บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำทั่วไป

ผนังก่ออิฐในตัวอาคารโดยทั่ว ๆ ไปนั้น ได้พิจารณาเพื่อใช้ประโยชน์ในทางสถาปัตยกรรมมากกว่าทางด้านวิศวกรรม การออกแบบอาคารหลาย ๆ ชั้น (Multistory Building) ที่รับแรงลมหรือแรงด้านข้างถือว่าตัวอาคารเป็นเสมือนโครงข้อแข็ง (Frame) ทำหน้าที่รับแรงด้านข้างโดยตรง โดยละทิ้งการพิจารณาผนังก่ออิฐเข้ามาเป็นส่วนของโครงสร้างรับกำลัง ในระยะเวลาต่อมาความก้าวหน้าทางวิชาการเกี่ยวกับงานก่ออิฐ (Brickwork) ได้มีการพัฒนาขึ้น โดยอาศัยทฤษฎีการวิเคราะห์และการทดสอบควบคู่กันไป ดังนั้น การนำเอาผนังก่ออิฐมาพิจารณารับแรงด้านข้าง จะช่วยให้การใช้วัสดุในการออกแบบเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

ผนังก่ออิฐซึ่งรับแรงด้านข้างสามารถประมาณอย่างหยาบ ๆ ได้โดยใช้ทฤษฎีกำลังของวัสดุ (Strength of Material) พฤติกรรมของผนังก่ออิฐขณะวิบัติจะเกิดรอยแตกร้าวเนื่องจากแรงดึงในแนวทะแยง ทั้งนี้เพราะอิฐและปูนก่อเป็นวัสดุเปราะ (Brittle Material) รับแรงดึงได้ต่ำมาก เมื่อเทียบกับกำลังรับแรงอัด ดังนั้น การพิจารณากำลังของวัสดุในแง่กำลังดึงจึงเป็นสิ่งจำเป็น ขณะเดียวกันยังจะต้องพิจารณาคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุในด้านอื่น ๆ ด้วย อย่างไรก็ตามในการทำนายพฤติกรรมของผนังก่ออิฐด้วยทฤษฎีกำลังของวัสดุ อาจให้ค่าความคลาดเคลื่อนได้มาก เนื่องจากผนังก่ออิฐมีตัวแปรที่เกี่ยวข้องด้วยหลายตัว ในแง่ของความเป็นเนื้อเดียวกันของวัสดุอันเนื่องจากส่วนประกอบของวัสดุ ฝีมือการก่ออิฐ (Workmanship) เป็นต้น

1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การค้นคว้าวิจัยเกี่ยวกับงานก่ออิฐ ได้กระทำต่อเนื่องกันมาเป็นระยะเวลานาน ส่วนมากจะเกี่ยวข้องกับการนำเอาอิฐก่อ ไปใช้ในองค์อาคารรับแรงอัด เช่น เสา หรือตอม่อ แต่ต่อมาในระยะหลังนี้ได้มีการค้นคว้าวิจัย นำเอาไปใช้ทำผนังก่ออิฐรับแรงเฉือน (Brick Shear Wall) การวิจัยต่าง ๆ มีทั้งงานวิจัยที่เกี่ยวกับกำลังของวัสดุ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับพฤติกรรมของผนังก่ออิฐในการรับแรงด้านข้าง

1.2.1 งานวิจัยเกี่ยวกับกำลังของวัสดุ

ก) กำลังอัดของอิฐก่อ

Drögsler[1] ได้ศึกษากำลังอัดของอิฐก่อและได้พบความสัมพันธ์ของกำลังอัดอิฐก่อขึ้นอยู่กับโมดูลัสแตกร้าวเฉลี่ยของอิฐ และกำลังของปูนก่อ ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ดังนี้ คือ

$$f'_m = 0.736 f_r - \frac{221.5}{f'_o} + 28.6 \qquad (1.1)$$

ต่อมา Hannsson[2] ได้ศึกษาในหัวนองเดียวกัน แต่พบความสัมพันธ์ในรูปของกำลังอัดของอิฐ และกำลังอัดของปูนก่อ ดังแสดงในสมการ

