

## บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

โดยทั่วไปการออกแบบระบบโครงสร้าง ในประเทศจะให้รับน้ำหนักบรรทุกจากแรงโน้มถ่วง (Gravity Load) เป็นหลัก โดยไม่ได้พิจารณาการออกแบบเพื่อต้านทานแรงแผ่นดินไหว ดังนั้นระบบโครงสร้างจึงอาจมีลักษณะที่มีปัจจัยเสี่ยงต่อแผ่นดินไหว ในรูปแบบต่างๆ เช่น มีลักษณะชั้นอ่อน (Soft Story) โดยเฉพาะในชั้นล่าง เนื่องจากชั้นล่างมีลักษณะเปิดโล่ง หรือมีกำแพงอิฐก่อที่ก่อไม่เต็มช่องผนังมาค้ำด้านข้าง เหล่านี้เป็นต้น

นอกจากนี้โครงสร้างของอาคารมากมายทั้งในอดีตและปัจจุบันนิยมใช้ผนังอิฐก่อร่วมกับโครงสร้างหลักของอาคาร เนื่องจากก่อสร้างได้ง่าย มีราคาไม่แพง เป็นวัสดุภายในท้องถิ่นซึ่งหาได้ง่าย มีความสวยงามทางสถาปัตยกรรม เป็นต้น อย่างไรก็ตามถ้าพิจารณาในแง่การออกแบบโครงสร้าง ผนังอิฐก่อไม่ได้เป็นโครงสร้างที่รับแรงใด ๆ เหมือนดังเช่น เสา คาน ผนัง ผนังรับแรงเฉือน ผนังอิฐก่อเป็นเพียงน้ำหนักบรรทุกทุกครั้งที่ชนิดหนึ่งในการออกแบบโครงสร้างเท่านั้น แต่จากการศึกษาจากเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นจริง การทดสอบในห้องปฏิบัติการ และการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ พบว่าโครงสร้างที่มีผนังอิฐก่อและไม่ผนังอิฐก่อ (Masonry Infilled Walls) จะมีพฤติกรรมของโครงสร้างที่แตกต่างกัน งานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้องกับการศึกษานี้ สามารถสรุปได้ดังนี้

### 2.1 ลักษณะโครงสร้างตึกแถวในประเทศไทย

ปี พ.ศ.2554 อภิชาติ รักษา [1] ทำการศึกษาเรื่องการออกแบบอาคารเพื่อต้านทานแผ่นดินไหวในระดับความรุนแรงต่างๆ ในพื้นที่ประเทศไทย โดยทำการเก็บรวบรวมข้อมูลอาคารตึกแถว ประเภทอาคารพาณิชย์ และ/หรือ ที่พักอาศัยที่มีการใช้งานทั่วไปในเขตกรุงเทพมหานครและจังหวัดอื่นๆ ซึ่งมีลักษณะทั่วไปเป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก ความสูงโดยประมาณ 3-4 ชั้น มีลักษณะเป็นคูหาหลายๆ คูหาเรียงติดต่อกัน อาคารลักษณะนี้มีรูปแบบระบบโครงสร้างทั่วไปเป็นแบบ โครงคาน-เสา (Beam – Column Frame) ผนังอาคารเป็นแผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จหนา 5-10 ซม. ยกเว้นพื้นห้องน้ำเป็นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อในที่ ในแต่ละคูหาจะมีการก่อกำแพงอิฐครึ่งแผ่นสามด้าน ยกเว้นด้านหน้าและด้านหลังอาคารที่มีมีการเจาะช่องหน้าต่างและประตูบางส่วน การศึกษาซึ่งได้รวบรวมข้อมูลอาคารที่มีความสูง 4 ชั้น มีลักษณะใกล้เคียงทั้งหมด 16 อาคาร พบว่าอาคารดังกล่าวมีปัจจัยเสี่ยงต่อแผ่นดินไหว ในรูปแบบต่างๆ เช่น มีลักษณะชั้นอ่อน (Soft Story) โดยเฉพาะในชั้นล่าง เนื่องจากชั้นล่างมีลักษณะเปิดโล่ง หรือความสูงของเสาชั้นล่างสูงมากเป็นพิเศษเมื่อเทียบกับชั้นถัดไป มีลักษณะความไม่สม่ำเสมอในผังอาคาร (Plan Irregularity) เนื่องจากผนังอิฐก่อ หรือมีกำแพงอิฐก่อที่ก่อไม่เต็ม

ช่องผนังมาค้ำด้านข้าง ข้อมูลที่รวบรวมโดย อภิชาติ รักษา [1] จะนำมาใช้ในการกำหนดรูปแบบอาคารต้นแบบโดยมีรายละเอียดในบทที่ 3

## 2.2 พฤติกรรมของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีผนังอิฐก่อ

ผนังอิฐก่อเป็นสิ่งก่อสร้างพื้นฐานที่นิยมใช้อย่างทั่วไป ในอดีตที่ผ่านมามีการก่อสร้างโครงสร้างผนังอิฐก่อมากมายโดยปราศจากข้อมูลจากการศึกษาวิจัย และการออกแบบที่ถูกต้องอย่างเพียงพอ พฤติกรรมของผนังอิฐก่อ มีส่วนช่วยให้โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กมีความแข็งแรง (Strength) ค่าสติฟเนส (Stiffness) และความสามารถในการต้านทานแผ่นดินไหว แต่ในขณะเดียวกัน อาจจะทำให้เกิดปฏิสัมพันธ์ที่ทำให้รูปแบบการเสียรูปหรือการวิบัติที่เปลี่ยนไป

