

การเพิ่มความสามารถต้านทานแผ่นดินไหวของอาคารเรียนคอนกรีตเสริมเหล็ก

นาย ถานินทร์ เจียรักสุวรรณ



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2544

ISBN 974-03-0212-2

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I20690149

RETROFIT OF REINFORCED CONCRETE SCHOOL BUILDINGS FOR SEISMIC RESISTANCE

Mr. Thanin Jiaruksuwan

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Civil Engineering

Department of Civil Engineering

Faculty of Engineering

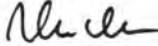
Chulalongkorn University

Academic Year 2001


ISBN 974-03-0212-2


หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเพิ่มความสามารถด้านทานแผ่นดินไหวของอาคารเรียนคอนกรีตเสริมเหล็ก
โดย	นายธานีทร์ เจียรักสุวรรณ
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ทศพล ปิ่นแก้ว


คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารธุรกิจ


..... คณะบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร. ปณิธาน ลักคณะประสิทธิ์)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ทศพล ปิ่นแก้ว)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พูลศักดิ์ เพียรสุม)

ธานินทร์ เจียรักสุวรรณ : การเพิ่มความสามารถต้านทานแผ่นดินไหวของอาคารเรียนคอนกรีตเสริมเหล็ก.
(RETROFIT OF REINFORCED CONCRETE SCHOOL BUILDINGS FOR SEISMIC RESISTANCE)

อ. ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ทศพล ปิ่นแก้ว, 160 หน้า. ISBN . 974-03-0212-2

เมื่อปี พ.ศ. 2540 ได้มีการบังคับใช้กฎกระทรวงฉบับที่ 49 กับอาคารที่ก่อสร้างใหม่ในเขตจังหวัดภาคเหนือและภาคตะวันตกของประเทศไทยให้สามารถต้านแรงแผ่นดินไหวได้ แต่อย่างไรก็ตามอาคารจำนวนมากได้มีการก่อสร้างไปก่อนแล้ว ทำให้เกิดความสงสัยในกำลังความต้านทานแรงแผ่นดินไหวของอาคารดังกล่าว จึงควรมีการศึกษาถึงความสามารถต้านทานแผ่นดินไหวและวิธีเพิ่มความต้านทานให้กับอาคาร โดยเฉพาะอาคารสาธารณะที่มีความสำคัญ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงความสามารถในการต้านทานแผ่นดินไหวและการเพิ่มความต้านทานให้กับอาคารเรียนคอนกรีตเสริมเหล็กสูง 4 ชั้น และ 2 ชั้น การออกแบบมีการพิจารณาเฉพาะแรงในแนวตั้ง การศึกษาใช้การวิเคราะห์พฤติกรรมในช่วงไม่ยืดหยุ่น โดยใช้โปรแกรม IDARC จำลองอาคารเป็นโครง 2 มิติ และวิเคราะห์โดยวิธีใช้แรงดันด้านข้างแบบสถิตจนวิบัติ และการวิเคราะห์แบบพลศาสตร์ ภายใต้คลื่นแผ่นดินไหวที่บันทึกได้ในอดีต

ผลการศึกษาพบว่าอาคารมีพฤติกรรมแบบเสาอ่อน-คานแข็ง ภายใต้แผ่นดินไหวขนาด 0.10g อาคารเรียน 4 ชั้นเกิดความเสียหายเล็กน้อย ส่วนอาคาร 2 ชั้นเกิดความเสียหายระดับปานกลางถึงรุนแรง โดยเกิดการครากเป็นจำนวนมากในเสา ส่วนการครากในคานเกิดขึ้นเฉพาะคานที่มีการออกแบบเป็นคานช่วงเดียว สำหรับแผ่นดินไหวขนาด 0.20g อาคาร 4 ชั้นและ 2 ชั้นเกิดความเสียหายระดับรุนแรง โดยความเสียหายเกิดขึ้นมากในเสาชั้นที่ 1 จนทำให้อาคารมีแนวโน้มที่จะเกิดการวิบัติเนื่องจากการวิบัติของชั้นที่ 1 สำหรับประเทศไทยซึ่งจัดอยู่ในเขตแผ่นดินไหวปานกลางและมาตรฐาน UBC กำหนดให้มีความเร่งของผิวดินสูงสุดเท่ากับ 0.15g ผลการวิเคราะห์กับอาคารเรียน ก. พบว่าสามารถทำให้อาคารเกิดความเสียหายในระดับรุนแรงแต่ยังไม่เกิดการวิบัติขึ้น

สำหรับวิธีการเพิ่มความต้านทานแผ่นดินไหวให้กับอาคารที่ศึกษาประกอบด้วย การห่อหุ้มเสาด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก, การเพิ่มผนังให้กับอาคาร และการติดตั้งตัวหน่วงความหนืดอีลาสติก ผลการศึกษาพบว่าแต่ละวิธีสามารถลดความเสียหายให้อยู่ในระดับเสียหายเล็กน้อยภายใต้แผ่นดินไหวขนาด 0.10g และเสียหายปานกลางสำหรับแผ่นดินไหวขนาด 0.20g โดยการเพิ่มผนังเหมาะสมสำหรับอาคารเรียน 4 ชั้น เนื่องจากมีเสาที่ต้องเสริมกำลังเป็นจำนวนมากหากใช้วิธีการห่อหุ้มเสา และค่าดัชนีความเสียหายมีค่ากระจายสม่ำเสมอในระดับต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีอื่น ในขณะที่วิธีการห่อหุ้มเสาเหมาะสมสำหรับอาคารเรียน 2 ชั้น

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อนิสิต ธานินทร์ เจียรักสุวรรณ
สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2544

4270358521 : MAJOR CIVIL ENGINEERING

KEY WORD: SEISMIC RETROFIT / SCHOOL BUILDING / SEISMIC RESISTANCE

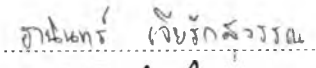
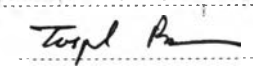
MR. THANIN JIARUKSUWAN: RETROFIT OF REINFORCED CONCRETE SCHOOL BUILDINGS FOR SEISMIC RESISTANCE. THESIS ADVISOR : ASSISTANT PROFESSOR DR. TOSPOL PINKAEW, 160 pp. ISBN. 974-03-0212-2

Since 1997, the Ministerial Regulation No. 49 has been enforced on the new buildings in the northern and western part of Thailand for seismic resistant design. However, almost all of existing buildings were constructed before 1997. Their seismic resistances are in questions. Therefore, it is worth to investigate their behavior and performance under earthquakes, especially for the public buildings.

