

การใช้ค้ำยันแนวทแยงมุมจำลองกำแพงเติมช่องสำหรับรับแรงด้านข้าง

APPLICATION OF DIAGONAL STRUT SIMULATION MODEL OF INFILL WALL
FOR LATERAL LOAD



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2556

KMITL-2013-EN-M-093-185

การใช้ค้ำยันแนวทแยงมุมจำลองกำแพงเติมช่องสำหรับรับแรงด้านข้าง
APPLICATION OF DIAGONAL STRUT SIMULATION MODEL OF INFILL WALL
FOR LATERAL LOAD



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2556
KMITL-2013-EN-M-093-185

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

APPLICATION OF DIAGONAL STRUT SIMULATION MODEL OF INFILL WALL
FOR LATERAL LOAD



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MATER OF ENGINEERING IN CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2013
KMITL-2013-EN-M-093-185

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2013





FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การใช้ค้ำยันแนวทแยงมุมจำลองกำแพงเติมช่องสำหรับรับแรงด้านข้าง
Thesis Title Application of Diagonal Strut Simulation Model of Infill Wall for Lateral Load
นักศึกษา นายสุทธิเกียรติ รัตนไพศาลศรี
รหัสประจำตัว 55613227
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.สุวัฒน์ ธีรเศรษฐ์
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2013-EN-M-093-185

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ดร.อาทิตย์	เพชรศศิธร	
รศ.เอนก	ศิริพานิชกร	
ผศ.ดร.คมสัน	มาลีสี	
รศ.สุวัฒน์	ธีรเศรษฐ์	

วัน / เดือน/ ปี ที่สอบ วันอังคารที่ 8 ตุลาคม พ.ศ. 2556 เวลา 10.30-12.30 น.
สถานที่สอบ ณ อาคาร 12 ชั้น (E12) ห้อง E12-405

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(ศาสตราจารย์ ดร.สุขชีวีร์ สุวรรณสวัสดิ์)

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 8 ตุลาคม พ.ศ. 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การใช้ค้ำยันแนวทแยงมุมจำลองกำแพงเติมช่องสำหรับรับแรงด้านข้าง
นักศึกษา	นายสุทธิเกียรติ รัตนไพศาลศรี
รหัสนักศึกษา	55613227
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
พ.ศ.	2556
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ. สุวัฒน์ ธีรเศรษฐ์

บทคัดย่อ

ในขั้นตอนการออกแบบนั้นกำแพงเติมช่องจะเป็นเพียงโครงสร้างที่ช่วยเสริมความแข็งแรงให้กับโครงสร้างหลักเท่านั้น ไม่มีการนำมาคิดคำนวณออกแบบแต่อย่างใด ซึ่งในงานวิจัยนี้จะศึกษาผลของการที่มีและไม่มีกำแพงเติมช่องด้วยคอนกรีตมวลเบา ซึ่งในการวิเคราะห์จะใช้มาตรฐานของ FEMA 274 และ FEMA 306 ซึ่งตามมาตรฐานจะจำลองกำแพงเติมช่องให้เป็นค้ำยันแนวทแยงมุมรับแรงอัด ผลการทดลองพบว่ากำแพงเติมช่องสามารถลดการเคลื่อนตัวของอาคาร ทั้งยังลดคาบการสั่นพื้นฐานของอาคาร และ ช่วยลดค่าแรงเฉือนในเสาและคาน และ โมเมนต์ในเสาและคาน ซึ่งสามารถลดเหล็กเสริมในคานและเสาได้และยังพบว่าอาคารที่มีชั้นล่างเปิดจะได้รับผลกระทบจากการวิเคราะห์แรงกระทำด้านข้างมากกว่าปรกติ จากการทดลองเรื่องการจำลองกำแพงเติมช่องเป็นค้ำยันแนวทแยงมุมสามารถลดความยุ่งยากในการวิเคราะห์ออกแบบอาคารที่มีกำแพงเติมช่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	Application of Diagonal Strut Simulation model of Infill Wall For lateral load
Student	Mr. Suthikiat Ratanaphaisansri
Student ID.	55613227
Degree	Master of Engineering
Program	Civil Engineering
Year	2013
Thesis Advisor	Assoc.Prof. Suwat Dhirasedh

ABSTRACT

In the design process ,masonry infill wall are non-structural elements, which do not be included in the analytical model and design. This research was concentrated on result of masonry infill wall structure and without masonry infill wall structure by lightweight concrete. The analysis by the use of FEMA 274 and FEMA 306 that simulated masonry Infill wall could reduce the lateral drift of buildings.The use of infill wall as truss also reduced The fundamental period of buildings and reducing in the shear force and moment in beam-column which decreased,the reinforcing steel in beam-column. The result also that the building having the open in first floor was affected on the analysis by lateral force. In conclusion, this research played a simplifying analysis on the design of mansory infill wall.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ สุวัฒน์ ธีรเศรษฐ์ อาจารย์ที่ปรึกษาเป็น
อย่างสูงที่ให้คำปรึกษาและแนะนำแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ตลอดจนแก้ไขวิทยานิพนธ์
ฉบับนี้ให้สมบูรณ์และขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ ดร.อาทิตย์ เพชรศศิธร ที่ช่วยเรียบเรียงแก้ไข
วิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

กราบขอบพระคุณคุณแม่ คุณแม่ และครอบครัวทุกคน ที่คอยถามไถ่ด้วยความเป็นห่วง
และคอยให้กำลังใจ และสนับสนุนในการศึกษาของข้าพเจ้าเสมอมา จนงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้
ด้วยดีและขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโยธาทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้
แก่ข้าพเจ้า

ขอขอบคุณ เพื่อนๆ ที่ให้ความช่วยเหลือ คอยถามไถ่ด้วยความเป็นห่วงให้คำปรึกษา และ
กำลังใจที่ดีเสมอมา

ข้าพเจ้าหวังเป็นอย่างยิ่งว่า วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่สนใจ และขอน้อม
รับคำติชมจากทุกท่าน หากมีข้อผิดพลาดประการใดข้าพเจ้าต้องขออภัย ณ ที่นี้ด้วย

สุทธิเกียรติ รัตนไพศาลศรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	i
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ii
กิตติกรรมประกาศ.....	iii
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง.....	viii
สารบัญภาพ.....	xi
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์.....	3
1.3 สมมุติฐานของการศึกษา.....	4
1.4 ขอบเขตของการศึกษา.....	4
1.5 ขั้นตอนของการศึกษา.....	4
1.6 ข้อตกลงเบื้องต้น.....	5
1.7 ข้อจำกัดของการศึกษา.....	5
1.8 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
บทที่ 2 วรรณกรรมปริทัศน์.....	6
2.1 ความเป็นมาของปัญหา.....	6
2.2 พฤติกรรมของกำแพงเติมช่อง.....	6
2.3 การวิเคราะห์กำแพงเติมช่อง.....	6
2.4 มาตรฐาน FEMA 306 การจำลองกำแพงเติมช่องเป็นค้ำยันแนวทแยงมุมรับแรงอัด..	7
2.5 ผลกระทบของการไม่คำนึงถึงกำแพงเติมช่อง.....	8
บทที่ 3 หลักการและทฤษฎีที่ใช้.....	10
3.1 วัสดุที่ใช้ในงานวิจัย.....	10
3.2 แผงเติมช่อง (Infill panel).....	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

3.2.1	พฤติกรรมของโครงสร้างร่วมเฟรม-ผนังทึบ.....	16
3.2.2	แผงเติมช่องในประเทศไทย.....	16
3.2.3	รูปแบบความเสียหายของผนังเติมช่องเมื่อรับแรงด้านข้าง.....	17
3.2.4	มาตรฐานการวิเคราะห์แผงเติมช่อง.....	18
3.2.5	มาตรฐาน FEMA 306	19
3.2.6	ผลงานวิจัยที่ผ่านมาผลการทดลองโครงเหล็กที่มีและไม่มีกำแพงเติมช่อง...20	
3.3	วิธีสถิติในสมมติฐานสำหรับโครงข้อหมุนและโครงข้อแข็ง.....	32
3.3.1	วิธีสถิติในสมมติฐานสำหรับโครงข้อหมุน.....	32
3.3.2	วิธีสถิติในสมมติฐานสำหรับโครงข้อแข็ง	32
3.4	โปรแกรมที่ใช้ในการทดลอง.....	34
3.5	มาตรฐานการออกแบบโครงสร้าง.....	34
3.5.1	มาตรฐานสำหรับแรงลม ตามมาตรฐาน มยผ.1311-50 โดยกรมโยธาและ ผังเมืองกระทรวงมหาดไทย พ.ศ.2550.....	35
3.5.2	กฎกระทรวง ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2527) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุม อาคาร พ.ศ. 2522ข้อกำหนดรับแรงลม.....	35
3.5.3	มาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว มยผ.1302.....	37
บทที่ 4	วิธีการศึกษาและผลการศึกษา.....	47
4.1	คำนวณหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับการเคลื่อนที่บริเวณหัวเสาและมุมหมุนของ โครง เหล็กที่มีกำแพงคอนกรีตมวลเบาเติมช่องและไม่มีกำแพงคอนกรีตมวลเบาเติมช่อง.47	
4.1.1	โครงเหล็กที่ไม่มีกำแพงก่อเติมช่อง.....	47
4.1.2	โครงเหล็กที่มีกำแพงก่อเติมช่อง.....	48
4.2	การหาความกว้างของค้ำยัน.....	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

4.3 การหาค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่นของแมงก้ออิฐ.....	53
4.4 แบบจำลองในการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม คอมพิวเตอร์.....	59
4.4.1 แบบจำลองหอพักนักเรียนคอนกรีตเสริมเหล็กขนาด 5 ชั้น.....	60
4.4.2 โมเดลอาคาร 10 ชั้น เพื่อจำลองกรณีมีช่องเปิดด้านล่าง.....	96
บทที่ 5 วิเคราะห์และวิจารณ์ผลการทดลอง.....	102
5.1 วิเคราะห์ค่า Displacement ของอาคารเนื่องจากมี wind load และ seismic load เมื่อแรงที่กระทำเป็นแบบเชิงเส้น.....	102
5.1.1 วิเคราะห์แบบเชิงเส้นเมื่อมีแรงมากระทำด้านข้างในแนวแกน X	102
5.1.2 วิเคราะห์แบบเชิงเส้นเมื่อมีแรงมากระทำด้านข้างในแนวแกน Y.....	102
5.1.3 วิจารณ์ผลการทดลองค่า Displacement ของอาคารเนื่องจากมี wind load และ seismic load เมื่อแรงที่กระทำเป็นแบบเชิงเส้น.....	104
5.2 วิเคราะห์ค่าแรงเฉือนของอาคาร (Story Shear) เมื่อใช้แรง wind load และ seismic load เมื่อแรงที่กระทำเป็นแบบเชิงเส้น.....	104
5.2.1 วิเคราะห์แบบเชิงเส้นเมื่อมีแรงมากระทำด้านข้างในแนวแกน X	105
5.2.2 วิจารณ์ผลการทดลองค่าแรงเฉือนของอาคาร (Story Shear) ของอาคาร เนื่องจากมี wind load และ seismic load เมื่อแรงที่กระทำเป็นแบบเชิงเส้น.....	105
5.3 วิเคราะห์ จุดศูนย์กลางของความแข็ง (Center of Rigidity CG) และจุดศูนย์กลางมวล (Center of Mass CM)	105
5.4 วิเคราะห์คาบการสั่นพื้นฐานของอาคารด้วยวิธีลักษณะการกระจายมวลภายในอาคาร และสถิติเพนสของระบบโครงสร้างต้านแรงด้านข้างของอาคาร	108
5.5 วิเคราะห์ Modeการสั่นพื้นฐานของอาคาร เนื่องจากการวิเคราะห์แบบ Dynamic.....	106
5.6 วิเคราะห์แรงแนวแกนของเสาเนื่องจากแรงแผ่นดินไหว ด้วยวิธีสถิตเทียบเท่า.....	107
5.7 วิเคราะห์แรงเฉือนของเสาเนื่องจากแรงแผ่นดินไหว ด้วยวิธีสถิตเทียบเท่า.....	107
5.8 วิเคราะห์โมเมนต์ในเสาเนื่องจากแรงแผ่นดินไหว	108

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

5.9	วิเคราะห์แรงบิดในเสาเนื่องจากแรงแผ่นดินไหว	108
5.10	วิเคราะห์แรงเฉือนของคานเนื่องจากแรงแผ่นดินไหว ด้วยวิธีสถิติเทียบเท่า.....	109
5.11	วิเคราะห์โมเมนต์ในคานเนื่องจากแรงแผ่นดินไหว	109
5.12	วิเคราะห์แรงบิดในคานเนื่องจากแรงแผ่นดินไหว	110
5.13	สรุปการวิเคราะห์เกี่ยวกับแรงภายในชิ้นส่วนโครงสร้าง.....	110
5.14	การวิเคราะห์แรงแผ่นดินไหวด้วยวิธีเชิงพลศาสตร์ โดยการวิเคราะห์แบบการ ตอบสนองแบบประวัติเวลา (Time History Analysis).....	111
5.15	วิเคราะห์ผลการออกแบบอาคาร.....	114
5.16	วิเคราะห์อาคาร 10 ชั้น.....	119
บทที่ 6	สรุปผลการวิจัย.....	120
6.1	การจำลองกำแพงเติมช่องเป็นค้ำยันแนวทแยงมุมรับแรงอัดตามมาตรฐาน FEMA 274,306.....	120
6.2	สรุปผลของการวิเคราะห์ที่มีกำแพงเติมช่อง.....	120
6.3	วิจารณ์ผลการทดลอง.....	120
6.4	ข้อเสนอแนะ.....	121
	บรรณานุกรม.....	122
	ภาคผนวก ก	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1	ขนาดของคอนกรีตมวลเบาที่มีจำหน่าย.....11
3.2	การเปรียบเทียบคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบา ชั้นคุณภาพ G2 กับ G4.....12
3.3	คุณสมบัติทางกลของเหล็ก.....15
3.4	ผลการทดลองการใส่แรงของโครงข้อแข็งที่ไม่มีกำแพงอิฐมวลเบา.....23
3.5	ผลการทดลองการปลดแรงของโครงข้อแข็งที่ไม่มีกำแพงอิฐมวลเบา.....23
3.6	ผลการทดลองการใส่แรงครั้งที่ 1 ของโครงข้อแข็งที่มีกำแพงอิฐมวลเบาตัวอย่างที่ 1.....25
3.7	ผลการทดลองการปลดแรงครั้งที่ 1 ของโครงข้อแข็งที่มีกำแพงอิฐมวลเบา ตัวอย่างที่ 1.....25
3.8	ผลการทดลองการใส่แรงครั้งที่ 1 ของโครงข้อแข็งที่มีกำแพงอิฐมวลเบา ตัวอย่างที่ 2.....28
3.9	ผลการทดลองการปลดแรงครั้งที่ 1 ของโครงข้อแข็งที่มีกำแพงอิฐมวลเบา ตัวอย่างที่ 2.....28
3.10	ค่าประกอบเนื่องจากสภาพภูมิประเทศ C_e ที่สำหรับวิธีการอย่างง่าย.....35
3.11	การจำแนกประเภทของอาคาร ตามความสำคัญต่อสาธารณชน (I_w)36
3.12	ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบ ด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า สำหรับพื้นที่ต่างๆ ของจังหวัดลำปาง (หน่วยเป็น g).....37
3.13	การจำแนกระบบโครงสร้างและข้อจำกัดและค่าตัวประกอบ38
3.14	การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นที่ยอมให้ (Δ_a).....43
4.1	ความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนที่กับแรงอัดที่หัวเสาของโครงเหล็ก.....47
4.2	ความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนที่กับแรงอัดที่หัวเสาของโครงเหล็กที่มีกำแพงเต็มช่อง.....49
4.3	ความสัมพันธ์ระหว่างมุมหมุนกับแรงอัดที่หัวเสาของโครงเหล็กที่มีกำแพงเต็มช่อง.....50
4.4	ผลการทดลองค่า Displacement เมื่อมีแรง wind load มากกระทำในแนวแกน X.....70
4.5	ผลการทดลองค่า Displacement เมื่อมีแรง seismic load มากกระทำในแนวแกน X.....71
4.6	ผลการทดลองค่า Displacement เมื่อมีแรง wind load มากกระทำในแนวแกน Y.....71

สารบัญตาราง

ตารางที่

หน้า

4.7	ผลการทดลองค่า Displacement เมื่อมีแรง seismic load มากระทำในแนวแกน Y.....	71
4.8	ค่าระยะการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ (story drift) ในแต่ละชั้น เมื่ออาคารรับแรงแผ่นดินไหว.....	72
4.9	ผลการทดลองค่า Story Shear เมื่อมีแรง wind load มากระทำในแนวแกน X และ Y.....	72
4.10	ผลการทดลองค่า Story Shear เมื่อมีแรง seismic load มากระทำในแนวแกน X,Y.....	73
4.11	ผลการวิเคราะห์จุด CG และ จุด CM	73
4.12	คาบการสั่นพื้นฐานของอาคารแรงกระทำแกน X ไม่มีกำแพงเติมช่อง.....	74
4.13	คาบการสั่นพื้นฐานของอาคารแรงกระทำแกน X มีกำแพงเติมช่อง.....	74
4.14	คาบการสั่นพื้นฐานของอาคารแรงกระทำแกน Y ไม่มีกำแพงเติมช่อง.....	74
4.15	คาบการสั่นพื้นฐานของอาคารแรงกระทำแกน Y มีกำแพงเติมช่อง.....	75
4.16	Mode การสั่นพื้นฐานของอาคาร เนื่องจากการวิเคราะห์แบบ Dynamic.....	76
4.17	ผลการวิเคราะห์แรงแนวแกนของเสาเมื่อมีแรงแผ่นดินไหวกระทำในแกน Y หน้าตัด E-3,4,5.....	80
4.18	ผลการวิเคราะห์แรงเฉือนเสา เมื่อมีแรงแผ่นดินไหวกระทำในแกน Y หน้าตัด E-3,4,5.....	81
4.19	ผลการวิเคราะห์โมเมนต์ในเสาเมื่อมีแรงแผ่นดินไหวกระทำในแกน Y หน้าตัด E-3,4,5.....	81
4.20	ผลการวิเคราะห์แรงบิดเมื่อมีแรงแผ่นดินไหวกระทำในแกน Y หน้าตัด E-3,4,5	82
4.21	ผลการวิเคราะห์แรงเฉือนคาน เมื่อมีแรงแผ่นดินไหวกระทำในแกน Y หน้าตัด E-3,4,5.....	82
4.22	โมเมนต์ในคานเมื่อมีแรงแผ่นดินไหวกระทำในแกน Y หน้าตัด E-3,4,5	83
4.23	ผลการวิเคราะห์แรงบิดคานเมื่อมีแรงแผ่นดินไหวกระทำในแกน Y หน้าตัด E-3,4,5.....	83
4.24	ผลการออกแบบเสาเมื่อมีแรงกระทำในแนวแกน X กรณีไม่มีกำแพงเติมช่อง.....	90
4.25	ผลการออกแบบเสาเมื่อมีแรงกระทำในแนวแกน X กรณีมีกำแพงเติมช่อง.....	90
4.26	ผลออกแบบเหล็กปลอกเสาเมื่อมีแรงกระทำในแนวแกน X กรณีไม่มีกำแพงเติมช่อง.....	91
4.27	ผลออกแบบเหล็กปลอกเสาเมื่อมีแรงกระทำในแนวแกน X กรณีมีกำแพงเติมช่อง.....	91
4.28	ผลการออกแบบคานเมื่อมีแรงกระทำในแนวแกน X กรณีไม่มีกำแพงเติมช่อง.....	91
4.29	ผลการออกแบบคานเมื่อมีแรงกระทำในแนวแกน X กรณีมีกำแพงเติมช่อง.....	92
4.30	ผลออกแบบเหล็กปลอกคานเมื่อมีแรงกระทำในแนวแกน X กรณีไม่มีกำแพงเติมช่อง....	92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.31	ผลออกแบบเหล็กปลอกคานเมื่อมีแรงกระทำในแนวแกน X กรณีมีกำแพงเต็มช่อง.....92
4.32	ผลการออกแบบเสาเมื่อมีแรงกระทำในแนวแกน Y กรณีไม่มีกำแพงเต็มช่อง.....93
4.33	ผลการออกแบบเสาเมื่อมีแรงกระทำในแนวแกน Y กรณีมีกำแพงเต็มช่อง.....94
4.34	ผลการออกแบบเหล็กปลอกเสาเมื่อมีแรงกระทำในแนวแกน Yกรณีไม่มีกำแพงเต็มช่อง.....94
4.35	ผลการออกแบบเหล็กปลอกเสาเมื่อมีแรงกระทำในแนวแกน Y กรณีมีกำแพงเต็มช่อง.....94
4.36	ผลการออกแบบคานเมื่อมีแรงกระทำในแนวแกน Y กรณีไม่มีกำแพงเต็มช่อง.....95
4.37	ผลการออกแบบคานเมื่อมีแรงกระทำในแนวแกน Y กรณีมีกำแพงเต็มช่อง.....95
4.38	ผลการออกแบบเหล็กปลอกคานเมื่อมีแรงกระทำในแนวแกน Yกรณีไม่มีกำแพงเต็มช่อง...96
4.39	ผลการออกแบบเหล็กปลอกคานเมื่อมีแรงกระทำในแนวแกน Y กรณีมีกำแพงเต็มช่อง.....96
4.40	ผลของแรงลมที่มีผลต่อการเคลื่อนที่สูงสุด Displacement สำหรับอาคาร 10 ชั้น.....101
4.41	ผลของแรงแผ่นดินไหวที่มีผลต่อการเคลื่อนที่สูงสุดDisplacementสำหรับอาคาร10ชั้น...102
4.42	ผลของแรงเฉือนของอาคาร 10 ชั้นเนื่องจากแรงแผ่นดินไหว สำหรับอาคาร 10 ชั้น.....102
5.1	วิเคราะห์ Mode การสั่นพื้นฐานของอาคาร เนื่องจากการวิเคราะห์แบบ Dynamic.....107
5.2	วิเคราะห์ผลการออกแบบเหล็กเสริมหลักของเสาเมื่อมีแรงกระทำด้านข้างทิศทางแกน X.115
5.3	วิเคราะห์ผลการออกแบบเหล็กปลอกเสาเมื่อมีแรงกระทำด้านข้างทิศทางแกน X115
5.4	วิเคราะห์ผลการออกแบบเหล็กเสริมหลักของเสาเมื่อมีแรงกระทำด้านข้าง ทิศทางแกนX.....116
5.5	วิเคราะห์ผลการออกแบบเหล็กปลอกเสาเมื่อมีแรงกระทำด้านข้างทิศทางแกน X116
5.6	วิเคราะห์ผลการออกแบบเหล็กเสริมหลักของเสาเมื่อมีแรงกระทำด้านข้างทิศทางแกน Y.117
5.7	วิเคราะห์ผลการออกแบบเหล็กปลอกเสาเมื่อมีแรงกระทำด้านข้างทิศทางแกน Y117
5.8	วิเคราะห์ผลการออกแบบเหล็กเสริมหลักของเสาเมื่อมีแรงกระทำด้านข้างทิศทางแกน Y.118
5.9	วิเคราะห์ผลการออกแบบเหล็กปลอกเสาเมื่อมีแรงกระทำด้านข้างทิศทางแกน Y118

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1	การวิเคราะห์โครงสร้างที่โดยทั่วไปและการวิเคราะห์แบบมีก้ำแกงเติมช่อง.....2
2.2	การจำลองก้ำแกงเป็นค้ำยันแนวทแยงมุมรับแรงอัดเพื่อแก้ปัญหาการออกแบบ2
3.1	พฤติกรรมอาคารเมื่อมีผนังเติมช่อง16
3.2	รูปแบบความเสียหายที่แตกต่างกันของโครงกออิฐเติมช่อง (a) รูปแบบเสียหาย ที่มุม (CC) และ รูปแบบแรงอัดแนวทแยงมุม (DC) (b) รูปแบบเลื่อนเนื่อง จากแรงเฉือน (SS)และโครงเสียหาย (FF) และ แดกตามแนวทแยงมุม (DK).....17
3.3	แบบจำลองค้ำยันแนวทแยงมุมรับแรงอัด.....20
3.4	ปูนก่อและปูนฉาบตราเสือมอร์ตาร์สำหรับอิฐมวลเบา.....21
3.5	โครงเหล็กที่มีการติดเหล็กหยดกึ่งและมี support แบบยึดแน่น (Fix).....21
3.6	แสดงโครงเหล็กหลังก่อและฉาบ.....21
3.7	แสดงเครื่องมือ Hydraulic Jack ที่ใช้ทำการทดสอบ โดยเพิ่มขนาดแรงที่ละ 50kN.....22
3.8	แสดงการติดตั้ง Hydralic Jack เพื่อเตรียมทำการทดสอบจริง.....22
3.9	กราฟแสดงแรง (Force) - การเคลื่อนที่ทางข้าง (Lateral Displacement) ของโครงข้อแข็งที่ไม่มีก้ำแกงอิฐมวลเบา (ใส่แรง-ปลดแรง).....24
3.10	กราฟแสดงแรง (Force) - มุมหมุน (Rotation) ของโครงข้อแข็งที่ไม่มีก้ำแกงอิฐมวลเบา (ใส่แรง-ปลดแรง).....24
3.11	กราฟแสดงแรง (Force) - การเคลื่อนที่ทางข้าง (Lateral Displacement) ของโครงข้อแข็งที่มีก้ำแกงอิฐมวลเบาตัวอย่างที่ 1.....26
3.12	กราฟแสดงแรง (Force) - มุมหมุน (Rotation) ของโครงข้อแข็งที่มีก้ำแกงอิฐมวลเบาตัวอย่างที่ 126
3.13	แสดงการแตกร้าวของก้ำแกงอิฐมวลเบา.....27
3.14	กราฟแสดงแรง (Force) - การเคลื่อนที่ทางข้าง (Lateral Displacement) ของโครงข้อแข็งที่มีก้ำแกงอิฐมวลเบาตัวอย่างที่ 2.....30
3.15	กราฟแสดงแรง (Force) - มุมหมุน (Rotation) ของโครงข้อแข็งที่มีก้ำแกงอิฐมวลเบาตัวอย่างที่ 2.....30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
3.16	แสดงการแตกร้าวของกำแพงอิฐมวลเบาตัวอย่างที่ 2.....	31
4.1	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนที่กับแรงอัดที่หัวเสาของโครงเหล็ก.....	48
4.2	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนที่กับแรงอัดที่หัวเสาของโครงเหล็กที่มีกำแพง เติมช่อง.....	50
4.3	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างมุมหมุนกับแรงอัดที่หัวเสาของโครงเหล็กที่มีกำแพงเติมช่อง..	51
4.4	การวิเคราะห์โครงโครงเหล็กที่มีค้ำยันแนวทแยงมุมรับแรงอัดมีการเคลื่อนที่แนวนอนละ มุมหมุน.....	53
4.5	รูปจำลองการวิเคราะห์โครงเหล็กที่มีค้ำยัน	56
4.6	การจำลองโครงเหล็กที่มีกำแพงเติมช่องเป็นโครงเหล็กที่มีค้ำยันแนวทแยงมุมแบบที่ 1.....	56
4.7	การจำลองโครงเหล็กที่มีกำแพงเติมช่องเป็นโครงเหล็กที่มีค้ำยันแนวทแยงมุมแบบที่ 2.....	58
4.8	การจำลองกำแพงเติมช่องเป็นค้ำยันรับแรงอัดแนวทแยงมุมที่มีความกว้าง 19.74 cm.....	59
4.9	แปลนอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก 5 ชั้น.....	60
4.10	แปลนอาคารชั้น	61
4.11	อาคาร 3 มิติ.....	61
4.12	บริเวณกำแพงที่ไม่มีช่องเปิดสำหรับค้ำยันแนวทแยงมุมได้.....	62
4.13	กำหนดค่าวัสดุของกำแพงก่อคอนกรีตมวลเบา.....	66
4.14	การใส่ข้อมูล Strut 1,2 ของชั้น 1,2 และ 3,4 ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์.....	66
4.15	แบบจำลองอาคารที่มีการใส่ Strut	67
4.16	แบบจำลองที่มีการใช้ Strut จะมีการ ปลดโมเมนต์ที่หัวและท้ายออก.....	67
4.17	พื้นจำลองตามแบบอาคารจริง แบ่งเป็นพื้นสำเร็จและพื้นหล่อในที่.....	67
4.18	จะบังคับให้ Strut รับแต่แรงอัดเท่านั้น ไม่มีการรับแรงดึง	68
4.19	การวิเคราะห์แบบ Nonlinear Analysis	68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
4.20	คำนวณขนาดแรงลมตามมาตรฐาน มยผ.1311-50.....68
4.21	แผ่นดินไหวตามมาตรฐาน มยผ.1302 ใน อ.เมืองลำปาง ไม่มีข้อมูลดินสมมุติให้เป็นดินประเภท D.....69
4.22	กำหนดโมเมนต์ความเฉื่อยประสิทธิผลของคานและเสา $I_{eff} = 0.35 I_g$ และ $I_{eff} = 0.70 I_g$...69
4.23	การวิเคราะห์อาคารที่มีกำแพงเติมช่อง.....70
4.24	การตั้งค่าการออกแบบด้วยวิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมด.....76
4.25	Mode 1,2 คาบการสั่นของอาคารที่ 0.818 และ 0.672 วินาที.....77
4.26	Mode 3,4 คาบการสั่นของอาคารที่ 0.568 และ 0.270 วินาที.....77
4.27	Mode 5,6 คาบการสั่นของอาคารที่ 0.218 และ 0.191 วินาที.....78
4.28	Mode 7 คาบการสั่นของอาคารที่ 0.151 วินาที.....78
4.29	Mode 1,2 คาบการสั่นของอาคารที่ 0.700 และ 0.422 วินาที.....78
4.30	Mode 3,4 คาบการสั่นของอาคารที่ 0.392 และ 0.230 วินาที.....79
4.31	Mode 5,6 คาบการสั่นของอาคารที่ 0.148 และ 0.140 วินาที.....79
4.32	Mode 7 คาบการสั่นของอาคารที่ 0.138 วินาที.....79
4.33	หน้าตัดที่ใช้วิเคราะห์ในแนวแกน Y80
4.34	คลื่นแผ่นดินไหว El-centro ในปี ค.ศ.194084
4.35	การตั้งค่าเพื่อวิเคราะห์ค่าที่ต้องการทราบจากการวิเคราะห์แรงแผ่นดินไหวด้วยวิธีเชิงพลศาสตร์แบบ (Time History Analysis).....84
4.36	กราฟค่าการเคลื่อนที่ (Displacement) กับเวลาของคลื่นแผ่นดินไหวที่วิเคราะห์ด้วยวิธีเชิงพลศาสตร์แบบ (Time History Analysis) เมื่อมีแรงแผ่นดินไหวกระทำในแนวแกน X.....85
4.37	กราฟค่าการเคลื่อนที่ (Displacement) กับเวลาของคลื่นแผ่นดินไหวที่วิเคราะห์ด้วยวิธีเชิงพลศาสตร์แบบ (Time History Analysis) เมื่อมีแรงแผ่นดินไหวกระทำในแนวแกน Y85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
4.38	กราฟระหว่างแรงเฉือนที่ฐานอาคารกับเวลาของคลื่นแผ่นดินไหวที่วิเคราะห์ด้วยวิธีเชิงพลศาสตร์แบบ (Time History Analysis) เมื่อมีแรงแผ่นดินไหวมากระทำในแนวแกน X.....86
4.39	กราฟระหว่างแรงเฉือนที่ฐานอาคารกับเวลาของคลื่นแผ่นดินไหวที่วิเคราะห์ด้วยวิธีเชิงพลศาสตร์ แบบ (Time History Analysis) เมื่อมีแรงแผ่นดินไหวมากระทำในแนวแกน Y.....86
4.40	หน้าตัดของเสาและคานในอาคารที่วิเคราะห์..... 87
4.41	หน้าตัดของเสาและคานที่ออกแบบไม่ผ่าน 87
4.42	ผลการออกแบบหน้าตัดที่ไม่ผ่าน.....88
4.43	ปรับแก้ขนาดหน้าตัดที่ไม่ผ่าน.....88
4.44	หลังจากปรับแก้ขนาดหน้าตัดที่ไม่ผ่าน.....89
4.45	การวิเคราะห์หน้าตัด 2 แรงกระทำด้านข้างในทิศทางแกน X89
4.46	การวิเคราะห์หน้าตัด E แรงกระทำด้านข้างในทิศทางแกน Y93
4.47	รูปแปลนอาคาร 10 ชั้น.....97
4.48	ขนาดของเสาและคาน คือ 50x50 cm และ 50x25 cm สำหรับอาคาร 10ชั้น.....97
4.49	คำนวณขนาดแรงลมและแรงแผ่นดินไหวตามมาตรฐาน มยผ.1311-50 และ มยผ.1302 ในพื้นที่ อ.เมือง จ. เชียงใหม่ ไม่มีข้อมูลดินสมมุติให้เป็นดินประเภท D สำหรับอาคาร 10 ชั้น.....98
4.50	รูปแบบการวิเคราะห์ปกติ (Normal mode) สำหรับอาคาร 10 ชั้น.....99
4.51	รูปแบบการวิเคราะห์แบบมีค้ำยันและช่องเปิดชั้นล่าง(Strut open first mode) สำหรับอาคาร 10 ชั้น.....100
4.52	รูปแบบการวิเคราะห์แบบมีค้ำยันและไม่มีช่องเปิดชั้นล่าง (Strut mode) สำหรับอาคาร 10 ชั้น.....101
5.1	การเคลื่อนที่ (displacements) ของอาคารเมื่อมีแรงลมในแนว แกน X.....103
5.2	การเคลื่อนที่ (displacements) ของอาคารเมื่อมีแรงแผ่นดินไหวด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่าในแนวแกน X.....104

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
5.3	การเคลื่อนที่ (displacements) ของอาคารเมื่อมีแรงลมในแนว แกน Y.....104
5.4	การเคลื่อนที่ (displacements) ของอาคารเมื่อมีแรงแผ่นดินไหวด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่าในแนวแกน Y.....105
5.5	ค่าแรงเฉือนของอาคาร (Story Shear) ของอาคารเมื่อมีแรงแผ่นดินไหวด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่าในแนวแกน X และ แกน Y.....106
5.6	เปอร์เซ็นต์ที่ลดลงของแรงเฉือนในเสาเนื่องจากกำแพงเติมช่อง108
5.7	เปอร์เซ็นต์ที่ลดลงของโมเมนต์ในเสาเนื่องจากกำแพงเติมช่อง109
5.8	เปอร์เซ็นต์ที่ลดลงของแรงบิดในเสาเนื่องจากกำแพงเติมช่อง.....109
5.9	เปอร์เซ็นต์ที่ลดลงของแรงเฉือนในคานเนื่องจากกำแพงเติมช่อง.....110
5.10	เปอร์เซ็นต์ที่ลดลงของโมเมนต์ในคานเนื่องจากกำแพงเติมช่อง.....110
5.11	เปอร์เซ็นต์ที่ลดลงของแรงบิดในคานเนื่องจากกำแพงเติมช่อง111
5.12	ค่าเฉลี่ยที่ลดลงของโครงสร้างเมื่อมีกำแพงเติมช่องมีแรงแผ่นดินไหวกระทำในแกน Y.....111
5.13	การเคลื่อนที่ (displacements) ของอาคารเมื่อมีแรงแผ่นดินไหวด้วยวิธีวิเคราะห์แบบการตอบสนองแบบประวัติเวลาในแนวแกน X.....112
5.14	การเคลื่อนที่ (displacements) ของอาคารเมื่อมีแรงแผ่นดินไหวด้วยวิธีวิเคราะห์แบบการตอบสนองแบบประวัติเวลาในแนวแกน Y.....113
5.15	แรงเฉือนของอาคารเมื่อมีแรงแผ่นดินไหวด้วยวิธีวิเคราะห์แบบการตอบสนองแบบประวัติเวลาในแนวแกน X.....114
5.16	แรงเฉือนของอาคารเมื่อมีแรงแผ่นดินไหวด้วยวิธีวิเคราะห์แบบการตอบสนองแบบประวัติเวลาในแนวแกน Y.....114

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันภัยพิบัติทางธรรมชาติเกิดขึ้นบ่อยครั้งมากกว่าในอดีตทำให้เราต้องหันมาสนใจและศึกษาหาวิธีที่จะช่วยให้เรามีความปลอดภัยมากขึ้น โดยวิธีที่ง่ายที่สุดคือศึกษาสิ่งที่มีอยู่แล้ว เพื่อให้เกิดความเข้าใจมากขึ้นและนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ โดยในอาคารส่วนใหญ่จะเป็นโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กและโครงสร้างเหล็ก ซึ่งทุกอาคารจะมีกำแพงเป็นส่วนประกอบ อีกทั้งกำแพงยังก่อสร้างได้ง่ายเพราะอาศัยเพียงเครื่องมือและอุปกรณ์ง่ายๆ และแรงงานที่ใช้ก็ไม่ต้องอาศัยความชำนาญมาก จึงเป็นโครงสร้างที่น่าสนใจที่จะศึกษาให้เข้าใจมากขึ้น

แต่ในการออกแบบโครงสร้างนั้นกำแพงจะคิดเป็นเพียงวัสดุเติมช่องว่างเท่านั้น ไม่มีส่วนในการเสริมความแข็งแรงแต่อย่างใด และมักไม่ได้คำนึงถึงความสามารถในการรับแรงของกำแพงเติมช่อง จากวัสดุก่อ ในขั้นตอนการวิเคราะห์จะไม่มีกรออกแบบกำแพงเติมช่อง อาจเนื่องมาจากในประเทศไทยยังไม่มีมาตรฐานที่รองรับและขาดการทดลองการวิจัยที่จะวิเคราะห์โครงสร้างประเภทกำแพงเติมช่องนี้

ซึ่งในความเป็นจริงแล้วกำแพงเติมช่องที่สร้างจากวัสดุก่อนั้นมีความสามารถในการรับแรงเหมือนเป็นค้ำยันแนวทแยงมุม โดยเฉพาะในการรับแรงด้านข้าง เนื่องจากลักษณะทางกายภาพของตัวกำแพงเองซึ่งส่วนใหญ่จะก่อสร้างอยู่ในเสาและคาน (Infill Wall) โดยทั้งสองส่วนจะทำหน้าที่ในการรับแรงร่วมกัน (Composite Structure) ส่งผลให้อาคารบริเวณที่มีกำแพงมีความแข็งแรง (stiffness) เพิ่มขึ้นอย่างมาก ซึ่งการศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมดังกล่าวทำให้สามารถประเมินกำลังของอาคารได้ถูกต้องมากขึ้น ซึ่งการออกแบบอาคารนั้น ผู้ออกแบบจะไม่นิยมออกแบบให้กำแพงเติมช่องช่วยรับแรง แต่จะทำกรวิเคราะห์และออกแบบในส่วนของโครงสร้างคาน เสา พื้น และฐานรากเท่านั้น แต่ถ้าผู้ออกแบบได้ทำการออกแบบให้กำแพงเติมช่องช่วยรับแรงด้วยแล้วนั้น อาจจะทำให้โครงสร้างมีความแข็งแรงมากขึ้น สามารถรับแรงด้านข้างได้มากขึ้น หรืออาจนำไปประยุกต์ใช้ได้กับการออกแบบอาคารที่มีกำแพงเติมช่อง ซึ่งอาจลดขนาดโครงสร้างได้บางส่วนด้วยรวมทั้งจะประหยัดกว่าการออกแบบโดยทั่วไปอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

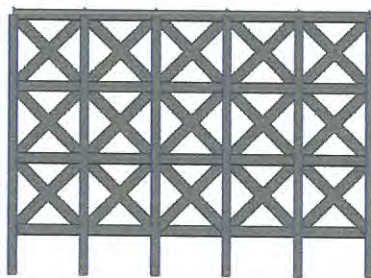


รูปที่ 1.1 การวิเคราะห์โครงสร้างที่โดยทั่วไปและการวิเคราะห์แบบมีกำแพงเดิมช่อง

การออกแบบกำแพงเดิมช่องนั้นไม่สามารถออกแบบด้วยวิธีธรรมดาทั่วไป เนื่องจากความซับซ้อนของโครงสร้างกำแพงเดิมช่องเป็นการตอบสนองแบบไม่เป็นเส้นตรง ซึ่งเกิดจากความสัมพันธ์ของกำแพงเดิมช่องและโครง และมีตัวแปรจำนวนมากที่ตอบสนองต่อกำแพงเดิมช่อง ดังนี้

1. คุณสมบัติทางกลของวัสดุที่ก่อเป็นกำแพงและปูนก่อคือ ค่า Modulus of Elasticity, Poisson's Ratio, Ultimate Tensile Strength และ Ultimate Compressive Strength
2. แรงยึดหน่วงและแรงเสียดทานระหว่างวัสดุที่ก่อเป็นกำแพงและปูนก่อ
3. รูปร่างของก้อนวัสดุที่ก่อเป็นกำแพง
4. การรองรับทางด้านข้าง (Lateral Support)
5. คุณภาพของแรงงานที่ใช้ (Workmanship)
6. ขนาดและทิศทางของน้ำหนักที่กระทำ (Magnitude and Direction of Load)
7. รูปแบบในการก่อเรียงวัสดุที่ก่อเป็นกำแพง

จากการวิเคราะห์และขั้นตอนการออกแบบในการสร้างแบบจำลอง พบว่ามีตัวแปรที่เกี่ยวข้องจำนวนมากเพื่อลดความยุ่งยากในการคำนวณ พบว่าแนวทางในการแก้ปัญหาคือการแปลงกำแพงเดิมช่องเป็นค้ำยันแนวทแยงมุมที่มีลักษณะรูปทรงที่ถูกต้องและคุณสมบัติเชิงกลที่เหมาะสมดังรูปที่ 2 จะทำให้ช่วยแก้ ปัญหาในการออกแบบได้ เพราะค้ำยันแนวทแยงมุมจะรับแต่เพียงแรงอัดเพียงแรงเดียว ทำให้ง่ายขึ้นในการวิเคราะห์ห่ออกแบบ



รูปที่ 1.2 การจำลองกำแพงเป็นค้ำยันแนวทแยงมุมรับแรงอัดเพื่อแก้ปัญหาคารออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัสดุที่ใช้นั้นในปัจจุบัน นิยมใช้คอนกรีตบล็อกในการก่อสร้างมากกว่าใช้อิฐมอญ เนื่องจากมีคุณสมบัติที่ดีกว่าอิฐมอญหลายประการ เช่น มีกำลังต้านทานแรงอัด และความคงทนต่อสภาพดินฟ้าอากาศได้ดีกว่า สามารถก่อสร้างได้อย่างรวดเร็วกว่าการก่อสร้างทั่วไป และทุกวันนี้ยังพบว่าอุณหภูมิของโลกเรานั้นสูงขึ้นมีผลทำให้ตัวบ้านมีอุณหภูมิภายในสูงซึ่งเป็นสิ่งที่ผู้อาศัยไม่พึงประสงค์ จากปัญหาที่เกิดขึ้นนี้ทำให้พบว่าคอนกรีตมวลเบา มีคุณสมบัติที่จะแก้ปัญหานี้ได้ เพราะคอนกรีตมวลเบาสามารถกันความร้อนได้ช่วยให้อุณหภูมิของบ้านลดลง อีกทั้งคอนกรีตยังมีคุณสมบัติอื่นอีกไม่ว่าจะเป็นคุณสมบัติด้านการกันเสียง และมีน้ำหนักที่เบากว่าอิฐชนิดอื่น เป็นต้น

ดังนั้นวัสดุที่เติมช่องสำหรับงานวิจัยครั้งนี้ คือ คอนกรีตมวลเบา เนื่องจาก คอนกรีตมวลเบา คือ ผลิตภัณฑ์คอนกรีตที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้สำหรับงานก่อสร้างผนังด้วยคุณสมบัติพิเศษที่เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำหนักเบา และสามารถป้องกันความร้อนได้ดี ทำให้ประหยัดการใช้พลังงาน คอนกรีตมวลเบาทนทานต่อเพลิงไหม้ที่อุณหภูมิสูง และในปัจจุบันเป็นวัสดุก่อสร้างที่ได้รับความนิยมสูง

