

## การเสริมกำลังต้านทานแรงเฉือนของผนังก่อคอนกรีตมวลเบาด้วยตะแกรงเหล็กฉีก

## STRENGTHENING OF SHEAR STRENGTH OF LIGHTWEIGHT CONCRETE BLOCK PANEL WITH EXPANDED METAL

ไพบุลย์ ปัญญาคะโป

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม E-mail: phaiboon.pa@spu.ac.th

**บทคัดย่อ :** ผนังก่ออิฐในโครงอาคารภายใต้แรงกระทำแผ่นดินไหว มักจะเกิดการแตกร้าวในลักษณะแรงเฉือนได้ง่าย ดังนั้นการเสริมกำลังเฉือนของผนังก่ออิฐจะทำให้เพิ่มกำลังต้านทานแผ่นดินไหวของอาคารได้ บทความนี้นำเสนอการเสริมกำลังต้านทานแรงเฉือนของผนังก่อคอนกรีตมวลเบาที่เสริมกำลังด้วยตะแกรงเหล็กฉีก เพื่อปรับปรุงกำลังต้านทานแรงเฉือนแผ่นดินไหว โดยใช้ตะแกรงเหล็กฉีกที่มีค่าพื้นที่ผิวจำเพาะแตกต่างกัน 4 ขนาด และตะแกรงลวดตาข่ายสี่เหลี่ยม 1 ขนาด และใช้วิธีการยึดตะแกรงเหล็กกับแผ่นผนังเปรียบเทียบระหว่างวิธีที่ 1 การยึดด้วยสกรูและวิธีที่ 2 การยึดด้วยสลักขันเกลียว โดยได้เตรียมผนังก่อตัวอย่างควบคุม 1 ตัวอย่าง และผนังก่อเสริมกำลัง 10 ตัวอย่าง และทดสอบกำลังเฉือนตามมาตรฐานการทดสอบกำลังดึงแนวทแยง (แรงเฉือน) ของผนังก่อ ผลการทดสอบพบว่ากำลังเฉือนของผนังก่อเสริมกำลังมีค่าเพิ่มขึ้น 1.13-2.14 เท่าสำหรับการยึดด้วยสกรู และ 1.17-2.17 เท่าสำหรับการยึดด้วยสลักขันเกลียว ตะแกรงเหล็กฉีกที่มีค่าพื้นที่ผิวจำเพาะสูงทำให้กำลังเฉือนของผนังก่อสูงเพิ่มขึ้นด้วย และวิธีการยึดด้วยสลักขันเกลียวช่วยทำให้มีการพัฒนาค่ากำลังเฉือนของผนังก่อให้สูงเพิ่มขึ้นกว่าวิธีการใช้สกรู โดยเฉพาะตะแกรงเหล็กฉีกที่มีขนาดขาและช่องเปิดขนาดใหญ่

**ABSTRACT:** The brick panel of the infilled frame subjected to earthquake load is vulnerable to damage under shear failure. As a result, the strengthening of shear strength of infilled wall will enhance the seismic resistant of buildings. This research article presents the shear strength of lightweight concrete block panel strengthened with expanded metal for improving the lateral strength due to earthquake load. The expanded metal with 4 types of different specific surface of reinforcement and 1 type of the square wire mesh were employed. Two types of the connection methods were compared, i.e., a) screw and b) bolt-nut. The control specimen and 10 strengthened specimens were prepared and tested according to the standard test method of diagonal tension (shear) of masonry panel. The shear strengths were increased up to 1.13-2.14 times for screw connection, and 1.17-2.17 times for bolt connection. The expanded metal with high specific surface increased the shear strength of brick panel. The bolt-nut connection improved the shear strength that was greater than the screw, especially for the expanded metal with thick leg and large opening.