ปี ค.ศ.1996 Merhrabi และคณะ [2] ได้ทำการสรุปรูปแบบการวิบัติของโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีผนังอิฐก่อ โดยทำการทดสอบโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมด้วยการให้แรงแบบทิศทางเดียว (Monotonic) และแบบวัฏจักร (Cyclic) เพื่อสังเกตการเพิ่มขึ้นของกำลังและสติฟเนสเนื่องจากผนังอิฐก่อ โครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กที่ทำการทดสอบมีสองประเภทคือ โครงข้อแข็ง ที่ไม่มีการออกแบบรับแรงแผ่นดินไหว และโครงข้อแข็งที่ออกแบบรับแรงแผ่นดินไหว ผลการทดสอบตัวอย่างภายใต้แรงแบบทิศทางเดียว พบว่าโครงข้อแข็งที่มีผนังอิฐก่อจะมีสติฟเนสมากขึ้น และสามารถรับแรงด้านข้างได้มากขึ้น การเคลื่อนตัวด้านข้างจะลดน้อยลง ความสัมพันธ์ระหว่างแรงด้านข้างและการเคลื่อนที่ด้านข้างเมื่อรับแรงทางเดียว แสดงในรูปที่ 2.2-1 และนอกจากนี้ยังพบว่ากำแพงอิฐก่อส่งผลให้รูปแบบการวิบัติของโครงข้อแข็งเปลี่ยนไป Mehrabi et al [2] ได้ทำการสรุปรูปแบบการวิบัติหลักไว้ดังรูปที่ 2.2-2 ดังนี้

**แบบ A** คือ การวิบัติเนื่องจากแรงคัดล้วน โดยเกิดการคัดทั้งโครงอาคารและผนังอิฐก่อ พฤติกรรมนี้ปรากฏขึ้นเมื่อโครงอาคารกับผนังอิฐก่อไม่เกิดการแยกตัว การวิบัติลักษณะนี้เกิดขึ้นได้น้อยมาก ยกเว้นในโครงอาคารที่มีความชะลูดมากและมีเหล็กเสริมรับแรงคัดที่น้อยมาก

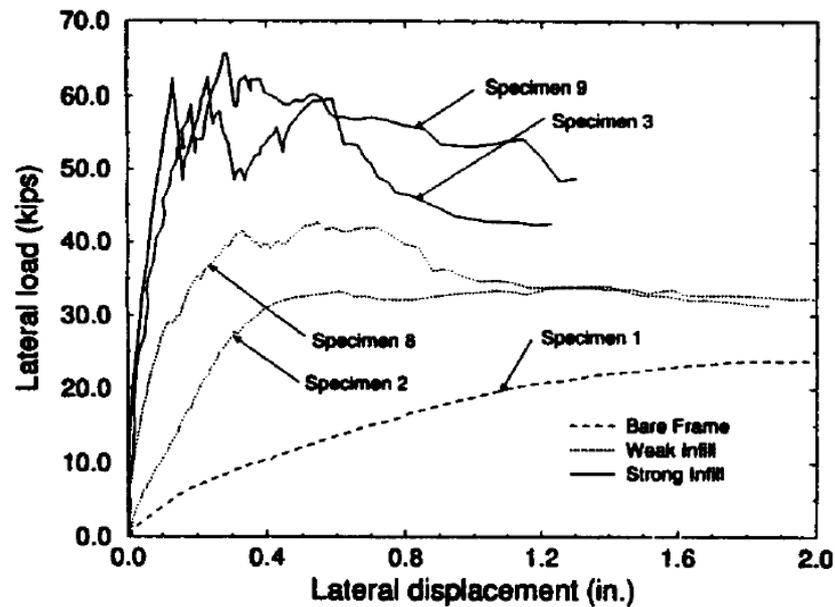
**แบบ B** คือ การวิบัติที่ปรากฏรอยร้าวลื่นไถลในแนวนอน (Horizontal sliding crack) ที่ระดับความสูงบริเวณกึ่งกลางของผนังอิฐก่อ ทำให้เกิดรูปการวิบัติแบบเสาสั้นและไม่เป็นที่ต้องการ

**แบบ C** คือ เกิดรอยร้าวในแนวทแยงมุม และบางครั้งจะเกิดรอยร้าวในแนวนอนที่กึ่งกลางผนังอิฐก่อร่วมด้วย ในกรณีนี้ผนังอิฐก่อสามารถเกิดกลไกการค้ำยันในแนวทแยง (Diagonal strut mechanism) โดยในท้ายที่สุดสามารถเกิดการแตกหักขึ้นที่มุมของผนังอิฐก่อและเกิดจุดหมุนพลาสติก (Plastic hinge) หรือการวิบัติด้วยแรงเฉือนที่ชั้นส่วนโครงสร้าง