ดังนั้นการวิจัยนี้จะศึกษาว่ากำแพงเติมช่องคอนกรีตมวลเบาเติมช่องจะช่วยในการรับแรงด้านข้างของอาคารได้อย่างไรบ้างส่งผลกระทบต่ออาคารออกแบบอย่างไรบ้างช่วยประหยัดอาคารได้แค่ไหน

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์

1. เปรียบเทียบพฤติกรรมและความสามารถในการรับแรงกระทำด้านข้างของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีกำแพงคอนกรีตมวลเบาเติมช่อง และ อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่ไม่มีกำแพงคอนกรีตมวลเบาเติมช่อง
2. ศึกษาและใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์วิเคราะห์และคำนวณอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก เพื่อที่จะคำนวณการเคลื่อนที่ของอาคารที่มีกำแพงคอนกรีตมวลเบาเติมช่องและไม่มีกำแพงคอนกรีตมวลเบาเติมช่องเพื่อหาระยะการเคลื่อนตัวภายใต้แรงกระทำด้านข้าง เช่น แรงแผ่นดินไหวและแรงลม
3. ศึกษาการใช้กำแพงคอนกรีตมวลเบาเติมช่องเพื่อช่วยรับแรงด้านข้าง และหาว่าอาคารจะมีขนาดหน้าตัดและปริมาณเหล็กเสริมของโครงสร้างลดลงมากน้อยเพียงใดเมื่อมีและไม่มีกำแพงคอนกรีตมวลเบาเติมช่อง เพื่อให้การออกแบบโครงสร้างอาคารมีความประหยัดและมีคุณภาพ
4. เพื่อศึกษาผลของการมีกำแพงเติมช่องและไม่มีกำแพงเติมช่องในขั้นตอนการออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

1. คาดว่าอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีคอนกรีตมวลเบาเติมช่องจะมีพฤติกรรมที่แข็งแรงกว่าและมีความแข็งเกร็ง(stiffness)มากกว่า ทำให้ระยะการเคลื่อนที่ด้านข้างของอาคารน้อยกว่าไม่มีคอนกรีตมวลเบาเติมช่อง
2. กำแพงเติมช่องจะเปลี่ยนคาบการสั่นพื้นฐานของอาคาร ซึ่งจะเปลี่ยนพฤติกรรมของอาคาร
3. ในขั้นตอนการออกแบบอาคารสามารถลดขนาดหน้าตัดและปริมาณเหล็กเสริมของอาคารลงได้เนื่องจากมีกำแพงเติมช่องช่วยรับแรง

1.4 ขอบเขตของการศึกษา

1. การนำค่าคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ทุกชนิดจะให้อยู่ภายในช่วงของความยืดหยุ่น (Elastic)
2. วัสดุก่อกำแพงใช้เป็นคอนกรีตมวลเบาของ Q-Con Class 2 ซึ่งค่าต่างๆ จะใช้ที่บริษัทได้ทำการทดสอบมาแล้ว ซึ่งใช้มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.1510-2541 และ มอก.1505-2541 เป็นตัวกำหนดคุณภาพ
3. ใช้ข้อมูลจากงานวิจัย พฤติกรรมการรับแรงด้านข้างของโครงข้อแข็งเหล็กรูปแบบประตูที่มีการก่อคอนกรีตมวลเบา[1] ซึ่งเป็นงานวิจัยต่อเนื่อง
4. ค่ายันแนวทแยงมุม จะใช้มาตรฐานของ FEMA 274,306 ซึ่งเป็นหน่วยงานภายใต้รัฐของสหรัฐอเมริกาที่ก่อตั้งขึ้นสำหรับปฏิบัติการในสถานการณ์ฉุกเฉิน เช่น แผ่นดินไหว
5. ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการคำนวณแบบจำลองอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก
6. ค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ใช้ในแบบจำลอง $f'_c = 240$ กก/ซม² และ กำลังจุดครากของเหล็กรับแรงดึง คือ $f_y = 4000$ กก/ซม² และ 2400 กก/ซม²
7. ค่าที่ได้จากแบบจำลองทางโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เป็นเพียงการทำให้เห็นว่ากำแพงเติมช่องที่แปรสภาพเป็นค้ำยันแนวทแยงมุมสามารถลดขนาดอาคารจากแรงกระทำด้านข้างได้ แต่การจะเอาไปออกแบบจริงนั้น ยังไม่มีมาตรฐานที่รองรับ

1.5 ขั้นตอนของการศึกษา

1. ค้นหาข้อมูลจากการวิจัยเรื่อง พฤติกรรมการรับแรงด้านข้างของโครงข้อแข็งเหล็กรูปแบบประตูที่มีการก่อคอนกรีตมวลเบา ซึ่งเป็นงานวิจัยต่อเนื่อง พร้อมทั้งรวบรวมแนวคิดในการวิเคราะห์เพิ่มเติมและแนวทางในการทำการวิจัยโครงการวิจัยต่อเนื่อง
2. สรุปผลงานวิจัยก่อนหน้าแล้วนำมาผลของกำแพงเติมช่องมาหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของกำแพงเติมช่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการสร้างแบบจำลองอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีค้ำยันแนวทแยงมุมและไม่มีค้ำยันแนวทแยงมุม สำหรับการวิเคราะห์ด้วยแรงกระทำด้านข้างที่เกิดจากแรงลมและแรงแผ่นดินไหว
4. วิเคราะห์ผลของการมีค้ำยันแนวทแยงมุมและไม่มีค้ำยันแนวทแยงมุม ให้อยู่ในมาตรฐานการออกแบบอาคาร
5. สรุปผลของการมีค้ำยันแนวทแยงมุมในผนังของอาคารว่าสามารถช่วยในการรับแรงด้านข้างได้มากน้อยแค่ไหนและสามารถช่วยลดขนาดอาคารได้แค่ไหนโดยที่อาคารยังอยู่ในเกณฑ์ที่ใช้ในการออกแบบ
6. สรุปบทความและเนื้อหาทั้งหมดที่ทำการศึกษา พร้อมทั้งจัดทำรูปเล่มให้สมบูรณ์สวยงาม และเตรียมการนำเสนอต่อไป

1.6 ข้อตกลงเบื้องต้น

1. ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการวิเคราะห์
2. ใช้ค้ำยันแนวทแยงมุมจำลองกำแพงเติมช่องด้วยมาตรฐาน FEMA 274,306
3. การคำนวณการลดขนาดอาคารจะลดขนาดอาคารให้อยู่ในเกณฑ์การออกแบบที่ยอมรับได้

1.7 ข้อจำกัดของการศึกษา

1. ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์อาคารมาจากการคำนวณโดยเพิ่มกำแพงเติมช่องตามมาตรฐาน FEMA 274,306 ซึ่งเป็นการประมาณค่า ถ้าจะนำไปออกแบบจริงยังไม่มีมาตรฐานที่รองรับ

1.8 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงพฤติกรรมการรับแรงด้านข้างของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีการก่อกำแพงคอนกรีตมวลเบาเปรียบเทียบกับผลของพฤติกรรมอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่ไม่มีการก่อกำแพงคอนกรีตมวลเบา
2. ศึกษาวิธีการออกแบบกำแพงคอนกรีตเติมช่องด้วยค้ำยันรับแรงอัดแนวทแยงมุม
3. ออกแบบกำแพงคอนกรีตมวลเบาเติมช่องด้วยวิธีค้ำยันรับแรงอัดแนวทแยงมุม มาช่วยในการรับแรงกระทำด้านข้าง เพื่อลดขนาดของโครงสร้างอาคารให้มีขนาดเล็กลง
4. ได้รู้วิธีการออกแบบอาคารด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งเป็นโปรแกรมการออกแบบอาคารที่ใช้กันกว้างขวาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

วรรณกรรมปริทัศน์

(Literature Review)

2.1 ความเป็นมาของปัญหา

ในปัจจุบันมีภัยพิบัติเกิดขึ้นมากมายทำให้อาคารเสียหายไปจำนวนมาก ซึ่งวิศวกรโยธาเป็นอาชีพที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบอาคารโดยตรง ในระบบโครงสร้างหลักนั้นจะมีเสา คาน พื้น และ กำแพง เมื่อมีการออกแบบโครงสร้าง กำแพงจะคิดเป็นเพียงส่วนสนับสนุนโครงสร้างเท่านั้นจะไม่มี การออกแบบ ส่วนใหญ่มีการก่อกำแพงเติมช่องเพื่อเป็นเปลือกนอกของอาคารเพื่อกันแบ่งพื้นที่ใช้สอย ภายในซึ่งในความเป็นจริงแล้วกำแพงเติมช่องมีส่วนอย่างมากในการรับแรงด้านข้าง ในเมืองไทยจะไม่นิยมออกแบบกำแพงเติมช่องจะคิดเป็นเพียงวัสดุเติมช่องเท่านั้นจะไม่มี การออกแบบให้รับแรง ด้านข้างแต่อย่างใด แต่ในต่างประเทศนั้นมีการคำนึงถึงผลกระทบของการมีกำแพงเติมช่องและไม่มี กำแพงเติมช่องซึ่งจะมีทั้งผลดีและผลเสียต่อการออกแบบ

2.2 พฤติกรรมของกำแพงเติมช่อง

เป็นที่ยอมรับกันทั่วไปว่ากำแพงเติมช่องเติมช่องนั้นสามารถเพิ่มความแข็งแรงให้กับอาคารในการรับแรงด้านข้างซึ่งเกิดจากแรงลมและแรงแผ่นดินไหวโดยจะช่วยเปลี่ยนผลเมื่อเกิดแผ่นดินไหวในเรื่องการเคลื่อนที่ของอาคาร (displacements) และ แรงเฉือนที่ฐานอาคาร [6],[11-12] โดยมีผู้ทดลองโครงสร้างข้อแข็งที่มีและไม่มีกำแพงเติมช่องซึ่งพบว่าแรงประลัย กรณีมีกำแพงอิฐสามัญเติมช่องจะมีค่ามากกว่าประมาณ 1-3 โครงข้อแข็งที่ไม่มีกำแพงเติมช่อง และ การเคลื่อนตัวของโครงสร้างข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กกรณีมีกำแพงอิฐสามัญเติมช่องจะมีการเคลื่อนตัวน้อยกว่าอยู่ประมาณ 4-6 เท่า [3] อีกรงานวิจัยทดสอบโดยใช้โครงเหล็กก่อด้วยคอนกรีตมวลเบาเติมช่องพบว่า แรงประลัยของโครงสร้างข้อแข็งกรณีมีกำแพงอิฐมวลเบาเติมช่องจะมีค่ามากกว่า 1-2 เท่า และการเคลื่อนตัวของโครงสร้างข้อแข็งกรณีมีกำแพงอิฐมวลเบาเติมช่องจะมีการเคลื่อนตัวน้อยกว่าประมาณ 4-7 เท่า [1] โดยทั้งสองงานวิจัยทำให้เราพบว่ากำแพงเติมช่องนั้นมีความสำคัญมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำแพงเติมช่องนั้นจะเพิ่มความแข็งแกร่งหรือสติฟเนส (stiffness) ให้กับตัวอาคารในการรับแรงด้านข้างและยังเพิ่มความมั่นคงและคุณสมบัติเชิงกลของอาคารให้มีความแข็งแรงและความแข็ง (rigidity) มากขึ้น [5-6],[12-13] จากผลงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าการวิเคราะห์ผลพบว่าการเพิ่มขึ้นของความแข็งแกร่ง (stiffness) จากการเติมช่องถึง 440% [5] ซึ่งการเพิ่มความแข็งแกร่งหรือสติฟเนส (stiffness) นี้จะช่วยให้ผลที่ได้จากการวิเคราะห์อาจเปลี่ยนผลลัพธ์ของการเกิดแผ่นดินไหว เนื่องจากการลดลงของการสั่นตามธรรมชาติของระบบโครงสร้าง [5],[13]

พฤติกรรมของกำแพงเติมช่องเมื่อรับแรงด้านข้างของผนังจะมีพฤติกรรมเสมือนจะทำหน้าที่เป็นค้ำยันที่เชื่อมต่อของมุมในแนวทแยงมุมทั้งสองมุมโดยรับแรงกดแนวทแยง ทำให้เสริมความแข็งแรงและกำลังของโครงสร้างในการต้านทานแรงกระทำด้านข้างได้ [5-6], [9],[11], [15]

เมื่อเกิดแผ่นดินไหว กำแพงเติมช่องถือว่าเป็นส่วนของอาคารที่สามารถดูดซับพลังงานอันเกิดจากแผ่นดินไหวได้ดี และเมื่อมีการแตกหักเสียหาย สามารถทุบออกและสร้างใหม่ได้ จึงน่าจะได้นำมาช่วยในการรับแรงจากแผ่นดินไหวได้ [2] ซึ่งพบว่าจากการศึกษาเพื่อหาพลังงานที่หายไปในระบบโครงสร้างเติมช่องของโครงสร้างเมื่อเกิดแผ่นดินไหว พบว่าพลังงานที่หายไป จะอยู่ในกำแพงเติมช่องระดับมากกว่า 95% ของการกระจายพลังงานที่เกิดขึ้นในโครงกำแพงเติมช่อง (หลังจากมีการเสียหาย) ซึ่งจะดูดซับพลังงานสูงกว่าชั้นส่วนคอนกรีตเสริมเหล็ก ทำให้มีกำแพงเติมช่องมีความสำคัญเนื่องจากกำแพงเติมช่องทำหน้าที่เป็นสิ่งแรกของการป้องกันโครงสร้างภายใต้ภาวะแผ่นดินไหวช่วยเสริมให้ระบบโครงคอนกรีตเสริมเหล็กเสริมให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น [5]

2.3 การวิเคราะห์กำแพงเติมช่อง

การออกแบบโครงสร้างนั้นกำแพงเติมช่องจะเป็นเพียงตัวสนับสนุนพฤติกรรมของโครงข้อแข็งให้มีความปลอดภัยยิ่งขึ้น [15] ในเมืองไทยผนังที่นิยมใช้เป็นผนังอิฐมวลเบาขนาดหนาประมาณ 7 ซม. รวมปูนฉาบแล้วหนาประมาณ 10 ซม. ซึ่งถือได้ว่าเป็นผนังที่อ่อนมาก นอกจากนี้ผนังเหล่านี้ยังไม่มีมาตรฐานกำหนดและไม่มีการควบคุมในการก่อสร้างให้เป็นไปตามวิชาช่างที่ดี จึงไม่เคยมีการนำเอาผนังมาช่วยในการออกแบบรับแรงด้านข้าง [2]

เหตุผลที่ไม่มีการคำนึงถึงกำแพงเติมช่องนั้น เพราะจากการศึกษาเหล่านี้เน้นทางแบบจำลองเชิงตัวเลข ทำให้จำนวนและขนาดของตัวแปรที่จะนำมาพิจารณามากมายจนเกิดความยุ่งยากในการวิเคราะห์ เช่น พฤติกรรมที่ไม่เชิงเส้นของโครงเติมช่อง ซึ่งขึ้นกับหลายปัจจัยทั้งขึ้นอยู่กับสภาพส่วนต่อระหว่างโครงกับวัสดุก่อ (เป็นอันเดียวกัน, การแยกกัน, มีช่องว่าง) [5] ทั้งยังขึ้นอยู่กับคุณภาพของผนังและแรงงานในการก่อสร้างอาคาร ดังนั้นจึงไม่อาจคำนวณค่าความแข็งแกร่งหรือสติฟเนส (stiffness) และ กำลัง (Strength) ของโครงสร้างระบบนี้ได้อย่างละเอียด [15]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 มาตรฐาน FEMA 306 การจำลองกำแพงเติมช่องเป็นค้ำยันแนวทแยงมุมรับแรงอัด

แบบจำลองสำหรับกำแพงเติมช่องจะสามารถจำแนกเป็นแบบจำลองจุลภาค และ มหภาค แบบจำลองจำลองจุลภาคของกำแพงเติมช่องจะมีรายละเอียดของ ปูนก่อ อิฐ รอยต่อของชิ้นส่วน ซึ่งเป็นส่วนที่ทำให้การจำลองพฤติกรรมของกำแพงเติมช่องได้ถูกต้องมากขึ้น อย่างไรก็ตามการคำนวณ และมีตัวแปรที่เกี่ยวข้องที่มีจำนวนมากที่ต้องมีวิเคราะห์ ซึ่งจะมีประโยชน์ในการวิเคราะห์ระดับพื้นฐาน แต่จะทำได้ไม่ได้ในการวิเคราะห์แบบรวมๆในระบบอาคาร แต่ถ้าเราใช้แบบจำลองมหภาค ซึ่งจะใช้เป็นตัวแทนพฤติกรรมของผนังและผลตอบสนองของโครงสร้างได้ รูปแบบจำลองมหภาค ที่นิยมคือ แบบค้ำยันแนวทแยงมุม 2 อัน [13]

มาตรฐาน FEMA 274,306 เป็นมาตรฐานที่จำลองกำแพงเติมช่องให้เป็นค้ำยันแนวทแยงมุมรับแรงอัด [7-8] เป็นมาตรฐานที่นักวิจัยหลายคนนิยมใช้ [10-13] เนื่องจากมาตรฐานนี้ได้รับการยอมรับจากเสียงส่วนใหญ่ของนักวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ของโครงเติมช่อง [5] และ ความไม่ยุ่งยากในการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ [5]

ตามมาตรฐานนั้น กำแพงเติมช่องจะได้รับการจำลองเป็นค้ำยันแนวทแยงมุม ซึ่งจะต้องไม่มีช่องเปิด เช่น หน้าต่าง หรือ ประตูซึ่งเพราะจะทำให้แรงด้านหลักถูกตัดขาดจึงไม่มีการพิจารณา กำแพงเติมช่องที่มีช่องเปิดให้รับแรงด้านข้าง [2] ในการจำลองตามมาตรฐานนั้นจะจำลองค้ำยันแนวทแยงมุมจะเชื่อมต่อกับเสาและคานด้วยข้อต่อแบบบานพับ (hinge) ไม่มีโมเมนต์ที่จุดต่อและคิดเฉพาะผลของแรงอัดและผลของแรงดึงจะไม่นำมาคิด การวิเคราะห์จึงใช้หลักการวิเคราะห์โครงสร้างแบบง่าย ๆ [2],[10]

ตามาตรฐานค่าที่ใช้ในการคำนวณค่าที่ต้องได้จากการทดลองคือค่า E_{me} ค่าโมดูลัสอีลาสติกของกำแพงเติมช่องซึ่งไม่สามารถหาได้จากวิธีปกติและจากมาตรฐานเป็นแรงอัดในแนวทแยงมุม แสดงว่าค่า modulus of elasticity of the infill ในสมการของ FEMA 306 ควรจะอ้างอิงในแนวทแยงมุม [11] เพราะเป็นค่าที่ต้องรวมค่าการก่อและการฉาบอีกด้วยซึ่งแต่ละประเทศจะมีมาตรฐานงานก่อไม่เหมือนกัน ตัวอย่างเช่น งานวิจัยของประเทศ ตุรกีจะใช้ค่าโมดูลัสอีลาสติกของกำแพงเติมช่อง 1393 MPA ซึ่งกำแพงเติมช่องก่อด้วยอิฐขนาด 19x19x13.5 cm ก่อหนา 1 cm ฉาบหนา 3 cm [10] งานวิจัยจากประเทศเกาหลีจะใช้ค่าโมดูลัสอีลาสติกของกำแพงเติมช่องคือ 1.2 kN/mm² หรือ ประมาณ 1200 MPA [13]

นักวิจัยศึกษาจากประเทศญี่ปุ่นตามมาตรฐาน FEMA 306 ใช้ค่า E_{me} ค่าโมดูลัสอีลาสติกจากค่า 750 เท่าของค่ากำลังรับแรงอัดของอิฐก่อไม่รวมผลของปูนก่อ นักวิจัยของญี่ปุ่นใช้ค่า 33000 kg/cm² [17]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 ผลกระทบของการไม่คำนึงถึงกำแพงเติมช่อง

ผลกระทบของการไม่คำนึงถึงกำแพงเติมช่อง เช่น เป็นสาเหตุให้อาคารมีความยืดหยุ่นมากเกินไปเกินกว่าความเป็นจริงและค่าของคาบการสั่นพื้นฐานจะมากกว่าปรกติ [10] ทั้งยังเปลี่ยนแรงเฉือนที่เสาซึ่งอาจเปลี่ยนรูปแบบความเสียหายเนื่องจากการลดความเหนียวของโครงสร้างลง [11] ทำให้โครงสร้างจะมีกำลังที่เกิดจริงเพราะกำลังของกำแพงเติมช่องอิฐ [13] บางกรณีกำแพงเติมช่องจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมในโครงสร้างตัวอาคารได้ เช่น กรณีที่กำแพงเติมช่องในอาคารที่มีรูปทรงไม่สมมาตรของอาจจะทำให้บางบริเวณมีความแข็ง (rigidity) มากกว่าที่คำนวณไว้ หรือการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งศูนย์กลางความแข็ง (rigidity of central) ทำให้เกิดผลกระทบของแรงบิดในเสาที่อยู่ห่างจากศูนย์กลางมากที่สุด ซึ่งทำให้ความแข็งแรงของอาคารโดยรวมลดลงไป [8],[13] การละเลยไม่สนใจการกำแพงเติมช่องอาจเป็นการตัดสินใจที่ไม่ปลอดภัย ดังนั้นทางเลือกที่ถูกต้อง คือให้ความสนใจผลของกำแพงเติมช่องซึ่งช่วยสนับสนุนความมั่นคงให้โครงสร้าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อพิจารณาถึงผนังภายนอกตัวอาคารที่มักจะไม่มีเปลี่ยนสภาพ [6]

การวิเคราะห์ส่วนใหญ่จะวิเคราะห์ด้วยไฟไนท์เอลิเมนต์ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ซึ่งก็จะเป็นโปรแกรม ETAB และ SAB 2000 [10] ซึ่งเป็นโปรแกรมออกแบบอาคาร 3 มิติ มีผู้ใช้มาตรฐานนี้ในการศึกษาเพื่อจำลองพฤติกรรมของการก่อเติมช่องมากมายโดยเฉพาะโครงสร้างอาคารที่เมื่อรับแรงแผ่นดินไหวโดยศึกษาอาคารที่ในปรกติการออกแบบไม่มีการคิดถึงผลของกำแพงเติมช่องว่าเมื่อมีกำแพงเติมช่องจะเปลี่ยนพฤติกรรมอย่างไร ซึ่งอาคารที่ได้รับผลกระทบมากที่สุดคืออาคารที่ชั้นล่างเปิดเนื่องเป็นรูปแบบที่นิยมซึ่งส่วนใหญ่ทำเป็นที่จอดรถ หรือ ล็อบบี้ [9-10],[13] แม้ว่ากำแพงเติมช่องจะเพิ่มความแข็งแรง แต่เมื่อชั้นล่างซึ่งส่วนใหญ่ถูกออกแบบให้เป็นช่องเปิด เมื่อชั้นบนมีกำแพงเติมช่องและชั้นล่างเป็นช่องเปิดจะทำให้โครงสร้างชั้นแรกอ่อนและจะอ่อนแอยิ่งกว่าเดิมเมื่อเกิดแรงแผ่นดินไหว ซึ่งในการออกแบบทั่วไปกำแพงเติมช่องชั้นบนจะได้รับการพิจารณาว่าไม่ใช่โครงสร้างและจะไม่มีวิเคราะห์ในแบบจำลองซึ่งในความจริงมันจะเปลี่ยนพฤติกรรมในการวิเคราะห์สำหรับแรงแผ่นดินไหว ซึ่งได้ศึกษาโครงสร้างแบบ masonry infilled low-rise RC moment-resisting frame โดยจำลองกำแพงเติมช่องเป็นเทียบเท่าค้ำยันแนวทแยงมุมและศึกษาพฤติกรรมของการมีและไม่มีกำแพงเติมช่องเติมช่อง [13]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

หลักการและทฤษฎีที่ใช้

3.1 วัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

3.1.1 คอนกรีตมวลเบา

คอนกรีตมวลเบา คือ ผลิตภัณฑ์คอนกรีตซึ่งผลิตจากวัตถุดิบธรรมชาติ ได้แก่ ปูนซีเมนต์ ปอร์ตแลนด์ ทราย ปูนขาว ยิปซัม น้ำ และส่วนผสมพิเศษในอัตราส่วนที่เป็นสูตร Cement Base ผสมกันทำให้ได้คอนกรีตมวลเบา ซึ่งผู้ผลิตหลายรายใช้ระบบ AAC (Autoclaved Aerated Concrete) การผลิตส่วนใหญ่เป็นการนำเทคโนโลยีและเครื่องจักรที่นำเข้ามาจากต่างประเทศอาทิเช่น เยอรมนี ออสเตรเลีย ฯ ผลิตภัณฑ์คอนกรีตมวลเบาเป็นวัสดุก่อสร้างยุคใหม่ที่มุ่งเน้นให้เกิดประโยชน์สูงสุดจากการนำไปใช้งานทุกด้าน ด้วยคุณสมบัติพิเศษ คือ วัสดุมีน้ำหนักเบา ขนาดก้อนได้มาตรฐานเท่ากันทุกก้อน ทนไฟ ป้องกันความร้อน ป้องกันเสียง ตัดแต่งเข้ารูปง่าย ใช้งานได้เกือบ 100% ไม่มีเศษเป็นอิฐหัก และที่สำคัญคือ ทำงานได้รวดเร็ว พื้นที่ก่อสร้างสะอาด ขนาดก้อนใช้งานง่ายลดระยะเวลาในการก่อสร้างและลดต้นทุนโครงสร้าง

การใช้คอนกรีตมวลเบาในส่วนของการก่อผนังและกำแพงเนื่องจากมีคุณสมบัติที่ดีกว่าอิฐมวลหลายประการ เช่น มีกำลังต้านทานแรงอัด และความคงทนต่อสภาพดินฟ้าอากาศได้ดีกว่า สามารถก่อสร้างได้อย่างรวดเร็วกว่าการก่อสร้างทั่วไป และคอนกรีตมวลเบาสามารถกันความร้อนได้ ช่วยให้อุณหภูมิของบ้านลดลง

ดังนั้นวัสดุก่อสร้างสำหรับงานวิจัยครั้งนี้ คือ คอนกรีตมวลเบา เนื่องจาก คอนกรีตมวลเบา คือ ผลิตภัณฑ์คอนกรีตที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้สำหรับงานก่อสร้างผนังด้วยคุณสมบัติพิเศษที่เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำหนักเบา และสามารถป้องกันความร้อนได้ดี ทำให้ประหยัดการใช้พลังงาน คอนกรีตมวลเบา ทนทานต่อเพลิงไหม้ที่อุณหภูมิสูง และในปัจจุบันเป็นวัสดุก่อสร้างที่ได้รับความนิยมสูง

3.1.2 คอนกรีตมวลเบาที่ใช้งานวิจัย

คอนกรีตมวลเบาที่ใช้ในการทดสอบทางผู้ทดสอบได้เลือกผลิตภัณฑ์ของ Q-CON ซึ่งผลิตด้วยระบบอบไอน้ำภายใต้ความดันสูงสุด Cement Base ซึ่งเป็นที่ยอมรับอย่างกว้างขวางเริ่มจากการเลือกใช้แต่วัตถุดิบธรรมชาติ ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ทราย ยิปซัม ปูนขาว น้ำ และอลูมิเนียม โดยจะนำวัตถุดิบทุกชนิดมาทดสอบคุณภาพก่อน จากนั้นจึงนำมาผสมกันในสัดส่วนที่พอเหมาะ ด้วยสูตรเฉพาะของ HEBEL Technology จากประเทศเยอรมัน ซึ่งจะทำให้เกิดฟองอากาศขนาดเล็กกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอในเนื้อคอนกรีต แล้วจึงนำไปปรมให้ได้ที่ เพื่อเข้าสู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการตัดด้วยเครื่องจักรเพื่อให้คอนกรีตมีขนาดที่แน่นอน แล้วจึงเข้าสู่กระบวนการอบไอน้ำที่เรียกว่า “Autoclave” ภายใต้อุณหภูมิความดันสูง และภายในเวลาที่เหมาะสมด้วยเครื่องจักรอบไอน้ำ ทำให้เกิดการตกผลึก (Calcium Silicate) จนได้ที่เป็นคอนกรีตมวลเบาที่มีคุณสมบัติพิเศษ น้ำหนักเบามากแต่แข็งแรง

คอนกรีตมวลเบา ที่มีจำหน่ายจะมีขนาด 20x 60 cm แต่ความหนาต่างกันไปคือ 7.5, 10.0, 12.5, 15.0, 20.0 และ 25.0 cm

ตารางที่ 3.1 ขนาดของคอนกรีตมวลเบาที่มีจำหน่าย

ความหนา (cm)	กว้าง*ยาว (cm ²)
7.5	20*60
10.0	20*60
12.5	20*60
15.0	20*60
20.0	20*60
25.0	20*60

ผลิตภัณฑ์อิฐมวลเบาที่เลือกใช้สามารถผลิตทั้งผลิตภัณฑ์คอนกรีตมวลเบาไม่เสริมเหล็ก G2 และ G4 ตาม มอก. 1505-2541 และ สามารถผลิตทั้งผลิตภัณฑ์คอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็ก ตาม มอก.1510-2541

ชั้นคุณภาพ 2 (G2) เหมาะสำหรับโครงสร้างอาคารระบบเสา-คาน (Non Load Bearing Walls)

ชั้นคุณภาพ 4 (G4) เหมาะสำหรับโครงสร้างอาคารระบบใ้เสา-ใ้คาน (Load Bearing Walls)

3.1.2.1 อัตราส่วนปัวซองของอิฐมวลเบา [1]

จากการทดลองพบว่าอัตราส่วนปัวซองของอิฐมวลเบาทั้ง 3 ตัวอย่าง คือ 0.23 และ 0.225 และ 0.22 ตามลำดับ จะทำการหาค่าเฉลี่ยจะได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ $(0.23+0.225+0.22)/3=0.225$ ประมาณ 0.23 [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบา ชั้นคุณภาพ G2 กับ G4

คุณสมบัติ	ชั้นคุณภาพ		รายละเอียดเปรียบเทียบ
	Class 2 (G2)	Class 4 (G4)	
ความหนาแน่นแห้ง (Dry Density) (kg/m^3)	500	700	G2 เบากว่า G4 40% เพราะมีฉนวนฟองอากาศ มากกว่า
ความหนาแน่นใช้งาน (kg/m^3)	620	910	-
น้ำหนักผืน (kg/m^2)			
-ความหนา 7.5 ซม. (ไม่รวมฉาบ)	45	60	G2 น้ำหนักน้อยกว่า G4 จะ ประหยัดโครงสร้าง อาคารได้ มากกว่า
-ความหนา 7.5 ซม. (รวมฉาบ)	90	105	
ค่ากำลังรับแรงอัด (Compressive Strength) (ksc.)	≥ 30	≥ 45	G2 แข็งแรงมากเกินไป ใน โครงสร้างอาคารระบบ เสา-คาน
Modulus Of Elasticity, E (ksc.)	15,000	17,500	-

3.1.3 คอนกรีต (Concrete)

เป็นวัสดุที่เปรียบเสมือนหินที่มนุษย์ประดิษฐ์ขึ้นมาใช้งานโครงสร้างสามารถทำให้มีรูปร่างและขนาดต่างๆได้ตามต้องการอีกด้วยคอนกรีตได้จากการผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์กับทรายและหินหรือกรวดด้วยน้ำ โดยที่น้ำจะทำปฏิกิริยากับปูนซีเมนต์ได้เป็นซีเมนต์เพสต์ที่มีคุณสมบัติเป็นตัวประสานซึ่งจะแทรกตามเม็ดทรายและก้อนหินและเคลือบหรือหุ้มเม็ดทรายและหินทั้งหมดให้เป็นก้อนเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3.1 คุณสมบัติที่สำคัญของคอนกรีต

3.1.3.1.2 กำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีต (Compressive Strength) (f'_c)

เป็นคุณสมบัติของคอนกรีตที่สำคัญมากเนื่องจากพบว่ากำลังต้านทานของคอนกรีตต่อแรงกระทำแบบอื่น เช่น ต้านทานแรงดึง ต้านทานแรงดัด ต้านทานแรงเฉือน ล้วนเป็นสัดส่วนเทียบได้กับกำลังรับแรงอัด โดยกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตหาได้จาก การนำคอนกรีตรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 cm สูง 30 cm ตามมาตรฐานอเมริกันหรือรูปลูกบาศก์ขนาด 15x15x15 cm ตามมาตรฐานอังกฤษ มาทดสอบหาลำลังอัดของคอนกรีตที่อายุ 28 วัน

3.1.3.1.3 โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต (Modulus of Elasticity) (E_c)

โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตเป็นตัวบ่งบอกถึงความสามารถในการต้านทานต่อการเสียรูปของคอนกรีตเมื่อมีน้ำหนักหรือแรงกดอัดมากกระทำ พบว่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตมีค่าแปรเปลี่ยนตามกำลังของคอนกรีต หน่วยน้ำหนักของคอนกรีต ตามมาตรฐาน ACI หรือ วสท. กำหนดสูตรสำหรับหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตโดยให้ขึ้นกับกำลังต้านทานแรงอัดสูงสุดและหน่วยน้ำหนักดังสมการ

$$E_c = w^{1.5} 4270 \sqrt{f'_c}$$

จะได้ว่า

$$E_c = 15100 \sqrt{f'_c}$$

เมื่อ E_c = โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต kg/m^2

w = หน่วยน้ำหนักของคอนกรีต ตัน/เมตร³ ประเทศไทยคอนกรีตธรรมดาจะน้ำหนัก 2.323 T/M³

f'_c = กำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตรูปทรงกระบอกที่อายุ 28 วัน

3.1.4 เหล็กเสริม (Reinforcing bars)

เหล็กเสริมซึ่งใช้ในงานก่อสร้างทั่วไปเป็นเหล็กกล้าละมุน ผลิตแบบรีดร้อน เหล็กเสริมคอนกรีตมีทั้งแบบหน้าตัดกลมเรียบซึ่งเรียกว่า เหล็กกลมผิวเรียบและแบบหน้าตัดกลมแต่มีบั้งหรือปล้องที่ผิวตามแนวยาวของเหล็กจะเรียกว่า เหล็กกลมแบบข้ออ้อย เหล็กเส้นที่ผลิตในประเทศไทยจะมีน้ำหนักประมาณ 7850 kg/m^3 มีความยาวมาตรฐาน 10-12 m

3.1.4.1 เหล็กกลมผิวเรียบ (Round bar)

เป็นเหล็กเส้นที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ 6-25 mm กำหนดให้เหล็กกลมผิวเรียบมีชั้นคุณภาพเดียวคือ SR24 ซึ่งหมายถึงมีกำลังต้านทานต่อแรงดึงที่จุดครากของเหล็กไม่น้อยกว่า 2400 kg/m² ส่วนขนาดใช้สัญลักษณ์ RB (Round Bar) แล้วตามด้วยตัวเลขแสดงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางหน่วยเป็น mm

3.1.4.2 เหล็กกลมแบบข้ออ้อย (Deformed Bars)

เหล็กเส้นที่มีหน้าตัดกลมและมีผิวที่มีบั้งหรือปล้องเหล็กกลมข้ออ้อยมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ 10-32 mm มาตรฐาน มอก. 24 กำหนดให้เหล็กข้ออ้อยมี 3 ชั้นคุณภาพ คือ SD30 SD40 SD50 ซึ่งหมายถึงมีกำลังต้านทานต่อแรงดึงที่จุดครากของเหล็กไม่น้อยกว่า 3000 4000 และ 5000 kg/m² การเรียกชื่อให้ใช้สัญลักษณ์ DB (Deformed Bar) แล้วตามด้วยตัวเลขแสดงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางหน่วยเป็น mm

3.1.4.3 ค่าที่สำคัญที่ใช้ในการคำนวณคือ

3.1.4.3.1 โมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็ก (Modulus of Elasticity) (E_s)

โดยปกติเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณ ตาม วสท.1015-40 จะมีค่าเท่ากับ 2.1×10^6 kg/m² และตาม AISC. จะมีค่าเท่ากับ 2.04×10^6 kg/m²

3.1.4.3.2 กำลังรับแรงดึงที่จุดครากหรือจุดยึด (Yield Strength F_y)

3.1.4.3.3 กำลังรับแรงดึงประลัย (Ultimate Tensile Strength F_u)

3.1.4.3.4 ค่าโมดูลัสการเฉือน (shearing modulus; G)

เป็นอัตราส่วนของหน่วยแรงเฉือนต่อความเครียดเฉือน สำหรับ เหล็กโครงสร้าง ตาม วสท.1015-40 จะมีค่าเท่ากับ 0.8×10^6 kg/m²

3.1.4.3.5 ค่าอัตราส่วนปัวซอง (Poisson's ratio)

เป็นอัตราส่วนของความเครียดตามขวางต่อความเครียดตามยาว โดยทั่วไปจะมีค่า 0.288 ตาม วสท. ให้ใช้ค่า 0.3

3.1.4.3.6 ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้น (linear coefficient of expansion; α) เป็นค่าคงที่ของวัสดุแต่ละชนิดอื่น เนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตามความยาวเชิงเส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 3.3 คุณสมบัติทางกลของเหล็ก

ชนิดของเหล็กเสริม	ชั้นคุณภาพ	กำลังรับแรงดึงที่จุดคราก kg/m ² ไม่น้อยกว่า	กำลังรับแรงดึง ประลัย kg/m ² ไม่น้อยกว่า	ความยืด % ไม่น้อยกว่า
เหล็กกลมเรียบ	SR 24	2400	3900	21
เหล็กข้ออ้อย	SD 30	3000	4900	17
	SD 40	4000	5700	15
	SD 50	5000	6300	13

3.1.5 คอนกรีตเสริมเหล็ก

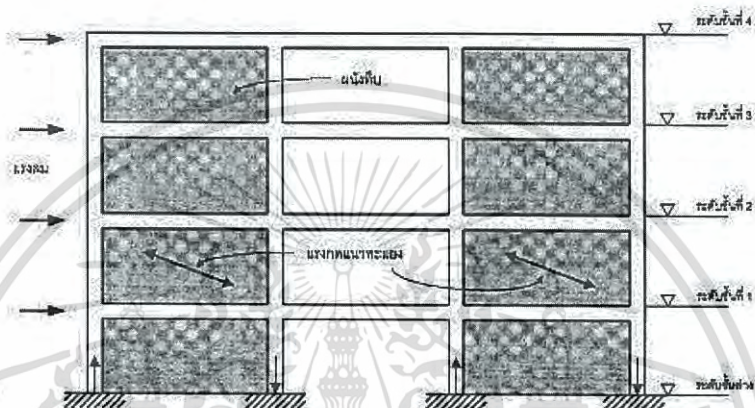
จากคุณสมบัติของเหล็กและคอนกรีตนั้น จะพบว่าคอนกรีตไม่สามารถรับแรงดึงได้ดีเมื่อเทียบกับการรับแรงอัด ดังนั้นหากนำคอนกรีตอย่างเดียวนำมาใช้เป็นโครงสร้างก็จะรับน้ำหนักได้ไม่มากนัก คอนกรีตจะแตกร้าวเสียก่อนเนื่องจากคอนกรีตไม่สามารถรับแรงดึงได้สูงนั่นเอง แต่เหล็กเสริมนั้นเป็นวัสดุที่สามารถต้านทานแรงดึงและแรงอัดได้ดีเท่ากันและพบว่าเหล็กเสริมมีค่าสัมประสิทธิ์การยึดหดตัวเท่าๆกันกับคอนกรีต ทำให้ไม่มีปัญหาเมื่อคอนกรีตมีการยึดหดตัว ดังนั้น การนำเหล็กเส้นมาใช้ร่วมกับคอนกรีตโดยหล่ออยู่ในเนื้อเดียวกันในลักษณะคอนกรีตรับแรงอัดและเหล็กเส้นรับแรงดึงสามารถทำให้ลดน้ำหนักของโครงสร้างลงได้การใช้เหล็กกับคอนกรีตดังกล่าว เรียกว่า คอนกรีตเสริมเหล็ก มีหน่วยน้ำหนักประมาณ 2400 กิโลกรัม/เมตร³ และเมื่อเหล็กเสริมถูกห่อหุ้มด้วยคอนกรีตจะทำให้คอนกรีตช่วยป้องกันเหล็กเสริมจากการผุกร่อนและเพลิงไหม้ได้ดีทำให้เหล็กเสริมสามารถรับแรงดึงได้เต็มที่ ทำให้คอนกรีตเสริมเหล็กมีกำลังต้านทานต่อแรงต่างๆได้ก็กว่าคอนกรีตล้วนเพียงอย่างเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 แผงเติมช่อง (Infill panel)

3.2.1 พฤติกรรมของโครงสร้างร่วมเฟรม-ผนังทึบ (infilled-frame Structures)

โครงสร้างระบบนี้เป็นโครงสร้างผสมของคาน เสา และแผ่นผนังที่ก่อด้วยอิฐคอนกรีตบล็อก หรือแผ่นคอนกรีตหล่อในที่ เมื่อโครงสร้างนี้รับแรงด้านข้างระบบผนังจะมีพฤติกรรมเสมือนเป็นตัวค้ำยันของโครงสร้างเฟรมโดยรับแรงกดแนวทแยง ทำให้เสริมความแข็งแรงและกำลังของโครงสร้างในการต้านทานแรงกระทำด้านข้างได้



รูปที่ 3.1 พฤติกรรมอาคารเมื่อมีกำแพงเติมช่อง

ในโครงสร้างแบบเสา – คานทั่วไป ทั้งคอนกรีตเสริมเหล็กและโครงเหล็ก ส่วนใหญ่มีการก่อผนังงานก่อเพื่อเป็นเปลือกนอกของอาคารหรือเพื่อกั้นแบ่งพื้นที่ใช้สอยภายใน โดยไม่คำนึงถึงการช่วยรับแรงใด ๆ แต่กำแพงเติมช่องอิฐฉาบปูนถือว่าเป็นส่วนของอาคารที่สามารถดูดซับพลังงานอันเกิดจากแผ่นดินไหวได้ดีช่วยลดความเสียหายที่เกิดจากโครงสร้างได้

3.2.2 แผงเติมช่องในประเทศไทย

ในเมืองไทยผนังที่นิยมใช้เป็นผนังอิฐมวลเบาหรือคอนกรีตมวลเบาหรือคอนกรีตบล็อกซึ่งมีขนาดหนาประมาณ 7 ซม. รวมปูนฉาบแล้วหนาประมาณ 10 ซม. ซึ่งถือได้ว่าเป็นผนังที่อ่อนมาก นอกจากนี้ผนังเหล่านี้ยังไม่ยึดติดกับเสาหรือคานอย่างเป็นรูปธรรม ปกติควรมีเหล็ก “หนวดกุ้ง” ผากไว้จากคานหรือเสาเพื่อยึดกับผนังอิฐ แต่ก็ไม่มีมาตรฐานกำหนดและไม่มีการควบคุมในการก่อสร้างให้เป็นไปตามวิชาช่างที่ดี อีกทั้งผนังทั่วไปมักมีช่องเปิดประตูหน้าต่าง ซึ่งทำให้ความแข็งแรงของผนังลดลงไปมาก จึงไม่เคยมีการนำเอาผนังมาช่วยในการออกแบบรับแรงด้านข้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 รูปแบบความเสียหายของกำแพงเติมช่องเมื่อรับแรงด้านข้าง

การวิเคราะห์รูปแบบความเสียหายของกำแพงเติมช่องเมื่อรับแรงด้านข้างโครงที่มีกำแพงเติมช่องเมื่อมีการรับแรงด้านข้างจะมีรูปแบบความเสียหาย 5 รูปแบบคือ