This research studies the seismic resistance and seismic retrofit of 4-story and 2-story reinforced concrete school buildings. The buildings were designed to resist only gravity load. Both inelastic pushover and inelastic dynamic analysis under the earthquake records are conducted using the computer program IDARC with 2D building models.

The obtained results show that these buildings exhibit weak column-strong beam behavior under the earthquakes. For the earthquakes with PGA of 0.10g, the 4-story building suffers minor damage, while the 2-story building suffers moderate to severe damage. A number of plastic hinges are developed in columns but are limited for some simply supported beams. For the earthquakes with PGA of 0.20g, these buildings suffer severe to collapse damage. The damage is found to be concentrated in the 1st story columns. Consequently, the buildings trend to collapse due to mechanism of this floor. Under the earthquake with PGA of 0.15g that recommended for Thailand's seismicity, the 4-story building suffers severe damage.

Three retrofiting techniques consisting of a column jacketing, a full-filling reinforced concrete shearwall inside the existing frame and an installation of viscous elastic damper are employed. Each technique is found to be able to reduce the building damage to minor and moderate damages for the earthquakes with PGA of 0.10g and 0.20g PGA, respectively. Strengthening by full-filling shearwall inside the existing frame is the most preferable solution for the 4-story building because the damage is lowest with uniformly spreaded and there are too many columns need to be strengthened if the column jacketing technique is adopted. Although this technique seems preferable for the 2-story building.

Department.....	CIVIL ENGINEERING.....	Student's signature.....	
Concentration.....	CIVIL ENGINEERING.....	Advisor's signature.....	
Academic year.....	2001.....		



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ทศพล ปิ่นแก้ว อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำเกี่ยวกับทฤษฎี และแนวทางแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการทำวิจัย อันเป็นประโยชน์ต่อการทำวิจัยอย่างมากมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณศาสตราจารย์ ดร. ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พูลศักดิ์ เพียรสุดม กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ทำให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ คุณบรินทร์ เวชบรรเทิง หัวหน้าฝ่ายศึกษาและวิจัยภูมิพิสิิกส์ สำนักงานแผ่นดินไหว กรมอุตุนิยมวิทยา ซึ่งกรุณาให้ข้อมูลของคลื่นแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นในประเทศไทย

ขอกราบขอบพระคุณคุณแม่ของผู้ทำวิจัยที่ส่งเสียให้ผู้วิจัยได้มีโอกาสทางการศึกษา และเป็นกำลังใจแก่ผู้ทำวิจัยเสมอมาเมื่อผู้ทำวิจัยเกิดปัญหา

ขอขอบคุณพี่ๆ และเพื่อนๆ ของผู้ทำการวิจัยที่ได้เป็นกำลังใจให้คำแนะนำ คำปรึกษาและความช่วยเหลือตลอดการทำวิจัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญรูปภาพ	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของการวิจัย	1
1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	2
1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	14
1.4 ขอบเขตการวิจัย	14
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	14
1.6 วิธีดำเนินการวิจัย	15
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	16
2.1 หลักการวิเคราะห์โครงสร้างโดยวิธีทางพลศาสตร์	16
2.1.1 การวิเคราะห์โครงสร้างภายใต้แรงแผ่นดินไหวในช่วงอีลาสติก	18
2.1.2 การวิเคราะห์โครงสร้างภายใต้แรงแผ่นดินไหวในช่วงอินอีลาสติก	19
2.2 ทฤษฎีการวิเคราะห์โครงสร้างของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ IDARC2D v.4.0	20
2.2.1 การสร้างสมการรูปเมตริกซ์ของสติฟเนส	20
2.2.2 แบบจำลองพฤติกรรมการกระจายแบบพลาสติกขององค์อาคาร	23
2.2.3 แบบจำลองการเกิดการคราก	26
2.2.4 แบบจำลองฮีสเทอริติก	27
2.2.5 วิธีการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ IDARC2D v. 4.0	29
2.2.6 ดัชนีความเสียหาย	31

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
2.3 การวิเคราะห์โมเมนต์ดัดและความโค้งขององค์อาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก	33
2.3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของคอนกรีต	34
2.3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของเหล็กเสริมตามยาว ..	36
2.4 สมรรถนะของอาคารที่ต้องการ	38
บทที่ 3 อาคารเรียนและคสลื่นแผ่นดินไหวที่ใช้ในการวิจัย	40
3.1 อาคารเรียน	40
3.2 การจำลองอาคารเรียนเพื่อใช้ในการวิเคราะห์	45
3.3 คสลื่นแผ่นดินไหวที่ใช้ในการวิจัย	46
บทที่ 4 พฤติกรรมอาคารเรียนภายใต้แรงแผ่นดินไหว	50
4.1 พฤติกรรมและรูปแบบความเสียหายของอาคารเรียนภายใต้การวิเคราะห์โดยใช้ แรงดันด้านข้างแบบสถิต	50
4.1.1 อาคารเรียน ก. ภายใต้แรงดันด้านข้างแบบสถิต	50
4.1.2 อาคารเรียน ข. ภายใต้แรงดันด้านข้างแบบสถิต	55
4.2 พฤติกรรมและรูปแบบความเสียหายของอาคารเรียนภายใต้แรงแผ่นดินไหว	58
4.2.1 อาคารเรียน ก. ภายใต้แผ่นดินไหวขนาด 0.10 เท่าของความเร่ง เนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก	58
4.2.2 อาคารเรียน ก. ภายใต้แผ่นดินไหวขนาด 0.20 เท่าของความเร่ง เนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก	65
4.2.3 อาคารเรียน ข. ภายใต้แผ่นดินไหวขนาด 0.10 เท่าของความเร่ง เนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก	70
4.2.4 อาคารเรียน ข. ภายใต้แผ่นดินไหวขนาด 0.20 เท่าของความเร่ง เนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก	75
4.2.5 อาคารเรียน ก. ภายใต้แผ่นดินไหวขนาด 0.15 เท่าของความเร่ง เนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก	79

