนังคอนกรีตบล็อกไม่เสริมเหล็กมีค่าอัตราส่วนความปลอดภัย (factor of safety) เท่ากับ 4.0 อย่างไรก็ตาม สมการที่ (2.2) เป็นสมการที่พิจารณาเฉพาะกำลังของวัสดุเท่านั้น ซึ่งในความเป็นจริงแล้ว ค่าหน่วยแรงอัดที่ยอมให้ของผนังยังขึ้นอยู่กับอัตราส่วนความชะลูดของผนัง (h/r) อีกด้วย ดังนั้นสมการที่ (2.2) ต้องถูกปรับให้ถูกต้องยิ่งขึ้นด้วยตัวคูณที่เรียกว่า slenderness reduction factor (R) โดย มาตรฐาน ACI กำหนดให้อัตราส่วนความชะลูด และ slenderness reduction factor มีลักษณะความสัมพันธ์ดังแสดงในรูปที่ 2.4 ดังนั้นสมการที่ (2.2) จึงถูกเขียนใหม่ได้เป็นสมการที่ (2.3) และ สมการที่ (2.4) ดังนี้

$$F_a = 0.25 f'_m \left[1 - \left(\frac{h}{140r} \right)^2 \right] \quad \text{เมื่อ } h/r \leq 99 \quad (2.3)$$

$$F_a = 0.25 f'_m \left[\frac{70r}{h} \right]^2 \quad \text{เมื่อ } h/r > 99 \quad (2.4)$$

โดยที่

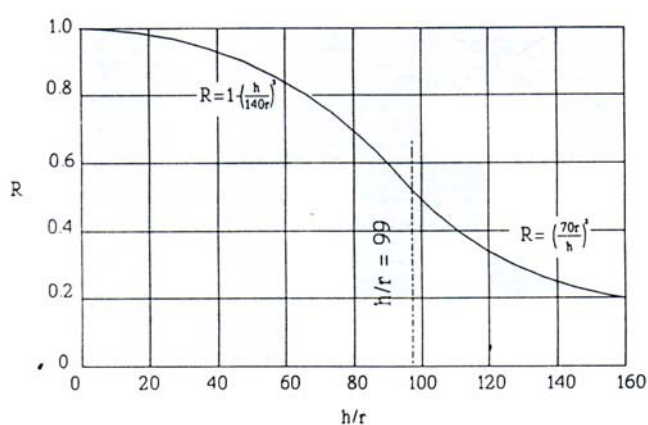
F_a คือ หน่วยแรงอัดที่ยอมให้

f'_m คือ ค่าหน่วยแรงอัดประลัยของปริซึมคอนกรีตบล็อก

h/r คือ ค่าอัตราส่วนความชะลูดของผนัง

h คือ ความสูงของผนัง

r คือ radius of gyration ของผนังซึ่งหาได้จากสมการ $r = \sqrt{t^2/12}$ เมื่อ t คือ ความหนาของผนังวัสดุก่อ



รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชะลูดกับ

slenderness reduction factor ของผนัง (Matthys, 1993)

2.4.2 สมการออกแบบผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็ก

สมการที่ใช้ออกแบบผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กจะคล้ายกับผนังคอนกรีตบล็อกไม่เสริมเหล็กแต่จะแตกต่างกันตรงที่ สมการออกแบบผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กมีเทอมที่เกี่ยวข้องกับกำลังของเหล็กเสริมเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย ซึ่งมาตรฐาน ACI 530-92 ได้เสนอสมการออกแบบผนัง

คอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบใช้ปูนก่อภายในแรงกดอัดในแนวแกน ซึ่งเป็นสมการออกแบบโดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน (working stress design) ในสมการ ที่ (2.5) และ (2.6) ดังนี้

$$P_a = (0.25 f'_m A_n + 0.65 A_{st} F_s) [1 - (h/140r)^2] \quad \text{เมื่อ } h/r \leq 99 \quad (2.5)$$

$$P_a = (0.25 f'_m A_n + 0.65 A_{st} F_s) (70r/h)^2 \quad \text{เมื่อ } h/r > 99 \quad (2.6)$$

โดยที่

P_a คือ น้ำหนักบรรทุกในแนวตั้งที่ยอมให้ที่กระทำบนผนัง

A_n คือ พื้นที่หน้าตัดสุทธิของคอนกรีตบล็อกตามข้อกำหนดของ ACI 530-92 ข้อที่

5.12

A_{st} คือ พื้นที่หน้าตัดทั้งหมดของเหล็กเสริมในแนวแกน

F_s คือ หน่วยแรงอัด หรือดึงที่ยอมให้ของเหล็กเสริม ซึ่งมีค่าได้ไม่เกิน 165.5 MPa

สำหรับเหล็ก grade 60

จะสังเกตได้ว่าสมการที่ (2.5) และ (2.6) ไม่มีพจน์ที่แสดงกำลังรับแรงอัดของปูนกรอกปรากฏอยู่ เนื่องจาก มาตรฐาน ACI พิจารณาว่าปูนกรอกมีผลต่อกำลังของผนังค่อนข้างน้อย อย่างไรก็ตาม มาตรฐานการออกแบบของประเทศอื่นเช่น Australian Standard (AS3700-98) ได้พิจารณาถึงกำลังของปูนกรอกด้วย โดยได้เสนอสมการออกแบบผนังวัสดุก่อเสริมเหล็กแบบใช้ปูนก่อโดยวิธีกำลัง (ultimate strength design) ซึ่งอยู่ในรูป

$$F_d \leq \phi k_s \left[f'_m A_b + k_c \sqrt{\frac{f'_{cg}}{1.3}} A_c + f_{sy} A_s \right] \quad (2.7)$$

โดยที่

F_d คือ แรงกดอัดที่ใช้ออกแบบผนังซึ่งคำนวณได้ตามข้อกำหนดของ Australian Standard และคูณด้วยตัวคูณน้ำหนักบรรทุก (load factor) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.5 สำหรับน้ำหนักบรรทุกจร

A_b คือ พื้นที่ว่างปูนก่อของคอนกรีตบล็อก ตามข้อกำหนดของ AS3700-98 ข้อที่ 4.5.4

f'_{cg} คือ กำลังรับแรงกดอัดของปูนกรอกโดยมีค่าได้ไม่เกิน $1.3 f'_{uc}$ เมื่อ f'_{uc} คือ กำลังรับแรงกดอัดสูงสุดของคอนกรีตบล็อก

A_c คือ พื้นที่หน้าตัดของปูนกรอก ตามข้อกำหนดของ AS3700-98 ข้อที่ 4.5.7
 f_{sy} คือ กำลังครากของเหล็กเสริม
 A_s คือ พื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริม
 ϕ คือ ตัวคูณลดกำลัง (capacity reduction factor) มีค่าเท่ากับ 0.75 สำหรับผนังวัสดุก่อเสริมเหล็ก

k_s คือ ตัวคูณลด (reduction factor) หาได้จากสมการ $k_s = 1.18 - 0.03S_r$ แต่มีค่าได้ไม่เกิน 1.0 โดยที่ S_r คืออัตราส่วนความชะลุด ซึ่งหาได้จากสมการ $S_r = a_v H / k_t t$ เมื่อ a_v คือ สัมประสิทธิ์ความชะลุดมีค่าเท่ากับ 1.0 เมื่อผนังถูกรองรับที่ปลายบนสุดและล่างสุดของผนัง H คือ ความสูงของผนัง k_t คือ สัมประสิทธิ์ความหนา (thickness coefficient) ถ้าผนังไม่มีเสาเอ็นยึดแล้ว k_t ถูกกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 1.0

k_c คือ ตัวคูณกำลัง (strength factor) ของปูนกรอกโดยกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 1.4 สำหรับคอนกรีตบล็อกที่มีความหนาแน่นมากกว่า 2000 kg/m³ นอกเหนือจากนั้นแล้วให้ใช้ k_c เท่ากับ 1.2

2.5 สมการออกแบบผนังคอนกรีตบล็อกภายใต้แรงดัด

นอกจากผนังคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนักถูกระทำโดยแรงกดอัดในแนวแกนแล้ว ในหลายกรณีผนังวัสดุก่อรับน้ำหนักถูกระทำโดยแรงในแนวตั้งฉากกับผิวสัมผัสของผนังเช่น กำแพงกันดิน ผนังของสระว่ายน้ำและผนังที่อยู่ภายนอกของอาคารสูงที่ถูกกระทำจากแรงลม เป็นต้น ซึ่งแรงที่เกิดขึ้นกับผนังรูปแบบดังกล่าวจะทำให้เกิดโมเมนต์ดัด (bending moment) ในผนัง และทำให้ผนังมีด้านที่รับแรงอัดและด้านที่รับแรงดึงเกิดขึ้นคล้ายกับการรับแรงดัดของคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

โดยทั่วไปแล้ว กำลังรับแรงดัดของผนังจะถูกควบคุมโดยกำลังของวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างผนัง ซึ่งได้แก่คอนกรีตบล็อก ปูนกรอก และเหล็กเส้นเสริมคอนกรีต

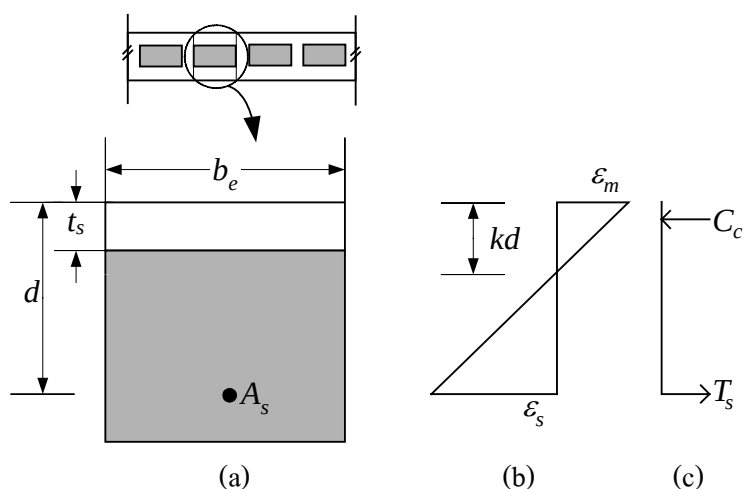
สมมติฐานที่ใช้ในการคำนวณกำลังรับแรงดัดของผนังมีดังนี้

1. ระบายของหน้าตัดก่อนและหลังที่มีการดัดยังคงอยู่ในระนาบเดียวกัน
2. หน่วยแรงและความเครียดเป็นสัดส่วนกันโดยตรงกับระยะจากแกนสะเทิน
3. modulus of elasticity ของโครงสร้างคงที่ตลอดโครงสร้าง
4. คอนกรีตบล็อกและปูนกรอกไม่รับแรงดึง
5. เหล็กเสริมถูกห่อหุ้มและยึดด้วยปูนกรอกอย่างสมบูรณ์ จึงทำให้ความเครียดที่ตำแหน่งเดียวกันของเหล็กเสริมและปูนกรอกมีค่าเท่ากัน
6. โมเมนต์ที่กระทำจากแรงภายนอกจะเท่ากับโมเมนต์ที่เกิดขึ้นภายใน

โดยปกติแล้ววิธีการวิเคราะห์หาค่ากำลังรับแรงดัดของผนังหรือโมเมนต์ดัดที่หน้าตัดผนังรับได้จะขึ้นอยู่กับรูปแบบการก่อสร้างว่าเป็นการก่อสร้างแบบกรอกปูนกรอกทุกช่องหรือกรอกปูนกรอกช่องเว้นช่อง ซึ่งจะมีสมการออกแบบที่แตกต่างกัน สำหรับการก่อสร้างแบบกรอกปูนกรอกทุกช่อง หน้าตัดที่ใช้ในการวิเคราะห์จะถูกสมมติให้มีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า (rectangular section model) และถ้าการก่อสร้างเป็นแบบกรอกปูนกรอกช่องเว้นช่อง หน้าตัดที่ใช้ในการวิเคราะห์จะถูกสมมติให้มีลักษณะเป็นหน้าตัดรูปตัวที (T-section model) โดยที่ปัจจุบันได้มีมาตรฐานการออกแบบที่ได้เสนอสมการการออกแบบผนังที่มีรูปแบบต่างๆ ดังต่อไปนี้

2.5.1 สมการวิเคราะห์กำลังรับแรงดัดของผนังแบบกรอกปูนกรอกทุกช่องและมีเฉพาะเหล็กเสริมรับแรงดึง

Masonry Design's Guide (MDG.) ซึ่งอ้างอิงกับมาตรฐานการออกแบบของ ACI 530-92 ได้ใช้วิธีหน่วยแรงใช้งานในการวิเคราะห์กำลังและเสนอลักษณะของหน้าตัดที่ใช้ในการวิเคราะห์โดยใช้สมมุติฐานที่ว่าคอนกรีตบล็อกและปูนกรอกไม่รับแรงดึง ทำให้ลักษณะของหน้าตัดที่ใช้ในการวิเคราะห์กำลังของผนังรูปแบบนี้มีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ลักษณะหน้าตัดที่ใช้วิเคราะห์กำลังรับแรงดัดของผนังแบบกรอกปูนกรอกทุกช่องและมีเฉพาะเหล็กเสริมรับแรงดึง (a) รูปขยายบริเวณที่พิจารณา (b) การกระจายความเครียด (c) แรงที่เกิดขึ้นกับหน้าตัด

จากการพิจารณารูปที่ 2.5 และทำการรวมโมเมนต์รอบจุดศูนย์กลางถ่วงของแรงดึง และผลรวมโมเมนต์รอบจุดศูนย์กลางถ่วงของแรงอัด จะได้ค่ากำลังรับแรงดัดสูงสุด มีค่าดังแสดงในสมการที่ (2.8) และสมการที่ (2.9) ตามลำดับ ดังนี้

$$M_m = \frac{b_e d^2 k j F_b}{2} \quad (2.8)$$

$$M_s = A_s j d F_s \quad (2.9)$$

โดยที่

M_m คือ โมเมนต์ดัดที่ยอมให้ของผนังซึ่งถูกควบคุมโดยหน่วยแรงอัดที่ยอมให้ของวัสดุก่อ

j คือ ตัวคูณซึ่งสามารถหาได้จากสมการ $j = 1 - (k/3)$

F_b คือ หน่วยแรงอัดที่เกิดจากแรงดัดที่ยอมให้ของวัสดุก่อ โดยที่ มาตรฐาน ACI 530-92 กำหนดให้ค่าเท่ากับ $(1/3)f'_m$ เมื่อ f'_m คือ กำลังรับแรงอัดของปริซึมวัสดุก่อ

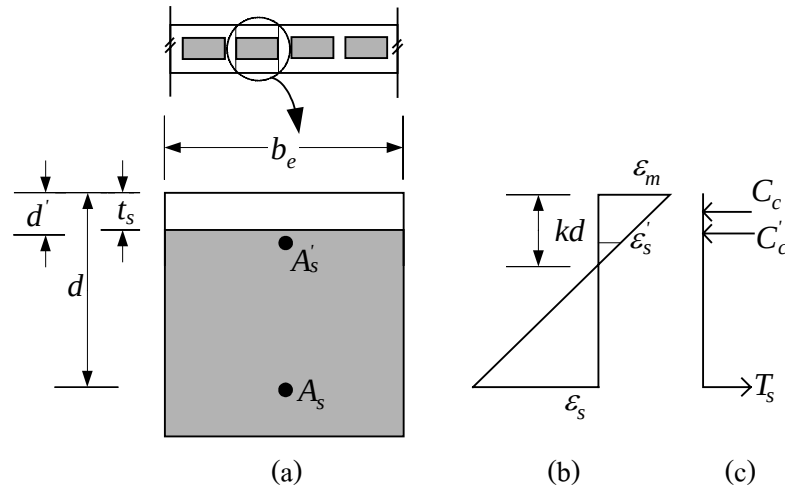
M_s คือ โมเมนต์ดัดที่ยอมให้ของผนังซึ่งถูกควบคุมโดยหน่วยแรงดึงที่ยอมให้ของเหล็กเสริม F_s คือ หน่วยแรงดึงที่ยอมให้ของเหล็กเสริม โดยที่ มาตรฐาน ACI 530-92 กำหนดให้ค่าได้สูงสุดไม่เกิน 165.5 MPa สำหรับเหล็กเสริม grade 60

จากสมการที่ (2.8) และ สมการที่ (2.9) สังเกตได้ว่า กำลังรับแรงดัดของผนังที่คำนวณได้จากสมการทั้งสองขึ้นอยู่กับกำลังที่ยอมให้ของวัสดุ กล่าวคือ สมการที่ (2.8) เป็นสมการที่ป้องกันการเกิดการวิบัติในคอนกรีตบล็อก และสมการที่ (2.9) เป็นสมการที่ป้องกันการวิบัติโดยการครากของเหล็กเสริม ดังนั้นกำลังรับแรงดัดที่ยอมให้ของผนังแบบกรอกปูนกรอกทุกช่องและมีเฉพาะเหล็กเสริมรับแรงดึงมีค่าเท่ากับค่าที่น้อยกว่าที่คำนวณได้จากสมการที่ (2.8) และ (2.9) โดยขั้นตอนวิธีการออกแบบสามารถแสดงเป็นแผนผังลำดับงาน (flowchart) ได้ดังแสดงในรูปที่ จ.1 ในภาคผนวก จ

2.5.2 การวิเคราะห์กำลังรับแรงดัดของผนังแบบกรอกปูนกรอกทุกช่องและมีเหล็กเสริมรับแรงอัด

Masonry Design's Guide ซึ่งอ้างอิงกับมาตรฐานการออกแบบของ ACI 530-92 ได้ใช้วิธีหน่วยแรงใช้งานในการวิเคราะห์กำลังและเสนอลักษณะของหน้าตัดที่ใช้ในการวิเคราะห์โดย

ใช้สมมุติฐานที่ว่าคอนกรีตบล็อกและปูนกรอกไม่รับแรงดึง ทำให้ลักษณะของหน้าตัดที่ใช้ในการวิเคราะห์กำลังของผนังรูปแบบนี้มีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ลักษณะหน้าตัดที่ใช้วิเคราะห์กำลังรับแรงดัดของผนังแบบกรอกปูนกรอกทุกช่องและมีเหล็กเสริมรับแรงอัด (a) รูปขยายบริเวณที่พิจารณา (b) การกระจายความเคี้ยว (c) แรงที่กระทำ

จากการพิจารณารูปที่ 2.6 และทำการรวมโมเมนต์รอบจุดศูนย์กลางถ่วงของแรงดึง และผลรวมโมเมนต์รอบจุดศูนย์กลางถ่วงของแรงอัด จะได้ค่ากำลังรับแรงดัดสูงสุด มีค่าดังแสดงในสมการที่ (2.10) และสมการที่ (2.11) ตามลำดับ ดังนี้

$$M_m = \left[\frac{b_e k d}{2} + A'_s (n-1) (1 - d' / k d) \right] \left(d - \bar{Y} \right) F_b \quad (2.10)$$

$$M_s = A_s \left(d - \bar{Y} \right) F_s \quad (2.11)$$

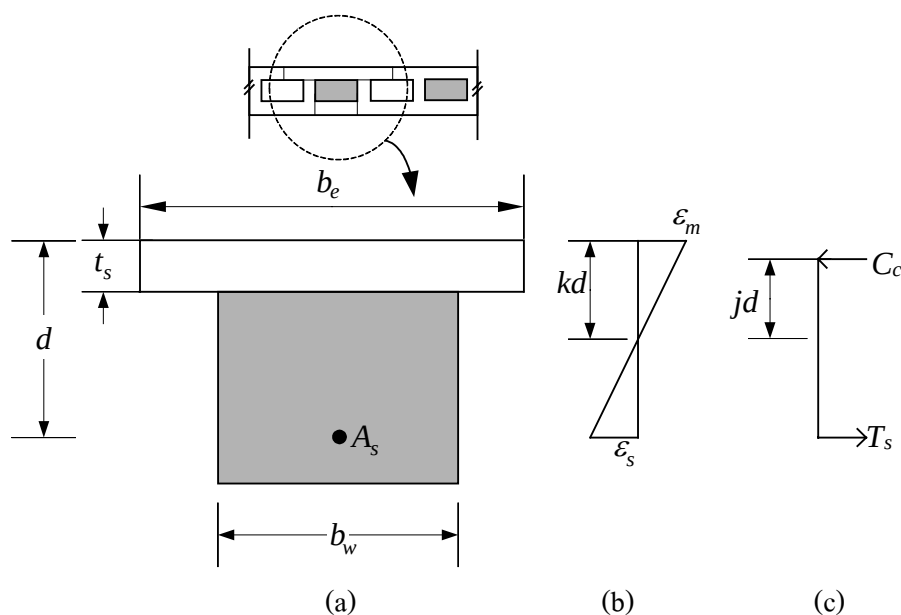
โดยที่ M_s คือ โมเมนต์ดัดที่ยอมให้ของผนังซึ่งถูกควบคุมโดยหน่วยแรงดึงที่ยอมให้ของเหล็กเสริม และ M_m คือ โมเมนต์ดัดที่ยอมให้ของผนังซึ่งถูกควบคุมโดยหน่วยแรงอัดที่ยอมให้ของวัสดุก่อ

จากสมการที่ (2.10) และ สมการที่ (2.11) สังเกตได้ว่า กำลังรับแรงดัดของผนังที่

คำนวณได้จากสมการทั้งสองขึ้นอยู่กับกำลังที่ยอมให้ของวัสดุ กล่าวคือ สมการที่ (2.10) เป็นสมการที่ป้องกันการเกิดการวิบัติในวัสดุก่อน และสมการที่ (2.11) เป็นสมการที่ป้องกันการวิบัติโดยการครากของเหล็กเสริม ดังนั้นกำลังรับแรงดัดที่ยอมให้ของผนังแบบกรอกปูนกรอกทุกช่องและมีเหล็กเสริมรับแรงอัดจะมีค่าเท่ากับค่าที่น้อยกว่าที่คำนวณได้จากสมการที่ (2.10) และ (2.11) โดยขั้นตอนวิธีการออกแบบสามารถแสดงเป็นแผนผังลำดับงานได้ดังแสดงในรูปที่ จ.2 ในภาคผนวก จ

2.5.3 การวิเคราะห์กำลังรับแรงดัดของผนังแบบกรอกปูนกรอกช่องเว้นช่องและมีเฉพาะเหล็กเสริมรับแรงดึง

การวิเคราะห์กำลังรับแรงดัดของผนังแบบกรอกปูนกรอกช่องเว้นช่องและมีเฉพาะเหล็กเสริมรับแรงดึง สามารถพิจารณารูปร่างของหน้าตัดที่ใช้ในการหาสมการการออกแบบแรงดัดให้มีลักษณะเป็นหน้าตัดสี่เหลี่ยมรูปตัวทีดังแสดงในรูปที่ 2.7 ได้เนื่องจากสมมุติฐานที่ว่าคอนกรีตบดอัดและปูนกรอกไม่รับแรงดึง โดยที่มาตรฐาน NAVFAC DM-2.9 (NAVY Manual) ได้เสนอค่าสัมประสิทธิ์ที่ใช้ในการออกแบบและขั้นตอนดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.7 ลักษณะหน้าตัดที่ใช้วิเคราะห์กำลังรับแรงดัดของผนังแบบกรอกปูนกรอกช่องเว้นช่องและมีเฉพาะเหล็กเสริมรับแรงดึง (a) รูปขยายบริเวณที่พิจารณา (b) การกระจายความเครียด (c) แรงที่กระทำ

นอกจากนั้น NAVFAC DM-2.9 (NAVY Manual) ได้นิยามตัวแปรซึ่งเป็นค่าอัตราส่วน เหล็กเสริมที่ทำให้เหล็กเสริมเกิดการครากพร้อมกับการบดแตกของคอนกรีตบล็อก ซึ่งโดยปกติค่า อัตราส่วนเหล็กเสริมดังกล่าวจะถูกเรียกว่า อัตราส่วนเหล็กเสริมสมดุล (balance steel ratio) ซึ่ง สามารถหาได้จากสมการที่ (2.12) ดังนี้

$$\rho_b = \frac{F_b t_s}{d F_s} \left[1 - \frac{t_s (n F_b + F_s)}{2 n d F_b} \right] \quad (2.12)$$

ความสามารถในการต้านทานโมเมนต์ดัดของหน้าตัดขึ้นอยู่กับค่า ρ_b กล่าวคือ

1. เมื่อ $\rho < \rho_b$ ทำให้ กำลังรับแรงดิ่งน้อยลงจะทำให้ระยะ kd ลดลงหน่วยการยืด หด ε_s ที่ได้จะมากกว่า ε_y กรณีนี้เหล็กจะครากก่อนที่คอนกรีตมีความเครียดถึงจุดแตกหัก หรือ 0.003 ดังนั้น โมเมนต์ที่สามารถรับได้จะถูกควบคุมโดย เหล็กเสริม ดังนั้น

$$M_{max} = M_{rs} = F_s A_s j d \quad (2.13)$$

2. เมื่อ $\rho > \rho_b$ ทำให้ กำลังรับแรงดิ่งมากขึ้นจะทำให้ระยะ kd มากขึ้นหน่วยการยืด หด ε_m ที่ได้จะมากกว่า ε_s กรณีนี้เหล็กจะครากหลังจากคอนกรีตมีความเครียดถึงจุดแตกหัก หรือ 0.003 ดังนั้น โมเมนต์ที่สามารถรับได้จะถูกควบคุมโดยคอนกรีตบล็อก ดังนั้น

$$M_{max} = M_{rm} = F_b k j b d^2 \left[1 - \frac{t_s}{2 k d} \right] \quad (2.14)$$

โดยขั้นตอนวิธีการออกแบบสามารถแสดงเป็นแผนผังลำดับงานได้ดังแสดงในรูปที่ จ.3 ใน ภาคผนวก จ

จากทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กภายใต้แรงดัดที่กล่าวมาข้าง ต้น พบว่ายังไม่ได้กล่าวถึงวิธีการออกแบบในส่วนของกำลังรับแรงดัดของผนังที่มีรูปแบบการ กรอกปูนกรอกแบบช่องเว้นช่องและมีเหล็กเสริมรับแรงอัด ซึ่งรูปแบบของผนังดังกล่าวเป็นหนึ่งใน รูปแบบของผนังที่ต้องใช้ในการทดสอบในงานวิจัยนี้ด้วย ดังนั้น จึงจำเป็นต้องสร้างสมการออก แบบขึ้นมาเพื่อที่จะสามารถใช้ในงานวิจัยนี้ได้ โดยสมมุติฐานและขั้นตอนในการสร้างสมการจะถูก แสดงในบทที่ 3

2.5.4 สมการออกแบบผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กภายใต้แรงคดของ Australian Standard AS3700-1998

สมการออกแบบผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กภายใต้แรงคดที่กล่าวมาทั้งหมดในข้างต้นนั้นเป็นสมการวิเคราะห์กำลังรับรับแรงคดด้วยวิธีหน่วยแรงใช้งาน (working stress design) อย่างไรก็ตาม มีมาตรฐานการออกแบบของบางประเทศ เช่น ประเทศออสเตรเลีย ซึ่งอ้างอิงกับมาตรฐาน AS3700-1998 โดยเป็นการวิเคราะห์กำลังรับแรงคดของผนังด้วยวิธีกำลัง (ultimate strength design) และมีสมการกำลังรับแรงคดที่ยอมให้ของผนังวัสดุก่อเสริมเหล็กดังสมการที่ (2.15) ดังต่อไปนี้

$$M_d \leq \phi f_{sy} A_{sd} d \left[1 - \frac{0.6 f_{sy} A_{sd}}{1.3 f'_m b d} \right] \quad (2.15)$$

โดยที่

M_d คือ โมเมนต์คดสำหรับออกแบบของผนังวัสดุก่อเสริมเหล็กซึ่งคำนวณได้ตามข้อกำหนดของ Australian Standard และคูณด้วยตัวคูณน้ำหนักบรรทุก (load factor) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.5

ϕ คือ ตัวคูณลดกำลังมีค่าเท่ากับ 0.75 สำหรับผนังวัสดุก่อเสริมเหล็ก

f_{sy} คือ กำลังที่จุดครากของเหล็กเสริมมีค่าได้มากที่สุดไม่เกิน 400 MPa สำหรับเหล็กเสริม grade 400 Y

A_{sd} คือ พื้นที่หน้าตัดออกแบบของเหล็กเสริมหลักของผนังวัสดุก่อเสริมเหล็กเป็นค่าที่น้อยกว่าระหว่าง $(0.29)1.3 f'_m b d / f_{sy}$ และ A_{st}

A_{st} คือ พื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริมควรมีค่าไม่น้อยกว่า $0.0013bd$

2.6 สรุป

จากที่กล่าวมาทั้งหมดในตอนต้นสามารถสรุปในท้ายบทนี้ได้ว่า ปัญหาที่ต้องการจะแก้ไขที่ได้นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้คือการลดเวลาการก่อสร้างลงจากการก่อสร้างผนังรับน้ำหนักรูปแบบเดิมๆ ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้จะเสนอโดยการไม่ใช้ปูนก่อในการก่อสร้างผนัง หลังจากที่เราพบปัญหาและแนวทางในการแก้ปัญหาแล้ว จากนั้นจึงได้ทำการค้นคว้าบทความที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย รวมทั้งทฤษฎีที่ใช้เป็นพื้นฐานในการเสนอสมการออกแบบผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อ ซึ่งจากการค้นคว้าดังกล่าวพบว่า ยังไม่มีบทความใดที่ได้กล่าวถึงการรับแรงคดอัดในแนวแกนและกำลังรับแรงคดของผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อโดยตรง นอกจากนั้นแล้ว ทฤษฎีที่

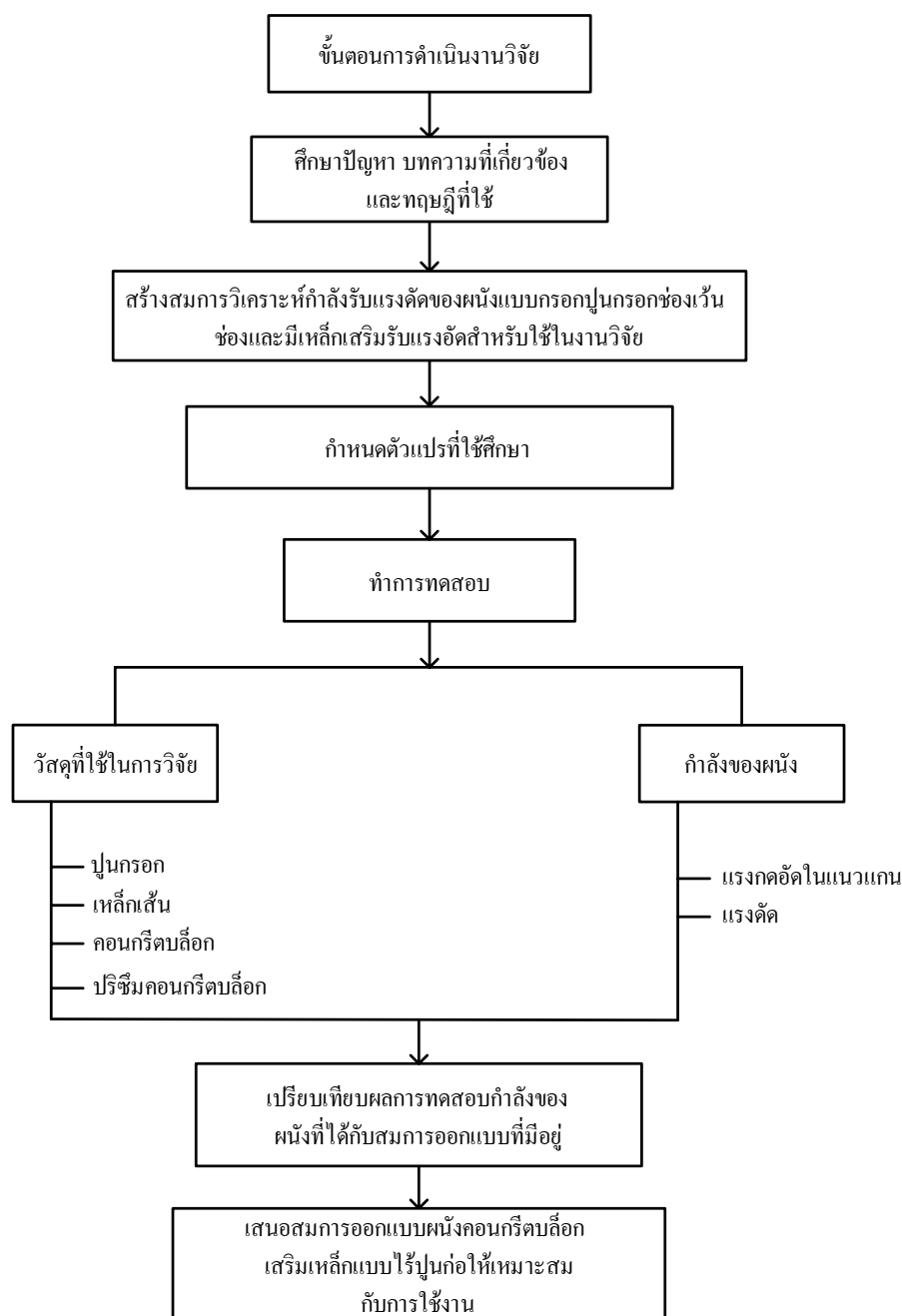
ใช้ออกแบบกำลังรับแรงดัดยังไม่มีส่วนของผนังแบบกรอกปูนกรอกช่องเว้นช่องและมีเหล็กเสริมรับแรงอัด ดังนั้น จึงจำเป็นที่ต้องสร้างสมการออกแบบขึ้นมาเพื่อที่จะสามารถใช้ในงานวิจัยนี้ได้ โดยสมมุติฐานและขั้นตอนในการสร้างสมการจะถูกแสดงในบทที่ 3 ซึ่งจะกล่าวต่อไป

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 บทนำ

หลังจากในบทที่ผ่านมาทำให้ทราบปัญหาที่เกิดขึ้นจากรูปแบบการก่อสร้างที่มีอยู่ในปัจจุบันและข้อจำกัดในสมการออกแบบผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กที่มีอยู่ ดังนั้นในบทนี้จะกล่าวถึงแนวทางในการวิจัยเพื่อให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย รวมทั้งจะอธิบายถึงขั้นตอนการสร้างสมการวิเคราะห์กำลังรับแรงค้ำของผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อแบบกรอกปูนกรอกช่องเว้นช่องและมีเหล็กเสริมรับแรงอัดเพื่อใช้ในการงานวิจัยซึ่งพบว่ายังไม่มีมาตรฐานใดที่ได้อธิบายไว้ จากนั้นจะอธิบายการกำหนดตัวแปรที่จะใช้ในการทดสอบ รวมถึงวิธีการทดสอบหาค่าคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการทำการวิจัย ซึ่งได้แก่ ค่ากำลังรับแรงอัดของปูนกรอก ค่าหน่วยแรงครากของเหล็กเสริม ค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อก ค่ากำลังรับแรงอัดของปรีซึมคอนกรีตบล็อก เป็นต้น เพื่อนำค่าที่ดังกล่าวที่ได้ไปใช้แทนค่าในสมการออกแบบผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กของ ACI และ Australian Standard ซึ่งโดยปกติแล้วที่ค่าที่ได้จากการทดสอบดังกล่าวจะได้มาจากการทดสอบวัสดุตามมาตรฐาน ASTM ที่กำหนดไว้ตามแต่ละชนิดของการทดสอบ สุดท้ายจะเป็นการอธิบายถึงขั้นตอนการทดสอบกำลังรับแรงกดอัดในแนวแกนและกำลังรับแรงค้ำของตัวอย่างทดสอบผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อเพื่อทราบถึงพฤติกรรมการรับแรงกดอัดในแนวแกนและแรงค้ำ รวมถึงลักษณะการวิบัติ จากที่กล่าวมาสามารถเขียนแสดงเป็นแผนผังลำดับงานได้ดังแสดงในรูปที่ 3.1



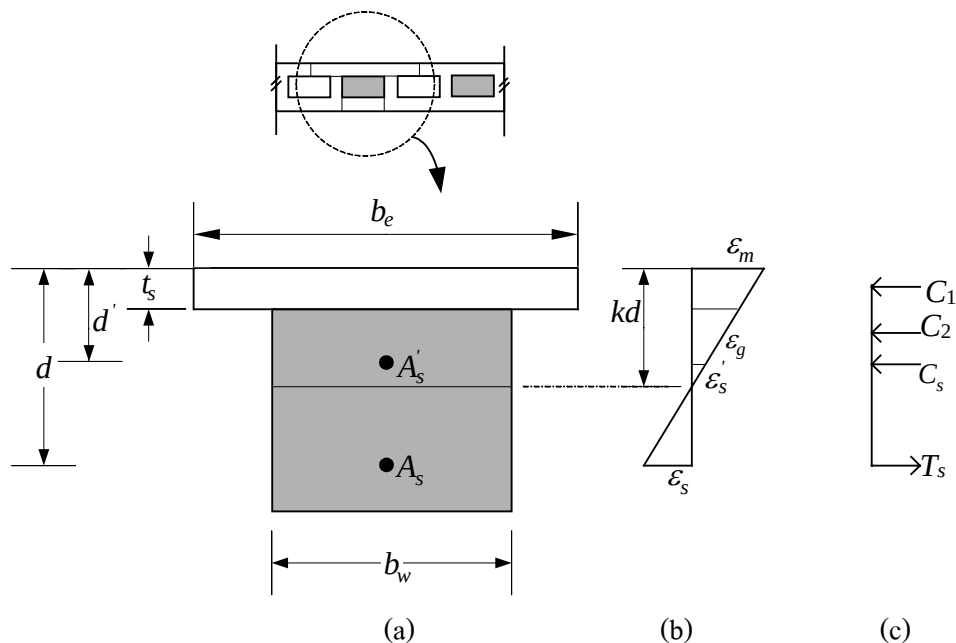
รูปที่ 3.1 แผนภูมิแสดงขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย

3.2 การวิเคราะห์กำลังรับแรงดัดของผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อแบบกรอกปูนกรอกช่องเว้าช่องและมีเหล็กเสริมรับแรงอัด

จากที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 ว่าจำเป็นจะต้องมีการสร้างสมการเพื่อใช้ในการวิเคราะห์และออกแบบผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อแบบกรอกปูนกรอกช่องเว้าช่องและมี

เหล็กเสริมรับแรงอัด ดังนั้นในหัวข้อนี้จึงนำเสนอขั้นตอนเพื่อที่จะได้มาซึ่งสมการดังกล่าวโดยใช้สมมติฐานในการออกแบบเดียวกันกับวิธีการออกแบบของมาตรฐานที่มีอยู่เดิมดังที่ได้กล่าวไปแล้ว แต่จะมีสมมติฐานเพิ่มเติมจากเดิม คือปูนกรอก คอนกรีตบล็อก และเหล็กเสริมทำงานร่วมกันอย่างสมบูรณ์

ขั้นตอนในการสร้างสมการจะเริ่มจากการที่สมมติให้ kd มีค่ามากกว่าระยะ d' ซึ่งจะทำให้ผนังมีเหล็กเสริมรับแรงอัด และมีแบบจำลองที่ใช้ในการวิเคราะห์เป็นไปตามรูปที่ 3.2 จากนั้นทำการคำนวณค่า kd ถ้าค่า kd ที่คำนวณได้จากการสมมตินี้ มากกว่า d' จริงก็สามารถคำนวณในขั้นต่อไปได้เลยโดยไม่ต้องปรับค่า k และแขนโมเมนต์ (moment arm) แต่ถ้าหากว่า ค่า kd ที่คำนวณได้มีค่าน้อยกว่า d' จะทำให้เหล็กเส้นรับแรงอัดในรูปที่ 3.3 อยู่ภายใต้หน่วยแรงดึงและแบบจำลองที่ใช้ในการวิเคราะห์เปลี่ยนเป็นแบบจำลองดังแสดงในรูปที่ 3.3 ดังนั้นจึงต้องทำการปรับค่า k และระยะแขนโมเมนต์ จากนั้นจึงสามารถคำนวณในขั้นตอนต่อไป



