

บทที่ 3

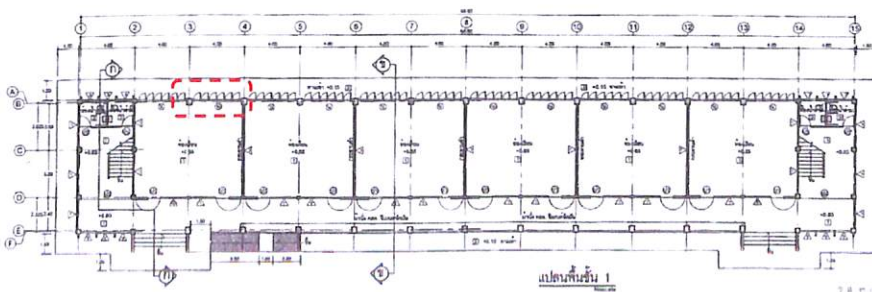
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 อาคารตัวอย่าง

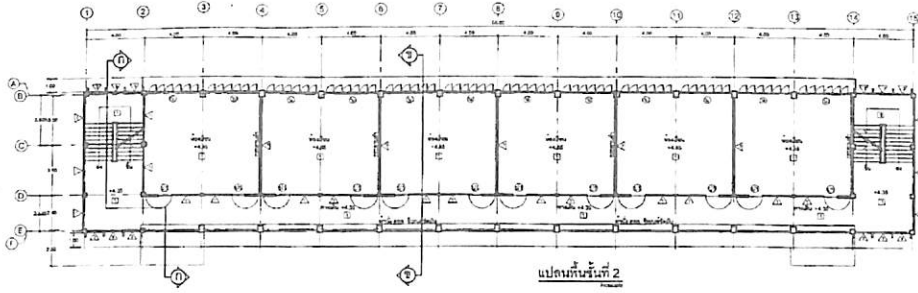
ในการศึกษานี้ได้เลือกอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กสูง 3 ชั้นที่ใช้เป็นอาคารเรียนในสังกัดของกระทรวงศึกษาธิการเป็นต้นแบบดังภาพที่ 3.1 ในการสร้างแบบจำลองในการทดสอบครั้งนี้ เพื่อให้การทดสอบได้มีลักษณะใกล้เคียงกับสภาพความเป็นจริงมากที่สุด ดังนั้นแบบจำลองที่ถูกสร้างขึ้นจึงมีขนาด Full Scale แต่ด้วยข้อจำกัดทางงบประมาณและขนาดพื้นที่ใช้ทดสอบ จึงได้เลือกมาพิจารณาเพียงหนึ่งช่วงของโครงข้อแข็งเท่านั้น แล้วจึงทำการถ่ายแรงของน้ำหนักบรรทุกใช้งานแก่โครงข้อแข็งในส่วนที่ต้องแบกรับตามจริงส่วนกำลังของวัสดุที่ใช้จะมีค่าเท่ากับที่ระบุในแบบวิศวกรรมโครงข้อแข็งของอาคารเรียนนี้ตั้งหัวข้อที่ 3.2



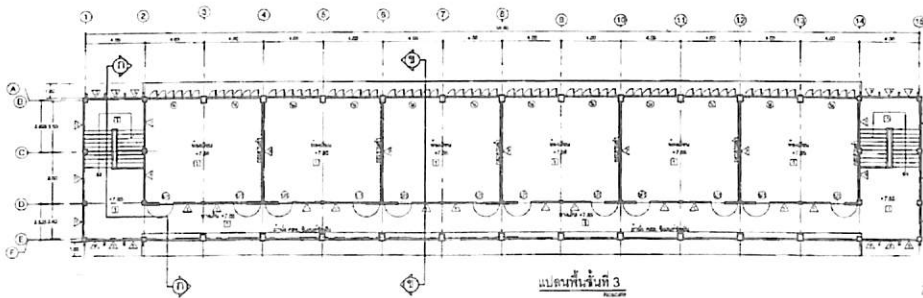
ภาพที่ 3.1 ลักษณะอาคารเรียนสังกัดกระทรวงศึกษาธิการสูง 3 ชั้น



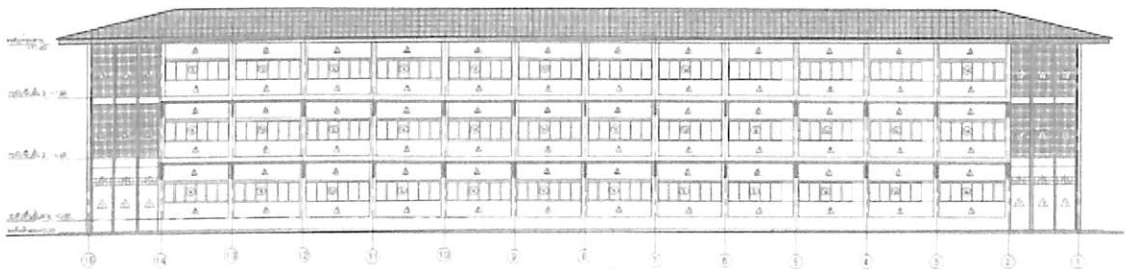
ภาพที่ 3.2 แสดงแบบแปลนอาคารเรียนชั้นที่ 1 และตำแหน่งที่พิจารณา