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
บทที่ 5 พฤติกรรมอาคารเรียนหลังเพิ่มความต้านทานแผ่นดินไหว.....	81
5.1 การเพิ่มความต้านทานแผ่นดินไหว.....	81
5.1.1 การเพิ่มความสามารถในการรับแรงให้กับชิ้นส่วนด้วยการห่อหุ้ม.....	81
5.1.2 การเพิ่มผนังในโครงข้อแข็งเดิม.....	83
5.1.3 การติดตั้งตัวห่วงความหนืดอีลาสติก.....	84
5.2 พฤติกรรมของอาคารเรียน ก. ภายหลังจากเพิ่มความต้านทานแผ่นดินไหว.....	86
5.2.1 การเพิ่มความต้านทานด้วยวิธีห่อหุ้มเสาด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก.....	86
5.2.1.1 พฤติกรรมอาคารเรียน ก. ที่ห่อหุ้มเสาแบบที่ 1.....	88
5.2.1.2 พฤติกรรมอาคารเรียน ก. ที่ห่อหุ้มเสาแบบที่ 2.....	98
5.2.2 การเพิ่มความต้านทานด้วยวิธีเพิ่มผนังในโครงข้อแข็งเดิม.....	108
5.2.3 การเพิ่มความต้านทานโดยติดตั้งตัวห่วงความหนืดอีลาสติก.....	122
5.3 พฤติกรรมของอาคารเรียน ข. ภายหลังจากเพิ่มความต้านทานแผ่นดินไหว.....	131
บทที่ 6 สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....	144
6.1 สรุปผลการวิจัย.....	144
6.2 ข้อเสนอแนะ.....	147
รายการอ้างอิง.....	148
ภาคผนวก.....	152
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	160

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 2.1 ความเสียหายของชิ้นส่วนโครงสร้างที่ดัชนีความเสียหายต่างๆ (Stone and Taylor, 1993).....	33
ตารางที่ 3.1 ค่าตัวแปรฮีสเทอเร็ติกที่ใช้ในการวิเคราะห์.....	45
ตารางที่ ก1. หน้าตัดที่ใช้ในการเปรียบเทียบความสัมพันธ์โมเมนต์และความโค้งงอของเสา.....	153
ตารางที่ ข1. คุณสมบัติของเสาของโครงข้อแข็งจำลอง.....	158

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 1.1 การห่อหุ้มเสาด้วยเหล็กแบบต่างๆ ในการศึกษาของ Aboutaha และคณะ	12
รูปที่ 2.1 แบบจำลองโครงสร้างที่มีดักริความอิสระเท่ากับ 1	18
รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ของการเคลื่อนที่ทั้งหมดกับการเคลื่อนที่ของพื้นดินและการเคลื่อนที่สัมพัทธ์	19
รูปที่ 2.3 โครงสร้างที่มีพฤติกรรมอยู่ในช่วงอีลาสติก	20
รูปที่ 2.4 โครงสร้างที่มีพฤติกรรมอยู่ในช่วงอินอีลาสติก	20
รูปที่ 2.5 ดักริความอิสระสำหรับชิ้นส่วนเสา ผนัง และคาน	22
รูปที่ 2.6 การกระจายความโค้งของชิ้นส่วน (Curvature distribution)	25
รูปที่ 2.7 แบบจำลองการกระจายพลาสติก (Spread plasticity model)	26
รูปที่ 2.8 ความยาวระยะคราก (Yield penetration length) สำหรับชิ้นส่วนที่มีพฤติกรรมเป็นอินอีลาสติกตลอดชิ้นส่วน	26
รูปที่ 2.9 แบบจำลองฮิสเทอเร็ติกแบบ 3 ตัวแปรของ Park	29
รูปที่ 2.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของคอนกรีตภายนอกเหล็กปลอก	36
รูปที่ 2.11 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของคอนกรีตภายในเหล็กปลอก	37
รูปที่ 2.12 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของเหล็กเสริมตามยาว	39
รูปที่ 3.1 รูปแปลนและรูปตัดด้านข้างของอาคารเรียน ก.	41
รูปที่ 3.2 รายละเอียดการเสริมเหล็กในคาน เสา และพื้นของอาคารเรียน ก.	42
รูปที่ 3.3 รูปแปลนและรูปตัดด้านข้างของอาคารเรียน ข.	43
รูปที่ 3.4 รายละเอียดการเสริมเหล็กในคาน เสา และพื้นของอาคารเรียน ข.	44
รูปที่ 3.5 คลื่นแผ่นดินไหว Chiangrai ที่ได้จากสถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวของกรมอุตุนิยมวิทยา	46
รูปที่ 3.6 ความถี่ของคลื่นแผ่นดินไหว Chiangrai	47
รูปที่ 3.7 คลื่นแผ่นดินไหว คลื่น El Centro 1940 – S00E	47
รูปที่ 3.8 คลื่นแผ่นดินไหว Loma Prieta 1989 Corralitos – CHAN1 : 90 Deg	47
รูปที่ 3.9 คลื่นแผ่นดินไหว Northridge 1994 White Oak Covenant Church : 180 Deg	48
รูปที่ 3.10 ความถี่ของคลื่น El Centro 1940 – S00E	49
รูปที่ 3.11 ความถี่ของคลื่น Loma Prieta 1989 Corralitos–CHAN1 : 90 Deg	49
รูปที่ 3.12 ความถี่ของคลื่น Northridge 1994 White Oak Covenant Church : 180 Deg	49