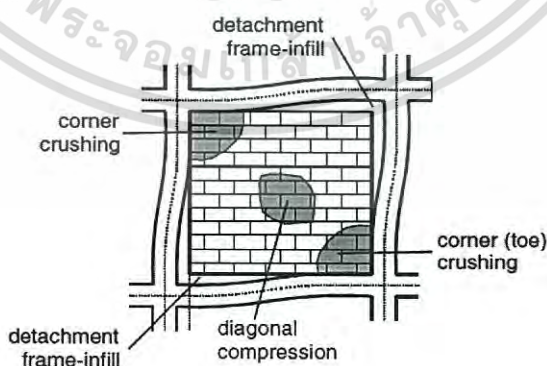
1. รูปแบบเสียหายที่มุม (CC) ซึ่งหมายถึงเสียหายในเติมช่องอย่างน้อยหนึ่งมุมดังแสดงในรูปที่ 3.2 รูปแบบนี้มักจะเกี่ยวข้องกับโครงเติมช่อง ประกอบด้วยกำแพงเติมช่องล้อมรอบด้วยโครงที่มีจุดต่อที่อ่อนและชิ้นส่วนที่แข็งแรง

2. รูปแบบแรงอัดแนวทแยงมุม (DC) ซึ่งหมายถึงการเสียหายในเติมช่องภายในส่วนกลางดังแสดงในรูปที่ 3.2 (a) รูปแบบนี้มีความเกี่ยวข้องสัมพันธ์กับความยาวในการเติมช่องซึ่งในพยางหลายมีผลมาจากการโค้งออกของระนาบเติมช่อง

3. รูปแบบเลื่อนเนื่องจากแรงเฉือน(SS) ซึ่งแสดงถึงความเสียหายในแนวอนเนื่องจากแรงเฉือนผ่านรอยต่อของการก่ออิฐดังแสดงในรูปที่ 3.2 (b) โหมดนี้มีความเกี่ยวข้องกับ รอยต่อของปูนก่อที่ไม่แข็งแรงและความแข็งแรงของโครง

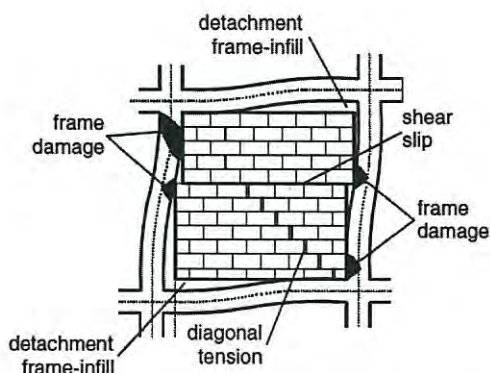
4. รูปแบบการแตกตามแนวทแยงมุม (DK) ซึ่งจะเห็นรอยแตกเนื่องจากการบีบอัดในแนวทแยงมุมของแผงเติมช่อง และที่มักจะเกิดขึ้นพร้อมกันรูปแบบ(SS)ดังแสดงในรูปที่ 3.2 (b) รูปแบบนี้เกี่ยวข้องกับโครงอ่อนไปหรือจุดต่อของโครงอ่อนไปหรือความแข็งแรงของชิ้นส่วนเติมช่องที่มีเติมช่องที่แข็งแรงไป

5. รูปแบบโครงเสียหาย (FF) ซึ่งจะเห็นได้ที่จุดพลาสติกในจุดต่อของเสาและคานดังแสดงในรูปที่ 3.2 (b) รูปแบบนี้จะเกี่ยวข้องกับโครงอ่อนไปหรือโครงที่มีจุดต่อที่อ่อนแอและชิ้นส่วนเติมช่องมีความแข็งแรงไป



(a) รูปแบบ CC และ รูปแบบ DC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(b) รูปแบบ SS และ รูปแบบ FF และ รูปแบบ DK

รูปที่ 3.2 รูปแบบความเสียหายที่แตกต่างกันของกำแพงเติมช่อง(a) รูปแบบเสียหายที่มุม (CC) และ รูปแบบแรงอัดแนวทแยงมุม (DC) (b) รูปแบบเลื่อน เนื่องจากแรงเฉือน (SS) และ โครงสร้างเสียหาย (FF) และ แตกตามแนวทแยงมุม (DK)

รูปแบบการเกิดการเสียหายทั้ง 5 โดยเฉพาะรูปแบบ (CC) และ (SS) มีความสำคัญในทางปฏิบัติจริง เนื่องจากการเติมช่องจะไม่ทำให้ต่อเนื่องในแนวยาว และรูปแบบที่สอง (DC) ไม่เป็นที่นิยม ดังนั้นจึงไม่ได้รับการสนับสนุน รูปแบบที่สี่ (DK) ไม่ถือว่าเป็นรูปแบบการเสียหาย เนื่องจากก่อนจะเกิดความเสียหายของเติมช่อง จะเกิดรูปแบบที่ห้า (FF) เกี่ยวข้องกับความเสียหายของโครง รูปแบบความเสียหาย ใช้งานได้กับกำแพงเติมช่องที่ไม่มีช่องเปิดในแผง

3.2.4 มาตรฐานการวิเคราะห์แผงเติมช่อง

มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องคือกลุ่ม Stafford Smith 1977 ซึ่งจะใช้วิธีไฟไนท์เอลิเมนต์วิเคราะห์แผงเติมช่องโดยยอมแผงเติมช่องขณะรับแรงด้านข้างมีความเสียหายได้และยังได้เสนอวิธีออกแบบโดยอาศัยมุมตีให้ผนังทำหน้าที่คล้ายเสาค้ำยันในแนวเฉียง (Diagonal strut) และทั้งเสา-คานและเสา-ค้ำยันยึดกันแบบโครงข้อหมุนการวิเคราะห์จึงใช้หลักการวิเคราะห์แบบง่าย ๆ กรณีที่ผนังมีช่องเปิดเช่นประตูหน้าต่าง ความแข็งแรงของผนังจะลดลงไปมาก โดยเฉพาะช่องเปิดที่ตัดกับแนวทแยงมุม จะทำให้แรงต้านหลักถูกตัดขาดจึงไม่น่าจะมีการพิจารณาให้รับแรงด้านข้าง ซึ่งเป็นมาตรฐานของ FEMA 274 และ FEMA 306

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.5 มาตรฐาน FEMA 306 (Federal Emergency Management Agency)

โครงเติมช่อง (Infilled Frame) สามารถจำลองโครงเติมช่องให้เป็นค้ำยันแนวทแยงมุมรับแรงอัดที่สามารถประเมินความแข็งแรง (strength) และ ความแข็งเกร็ง (stiffness) ของแผงเติมช่อง ซึ่งคำนวณจากมาตรฐาน FEMA 276 ซึ่งมาจากการวิจัยของ Mainstone and Weeks (1970) เฉพาะวัสดุก่อที่ที่ก่อจนเต็มพื้นที่แผงที่ว่า

เราสามารถหาความหนาของค้ำยันแนวทแยงมุมได้จากสมการ

$$w = 0.175(\lambda_1 h_{col})^{-0.4} r_{inf} \text{ หน่วย m}$$

เมื่อ

$$\lambda_h = \left[\frac{E_{me} t_{inf} \sin 2\theta}{4E_{fe} I_{col} h_{inf}} \right]^{\frac{1}{4}}$$

และ

$$\theta = \tan^{-1} \frac{h_{inf}}{L_{inf}}$$

โดยที่ λ_h คือ พารามิเตอร์ไร้มิติ (dimensionless parameters) ใช้ในการสหสัมพันธ์ข้อมูลการทดลองที่เกี่ยวข้อง

L_{inf} คือ ความยาวของแผงเติมช่อง หน่วย m

E_{me} คือ โมดูลัสของความยืดหยุ่นของกำแพงเติมช่อง หน่วย kg/m^2

h_{col} คือ ความสูงของเสาระหว่างศูนย์กลางของคาน หน่วย m

h_{inf} คือ ความสูงของแผงเติมช่อง หน่วย m

E_{fe} คือ โมดูลัสของความยืดหยุ่นของโครง หน่วย kg/m^2

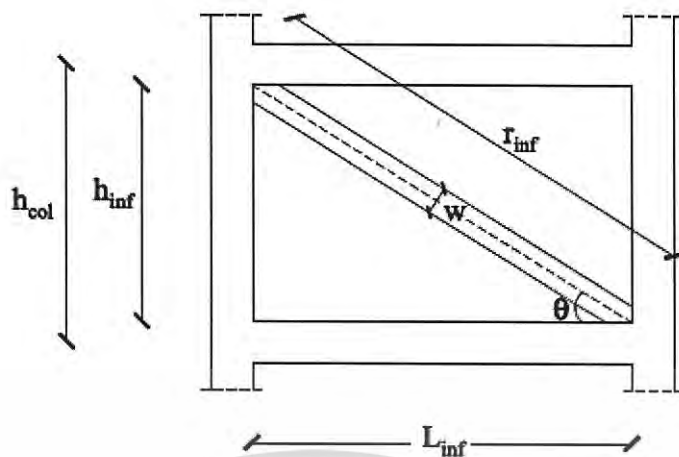
I_{col} คือ ความแข็งเชิงคดของเสา หน่วย m^4

t_{inf} คือ ความหนาของแผงเติมช่อง และหนาเทียบเท่าของค้ำยัน หน่วย m

r_{inf} คือ ความยาวแนวเส้นทแยงมุม

θ คือ มุมค่าแทนเจนต์ของอัตราส่วนระหว่างความสูงกับความยาวของแผงเติมช่อง หน่วย เรเดียน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 แบบจำลองค้ำยันแนวทแยงมุมรับแรงอัด

3.2.6 ผลงานวิจัยที่ผ่านมาเรื่องผลการทดลองโครงเหล็กที่มีและไม่มีกำแพงเติมช่อง

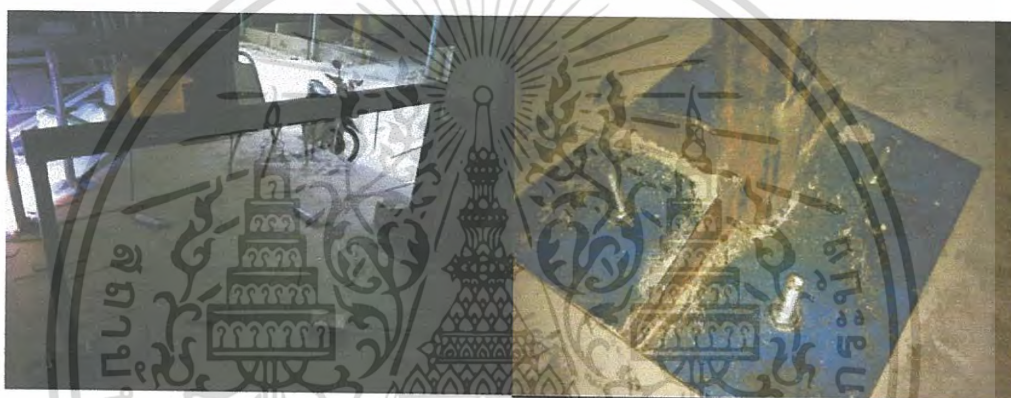
เป็นโครงการพิเศษ (Special Project) เรื่อง พฤติกรรมการรับแรงด้านข้างของโครงข้อแข็งเหล็กรูปแบบประตูที่มีการก่อคอนกรีตมวลเบา (Behavior of Steel Frames with Masonry Infills under Lateral Loading) ของนักศึกษาระดับปริญญาตรี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังสาขาวิศวกรรมโยธา ประกอบด้วย นายสถาพร ลือรุ่งรัตน์วุฒิ และ นายสรวิศ กาญจนชุมพล และ นายสุทธิเกียรติ รัตนไพศาลศรี มีอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.สุวัฒน์ ธิรเศรษฐ์ และอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ดร.อาทิตย์ เพชรศศิธร มีรายละเอียดงานวิจัยดังนี้

เป็นงานวิจัยโครงเหล็กที่มีและไม่มีกำแพงเติมช่องซึ่งมีการใช้เหล็กกล่องขนาด 2*2 inch หนา 3.2 mm เป็นเสาและใช้ เหล็กกล่องขนาด 2*4 inch เป็นคานโดยมีการก่ออิฐมวลเบาแบบ G2 ขนาด 20*60 cm หนา 7.5 cm มาตัดแบ่งจนเหลือขนาด 7*20 cm หนา 5 cm และ มีการก่อและฉาบตามมาตรฐานงานก่อทั่วไปโดยที่โครงเหล็กจะมีการติดเหล็กหนวดกึ่งช่วยให้ในการก่อให้มีการยึดติดกันมากขึ้นจะสมมุติให้ฐานของโครงเหล็กมีสถานะแบบยึดแน่น (Fix) โดยมีการเว้นช่วงการทำงานทิ้งไว้หลังก่อ 1 วัน จากนั้นทำการฉาบมีแล้ว ทั้งระยะเวลาหลังจากการฉาบ 2 วัน ก็พร้อมทำการทดสอบ frame ก่ออิฐ โดยทำการทดสอบด้วยเครื่องมือ Hydraulic Jack

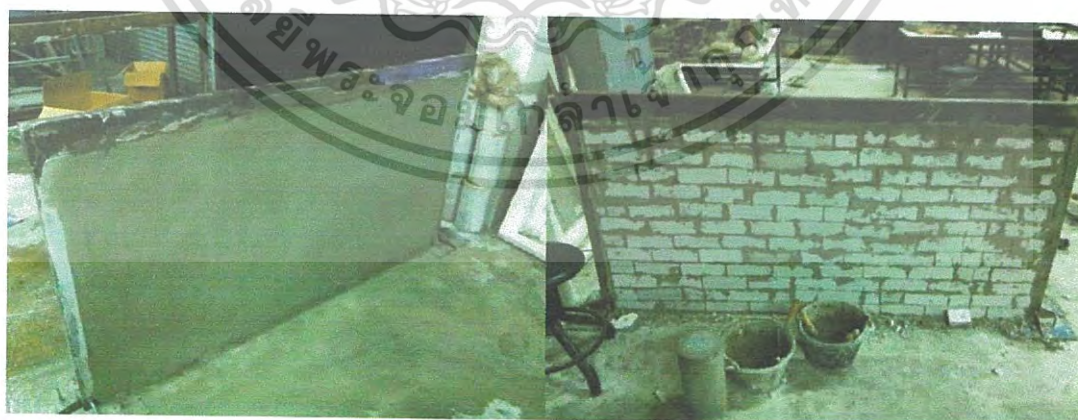
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 ปูนก่อและปูนฉาบตราเสือมอร์ตาร์สำหรับอิฐมวลเบา



รูปที่ 3.5 โครงเหล็กที่มีการติดเหล็กหยดกึ่งและมี support แบบยึดแน่น (Fix)



รูปที่ 3.6 แสดงโครงเหล็กหลังก่อและฉาบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 แสดงเครื่องมือ Hydraulic Jack ที่ใช้ทำการทดสอบ โดยเพิ่มขนาดแรงที่ละ 50 kN



รูปที่ 3.8 แสดงการติดตั้ง Hydraulic Jack เพื่อเตรียมทำการทดสอบจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.6.1 ผลการทดลองของงานวิจัย

ผลการทดลองและผลการวิเคราะห์ของโครงข้อแข็งที่ไม่มีกำแพงอิฐมวลเบาเต็มช่อง และมีกำแพงอิฐมวลเบาเต็มช่องผลการทดลอง

3.2.6.1.1 ผลการทดลองโครงข้อแข็งที่ไม่มีกำแพงอิฐมวลเบาเต็มช่อง

ใส่แรงและการปลดแรง

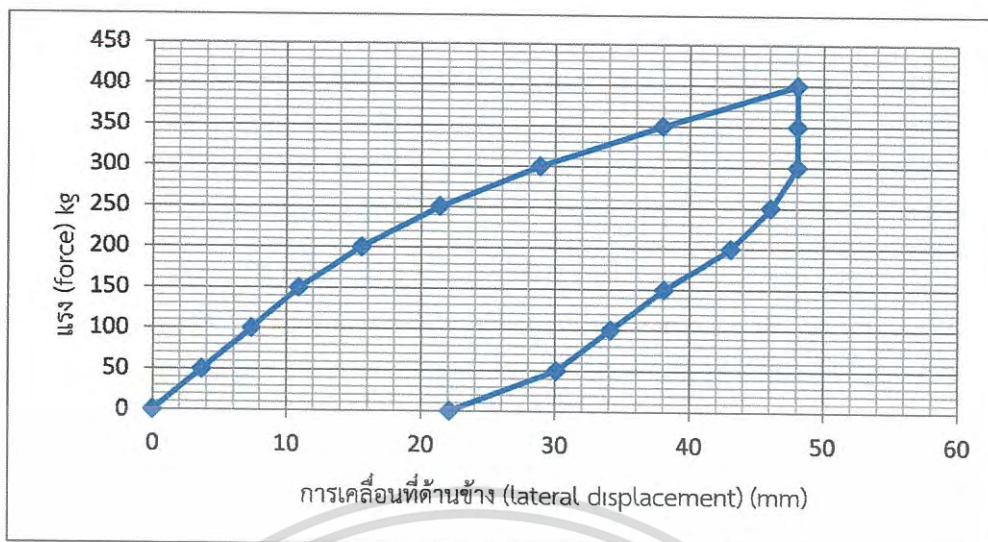
ตารางที่ 3.4 ผลการทดลองการใส่แรงของโครงข้อแข็งที่ไม่มีกำแพงอิฐมวลเบาเต็มช่อง

แรง (Force) (kg)	การเคลื่อนที่ทางข้าง (Lateral Displacement) (mm)	มุมหมุน (Rotation) (เรเดียน)
0	0.00	0.00000000
50	3.68	0.00380471
100	7.38	0.00084175
150	10.94	0.00124579
200	15.58	0.00164983
250	21.40	0.00016835
300	28.88	0.00245791
350	38.00	0.00104377
400	48.10	0.04164983

ตารางที่ 3.5 ผลการทดลองการปลดแรงของโครงข้อแข็งที่ไม่มีกำแพงอิฐมวลเบาเต็มช่อง

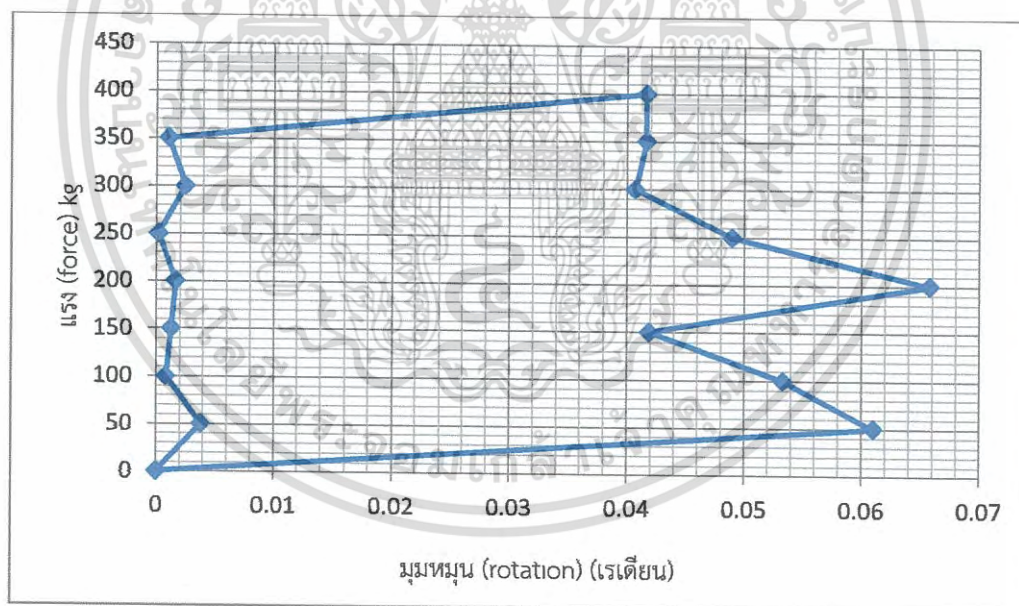
แรง (Force) (kg)	การเคลื่อนที่ทางข้าง (Lateral Displacement) (mm)	มุมหมุน (Rotation) (เรเดียน)
400	48.10	0.04164983
350	48.10	0.04164983
300	48.10	0.04070707
250	46.10	0.04895623
200	43.10	0.06579125
150	38.10	0.04188552
100	34.10	0.05333333
50	30.10	0.06101010
0	22.10	0.00000000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 กราฟแสดงแรง (Force) - การเคลื่อนที่ทางข้าง (Lateral Displacement)

ของโครงข้อแข็งที่ไม่มีกำแพงอิฐมวลเบาเต็มช่อง (ใส่แรง-ปลดแรง)



รูปที่ 3.10 กราฟแสดงแรง (Force) - มุมหมุน (Rotation) ของโครงข้อแข็งที่ไม่มีกำแพงอิฐมวลเบาเต็มช่อง (ใส่แรง-ปลดแรง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.6.1.2 วิเคราะห์โครงข้อแข็งที่ไม่มีกำแพงอิฐมวลเบาเต็มช่อง

จากกราฟที่แสดงแรงกระทำทางด้านข้างกับการเคลื่อนที่ทาง เมื่อมีแรงกระทำโครงข้อแข็งที่ไม่มีมีการก่ออิฐ โดยการใส่แรงผ่าน Hydraulic Jack สามารถใส่แรงได้สูงสุด 400 kg จะสังเกตได้ว่าเมื่อมีแรงกระทำในช่วง 0 – 150 kg กราฟจะมีลักษณะเป็นเส้นตรง มีค่าการเคลื่อนที่ทางข้าง อยู่ในช่วง 0 – 10.94 mm หลังจากมีแรงกระทำมากกว่า 150 – 400 kg ลักษณะกราฟจะเริ่มเป็นเส้นโค้ง โดยมีค่าการเคลื่อนที่ทางข้าง อยู่ในช่วง 10.94 – 48.1 mm โดยที่แรงสูงสุด 400 kg สามารถวัดค่าการเคลื่อนที่ทางข้าง สูงสุดได้ 48.1 mm แต่จากการปลดแรงจนถึง 0 kg จะมีค่าการเคลื่อนที่ทางข้าง คงค้างอยู่ภายใน 22.1 mm ซึ่งแสดงว่าการทดสอบนี้เมื่อแรงถึงจุดวิบัติไปแล้วค่าการเคลื่อนที่จะไม่คืนตัวกลับไปค่า 0 mm เนื่องจากเลยช่วง elastic ซึ่งถูกต้องและเป็นไปตามหลักกลศาสตร์ของวัสดุ

3.2.6.1.3 ผลการทดลองโครงข้อแข็งที่มีกำแพงอิฐมวลเบาเต็มช่องตัวอย่างที่ 1

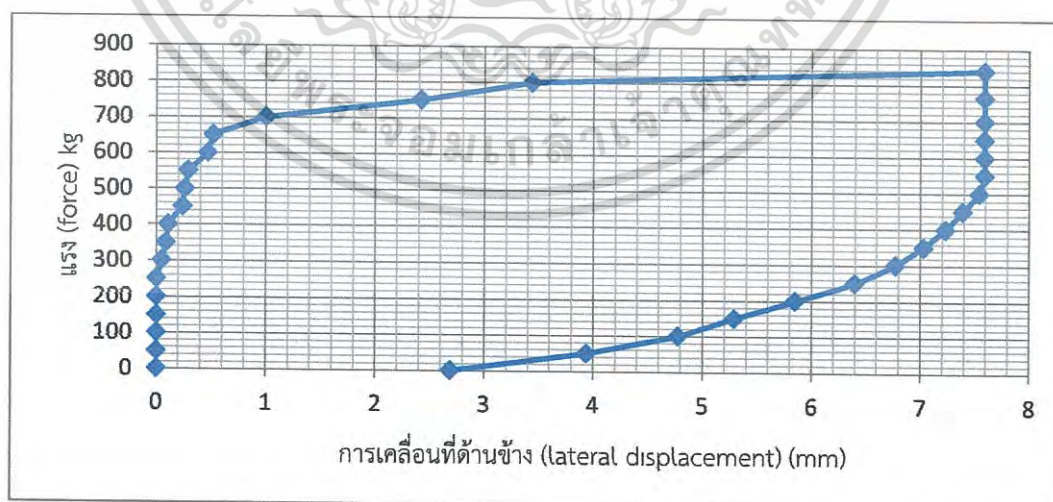
ตารางที่ 3.6 ผลการทดลองการใส่แรงครั้งที่ 1 ของโครงข้อแข็งที่มีกำแพงอิฐมวลเบาเต็มช่อง ตัวอย่างที่ 1

แรง (Force) (kg)	การเคลื่อนที่ทางข้าง (Lateral Displacement) (mm)	มุมหมุน (Rotation) (เรเดียน)
0	0.00	0.00000000
50	0.00	0.00003546
100	0.00	0.00014184
150	0.00	0.00021277
200	0.00	0.00028369
250	0.00	0.00035461
300	0.05	0.00035461
350	0.09	0.00031915
400	0.11	0.00035461
450	0.24	0.00035461
500	0.26	0.00056738
550	0.29	0.00063830
600	0.47	0.00078014
650	0.52	0.00095745
700	1.00	0.00085106
750	2.42	0.00482270
800	3.44	0.00177305
840	7.59	0.00595745

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

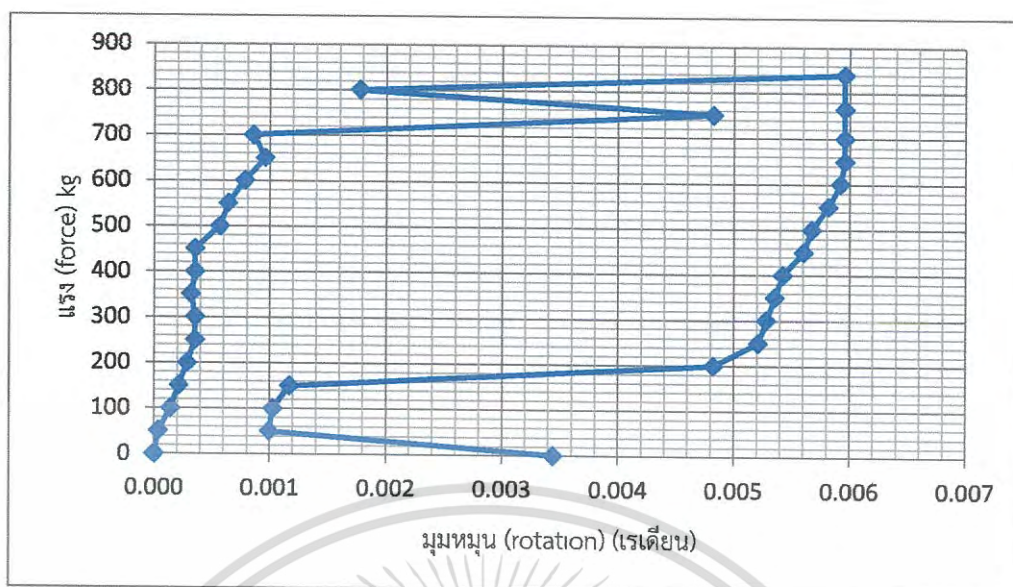
ตารางที่ 3.7 ผลการทดลองการปลดแรงครั้งที่ 1 ของโครงข้อแข็งที่มีกำแพงอิฐมวลเบาเต็มช่อง ตัวอย่างที่ 1

แรง (Force) (kg)	การเคลื่อนที่ทางข้าง (Lateral Displacement) (mm)	มุมหมุน (Rotation) (เรเดียน)
840	7.59	0.00595700
765	7.59	0.00595745
700	7.59	0.00595745
650	7.59	0.00595745
600	7.59	0.00592199
550	7.59	0.00581560
500	7.54	0.00567376
450	7.39	0.00560284
400	7.23	0.00542553
350	7.03	0.00535461
300	6.77	0.00528369
250	6.40	0.00521277
200	5.85	0.00482270
150	5.29	0.00117021
100	4.78	0.00102837
50	3.94	0.00099291
0	2.69	0.00343972



รูปที่ 3.11 กราฟแสดงแรง (Force)-การเคลื่อนที่ทางข้าง(Lateral Displacement)

ของโครงข้อแข็งที่มีกำแพงอิฐมวลเบาเต็มช่องตัวอย่างที่ 1
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 กราฟแสดงแรง (Force) - มุมหมุน (Rotation) ของโครงข้อแข็งที่มีกำแพงอิฐมวลเบาเต็มช่องตัวอย่างที่ 1



รูปที่ 3.13 แสดงการแตกร้าวของกำแพงอิฐมวลเบาเต็มช่อง

3.2.6.1.4 วิเคราะห์โครงข้อแข็งที่มีกำแพงอิฐมวลเบาเต็มช่องตัวอย่างที่ 1

จากกราฟและข้อมูลที่แสดงการเพิ่มแรงกระทำทางด้านข้างครั้งที่ 1 กับการเคลื่อนที่ทางข้าง (Lateral Displacement) ของการทดสอบจริงกับโครงข้อแข็งที่มีการก่อกำแพงอิฐ โดยการใส่แรงผ่าน Hydraulic Jack สามารถใส่แรงได้ถึง 840 kg โดยสามารถแบ่งได้เป็น 3 ช่วง ช่วงแรกที่ระยะแรง 0 kg ถึง 250 kg ไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าการเคลื่อนที่ทางด้านข้าง (Lateral Displacement) ช่วงที่สองที่ระยะแรง 250 kg ถึง 700 kg จะเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงค่าการเคลื่อนที่ทางข้าง (Lateral Displacement) ที่เล็กน้อย โดยการเคลื่อนที่ทางข้าง (Lateral Displacement) ที่เกิดขึ้นอยู่ในช่วงเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.05 - 0.29 mm โดยมีลักษณะช่วงกราฟเป็นกราฟเส้นตรง ช่วงที่สามที่ระยะแรง 700 kg ถึง 840 kg ในช่วงนี้จะมีลักษณะเป็นเส้นโค้ง โดยมีค่าการเปลี่ยนแปลงการเคลื่อนที่อยู่ในช่วง 1-7.59 mm โดยที่แรงสูงสุด 840 kg สามารถวัดค่าการเคลื่อนที่ทางข้าง (Lateral Displacement) สูงสุดได้ 7.59 mm

1.2.6.1.5 โครงข้อแข็งที่มีกำแพงอิฐมวลเบาเติมช่องตัวอย่างที่ 2

ตารางที่ 3.8 ผลการทดลองการใส่แรงครั้งที่ 1 ของโครงข้อแข็งที่มีกำแพงอิฐมวลเบาเติมช่องตัวอย่างที่ 2

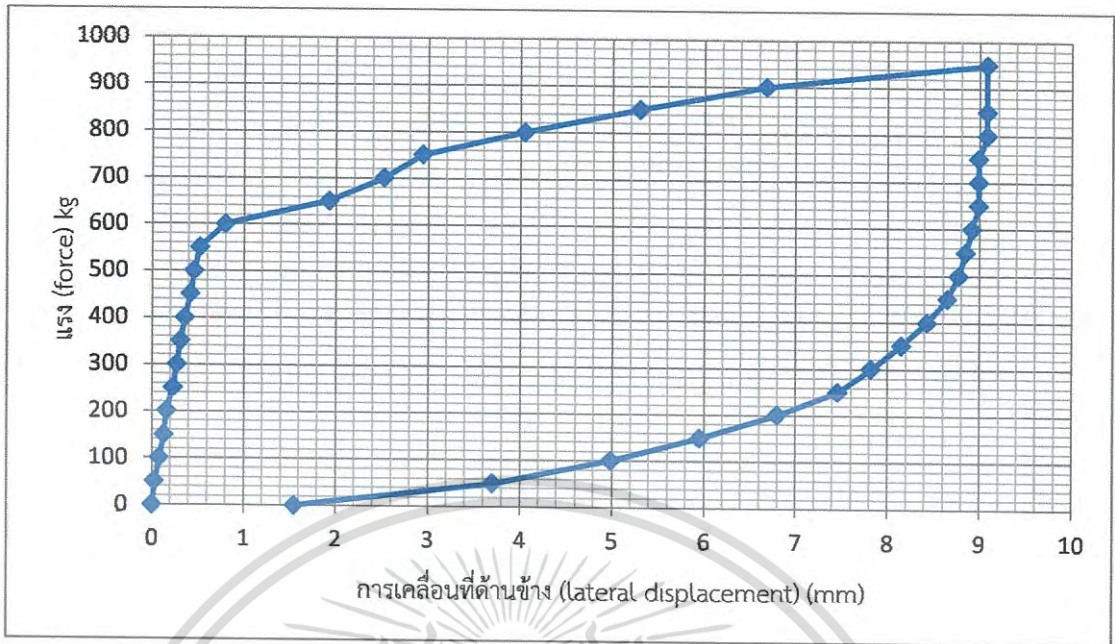
แรง (Force) (kg)	การเคลื่อนที่ทางข้าง (Lateral Displacement) (mm)	มุมหมุน (Rotation) (เรเดียน)
0	0.00	0.00000000
50	0.03	0.00010239
100	0.08	0.00017065
150	0.13	0.00010239
200	0.16	0.00013652
250	0.23	0.00010239
300	0.27	0.00010239
350	0.31	0.00017065
400	0.36	0.00006826
450	0.42	0.00013652
500	0.46	0.00017065
550	0.52	0.00020478
600	0.80	0.00027304
650	1.93	0.00051195
700	2.52	0.00034130
750	2.94	0.00054608
800	4.05	0.00044369
850	5.30	0.00078498
900	6.68	0.00368601
950	9.08	0.00034130

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.9 ผลการทดลองการปลดแรงครั้งที่ 1 ของโครงข้อแข็งที่มีกำแพงอิฐมวลเบาเติมช่อง
ตัวอย่างที่ 2

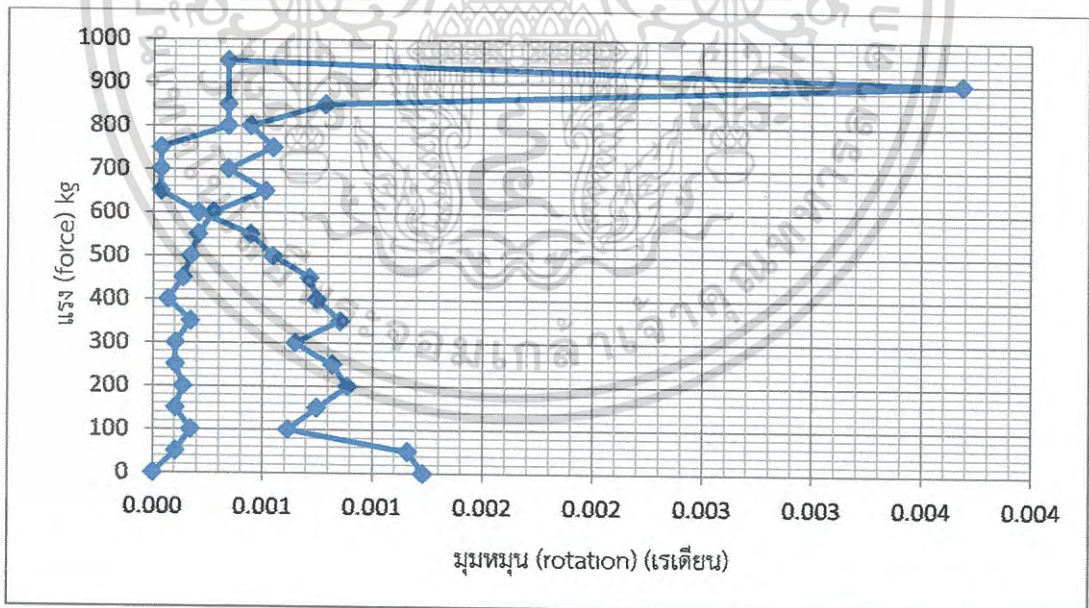
แรง (Force) (kg)	การเคลื่อนที่ทางข้าง (Lateral Displacement) (mm)	มุมหมุน (Rotation) (เรเดียน)
950	9.08	0.00034130
850	9.08	0.00034130
800	9.08	0.00034130
750	8.99	0.00003413
700	8.99	0.00003413
650	8.99	0.00003413
600	8.92	0.00020478
550	8.85	0.00044369
500	8.77	0.00054608
450	8.65	0.00071672
400	8.43	0.00075085
350	8.15	0.00085324
300	7.82	0.00064846
250	7.46	0.00081911
200	6.80	0.00088737
150	5.95	0.00075085
100	4.99	0.00061433
50	3.70	0.00116041
0	1.55	0.00122867

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 กราฟแสดงแรง (Force) - การเคลื่อนที่ทางข้าง (Lateral Displacement)

ของโครงข้อแข็งที่มีกำแพงอิฐมวลเบาเต็มช่องตัวอย่างที่ 2



รูปที่ 3.15 กราฟแสดงแรง (Force) - มุมหมุน (Rotation)

ของโครงข้อแข็งที่มีกำแพงอิฐมวลเบาเต็มช่องตัวอย่างที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.16 แสดงการแตกร้าวของกำแพงอิฐมวลเบาเติมช่องตัวอย่างที่ 2

3.2.6.1.6 วิเคราะห์โครงข้อแข็งที่มีกำแพงอิฐมวลเบาเติมช่องตัวอย่างที่ 2

จากกราฟและข้อมูลที่แสดงการเพิ่มแรงกระทำทางด้านข้างครั้งที่ 1 กับการเคลื่อนที่ทางข้าง (Lateral Displacement) ของการทดสอบจริงกับโครงข้อแข็งที่มีการก่อกำแพงอิฐ โดยการใส่แรงผ่าน Hydraulic Jack สามารถใส่แรงได้ถึง 950 kg โดยสามารถแบ่งได้เป็น 2 ช่วง ช่วงแรกที่ระยะแรง 0 kg ถึง 550 kg มีการเปลี่ยนแปลงค่าการเคลื่อนที่ทางข้าง (Lateral Displacement) เป็นลักษณะกราฟเส้นตรง โดยสามารถอ่านค่าการเคลื่อนที่ทางข้าง (Lateral Displacement) อยู่ในช่วง 0 – 0.52 mm ช่วงที่สองที่ระยะแรง 550 kg ถึง 950 kg มีลักษณะเป็นกราฟเส้นโค้ง การเคลื่อนที่ทางข้าง (Lateral Displacement) จะเปลี่ยนแปลงมากในช่วงนี้เนื่องจากกำแพงอิฐมวลเบาเติมช่องเริ่มจะมีการแตกร้าวและเริ่มเสียการรับแรง โดยมีค่าการเปลี่ยนแปลงการเคลื่อนที่ทางข้าง (Lateral Displacement) อยู่ในช่วง 0.52 - 9.08 โดยที่แรงสูงสุด 950 kg สามารถวัดค่าการเคลื่อนที่ทางข้าง (Lateral Displacement) สูงสุดได้ 9.08 mm

3.2.6.1.7 การวิเคราะห์ผลการทดลอง การทดสอบจริงของโครงข้อแข็งที่ไม่มีกำแพงอิฐมวลเบาเติมช่อง และมีการก่ออิฐมวลเบาเติมช่อง

จากการทดลองการทดสอบจริงของโครงข้อแข็งที่มีการก่อกำแพงอิฐ เมื่อทำการใส่แรงเข้าไปในโครงข้อแข็งที่มีการก่ออิฐ โดยการใส่แรงผ่าน Hydraulic Jack จะได้ค่าการเคลื่อนที่ทางข้าง (Lateral Displacement) และ มุมหมุนที่เปลี่ยนแปลงไป มีค่าน้อยกว่า ค่าการเคลื่อนที่ทางข้าง (Lateral Displacement) และ มุมหมุนที่เปลี่ยนแปลงไปของโครงข้อแข็งที่ไม่มีกำแพงอิฐ เนื่องจากโครงข้อแข็งที่มีกำแพงอิฐนั้น จะมีกำแพงเติมช่องช่วยในการรับแรงกระทำทางข้าง และเป็นการเพิ่มความแข็งแรง หรือ กล่าวได้ว่าเป็นการเพิ่มค่าสติเฟเนสให้กับระบบของโครงสร้าง ด้วยเหตุนี้จึงเป็นการลดค่าการเคลื่อนที่ทางข้าง (Lateral Displacement) และ มุมหมุนที่เปลี่ยนแปลงไป และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เห็นได้อย่างชัดเจนว่าที่แรงกระทำหลังจากเกิดการแตกร้าวของกำแพงอิฐมวลเบาเต็มช่องทำให้มีการเปลี่ยนแปลงเคลื่อนตัวที่มากขึ้นอย่างเห็นได้ชัด

จากการทดสอบจริงพบว่า แรงปฏิกิริยาของโครงข้อแข็งกรณีมีกำแพงอิฐมวลเบาเต็มช่องจะมีค่ามากกว่าประมาณ 1-2 เท่าของโครงข้อแข็งกรณีไม่มีกำแพงอิฐมวลเบาเต็มช่อง และ การเคลื่อนตัวของโครงข้อแข็งกรณีมีกำแพงอิฐมวลเบาเต็มช่องเต็มช่องจะมีการเคลื่อนตัวน้อยกว่าโครงข้อแข็งกรณีไม่มีกำแพงอิฐมวลเบาเต็มช่องอยู่ประมาณ 4-7 เท่า โครงข้อแข็งกรณีไม่มีกำแพงอิฐมวลเบาเต็มช่องจะเกิดการเสียหายแบบค่อยเป็นค่อยไป (Ductility) โครงข้อแข็งกรณีมีกำแพงอิฐมวลเบาเต็มช่องนั้นจะเกิดการเสียหายแบบทันทีทันใด (Brittleness)

3.3 วิธีสตีเฟนสมเมตริกซ์สำหรับโครงข้อหมุนและโครงข้อแข็ง

3.3.1 วิธีสตีเฟนสมเมตริกซ์สำหรับโครงข้อหมุน

การวิเคราะห์โครงสร้างแบบข้อหมุนนั้น เราจะต้องวิเคราะห์ค่าแรงภายในซึ่งเป็นแรงในแนวแกนของชิ้นส่วนซึ่งมีเฉพาแรงอัดแรงดึงในชิ้นส่วนแรงภายนอกที่กระทำต่อกระทำที่จุดต่อเท่านั้น ชิ้นส่วนของโครงสร้างข้อหมุนทำมุมกับแกนมาตรฐานหรือระบบแกนโครงสร้าง(Globol co-ordinate) ซึ่งมีเมตริกซ์ความแข็งของชิ้นส่วนในระบบแกนโครงสร้างหรือเรียกว่าสตีเฟนสมของโครงข้อหมุนคือ

$$\bar{U} = K\bar{u}$$

\bar{U} คือเวกเตอร์ของแรงภายนอกในระบบแกนโครงสร้าง(Globol co-ordinate)

K คือเมตริกซ์ความแข็งของโครงข้อหมุน (สตีเฟนสมเมตริกซ์สำหรับโครงข้อหมุน)

\bar{u} คือเวกเตอร์การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งอิสระของโครงข้อหมุน

$$\begin{bmatrix} \bar{U}_1 \\ \bar{V}_1 \\ \bar{U}_2 \\ \bar{V}_2 \end{bmatrix} = \frac{EA}{L} \begin{bmatrix} c^2 & cs & -c^2 & -cs \\ cs & s^2 & -cs & -s^2 \\ -c^2 & -cs & c^2 & cs \\ -cs & -s^2 & cs & s^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{u}_1 \\ \bar{v}_1 \\ \bar{u}_2 \\ \bar{v}_2 \end{bmatrix}$$

1,2 คือตำแหน่งจุดเริ่มต้นและจุดปลาย

\bar{U}, \bar{V} คือเวกเตอร์ของแรงภายนอกปลายชิ้นส่วน ในแกน X,Y

\bar{u}, \bar{v} เวกเตอร์การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งปลายชิ้นส่วน ในแกน X,Y

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

α มุมที่กระทำกับแกน X (Global co-ordinate)