ภาพที่ 3.3 แสดงแบบแปลนอาคารเรียนชั้นที่ 2



ภาพที่ 3.4 แสดงแบบแปลนอาคารเรียนชั้นที่ 3



ภาพที่ 3.5 แสดงแบบรูปด้านอาคารเรียน

3.2 การเตรียมวัสดุทดสอบ

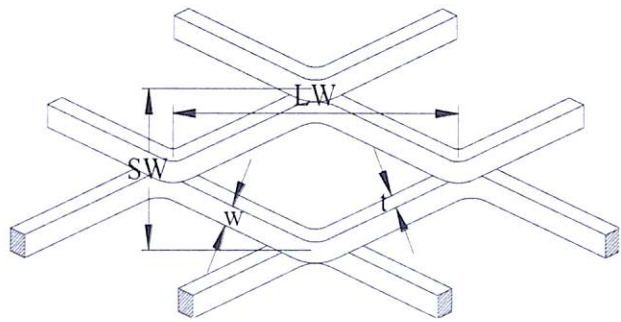
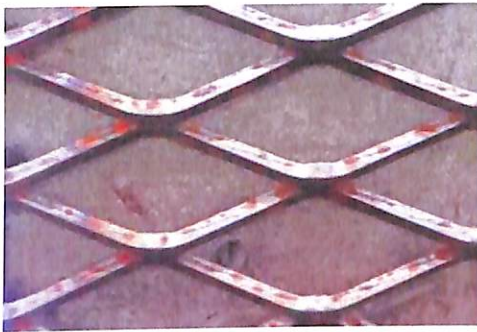
3.2.1 คอนกรีตโครงสร้างข้อแข็งเสา คาน และฐานใช้คอนกรีตที่มีกำลังรับแรงอัดประลัย (f_c') เท่ากับ 210 kg/cm^2 (21 Mpa) Cylinder ที่อายุ 28 วัน

3.2.2 เหล็กเสริมคอนกรีต (Rebar) ในงานวิจัยนี้เป็นไปตามมาตรฐาน TIS.20-2543 Grade SR24 ซึ่งมีค่ากำลังคราก (F_y) ไม่น้อยกว่า 235 Mpa และกำลังรับแรงดึงประลัย (F_u) ไม่น้อยกว่า 385 Mpa

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติของเหล็กเสริมคอนกรีต (Rebar)

ชนิดเหล็กเสริม	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (mm)	พื้นที่หน้าตัด (mm ²)	หน่วยน้ำหนัก (kg/m)
RB6	6	28.3	0.222
RB15	15	176.7	1.387
RB19	19	283.5	2.226

3.2.3 ตะแกรงเหล็กฉีก (Expanded Metal) ตะแกรงเหล็กฉีกที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีคุณสมบัติตามมาตรฐาน JIS G3351 Standard เลือกใช้ตาข่ายรูปข้าวหลามตัดดังภาพที่ 3.6 ซึ่งมีค่ากำลังคราก(F_y) และ กำลังรับแรงดึงประลัย(F_u) เท่ากับ 340 Mpa, 400 Mpa ตามตารางที่ 3.2



ภาพที่ 3.6 ลักษณะรูปร่างตะแกรงเหล็กฉีกที่ใช้ในงานทดสอบ No. XS-63

ตารางที่ 3.2 ตะแกรงเหล็กฉีก (Expanded Metal)

ชนิดตะแกรง เหล็กฉีก	ระยะ SW	ระยะ LW	ความหนา (t)	ความกว้าง (w)	น้ำหนักแผ่น
	mm	mm	mm	mm	kg/m ²
No.22	8.6	20	0.6	-	1.15
XS-63	34	76.2	4.5	4.5	16.12

3.2.4 มอร์ต้าสำหรับงานเฟอร์โรซีเมนต์มีกำลังอัดที่อัตราส่วน 1:4:0 มีค่าเท่ากับ 70.83 kg/cm² (7.22 Mpa) Cube ที่อายุ 28 วัน (อ้างอิงจากงานวิจัย อนุชาติและไพบูลย์, 2556)