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 4.1 แรงกระทำด้านข้างภายใต้การวิเคราะห์แบบสถิต	50
รูปที่ 4.2 สัมประสิทธิ์แรงเฉือนที่ฐานกับการเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้น 4 ของอาคารเรียน ก. ภายใต้การดันด้วยแรงด้านข้างแบบสถิต	51
รูปที่ 4.3 การเปลี่ยนตำแหน่งของอาคารเรียน ก. ภายใต้การดันด้วยแรงด้านข้าง แบบสถิต ณ จุดต่างๆ ในรูปที่ 4.2	51
รูปที่ 4.4 การเปลี่ยนตำแหน่งสัมพัทธ์ของอาคารเรียน ก. ภายใต้การดันด้วยแรง ด้านข้างแบบสถิต ณ จุดต่างๆ ในรูปที่ 4.2	52
รูปที่ 4.5 รูปแบบความเสียหายของอาคารเรียน ก. ภายใต้การดันด้วยแรงด้านข้างที่ ค่าการเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นที่ 4 ต่างๆ เทียบกับความสูงของอาคาร	53
รูปที่ 4.6 สัมประสิทธิ์แรงเฉือนที่ฐานกับการเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้น 2 ของอาคารเรียน ข. ภายใต้การดันด้วยแรงด้านข้างแบบสถิต	55
รูปที่ 4.7 การเปลี่ยนตำแหน่งของอาคารเรียน ข. ภายใต้การดันด้วยแรงด้านข้างแบบสถิต ณ จุดต่างๆ ในรูปที่ 4.6	56
รูปที่ 4.8 การเปลี่ยนตำแหน่งสัมพัทธ์ของอาคารเรียน ข. ภายใต้การดันด้วยแรง ด้านข้างแบบสถิต ณ จุดต่างๆ ในรูปที่ 4.6	56
รูปที่ 4.9 รูปแบบความเสียหายของอาคารเรียน ข. ภายใต้การดันด้วยแรงด้านข้างที่ ค่าการเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นที่ 2 ต่างๆ เทียบกับความสูงของอาคาร	57
รูปที่ 4.10 การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ ของอาคารเรียน ก. ภายใต้คลื่น Chiangrai 0.10g	59
รูปที่ 4.11 การตอบสนองของอาคารเรียน ก. ภายใต้คลื่น Chiangrai 0.10g	59
รูปที่ 4.12 ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับอาคารเรียน ก. ภายใต้คลื่น Chiangrai 0.10g	60
รูปที่ 4.13 การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ ของอาคาร ก. ภายใต้คลื่น El Centro 0.10g	61
รูปที่ 4.14 การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ ของอาคาร ก. ภายใต้คลื่น Loma Prieta 0.10g	61
รูปที่ 4.15 การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ ของอาคาร ก. ภายใต้คลื่น Northridge 0.10g	61
รูปที่ 4.16 การตอบสนองของอาคาร ก. ภายใต้คลื่น El Centro 0.10g	62
รูปที่ 4.17 การตอบสนองของอาคาร ก. ภายใต้คลื่น Loma Prieta 0.10g	62
รูปที่ 4.18 การตอบสนองของอาคาร ก. ภายใต้คลื่น Northridge 0.10g	62
รูปที่ 4.19 ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับอาคาร ก. ภายใต้คลื่น El Centro, Loma Prieta และ Northridge ขนาด 0.10g	63

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 4.20 โมเมนต์และความโค้งที่เกิดขึ้นที่ปลายบนของเสา A ในรูปที่ 4.19ค	64
รูปที่ 4.21 โมเมนต์และความโค้งที่เกิดขึ้นที่ปลายบนของเสา B ในรูปที่ 4.19ค	64
รูปที่ 4.22 การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ ของอาคาร ก. ภายใต้คลื่น Chiangrai 0.20g	65
รูปที่ 4.23 การตอบสนองของอาคาร ก. ภายใต้คลื่น Chiangrai 0.20g	65
รูปที่ 4.24 ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับอาคาร ก. ภายใต้คลื่น Chiangrai 0.20g	66
รูปที่ 4.25 การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ ของอาคาร ก. ภายใต้คลื่น El Centro 0.20g	67
รูปที่ 4.26 การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ ของอาคาร ก. ภายใต้คลื่น Loma Prieta 0.20g	67
รูปที่ 4.27 การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ ของอาคาร ก. ภายใต้คลื่น Northridge 0.20g	67
รูปที่ 4.28 การตอบสนองของอาคาร ก. ภายใต้คลื่น El Centro 0.20g	68
รูปที่ 4.29 การตอบสนองของอาคาร ก. ภายใต้คลื่น Loma Prieta 0.20g	68
รูปที่ 4.30 การตอบสนองของอาคาร ก. ภายใต้คลื่น Northridge 0.20g	68
รูปที่ 4.31 ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับอาคาร ก. ภายใต้คลื่น El Centro, Loma Prieta และ Northridge ขนาด 0.20g	69
รูปที่ 4.32 โมเมนต์และความโค้งที่เกิดขึ้นที่ปลายบนของเสา C ในรูปที่ 4.31ค	70
รูปที่ 4.33 การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ ของอาคาร ข. ภายใต้คลื่น Chiangrai 0.10g	71
รูปที่ 4.34 การตอบสนองของอาคาร ข. ภายใต้คลื่น Chiangrai 0.10g	71
รูปที่ 4.35 ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับอาคาร ข. ภายใต้คลื่น Chiangrai 0.10g	71
รูปที่ 4.36 การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ ของอาคาร ข. ภายใต้คลื่น El Centro 0.10g	72
รูปที่ 4.37 การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ ของอาคาร ข. ภายใต้คลื่น Loma Prieta 0.10g	72
รูปที่ 4.38 การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ ของอาคาร ข. ภายใต้คลื่น Northridge 0.10g	73
รูปที่ 4.39 การตอบสนองของอาคาร ข. ภายใต้คลื่น El Centro 0.10g	73
รูปที่ 4.40 การตอบสนองของอาคาร ข. ภายใต้คลื่น Loma Prieta 0.10g	73
รูปที่ 4.41 การตอบสนองของอาคาร ข. ภายใต้คลื่น Northridge 0.10g	73
รูปที่ 4.42 ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับอาคาร ข. ภายใต้คลื่น El Centro, Loma Prieta และ Northridge ขนาด 0.10g	74
รูปที่ 4.43 การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ ของอาคาร ข. ภายใต้คลื่น Chiangrai 0.20g	75
รูปที่ 4.44 การตอบสนองของอาคาร ข. ภายใต้คลื่น Chiangrai 0.20g	75
รูปที่ 4.45 ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับอาคาร ข. ภายใต้คลื่น Chiangrai 0.20g	76

