



## สมบัติเชิงกลของผนังอิฐก่อสำหรับการประเมินกำลังอาคารภายใต้แรงแผ่นดินไหว

### Mechanical properties of infill walls for strength evaluation of structure under seismic action

วารากร กาญจนภักดิ์\*, สุทัศน์ ลีลาทวิวัฒน์, อภินันท์ อชกุล

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ทุ่งครุ กรุงเทพมหานคร 10140

\*E-mail: warakorn.ka@mail.kmutt.ac.th

#### บทคัดย่อ

ผนังอิฐก่อเป็นส่วนหนึ่งของอาคารที่มีความสำคัญต่อพฤติกรรมอาคารภายใต้แรงกระทำจากแผ่นดินไหว เนื่องจากผนังจะมีปฏิสัมพันธ์กับโครงสร้างอาคารเมื่ออาคารมีการเคลื่อนตัวภายใต้แรงแผ่นดินไหว ในมาตรฐานการประเมินกำลังอาคารในปัจจุบันจึงกำหนดให้ต้องพิจารณาถึงกำลังรับแรงและสติเฟนสของผนัง ดังนั้นคุณสมบัติเชิงกลของผนังอิฐก่อจึงมีความสำคัญสำหรับการประเมินกำลังอาคารให้มีความถูกต้อง งานวิจัยนี้ทำการศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติของผนังอิฐก่อเพื่อใช้ในการประเมินกำลังรับแรงทางด้านข้างของอาคาร ประกอบไปด้วยการสำรวจลักษณะรูปแบบการก่อสร้างผนังอิฐก่อที่ได้รับความนิยมในประเทศไทยสำหรับ อาคารขนาดเล็กและขนาดกลาง อาทิเช่น บ้านพักอาศัย อาคารพาณิชย์ และอาคารโรงเรียน รวมถึงการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลได้แก่ กำลังรับแรงอัดของอิฐประเภทต่างๆ ได้แก่ อิฐมอญ อิฐบล็อก และอิฐมวลเบา กำลังรับแรงอัดของอิฐก่อที่มีการฉาบและไม่ฉาบปูนทั้งสองด้าน กำลังรับแรงอัดของปูนก่อและปูนฉาบ เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการประเมินกำลังรับแรงทางด้านข้างของอาคารภายใต้แรงแผ่นดินไหว

**คำสำคัญ:** ผนังอิฐก่อ, สมบัติทางกลของอิฐและอิฐก่อ, การประเมินกำลังผนังอิฐก่อภายใต้แรงแผ่นดินไหว

#### Abstract

Masonry infill walls are important elements that significantly influence the behavior of a building under seismic loads. The infill walls create complex interaction with the frame structure when movement occurs due to an earthquake. For this reason, modern seismic evaluation standards require one to consider the strength and stiffness of infill walls when evaluating the safety of the structure under earthquake loading. This study involves the determination of mechanical properties of masonry infill walls for seismic evaluation purposes. The study includes 1) survey of the construction characteristics of commonly used masonry infill walls in small and medium-sized buildings such as houses, shop houses, and school buildings; 2) testing of different types of masonry units such as burnt clay bricks, concrete masonry blocks, and light-weight concrete units; 3) testing of masonry prisms with and without plastering; and 4) testing of plastering and layering mortar. The results provide basic properties of masonry infill wall to be used in seismic evaluation of structures.

**Keywords :** Masonry infill walls, Mechanical properties of infill walls, Strength evaluation of infill walls under seismic action



## 1. ที่มาและความสำคัญ

หลังจากที่ประเทศไทยได้เกิดเหตุแผ่นดินไหวรุนแรง ซึ่งมีขนาดถึง 6.3 ริกเตอร์ ที่อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย ในวันที่ 5 พฤษภาคม 2557 หน่วยงานต่างๆ ทั้งของภาครัฐและเอกชนได้ตระหนักถึงความสามารถในการต้านทานแรงแผ่นดินไหวของอาคารและสิ่งปลูกสร้างต่างๆ เพิ่มมากยิ่งขึ้น จากการสำรวจอาคารต่างๆ ที่ได้รับความเสียหายพบว่าส่วนมากคือ อาคารขนาดเล็กและขนาดกลาง ได้แก่ บ้านพักอาศัย อาคารพาณิชย์ และ อาคารโรงเรียน ซึ่งอาคารต่างๆ เหล่านี้มักนิยมใช้อิฐมาก่อนเป็นผนังกันห้อง ในต่างประเทศที่ตั้งอยู่ในโซนเขตแผ่นดินไหว เช่น ประเทศสหรัฐอเมริกา ประเทศอินเดีย สหภาพยุโรป ฯลฯ ได้มีการตระหนักถึงปฏิสัมพันธ์ของผนังกับโครงสร้างเมื่ออาคารมีการเคลื่อนตัวภายใต้แรงแผ่นดินไหว ซึ่งอาจส่งผลให้โครงสร้างเกิดความเสียหายขึ้น [10] ดังนั้นการประเมินกำลังผนังอิฐก่อภายใต้แรงแผ่นดินไหว จึงเป็นสิ่งจำเป็น ถ้าวิศวกรได้กำหนดให้ผนังอิฐก่อสามารถรับแรงแผ่นดินไหวร่วมกับโครงสร้างหลักแล้วนั้น ก็จะทำให้สามารถประเมินกำลังอาคารนั้นได้สมจริงมากยิ่งขึ้นขณะเกิดเหตุแผ่นดินไหว เนื่องจากอิฐก่อเป็นวัสดุที่มีวิธีการผลิตแตกต่างกันไปในแต่ละประเทศ ดังนั้นจึงไม่อาจใช้ข้อมูลและสมการการประเมินกำลังผนังอิฐก่อที่มีในมาตรฐานต่างประเทศได้โดยตรง งานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติผนังอิฐก่อเพื่อใช้ในการประเมินกำลังรับแรงทางด้านข้างของอาคาร ประกอบไปด้วยการสำรวจลักษณะรูปแบบการก่อสร้างผนังอิฐก่อที่ได้รับความนิยมในประเทศไทยสำหรับ อาคารขนาดเล็กและขนาดกลาง รวมถึงการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลได้แก่ กำลังรับแรงอัดของอิฐประเภทต่างๆ ได้แก่ อิฐมอญ อิฐบล็อก และอิฐมวลเบา กำลังรับแรงอัดของอิฐก่อที่มีการฉาบและไม่ฉาบปูนทั้งสองด้าน กำลังรับแรงอัดของปูนก่อและปูนฉาบ เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการประเมินกำลังรับแรงทางด้านข้างของอาคารภายใต้แรงแผ่นดินไหว