3.3 การออกแบบเสริมกำลัง

ก่อนที่จะทำการออกแบบเสริมกำลังให้กับโครงข้อแข็งและโครงที่มีผนังก่อแบบมีช่องเปิด ต้องทำการวิเคราะห์หาค่ากำลังต้านทานของโครงข้อแข็งและผนังเดิมแล้วจึงกำหนดออกแบบกำลังต้านทานใหม่ให้ได้มากกว่า 1.50 เท่าของโครงข้อแข็งเดิมซึ่งรายละเอียดการคำนวณได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก

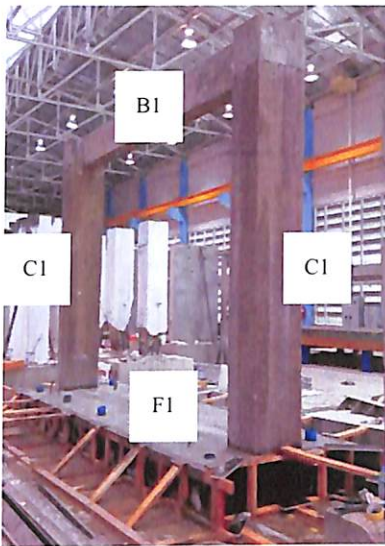
ตารางที่ 3.3 กำลังต้านทานเดิมและกำลังต้านทานออกแบบ

โครงข้อแข็ง	กำลังต้านทานเดิม (kN)	กำลังต้านทานออกแบบ 1.5 เท่าของโครงข้อแข็งเดิม (kN)	วิธีการเสริมกำลัง
โครงข้อแข็งเดิม (BF)	75.44	113.16	เสริมกำลังด้วยวิธีเฟอร์โรซีเมนต์โดยที่เสาเสริมตะแกรงเหล็กฉีก XS-63 จำนวน 2 ชั้น
โครงข้อแข็งเดิมที่มีผนังก่อแบบมีช่องเปิด (IFO)	134.77	202.16	เสริมกำลังด้วยวิธีเฟอร์โรซีเมนต์โดยที่เสาเสริมตะแกรงเหล็กฉีก XS-63 จำนวน 2 ชั้น ส่วนที่ผนังเสริมตะแกรงเหล็กฉีก No.22 จำนวน 1 ชั้น

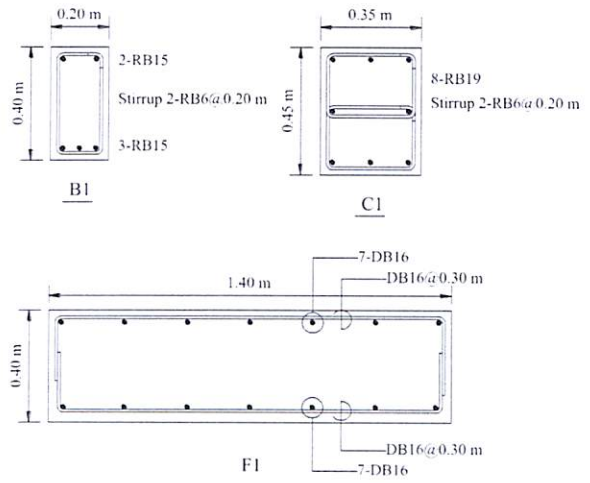
3.4 การเตรียมตัวอย่างทดสอบ

3.4.1 โครงอาคารที่มีการเสริมกำลัง (BF-SR)

ทำการหล่อโครงอาคารเปล่าไม่ได้เสริมกำลัง (BF) ดังรูปที่ 3.7 จากนั้นทำการเสริมกำลังให้กับเสาและคานโดยใช้ตะแกรงเหล็กฉีก No.63 จำนวนสองชั้นทำการเชื่อมยึดติดเข้ากับเหล็กฉากขนาด 50x50x5 แปะเข้าที่มุมของเสาทั้งสี่มุมดังรูปที่ 3.8 หลังจากนั้นจึงทำการฉาบปิดด้วยปูนฉาบหนา 1.5 cm ตามรูปที่ 3.9 แล้วทาสีขาวทำการตีช่องขนาด 10x10 cm ตามรูปที่ 3.10 ที่คานและเสาทั้งสี่ด้านเพื่อให้ระบุแนวความเสียหายที่เกิดขึ้นได้อย่างชัดเจนและตำแหน่งมีความถูกต้อง