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 4.46 การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ ของอาคาร ข. ภายใต้อาคาร El Centro 0.20g.....	76
รูปที่ 4.47 การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ ของอาคาร ข. ภายใต้อาคาร Loma Prieta 0.20g.....	77
รูปที่ 4.48 การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ ของอาคาร ข. ภายใต้อาคาร Northridge 0.20g.....	77
รูปที่ 4.49 การตอบสนองของอาคาร ข. ภายใต้อาคาร El Centro 0.20g.....	77
รูปที่ 4.50 การตอบสนองของอาคาร ข. ภายใต้อาคาร Loma Prieta 0.20g.....	77
รูปที่ 4.51 การตอบสนองของอาคาร ข. ภายใต้อาคาร Northridge 0.20g.....	78
รูปที่ 4.52 ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับอาคาร ข. ภายใต้อาคาร El Centro, Loma Prieta และ Northridge ขนาด 0.20g.....	78
รูปที่ 4.53 การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ ของอาคาร ก. ภายใต้อาคาร Loma Prieta 0.15g.....	78
รูปที่ 4.54 ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับอาคารเรียน ก. ภายใต้อาคาร Loma Prieta 0.15g.....	78
รูปที่ 5.1 การห่อหุ้มเสาด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก.....	82
รูปที่ 5.2 ตัวอย่างการเพิ่มผนังให้กับโครงข้อแข็ง.....	83
รูปที่ 5.3 การติดตั้งตัวหน่วงความหนืดกับตัวยึดแบบทแยงเข้ากับอาคาร.....	84
รูปที่ 5.4 แบบจำลองตัวหน่วงความหนืดซึ่งต่อกับตัวยึดแบบอนุกรม.....	84
รูปที่ 5.5 รูปแบบการห่อหุ้มเสาแบบที่ 1.....	86
รูปที่ 5.6 รูปแบบการห่อหุ้มเสาแบบที่ 2.....	87
รูปที่ 5.7 รายละเอียดการเสริมเหล็กในส่วนห่อหุ้มเสาชั้นที่ 1 ถึง 3.....	87
รูปที่ 5.8 สัมประสิทธิ์แรงเฉือนที่ฐานกับการเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้น 4 ของอาคารเรียน ก. หลังห่อหุ้มเสาแบบที่ 1 ภายใต้อาคารด้วยแรงด้านข้างแบบสถิต.....	88
รูปที่ 5.9 การเปลี่ยนตำแหน่งของอาคารเรียน ก. หลังห่อหุ้มเสาแบบที่ 1 ภายใต้อาคารด้วยแรงด้านข้างแบบสถิต ณ จุดต่างๆ ในรูปที่ 5.8.....	88
รูปที่ 5.10 การเปลี่ยนตำแหน่งสัมพัทธ์ของอาคารเรียน ก. หลังห่อหุ้มเสาแบบที่ 1 ภายใต้อาคารด้วยแรงด้านข้างแบบสถิต ณ จุดต่างๆ ในรูปที่ 5.8.....	89
รูปที่ 5.11 รูปแบบความเสียหายของอาคาร ก. หลังห่อหุ้มเสาแบบที่ 1 ภายใต้อาคารด้วยแรงด้านข้าง ที่ค่าการเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นที่ 4 ต่างๆ เทียบกับความสูงของอาคาร.....	89
รูปที่ 5.12 การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ ของอาคาร ก. ซึ่งห่อหุ้มเสาด้วยคอนกรีตเสริมเหล็กแบบที่ 1 ภายใต้อาคาร Chiangrai 0.10g.....	90

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 5.13 การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ ของอาคาร ก. ซึ่งห่อหุ้มเสาด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก แบบที่ 1 ภายใต้อาคาร El Centro 0.10g	91
รูปที่ 5.14 การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ ของอาคาร ก. ซึ่งห่อหุ้มเสาด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก แบบที่ 1 ภายใต้อาคาร Loma Prieta 0.10g	91
รูปที่ 5.15 การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ ของอาคาร ก. ซึ่งห่อหุ้มเสาด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก แบบที่ 1 ภายใต้อาคาร Northridge 0.10g	91
รูปที่ 5.16 การตอบสนองของอาคาร ก. ภายใต้อาคาร Chiangrai 0.10g เปรียบเทียบ อาคารก่อนปรับปรุงและอาคารหลังห่อหุ้มเสาแบบที่ 1	92
รูปที่ 5.17 การตอบสนองของอาคาร ก. ภายใต้อาคาร El Centro 0.10g เปรียบเทียบ อาคารก่อนปรับปรุงและอาคารหลังห่อหุ้มเสาแบบที่ 1	92
รูปที่ 5.18 การตอบสนองของอาคาร ก. ภายใต้อาคาร Loma Prieta 0.10g เปรียบเทียบ อาคารก่อนปรับปรุงและอาคารหลังห่อหุ้มเสาแบบที่ 1	93
รูปที่ 5.19 การตอบสนองของอาคาร ก. ภายใต้อาคาร Northridge 0.10g เปรียบเทียบ อาคารก่อนปรับปรุงและอาคารหลังห่อหุ้มเสาแบบที่ 1	93
รูปที่ 5.20 ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับอาคาร ก. หลังห่อหุ้มเสาแบบที่ 1 ภายใต้อาคาร Chiangrai, El Centro, Loma Prieta และ Northridge ขนาด 0.10g	94
รูปที่ 5.21 การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ ของอาคาร ก. ซึ่งห่อหุ้มเสาด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก แบบที่ 1 ภายใต้อาคาร Chiangrai 0.20g	95
รูปที่ 5.22 การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ ของอาคาร ก. ซึ่งห่อหุ้มเสาด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก แบบที่ 1 ภายใต้อาคาร El Centro 0.20g	95
รูปที่ 5.23 การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ ของอาคาร ก. ซึ่งห่อหุ้มเสาด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก แบบที่ 1 ภายใต้อาคาร Loma Prieta 0.20g	95
รูปที่ 5.24 การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ ของอาคาร ก. ซึ่งห่อหุ้มเสาด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก แบบที่ 1 ภายใต้อาคาร Northridge 0.20g	96
รูปที่ 5.25 การตอบสนองของอาคาร ก. ภายใต้อาคาร Chiangrai 0.20g เปรียบเทียบ อาคารก่อนปรับปรุงและอาคารหลังห่อหุ้มเสาแบบที่ 1	96
รูปที่ 5.26 การตอบสนองของอาคาร ก. ภายใต้อาคาร El Centro 0.20g เปรียบเทียบ อาคารก่อนปรับปรุงและอาคารหลังห่อหุ้มเสาแบบที่ 1	96