## 2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาหารูปแบบผนังอิฐก่อและลักษณะการก่ออิฐที่นิยมใช้ในอาคารขนาดเล็กและอาคารขนาดกลาง ในบริเวณจังหวัดที่อาจได้รับผลกระทบจากภัยแผ่นดินไหวในประเทศไทย
2. เพื่อศึกษากำลังรับแรงอัดของอิฐ ปูนก่อ และปูนฉาบ ประเภทต่างๆ ที่นิยมใช้ในการก่อสร้างอาคารในประเทศไทย
3. เพื่อศึกษาหาวิธีการประเมินกำลังของอิฐก่อ (Masonry) ที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการออกแบบอาคารภายใต้แผ่นดินไหว

## 3. วิธีการดำเนินการวิจัย

### 3.1. สำรวจเก็บข้อมูล

ในการศึกษานี้ ทางคณะผู้วิจัยได้ลงพื้นที่ เพื่อสำรวจลักษณะการก่อสร้างอาคารที่ใช้ผนังอิฐก่อ ในบริเวณกรุงเทพมหานคร และพื้นที่ในบริเวณที่มีความเสี่ยงสูงจากภัยแผ่นดินไหว ได้แก่ได้แก่ อ.เมืองตาก จ.ตาก และเขตพื้นที่ ตำบลแม่ลาว ตำบลปากอคำ และ อ.เมืองเชียงราย จังหวัดเชียงราย ซึ่งกลุ่มอาคารที่ได้สำรวจมีตั้งแต่อาคารที่พักอาศัย โรงเรียน และอาคารพาณิชย์ ขั้นตอนการสำรวจประกอบด้วย การเก็บลักษณะภาพรวมของอาคาร มิติที่สำคัญต่างๆ อาทิ ความสูง ช่วงเสา ฯลฯ การเก็บลักษณะการก่อสร้างผนังได้แก่ ประเภทอิฐ ความหนาปูนก่อ ปูนฉาบ การใช้เสาเอ็น คานเอ็น และการสอบถามข้อมูลวิธีการก่อสร้างผนังจากช่างท้องถิ่นที่พบ นอกจากนี้การตรวจสอบสถานที่ก่อสร้าง ทางคณะผู้สำรวจยังได้ทำการรวบรวมแบบอาคารที่ใช้ในการขออนุญาตก่อสร้าง ที่เทศบาลตำบลปากอคำและเทศบาลดงมาดะ ย้อนหลังตั้งแต่ปี 2553 จนถึงปี 2558 ลักษณะการก่อสร้างอาคารและการใช้ผนังอิฐก่อสามารถสรุปได้ในตารางที่ 1