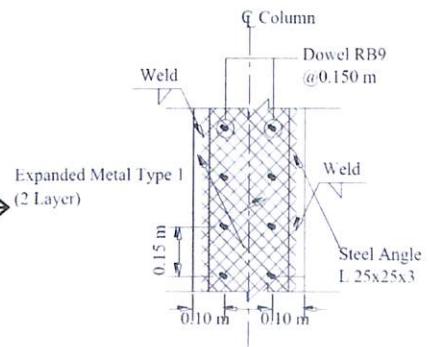
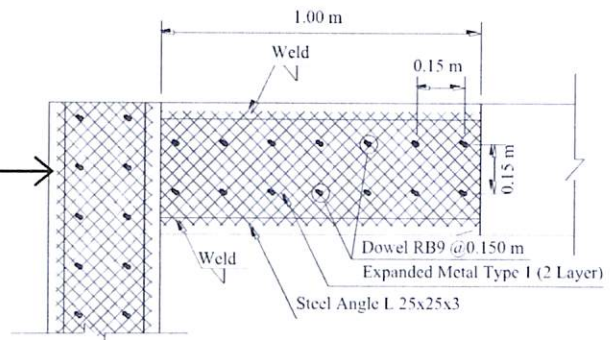
(a)



(b)

ภาพที่ 3.7 (a) การหล่อโครงข้อแข็งเดิม

(b) แบบรายละเอียดการเสริมเหล็กโครงข้อแข็งเดิม



ภาพที่ 3.8 การติดตั้งตะแกรงเหล็กฉีกที่เสาและคานโดยเชื่อมติดกับเหล็กฉาก

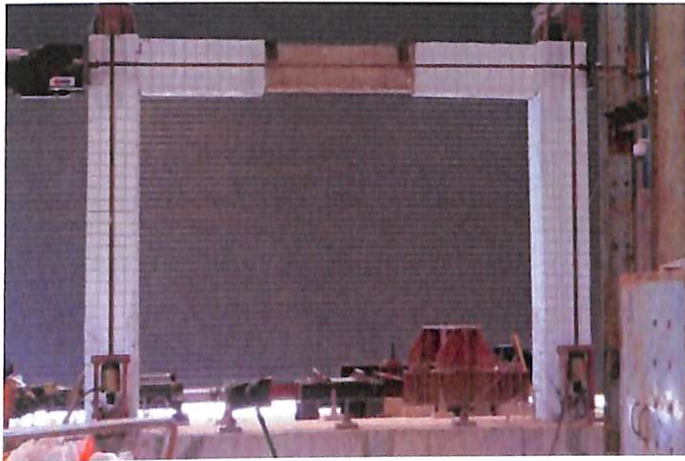


(a)



(b)

ภาพที่ 3.9 (a) ลักษณะรอยเชื่อมยึดตะแกรงเหล็กฉีกและเหล็กฉากที่มุมเสา
(b) การฉาบปิดตะแกรงเหล็กฉีกหนา 1.50 cm.



ภาพที่ 3.10 โครงข้อแข็งตัวอย่างเสริมกำลังด้วยวิธีเฟอร์โรซีเมนต์เสริมตะแกรงเหล็กฉีก
ที่เตรียมการแล้วเสร็จ

3.4.2 โครงอาคารผนังก่ออิฐที่มีช่องเปิดเสริมกำลัง (IFO-SR)

ทำการหล่อโครงอาคารเปล่าที่ไม่ได้เสริมกำลังเช่นเดียวกับโครงอาคาร(BF) และทำการเสริมกำลังโครงข้อแข็งเช่นเดียวกับ BF-SR หลังจากนั้นทำการก่อผนังด้วยอิฐมอญโดยก่อเว้นช่องส่วนที่เป็นช่องเปิดขนาด 1.00x3.65 m แล้วจึงฉาบปิดผนังก่อดังรูปที่ 3.11 และ รูปที่ 3.12 หลังจากนั้นจึงทำการเสริมกำลังให้กับผนังโดยใช้ตะแกรงเหล็กฉีก No.22 จำนวนหนึ่งชั้น ยึดติดเข้ากับผนังด้วยพุกขนาดเล็กทุกระยะ 30 cm ดังรูปที่ 3.13 หลังจากนั้นจึงทำการฉาบปิดหนา 1.5 cm แล้วทาสี

ชาวทำการตีช่องขนาด 10x10 cm ตามรูปที่ 3.14 ที่คานและเสาทั้งสี่ด้านเพื่อให้ระบุแนวความเสียหายที่เกิดขึ้นได้อย่างชัดเจนและตำแหน่งมีความถูกต้อง



(a)

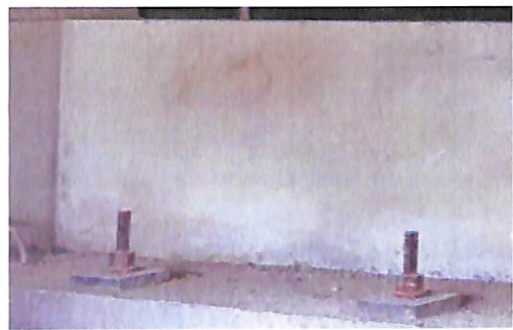


(b)