รูปที่ 3.2 แบบจำลองที่ใช้ในการคำนวณในกรณีที่เสนอกรณี kd มีค่ามากกว่า d'

(a) รูปขยายบริเวณที่พิจารณา (b) การกระจายความเครียด (c) แรงที่กระทำ

โดยการสมมติว่า $kd > d'$ และจากความสอดคล้องของความเครียดจะได้

$$f_g = \frac{f_m}{kd}(kd - t_s) \quad (3.1)$$

$$f_s = \frac{nf_m(d - kd)}{kd} \quad (3.2)$$

$$f_s = \frac{nf_m(kd - d')}{kd} \quad (3.3)$$

$$C_1 = \frac{(f_m + f_g)b_e t_s}{2} \quad (3.4)$$

$$C_2 = \frac{f_g b_w [(kd - t_s) - A_s]}{2} \quad (3.5)$$

$$T_s = A_s f_s \quad (3.6)$$

$$C_s = A_s f_s' \quad (3.7)$$

จากสมมูลของแรงจะได้

$$T_s = C_1 + C_2 + C_s \quad (3.8)$$

แทนค่าสมการที่ (3.4) ถึง (3.7) ลงในสมการที่ (3.8) จะได้

$$A_s f_s = \frac{(f_g + f_m)b_e t_s}{2} + \frac{f_g [b_w (kd - t_s) - A_s]}{2} + A_s f_s'$$

$$2A_s f_s = (f_g + f_m)b_e t_s + f_g b_w (kd - t_s) - f_g A_s + 2A_s f_s' \quad (3.9)$$

แทนค่าสมการที่ (3.1) ถึง (3.3) ลงในสมการที่ (3.9) จะได้

$$2nA_s f_m \frac{(d - kd)}{kd} = \frac{f_m}{kd} [(2kd - t_s)b_e t_s + b_w (kd - t_s)^2 - A_s (kd - t_s) + 2nA_s (kd - d')]$$

นำ f_m / kd หาคัดลอดทั้งสองข้างของสมการแล้วจัดรูปใหม่จะได้

$$b_w d^2 k^2 + [2dt_s(b_e - b_w) + dA_s(4n+1)]k + [t_s^2(bw - be) + A_s(t_s - 2nd' - 2nd)] = 0$$

กำหนดให้

$$a = b_w d^2 \quad (3.10)$$

$$b = 2dt_s(b_e - b_w) + dA_s(4n+1) \quad (3.11)$$

$$c = t_s^2(b_w - b_e) + A_s(t_s - 2nd' - 2nd) \quad (3.12)$$

$$\therefore k = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad (3.13)$$

$$z = \frac{\alpha t_s + \beta d' + \gamma(kd + 2t_s) - \lambda(kd + 2t_s)^2}{3\alpha + \beta + 3(\gamma - \lambda)} \quad (3.14)$$

โดยที่

$$\alpha = b_e t_s (2kd - t_s) \quad (3.15)$$

$$\beta = 6nA_s(kd - d') \quad (3.16)$$

$$\gamma = b_w(kd - t_s)^2 \quad (3.17)$$

$$\lambda = A_s(kd - t_s) \quad (3.18)$$

เมื่อ z คือ ระยะจากผิวนอกสุดของด้านที่รับแรงอัดถึงแรงอัดลัพท์ A_s คือ พื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริมรับแรงดึงตัวที่รับหน่วยแรงดึงสูงกว่า b_w คือ ความกว้างของช่องที่กรอกปูน

กรอก b_e คือ ความกว้างประสิทธิภาพ ใช้ค่าที่น้อยที่สุดระหว่าง 6 เท่าของความหนา หรือ ระยะห่างของการกรอกปูนกรอก

$$j = 1 - \frac{z}{d} \quad (3.19)$$

อัตราส่วนเหล็กเสริมสมมูล ρ_b เป็นอัตราส่วนเหล็กเสริมที่ทำให้คอนกรีตบดแตกและเหล็กเสริมมีหน่วยแรงถึงจุดสูงสุดพร้อมกันพอดี ซึ่งวิธีนี้ ρ_b สามารถหาค่าได้จากสมการที่ (3.20) ดังนี้

$$\rho_b = \frac{F_b b_e t_s (2k_b d - t_s) + F_b b_w (k_b d - t_s)^2}{2b_e k_b d^2 F_s + b_e d F_b (k_b d - t_s) + n F_b b_e d (k_b d - d')} \quad (3.20)$$

โดยที่ k_b ในสมการที่ (3.15) นั้นคือค่า k ในสภาวะสมดุลซึ่งหาได้จากสมการที่ (3.21) ดังนี้

$$k_b = \frac{n F_b}{n F_b + F_s} \quad (3.21)$$

ความสามารถในการต้านทานโมเมนต์ดัดของหน้าตัดขึ้นอยู่กับค่า ρ_b ดังนี้

1. เมื่อ $\rho < \rho_b$ ทำให้ กำลังรับแรงดิ่งน้อยลงจะทำให้ระยะ kd ลดลงหน่วยการยืดหด ε_s ที่ได้จะมากกว่า ε_y กรณีนี้เหล็กจะครากก่อนที่คอนกรีตมีความเครียดถึงจุดแตกหัก หรือ 0.003 ดังนั้นโมเมนต์ที่สามารถรับได้จะถูกควบคุมโดย เหล็กเสริม ดังนั้น

$$M_{max} = M_{rs} = F_s A_s j d \quad (3.22)$$

2. เมื่อ $\rho > \rho_b$ ทำให้ กำลังรับแรงดิ่งมากขึ้นจะทำให้ระยะ kd เพิ่มขึ้นหน่วยการยืดหด ε_m ที่ได้จะมากกว่า ε_s กรณีนี้เหล็กจะครากหลังจากคอนกรีตมีความเครียดถึงจุดแตกหัก หรือ 0.003 ดังนั้นโมเมนต์ที่สามารถรับได้จะถูกควบคุมโดยคอนกรีตบดแตก ดังนั้น

$$M_{max} = jF_b \left[\frac{(2kd - t_s)b_e t_s + b_w(kd - t_s)^2 - A_s(kd - t_s) + 2nA_s(kd - d')}{2k} \right] \quad (3.23)$$

สำหรับในกรณีที่ ค่า kd ที่คำนวณได้ มีค่าน้อยกว่าค่า d' สัมประสิทธิ์ a, b และ c ที่อยู่ในสมการ (3.10) ถึง (3.12) รวมทั้งโมเมนต์ที่หน้าตัดรับได้จะถูกปรับค่าใหม่ดังนี้

$$a = b_w d^2 \quad (3.24)$$

$$b = 2dt_s(b_e - b_w) + 4ndA_s \quad (3.25)$$

$$c = t_s^2(b_w - b_e) - 2nA_s(d' + d) \quad (3.26)$$

$$j = \frac{\bar{y} + d' - z}{d} \quad (3.27)$$

โดยที่ $\bar{y}$ คือ ระยะศูนย์กลางของแรงดึงหาได้จากสมการที่ (3.28)

z คือ ระยะศูนย์กลางของแรงอัดหาได้จากสมการที่ (3.29)

$$\bar{y} = \frac{(d - kd)(d - d')}{d' + d - 2kd} \quad (3.28)$$

$$z = \frac{2t_s\beta(\alpha - 1) + 6t_s\beta + 2\gamma(kd + 2t_s)}{6\beta(\alpha + 1) + \gamma} \quad (3.29)$$

เมื่อ $\alpha = \frac{kd}{kd - t_s}$

$$\beta = b_e t_s$$

$$\gamma = b_w(kd - t_s)$$

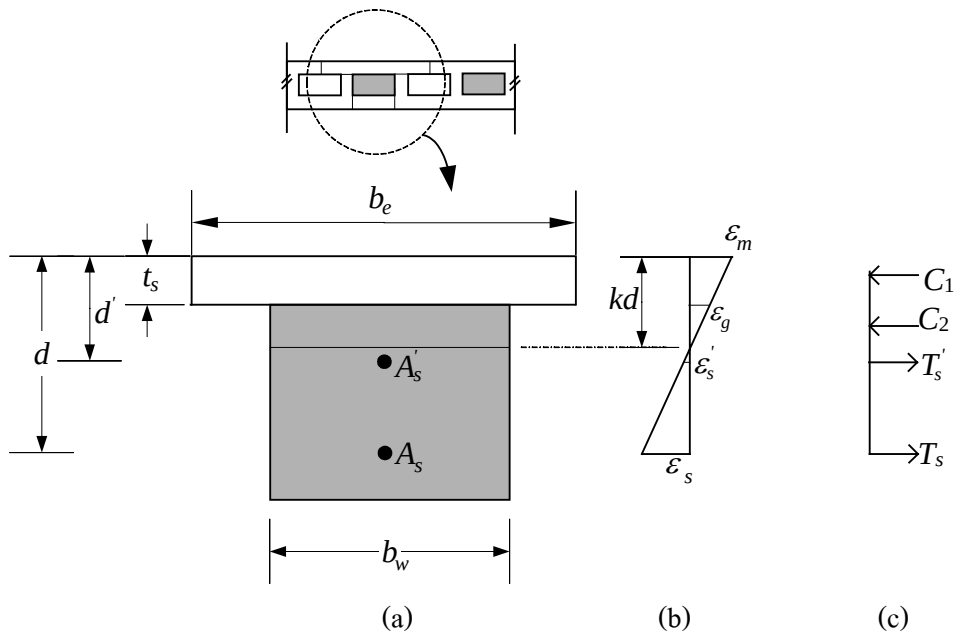
$$\rho_b = \frac{(2k_b d - t_s) + b_w (k_b d - t_s)^2}{2nb_e (d' + d - 2k_b d)} \quad (3.30)$$

สำหรับ $\rho < \rho_b$ จะได้

$$M_{max} = M_{rs} = A_s F_s j d \left[1 + \frac{(d' - kd)}{d - kd} \right] \quad (3.31)$$

สำหรับ $\rho > \rho_b$ จะได้

$$M_{max} = M_{rm} = jF_b \left(\frac{b_e t_s (2kd - t_s) + b_w (kd - t_s)^2}{2k} \right) \quad (3.32)$$



รูปที่ 3.3 แบบจำลองที่ใช้ในการคำนวณในทฤษฎีที่เสนอกรณีที่ kd มีค่าน้อยกว่า d'

(a) รูปขยายบริเวณที่พิจารณา (b) การกระจายความเค้น (c) แรงที่กระทำ

โดยขั้นตอนวิธีการออกแบบสามารถแสดงเป็นแผนผังลำดับงานได้ดังแสดงในรูปที่ จ.4 ใน

ภาคผนวก จ

จากทฤษฎีแนวความคิดที่เสนอนี้ คาดว่าจะสามารถทำนายพฤติกรรมการรับแรงคดของผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อนที่ใช้ในงานวิจัยได้

3.3 ตัวแปรที่ใช้ในงานวิจัย

ในการศึกษาพฤติกรรมของผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อนภายใต้แรงกดอัดในแนวแกนและภายใต้แรงคดที่ต้องการที่จะศึกษาผลของอัตราส่วนความชะลูด อัตราส่วนเหล็กเสริม และรูปแบบการกรอกปูนกรอกที่มีผลต่อกำลังรับแรงกดอัดในแนวแกนและกำลังรับแรงคดของผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อน ซึ่งตัวแปรที่ใช้สามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

3.3.1 อัตราส่วนความชะลูด

งานวิจัยนี้จะศึกษาผลของอัตราส่วนความชะลูด 3 ค่า ซึ่งจะเลือกมาจากความสูงของผนังที่มีความสูงครอบคลุมในช่วงการใช้งานจริงซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 0.80 เมตร ถึง 3.00 เมตร และเมื่อใช้ความสูงของคอนกรีตบล็อกที่ใช้ในงานวิจัยซึ่งมีความสูงก้อนละ 190 มิลลิเมตร จะทำให้ผนังที่ใช้ในการทดสอบมีความสูง 0.76 เมตร 2.47 เมตร และ 2.85 เมตร ซึ่งเมื่อนำค่าความสูงของผนังดังกล่าวมาคำนวณหาอัตราส่วนความชะลูดซึ่งถูกนิยามโดยอัตราส่วนระหว่างความสูงต่อรัศมีไจเรชั่นของผนังจะได้อัตราส่วนความชะลูดสำหรับผนังแบบกรอกปูนกรอกทุกช่อง 3 ค่า ได้แก่ 18.81 61.14 และ 70.54 และจะได้อัตราส่วนความชะลูดสำหรับผนังแบบกรอกปูนกรอกช่องเว้นช่อง 3 ค่าได้แก่ 17.35 56.39 และ 65.07 ซึ่งค่าอัตราส่วนที่ได้ดังกล่าวจะทำให้ผนังอยู่ในช่วงผนังเดี่ยวตามมาตรฐาน ACI 530-92

3.3.2 อัตราส่วนเหล็กเสริม

ในกรณีการทดสอบแรงกดอัดในแนวแกน อัตราส่วนเหล็กเสริมหาได้จากอัตราส่วนระหว่างพื้นที่หน้าตัดทั้งหมดของเหล็กเสริมที่ใช้ที่ใช้ในแต่ละผนังกับพื้นที่หน้าตัดสุทธิของคอนกรีตบล็อกรวมกับปูนกรอก โดยที่พื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริมดังกล่าวจะถูกเลือกมาจากพื้นที่หน้าตัดของเหล็กเส้นเสริมคอนกรีตที่มีขายทั่วไปตามท้องตลาดซึ่งจะทำให้ได้อัตราส่วนเหล็กเสริมสำหรับ 4 ค่าได้แก่ 0.0047 0.0055 0.0083 และ 0.0097 ซึ่งค่าที่ใช้ดังกล่าวอยู่ในช่วงอัตราส่วนเหล็กเสริมที่ยอมให้ใช้ได้ผนังตามมาตรฐาน ACI 530-92 ในขณะที่ในการทดสอบแรงคด อัตราส่วนเหล็กเสริมสามารถหาได้จากอัตราส่วนระหว่างพื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริมรับแรงคดในแต่ละผนังกับพื้นที่หน้าตัดสุทธิของคอนกรีตบล็อกรวมกับปูนกรอกตลาด ซึ่งจะทำให้ได้อัตราส่วนเหล็กเสริมสำหรับ 4 ค่าได้แก่ 0.0024 0.0028 0.0042 และ 0.0049

3.3.3 รูปแบบการกรอกปูนกรอก

รูปแบบการกรอกปูนกรอกที่ใช้ในงานวิจัยจะมี 2 รูปแบบคือ กรอกปูนกรอกทุกช่อง และกรอกปูนกรอกช่องเว้นช่อง ซึ่งเป็นรูปแบบที่ใช้กันโดยส่วนมากในการก่อสร้างผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็ก

3.4 การทดสอบคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

3.4.1 การทดสอบหากล้างรับแรงกดอัดของปูนกรอก

การทดสอบหากล้างรับแรงกดอัดของปูนกรอกมีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะศึกษาพฤติกรรมทางกลและคุณสมบัติทางกลของปูนกรอก ภายใต้แรงกดอัด โดยใช้เครื่องมือ วัสดุ อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ รวมทั้งวิธีการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C1019-89a โดยมีรายละเอียดดังแสดงในภาคผนวก ก

3.4.2 การทดสอบคุณสมบัติของเหล็กเส้นภายใต้แรงดึง

การทดสอบคุณสมบัติของเหล็กเส้นภายใต้แรงดึงมีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะศึกษาพฤติกรรมทางกลของเหล็กเส้นที่ใช้ในงานวิจัย โดยทำการทดสอบภายใต้การกระทำของแรงดึง โดยจะได้คุณสมบัติทางกลของเหล็กเส้นซึ่งประกอบไปด้วย หน่วยแรงคราก (yielding stress) หน่วยแรงสูงสุด (ultimate stress) โมดูลัสยืดหยุ่น (modulus of elasticity) เปอร์เซ็นต์การยืดและ รูปแบบการวิบัติ (mode of failure) โดยใช้เครื่องมือ วัสดุ อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ รวมทั้งวิธีการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E8 โดยมีรายละเอียดดังแสดงในภาคผนวก ก

3.4.3 การทดสอบหากล้างรับแรงกดอัดของคอนกรีตบล็อก

หากล้างรับแรงของผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กส่วนหนึ่งจะขึ้นอยู่กับหากล้างรับแรงกดอัดของคอนกรีตบล็อก ดังนั้นในการออกแบบผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อจึงจำเป็นจะต้องทราบคุณสมบัติดังกล่าวของคอนกรีตบล็อกด้วย การทดสอบหากล้างรับแรงกดอัดของคอนกรีตบล็อกมีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะหาหากล้างรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อก โดยใช้เครื่องมือ วัสดุ อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ รวมทั้งวิธีการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM ASTM C140 โดยมีรายละเอียดดังแสดงในภาคผนวก ก

3.4.4 การทดสอบหากล้างรับแรงอัดของปริซึมคอนกรีตบล็อก

ปริซึมคอนกรีตบล็อก คือ วัสดุประกอบที่ถูกสร้างมาจากคอนกรีตบล็อกที่เชื่อมติดกันอย่างน้อย 3 ก้อนด้วยวัสดุก่อโดยชั้นกลางจะเต็มก้อนชั้นล่างและชั้นบนจะมีขนาดครึ่งก้อน การทดสอบหากล้างรับแรงกดอัดของปริซึมคอนกรีตบล็อกจะให้ค่าที่ได้จากการทดสอบที่ใกล้เคียงกับการ

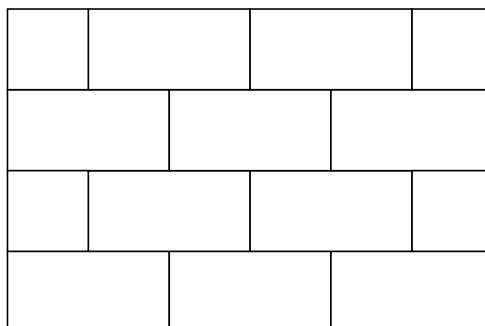
ใช้งานจริงมากกว่าการทดสอบกำลังรับแรงกดอัดของคอนกรีตบล็อก การทดสอบกำลังรับแรงอัดของปริซึมคอนกรีตบล็อกมีวัตถุประสงค์เพื่อหาลำดับรับแรงอัดของปริซึมคอนกรีตบล็อกโดยใช้เครื่องมือ วัสดุ อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ รวมทั้งวิธีการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E447-92b โดยมีรายละเอียดดังแสดงในภาคผนวก ก

3.5 การก่อสร้างผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อที่ใช้ในงานวิจัย

ผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อเป็นผนังซึ่งคาดว่าจะสามารถลดปัญหาเกี่ยวกับการเสียเวลาในการก่อสร้างดังที่ได้กล่าวไปแล้วในบทก่อนหน้านี้ โดยที่การก่อสร้างผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อที่ใช้สำหรับงานวิจัยนี้สามารถทำการก่อสร้างได้ตามขั้นตอนต่อไปนี้

1. เลือกคอนกรีตบล็อกที่จะนำมาใช้ในการก่อตั้งโดยคัดเฉพาะก้อนที่มีเหลี่ยมมุมที่สมบูรณ์ไม่บิดงอหรือ ชำรุด
2. ทำพื้นผิวบริเวณที่จะทำการก่อคอนกรีตบล็อกให้เรียบและได้ระดับ
3. ปรับพื้นที่ที่ก่อผนังให้เรียบโดยการใส่ปูนก่อที่มีอัตราส่วนผสมของปูนต่อทรายเท่ากับ 1:2 ลงบนฐานรับของผนัง ปูนก่อที่ใส่เข้าไปจะต้องเกลี่ยให้กว้างเท่ากับหน้าคอนกรีตบล็อก และจะต้องมีความหนาที่ความหนาของรอยต่อเล็กน้อย หรือประมาณ 1 เซนติเมตร เพื่อที่เวลาวางคอนกรีตบล็อกลงไป น้ำหนักของตัวบล็อก และแรงกดที่เกิดขึ้นจากการตอกหรือกระทุ้งคอนกรีตบล็อกให้เข้าที่ จะทำให้ความหนาของรอยต่อมีความพอดี
4. วางเรียงคอนกรีตบล็อกแบบเหลื่อมกันโดยไม่ต้องใช้ปูนก่อ ซึ่งมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 3.4 จากนั้นตรวจสอบระดับของระนาบคอนกรีตบล็อกที่เรียงไว้ด้วยระดับน้ำ ทำเช่นนี้ไปเรื่อยจนผนังมีความสูง 1.20 เมตร หรือ 6 ก้อนตามข้อกำหนดของ ACI 530.1-92 ตารางที่ 4.3.3.4
5. ทำการเสริมเหล็กในแนวความสูงของผนัง โดยพยายามควบคุมให้เหล็กเสริมอยู่ในแนวตั้งให้มากที่สุดโดยการใช้ลูกปูนที่มีความหนา 30 มิลลิเมตรมัดติดกับเหล็กเส้นให้ห่างเป็นช่วงๆ ช่วงละประมาณ 150 - 200 มิลลิเมตร รอบเหล็กเส้น ความหนาของลูกปูนจะทำให้เหล็กเส้นกับขอบภายในของโพรงขนานกัน ซึ่งจะช่วยให้เหล็กเส้นอยู่ในแนวตั้งได้พอสมควร
6. เทปูนกรอกที่มีอัตราส่วนผสมของ ปูนซีเมนต์ : ทราย : หิน เท่ากับ 1 : 2.25 : 3.5 โดยน้ำหนัก ซึ่งตามมาตรฐาน ACI 530.1-92 ตารางที่ 4.2.2.1 จัดว่าเป็นปูนกรอกชนิดหยาบ ลงในโพรงช่องว่างของผนังคอนกรีตบล็อก แล้วทิ้งตัวอย่างทดสอบไว้ 1 วัน เพื่อให้ปูนกรอกแข็งตัว และมีกำลังพอที่จะรับน้ำหนักคอนกรีตบล็อกในชั้นต่อไป

7. ทำการก่อสร้างผนังเพิ่มเติมโดยใช้ชั้นตอนในข้อที่ 5 ถึง 7 แล้วจึงปล่อยให้ผนังมีอายุครบ 7 วัน จึงทำการทดสอบแรงกดอัดต่อไป



รูปที่ 3.4 ลักษณะการวางตัวของคอนกรีตบล็อกแบบเหลี่ยมกัน

3.6 การทดสอบกำลังรับแรงกดอัดของผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อ

ในงานวิจัยนี้ แรงกดอัดที่กระทำกับผนังจะอยู่ในรูปของแรงกระทำแบบเป็นจุด ซึ่งได้จากการให้แรงโดยใช้เครื่องอัด hydraulic ยี่ห้อ ENERPAC™ ซึ่งมีแรงดันปลอดภัยสูงสุดเท่ากับ 68.9 MPa (10,000 psi) ซึ่งมีลักษณะดังแสดงอยู่ในรูปที่ 3.5



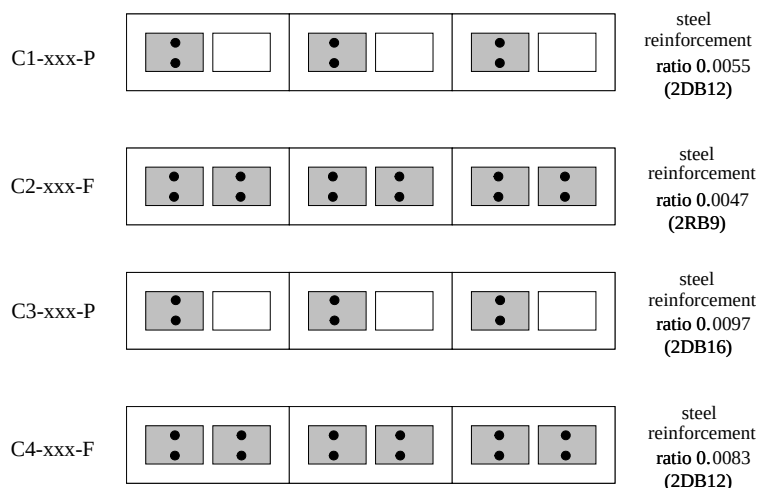
รูปที่ 3.5 เครื่องอัดไฮดรอลิกยี่ห้อ ENERPAC™

3.6.1 วัตถุประสงค์การทดสอบ

เพื่อทราบถึงพฤติกรรมกำลังรับแรงกดอัดในแนวแกน กำลังรับแรงกดอัดในแนวแกน ลักษณะการวิบัติภายใต้ตัวแปรที่ใช้ในงานวิจัยซึ่งได้แก่ อัตราส่วนความชะลูดของผนัง อัตราส่วนเหล็กเสริม และรูปแบบการกรอกปูนกรอก

3.6.2 ตัวอย่างการทดสอบ

รายชื่อตัวอย่างทดสอบและตัวแปรที่ใช้ในการทดสอบกำลังรับแรงกดอัดของผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อนมีรูปแบบการก่อสร้างดังแสดงในรูปที่ 3.6 และมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 3.1 โดยที่สัญลักษณ์ตัวแรกบอกถึงการทดสอบและอัตราส่วนเหล็กเสริม สัญลักษณ์ตัวที่สองบอกถึงความสูงของผนัง และสัญลักษณ์ตัวที่สามบอกถึงรูปแบบการกรอกปูนกรอก ตัวอย่างเช่น ผนังตัวอย่างชื่อ C1-247-P หมายถึง ตัวอย่างสำหรับทดสอบแรงกดอัดในแนวแกน (C หมายถึง compression) โดยมีอัตราส่วนเหล็กเสริม 0.0055 (เลข 1 หมายถึงอัตราส่วนเหล็กเสริม 0.0055 เลข 2 หมายถึง อัตราส่วนเหล็กเสริม 0.0047 เลข 3 หมายถึง อัตราส่วนเหล็กเสริม 0.0097 และเลข 4 หมายถึง อัตราส่วนเหล็กเสริม 0.0083) โดยมีความสูง 2.47 เมตรและมีรูปแบบการกรอกปูนกรอกแบบช่องเว้นช่อง (P หมายถึง partially grouted และ F หมายถึง fully grouted)



รูปที่ 3.6 รูปแบบผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อนในการทดสอบแรงกดอัดในแนวแกน

ตารางที่ 3.1 รายชื่อตัวอย่างทดสอบและตัวแปรที่ใช้ในการทำการทดสอบกำลังรับแรงอัดในแนวแกน

ชื่อตัวอย่างทดสอบ	ปริมาณเหล็กใน 1 ช่องปูนกรอก	อัตราส่วนเหล็กเสริม	อัตราส่วนความชะลูด	กรอกปูนกรอก	จำนวน
C1-076-P	2 DB 12	0.0055	17.35	ช่องเว้นช่อง	2
C1-247-P		0.0055	56.39	ช่องเว้นช่อง	2
C1-285-P		0.0055	65.07	ช่องเว้นช่อง	2
C2-076-F	2 RB 9	0.0047	18.81	ทุกช่อง	2
C2-247-F		0.0047	61.14	ทุกช่อง	2
C2-285-F		0.0047	70.54	ทุกช่อง	2
C3-076-P	2 DB 16	0.0097	17.35	ช่องเว้นช่อง	2
C3-247-P		0.0097	56.39	ช่องเว้นช่อง	2
C3-285-P		0.0097	65.07	ช่องเว้นช่อง	2
C4-076-F	2 DB 12	0.0083	18.81	ทุกช่อง	2
C4-247-F		0.0083	61.14	ทุกช่อง	2
C4-285-F		0.0083	70.54	ทุกช่อง	2

3.6.3 ขั้นตอนการทดสอบ

วิธีการทดสอบกำลังรับแรงกดอัดของผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อกมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

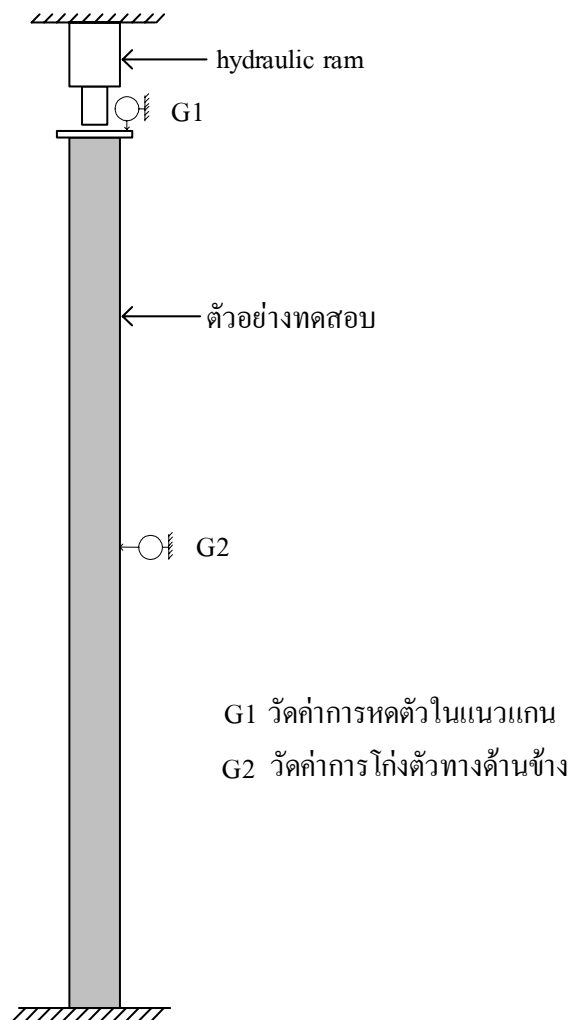
1. นำผนังที่ได้ทำการก่อสร้างตามข้อที่ 3.7 เข้ากับ loading frame โดยมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 3.7 และ 3.8 โดยวางแผ่นเหล็กรับแรงแบกทานขนาด 150 x 150 x 15 มิลลิเมตรที่ตำแหน่งหัวกดทดสอบเพื่อเป็นการกระจายแรงกดอัดให้สม่ำเสมอ

2. ติดตั้ง dial gauge ที่ตำแหน่งกึ่งกลางความสูงของผนัง เพื่อวัดค่าการโก่งตัวทางด้านข้างของผนัง และที่ปลายด้านบนของผนังบนแผ่นเหล็กรับแรงแบกทานเพื่อวัดค่าการหดตัวในแนวแกน ดังแสดงในรูปที่ 3.8 (b) และ 3.8 (c) ตามลำดับ

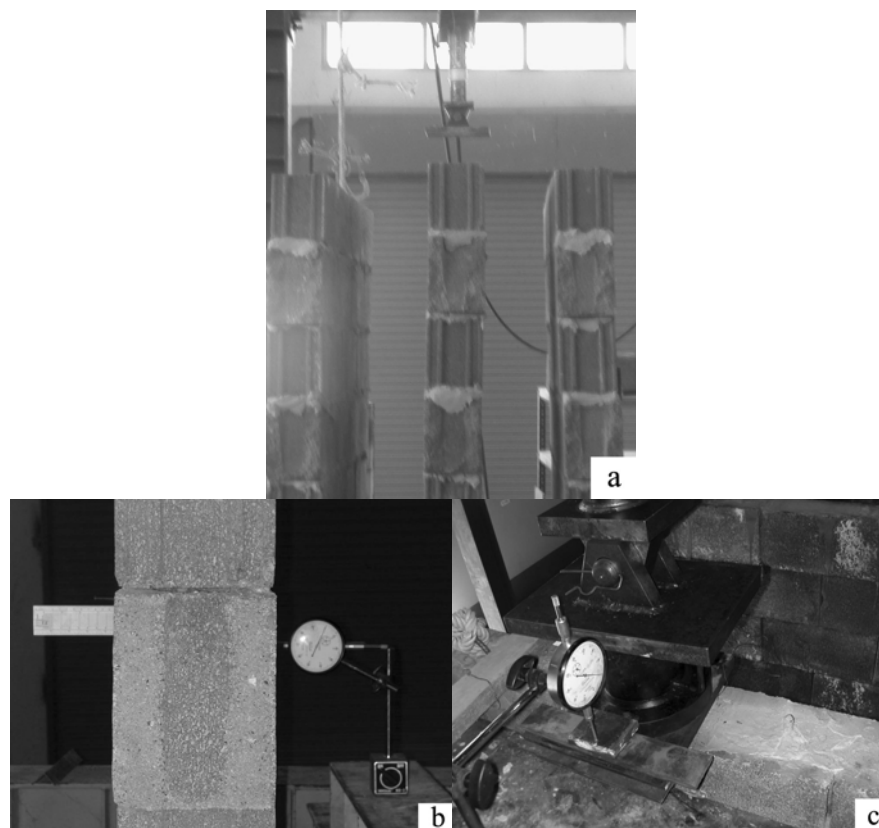
3. ทำการทดสอบแรงอัดของผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กจนกระทั่งผนังเกิดการวิบัติโดยการค่อยๆ เพิ่มน้ำหนักแก่ผนังผ่านเครื่องอัดไฮดรอลิก

4. บันทึกค่าแรงกดอัด และระยะหดตัวของผนังพร้อมทั้งบันทึกภาพการวิบัติ

5.เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดอัดและระยะการหดตัวในแนวแกน
ของผนัง



รูปที่ 3.7 ลักษณะการติดตั้งตัวอย่างทดสอบผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อภายใต้แรงกดอัด



รูปที่ 3.8 การติดตั้งเครื่องมือที่ใช้ทดสอบแรงอัดของผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อ
(a) ลักษณะการติดตั้งผนัง (b) การติดตั้ง dial gauge เพื่อวัดค่าการโก่งตัวทางด้านข้าง (c)
การติดตั้ง dial gauge เพื่อวัดค่าการหดตัวในแนวแกน

3.7 การทดสอบกำลังรับแรงดัดของผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อ

ในงานวิจัยนี้ แรงดัดที่กระทำกับผนังตัวอย่างจะอยู่ในรูปของแรงกระทำแบบให้แรงสี่จุดเป็นจุด (four-point loading) ซึ่งได้จากการให้แรงโดยใช้เครื่องอัดไฮดรอลิกยี่ห้อ ENERPAC™ เช่นเดียวกับการทดสอบกำลังรับแรงกดอัดของผนัง

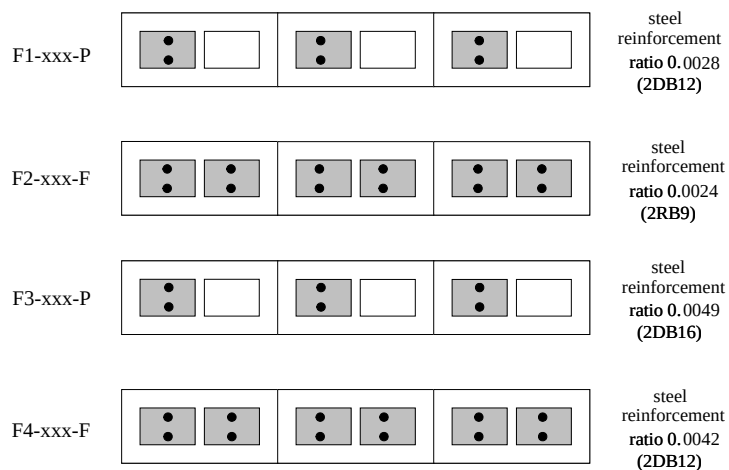
3.7.1 วัตถุประสงค์การทดสอบ

เพื่อทราบถึงพฤติกรรมการรับแรงดัด กำลังรับแรงดัด ลักษณะการวิบัติภายใต้ตัวแปรที่ใช้ในงานวิจัยของผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็ก

3.7.2 ตัวอย่างการทดสอบ

รายชื่อตัวอย่างทดสอบและตัวแปรที่ใช้ในการทดสอบกำลังรับแรงดัดของผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อมีรูปแบบการก่อสร้างดังแสดงในรูปที่ 3.9 และมีรายชื่อ

ละเอียดดังแสดงในตารางที่ 3.2 โดยที่สัญลักษณ์ตัวแรกบ่งบอกถึงการทดสอบและอัตราส่วนเหล็กเสริม สัญลักษณ์ตัวที่สองบ่งบอกถึงระยะห่างระหว่างจตุรกรับของผนัง และสัญลักษณ์ตัวที่สามบ่งบอกถึงรูปแบบการกรอกปูนกรอก ตัวอย่างเช่น ผนังตัวอย่างชื่อ F2-275-F หมายถึง ตัวอย่างสำหรับทดสอบแรงคด (F หมายถึง flexural) โดยมีอัตราส่วนเหล็กเสริม 0.0024 (เลข 1 หมายถึงอัตราส่วนเหล็กเสริม 0.0028 เลข 2 หมายถึง อัตราส่วนเหล็กเสริม 0.0024 เลข 3 หมายถึง อัตราส่วนเหล็กเสริม 0.0049 และเลข 4 หมายถึง อัตราส่วนเหล็กเสริม 0.0042) โดยมีระยะห่างระหว่างจตุรกรับเท่ากับ 2.75 เมตร และมีรูปแบบการกรอกปูนกรอกแบบทุกช่อง (P หมายถึง กรอกช่องเว้นช่อง และ F หมายถึง กรอกทุกช่อง)



รูปที่ 3.9 รูปแบบผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อในการทดสอบแรงคด

ตารางที่ 3.2 รายชื่อตัวอย่างทดสอบและตัวแปรที่ใช้ในการทดสอบกำลังรับแรงดัด

ชุดตัวอย่าง ทดสอบที่	ชื่อตัวอย่าง ทดสอบ	อัตราส่วน เหล็กเสริม	ระยะห่างของจุด รองรับ (เมตร)	กรอกปูน กรอก	จำนวน
F1-237-P	2 DB 12	0.0028	2.37	ช่องเว้นช่อง	2
F1-275-P		0.0028	2.75	ช่องเว้นช่อง	2
F2-237-F	2 RB 9	0.0024	2.37	ทุกช่อง	2
F2-275-F		0.0024	2.75	ทุกช่อง	2
F3-237-P	2 DB 16	0.0049	2.37	ช่องเว้นช่อง	2
F3-275-P		0.0049	2.75	ช่องเว้นช่อง	2
F4-237-F	2 DB 12	0.0042	2.37	ทุกช่อง	2
F4-275-F		0.0042	2.75	ทุกช่อง	2

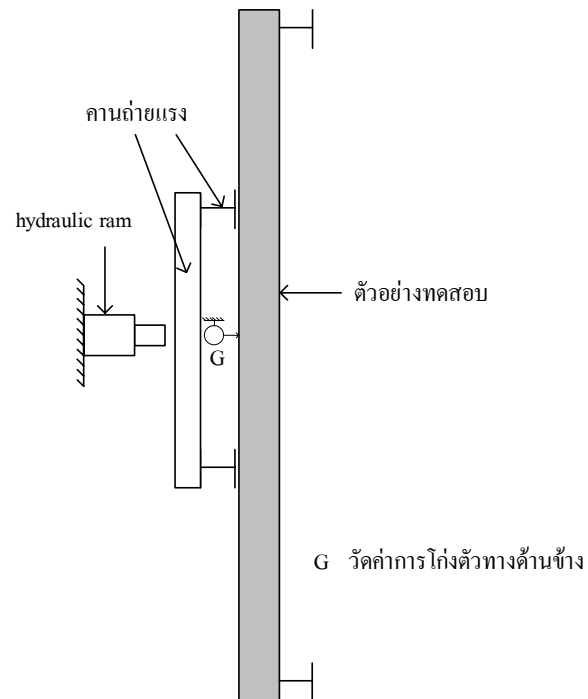
3.7.3 ขั้นตอนการทดสอบ

วิธีการทดสอบกำลังรับแรงดัดของผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อกมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. นำผนังที่ได้ทำการก่อสร้างตามข้อที่ 3.5 ติดตั้งเข้ากับ loading frame โดยที่ลักษณะการวางผนัง เป็นการวางผนังในแนวตั้งและรองรับด้วยจตุรรองรับอย่างง่าย (simple supported) ที่ตำแหน่งบนและล่างของผนัง ดังแสดงในรูปที่ 3.10 และ 3.11

