

## สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย .....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ .....	V
สารบัญตาราง .....	VII
สารบัญภาพ.....	VIII
รายการสัญลักษณ์.....	XI

บทที่	หน้า
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา .....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 กรอบแนวคิดในการวิจัย.....	2
1.4 คำถามในการวิจัย/สมมติฐานการวิจัย.....	2
1.5 ข้อตกลงเบื้องต้น/ขอบเขตของการวิจัย.....	2
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	4
2.1 การศึกษากำลั้งต้านทานของโครงข้อแข็งและผนังอิฐก่อเดิม .....	4
2.2 การศึกษาการเสริมกำลังโครงสร้างด้วยวิธีต่างๆ.....	6
2.3 การศึกษาเกี่ยวกับกำลั้งต้านทานของตะแกรงเหล็กฉีก.....	11
2.4 กำลั้งต้านทานของโครงอาคารเสริมกำลังด้วยตะแกรงเหล็กฉีกร่วมกับ วิธีเฟอร์โรเมนต์ .....	13
2.5 แบบจำลองแรงค้ำยันสำหรับโครงข้อแข็งที่มีช่องเปิด.....	14
3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	21
3.1 อาคารตัวอย่าง .....	21
3.2 การเตรียมวัสดุทดสอบ .....	22
3.3 การออกแบบเสริมกำลัง .....	24

## สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
3.4 การเตรียมตัวอย่างทดสอบ .....	24
3.5 การติดตั้งตัวอย่างทดสอบและวิธีการทดสอบในห้องปฏิบัติการ .....	28
3.6 การวิเคราะห์ด้วยวิธีการผลักแบบวัฏจักร (Cyclic Pushover Analysis) ด้วยโปรแกรม RUAUMOKO.....	31
4 ผลการวิจัยและอภิปราย.....	34
4.1 ผลการทดสอบ BF-SR.....	34
4.2 ผลการทดสอบ IFO-SR .....	37
4.3 พฤติกรรมของเส้นโค้งฮิสเตอร์เรซิส (Hysteresis) .....	40
4.4 ผลการวิเคราะห์โครงข้อแข็งที่มีผนังก่อก่อที่มีช่องเปิดเสริมกำลัง (IFO-SR) ภายใต้แรงกระทำแบบวัฏจักรด้วยโปรแกรม RUAUMOKO .....	42
4.5 ผลการวิเคราะห์โครงข้อแข็งที่มีผนังก่อก่อที่มีช่องเปิดเต็ม (IFO-SR) ภายใต้ แรงกระทำแบบวัฏจักรด้วยโปรแกรม RUAUMOKO .....	45
4.6 กำลังสูงสุดและค่าความเหนียว.....	47
4.7 ค่าสติเฟเนส.....	50
4.8 การสลายพลังงาน .....	50
5 สรุป .....	52
บรรณานุกรม .....	53
ภาคผนวก .....	56
ภาคผนวก ก การคำนวณกำลังต้านทานรวมของโครงข้อแข็งและโครงข้อแข็ง ที่มีผนังก่อก่อแบบมีช่องเปิดเต็มและที่มีการเสริมกำลัง .....	57
ภาคผนวก ข การคำนวณพารามิเตอร์สำหรับวิเคราะห์โครงข้อแข็งและโครงข้อแข็ง ที่มีผนังก่อก่อแบบมีช่องเปิดเต็มและที่มีการเสริมกำลังด้วยโปรแกรม RUAUMOKO .....	63
ประวัติผู้วิจัย .....	72

## สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
3.1 คุณสมบัติของเหล็กเสริมคอนกรีต (Rebar) .....	23
3.2 ตะแกรงเหล็กฉีก (Expanded Metal) .....	23
3.3 กำลังต้านทานเดิมและกำลังต้านทานออกแบบ .....	24
3.4 หน้าที่ของอุปกรณ์ตรวจที่ตำแหน่งต่าง ๆ .....	30
3.5 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในแบบจำลองของโครงข้อแข็ง (BF) ตาม Modified Takeda Hysteresis Model) .....	32
3.6 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในแบบจำลองของค่าพารามิเตอร์สำหรับสร้างแบบจำลองแรงค้ำยันเทียบเท่าของผนัง (IFO) ตาม แบบจำลอง SINA Degrading Tri-linear .....	32
3.7 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในแบบจำลองของโครงข้อแข็ง (BF-SR) ตาม Modified Takeda Hysteresis Model .....	33
3.8 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในแบบจำลองของค่าพารามิเตอร์สำหรับสร้างแบบจำลองแรงค้ำยันเทียบเท่าของผนัง (IFO-SR) ตาม แบบจำลอง SINA Degrading Tri-linear .....	33
4.1 กำลังต้านทานของโครงข้อแข็งที่ผนังอิฐก่อแบบมีช่องเปิดเดิม(IFO) .....	45
4.2 กำลังต้านทานของโครงข้อแข็งที่ผนังอิฐก่อแบบมีช่องเปิดเดิม(IFO-SR) .....	46
4.3 Yield Strength และ displacement ของ BF, BF-SR, IFO และ IFO-SR.....	48
4.4 Peak strength และ displacement ของ BF, BF-SR, IFO และ IFO-SR .....	48
4.5 แสดงค่าความเหนียวของ BF, BF-SR, IFO และ IFO-SR.....	49

## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 การวิบัติบริเวณจุดหมุนพลาสติกของ RC. Bare Frame .....	4
2.2 ลักษณะความเสียหายที่เกิดขึ้นและทำให้เกิด Plastic Hinge ที่จุดต่อเสาและคาน ของ RC. Bare Frame .....	5
2.3 ลักษณะแรงค้ำยันเทียบเท่าของผนังก่อก่อในแนวทแยง ( $R_p$ ) และความกว้างของแรงค้ำยัน เทียบเท่าตาม .....	6
2.4 แบบจำลองโครงข้อแข็ง 3 มิติที่เสริมกำลังด้วยระบบ BRB .....	7
2.5 การเสริมกำลังด้วยวิธีเฟอร์โรซีเมนต์ให้กับเสาสั้น .....	7
2.6 การเสริมกำลังด้วยวิธี Ferrocement Jacketing .....	8
2.7 การเสริมกำลังเสาด้วยวิธี Ferro cement .....	9
2.8 (a) การเสริมกำลังเสาด้วยวิธี Steel Jackets (b) การเสริมกำลังเสาด้วยวิธี Ferrocement .....	9
2.9 การเสริมกำลังด้วยวิธีคอนกรีต Jackets ให้กับเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก .....	10
2.10 กระบวนการผลิตตะแกรงเหล็กฉีกด้วยแผ่นเหล็ก .....	11
2.11 การเกิด Buckling Shape จากการทดสอบแรงเฉือนของแผงตะแกรงเหล็กฉีก .....	11
2.12 เสาสั้นคอนกรีตเสริมเหล็กเสริมกำลังด้วยวิธีเฟอร์โรซีเมนต์เสริมด้วยตะแกรงเหล็กฉีก .	12
2.13 โครงอาคารและรูปตัดที่เสริมกำลังด้วยตะแกรงเหล็กฉีกร่วมกับวิธีเฟอร์โรซีเมนต์.....	13
2.14 แบบจำลองแรงค้ำยันสำหรับโครงข้อแข็งที่มีช่องเปิด.....	15
2.15 แสดงแบบจำลองโครงข้อแข็งและชิ้นส่วนสปริงแทนแรงค้ำยันเทียบเท่าของผนัง.....	17
2.16 แสดงแบบจำลอง Modified Takeda Hysteresis Model .....	17
2.17 แบบจำลอง SINA Degrading Tri-linear .....	18
3.1 ลักษณะอาคารเรียนสังกัดกระทรวงศึกษาธิการสูง 3 ชั้น .....	21
3.2 แสดงแบบแปลนอาคารเรียนชั้นที่ 1 และตำแหน่งที่พิจารณา.....	21
3.3 แสดงแบบแปลนอาคารเรียนชั้นที่ 2.....	22
3.4 แสดงแบบแปลนอาคารเรียนชั้นที่ 3.....	22
3.5 แสดงแบบรูปด้านอาคารเรียน .....	22
3.6 ลักษณะรูปร่างตะแกรงเหล็กฉีกที่ใช้ในงานทดสอบ No. XS-63.....	23
3.7 (a) การหล่อโครงข้อแข็งเดิม (b) แบบรายละเอียดการเสริมเหล็กโครงข้อแข็งเดิม.....	25