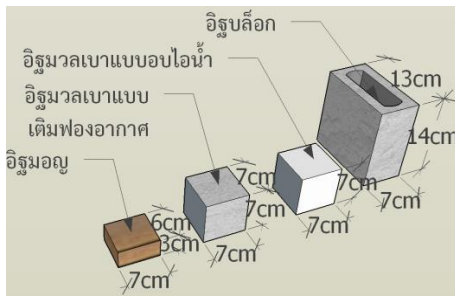


ตารางที่ 1 : สรุปผลจากการสำรวจ

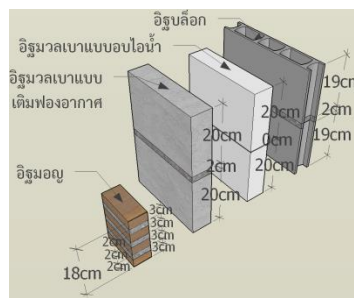
หัวข้อ	ผลที่ได้จากการสำรวจ
ประเภทอิฐที่ได้รับความนิยม	- อิฐมอญมือต้น ขนาด 14x6x4 ซม. - อิฐมอญใหญ่ ขนาด 19x9x6 ซม. - อิฐบล็อก ขนาด 39x19x7 ซม. - อิฐมวลเบาแบบอบไอน้ำ (ACC) ขนาด 60x20x7 ซม.
ความยาวจากเสาถึงเสา	3 และ 4 เมตร
ความสูงจากพื้นถึงท้องพื้นชั้นบน	3 เมตร
ขนาดและหน้าตัดเหล็กเสาเอ็น	ขนาด 15-20 ซม. 2-RB6 เหล็กปลอก RB6@15 ซม.
ขนาดและหน้าตัดและเหล็กคานทับหลัง	ขนาด 10-20 ซม. 2-RB6 เหล็กปลอก RB6@15 ซม.
ขนาดและระยะห่างเหล็กหนวดกุ้ง	RB6 ระยะห่างขึ้นอยู่กับประเภทอิฐ -อิฐมอญและอิฐบล็อก ชั้นแรกห่าง 20 ซม.จากพื้น ชั้นถัดไป 40 ซม. -อิฐบล็อกตันเล็ก ชั้นแรกห่าง 25 ซม. ชั้นถัดไป 50 ซม. (กล่าวคือ ชั้นแรกเว้นเท่าไหร่ ชั้นถัดๆไปจะคูณ2ของชั้นแรก)
ระยะฝังเหล็กหนวดกุ้งในเสา	เหล็กยาว 50 ซม. ฝังในเสา 10 ซม. โผล่ 40 ซม. (เฉพาะที่ จ.เชียงราย จะใช้น้ำยาEpoxy ปูนกาว weber ทาบริเวณระยะฝัง)
ความหนาปูนก่อ (แนวตั้ง/แนวราบ)	แนวตั้ง 1-2 ซม. / แนวราบ 2-3 ซม.
ความหนาปูนฉาบ	2-3 ซม.
อัตราส่วนผสมปูนก่อ	ทรายหยาบ 8-12 ถัง / ปูน 1 ลูก
อัตราส่วนผสมปูนฉาบ	ทรายละเอียด 12-15 ถัง / ปูน 1 ลูก

### 3.2. การทดสอบคุณสมบัติวัสดุผนังอิฐก่อ

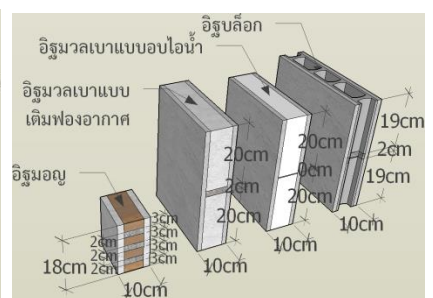
หลังจากการลงสำรวจสถานที่ก่อสร้างตามพื้นที่ต่างๆที่ได้กล่าวมาข้างต้น จากข้อมูลที่ได้มาเป็นแนวทางกำหนดตัวอย่างในการทดสอบคุณสมบัติของผนังอิฐก่อในห้องปฏิบัติการ โดยมีการทดสอบอิฐทั้งหมด 5 ประเภท คือ อิฐมอญต้นมือ อิฐบล็อก อิฐมวลเบาแบบอบไอน้ำ (ACC) และอิฐมวลเบาแบบเติมฟองอากาศ (CLC) ซึ่งรูปแบบการทดสอบ ได้แก่ การทดสอบกำลังรับแรงอัดของอิฐ เรียกว่าการทดสอบ แบบ Dimension Stone โดยมีการทดสอบซ้ำ 5 ตัวอย่างต่อประเภท การทดสอบกำลังรับแรงของปริซึมอิฐก่อ (Masonry Prism) การทดสอบแยกออกเป็นปริซึมอิฐก่อที่ไม่มีการฉาบปูนและปริซึมอิฐก่อที่มีการฉาบปูนฉาบทั้งสองด้าน ปูนที่ใช้ทำการทดสอบแยกออกเป็น 2 ประเภทคือปูนสำเร็จรูปและปูนผสมมือ ยกเว้นอิฐ ACC ที่มีปูนสำเร็จเพียงประเภทเดียว ทำการทดสอบซ้ำ 3 ตัวอย่างต่อประเภท จำนวนตัวอย่างทดสอบทั้งหมดของปริซึมอิฐก่อรวมทั้งสิ้น 42 ตัวอย่าง จำนวนตัวอย่างทดสอบของปูนก่อและปูนฉาบรวมทั้งสิ้น 36 ตัวอย่าง มาตรฐานการทดสอบที่ใช้อ้างอิงตาม ASTM [3,4,5] รูปแบบตัวอย่างทดสอบอิฐและอิฐก่อทั้งสามแบบแสดงในรูปที่ 1 และ 2



Dimension Stone



Masonry Prism

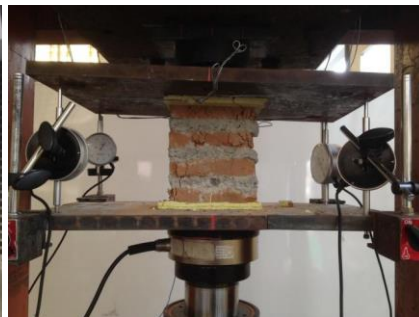


Masonry Prism with Plaster

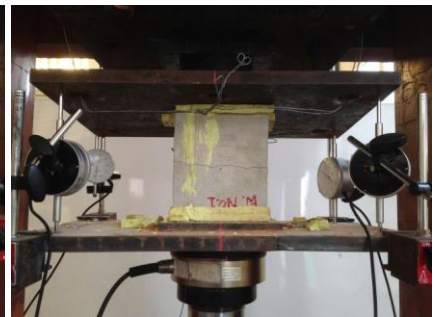
รูปที่ 1: รูปแบบตัวอย่างทดสอบประเภทต่างๆ