$$f'_m = 2\sqrt{f'_b} + 3\sqrt{f'_b} \qquad (1.2)$$

เมื่อ f'_m = กำลังอัดของอิฐก่อ กก./ซม.^{2}

f_r = โมดูลัสแตกร้าวของอิฐ กก./ซม.^{2}

f'_b = กำลังอัดของอิฐ กก./ซม.^{2}

f'_o = กำลังอัดของปูนก่อ กก./ซม.^{2}

เกี่ยวกับความหนาของแนวปูนก่อ (Mortar Joint Thickness) Francis, Horman และ Jerrems[3] ได้พบว่าเมื่อเพิ่มความหนาของแนวปูนก่อขึ้น กำลังอัดของอิฐก่อจะลดลง นอกจากนี้ กำลังอัดของอิฐก่อยังขึ้นกับฝีมือการก่ออิฐ (Workmanship) Monk[4] พบว่าฝีมือ

การก่ออิฐมีอิทธิพลอย่างมากต่อกำลังอัดของอิฐก่อ โดยเฉพาะอย่างยิ่งอิฐและปูนก่อที่มีกำลังอัดต่ำ เช่นอิฐที่มีกำลังอัดเฉลี่ยอยู่ในช่วงไม่เกิน 200 กก./ซม.^{2} กำลังอัดของอิฐก่อจะสามารถเพิ่มได้ถึง 100 % ถ้ามีการปรับปรุงฝีมือการก่ออิฐให้มีคุณภาพสูงกว่าการก่ออิฐโดยทั่ว ๆ ไป ฝีมือการก่ออิฐที่มีคุณภาพต่ำนั้นเนื่องมาจากการเติมปูนก่อได้ไม่ทั่วถึง การไถคราดปูนก่อและอื่น ๆ Greenley, Watstein และ Allen[5] ได้ศึกษาเกี่ยวสารผสมเพิ่ม (Additive) โดยได้ใช้สารผสมเพิ่มทางเคมี (Chemical Additive) เพื่อเพิ่มกำลังของปูนก่อน และได้พบว่ามีผลอย่างมากต่ออิฐกำลังสูง เพราะเมื่อกำลังยึดเหนี่ยวของปูนก่อมีค่าสูงขึ้น กำลังอัดของอิฐก่อสามารถเพิ่มได้อีกโดยเฉลี่ย 37 % ของกำลังของอิฐก่อที่ใช้ปูนก่อธรรมดา

ข) กำลังดึงของอิฐก่อ

Johnson และ Thomson[6] ได้พิจารณาการทดสอบหากำลังดึงของอิฐก่อด้วยวิธีทางอ้อม ทำนองเดียวกับการทดสอบแรงดึงแยก (Tensile Splitting) หรือการทดสอบทางอ้อมแบบบราซิล (Indirect Brazilian Test) ที่ใช้ในงานคอนกรีต โดยให้แรงอัดกระทำในแนวเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวอย่างก่ออิฐรูปวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 นิ้ว โดยที่แนวแรงนั้นทำมุมต่าง ๆ กับแนวปูนก่อ แล้วนำผลการทดสอบมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ของกำลังดึง และค่ามุมต่าง ๆ ที่แนวปูนก่อกระทำกับแรงอัด "Structural Clay Products Research Foundation"[7] ได้ศึกษาความสัมพันธ์ของกำลังดึงและกำลังอัดของอิฐก่อ พบว่ากำลังดึงของอิฐก่อมีค่าเฉลี่ย 4 % ของกำลังอัด การทดลองของ Fishburn[8] พบว่า กำลังดึงของอิฐก่อมีค่าอยู่ในระหว่าง 3 % ถึง 5 % ของกำลังอัด

ค) โมดูลัสยืดหยุ่นของวัสดุ

โมดูลัสยืดหยุ่นของอิฐอาจหาได้โดยอาศัยความสัมพันธ์เทียบกับกำลังอัดของอิฐ ซึ่ง Granville และ Barnett[9] ได้ทดสอบกำลังอัดของอิฐหลายชนิดและ