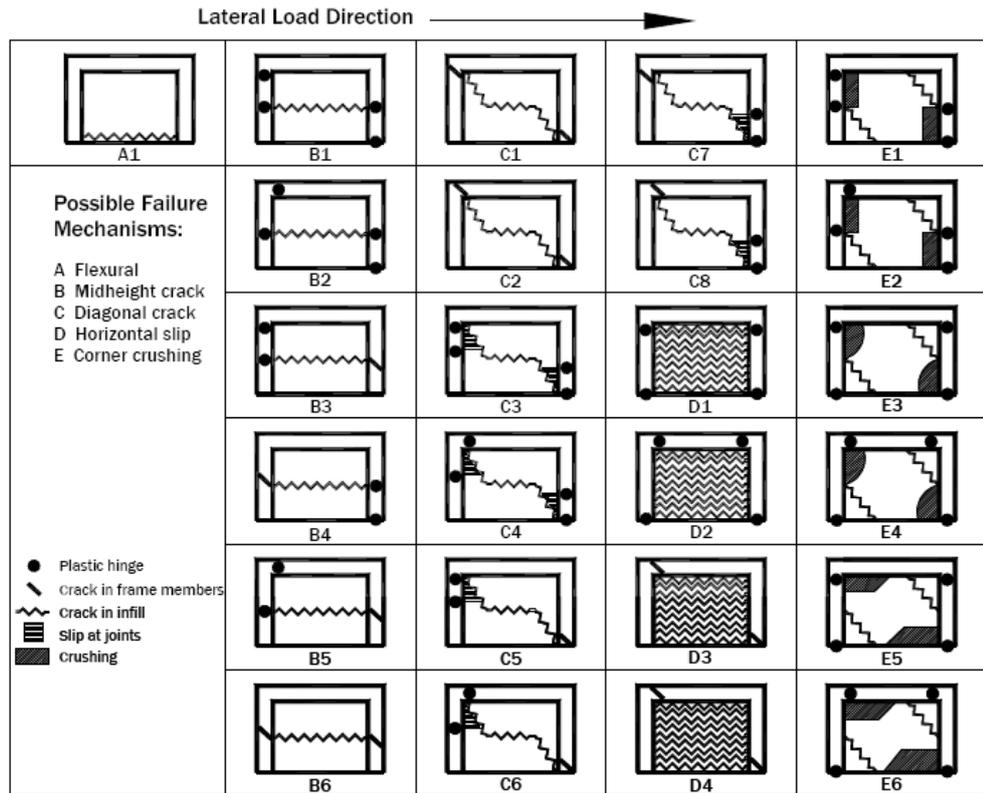
แบบ D คือ การวิบัติจากการลื่นไถลของรอยต่อหลาย ๆ รอยในแนวนอนของผนังอิฐก่อ ซึ่งมักเกิดขึ้นเพราะความไม่แข็งแรงของรอยต่อมอร์ตาร์ (Mortar joints) ในผนังอิฐก่อ

แบบ E คือ การแสดงกลไกการค้ำยันในแนวทแยง (Diagonal strut mechanism) อย่างชัดเจนของสองรอยร้าวที่ขนานกัน ซึ่งมักเกิดการแตกหักของผนังอิฐก่อที่มุม

จากการทดสอบ โครงข้อแข็งที่มีผนัง มีรูปแบบการวิบัติเป็นแบบการแตกร้าวในแนวทแยง (C7) การแยกในแนวนอนระหว่างรอยต่ออิฐ (D1) และแตกร้าวที่มุม (E3) และเกิดการเกิดจุดหมุนพลาสติกในโครงข้อแข็ง ในส่วน โครงข้อแข็งที่ไม่ได้ออกแบบให้รับแรง พบว่ารูปแบบการวิบัติของโครงข้อแข็งอ่อนผนังส่วนใหญ่เป็นการแตกร้าวแบบแนวทแยง (C7)



รูปที่ 2.2-1 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านข้างและการเคลื่อนตัวด้านข้าง [2]



รูปที่ 2.2-2 รูปแบบการวิบัติของโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีผนังอิฐก่อ  
ของ Merhrabi [2]

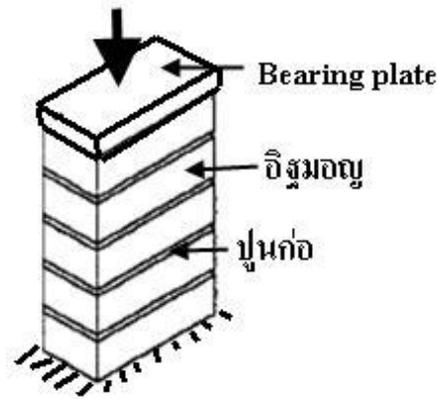
ถึงแม้ว่าการศึกษาที่ผ่านมาจะให้ข้อมูลเกี่ยวกับภาพรวมของพฤติกรรม โครงอาคารที่มีผนังอิฐก่อ แต่ผนังอิฐก่อมีคุณสมบัติที่หลากหลายขึ้นอยู่กับวิธีการผลิตในแต่ละประเทศ การประเมินอาคารในประเทศไทยจึงจำเป็นต้องอาศัยการศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติของอิฐก่อในประเทศไทย การศึกษาต่างๆ ที่เกี่ยวข้องมีดังต่อไปนี้