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 5.27 การตอบสนองของอาคาร ก. ภายใต้คลื่น Loma Prieta 0.20g เปรียบเทียบ อาคารก่อนปรับปรุงและอาคารหลังห่อหุ้มเสาแบบที่ 1.....	97
รูปที่ 5.28 การตอบสนองของอาคาร ก. ภายใต้คลื่น Northridge 0.20g เปรียบเทียบ อาคารก่อนปรับปรุงและอาคารหลังห่อหุ้มเสาแบบที่ 1.....	97
รูปที่ 5.29 ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับอาคาร ก. หลังห่อหุ้มเสาแบบที่ 1 ภายใต้คลื่น Chiangrai, El Centro, Loma Prieta และ Northridge ขนาด 0.20g.....	98
รูปที่ 5.30 สัมประสิทธิ์แรงเฉือนที่ฐานกับการเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้น 4 ของอาคารเรียน ก. หลังห่อหุ้มเสาแบบที่ 2 ภายใต้การดันด้วยแรงด้านข้างแบบสถิต.....	99
รูปที่ 5.31 การเปลี่ยนตำแหน่งของอาคารเรียน ก. หลังห่อหุ้มเสาแบบที่ 2 ภายใต้การดันด้วยแรงด้านข้างแบบสถิต ณ จุดต่างๆ ในรูปที่ 5.30.....	99
รูปที่ 5.32 การเปลี่ยนตำแหน่งสัมพัทธ์ของอาคารเรียน ก. หลังห่อหุ้มเสาแบบที่ 2 ภายใต้การดันด้วยแรงด้านข้างแบบสถิต ณ จุดต่างๆ ในรูปที่ 5.30.....	100
รูปที่ 5.33 รูปแบบความเสียหายของอาคาร ก. หลังห่อหุ้มเสาแบบที่ 2 ภายใต้การดันด้วยแรง ด้านข้าง ที่ค่าการเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นที่ 4 ต่างๆ เทียบกับความสูงของอาคาร.....	100
รูปที่ 5.34 การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ ของอาคาร ก. ซึ่งห่อหุ้มเสาด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก แบบที่ 2 ภายใต้คลื่น Chiangrai 0.20g.....	102
รูปที่ 5.35 การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ ของอาคาร ก. ซึ่งห่อหุ้มเสาด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก แบบที่ 2 ภายใต้คลื่น El Centro 0.20g.....	103
รูปที่ 5.36 การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ ของอาคาร ก. ซึ่งห่อหุ้มเสาด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก แบบที่ 2 ภายใต้คลื่น Loma Prieta 0.20g.....	103
รูปที่ 5.37 การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ ของอาคาร ก. ซึ่งห่อหุ้มเสาด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก แบบที่ 2 ภายใต้คลื่น Northridge 0.20g.....	103
รูปที่ 5.38 การตอบสนองของอาคาร ก. ภายใต้คลื่น Chiangrai 0.20g เปรียบเทียบ อาคารก่อนปรับปรุงและอาคารหลังห่อหุ้มเสาแบบที่ 2.....	104
รูปที่ 5.39 การตอบสนองของอาคาร ก. ภายใต้คลื่น El Centro 0.20g เปรียบเทียบ อาคารก่อนปรับปรุงและอาคารหลังห่อหุ้มเสาแบบที่ 2.....	104
รูปที่ 5.40 การตอบสนองของอาคาร ก. ภายใต้คลื่น Loma Prieta 0.20g เปรียบเทียบ อาคารก่อนปรับปรุงและอาคารหลังห่อหุ้มเสาแบบที่ 2.....	105

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 5.41 การตอบสนองของอาคาร ก. ภายใต้คลื่น Northridge 0.20g เปรียบเทียบ อาคารก่อนปรับปรุงและอาคารหลังห่อหุ้มเสาแบบที่ 2.....	105
รูปที่ 5.42 ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับอาคาร ก. หลังห่อหุ้มเสาแบบที่ 2 ภายใต้คลื่น Chiangrai, El Centro, Loma Prieta และ Northridge ขนาด 0.20g.....	106
รูปที่ 5.43 รูปแปลนและรูปด้านข้างแสดงการเพิ่มผนังในอาคารเรียน ก.....	108
รูปที่ 5.44 รายละเอียดการเสริมเหล็กภายในผนังชั้นต่างๆ.....	108
รูปที่ 5.45 สัมประสิทธิ์แรงเฉือนที่ฐานกับการเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้น 4 ของอาคารเรียน ก. หลังการเพิ่มผนัง ภายใต้การดันด้วยแรงด้านข้างแบบสถิต.....	109
รูปที่ 5.46 การเปลี่ยนตำแหน่งของอาคารเรียน ก. หลังการเพิ่มผนัง ภายใต้การดันด้วย แรงด้านข้างแบบสถิต ณ จุดต่างๆ ในรูปที่ 5.45.....	109
รูปที่ 5.47 การเปลี่ยนตำแหน่งสัมพัทธ์ของอาคารเรียน ก. หลังเพิ่มผนัง ภายใต้การดัน ด้วยแรงด้านข้างแบบสถิต ณ จุดต่างๆ ในรูปที่ 5.45.....	110
รูปที่ 5.48 รูปแบบความเสียหายของอาคารเรียน ก. หลังเพิ่มผนัง ภายใต้การดันด้วยแรง ด้านข้างที่ค่าการเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นที่ 4 ต่างๆ เทียบกับความสูงของอาคาร.....	111
รูปที่ 5.49 การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ ของอาคาร ก. หลังเพิ่มผนัง ภายใต้คลื่น Chiangrai 0.10g.....	113
รูปที่ 5.50 การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ ของอาคาร ก. หลังเพิ่มผนัง ภายใต้คลื่น El Centro 0.10g.....	113
รูปที่ 5.51 การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ ของอาคาร ก. หลังเพิ่มผนัง ภายใต้คลื่น Loma Prieta 0.10g.....	113
รูปที่ 5.52 การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ ของอาคาร ก. หลังเพิ่มผนัง ภายใต้คลื่น Northridge 0.10g.....	114
รูปที่ 5.53 การตอบสนองของอาคาร ก. ภายใต้คลื่น Chiangrai 0.10g เปรียบเทียบ อาคารก่อนปรับปรุงและอาคารหลังเพิ่มผนัง.....	114
รูปที่ 5.54 การตอบสนองของอาคาร ก. ภายใต้คลื่น El Centro 0.10g เปรียบเทียบ อาคารก่อนปรับปรุงและอาคารหลังเพิ่มผนัง.....	114
รูปที่ 5.55 การตอบสนองของอาคาร ก. ภายใต้คลื่น Loma Prieta 0.10g เปรียบเทียบ อาคารก่อนปรับปรุงและอาคารหลังเพิ่มผนัง.....	115