2. ทำการทดสอบการรับแรงดัดของผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็ก โดยการให้แรงกระทำเป็นแบบสี่จุดจนกระทั่งผนังเกิดการวิบัติ

3. บันทึกค่าแรงกระทำและการเปลี่ยนโก่งตัวทางด้านข้างที่ตำแหน่งกึ่งกลางความสูงของผนัง แล้วเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำและการโก่งตัวทางด้านข้างของผนัง



รูปที่ 3.10 ลักษณะการติดตั้งตัวอย่างทดสอบผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อภายใต้แรงค้ำ



รูปที่ 3.11 การติดตั้งผนังตัวอย่างเข้ากับเครื่องทดสอบแรงค้ำของผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็ก

บทที่ 4

ผลการศึกษา

4.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติเบื้องต้นของวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย ได้แก่ ผลการทดสอบทราย ผลการทดสอบหิน ผลการทดสอบปูนซีเมนต์ ผลการทดสอบค่าการยุบตัวของ ปูนกรอก ผลการทดสอบคุณสมบัติของเหล็กเส้นภายใต้แรงดึง ผลการทดสอบกำลังรับแรงกดอัดของปูนกรอก ผลการทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตบล็อก ผลการทดสอบกำลังรับแรงกดอัดของ ปริซึมคอนกรีตบล็อกแบบไร้ปูนก่อ เพื่อที่จะนำผลการทดสอบของวัสดุดังกล่าวมาใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการแทนลงในสมการออกแบบของ ACI ดังตัวอย่างการคำนวณในภาคผนวก ง เพื่อใช้ในการออกแบบตัวอย่างทดสอบของผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อทั้งภายใต้แรงกดอัดและแรงดึง นอกจากนี้แล้วยังกล่าวถึงผลการทดสอบพฤติกรรมทางกล กำลังรับแรงและลักษณะการวิบัติของผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อภายใต้แรงกดอัดและแรงดึง

4.2 ผลการทดสอบวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

ผลการทดสอบวัสดุต่างๆ ที่ใช้ในการก่อสร้างผนังสำหรับใช้ในงานวิจัยนี้มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.2.1 ผลการทดสอบค่าการยุบตัวของปูนกรอก

ปูนกรอกที่ใช้ในการศึกษานี้มีอัตราส่วนผสมระหว่าง ปูนซีเมนต์ : ทราย : หิน เท่ากับ 1 : 2.4 : 3.4 ซึ่งจัดว่าเป็นปูนกรอกชนิดปูนกรอกหยาบตามมาตรฐาน ASTM C476 จากนั้นจึงนำปูนกรอกที่มีอัตราส่วนผสมดังกล่าวมาทดสอบหาค่าการยุบตัว พบว่าส่วนผสมที่ใช้ทำให้ปูนกรอกยุบตัวโดยเฉลี่ยประมาณ 250-280 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นค่ายุบตัวของปูนกรอกที่เหมาะสมสามารถต่อการนำไปใช้งานผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กได้

4.2.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติของเหล็กเส้นภายใต้แรงดึง

เหล็กเส้นที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นเหล็กเส้นที่ผลิตจากบริษัท เหล็กสยาม จำกัด (บลส.) เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกลของเหล็กเส้นดังกล่าว จึงได้ทำการทดสอบคุณสมบัติของเหล็กเส้นภายใต้การกระทำของแรงดึง โดยแบ่งตัวอย่างทดสอบออกเป็น 3 ประเภทตามชนิดและขนาดของเหล็ก

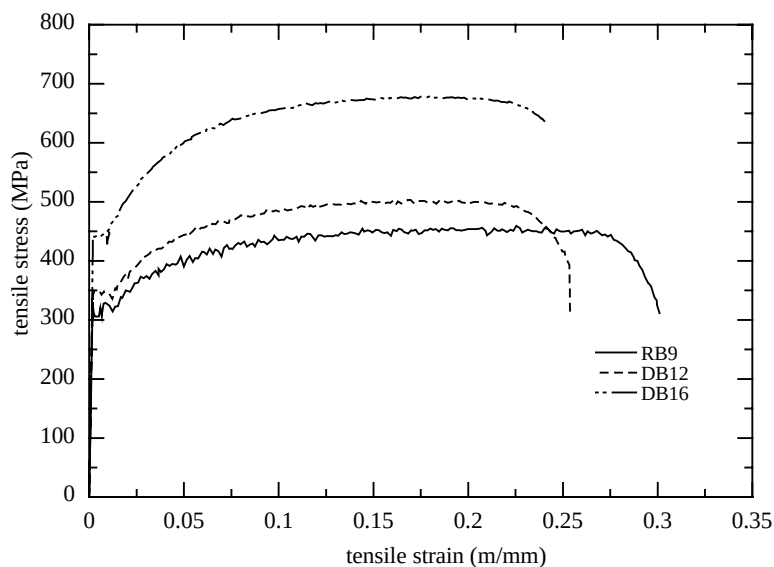
เส้นที่ใช้ในการศึกษา คือ เหล็กกลมผิวเรียบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 มิลลิเมตร มาตรฐาน SR24 จำนวน 3 เส้น เหล็กกลมข้ออ้อยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร มาตรฐาน SD30 จำนวน 3 เส้น และ เหล็กกลมข้ออ้อยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตร มาตรฐาน SD30 จำนวน 3 เส้น

4.2.2.1 พฤติกรรมทางกลของเหล็กเส้นที่ใช้ในงานวิจัยภายใต้แรงดึง

จากการทดสอบได้คุณสมบัติทางกลของเหล็กเส้นภายใต้แรงดึงซึ่งประกอบด้วย หน่วยแรงดึงที่จุดครากเฉลี่ย หน่วยแรงดึงประลัยเฉลี่ย โมดูลัสยืดหยุ่นเฉลี่ยและ เปอร์เซ็นต์ความยืดเฉลี่ยดังแสดงในตารางที่ 4.1 นอกจากนั้นแล้วยังพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงดึงกับความเครียดของเหล็กเส้นชนิดเหล็กกลมผิวเรียบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 มิลลิเมตร เหล็กกลมข้ออ้อยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร และเหล็กกลมข้ออ้อยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตร โดยเฉลี่ย มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 4.1 จากรูปแสดงให้เห็นว่าเหล็กเส้นที่ใช้ในงานวิจัยมีพฤติกรรมเป็นวัสดุเหนียวภายใต้แรงดึง และจากผลการทดสอบพบว่า เหล็กเส้นที่ใช้ในงานวิจัยมีคุณสมบัติเป็นไปตามข้อกำหนดของมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.20-2527 และ มอก.24-2527

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติทางกลของเหล็กเส้นภายใต้แรงดึง

ชนิดของเหล็กเส้น	ชั้นคุณภาพ	หน่วยแรงดึงที่จุดคราก (MPa)	หน่วยแรงดึงประลัย (MPa)	โมดูลัสยืดหยุ่น (GPa)	ความยืด (%)
RB9	SR 24	328.3	464.6	192.0	28.3
DB12	SD 30	356.4	519.4	192.0	26.5
DB16	SD 30	445.9	681.7	205.3	24.2



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ของหน่วยแรงดึงและความเครียดของเหล็กเส้นที่ใช้ในงานวิจัย

4.2.2.2 ลักษณะการวิบัติของเหล็กเส้นภายใต้แรงดึง

จากการทดสอบพบว่า ตัวอย่างทดสอบทั้งหมดจะเกิดคอคอดขึ้นบริเวณกลางช่วงความยาวระหว่างหัวจับก่อนเกิดการวิบัติและจะสังเกตเห็นการวิบัติเป็นรอยฉีกขาดที่เอียงทำมุมประมาณ 45 องศา ดังแสดงในรูปที่ 4.2 ซึ่งการวิบัติลักษณะดังกล่าวเป็นการวิบัติที่เกิดจากแรงดึงร่วมกับแรงเฉือน



รูปที่ 4.2 ลักษณะการวิบัติของเหล็กเส้นเสริมคอนกรีตภายใต้แรงดึง

4.2.3 ผลการทดสอบกำลังรับแรงกดอัดของปูนกรอก

จากการทดสอบกำลังรับแรงกดอัดของปูนกรอกที่อายุ 7 วัน จำนวน 35 ตัวอย่าง พบว่าปูนกรอกที่ใช้ในงานวิจัยมีกำลังรับแรงอัดโดยเฉลี่ยเท่ากับ 13.18 MPa โมดูลัสยืดหยุ่นโดยเฉลี่ยเท่ากับ 9.45 GPa ซึ่งมีค่าสูงกว่าประมาณ 43 เปอร์เซ็นต์เมื่อเปรียบเทียบกับโมดูลัสยืดหยุ่นที่คำนวณจากความสัมพันธ์ที่เสนอโดยมาตรฐาน ACI ที่อยู่ในรูป

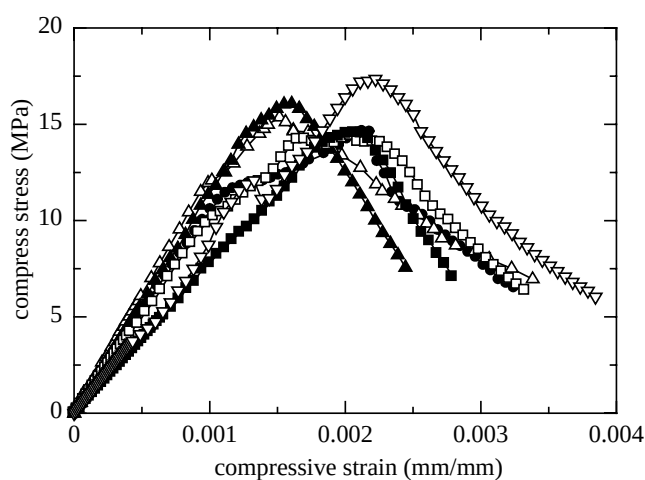
$$E_g = 500 f'_{cg} \quad (4.1)$$

โดยที่

E_g คือ โมดูลัสยืดหยุ่นของปูนกรอกที่คำนวณจากความสัมพันธ์ที่เสนอโดย ACI

f'_{cg} คือ กำลังรับแรงกดอัดของปูนกรอก

นอกจากนี้จากการทดสอบพบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงกดอัดกับความเครียดของปูนกรอกโดยเฉลี่ยมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 4.3 จากรูปที่ 4.3 สามารถแบ่งพฤติกรรมการรับแรงกดอัดของปูนกรอกออกได้เป็นสามช่วงดังนี้คือ ในช่วงแรกความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดของปูนกรอกมีลักษณะเป็นเชิงเส้นตรงจนถึงประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ของกำลังรับแรงกดอัดสูงสุด จากนั้นความชันของกราฟจะลดลงเรื่อยๆ เนื่องจากรอยแตกร้าวภายในปูนกรอกมีมากขึ้นจนถึงจุดที่ปูนกรอกรับแรงกดอัดสูงสุดที่ความเครียดมีค่าประมาณ 0.002 สุดท้ายยกำลังรับแรงกดอัดของปูนกรอกจะตกลงอย่างรวดเร็วเนื่องจากปูนกรอกการวิบัติและหดตัวในแนวแกน



รูปที่ 4.3 ลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงกดอัดกับความเครียดของปูนกรอก

4.2.4 ผลการทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตบล็อก

คอนกรีตบล็อกที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นคอนกรีตบล็อกกลวงประเภทรับน้ำหนักซึ่งถูกผลิตโดยโรงงานแห่งหนึ่งในจังหวัดสระบุรีและเมื่อนำมาทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตบล็อกดังกล่าวจะได้ผลการทดสอบดังต่อไปนี้

4.2.4.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติทั่วไปของคอนกรีตบล็อก

จากการทดสอบคุณสมบัติทั่วไปของคอนกรีตบล็อกซึ่งประกอบด้วย ความหนาแน่นแห้ง น้ำหนักอ้อมตัวผิวแห้ง น้ำหนักอ้อมตัวในน้ำ น้ำหนักอบแห้ง พื้นที่หน้าตัดสุทธิ พื้นที่หน้าตัดรวม การดูดกลืนน้ำ (water absorption) ของตัวอย่างคอนกรีตบล็อกที่ได้จากการสุ่มจำนวน 13 ก้อน พบว่า คอนกรีตบล็อกที่ใช้ในงานวิจัยมีความหนาแน่นแห้งโดยเฉลี่ยเท่ากับ $2,362.15 \text{ kg/m}^3$ น้ำหนักอ้อมตัวผิวแห้งโดยเฉลี่ยเท่ากับ 13,738 กรัม น้ำหนักอ้อมตัวในน้ำโดยเฉลี่ยเท่ากับ 8,432 กรัม น้ำหนักอบแห้งโดยเฉลี่ยเท่ากับ 12,533 กรัม น้ำหนักปกติโดยเฉลี่ยเท่ากับ 12,759 กรัม มีพื้นที่หน้าตัดสุทธิโดยเฉลี่ยเท่ากับ 27,930 ตารางมิลลิเมตร มีพื้นที่หน้าตัดรวมโดยเฉลี่ยเท่ากับ 54,678 ตารางมิลลิเมตร และมีค่าการดูดกลืนน้ำโดยเฉลี่ยเท่ากับ 9.62 เปอร์เซ็นต์

4.2.4.2 ผลการทดสอบกำลังรับแรงกดอัดของคอนกรีตบล็อก

กำลังรับแรงกดอัดของคอนกรีตบล็อกที่ทดสอบได้จะแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ กำลังรับแรงอัดพื้นที่หน้าตัดรวม (gross area compressive stress) และ กำลังรับแรงอัดพื้นที่หน้าตัดสุทธิ (net area compressive stress) จากการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกจำนวน 13 ก้อนพบว่ากำลังรับแรงกดอัดพื้นที่หน้าตัดรวมโดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 4.92 เมกะปาสกาล (50.15 kg/cm^2) และ กำลังรับแรงอัดพื้นที่หน้าตัดสุทธิโดยเฉลี่ยเท่ากับ 8.28 เมกะปาสกาล (84.4 kg/cm^2) โมดูลัสยืดหยุ่นโดยเฉลี่ยเท่ากับ 2.14 GPa ($21,814.5 \text{ kg/cm}^2$) ซึ่งมีค่าต่ำกว่าประมาณ 59 เปอร์เซ็นต์เมื่อเปรียบเทียบกับโมดูลัสยืดหยุ่นที่คำนวณจากความสัมพันธ์ที่เสนอโดยมาตรฐาน ACI ที่อยู่ในรูป

$$E_m = 1000 f'_m \quad (4.2)$$

โดยที่

E_m คือ โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตบล็อกที่คำนวณจากความสัมพันธ์ที่เสนอโดย ACI

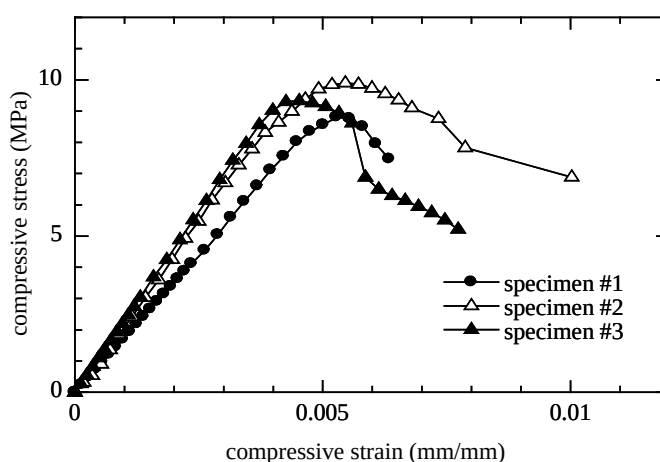
f'_m คือ กำลังรับแรงกดอัดของปริซึมคอนกรีตบล็อก

จากคุณสมบัติของคอนกรีตบล็อกที่ทดสอบได้ดังกล่าว สามารถจัดคอนกรีตบล็อกที่ใช้ในงานวิจัยอยู่ในชั้น ค-1 และ ค-2 ตามมาตรฐาน มอก. 57-2516 ได้ กล่าวคือ อาจใช้คอนกรีตดังกล่าวในการก่อสร้างผนังภายในอาคารและภายนอกอาคารได้โดยผนังที่ก่อสร้างต้องถูก

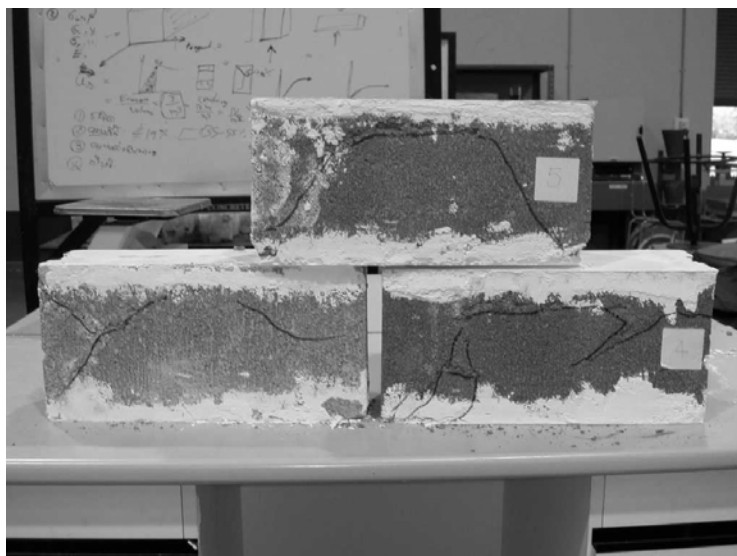
สร้างอยู่เหนือระดับพื้นดินในสภาวะอากาศไม่รุนแรงหรืออาจจะถูกสร้างอยู่ในสภาวะอากาศรุนแรงได้แต่ต้องป้องกันความเสียหายเนื่องจากสภาวะอากาศโดยการฉาบปูนหรือทาสีชนิดทนต่อสภาวะอากาศที่รุนแรง

รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดของคอนกรีตบล็อก จากกราฟจะเห็นได้ว่า คอนกรีตบล็อกมีความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงกดอัดและความเครียดเป็นแบบเชิงเส้นตรงจนถึงประมาณ 70 ถึง 80 เปอร์เซ็นต์ของกำลังรับแรงกดอัดสูงสุด จากนั้นความชันของกราฟจะลดลงเรื่อยๆ เนื่องจากเกิดรอยแตกร้าวภายในคอนกรีตบล็อกมีมากขึ้น จนกระทั่งคอนกรีตบล็อกรับแรงกดอัดสูงสุด สุดท้ายกำลังรับแรงกดอัดของคอนกรีตบล็อกจะตกลงอย่างรวดเร็วในขณะที่การหดตัวในแนวแกนเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง

รูปที่ 4.5 แสดงลักษณะการวิบัติของคอนกรีตบล็อกซึ่งจากการสังเกตพบว่า โดยส่วนใหญ่คอนกรีตบล็อกจะมีรอยแตกร้าวเกิดขึ้นที่บริเวณปลายทั้งสองของคอนกรีตบล็อกก่อน จากนั้นรอยแตกร้าวดังกล่าวจะค่อยๆ ขยายตัวมากขึ้นเรื่อยๆ จนมีลักษณะของรอยแตกร้าวที่วางตัวในแนวทแยงที่เอียงทำมุมประมาณ 30-45 องศากับแนวดิ่ง ซึ่งอาจจะเรียกได้ว่าเป็นการวิบัติแบบเฉือนทแยง สุดท้ายคอนกรีตบล็อกจะเริ่มเกิดการวิบัติและจะสังเกตเห็นรอยแตกร้าวในแนวนอนที่มีลักษณะบดแตกเกิดขึ้นที่บริเวณตำแหน่งให้แรงกระทำใต้แผ่นเหล็กรับแรงแบกทาน (bearing plate) ซึ่งการวิบัติของคอนกรีตบล็อกในลักษณะดังกล่าวอาจกล่าวได้ว่าเป็นการวิบัติที่เกิดจากรูปแบบรวม (combined mode of failure) ระหว่างแรงกดอัดกับแรงเฉือน



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดของคอนกรีตบล็อก

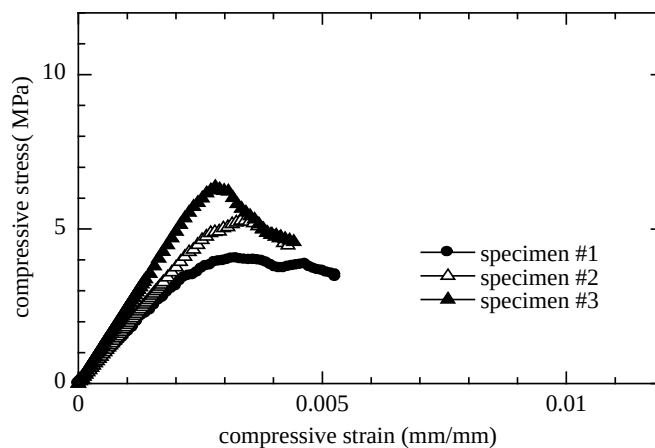


รูปที่ 4.5 ลักษณะการวิบัติของคอนกรีตบล็อกภายใต้แรงกดอัด

4.2.5 ผลการทดสอบกำลังรับแรงกดอัดของปริซึมคอนกรีตบล็อกไร้ปูนก่อ

จากการทดสอบกำลังรับแรงกดอัดของปริซึมคอนกรีตบล็อกแบบไร้ปูนก่อจำนวน 3 ตัวอย่างพบว่า ค่ากำลังรับแรงกดอัดพื้นที่หน้าตัดสุทธิของปริซึมคอนกรีตบล็อกเฉลี่ยทั้ง 3 ตัวอย่างมีค่า 5.23 เมกะปาสกาล ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่าดังกล่าวของก้อนคอนกรีตบล็อกเท่ากับ 36.7 เปอร์เซ็นต์ จากการทดสอบจะได้กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงกดอัดและความเครียดของปริซึมคอนกรีตบล็อกดังแสดงในรูปที่ 4.6 โดยที่ลักษณะของกราฟจะมีลักษณะที่คล้ายกับกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงกดอัดและความเครียดของคอนกรีตบล็อก ซึ่งจากกราฟพบว่า ปริซึมคอนกรีตบล็อกมีความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงกดอัดและความเครียดเป็นแบบเชิงเส้นตรงจนถึงประมาณ 60 ถึง 70 เปอร์เซ็นต์ของกำลังรับแรงอัดสูงสุด จากนั้นเส้นกราฟความสัมพันธ์จะมีความชันลดลงเรื่อยๆ เนื่องจากการแตกร้าวภายในของปริซึมคอนกรีตบล็อกมีมากขึ้น จนกระทั่งคอนกรีตบล็อกรับแรงกดอัดสูงสุด สุดท้ายกำลังรับแรงกดอัดของคอนกรีตบล็อกจะตกลงอย่างรวดเร็วในขณะที่การหดตัวในแนวแกนเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยมีลักษณะการวิบัติของคอนกรีตบล็อกแสดงในรูปที่ 4.7 จากรูปจะเห็นได้ว่า ภายใต้แรงกดอัด รอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นกับปริซึมคอนกรีตบล็อกจะมีลักษณะการวางตัวอยู่ในแนวตั้งที่บริเวณด้านบนของปริซึมคอนกรีตบล็อก และเริ่มเอียงจนกระทั่งทำมุมประมาณ 20 องศาที่บริเวณด้านล่างของปริซึมคอนกรีตบล็อก ซึ่งลักษณะการวิบัติดังกล่าวน่าจะเกิดมาจากแรงดึงที่มีผลมาจาก poisson effect รวมทั้งเกิดแรงเสียดทานระหว่างมวลรวมที่ใช้ทำคอนกรีตบล็อกภายในปริซึมคอนกรีตบล็อก ดังนั้นการวิบัติของปริซึม

คอนกรีตบล็อกจึงอาจจะกล่าวได้ว่าเป็นการวิบัติที่เกิดจากแรงดึงร่วมกับแรงเฉือน



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดของ
ปรีซึมคอนกรีตบล็อกไร้ปูนก่อ



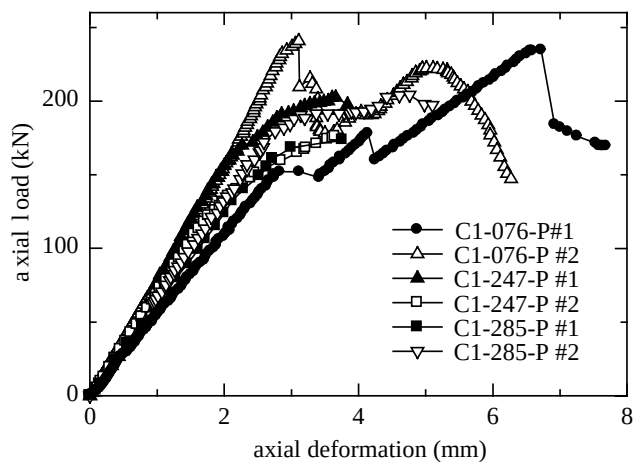
รูปที่ 4.7 ลักษณะการวิบัติของปรีซึมคอนกรีตบล็อกไร้ปูนก่อ

จากผลการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุที่ได้จากข้อ 4.2.1 ถึง 4.2.5 ทำให้เราทราบค่าคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการทดสอบในงานวิจัย ซึ่งจะนำค่าดังกล่าวที่ได้ไปแทนค่าในสมการออกแบบของ ACI และ Australian Standard เพื่อที่จะสามารถเปรียบเทียบกับผลการทดสอบผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อต่อไป

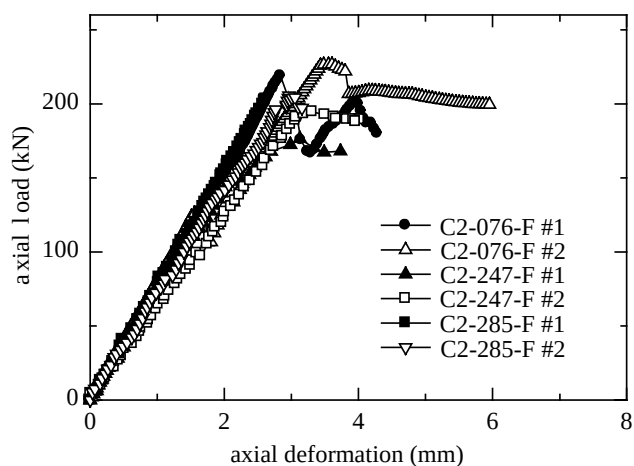
4.3 ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อภายใต้แรงกดอัดในแนวแกน

4.3.1. พฤติกรรมการรับแรงกดอัดของผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อภายใต้แรงกดอัดในแนวแกน

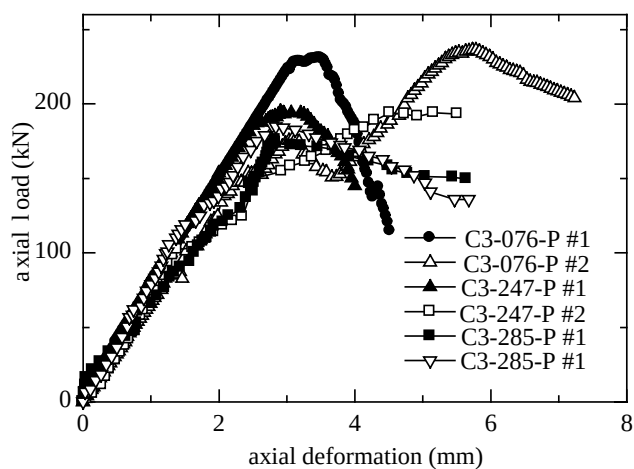
รูปที่ 4.8 ถึง รูปที่ 4.11 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดอัดในแนวแกน (axial load) และระยะหดตัวในแนวแกน (axial deformation) ของผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อภายใต้แรงกดอัดในแนวแกนที่มีอัตราส่วนเหล็กเสริมและรูปแบบการกรอกปูนกรอกต่างๆ จากรูปจะเห็นได้ว่ากราฟสามารถแบ่งออกเป็น 3 ช่วงคือ ช่วงแรกเป็นกราฟเชิงเส้นตรง จนถึงค่าแรงกดอัดประมาณ 65-80 เปอร์เซ็นต์ของกำลังรับน้ำหนักสูงสุดของผนัง ที่จุดนี้จะเริ่มสังเกตเห็นรอยแตกร้าวเกิดขึ้น โดยสังเกตจากรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นกับคอนกรีตบล็อก จากนั้นความชันของกราฟจะเริ่มลดลงเนื่องจากรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นกับผนังมีมากขึ้นโดยแรงกดอัดที่กระทำกับผนังเพิ่มขึ้นน้อยลงในขณะที่ระยะหดตัวในแนวแกนมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึงจุดที่ผนังรับแรงกดอัดสูงสุด อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาจากกราฟแล้วจะสังเกตได้ว่า ลักษณะความสัมพันธ์ดังกล่าวของกราฟในช่วงนี้เกิดขึ้นน้อยมากและซึ่งในบางผนังไม่เกิดขึ้น เนื่องจากวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างผนังมีพฤติกรรมที่เป็นเชิงเส้นตรงจนถึงกำลังรับแรงกดอัดสูงสุด และจุดคราก สุดท้าย กราฟจะเข้าสู่ช่วงที่สาม กล่าวคือ แรงที่กระทำกับผนังจะตกลงอย่างรวดเร็วโดยที่ระยะหดตัวในแนวแกนมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและมีค่าสูงมาก เนื่องจากการวิบัติของ คอนกรีตบล็อก ปูนกรอก และเหล็กเสริม การวิบัติของผนังในลักษณะดังกล่าวอาจจะถือได้ว่าเป็นการวิบัติแบบค่อยเป็นค่อยไป (progressive failure) อย่างไรก็ตามกราฟของผนังประเภทเดียวกันมีการกระจายตัวพอสมควร ซึ่งอาจเกิดจากคอนกรีตบล็อกที่ใช้ทำตัวอย่างทดสอบมีความไม่สมบูรณ์ กล่าวคือ ระบายผิวสัมผัสของคอนกรีตบล็อกแต่ละก้อนไม่ได้สัมผัสกันแบบเต็มหน้าตัด ภายใต้แรงในแนวแกนจึงเกิด ความเข้มของหน่วยแรงที่บางจุดบนผิวสัมผัสสูงกว่าบริเวณอื่น ทำให้จุดดังกล่าวเกิดการวิบัติก่อน



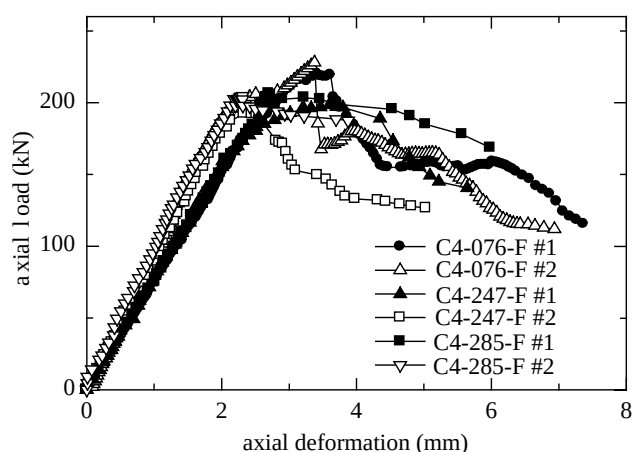
รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดอัดในแนวแกนกับระยะหดตัวในแนวแกนของผนังที่มีอัตราส่วนเหล็กเสริม 0.0055 และ กรอกปูนกรอกช่องเว้นช่อง



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดอัดในแนวแกนกับระยะหดตัวในแนวแกนของผนังที่มีอัตราส่วนเหล็กเสริม 0.0047 และ กรอกปูนกรอกทุกช่อง



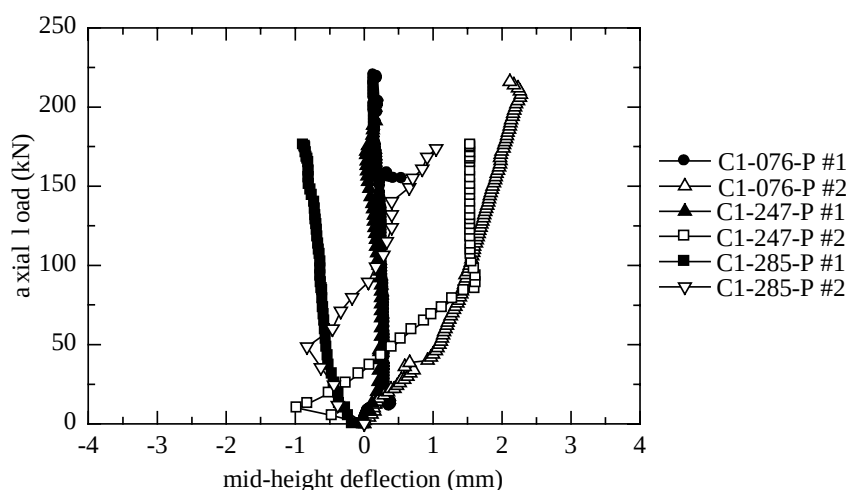
รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดอัดในแนวแกนกับระยะหดตัวในแนวแกนของผนังที่มีอัตราส่วนเหล็กเสริม 0.0097 และ กรอกปูนกรอกช่องเว้นช่อง



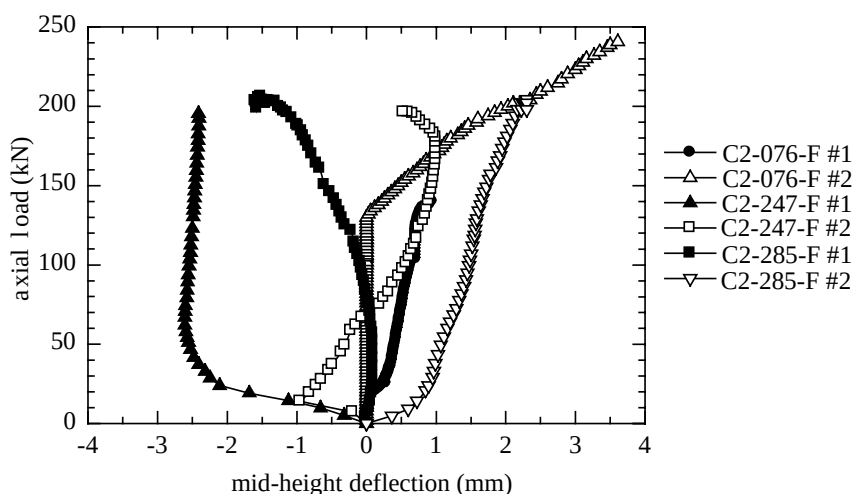
รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดอัดในแนวแกนกับระยะหดตัวในแนวแกนของผนังที่มีอัตราส่วนเหล็กเสริม 0.0083 และ กรอกปูนกรอกทุกช่อง

รูปที่ 4.12 ถึง รูปที่ 4.15 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดอัดในแนวแกนและระยะการโก่งตัวที่กึ่งกลางความสูงของผนัง จากรูปจะเห็นว่า ภายได้แรงกดอัดในแนวแกนผนังที่ใช้ในการศึกษานี้มีการโก่งตัวทางด้านข้างเกิดขึ้นน้อยมากซึ่งโดยส่วนใหญ่มีค่าสูงสุดไม่เกิน 4 มิลลิเมตร ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ลักษณะการวิบัติของผนังที่ใช้ในงานวิจัยทุกอัตราส่วนความชะลูดสอดคล้องกับผนังเตี้ยตามมาตรฐานของ ACI นอกจากนั้นแล้ว จากรูปยังสามารถสังเกตเห็นว่า ผนังที่ใช้ในงานวิจัยบางตัวอย่างเกิดการแอ่นตัวกลับทิศ ทั้งนี้อาจจะเกิดมาจากคอนกรีตบล็อกบางก้อนมี

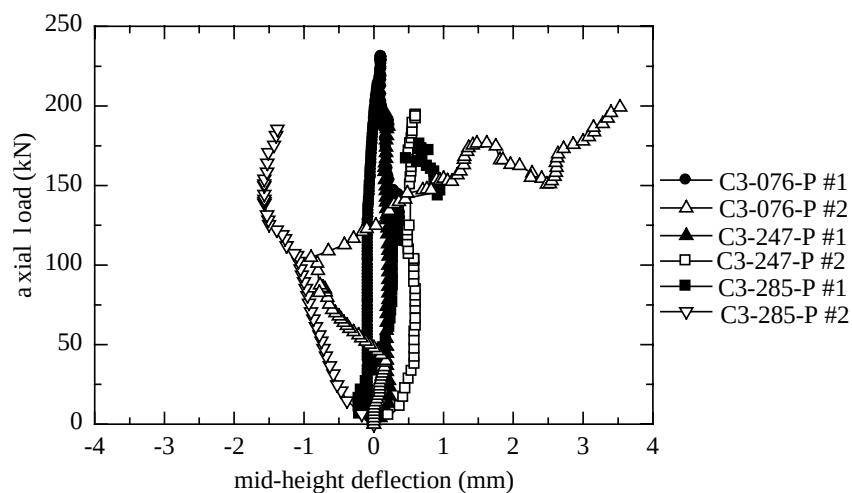
ผิวหน้าที่ไม่ได้ระดับ ซึ่งเมื่อนำมาเรียงเป็นชั้นๆ แล้ว จะทำให้ผนังเกิดการเอียงขึ้น ดังนั้น การใช้งานจริงจึงควรมีการปรับปรุงการควบคุมคุณภาพการผลิตคอนกรีตบล็อกภายในประเทศไทยให้ดีขึ้นกว่าเดิม



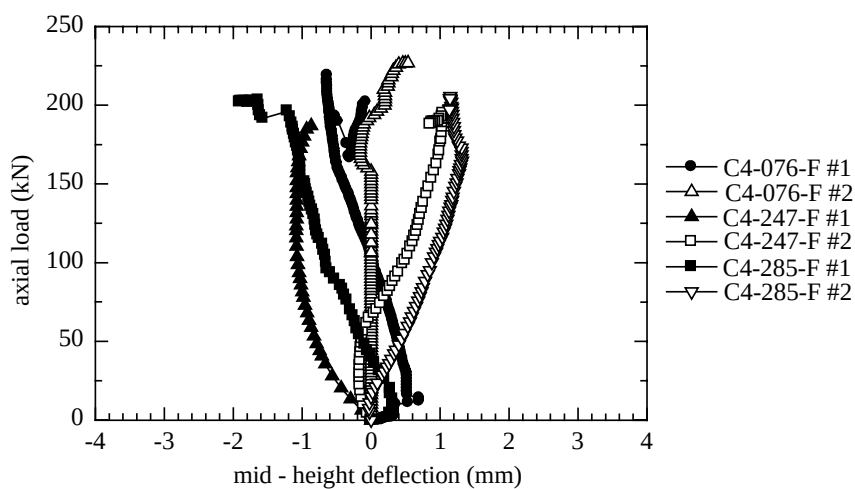
รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดอัดในแนวแกนกับการเปลี่ยนแปลงรูปร่างทางด้านข้างของผนังที่มีอัตราส่วนเหล็กเสริม 0.0055 และ กรอกปูนกรอกช่องเว้นช่อง



รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดอัดในแนวแกนกับการเปลี่ยนแปลงรูปร่างทางด้านข้างของผนังที่มีอัตราส่วนเหล็กเสริม 0.0047 และ กรอกปูนกรอกช่องทุกช่อง



รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดอัดในแนวแกนกับการเปลี่ยนแปลงรูปร่างทางด้านข้างของ
ผนังที่มีอัตราส่วนเหล็กเสริม 0.0097 และ กรอกปูนกรอกช่องเว้นช่อง



รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดอัดในแนวแกนกับการเปลี่ยนแปลงรูปร่างทางด้านข้างของ
ผนังที่มีอัตราส่วนเหล็กเสริม 0.0083 และ กรอกปูนกรอกทุกช่อง

4.3.2. รูปแบบการวิบัติของผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อภายใต้แรงกดอัดใน

แนวแกน

ผนังที่ใช้ในการทดสอบจะมีพฤติกรรมการวิบัติอันเนื่องมาจากกำลังของวัสดุ โดยที่มีการโก่งตัวทางด้านข้างเกิดขึ้นน้อยมากซึ่งโดยส่วนใหญ่มีค่าสูงสุดไม่เกิน 4 มิลลิเมตร ดังที่ได้กล่าวไปแล้ว การวิบัติของผนังมีลักษณะเป็นการแตกร้าวแบบเฉือนทแยง (diagonal shear failure) เนื่องจากแรงดิ่งร่วมกับแรงเฉือนที่เกิดจากการยึดขัดกันระหว่างมวลรวมของคอนกรีตบล็อกและปูนกรอก สำหรับชุดผนังที่กรอกปูนกรอกช่องเว้นช่องจะมีลักษณะการแตกร้าวดังแสดงในรูปที่ 4.16 โดยที่มีรอยแตกร้าวที่เอียงทำมุมประมาณ 25 – 30 องศาับแนวดิ่ง และสำหรับชุดผนังแบบกรอกปูนกรอกทุกช่องจะมีลักษณะการแตกร้าวดังที่แสดงในรูปที่ 4.17 โดยที่มีรอยแตกร้าวจะเอียงทำมุมประมาณ 20 องศาในแนวดิ่ง การวิบัติในรูปแบบดังกล่าวนี้เกิดจากการที่ผนังแบบกรอกปูนกรอกทุกช่อง มีเหล็กเสริมและปูนกรอกที่ถูกรวมเต็มทุกช่อง ซึ่งสามารถช่วยต้านทานแรงเฉือนที่เกิดขึ้นจากแรงกดอัดทำให้รอยแตกร้าวเกิดขึ้นในลักษณะที่ถูกบังคับให้แตกเป็นมุมที่แคบ ในทางตรงกันข้ามผนังแบบกรอกปูนกรอกช่องเว้นช่อง แรงเฉือนที่เกิดขึ้นจะสามารถถูกส่งผ่านไปยังช่องที่อยู่ติดกันได้เป็นระยะทางที่ไกลกว่า เนื่องจากไม่มีปูนกรอกที่เป็นตัวช่วยต้านทานแรงเฉือนที่เกิดขึ้น



รูปที่ 4.16 ตัวอย่างลักษณะการวิบัติของผนังตัวอย่างชนิดกรอกปูนกรอกช่องเว้นช่อง



รูปที่ 4.17 ตัวอย่างลักษณะการวิบัติของผนังตัวอย่างชนิดกรอกปูนกรอกทุกช่อง

4.3.3. คุณสมบัติทางกลของผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อภายใต้แรงกดอัดในแนวแกน

ตารางที่ 4.2 แสดงคุณสมบัติทางกลของผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อภายใต้แรงกดอัดในแนวแกนซึ่งประกอบด้วย แรงกดอัดที่เกิดรอยแตกร้าวแรก แรงกดอัดสูงสุด และความแข็งแรงของคอนกรีตบล็อกได้แผ่นเหล็กรับแรงแบกทาน ซึ่งสามารถทำได้โดยการใช้วิธีการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของปริซึมวัสดุก่อตามมาตรฐาน ACI 530-92 เป็นมาตรฐานในการหาค่าความแข็งแรงดังกล่าว โดยที่มาตรฐานดังกล่าวได้กำหนดช่วงของหน่วยแรงกดอัดที่ใช้สำหรับการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่น คือ 5 ถึง 33 เปอร์เซ็นต์ของกำลังรับแรงกดอัดสูงสุดของปริซึมวัสดุก่อ ซึ่งค่าความแข็งแรงที่ได้จะแตกต่างกับค่าความแข็งแรงที่ได้จากกรณีที่ผนังรับแรงกระทำเท่านั้นทั้งหน้าตัด และค่าแรงกดอัดที่ผนังเกิดรอยแตกร้าวแรกจะประมาณได้โดยใช้สมการที่ (2.6) รวมทั้งใช้พื้นฐานจากหลักการความสอดคล้อง (principle of compatibility) กล่าวคือเมื่อความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดของวัสดุอยู่ในช่วงเส้นตรงแล้ว คอนกรีตบล็อก ปูนกรอก และเหล็กเสริมจะร่วมกันรับแรงกระทำและมีค่าความเครียดเกิดขึ้นเท่ากัน ซึ่งจากผลการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุพบว่า เมื่อเหล็กเสริมเกิดการครากและปูนกรอกถึงจุดประลัยที่ค่าความเครียดประมาณ 0.00211 แล้วคอนกรีตบล็อกยังคงมีพฤติกรรมอยู่ในช่วงเส้นตรง และเมื่อนำค่าหน่วยแรงกดอัดที่เกิดขึ้นในวัสดุที่ความเครียดดังกล่าวแทนค่าลงในสมการที่ (2.6) โดยไม่ต้องคูณค่าตัวคูณลดกำลัง แล้วจะได้ค่าแรงกดอัดที่ผนังเกิดรอยแตกร้าวแรก เมื่อเปรียบเทียบแรงกดอัดที่คำนวณได้ดังกล่าวกับค่าแรงกดอัดที่

เกิดรอยแตกร้าวแรกที่ได้จากการสังเกตพบว่า ค่าแรงกดอัดที่เกิดรอยแตกร้าวแรกที่ได้จากการสังเกตมีค่าโดยเฉลี่ยสูงกว่าประมาณ 12 เปอร์เซ็นต์ แต่มีค่าหนึ่งที่มีค่าต่ำกว่าซึ่งการที่เป็นเช่นนี้สาเหตุน่าจะเกิดมาจากการสังเกตรอยแตกร้าวแรกที่เกิดขึ้นจริงกระทำได้อย่าง ซึ่งรอยแตกร้าวแรกที่เกิดขึ้นจริงอาจจะเกิดขึ้นภายในผนังซึ่งไม่สามารถสังเกตเห็นได้ ประกอบกับค่าคุณสมบัติเฉลี่ยของวัสดุที่ใช้ในการคำนวณกับค่าคุณสมบัติจริงของวัสดุที่ใช้ในผนังตัวอย่างมีค่าแตกต่างกัน

ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติทางกลของผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อกายใต้แรงกดอัดในแนวแกน

ตัวอย่างการทดสอบ	แรงกดอัดที่เกิดรอยแตกร้าวแรก ¹ (kN)	แรงกดอัดที่เกิดรอยแตกร้าวแรก ² (kN)	แรงกดอัดสูงสุดเฉลี่ย (kN)	ความแข็งแรงของคอนกรีตบล็อกได้แผ่นเหล็กรับแรงแบกทาน (kN/m)
C1-076-P	93.25	104.00	237.70	67,092.64
C1-247-P	61.07	65.48	189.33	56,700.75
C1-285-P	53.08	52.76	189.00	63,694.01
C2-076-F	98.59	108.00	222.90	76,350.1
C2-247-F	64.57	66.33	185.60	66,266.4
C2-285-F	56.12	82.25	204.40	75,524.62
C3-076-P	126.41	135.00	233.70	71,916.82
C3-245-P	82.80	100.30	194.55	76,934.72
C3-285-P	71.96	79.44	180.70	74,252.67
C4-076-F	135.90	146.00	224.10	85,599.50
C4-247-F	89.01	115.80	195.45	83,657.32
C4-285-F	77.36	73.03	205.39	82,191.46

หมายเหตุ ¹ค่าแรงกดอัดที่เกิดรอยแตกร้าวแรกที่คำนวณได้จากสมการที่ (2.6)

²ค่าแรงกดอัดที่เกิดรอยแตกร้าวแรกที่สังเกตได้จากการทดสอบ

4.3.4 ผลของอัตราส่วนความชะลูดของผนังต่อกำลังรับแรงกดอัดสูงสุดของผนัง

จากผลการทดสอบกำลังรับแรงกดอัดในแนวแกนพบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังแรงกดอัดสูงสุดกับอัตราส่วนความชะลูดของผนังที่ทดสอบได้มีลักษณะเป็นเส้นตรง โดยมีค่ากำลังรับแรงกดอัดลดลงเมื่ออัตราส่วนความชะลูดของผนังมีค่าสูงขึ้นดังแสดงในรูปที่ 4.18 และรูปที่ 4.19 ซึ่งสมการของความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถหาได้โดยใช้วิธี least square linear regression ด้วยโปรแกรมไมโครซอฟท์เอกเซลซึ่งจะได้ผลดังต่อไปนี้

สำหรับผนังแบบกรอกปูนกรอกช่องเว้นช่องและมีอัตราส่วนเหล็กเสริม 0.0055

$$\sigma = -0.0513(h/r) + 12.163 \quad \text{โดยมี } R = 0.984$$

สำหรับผนังแบบกรอกปูนกรอกช่องเว้นช่องและมีอัตราส่วนเหล็กเสริม 0.0097

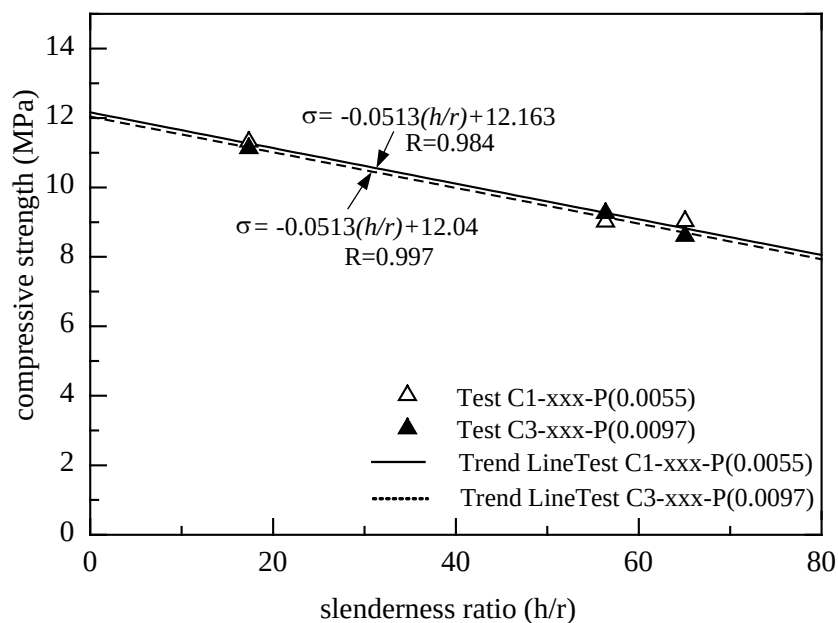
$$\sigma = -0.0513(h/r) + 12.04 \quad \text{โดยมี } R = 0.997$$

สำหรับผนังแบบกรอกปูนกรอกทุกช่องและมีอัตราส่วนเหล็กเสริม 0.0047

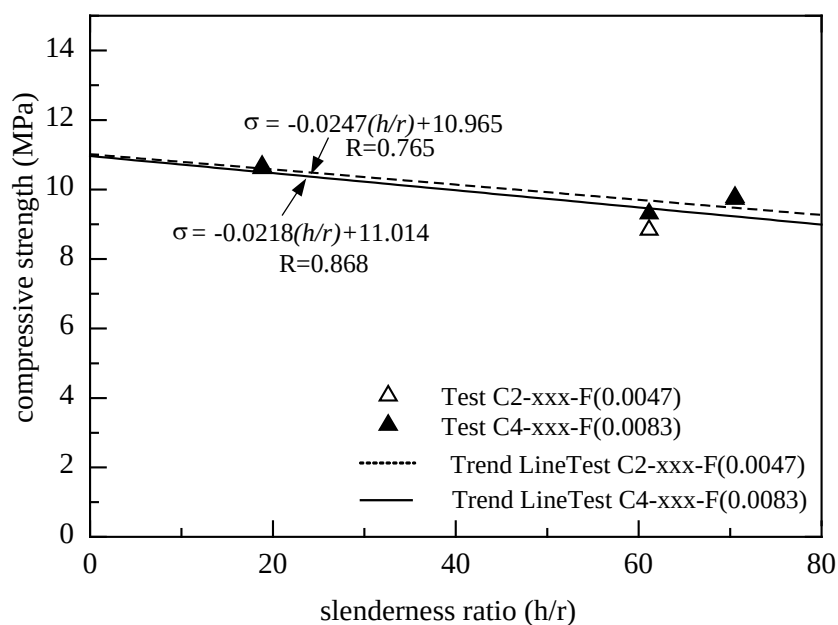
$$\sigma = -0.0247(h/r) + 10.963 \quad \text{โดยมี } R = 0.765$$

สำหรับผนังแบบกรอกปูนกรอกทุกช่องและมีอัตราส่วนเหล็กเสริม 0.0083

$$\sigma = -0.0218(h/r) + 11.014 \quad \text{โดยมี } R = 0.868$$



รูปที่ 4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงกดอัดในแนวแกนกับอัตราส่วนความชะลูดของผนังแบบกรอกปูนกรอกช่องเว้นช่อง



รูปที่ 4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงกดอัดในแนวแกนกับอัตราส่วนความชะลูดของผนังแบบกรอกปูนกรอกทุกช่อง

4.3.5 ผลของอัตราส่วนเหล็กเสริมต่อกำลังรับแรงกดอัดสูงสุดของผนัง

เมื่อพิจารณารูปภาพความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงกดอัดในแนวแกนกับอัตราส่วนความชะลุดของผนังในรูปที่ 4.19 และ รูปที่ 4.20 ข้างต้น พบว่าการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนเหล็กเสริมที่ใช้ในงานวิจัยจาก 0.0055 เป็น 0.0097 ในผนังแบบกรอกปูนกรอกช่องเว้นช่อง และจาก 0.0047 เป็น 0.0083 ในผนังแบบกรอกปูนกรอกทุกช่อง หรืออาจกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่า การเพิ่มอัตราส่วนเหล็กเสริม 76 เปอร์เซ็นต์ในผนังทั้งสองรูปแบบไม่มีผลต่อกำลังรับแรงกดอัดของผนังคอนกรีตบดล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่ออย่างมีนัยสำคัญ กล่าวคือ ในผนังแบบกรอกปูนกรอกช่องเว้นช่องผนังมีกำลังรับแรงกดอัดในแนวแกนเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ยประมาณ 3 เปอร์เซ็นต์ และในผนังแบบกรอกปูนกรอกทุกช่อง ผนังมีกำลังรับแรงกดอัดในแนวแกนเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ยประมาณ 2 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งการที่เป็นเช่นนี้ก็อาจเกิดจากอัตราส่วนของเหล็กเสริมที่ใช้ในการวิจัยนี้มีค่าน้อยเกินไปจึงทำให้ผลของการเพิ่มขึ้นต่อกำลังรับแรงกดอัดในแนวแกนของผนังมีค่าน้อยมาก

4.3.6 ผลของรูปแบบการกรอกปูนกรอกต่อกำลังรับแรงกดอัดสูงสุดของผนัง

จากการทดสอบพบว่ารูปแบบของการกรอกปูนกรอกที่ใช้ในงานวิจัยไม่ได้มีส่วนช่วยให้กำลังรับแรงกดอัดของผนังคอนกรีตบดล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ กล่าวคือ ผนังแบบกรอกปูนกรอกทุกช่องมีค่าแรงกดอัดสูงสุดที่ทดสอบได้ไม่แตกต่างกับผนังที่กรอกปูนกรอกช่องเว้นช่อง โดยที่ผนังทั้งสองรูปแบบมีค่ากำลังรับแรงกดอัดแตกต่างกันอยู่ในช่วง 5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสอดคล้องกับที่มาตรฐาน ACI ที่ไม่นำเสนอของปูนกรอกมาพิจารณาในสมการออกแบบผนังวัสดุก่อเสริมเหล็กภายใต้แรงกดอัด ซึ่งการที่เป็นเช่นนี้อาจเกิดจากการวิบัติของผนังทั้งสองรูปแบบที่มีรูปแบบการวิบัติที่คล้ายคลึงกันโดยมีลักษณะการวิบัติดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

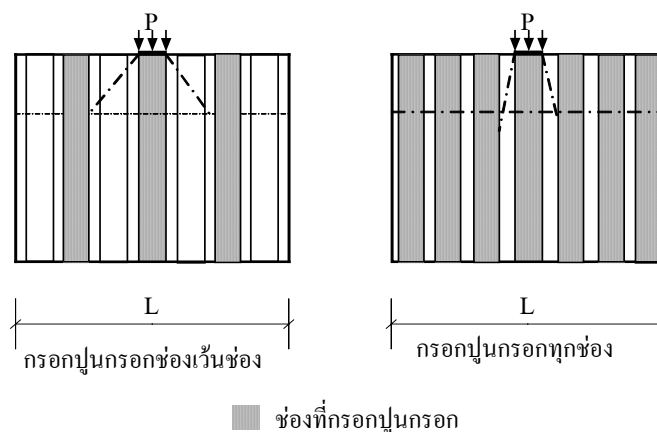
4.3.7 ผลของอัตราส่วนเหล็กเสริมต่อความแกร่งของผนัง

จากการทดสอบพบว่า การเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนเหล็กเสริมที่ใช้ในงานวิจัยทำให้ผนังที่กรอกปูนกรอกช่องเว้นช่องมีความแกร่งเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 7.20-35.7 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่การเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนของเหล็กเสริมที่ใช้ในงานวิจัยทำให้ผนังที่กรอกปูนกรอกทุกช่องมีความแกร่งเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 8.8-26.2 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสาเหตุที่ทำให้ผนังที่มีอัตราส่วนของเหล็กเสริมมากกว่ามีความแกร่งสูงกว่าก็เนื่องมาจาก มีพื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริมในแนวตั้งมากกว่าซึ่งเหล็กเสริมดังกล่าวจะช่วยต้านทานการหดตัวของผนังในแนวแกนได้ดีกว่า

4.3.8 ผลของรูปแบบการกรอกปูนกรอกต่อความแกร่งของผนัง

จากการทดสอบพบว่า ผนังที่กรอกปูนกรอกทุกช่องที่มีอัตราส่วนเหล็กเสริม 0.0055 จะมีความแกร่งสูงกว่าผนังที่กรอกปูนกรอกช่องเว้นช่องที่มีอัตราส่วนเหล็กเสริม 0.0047 อยู่ในช่วง 13.7-18.6 เปอร์เซ็นต์ และ ผนังที่กรอกปูนกรอกทุกช่องที่มีอัตราส่วนเหล็กเสริม 0.0097 จะมีความ

แกร่งสูงกว่าผนังที่กรอกปูนกรอกช่องเว้นช่องที่มีอัตราส่วนเหล็กเสริม 0.0083 อยู่ในช่วง 8.7-19.0 เปอร์เซนต์ ซึ่งการที่เป็นเช่นนี้มีสาเหตุเนื่องมาจาก ผนังที่กรอกปูนกรอกทุกช่องจะมีพื้นที่ของปูนกรอกมากกว่าผนังที่กรอกปูนกรอกช่องเว้นช่อง ซึ่งพื้นที่ของปูนกรอกดังกล่าวสามารถช่วยต้านทานการยุบตัวของผนังที่เกิดจากแรงกดอัด ดังแสดงในรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.20 ลักษณะการที่การกรอกปูนกรอกช่วยรับแรงกดอัดของผนัง

4.3.9 เปรียบเทียบค่าหน่วยแรงกดอัดสูงสุดที่ได้จากการทดสอบกับสมการออกแบบของ

ACI และ สมการออกแบบของ Australian Standard

ในการศึกษาค่าหน่วยแรงกดอัดสูงสุดหาได้โดยการนำเอาค่าแรงกดอัดสูงสุดที่ทดสอบได้หารด้วยพื้นที่ของแผ่นเหล็กรับแรงแบกทาน และเมื่อเปรียบเทียบหน่วยแรงกดอัดสูงสุดดังกล่าวกับหน่วยแรงกดอัดสูงสุดที่ได้จากสมการที่ (2.4) ซึ่งเป็นสมการออกแบบของ ACI และสมการที่ (2.6) ซึ่งเป็นสมการออกแบบของ Australian Standard และเนื่องจากการเปรียบเทียบดังกล่าวเป็นการเปรียบเทียบระหว่างหน่วยแรงกดอัดสูงสุดของผนังกับสมการออกแบบ ดังนั้นผลจากการเปรียบเทียบจะออกมาในรูปของอัตราส่วนความปลอดภัย (factor of safety) ซึ่งจะได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.3

จากตารางที่ 4.3 พบว่าค่าหน่วยแรงกดอัดสูงสุดที่ได้จากการทดสอบมีค่ามากกว่าค่าหน่วยแรงกดอัดที่ยอมให้ของ ACI และมีค่ามากกว่าค่าหน่วยแรงกดอัดที่คำนวณได้จากเทอมทางด้านซ้ายมือของสมการที่ (2.7) ของ Australian Standard หารด้วย load factor ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.5 สำหรับน้ำหนักบรรทุกจรโดยมีอัตราส่วนความปลอดภัยเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 2.45 ถึง 3.66 เมื่อเทียบกับค่าหน่วยแรงกดอัดที่ยอมให้ของ ACI และ 1.44 ถึง 2.87 เมื่อเทียบกับค่าหน่วยแรงกดอัดที่คำนวณ

ได้จากสมการของ Australian Standard ซึ่งสาเหตุที่ทำให้อัตราส่วนความปลอดภัยที่หาได้จากสมการออกแบบของ ACI มีค่ามากกว่าอัตราส่วนความปลอดภัยที่หาได้จากสมการออกแบบของ Australian Standard เนื่องจากว่าสมการออกแบบของ ACI ไม่ได้พิจารณาถึงผลของปฏิกิริยา

ตารางที่ 4.3 ค่าหน่วยแรงกดอัดสูงสุดของผนังที่ได้จากการทดสอบและจากสมการออกแบบ

ตัวอย่าง ทดสอบ	Test (a) (MPa)	ACI (b) (MPa)	AS 3700 (c) (MPa)	FS. (a)/(b)	FS. (a)/(c)
C1-076-P	11.31	3.10	5.87	3.65	1.93
C1-247-P	9.01	2.64	3.75	3.41	2.40
C1-285-P	9.03	2.47	3.28	3.66	2.75
C2-076-F	10.62	3.92	6.06	2.71	1.75
C2-247-F	9.09	3.23	3.88	2.81	1.50
C2-285-F	9.73	2.98	3.39	3.26	2.87
C3-076-P	11.13	3.54	7.04	3.14	1.58
C3-247-P	9.26	3.01	4.52	3.08	2.05
C3-285-P	8.60	2.82	3.97	3.05	2.17
C4-076-F	10.67	4.36	7.41	2.45	1.44
C4-247-F	9.30	3.60	4.74	2.58	1.96
C4-285-F	9.78	3.32	4.15	2.94	2.36

ขอให้สังเกตด้วยว่า อัตราส่วนความปลอดภัยที่เทียบกับค่าหน่วยแรงกดอัดที่ยอมรับของ ACI มีค่าสูงกว่าอัตราส่วนความปลอดภัยที่เทียบกับค่าหน่วยแรงกดอัดที่ได้จากสมการออกแบบของ Australian Standard และสมการออกแบบของ ACI ให้ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยสูงสุดใกล้เคียงกับสมการออกแบบผนังวัสดุก่อไม่เสริมเหล็กภายใต้แรงกดอัดในแนวแกนของ ACI 530-92 (สมการที่ 2.2) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 4.0 ซึ่งเหมาะสมกับการใช้งานจริง นั้นหมายความว่า สมการออกแบบของ Australian Standard ให้ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยที่ต่ำเกินไปสำหรับการใช้งานจริง แต่จากผลการทดสอบผนังที่ใช้ในงานวิจัยซึ่งใช้ค่าอัตราส่วนความละเอียดของผนังเพียง 3 ค่าพบว่า ลักษณะของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าหน่วยแรงกดอัดกับอัตราส่วนความละเอียดของผนังที่ได้มีลักษณะเป็นเส้นตรงคล้ายกับลักษณะของความสัมพันธ์ที่ได้จากสมการออกแบบของ Australian

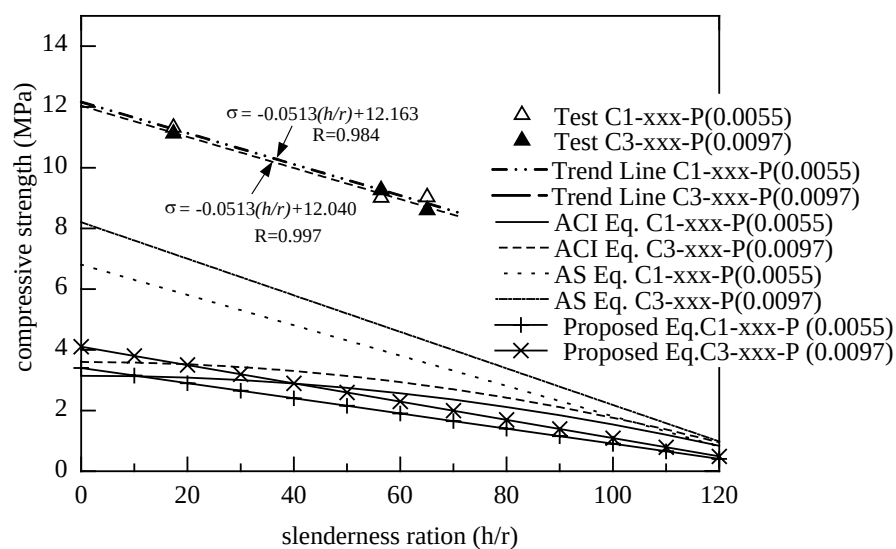
Standard และเพื่อให้ได้รูปแบบสมการที่มีความสัมพันธ์ใกล้เคียงกับผลทดสอบ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเสนอสมการสำหรับออกแบบผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อภายใต้แรงดัดโดยใช้รูปแบบของสมการออกแบบของ Australian Standard แต่อย่างไรก็ตาม หากใช้สมการออกแบบผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กของ Australian Standard ออกแบบผนังดังกล่าวโดยตรงอาจจะไม่เหมาะสมกับการใช้งานภายในประเทศไทย เนื่องจากให้ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยที่ต่ำเกินไป และการควบคุมคุณภาพในการผลิตวัสดุก็ยังไม่ได้มาตรฐานเท่าที่ควร รวมถึงความไม่เคยชินในการก่อสร้างของแรงงานและการออกแบบของวิศวกร ดังนั้น เพื่อให้เกิดความปลอดภัยในการใช้งานและความเหมาะสมต่อฝีมือแรงงานและมาตรฐานการผลิตในประเทศ ดังนั้น จึงควรปรับปรุงสมการออกแบบเพื่อให้เหมาะสมในการออกแบบผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อภายในประเทศไทย โดยการเปลี่ยนค่าตัวคูณลดกำลังจากเดิมที่มีค่าเท่ากับ 0.75 เป็น 0.50 โดยสมการที่ถูกปรับปรุงแล้วซึ่งเป็นสมการที่เสนอในการออกแบบผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อภายใต้แรงดัดจะอยู่ในรูป

$$F_d \leq 0.50k_s \left[f'_m A_b + k_c \sqrt{\frac{f'_{cg}}{1.3}} A_c + f_{sy} A_s \right] \quad (4.3)$$

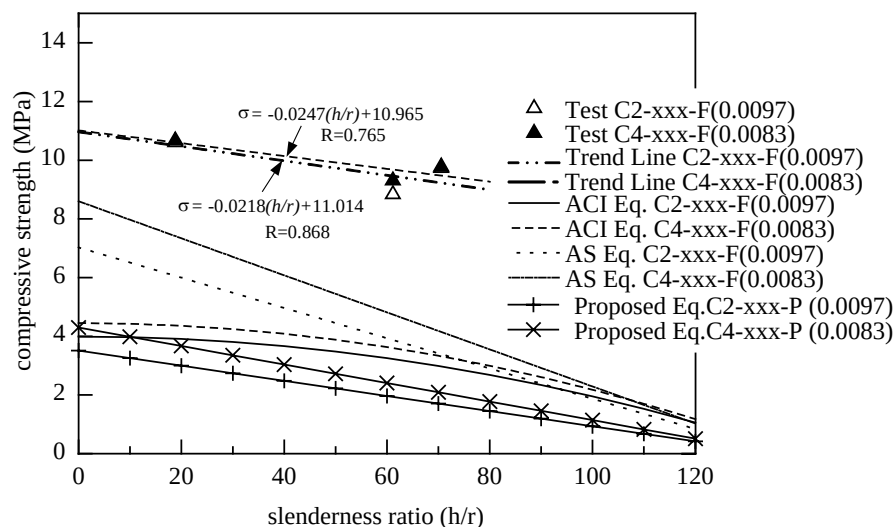
เมื่อเปรียบเทียบค่ากำลังรับแรงดัดในแนวแกนของผนังที่ทดสอบได้กับค่ากำลังรับแรงดัดที่ยอมให้ที่คำนวณได้จากสมการที่เสนอ (สมการที่ 4.3) แล้วจะได้ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยดังแสดงในตารางที่ 4.4 จากตารางที่ 4.4 พบว่าอัตราส่วนความปลอดภัยมีค่าอยู่ระหว่าง 2.16-4.31 และมีความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงดัดกับอัตราส่วนความชะลูด ดังแสดงในรูปที่ 4.21 และรูปที่ 4.22 ซึ่งผลจากการปรับปรุงสมการดังกล่าวคาดว่าจะสามารถใช้เป็นสมการที่เหมาะสมสำหรับการออกแบบผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อภายในประเทศไทยได้

ตารางที่ 4.4 ค่าหน่วยแรงกดอัดสูงสุดของผนังที่ได้จากการทดสอบและจากสมการที่เสนอ

ตัวอย่างทดสอบ	Test (a) (MPa)	proposed Eq.(b) (MPa)	FS. (a/b)
C1-076-P	11.31	3.91	2.89
C1-247-P	9.01	2.50	3.60
C1-285-P	9.03	2.19	4.13
C2-076-F	10.62	4.04	2.63
C2-247-F	9.09	2.59	3.51
C2-285-F	9.73	2.26	4.31
C3-076-P	11.13	4.69	2.37
C3-247-P	9.26	3.01	3.07
C3-285-P	8.60	2.65	3.25
C4-076-F	10.67	4.94	2.16
C4-247-F	9.30	3.16	2.94
C4-285-F	9.78	2.77	3.53



รูปที่ 4.21 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงกดอัดและอัตราส่วนความชะลูดของผนังแบบกรอกปูนกรอกช่องเว้นช่อง



รูปที่ 4.22 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงกดอัดและอัตราส่วนความชะลูดของ
ผนังแบบกรอกปูนกรอกทุกช่อง

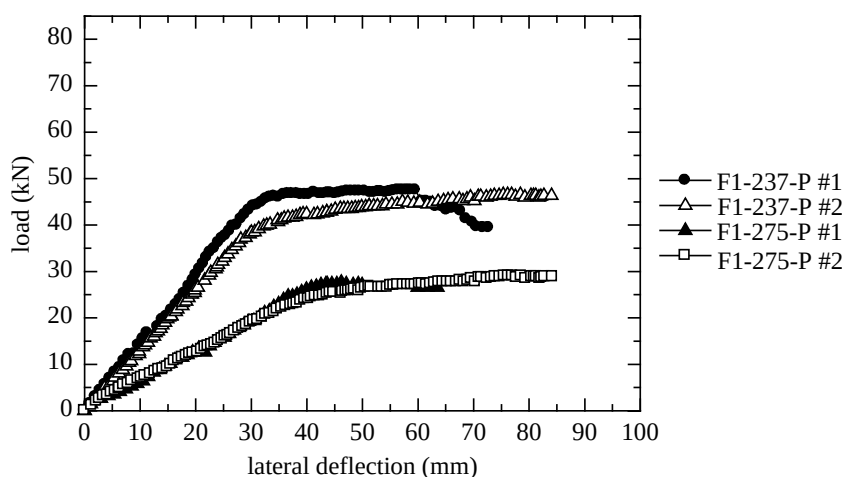
ผลการทดสอบกำลังรับแรงกดอัดในแนวแกนของผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อทำให้เราทราบพฤติกรรมการรับแรงกดอัดในแนวแกนภายใต้ตัวแปรที่ใช้ศึกษา คุณสมบัติของผนังภายใต้แรงกดอัดในแนวแกน ลักษณะการวิบัติภายใต้แรงกดอัดในแนวแกน รวมทั้งสมการที่เสนอสำหรับใช้ในการออกแบบผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อภายใต้แรงกดอัดในแนวแกนซึ่งคาดว่าจะสามารถนำผลการทดสอบดังกล่าวไปใช้ในการปฏิบัติงานจริงได้

4.4 ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อภายใต้แรงกด

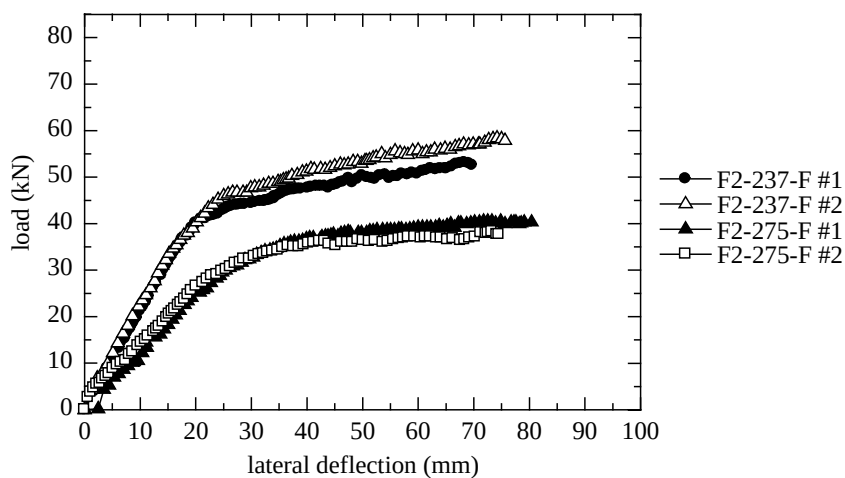
4.4.1. พฤติกรรมการรับแรงดัดของผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อ

รูปที่ 4.23 ถึง รูปที่ 4.26 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กระทำกับผนังกับการโก่งตัวทางด้านข้าง (lateral deflection) ที่กลางความสูงของผนังตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย จากรูปจะเห็นได้ว่าผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กระทำกับผนังกับการโก่งตัวทางด้านข้างที่เป็นแบบเชิงเส้นตรง 2 ช่วง (bilinear) โดยมีจุดพิกัดยึดหยุ่นซึ่งเป็นจุดที่ความชันของกราฟความสัมพันธ์เริ่มลดลงเข้าสู่ช่วงเส้นตรงที่สองเป็นจุดแบ่งช่วงดังกล่าว โดยพฤติกรรมในช่วงแรก ผนังที่ทดสอบได้มีแรงกระทำที่จุดพิกัดยึดหยุ่นโดยเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 34 kN และจากการสังเกตพบว่า ที่จุดนี้ยังสังเกตไม่พบรอยแตกร้าวที่เกิดกับผนังอย่างชัดเจน จาก

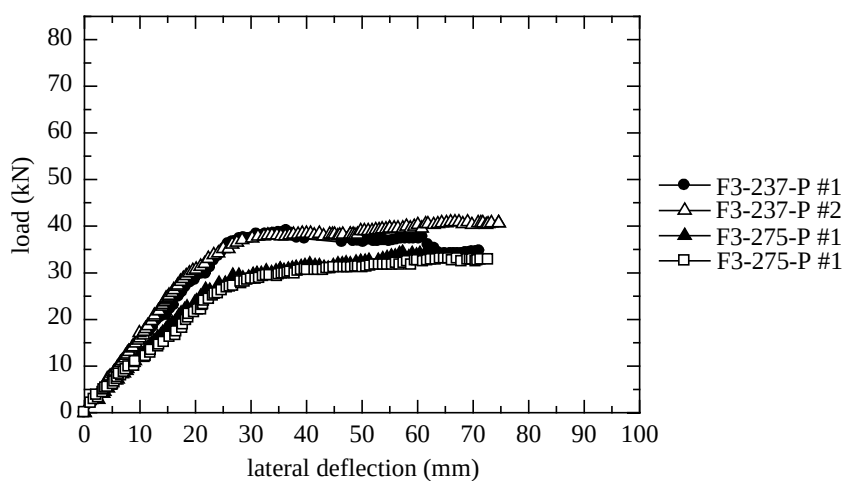
นั้น เมื่อพฤติกรรมการรับแรงดัดของผนังผ่านพ้นจุดพิกัดยืดหยุ่น พฤติกรรมการรับแรงดัดของผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อนจะมีพฤติกรรมเข้าสู่ช่วงที่สอง ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กระทำกับโก่งตัวทางด้านข้างยังคงมีลักษณะที่เป็นแบบเชิงเส้นตรงอยู่ แต่กราฟความสัมพันธ์ดังกล่าวจะมีความชันที่ลดลงเนื่องจากผนังจะเริ่มเกิดการแตกร้าวบริเวณกลางช่วงความสูงของผนังและการแตกร้าวดังกล่าวจะค่อยๆ เกิดการขยายตัว ทำให้แรงที่กระทำกับผนังมีค่าเพิ่มขึ้นน้อยลง ในขณะที่การโก่งตัวทางด้านข้างมีค่ามากขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยที่ผนังสามารถรับแรงกระทำเพิ่มขึ้นอีกประมาณ 20 ถึง 30 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจากผลการทดสอบจะเห็นว่า ผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อนมีการโก่งตัวสูงมากก่อนเกิดการวิบัติ สำหรับในกรณีที่โครงสร้างถูกใช้งานจริงในอาคารและกำลังจะเกิดการวิบัติ พฤติกรรมดังกล่าวจะเป็นผลดีต่อชีวิตและทรัพย์สินของผู้อยู่อาศัยภายในอาคาร เนื่องจากพฤติกรรมของโครงสร้างในลักษณะดังกล่าวเปรียบเสมือนเครื่องเตือนภัยให้ผู้อยู่อาศัยสามารถเคลื่อนย้ายทรัพย์สินที่มีค่าออกจากภายนอกอาคารได้ทันก่อนโครงสร้างจะเกิดการวิบัติ



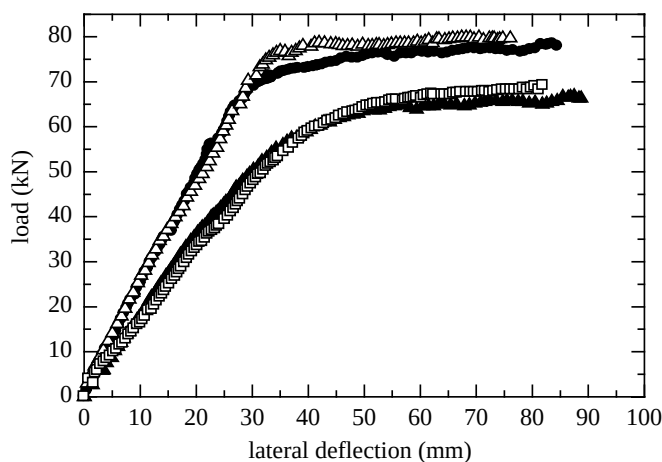
รูปที่ 4.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กระทำกับผนังกับการโก่งตัวทางด้านข้างที่กลางความสูงของผนังชุดที่มีอัตราส่วนเหล็กเสริม 0.0028 และ กรอกปูนกรอกช่องเว้นช่อง



รูปที่ 4.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กระทำกับผนังกับการโก่งตัวทางด้านข้างที่กลางความสูงของผนังชุดที่มีอัตราส่วนเหล็กเสริม 0.0024 และ กรอกปูนกรอกทุกช่อง



รูปที่ 4.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กระทำกับผนังกับการโก่งตัวทางด้านข้างที่กลางความสูงของผนังชุดที่มีอัตราส่วนเหล็กเสริม 0.0049 และ กรอกปูนกรอกช่องเว้นช่อง