Dimension Stone



Masonry Prism



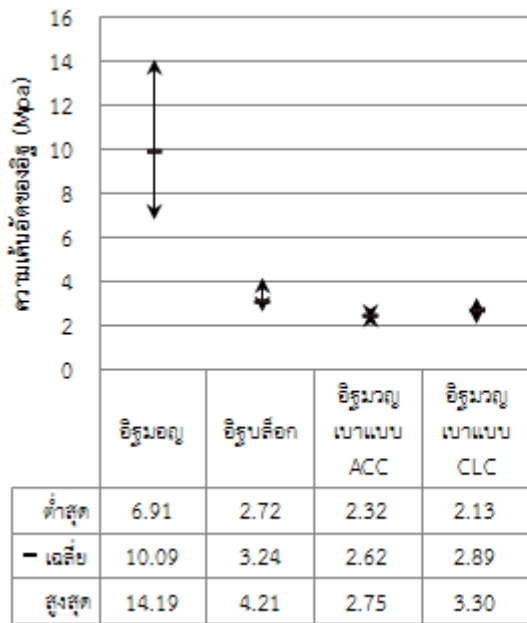
Masonry Prism with Plaster

รูปที่ 2: รูปแบบการทดสอบตัวอย่างทดสอบประเภทต่างๆ

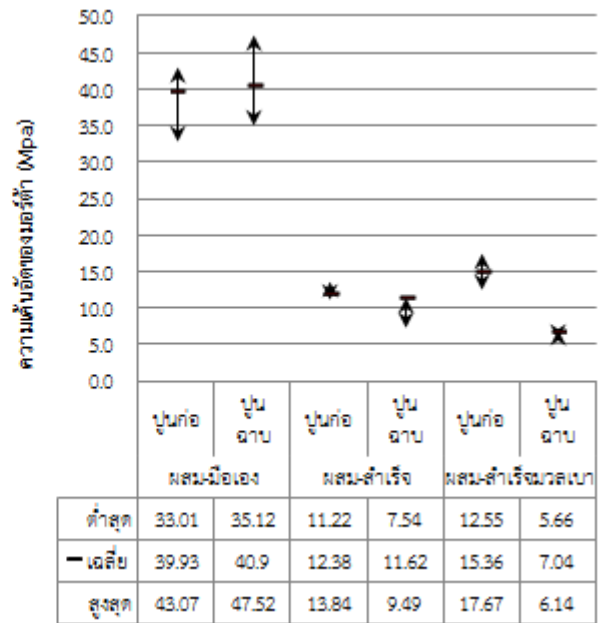
## 5. ผลการทดสอบ

### 5.1. ผลการทดสอบคุณสมบัติต่างๆของผนังอิฐก่อ

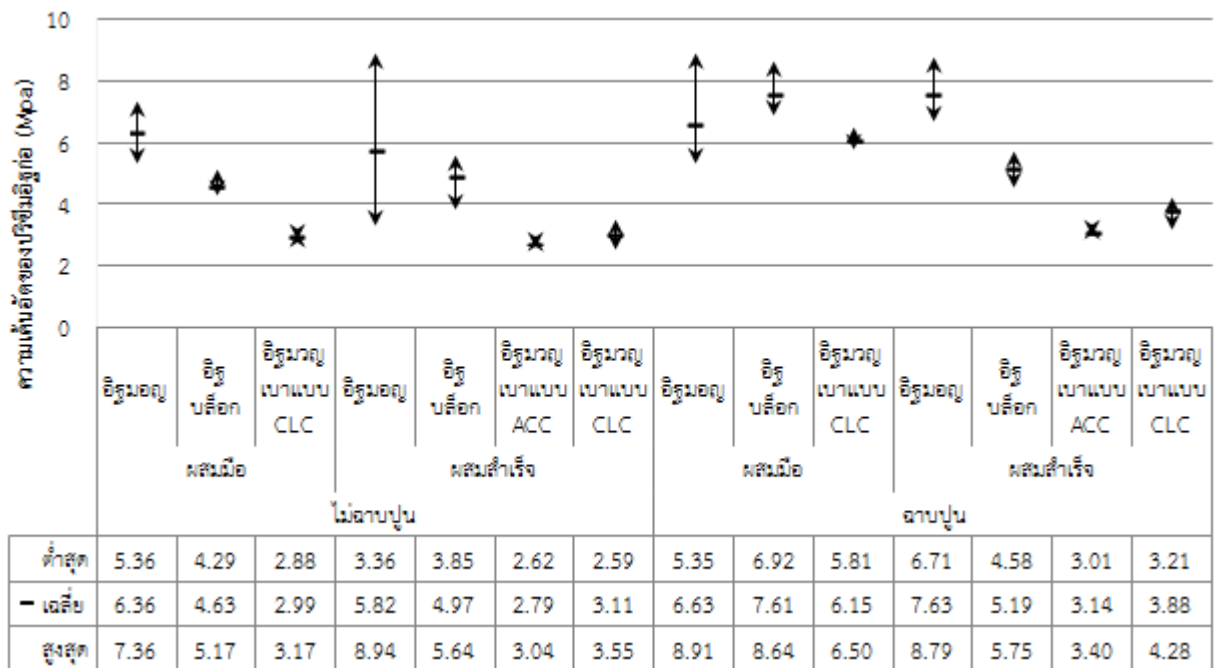
ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของอิฐและปูนก่อปูนฉาบ แสดงในรูปที่ 2 ถึง 3 จากรูปจะเห็นว่าค่ากำลังอัดของอิฐมอญมีค่าสูง เนื่องจากตัวอย่างทดสอบมีขนาดเล็กมีการวิบัติแบบ Crushing แต่มีความผันผวนของกำลังสูงที่สุดเนื่องจากทำจากวัสดุธรรมชาติ กำลังรับแรงอัดของปูนก่อผสมมือจะมีค่าสูงกว่าปูนสำเร็จรูป เนื่องจากปูนที่ใช้ผสมมืออาจมีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์สูงกว่าปูนก่อฉาบสำเร็จรูป กำลังอัดของอิฐก่อที่ได้จากการทดสอบแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 3: กำลังอัดของอิฐประเภทต่างๆ