### 2.3 คุณสมบัติอิฐก่อในประเทศไทย

วัสดุที่ใช้ในการก่อผนังในแต่ละประเทศนั้นมีความแตกต่างกัน แม้แต่ภายในประเทศเดียวกันก็ยังมี การใช้วัสดุที่แตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ สำหรับงานวิจัยนี้ จะมุ่งเน้นเฉพาะผนังอิฐมอญของประเทศไทย ซึ่งเป็นวัสดุที่นิยมใช้ในประเทศ

ในปี พ.ศ.2553 เกริกฤทธิ พรหมดวง [4] ทดสอบ โครงอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีผนังอิฐก่อ ภายใต้แรงสลับทิศ พร้อมเก็บรวบรวมข้อมูลของอิฐมอญภายในประเทศ อิฐมอญแบบปกติทั่วไปมีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมมุมฉากตัน ไม่มีลวดลาย ทำมาจากดินเหนียวที่ผ่านการขึ้นรูปและอบให้แห้ง อิฐมอญที่ใช้ในการก่อสร้างโดยทั่วไปมีขนาดประมาณประมาณ 6 x 14 x 3 เซนติเมตร

ค่าหน่วยแรงอัดประลัยของปรีซีมอิฐก่อสามารถหาได้โดยทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM-C1314-07 [10] โดยการนำอิฐมอญจำนวน 5 ก้อน มาก่อเป็นแท่งปรีซีมดังแสดงในรูปที่ 2.3-1 จากนั้นนำไปกดทดสอบ เมื่ออายุ 28 วัน ซึ่งได้ผลดังที่แสดงในตารางที่ 2.3-1



รูปที่ 2.3-1 การทดสอบหน่วยแรงอัดของปรีซีมอิฐก่อ [10]

ตารางที่ 2.3-1 กำลังรับแรงอัดของปรีซีมอิฐก่อขนาดจริง [4]

ตัวอย่างที่	แรงอัด (kN)	พื้นที่รับแรง (cm <sup>2</sup> )	หน่วยแรงอัด (kN/cm <sup>2</sup> )	หน่วย แรงอัด (kg/cm <sup>2</sup> )
1	129	168	0.76	77.47
2	133	180	0.74	75.43
3	130	174	0.75	76.45
<b>เฉลี่ย</b>	<b>130</b>	<b>174</b>	<b>0.75</b>	<b>76.45</b>

การทดสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กแบบมีผนัง จำเป็นต้องพิจารณากำลังรับแรงอัดของมอร์ต้า 2 ส่วน คือ มอร์ต้าของปูนก่อ และมอร์ต้าของปูนที่ฉาบผนัง โดยมีอัตราส่วนระหว่างซีเมนต์และทราย เป็น 1:3 และ 1:2.75 ตามลำดับ อัตราส่วนนี้เป็นอัตราส่วนที่ใช้กันโดยทั่วไปในการก่ออิฐและฉาบปูน ในประเทศไทย เกริกฤทธิ พรหมดวง [4] ได้ทำการทดสอบลูกปูนมอาร์ท้าตามมาตรฐาน ASTM C109M-02 [11] ปรากฏผลดังแสดงในตารางที่ 2.3-2 และ ตารางที่ 2.3-3

ตารางที่ 2.3-2 กำลังรับแรงอัดของมอดาร์สำหรับก่อผนัง [4]

ตัวอย่างที่	แรงอัด (kN)	พื้นที่รับแรง (cm <sup>2</sup> )	หน่วยแรงอัด (kN/cm <sup>2</sup> )	หน่วย แรงอัด (kg/cm <sup>2</sup> )
1	33.53	25	1.34	136.72
2	31.98	25	1.28	130.40
3	32.82	25	1.31	133.84
<b>เฉลี่ย</b>	<b>32.77</b>	<b>25</b>	<b>1.31</b>	<b>133.65</b>