พบว่า โมดูลัสยืดหยุ่นของอิฐมีค่าโดยเฉลี่ย 300 เท่าของกำลังอัด หรือเขียนเป็นสมการ คือ

$$E_b = 300\, f'_b \qquad (1.3)$$

เมื่อ f'_b = กำลังอัดของอิฐ กก./ซม.^{2}

และ E_b = โมดูลัสยืดหยุ่นของอิฐ กก./ซม.^{2}

ในทำนองเดียวกันโมดูลัสยืดหยุ่นของอิฐก่อ จะมีความสัมพันธ์กับกำลังอัดของอิฐก่อ Hilsdorf[10], Glanville และ Barnett[9] พบว่าโมดูลัสยืดหยุ่นของอิฐก่อมีค่าอยู่ระหว่าง 400 ถึง 1,000 เท่าของกำลังอัดของอิฐก่อ

1.2.2 งานวิจัยเกี่ยวกับพฤติกรรมของผนังก่ออิฐในการรับแรงด้านข้าง

ผนังก่ออิฐรับแรงเฉือน (Brick Shear Wall) สามารถประมาณได้โดยใช้ทฤษฎีกำลังของวัสดุ[11,12,13] การทำนายพฤติกรรมของผนังก่ออิฐ จะต้องพิจารณาผลการทดสอบอิฐก่อคู่ (Brick Couplet) เพื่อหาปฏิสัมพันธ์ของแรงเฉือนและแรงอัด การทดสอบนี้ จะเป็นการกำหนดกำลังรับแรงเฉือนของอิฐก่อเมื่อมีหน่วยแรงอัดกระทำตั้งฉาก Meli[14] ได้ทดสอบตัวอย่างก่ออิฐด้วยวิธีทดสอบแรงอัดทะแยง (Diagonal Compression) แล้วนำค่ากำลังเฉือนเฉลี่ยที่ได้จากการทดสอบแรงอัดทะแยงมาเทียบหาความสัมพันธ์กับกำลังเฉือนของผนังก่ออิฐ และพบว่าผนังก่ออิฐสามารถรับกำลังเฉือนได้โดยเฉลี่ย 85 % ของกำลังเฉือนที่ได้จากการทดสอบแรงอัดทะแยง การทดสอบของ Simm[12] ใช้ผนังก่ออิฐขนาดต่าง ๆ กัน พบว่ากำลังเฉือนเฉลี่ยของผนังก่ออิฐจะต่ำลงมาก เมื่อความยาวของผนังก่ออิฐเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ เป็นผลเนื่องมาจากค่าสัดส่วนของหน่วยแรงอัดกับหน่วยแรงเฉือนถูกควบคุมโดยสัดส่วนความยาวต่อความสูง ($\frac{L}{H}$) ของผนังก่ออิฐ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่ง คือ เมื่อความยาวของผนังก่ออิฐเพิ่มขึ้นค่าหน่วยแรงอัดที่กระทำต่อผนังก่ออิฐจะลดลง ทำให้ผนังก่ออิฐรับแรงเฉือนได้น้อยตามลงไปด้วย Sinha และ Hendry[15] ได้ทดสอบผนังก่ออิฐรับแรงเฉือน โดยย่อส่วนมาจากของจริง โครงสร้างนั้น