**KEYWORDS:** Shear strength, Lightweight concrete block panel, Expanded metal, Strengthening.

## 1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

ความเสียหายของอาคารจากเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่ผ่านมา พบว่า โครงสร้างอาคารที่มีผนังก่ออิฐมักเกิดความเสียหายเป็นจำนวนมาก โดยเป็นการแตกร้าวของเสาและผนังก่ออิฐในโครงสร้างอาคาร เนื่องจากผลของปฏิสัมพันธ์ระหว่างโครงอาคารและผนังก่ออิฐ ทั้งนี้ผนังก่ออิฐไม่ได้พิจารณาเป็นส่วนรับแรงด้านข้างในการออกแบบอาคาร การวิบัติของผนัง

กำแพงก่ออิฐอาจเกิดขึ้นได้ จากการแตกร้าวเนื่องจากแรงเฉือนแบบเลื่อนไกลในระนาบของผนังกำแพงอิฐ ซึ่งเกิดขึ้นบริเวณรอยต่อมอร์ตาร์ตามแนวปูนก่อระหว่างก้อนอิฐ เนื่องจากแรงกระทำทางด้านข้างจะต้านทานด้วยแรงเสียดทานบริเวณรอยต่อมอร์ตาร์ตามแนวปูนก่อระหว่างก้อนอิฐ เมื่อแรงกระทำทางด้านข้างมีค่าสูงเกินกว่าค่าแรงเสียดทานนี้ก็จะทำให้เกิดการเฉือนแบบเลื่อนไกลไปตามรอยต่อนี้ บริเวณระดับกึ่งกลางความสูงของผนังกำแพง เนื่องจากคุณสมบัติ

ของผนังก่ออิฐโดยทั่วไป กำลังเฉือนมีค่าต่ำ สำหรับคอนกรีตมวลเบาที่มีคุณสมบัติเปราะกว่าอิฐมวลเบา ซึ่งแบ่งตามการผลิตได้เป็น 2 ชนิด คือ แบบไม่อบไอน้ำและชนิดอบไอน้ำความดันสูง โดยชนิดอบไอน้ำมีความนิยมการใช้งานอย่างแพร่หลาย การศึกษานี้ จึงใช้คอนกรีตมวลเบาอบไอน้ำเป็นตัวอย่างทดสอบ ผลการทดสอบโครงสร้างผนังก่อคอนกรีตมวลเบาโดยอนุชาติและคณะ [1] แสดงให้เห็นว่า โครงผนังก่อคอนกรีตมวลเบามีการวิบัติเนื่องจากแรงเฉือนแบบเลื่อนไกลบริเวณกึ่งกลางความสูงของผนัง ทำให้กำลังต้านทานด้านข้างต่ำกว่า โครงอาคารผนังก่ออิฐมวลเบา ดังนั้น การเสริมกำลังผนังก่ออิฐจะช่วยปรับปรุงกำลังต้านทานแรงแผ่นดินไหวของโครงสร้างอาคารได้ ผลงานวิจัยการเสริมกำลังผนังก่อโดยตะแกรงเหล็กชนิดต่างๆที่ผ่านมา โดย Amornpunyapat และคณะ [2] พบว่า ผนังตัวอย่างที่เสริมกำลังมีค่ากำลังอัดและกำลังเฉือนสูงชันกว่าผนังก่อเดิม แต่การใช้ตะแกรงเหล็กขนาดใหญ่ ไม่ได้ทำให้กำลังต้านทานแรงอัดและแรงเฉือนเพิ่มมากขึ้นด้วย เนื่องจากตะแกรงเหล็กขนาดใหญ่จะหลุดร่อนจากผิวผนังก่อได้ง่ายกว่าตะแกรงเหล็กขนาดเล็ก ดังนั้น หากมีการปรับปรุงวิธีการยึดตะแกรงเหล็กฉีกให้แนบติดกับผนังก่ออิฐได้ดียิ่งขึ้น จะทำให้ประสิทธิภาพการเสริมกำลังเพิ่มมากขึ้นได้

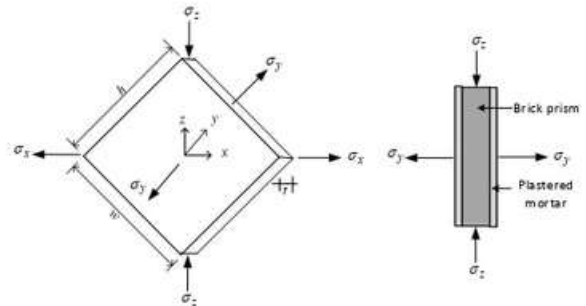
## 2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- เพื่อศึกษากำลังต้านทานแรงเฉือนของผนังก่อคอนกรีตมวลเบาที่เสริมกำลังด้วยตะแกรงเหล็กฉีกที่มีขนาดแตกต่างกัน
- เพื่อเปรียบเทียบระหว่างวิธีการยึดตะแกรงเหล็กด้วยสกรูและสลักขันเกลียว