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 5.56 การตอบสนองของอาคาร ก. ภายใต้คลื่น Northridge 0.10g เปรียบเทียบ อาคารก่อนปรับปรุงและอาคารหลังเพิ่มผนัง.....	115
รูปที่ 5.57 ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับอาคาร ก. หลังการเพิ่มผนัง ภายใต้คลื่น Chiangrai, El Centro, Loma Prieta และ Northridge ขนาด 0.10g.....	116
รูปที่ 5.58 การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ ของอาคาร ก. หลังเพิ่มผนัง ภายใต้คลื่น Chiangrai 0.20g.....	117
รูปที่ 5.59 การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ ของอาคาร ก. หลังเพิ่มผนัง ภายใต้คลื่น El Centro 0.20g.....	118
รูปที่ 5.60 การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ ของอาคาร ก. หลังเพิ่มผนัง ภายใต้คลื่น Loma Prieta 0.20g.....	118
รูปที่ 5.61 การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ ของอาคาร ก. หลังเพิ่มผนัง ภายใต้คลื่น Northridge 0.20g.....	118
รูปที่ 5.62 การตอบสนองของอาคาร ก. ภายใต้คลื่น Chiangrai 0.20g เปรียบเทียบ อาคารก่อนปรับปรุงและอาคารหลังเพิ่มผนัง.....	119
รูปที่ 5.63 การตอบสนองของอาคาร ก. ภายใต้คลื่น El Centro 0.20g เปรียบเทียบ อาคารก่อนปรับปรุงและอาคารหลังเพิ่มผนัง.....	119
รูปที่ 5.64 การตอบสนองของอาคาร ก. ภายใต้คลื่น Loma Prieta 0.20g เปรียบเทียบ อาคารก่อนปรับปรุงและอาคารหลังเพิ่มผนัง.....	120
รูปที่ 5.65 การตอบสนองของอาคาร ก. ภายใต้คลื่น Northridge 0.20g เปรียบเทียบ อาคารก่อนปรับปรุงและอาคารหลังเพิ่มผนัง.....	120
รูปที่ 5.66 ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับอาคาร ก. หลังการเพิ่มผนัง ภายใต้คลื่น Chiangrai, El Centro, Loma Prieta และ Northridge ขนาด 0.20g.....	121
รูปที่ 5.67 การติดตั้งตัวห่วงความหนืดอีลาสติกในอาคารเรียน ก.....	122
รูปที่ 5.68 การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ ของอาคาร ก. ภายหลังจากติดตั้งตัวห่วงความหนืด อีลาสติก ภายใต้คลื่น Chiangrai 0.10g.....	123
รูปที่ 5.69 การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ ของอาคาร ก. ภายหลังจากติดตั้งตัวห่วงความหนืด อีลาสติก ภายใต้คลื่น El Centro 0.10g.....	123

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 5.70 การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ ของอาคาร ก. ภายหลังจากติดตั้งตัวห่วงความหนืดอีลาสติก ภายใต้อาคาร Loma Prieta 0.10g.....	123
รูปที่ 5.71 การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ ของอาคาร ก. ภายหลังจากติดตั้งตัวห่วงความหนืดอีลาสติก ภายใต้อาคาร Northridge 0.10g.....	124
รูปที่ 5.72 การตอบสนองของอาคาร ก. ภายใต้อาคาร Chiangrai 0.10g เปรียบเทียบอาคารก่อนปรับปรุงและอาคารหลังติดตั้งตัวห่วงความหนืดอีลาสติก.....	124
รูปที่ 5.73 การตอบสนองของอาคาร ก. ภายใต้อาคาร El Centro 0.10g เปรียบเทียบอาคารก่อนปรับปรุงและอาคารหลังติดตั้งตัวห่วงความหนืดอีลาสติก.....	124
รูปที่ 5.74 การตอบสนองของอาคาร ก. ภายใต้อาคาร Loma Prieta 0.10g เปรียบเทียบอาคารก่อนปรับปรุงและอาคารหลังติดตั้งตัวห่วงความหนืดอีลาสติก.....	125
รูปที่ 5.75 การตอบสนองของอาคาร ก. ภายใต้อาคาร Northridge 0.10g เปรียบเทียบอาคารก่อนปรับปรุงและอาคารหลังติดตั้งตัวห่วงความหนืดอีลาสติก.....	125
รูปที่ 5.76 ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับอาคาร ก. หลังติดตั้งตัวห่วงความหนืดอีลาสติก ภายใต้อาคาร Chiangrai, El Centro, Loma Prieta และ Northridge ขนาด 0.10g.....	126
รูปที่ 5.77 การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ ของอาคาร ก. ภายหลังจากติดตั้งตัวห่วงความหนืดอีลาสติก ภายใต้อาคาร Chiangrai 0.20g.....	126
รูปที่ 5.78 การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ ของอาคาร ก. ภายหลังจากติดตั้งตัวห่วงความหนืดอีลาสติก ภายใต้อาคาร El Centro 0.20g.....	127
รูปที่ 5.79 การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ ของอาคาร ก. ภายหลังจากติดตั้งตัวห่วงความหนืดอีลาสติก ภายใต้อาคาร Loma Prieta 0.20g.....	127
รูปที่ 5.80 การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ ของอาคาร ก. ภายหลังจากติดตั้งตัวห่วงความหนืดอีลาสติก ภายใต้อาคาร Northridge 0.20g.....	127
รูปที่ 5.81 การตอบสนองของอาคาร ก. ภายใต้อาคาร Chiangrai 0.20g เปรียบเทียบอาคารก่อนปรับปรุงและอาคารหลังติดตั้งตัวห่วงความหนืดอีลาสติก.....	128
รูปที่ 5.82 การตอบสนองของอาคาร ก. ภายใต้อาคาร El Centro 0.20g เปรียบเทียบอาคารก่อนปรับปรุงและอาคารหลังติดตั้งตัวห่วงความหนืดอีลาสติก.....	128
รูปที่ 5.83 การตอบสนองของอาคาร ก. ภายใต้อาคาร Loma Prieta 0.20g เปรียบเทียบอาคารก่อนปรับปรุงและอาคารหลังติดตั้งตัวห่วงความหนืดอีลาสติก.....	129