ภาพที่ 3.11 (a) การก่อผนังส่วนส่วนล่าง (b) การก่อผนังส่วนบน



(a)



(b)

ภาพที่ 3.12 (a) งานฉาบผนังก่อส่วนบน (b) งานฉาบผนังส่วนล่าง

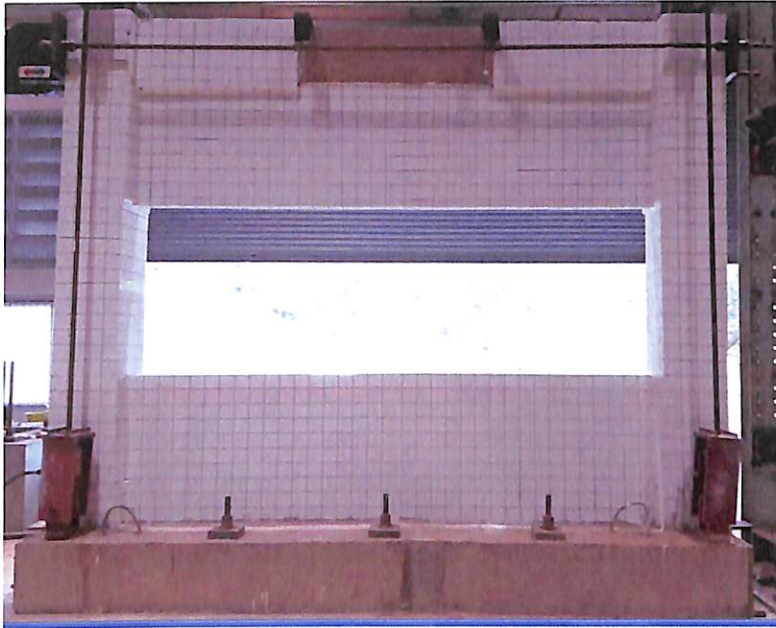


(a)



(b)

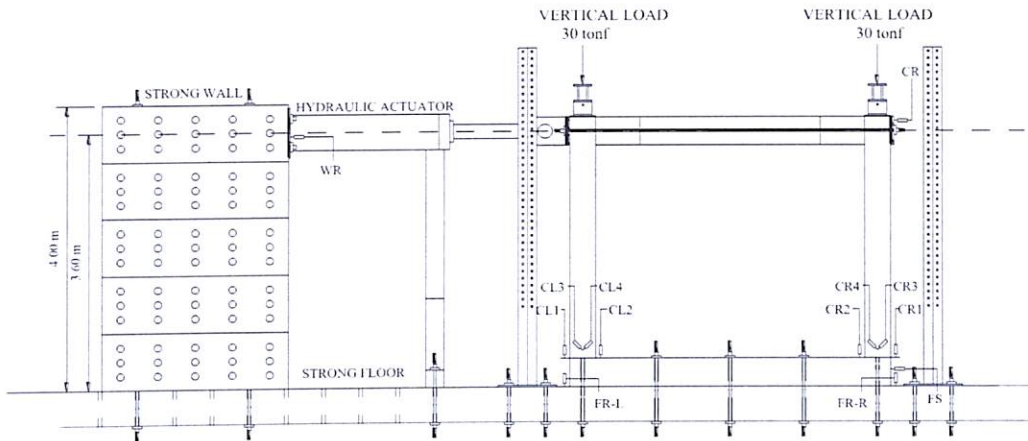
ภาพที่ 3.13 ติดตั้งตะแกรงเหล็กฉีก No. 22 ที่ผนังทั้งสองด้านแล้วทำการฉาบปิด ตะแกรงเหล็กฉีกหนา 1.5 cm.



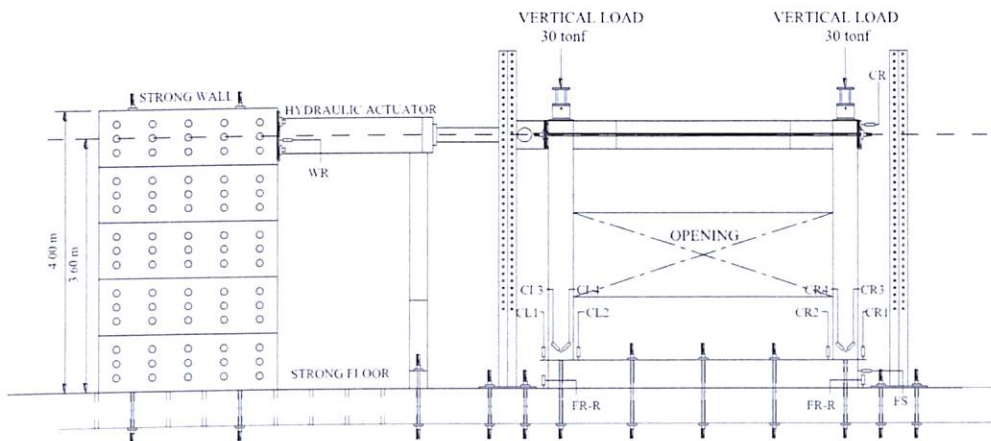
ภาพที่ 3.14 โครงข้อแข็งตัวอย่างที่ผนังช่องเปิดเสริมกำลังด้วยวิธีเฟอร์โรซีเมนต์เสริม
ตะแกรงเหล็กฉีกที่เตรียมการแล้วเสร็จ