C คือ $\cos \alpha$

S คือ $\sin \alpha$

3.3.2 วิธีสตีเฟนเมตริกซ์สำหรับโครงข้อแข็ง

เป็นการวิเคราะห์โครงข้อแข็งที่มีชิ้นส่วนมาต่อกันเป็นมุมฉาก และไม่คิดผลของการเคลื่อนที่ในแนวแกน คือเฉพาะผลของการเคลื่อนที่แนวตั้งฉากชิ้นส่วนและมุมหมุนเท่านั้นซึ่งมีเมตริกซ์ความแข็งของชิ้นส่วนในระบอบแกนโครงสร้างหรือเรียกว่าสตีเฟนเมตริกซ์ของโครงข้อแข็งคือ

$$S = Ks + S^F$$

S แรงภายในที่ปลายของชิ้นส่วน

K ความแข็งของชิ้นส่วน (สตีเฟนเมตริกซ์ของโครงข้อแข็ง)

s การเปลี่ยนตำแหน่งที่ปลายชิ้นส่วน

S^F แรงที่ปลายชิ้นส่วนแบบยึดแน่น

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ M_1 \\ V_2 \\ M_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{12EI}{l^3} & \frac{6EI}{l^2} & -\frac{12EI}{l^3} & \frac{6EI}{l^2} \\ \frac{6EI}{l^2} & 4EI & -\frac{6EI}{l^2} & 2EI \\ -\frac{12EI}{l^3} & -\frac{6EI}{l^2} & \frac{12EI}{l^3} & -\frac{6EI}{l^2} \\ \frac{6EI}{l^2} & 2EI & -\frac{6EI}{l^2} & 4EI \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_1 \\ \theta_1 \\ v_2 \\ \theta_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} V_1^F \\ M_1^F \\ V_2^F \\ M_2^F \end{bmatrix}$$

1,2 คือตำแหน่งจุดเริ่มต้นและจุดปลาย

V, M คือเวกเตอร์ของแรงเฉือนและโมเมนต์ตัดปลายชิ้นส่วน

v, θ การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งและมุมหมุนที่ปลายชิ้นส่วน ในแกน X, Y

E โมดูลัสอีลาสติคของชิ้นส่วน

I โมเมนต์อินเนอร์เซียของชิ้นส่วน

l ความยาวของชิ้นส่วนโครงข้อแข็ง

V^F, M^F แรงเฉือนและโมเมนต์ตัดที่ปลายชิ้นส่วนแบบยึดแน่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 โปรแกรมที่ใช้ในการทดลอง

โปรแกรมคอมพิวเตอร์ซึ่งเป็นโปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้างที่มีพื้นฐานของไฟไนต์เอลิเมนต์ซึ่งมีคุณสมบัติในการออกแบบโครงสร้างและวิเคราะห์ระบบอาคาร มีระบบการใช้งานที่เรียบง่ายใช้สะดวก มีการใช้วิธีคำนวณเชิงตัวเลขที่มีประสิทธิภาพ และมาตรฐานการออกแบบที่หลากหลาย ทำให้เราใช้งานได้ไม่ว่าจะเป็นโครงข้อมุมสองมิติง่ายๆหรือการวิเคราะห์แบบพลศาสตร์ของอาคารสูงที่ซับซ้อน

3.5 มาตรฐานการออกแบบโครงสร้าง

3.5.1 มาตรฐานสำหรับแรงลม ตามมาตรฐาน มยผ.1311-50 โดยกรมโยธาและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย พ.ศ.2550

การคำนวณแรงลมด้วยสถิติเทียบเท่าโดยวิธีการอย่างง่าย

หน่วยแรงลมที่กระทำบนพื้นผิวภายนอกของอาคารในทิศทางลม สามารถคำนวณได้จาก

$$P = I_w q C_e C_g C_p$$

โดยที่ P = หน่วยแรงลมสถิติเทียบเท่า (equivalent static wind pressure) กระทำตั้งฉากกับพื้นผิวภายนอกอาคาร โดยเรียกว่า “หน่วยแรงดัน” ถ้ามีทิศเข้าหาพื้นผิว หรือ “หน่วยแรงดูด” ถ้ามีทิศพุ่งออกจากพื้นผิว

I_w = ค่าประกอบความสำคัญของแรงลม

q = หน่วยแรงลมอ้างอิงเนื่องจากความเร็วลม (reference velocity pressure) หน่วยเป็น กิโลกรัม (แรง) ต่อตารางเมตร)

C_e = ค่าประกอบเนื่องจากสภาพภูมิประเทศ (exposure factor)

C_g = ค่าประกอบเนื่องจากผลการกระชอกของลม (gust effect factor)

C_p = ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมที่กระทำภายนอกอาคาร (external pressure coefficient)

3.5.1.1 ค่าประกอบเนื่องจากสภาพภูมิประเทศ C_e

ค่าประกอบเนื่องจากสภาพภูมิประเทศ เป็นค่าประกอบที่นำมาปรับค่าหน่วยแรงลมให้แปรเปลี่ยนตามความสูงจากพื้นดินและสภาพภูมิประเทศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.10 ค่าประกอบเนื่องจากสภาพภูมิประเทศ C_e สำหรับวิธีการอย่างง่าย

ความสูงจากพื้นดิน	สภาพภูมิประเทศแบบ	
	A	B
สูงไม่เกิน 6 เมตร	0.90	0.70
สูงเกิน 6 เมตร แต่ไม่เกิน 10 เมตร	1.00	0.70
สูงเกิน 10 เมตร แต่ไม่เกิน 20 เมตร	1.15	0.82
สูงเกิน 20 เมตร แต่ไม่เกิน 30 เมตร	1.25	0.92
สูงเกิน 30 เมตร แต่ไม่เกิน 40 เมตร	1.32	1.00
สูงเกิน 40 เมตร แต่ไม่เกิน 60 เมตร	1.43	1.13
สูงเกิน 60 เมตร แต่ไม่เกิน 80 เมตร	1.52	1.24

3.5.1.2 ค่าประกอบเนื่องจากการกระโชกของลม C_g

ค่าประกอบเนื่องจากการกระโชกของลม คือ อัตราส่วนระหว่างผลของแรงลมสูงสุดต่อผลของแรงลมเฉลี่ย ค่าประกอบ C_g สำหรับวิธีการอย่างง่าย คำนวณได้ดังนี้ ค่าประกอบเนื่องจากการกระโชกของลม ที่กระทำกับพื้นผิวภายนอกอาคาร

ก. สำหรับหน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่าที่กระทำกับพื้นผิวภายนอกอาคาร ให้ใช้ค่า C_g เท่ากับ 2.0 ในการออกแบบโครงสร้างหลักต้านทานแรงลม ยกเว้น บ้ายและกำแพงให้ใช้ค่า C_g เท่ากับ 2.35

ข. สำหรับหน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่าที่กระทำกับพื้นผิวภายนอกอาคาร ให้ใช้ค่า C_g เท่ากับ 2.5 ในการออกแบบโครงสร้างรองและผนังภายนอกอาคาร (cladding) ที่มีขนาดเล็ก

3.5.1.3 ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมที่กระทำภายนอกอาคาร C_p (external pressure coefficient) ในอาคารที่ต่ำกว่า 23 เมตร และด้านกว้าง/ด้านแคบน้อยกว่า 1 ในกรณีที่ไม่ได้มีข้อมูลจากแหล่งอื่นที่ดีกว่าให้ใช้ค่าสัมประสิทธิ์แรงลมภายนอกสำหรับอาคารสูงใช้ C_p ด้านต้นลม 0.8 และด้านท้ายลม -0.5

1.5.2 หน่วยแรงลมอ้างอิงเนื่องจากความเร็วลม (reference velocity pressure)

สำหรับจังหวัดลำปางจัดอยู่ในกลุ่มที่ 2 มีแรงลมที่คาบเวลาเกิด 50 ปี ที่ 27 เมตรต่อวินาที หรือเท่ากับ $q = \frac{1}{2} \rho V^2$ คำนวณได้ว่าแรงลมอ้างอิงเท่ากับ $q = \frac{1}{2} \frac{1.25}{9.81} 27^2 = 46 \text{ kg/m}^2$ หรือเท่ากับ 0.455 KPA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.11 การจำแนกประเภทของอาคาร ตามความสำคัญต่อสาธารณสุข (I_w)

ประเภทของอาคาร	ประเภทความสำคัญ	ค่าความสำคัญของอาคารในสภาวะจำกัดด้านกำลัง I_w
อาคารและส่วนโครงสร้างอื่นที่มีปัจจัยเสี่ยงอันตรายต่อชีวิตมนุษย์ค่อนข้างน้อยเมื่อเกิดการพังทลายของอาคารหรือส่วนโครงสร้างนั้นๆ เช่น <ul style="list-style-type: none"> - อาคารที่เกี่ยวข้องกับการเกษตร - อาคารชั่วคราว - อาคารเก็บของเล็กๆ ซึ่งไม่มีความสำคัญ 	น้อย	0.8
อาคารและส่วนโครงสร้างอื่นที่ไม่จัดอยู่ในอาคารประเภท ความสำคัญน้อย มาก และสูงมาก	ปกติ	1
อาคารและส่วนโครงสร้างอื่นที่หากเกิดการพังทลาย จะเป็นอันตรายต่อชีวิตมนุษย์และสาธารณสุขอย่างมาก เช่น <ul style="list-style-type: none"> - อาคารที่เป็นที่ชุมนุมในพื้นที่หนึ่งๆ มากกว่า 300 คน - โรงเรียนประถมหรือมัธยมศึกษาที่มีความจุมากกว่า 250 คน - มหาวิทยาลัยหรือวิทยาลัย ที่มีความจุมากกว่า 500 คน - สถานรักษาพยาบาลที่มีความจุคนไข้มากกว่า 50 คน แต่ไม่สามารถทำการรักษากรณีฉุกเฉินได้ - เรือนจำและสถานกักกันนักโทษ 		1.15
อาคารและส่วนโครงสร้างที่มีความจำเป็นต่อความเป็นอยู่ของสาธารณสุขเป็นอย่างมาก หรืออาคารที่จำเป็นต่อการบรรเทาภัยหลังเกิดเหตุเป็นอย่างมาก เช่น <ul style="list-style-type: none"> - โรงพยาบาลที่สามารถทำการรักษากรณีฉุกเฉินได้ - สถานีตำรวจ สถานีดับเพลิง และโรงเก็บรถฉุกเฉินต่างๆ - โรงไฟฟ้า - โรงผลิตน้ำประปา ถังเก็บน้ำ และสถานีสูบน้ำที่มีความดันสูงสำหรับการดับเพลิง - อาคารศูนย์สื่อสาร - อาคารศูนย์บรรเทาสาธารณภัย - ท่าอากาศยาน ศูนย์บังคับการบิน และโรงเก็บเครื่องบิน ที่ต้องใช้เมื่อเกิดกรณีฉุกเฉิน - อาคารศูนย์บัญชาการแห่งชาติ อาคารหรือส่วนโครงสร้างในส่วนของการผลิต การจัดการ การจัดเก็บ หรือการใช้สารพิษ เช่น เชื้อเพลิง หรือสารเคมี อันก่อให้เกิดการระเบิดขึ้นได้ 	สูงมาก	1.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.3 มาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว มยผ.1302

3.5.3.1 ค่าพื้นฐานสำหรับใช้ในการออกแบบแผ่นดินไหว

ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมของแผ่นดินไหวรุนแรงสูงสุดที่พิจารณา(Maximum Considered Earthquake) ที่คาบการสั่น 0.2 วินาที (S_s) และ คาบการสั่น 1 วินาที (S_1) ค่าความเร่งตอบสนองที่ได้มาจากการวิเคราะห์ความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหว โดยสมมติให้สภาพชั้นดินในทุกๆพื้นที่เป็นแบบดินแข็งหรือหิน ที่มีความเร็วคลื่นเฉือน v_s โดยเฉลี่ยในช่วงจากผิวดินถึงความลึก 30 เมตร เท่ากับ 760 เมตรต่อวินาที

ตารางที่ 3.12 ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบ ด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่าสำหรับพื้นที่ต่างๆ ของจังหวัดลำปาง

ลำปาง อำเภอ	$S_a(0.1\text{ s})$	$S_a(0.2\text{ s})$
เมืองลำปาง	0.738	0.177
เกาะคา	0.740	0.184
งาว	0.637	0.142
แจ้ห่ม	0.702	0.160

3.5.3.1.1 ประเภทของชั้นดิน ณ ที่ตั้งอาคาร

สภาพของชั้นดิน ณ บริเวณที่ตั้งของอาคาร สามารถเปลี่ยนแปลงระดับความรุนแรงของการสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหวได้ ณ บริเวณที่ตั้งของอาคารนั้นๆประเภทของชั้นดินสามารถแบ่งออกได้เป็น 6 ประเภท คือ A (หินแข็ง) B (หิน) C (ดินแข็ง) D (ดินปกติ) E (ดินอ่อน) หรือ F (ดินที่มีลักษณะพิเศษ) ในกรณีที่ไม่มีข้อมูลดิน และไม่สามารถทำการสำรวจดินได้ ให้สมมุติว่าประเภทของชั้นดินเป็นแบบประเภท D

3.5.3.1.2 ตัวประกอบความสำคัญและประเภทของอาคาร

อาคารได้ถูกจำแนกตามลักษณะการใช้งานและความสำคัญของอาคารที่มีต่อสาธารณชนและการบรรเทาภัยหลังเกิดเหตุออกเป็น 4 ประเภท (Occupancy Category) คือ ประเภท I, II, III, และ IV โดยอาคารแต่ละประเภทมีค่าตัวประกอบความสำคัญ (Importance Factor) เพื่อใช้ในการออกแบบอาคารต้านทานแผ่นดินไหวแตกต่างกัน ตามตาราง 3.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.3.1.3 ข้อกำหนดในการสร้างแบบจำลองโครงสร้าง

แบบจำลองฐานรากในการวิเคราะห์โครงสร้างเพื่อการออกแบบต้านทานแผ่นดินไหว แบบจำลองฐานรากสามารถกำหนดให้เป็นแบบฐานยึดแน่น (Fixed Base)

3.5.3.1.4 การเลือกระบบโครงสร้างและจำแนกระบบโครงสร้างและข้อจำกัด

ระบบต้านแรงด้านข้างและระบบรับน้ำหนักบรรทุกแนวตั้งของโครงสร้างอาคารอาจเป็นระบบใดระบบหนึ่งที่กำหนดไว้ในตารางที่ 3.17 ระบบโครงสร้างที่สามารถเลือกใช้ได้จะขึ้นกับประเภทการออกแบบต้านทานแผ่นดินไหว ตามที่ระบุไว้ในตารางที่ 3.14

ค่าตัวประกอบปรับผลตอบสนอง (Response Modification Factor, R) ตัวประกอบกำลังส่วนเกิน (System Overstrength Factor, Ω_0) และตัวประกอบขยายค่าการโก่งตัว (Deflection Amplification Factor, C_d) ของระบบโครงสร้างแต่ละแบบ ให้เป็นไปตามที่กำหนดในตารางที่ 3.14 ตารางที่ 3.13 การจำแนกระบบโครงสร้างและข้อจำกัดและค่าตัวประกอบ

ระบบโครงสร้าง โดยรวม	ระบบต้านแรงด้านข้าง	ค่าตัวประกอบ			ประเภทการออกแบบต้านทาน		
		R	Ω_0	C_d	ข	ค	ง
1. ระบบกำแพงรับน้ำหนักบรรทุกแนวตั้ง (Bearing Wall System)	กำแพงรับแรงเฉือนแบบธรรมดา (Ordinary Reinforced Concrete Shear Wall)	4	2.5	4	✓	✓	×
	กำแพงรับแรงเฉือนแบบที่มีการให้รายละเอียดพิเศษ (Special Reinforced Concrete Shear Wall)	5	2.5	5	✓	✓	✓
	กำแพงรับแรงเฉือนหล่อสำเร็จแบบธรรมดา (Ordinary Precast Shear Wall)	3	2.5	3	✓	×	×
	กำแพงรับแรงเฉือนหล่อสำเร็จแบบที่มีการให้รายละเอียดความเหนียวปานกลาง (Intermediate Precast Shear Wall)	4	2.5	4	✓	✓	×
2. ระบบโครงอาคาร (Building Frame System)	โครงแกนเหล็กแบบเยื้องศูนย์กลางที่ใช้จุดต่อแบบรับแรงคัตได้ (Steel Eccentrically Braced Frame with Moment-Resisting Connections)	8	2	4	✓	✓	✓

× = ห้ามใช้ ✓ = ใช้ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.13 ต่อ การจำแนกระบบโครงสร้างและข้อจำกัดและค่าตัวประกอบ

ระบบโครงสร้าง โดยรวม	ระบบต้านแรงด้านข้าง	ค่าตัวประกอบ			ประเภทการ ออกแบบ		
		R	Ω_0	C_d	ข	ค	ง
2. ระบบโครงอาคาร (Building Frame System)	โครงแกนเหล็กแบบเอียงศูนย์ที่ใช้จุดต่อ แบบรับแรงเฉือน (Steel Eccentrically Braced Frame with Non-Moment- Resisting Connections)	7	2	4	√	√	√
	โครงแกนเหล็กแบบตรงศูนย์แบบให้ รายละเอียดพิเศษ(Special Steel Concentric Braced Frame)	6	2	5	√	√	√
	โครงแกนเหล็กแบบตรงศูนย์แบบธรรมดา (Ordinary Steel Concentric Braced Frame)	3.5	2	3.5	√	√	×
	กำแพงรับแรงเฉือนแบบที่มีการให้รายละเอียด พิเศษ (Special Reinforced Concrete Shear Wall)	6	2.5	5	√	√	√
	กำแพงรับแรงเฉือนแบบธรรมดา (Ordinary Reinforced Concrete Shear Wall)	5	2.5	4.5	√	√	×
	กำแพงรับแรงเฉือนหล่อสำเร็จแบบธรรมดา (Ordinary Precast Shear Wall)	4	2.5	4	√	×	×
	กำแพงรับแรงเฉือนหล่อสำเร็จแบบที่มีการให้ รายละเอียดความเหนียวปานกลาง (Intermediate Precast Shear Wall)	5	2.5	4.5	√	√	×
3. ระบบโครงต้าน แรงดัด (Moment Resisting Frame)	โครงต้านแรงดัดเหล็กที่มีความเหนียว (Ductile /Special Steel Moment- Resisting Frame)	8	3	5.5	√	√	√
	โครงถักต้านแรงดัดที่มีการให้รายละเอียด ความเหนียว เป็นพิเศษ (Special Truss Moment Frame)	7	3	5.5	√	√	√
	โครงต้านแรงดัดเหล็กที่มีความเหนียวปาน กลาง (Intermediate Steel Moment Resisting Frame)	4.5	3	4	√	√	×
	โครงต้านแรงดัดเหล็กธรรมดา(Ordinary Steel Moment Resisting Frame)	3.5	3	3	√	√	×

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.13 ต่อ การจำแนกระบบโครงสร้างและข้อจำกัดและค่าตัวประกอบ

ระบบโครงสร้าง โดยรวม	ระบบต้านแรงด้านข้าง	ค่าตัวประกอบ			ประเภทการ ออกแบบ		
		R	Ω_0	C_d	ข	ค	ง
3. ระบบโครงสร้างแรง ดัด (Moment Resisting Frame)	โครงสร้างแรงดัดคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีความเหนียว (Ductile/Special Reinforced Concrete Moment Resisting Frame)	8	3	5.5	√	√	√
	โครงสร้างแรงดัดคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีความเหนียวจำกัด (Ductile RC Moment-Resisting Frame with Limited Ductility/ Intermediate RC Moment-Resisting Frame)	5	3	4.5	√	√	×
	โครงสร้างแรงดัดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบธรรมดา (Ordinary Reinforced Concrete Moment Resisting Frame)	3	3	2.5	√	×	×
4. ระบบโครงสร้างแบบ ผสมที่มีความ เหนียวที่สามารถ ต้านทานแรงด้านข้างไม่ น้อยกว่าร้อยละ 25 ของ แรงที่กระทำกับอาคาร ทั้งหมด (Dual System with Ductile/ Special Moment Resisting Frame)	ร่วมกับโครงแกนเหล็กแบบตรงศูนย์แบบพิเศษ (Special Steel Concentrically Braced Frame)	7	2.5	5.5	√	√	√
	ร่วมกับโครงแกนเหล็กแบบเอียงศูนย์ (Steel Eccentrically Braced Frame)	8	2.5	4	√	√	√
	ร่วมกับกำแพงรับแรงเฉือนแบบที่มีการให้รายละเอียดพิเศษ (Special Reinforced Concrete Shear Wall)	7	2.5	5.5	√	√	√
	ร่วมกับกำแพงรับแรงเฉือนแบบธรรมดา (Ordinary Reinforced Concrete Shear Wall)	6	2.5	5	√	√	×

× = ห้ามใช้ √ = ใช้ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.13 ต่อ การจำแนกระบบโครงสร้างและข้อจำกัดและค่าตัวประกอบ

ระบบโครงสร้าง โดยรวม	ระบบต้านแรงด้านข้าง	ค่าตัวประกอบ			ประเภทการ ออกแบบ		
		R	Ω_0	C_d	ข	ค	ง
5. ระบบโครงสร้าง แบบผสมที่มีโครงต้าน แรงดัดที่มีความเหนียว จำกัดที่สามารถ ต้านทานแรง ด้านข้างไม่น้อยกว่า ร้อยละ 25 ของแรงที่ กระทำกับอาคาร ทั้งหมด(Dual System with Moment Resisting Frame with Limited Ductility/ Dual System with Intermediate Moment Resisting Frame)	ร่วมกับโครงแกนเหล็กแบบตรงศูนย์ แบบพิเศษ (Special Steel Concentrically Braced Frame)	6	2.5	5	√	√	×
	ร่วมกับกำแพงรับแรงเฉือนแบบที่มีการให้ รายละเอียดพิเศษ (Special Reinforced Concrete Shear Wall)	6.5	2.5	5	√	√	√
	ร่วมกับกำแพงรับแรงเฉือนแบบธรรมดา (Ordinary Reinforced Concrete Shear Wall)	5.5	2.5	4.5	√	√	×
6. ระบบปฏิสัมพันธ์ (Shear Wall Frame Interactive System)	ระบบปฏิสัมพันธ์ระหว่างกำแพงรับแรง เฉือนและ โครงต้านแรงดัดแบบธรรมดาที่ ไม่มีการให้รายละเอียดความเหนียว (Shear Wall Frame Interactive System with Ordinary Reinforced Concrete Moment Frame and Ordinary Concrete Shear Wall)	4.5	2.5	4	√	×	×
7. ระบบโครงสร้าง เหล็กที่ไม่มีการให้ รายละเอียดสำหรับรับ แรงแผ่นดินไหว (Steel Systems Not Specifically Detailed for Seismic Resistance)	ระบบโครงสร้างเหล็กที่ไม่มีการให้ รายละเอียด สำหรับรับแรงแผ่นดินไหว	3	3	3	√	√	×

x = ห้ามใช้ √ = ใช้ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบจำลองโครงสร้าง

แบบจำลองโครงสร้างจะต้องถูกสร้างขึ้นเพื่อนำไปใช้วิเคราะห์คำนวณหาแรงภายในองค์อาคารและการเคลื่อนตัวของโครงสร้างที่เกิดจากแรงแผ่นดินไหว ดังนั้นในแบบจำลองนี้จะต้องมีการจำลองค่าสติสเนสและกำลังขององค์อาคารที่มีความสำคัญต่อการต้านทานแรงแผ่นดินไหว รวมถึงจำลองลักษณะการกระจายของมวลทั่วทั้งอาคารอย่างถูกต้อง

การกำหนดค่าสติสเนสขององค์อาคารคอนกรีตและอิฐก่อจะต้องคำนึงถึงผลของการแตกร้าวที่มีต่อค่าสติสเนส โดยในกรณีที่ไม่สามารถทำการวิเคราะห์อย่างละเอียด อนุญาตให้ประมาณค่าสติสเนส จากค่าโมเมนต์ความเฉื่อยประสิทธิภาพ I_{eff} และค่าพื้นที่หน้าตัดประสิทธิภาพ A_{eff} ดังต่อไปนี้

คาน : $I_{eff} = 0.35 I_g$

เสา : $I_{eff} = 0.70 I_g$

$A_{eff} = 1.00 A_g$

กำแพงที่ไม่แตกร้าว: $I_{eff} = 0.70 I_g$

กำแพงที่มีการแตกร้าว: $I_{eff} = 0.35 I_g$

แผ่นพื้นไร้คาน: $I_{eff} = 0.25 I_g$

โดยที่ I_g และ A_g คือ ค่าโมเมนต์ความเฉื่อย และพื้นที่หน้าตัดที่คำนวณจากหน้าตัดเต็ม

3.5.3.1.5 การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นและการโก่งตัวของโครงสร้าง

การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นที่ยอมให้การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นที่เกิดจากแผ่นดินไหวสำหรับออกแบบ (Design Story Drift, Δ) ที่คำนวณได้จากวิธีแรงสถิตเทียบเท่า จะต้องมีความไม่เกินค่าที่ยอมให้ (Allowable Story Drift, $a \Delta$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.14 การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นที่ยอมให้ (Δ_a)

ลักษณะโครงสร้าง	ประเภทความสำคัญของอาคาร		
	I หรือ II	III	IV
โครงสร้างที่ไม่ใช่ผนังอิฐก่อรับแรงเฉือนและสูงไม่เกิน 4 ชั้น ซึ่งผนังภายใน ฉากกันห้อง ฝ้าเพดาน และผนังภายนอกถูกออกแบบให้สามารถทนต่อการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นได้มาก	0.025h _{sx}	0.020h _{sx}	0.015h _{sx}
โครงสร้างกำแพงอิฐก่อรับแรงเฉือนแบบยื่นจากรฐานรองรับ	0.010h _{sx}	0.010h _{sx}	0.010h _{sx}
โครงสร้างกำแพงอิฐก่อรับแรงเฉือนแบบอื่น ๆ	0.007h _{sx}	0.007h _{sx}	0.007h _{sx}
โครงสร้างอื่น ๆ ทั้งหมด	0.020h _{sx}	0.015h _{sx}	0.010h _{sx}

หมายเหตุ

- 1) h_{sx} คือความสูงระหว่างชั้นที่อยู่ใต้พื้นที่ชั้นที่ x
- 2) อาคารชั้นเดียวที่มีผนังภายใน ฉากกันห้อง ฝ้าเพดาน และผนังภายนอกที่ถูกออกแบบให้สามารถทนต่อการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นได้มาก จะมีการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นเท่าใดก็ได้ไม่จำกัด
- 3) โครงสร้างกำแพงอิฐก่อรับแรงเฉือนแบบยื่นจากรฐานรองรับ หมายถึง อาคารที่ถูกออกแบบให้ใช้กำแพงอิฐก่อรับแรงเฉือนเป็นชิ้นส่วนโครงสร้างในแนวตั้งซึ่งยื่นขึ้นมาจากฐานรองรับ และถูกก่อสร้างในลักษณะที่มีถ่ายโมเมนต์ดัดและแรงเฉือนระหว่างกำแพงข้างเคียง (แบบ Coupling Beam) น้อยมากการรวมผลของแรงแผ่นดินไหว กับน้ำหนักบรรทุกทุกแนวตั้ง

3.5.3.2 ขั้นตอนการออกแบบแรงแผ่นดินไหวด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า มาตรฐาน มยผ.1302

3.5.3.2.1 การคำนวณแรงเฉือนที่ฐานอาคาร

แรงเฉือนที่ฐานอาคาร (Seismic Base Shear, V) คำนวณจาก

$$V = C_s W$$

โดยที่ C_s คือ สัมประสิทธิ์ผลตอบสนองแรงแผ่นดินไหว

W คือ น้ำหนักโครงสร้างประสิทธิผลของอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ผลตอบสนองแรงแผ่นดินไหว C_s จะต้องคำนวณจาก

$$C_s = S_a \left(\frac{I}{R} \right)$$

โดยที่ C_s จะต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 0.01

โดยที่ S_a คือค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบ S_a ที่คาบการสั่นพื้นฐานของอาคาร (T)

R คือ ตัวประกอบปรับผลตอบสนอง

I คือ ตัวประกอบความสำคัญของอาคาร

3.5.3.2.2 การคำนวณค่าคาบการสั่นพื้นฐาน (Fundamental Period, T) ในทิศทางแกนหลักของอาคารสามารถคำนวณได้ 2 วิธี

วิธีที่ 1 สามารถคำนวณจากสูตรการประมาณดังนี้

อาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก $T = 0.02H$

อาคารโครงสร้างเหล็ก $T = 0.03H$

โดยที่ H คือความสูงของอาคารวัดจากพื้นดิน มีหน่วยเป็น m และ คาบการสั่นพื้นฐานหน่วยเป็น s

วิธีที่ 2 สามารถคำนวณจากลักษณะการกระจายมวลหรือน้ำหนักภายในอาคารและสติเฟนส ของระบบโครงสร้างต้านแรงต้านข้างของอาคาร ด้วยวิธีการวิเคราะห์ที่เหมาะสม และค่าคาบการสั่นพื้นฐานที่คำนวณได้จากวิธี ข. จะต้องไม่เกิน 1.5 เท่าของค่าที่จากวิธีที่ 1

ค่าคาบการสั่นพื้นฐาน อาจคำนวณจากสมการดังนี้

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (w_i \delta_i^2)}{g \sum_{i=1}^n (F_i \delta_i)}}$$

โดยที่ F_i คือแรงสถิตเทียบเท่าที่กระทำต่อชั้นที่ i (นิวตัน)

δ_i คือการเคลื่อนตัวในแนวราบของอาคารที่ชั้นที่ i ไม่รวมผลของการบิดดัดตำแหน่งศูนย์กลางมวลของชั้นที่เกิดจากแรงสถิตเทียบเท่า (เมตร)

g คือความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงโลก (เมตร/วินาที²)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

n คือจำนวนชั้นของอาคาร

w_i คือน้ำหนักโครงสร้างประสิทธิผลของชั้นที่ i

3.5.4 การวิเคราะห์โครงสร้าง ตามมาตรฐานของ ACI หรือ ว.ส.ท.

3.5.4.1 น้ำหนักบรรทุก

ในการคำนวณออกแบบส่วนโครงสร้างใดๆ ต้องพิจารณาให้ส่วนของโครงสร้างนั้นมีความแข็งแรงทนทาน สามารถรับน้ำหนักบรรทุกต่างๆ ได้อย่างปลอดภัยตลอดอายุการใช้งาน น้ำหนักบรรทุกที่ต้องพิจารณาประกอบด้วย น้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load) น้ำหนักบรรทุกจร(Live Load)

3.5.4.1.1 น้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load)

น้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load) หมายถึงน้ำหนักบรรทุกที่มีตำแหน่งของการกระทำคงที่ถาวรตลอดเวลาไม่มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก ได้แก่

คอนกรีตเสริมเหล็กธรรมดา	1600-2400	กก/ม ³
เหล็ก	7850	กก/ม ³
ผนังกำแพงคอนกรีตบล็อกหนา 7,9 ซม. ฉาบปูนเรียบสองหน้า	120-160	กก/ม ²
วัสดุผนังหลังคา	5-18	กก/ม ²
โครงสร้างหลังคา	50	kg/m ²

3.5.4.1.2 น้ำหนักบรรทุกจร(Live Load)

น้ำหนักบรรทุกจร(Live Load) หมายถึงน้ำหนักบรรทุกที่กระทำชั่วคราวและอาจเปลี่ยนแปลงขนาดของน้ำหนักได้ประกอบด้วยน้ำหนักที่กระทำแนวตั้งและด้านข้าง

น้ำหนักบรรทุกจรที่กระทำแนวตั้ง ในกรุงเทพมหานคร นั้นคิดตามข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร พ.ศ.2544 ที่ออกตามพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร ซึ่งกำหนดขั้นต่ำสำหรับคำนวณออกแบบโครงสร้างอาคาร

หลังคา	50	กก/ม ²
กันสาดหรือหลังคาคอนกรีต	100	กก/ม ²
ที่พักอาศัย โรงเรียนอนุบาล ห้องน้ำ ห้องส้วม	150	กก/ม ²

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาคารชุด หอพัก โรงแรม	200	กก/ม ²
บันได ห้องโถง ช่องทางเดินของ อาคารชุด หอพัก โรงแรม	300	กก/ม ²

3.5.4.2 การออกแบบด้วยวิธีกำลัง(Strength Design Method)

การคำนวณออกแบบโดยวิธีนี้เป็นการศึกษาหาขนาดของส่วนอาคารโครงสร้างคอนกรีตและปริมาณของเหล็กเสริมที่สภาวะก่อนที่โครงสร้างนั้นจะเกิดการวิบัติจากน้ำหนักบรรทุกเกินที่คาดไว้

มาตรฐาน ACI หรือ ว.ส.ท. กำหนดให้พิจารณาหาน้ำหนักประลัย (U) เนื่องจากน้ำหนักหรือแรงกระทำที่เพิ่มค่าแล้วดังนี้

1. สำหรับอาคารที่ไม่ได้คิดรับแรงลมหรือแรงแผ่นดินไหว

$$U = 1.4D + 1.7L$$

2. สำหรับอาคารที่คิดแรงให้รับแรงลมด้วย

$$U = 0.75(1.4D + 1.7L + 1.7W)$$

หรือ $U = 0.9D + 1.3W$

โดยให้ใช้ค่า U ที่มากที่สุดและต้องไม่น้อยกว่า $U = 1.4D + 1.7L$

3. สำหรับอาคารที่คิดรับแรงแผ่นดินไหว

$$U = 1.05D + 1.28L + 1.4E$$

หรือ $U = 0.9D + 1.43$

บทที่ 4

วิธีการศึกษาและผลการศึกษา

4.1 คำนวณหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับการเคลื่อนที่บริเวณหัวเสาและมุมหมุนของโครงเหล็กที่มีกำแพงคอนกรีตมวลเบาเติมช่องและไม่มีกำแพงคอนกรีตมวลเบาเติมช่อง

4.1.1 โครงเหล็กที่ไม่มีกำแพงก่อเติมช่อง

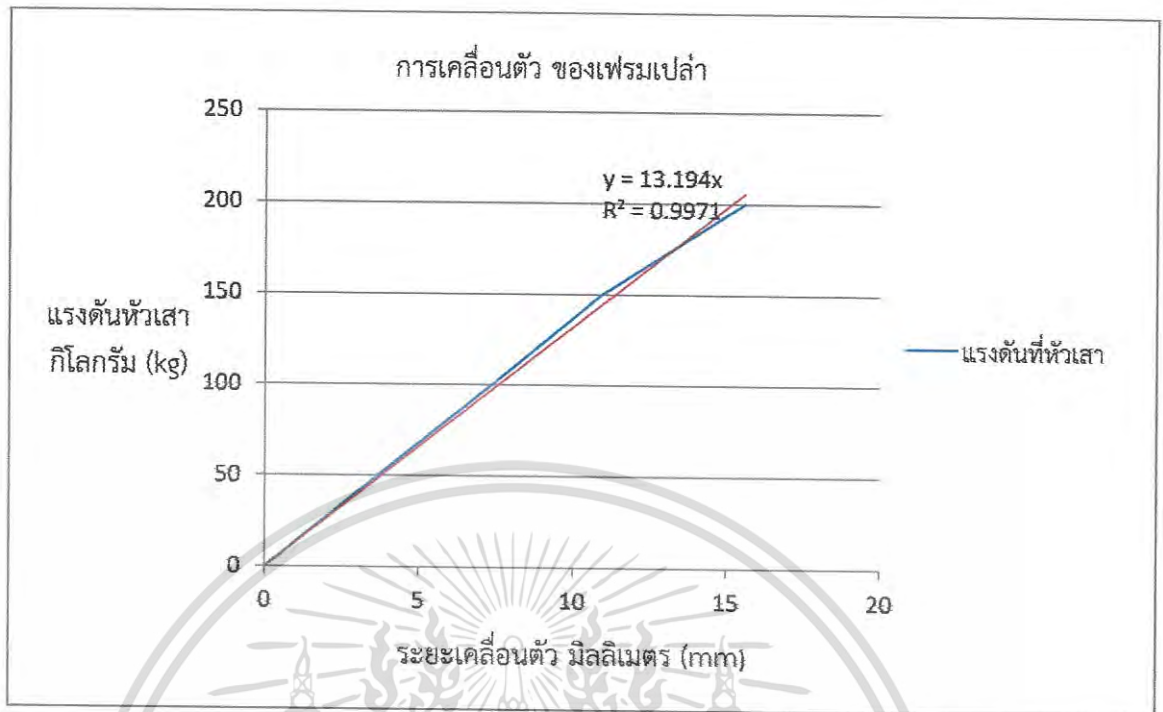
4.1.1.1 ความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนที่กับแรงอัดที่หัวเสาของโครงเหล็ก

เมื่อนำกราฟระหว่างแรงผลักที่หัวเสาและการเคลื่อนที่ในแนวนอนเราจะวิเคราะห์กราฟเฉพาะช่วงที่เป็นเส้นตรงซึ่งวัสดุที่ทดสอบยังมีคุณสมบัติแบบอีลาสติกอยู่ซึ่งเป็นช่วงที่กราฟยังเป็นเส้นตรงจะได้ว่าแรงระหว่าง 0-200 kg กราฟยังเป็นเส้นตรงหลังจากนั้นจะเริ่มเป็นเส้นโค้ง โดยจะได้ค่าความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับการเคลื่อนที่ของโครงเหล็กคือ 13.194 kg/mm

ตารางที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนที่กับแรงอัดที่หัวเสาของโครงเหล็ก

Load (kg)	ระยะเคลื่อนตัวที่หัวเสา (mm)
0	0
50	3.68
100	7.38
150	10.94
200	15.58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนที่กับแรงอัดที่หัวเสาของโครงเหล็ก

4.1.2 โครงเหล็กที่มีกำแพงก่อเต็มช่อง

4.1.2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนที่กับแรงอัดที่หัวเสาของโครงเหล็กที่มีกำแพงเต็มช่อง

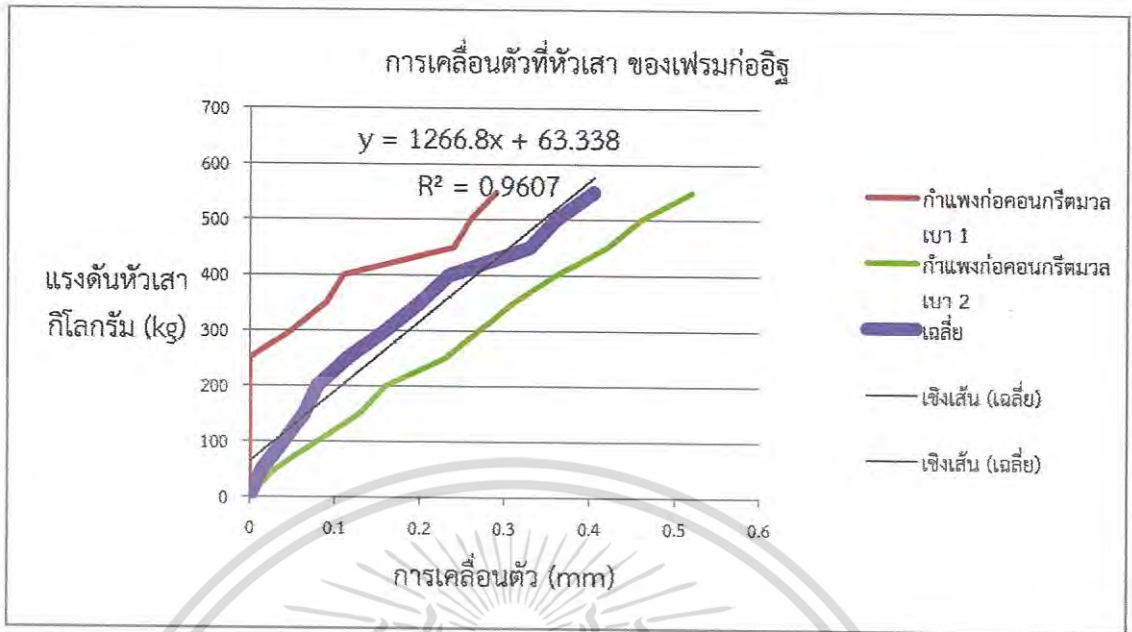
เมื่อนำกราฟระหว่างแรงผลัดที่หัวเสาและการเคลื่อนที่ในแนวราบซึ่งจะวิเคราะห์กราฟเฉพาะช่วงที่เป็นเส้นตรงซึ่งวัสดุที่ทดสอบยังมีคุณสมบัติแบบอลาสติกอยู่ซึ่งเป็นช่วงที่กราฟยังเป็นเส้นตรงจะได้ว่าแรงอยู่ระหว่าง 0-550 kg โดยจะได้ค่าความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับการเคลื่อนที่ของโครงเหล็กคือ 1266.8 kg/mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนที่กับแรงอัดที่หัวเสาของโครงเหล็กที่มีกำแพง
เต็มช่อง

Load (kg)	ระยะเคลื่อนตัวที่หัวเสาเคลื่อนตัว (mm)		
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ค่าเฉลี่ยทั้ง 2 ตัวอย่าง ช่วงที่ยังเป็นเส้นตรง
0	0	0	0
50	0	0.03	0.015
100	0	0.08	0.04
150	0	0.13	0.065
200	0	0.16	0.08
250	0	0.23	0.115
300	0.05	0.27	0.16
350	0.09	0.31	0.2
400	0.11	0.36	0.235
450	0.24	0.42	0.33
500	0.26	0.46	0.36
550	0.29	0.52	0.405
600	0.47	0.8	
650	0.52	1.93	
700	1	2.52	
750	2.42	2.94	
800	3.44	4.05	
850	7.59	5.3	
900		6.68	
950		9.08	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนที่กับแรงอัดที่หัวเสาของโครงเหล็กที่มีกำแพงเติมช่อง

4.1.2.2 กราฟระหว่างแรงผลักที่หัวเสาและการหมุนของโครงเหล็กที่มีกำแพงเติมช่อง

เมื่อนำกราฟระหว่างแรงผลักที่หัวเสาและการหมุนที่บริเวณหัวเสาเราจะวิเคราะห์กราฟเฉพาะช่วงที่เป็นเส้นตรงซึ่งวัสดุที่ทดสอบยังมีคุณสมบัติแบบอลาสติกอยู่ซึ่งเป็นช่วงที่กราฟยังเป็นเส้นตรงจะได้ว่าแรงอยู่ระหว่าง 0-200 kg กราฟยังเป็นเส้นตรงหลังจากนั้นจะเริ่มเป็นเส้นโค้ง โดยจะได้ค่าความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับการเคลื่อนที่ของโครงเหล็กคือ 10^6 kg/เรเดียน

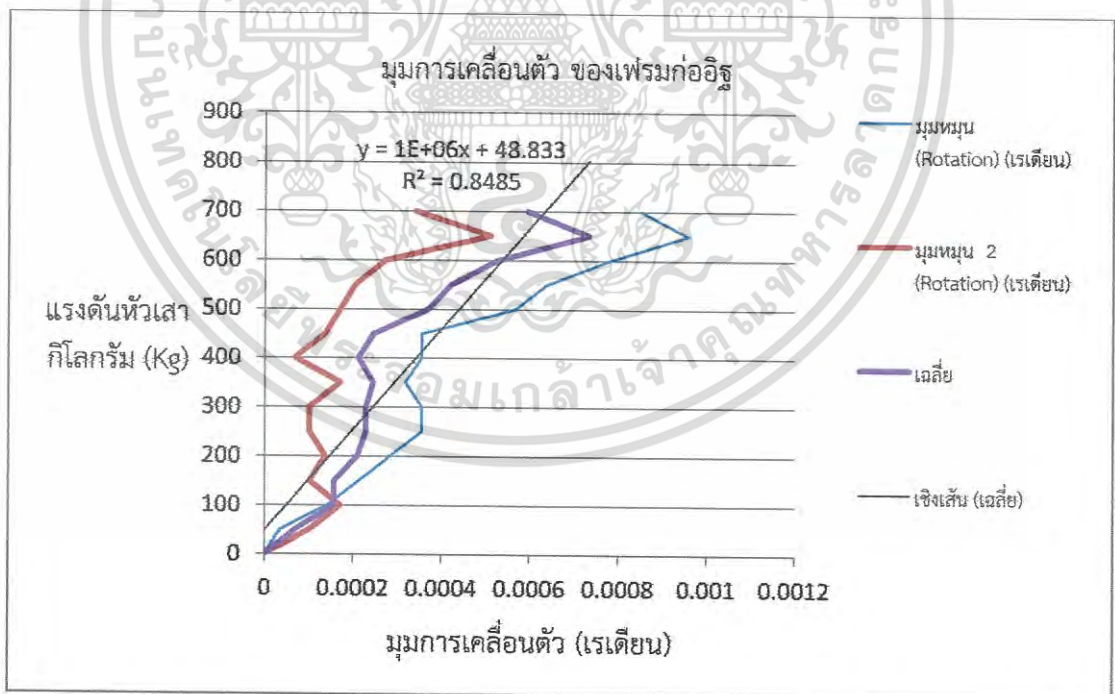
ตารางที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างมุมหมุนกับแรงอัดที่หัวเสาของโครงเหล็กที่มีกำแพงเติมช่อง