## 3. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พฤติกรรมต้านทานของผนังก่อภายใต้แรงเฉือนตามมาตรฐานการทดสอบแรงดึงแนวทแยงหรือแรงเฉือนของผนังก่อตามมาตรฐาน ASTM E519-02 [3] แสดงในรูปที่ 1 เมื่อมีแรงกระทำในแนวตั้งที่มุมผนังเป็นหน่วยแรงเฉือน ( $\sigma_x$ ) ในแนวตั้ง จะทำให้เกิดแรงดึงในทิศทางตั้งฉากกันในแกนรองทั้ง

แกน x และแกน y ทำให้เกิดการวิบัติลักษณะแบบการแตกร่อนของผิวด้านข้างของผนังก่อ เนื่องจากเกิดแรงดันทางด้านข้างต่อแผ่นผิวปูนฉาบและผนังส่วนที่อยู่ด้านข้างปริแยกออกจากตัวแกนผนัง ( $\sigma_y$ ) ดังนั้น ลักษณะพื้นที่ผิวของแผ่นตะแกรงเหล็กฉีกที่ยึดเกาะกับผนังก่อและวิธีการยึดรั้งระหว่างแผ่นตะแกรงเหล็กและแผ่นผนังก่อจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่จะทำให้ประสิทธิภาพของการเสริมกำลังเพิ่มมากขึ้นได้ ดังนั้น งานวิจัยนี้ จึงเป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างกำลังเฉือนของผนังก่อ และพื้นที่ผิวจำเพาะ ( $S_v$ ) ด้วยการเลือกตะแกรงเหล็กฉีกที่มีค่า  $S_v$  ที่แตกต่างกัน โดยที่ค่า  $S_v$  คือ อัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวสัมผัสทั้งหมดของตะแกรง (ที่ยึดเกาะระหว่างตะแกรงเหล็กและปูนมอร์ตาร์) และปริมาตรของเฟอร์โรซีเมนต์ ตามมาตรฐาน ACI 549.1R-93 [4]



รูปที่ 1 หน่วยแรงเฉือนและแรงดันด้านข้างของผนังก่อ งานวิจัยที่ผ่านมา ได้มีการเสริมกำลังผนังก่ออิฐด้วยวัสดุต่างๆ ดังนี้ การศึกษากำลังเฉือนของผนังก่ออิฐที่เสริมด้วยตะแกรงลวดและฉาบหุ้มด้วยปูนมอร์ตาร์ โดย Shermi & Dubey [5] พบว่า ผลของการเสริมกำลังทำให้กำลังต้านทานแรงเฉือนและความเหนียวของผนังก่อมีค่าสูงชันกว่าผนังก่อเดิมมาก ผลการวิจัยของโครงสร้างที่เสริมกำลังผนังก่ออิฐด้วยแผ่นเหล็กแบบมีรูเจาะและยึดด้วยสลักเกลียวโดย Ozbek และคณะ [6] พบว่า โครงสร้างผนังก่อเสริมกำลังมีความเหนียวเพิ่มขึ้นกว่าโครงสร้างผนังก่อเดิม ผลการศึกษาโดย Amornpunyapat และคณะ [2] ซึ่งศึกษาผนังก่อคอนกรีตบล็อกประสานเสริมกำลังด้วยตะแกรงเหล็กโดยใช้พุกเป็นวัสดุยึดติดกับผนัง พบว่าการวิบัติของผนังก่อมีลักษณะแบบการแตกร่อนของผิวปูนฉาบด้านข้าง

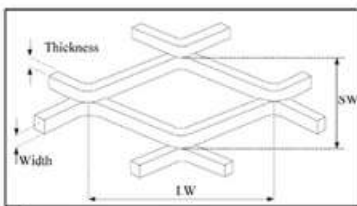
4. วิธีการดำเนินการวิจัย

4.1 วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

ก) คอนกรีตมวลเบาขนาด 7.5x20x60 ซม. คุณภาพ G2 มาตรฐาน TIS 1505-1998 [7]