3.5 การติดตั้งตัวอย่างทดสอบและวิธีการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

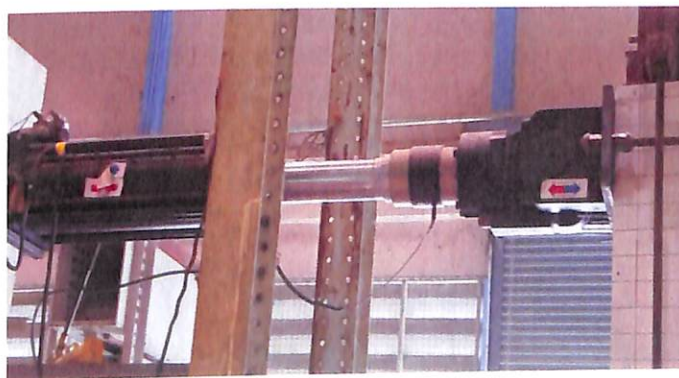
โครงข้อแข็งจะถูกติดตั้งเข้ากับชุดทดสอบดังรูปภาพที่ 3.15 และ 3.16 ฐานจะถูกยึดเข้ากับ Strong Floor ด้วย Steel Bar เพื่อป้องกันการขยับของฐานที่ตำแหน่งเสาทั้งสองข้างจะติดตั้ง Hydraulics Jack เพื่อทำการอัดแรงในแนวตั้งที่มีขนาด 30 ตัน กระทำที่ปลายเสาผ่าน Steel plate ที่โยงยึดด้วย Steel bar มาที่ Hydraulics Jack ที่ปลายบนของจะถูกยึดเข้ากับ Hydraulics Actuator ซึ่งจะทำให้หน้าให้แรงผลักแก่โครงข้อแข็งในลักษณะแรง ไป-กลับ โดยที่แรงผลักจากซ้ายไปขวาจะมีค่าบวกส่วนแรงผลักจากขวามาซ้ายจะมีค่าลบ จากนั้นติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดการเคลื่อนตัว LVDT ที่ตำแหน่งต่างๆ ดังรูปที่ 3.15 และ 3.16



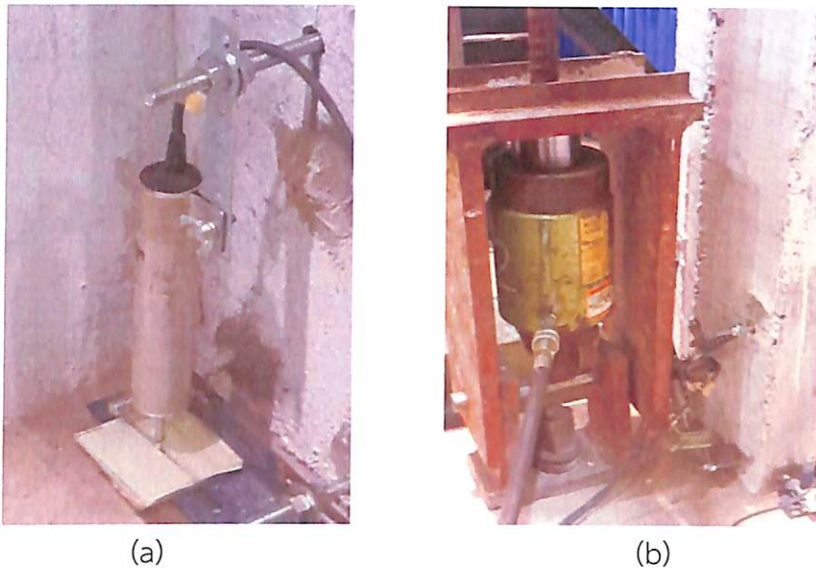
ภาพที่ 3.15 การติดตั้งตัวอย่างทดสอบ BF-SR พร้อมอุปกรณ์ตรวจวัด LVDT