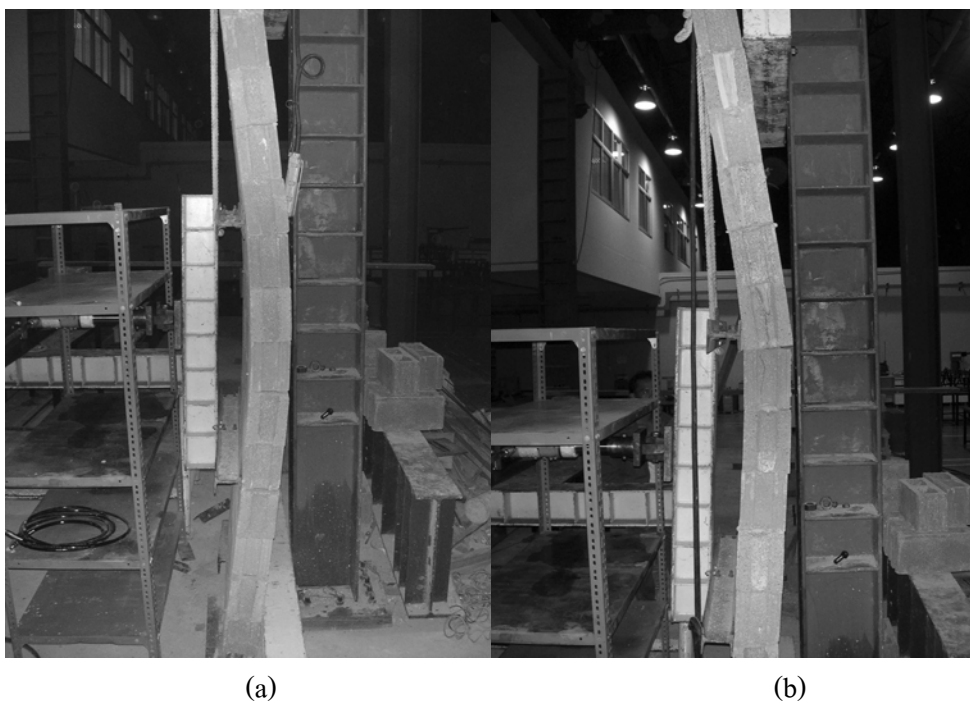
รูปที่ 4.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กระทำกับผนังกับการโก่งตัวทางด้านข้างที่กลางความสูงของผนังชุดที่มีอัตราส่วนเหล็กเสริม 0.0042 และ กรอกปูนกรอกทุกช่อง

4.4.2. รูปแบบการวิบัติของผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อภายใต้แรงดัด

จากการทดสอบจะสังเกตเห็นรอยแตกร้าวมีลักษณะแบบส้อมเกิดขึ้นในผนังที่มีอัตราส่วนเหล็กเสริม 0.0028 และ 0.0024 ในขณะที่จะสังเกตเห็นรอยแตกร้าวที่มีลักษณะแบบบดแตกเกิดขึ้นในผนังที่มีอัตราส่วนเหล็กเสริม 0.0049 และ 0.0042 บริเวณกลางช่วงความสูงของผนังโดยมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 4.27 นอกจากนั้นแล้วจากการทดสอบพบว่า ที่แรงกระทำมีค่าเท่ากัน ผนังที่มีอัตราส่วนเหล็กเสริม 0.0028 และ 0.0024 จะมีระยะโก่งตัวทางด้านข้างมากกว่าผนังที่มีอัตราส่วนเหล็กเสริม 0.0049 และ 0.0042 โดยผนังที่ทดสอบจะมีลักษณะการโก่งตัวทางด้านข้างภายใต้แรงกระทำดังแสดงในรูปที่ 4.28 และจากรูปที่ 4.28 (b) จะสังเกตเห็นว่าผนังที่มีอัตราส่วนเหล็กเสริม 0.0049 และ 0.0042 เกิดการหักที่บริเวณกลางช่วงความสูงของผนัง ซึ่งเป็นผลมาจากหน่วยแรงดึงที่เกิดขึ้นกับปูนกรอกภายในผนังมีค่าสูงกว่าพิคัดแตกร้าว (modulus of rupture) ของปูนกรอก ซึ่งสาเหตุที่ทำให้ผนังที่มีอัตราส่วนเหล็กเสริม 0.0049 และ 0.0042 เกิดการวิบัติในลักษณะดังกล่าวนี้จากการวิเคราะห์พบว่า ด้านที่รับแรงอัดของผนังมีหน่วยแรงอัดสูงกว่ากำลังรับแรงกดอัดของคอนกรีตบล็อกจึงทำให้คอนกรีตบล็อกเกิดการวิบัติแบบบดแตก อย่างไรก็ตามภายใต้การกระทำของแรงดัด ผนังที่ใช้ในการทดสอบไม่ได้เกิดการวิบัติแบบตันที่ทันใดและลักษณะการวิบัติของผนังที่ได้กล่าวมานั้นเป็นลักษณะการวิบัติของผนังที่ผ่านพ้นจุดพิคัดยึดหยุ่นมาแล้ว นั้นหมายความว่า ที่จุดที่สังเกตเห็นรอยแตกร้าวของผนังเหล็กเสริมที่อยู่ภายในผนังน่าจะเกิดการครากมาก่อนหน้านั้นแล้ว ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่า ผนังที่ใช้ในการศึกษานี้เป็นผนังที่มีพฤติกรรมแบบ under reinforcement



รูปที่ 4.27 ลักษณะของรอยบดแตกที่เกิดขึ้นในด้านรับแรงอัดของผนัง



รูปที่ 4.28 ลักษณะการโก่งตัวทางด้านข้างภายใต้แรงดัด (a) ผนังที่มีอัตราส่วนเหล็กเสริม 0.0028 และ 0.0024 (b) ผนังที่มีอัตราส่วนเหล็กเสริม 0.0049 และ 0.0042

4.4.3 คุณสมบัติทางกลของผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อภายใต้แรงดัด

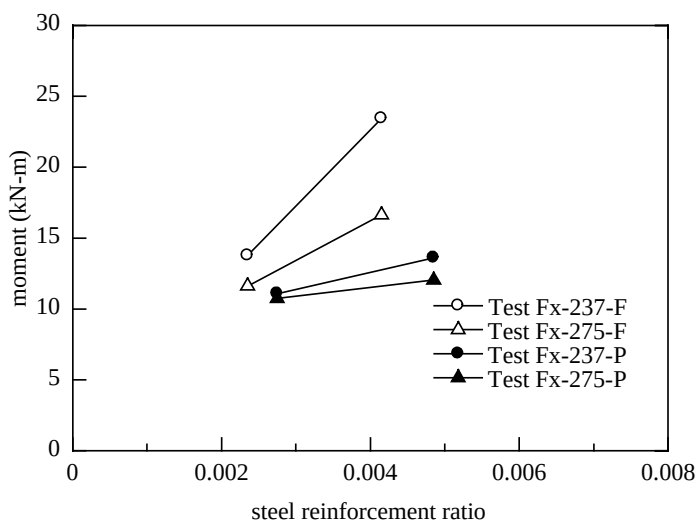
จากการทดสอบจะได้คุณสมบัติทางกลของผนังภายใต้แรงดัดดังแสดงในตารางที่ 4.5 ซึ่งประกอบไปด้วย แรงกระทำที่จุดพิกัดยึดหย่อน โมเมนต์ที่จุดพิกัดยึดหย่อน และความแกร่งดัด (flexural stiffness) ซึ่งเมื่อนำข้อมูลดังกล่าวมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ที่จุดพิกัดยึดหย่อนกับอัตราส่วนเหล็กเสริมที่ใช้ในงานวิจัยจะได้กราฟดังแสดงในรูปที่ 4.29 และจะได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความแกร่งดัดกับอัตราส่วนเหล็กเสริมที่ใช้ในงานวิจัยดังแสดงในรูปที่ 4.30

ตารางที่ 4.5 คุณสมบัติทางกลของผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อภายใต้แรงดัด

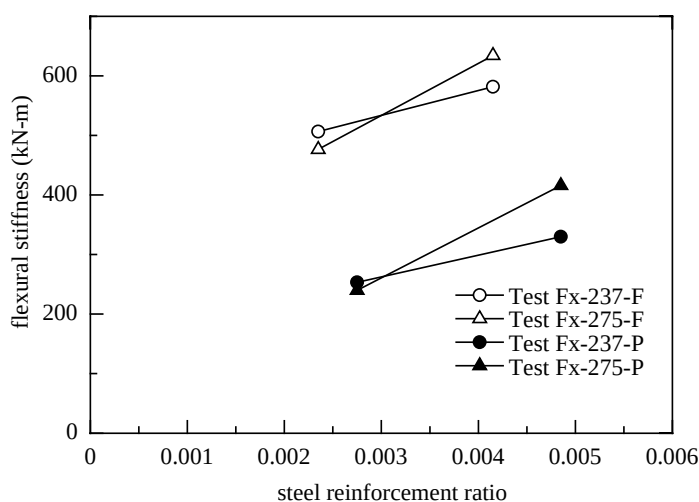
ชื่อผนัง	แรงกระทำที่จุดพิกัดยึดหย่อนเฉลี่ย (kN)	โมเมนต์ที่จุดพิกัดยึดหย่อนเฉลี่ย (kN-m)	ความแกร่งดัดเฉลี่ย (kN-m ²)
F1-237-P	28.29	11.17	253.4
F1-275-P	23.46	10.75	239.9
F2-237-F	35.15	13.88	506.3
F2-275-F	25.35	11.62	476.5
F3-237-P	34.76	13.73	329.8
F3-275-P	26.27	12.04	415.9
F4-237-F	59.83	23.63	581.6
F4-275-F	36.31	16.64	634.1

4.4.4 ผลของอัตราส่วนเหล็กเสริมต่อกำลังรับแรงดัดของผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อ

จากความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์กับอัตราส่วนเหล็กเสริมที่ใช้ในงานวิจัยในรูปที่ 4.29 พบว่าการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนเหล็กเสริมที่ใช้ในงานวิจัยจาก 0.0024 เป็น 0.0049 ในผนังแบบกรอกปูนกรอกช่องเว้นช่อง และจาก 0.0028 เป็น 0.0042 ในผนังแบบกรอกปูนกรอกทุกช่อง หรืออาจกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่า การเพิ่มอัตราส่วนเหล็กเสริม 76 เปอร์เซ็นต์ในผนังทั้งสองรูปแบบ ทำให้กำลังรับแรงดัดของผนังแบบกรอกปูนกรอกช่องเว้นช่องเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ยประมาณ 17 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ กำลังรับแรงดัดของผนังแบบกรอกปูนกรอกทุกช่องเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ยประมาณ 57 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 4.29 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์กับอัตราส่วนเหล็กเสริมที่ใช้ในงานวิจัย



รูปที่ 4.30 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแกร่งกับอัตราส่วนเหล็กเสริมที่ใช้ในงานวิจัย

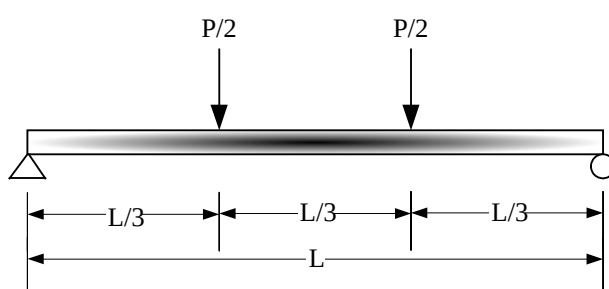
4.4.5 ผลของรูปแบบการกรอกปูนกรอกต่อกำลังรับแรงดัดของผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อ

จากความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์กับอัตราส่วนเหล็กเสริมที่ใช้ในงานวิจัยในรูปที่ 4.29 พบว่ารูปแบบการกรอกปูนกรอกที่ใช้ในการวิจัยทำให้ผนังที่มีอัตราส่วนเหล็กเสริม 0.0028 และ 0.0024 มีกำลังรับแรงดัดเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ยประมาณ 16 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ กำลังรับแรงดัด

ของผนังที่มีอัตราส่วนเหล็กเสริม 0.0049 และ 0.0042 มีกำลังรับแรงดัดเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ยประมาณ 55 เปอร์เซ็นต์

4.4.6 ผลของอัตราส่วนเหล็กเสริมต่อความแข็งแรงดัดของผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อ

สมการหาความแข็งแรงดัดที่ใช้ในงานวิจัยนี้หาได้จากวิธี conjugate beam โดยใช้รูปแบบของคานาที่ถูกรองรับด้วยจุดรองรับอย่างง่าย (simple support) และมีตำแหน่งของแรงกระทำดังแสดงในรูปที่ 4.31 ซึ่งจากวิธีการดังกล่าวทำให้ได้สมการที่ใช้ในการหาความแข็งแรงดัดในงานวิจัยนี้ดังสมการที่ (4.4)



รูปที่ 4.31 รูปแบบของคานาที่ถูกรองรับด้วยจุดรองรับอย่างง่ายและตำแหน่งของแรงกระทำที่ใช้ในการหาความแข็งแรงดัด

$$EI = \frac{23PL^3}{1296\Delta} \quad (4.4)$$

โดยที่

EI คือ ความแข็งแรงดัด

P คือ แรงกระทำที่จุดพิคคียัดหยุ่นของผนังที่ทดสอบซึ่งหาได้จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับการโก่งตัวทางด้านข้าง

Δ คือ การโก่งตัวทางด้านข้างที่จุดพิคคียัดหยุ่นของผนังที่ทดสอบซึ่งหาได้จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับการโก่งตัวทางด้านข้าง

จากความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดัดกับอัตราส่วนเหล็กเสริมที่ใช้ในงานวิจัยในรูปที่ 4.30 พบว่าการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนเหล็กเสริมที่ใช้ในงานวิจัยจาก 0.0028 เป็น 0.0049 ใน

ผนังแบบกรอกปูนกรอกช่องเว้นช่อง และจาก 0.0024 เป็น 0.0042 ในผนังแบบกรอกปูนกรอกทุกช่อง หรืออาจกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่า การเพิ่มอัตราส่วนเหล็กเสริม 76 เปอร์เซ็นต์ในผนังทั้งสองรูปแบบ ทำให้ความแข็งแรงดัดของผนังแบบกรอกปูนกรอกช่องเว้นช่องเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ยประมาณ 52 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ กำลังรับแรงดัดของผนังแบบกรอกปูนกรอกทุกช่องเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ยประมาณ 24 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งการที่เป็นเช่นนี้ก็เนื่องมาจาก การเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนเหล็กเสริมทำให้พื้นที่ของเหล็กเสริมเพิ่มขึ้นซึ่งสามารถต้านทานการ โค้งตัวทางด้านข้างของผนังได้มากขึ้น

4.4.7 ผลของรูปแบบการกรอกปูนกรอกต่อความแข็งแรงดัดของผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อ

จากความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดัดกับอัตราส่วนเหล็กเสริมที่ใช้ในงานวิจัยในรูปที่ 4.30 พบว่า สำหรับผนังที่มีอัตราส่วนเหล็กเสริม 0.0028 และ 0.0024 ผนังที่กรอกปูนกรอกทุกช่องมีความแข็งแรงสูงกว่าผนังที่กรอกปูนกรอกช่องเว้นช่องโดยเฉลี่ยประมาณ 99 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ผนังที่มีอัตราส่วนเหล็กเสริม 0.0049 และ 0.0042 ผนังที่กรอกปูนกรอกทุกช่องมีความแข็งแรงสูงกว่าผนังที่กรอกปูนกรอกช่องเว้นช่องโดยเฉลี่ยประมาณ 64 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งการที่เป็นเช่นนี้ก็เนื่องมาจาก ปูนกรอกที่อยู่ในผนังทำให้ผนังมี moment of inertia สูงขึ้นซึ่งจะสามารถต้านทานแรงดัดได้มากขึ้น

4.4.8 เปรียบเทียบค่าโมเมนต์ดัดสูงสุดที่ได้จากการทดสอบกับสมการออกแบบของ ACI

และสมการออกแบบของ Australian Standard

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าโมเมนต์ที่จุดพิคคียู้นของผนังที่ทดสอบได้ ค่าโมเมนต์ที่คำนวณได้จากสมการวิเคราะห์กำลังรับแรงดัดที่สร้างขึ้น ค่าโมเมนต์ที่คำนวณได้จากสมการออกแบบของ NAVY ค่าโมเมนต์ที่คำนวณได้จากสมการออกแบบของ ACI และค่าโมเมนต์ที่คำนวณได้จากเทอมทางด้านซ้ายมือของสมการออกแบบของ Australian Standard หารด้วย load factor เมื่อเปรียบเทียบค่าโมเมนต์ดังกล่าวพบว่า ค่าโมเมนต์ที่จุดพิคคียู้นของผนังที่ทดสอบได้มีค่ามากกว่าค่าโมเมนต์ที่คำนวณจากสมการออกแบบทั้งหมด โดยมีอัตราส่วนปลอดภัยอยู่ระหว่าง 2.44 ถึง 2.72 เมื่อเทียบกับค่าโมเมนต์ที่คำนวณได้จากสมการที่วิเคราะห์กำลังรับแรงดัดที่สร้างขึ้น มีอัตราส่วนปลอดภัยอยู่ระหว่าง 1.48 ถึง 2.39 เมื่อเทียบกับค่าโมเมนต์ที่คำนวณได้จากสมการออกแบบของ NAVY มีอัตราส่วนความปลอดภัยอยู่ระหว่าง 2.23 ถึง 4.59 เมื่อเทียบกับค่าโมเมนต์ที่คำนวณได้จากสมการของ ACI และ 1.34 ถึง 2.97 เมื่อเทียบกับค่าโมเมนต์ที่คำนวณได้จากสมการของ Australian Standard

ตารางที่ 4.6 ค่าโมเมนต์สูงสุดของผนังที่ได้จากการทดสอบและจากสมการวิเคราะห์กำลังรับแรงดัดที่สร้างขึ้น

ผนัง	Test (kN-m) (a)	partially grout (kN-m)		fully (kN-m)	AS (kN-m) (e)	FS. (a)/(b)	FS. (a)/(c)	FS. (a)/(d)	FS. (a)/(e)
		developed (b)	NAVY (c)	ACI (d)					
F1-237-P	11.17	4.22	4.63	--	5.51	2.63	2.39	--	2.01
F1-275-P	10.75	4.22	4.63	--	5.51	2.55	2.32	--	1.95
F2-237-F	13.88	--	--	5.21	4.78	--	--	2.64	2.88
F2-275-F	11.62	--	--	5.21	4.78	--	--	2.23	2.43
F3-237-P	13.73	5.01	8.13	--	8.97	2.72	1.67	--	1.52
F3-275-P	12.04	5.01	8.13	--	8.97	2.40	1.48	--	1.34
F4-237-F	23.63	--	--	5.11	7.89	--	--	4.59	2.97
F4-237-F	16.64	--	--	5.11	7.89	--	--	3.26	2.11

รูปที่ 4.32 แสดงลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงดัดสูงสุดที่คำนวณได้จากสมการกับอัตราส่วนเหล็กเสริมเทียบกับผลที่ได้จากการทดสอบ จากรูปจะสังเกตได้ว่า ผนังที่ทดสอบได้จะมีกำลังรับแรงดัดเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนเหล็กเสริมมีค่าเพิ่มขึ้น นอกจากนั้นแล้วยังสังเกตเห็นว่า กราฟความสัมพันธ์ในช่วงอัตราส่วนเหล็กเสริมจาก 0.001 ถึง ประมาณ 0.003 ของสมการที่สร้างขึ้นซึ่งพิจารณาผลของเหล็กรับแรงอัดจะมีค่าไม่แตกต่างกับกราฟของสมการออกของ NAVY ซึ่งไม่ได้พิจารณาถึงผลของเหล็กรับแรงอัด ซึ่งการที่เป็นเช่นนี้อาจเกิดจากปริมาณเหล็กเสริมในช่วงดังกล่าวมีค่าน้อยจนทำให้เห็นผลระหว่างสมการทั้งสองไม่ชัดเจน จนกระทั่งเมื่ออัตราส่วนเหล็กเสริมมีค่ามากกว่า 0.003 จะทำให้เห็นความแตกต่างระหว่างสมการทั้งสองชัดเจนยิ่งขึ้น นอกจากนั้นแล้วอาจเกิดจากระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางของเหล็กรับแรงอัดกับตำแหน่งศูนย์กลางของหน้าตัดของผนังมีค่าน้อยจนทำให้เห็นผลที่เกิดขึ้นจากการพิจารณาผลของเหล็กรับแรงอัดไม่ชัดเจนได้เช่นกัน

จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า ค่าโมเมนต์ที่คำนวณได้จากสมการออกแบบผนังภายใต้แรงดัดของ Australian Standard ให้ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยต่ำที่สุด แต่อย่างไรก็ตาม การคำนวณค่าโมเมนต์ที่ใช้ออกแบบจากสมการออกแบบที่สร้างขึ้น และจากสมการออกแบบของ NAVY และ ACI เป็นการคำนวณที่ค่อนข้างซับซ้อนและสามารถผิดพลาดในการคำนวณได้ง่าย อีกทั้งยังเป็นสมการที่แบ่งแยกการใช้งานระหว่างผนังแบบกรอกปูนกรอกทุกช่องและกรอกปูนกรอก

ช่องเว้นช่อง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการก่อสร้างผนังรูปแบบนี้เป็นการก่อสร้างรูปแบบใหม่ซึ่งวิศวกรออกแบบอาจไม่เคยชิน รวมทั้งอาจยังไม่เข้าใจมาตรฐานการออกแบบอย่างเพียงพอ ซึ่งทำให้มีโอกาสใช้สมการผิดพลาดมากขึ้น ซึ่งถือว่าค่อนข้างเป็นการเสี่ยงที่จะนำสมการออกแบบวิธีดังกล่าวมาใช้งานในการออกแบบผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อภายในประเทศไทย ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเสนอให้สมการออกแบบของ Australian Standard ในการออกแบบผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อภายในได้แรงดัด เนื่องจากเหตุผลดังที่ได้กล่าวไปแล้ว แต่อย่างไรก็ตามสมการออกแบบของ Australian Standard ให้ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยที่ต่ำเกินไปสำหรับการใช้งานในประเทศไทย และเหตุผลเกี่ยวกับ คุณภาพของวัสดุและฝีมือแรงงาน ดังนั้นจึงควรที่ปรับปรุงสมการออกแบบให้เหมาะสมกับการใช้งานในประเทศไทยมีความปลอดภัยมากขึ้น โดยให้มีค่าอัตราส่วนความปลอดภัยอยู่ที่ประมาณ 2.5 – 4.0 ซึ่งสามารถทำได้โดยการปรับค่าด้วยตัวคูณลดกำลังซึ่งจากเดิมมีค่าเท่ากับ 0.75 ให้มีค่าเท่ากับ 0.45 และจะมีสมการออกแบบที่เสนอดังสมการที่ (4.5) ดังนี้

$$M_d \leq 0.45 f_{sy} A_{sd} d \left[1 - \frac{0.6 f_{sy} A_{sd}}{1.3 f'_m b d} \right] \quad (4.5)$$

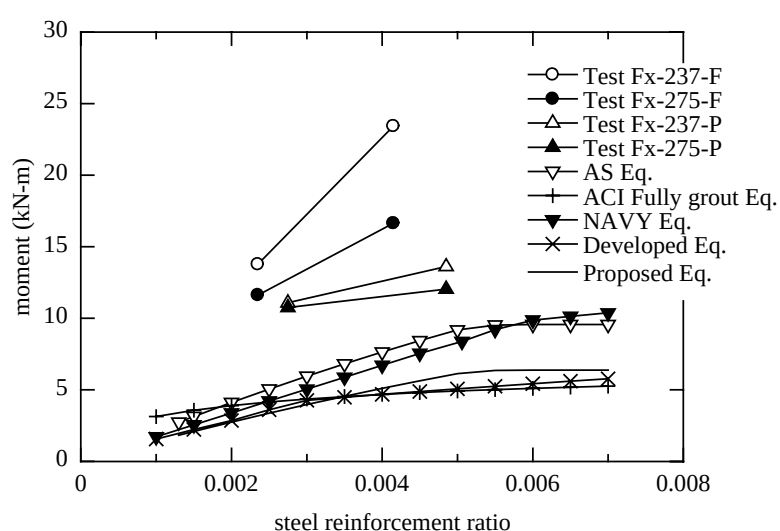
ตารางที่ 4.7 แสดงค่าโมเมนต์สูงสุดของผนังที่ได้จากการทดสอบและจากสมการออกแบบผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อภายในได้แรงดัดที่เสนอ จากตารางจะพบว่าค่าอัตราส่วนความปลอดภัยที่ได้จากสมการที่เสนออยู่ในช่วง 2.24-4.95 ซึ่งสามารถใช้ออกแบบประเทศไทยได้

ตารางที่ 4.7 ค่าโมเมนต์สูงสุดของผนังที่ได้จากการทดสอบและจากสมการออกแบบผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อภายในได้แรงดัดที่เสนอ

ผนัง	Test (kN-m) (a)	proposed (kN-m) (b)	FS. (a)/(b)
F1-237-P	11.17	3.35	3.33
F1-275-P	10.75	3.35	3.21
F2-237-F	13.88	2.87	4.84
F2-275-F	11.62	2.87	4.06
F3-237-P	13.73	5.38	2.55
F3-275-P	12.04	5.38	2.24

ตารางที่ 4.7 (ต่อ) ค่าโมเมนต์สูงสุดของผนังที่ได้จากการทดสอบและจากสมการออกแบบผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อภายใต้แรงคดที่เสนอ

ผนัง	Test (kN-m) (a)	proposed (kN-m) (b)	FS. (a)/(b)
F4-237-F	23.63	4.73	4.99
F4-275-F	16.64	4.73	3.52



รูปที่ 4.32 ลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงคดสูงสุดที่คำนวณได้จากสมการออกแบบของ ACI และ Australian Standard กับอัตราส่วนเหล็กเสริม เทียบกับผลที่ได้จากการทดสอบ

จากผลการทดสอบกำลังรับแรงคดของผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อทำให้เราทราบพฤติกรรมการรับแรงคดภายใต้ตัวแปรที่ใช้ศึกษา คุณสมบัติของผนังภายใต้แรงคด ลักษณะการวิบัติภายใต้แรงคด รวมทั้งสมการที่เสนอสำหรับการใช้ในการออกแบบผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อภายใต้แรงคดซึ่งคาดว่าจะสามารถนำผลการทดสอบดังกล่าวไปใช้ในการปฏิบัติงานจริงได้

บทที่ 5

บทสรุป

5.1 บทนำ

วิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการศึกษาถึงพฤติกรรมทางกลของผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อภายใต้แรงกดอัดและแรงดัด โดยมีตัวแปรที่ใช้ในการวิจัยคือ อัตราส่วนความชะลูดของผนัง (ในกรณีทำการทดสอบกำลังรับแรงกดอัดในแนวแกนของผนัง) ระยะห่างระหว่างจุกรองรับ (ในกรณีทำการทดสอบกำลังรับแรงดัดของผนัง) อัตราส่วนเหล็กเสริม และ รูปแบบการกรอกปูนกรอก จากการศึกษานี้สามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

5.2 พฤติกรรมทางกลของผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อภายใต้แรงกดอัด

จากการทดสอบผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อภายใต้แรงกดอัดในแนวแกน สามารถสรุปผลการทดสอบได้ดังนี้

5.2.1 พฤติกรรมการรับแรงกดอัดของผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อภายใต้

แรงกดอัด

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดอัดในแนวแกนกับระยะหัดตัวมีลักษณะเป็นเส้นตรงในช่วง 0 เปอร์เซ็นต์จนถึงประมาณ 65- 80 เปอร์เซ็นต์ของกำลังรับน้ำหนักสูงสุด จากนั้นจะเป็นเส้นโค้งจนถึงกำลังรับแรงกดอัดสูงสุด จากนั้นกำลังรับแรงกดอัดของผนังจะลดลงอย่างรวดเร็วโดยผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อจะเกิดการวิบัติโดยกำลังของวัสดุและมีการลักษณะรอยแตกร้าวแบบเฉือนทแยง ซึ่งผนังแบบกรอกปูนกรอกทุกช่องจะมีมุมของรอยแตกร้าวที่แคบกว่ามุมของรอยร้าวในผนังแบบกรอกปูนกรอกช่องเว้นช่อง

5.2.2 ผลของรูปแบบการกรอกปูนกรอกต่อกำลังรับแรงกดอัดของผนังคอนกรีตบล็อก

เสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อ

จากการศึกษาพบว่า รูปแบบของการกรอกปูนกรอกที่ใช้ในงานวิจัยไม่ได้มีส่วนช่วยให้กำลังรับแรงกดอัดของผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ กล่าวคือ ผนังแบบกรอกปูนกรอกทุกช่องมีค่าแรงกดอัดสูงสุดที่ทดสอบได้ไม่แตกต่างกับผนังที่กรอกปูนกรอกช่องเว้นช่อง โดยที่ผนังทั้งสองรูปแบบมีค่ากำลังรับแรงกดอัดแตกต่างกันอยู่ในช่วง 5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสอดคล้องกับที่มาตรฐาน ACI ที่ไม่นำเทอมของปูนกรอกมาพิจารณาใน

สมการออกแบบผนังวัสดุเสริมเหล็กภายใต้แรงกดอัด

5.2.3 ผลของอัตราส่วนเหล็กเสริมต่อกำลังรับแรงกดอัดของผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อ

การเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนเหล็กเสริมที่ใช้ในงานวิจัยไม่มีผลทำให้กำลังรับแรงกดอัดสูงสุดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ กล่าวคือ ในผนังแบบกรอกปูนกรอกช่องเว้นช่อง การเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนเหล็กเสริมทำให้กำลังรับแรงกดอัดสูงสุดของผนังตัวอย่างแตกต่างกันเฉลี่ยประมาณ 3 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ผนังแบบกรอกปูนกรอกทุกช่อง การเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนเหล็กเสริมทำให้กำลังรับแรงกดอัดสูงสุดของผนังแตกต่างกันเฉลี่ยประมาณ 2 เปอร์เซ็นต์

5.2.4 ผลของตัวแปรที่ใช้ศึกษาต่อความแกร่งของผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อ

- การเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนเหล็กเสริมที่ใช้ในงานวิจัยจาก 0.0028 เป็น 0.0049 ในผนังแบบกรอกปูนกรอกช่องเว้นช่อง และจาก 0.0024 เป็น 0.0042 ในผนังแบบกรอกปูนกรอกทุกช่อง ทำให้ผนังมีความแกร่งภายใต้แรงกดอัดเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 7.20-35.7 เปอร์เซ็นต์

- ผนังที่กรอกปูนกรอกทุกช่องจะมีความแกร่งภายใต้แรงกดอัดมากกว่าผนังซึ่งกรอกปูนช่องเว้นช่องประมาณ 8 ถึง 19 เปอร์เซ็นต์

- อัตราส่วนความชะลุดที่เพิ่มขึ้นของผนังทำให้กำลังรับแรงกดอัดมีค่าลดลงโดยมีแนวโน้มที่มีลักษณะใกล้เคียงกับความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงกดอัดกับอัตราส่วนความชะลุดที่ได้จากสมการออกแบบของ Australian Standard

5.2.5 การนำผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อไปใช้งานภายใต้แรงกดอัด

ผนังที่ทดสอบได้มีอัตราส่วนความปลอดภัยเมื่อเทียบกับสมการออกแบบของ ACI อยู่ในช่วง 2.45 ถึง 3.66 และอยู่ในช่วง 1.44 ถึง 2.87 เมื่อเทียบกับ Australian Standard โดยที่ผนังที่มีอัตราส่วนความชะลุดที่สูงกว่าและกรอกปูนกรอกทุกช่องจะมีอัตราส่วนความปลอดภัยสูงกว่า

ผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อสามารถถูกนำไปใช้งานภายใต้แรงกดอัดในรูปแบบของผนังเพื่อรับแรงปฏิกิริยาจากโครงหลังคาภายในโรงงานหรืออาคาร น้ำหนักจากแผ่นพื้นได้ โดยการออกแบบผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อภายใต้แรงกดอัดสามารถออกแบบโดยใช้สมการออกแบบของ ACI ดังสมการที่ (2.4) ได้ในกรณีที่ต้องการความปลอดภัยทางด้านกำลังรับแรงกดอัดของผนังสูงแต่ก็จะใช้วัสดุในการก่อสร้างมากเกินความจำเป็น หากต้องการความประหยัดในการก่อสร้างเพิ่มขึ้นโดยที่ผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อยังมีกำลังรับแรงกดอัดเพียงพอต่อการใช้งานควรใช้สมการออกแบบที่เสนอดังสมการที่ (5.1) ซึ่งอยู่ในรูป

$$F_d \leq 0.50k_s \left[f'_m A_b + k_c \sqrt{\frac{f'_{cg}}{1.3}} A_c + f_{sy} A_s \right] \quad (5.1)$$

ในขณะที่สมการออกแบบของ Australian Standard สามารถทำให้ค่าก่อสร้างผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อนมีราคาต่ำที่สุดได้ก็ตาม แต่จะทำให้ผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อนมีความปลอดภัยต่ำที่สุด และเนื่องจากว่าการควบคุมคุณภาพในการผลิตวัสดุต่างๆ ในประเทศไทยยังไม่ได้มาตรฐานเท่าที่ควร รวมทั้งความไม่เคยชินในการออกแบบของวิศวกรและการก่อสร้างของแรงงาน ทำให้สมการออกแบบของ Australian Standard ไม่เหมาะสมต่อการใช้ออกแบบผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อนภายในประเทศไทย

5.3 พฤติกรรมทางกลของผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อนภายใต้แรงดัด

จากการทดสอบผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อนภายใต้แรงดัดสามารถสรุปผลการทดสอบได้ดังนี้

5.3.1 พฤติกรรมของผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อนภายใต้แรงดัด

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับการโก่งตัวทางด้านข้างเป็นเส้นตรงสองช่วงโดยช่วงแรกจาก 0 เปอร์เซ็นต์ถึงประมาณ 80-90 เปอร์เซ็นต์ของแรงกระทำสูงสุด และมีพฤติกรรมการวิบัติภายใต้แรงดัดเป็นวัสดุที่เปลี่ยนแปลงรูปร่างได้สูงก่อนเกิดการวิบัติและการวิบัติของผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อนภายใต้แรงดัดจะมีลักษณะการวิบัติที่เกิดจากเหล็กเสริมเกิดการคดงอขณะที่คอนกรีตบล็อกเกิดการวิบัตินั้นหมายความว่าผนังที่ใช้ในการทดสอบแรงดัดทุกผนังเป็นแบบ under reinforcement

5.3.2 ผลของรูปแบบการกรอกปูนกรอกต่อกำลังรับแรงดัดของผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อน

จากการทดสอบพบว่า ผนังแบบกรอกปูนกรอกทุกช่องมีกำลังรับแรงดัดสูงกว่าผนังแบบกรอกปูนกรอกช่องเว้นช่องโดยเฉลี่ยประมาณ 35.66 เปอร์เซ็นต์

5.3.3 ผลของอัตราส่วนเหล็กเสริมต่อกำลังรับแรงดัดของผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อน

การเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนเหล็กเสริมที่ใช้ในงานวิจัยทำให้กำลังรับแรงดัดเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ยประมาณ 37.1 เปอร์เซ็นต์

5.3.4 ผลของตัวแปรที่ใช้ศึกษาต่อความแรงแ้งดัดของผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อ

- ผนังที่มีอัตราส่วนเหล็กเสริม 0.0028 และ 0.0024 ผนังที่กรอกปูนกรอกทุกช่องมีความแรงแ้งสูงกว่าผนังที่กรอกปูนกรอกช่องเว้นช่องโดยเฉลี่ยประมาณ 99 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ผนังที่มีอัตราส่วนเหล็กเสริม 0.0049 และ 0.0042 ผนังที่กรอกปูนกรอกทุกช่องมีความแรงแ้งสูงกว่าผนังที่กรอกปูนกรอกช่องเว้นช่องโดยเฉลี่ยประมาณ 64 เปอร์เซ็นต์

- การเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนเหล็กเสริมที่ใช้ในงานวิจัยทำให้ผนังแบบกรอกปูนกรอกช่องเว้นช่องเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ยประมาณ 52 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่การเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนเหล็กเสริมที่ใช้ในงานวิจัยทำให้กำลังรับแรงแ้งดัดของผนังแบบกรอกปูนกรอกทุกช่องเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ยประมาณ 24 เปอร์เซ็นต์

- ผนังที่ทดสอบได้มีอัตราส่วนปลอดภัยอยู่ระหว่าง 2.44 ถึง 2.72 เมื่อเทียบกับค่าโมเมนต์ที่คำนวณได้จากสมการที่วิเคราะห์กำลังรับแรงแ้งดัดที่สร้างขึ้น มีอัตราส่วนปลอดภัยอยู่ระหว่าง 1.48 ถึง 2.39 เมื่อเทียบกับค่าโมเมนต์ที่คำนวณได้จากสมการออกแบบของ NAVY มีอัตราส่วนความปลอดภัยอยู่ระหว่าง 2.23 ถึง 4.59 เมื่อเทียบกับค่าโมเมนต์ที่คำนวณได้จากสมการของ ACI และ 1.34 ถึง 2.97 เมื่อเทียบกับค่าโมเมนต์ที่คำนวณได้จากสมการของ Australian Standard

5.3.5 การนำผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อไปใช้งานภายใต้แรงแ้งดัด

ผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อสามารถถูกนำไปใช้งานภายใต้แรงแ้งดัดในรูปแบบของผนังภายนอกอาคารสูงซึ่งรับแรงลม ผนังกันดินซึ่งรับแรงดันดิน หรือผนังของสระว่ายน้ำได้ โดยการออกแบบผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อภายใต้แรงแ้งดัดสามารถทำได้โดยใช้สมการออกแบบที่เสนอดังสมการที่ (5.2) และจะได้อัตราส่วนความปลอดภัยเหมาะสมกับการใช้งานภายในประเทศไทย

$$M_d \leq 0.45 f_{sy} A_{sd} d \left[1 - \frac{0.6 f_{sy} A_{sd}}{1.3 f'_m b d} \right] \quad (5.2)$$

5.4 ข้อจำกัดในงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาพฤติกรรมเบื้องต้นของผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อ โดยทำการทดสอบเฉพาะผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อภายใต้แรงกดอัดในแนวแกนโดยใช้แรงกระทำแบบจุด และทำการทดสอบกำลังรับแรงแ้งดัดของผนังดังกล่าวโดยให้แรงกระทำแบบให้แรงที่จุดเท่านั้น ไม่ได้คำนึงถึงต้นทุนที่ใช้ในการก่อสร้างเพื่อที่จะให้ได้โครง

สร้างที่มีราคาต่ำที่สุด

5.5 ข้อเสนอแนะในงานวิจัยต่อไป

1. ทำการศึกษาผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบใช้ปูนก่อ เพื่อที่จะสามารถเปรียบเทียบผลของปูนก่อต่อพฤติกรรมและคุณสมบัติทางกลของผนังภายใต้แรงกระทำ
2. ศึกษาผลของช่องเปิดภายในผนังซึ่งอาจเกิดจากการเจาะช่องเพื่อติดตั้งประตู หรือหน้าต่าง รวมทั้งศึกษากำลังรับแรงเฉือนของผนัง และการคืบ (creep) ของผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบใช้ปูนก่อเนื่องจากแรงกระทำ
3. พิจารณาการออกแบบให้มีอัตราส่วนระหว่างกำลังรับแรงของผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบใช้ปูนก่อต่อราคาก่อสร้างผนังดังกล่าวสูงที่สุด เพื่อใช้วัสดุในการก่อสร้างอย่างคุ้มค่าและประหยัด
4. ควรเพิ่มปริมาณเหล็กเสริมที่ใช้ในงานวิจัย เนื่องจากปริมาณเหล็กเสริมที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีค่าน้อยเกินไปจนทำให้เห็นผลในการทดสอบแรงกดอัดในแนวแกนของผนังไม่ชัดเจน

เอกสารอ้างอิง

- AS 3700-1998, Australian Standard. **Masonry Structure**, Standard Australia International Ltd., Australia.
- ASTM C90-96, Standard specification for loadbearing concrete masonry units. **Annual Book of ASTM Standard**, 04.05, American Society for Testing and Materials, Philadelphia.
- ASTM C140-96, Standard test method of sampling and testing concrete masonry units. **Annual Book of ASTM Standard**, 04.05, American Society for Testing Materials, Philadelphia.
- ASTM C143-96, Standard test method for slump of hydraulic cement concrete. **Annual Book of ASTM Standard**, 04.02, American Society for Testing and Materials, Philadelphia.
- ASTM C1019-89a, Standard test method of sampling and testing grout. **Annual Book of ASTM Standard**, 04.05, American Society for Testing and Materials, Philadelphia.
- ASTM E447-92b, Standard test method for compressive strength of masonry prisms . **Annual Book of ASTM Standard**, 04.05, American Society for Testing and Materials, Philadelphia.
- CMACN Chronicles. (1997). **Moment Capacity of Wall Cross Section** [On-line]. Available: <http://www.cmacn.org/publications/chronicles/summer97/index.htm>.
- CMACN Chronicles. (1999). **Effect of Axial Load on Flexural Capacity of Masonry Wall** [On-line]. Available: <http://www.cmancn.org/publication/chronicles/summer99/index.htm>.
- CMACN Chronicles. (1997). **Design of Masonry Wall to Resist In-Plane Forces**. [On-line]. Available: <http://www.cmacn.org/publications/chronicles/spring99/index.htm>.
- CMACN Chronicles. (1997). **Wall Performance from a Strain Perspective**. [On-line]. Available: <http://www.cmacn.org/publications/chronicles/fall97/index.htm>.
- Hendry, A. W. (1991). **Reinforced & Prestressed Masonry**. New York: Longman Scientific & Technical.
- Hibbeler, R. C. (1997). **Mechanics of Materials** (3rd edition). New Jersey: Prentice Hall.