ข) ตะแกรงเหล็กฉีกขนาด No.22, No.23 XS31, XS32 ตามมาตรฐาน JIS G3351-1987 [8] กำลังดึงประลัย 340 MPa แสดงรายละเอียดในตารางที่ 1 และรูปที่ 2 ตารางที่ 1 ขนาดของตะแกรงเหล็กฉีก JIS G3351-1987 [8]

Type	SW (mm)	LW (mm)	Weight (kg/m <sup>2</sup> )	S <sub>r</sub> (1/m)
No.22	8.6	20.0	0.69	0.0486
No.23	12.7	25.4	0.57	0.0338
XS-31	15.0	32.0	1.51	0.0565
XS-32	15.0	32.0	2.35	0.0707



รูปที่ 2 ตะแกรงเหล็กฉีก

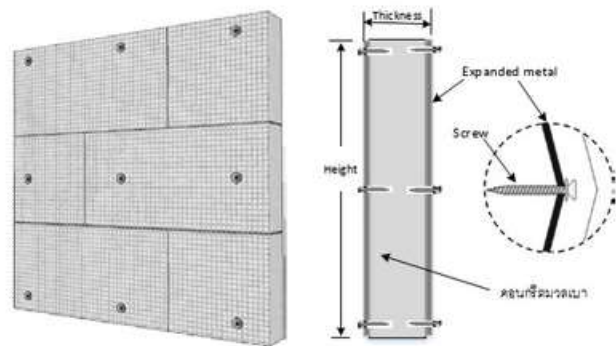
ค) ตะแกรงลวดตาข่ายสี่เหลี่ยม (Square Wire Mesh, SM) เป็นลวดชุบสังกะสี ตามมาตรฐาน JIS G3532-93 [9] กำลังดึงประลัย 320 MPa ใช้จำนวน 3 ชั้น มีค่าน้ำหนักเทียบเท่ากับ ตะแกรงเหล็กฉีก No.22 และค่าพื้นที่ผิวจำเพาะใกล้เคียงกัน (S<sub>r</sub> = 0.0536 )

ง) วัสดุท่อประสานคอนกรีตมวลเบา ใช้ปูนก่อสำเร็จมอร์ตาร์ สำหรับก่ออิฐมวลเบา เหมาะสำหรับงานกอบล็อก คอนกรีตมวลเบา มีสารผสมเพิ่มความอึดน้ำ และสารผสมเพิ่ม ทำให้แรงยึดเกาะสูง

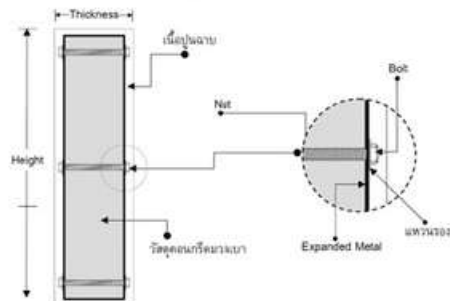
4.2 ตัวอย่างในการทดสอบ

การเตรียมตัวอย่างทดสอบปริซึมผนังก่อ นำคอนกรีตมวลเบา ขนาด 20x60x7.5 ซม. มาตัดเป็นขนาด 20x20 ซม.และขนาด 20x40 ซม. และก่อเป็นผนังให้ได้ขนาด 60 x 60 ซม. เนื่องจาก

การก่อก่ออิฐจะต้องวางเรียงอิฐสลับเหลื่อมกัน ตามรูปแบบการทำงานจริง จากนั้นยึดด้วยตะแกรงเหล็กเสริม SM, No22, No23, XS31, XS32 ทั้งสองด้านของแผ่นคอนกรีตมวลเบา โดยมีการยึด 2 วิธี วิธีที่หนึ่งยึดตะแกรงด้วยสกรูเกลียวป้อย ขนาด 6x1" (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหัวสกรู 6 มม.และความยาว 25 มม.) ดังแสดงในรูปที่ 3 และฉาบด้วยปูนมอร์ตาร์ทั้งสองด้าน หนาแต่ละ 12.5 มม. วิธีที่สองยึดตะแกรงเข้ากับ คอนกรีตมวลเบาด้วยการใช้ดอกเจาะปูนเจาะทะลุแล้วยึดด้วย สลักชั้นเกลียวขนาด M8 ดังแสดงในรูปที่ 4 การเตรียม ตัวอย่างทดสอบทั้ง 2 วิธี จัดเตรียมไว้อย่างละ 3 ตัวอย่าง ดัง แสดงในตารางที่ 2