ภาพที่ 3.16 การติดตั้งตัวอย่างทดสอบ IFO-SR พร้อมอุปกรณ์ตรวจวัด LVDT



ภาพที่ 3.17 Hydraulics Actuator สำหรับให้แรง Horizontal Load

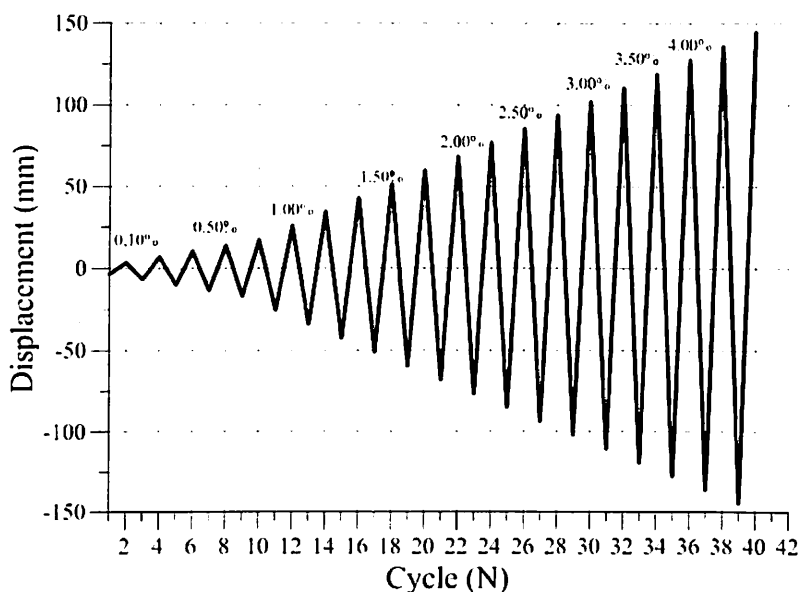


ภาพที่ 3.18 (a) การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัด (LVDT)
(b) Hydraulics Jack สำหรับให้แรงแนวตั้ง

ตารางที่ 3.4 หน้าที่ของอุปกรณ์ตรวจวัดที่ตำแหน่งต่าง ๆ

LVDT No.	Descriptions
CR1,CR2	วัดค่าการดัดโค้งของเสาด้านขวา
CR3,CR4	วัดค่าการเคลื่อนตัวของเสาด้านขวาเนื่องจากแรงเฉือน
CL1,CL2	วัดค่าการดัดโค้งของเสาด้านซ้าย
CL3,CL4	วัดค่าการเคลื่อนตัวของเสาด้านซ้ายเนื่องจากแรงเฉือน
FR-R,FRL	วัดค่าการพลิกหมุนของฐานราก
CR	วัดการเคลื่อนตัวของโครงเฟรม
WR	วัดค่าการเลื่อนไถลของผนัง
FS	วัดค่าการเลื่อนไถลของฐานราก

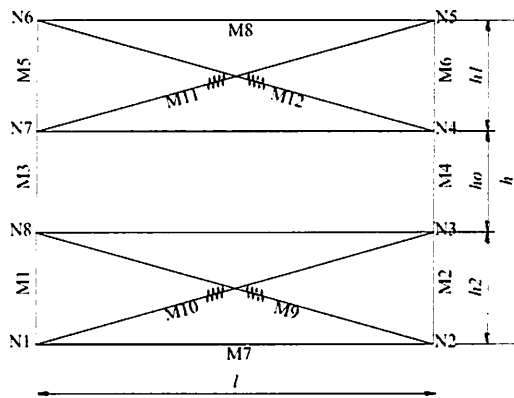
รูปแบบการให้แรง Cyclic Load ในการทดสอบนี้ จะควบคุมด้วยอัตราส่วนการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานการทดสอบ FEMA 461 ซึ่งมีลำดับดังนี้คือช่วง 0.10% ถึง 0.50% Drift ตามรูป 3.19 ซึ่งจะมีค่ามีค่าเพิ่มขึ้นทีละ 0.10% หลังจากนั้น Drift % เพิ่มขึ้นทีละ 0.25 % Drift ให้แรงกระทำไปจนกว่ากำลังต้านทานของโครงข้อแข็งมีค่าลดลงมากกว่า 20% ของค่ากำลังรับแรงที่รับได้มากที่สุดจึงหยุดทำการทดสอบ



ภาพที่ 3.19 รูปแบบการควบคุมอัตราส่วนการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์

3.6 การวิเคราะห์ด้วยวิธีการผลักแบบวัฏจักร (Cyclic Pushover Analysis) ด้วยโปรแกรม RUAUMOKO