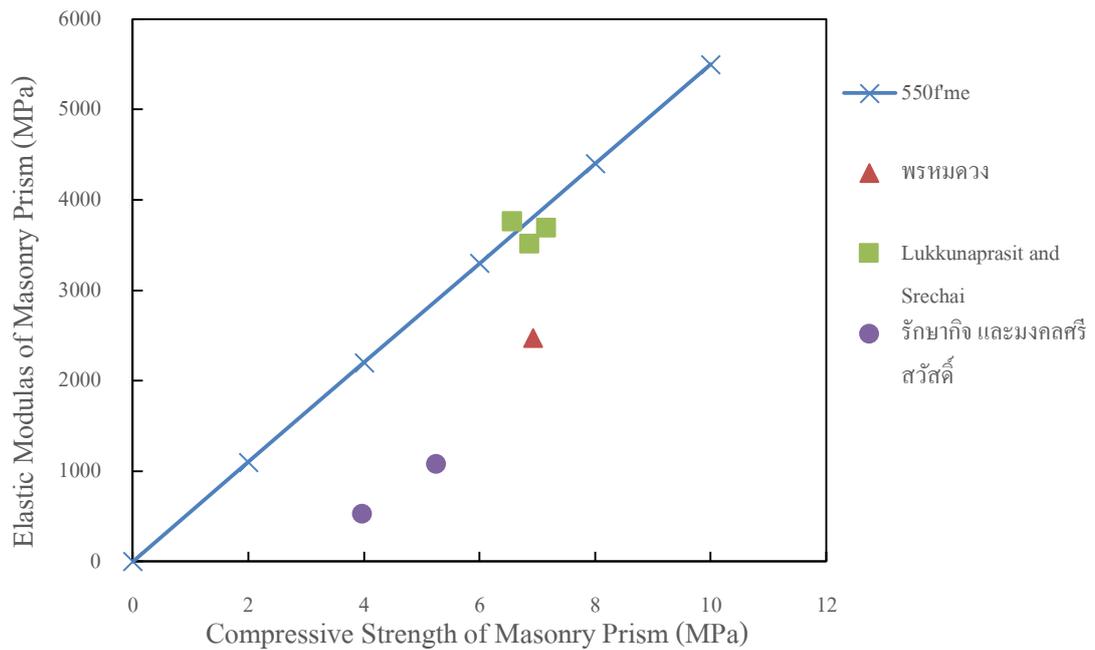
ตารางที่ 2.3-3 กำลังรับแรงอัดของมอดาร์สำหรับฉาบผนัง [4]

ตัวอย่างที่	แรงอัด (kN)	พื้นที่รับแรง (cm <sup>2</sup> )	หน่วยแรงอัด (kN/cm <sup>2</sup> )	หน่วย แรงอัด (kg/cm <sup>2</sup> )
1	17.91	25	0.72	73.02
2	18.09	25	0.72	73.80
3	18.54	25	0.74	75.60
<b>เฉลี่ย</b>	<b>18.18</b>	<b>25</b>	<b>0.73</b>	<b>74.14</b>

ในปี พ.ศ. 2556 ชนิภา เนตรรัตนะ [5] ได้ทำการรวบรวมข้อมูลคุณสมบัติของอิฐก่อไทย จากการศึกษาคุณสมบัติที่จำเป็นที่จะต้องใช้ในการสร้างแบบจำลองคือ ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของผนังอิฐก่อ ( $E_{me}$ ) และกำลังรับแรงอัดของผนังอิฐก่อ ( $f'_{me}$ ) ค่าทั้งสองได้มาจากการทดสอบปริซึมอิฐก่อ และจากการศึกษาข้อมูลเพิ่มเติม ค่าอิลาสติกโมดูลัสของปริซึมอิฐก่อสามารถประมาณค่าได้ตามวิธีของ FEMA356 [8] ในสมการ 2.1

$$E_m \approx 550f'_m \quad (2.1)$$

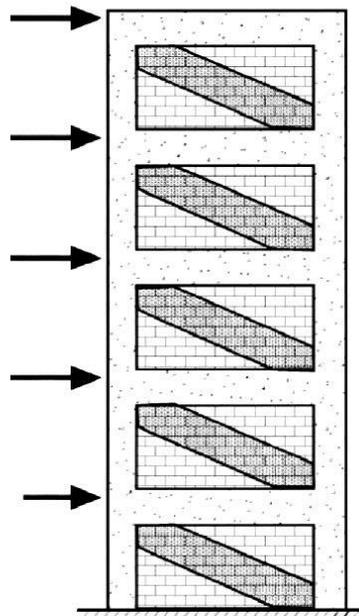
เมื่อนำค่าอิลาสติกโมดูลัสของปริซึมอิฐก่อและกำลังรับแรงอัดของปริซึมอิฐก่อจากผลการทดสอบของ พรหมดวง (2553) รักษากิจและมงคลศรีสวัสดิ์ (2553) Lukkunaprasit and Srechai (2012) มาเปรียบเทียบกับค่าประมาณค่าอิลาสติกโมดูลัสของปริซึมอิฐก่อด้วยสมการ 2.1 จะได้ผลดังรูปที่ 2.3-2



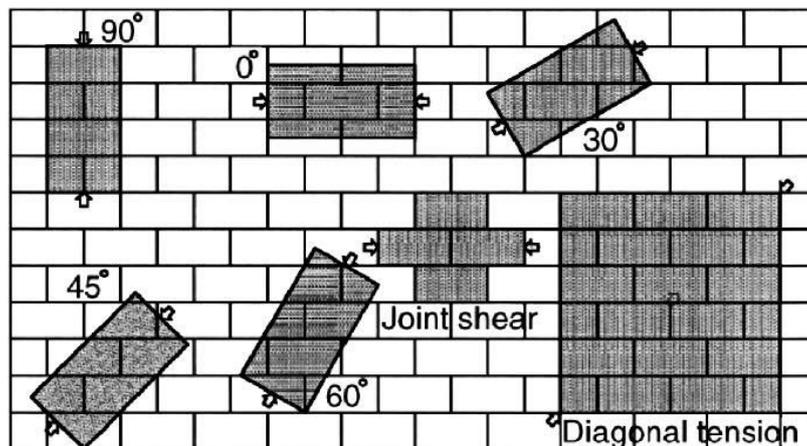
**รูปที่ 2.3-2** ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดของปริซึมอิฐก่อกับค่าอีลาสติค โมดูลัสของปริซึมอิฐก่อในประเทศไทย [5]