Load (kg)	มุมหมุน ตัวอย่างที่ 1 (Rotation) (เรเดียน)	มุมหมุน ตัวอย่างที่ 2 (Rotation) (เรเดียน)	เฉลี่ยว
0	0	0	0
50	3.5461E-05	0.000102389	6.89E-05
100	0.000141844	0.000170648	0.000156
150	0.000212766	0.000102389	0.000158
200	0.000283688	0.000136519	0.00021
250	0.00035461	0.000102389	0.000228
300	0.00035461	0.000102389	0.000228
350	0.000319149	0.000170648	0.000245
400	0.00035461	6.82594E-05	0.000211
450	0.00035461	0.000136519	0.000246

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 (ต่อ) ความสัมพันธ์ระหว่างมุมหมุนกับแรงอัดที่หัวเสาของโครงเหล็กที่มีกำแพงเต็มช่อง

Load (kg)	มุมหมุน ตัวอย่างที่ 1 (Rotation) (เรเดียน)	มุมหมุน ตัวอย่างที่ 2 (Rotation) (เรเดียน)	เฉลี่ย
500	0.000567376	0.000170648	0.000369
550	0.000638298	0.000204778	0.000422
600	0.000780142	0.000273038	0.000527
650	0.000957447	0.000511945	0.000735
700	0.000851064	0.000341297	0.000596
750	0.004822695	0.000546075	
800	0.00177305	0.000443686	
850	0.005957447	0.000784983	
900		0.003686007	
950		0.000341297	



รูปที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างมุมหมุนกับแรงอัดที่หัวเสาของโครงเหล็กที่มีกำแพงเต็มช่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การหาความกว้างของค้ำยัน

จำลองกำแพงก่อก่อให้เป็นค้ำยันแนวทแยงมุมรับแรงอัดตามมาตรฐานของ FEMA 306 ซึ่งจากการคำนวณเราจะติดค่า E_{me} (โมดูลัสของความยืดหยุ่นของแผงก่อก่ออิฐ) ซึ่งจะนำไปหาด้วยวิธีสตีเฟเนลโดยนำผลมาจากการทดลอง

การหาค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของแผงก่อก่ออิฐ ตามมาตรฐานของ FEMA 306 (Federal Emergency Management Agency) ซึ่งมาจากการวิจัยของ Mainstone and Weeks (1970)

เราสามารถหาความหนาของค้ำยันแนวทแยงมุมได้จากสมการ

$$a = 0.175(\lambda_1 h_{col})^{-0.4} r_{inf} \text{ หน่วย m}$$

เมื่อ

$$\lambda_h = \left[\frac{E_{me} t_{inf} \sin 2\theta}{4E_{fe} I_{col} h_{inf}} \right]^{\frac{1}{4}}$$

และ

$$\theta = \tan^{-1} \frac{h_{inf}}{L_{inf}}$$

จากงานวิจัย โครงเฟรม เสาคอนกรีตเหล็กกล่องมีขนาด 2*2 inch หนา 3.2 mm สูง 1 m ซึ่งมีพื้นที่หน้าตัด $A = 5.99 \text{ cm}^2$ ค่าความแข็งแรงเชิงดัด $I = 21.96 \text{ cm}^4$ คานเป็นเหล็กกล่องมีขนาด 2*4 inch หนา 3 mm ยาว 2 m ซึ่งมีพื้นที่หน้าตัด $A = 9.19 \text{ cm}^2$ ค่าความแข็งแรงเชิงดัด $I = 118.72 \text{ cm}^4$ โมดูลัสของความยืดหยุ่นของโครง $E = 2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ กำแพงก่อก่อจะมีความหนา 5 cm เท่ากับความหนาเหล็กกล่อง

จากสมการจะได้ว่า $L_{inf} = 200 \text{ cm}$

$$E_{me} = \text{ค่าที่ต้องการหา}$$

$$h_{col} = 105 \text{ cm}$$

$$h_{inf} = 100 \text{ cm}$$

$$E_{fe} = 2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

$$I_{col} = 21.96 \text{ cm}^4$$

$$r_{inf} = 223.60 \text{ cm}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$t_{inf} = 5 \text{ cm}$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{100}{200} = 26.56^\circ \text{ (องศา)}$$

นำค่ามาใส่ในสมการ

$$\lambda_h = \left[\frac{E_{me} t_{inf} \sin 2\theta}{4 E_{fe} l_{col} h_{inf}} \right]^{\frac{1}{4}}$$

$$= \left[\frac{E_{me} * 5 * \sin 53.12^\circ}{4 * 2.1 \times 10^6 * 21.96 * 100} \right]^{\frac{1}{4}}$$

$$= 3.83 \times 10^{-3} * E_{me}^{0.25}$$

จากนั้นนำค่า λ_h แทนค่า a จากสมการ

$$a = 0.175 (\lambda_h h_{col})^{-0.4} r_{inf}$$

$$a = 0.175 (105 * 3.83 \times 10^{-3} * E_{me}^{0.25})^{-0.4} * 223.60$$

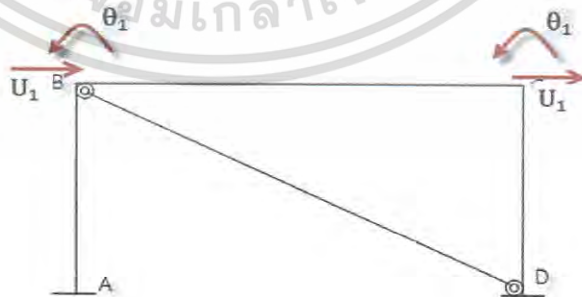
$$a = 56.33 * E_{me}^{-0.1} \text{ หน่วย cm}$$

เมื่อ (a) คือความกว้างแนวทแยงมุม

เมื่อเราได้ค่าความกว้างของค้ำยันรับแรงอัดแนวทแยงมุมคือ $a = 56.33 * E_{me}^{-0.1}$ หน่วย cm จากนั้นเราก็นำมาวิเคราะห์โดยใช้ผลจากการทดลอง

4.3 การหาค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่นของแผงก่ออิฐ

4.3.1 ก่อนที่เราจะทำการวิเคราะห์หาค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่นของแผงก่ออิฐนั้นเราจะต้องทำการสร้างสถิติพื้นฐานของชิ้นส่วนวัสดุก่อนโดยแยกเป็นโครงข้อแข็งและโครงข้อหมุน



รูปที่ 4.4 การวิเคราะห์โครงโครงเหล็กที่มีค้ำยันแนวทแยงมุมรับแรงอัด มีการเคลื่อนที่แนวอนลระมุมหมุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1.1 ชิ้นส่วน BD ใช้วิธีสตีเฟนสมเมตริกซ์สำหรับโครงข้อหมุนซึ่งทำหน้าที่เป็นสตัค Strut

ซึ่งมีเมตริกซ์ความแข็งของชิ้นส่วนในระบบแกนโครงสร้างหรือเรียกว่าสตีเฟนสของโครงข้อหมุนคือ

$$\bar{U} = K\bar{u}$$

$$\begin{bmatrix} \bar{U}_B \\ \bar{V}_B \\ \bar{U}_D \\ \bar{V}_D \end{bmatrix} = \frac{E_{me}A}{l} \begin{bmatrix} c^2 & cs & -c^2 & -cs \\ cs & s^2 & -cs & -s^2 \\ -c^2 & -cs & c^2 & cs \\ -cs & -s^2 & cs & s^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{u}_B \\ \bar{v}_B \\ \bar{u}_D \\ \bar{v}_D \end{bmatrix}$$

โดยที่ มุม θ จากจุด B ไป A คือ $\tan^{-1} \frac{1}{2} = -26.56^\circ$

ดังนั้น $\cos(-26.56^\circ) = 0.89$ และ $\sin(-26.56^\circ) = -0.44$

E_{me} = ค่าที่ต้องการหา, l = ความยาวแนวทแยงมุม = 223.60 cm

A = พื้นที่หน้าตัด (ความหนาผนังท่อ \times ความกว้างแนวทแยงมุม (a))

$$= 5 \times 56.33 \times E_{me}^{-0.1} = 281.65 \times E_{me}^{-0.1} \text{ หน่วย cm}^2$$

$$\begin{bmatrix} \bar{U}_B \\ \bar{V}_B \\ \bar{U}_D \\ \bar{V}_D \end{bmatrix} = \frac{E_{me} \times 281.65 \times E_{me}^{-0.1}}{223.60} \begin{bmatrix} 0.79 & -0.39 & -0.79 & 0.39 \\ -0.39 & 0.19 & 0.39 & -0.19 \\ -0.79 & 0.39 & 0.79 & -0.39 \\ 0.39 & -0.19 & -0.39 & 0.19 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{u}_B \\ \bar{v}_B \\ \bar{u}_D \\ \bar{v}_D \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \bar{U}_B \\ \bar{V}_B \\ \bar{U}_D \\ \bar{V}_D \end{bmatrix} = 1.259 \times E_{me}^{0.9} \begin{bmatrix} 0.79 & -0.39 & -0.79 & 0.39 \\ -0.39 & 0.19 & 0.39 & -0.19 \\ -0.79 & 0.39 & 0.79 & -0.39 \\ 0.39 & -0.19 & -0.39 & 0.19 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{u}_B \\ \bar{v}_B \\ \bar{u}_D \\ \bar{v}_D \end{bmatrix}$$

4.3.1.2 ชิ้นส่วน AB, BC, CD วิเคราะห์ด้วยวิธีสตีเฟนสมเมตริกซ์สำหรับโครงข้อแข็ง

$$S = K_s + S^F$$

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ M_1 \\ V_2 \\ M_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{12EI}{l^3} & \frac{6EI}{l^2} & -\frac{12EI}{l^3} & \frac{6EI}{l^2} \\ \frac{6EI}{l^2} & \frac{4EI}{l} & -\frac{6EI}{l^2} & \frac{2EI}{l} \\ -\frac{12EI}{l^3} & -\frac{6EI}{l^2} & \frac{12EI}{l^3} & -\frac{6EI}{l^2} \\ \frac{6EI}{l^2} & \frac{2EI}{l} & -\frac{6EI}{l^2} & \frac{4EI}{l} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_1 \\ \theta_1 \\ v_2 \\ \theta_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} V_1^F \\ M_1^F \\ V_2^F \\ M_2^F \end{bmatrix}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชั้นส่วน BA

E ของเหล็ก = 2.1×10^6 kg/cm², I ของเหล็กเสา = 21.96 cm⁴ และ L ความยาว 100 cm

$$\frac{12EI}{l^3} = 553.39, \quad \frac{6EI}{l^2} = 27669.6, \quad \frac{2EI}{l} = 922320, \quad \frac{4EI}{l} = 1844640$$

$$\begin{bmatrix} V_B \\ M_B \\ V_A \\ M_A \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 553.39 & 27669.6 & -553.39 & 27669.6 \\ 27669.6 & 1844640 & -27669.6 & 922320 \\ -553.39 & -27669.6 & 553.39 & -27669.6 \\ 27669.6 & 922320 & -27669.6 & 1844640 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_B \\ \theta_B \\ v_A \\ \theta_A \end{bmatrix}$$

ชั้นส่วน BC

E ของเหล็ก = 2.1×10^6 kg/cm², I ของเหล็กเสา = 118.72 cm⁴ และ L ความยาว 200 cm

$$\frac{12EI}{l^3} = 373.9, \quad \frac{6EI}{l^2} = 37396.8, \quad \frac{2EI}{l} = 2493120, \quad \frac{4EI}{l} = 4986240$$

$$\begin{bmatrix} V_B \\ M_B \\ V_C \\ M_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 373.9 & 37396.8 & -373.9 & 37396.8 \\ 37396.8 & 4986240 & -37396.8 & 2493120 \\ -373.9 & -37396.8 & 373.9 & -37396.8 \\ 37396.8 & 2493120 & -37396.8 & 4986240 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_B \\ \theta_B \\ v_C \\ \theta_C \end{bmatrix}$$

ชั้นส่วน CD

E ของเหล็ก = 2.1×10^6 kg/cm², I ของเหล็กเสา = 21.96 cm⁴ และ L ความยาว 100 cm

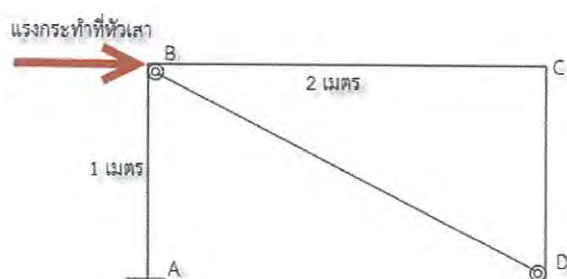
$$\frac{12EI}{l^3} = 553.39, \quad \frac{6EI}{l^2} = 27669.6, \quad \frac{2EI}{l} = 922320, \quad \frac{4EI}{l} = 1844640$$

$$\begin{bmatrix} V_C \\ M_C \\ V_D \\ M_D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 553.39 & 27669.6 & -553.39 & 27669.6 \\ 27669.6 & 1844640 & -27669.6 & 922320 \\ -553.39 & -27669.6 & 553.39 & -27669.6 \\ 27669.6 & 922320 & -27669.6 & 1844640 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_C \\ \theta_C \\ v_D \\ \theta_D \end{bmatrix}$$

4.3.2 การหาค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่นของแผงก้ออิฐนั้นเราสามารถทำได้ 2 วิธี ซึ่งเราจะจำลองโครงเหล็กก้อให้เป็นการวิเคราะห์โครงสร้างอย่างง่าย

โดยจะจำลองโครงเหล็กที่มีคอนกรีตมวลเบาเติมช่องเป็นโครงเหล็กที่มีค้ำยันแนวทแยงมุมรับแรงอัดเชื่อมต่อกับเสาและคานด้วยจุดต่อแบบบานพับ (hinge) ซึ่งจะไม่มียโมเมนต์ที่หัวเสาจะมีแต่เพียงแรงอัดและแรงดึง แต่เราจะพิจารณาเฉพาะแรงอัดเพียงอย่างเดียวโดยให้มี support ที่ A และ D เป็นแบบยึดแน่น (Fix)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

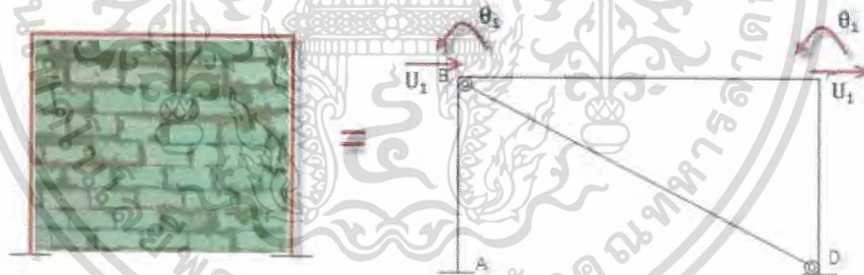


รูปที่ 4.5 รูปจำลองการวิเคราะห์โครงสร้างเหล็กที่มีค้ำยัน

4.3.2.1 การวิเคราะห์แรงในแนวแกนของโครงสร้างเหล็ก

ในงานวิจัยจะไม่มีกรวิเคราะห์ถึงแรงในแนวแกนเนื่องจากความยุ่งยากในตรวจวัดค่าการเคลื่อนตัวในแนวแกนและจากผลการทดลองด้วยโปรแกรม คอมพิวเตอร์ แรงในแนวแกนนั้นมีผลเมื่อเทียบกับการเคลื่อนที่ทางด้านข้างเพียง 0.092 % เท่านั้น เราจึงไม่คิดถึงผลของแรงในแนวแกน

4.3.2.2 วิธีที่ 1 วิเคราะห์โครงสร้างที่มีมุมหมุนและการเคลื่อนที่ตั้งฉากกับชิ้นส่วนเท่านั้นไม่คิดการเคลื่อนที่ในแนวแกน



รูปที่ 4.6 การจำลองโครงสร้างเหล็กที่มีกำแพงเติมช่องเป็นโครงสร้างเหล็กที่มีค้ำยันแนวทแยงมุมแบบที่ 1

แรงภายนอกที่มากระทำ มีเพียง \bar{U}_B และที่จุด B \bar{V}_B ไม่มีการเปลี่ยนตำแหน่งในแนวตั้ง และที่จุด D \bar{V}_D \bar{U}_D ไม่มีการเปลี่ยนตำแหน่งจึงมีค่าเท่ากับ 0

ดังนั้นสติเฟนสของชิ้นส่วน BD จะเหลือเพียง

$$\begin{bmatrix} \bar{U}_B \\ \bar{V}_B \\ \bar{V}_D \\ \bar{U}_D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E_{me}^{0.9} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{U}_B \\ \bar{V}_B \\ \bar{V}_D \\ \bar{U}_D \end{bmatrix}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นทำการรวมสติเฟเนสจะได้ว่า BA,BC,CD และ BD

โดยไม่คำนึงถึงแรงในแนวแกน และที่จุด A และ จุด D ไม่มีการเคลื่อนที่แนวตั้งฉากและไม่มีจุดหมุน ดังนั้นการเคลื่อนที่และมุมหมุนจึงเท่ากับ 0 และมีการเคลื่อนที่ที่จุด B และ C คือการเคลื่อนที่ V_1 และ θ_1 ดังนั้นจึงลดสติเฟเนสได้เหลือเพียง

จะได้ว่า

$$\begin{bmatrix} V_{\text{แรงหัวเสา}} \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1106.78 + E_{me}^{0.9} & 55339.2 \\ 55339.2 & 18648000 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ \theta_1 \end{bmatrix}$$

ทำการแก้สมการ

ค่าการเคลื่อนที่ $u_1 = 1266.8 \text{ kg/mm}$ หรือเท่ากับ 12668 kg/cm

ค่ามุมหมุน $\theta_1 = 10^{-6} \text{ kg/เรเดียน}$

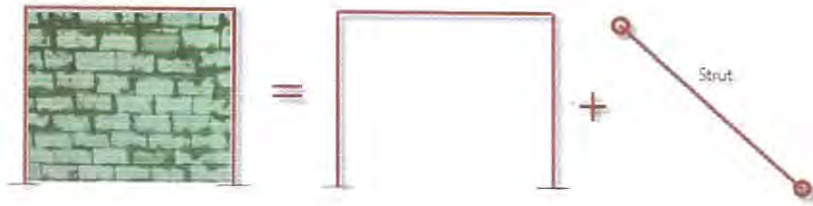
โดยที่ เมื่อ $V_{\text{หัวเสา}} = 1$ หน่วย จะได้ว่า $u_1 = 1/12668 \text{ mm}$ $\theta_1 = -10^{-6}$ เรเดียน (เนื่องจากหมุนตามเข็มนาฬิกา)

แก้สมการจะได้ว่า

$$1 = (1106.78 + E_{me}^{0.9}) / 12668 + 55339.2 \times (-10^{-6})$$

$$E_{me}^{0.9} = 12262.2 \text{ จะได้ว่า } E_{me} = 34902.4 \text{ kg/cm}^2$$

4.3.2.3 วิธีที่ 2 เป็นการจำลองสตีเฟนแบบง่าย ๆ ระหว่างโครงเหล็กกับค้ำยัน โดยใช้ผลจากการทดลองค่าการเคลื่อนที่ด้านข้างของโครงเปล่าและโครงก่อเติมช่อง



รูปที่ 4.7 การจำลองโครงเหล็กที่มีกำแพงเติมช่องเป็นโครงเหล็กที่มีค้ำยันแนวทแยงมุมแบบที่ 2

จาก

$$F_{\text{โครงที่มีผนังก่อ}} = F_{\text{โครงเปล่า}} + F_{\text{Strut}}$$

$$K_{\text{โครงที่มีผนังก่อ}} X = K_{\text{โครงเปล่า}} X + F_{\text{Strut}}, \quad X \text{ คือหนึ่งหน่วยการเคลื่อนที่}$$

$$1266.8X = 13.19X + F_{\text{Strut}}$$

$$F_{\text{Strut}} = 1253.61X$$

$$F_{\text{Strut}} = 1253.61X \text{ kg/mm หรือ } 12536.1X \text{ kg/cm}$$

การหาค่า F_{Strut} หากจากผลการทดลองของโครงเปล่า ซึ่งมีค่าสตีเฟนส์คือ

$$\begin{bmatrix} U_B \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E_{me}^{0.9} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{u}_B \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

ดังนั้นจึงเป็น

$$\begin{bmatrix} F_{\text{Strut}} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E_{me}^{0.9} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\text{จะได้ว่า } F_{\text{Strut}} = E_{me}^{0.9} X$$

$$12536.1X = E_{me}^{0.9} X$$

$$E_{me} = 35769.57 \text{ kg/cm}^2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2.4 ความกว้างเทียบเท่าของค้ำยันรับแรงอัดแนวแนวทแยงมุม

วิธีที่ 1 จะได้ค่าความกว้าง $a = 56.33 * E_{me}^{-0.1}$ เมื่อ $E_{me} = 34902.4 \text{ kg/cm}^2$

จะได้ $a = 19.79 \text{ cm}$

วิธีที่ 2 จะได้ค่าความกว้าง $a = 56.33 * E_{me}^{-0.1}$ เมื่อ $E_{me} = 35769.57 \text{ kg/cm}^2$

จะได้ $a = 19.74 \text{ cm}$

4.3.2.4 สรุปการใช้ค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่นของกำแพงเต็มช่องทั้ง 2 วิธี

จากการคำนวณพบว่าค่าจากการวิเคราะห์ทั้งสองแบบคือ 36326.3 kg/cm^2 และ 35769.57 kg/cm^2 จะเห็นได้ว่าทั้งสองค่ามีค่าใกล้เคียงกัน แต่จะใช้ค่า $E_{me} = 35769.57 \text{ kg/cm}^2$ ซึ่งมาจากผลการทดลองของโครงเหล็กที่มีกำแพงเต็มช่องและไม่มีกำแพงเต็มช่อง



รูปที่ 4.8 การจำลองกำแพงเต็มช่องเป็นค้ำยันรับแรงอัดแนวทแยงมุมที่มีความกว้าง 19.74 cm

4.4 แบบจำลองในการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม คอมพิวเตอร์

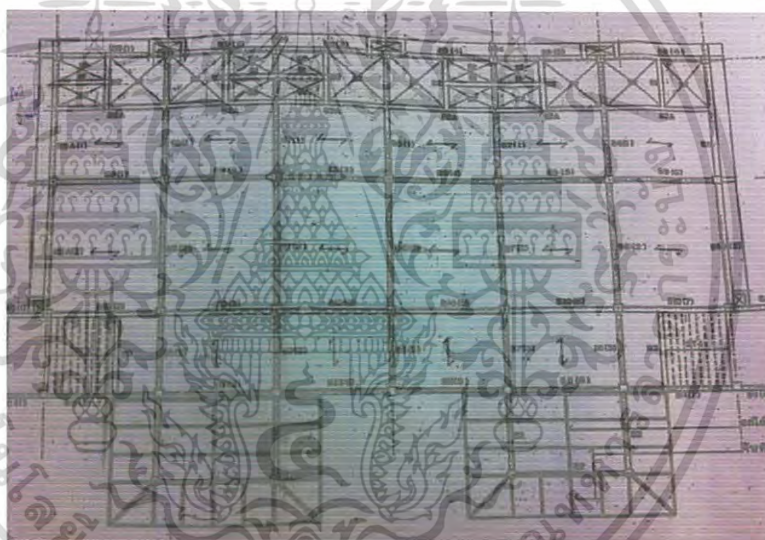
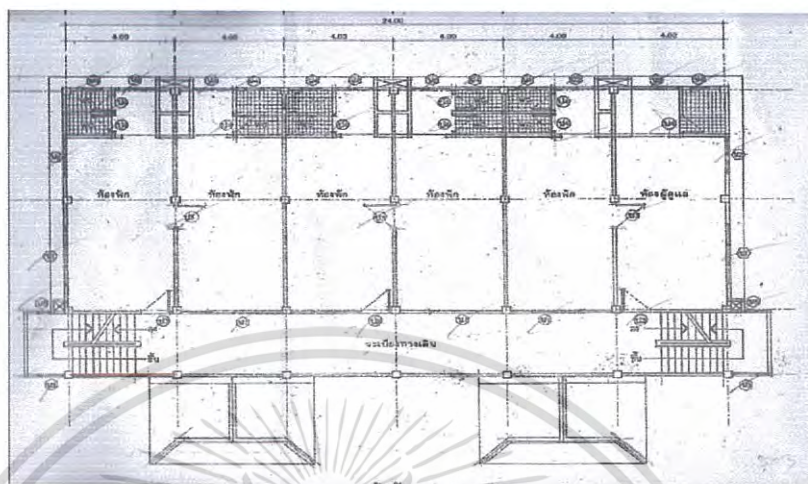
แบบจำลองที่ใช้จะเป็นแบบจำลองอาคารหอพักคอนกรีตเสริมเหล็กขนาด 5 ชั้น ซึ่งมีค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตคือ $f'_c = 240 \text{ ksc}$ และ เหล็กเส้นมีกำลังรับแรงดึง SD40 เหล็กเส้นรับแรงเฉือน SR24

4.4.1 แบบจำลองหอพักนักเรียนคอนกรีตเสริมเหล็กขนาด 5 ชั้น

เป็นโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก เป็นหอพักนักเรียน ของสำนักงานพัฒนาการกีฬา ในตัวเมืองจังหวัดลำปาง ที่มีเสาขนาด $35*35$ และ $30*30 \text{ cm}^2$ และ เสากลมเส้นผ่าศูนย์กลาง 25 cm มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนาดคาน 45x20 และ 40*20 cm พื้นมีความหนา 10 cm support ที่ฐานถือว่าเป็นแบบยึดแน่น (Fix)

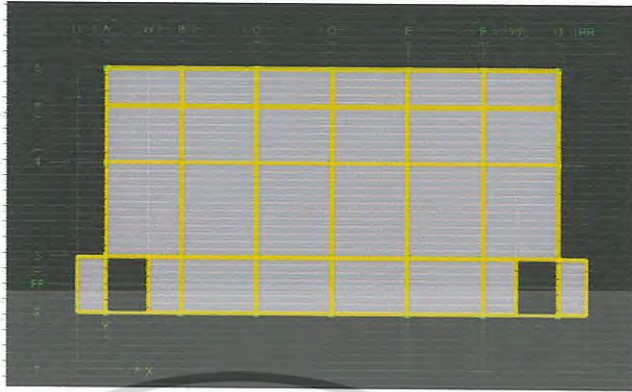


รูปที่ 4.9 แพลนอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก 5 ชั้น

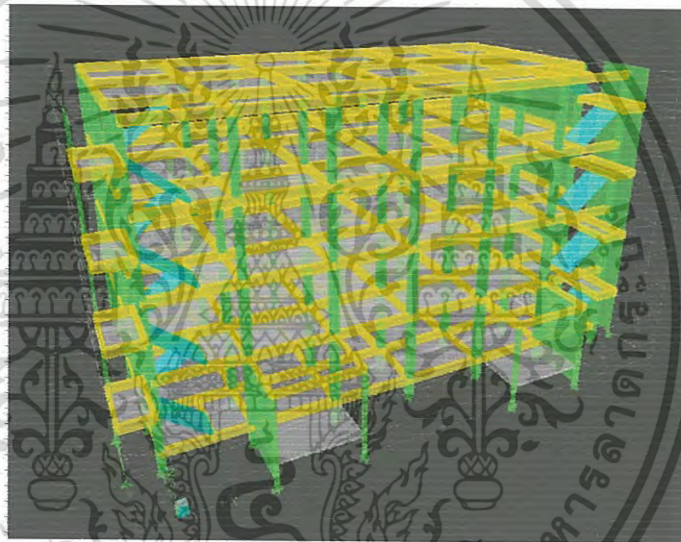
4.4.1.1 ขั้นตอนการออกแบบและมาตรฐานการออกแบบ

ออกแบบด้วยมาตรฐานแรงลมของ NBCC 2005 ซึ่งคล้ายกับมาตรฐานของ มยพ. 1311-50 และ ออกแบบแผ่นดินไหวตามมาตรฐานของ IBC 2006 ซึ่งเหมือนกับมาตรฐานของไทยคือ มยพ.1302 มีการใช้น้ำหนักบรรทุกจรขนาด 300 kg/m^2 สำหรับทางเดินและบันได 200 kg/m^2 สำหรับพื้นที่ หอพัก 150 kg/m^2 สำหรับห้องน้ำ น้ำหนักบรรทุกคงที่ (Superdeadload) 100 kg/m^2 ทั้งอาคาร น้ำหนักผนัง 550 kg/m น้ำหนักหลังคาและเสาชั้นบนกำหนดให้เป็นน้ำหนักแบบจุด น้ำหนักจากเสา ต่อดัน 1 t/ต้น น้ำหนักหลังคามีพื้นที่ 450 m^2 น้ำหนักบรรทุกคงที่ 100 kg/m^2 (รวมโครงเหล็ก หลังคา+วัสดุผนังหลังคา) คิดเป็นน้ำหนักบรรทุกคงที่ 2 t/ต้น น้ำหนักบรรทุกจร 100 kg/m^2 คิดเป็น น้ำหนักบรรทุกจร 2 t/ต้น รวมเป็นน้ำหนักบรรทุกคงที่ 3 t/ต้น น้ำหนักบรรทุกจร 2 t/ต้น เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.1.2 แบบจำลองอาคารที่ไม่มีการค้ำยันถึงกำแพงเดิมช่อง



รูปที่ 4.10 แพลนอาคาร

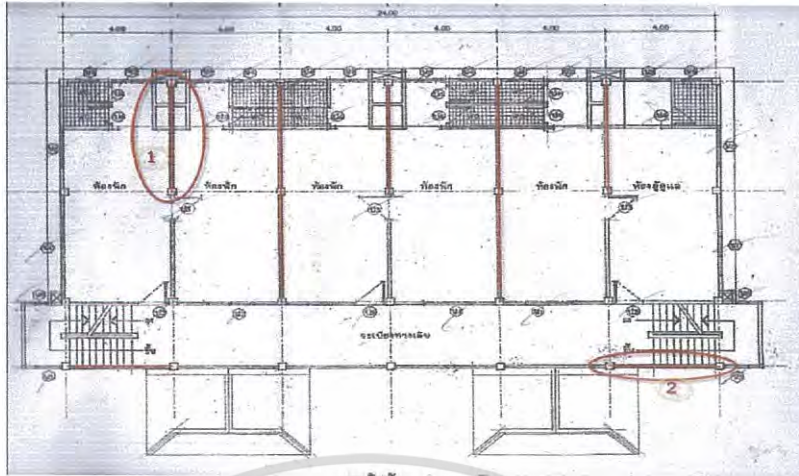


รูปที่ 4.11 อาคาร 3 มิติ

4.4.1.3 แบบจำลองอาคารที่มีการค้ำยันถึงกำแพงเดิมช่อง

4.4.1.3.1 การคำนวณความกว้างของ Strur รับแรงอัดแนวทแยงมุม ตามมาตรฐานของ FEMA 306 จะคำนึงถึงเฉพาะกำแพงตามแบบในอาคารที่ไม่มีช่องเปิดเช่น หน้าต่าง หรือประตู เพราะมันเป็นการลดความแข็งแรงหรือสตีเฟนสของกำแพงลง จากแบบจะเลือกเฉพาะ กำแพงก่อที่ไม่มีประตูและหน้าต่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 บริเวณกำแพงที่ไม่มีช่องเปิดสำหรับคิดเป็นค้ำยันแนวทแยงมุมได้

ที่หมายเลข 1 สำหรับชั้นที่ 1 และ 2 การคำนวณขนาดความกว้างของ Strut จากสมการของ FEMA 306 จากแบบเสาไม้ขนาด $35 \times 35 \text{ cm}^2$ สูง 350 cm มี ค่าความแข็งเชิงคัตของเสา $I = 125052.1 \text{ cm}^4$ คานไม้ขนาด $20 \times 45 \text{ cm}^2$ มีความยาว 500 cm กำแพงคอนกรีตมวลเบาจะมีความหนา 7.5 cm เท่ากับความหนาที่มีวางจำหน่ายทั่วไป ที่กำลัง 240 ksc จะมีโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตเท่ากับ 234000 kg/cm^2

จากสมการมาตรฐาน FEMA 306 จะได้ว่า $L_{inf} = 500 \text{ cm}$

$$E_{me} = 35,769.57 \text{ kg/cm}^2 \text{ จากการทดลอง}$$

$$h_{col} = 395 \text{ cm}$$

$$h_{inf} = 350 \text{ cm}$$

$$E_{fe} = 234,000 \text{ kg/cm}^2$$

$$I_{col} = 125052.1 \text{ cm}^4$$

$$r_{inf} = 610.32 \text{ cm}$$

$$t_{inf} = 7.5 \text{ cm (รวมฉาบ)}$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{350}{500} = 35^\circ \text{ (องศา)}$$

นำค่ามาหาคำนวณในสมการ $\lambda_h = \left[\frac{E_{me} t_{inf} \sin 2\theta}{4 E_{fe} I_{col} h_{inf}} \right]^{\frac{1}{4}}$

$$= \left[\frac{35,769.57 \times 7.5 \times \sin 70^\circ}{4 \times 234,000 \times 125052.1 \times 350} \right]^{\frac{1}{4}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= 8.85 \times 10^{-3}$$

จากนั้นนำค่า λ_h แทนหาค่า a จากสมการ

$$a = 0.175(\lambda_h h_{col})^{-0.4} r_{inf}$$

$$a = 0.175(395 * 8.85 \times 10^{-3})^{-0.4} * 610.32$$

$$a = 64.72 \text{ cm}$$

ที่หมายเลข 1 สำหรับชั้นที่ 3 และ 4 การคำนวณขนาดความกว้างของ Strut จากสมการของ FEMA 306 จากแบบเสามีขนาด $30 \times 30 \text{ cm}^2$ สูง 350 cm มี ค่าความแข็งเชิงคดของเสา $I = 67500 \text{ cm}^4$ คานมีขนาด $20 \times 45 \text{ cm}^2$ มีความยาว 500 cm กำแพงคอนกรีตมวลเบาจะมีความหนา 7.5 cm เท่ากับความหนาที่มีวางจำหน่ายทั่วไป ที่กำลัง 240 ksc จะมีโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตเท่ากับ 234000 kg/cm^2

จากสมการมาตรฐาน FEMA 306 จะได้ว่า $L_{inf} = 500 \text{ cm}$

$$E_{me} = 35,769.57 \text{ kg/cm}^2 \text{ จากการทดลอง}$$

$$h_{col} = 395 \text{ cm}$$

$$h_{inf} = 350 \text{ cm}$$

$$E_{fe} = 234,000 \text{ kg/cm}^2$$

$$I_{col} = 67500 \text{ cm}^4$$

$$r_{inf} = 610.32 \text{ cm}$$

$$t_{inf} = 7.5 \text{ cm (รวมฉาบ)}$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{350}{500} = 35^\circ \text{ (องศา)}$$

นำค่ามาหาคำนวณในสมการ
$$\lambda_h = \left[\frac{E_{me} t_{inf} \sin 2\theta}{4 E_{fe} I_{col} h_{inf}} \right]^{\frac{1}{4}}$$

$$= \left[\frac{35,769.57 * 7.5 * \sin 70^\circ}{4 * 234,000 * 67500 * 350} \right]^{\frac{1}{4}}$$

$$= 10.33 \times 10^{-3}$$

จากนั้นนำค่า λ_h แทนหาค่า a จากสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$a = 0.175(\lambda_h h_{col})^{-0.4} r_{inf}$$

$$a = 0.175(395 * 10.33 \times 10^{-3})^{-0.4} * 610.32$$

$$a = 60.85 \text{ cm}$$

ที่หมายเลข 2 สำหรับชั้นที่ 1 และ 2 การคำนวณขนาดความกว้างของ Strut จากสมการของ FEMA 306 จากแบบเสามีขนาด $35 \times 35 \text{ cm}^2$ สูง 350 cm มี ค่าความแข็งเชิงคดของเสา $I = 125052.1 \text{ cm}^4$ คานมีขนาด $20 \times 40 \text{ cm}^2$ มีความยาว 500 cm กำแพงคอนกรีตมวลเบาจะมีความหนา 7.5 cm เท่ากับความหนาที่มีวางจำหน่ายทั่วไป ที่กำลัง 240 ksc จะมีโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตเท่ากับ 234000 kg/cm^2

จากสมการมาตรฐาน FEMA 306 จะได้ว่า $L_{inf} = 500 \text{ cm}$

$$E_{me} = 35,769.57 \text{ kg/cm}^2 \text{ จากการทดลอง}$$

$$h_{col} = 390 \text{ cm}$$

$$h_{inf} = 350 \text{ cm}$$

$$E_{fe} = 234,000 \text{ kg/cm}^2$$

$$I_{col} = 125052.1 \text{ cm}^4$$

$$r_{inf} = 610.32 \text{ cm}$$

$$t_{inf} = 7.5 \text{ cm (รวมฉาบ)}$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{350}{500} = 35^\circ \text{ (องศา)}$$

นำค่ามาคำนวณในสมการ

$$\lambda_h = \left[\frac{E_{me} t_{inf} \sin 2\theta}{4 E_{fe} I_{col} h_{inf}} \right]^{\frac{1}{4}}$$

$$= \left[\frac{35,769.57 * 7.5 * \sin 70^\circ}{4 * 234,000 * 125052.1 * 350} \right]^{\frac{1}{4}}$$

$$= 8.85 \times 10^{-3}$$

จากนั้นนำค่า λ_h แทนหาค่า a จากสมการ

$$a = 0.175(\lambda_h h_{col})^{-0.4} r_{inf}$$

$$a = 0.175(390 * 8.85 \times 10^{-3})^{-0.4} * 610.32$$

$$a = 65.07 \text{ cm}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่หมายเลข 2 สำหรับชั้นที่ 3 และ 4 การคำนวณขนาดความกว้างของ Strut จากสมการของ FEMA 306 จากแบบเสามีขนาด $30 \times 30 \text{ cm}^2$ สูง 350 cm มี ค่าความแข็งเชิงดัดของเสา $I = 67500 \text{ cm}^4$ คานมีขนาด $20 \times 40 \text{ cm}^2$ มีความยาว 500 cm กำแพงคอนกรีตมวลเบาจะมีความหนา 7.5 cm เท่ากับความหนาที่มีวางจำหน่ายทั่วไป ที่กำลัง 240 ksc จะมีโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตเท่ากับ 234000 kg/cm^2

จากสมการมาตรฐาน FEMA 306 จะได้ว่า $L_{inf} = 500 \text{ cm}$

$$E_{me} = 35,769.57 \text{ kg/cm}^2 \text{ จากการทดลอง}$$

$$h_{col} = 390 \text{ cm}$$

$$h_{inf} = 350 \text{ cm}$$

$$E_{fe} = 234,000 \text{ kg/cm}^2$$

$$I_{col} = 67500 \text{ cm}^4$$

$$r_{inf} = 610.32 \text{ cm}$$

$$t_{inf} = 7.5 \text{ cm (รวมฉาบ)}$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{350}{500} = 35^\circ \text{ (องศา)}$$

นำค่ามาหาคำนวณในสมการ

$$\lambda_h = \left[\frac{E_{me} t_{inf} \sin 2\theta}{4 E_{fe} I_{col} h_{inf}} \right]^{\frac{1}{4}}$$

$$= \left[\frac{35,769.57 \cdot 7.5 \cdot \sin 70^\circ}{4 \cdot 234,000 \cdot 67,500 \cdot 350} \right]^{\frac{1}{4}}$$

$$= 10.33 \times 10^{-3}$$

จากนั้นนำค่า λ_h แทนหาค่า a จากสมการ

$$a = 0.175 (\lambda_h h_{col})^{-0.4} r_{inf}$$

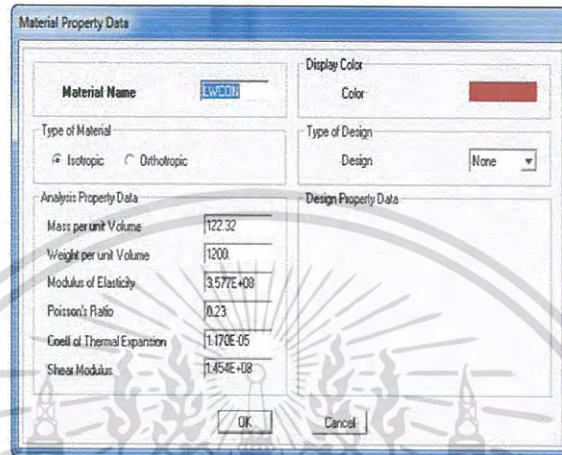
$$a = 0.175 (390 \cdot 10.33 \times 10^{-3})^{-0.4} \cdot 610.32$$

$$a = 61.17 \text{ cm}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2.2 การใส่ค่า Strut ในแบบจำลอง คอมพิวเตอร์

จากค่าน้ำหนักกำแพงคอนกรีตมวลเบา เมื่อรวมฉาบจะหนัก 90 kg/m^2 ความหนา 7.5 cm (รวมฉาบ) แสดงว่าหน่วยน้ำหนักคือ $100/7.5 \times 90 = 1200 \text{ kg/m}^3$ ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของกำแพงก่อจากกาทอลง และค่าอัตราส่วนปัวซองจากการทดลองคอนกรีตมวลเบาเท่ากับ 0.23 [1]



รูปที่ 4.13 กำหนดค่าวัสดุของกำแพงก่อคอนกรีตมวลเบา

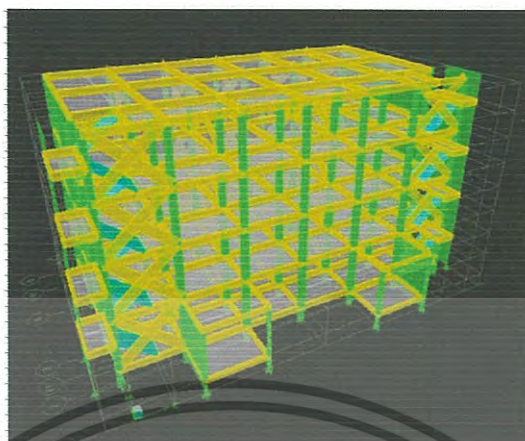
การสร้างขนาด Strut ขนาดที่ 1 และ 2 ในแบบจำลอง โดยมีความกว้าง 64.7 และ 56 cm หนา 7.5 cm เท่ากับคอนกรีตมวลเบาหลังก่อ ใช้วัสดุ LWCON



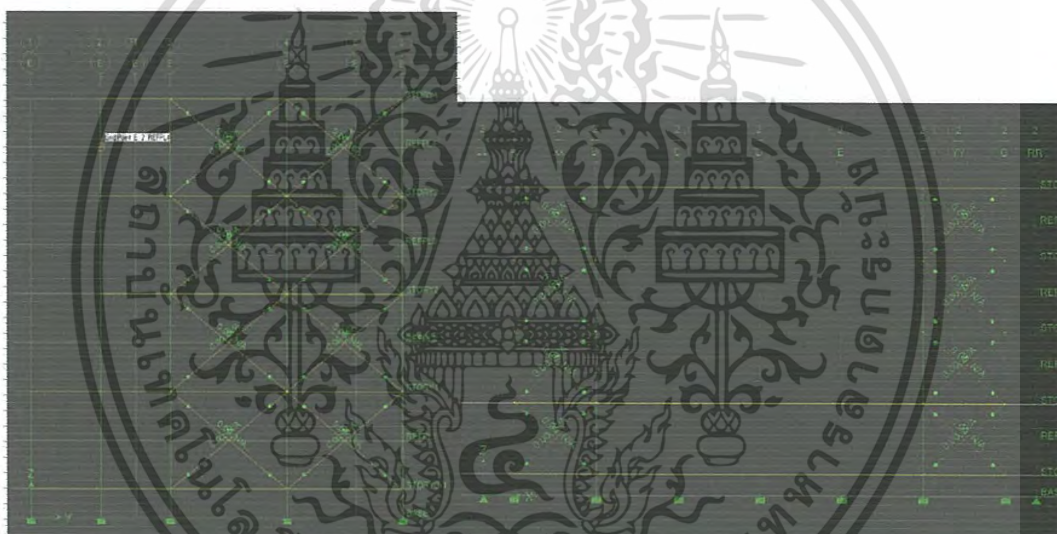
รูปที่ 4.14 การใส่ข้อมูล Strut 1,2 ของชั้น 1,2 และ 3,4 ในโปรแกรม คอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