ประกอบด้วย ผนังก่ออิฐรับแรงเฉือน ผนังก่ออิฐที่วางขวาง (Cross Wall) พื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก และช่องเปิดภายในโครงสร้าง และได้พบจากการทดสอบว่า การให้แรงอัดกระทำกับผนังก่ออิฐรับแรงเฉือน สามารถเพิ่มกำลังเฉือนของผนังก่ออิฐขึ้นจนถึงระดับหนึ่ง ขึ้นกับกำลังอัดของผนังก่ออิฐนั้นด้วย บริเวณจุดกึ่งกลางของผนังก่ออิฐ เป็นจุดที่หน่วยแรงดึงมีค่ามากที่สุด[12,13,14] และเป็นสาเหตุให้เกิดการวิบัติเนื่องจากแรงดึงในแนวทะแยง ผนังก่ออิฐจะแตกร้าวในแนวทะแยง การทดสอบของ Blume[16] พบว่ารอยแตกร้าวจะมีลักษณะเป็นขั้นบันได เมื่องานก่ออิฐนั้นใช้ปูนก่อธรรมดา และพบว่า รอยแตกร้าวค่อนข้างเป็นเส้นตรงในแนวทะแยงของผนังก่ออิฐ ในกรณีที่ใช้ปูนก่อกำลังยึดเหนี่ยวสูง (High Bond Mortar) นั่น คือมีรอยแตกร้าวผ่านอิฐและปูนก่อ ดังเช่นที่เกิดในการวิบัติเนื่องจากแรงอัด[16] ความสามารถในการรับแรงเฉือนของผนังก่ออิฐยังขึ้นกับฝีมือการก่ออิฐ[11,12] ซึ่งมีผลอย่างมากต่อกำลังยึดเหนี่ยวที่ผิวสัมผัสนั้น การก่ออิฐที่ถูกต้องจะช่วยให้กำลังยึดเหนี่ยวของอิฐและปูนก่อมีค่าสูงขึ้น Haller[17] ได้ทดสอบผนังก่ออิฐรับแรงเฉือน โดยใช้ก้อนอิฐที่มีช่องเซลในแนวดิ่งแล้วพบว่า กำลังเฉือนของผนังก่ออิฐนั้นนอกจากจะขึ้นอยู่กับแรงยึดเหนี่ยวระหว่างผิวอิฐและปูนก่อแล้ว ยังขึ้นอยู่กับการฝังตัวของปูนก่อเข้าไปในโพลง ในกรณีนี้ ปูนก่อภายในช่องเซล หรือโพลงของอิฐจะช่วยทำหน้าที่ในการต้านกำลังเฉือน

1.3 วัตถุประสงค์และขอบข่ายของการวิจัย

การวิจัยนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมของผนังก่ออิฐ ในการรับแรงด้านข้างโดยที่แนวแรงอยู่ในระนาบของผนังก่ออิฐ ในขั้นต้นได้ศึกษาคุณสมบัติของวัสดุ โดยการทดสอบตัวอย่างอิฐ ปูนก่อ และอิฐก่อ ในลักษณะต่าง ๆ เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาทฤษฎีกำลังของวัสดุมาใช้ให้สอดคล้องกับพฤติกรรมการรับแรงด้านข้างของผนังก่ออิฐ[18] ในการวิเคราะห์จะใช้วิธีไฟไนต์เอลลิเมนต์มาช่วยกำหนดความสัมพันธ์ของหน่วยแรงที่จุดกึ่งกลางของผนังก่ออิฐ นอกจากนี้ยังจะพัฒนาการคำนวณอย่างง่าย เพื่อนำไปใช้ในการออกแบบการรับแรงด้านข้างของอาคารที่มีผนังก่ออิฐประกอบอยู่ด้วย

ในการวิจัยนี้ จะมีขอบข่ายครอบคลุมเฉพาะผนังก่ออิฐที่มีความยาวต่อความสูง ($\frac{L}{H}$) อยู่ในระหว่าง 1 และ 2 แรงด้านข้างกระทำในแนวระนาบของผนังก่ออิฐ ด้วยแรงแบบจุด (Concentrated Load) ผนังก่ออิฐเป็นชนิดแผงตัน (Solid Brick Wall) ไม่มีช่องเปิดภายใน อิฐที่ใช้มี 2 ชนิด คือ อิฐมอญ และอิฐชลบุรี แนวการก่ออิฐเป็นการก่ออิฐครึ่งแผ่น (Running Bond) มีแนวปูนก่อหนาโดยเฉลี่ย 1.50 ซม.