จากรูปจะเห็นว่าค่าอีลาสติค โมดูลัส (Elastic Modulus) ที่ได้จากสมการที่ 2.1 มีค่าที่ค่อนข้างสูงกว่าค่าที่ได้จากการทดสอบในประเทศ ยกเว้นค่าที่ได้จากการศึกษาของ Lukkunaprasit and Srechai

ในปี ค.ศ.2005 Hamid และคณะ [6] ทำการทดสอบผนังอิฐก่อโดยเสริมกำลังให้ผนังอิฐก่อเพื่อลดความเสียหายของผนังอิฐก่อเมื่อเกิดแผ่นดินไหว ผนังอิฐก่อในอาคารจะช่วยรับแรงด้านข้างและมีพฤติกรรมเหมือนค้ำยันแนวทแยงรับแรงด้านข้าง ดังรูปที่ 2.3-3 Hamid et al [6] จึงทำการทดสอบหาค่ากำลังอัดของอิฐก่อในทิศทางของการรับแรงที่แตกต่างกันแสดงในรูปที่ 2.3-4 เพื่อศึกษาผลกระทบที่มีต่อการรับแรงของผนังและผลกระทบจากการเลื่อนไหลของรอยต่อ โดยทำการจัดทำตัวอย่างเป็นมุมต่างๆ ประกอบไปด้วยมุม 90 องศา 60 องศา 45 องศา 30 องศา และ 0 องศา จากผลการทดสอบ ที่มุมรับแรง 90 องศา ตัวอย่างทดสอบรับแรงอัดเฉลี่ยได้ 7.55 MPa มุมรับแรง 60 องศา ตัวอย่างทดสอบรับแรงเฉลี่ยได้ 4.19 MPa ที่มุมรับแรง 45 องศา ตัวอย่างทดสอบรับแรงอัดเฉลี่ยได้ 2.36 MPa และที่มุมรับแรง 30 องศา ตัวอย่างทดสอบสามารถรับแรงอัดเฉลี่ยได้ 1.83 MPa ซึ่งจะเห็นว่ามุมที่ใช้ทดสอบส่งผลกระทบต่อ การรับแรงของผนังอิฐก่อเป็นอย่างมาก



รูปที่ 2.3-3 พฤติกรรมของกำแพงอิฐก่อ [6]



รูปที่ 2.3-4 ตัวอย่างสำหรับศึกษาพฤติกรรมของอิฐก่อสำหรับรับแรงในทิศทางต่างๆ [6]

## 2.4 แบบจำลองคุณสมบัติของอิฐก่อ

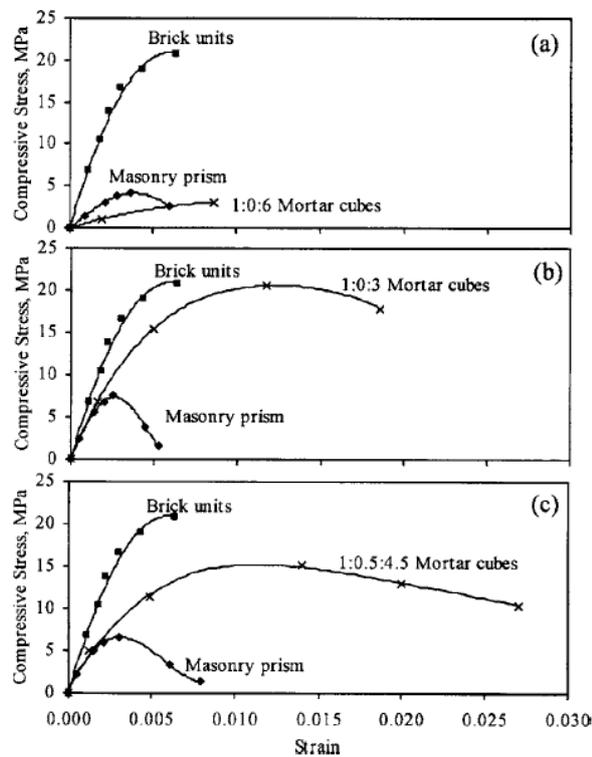
คุณสมบัติอิฐก่อที่สำคัญประกอบด้วย ค่ากำลัง ค่าอิลาสติกโมดูลัส (Modulus of Elasticity) และความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียด

ปี ค.ศ.2007 Kaushil, H.B., Rai, D.C. และ Jain, S.K., [7] ทำการทดสอบ ปริซึมอิฐก่อที่มีส่วนผสมของมอร์ต้าที่ใช้ในการก่ออิฐที่ต่างกันไปเพื่อหาค่าอิลาสติกโมดูลัสและหาความสัมพันธ์ของหน่วยแรง - ความเครียด (Stress-Strain Relationship) จากการทดสอบสามารถสรุปได้ว่าค่าอิลาสติกโมดูลัสของปริซึมอิฐก่อ ( $E_m$ ) มีค่าประมาณ  $550f'_m$  โดย  $f'_m$  คือค่าหน่วยแรงอัดประลัยของปริซึม