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.8 การติดตั้งตะแกรงเหล็กฉีกที่เสาและคานโดยเชื่อมติดกับเหล็กฉาก .....	25
3.9 (a) ลักษณะรอยเชื่อมยึดตะแกรงเหล็กฉีกและเหล็กฉากที่มุมเสา (b) การฉาบปิดตะแกรงเหล็กฉีกหนา 1.50 cm. ....	26
3.10 โครงข้อแข็งตัวอย่างเสริมกำลังด้วยวิธีเฟอร์โรซีเมนต์เสริมตะแกรงเหล็กฉีกที่เตรียมการแล้วเสร็จ.....	26
3.11 (a) การก่อผนังส่วนล่าง (b) การก่อผนังส่วนบน .....	27
3.12 (a) งานฉาบผนังก่อส่วนบน (b) งานฉาบผนังส่วนล่าง .....	27
3.13 ติดตั้งตะแกรงเหล็กฉีก No. 22 ที่ผนังทั้งสองด้านแล้วทำการฉาบปิดตะแกรงเหล็กฉีกหนา 1.5 cm .....	27
3.14 โครงข้อแข็งตัวอย่างที่ผนังช่องเปิดเสริมกำลังด้วยวิธีเฟอร์โรซีเมนต์เสริมตะแกรงเหล็กฉีกที่เตรียมการแล้วเสร็จ .....	28
3.15 การติดตั้งตัวอย่างทดสอบ BF-SR พร้อมอุปกรณ์ตรวจวัด LVDT .....	29
3.16 การติดตั้งตัวอย่างทดสอบ IFO-SR พร้อมอุปกรณ์ตรวจวัด LVDT .....	29
3.17 Hydraulics Actuator สำหรับให้แรง Horizontal Load.....	29
3.18 (a) การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัด (LVDT) (b) Hydraulics Jack สำหรับให้แรงแนวตั้ง ....	30
3.19 รูปแบบการควบคุมอัตราส่วนการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ .....	31
3.20 แสดงแบบจำลองโครงข้อแข็งและชิ้นส่วนสปริงแทนแรงค้ำยันเทียบเท่าของผนัง.....	32
4.1 การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ +1.0% (BF-SR) .....	34
4.2 การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ +2.0% (BF-SR) .....	34
4.3 การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ +3.0% (BF-SR) .....	35
4.4 การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ +4.5% (BF-SR) .....	35
4.5 การวิบัติด้วยแรงเฉือนที่โคนเสาที่การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ +0.40% (BF-SR).....	36
4.6 การเกิดรอยแยกเพิ่มขึ้นที่บริเวณ รอยต่อ เสา-คานที่ การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ +1.50% (BF-SR) .....	36
4.7 เกิดรอยแยกที่บริเวณรอยต่อเสา-คานที่การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ -4.23% (BF-SR).....	36
4.8 เกิดรอยแยกที่บริเวณรอยต่อเสา-คานที่การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ +4.23% (BF-SR).....	37
4.9 การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ +0.5% (IFO-SR).....	37

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.10 การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ +1.0% (IFO-SR).....	38
4.11 การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ +1.5% (IFO-SR).....	38
4.12 การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ +2.25% (IFO-SR).....	38
4.13 ลักษณะการวิบัติแบบ Diagonal Compression ที่ การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ +0.50% (IFO-SR) .....	39
4.14 ลักษณะการวิบัติแบบ Diagonal Compression ที่ การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ +0.75% (IFO-SR) .....	39
4.15 เกิดรอยแยกของเฟอร์โรซีเมนต์ที่ขอบเสาที่ การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ -1.50% (IFO-SR) .....	40
4.16 ลักษณะการวิบัติแบบ Diagonal Compression ที่ การเคลื่อนที่สัมพัทธ์+1.50% (IFO-SR) .....	40
4.17 พฤติกรรม Hysteresis Specimen BF .....	41
4.18 พฤติกรรม Hysteresis Specimen BF-SR .....	41
4.19 พฤติกรรม Hysteresis Specimen IFO-SR.....	42
4.20 พฤติกรรม Hysteresis Specimen IFO .....	43
4.21 (a) กำลังค้ำยันของผนังส่วนบน, (b) กำลังค้ำยันของผนังส่วนล่าง (IFO).....	44
4.22 (a) กำลังรับแรงเฉือนแนวราบของเสา, (b) กำลังรับแรงต้านทานรวม (IFO).....	44
4.23 (a) กำลังรับแรงค้ำยันของผนังส่วนบน, (b) กำลังค้ำยันของผนังส่วนล่าง (IFO-SR).....	46
4.24 (a) แสดงกำลังรับแรงเฉือนแนวราบของเสา, (b) กำลังรับแรงต้านทานรวม (IFO-SR)....	46
4.25 แสดง Envelop curve ของ BF, BF-SR, IFO และ IFO-SR.....	48
4.26 แสดงค่าสติเฟนสของ BF, BF-SR, IFO และ IFO-SR.....	50
4.27 การสลายพลังงาน BF, BF-SR, IFO และ IFO-SR.....	51