- Juan, I.V., Ehsani,M.R., and Saadatmanesh,H. (2000).Out-of-plane Behavior of Brick Masonry Walls Strengthened with Fiber Composites. **ACI Structural Journal** 97: 377-387.
- Khalaf, F.M. (2000). Blockwork Masonry Compressed in Two Orthogonal Directions. **Journal of Structural Engineering** 97: 591-596.
- Leet,K., and Bernal,. (1997). **Reinforced Concrete Design** (3rd edition). New York: Mcgraw-Hill.
- Marzahn,G. (n.d.). **Dry-Stacked Masonry in Comparison with Mortar Jointed Masonry**. Institute of Massivbau and Baustofftechnologie, University Leipzig.
- Matthys,J.H. (ed.) (1993). **Masonry Designer's Guide**.Colorado:The Masonry Society.
- Ramamurthy,K., Sathish,V., and Ambalavanan,R. (2000). Compressive Strength Prediction of Hollow Concrete Block Masonry Prisms. **ACI Structural Journal** 97: 61-67.
- Rodriguez,R., Ahmad ,A.H., and Larraldo,J. (1998). Flexural Behavior of Post-tensioned Concrete Masonry Walls Subjected to Out-of -plane Loads. **ACI Structural Journal** 95: 61-70.
- Salzmann,D., Mojsilovic,N., and Marti,P. (n.d.). **Load Test on Reinforced Masonry**. Institute of Structural Engineering, Zurich: ETH.
- Schneider,R.R., and Dickey,W.L. (1994). **Reinforced Masonry Design** (3rd edition). New Jersey:Prentice Hall.
- Uzoegbo, H.C., and Coetzee M. (2001).The Resistance of Mortarless Earth Block Walling System to Lateral Loading.**The Eighth East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction.**: Paper No.1017.
- ประณต กุลประสูติ. (2539). **เทคนิคงานปูน-คอนกรีต**. กรุงเทพฯ: บริษัทอมรินทร์พริ้นติ้ง จำกัด.
- ปรีดา ไชยมหาวัน และอนุสรณ์ อินทร์ขี้. (2544). ผลของปูนกรอกต่อพฤติกรรมของกำแพงคอนกรีตบดลือกรับน้ำหนักบรรทุกทุกกระทำเป็นจุด. **วารสารวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่** 9 :11-23.
- พิภพ สุนทรสมัย. (2535). **วัสดุวิศวกรรมการก่อสร้าง**. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี ไทย-ญี่ปุ่น.
- วินิต ช่อวิเชียร. (2539). **คอนกรีตเทคโนโลยี**. กรุงเทพฯ: ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

- ศรีภุช หิรัญมาศ. (2544). *คอนกรีตเสริมเหล็ก พฤติกรรมและการออกแบบ*. กรุงเทพฯ: ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- สิทธิชัย แสงอาทิตย์ และจิรวัดน์ ไชยจารุณิช. (2544). กำลังรับแรงคอดของคอนกรีตบล็อกและ Prism ของคอนกรีตบล็อก. *วารสารเทคโนโลยีสุรนารี* 8(3): 131-137.
- สมศักดิ์ คำปลิว. (2541). *การออกแบบอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก*. กรุงเทพฯ: บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด (มหาชน).
- อนิรุทธิ์ ธงไชย และ อนุสรณ์ อินทร์งษ์. (2542). คอนกรีตบล็อกเสริมเหล็ก ทางเลือกใหม่ของการก่อสร้างบ้านในเมืองไทย. *เอกสารประกอบการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 5*. MAT -128-MAT-134.

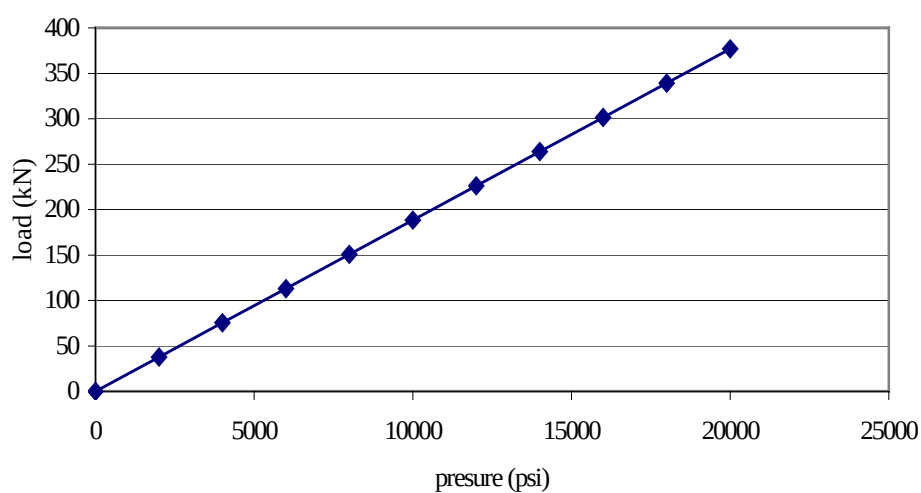
ภาคผนวก ก

ผลการสอบเทียบเครื่องสูบลำโพง

ผลการสอบเทียบเครื่องสูบลไฮดรอลิก

จากผลการสอบเทียบเครื่องสูบลไฮดรอลิกกับเครื่องกด UTM พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกที่ได้จากเครื่อง UTM กับความดันที่ได้จากเครื่องสูบลไฮดรอลิก มีลักษณะแสดงดังรูปในภาคผนวกนี้ ซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับความดันได้ดังนี้

$$\text{Loads (kN)} = 0.0188 \times \text{Pressure (psi)}$$



รูปที่ ก.1 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกที่ได้จากเครื่อง UTM กับความดันที่ได้จากเครื่องสูบลไฮดรอลิก

ภาคผนวก ข

วัสดุที่ใช้ก่อสร้างผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อ

1. เหล็กเส้น

เหล็กเส้นเสริมคอนกรีตที่ใช้ในงานก่อสร้างทั่วไปจะเป็นเหล็กกล้าละมุน โดยมีทั้งหน้าตัดกลมเรียบและกลมข้ออ้อย เหล็กเส้นมีน้ำหนักอยู่ประมาณ $7,850 \text{ kg/m}^3$ และมีความยาวมาตรฐาน 10 เมตร และ 12 เมตร โดยที่เหล็กทุกเส้นจะมีขนาด ข้ออ้อย และเครื่องหมายการค้าของบริษัทผู้ผลิตหล่อเป็นตัวนูนติดกับผิวเหล็ก

1.1 เหล็กกลมผิวเรียบ (round bar)

เหล็กกลมผิวเรียบ เป็นเหล็กเส้นที่มีหน้าตัดกลมและมีผิวเรียบตลอดความยาวของเหล็ก โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 6 มิลลิเมตร จนถึง 25 มิลลิเมตร ตามมาตรฐานมอก. 20-2516 กำหนดให้เหล็กกลมผิวเรียบมีชั้นคุณภาพเดียวคือ SR 24 ซึ่งหมายถึงมีกำลังต้านทานต่อแรงดึงที่จุดครากของเหล็กไม่น้อยกว่า 235.44 MPa ($2,400 \text{ kg/cm}^2$) การเรียกชื่อขนาดจะใช้สัญลักษณ์ RB แล้วตามด้วยตัวเลขแสดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมีหน่วยเป็นมิลลิเมตร เช่น RB9 หมายถึง เหล็กกลมผิวเรียบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 มิลลิเมตร เป็นต้น เหล็กเส้นชนิดนี้จะเหมาะใช้ในงานก่อสร้างขนาดเล็กและขนาดกลาง แต่มีข้อด้อยคือ แรงยึดเหนี่ยวระหว่างเหล็กกับคอนกรีตไม่ดีเท่าที่ควรเมื่อนำไปใช้ทำเป็นส่วนของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กควรดัดปลายให้เป็นรูปดาบ

1.2 เหล็กข้ออ้อย (deform bar)

เหล็กข้ออ้อยเป็นเหล็กเส้นที่มีหน้าตัดกลมแต่ผิวตามความยาวของเหล็กมีลักษณะเป็นบั้งหรือปล้องครีบกึ่งเกลียว มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 10 มิลลิเมตรจนถึง 32 มิลลิเมตร ตามมาตรฐานมอก. 20-2516 กำหนดให้เหล็กข้ออ้อยมี 3 ชั้นคุณภาพคือ SD30 SD40 และ SD50 ซึ่งหมายถึงมีกำลังต้านทานต่อแรงดึงที่จุดครากของเหล็กเสริมไม่น้อยกว่า 294.3 MPa ($3,000 \text{ kg/cm}^2$) 392.4 MPa ($4,000 \text{ kg/cm}^2$) และ 490.5 MPa ($5,000 \text{ kg/cm}^2$) ตามลำดับ ส่วนการเรียกชื่อขนาดจะใช้สัญลักษณ์ DB แล้วตามด้วยตัวเลขแสดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหน่วยเป็นมิลลิเมตร เช่น DB25 หมายถึง เหล็กข้ออ้อยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร เป็นต้น เหล็กเส้นชนิดนี้เหมาะที่จะใช้ในงานก่อสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่ต้องการความแข็งแรงเป็นพิเศษ เนื่องจากมีกำลังต้านทานต่อแรงดึงที่จุดครากสูง และให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างเหล็กกับคอนกรีตมากกว่าเหล็กกลมผิวเรียบถึง 2 เท่า

1.3 คุณสมบัติของเหล็กเส้นเสริมคอนกรีต

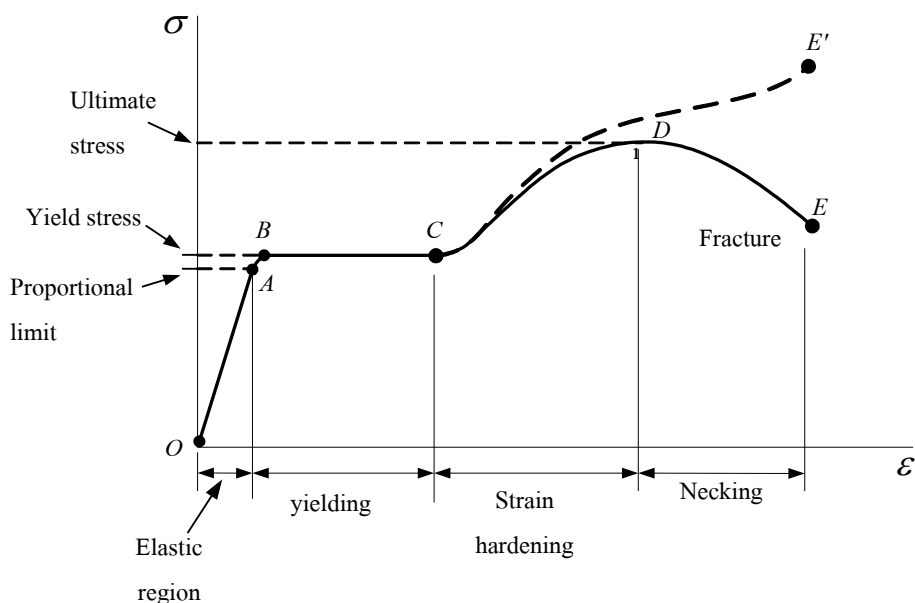
คุณสมบัติของเหล็กเส้นเสริมคอนกรีตสามารถหาได้จากการทดสอบแรงดึงในห้องปฏิบัติการ โดยทั่วไปแล้วลักษณะของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรง (stress) และความเครียด (strain) ของเหล็กเส้นเสริมคอนกรีตมักจะมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ ข.1 ซึ่งจากรูปที่ ข.1 สามารถที่จะแบ่งพฤติกรรมการรับแรงดึงของเหล็กเส้นเสริมคอนกรีตได้เป็น 4 ช่วง ดังนี้

1. ช่วงยืดหยุ่น (elastic region) เป็นช่วงที่เหล็กเส้นเสริมคอนกรีตมีพฤติกรรมตอบสนองต่อแรงกระทำแบบยืดหยุ่น (elastic) กล่าวคือ เมื่อเอาแรงกระทำออก เหล็กเส้นเสริมคอนกรีตจะคืนตัวกลับไปที่มีความยาวเริ่มต้น ซึ่งจะเห็นได้ว่า ในช่วงนี้ค่าของหน่วยแรงจะแปรผันโดยตรงกับความเครียด ซึ่งพฤติกรรมในช่วงนี้อาจจะเรียกได้ว่าเป็นพฤติกรรมแบบยืดหยุ่นเชิงเส้น (linear elastic) จนถึงค่าของหน่วยแรงค่าหนึ่ง ซึ่งถูกเรียกว่าพิสัยยืดหยุ่น (proportional limit)

2. ช่วงคลาก (yeilding) เป็นช่วงที่หน่วยแรงที่เกิดขึ้นในเหล็กเส้นเสริมคอนกรีตเริ่มมีค่าเท่ากับหน่วยแรงคลาก (yeilding stress) หลังจากผ่านจุดนี้ไปแล้วเหล็กเส้นเสริมคอนกรีตจะเกิดการยืดยาวต่อเนื่องโดยแรงกระทำไม่เพิ่มขึ้น ซึ่งพฤติกรรมของเหล็กเส้นเสริมคอนกรีตในลักษณะนี้จะถูกเรียกว่าเป็นพฤติกรรมแบบ perfectly plastic

3. ช่วง strain hardening เป็นช่วงที่เหล็กเส้นเสริมคอนกรีตมีความสามารถในการต้านแรงกระทำเพิ่มขึ้นอีกครั้งหนึ่ง แต่ความชันของกราฟความสัมพันธ์จะมีความชันลดลงเรื่อยๆ เมื่อค่าของหน่วยแรงเพิ่มขึ้น และสุดท้ายความชันของกราฟความสัมพันธ์จะมีค่าเป็นศูนย์ที่จุดประลัย (ultimate) ซึ่งเป็นจุดที่วัสดุมีความสามารถในการรับหน่วยแรงแรงที่มีค่าสูงสุด และพฤติกรรมในช่วงนี้ของเหล็กเส้นเสริมคอนกรีตมักจะถูกเรียกว่าเป็นพฤติกรรมแบบ strain hardening

4. ช่วง necking เป็นช่วงที่พฤติกรรมการรับแรงของเหล็กเส้นเสริมคอนกรีตผ่านพ้นจุดประลัยไปแล้ว เป็นพฤติกรรมที่ทำให้พื้นที่หน้าตัดบริเวณ gage-length ของตัวอย่างทดสอบเหล็กเส้นเสริมคอนกรีตมีค่าลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งพฤติกรรมในลักษณะนี้เกิดขึ้นจากการเลื่อน (slip) ของระนาบผลึกภายในเหล็กเส้นเสริมคอนกรีต และพื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างทดสอบเหล็กเส้นเสริมคอนกรีตก็จะมีค่าลดลงเรื่อยๆ ซึ่งเป็นผลให้แรงกระทำและความชันของกราฟความสัมพันธ์มีค่าลดลงตามไปด้วย จนกระทั่งถึงจุดที่ตัวอย่างทดสอบเหล็กเสริมคอนกรีตถึงจุดที่มีการแตกหักเกิดขึ้นและค่าของหน่วยแรงที่จุดนี้มักถูกเรียกว่าหน่วยแรงแตกหัก (fracture stress)



รูปที่ ข.1 ลักษณะของความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรง และความเครียดของเหล็กเส้นเสริมคอนกรีต

คุณสมบัติที่สำคัญของเหล็กเส้นเสริมคอนกรีตที่ใช้ในการคำนวณออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กตามมาตรฐาน ว.ส.ท. กำหนดไว้ได้แก่

- โมดูลัสยืดหยุ่น (modulus of elasticity, E) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 206 GPa ($2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$)
- กำลังรับแรงดึงที่จุดคราก (yield stress, σ_y) มีค่าเท่ากับ 294.3 MPa ($3,000 \text{ kg/cm}^2$) และ 392.4 MPa ($4,000 \text{ kg/cm}^2$) สำหรับเหล็กมาตรฐาน SD30 และ SD40 ตามลำดับ

- เปอร์เซ็นต์การยืด (percent elongation) เหล็กเส้นเสริมคอนกรีตที่ใช้ในงานโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กจะต้องมีเปอร์เซ็นต์การยืดไม่ต่ำกว่า 21 %

- อัตราส่วนระหว่างพื้นที่หน้าตัดของเหล็กเส้นเสริมคอนกรีตต่อพื้นที่หน้าตัดขององค์อาคาร ซึ่งหากอัตราส่วนดังกล่าวมีค่าสูงเกินกว่าที่มาตรฐานกำหนด อาจทำให้มีมวลรวมค้างอยู่กับเหล็กเส้นเสริมคอนกรีตในขณะเทคอนกรีตได้ ซึ่งจะทำให้เกิดความเสียหายต่อกำลังของโครงสร้างสำหรับองค์อาคาร เช่นเสา มาตรฐาน ว.ส.ท. กำหนดให้มีอัตราส่วนดังกล่าวไม่เกิน 4 เปอร์เซ็นต์

1.4. บทบาทของเหล็กเส้นเสริมคอนกรีตในงานคอนกรีตบดอัด

การใช้เหล็กเส้นเสริมคอนกรีตในงานคอนกรีตบดอัดมีแรงผลักดันจากการเกิดแผ่นดินไหวในประเทศนิวซีแลนด์ ในปี ค.ศ.1930 ซึ่งทำให้เกิดความเสียหายเป็นอย่างมากกับโครงสร้างคอนกรีตบดอัดที่ไม่เสริมเหล็ก เป็นเหตุให้มีการห้ามการใช้คอนกรีตบดอัดในพื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหวสูง (อนุสรณ์ อินทรมัย และอนิรุทธิ์ ชงไชย, 2542) จนกระทั่งปี ค.ศ.1959 ได้มี

การพัฒนาวิธีการออกแบบผนังวัสดุก่อเสริมเหล็ก โดยมีการนำเอาทฤษฎีคอนกรีตเสริมเหล็กมาเป็นพื้นฐานในการออกแบบ และเมื่อเห็นว่าทฤษฎีดังกล่าวสามารถใช้งานได้จริง จึงยอมให้ใช้คอนกรีตบล็อกในการก่อสร้างได้โดยไม่ต้องเสริมเหล็ก จะเห็นได้ว่าวัตถุประสงค์เริ่มแรกของการใช้เหล็กเสริมคอนกรีตในงานคอนกรีตบล็อกคือ เพื่อสร้างความเหนียว (ductility) ให้แก่ผนัง โดยที่ชนิดของเหล็กที่ใช้ในงานคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กนั้นจะเหมือนกับที่ใช้ในงานคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไป

2. คอนกรีตบล็อก (concrete masonry unit)

คอนกรีตบล็อกผลิตมาจากปูนซีเมนต์ หินฟูน และน้ำ ผสมกันแล้วอัดขึ้นเป็นรูปแบบลักษณะต่าง ๆ ตามลักษณะการใช้งาน ในปัจจุบันคอนกรีตบล็อกเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ใช้สำหรับงานผนังรับน้ำหนักและไม่รับน้ำหนักภายในอาคาร หรือทำโครงสร้างอื่นๆ เช่น ผนังกันดิน เป็นต้น

การนำคอนกรีตบล็อกไปก่อสร้างสามารถทำได้ง่าย กรรมวิธีการผลิตไม่ยุ่งยาก ก่อสร้างได้เร็ว แข็งแรงทนทาน และสามารถเข้าใจวิธีการก่อสร้างได้ง่าย คอนกรีตบล็อกที่ใช้ต้องมีความคงทนที่ดี มีรูปร่างเป็นเหลี่ยมมุมได้ฉากกันตลอดหน้าเรียบไม่แอ่น มาตรฐานอุตสาหกรรมที่ใช้เป็นเกณฑ์ในการควบคุมคุณภาพของคอนกรีตบล็อกคือ มอก. 58-2516 สำหรับคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก และ มอก. 57-2516 สำหรับคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก

คอนกรีตบล็อกที่ใช้กันทั่วไปมีทั้งชนิดหน้าตัดตัน (solid) และชนิดหน้าตัดกลวง (hollow) ซึ่งคอนกรีตบล็อกชนิดหน้าตัดตันเป็นคอนกรีตบล็อกที่มีพื้นที่กลวงน้อยกว่า 15 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่หน้าตัดทั้งหมด (gross area) ส่วนคอนกรีตบล็อกชนิดหน้าตัดกลวง เป็นคอนกรีตบล็อกที่มีพื้นที่กลวงประมาณ 50-70 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่หน้าตัดทั้งหมด ซึ่งจะขึ้นอยู่กับความกว้าง ความหนา และรูปร่างของรูกลวงของคอนกรีตบล็อก

2.1 ประเภทของคอนกรีตบล็อก

คอนกรีตบล็อกโดยทั่วไปแบ่งเป็น ประเภทรับน้ำหนัก และไม่รับน้ำหนัก

2.3.1.1 คอนกรีตบล็อกประเภทไม่รับน้ำหนัก คอนกรีตบล็อกประเภทนี้โดยทั่วไปจะมีขนาดหนา 70 มิลลิเมตร สูง 190 มิลลิเมตร ยาว 390 มิลลิเมตร มีน้ำหนัก 7-8 กิโลกรัมต่อก้อน เมื่อก่อผนังแล้วจะได้ความสูง 200 มิลลิเมตร ยาว 400 มิลลิเมตร เนื่องจากคอนกรีตบล็อกประเภทนี้ไม่ได้ออกแบบให้รับน้ำหนักนอกจากน้ำหนักของตัวเองจึงมักถูกใช้ในงานก่อผนังรื้อ กันห้อง ซึ่งมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 58-2516 ว่าด้วยคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก ได้กำหนดคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องที่นำมาพิจารณาดังนี้

- ความหนาของเปลือก (face-shell thickness) ต้องไม่ต่ำกว่า 12 มิลลิเมตร

- ขนาดกว้าง ยาว หนา ต่างจากที่ระบุได้ไม่เกิน 3 มิลลิเมตร
- กำลังรับแรงกดอัดของพื้นที่รวมเฉลี่ยของตัวอย่างทดสอบทั้ง 5 ก้อน ต้องไม่ต่ำกว่า 2.45 MPa (25 kg/cm²) และแต่ละก้อนต้องไม่น้อยกว่า 1.96 MPa (20 kg/cm²)
- คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักแบ่งเป็น 2 ประเภทคือ ประเภทควบคุมความชื้น และประเภทไม่ควบคุมความชื้น ประเภทที่ควบคุมความชื้นจะถูกกำหนดค่าปริมาณความชื้นของการดูดซึมน้ำซึ่งขึ้นอยู่กับความชื้นสัมพัทธ์รายปีเฉลี่ยที่ระบุค่าต่างๆ ไว้ในตารางที่ ข.1

ตารางที่ ข.1 ค่าปริมาณความชื้นของคอนกรีตบล็อกประเภทไม่รับน้ำหนักและควบคุมความชื้น

การหัดตัวทางยาว	ปริมาณความชื้นสูงสุดร้อยละของการดูดซึมน้ำทั้งหมด (เฉลี่ยจากคอนกรีตบล็อก 5 ก้อน)		
	ความชื้นสัมพัทธ์รายปีเฉลี่ย(ร้อยละ)		
	มากกว่า 75	75 ถึง 50	น้อยกว่า 50
0.03 หรือน้อยกว่า	45	40	-
ระหว่าง 0.03 กับ 0.045	40	35	35
0.045 หรือ มากกว่า	35	30	30

ที่มา : สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, มอก. 58-2516

1. คอนกรีตบล็อกประเภทรับน้ำหนัก เป็นคอนกรีตบล็อกที่สามารถรับน้ำหนักนอกเหนือจากน้ำหนักตัวเองได้ จึงมักถูกนำไปใช้เป็นผนังรับน้ำหนัก โดยต้องเสริมเหล็กและกรอกคอนกรีตหรือปูนกรอกลงในโพรงช่องว่างของคอนกรีตบล็อก ขนาดของคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนักที่นิยมใช้คือ สูง 190 มิลลิเมตร ยาว 390 มิลลิเมตร หนา 140-190 มิลลิเมตร ซึ่งมาตรฐานมอก. 57-2516 ว่าด้วยคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนักได้กำหนดคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องที่ควรนำมาพิจารณาดังนี้

- ความหนาของเปลือกต้องไม่ต่ำกว่า 12 มิลลิเมตร
- ขนาดกว้าง ยาว หนา ต่างจากที่ระบุได้ไม่เกิน 3 มิลลิเมตร
- คอนกรีตบล็อกรับน้ำหนักแบ่งเป็น 2 ประเภทคือ ประเภทควบคุมความชื้น และไม่ควบคุมความชื้น โดยที่คุณสมบัติของคอนกรีตบล็อกประเภทรับน้ำหนักประเภทควบคุมความชื้นต้องเป็นไปตามมาตรฐานและเกณฑ์ปริมาณความชื้นตามตารางที่ ข.2 โดยแบ่งออกเป็น 3 ชั้นคุณภาพคือ ชั้นคุณภาพ ก-1 ชั้นคุณภาพ ข-1 และชั้นคุณภาพ ค-1 คอนกรีตบล็อกประเภทรับน้ำหนักไม่ควบคุมความชื้นถูกแบ่งออกเป็น 3 ชั้นคุณภาพคือ ชั้นคุณภาพ ก-2 ชั้นคุณภาพ ข-2 และชั้น

คุณภาพ ก-2 โดยมีกำลังรับแรงกดอัดและการดูดซึมน้ำระบุไว้ตามตารางที่ ข.3

ตารางที่ ข.2 เกณฑ์ปริมาณความชื้นสำหรับคอนกรีตบล็อกประเภทรับน้ำหนักควบคุมความชื้น

การหัดตัวทางยาว	ปริมาณความชื้นสูงสุดร้อยละของการดูดซึมน้ำทั้งหมด (เฉลี่ยจากคอนกรีตบล็อก 5 ก้อน)		
	ความชื้นสัมพัทธ์รายปีเฉลี่ย(ร้อยละ)		
	มากกว่า 75	75 ถึง 50	น้อยกว่า 50
0.03 หรือน้อยกว่า	45	40	35
ระหว่าง 0.03 กับ 0.045	40	35	30
0.045 หรือ มากกว่า	35	30	20

ที่มา : สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, มอก. 57-2516

การใช้งานของคอนกรีตบล็อกประเภทรับน้ำหนักของแต่ละชั้นคุณภาพมีดังนี้

- ชั้นคุณภาพ ก-1 และ ก-2 เหมาะสำหรับกำแพงภายนอกทั้งต่ำกว่าและเหนือกว่าระดับดิน โดยไม่ต้องป้องกันผิวแต่อย่างใด
- ชั้นคุณภาพ ข-1 และ ข-2 เหมาะสำหรับกำแพงภายนอกทั้งต่ำกว่าและเหนือกว่าระดับดิน แต่ต้องป้องกันผิว โดยการทาหรือฉาบด้วยวัสดุกันซึม
- ชั้นคุณภาพ ค-1 และ ค-2 ใช้สำหรับกำแพงภายในและภายนอกเหนือระดับดินที่มีการป้องกันความเสียหายเนื่องจากสภาวะอากาศ

2.2 ขั้นตอนการผลิต

คอนกรีตบล็อกที่ผลิตทั่วกันโดยทั่วไปส่วนใหญ่มีขั้นตอนในการผลิตดังต่อไปนี้

1. กำหนดส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์และหินปูนตามสัดส่วนที่ให้ผลิตภัณฑ์มีคุณสมบัติตามต้องการ โดยปกติแล้วอัตราส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ต่อหินปูนจะอยู่ในช่วง 1:6 ถึง 1:11 แต่อัตราส่วนที่นิยมใช้คือ 1:9
2. นำปูนซีเมนต์และหินปูนใส่ลงไปในโม่ผสมตามอัตราส่วนที่กำหนดไว้แล้วคลุกเคล้าให้เข้ากัน
3. นำน้ำเทลงไปในโม่ผสมในอัตราส่วนที่พอเหมาะแล้วคลุกเคล้าส่วนผสมทั้งสามให้เข้ากัน โดยระยะเวลาในการผสมวัสดุทั้งสามให้เข้ากันในแต่ละครั้งไม่ควรต่ำกว่า 5 นาที
4. นำส่วนผสมของคอนกรีตบล็อกที่ได้จากข้อที่ 3 เข้าเครื่องเขย่าและกดอัดให้ได้รูปแบบตามความต้องการ

5. นำออกจากเครื่องทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง แล้วบ่มในอากาศ หรือบ่มด้วยไอน้ำอย่างน้อย 7 วันก่อนนำไปใช้งาน

การผลิตคอนกรีตบล็อกโดยวิธีดังกล่าวนี้สามารถใช้กับเครื่องจักรที่มีขนาดเล็กหรือใหญ่ได้ทั้งหมด ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของแต่ละโรงงาน การผลิตคอนกรีตบล็อกในโรงงานขนาดใหญ่บางโรงงานจะใช้เครื่องจักรขนาดใหญ่และทันสมัย ซึ่งสามารถกดอัดคอนกรีตบล็อกได้หลายก้อนต่อครั้ง ตัวอย่างเช่น โรงงานที่ผลิตคอนกรีตบล็อกที่ใช้ในงานวิจัย จะใช้เครื่องจักรในการผลิตที่เป็นระบบไฮดรอลิกโดยมีสายพานเป็นตัวนำวัสดุส่วนผสมไปเข้าเครื่องผสมและกดอัดโดยอัตโนมัติ ระบบการผลิตแบบนี้จะสามารถผลิตคอนกรีตบล็อกออกมาได้ครั้งละ 1-2 ก้อนทำให้มีปริมาณการผลิตต่อวันได้สูงถึง 1000-1500 ก้อนต่อวัน

ตารางที่ ข.3 เกณฑ์กำหนดกำลังต้านทานและการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก

ชั้นคุณภาพ	กำลังต้านแรงกดอัดค่าสุด N/m ² (ksc)				การดูดซึมน้ำ(เฉลี่ยจากคอนกรีตบล็อก 5 ก้อน) (kg/m ³)					
	เฉลี่ยจากพื้นที่รวม		เฉลี่ยจากพื้นที่สุทธิ		น้ำหนักคอนกรีตบล็อกเมื่ออบแห้ง(kg/m ³)					
	เฉลี่ยจาก คอนกรีต บล็อก 5 ก้อน	คอนกรีต บล็อกแต่ละ ก้อน	เฉลี่ยจาก คอนกรีต บล็อก 5 ก้อน	คอนกรีต บล็อกแต่ละ ก้อน	2001 หรือ มากกว่า	1921 ถึง 2000	1841 ถึง 1920	1761 ถึง 1840	1681 ถึง 1760	1680 หรือ น้อยกว่า
ก-1 ก-2	6.9 (70)	5.4 (55)	13.7 (140)	10.8 (110)	160	176	192	208	224	240
ข-1 ข-2	6.9 (70)	5.4 (55)	-	-	208	224	240	256	272	288
ค-1 ค-2	4.9 (50)	3.9 (40)	-	-	-	-	-	-	-	-

ที่มา : สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, มอก. 57-2516

2.3 คุณสมบัติของคอนกรีตบล็อก

คุณสมบัติของคอนกรีตบล็อกที่มีผลต่อประสิทธิภาพของโครงสร้างคอนกรีตบล็อกที่สำคัญได้แก่

1. กำลังรับแรงกดอัด (compressive strength) กำลังรับแรงกดอัดของคอนกรีตบล็อกสามารถทำการทดสอบได้ตามมาตรฐาน ASTM C140 ปัจจัยที่มีผลต่อกำลังรับแรงกดอัดของคอนกรีตบล็อกได้แก่ วิธีการผลิต วิธีและระยะเวลาในการบ่ม อัตราส่วนผสมระหว่างซีเมนต์ น้ำ และหินปูน

2. ปริมาณความชื้น (moisture content) โดยปกติแล้วปริมาณความชื้นจะถูกแสดงเป็นเปอร์เซ็นต์ การเปลี่ยนแปลงขนาดของคอนกรีตบล็อกเนื่องมาจากความชื้นภายในคอนกรีตบล็อกเป็นสิ่งสำคัญมากในกรณีที่โครงสร้างคอนกรีตบล็อกอยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีความชื้นสูง

3. การหดตัวอันเนื่องมาจากการสูญเสียความชื้น (shrinkage) สามารถทดสอบหาได้ตามมาตรฐาน ASTM C426 การสูญเสียความชื้นของคอนกรีตบล็อกเกิดมาจากความชื้นของบรรยากาศรอบข้างของคอนกรีตบล็อกซึ่งอาจดูดความชื้นของคอนกรีตบล็อกออกไป ซึ่งโดยปกติแล้ว คอนกรีตบล็อกจะมีปริมาณความชื้นอยู่ภายในบ้างเล็กน้อยเพื่อทำปฏิกิริยากับปูนซีเมนต์ให้เกิดพันธะยึดเหนี่ยวระหว่างมวลรวมภายในคอนกรีตบล็อก ดังนั้น หากคอนกรีตบล็อกสูญเสียความชื้นส่วนดังกล่าวไป จะทำให้ไม่มีพันธะช่วยยึดเหนี่ยวระหว่างมวลรวม ซึ่งอาจทำให้คอนกรีตบล็อกเกิดการแตกร้าวได้

4. การขยายตัวเนื่องจากอุณหภูมิ (temperature expansion) การขยายตัวเนื่องจากอุณหภูมิเป็นผลให้คอนกรีตบล็อกแตกร้าวได้เนื่องจาก เมื่อคอนกรีตบล็อกที่อยู่ภายในโครงสร้างเกิดการขยายตัวเนื่องจากอุณหภูมิ คอนกรีตบล็อกดังกล่าวจะขยายตัวไปดันกับคอนกรีตบล็อกที่อยู่ข้างๆ ทำให้เกิดแรงปฏิกิริยาขึ้นกับคอนกรีตบล็อก ซึ่งเป็นผลให้คอนกรีตบล็อกอาจเกิดการแตกร้าวได้

5. การดูดซึมน้ำ (water absorption) คือ ความสามารถของคอนกรีตบล็อกในการที่จะดูดน้ำที่อยู่รอบข้างได้ ซึ่งความสามารถของคอนกรีตบล็อกดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับปริมาณช่องว่างภายในคอนกรีตบล็อกบล็อกลอก หากคอนกรีตบล็อกมีปริมาณช่องว่างภายในมากก็จะสามารถที่จะดูดซึมน้ำได้มากตามไปด้วย คอนกรีตบล็อกที่มีการดูดซึมน้ำสูงจะเป็นผลเสียต่อผนังคอนกรีตบล็อกแบบใช้ปูนก่อ กล่าวคือ คอนกรีตบล็อกที่มีการซึมดูดน้ำสูงจะดูดซึมน้ำที่อยู่ภายในปูนก่อไปเป็นจำนวนมากตามไปด้วย ทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างปูนกรอกและคอนกรีตบล็อกต่ำลง เป็นผลให้กำลังของผนังต่ำลงไปด้วย โดยที่การดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกสามารถทดสอบหาได้ตามมาตรฐาน ASTM C140

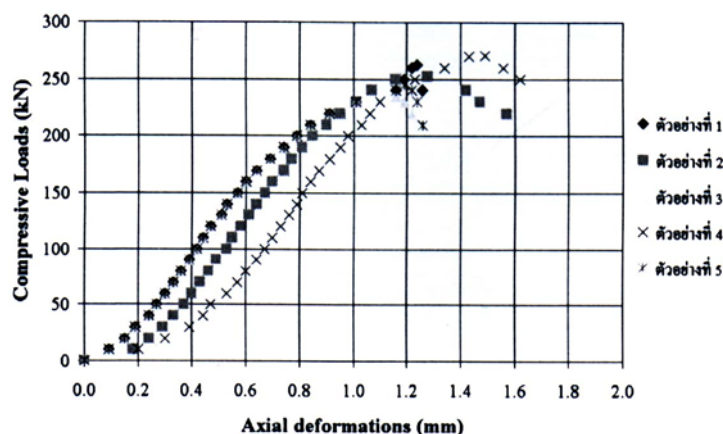
6. ความแข็งแรงของพันธะยึดเหนี่ยว (bond strength) ภายในคอนกรีตบล็อก เมื่อผนังคอนกรีตบล็อกถูกกระทำโดยแรงค้ำจะทำให้เกิดหน่วยแรงดึงขึ้นกับผนังคอนกรีตบล็อกและอาจทำให้คอนกรีตบล็อกเกิดรอยแยก (leaking) ซึ่งถ้าคอนกรีตบล็อกมีความแข็งแรงของพันธะยึดเหนี่ยวสูงจะทำให้รอยแยกที่เกิดขึ้นมีขนาดเล็กลง โดยที่ความแข็งแรงของพันธะยึดเหนี่ยวภายในคอนกรีตบล็อกขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยเช่น อัตราการดูดซึมน้ำเริ่มต้น (initial rate of absorption) ความสะอาดของส่วนผสมของคอนกรีตบล็อก และกรรมวิธีการผลิตคอนกรีตบล็อก เป็นต้น