ในการวิเคราะห์โครงสร้างที่มีผนังช่องเปิดภายใต้แรงกระทำแบบวัฏจักร ทำการจำลองโครงสร้างด้วยโปรแกรม RUAUMOKO (Carr, 2006) การจำลองชิ้นส่วนคานและเสาใช้พฤติกรรมการรับแรงแบบวัฏจักรด้วยแบบจำลอง Modified Takeda การจำลองพฤติกรรมของผนังอิฐใช้ชิ้นส่วนสปริงซึ่งมีพฤติกรรมการรับแรงแบบไม่เชิงเส้น เพื่อเป็นตัวแทนของแรงอัดค้ำยันเทียบเท่าและใช้พฤติกรรมการรับแรงแบบวัฏจักรของค้ำยันด้วยแบบจำลอง SINA Degrading Tri-linear (Saiidi and Sozen, 1979) ค่าพารามิเตอร์ในแบบจำลองผนังอิฐทั้งสองส่วนคำนวณโดยใช้แบบจำลองผนังอิฐตามที่แสดงโดย Leeanansaksiri, Panyakapo, Ruangrassamee (2018) ในการคำนวณ ค่าความเครียดของผนังอิฐ ใช้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดของผลทดสอบปริซึมอิฐก่อเสริมกำลังด้วยเฟอร์โรซีเมนต์แบบจำลองโครงสร้างที่มีผนังช่องเปิด โดยโปรแกรม RUAUMOKO แสดงในรูปที่ 3.20 การวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีการผลักแบบวัฏจักรใช้วิธีการตามที่เสนอโดย Panyakapo (2014) และผลักไปถึงค่าการเคลื่อนที่สัมพัทธ์เป้าหมาย 2.5% การกระจายแรงผลักสอดคล้องกับการสั่นในรูปแบบโหมดแรก และใช้ค่าประวัติการเคลื่อนที่รูปแบบเดียวกับที่ใช้ในการทดสอบในห้องปฏิบัติการ เพื่อควบคุมรูปแบบการเคลื่อนที่ในขั้นตอนการผลักแบบวัฏจักร



ภาพที่ 3.20 แสดงแบบจำลองโครงข้อแข็งและชิ้นส่วนสปริงแทนแรงค้ำยันเทียบเท่าของผนัง

M1, M2 คือ แบบจำลองของโครงข้อแข็งเสาต้านซ้ายและด้านขวาส่วนล่าง

M3, M4 คือ แบบจำลองของโครงข้อแข็งเสาต้านซ้ายและด้านขวาส่วนกลาง

M5, M6 คือ แบบจำลองของโครงข้อแข็งเสาต้านซ้ายและด้านขวาส่วนบน

M7, M8 คือ แบบจำลองของโครงข้อแข็งฐานและคาน

M9, M10 คือ แบบจำลองสปริงแทนแรงค้ำยันเทียบเท่าของผนังส่วนล่าง

M11, M12 คือ แบบจำลองสปริงแทนแรงค้ำยันเทียบเท่าของผนังส่วนบน

ตารางที่ 3.5 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในแบบจำลองของโครงข้อแข็ง (BF) ตาม Modified Takeda Hysteresis Model)

F_y (kN)	d_y (mm)	α	β	k_o (kN/m)
59.81	9.66	0.30	0.50	10,521.36

ตารางที่ 3.6 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในแบบจำลองของค่าพารามิเตอร์สำหรับสร้างแบบจำลองแรงค้ำยันเทียบเท่าของผนัง (IFO) ตาม แบบจำลอง SINA Degrading Tri-linear (Saiidi and Sozen, 1979)

ผนังอิฐก่อ	V_y (kN)	D_y (mm)	V_m (kN)	D_m (mm)	k_o (kN/m)	αk_o (kN/m)
ผนังส่วนบน	17.74	3.48	28.30	9.68	5097.70	1,703.23
ผนังส่วนล่าง	19.42	3.53	31.03	9.81	5,501.42	1,848.73

ตารางที่ 3.7 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในแบบจำลองของโครงข้อแข็ง (BF-SR) ตาม Modified Takeda Hysteresis Model

F_y (kN)	d_y (mm)	α	β	k_o (kN/m)
132.14	7.44	0.30	0.50	17,754.80

ตารางที่ 3.8 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในแบบจำลองของค่าพารามิเตอร์สำหรับสร้างแบบจำลองแรงค้ำยันเทียบเท่าของผนัง (IFO-SR) ตาม แบบจำลอง SINA Degrading Tri-linear (Saiidi and Sozen, 1979)

ผนังอิฐก่อ	V_y (kN)	D_y (mm)	V_m (kN)	D_m (mm)	k_o (kN/m)	αk_o (kN/m)
ผนังส่วนบน	19.05	3.42	34.62	10.39	5,570.18	2,233.86
ผนังส่วนล่าง	20.89	3.46	37.96	10.51	6,037.57	2,419.86