รูปที่ 4: กำลังอัดของมอร์ต้าประเภทต่างๆ

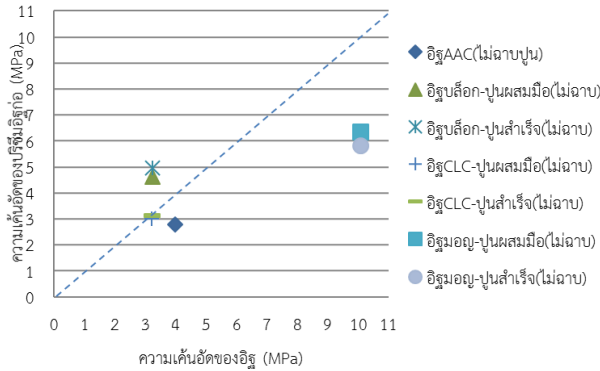


รูปที่ 5: กำลังอัดของอิฐก่อประเภทต่างๆ

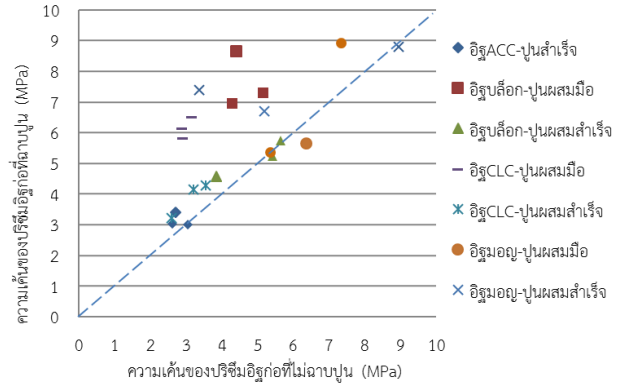
เมื่อนำผลกำลังอัดของอิฐเปรียบเทียบกับกำลังอัดของปริซึมอิฐก่อจะได้ผลดังรูปที่ 6 ซึ่งพบว่ากำลังอัดของอิฐก่อโดยมากจะมีกำลังที่น้อยกว่ากำลังอัดของอิฐ ทั้งนี้เนื่องจากลักษณะของรูปทรงอิฐก่อที่สามารถทำให้เกิดการวิบัติในรูปแบบ Splitting ได้ และมีอิทธิพลของความละเอียดที่มากขึ้น ทั้งนี้ยกเว้นในส่วนของอิฐบล็อกที่มีกำลังอัดของอิฐก่อมากกว่ากำลังอัดของอิฐ สาเหตุเนื่องจากปูนก่อที่ไปปิดทับบริเวณรูกลวงของอิฐทำให้สามารถรับแรงได้เต็มที่ในหน้าตัด ในส่วนอิทธิพลของการฉาบปูนแสดงในรูปที่ 7 จะเห็นได้ว่าเมื่อมีการฉาบปูนจะทำให้



กำลังอัดของอิฐก่อมีค่าสูงชันอย่างมาก โดยในบางกรณีอาจจะมีกำลังอัดสูงชันมากกว่าสองเท่าตัว ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการฉาบจะเป็นตัวแปรที่สำคัญในการกำหนดกำลังอัดของอิฐก่อ และจะต้องได้รับการพิจารณาอย่างเหมาะสม ในการที่จะประมาณกำลังอัดของอิฐก่อให้ถูกต้อง