2.4 กำลังรับแรงกดอัดของคอนกรีตบล็อกและปริซึมของคอนกรีตบล็อก

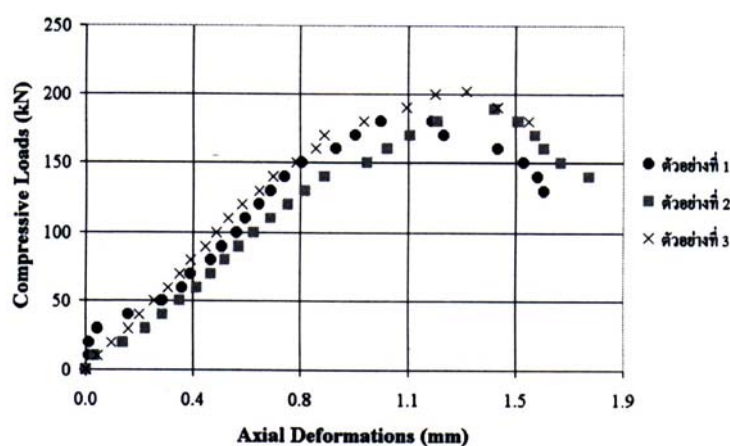
โดยปกติแล้ววัตถุประสงค์หลักในการออกแบบโครงสร้างตามหลักวิศวกรรมคือ ต้องออกแบบโครงสร้างให้สามารถรับทั้งน้ำหนักบรรทุกคงที่ (dead load) และน้ำหนักบรรทุกจร (live load) รวมทั้งแรงที่เกิดจากธรรมชาติอื่นๆ เช่น แรงแลมหรือแรงแผ่นดินไหว เป็นต้น โดยที่โครงสร้างไม่เกิดการวิบัติ สำหรับคอนกรีตบล็อกคุณสมบัติเด่นคือ ความสามารถในการรับแรงกดอัดสูงกว่าการรับแรงดึง ดังนั้น ในการใช้งานส่วนมากจะออกแบบให้คอนกรีตบล็อกรับแรงกดอัดมากกว่าแรงดึง ในการออกแบบอาคารที่ใช้คอนกรีตบล็อกเป็นโครงสร้างรับน้ำหนักจะต้องทราบคุณสมบัติทางกลของคอนกรีตบล็อก เช่น กำลังรับแรงกดอัดสูงสุดของคอนกรีตบล็อก และค่ากำลังรับแรงกดอัดสูงสุดของปริซึมคอนกรีตบล็อก (masonry prism) เป็นต้น โดยที่ค่าดังกล่าวสามารถหาได้จากการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C140 และ ASTM E447 ตามลำดับ

จากการศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างก้อนคอนกรีตบล็อกกับปริซึมคอนกรีตบล็อก โดย สิทธิชัย และจิรวรรณ (2544) ได้ใช้คอนกรีตบล็อกประเภทบล็อกกลวงพบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดอัดกับค่าหัดตัวในแนวแกนของคอนกรีตบล็อกจะเป็นเชิงเส้นตรง (linear) จนถึงประมาณ 60-80 เปอร์เซ็นต์ของแรงกดอัดประลัย ซึ่งจะขึ้นอยู่กับความเปราะของคอนกรีตบล็อก โดยที่ก้อนคอนกรีตบล็อกที่มีความเปราะมากจะมีช่วงที่เป็นเส้นตรงสูงกว่าก้อนคอนกรีตบล็อกที่มีความเปราะน้อย จากนั้นความชันของเส้นกราฟจะค่อยๆ ลดลงเนื่องจากคอนกรีตบล็อกมีเริ่มมีการแตกร้าวภายในมากขึ้นเรื่อยๆ ทำให้หน้าตัดของก้อนคอนกรีตบล็อกที่จะรับแรงกดอัดมีค่าน้อยลงไปด้วย ดังแสดงในรูปที่ ข.2

นอกจากนั้นแล้วจากการศึกษาดังกล่าวพบว่า กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดอัดและค่าการหัดตัวในแนวแกนของปริซึมคอนกรีตบล็อกมีลักษณะที่ใกล้เคียงกับความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดอัดและค่าการหัดตัวในแนวแกนของคอนกรีตบล็อกดังแสดงในรูปที่ ข.3 จากรูปจะเห็นว่า ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดอัดและค่าการหัดตัวในแนวแกนของปริซึมคอนกรีตบล็อกมีลักษณะเป็นเส้นตรงจนถึงประมาณ 55- 70 เปอร์เซ็นต์ ของกำลังรับแรงกดอัดประลัย จากนั้น เส้นกราฟก็เริ่มที่จะมีความชันน้อยลงเนื่องจากการแตกร้าวของปูนก่อภายใต้ผลของ poisson effect แต่ค่าแรงกดอัดประลัยของปริซึมคอนกรีตบล็อกจะมีค่านี้น้อยกว่าแรงกดอัดประลัยของก้อนคอนกรีตบล็อก ซึ่งมาตรฐาน ASTM C90 ได้กำหนดให้คอนกรีตบล็อกประเภทนี้มีกำลังอัดต่ำสุด 4.8-6.9 MPa โดยคิดจากหน้าตัดทั้งหมด



รูปที่ ข.2 ความสัมพันธ์ของแรงกดอัดและค่าการหดตัวในแนวแกนของก้อนคอนกรีตบล็อก (สิทธิชัย และจิรวัดน์, 2544)



รูปที่ ข.3 ความสัมพันธ์ของแรงกดอัดและค่าการหดตัวในแนวแกนของปริซึมคอนกรีตบล็อก (สิทธิชัย และจิรวัดน์, 2544)

3. ปูนกรอก (grout)

โดยทั่วไปแล้ว ปูนกรอกเป็นวัสดุที่ใช้ในการเติมช่องว่างระหว่างโครงสร้างคอนกรีตให้เต็ม หรืออุดรอยร้าวที่เกิดขึ้นภายในองค์อาคาร ส่วนผสมของปูนกรอกประกอบด้วยปูนซีเมนต์ น้ำ และมวลรวม โดยทางกายภาพแล้ว ปูนกรอกเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติอยู่ระหว่างคอนกรีตและมอร์ตาร์ หรือสามารถเรียกปูนกรอกได้อีกอย่างว่าคอนกรีตเหลว (pour concrete) ซึ่งความแตกต่างที่เห็นได้ชัดเจนระหว่างคอนกรีต มอร์ตาร์ และ ปูนกรอกคือ ความข้นเหลว (fluidity) ในสภาวะเริ่มต้น ซึ่ง

สามารถวัดได้จากการทดสอบการหาค่าการยุบตัว (slump test) โดยที่คอนกรีตจะมีค่าการยุบตัวอยู่ที่ประมาณ 50-150 มิลลิเมตร ค่าการยุบตัวของมอร์ตาร์จะอยู่ที่ประมาณ 120-200 มิลลิเมตร ส่วนปูนกรอกจะมีค่าการยุบตัวอยู่ที่ประมาณ 200-250 มิลลิเมตร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนระหว่างน้ำและซีเมนต์ (water-cement ratio) ในการใช้ปูนกรอกในงานก่อสร้างผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กนั้น ปูนกรอกต้องมีความชื้นเพียงพอที่จะสามารถเทใส่ลงในช่องว่างที่ต้องการกรอกได้และสามารถที่จะหุ้มเหล็กเสริมได้อย่างทั่วถึง โดยที่หน้าที่หลักของปูนกรอกที่สำคัญๆ คือ

1. เพื่อที่จะเชื่อมระหว่างผนังด้วยกันในกรณีที่สร้างผนัง หลายแถว (multiwythe wall)
2. เพื่อสร้างพันธะระหว่างเหล็กเสริมและคอนกรีตบล็อกทำให้วัสดุทั้ง 2 ประเภท ให้มีการทำงานในลักษณะที่เป็นวัสดุเนื้อเดียว (homogeneous material) ซึ่งมีความสำคัญอย่างยิ่งในการที่จะช่วยเพิ่มความสามารถในการต้านทานต่อแรงดัดให้กับผนัง (Schneider and Dickey, 1994)
3. เพื่อเพิ่มปริมาตรของหน้าตัดของผนังในการป้องกันไฟ

3.1 วัสดุที่ใช้ในการทำปูนกรอก

ดังที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้นว่าวัสดุที่ใช้ในการทำปูนกรอกประกอบไปด้วย ปูนซีเมนต์ น้ำ และมวลรวม ซึ่งแต่ละวัสดุควรมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

1. ปูนซีเมนต์ (cement) ซึ่งโดยปกติแล้วจะใช้ประเภทที่ 1 หรือปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา เช่น ปูนตราช้าง เป็นต้น
2. น้ำ (water) ซึ่งน้ำที่ใช้สำหรับผสมในคอนกรีตควรเป็นน้ำสะอาด โดยปกติน้ำประปาและน้ำจืดตามธรรมชาติส่วนใหญ่ ซึ่งไม่มีส่วนผสมของน้ำเสียจากอาคารบ้านเรือนหรือโรงงานอุตสาหกรรม ถือว่ามีคุณภาพดีพอสำหรับงานคอนกรีต.
3. มวลรวม (aggregate) ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ มวลรวมหยาบ และ มวลรวมละเอียดหรือ ทราย เป็นวัสดุผสมที่มีขนาดเล็กกว่า 4.5 มิลลิเมตร หรือ สามารถลอดผ่านตะแกรงร่อนมาตรฐานเบอร์ 4 ได้แต่ต้องมีขนาดไม่เล็กกว่า 0.07 มิลลิเมตร วัสดุที่เล็กกว่านี้จะเรียกว่าหินฝุ่น มวลรวมหยาบหรือหินเป็นวัสดุที่มีขนาดโตตั้งแต่ 4.5 มิลลิเมตร ขึ้นไปจนถึงประมาณ 50.8 มิลลิเมตร (2 นิ้ว) หรือที่ไม่สามารถลอดผ่านตะแกรงร่อนมาตรฐานเบอร์ 4 ส่วนผสมของมวลรวมที่ดีจะทำให้ปริมาณของช่องว่างระหว่างหินจะลดลง ทำให้ใช้ปริมาณน้ำน้อยลง กล่าวคือ ในการผสมคอนกรีตถ้าใช้มวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียดหลวมๆ ขนาดมาผสมรวมกันโดยมีสัดส่วนที่พอเหมาะแล้วจะยังทำให้ช่องว่างเหลือน้อยที่สุด ช่วยให้เปลืองซีเมนต์และ น้ำที่ใช้ผสมน้อยที่สุด โดยปกติแล้วอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมของมวลรวมละเอียดต่อมวลรวมหยาบจะอยู่ระหว่าง 1:1.5 ถึง 1:2.5 (วินิต, 2539)

3.2 ส่วนผสม และการใช้งาน

การเลือกส่วนผสมของปูนกรอกขึ้นอยู่กับชนิดของงานและลักษณะการก่อสร้างผนัง เนื่องจากการปรับส่วนผสมหนึ่งตัวจะส่งผลต่อส่วนผสมอื่นๆ ทำให้ความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ใน แต่ละงานเปลี่ยนแปลงไป โดยทั่วไปแล้วสามารถแบ่งชนิดของปูนกรอกออกเป็น 2 ชนิดได้ดังต่อไปนี้

1. ปูนกรอกละเอียด (fine grout) ใช้สำหรับงานที่มีความกว้างของช่องที่ต้องการจะเท ปูนกรอกอย่างต่ำ 38.1 มิลลิเมตร (1.5 นิ้ว) สำหรับผนัง 2 ชั้น หรือในคอนกรีตบล็อกกลวงขนาดของ ช่องว่างอย่างต่ำ 38.1 x 50.8 มิลลิเมตร (1.5 x 2 นิ้ว)

2. ปูนกรอกหยาบ (coarse grout) ใช้สำหรับงานที่มีความกว้างของช่องที่ต้องการจะเท ปูนกรอกอย่างต่ำ 50.8 มิลลิเมตร (2 นิ้ว) สำหรับผนัง 2 ชั้น หรือในคอนกรีตบล็อกกลวงขนาดของ ช่องว่างอย่างต่ำ 63.5 x 76.2 มิลลิเมตร (2.5 x 3 นิ้ว)

สำหรับปูนกรอกหยาบและปูนกรอกละเอียดนั้น มาตรฐาน ASTM C476 ได้กำหนด มาตรฐานอัตราส่วนผสมของปูนกรอกทั้งสองชนิดตามตารางที่ ข.4 และกำหนดให้ค่ากำลังรับแรงอัด (compressive strength) ที่ 28 วัน ของ ปูนกรอกละเอียด และ ปูนกรอกหยาบ ควรมีค่าไม่น้อย กว่า 14 MPa (142.71 kg/cm²) นอกจากนั้นแล้ว ACI 530.1-92 ได้กำหนดความสูงในการเทปูนกรอก ในแต่ละครั้งซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของปูนกรอกและขนาดของช่องว่างดังรายละเอียดที่แสดงในตารางที่ ข.5

ตารางที่ ข.4 อัตราส่วนผสมของปูนกรอกตามมาตรฐาน ASTM C476

ชนิดของปูนกรอก	ปริมาณซีเมนต์ที่ใช้ในการผสมคิดเป็น ปริมาตร	ปริมาณปูนขาวที่ใช้ในการผสม คิดเป็น ปริมาตร	ปริมาณของมวลรวมที่ใช้ในการผสม	
			ละเอียด	หยาบ
ปูนกรอกละเอียด	1	0-0.10	2.25 -3 เท่าของ ปริมาตร ปูนซีเมนต์	
ปูนกรอกหยาบ	1	0-0.10	2.25 -3 เท่าของ ปริมาตร ปูนซีเมนต์	1-2 เท่าของ ปริมาตรทั้งหมด

ตารางที่ ข.5 ความสูงมากที่สุดในการเทปูนกรอกของปูนกรอกแต่ละชนิดตามมาตรฐานACI

ชนิดของปูนกรอก	ความสูงที่มากที่สุดในการเทปูนกรอกแต่ละครั้ง , เมตร (ฟุต)	ความกว้างน้อยที่สุดของ ช่องว่างที่ต้องการเทปูน กรอก, มิลลิเมตร(นิ้ว)	ขนาดน้อยที่สุดในโพรง ช่องว่างของบล็อกลวง ในการกรอกปูน มิลลิเมตร x มิลลิเมตร (นิ้ว x นิ้ว)
ปูนกรอกละเอียด	0.305 (1)	19.05 (0.75)	38.1 x 50.8 (1.5 x 2)
ปูนกรอกละเอียด	1.525 (5)	50.8 (2)	50.8 x 76.2 (2 x 3)
ปูนกรอกละเอียด	3.66 (12)	63.5 (2.5)	63.5 x 76.2 (2.5 x 3)
ปูนกรอกละเอียด	7.32 (24)	76.2 (3)	76.2 x 76.2 (3 x3)
ปูนกรอกหยาบ	0.305 (1)	38.1 (1.5)	38.1 x 76.2 (1.5 x3)
ปูนกรอกหยาบ	1.525 (5)	50.8 (2)	63.5 x 76.2 (2.5 x 3)
ปูนกรอกหยาบ	3.66 (12)	63.5 (2.5)	76.2 x 76.2 (3 x3)
ปูนกรอกหยาบ	7.32 (24)	76.2 (3)	76.2 x 101.6 (3x4)

ภาคผนวก ค

การทดสอบวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

1. การทดสอบกำลังรับแรงอัดของปูนกรอก

1.1 วัตถุประสงค์การทดสอบ

เพื่อศึกษาพฤติกรรมทางกลและคุณสมบัติทางกลของปูนกรอก ภายใต้แรงกดอัด

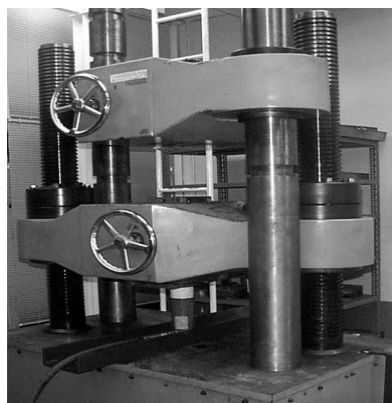
1.2 มาตรฐานการทดสอบ

ใช้วิธีตามมาตรฐาน ASTM C1019-89a

1.3 เครื่องมือและอุปกรณ์การทดสอบ

ในการทดสอบกำลังรับแรงกดอัดของปูนกรอกมีเครื่องมือและอุปกรณ์ที่จำเป็นต้องใช้ในการทดสอบดังต่อไปนี้

1. คอนกรีตบล็อกขนาด 390 x 190 x 140 มิลลิเมตร จำนวน 40 ก้อน เพื่อนำมาใช้เป็นแบบหล่อตัวอย่างทดสอบ
2. แผ่นไม้รูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาดครึ่งหนึ่งของความสูงของตัวอย่างทดสอบปูนกรอกหนา 16 มิลลิเมตร
3. ชุดเคลื่อนย้ายแท่งทดสอบ (vertical capping set)
4. เครื่อง UTM (universal testing machine) ยี่ห้อ SHIMADZU รุ่น UH-Series มีกำลังทดสอบสูงสุด 200 ตัน มีลักษณะดังแสดงใน รูปที่ ก.1
5. เวอร์เนียคาลิเปอร์ (vernier caliper) ขนาดวัดได้ไม่น้อยกว่า 200 มิลลิเมตร อ่านค่าได้ละเอียด 0.1 มิลลิเมตร
6. กระดาษทิชชู
7. เครื่องชั่ง (balance) ชั่งได้ไม่น้อยกว่า 20 กิโลกรัมอ่านได้ละเอียด 1 กรัม
8. เครื่องปาดขอบเรียบ



รูปที่ ค.1 UTM ยี่ห้อ SHIMADZU™ รุ่น UH-Series มีค่ากำลังทดสอบสูงสุด 200 ตัน

1.4. การสร้างตัวอย่างทดสอบปูนกรอก

ก่อนที่จะทำการทดสอบแรงกดอัดของปูนกรอกจำเป็นต้องสร้างตัวอย่างทดสอบขึ้นมาก่อน โดยมีขั้นตอนการสร้างตัวอย่างทดสอบดังต่อไปนี้

1. สร้างช่องว่างที่มีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 76.2 มิลลิเมตร (3 นิ้ว) หรือใหญ่กว่าโดยให้ความสูงของช่องว่างเป็น 2 เท่าของขนาดแต่ละด้านของสี่เหลี่ยมจัตุรัส ดังแสดงในรูปที่ ค.2

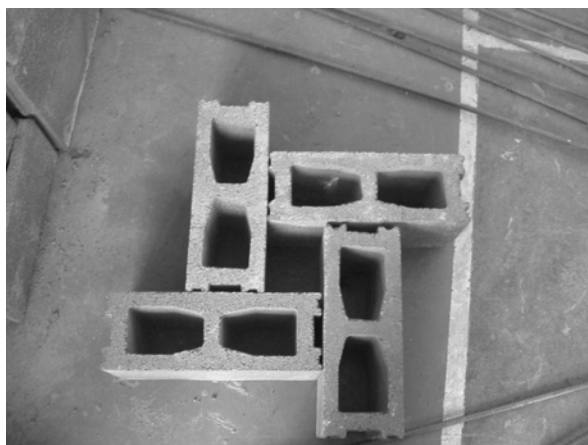
2. ตัดไม้ให้มีขนาดเท่ากับช่องว่างแล้ววางลงไปที่ด้านล่างของช่องว่าง

3. นำกระดาษทิชชูมาแปะติดกับผิวของก้อนคอนกรีตบล็อกเพื่อป้องกันการเกิดพันธะจับตัวกันระหว่างปูนกรอกกับคอนกรีตบล็อก

4. ใส่ปูนกรอกที่ได้ผสมตามสัดส่วนที่ได้เตรียมไว้แล้วลงในช่องว่าง การใส่นั้นให้ใส่เป็น 2 ชั้น กระทั่งปูนกรอกชั้นละ 15 ครั้งด้วยเหล็กกระทุ้ง โดยให้กระทุ้งกระจายทั่วทั้งพื้นที่ผิวอย่างสม่ำเสมอ ในชั้นแรกให้กระทุ้งจนถึงล่างสุดของปูนกรอก จากนั้น เทปูนกรอกในชั้นที่ 2 กระทุ้งด้วยเหล็กกระทุ้งเหมือนเดิม แต่ให้ตีกลงไปในชั้นแรกประมาณ ครึ่งนิ้วพยายามให้จังหวะในการกระทุ้งคงที่

5. ทำการปาดผิวของตัวอย่างทดสอบปูนกรอกให้เรียบ แล้วใช้กระดาษทิชชูปิดผิวหน้าด้านบนของตัวอย่างทดสอบทันที พยายามทำให้ผิวด้านบนชุ่มน้ำอยู่ตลอดโดยการพรมน้ำใส่กระดาษทิชชูแล้วตั้งทิ้งไว้ 2 วัน

6. ถอดแบบออกและเก็บตัวอย่างที่ได้จากข้อ 5 ไว้ในอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 วัน



รูปที่ ค.2 ช่องว่างที่มีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ถูกสร้างขึ้นโดยใช้คอนกรีตบล็อกเพื่อใช้เป็นแบบ
ในหล่อตัวอย่างทดสอบกำลังรับแรงกดอัดของปูนกรอก

1.5 การเคลือบผิวหน้าตัดตัวอย่างทดสอบ

หลังจากที่ได้ตัวอย่างทดสอบตามขั้นตอนในข้อ 1.4 แล้ว ผิวหน้าตัดของตัวอย่างทดสอบที่ได้อาจจะไม่เรียบหรือไม่ได้ระดับ ทำให้แรงกดอัดกระจายไม่เต็มที่ทั่วทั้งหน้าตัดของตัวอย่างทดสอบซึ่งมีผลต่อกำลังรับแรงกดอัดของปูนกรอก ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการจัดปัญหาดังกล่าวที่อาจจะเกิดขึ้นโดยการเคลือบผิวหน้าตัดตัวอย่างทดสอบให้เรียบและได้ระดับซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ทำการหลอมกำมะถันที่อุณหภูมิประมาณ 180-230 องศาเซลเซียส จนขึ้นเหลว แบ่งตัวอย่างทดสอบต้องนำมาผึ่งลมให้ผิวแห้งก่อนการทดสอบ
2. เคลือบปลายแท่งตัวอย่างทดสอบด้วยกำมะถัน ควรใช้แปรงลวดขัดเอาเศษวัสดุออกจนสะอาดเสียก่อน ปลายที่เคลือบจะต้องแห้งสะอาด และไม่มีรอยปูนติดอยู่ถ้าตัวอย่างที่หล่อมีผิวเรียบเป็นมันวาวควรขัดให้ผิวหยาบเสียก่อนแล้วจึงนำไปแช่
3. ทำความสะอาดแท่งเคลือบปลายพร้อมทั้งประกอบลงบนโครงยึดเรียบร้อยและต้องไม่เอียงไปมา หลังจากนั้นเทน้ำมันลงบนแท่นเคลือบปลายให้ทั่วเพียงบางๆ
4. เทกำมะถันเหลวที่ได้จากข้อที่ 1 ลงไปในปริมาณที่พอเหมาะลงในแบบเคลือบประมาณครึ่งหนึ่งของแท่นเคลือบแล้วรีบกดตัวอย่างทดสอบลงบนกำมะถันเหลว พยายามรักษาแนวตั้งไว้ด้วยการรูดตัวอย่างเหล็กลงมาตามแนวแกนเหล็ก การกดตัวอย่างต้องพยายามใช้เวลาให้น้อยที่สุดเพราะต้องทำให้เสร็จก่อนที่กำมะถันเหลวจะแข็งตัว เพื่อให้กำมะถันเหลวติดปลายตัวอย่างได้

แน่น ผิวเคลือบจะต้องบางที่สุดเท่าที่จะบางได้และเมื่อนำไปทดสอบผิวเคลือบต้องไม่เสียดรูปทรงหรือแตกร้าว

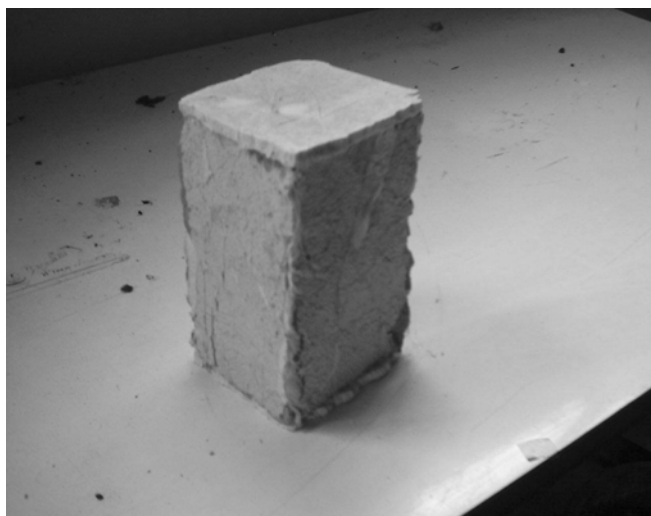
5. เมื่อกำมะถันเหลวแข็งตัวแล้วให้ยกแท่นเคลือบปลายออกด้วยการเคาะรอบนอกของแท่นเคลือบปลายถ้าปลายตัวอย่างมีรูหรือหลุมลึกกว่า 6 มิลลิเมตรขึ้นไปให้เทกำมะถันเหลวที่หลุม แล้วทิ้งให้เย็นก่อนนำตัวอย่างไปเคลือบ สำหรับแท่งตัวอย่างที่ระนาบผิวแท่งได้ฉากดีกับแนวแกนแท่ง อาจใช้แผ่นเหล็กกลึงผ่านแผ่นเรียบเป็นแบบเคลือบปลายได้ แผ่นเหล็กกลึงจะต้องเรียบจนไม่มีส่วนใดแตกต่างจากส่วนที่เหลือเกิน 0.05 มิลลิเมตร ในช่วงระยะ 150 มิลลิเมตร

6. เมื่อเคลือบปลายแล้วผิวตัวอย่างที่จะวางลงบนแท่นกดแท่นล่างจะต้องเอียงออกจากแนวฉากไม่เกิน 0.25 องศา (ประมาณ 1.5 มิลลิเมตร ใน 300 มิลลิเมตร) และค่าเบี่ยงจากแนวฉากของผิวรับแรงทั้งสองปลายต้องรวมกันได้ไม่เกิน 3 องศา

7. ก่อนนำตัวอย่างไปทดสอบควรใช้ด้ามมีดหรือสว่านเคาะผิวเคลือบดูว่ามีโพรงอากาศอยู่หรือไม่ ผิวเคลือบที่มีโพรงอากาศอยู่จะสังเกตได้จากการเคาะแล้วมีเสียงกลวง ควรเคาะออกแล้วเคลือบผิวใหม่ให้แน่น และปราศจากโพรง ถ้าผิวตัวอย่างแห้ง และสะอาดอุณหภูมิสารเคลือบพอเหมาะและกดแท่งตัวอย่างทดสอบปูนกรอกลงทันทีที่เทสารเคลือบลงในแบบเสร็จ

8. ผิวเคลือบที่เป็นกำมะถัน และหนากว่า 4.5 มิลลิเมตร อาจจะทำให้กำลังของแท่งทดสอบตัวอย่างตกลงได้ถึง 20 เปอร์เซ็นต์ สารเคลือบกำมะถันไม่ควรใช้เมื่อเกิดลักษณะดังนี้ ปลายแท่งตัวอย่างโค้งงอเกิน 5 มิลลิเมตร มีผลรวมหรือส่วนที่ยื่นพื้นผิวออกมาเกิน 5 มิลลิเมตร มีความโค้งนูนหรือขรุขระมากเกินไปจนทำให้ผิวเคลือบส่วนใหญ่หนาเกิน 5 มิลลิเมตรและปลายใดปลายหนึ่งเบี่ยงเบนออกจากแนวฉากกับแกนเกินกว่า 7.5 มิลลิเมตรใน 150 มิลลิเมตร

9. ตัวอย่างทดสอบใดที่มีข้อเสียดังที่กล่าวมาในข้อ 8 ให้ทิ้งไป และทำการหล่อตัวอย่างทดสอบขึ้นมาใช้ใหม่แทนตัวอย่างที่เสียไป และเมื่อได้ทำตามขั้นตอนที่กล่าวมาแล้ว จะได้ตัวอย่างทดสอบสำหรับใช้ในงานวิจัยซึ่งมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ ค.3 และมีขนาดกว้าง ยาว สูง โดยเฉลี่ยเท่ากับ 115 มิลลิเมตร 108 มิลลิเมตร และ 184 มิลลิเมตร ตามลำดับ



รูปที่ ก.3 ลักษณะของตัวอย่างทดสอบกำลังรับแรงกดอัดของปูนกรอก

1.6 ขั้นตอนการทดสอบกำลังรับแรงกดอัดของปูนกรอก

การทดสอบกำลังรับแรงกดอัดของปูนกรอกมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ชั่งแท่งตัวอย่างปูนกรอก และวัดขนาดเฉลี่ย
2. ติดตั้งเครื่องมือวัดการยืดหดเพื่อวัดการสูญเสียของรูปทรงตัวอย่าง
3. หลังจากติดตั้งแท่งตัวอย่างทดสอบในเครื่องทดสอบแล้วให้ใส่น้ำหนักเริ่มต้นเล็กน้อยและตั้งเข็มวัดเป็นศูนย์
4. อ่านค่าน้ำหนักทุกๆค่า การหดตัว 0.05 มิลลิเมตร
5. ทำขั้นตอนในข้อที่ 4 ซ้ำจนกระทั่งตัวอย่างทดสอบเกิดการวิบัติ

2. การทดสอบการยุบตัวของปูนกรอก (slump)

การยุบตัวของปูนกรอก เป็นความสามารถในการทำงานได้ (workability) ของปูนกรอกซึ่งสามารถทดสอบได้โดยใช้มาตรฐานการทดสอบเดียวกันกับการทดสอบการยุบตัวของคอนกรีต

2.1 วัตถุประสงค์การทดสอบ

เพื่อหาค่าการยุบตัวของปูนกรอกและทราบถึงความสามารถในการทำงาน ของปูนกรอก

2.2 มาตรฐานการทดสอบ

ใช้วิธีตามมาตรฐาน ASTM C143-96

2.3 เครื่องมือและอุปกรณ์การทดสอบ

ในการทดสอบค่าการยุบตัวของปูนกรอกมีเครื่องมือและอุปกรณ์ที่จำเป็นต้องใช้ในการทดสอบดังต่อไปนี้

1. แบบหล่อตัวอย่าง (slump mold) เป็นแบบที่ใช้เทปูนกรอกรูปกรวยหัวตัด ทำด้วยแผ่นโลหะผิวเรียบมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในที่ฐาน 203 มิลลิเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลางภายในบนยอด 102 มิลลิเมตร ความสูง 304 มิลลิเมตร ปลายรูปกรวยตัดทั้ง 2 ข้างเป็นเปิดแบบขนานกัน และตั้งฉากกับแนวแกนของกรวย ด้านนอกแบบมีมือจับโลหะ 2 ข้างต่ำลงมาจากยอด 100 มิลลิเมตรติดอยู่เพื่อให้ยกแบบขึ้นได้และที่ฐานก็มีเป็นโลหะยื่นออกมา 2 ข้างเพื่อให้ทำเหยียบเมื่อเวลาเท ปูนกรอกลงในแบบแบบจะได้นิ่งไม่เลื่อน และช่วยป้องกันการไหลของน้ำหรือของ ปูนกรอกได้
2. เหล็กกระทุ้ง (tamping rod) เป็นเหล็กกลมตัน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตร ยาว 600 มิลลิเมตรที่ปลายกระทุ้งเป็นรูปครึ่งวงกลม
3. ไม้บรรทัด
4. ถาด (pan) หรือแผ่นโลหะที่ไม่ดูดซึมน้ำ
5. ที่ตัก (scoop) ใช้ตักคอนกรีตลงในแบบ

2.4 วิธีการทดสอบ

วิธีการทดสอบค่าการยุบตัวของปูนกรอกตามมาตรฐาน ASTM C143-96 มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. พรมน้ำให้ผิวในแบบขึ้น ตั้งแบบบนผิวระนาบ ผิวที่ใช้วางต้องแบนเรียบ ขึ้นและไม่ดูดน้ำ เช่น วางในถาดสังกะสีหรือแผ่นโลหะผิวเรียบซึ่งต้องพรมน้ำเสียก่อน
2. เหยียบเป็นเหยียบให้แน่นแล้วกรอกปูนกรอกที่ผสมเสร็จใหม่ๆ ลงในแบบหล่อตัวอย่าง การกรอกให้กรอกทั้งหมด 3 ชั้น โดยในแต่ละชั้นมีปริมาตรประมาณหนึ่งในสามของปริมาตรทั้งหมดหรือในชั้นล่างสุดหนาประมาณ 60 มิลลิเมตร ชั้นที่สองหนาประมาณ 90 มิลลิเมตร และชั้นที่สามหนา 150 มิลลิเมตร การเทปูนกรอกลงในแบบหล่อควรเทให้กระจายสม่ำเสมอ แล้วใช้เหล็กกระทุ้ง กระทุ้งปูนกรอก ในแบบชั้นละ 25 ครั้งโดยเปลี่ยนตำแหน่งกระทุ้งให้กระจายสม่ำเสมอทั่วทั้งบริเวณ และให้กระทุ้งเข้าไปในชั้นก่อนหน้าเล็กน้อย สำหรับชั้นแรกให้กระทุ้งจนสุดความลึกชั้น
3. เมื่อกระทุ้งในชั้นสุดท้ายแล้วให้ปาดปูนกรอกส่วนที่เกินออกจนได้ผิวเรียบ กวาดปูนกรอกที่หล่นลงมากองบริเวณฐานออกให้หมดแล้วยกแบบขึ้นในแนวตั้งช้าๆ วัดค่าการยุบตัวที่ได้จากความแตกต่างระหว่างความสูงของแบบหล่อตัวอย่างกับความสูงเฉลี่ยของยอดของปูนกรอกที่ยุบตัวโดยใช้เหล็กกระทุ้งวางพาดบนยอดแบบและให้เฉไปบนกองคอนกรีต แล้วใช้ไม้บรรทัดวัด

ความสูงระหว่างเหล็กกระทุ้งจนถึงยอดกองของคอนกรีต ให้วัดค่าดังกล่าวให้ละเอียดถึง 5 มิลลิเมตร ระยะเวลาในการทำตั้งแต่ข้อ 1 - 3 ไม่ควรเกิน 2 นาที

4. ตัวอย่างที่ใช้ทดสอบการยุบตัวที่มีปฏิกิริยาแยกออกทางด้านข้างกอง จะให้ผลที่ไม่ถูกต้องควรเริ่มทำใหม่ตั้งแต่การเตรียมตัวอย่าง เมื่อวัดค่าการยุบตัวแล้วควรใช้ด้านยาวของเหล็กกระทุ้งดีตัวอย่างปฏิกิริยาแยกออกบ้าง พฤติกรรมในช่วงนี้มักจะบอกคุณสมบัติบางอย่างของปฏิกิริยาแยกออกได้ เช่นแรงยึดเหนี่ยวกันเอง ความสามารถในการเทได้และความยากง่ายในการทำงาน ส่วนผสมที่ดีและมีคุณสมบัติดังกล่าวเมื่อดีแล้วจะค่อยๆ ยุบตัวลงทีละน้อยแต่จะคงรูปไว้ แต่ถ้าส่วนผสมไม่ดีตัวอย่างจะแยกออก และแตกออกเป็นชิ้นๆ ถ้าทำได้สะดวกพอควรให้ทำการทดสอบอีกครั้ง แล้วรายงานค่าการยุบตัวเฉลี่ย

3. การทดสอบคุณสมบัติของเหล็กเส้นภายใต้แรงดึง

เหล็กเส้นที่ใช้ในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กส่วนมากจะถูกออกแบบให้เป็นตัวช่วยในการรับแรงดึงที่เกิดขึ้นในองค์อาคารเนื่องจากแรงกระทำภายนอก หรือช่วยเพิ่มความเหนียวให้กับองค์อาคาร ดังนั้นในการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กจึงมีความจำเป็นต้องทราบคุณสมบัติของเหล็กเส้นภายใต้แรงดึงเสียก่อน

3.1 จุดประสงค์การทดสอบ

เพื่อศึกษาพฤติกรรมทางกลของเหล็กเส้นที่ใช้ในงานวิจัย โดยทำการทดสอบภายใต้การกระทำของแรงดึง โดยจะได้คุณสมบัติทางกลของเหล็กเส้นซึ่งประกอบไปด้วย หน่วยแรงคราก (yielding stress) หน่วยแรงสูงสุด (ultimate stress) โมดูลัสยืดหยุ่น (modulus of elasticity) เปอร์เซ็นต์การยืดและ รูปแบบการวิบัติ (mode of failure)

3.2 มาตรฐานการทดสอบ

ใช้วิธีตามมาตรฐาน ASTM E8

3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์การทดสอบ

ในการทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กเส้นมีเครื่องมือและอุปกรณ์ที่จำเป็นต้องใช้ในการทดสอบดังต่อไปนี้

1. เครื่องทดสอบ UTM มีกำลังการทดสอบสูงสุด 120 ตัน โดยมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ ค.4

2. เวอร์เนียคาลิปเปอร์

3. extensometer



รูปที่ ค.4 UTM กำลังการทดสอบสูงสุด 120 ตัน

3.4 วิธีการทดสอบ

วิธีการทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กเส้นมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกึ่งกลางของตัวอย่างทดสอบ และความยาวเริ่มต้นของตัวอย่างทดสอบ โดยใช้เวอร์เนียคาลิปเปอร์

2. ติดตั้งตัวอย่างทดสอบกับเครื่องทดสอบ UTM ดังแสดงในรูปที่ ค.5

3. ทำการทดสอบแรงดึง และวัดระยะการยืดตัวที่ระดับแรงกระทำต่างๆ โดยการเพิ่มแรงดึงที่กระทำต่อตัวอย่างทดสอบอย่างช้าๆ จนกระทั่งตัวอย่างทดสอบเกิดการวิบัติ ขณะเดียวกันทำการบันทึกแรงดึงและระยะการยืดตัวของตัวอย่างทดสอบเพื่อนำไปคำนวณหน่วยแรง ความเครียด และนำไปเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงกับความเครียดของตัวอย่างทดสอบ หลังจากตัวอย่างทดสอบวิบัติแล้วจึงนำตัวอย่างทดสอบออกจากเครื่องทดสอบ สังเกตตำแหน่งและรูปแบบการวิบัติที่เกิดขึ้น

4. นำตัวอย่างทดสอบที่เกิดการวิบัติแล้วมาต่อกันให้สนิท แล้ววัดความยาวของตัวอย่างทดสอบเมื่อเกิดการวิบัติ

5. ทำการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดสอบตามวัตถุประสงค์ที่ได้กล่าวไว้ในขั้นตอนต่อไป



รูปที่ ค.5 การติดตั้งเหล็กตัวอย่างทดสอบเข้ากับเครื่องทดสอบ UTM

4. การทดสอบกำลังรับแรงกดอัดของคอนกรีตบล็อก

กำลังรับแรงของผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กส่วนหนึ่งจะขึ้นอยู่กับกำลังรับแรงกดอัดของคอนกรีตบล็อก ดังนั้นในการออกแบบผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อจึงจำเป็นต้องทราบคุณสมบัติดังกล่าวของคอนกรีตบล็อกด้วย

4.1 วัตถุประสงค์การทดสอบ

การทดสอบนี้เป็นการทดสอบเพื่อหาลำกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อก

4.2 มาตรฐานการทดสอบ

ใช้วิธีมาตรฐาน ASTM C140

4.3 เครื่องมือและอุปกรณ์การทดสอบ

ในการทดสอบกำลังรับแรงกดอัดของคอนกรีตบล็อกมีเครื่องมือและอุปกรณ์ที่จำเป็นต้องใช้ในการทดสอบดังต่อไปนี้

1. เวอร์เนียคาลิเปอร์ หรือไม้บรรทัดเหล็กอ่านได้ละเอียด 0.1 มิลลิเมตร
2. แผ่นกระจกใสสำหรับเคลือบผิวหน้าตัดตัวอย่าง
3. ระดับน้ำ
4. เกียงสำหรับผสมปูนปลาสเตอร์
5. บีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร
6. ถังผสมปูนปลาสเตอร์สำหรับเคลือบผิว