รูปที่ 3 การยึดตะแกรงด้วยสกรู



รูปที่ 4 การยึดตะแกรงด้วยสลักชั้นเกลียว

ตารางที่ 2 การเตรียมตัวอย่างทดสอบ

กำลังเดือนยึดด้วยสกรู	จำนวนตัวอย่าง	กำลังเดือนยึดสลักเกลียว	จำนวนตัวอย่าง
S-CT	3	S-CT	3
S-SM (S)	3	S-SM (BN)	3
S-22 (S)	3	S-22 (BN)	3
S-23 (S)	3	S-23 (BN)	3
S-31 (S)	3	S-31 (BN)	3
S-32 (S)	3	S-32 (BN)	3

4.3 วิธีการทดสอบกำลังเฉือนของผนังก่อ

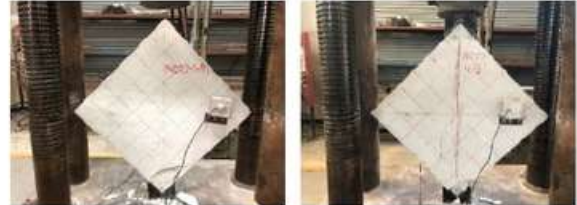
นำตัวอย่างมาทดสอบกำลังเฉือนด้วยเครื่อง Universal testing Machine ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E519-02 [3] ติดตั้งหมวกครอบมุมทั้งสองปลายของแผ่นผนัง และติดอุปกรณ์วัดการเคลื่อนที่ในแนวตั้งและแนวราบของตัวอย่างทดสอบ และให้แรงน้ำหนักระทำโดยน้ำหนักเริ่มแรกกระทำที่ 50% ของกำลังที่ คาดว่าตัวอย่างผนังก่อจะรับได้สูงสุด หลังจากนั้น เพิ่มน้ำหนักกระทำที่เหลืออยู่ด้วยอัตราสม่ำเสมอ ภายใประยะเวลาการทดสอบ 1-2 นาที จากนั้นนำค่าน้ำหนักและการเคลื่อนที่ไปคำนวณและเขียนกราฟ ในงานวิจัยนี้ จัดเตรียมตัวอย่างผนังก่อขนาด 60x60 ซม. เนื่องจากเครื่องทดสอบมีระยะช่วงเพียงพอกับขนาดของแผ่นผนังก่อ หากจัดให้มีขนาดใหญ่กว่านี้ จะไม่สามารถทำการทดสอบได้

5. ผลการวิจัย

ผลการทดสอบกำลังเฉือนของผนังคอนกรีตมวลเบา ด้วยวิธีแรงกดอัดแนวทแยง แสดงการวิบัติของตัวอย่างควบคุม (CT) ในรูปที่ 5a และการวิบัติของตัวอย่างเสริมกำลังและยึดตะแกรงด้วยสกรู ในรูปที่ 5b-5f สำหรับตัวอย่างควบคุม (CT) มีการวิบัติแบบแตกแยกในแนวตั้งออกจากกัน เนื่องจากแรงกดอัดแนวทแยงมุมทำให้เกิดแรงเฉือนในแนวตั้งผ่านเส้นทแยงมุมของผนังและเกิดแรงดึงในแนวราบในทิศทางตั้งฉากกับแรงกดอัดในแนวตั้ง ส่งผลให้ผนังเกิดการเฉือนขาดออกจากกัน ส่วนตัวอย่างผนังเสริมกำลังยึดด้วยสกรู ในรูปที่ 5b-5f พบการปริแตกด้านข้างของขอบแผ่นผนัง และการเสริมกำลังยึดด้วยสลักชั้นเกลียวในรูปที่ 6b-6f พบการแตกร้าวที่มุมผนัง โดยไม่มีการหลุดร่อนของแผ่นตะแกรงจากการยึดทั้งสองแบบ แต่การยึดด้วยสลักชั้นเกลียวให้กำลังเฉือนสูงกว่าการยึดด้วยสกรู เห็นได้จากไม่มีการปริแตกด้านข้าง เนื่องจาก สลักชั้นเกลียวมีการยึดแบบประกบทั้งสองด้านของผนัง ทำให้มีความแน่นหนา แข็งแรงกว่าการยึดด้วยสกรู ซึ่งเป็นการฝังสกรูแบบเกลียวปลายปล่อย