รูปที่ 6: ความสัมพันธ์กำลังอัดของอิฐและอิฐก่อ



รูปที่ 7: อิทธิพลของการฉาบ

### 5.3. การประมาณกำลังของอิฐก่อที่ไม่มีปูนฉาบ (Masonry Prism without Plaster)

ในการใช้งานจริงจะเป็นการยากที่วิศวกรจะมีข้อมูลกำลังของอิฐก่อเนื่องจากการก่อสร้างที่หน้างาน โดยส่วนมากในการก่อสร้างจะสามารถหาข้อมูลได้เพียงกำลังองค์ประกอบต่างของผนังอิฐก่อ ได้แก่ กำลังรับแรงอัดของอิฐ และกำลังรับแรงอัดของปูนก่อ ดังนั้นจึงได้มีการพยายามศึกษาหาวิธีการประเมินกำลังผนังอิฐก่อจากกำลังของอิฐและปูนก่อ สมการประมาณกำลังอัดของผนังอิฐก่อจากกำลังอัดขององค์ประกอบที่เป็นที่รู้จักได้แก่สมการของ Dayaratnam (1987) [6] แสดงในสมการที่ (1) สมการของ Paulay and Priesly (1992) [7] แสดงอยู่ในสมการที่ (2) สมการของมาตรฐานของสหภาพยุโรป CEN (1996) [8] แสดงในสมการที่ (3) สมการของมาตรฐานประเทศสหรัฐอเมริกา MSJC (2002) [9] แสดงในสมการที่ (4) และสมการของ Kaushik และคณะ (2007) [2] แสดงอยู่ในสมการที่ (5) ดังนี้

$$f'_m = 0.275 f_b^{0.5} f_j^{0.5} \quad (1)$$

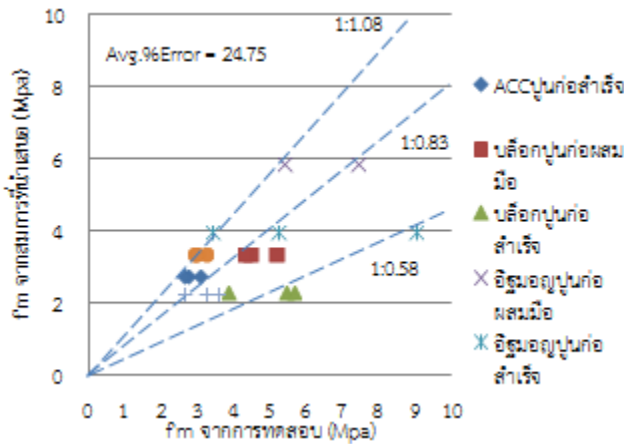
$$f'_m = \frac{f_b (f_{ib} + \alpha f_j)}{u_u (f_{ib} + \alpha f_b)} \quad (2)$$

$$f'_m = 0.6 f_b^{0.65} f_j^{0.25} \quad (3)$$

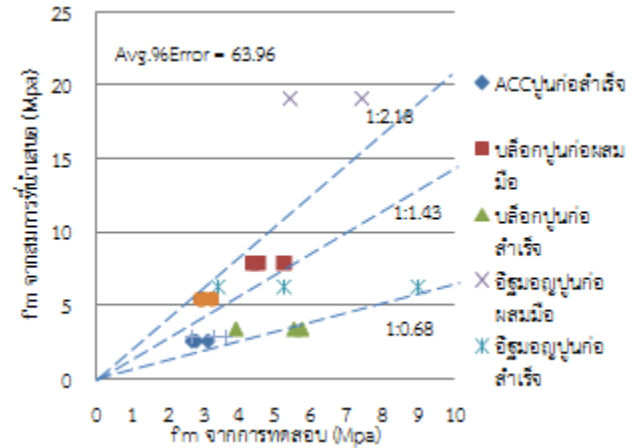
$$f'_m = 3.2 + 0.2 f_b \quad (4)$$

$$f'_m = 0.63 f_b^{0.49} f_j^{0.32} \quad (5)$$

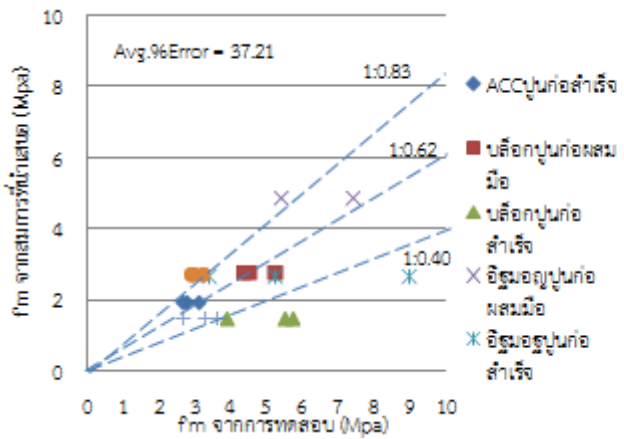
โดยที่  $f'_m$  คือ ความดันอัดของอิฐก่อ  $f_b$  คือความดันอัดของอิฐ  $f_j$  คือความดันอัดของมอร์ต้า และ  $f_{ib}$  คือความดันดึงของอิฐ ในหน่วย MPa ในสมการที่ (2) ตัวประกอบ  $\alpha$  หาได้จาก  $j/1.4h$  โดยที่  $j$  คือความหนาของปูนก่อ และ  $h$  คือหนาของอิฐก่อ หน่วยเป็นเมตร และ  $u_u$  เป็นค่าคงที่เท่ากับ 1.5 เมื่อนำสมการข้างต้นมาประเมินกำลังอัดของปริซึมอิฐก่อในการศึกษานี้ เปรียบกับผลกำลังอัดที่ได้จากทดสอบ ได้ผลดังรูปที่ 8 ถึงรูป 12