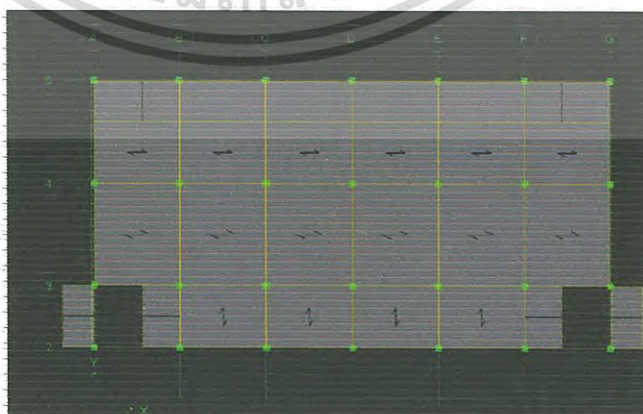
4.4.2.3 สร้างแบบจำลองอาคารในโปรแกรม คอมพิวเตอร์ ที่มีการใส่ Strut



รูปที่ 4.15 แบบจำลองอาคารที่มีการใส่ Strut



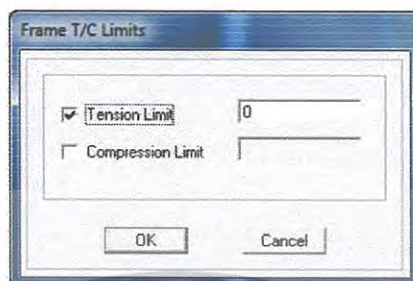
รูปที่ 4.16 แบบจำลองที่มีการใช้ Strut จะมีการ ปลอดภัยที่หัวและท้ายออก



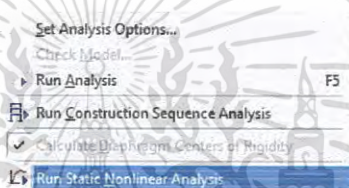
รูปที่ 4.17 พื้นจำลองตามแบบอาคารจริง แบ่งเป็นพื้นสำเร็จและพื้นหล่อทับที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์แบบ Strut นั้น ไม่สามารถวิเคราะห์ ทั่วไปได้ ต้องต้องเป็นการวิเคราะห์แบบ Static nonlinear analysis เนื่องจากมีการบังคับให้ Strut รับแรงดึงเป็น 0 ทำให้การวิเคราะห์เป็นแบบ nonlinear



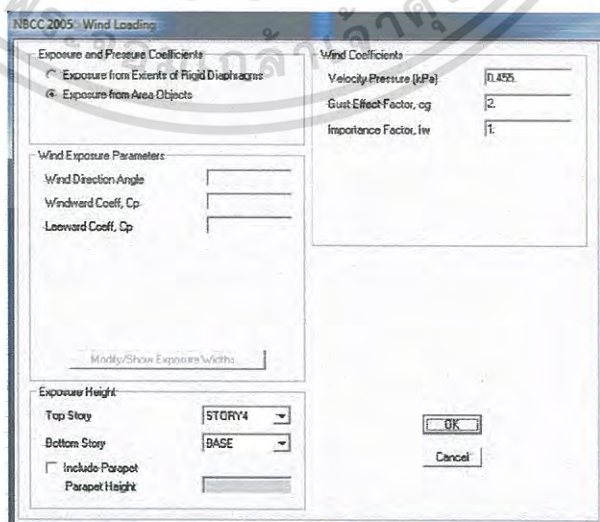
รูปที่ 4.18 จะบังคับให้ Strut รับแต่แรงอัดเท่านั้น ไม่มีการรับแรงดึง



รูปที่ 4.19 การวิเคราะห์แบบ Nonlinear Analysis

4.4.1.4 การวิเคราะห์แรงลมและแรงแผ่นดินไหว

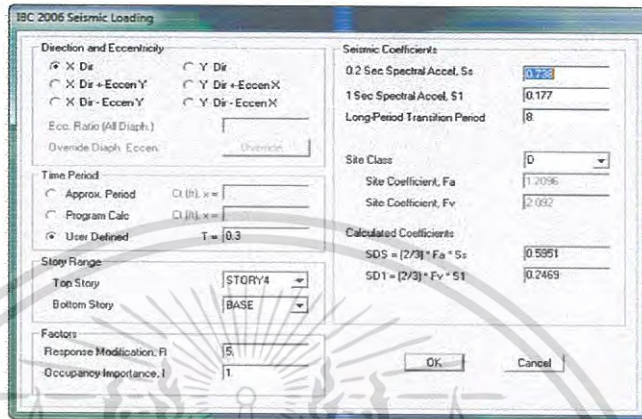
ขนาดแรงลมตามมาตรฐาน มยผ.1311-50 ขนาดแรงลมตามพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร 0.455 kPa แรงลมประกอบเนื่องจากการกระโชกของลม $C_g = 2$ สำหรับหน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่าที่กระทำกับพื้นผิวภายนอกอาคาร ตัวประกอบความสำคัญประเภท ปกติ $I = 1$ C_p ด้านต้นลม 0.8 และด้านท้ายลม -0.5



รูปที่ 4.20 กำหนดขนาดแรงลมตามมาตรฐาน มยผ.1311-50

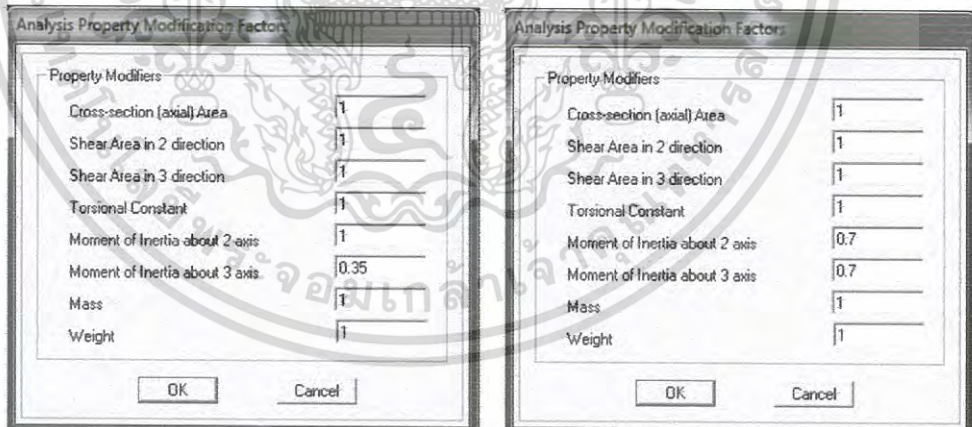
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เสนอผู้จัดทำเนาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกแบบแผ่นดินไหวตามมาตรฐาน มยผ. 1302 ไม่มีข้อมูลดินให้เป็นดินประเภท D ให้ค่า S_s และ ค่า S_1 เท่ากับ 0.738 และ 0.177 ตามลำดับ คาบการสั่นพื้นฐานของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก $T = 0.02 \times 15 = 0.3$ ค่า Factors ด้วยระบบโครงสร้างแบบโครงต้านแรงดัดคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีความเหนียวจำกัด $R = 5$ ค่าตัวประกอบความสำคัญของอาคารประเภท $I = 1$



รูปที่ 4.21 แผ่นดินไหวตามมาตรฐาน มยผ.1302 ใน อ.เมืองลำปาง ไม่มีข้อมูลดินสมมุติให้เป็นดินประเภท D

การกำหนดค่าความแข็งเชิงดัดขององค์อาคารคอนกรีตโดยคำนึงถึงผลของการแตกร้าว โดยกำหนดโมเมนต์ความเฉื่อยประสิทธิภาพของคานและเสา $I_{eff} = 0.35 I_g$ และ $I_{eff} = 0.70 I_g$

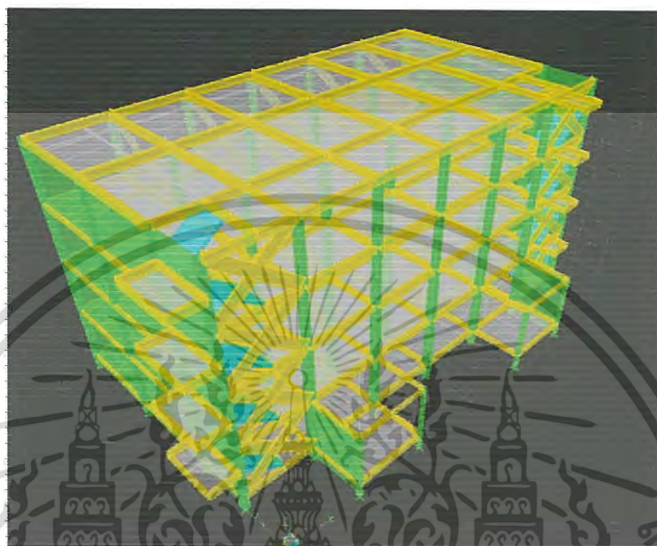


รูปที่ 4.22 กำหนดโมเมนต์ความเฉื่อยประสิทธิภาพของคานและเสา $I_{eff} = 0.35 I_g$ และ $I_{eff} = 0.70 I_g$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการจำลองจะจำลองให้แรงลมกระทำทิศทางเดียวกับแรงแผ่นดินไหว โดยจะให้กระทำในแนวแกน X หรือ แกน Y

4.4.1.5 ผลการวิเคราะห์เมื่อมีแรงลมและแรงแผ่นดินไหวมากระทำกับอาคารในทิศทางแกน X หรือ แกน Y



รูปที่ 4.23 การวิเคราะห์อาคารที่มีกำแพงเต็มช่อง

4.4.1.5.1 ผลการวิเคราะห์ค่า Sidesway จากโปรแกรม คอมพิวเตอร์ เมื่อใช้แรง wind load และ seismic load มากระทำในแนวแกน X

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองค่า Sidesway เมื่อมีแรง wind load มากระทำในแนวแกน X

ชั้น	กรณีไม่มี กำแพงเต็มช่อง		กรณีมี กำแพงเต็มช่อง		ผลต่าง (%)
	การเคลื่อนที่แกน X (mm)	การเคลื่อนที่แกน Y (mm)	การเคลื่อนที่แกน X (mm)	การเคลื่อนที่แกน Y (mm)	
5	5.48	-1.31	4.06	-1.45	25.91
4	4.94	-1.06	3.61	-1.20	26.92
3	3.66	-0.76	2.69	-0.87	26.50
2	1.98	-0.35	1.50	0.42	24.24
1	0.16	-0.02	0.14	-0.02	12.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองค่า Sidesway เมื่อมีแรง seismic load มากกระทำในแนวแกน X

ชั้น	กรณีไม่มี กำแพงเติมช่อง		กรณีมี กำแพงเติมช่อง		ผลต่าง (%)
	การเคลื่อนที่แกน X (mm)	การเคลื่อนที่แกน Y (mm)	การเคลื่อนที่แกน X (mm)	การเคลื่อนที่แกน Y (mm)	
5	31.30	-6.96	23.79	-8.27	-23.99
4	26.46	-5.48	19.95	-6.65	-24.60
3	18.07	-3.67	13.73	-4.50	-24.02
2	9.01	-1.67	7.02	-2.11	-22.09
1	0.68	-0.10	0.59	-0.13	-13.23

4.4.1.5.2 ผลการวิเคราะห์ค่า Sidesway จากโปรแกรม คอมพิวเตอร์ เมื่อใช้แรง wind load และ seismic load มากกระทำในแนวแกน Y

ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองค่า Sidesway เมื่อมีแรง wind load มากกระทำในแนวแกน Y

ชั้น	กรณีไม่มี กำแพงเติมช่อง		กรณีมี กำแพงเติมช่อง		ผลต่าง (%)
	การเคลื่อนที่แกน X (mm)	การเคลื่อนที่แกน Y (mm)	การเคลื่อนที่แกน X (mm)	การเคลื่อนที่แกน Y (mm)	
5	0	8.05	0	3.77	53.16
4	0	6.88	0	3.35	51.31
3	0	4.97	0	2.54	48.89
2	0	2.68	0	1.48	44.77
1	0	0.26	0	0.19	26.92

ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองค่า Sidesway เมื่อมีแรง seismic load มากกระทำในแนวแกน Y

ชั้น	กรณีไม่มี กำแพงเติมช่อง		กรณีมี กำแพงเติมช่อง		ผลต่าง (%)
	การเคลื่อนที่แกน X (mm)	การเคลื่อนที่แกน Y (mm)	การเคลื่อนที่แกน X (mm)	การเคลื่อนที่แกน Y (mm)	
5	0.11	25.19	0.09	11.92	-52.67
4	0.08	20.30	0.07	9.95	-50.98
3	0.05	13.60	0.04	7.01	-48.46
2	0.02	6.78	0.02	3.77	-44.39
1	0.00	0.61	0.00	0.46	-24.59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าระยะการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ (story drift) ในแต่ละชั้นค่าที่ยอมให้ของ Story drift คือ 0.015h สำหรับประเภทโครงสร้างอื่นๆทั่วไปประเภทความสำคัญ III ค่า Story drift คือ 15 และ 52.5 มิลลิเมตรสำหรับความสูงอาคาร 1 และ 3.5 เมตร

ตารางที่ 4.8 ค่าระยะการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ (story drift) ในแต่ละชั้น เมื่ออาคารรับแรงแผ่นดินไหว

เมื่ออาคารรับแรงแผ่นดินไหว					
ชั้น	แรงกระทำในแนวแกน X (MM)		แรงกระทำในแนวแกน Y (MM)		ค่าที่ยอม ของ Story drift (MM)
	กรณีไม่มี กำแพง เติมช่อง	กรณีมี กำแพงเติม ช่อง	กรณีไม่มี กำแพง เติมช่อง	กรณีมี กำแพง เติมช่อง	
5	4.84	3.84	4.89	1.97	52.5
4	8.39	6.22	6.7	2.94	52.5
3	9.06	6.71	6.82	3.24	52.5
2	8.33	6.43	6.17	3.31	52.5
1	0.68	0.59	0.61	0.46	15

*****ผลการตรวจสอบ ระยะการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ (story drift) ทุกชั้นผ่านหมด*****

4.4.1.5.3 ผลการวิเคราะห์แรงเฉือนของอาคาร (Story Shear) จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เมื่อใช้แรง wind load และ seismic load มากกระทำในแนวแกน X และ Y

ตารางที่ 4.9 ผลการทดลองค่า Story Shear เมื่อมีแรง wind load มากกระทำในแนวแกน X และ Y

ชั้น	กรณีไม่มี กำแพงเติมช่อง	กรณีมี กำแพงเติมช่อง	ผลต่าง (%)
	แรงเฉือน (kg)	แรงเฉือน (kg)	
5	2828.03	2828.03	0.00
4	8294.52	8294.52	0.00
3	13517.83	13517.83	0.00
2	19131.53	19131.53	0.00
1	23113.66	23116.66	0.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 ผลการทดลองค่า Story Shear เมื่อมีแรง seismic load มากระทำในแนวแกน X,Y

ชั้น	กรณีไม่มี กำแพงเติมช่อง	กรณีมี กำแพงเติมช่อง	ผลต่าง (%)
	แรงเฉือน (kg)	แรงเฉือน (kg)	
5	31381.15	32043.12	2.11
4	56111.54	57787.46	2.98
3	73751.99	76155.71	3.25
2	84067.58	86893.31	3.36
1	86239.88	89112.63	3.33

4.4.1.9 ผลการวิเคราะห์ จุดศูนย์กลางของความแข็ง (Center of Rigidity CG) และ จุดศูนย์กลางมวล(Center of Mass CM)

ตาราง 4.11 ผลการวิเคราะห์จุด CG และ จุด CM

ชั้น	กรณีไม่มี กำแพงเติมช่อง				กรณีมี กำแพงเติมช่อง				ผลต่าง CM กับ CR กรณีไม่มี กำแพงเติมช่อง (เมตร)		ผลต่าง CM กับ CR กรณีมี กำแพงเติมช่อง (เมตร)	
	Center of Mass CM (เมตร)		Center of Rigidity CR (เมตร)		Center of Mass CM (เมตร)		Center of Rigidity CR (เมตร)		x	y	x	y
	x	y	x	y	x	y	x	y				
5	11.88	9.77	11.94	7.12	11.89	9.90	11.89	4.85	0	2.65	0.05	5.05
4	12.00	9.73	12.00	6.93	12.00	9.78	12.00	4.84	0	2.8	0	4.94
3	12.00	9.72	12.00	6.98	12.00	9.78	12.00	5.11	0	2.74	0	4.67
2	12.00	9.69	12.00	7.10	12.00	9.74	12.00	5.61	0	2.59	0	4.13
1	12.00	8.93	12.00	8.67	12.00	8.96	12.00	8.62	0	0.26	0	0.34

4.4.1.6 ผลการวิเคราะห์ คาบการสั่นพื้นฐานของอาคารด้วยวิธีลักษณะการกระจายมวล ภายในอาคารและสถิติเนสของระบบโครงสร้างต้านแรงด้านข้างของอาคาร [14]

4.4.1.6.1 คาบการสั่นพื้นฐานของอาคารเมื่อมีแรงแผ่นดินไหวมากระทำในทิศทางแกน X สำหรับอาคารที่ไม่มีกำแพงเติมช่อง ได้คาบการสั่น 0.824 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 4.12 คาบการสั่นพื้นฐานของอาคารแรงกระทำแกน X ไม่มีกำแพงเติมช่อง

ชั้น	น้ำหนักอาคาร w_j	ค่าเคลื่อนตัว Displacement δ_i	แรงเฉือนแต่ละชั้น F_j	$w_i\delta_i^2$	$F_i\delta_i$	T คาบการสั่น วินาที
5	150780.9	35.2	31381.15	186823566.3	1104616.5	T=0.824
4	142863.3	29.5	24730.39	124326786.8	729546.5	
3	150311.7	20.0	17640.45	60124680	352809	
2	153937.44	9.9	10315.59	15087408.5	102124.3	
1	131404.2	0.7	2172.3	64388.06	1520.6	
			ผลรวม	386426829.7	2290616.9	

4.4.1.6.2 คาบการสั่นพื้นฐานของอาคารเมื่อมีแรงแผ่นดินไหวมากระทำในทิศทางแกน X สำหรับอาคารที่มีกำแพงเติมช่อง ได้คาบการสั่น 0.743 วินาที

ตาราง 4.13 คาบการสั่นพื้นฐานของอาคารแรงกระทำแกน X มีกำแพงเติมช่อง

ชั้น	น้ำหนักอาคาร w_j	ค่าเคลื่อนตัว Displacement δ_i	แรงเฉือนแต่ละชั้น F_j	$w_i\delta_i^2$	$F_i\delta_i$	T คาบการสั่น วินาที
5	156630.82	28.5	32043.12	127223383.5	913228.9	T=0.743
4	148713.20	23.7	25744.34	83530717.3	610140.9	
3	156533.94	16.1	18368.25	40575162.6	295728.8	
2	160159.6	8.1	10737.6	10508071.4	86974.6	
1	131404.24	0.7	2219.32	64388.1	1553.5	
			ผลรวม	261901722.9	1907626.7	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.1.6.3 คาบการสั่นพื้นฐานของอาคารเมื่อมีแรงแผ่นดินไหวมากระทำในทิศทางแกน Y สำหรับอาคารที่ไม่มีกำแพงเดมชอง ได้คาบการสั่น 0.689 วินาที

ตาราง 4.14 คาบการสั่นพื้นฐานของอาคารแรงกระทำแกน Y ไม่มีกำแพงเดมชอง

ชั้น	น้ำหนักอาคาร w_i	ค่าเคลื่อนตัว Displacement δ_i	แรงเฉือน แต่ละชั้น F_i	$w_i \delta_i^2$	$F_i \delta_i$	T คาบการสั่น วินาที
5	150780.9	25.2	31381.15	95751902.74	790804.98	T=0.689
4	142863.3	20.3	24730.39	58872537.3	502026.917	
3	150311.7	13.6	17640.45	27801652.03	239910.12	
2	153937.44	6.8	10315.59	7118067.226	70146.012	
1	131404.2	0.6	2172.3	47305.512	1303.38	
			ผลรวม	189591464.8	1604191.409	

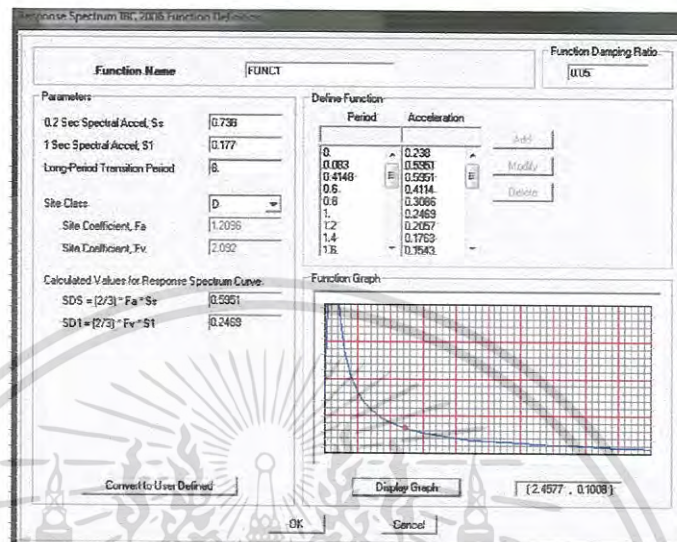
4.4.1.6.4 คาบการสั่นพื้นฐานของอาคารเมื่อมีแรงแผ่นดินไหวมากระทำในทิศทางแกน X สำหรับอาคารที่มีกำแพงเดมชอง ได้คาบการสั่น 0.484 วินาที

ตาราง 4.15 คาบการสั่นพื้นฐานของอาคารแรงกระทำแกน X มีกำแพงเดมชอง

ชั้น	น้ำหนักอาคาร w_i	ค่าเคลื่อนตัว Displacement δ_i	แรงเฉือน แต่ละชั้น F_i	$w_i \delta_i^2$	$F_i \delta_i$	T คาบการสั่น วินาที
5	156630.82	12.0	32043.12	22554838.08	384517.44	T=0.484
4	148713.20	10.0	25744.34	14871320	257443.4	
3	156533.94	7.0	18368.25	7670163.06	128577.75	
2	160159.6	3.8	10737.6	2312704.624	40802.88	
1	131404.24	0.5	2219.32	32851.06	1109.66	
			ผลรวม	47441876.82	812451.13	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.1.7 การวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีเชิงพลศาสตร์โดยวิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบ โหมด(Modal Response Spectrum Analysis) ค่าที่ใช้ในการออกแบบด้วยวิธีนี้ ใช้ค่าใน จ.ลำปาง อ.เมืองลำปาง ค่า S_a และ S_1 เท่ากับ 0.738 และ 0.177 ค่าชั้นดินไม่มีข้อมูลให้เป็นดินประเภท D



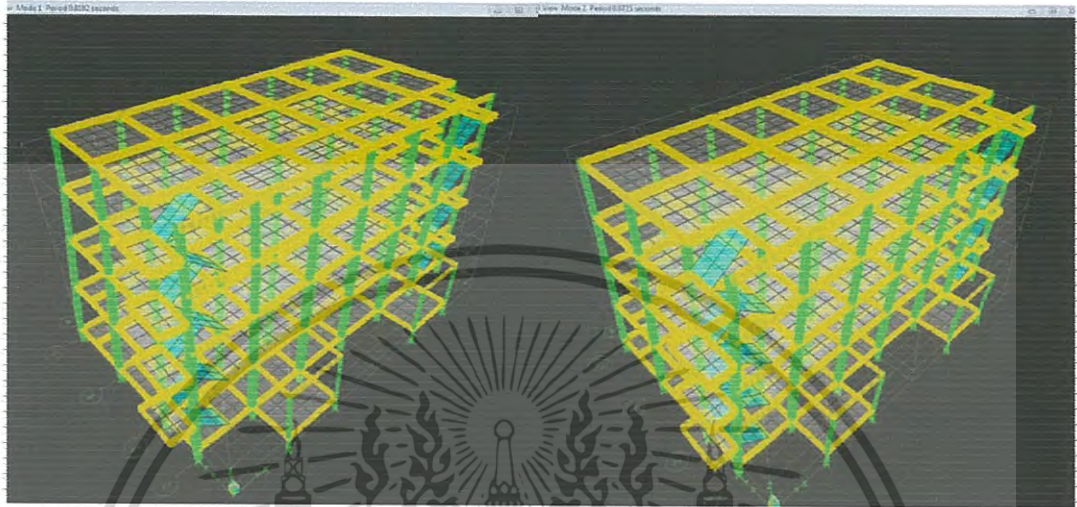
รูปที่ 4.24 การตั้งค่าการออกแบบด้วยวิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมด

ตาราง 4.16 Mode การสั่นพื้นฐานของอาคาร เนื่องจากการวิเคราะห์แบบ Dynamic

Mode	โหมดรูปแบบอาคารโหมด	
	แผ่นดินไหว ด้าน X และ Y ไม่มี Strut (s)	แผ่นดินไหว ด้าน X และ Y มี Strut (s)
1	0.818	0.700
2	0.672	0.422
3	0.568	0.392
4	0.270	0.230
5	0.218	0.148
6	0.191	0.140
7	0.151	0.138

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.1.7.1 การวิเคราะห์คาบการสั่นแบบ Dynamic เพื่อหาคาบการสั่นพื้นฐานของอาคารในแต่ละ Mode กรณีไม่มีกำแพงเติมช่อง และ กรณีมีกำแพงเติมช่อง

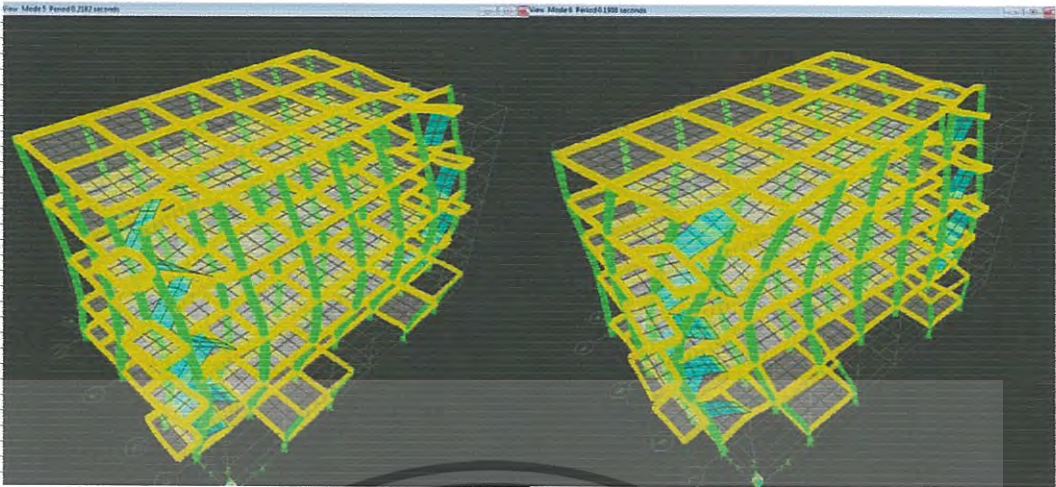


รูปที่ 4.25 Mode 1,2 คาบการสั่นของอาคารที่ 0.818 และ 0.672 วินาที

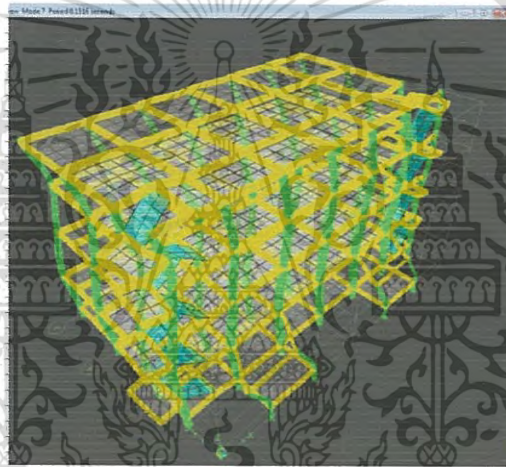


รูปที่ 4.26 Mode 3,4 คาบการสั่นของอาคารที่ 0.568 และ 0.270 วินาที

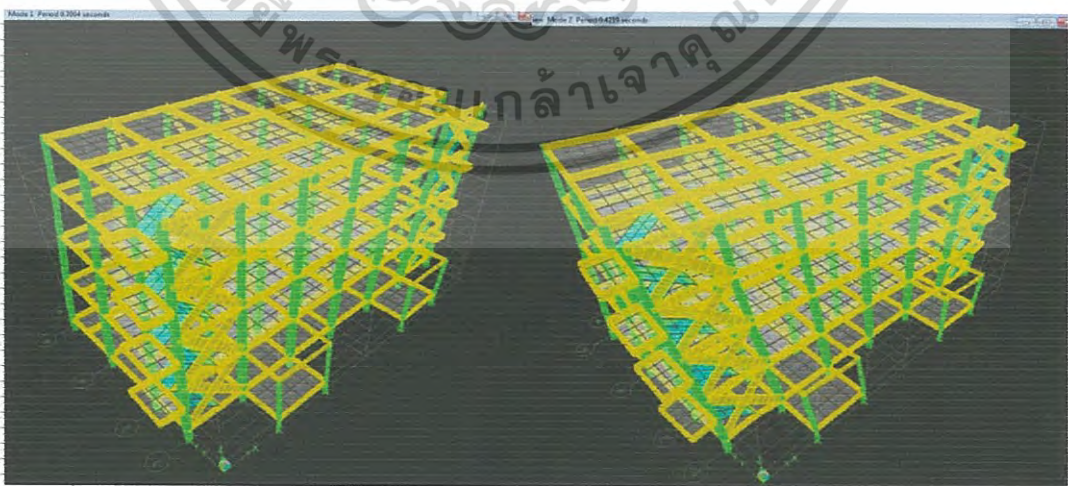
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.27 Mode 5,6 คาบการสั่นของอาคารที่ 0.218 และ 0.191 วินาที

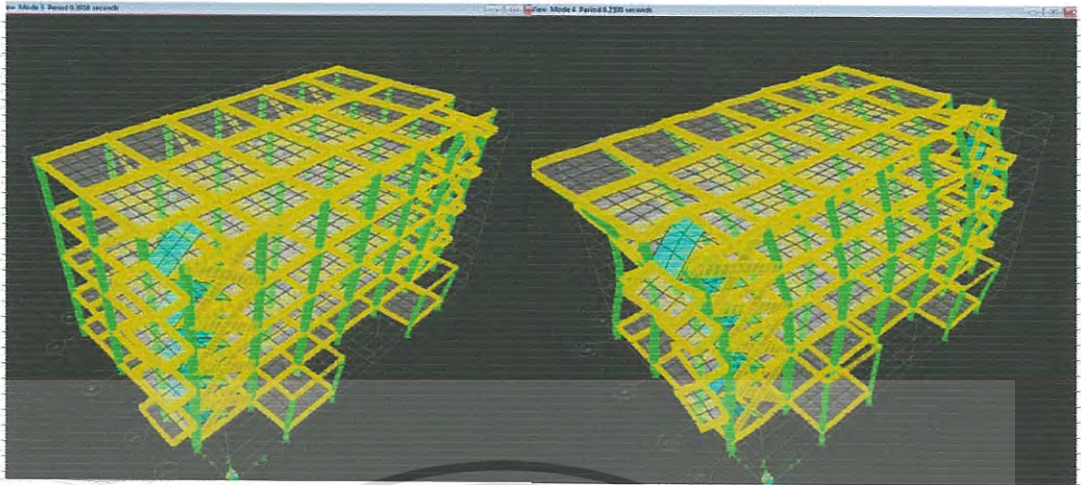


รูปที่ 4.28 Mode 7 คาบการสั่นของอาคารที่ 0.151 วินาที

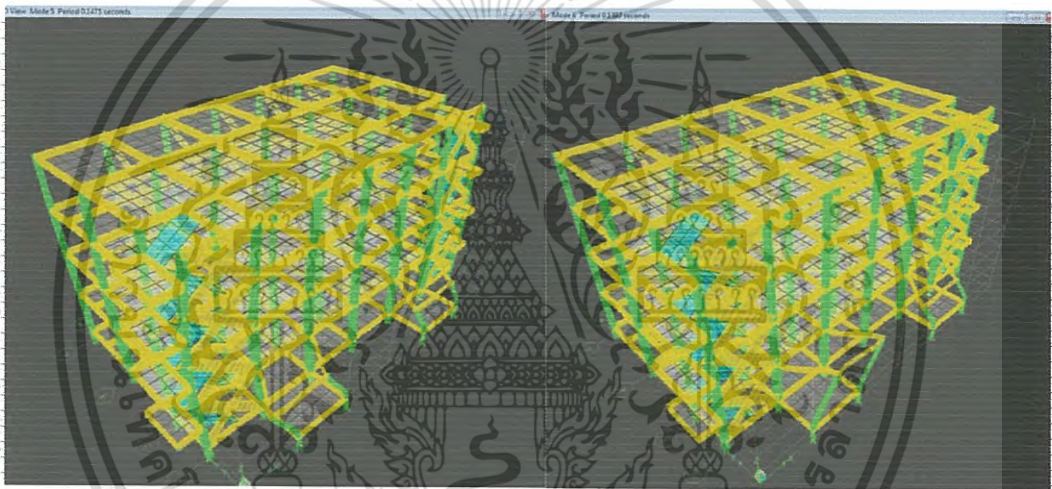


รูปที่ 4.29 Mode 1,2 คาบการสั่นของอาคารที่ 0.700 และ 0.422 วินาที

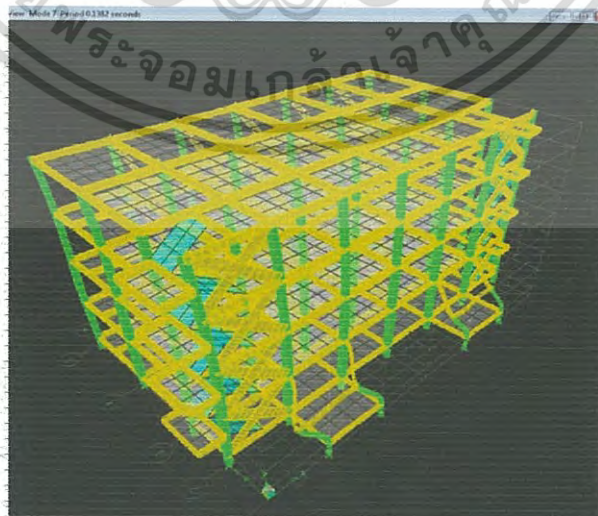
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.30 Mode 3,4 คาบการสั่นของอาคารที่ 0.392 และ 0.230 วินาที



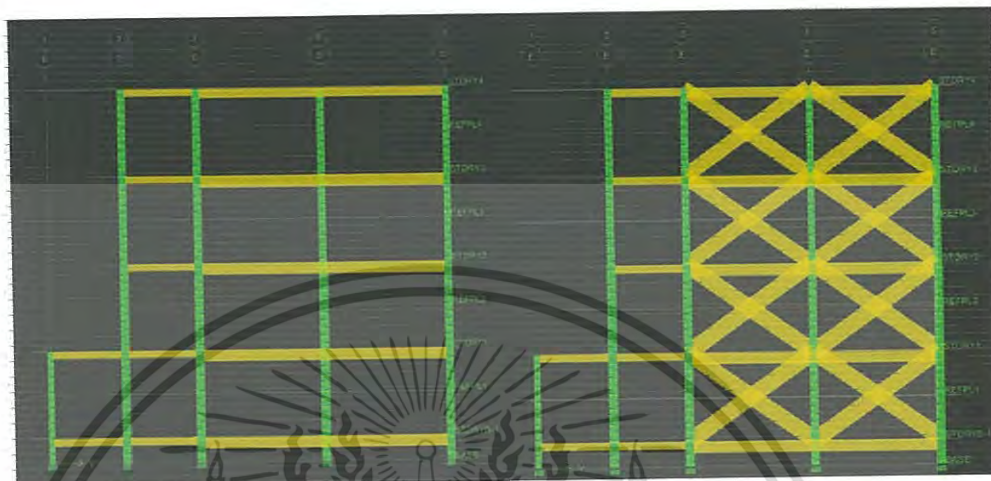
รูปที่ 4.31 Mode 5,6 คาบการสั่นของอาคารที่ 0.148 และ 0.140 วินาที



รูปที่ 4.32 Mode 7 คาบการสั่นของอาคารที่ 0.138 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.1.8 ผลการวิเคราะห์แรงภายในของเสาและคานเนื่องจากแรงแผ่นดินไหว การวิเคราะห์แรงแผ่นดินไหว



รูปที่ 4.33 หน้าตัดที่ใช้วิเคราะห์ในแนวแกน Y

4.4.1.8.1 ผลการวิเคราะห์แรงแนวแกนของเสาเมื่อมีแผ่นดินไหวกระทำในแนวแกน Y หน้าตัด E-3, E-4 และ E-5

ตาราง 4.17 ผลการวิเคราะห์แรงแนวแกนของเสาเมื่อมีแรงแผ่นดินไหวกระทำในแกน Y หน้าตัด E-3, 4, 5

ชั้น	หน้าตัด E-3		หน้าตัด E-4		หน้าตัด E-5		แรงในแนวแกนของ กำแพงเติมช่อง รับ แรงอัด	
	แรง แนวแกน เสา ไม่มีกำแพง เติมช่อง (kg)	แรง แนวแกน เสา มีกำแพง เติมช่อง (kg)	แรง แนวแกน เสา ไม่มีกำแพง เติมช่อง (kg)	แรง แนวแกน เสา มีกำแพง เติมช่อง (kg)	แรง แนวแกน เสา ไม่มีกำแพง เติมช่อง (kg)	แรง แนวแกน เสา มีกำแพง เติมช่อง (kg)	ระหว่าง หน้าตัด E-3,4 (kg)	ระหว่าง หน้าตัด E-4,5 (kg)
5	-256.13	1722.57	129.53	2272.99	-391.9	-118.54	-3904.2	-3538.4
4	-176.83	4998.82	272.06	3458.68	-1119.34	-2402.01	-5996.7	-5792.1
3	-72.01	8982.48	465.48	4216.73	-2073.13	-6119.65	-7139.5	-7086.1
2	82.29	13181.97	673.55	4574.28	-3115.46	-10666.8	-7371.7	-7527.3
1	170.60	13216.94	796.92	446.17	3757.43	-15409.4	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.1.8.2 ผลการวิเคราะห์แรงเฉือนเสาเมื่อมีแรงแผ่นดินไหวกระทำในแนวแกน Y หน้าตัด E-3,E-4 และ E-5

ตาราง 4.18 ผลการวิเคราะห์แรงเฉือนเสา เมื่อมีแรงแผ่นดินไหวกระทำในแกน Y หน้าตัด E-3,4,5

ชั้น	หน้าตัด E-3		หน้าตัด E-4		หน้าตัด E-5	
	แรงเฉือน เสา ไม่มีกำแพง เต็มช่อง (kg)	แรงเฉือน เสา มีกำแพง เต็มช่อง (kg)	แรงเฉือน เสา ไม่มีกำแพง เต็มช่อง (kg)	แรงเฉือน เสา มีกำแพง เต็มช่อง (kg)	แรงเฉือน เสา ไม่มีกำแพง เต็มช่อง (kg)	แรงเฉือน เสา มีกำแพง เต็มช่อง (kg)
5	703.87	291.9	830.28	283.43	546.07	160.37
4	732.6	322.28	925.95	375.8	665.41	260.39
3	1009.18	478.8	1350.85	604.8	883.82	383.37
2	1102.54	530.97	1331.54	643.26	1032.18	480.20
1	3141.08	3166.5	3692.92	3564.47	2973.64	3037.10

4.4.1.8.3 ผลการวิเคราะห์โมเมนต์ในเสาเมื่อมีแรงแผ่นดินไหวกระทำในแนวแกน Y หน้าตัด E-3,E-4 และ E-5

ตาราง 4.19 ผลการวิเคราะห์โมเมนต์ในเสาเมื่อมีแรงแผ่นดินไหวกระทำในแกน Y หน้าตัด E-3,4,5

ชั้น	หน้าตัด E-3		หน้าตัด E-4		หน้าตัด E-5	
	โมเมนต์ใน เสาไม่มี กำแพงเต็ม ช่อง (kg-m)	โมเมนต์ใน เสา มี กำแพงเต็ม ช่อง (kg-m)	โมเมนต์ใน เสาไม่มี กำแพงเต็ม ช่อง (kg-m)	โมเมนต์ใน เสา มี กำแพงเต็ม ช่อง (kg-m)	โมเมนต์ใน เสาไม่มี กำแพงเต็ม ช่อง (kg-m)	โมเมนต์ใน เสา มี กำแพงเต็ม ช่อง (kg-m)
5	-1167.93	-495.6	-1624.38	-563.5	-894.98	-276.4
4	1191.27	507.75	-1717.89	-711.2	1067.4	399.12
3	1690.69	771.82	-2435.67	-1113.1	1482.05	616.6
2	2277.81	1005.7	2607.81	1182.7	2179.66	931.7
1	3421.8	2830.3	3583.09	2946.6	3372.93	2792.53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.1.8.4 ผลการวิเคราะห์แรงบิดเสาเมื่อมีแรงแผ่นดินไหวกระทำในแนวแกน Y หน้าตัด E-3,E-4 และ E-5

ตาราง 4.20 ผลการวิเคราะห์แรงบิดเมื่อมีแรงแผ่นดินไหวกระทำในแกน Y หน้าตัด E-3,4,5

ชั้น	หน้าตัด E-3		หน้าตัด E-4		หน้าตัด E-5	
	แรงบิดใน เสาไม่มี กำแพงเต็ม ช่อง (kg-m)	แรงบิดใน เสาไม่มี กำแพงเต็ม ช่อง (kg-m)	แรงบิดใน เสาไม่มี กำแพงเต็ม ช่อง (kg-m)	แรงบิดใน เสาไม่มี กำแพงเต็ม ช่อง (kg-m)	แรงบิดใน เสาไม่มี กำแพงเต็ม ช่อง (kg-m)	แรงบิดใน เสาไม่มี กำแพงเต็ม ช่อง (kg-m)
5	-0.99	-0.79	-0.99	-0.79	-0.99	-0.79
4	-1.14	-0.82	-1.14	-0.82	-1.14	-0.82
3	-1.72	-1.27	-1.72	-1.27	-1.72	-1.27
2	-1.38	-1.07	-1.38	-1.07	-1.38	-1.07
1	-0.49	-0.44	-0.49	-0.44	-0.49	-0.44

4.4.1.8.5 ผลการวิเคราะห์แรงเฉือนคานเมื่อมีแรงแผ่นดินไหวกระทำในแนวแกน Y หน้าตัด E-3,E-4 และ E-5

ตาราง 4.21 ผลการวิเคราะห์แรงเฉือนคาน เมื่อมีแรงแผ่นดินไหวกระทำในแกน Y หน้าตัด E-3,4,5

ชั้น	หน้าตัด E	
	แรงเฉือนคาน เมื่อไม่มี กำแพงเต็ม ช่อง (kg)	แรงเฉือนคาน เมื่อมี กำแพงเต็ม ช่อง (kg)
5	349.96	146.19
4	-727.46	-277.11
3	954.63	416.95
2	-1043.23	-500.04
1	642.34	427.97

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.1.8.6 ผลการวิเคราะห์โมเมนต์ในคานเนื่องจากแรงแผ่นดินไหวกระทำในแนวแกน Y หน้าตัด E-3,4,5

ตาราง 4.22 โมเมนต์ในคานเมื่อมีแรงแผ่นดินไหวกระทำในแกน Y หน้าตัด E-3,4,5

ชั้น	หน้าตัด E-3,4,5 โมเมนต์บวก	
	โมเมนต์ใน คานไม่มี กำแพงเต็ม ช่อง (kg-m)	โมเมนต์ใน คานมี กำแพงเต็ม ช่อง (kg-m)
5	534.3	194.7
4	1577.9	587.3
3	2092.85	902.6
2	2297.15	1093.8
1	1434.53	952.4