a) S-CT b) S-SM (S)



c) S-22 (S) d) S-23 (S)



e) S-31 (S) f) S-32 (S)

รูปที่ 5 การวิบัติภายใต้แรงเฉือนแบบเสริมกำลังยึดด้วยสกรู



a) S-CT b) S-SM (BN)



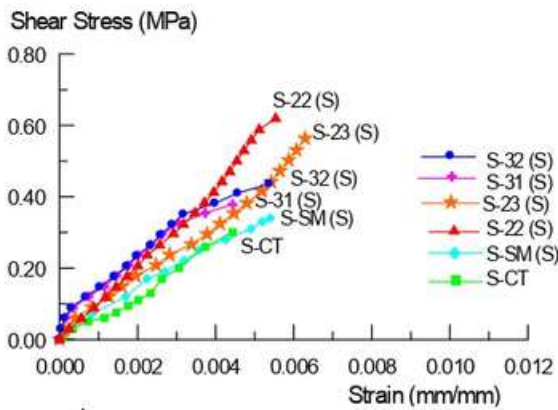
c) S-22 (BN) d) S-23 (BN)



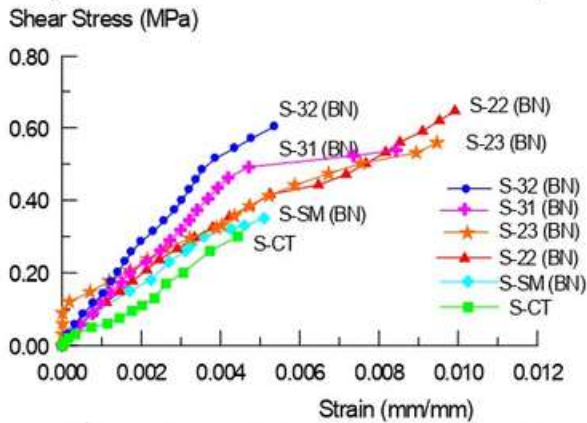
e) S-31 (BN) f) S-32 (BN)

รูปที่ 6 การวิบัติภายใต้แรงเฉือนแบบเสริมกำลังยึดด้วยสลัก

ผลการทดสอบนำไปเขียนกราฟ Stress-Strain ของผนังที่เสริมกำลังยึดตะแกรงด้วยสกรูและผนังเสริมกำลังยึดตะแกรงด้วยสลักเกลียวแสดงในรูปที่ 7-8



รูปที่ 7 กราฟ Stress-Strain ผนังเสริมกำลังยึดด้วยสกรู



รูปที่ 8 กราฟ Stress-Strain ผนังเสริมกำลังยึดด้วยสลัก

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Stress-Strain รูปที่ 7 ตัวอย่างควบคุม (CT) มีค่ากำลังเฉือนสูงสุด 0.30 MPa ผลของการเสริมกำลังด้วยตะแกรงเหล็กและยึดด้วยสกรู ทำให้ตัวอย่าง S-SM (S), S-22 (S), S-23 (S), S-31 (S), S-32 (S) มีค่ากำลังเฉือนสูงสุด 0.34 MPa, 0.62 MPa, 0.54 MPa, 0.38 MPa, 0.44 MPa ตามลำดับ คิดเป็นกำลังที่เพิ่มขึ้นเท่ากับ 13%, 114%, 80%, 27%, 47% ตามลำดับ จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Stress-Strain รูปที่ 8 ตัวอย่างควบคุม (CT) มีค่ากำลังเฉือนสูงสุด 0.30 MPa ผลของการเสริมกำลังด้วยตะแกรงเหล็กและยึดด้วยสลักเกลียว ทำให้ตัวอย่าง S-SM (BN), S-22 (BN), S-23 (BN), S-31 (BN), S-32 (BN) มีค่ากำลังเฉือนสูงสุด 0.35 MPa, 0.65 MPa, 0.56 MPa, 0.54 MPa, 0.60 MPa ตามลำดับ คิดเป็นกำลังที่เพิ่มขึ้นเท่ากับ 17%, 117%, 87%, 80%, 100% ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างที่มีการเสริมกำลังด้วยลวดตาข่ายสี่เหลี่ยม S-SM (S) จำนวน 3 ชั้นและตัวอย่างที่เสริมกำลังด้วยตะแกรง