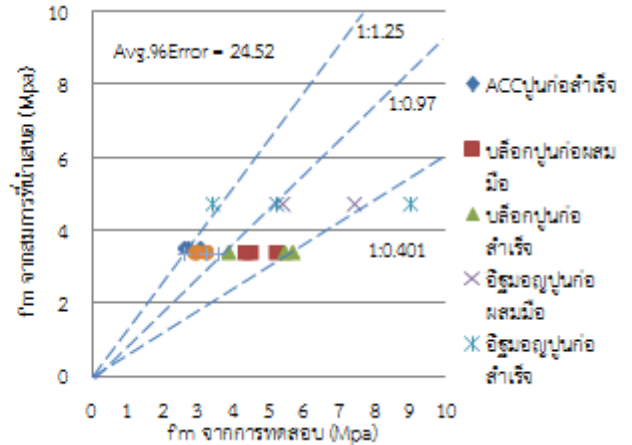
รูปที่ 8: การประมาณกำลังอัดด้วยสมการของ Kaushik และคณะ (2007)



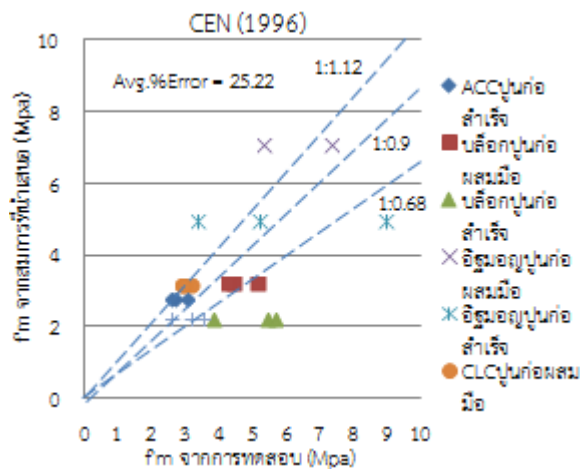
รูปที่ 9: การประมาณกำลังอัดด้วยสมการของ Paulay and Priestly (1992)



รูปที่ 10: การประมาณกำลังอัดด้วยสมการของ Dayaratnam (1987)



รูปที่ 11: การประมาณกำลังอัดด้วยสมการของ MSJC (2002)



รูปที่ 12: เปรียบเทียบโดยสมการของ CEN (1996)



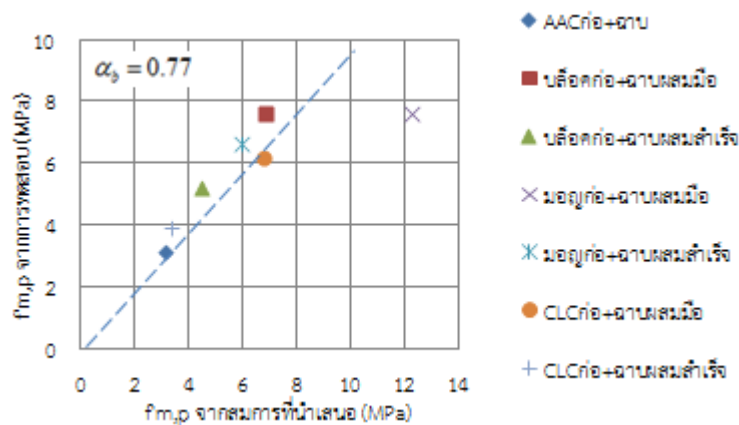
จะเห็นได้ว่าสมการที่แนะนำเสนอโดย MSJC (2002) CEN (1996) และของ Kaushik และคณะ (2007) นั้นให้ผลใกล้เคียงกัน โดยมีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยที่ประมาณร้อยละ 25 โดยที่สมการของ CEN (1996) จะมีความเบี่ยงเบนที่น้อยที่สุด ดังนั้นสมการ CEN (1996) จึงมีความเหมาะสมที่จะนำมาประเมินกำลังของอิฐก่อที่ไม่มีการฉาบ

#### 5.4. การประมาณกำลังของอิฐก่อที่มีปูนฉาบ

จากที่ได้กล่าวไปข้างต้น การฉาบปูนจะมีอิทธิพลต่อกำลังอัดอย่างมาก การศึกษาที่ผ่านมาส่วนมากจะเน้นการหาทดสอบและประมาณกำลังอัดของอิฐก่อที่ไม่มีการฉาบปูน การนำสมการที่ 1 ถึง 5 มาใช้กับผนังอิฐในประเทศไทยที่นิยมฉาบปูน จะทำให้ค่าที่ได้ผิดพลาดไป ดังนั้นในการศึกษานี้จึงเสนอให้ประมาณกำลังของผนังอิฐก่อที่มีการฉาบ โดยใช้ผลกำลังของอิฐก่อที่ยังไม่มีการฉาบ มาคำนวณโดยพิจารณาถึงความหนา และกำลังของปูนฉาบ ในการศึกษานี้จึงเสนอสมการประมาณกำลังอัดของผนังอิฐก่อที่มีการฉาบ ดังนี้