7. แผ่นเหล็กผิวเรียบหนาไม่น้อยกว่า 12 มิลลิเมตร 2 แผ่น

8. เครื่องทดสอบ UTM ยี่ห้อ SHIMADZUTM รุ่น UH-Series มีค่ากำลังทดสอบสูงสุด

200 ตัน

4.4 ขั้นตอนการเคลือบผิวหน้าตัดตัวอย่าง

เนื่องจากกระบวนการผลิตคอนกรีตบล็อกทำให้ผิวหน้าตัดของตัวอย่างทดสอบที่ได้ อาจจะไม่เรียบหรือไม่ได้ระดับเป็นผลให้แรงกดอัดกระจายไม่เต็มที่ทั่วทั้งหน้าตัดของตัวอย่างทดสอบซึ่งมีผลต่อกำลังรับแรงกดอัดของคอนกรีตบล็อก ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการขจัดปัญหาดังกล่าวที่อาจจะเกิดขึ้นโดยการเคลือบผิวหน้าตัดตัวอย่างทดสอบให้เรียบและได้ระดับซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. วางแผ่นเหล็กที่ไม่ดูดซึมน้ำให้ได้ระดับในแนวราบซึ่งจะใช้ลูกนำจับระดับแล้วเช็ดให้แห้งด้วยผ้าสะอาดแล้วทาด้วยน้ำมันบางๆ
2. ผสมปูนปลาสเตอร์กับน้ำให้เข้ากันในถัง ด้วยอัตราส่วน 1:2 โดยปริมาตร
3. เทส่วนผสมของปูนปลาสเตอร์ลงบนกระจกให้เหมาะสมกับพื้นที่หน้าตัดคอนกรีตบล็อกพอประมาณแล้วใช้เกรียงปาดหน้าปูนปลาสเตอร์ให้เรียบ
4. วางคอนกรีตบล็อกลงบนปูนปลาสเตอร์ที่ปาดหน้าเรียบแล้ว วางระดับน้ำคอนกรีตบล็อกปรับให้ได้ระดับพร้อมกับกดคอนกรีตบล็อกลงให้วัสดุเคลือบผิวหนาหนาไม่เกิน 3 มิลลิเมตร แล้วทำการตกแต่งหน้าตัดที่เคลือบให้เรียบร้อย
5. ทิ้งปูนปลาสเตอร์ไว้ให้แห้งประมาณ 20 นาที จึงแกะออกแล้วทำความสะอาดทำการเคลือบหน้าตัดของคอนกรีตบล็อกอีกด้านหนึ่งต่อไป

4.5 ขั้นตอนการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อก

การทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกจะต้องทดสอบหลังจากเคลือบแล้วไม่น้อยกว่า 2 ชั่วโมง เพื่อให้ได้กำลังของปูนปลาสเตอร์เต็มที่ โดยการทดสอบมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ทำการสุ่มตัวอย่างทดสอบแล้ววัดขนาดของคอนกรีตบล็อกด้วยเวอร์เนียคาลิเปอร์หรือไม้บรรทัดเหล็ก โดยเริ่มจากการทำเครื่องหมายบนตัวอย่างทดสอบแล้วจึงวัดขนาดความกว้าง ความสูง ความหนา และความหนาของเปลือก บันทึกค่าต่างๆ ที่ได้ในตารางบันทึกผล โดยที่ลักษณะของคอนกรีตบล็อกที่ใช้ในงานวิจัย มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ ค.6
2. ตรวจสอบและติดตั้งเครื่องทดสอบ UTM ให้พร้อมที่จะทดสอบ

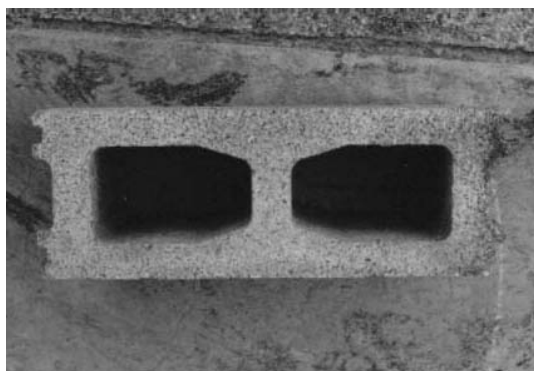
3. วางแผ่นเหล็กผิวเรียบลงบนหัวกดของเครื่อง โดยให้จุดศูนย์กลางหัวกดกับแผ่นเหล็กตรงกันวางคอนกรีตบล็อกที่จะทดสอบลงบนแผ่นเหล็กให้สมดุลกัน แล้ววางแผ่นเหล็กแผ่นที่ 2 ลงบนหน้าตัดที่เคลือบโดยให้สมดุลอีกที ดังแสดงในรูปที่ ก.7

4. ตั้งความเร็วที่ใช้ในการทดสอบ โดยน้ำหนักครึ่งหนึ่งของน้ำหนักสูงสุดที่คาดว่าจะทดสอบด้วยอัตราเร็วตามสะดวก หลังจากนั้นต้องคุมเครื่องทดสอบโดยปรับให้หัวกดเครื่องในอัตราสม่ำเสมอจนทำให้น้ำหนักบรรทุกทุกส่วนที่เคลื่อนบรรทุกได้ในเวลาไม่เร็วกว่า 1 นาที แต่ไม่เกิน 2 นาที ในที่นี้ใช้น้ำหนักสูงสุด 200 kN

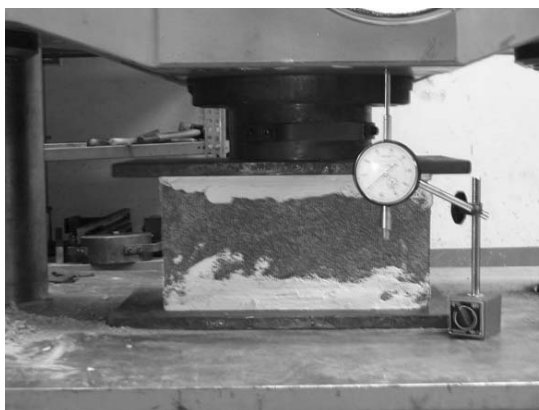
5. ใส่น้ำหนักลงไปบนแผ่น plate ประมาณ 2-5 kN แล้วตั้งศูนย์ที่เครื่องอ่านทั้งค่าน้ำหนักและค่าการยุบตัว

6. เพิ่มน้ำหนักลงไปบนหัวเครื่องกดแล้วบันทึกค่าการยุบตัวทุกๆ 10 kN จนถึงจุดที่รับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดให้บันทึกค่าการยุบตัวไปอีก 4-5 ค่า

7. หลังจากการทดสอบจนแตกแล้วให้ทำรอยเครื่องหมายที่แตกโดยปากกาที่ชัดเจน แล้วบันทึกภาพเพื่อนำไปวิเคราะห์รูปแบบการวิบัติ



รูปที่ ก.6 ลักษณะของคอนกรีตบล็อกที่ใช้ในงานวิจัย



รูปที่ ค.7 การติดตั้งคอนกรีตบล็อกเข้ากับเครื่องทดสอบ

5. การทดสอบกำลังรับแรงอัดของปริซึมคอนกรีตบล็อก

ปริซึมคอนกรีตบล็อก คือ วัสดุประกอบที่ถูกสร้างมาจากคอนกรีตบล็อกที่เชื่อมติดกันอย่างน้อย 3 ก้อนด้วยวัสดุก่อ โดยชั้นกลางจะเต็มก่อนชั้นล่างและชั้นบนจะมีขนาดครึ่งก้อน การทดสอบกำลังรับแรงกดอัดของปริซึมคอนกรีตบล็อกจะให้ค่าที่ได้จากการทดสอบที่ใกล้เคียงกับการใช้งานจริงมากกว่าการทดสอบกำลังรับแรงกดอัดของคอนกรีตบล็อก

5.1 วัตถุประสงค์การทดสอบ

การทดสอบนี้เป็นการทดสอบเพื่อหาลำดับรับแรงอัดของปริซึมคอนกรีตบล็อก

5.2 มาตรฐานการทดสอบ

ใช้วิธีตามมาตรฐาน ASTM E447-92b

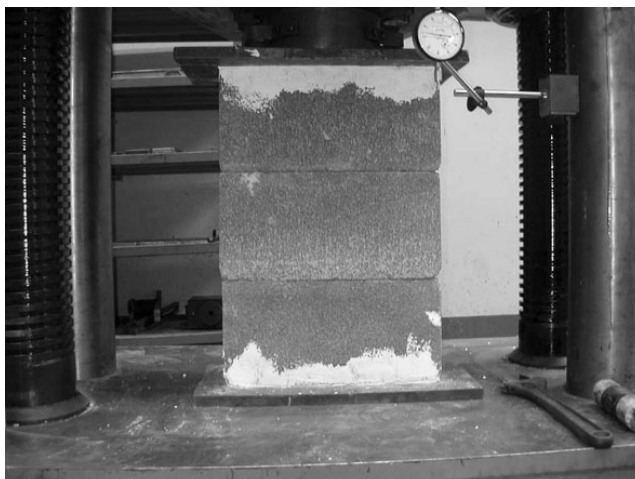
5.3 เครื่องมือและอุปกรณ์การทดสอบ

เช่นเดียวกันกับการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อก

5.4 ขั้นตอนการทดสอบ

การทดสอบกำลังรับแรงอัดของปริซึมคอนกรีตบล็อกจะต้องทดสอบหลังจากเคลือบแล้วไม่น้อยกว่า 2 ชั่วโมง เพื่อให้ได้กำลังของปูนปลาสเตอร์เต็มที่ โดยการทดสอบมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ทำการสุ่มตัวอย่างคอนกรีตบล็อกมา 3 ก้อน เพื่อมาทำเป็นปริซึม คอนกรีตบล็อก
2. ทำการเคลือบผิวหน้าตัดตัวอย่างทดสอบโดยใช้วิธีเดียวกับการเคลือบผิวหน้าตัดตัวอย่างของคอนกรีตบล็อก
3. หลังจากเคลือบหน้าตัดของปริซึมเป็นเวลา 2 ชั่วโมงแล้ววัดค่าความสูงของแต่ละปริซึมบันทึกค่าลงในตารางบันทึกผลการทดลอง
4. ติดตั้งตัวอย่างทดสอบเข้ากับเครื่องทดสอบดังแสดงในรูปที่ ก.8
5. ทำการหาค่ากำลังต้านทานของปริซึมคอนกรีตบล็อก โดยการทำการทดสอบและบันทึกผลเหมือนกับการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อก เมื่อเสร็จสิ้นการทดสอบ บันทึกภาพเพื่อวิเคราะห์รูปแบบการวิบัติ



รูปที่ ก.8 การติดตั้งปริซึมคอนกรีตบล็อกเข้ากับเครื่องทดสอบ

ภาคผนวก ง

ตารางแสดงคุณสมบัติต่างๆ ของวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

ผลการทดสอบทราย

ทรายที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นทรายได้มาจากบ่อทรายแห่งหนึ่งในอำเภอยะรัง จังหวัด นครราชสีมา จากการทดสอบพบว่า ทรายที่ใช้ในงานวิจัยมีค่า average bulk specific gravity เท่ากับ 2.50 average bulk specific gravity (SSD basis) เท่ากับ 2.52 average apparent specific gravity เท่ากับ 2.538 average absorption เท่ากับ 0.565 เปอร์เซนต์ นอกจากนั้นแล้วเมื่อนำทรายดังกล่าวมาทำการทดสอบหาขนาดผลจะได้ผลการทดสอบดังตารางที่ ง.1 จากตารางที่ ง.1 พบว่า ทรายที่ใช้ในงานวิจัยมีขนาดผลที่เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C33 และมีโมดูลัสความละเอียด(fineness modulus) เท่ากับ 2.74

ตารางที่ ง.1 ขนาดผลของทรายที่ใช้ในงานวิจัย

เบอร์ตะแกรง	ค่าร้อยละสมที่ค้ำบนตะแกรงขนาดต่างๆ	
	ค่าจากมาตรฐาน ASTM C33	ค่าจากทรายที่ทดสอบได้
เบอร์ 4	0-5	4.32
เบอร์ 8	0-20	10.65
เบอร์ 16	15-50	23.36
เบอร์ 30	40-75	52.81
เบอร์ 50	70-90	85.90
เบอร์ 100	90-98	97.33

ผลการทดสอบหิน

หินที่ใช้ในงานวิจัยเป็นหินที่มีขนาดโตสุด 3/4 นิ้ว เมื่อนำหินดังกล่าวมาทำการทดสอบหาขนาดผลจะได้ผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ ง.2 จากตารางที่ ง.2 พบว่าหินที่ใช้ในงานวิจัยมีขนาดผลที่เป็นไปตามข้อกำหนดของมาตรฐาน ASTM C33 นอกจากนั้นแล้ว จากการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะและเปอร์เซ็นต์การดูดซึมพบว่า หินที่ใช้ในงานวิจัยมีค่า average bulk specific gravity เท่ากับ 2.56 average bulk specific gravity (SSD basis) เท่ากับ 2.58 average apparent specific gravity เท่ากับ 2.61 average absorption เท่ากับ 0.76 เปอร์เซนต์ และมีโมดูลัสความละเอียดเท่ากับ 7.94

ตารางที่ ง.2 ขนาดคละของหินที่ใช้ในงานวิจัย

เบอร์ตะแกรง	ค่าร้อยละสมที่ล้างบนตะแกรงขนาดต่างๆ	
	ค่าจากมาตรฐาน ASTM C33	ค่าจากหินที่ทดสอบได้
3/4 นิ้ว	0-10	4.54
1/2 นิ้ว	-	20.11
3/8 นิ้ว	45-80	75.35
เบอร์ 4	90-100	100

ตารางที่ ง.3 ค่าความชื้นเหลวปกติของปูนซีเมนต์

ทดสอบ ครั้งที่	น้ำหนักปูน ซีเมนต์ (กรัม)	น้ำหนักน้ำ (กรัม)	ปริมาณน้ำ (%)	ระยะเข็มจม (มม.)		
				ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3
1	650	170	26.15	4.5	5	4
2	650	180	27.69	10	9	14
3	650	190	29.23	17	19	20
4	650	200	30.77	27	24	29
ค่าความชื้นเหลวปกติ(%)				27.69	27.80	27.18
ค่าเฉลี่ย (%)				27.56		

ตารางที่ ง.4 ระยะเวลาการก่อตัวของปูนซีเมนต์ที่ใช้ในงานวิจัย

เวลาที่ผ่านไป (นาทีก)	ระยะเบี๋มจม (มม.)		
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3
30	40	40	40
45	40	40	40
60	40	40	40
75	40	40	40
90	40	40	40
105	38	34	37
120	36	30	34
135	13	12	15
150	5	3	5
165	1	1	1
180	0.5	1	1
ระยะเวลาการก่อตัว (นาทีก)	124	127	124
ค่าเฉลี่ย (นาทีก)	126		

ตารางที่ ง.5 กำลังรับแรงกดอัดของปูนกรอกที่ใช้ในงานวิจัย

ตัวอย่าง ทดสอบที่	น้ำหนัก (กก.)	พื้นที่หน้าตัด เฉลี่ย (มม. ²)	ความสูงเฉลี่ย (มม.)	แรงกดอัด ประลัย (kN)	กำลังรับ แรงกด อัด(MPa)
1	4.12	10459.1	178	139	13.29
2	4.56	11447.5	180	153	13.37
3	4.23	10445	183	114	10.91
4	4.58	12174.1	170	123	10.10
5	5.03	12841.4	177	160	12.46
6	4.98	12373.3	180	155	12.53
7	4.22	10602.8	178	172	16.22
8	4.17	10190.9	183	151	14.82
9	4.13	9721.3	190	132	13.58
10	4.32	10276.7	188	145	14.11
11	3.96	10057.1	175	116	11.53
12	4.72	11218.1	187	121	10.79
13	5.05	12825.4	175	145	11.31
14	4.33	10516.1	183	163	15.50
15	4.65	11610.5	178	172	14.81
16	4.22	10768.7	177	168	15.60
17	4.21	10682.8	178	150	14.04
18	4.89	12339	179	120	9.73
19	4.38	10810.5	183	116	10.73
20	4.25	10547.3	182	160	15.17
21	4.36	10235.1	187	154	15.05
22	4.88	12035	178	174	14.46
23	4.63	10811.1	188	143	13.23
24	4.78	11221	187	132	11.76
25	4.36	10936.9	175	154	14.08

ตารางที่ ง.5 (ต่อ) กำลังรับแรงกดอัดของปูนกรอกที่ใช้ในงานวิจัย

ตัวอย่างทดสอบที่	น้ำหนัก (kg)	พื้นที่หน้าตัดเฉลี่ย (มม. ²)	ความสูงเฉลี่ย (มม.)	แรงกดอัดเฉลี่ย (N)	กำลังรับแรงกดอัด(MPa)
26	4.11	9652	189	133	13.78
27	4.03	9464.2	189	123	13.00
28	5.13	12864.2	177	154	11.97
29	4.54	11647.9	173	156	13.39
30	4.63	11676.4	176	125	10.71
31	4.89	11700.1	177	164	14.02
32	4.77	11352.3	188	155	13.65
33	4.86	12216.3	178	145	11.87
34	4.14	10645.7	174	157	14.75
35	4.25	10991.7	173	165	15.01
ค่าเฉลี่ย					13.18
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน					1.73

ตารางที่ ง.6 การดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกที่ใช้ในงานวิจัย

ตัวอย่างที่	น้ำหนักก่อนตัวแห้ง (กรัม)	น้ำหนักก่อนตัวในน้ำ (กรัม)	น้ำหนักอบแห้ง (กรัม)	น้ำหนักปกติ (กรัม)	การดูดกลืนน้ำ (กรัม)	% ดูดกลืนน้ำ
1	13821	8453	12696	12854	209.69	8.87
2	13752	8549	12598	12795	222.10	9.18
3	13366	8150	12179	12394	225.91	9.65
4	13524	8262	12321	12564	227.71	9.71
5	13852	8652	12590	12864	242.05	9.99
6	13760	8429	12546	12751	227.12	9.64
7	13780	8381	12650	12837	209.88	8.97
8	13612	8049	12470	12660	205.44	9.17
9	13951	8500	12746	12981	220.42	9.42
10	13864	8536	12554	12854	245.21	10.40
11	13884	8548	12583	12883	243.39	10.32
12	13516	8374	12314	12540	232.72	9.70
13	13964	8376	12684	12933	243.50	10.02
เฉลี่ย	13738.8	8432.04	12533.41	12759.23	227.32	9.62
S.D.	0.185	0.192	0.169	0.173	13.71	0.487

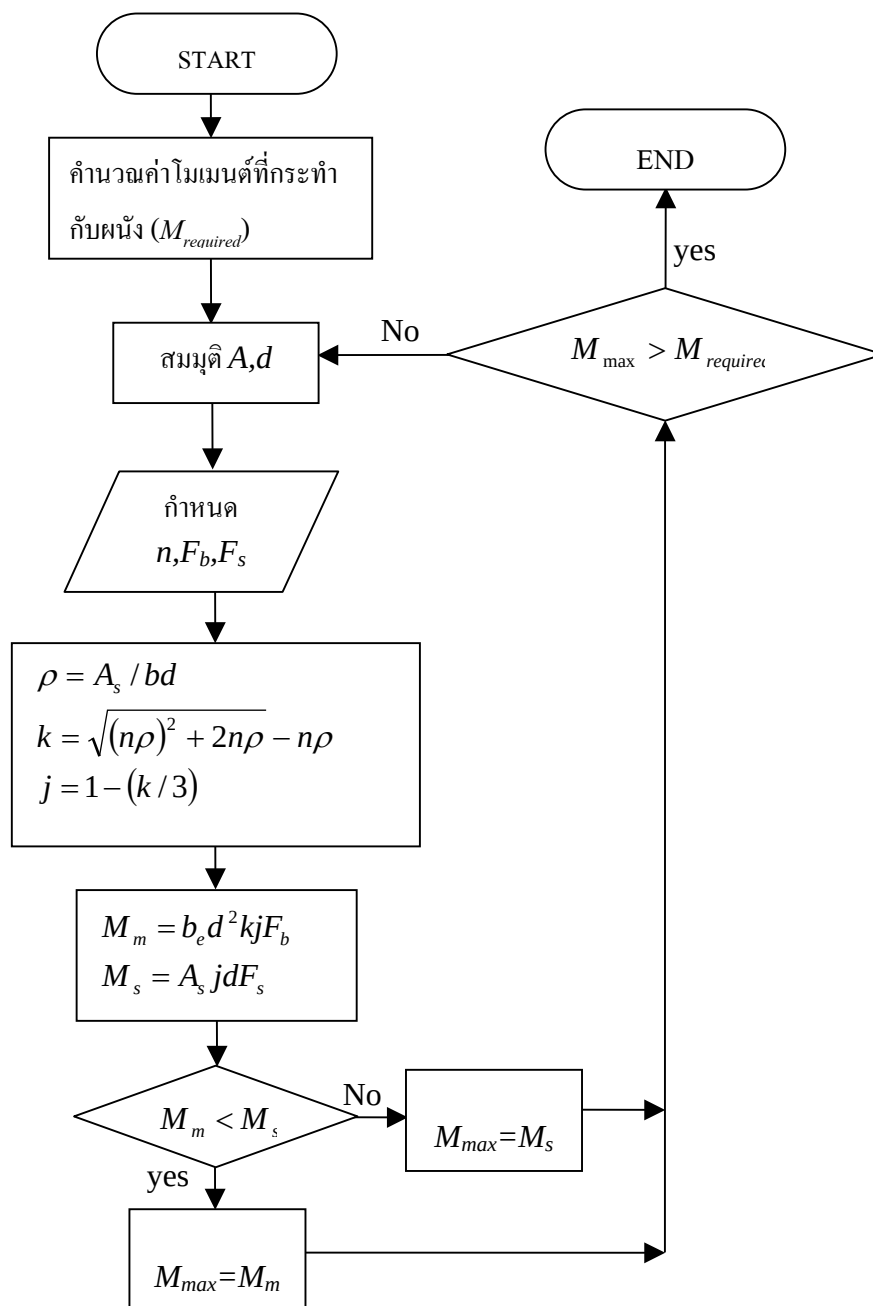
ตารางที่ ง.7 พื้นที่หน้าตัดสุทธิของคอนกรีตบดล็อก

ตัวอย่างที่	ความสูงเฉลี่ย (มม.)	น้ำหนักก้อนตัวผิว แห้ง (กรัม)	น้ำหนักก้อนตัวใน น้ำ (กรัม)	พื้นที่หน้าตัด เฉลี่ย(มม. ²)
1	191	13821	8453	28105.77
2	190	13752	8549	27399.2
3	188	13366	8150	27685.42
4	190	13524	8262	27666.07
5	190	13852	8652	27347.44
6	191	13760	8429	27892.09
7	191	13780	8381	28292.33
8	189	13612	8049	29441.93
9	191	13951	8500	28519.17
10	189	13864	8536	28170.34
11	190	13884	8548	28075.59
12	190	13516	8374	27027.52
13	190	13964	8376	27473.1
ค่าเฉลี่ย				27930.46
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน				622.46

ภาคผนวก จ

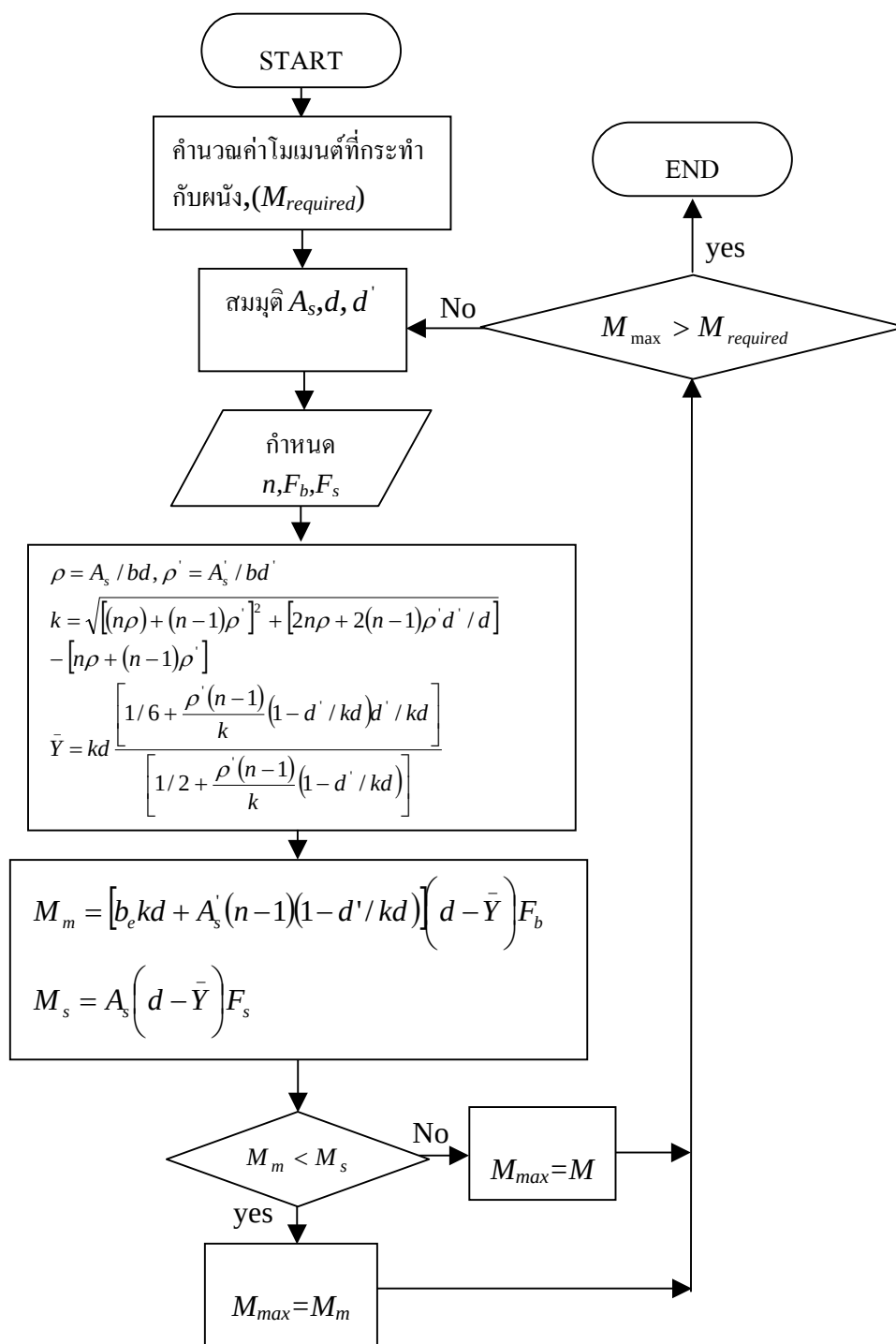
แผนผังลำดับงานการวิเคราะห์กำลังรับแรงดัดของผนัง

จ.1 แผนผังลำดับงานการวิเคราะห์กำลังรับแรงดัดของผนังแบบกรอกปูนกรอกทุกช่องและมีเฉพาะเหล็กเสริมรับแรงดึง



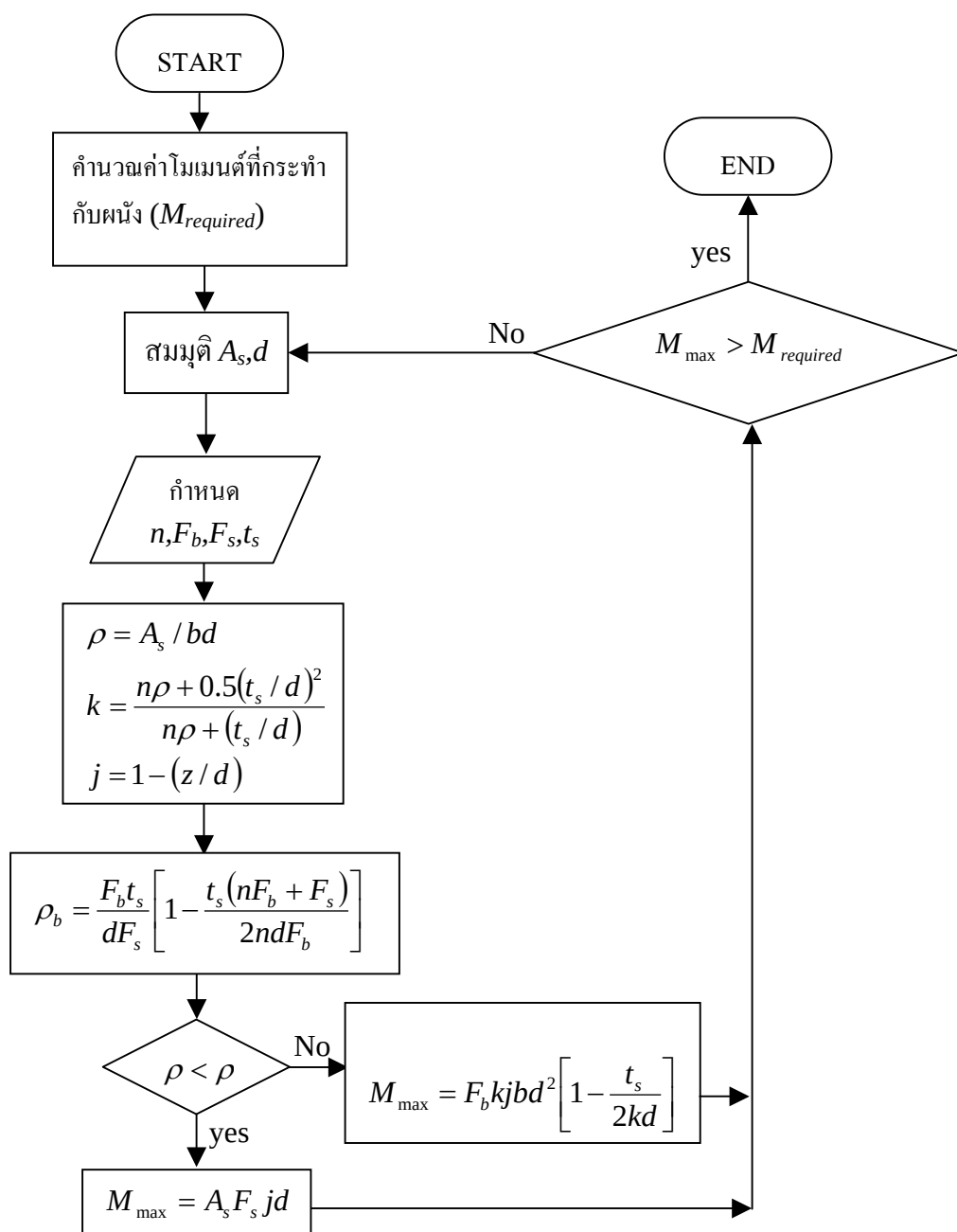
รูปที่ จ.1 แผนผังลำดับงานการวิเคราะห์กำลังรับแรงดัดของผนังแบบกรอกปูนกรอกทุกช่องและมีเฉพาะเหล็กเสริมรับแรงดึง

จ.2 แผนผังลำดับงานการวิเคราะห์กำลังรับแรงดัดของผนังแบบกรอกปูนกรอกทุกช่องและมีเหล็กเสริมรับแรงอัด



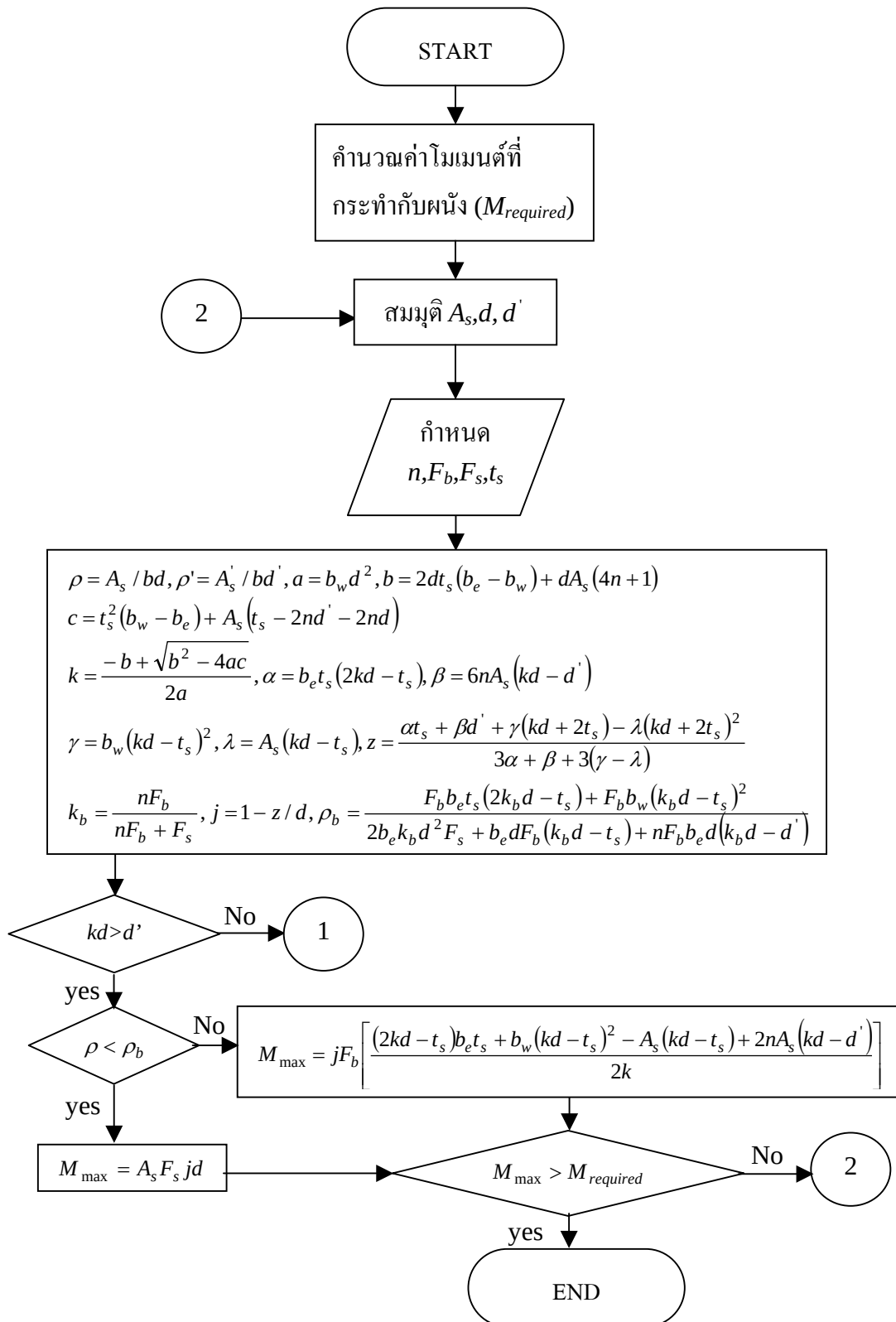
รูปที่ จ.2 แผนผังลำดับงานการวิเคราะห์กำลังรับแรงดัดของผนังแบบกรอกปูนกรอกทุกช่องและมีเหล็กเสริมรับแรงอัด

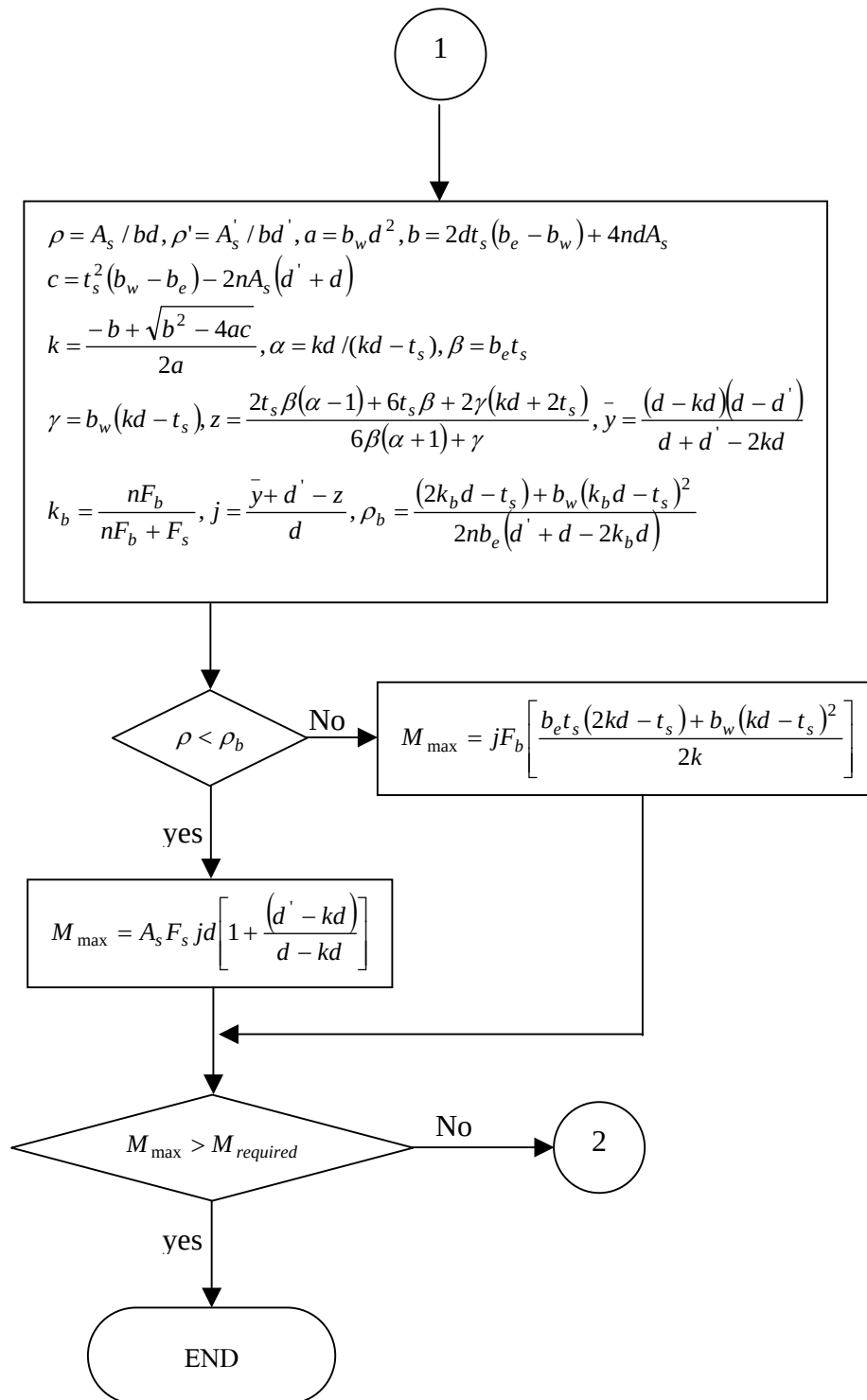
จ.3 แผนผังลำดับงานการวิเคราะห์กำลังรับแรงดัดของผนังแบบกรอกปูนกรอกช่องเว้นช่องและมีเฉพาะเหล็กเสริมรับแรงดึง



รูปที่ จ.3 แผนผังลำดับงานการวิเคราะห์กำลังรับแรงดัดของผนังแบบกรอกปูนกรอกช่องเว้นช่องและมีเฉพาะเหล็กเสริมรับแรงดึง

จ.4 แผนผังลำดับงานการวิเคราะห์กำลังรับแรงดัดของผนังแบบกรอกปูนกรอกช่องเว้นช่องและมีเหล็กเสริมรับแรงอัด





รูปที่ จ.4 แผนผังลำดับงานการวิเคราะห์กำลังรับแรงดัดของผนังแบบกรอกปูนกรอกช่องเว้นช่อง และมีเหล็กเสริมรับแรงอัด

ประวัติผู้เขียน

นายสิทธิชัย เลิศวิชัย เกิดเมื่อวันที่ 14 กันยายน พ.ศ. 2522 เริ่มเข้าศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ แผนกวิชา ช่างสำรวจ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตภาคตะวันออกเฉยงเหนือ นครราชสีมา จากนั้นได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาตรี ที่สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา สำเร็จการศึกษาเมื่อปี พ.ศ. 2543 ภายหลังสำเร็จการศึกษาในระดับปริญญาตรีได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท ทางด้านวิศวกรรมโครงสร้าง สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในปี พ.ศ. 2544