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 5.84 การตอบสนองของอาคาร ก. ภายใต้คลื่น Northridge 0.20g เปรียบเทียบ อาคารก่อนปรับปรุงและอาคารหลังติดตั้งตัวหน่วงความหนืดอีลาสติก.....	129
รูปที่ 5.85 ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับอาคาร ก. หลังติดตั้งตัวหน่วงความหนืดอีลาสติก ภายใต้คลื่น Chiangrai, El Centro, Loma Prieta และ Northridge ขนาด 0.20g.....	130
รูปที่ 5.86 รูปแบบการห่อหุ้มเสาของอาคารเรียน ข.....	131
รูปที่ 5.87 รายละเอียดการเสริมเหล็กในส่วนห่อหุ้มเสาของอาคารเรียน ข.....	131
รูปที่ 5.88 สัมประสิทธิ์แรงเฉือนที่ฐานกับการเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้น 2 ของอาคารเรียน ข. หลังห่อหุ้มเสา ภายใต้การดันด้วยแรงด้านข้างแบบสถิต.....	132
รูปที่ 5.89 การเปลี่ยนตำแหน่งของอาคารเรียน ข. หลังห่อหุ้มเสาภายใต้การดันด้วย แรงด้านข้างแบบสถิต ณ จุดต่างๆ ในรูปที่ 5.88.....	132
รูปที่ 5.90 การเปลี่ยนตำแหน่งสัมพัทธ์ของอาคารเรียน ข. หลังห่อหุ้มเสาภายใต้การดันด้วย แรงด้านข้างแบบสถิต ณ จุดต่างๆ ในรูปที่ 5.88.....	133
รูปที่ 5.91 รูปแบบความเสียหายของอาคารเรียน ข. หลังห่อหุ้มเสา ภายใต้การดันด้วยแรง ด้านข้างที่ค่าการเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นที่ 2 ต่างๆ เทียบกับความสูงของอาคาร.....	133
รูปที่ 5.92 การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ ของอาคาร ข. หลังห่อหุ้มเสาภายใต้คลื่น Chiangrai 0.10g.....	135
รูปที่ 5.93 การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ ของอาคาร ข. หลังห่อหุ้มเสา ภายใต้คลื่น El Centro 0.10g.....	135
รูปที่ 5.94 การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ ของอาคาร ข. หลังห่อหุ้มเสา ภายใต้คลื่น Loma Prieta 0.10g.....	135
รูปที่ 5.95 การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ ของอาคาร ข. หลังห่อหุ้มเสา ภายใต้คลื่น Northridge 0.10g.....	136
รูปที่ 5.96 การตอบสนองของอาคาร ข. ภายใต้คลื่น Chiangrai 0.10g เปรียบเทียบ อาคารก่อนปรับปรุงและหลังห่อหุ้มเสา.....	136
รูปที่ 5.97 การตอบสนองของอาคาร ข. ภายใต้คลื่น El Centro 0.10g เปรียบเทียบ อาคารก่อนปรับปรุงและหลังห่อหุ้มเสา.....	136
รูปที่ 5.98 การตอบสนองของอาคาร ข. ภายใต้คลื่น Loma Prieta 0.10g เปรียบเทียบ อาคารก่อนปรับปรุงและหลังห่อหุ้มเสา.....	137

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 5.99 การตอบสนองของอาคาร ข. ภายใต้คลื่น Northridge 0.10g เปรียบเทียบ อาคารก่อนปรับปรุงและหลังห่อหุ้มเสา.....	137
รูปที่ 5.100 ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับอาคาร ข. หลังห่อหุ้มเสา ภายใต้คลื่น Chiangrai, El Centro, Loma Prieta และ Northridge ขนาด 0.10g.....	138
รูปที่ 5.101 การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ ของอาคาร ข. หลังห่อหุ้มเสาภายใต้คลื่น Chiangrai 0.20g.....	139
รูปที่ 5.102 การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ ของอาคาร ข. หลังห่อหุ้มเสาภายใต้คลื่น El Centro 0.20g.....	139
รูปที่ 5.103 การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ ของอาคาร ข. หลังห่อหุ้มเสาภายใต้คลื่น Loma Prieta 0.20g.....	139
รูปที่ 5.104 การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ ของอาคาร ข. หลังห่อหุ้มเสาภายใต้คลื่น Northridge 0.20g.....	140
รูปที่ 5.105 การตอบสนองของอาคาร ข. ภายใต้คลื่น Chiangrai 0.20g เปรียบเทียบ อาคารก่อนปรับปรุงและหลังห่อหุ้มเสา.....	140
รูปที่ 5.106 การตอบสนองของอาคาร ข. ภายใต้คลื่น El Centro 0.20g เปรียบเทียบ อาคารก่อนปรับปรุงและหลังห่อหุ้มเสา.....	140
รูปที่ 5.107 การตอบสนองของอาคาร ข. ภายใต้คลื่น Loma Prieta 0.20g เปรียบเทียบ อาคารก่อนปรับปรุงและหลังห่อหุ้มเสา.....	141
รูปที่ 5.108 การตอบสนองของอาคาร ข. ภายใต้คลื่น Northridge 0.20g เปรียบเทียบ อาคารก่อนปรับปรุงและหลังห่อหุ้มเสา.....	141
รูปที่ 5.109 ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับอาคาร ข. หลังห่อหุ้มเสา ภายใต้คลื่น Chiangrai, El Centro, Loma Prieta และ Northridge ขนาด 0.20g.....	142
รูปที่ 6.1 ค่าดัชนีความเสียหายของเสาสูงสุดในแต่ละชั้นภายใต้คลื่น El Centro 0.20g.....	146
รูปที่ 6.2 ค่าดัชนีความเสียหายของเสาสูงสุดในแต่ละชั้นภายใต้คลื่น Loma Prieta 0.20g.....	146
รูปที่ 6.3 ค่าดัชนีความเสียหายของเสาสูงสุดในแต่ละชั้นภายใต้คลื่น Northridge 0.20g.....	146
รูปที่ ก1. ความสัมพันธ์โมเมนต์และความโค้งในหน้าตัดตัวอย่างที่ 1.....	154
รูปที่ ก2. ความสัมพันธ์โมเมนต์และความโค้งของหน้าตัดตัวอย่างที่ 2.....	155
รูปที่ ก3. ความสัมพันธ์โมเมนต์และความโค้งของหน้าตัดตัวอย่างที่ 3.....	155
รูปที่ ก4. ความสัมพันธ์โมเมนต์และความโค้งของหน้าตัดตัวอย่างที่ 4.....	155

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ ข1. ลักษณะของโครงข้อแข็งจำลอง.....	156
รูปที่ ข2. รูปแบบการให้แรงกระทำโดยควบคุมการเปลี่ยนตำแหน่งของชั้นที่ 1.....	156
รูปที่ ข3. การเปลี่ยนตำแหน่งและค่าแรงเฉือนในเสา ซึ่งใช้พารามิเตอร์ฮีสเทอเรติก ของคานภายใน.....	157
รูปที่ ข4. การเปลี่ยนตำแหน่งและค่าแรงเฉือนในเสา ซึ่งใช้พารามิเตอร์ฮีสเทอเรติก ของคานภายนอก.....	158
รูปที่ ข5. การเปลี่ยนตำแหน่งและค่าแรงเฉือนในเสา ซึ่งใช้พารามิเตอร์ฮีสเทอเรติก ของเสา.....	158
รูปที่ ข6. การเปลี่ยนตำแหน่งและค่าแรงเฉือนในเสา ซึ่งใช้พารามิเตอร์ฮีสเทอเรติก ของเสาที่หล่อหุ้มด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก.....	158
รูปที่ ข7. การเปลี่ยนตำแหน่งและค่าแรงเฉือนในเสา ซึ่งใช้พารามิเตอร์ฮีสเทอเรติก ของผนัง (การตัด).....	159