เหล็กฉีก S-22 (S) ขนาด No.22 เพียงชั้นเดียว เทียบน้ำหนักเท่ากัน พบว่า กำลังของตัวอย่างที่เสริมด้วยลวดตาข่ายสี่เหลี่ยมมีค่าต่ำกว่ามาก แม้ว่าคุณสมบัติของวัสดุทั้งสองชนิดมีความใกล้เคียงกัน กำลังดึงประลัย (320 MPa และ 340 MPa สำหรับลวดตาข่ายสี่เหลี่ยมและตะแกรงเหล็กฉีก ตามลำดับ) ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ ( $S_v$ ) (0.0536 และ 0.0486 สำหรับลวดตาข่ายสี่เหลี่ยมและตะแกรงเหล็กฉีก No.22 ตามลำดับ) แต่การเสริมลวดตาข่ายสี่เหลี่ยมจำนวน 3 ชั้น มีวิธีการยึดตะแกรงเข้ากับวัสดุคอนกรีตมวลเบาที่ค่อนข้างยากกว่าการยึดตะแกรงเหล็กฉีกเพียงชั้นเดียว

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างวิธีการยึดด้วยสกรูและการใช้สลักเกลียว พบว่า ผลของวิธีการใช้สลักขันเกลียวทำให้มีการพัฒนาค่ากำลังเฉือนของผนังก่อให้สูงเพิ่มขึ้นกว่าวิธีการใช้สกรู โดยเฉพาะตะแกรงเหล็กฉีกที่มีขนาดขาและช่องเปิดขนาดใหญ่ (XS31, XS 32) มีการเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน เนื่องจาก ตะแกรงเหล็กขนาดใหญ่มีความแข็งแรงมากกว่าตะแกรงขนาดเล็ก ทำให้การยึดด้วยสกรูสำหรับตะแกรงขนาดใหญ่ทำได้ยากกว่า ตะแกรงขนาดเล็ก ตะแกรงจะโค้งตัวไม่แนบติดกับผิวแผ่นผนัง

## 6. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

### 6.1 สรุปผล

ก) ตัวอย่างควบคุม ซึ่งเป็นผนังก่อดีิมที่ไม่เสริมกำลังนั้น เมื่อรับแรงกระทำถึงจุดสูงสุด จะเกิดการวิบัติที่รุนแรง โดยแผ่นผนังแยกตัวออกจากกัน แต่สำหรับแผ่นผนังที่มีการเสริมกำลังด้วยตะแกรงเหล็ก ผลของการโอบรัดด้วยแผ่นตะแกรงเหล็ก ทำให้ยึดแผ่นผนังไม่ให้มีการแตกแยกออกจากกันได้ การเสริมกำลังด้วยตะแกรงเหล็กฉีกโดยใช้วิธีการยึดตะแกรงด้วยสกรู ช่วยทำให้ค่ากำลังเฉือนสูงเพิ่มขึ้นกว่าตัวอย่างควบคุม คิดเป็น 1.13 - 2.14 เท่า ส่วนวิธีการยึดตะแกรงด้วยสลักขันเกลียว ช่วยทำให้ค่ากำลังเฉือนสูงเพิ่มขึ้นเป็น 1.17-2.17 เท่า

ข) ผลของวิธีการใช้สลักขันเกลียวทำให้มีการพัฒนาค่ากำลังเฉือนของผนังก่อดีิมให้สูงเพิ่มขึ้น 36-42% มากกว่า