$$f'_{m,p} = \frac{f'_m t_m + f'_p \alpha_a \alpha_b t_p}{t_m + t_p} \quad (6)$$

โดยที่  $f'_{m,p}$  คือ กำลังอัดของอิฐก่อที่มีการฉาบ  $f'_p$  คือ กำลังอัดของปูนฉาบ  $t_m$  คือ ความกว้างของอิฐก่อ  $t_p$  คือ ความหนาของปูนฉาบ 2 ด้าน  $\alpha_a$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์ปรับค่าความเค้นในปูนฉาบที่จุดวิกฤติของอิฐก่อ โดยที่มีค่าเท่ากับ 0.9 สำหรับอิฐมอญและอิฐมวลเบาแบบอบไอน้ำมีค่า 0.62 สำหรับอิฐมวลเบาแบบเติมฟองอากาศ และ 0.43 สำหรับอิฐบล็อก  $\alpha_b$  คือค่าสัมประสิทธิ์ปรับแก้กำลังอัดของปูนก่อและปูนฉาบเนื่องลักษณะการบ่มในโรงงาน โดยการบ่มแบบชุ่มน้ำตลอด 28 วันมีค่าเท่ากับ 1 และบ่มในอากาศตลอด 28 วันมีค่าเท่ากับ 0.66 [10] เมื่อนำสมการข้างต้นมาใช้ประมาณกำลังอิฐก่อที่มีการฉาบเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทดสอบ จะได้ดังรูปที่ 13 โดยที่มีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยที่ประมาณร้อยละ 16%



รูปที่ 13: ความสัมพันธ์ความเค้นอัดอิฐก่อระหว่างผลการทดสอบและสมการประเมินกำลัง

## 6. สรุปผล

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการหาค่ากำลังอัดของผนังอิฐก่อสำหรับใช้ประกอบการประเมินกำลังอาคารภายใต้แรงแผ่นดินไหว ซึ่งเริ่มจากการลงสำรวจอาคารในพื้นที่จริงและนำข้อมูลลักษณะการใช้อิฐก่อมาทำเป็นตัวอย่างทดสอบในห้องปฏิบัติการ ผลการศึกษาสามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. อิฐที่ได้รับความนิยมสูงสุดได้แก่ อิฐมอญ อิฐบล็อก อิฐมวลเบาแบบอบไอน้ำ (AAC) อิฐมวลเบาแบบเติมฟองอากาศ (CLC) ตามลำดับ





2. กำลังอัดของอิฐก่อมีค่า 3-8 MPa ขึ้นกับประเภทของอิฐ ประเภทปูนก่อ และที่สำคัญคือการฉาบ ที่ทำให้กำลังเปลี่ยนแปลงได้กว่าเท่าตัว

3. กำลังอัดของอิฐก่อ สามารถประมาณได้จากกำลังอัดของอิฐ และปูนก่อ โดยสมการประเมินกำลังอิฐก่อที่ไม่มีการฉาบที่ให้ผลใกล้เคียงกับผลทดสอบและมีความแปรปรวนในระดับที่ยอมรับได้ คือสมการของ Eurocode6 CEN (1996)

4. กำลังอัดของอิฐก่อที่มีการฉาบ สามารถประมาณได้จากกำลังอัดของอิฐก่อที่ยังไม่ฉาบ กำลังปูนฉาบ และความหนาของปูนฉาบ โดยสมการที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ ให้ผลที่ใกล้เคียงกับผลการทดสอบ

## 7. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ที่ได้สนับสนุนทุนภายใต้โครงการลดภัยพิบัติจากแผ่นดินไหวในประเทศไทย (ระยะที่ 4) โครงการย่อย พฤติกรรมและการเสริมกำลังอาคารที่ใช้ผนังอิฐก่อและอาคารที่ไม่มีการออกแบบทางวิศวกรรม

## 8. บรรณานุกรม

- [1] ชนิภา เนตรรัตน์, 2556, “การประเมินพฤติกรรมของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กภายใต้แรงแผ่นดินไหวโดยพิจารณาผลของผนังอิฐก่อ”, วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [2] Kaushik, H. B., Rai, D.C, and Jain, S.K. (2007), “Stress-strain characteristics of clay brick masonry under uniaxial compression.”, Journal of Materials in Civil Engineering 19(9).
- [3] ASTM, 2014, Standard Test Method for Compressive Strength of Masonry Prism, ASTM C1314-14, Annual Book of ASTM Standards, Philadelphia
- [4] ASTM, 2016, Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars, ASTM C109/ C109M-16a, Annual Book of ASTM Standards, Philadelphia
- [5] ASTM, 2014, Standard Practice for Capping Concrete Masonry Units, Related Units and Masonry Prisms for Compression Testing, ASTM C1552-14a, Annual Book of ASTM Standards, Philadelphia
- [6] Dayaratnam, P. (1987). Brick and reinforced brick structures, Oxford and IBN, New Delhi, India.
- [7] Paulay, T. and Priestley, M. (1992). Seismic design of reinforced concrete and masonry buildings. New York: Wiley.
- [8] European Committee of Standardization (CEN). (1996). “Design of masonry structures. Part 1-1: General rules for building –Reinforced and unreinforced masonry.” ENV 1996-1-1, Eurocode 6 , Brussels, Belgium.
- [9] Masonry Standards Joint Committee (MSJC). (2002). Building code requirements for masonry structures, ACI 530-02/ASCE 5-02/TMS 402-02, American Concrete Institute, Structural Engineering Institute of the American Society of Civil Engineers, The Masonry Society, Detroit.
- [10] FEMA 306, Evaluation of Earthquake Damaged Concrete and Masonry Wall Building, Basic Procedures Manual, Washington, D.C.