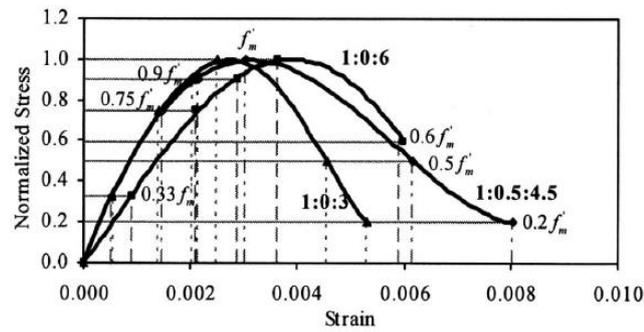
อิฐก่อ (ASTM - C1314 -07 [10]) ความสัมพันธ์ของหน่วยแรง - ความเครียด (Stress-Strain Relationship) ของปริซึมอิฐก่อ ได้ผลการทดสอบดังรูป 2.4-1 และ 2.4-2 ผลความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรง - ความเครียด (Stress-Strain Relationship) ของปริซึมอิฐก่อ ได้ผลดังรูป 2.4-3

Brick type	$f'_m$ (MPa)	Failure strain	$E_m$ (MPa)
(a) Prisms with <i>weak</i> mortar—1:0:6 (4×7 specimens)			
M	4.0 [0.13]	0.0052 [0.53]	2,239 [0.30]
B	2.9 [0.17]	0.0034 [0.45]	1,795 [0.17]
O	5.1 [0.16]	0.0086 [0.15]	2,630 [0.14]
S	4.3 [0.17]	0.0065 [0.14]	2,355 [0.19]
Average	4.1 [0.24]	0.0059 [0.43]	2,300 [0.24]
(b) Prisms with <i>strong</i> mortar—1:0:3 (4×7 specimens)			
M	7.4 [0.10]	0.0067 [0.28]	3,585 [0.18]
B	6.5 [0.14]	0.0041 [0.39]	3,592 [0.25]
O	8.5 [0.21]	0.0057 [0.36]	5,219 [0.50]
S	7.6 [0.17]	0.0050 [0.55]	4,250 [0.44]
Average	7.5 [0.18]	0.0053 [0.41]	4,200 [0.38]
(c) Prisms with <i>intermediate</i> mortar—1:0.5:4.5 (4×7 specimens)			
M	6.5 [0.19]	0.0102 [0.17]	3,542 [0.27]
B	5.9 [0.23]	0.0062 [0.40]	3,509 [0.49]
O	7.2 [0.24]	0.0092 [0.32]	4,712 [0.33]
S	6.8 [0.23]	0.0066 [0.31]	3,325 [0.26]
Average	6.6 [0.20]	0.0080 [0.34]	3,800 [0.35]

รูปที่ 2.4-1 ผลการทดสอบปริซึมอิฐก่อเพื่อหาค่าอิลาสติกโมดูลัส [7]



รูปที่ 2.4-2 ผลการทดสอบปริซึมอิฐก่อที่ระดับความแข็งแรงของมอร์ต้าที่แตกต่างกัน [7]

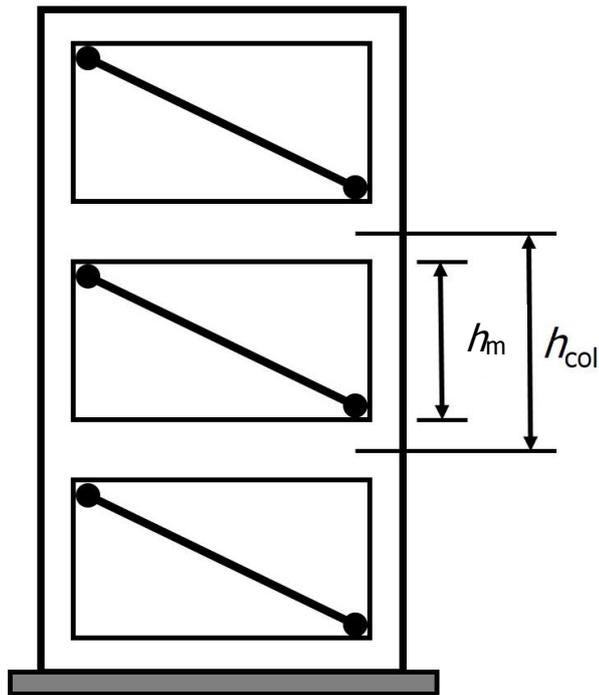


Stress in terms of $f'_m$	Strain in prism for mortar grades		
	1:0:6	1:0:3	1:0.5:4.5
0.00	0.0000	0.0000	0.0000
0.33	0.0009	0.0005	0.0005
0.75	0.0021	0.0014	0.0015
0.90	0.0029	0.0021	0.0021
1.00	0.0036	0.0025	0.0030
0.60	0.0059	-	-
0.50	-	0.0045	0.0062
0.20	-	0.0053	0.0080

รูปที่ 2.4-3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรง กับความเครียดของปริซึมอิฐก่อ  
ที่ระดับความแข็งแรงของมอร์ต้าที่แตกต่างกัน [7]