วิธีการใช้สกรูอย่างชัดเจน โดยเฉพาะตะแกรงเหล็กฉีกที่มีขนาดขาและช่องเปิดขนาดใหญ่ (XS31, XS 32) มีการเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน เนื่องจาก ตะแกรงเหล็กขนาดใหญ่มีความแข็งแรงมากกว่าตะแกรงขนาดเล็ก ทำให้การยึดด้วยสกรูสำหรับตะแกรงขนาดใหญ่ทำได้ยากกว่าตะแกรงขนาดเล็ก ตะแกรงจะโก่งตัวไม่แนบติดกับผิวแผ่นผนัง ผลจากการยึดแน่นด้วยวิธีสลักชั้นเกลียว ทำการยึดรั้งตะแกรงเหล็กได้ดีกว่า ป้องกันไม่ให้มีการโก่งตัวทั้งสองด้านของผนังก่อ วิธีการใช้สลักชั้นเกลียวช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพการยึดเกาะของตะแกรงขนาดใหญ่ได้ดียิ่งขึ้น ทำให้กำลังเฉือนของผนังก่อที่ใช้ตะแกรงขนาดใหญ่มีกำลังสูงมากกว่าการยึดด้วยสกรู

## 6.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยต่อไป

ในงานวิจัยนี้ ได้ทำการศึกษากำลังเฉือนเฉพาะผนังก่อคอนกรีตมวลเบา ในการศึกษาต่อไป ควรมีการศึกษาวัสดุผนังก่ออื่นด้วย เช่น อิฐมอญ คอนกรีตบล็อก คอนกรีตบล็อกประสาน เป็นต้น นอกจากนี้ ควรศึกษาวิธีการยึดตะแกรงเหล็กฉีกด้วยวิธีการอื่น ซึ่งอาจให้ประสิทธิภาพการยึดเกาะระหว่างตะแกรงเหล็กและผนังก่อที่ดีกว่าวิธีการที่เสนอมานี้

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับความเอื้อเฟื้อจากสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม ผู้เขียนขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการทุกคน ทำให้งานวิจัยสำเร็จได้ด้วยดี

## เอกสารอ้างอิง

- [1] อนุชาติ ลื่อนันต์ศักดิ์ศิริ, ไพบุลย์ ปัญญาคะโป, อาณัติ เรืองรัมย์, ณัฐวัฒน์ จุฑารัตน์, อภิชาติ วงศ์ดี, Vitali Terentjevs และ Phawe Suit Theint. (2558). การศึกษากำลังต้านทานแผ่นดินไหวของผนังอิฐก่อภายใน โครงเสริมคอนกรีตเสริมเหล็ก. รายงานสืบเนื่อง การ

ประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 20, กรกฎาคม 2558. จังหวัดชลบุรี, STR-199.

- [2] Amornpunyapat R, Panyakapo P, Panyakapo M. (2021). Development of Lightweight Concrete Interlocking Block Panel with Water Treatment Sludge and Expanded Metal Ferrocement. Engineering Journal; 25(1): 81-97.
- [3] American Society for Testing and Materials. (2002). ASTM E519:2002. Standard test method for diagonal tension (shear) in masonry assemblages, ASTM.
- [4] American Concrete Institute. (1993). ACI 549.1R-93:1993. Guide for the design construction and repair of ferrocement: ACI Committee Report. ACI.
- [5] Shermi C, Dubey R.N. (2018). In-plane behaviour of masonry panel strengthened with welded wire mesh and mortar, Construction and Building Materials;178:195-203.
- [6] Ozbek E, Aykac B, Sabahattin Aykac S. (2019). The effects of brick walls strengthened with perforated steel plates on frame behavior. Engineering Structures;189:62-76.
- [7] Thai Industrial Standards Institute. (1998). TIS 1505-1998. Standard of autoclaved aerated lightweight concrete elements. Ministry of Industry. TIS. Thai.
- [8] Japanese Standards Association. (1987). JIS G3351:1987. Expanded metal standard by Japanese industrial standard. JIS Standard. JIS.
- [9] Japanese Standards Association. (1993). JIS G3532:1993. Low carbon steel wires standard by Japanese industrial standard. JIS Standard. JIS.