4.4.1.8.7 ผลการวิเคราะห์แรงบิดคานเมื่อมีแรงแผ่นดินไหวกระทำในแนวแกน Y หน้าตัด E-3,E-4 และ E-5

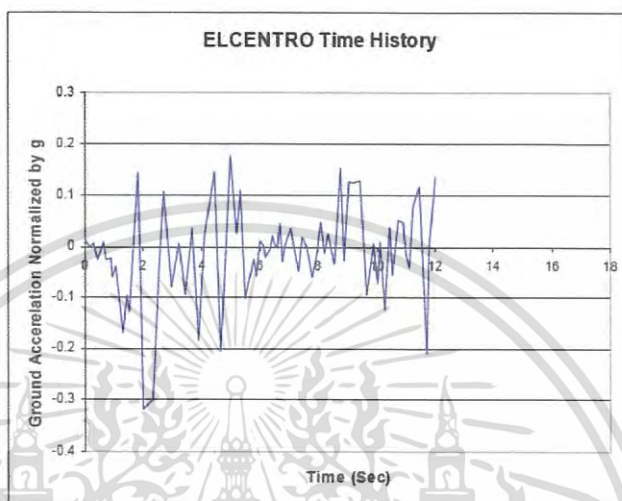
ตาราง 4.23 ผลการวิเคราะห์แรงบิดคานเมื่อมีแรงแผ่นดินไหวกระทำในแกน Y หน้าตัด E-3,4,5

ชั้น	หน้าตัด E-3,4,5 ค่า max	
	แรงบิดใน คานไม่มี กำแพงเต็ม ช่อง (kg-m)	แรงบิดใน คานไม่มี กำแพงเต็ม ช่อง (kg-m)
5	5.94	2.54
4	4.20	2.08
3	2.52	1.47
2	2.48	1.59
1	1.29	0.96

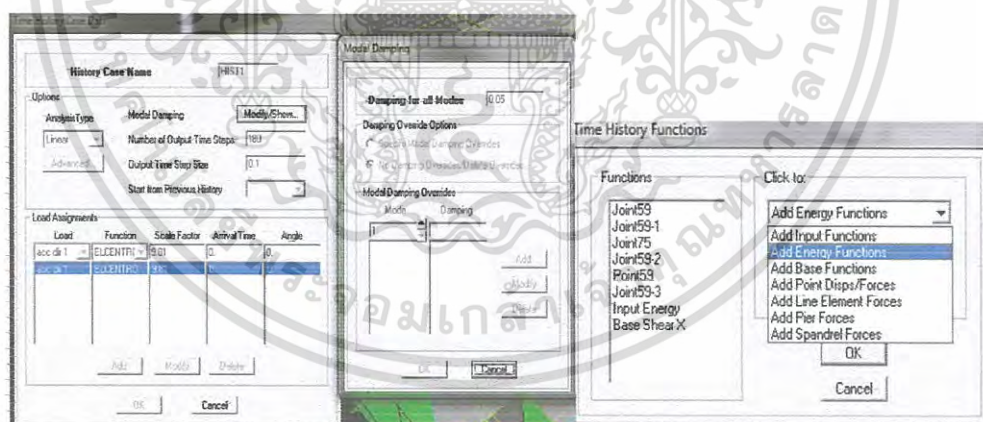
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.1.9 การวิเคราะห์แรงแผ่นดินไหวด้วยวิธีเชิงพลศาสตร์ โดยการวิเคราะห์แบบการตอบสนองแบบประวัติเวลา (Time History Analysis)

เป็นการวิเคราะห์คลื่นแผ่นดินไหว El-centro ที่บันทึกได้จากสถานี Imperial Valley Irrigation Distric ในปี ค.ศ.1940 ในรัฐแคลิฟอร์เนีย



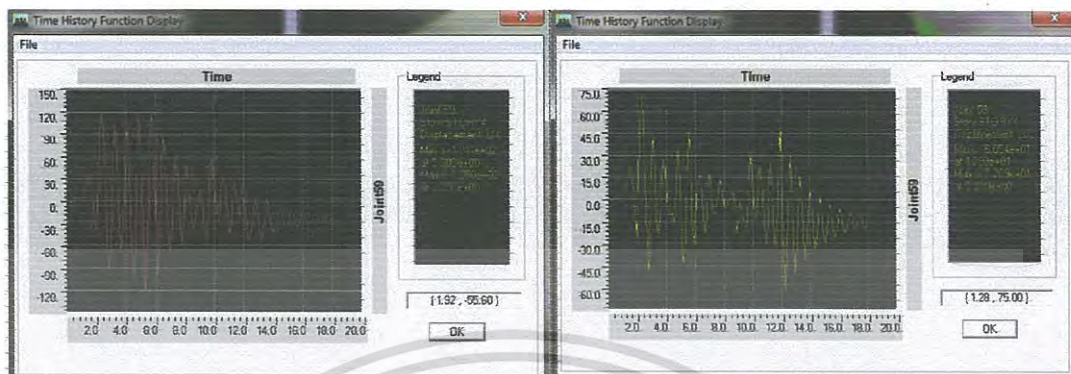
รูปที่ 4.34 คลื่นแผ่นดินไหว El-centro ในปี ค.ศ.1940



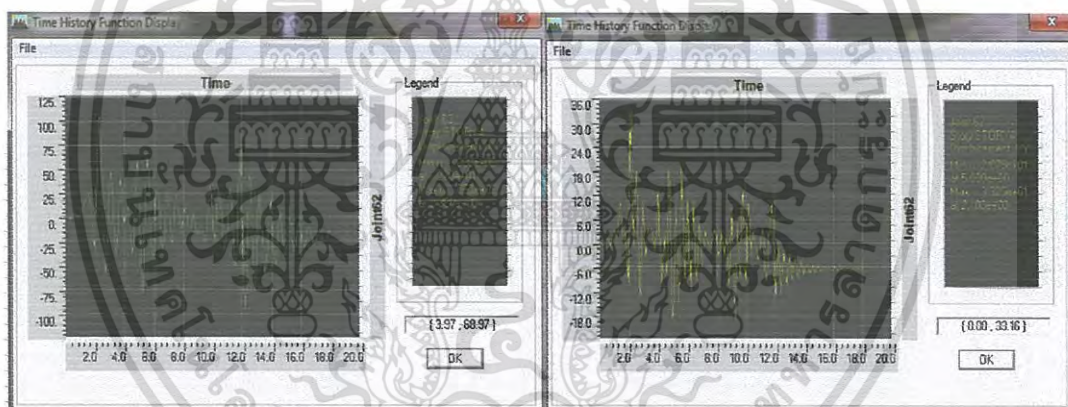
รูปที่ 4.35 การตั้งค่าเพื่อวิเคราะห์ค่าที่ต้องการทราบจากการวิเคราะห์แรงแผ่นดินไหวด้วยวิธีเชิงพลศาสตร์ แบบ (Time History Analysis)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.1.9.1 การวิเคราะห์ค่าการเคลื่อนที่ (Displacement) ของคลื่นแผ่นดินไหวด้วยวิธีเชิงพลศาสตร์ โดยการวิเคราะห์แบบการตอบสนองแบบประวัติเวลา (Time History Analysis)



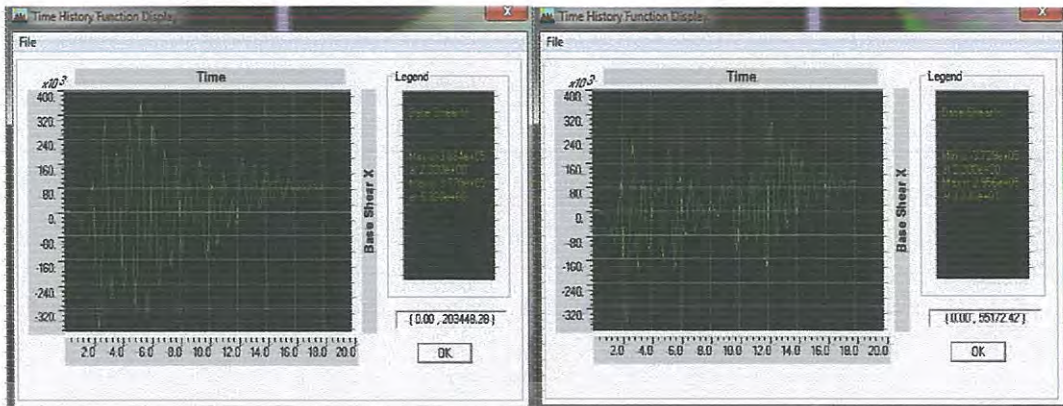
รูปที่ 4.36 กราฟค่าการเคลื่อนที่ (Displacement) กับเวลาของคลื่นแผ่นดินไหวที่วิเคราะห์ด้วยวิธีเชิงพลศาสตร์ แบบ (Time History Analysis) เมื่อมีแรงแผ่นดินไหวมากระทำในแนวแกน X



รูปที่ 4.37 กราฟระหว่างค่าการเคลื่อนที่ (Displacement) กับเวลาของคลื่นแผ่นดินไหวที่วิเคราะห์ด้วยวิธีเชิงพลศาสตร์ แบบ (Time History Analysis) เมื่อมีแรงแผ่นดินไหวมากระทำในแนวแกน Y

4.4.1.9.2 การวิเคราะห์แรงเฉือนของคลื่นแผ่นดินไหวด้วยวิธีเชิงพลศาสตร์ โดยการวิเคราะห์แบบการตอบสนองแบบประวัติเวลา (Time History Analysis)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.38 กราฟระหว่างแรงเฉือนที่ฐานอาคารกับเวลาของคลื่นแผ่นดินไหวที่วิเคราะห์ด้วยวิธีเชิงพลศาสตร์ แบบ (Time History Analysis) เมื่อมีแรงแผ่นดินไหวมากระทำในแนวแกน X



รูปที่ 4.39 กราฟระหว่างแรงเฉือนที่ฐานอาคารกับเวลาของคลื่นแผ่นดินไหวที่วิเคราะห์ด้วยวิธีเชิงพลศาสตร์ แบบ (Time History Analysis) เมื่อมีแรงแผ่นดินไหวมากระทำในแนวแกน Y

4.4.1.10 การออกแบบอาคาร

มีโหนดที่ใช้ในการออกแบบ 4 Load Combination ซึ่งในการออกแบบด้วยโปรแกรมเราจะพิจารณาค่าสูงสุดของการออกแบบ

$$\text{Load Combination 1 } U = 1.05D + 1.28L + 1.4E$$

$$\text{Load Combination 2 } U = 0.9D + 1.43E$$

$$\text{Load Combination 3 } U = 0.75(1.4D + 1.7L + 1.7W)$$

$$\text{Load Combination 4 } U = 0.9D + 1.3W$$

$$\text{Load Combination 5 } U = 1.05D + 1.28L - 1.4E$$

$$\text{Load Combination 6 } U = 0.9D - 1.43E$$

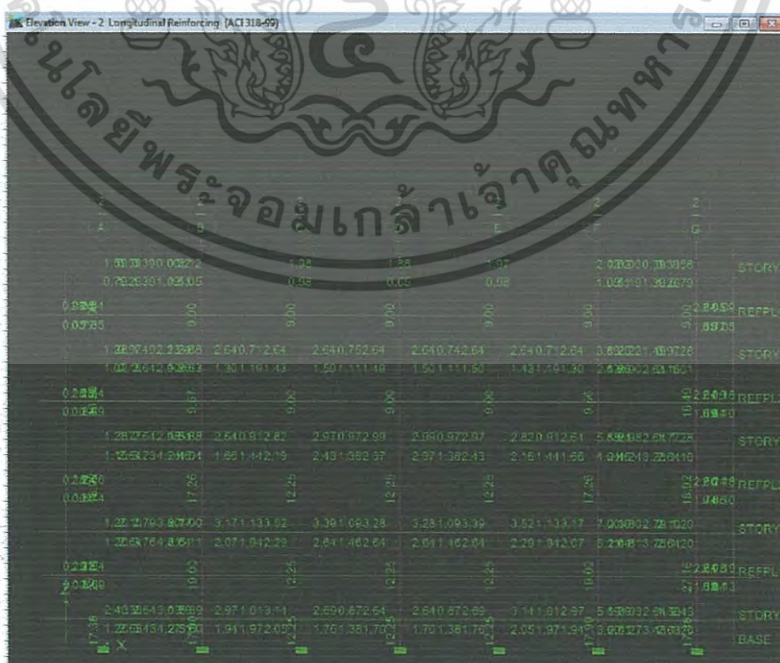
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในขั้นตอนการออกแบบจะมีบางหน้าตัดที่ไม่ผ่านเนื่องจากแรงบิด ทำให้ต้องมีการเพิ่มขนาดหน้าตัด



รูปที่ 4.40 หน้าตัดของเสาและคานในอาคารทีวีเคราะห์

คานที่มีสีแดงคือคานที่ออกแบบไม่ผ่าน ส่วนใหญ่ออกแบบไม่ผ่านเนื่องจากแรงเฉือนในคาน เนื่องจากขนาดหน้าตัดไม่เพียงพอต้องทำการเปลี่ยนหน้าตัด

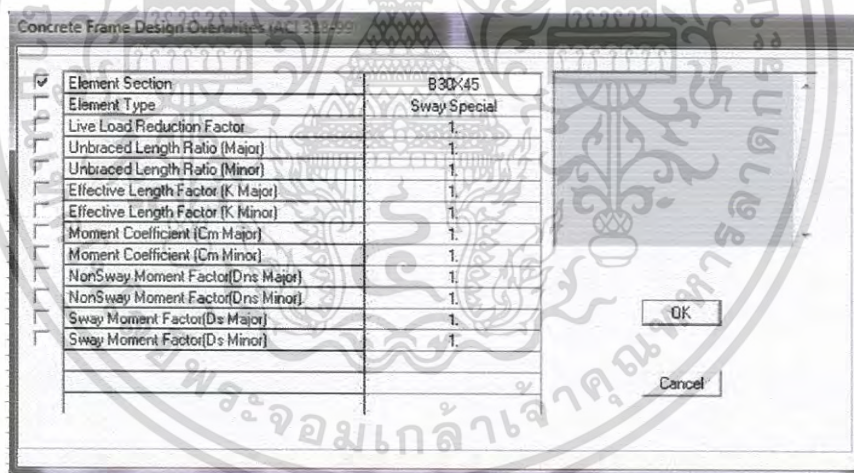


รูปที่ 4.41 หน้าตัดของเสาและคานที่ออกแบบไม่ผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SHEAR/TORSION DESIGN FOR U2 and T							
Rebar	Rebar	Rebar	Design	Design	Design	Design	
Au/S	At/S	Al	Uu	Tu	Mu	Pu	
0/S #45	0.042	2.146	13947.548	50781.309	-466047.27	0.000	
Design Forces							
Factored Uu	Factored Mu	Capacity Up	Gravity Ug				
10187.960	-466047.27	12653.670	-1293.870				
Capacity Moment (Left)							
Long.Rebar As(Bot)	Long.Rebar As(Top)	Cap.Moment Mpos	Cap.Moment Mneg				
5.114	6.997	894870.898	1161927.260				
Capacity Moment (Right)							
Long.Rebar As(Bot)	Long.Rebar As(Top)	Cap.Moment Mpos	Cap.Moment Mneg				
4.810	3.796	831025.691	667622.457				
Design Basis							
Design Uu	Conc.Area Ac	Area Ag	Tensn.Rein Ast	Strength Fys	Strength Fcs	LtWt.Reduc Factor	
13947.548	750.000	800.000	3.732	2400.000	240.000	1.000	
Shear Rebar Design							
Stress U	Conc.Cpcty Uc	Uppr.Limit Vmax	RebarArea Au	Shear Phi=Uc	Shear Phi=Us	Shear Phi=Un	
18.597	6.989	32.862	0.000	0.000	0.000	0.000	
Torsion Capacity							
Torsion Tu	Critical Phi=Tcr	Conc.Area Acp	Conc.Area Aoh	Conc.Area Ao	Perimeter Pcp	Perimeter Ph	
50781.309	18621.834	800.000	945.632	293.787	120.000	84.440	
0/S #45 Shear stress due to shear force and torsion together exceeds maximum allowed							

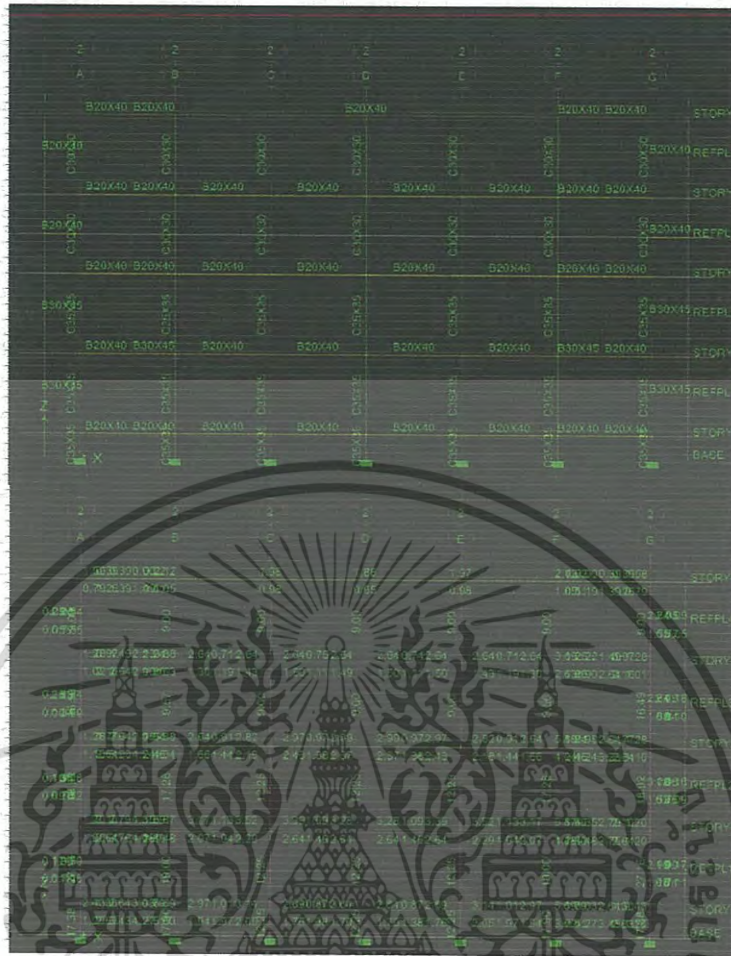
รูปที่ 4.42 ผลการออกแบบหน้าตัดที่ไม่ผ่าน



รูปที่ 4.43 ปรับแก้ขนาดหน้าตัดที่ไม่ผ่าน

โดยหน้าตัดคาน 20x30 ที่ไม่ผ่านเปลี่ยนเป็น 20x40 และ หน้าตัดคาน 20x45 ที่ไม่ผ่านเปลี่ยนเป็น 30x45 ถ้าไม่ผ่านก็เพิ่มขึ้นไปอีกหลังจากแก้หน้าตัดจนรันโปรแกรมผ่านหมดแล้วก็มาสรุปผลการออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.44 หลังจากปรับแก้ขนาดหน้าต่างที่ไม่ผ่าน

4.4.1.10.1 ผลการออกแบบอาคารเมื่อมีแรงกระทำด้านข้างในทิศทางแกน X

โดยการวิเคราะห์แรงกระทำด้านข้างในทิศทางแกน X จะวิเคราะห์หน้าต่าง 2



รูปที่ 4.45 การวิเคราะห์หน้าต่าง 2 แรงกระทำด้านข้างในทิศทางแกน X

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.1.10.1.1 ผลการออกแบบเหล็กเสริมหลักเสา เมื่อมีแรงกระทำด้านข้างในทิศทางแกน X

จะวิเคราะห์หน้าตัด 2-A,B,F,G เพราะเป็นหน้าตัดที่มีกำแพงเต็มช่อง โดยใช้ค่า max

ตาราง 4.24 ผลการออกแบบเสาเมื่อมีแรงกระทำในแนวแกน X กรณีไม่มีกำแพงเต็มช่อง

ชั้น	หน้าตัดเสา (cm ²)	หน้าตัดเหล็กเสริม หลักที่ใช้ (ค่า max) (cm ²)
5	30*30	9.00
4	30*30	15.55
3	35*35	19.07
2	35*35	25.91
1	35*35	16.47

ตาราง 4.25 ผลการออกแบบเสาเมื่อมีแรงกระทำในแนวแกน X กรณีมีกำแพงเต็มช่อง

ชั้น	หน้าตัดเสา (cm ²)	หน้าตัดเหล็กเสริม หลักที่ใช้ (ค่า max) (cm ²)
5	30*30	9.00
4	30*30	9.00
3	35*35	17.84
2	35*35	21.4
1	35*35	20.87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.1.10.1.2 ผลการออกแบบเหล็กปลอกเสา เมื่อมีแรงกระทำด้านข้างในทิศทางแกน X

จะวิเคราะห์หน้าตัด 2-A,B,F,G เพราะเป็นหน้าตัดที่มีกำแพงเต็มช่อง โดยใช้ค่า max สมมุติ ใช้เหล็กปลอก RB6 $A_v=0.565 \text{ cm}^2$ ระยะห่างเหล็กปลอกไม่เกิน 28.8 cm ปริมาณเหล็กชั้นต่ำ 1.96

ตาราง 4.26 ผลออกแบบเหล็กปลอกเสาเมื่อมีแรงกระทำในแนวแกน X กรณีไม่มีกำแพงเต็มช่อง

ชั้น	รับแรงเฉือนแกนหลัก (cm^2/cm)	รับแรงเฉือนแกนรอง (cm^2/cm)	ผลรวมเหล็กปลอก (cm^2/cm)	ผลรวมเหล็กปลอก (cm^2/m)
5	0.06	0.04	0.10	10
4	0.07	0.04	0.11	11
3	0.10	0.05	0.15	15
2	0.11	0.05	0.16	16
1	0.14	0.05	0.19	19

ตาราง 4.27 ผลออกแบบเหล็กปลอกเสาเมื่อมีแรงกระทำในแนวแกน X กรณีมีกำแพงเต็มช่อง

ชั้น	รับแรงเฉือนแกนหลัก (cm^2/cm)	รับแรงเฉือนแกนรอง (cm^2/cm)	ผลรวมเหล็กปลอก (cm^2/cm)	ผลรวมเหล็กปลอก (cm^2/m)
5	ใช้ปริมาณชั้นต่ำ	0.00	0.00	1.96
4	0.044	0.00	0.044	4.4
3	0.051	0.00	0.051	5.1
2	0.060	0.051	0.111	11.1
1	0.051	0.051	0.102	10.2

4.4.1.10.1.3 ผลการออกแบบเหล็กเสริมหลักคาน เมื่อมีแรงกระทำด้านข้างในทิศทางแกน X

จะวิเคราะห์หน้าตัด 2-A,B,F,G เพราะเป็นหน้าตัดที่มีกำแพงเต็มช่อง โดยใช้ค่า max

ตาราง 4.28 ผลการออกแบบคานเมื่อมีแรงกระทำในแนวแกน X กรณีไม่มีกำแพงเต็มช่อง

ชั้น	หน้าตัดคาน (cm^2)	เหล็กบน (cm^2)	เหล็กล่าง (cm^2)	เหล็กเสริมรับ แรงบิด (cm^2)
5	20*40	2.31	1.38	3.2
4	20*40	3.61	2.84	3.18
3	20*40	5.53	4.18	2.90
2	30*45	8.07	5.94	5.36
1	20*40	5.18	3.92	3.26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 4.29 ผลการออกแบบคานเมื่อมีแรงกระทำในแนวแกน X กรณีมีกำแพงเต็มช่อง

ชั้น	หน้าตัดคาน (cm ²)	เหล็กบน (cm ²)	เหล็กล่าง (cm ²)	เหล็กเสริมรับ แรงบิด (cm ²)
5	20*40	1.59	1.17	3.28
4	20*40	2.64	2.45	3.27
3	20*40	3.54	2.73	3.26
2	20*40	4.32	3.06	2.86
1	20*40	3.88	2.94	3.31

4.4.1.10.1.4 ผลการออกแบบเหล็กปลอกคาน เมื่อมีแรงกระทำด้านข้างในทิศทางแกน X

จะวิเคราะห์หน้าตัด 2-A,B,F,G เพราะเป็นหน้าตัดที่มีกำแพงเต็มช่อง โดยใช้ค่า max สมมุติ ใช้เหล็กปลอก RB6 $A_v=0.565 \text{ cm}^2$ ใช้ค่าระยะห่างไม่เกิน $D/2$ (D ค่าความสูงประสิทธิภาพ) ปริมาณเหล็กชั้นต่ำ 3.18 โดยในการวิเคราะห์คานจะมีแรง 2 แรงที่เกี่ยวข้อง คือ แรงเฉือน และ แรงบิด

ผลรวมเหล็กปลอกคาน = เหล็กรับแรงเฉือน + สองเท่าของเหล็กรับแรงบิด

ตาราง 4.30 ผลออกแบบเหล็กปลอกคานเมื่อมีแรงกระทำในแนวแกน X กรณีไม่มีกำแพงเต็มช่อง

ชั้น	รับแรงเฉือน (cm ² /cm)	รับแรงบิด (cm ² /cm)	ผลรวมเหล็กปลอก (cm ² /cm)	ผลรวมเหล็กปลอก (cm ² /m)
5	0.05	0.02	0.09	9
4	0.12	0.02	0.16	16
3	0.17	0.03	0.23	23
2	0.21	0.04	0.29	29
1	0.16	0.02	0.20	20

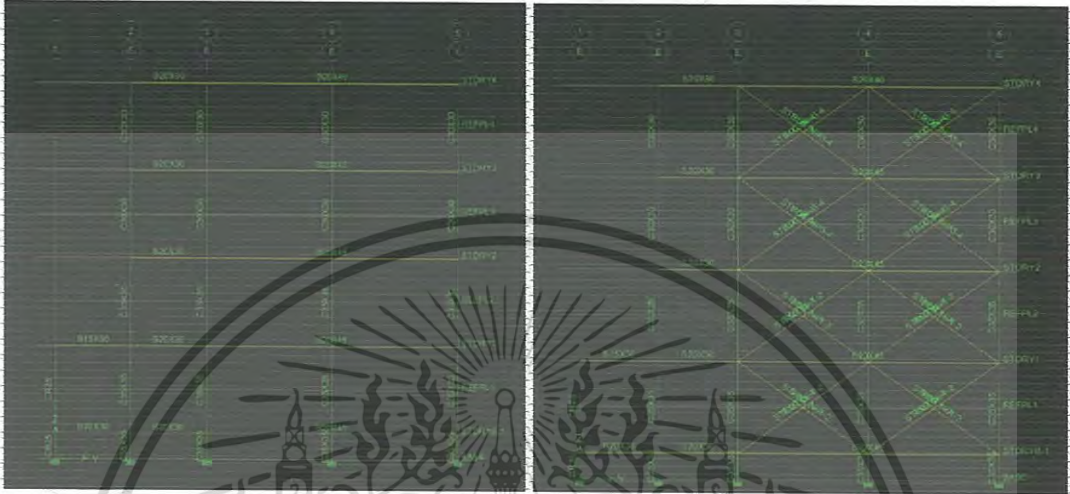
ตาราง 4.31 ผลออกแบบเหล็กปลอกคานเมื่อมีแรงกระทำในแนวแกน X กรณีมีกำแพงเต็มช่อง

ชั้น	รับแรงเฉือน (cm ² /cm)	รับแรงบิด (cm ² /cm)	ผลรวมเหล็กปลอก (cm ² /cm)	ผลรวมเหล็กปลอก (cm ² /m)
5	0.00	0.02	0.04	4
4	0.00	0.02	0.04	4
3	0.00	0.03	0.06	6
2	0.02	0.03	0.08	8
1	0.02	0.03	0.08	8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.1.10.2 ผลการออกแบบอาคารเมื่อมีแรงกระทำด้านข้างในทิศทางแกน Y

โดยการวิเคราะห์แรงกระทำด้านข้างในทิศทางแกน Y จะวิเคราะห์หน้าตัด 2



รูปที่ 4.46 การวิเคราะห์หน้าตัด E แรงกระทำด้านข้างในทิศทางแกน Y

4.4.1.10.2.1 ผลการออกแบบเหล็กเสริมหลักเสา เมื่อมีแรงกระทำด้านข้างในทิศทางแกน Y

จะวิเคราะห์หน้าตัด E-3,4,5 เพราะเป็นหน้าตัดที่มีกำแพงเต็มช่อง โดยใช้ค่า max

ตาราง 4.32 ผลการออกแบบเสาเมื่อมีแรงกระทำในแนวแกน Y กรณีไม่มีกำแพงเต็มช่อง

ชั้น	หน้าตัดเสา (cm ²)	หน้าตัดเหล็กเสริม หลักที่ใช้ (ค่า max) (cm ²)
5	30*30	9.00
4	30*30	9.00
3	35*35	12.25
2	35*35	12.25
1	35*35	12.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 4.33 ผลการออกแบบเสาเมื่อมีแรงกระทำในแนวแกน Y กรณีมีกำแพงเต็มช่อง

ชั้น	หน้าตัดเสา (cm ²)	หน้าตัดเหล็กเสริม หลักที่ใช้ (ค่า max) (cm ²)
5	30*30	9.00
4	30*30	9.00
3	35*35	12.25
2	35*35	12.25
1	35*35	12.25

4.4.1.10.2.2 ผลการออกแบบเหล็กปลอกเสา เมื่อมีแรงกระทำด้านข้างในทิศทางแกน Y

จะวิเคราะห์หน้าตัด E-3,4,5 เพราะเป็นหน้าตัดที่มีกำแพงเต็มช่อง โดยใช้ค่า max สมมุติใช้เหล็กปลอก RB6 $A_v=0.565 \text{ cm}^2$ ระยะห่างเหล็กปลอกไม่เกิน 28.8 cm ปริมาณเหล็กชั้นต่ำ 1.96

ตาราง 4.34 ผลการออกแบบเหล็กปลอกเสาเมื่อมีแรงกระทำในแนวแกน Y กรณีไม่มีกำแพงเต็มช่อง

ชั้น	รับแรงเฉือนแกนหลัก (cm ² /cm)	รับแรงเฉือนแกนรอง (cm ² /cm)	ผลรวมเหล็กปลอก (cm ² /cm)	ผลรวมเหล็กปลอก (cm ² /m)
5	0.04	0.06	0.10	10
4	0.00	0.00	0.00	1.96
3	0.00	0.00	0.00	1.96
2	0.00	0.00	0.00	1.96
1	0.00	0.05	0.05	5

ตาราง 4.35 ผลการออกแบบเหล็กปลอกเสาเมื่อมีแรงกระทำในแนวแกน Y กรณีมีกำแพงเต็มช่อง

ชั้น	รับแรงเฉือนแกนหลัก (cm ² /cm)	รับแรงเฉือนแกนรอง (cm ² /cm)	ผลรวมเหล็กปลอก (cm ² /cm)	ผลรวมเหล็กปลอก (cm ² /m)
5	0.00	0.00	0.00	1.96
4	0.00	0.00	0.00	1.96
3	0.00	0.00	0.00	1.96
2	0.00	0.00	0.00	1.96
1	0.00	0.05	0.05	5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.1.10.2.3 ผลการออกแบบเหล็กเสริมหลักคาน เมื่อมีแรงกระทำด้านข้างในทิศทางแกน Y

จะวิเคราะห์หน้าตัด E-3,4,5 เพราะเป็นหน้าตัดที่มีกำแพงเต็มช่อง โดยใช้ค่า max

ตาราง 4.36 ผลการออกแบบคานเมื่อมีแรงกระทำในแนวแกน Y กรณีไม่มีกำแพงเต็มช่อง

ชั้น	หน้าตัดคาน (cm ²)	เหล็กบน (cm ²)	เหล็กล่าง (cm ²)	เหล็กเสริมรับ แรงบิด (cm ²)
5	20*40	2.77	1.75	0.00
4	20*45	6.63	4.88	0.00
3	20*45	7.02	4.77	0.00
2	20*45	7.19	4.74	0.00
1	20*45	6.19	4.22	0.00

ตาราง 4.37 ผลการออกแบบคานเมื่อมีแรงกระทำในแนวแกน Y กรณีมีกำแพงเต็มช่อง

ชั้น	หน้าตัดคาน (cm ²)	เหล็กบน (cm ²)	เหล็กล่าง (cm ²)	เหล็กเสริมรับ แรงบิด (cm ²)
5	20*40	2.64	1.66	0.00
4	20*45	5.67	4.57	0.00
3	20*45	5.79	4.35	0.00
2	20*45	5.90	4.30	0.00
1	20*45	5.68	4.06	0.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.1.10.2.4 ผลการออกแบบเหล็กปลอกคาน เมื่อมีแรงกระทำด้านข้างในทิศทางแกน Y

จะวิเคราะห์หน้าตัด E-3,4,5 เพราะเป็นหน้าตัดที่มีกำแพงเต็มช่อง โดยใช้ค่า max สมมุติใช้เหล็กปลอก RB6 $A_v=0.565 \text{ cm}^2$ ใช้ค่าระยะห่างไม่เกิน $D/2$ (D ค่าความสูงประสิทธิภาพ) ปริมาณเหล็กชั้นต่ำ 3.18 โดยในการวิเคราะห์คานจะมีแรง 2 แรงที่เกี่ยวข้อง คือ แรงเฉือน และ แรงบิด

ผลรวมเหล็กปลอกคาน = เหล็กรับแรงเฉือน + สองเท่าของเหล็กรับแรงบิด

ตาราง 4.38 ผลการออกแบบเหล็กปลอกคานเมื่อมีแรงกระทำในแนวแกน Y กรณีไม่มีกำแพงเต็มช่อง

ชั้น	รับแรงเฉือน (cm^2/cm)	รับแรงบิด (cm^2/cm)	ผลรวมเหล็กปลอก (cm^2/cm)	ผลรวมเหล็กปลอก (cm^2/m)
5	0.04	0.00	0.04	4
4	0.05	0.00	0.05	5
3	0.05	0.00	0.05	5
2	0.05	0.00	0.05	5
1	0.05	0.00	0.05	5

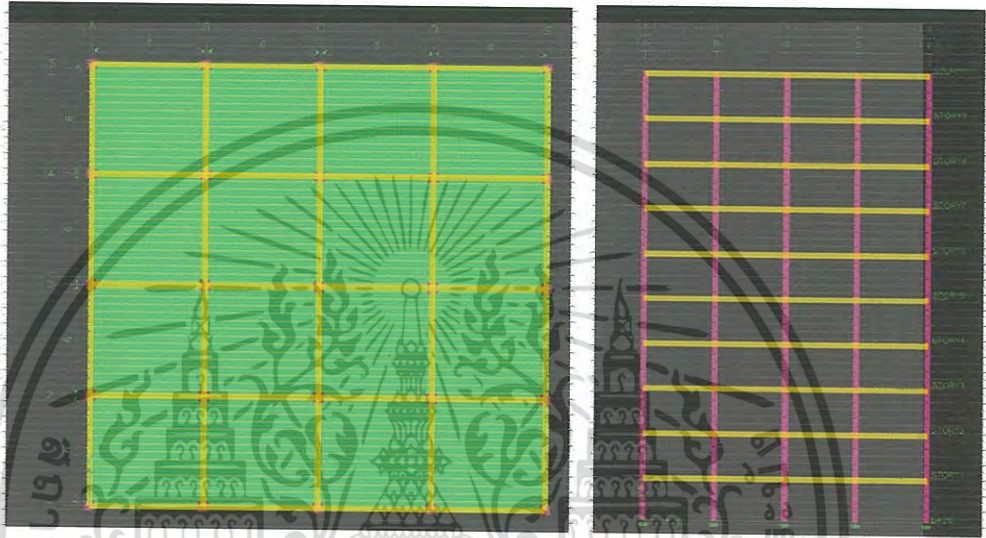
ตาราง 4.39 ผลการออกแบบเหล็กปลอกคานเมื่อมีแรงกระทำในแนวแกน Y กรณีมีกำแพงเต็มช่อง

ชั้น	รับแรงเฉือน (cm^2/cm)	รับแรงบิด (cm^2/cm)	ผลรวมเหล็กปลอก (cm^2/cm)	ผลรวมเหล็กปลอก (cm^2/m)
5	0.03	0.00	0.03	3.23
4	0.03	0.00	0.03	3.18
3	0.03	0.00	0.03	3.18
2	0.03	0.00	0.03	3.18
1	0.03	0.00	0.03	3.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2 โมเดลอาคาร 10 ชั้น เพื่อจำลองกรณีมีช่องเปิดด้านล่าง

แบบจำลองขนาด 10 ชั้น สูงชั้นละ 4 เมตร ความสูงชั้นบนสุด 40 เมตร ตัวอาคารมีระยะห่างระหว่างเสาในแนวแกน X และ Y 6 เมตรเท่ากันทั้งอาคาร ที่ฐานของอาคารจำลองให้ Support เป็นแบบยึดแน่น (Fix) อาคารอยู่ใน อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่



รูปที่ 4.47 รูปแปลนอาคาร 10 ชั้น



รูปที่ 4.48 ขนาดของเสาและคาน คือ 50x50 cm และ 50x25 cm สำหรับอาคาร 10 ชั้น

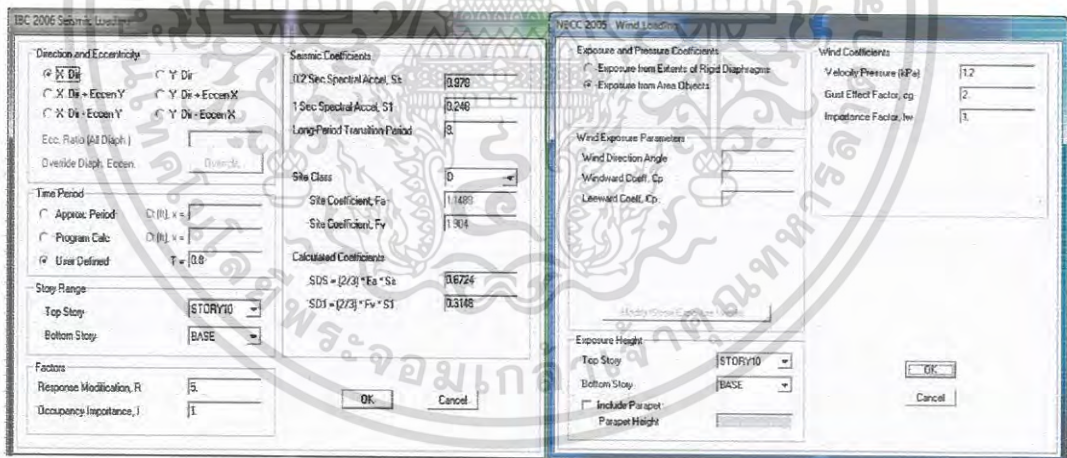
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2.1 ค่าที่ใช้ในการออกแบบและมาตรฐานการออกแบบ

ออกแบบด้วยมาตรฐานแรงลมของ NBCC 2005 ซึ่งคล้ายกับมาตรฐานของ มยพ. 1311-50 และ ออกแบบแผ่นดินไหวตามมาตรฐานของ IBC 2006 ซึ่งเหมือนกับมาตรฐานของไทยคือ มยพ.1302 มีการใช้น้ำหนักบรรทุกจรขนาด 200 kg/m^2 เต็มพื้นที่อาคาร น้ำหนักบรรทุกคงที่ (Superdead load) 100 kg/m^2 น้ำหนักผนัง 100 kg/m

คำนวณขนาดแรงลมตามมาตรฐาน มยพ.1311-50 ขนาดแรงลมตามมาตรฐาน กรุงเทพมหานคร 1.2 kPa แรงลมประกอบเนื่องจากการกระโชกของลม $C_p = 2$ สำหรับหน่วยแรงลม สดัดเทียบเท่าที่กระทำกับพื้นผิวภายนอกอาคาร ตัวประกอบความสำคัญประเภท ปรกติ $I = 1$ C_p ด้านต้นลม 0.8 และด้านท้ายลม -0.5

ออกแบบแผ่นดินไหวตามมาตรฐาน มยพ. 1302 ไม่มีข้อมูลดินให้เป็นดินประเภท D ให้ค่า S_s และ ค่า S_1 เท่ากับ 0.878 และ 0.248 ตามลำดับ คาบการสั่นพื้นฐานของอาคารคอนกรีตเสริม เหล็ก $T = 0.02 \times 40 = 0.8$ ค่า Factors ด้วยระบบโครงสร้างแบบโครงต้านแรงดัดคอนกรีตเสริม เหล็กที่มีความเหนียวจำกัด $R = 5$ ค่าตัวประกอบความสำคัญของอาคารปรกติ $I = 1$

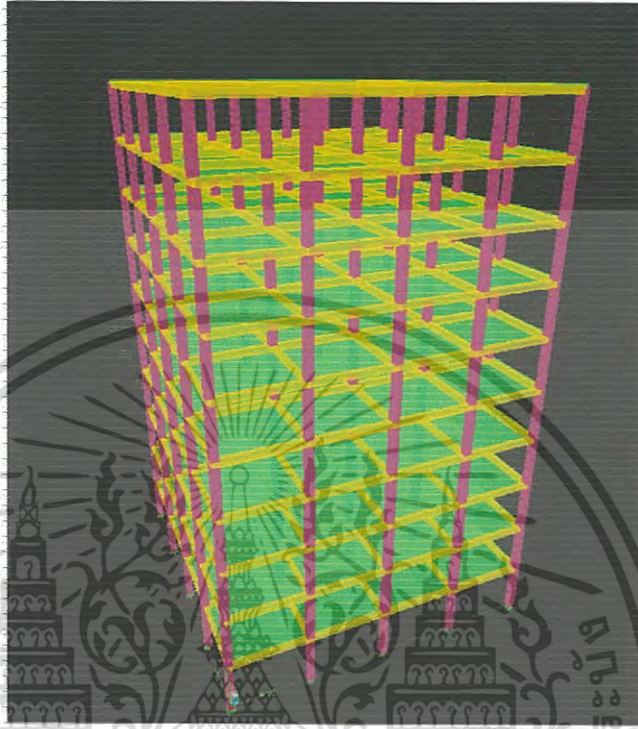


รูปที่ 4.49 คำนวณขนาดแรงลมและแรงแผ่นดินไหวตามมาตรฐาน มยพ.1311-50 และ มยพ.1302 ในพื้นที่ อ.เมือง จ. เชียงใหม่ ไม่มีข้อมูลดินสมมติให้เป็นดินประเภท D สำหรับอาคาร 10 ชั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2. 2 การจำแนกแบบจำลองออกเป็น 3 รูปแบบ

1. รูปแบบการวิเคราะห์ปกติ (Normal mode)



รูปที่ 4.50 รูปแบบการวิเคราะห์ปกติ (Normal mode) สำหรับอาคาร 10 ชั้น

2. รูปแบบการวิเคราะห์แบบมีค้ำยันและช่องเปิดชั้นล่าง (Strut open first mode)

การคำนวณความกว้างเทียบเท่าของ Strut

จากสมการมาตรฐาน FEMA 306 จะได้ว่า $L_{inf} = 600 \text{ cm}$

$$E_{me} = 35,770 \text{ kg/cm}^2 \text{ จากการทดลอง}$$

$$h_{col} = 450 \text{ cm}$$

$$h_{inf} = 400 \text{ cm}$$

$$E_{fe} = 234,000 \text{ kg/cm}^2$$

$$I_{col} = 520833 \text{ cm}^4$$

$$r_{inf} = 721.11 \text{ cm}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$t_{inf} = 7.5 \text{ cm (รวมอาบ)}$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{400}{600} = 33.7^\circ \text{ (องศา)}$$

นำค่ามามาคำนวณในสมการ

$$\lambda_h = \left[\frac{E_{me} t_{inf} \sin 2\theta}{4 E_{fe} I_{col} h_{inf}} \right]^{\frac{1}{4}}$$

$$= \left[\frac{35,770 * 7.5 * \sin 67.4^\circ}{4 * 234,000 * 520833 * 400} \right]^{\frac{1}{4}}$$