## 2.5 การจำลองผนังอิฐก่อ

พฤติกรรมของผนังอิฐก่อภายใต้แรงกระทำทางด้านข้าง มีลักษณะคล้ายการค้ำยัน เมื่อมีแรงดันด้านข้าง จะเกิดรอยแยก (Gap) ระหว่างโครงอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กกับผนังอิฐก่อตรงบริเวณส่วนบนและส่วนล่างของผนังอิฐก่อ เป็นสาเหตุทำให้เกิดแนวแรงอัดเป็นลักษณะแนวทแยงจากมุมบนด้านหนึ่งไปผิวมุมล่างของอีกด้านหนึ่ง ซึ่งพฤติกรรมลักษณะนี้สามารถจำลองโดยใช้การค้ำยันแนวทแยงเทียบเท่ารับแรงอัดเพียงอย่างเดียว (Equivalent compression strut) มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2.5-1



รูปที่ 2.5-1 ค้ำยันแนวทแยงเทียบเท่ารับแรงอัดเพียงอย่างเดียว (Equivalent compression strut)

การประเมินกำลังและสติเฟนสของผนังอิฐก่อเมื่อรับแรงด้านข้าง สามารถจำลองโดยใช้การค้ำยันแนวทแยงตัวเดียวที่มีความกว้างเท่ากับ  $a$  FEMA 356 (Seismic Rehabilitation Prestandard) [8] ได้ให้สมการเพื่อคำนวณความกว้าง  $a$  ดังนี้

$$a = 0.175(\lambda_1 h_{col})^{-0.4} r_{int} \quad (in) \quad (2.2)$$

และ

$$\lambda_1 = \sqrt[4]{\frac{E_i t \sin(2\theta)}{4E_f I_c h_m}} \quad (2.3)$$

- โดยที่  $E_i$  = โมดูลัสยืดหยุ่นของผนังอิฐก่อ (ksi)  
 $E_f$  = โมดูลัสยืดหยุ่นของโครงสร้าง (ksi)  
 $I_c$  = โมเมนต์อินเนอร์เซียของเสา (ksi)  
 $t$  = ความหนาของผนังอิฐก่อ (in)  
 $h_{col}$  = ความสูงของเสาจากศูนย์กลางคานถึงศูนย์กลางคาน (in)  
 $h_m$  = ความสูงของผนังก่ออิฐ (in)  
 $r_{int}$  = ความยาวแนวทแยงของผนังอิฐก่อ (in)  
 $\theta$  = มุมของความยาวแนวทแยง (radians)

## 2.6 พฤติกรรมอาคารคอนกรีตที่มีผนังอิฐก่อในประเทศไทย

การทบทวนงานวิจัยและทฤษฎีที่ผ่านมาพบว่าระบบ โครงสร้างภายในประเทศไทย มีลักษณะทั่วไป เป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก รูปแบบระบบ โครงสร้างทั่วไปเป็นแบบ โครงคาน-เสา (Beam – Column Frame) มีการก่อกำแพงอิฐก่อครึ่งแผ่นในแต่ละด้าน บ้างด้านมีการเจาะช่องหน้าต่างและ ประตูบางส่วน

การศึกษาที่ผ่านมาที่เกี่ยวกับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กในประเทศไทยที่มีผนังอิฐก่อยังมีอยู่ค่อนข้างน้อย การศึกษาพฤติกรรม โดยการทดสอบและการวิเคราะห์ โครงสร้างของ โครงสร้างในประเทศไทย สามารถสรุปได้ดังนี้

1. โครงสร้างโดยทั่วไปในประเทศไทย มีลักษณะเป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่รับน้ำหนักบรรทุกจากแนวดิ่งเป็นหลัก ไม่ได้มีการออกแบบให้รับแรงแผ่นดินไหว และใช้ก่อผนังอิฐก่อร่วมกับโครงสร้างของอาคาร [1]
2. ผนังอิฐก่อเพิ่มสติเฟเนส (Stiffness) และความแข็งแรงให้กับโครงสร้าง และเพิ่มความสามารถในการต้านทานแรงแผ่นดินไหวให้กับโครงสร้างได้กว่า 3 เท่าตัว [4]
3. ผนังอิฐก่อช่วยเพิ่มความสามารถต้านทานแรงแผ่นดินไหวในช่วงการเคลื่อนตัวขนาดต่ำๆ เท่านั้น จากนั้นผนังจะเริ่มแยกตัวออกและเกิดความเสียหาย และอาจส่งผลให้เกิดรูปแบบความเสียหายอื่นๆ เนื่องจากการยึดรั้งของผนังกับตัวอาคาร นอกจากนั้นพลังงานส่วนใหญ่จะสลายไปในเสา และเกิดการวิบัติในรูปแบบเสาอ่อน-คานแข็ง ซึ่งเป็นรูปแบบการเสีรูปร่างที่อาจนำไปสู่การพังทลายแบบชั้นอ่อน (Soft Story) [4]
4. การวิเคราะห์อาคารภายใต้แรงแผ่นดินไหวโดยไม่คำนึงถึงผลกระทบของผนังอิฐก่อ ทำให้พฤติกรรมของอาคารเปลี่ยนไปจากความเป็นจริง ซึ่งจะทำให้แบบจำลองไม่สมจริงและอาจเกิดความไม่ปลอดภัย [5]