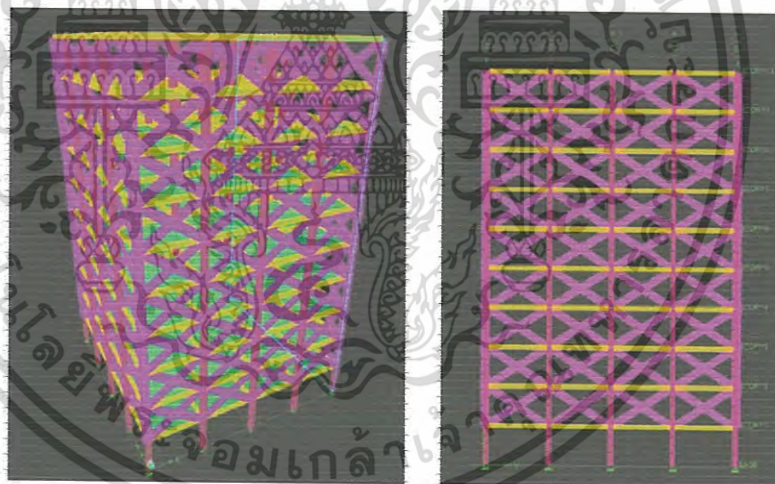
$$= 5.97 * 10^{-3}$$

จากนั้นนำค่า λ_h แทนหาค่า a จากสมการ

$$a = 0.175 (\lambda_h h_{col})^{-0.4} r_{inf}$$

$$a = 0.175 (450 * 5.97 * 10^{-3})^{-0.4} * 721.11$$

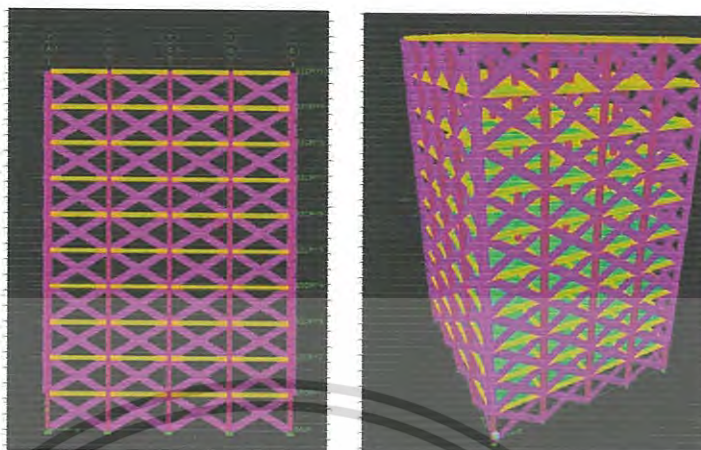
$$a = 85 \text{ cm}$$



รูปที่ 4.51 รูปแบบการวิเคราะห์แบบมีค้ำยันและช่องเปิดชั้นล่าง (Strut open first mode) สำหรับอาคาร 10 ชั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.รูปแบบการวิเคราะห์แบบมีค้ำยันและไม่มีช่องเปิดชั้นล่าง (Strut mode)



รูปที่ 4.52 รูปแบบการวิเคราะห์แบบมีค้ำยันและไม่มีช่องเปิดชั้นล่าง (Strut mode) สำหรับอาคาร 10 ชั้น

4.4.2. 3 ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมสำหรับอาคาร 10 ชั้น

ตาราง 4.40 ผลของแรงลมที่มีผลต่อการเคลื่อนที่สูงสุด Sidesway สำหรับอาคาร 10 ชั้น

ชั้น	โหมดรูปแบบอาคารโหมด		
	Normal (mm)	Strut open first (mm)	Strut (mm)
10	135.74	67.59	61.67
9	133.24	66.31	60.39
8	128.14	63.87	57.95
7	120.14	60.19	54.27
6	109.25	55.31	49.39
5	95.54	49.25	43.33
4	79.08	42.07	36.14
3	60.00	33.80	27.88
2	38.54	24.52	18.59
1	15.86	13.42	8.39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 4.41 ผลของแรงแผ่นดินไหวที่มีผลต่อการเคลื่อนที่สูงสุด Sidesway สำหรับอาคาร 10 ชั้น

ชั้น	โหมตรูปแบบอาคารโหมด		
	Normal (mm)	Strut open first (mm)	Strut (mm)
10	205.09	111.76	96.02
9	198.41	108.09	92.67
8	186.95	102.07	87.13
7	171.01	93.94	79.62
6	151.23	84.01	70.46
5	128.24	72.59	59.92
4	102.68	60.01	48.33
3	75.21	46.60	35.95
2	46.57	32.64	23.08
1	18.46	17.32	10.01

ตาราง 4.42 ผลของแรงเฉือนของอาคาร 10 ชั้นเนื่องจากแรงแผ่นดินไหว สำหรับอาคาร 10 ชั้น

ชั้น	โหมตรูปแบบอาคารโหมด		
	Normal (kg)	Strut open first (kg)	Strut (kg)
10	69096.02	76479.90	70555.27
9	134385.45	149962.17	138345.1
8	191404.17	214135.89	197547.5
7	240306.19	269174.36	248322.4
6	281264.11	315271.89	290848.9
5	314474.92	352650.16	325331.6
4	340169.00	381568.45	352009.7
3	358625.67	402341.16	371173.2
2	370204.07	415372.47	383195
1	375421.59	421140.62	388612.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

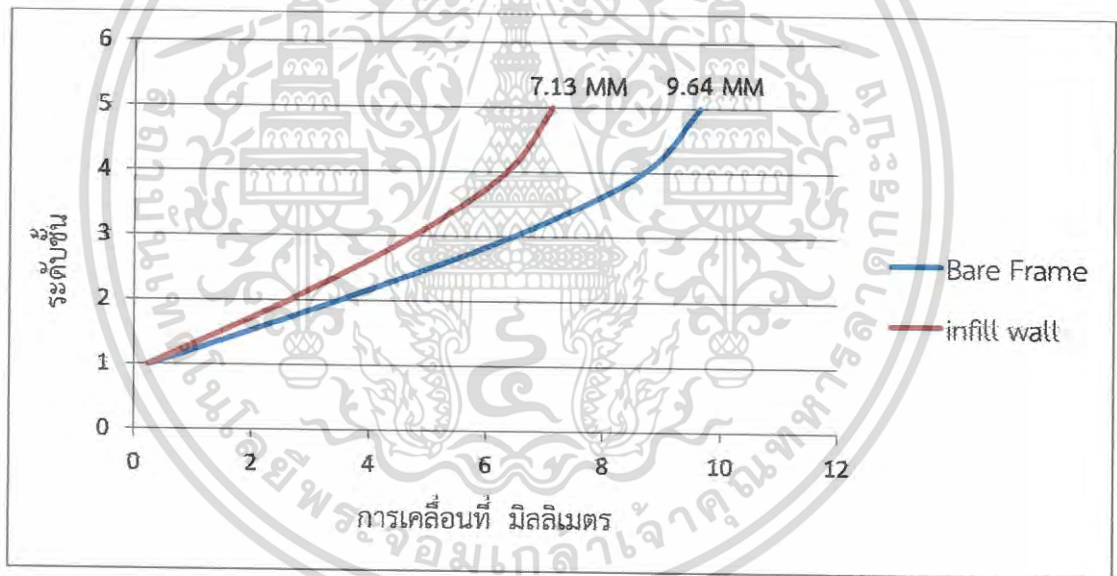
บทที่ 5

วิเคราะห์และวิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 วิเคราะห์ค่า Sidesway ของอาคารเนื่องจากมี wind load และ seismic load เมื่อแรงที่กระทำเป็นแบบเชิงเส้น

5.1.1 วิเคราะห์แบบเชิงเส้นเมื่อมีแรงมากระทำด้านข้างในแนวแกน X

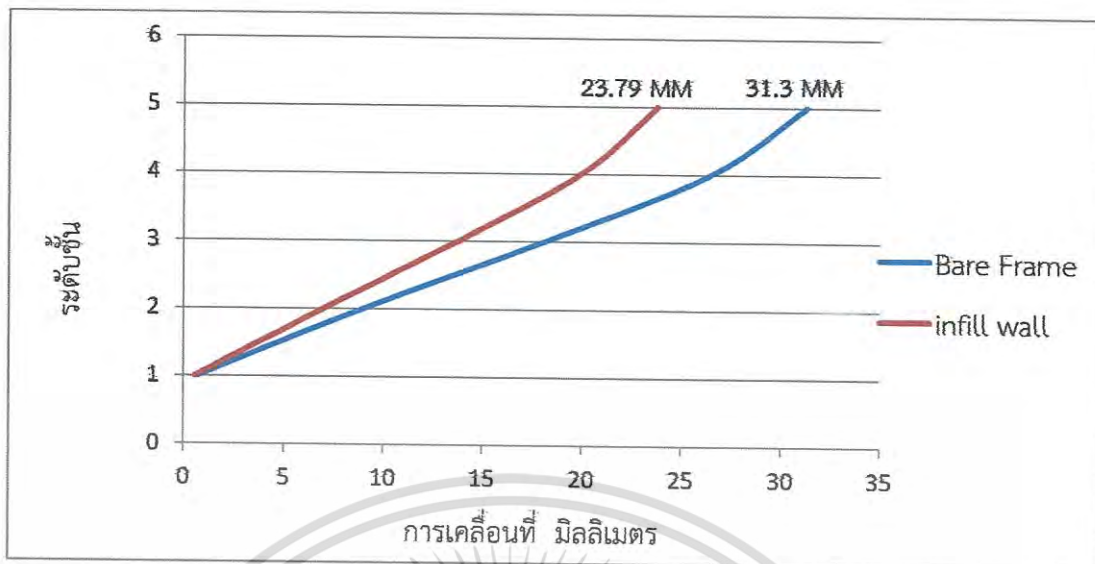
5.1.1.1 แรงลมกระทำในแนวแกน X จะมีการเคลื่อนที่สูงสุดของอาคารที่มีและไม่มีกำแพงเติมช่องคือ 9.64 และ 7.13 มิลลิเมตร จากกราฟทั้ง 5 ชั้นมีค่าการเคลื่อนที่ลดลงเฉลี่ย 13-26 %



รูปที่ 5.1 การเคลื่อนที่ (sidesways) ของอาคารเมื่อมีแรงลมในแนว แกน X

5.1.1.2 แรงแผ่นดินไหวกระทำในแนวแกน X ด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่าจะมีการเคลื่อนที่สูงสุดของอาคารที่มีและไม่มีกำแพงเติมช่องคือ 31.3 และ 23.79 มิลลิเมตรจากกราฟทั้ง 5 ชั้นมีค่าเฉลี่ยการเคลื่อนที่ลดลง 13-25%

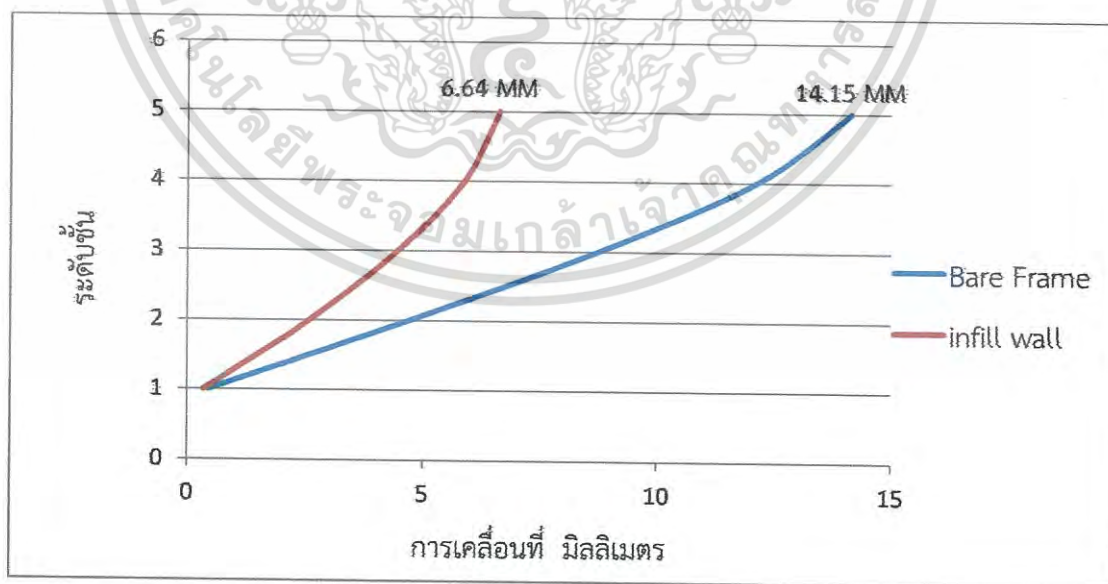
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.2 การเคลื่อนที่ (sidesways) ของอาคารเมื่อมีแรงแผ่นดินไหวด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่าในแนวแกน X

5.1.2 วิเคราะห์แบบเชิงเส้นเมื่อมีแรงกระทำด้านข้างในแนวแกน Y

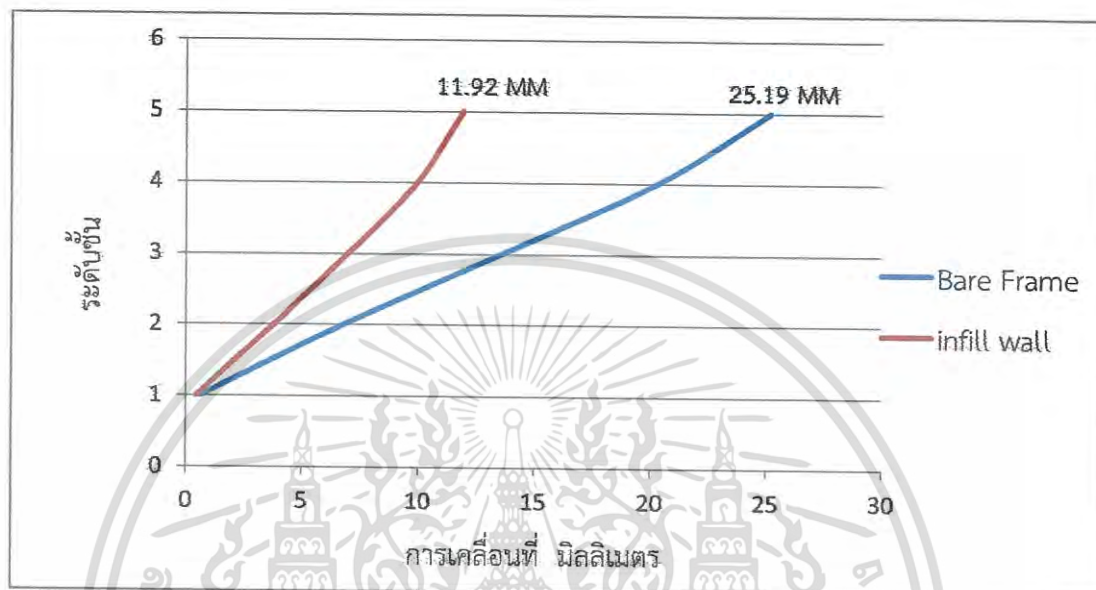
5.1.2.1 แรงลมกระทำในแนวแกน Y จะมีการเคลื่อนที่สูงสุดของอาคารที่มีและไม่มีกำแพงเติมช่องคือ 14.15 และ 6.64 มิลลิเมตรจากกราฟทั้ง 5 ชั้นมีการเคลื่อนที่ลดลงเฉลี่ย 23-53 %



รูปที่ 5.3 การเคลื่อนที่ (sidesways) ของอาคารเมื่อมีแรงลมในแนว แกน Y

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.2.2 แรงแผ่นดินไหวกระทำแนวแกน Y ด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่าจะมีการเคลื่อนที่สูงสุดของอาคารที่มีและไม่มีกำแพงเติมช่องคือ 23.19 และ 11.92 มิลลิเมตรจากกราฟทั้ง 5 ชั้นมีค่าเฉลี่ยการเคลื่อนที่ลดลง 24-53 %



รูปที่ 5.4 การเคลื่อนที่ (sideways) ของอาคารเมื่อมีแรงแผ่นดินไหวด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่าในแนวแกน Y

5.1.3 วิเคราะห์ผลการทดลองค่า Sidesway ของอาคารเนื่องจากมี wind load และ seismic load เมื่อแรงที่กระทำเป็นแบบเชิงเส้น

จากการวิเคราะห์พบว่ากำแพงเติมช่องสามารถช่วยลดการเคลื่อนที่ของอาคารในแนวแกน X ลง 13-26 % และในแนว Y 23-53 % ที่แกน Y ลดมากกว่าเพราะว่ามีกำแพงเติมช่องในแนวแกน Y มากกว่าในแนวแกน X ทำให้สติเฟนส์ในการต้านทานแรงด้านข้างในแนวแกน Y มีมากกว่า

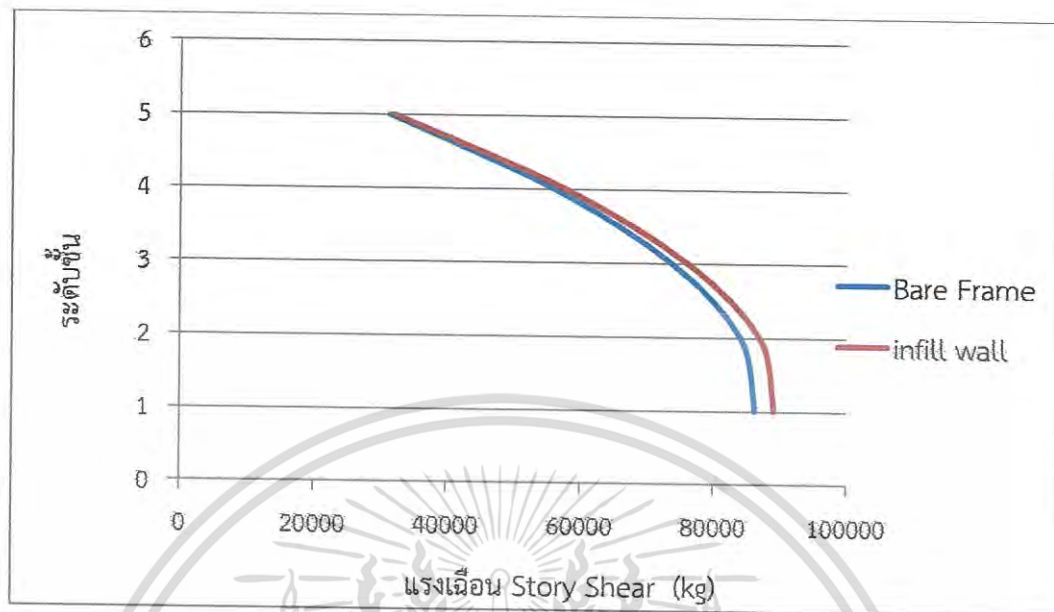
5.2 วิเคราะห์ค่าแรงเฉือนของอาคาร (Story Shear) เมื่อใช้แรง wind load และ seismic load เมื่อแรงที่กระทำเป็นแบบเชิงเส้น

5.2.1 วิเคราะห์แบบเชิงเส้นเมื่อมีแรงมากระทำด้านข้างในแนวแกน X

5.2.1.1 แรงลมกระทำในแนวแกน X และ แกน Y ค่าแรงเฉือนของอาคารไม่มีการเปลี่ยนแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.1.2 แรง seismic load มากระทำในแนวแกน X และ แกน Y



รูปที่ 5.5 ค่าแรงเฉือนของอาคาร (Story Shear) ของอาคารเมื่อมีแรงแผ่นดินไหวด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่าในแนวแกน X และ แกน Y

5.2.2 วิจารณ์ผลการทดลองค่าแรงเฉือนของอาคาร (Story Shear) ของอาคารเนื่องจากมี wind load และ seismic load เมื่อแรงที่กระทำเป็นแบบเชิงเส้น

ผลการทดลองพบว่าค่าแรงเฉือนเนื่องจากแรงลมไม่มีการเปลี่ยนแปลงเพราะว่าการวิเคราะห์แรงลมคิดเฉพาะผลของพื้นที่หน้าตัดที่รับลมของตัวอาคาร กำแพงเติมช่องที่อยู่ภายในอาคารจึงไม่มีผล ส่วนการวิเคราะห์ค่าแรงเฉือนเนื่องจากแรงแผ่นดินไหว มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง 2.1-3.4 % เพราะว่า กำแพงเติมช่องเพิ่มสติเฟเนสให้กับตัวอาคารทำให้อาคารแข็งขึ้นทำให้เพิ่มค่าแรงเฉือนในตัวอาคาร

5.3 วิเคราะห์ จุดศูนย์กลางของความแข็ง (Center of Rigidity CG) และ จุดศูนย์กลางมวล (Center of Mass CM)

พบว่าอาคารที่ไม่คิดผลของกำแพงเติมช่องมีค่าความแตกต่างระหว่าง จุด CG กับ CM อยู่ระหว่าง 0.026-2.8 m ในแนวแกน Y และ อาคารที่คิดผลของกำแพงเติมช่องมีค่าความแตกต่างระหว่าง จุด CG กับ CM อยู่ระหว่าง 0.034-5.05 ในแนวแกน Y ซึ่งจะเห็นว่าถ้าอาคารมีรูปแบบกำแพงที่ไม่สมมาตรจะทำให้มีผลต่อจุด CG กับ CM ซึ่งจะมีผลต่อแรงบิดของตัวอาคารเมื่อเกิดแรงแผ่นดินไหว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 วิเคราะห์ คาบการสั่นพื้นฐานของอาคารด้วยวิธีลักษณะการกระจายมวลภายในอาคารและ สติฟเนสของระบบโครงสร้างต้านแรงต้านข้างของอาคาร [14]

เมื่อมีแรงแผ่นดินไหวกระทำกับแกน X

- อาคารที่ไม่มีกำแพงเดมชอง มีค่า 0.824 วินาที
- อาคารที่มีกำแพงเดมชอง มีค่า 0.743 วินาที

เมื่อแรงแผ่นดินไหวกระทำกับแกน Y

- อาคารที่ไม่มีกำแพงเดมชอง มีค่า 0.689 วินาที
- อาคารที่มีกำแพงเดมชอง มีค่า 0.484 วินาที

จากการวิเคราะห์จะพบว่า กำแพงเดมชองจะทำให้คาบการสั่นตามธรรมชาติของอาคารลดลง หรือสั้นขึ้นนั่นเอง เนื่องมาจากกำแพงเดมชองเพิ่มความแข็งแรงให้กับอาคารทำให้อาคารมีความแข็งแกร่งมากขึ้น

5.5 วิเคราะห์ Mode การสั่นพื้นฐานของอาคาร เนื่องจากการวิเคราะห์แบบ Dynamic

ตารางที่ 5.1 วิเคราะห์ Mode การสั่นพื้นฐานของอาคาร เนื่องจากการวิเคราะห์แบบ Dynamic

Mode	โมดรูปแบบอาคารโหมด		ผลต่าง
	แผ่นดินไหว ด้าน X และ Y ไม่มี Strut (s)	แผ่นดินไหว ด้าน X และ Y มี Strut (s)	
1	0.818	0.700	-14.4
2	0.672	0.422	-37.2
3	0.568	0.392	-30.9
4	0.270	0.230	-14.8
5	0.218	0.148	-32.1
6	0.191	0.140	-26.7
7	0.151	0.138	-8.6

ผลต่างอยู่ระหว่าง 8-38 % เหตุผลที่ Mode การสั่นพื้นฐานของอาคารมีค่าลดลงเนื่องมาจาก อาคารมีสติฟเนสหรือความแข็งแกร่งมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.6 วิเคราะห์แรงแนวแกนของเสาเนื่องจากแรงแผ่นดินไหว ด้วยวิธีสถิตเทียบเท่า

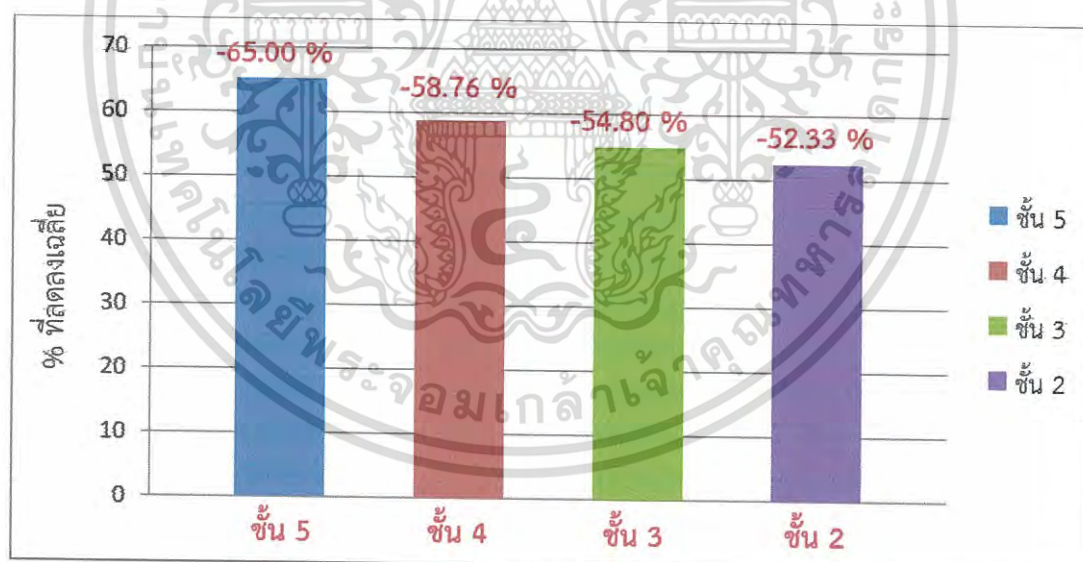
การวิเคราะห์แรงแผ่นดินไหว จะมีแรงที่เกี่ยวข้องคือแรงจากน้ำหนักของตัวโครงสร้างเองและแรงที่เกิดจากแผ่นดินไหว

เมื่อเกิดแรงแผ่นดินไหวกระทำด้านข้าง จะเกิดการถ่ายแรงตามพฤติกรรมของค้ำยัน เสาที่มีแรงดึงก็จะมีแรงดึงเพิ่มมากขึ้น เสาที่มีแรงอัดก็จะมีแรงอัดเพิ่มมากขึ้น โดยเฉลี่ยแล้ว ค้ำยันแนวทแยงมุมรับแรงอัดตามแนวแกนสูงสุด 7527.3 kg

5.7 วิเคราะห์แรงเฉือนของเสาเนื่องจากแรงแผ่นดินไหว ด้วยวิธีสถิตเทียบเท่า

ทุกการวิเคราะห์แรงแผ่นดินไหว จะมีแรงที่เกี่ยวข้องคือแรงจากน้ำหนักของตัวโครงสร้างเองและแรงที่เกิดจากแผ่นดินไหว

เมื่อวิเคราะห์แรงแผ่นดินไหวที่กระทำในทิศทางแกน Y ค่าแรงเฉือนในเสาจะลดลงเฉลี่ย 52-65 % หรือโดยรวมลดลงเฉลี่ย 58.5 %

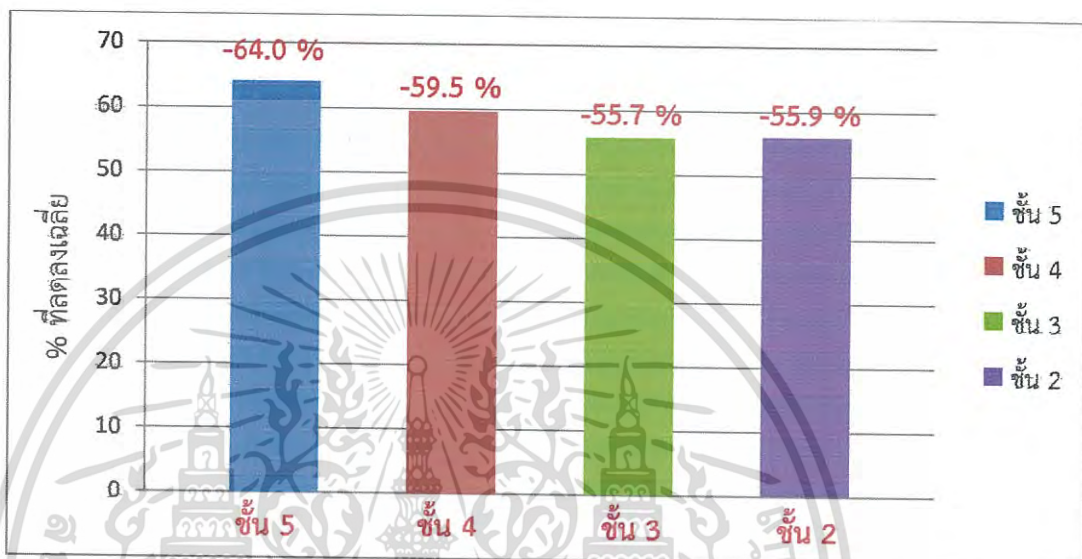


รูปที่ 5.6 เปอร์เซ็นที่ลดลงของแรงเฉือนในเสาเนื่องจากกำแพงเติมช่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.8 วิเคราะห์โมเมนต์ในเสาเนื่องจากแรงแผ่นดินไหว

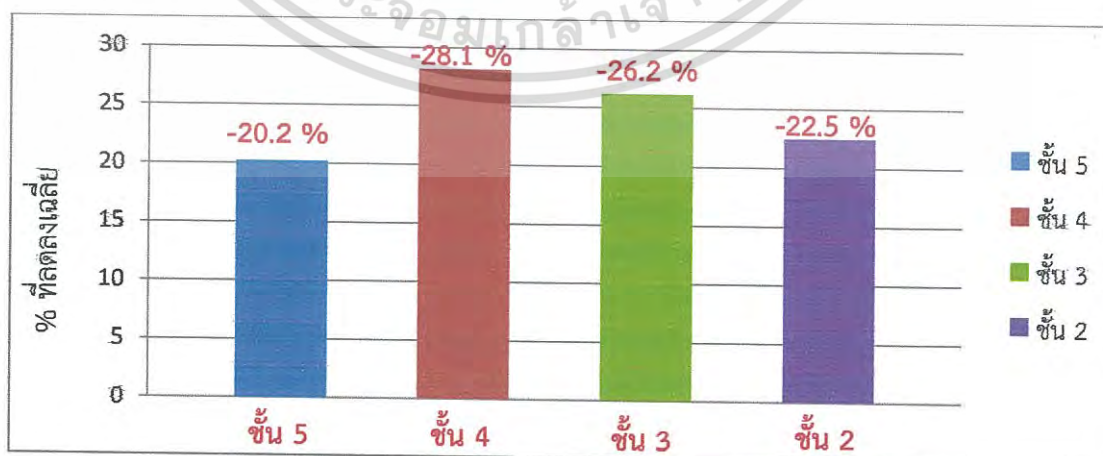
วิเคราะห์โมเมนต์ในเสาเมื่อมีแรงกระทำแผ่นดินไหวกระทำในแนวแกน Y โดยจะเลือกค่า max ในเสาแต่ละชั้นจะลดลงเฉลี่ย 55-64 % หรือโดยรวมลดลงเฉลี่ย 59.5 %



รูปที่ 5.7 เปอร์เซ็นที่ลดลงของโมเมนต์ในเสาเนื่องจากค่าแรงแผ่นดินไหว

5.9 วิเคราะห์แรงบิดในเสาเนื่องจากแรงแผ่นดินไหว

วิเคราะห์แรงบิดในเสาเมื่อมีแรงกระทำแผ่นดินไหวกระทำในแนวแกน Y โดยจะเลือกค่า max ในเสาแต่ละชั้นจะลดลงเฉลี่ย 20-28 % หรือโดยรวมลดลงเฉลี่ย 24 %

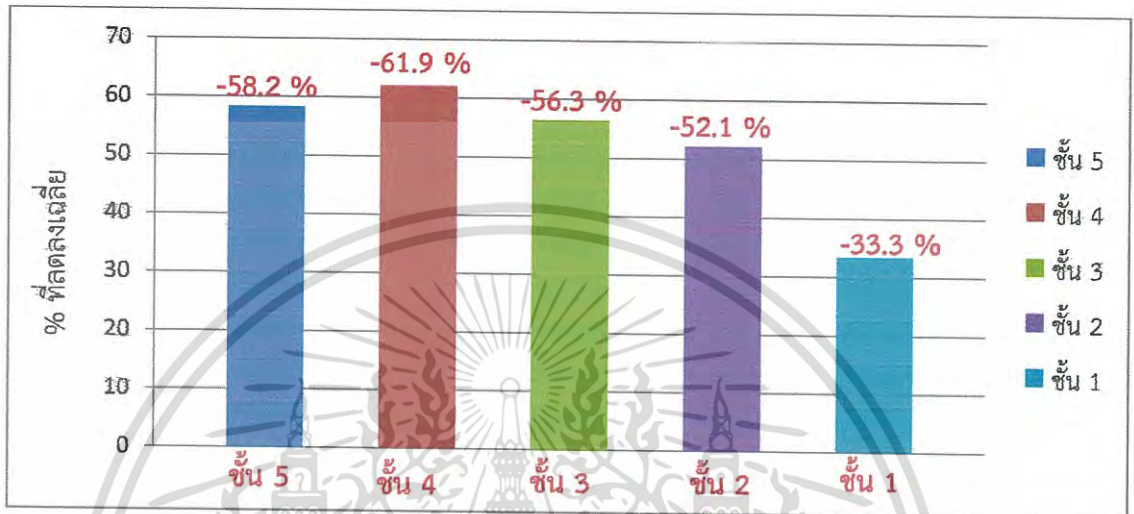


รูปที่ 5.8 เปอร์เซ็นที่ลดลงของแรงบิดในเสาเนื่องจากค่าแรงแผ่นดินไหว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.10 วิเคราะห์แรงเฉือนของคานเนื่องจากแรงแผ่นดินไหว ด้วยวิธีสถิตเทียบเท่า

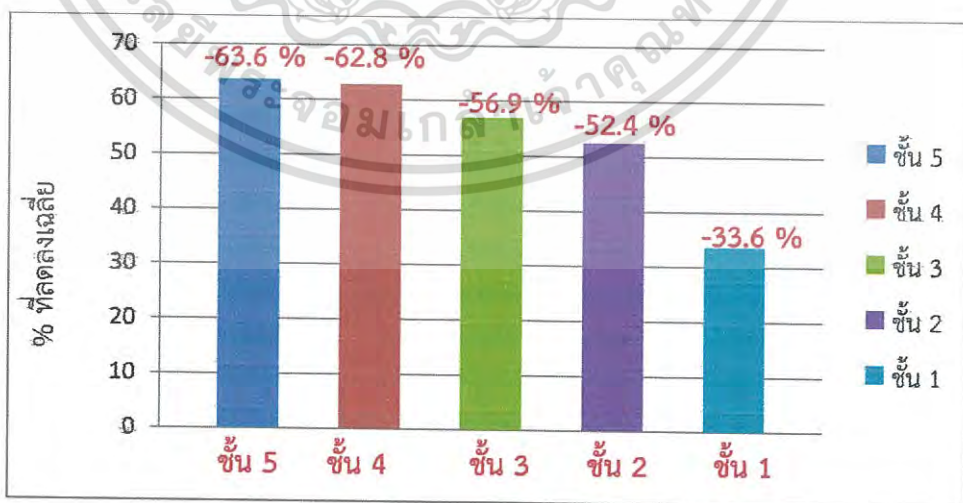
การวิเคราะห์แรงแผ่นดินไหว จะมีแรงที่เกี่ยวข้องคือแรงจากน้ำหนักของตัวโครงสร้างเองและแรงที่เกิดจากแผ่นดินไหวเมื่อวิเคราะห์แรงแผ่นดินไหวที่กระทำในทิศทางแกน Y ค่าแรงเฉือนของคานจะลดลงเฉลี่ย 33-62 % หรือโดยรวมลดลงเฉลี่ย 48 %



รูปที่ 5.9 เปอร์เซ็นที่ลดลงของแรงเฉือนในคานเนื่องจากกำแพงเติมช่อง

5.11 วิเคราะห์โมเมนต์ในคานเนื่องจากแรงแผ่นดินไหว

การวิเคราะห์แรงแผ่นดินไหว จะมีแรงที่เกี่ยวข้องคือแรงจากน้ำหนักของตัวโครงสร้างเองและแรงที่เกิดจากแผ่นดินไหววิเคราะห์โมเมนต์ในคานเมื่อมีแรงกระทำแผ่นดินไหวกระทำในแนวแกน Y โดยจะเลือกค่า max ในคานแต่ละชั้นจะลดลงเฉลี่ย 33-64 % หรือโดยรวมลดลงเฉลี่ย 49 %

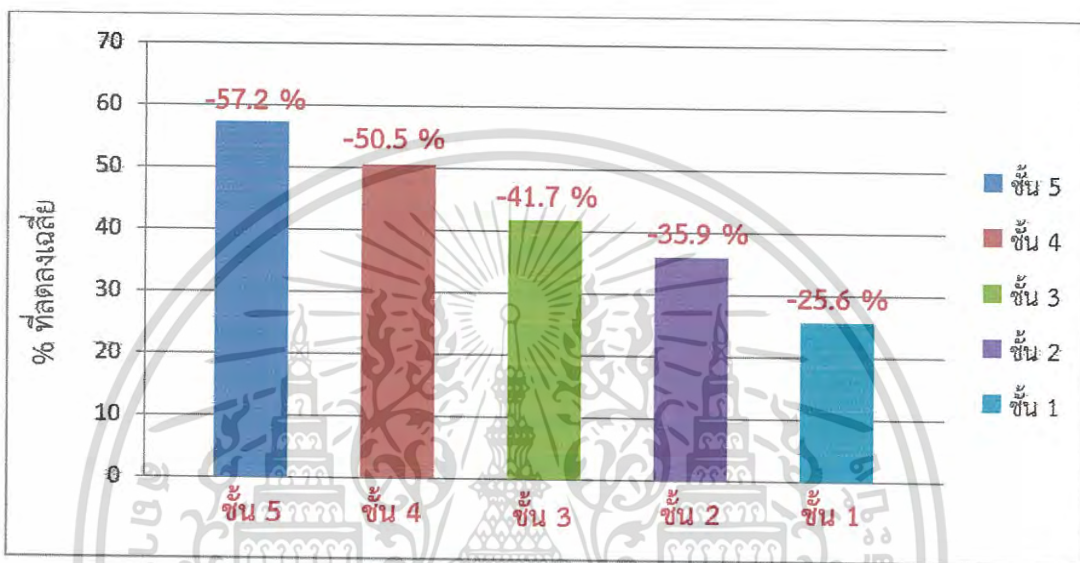


รูปที่ 5.10 เปอร์เซ็นที่ลดลงของโมเมนต์ในคานเนื่องจากกำแพงเติมช่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.12 วิเคราะห์แรงบิดในคานเนื่องจากแรงแผ่นดินไหว

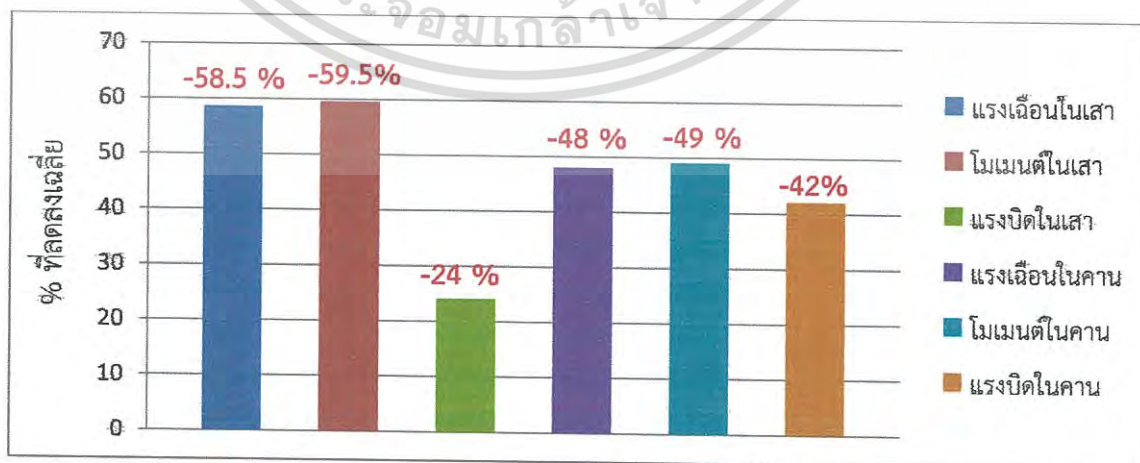
การวิเคราะห์แรงแผ่นดินไหว จะมีแรงที่เกี่ยวข้องคือแรงจากน้ำหนักของตัวโครงสร้างเองและแรงที่เกิดจากแผ่นดินไหววิเคราะห์แรงบิดในคานเมื่อมีแรงกระทำแผ่นดินไหวกระทำในแนวแกน Y โดยจะเลือกค่า max ในคานแต่ละชั้นจะลดลงเฉลี่ย 25-58 % หรือโดยรวมลดลงเฉลี่ย 42 %



รูปที่ 5.11 เปอร์เซ็นต์ที่ลดลงของแรงบิดในคานเนื่องจากกำแพงเติมช่อง

5.13 สรุปการวิเคราะห์เกี่ยวกับแรงภายในชิ้นส่วนโครงสร้าง

ค่าเฉลี่ยที่ลดลงของโครงสร้างเมื่อมีกำแพงเติมช่องเมื่อแรงแผ่นดินไหวกระทำในแนวแกน Y



รูปที่ 5.12 ค่าเฉลี่ยที่ลดลงของโครงสร้างเมื่อมีกำแพงเติมช่องเมื่อแรงแผ่นดินไหวกระทำในแกน Y

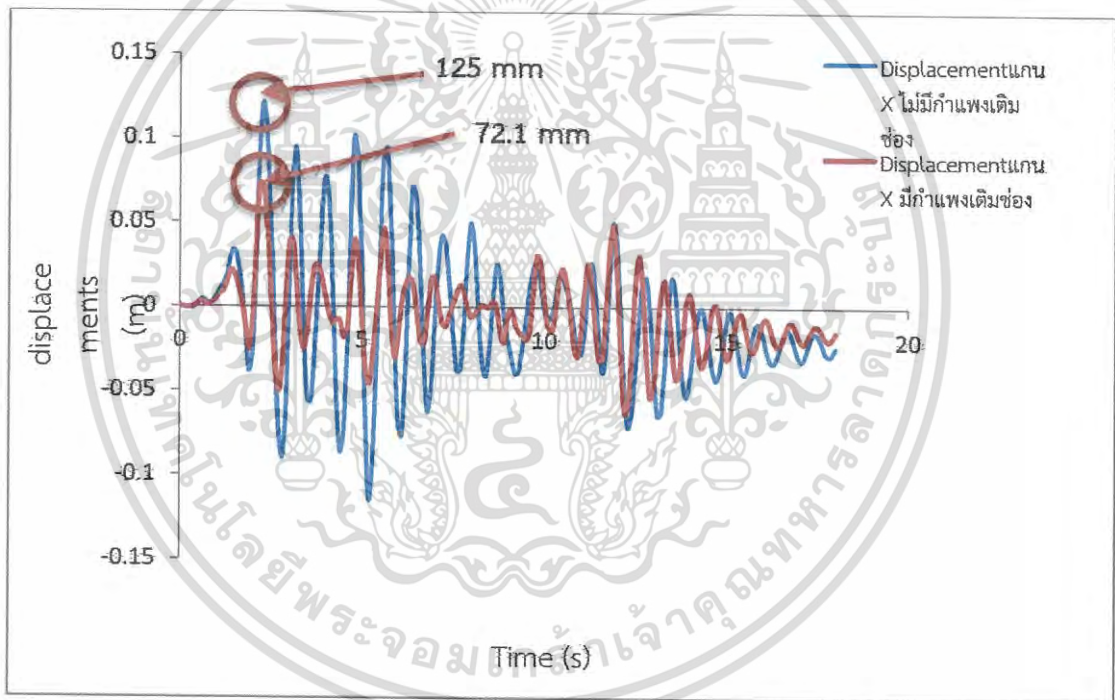
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.14 การวิเคราะห์แรงแผ่นดินไหวด้วยวิธีเชิงพลศาสตร์ โดยการวิเคราะห์แบบการตอบสนองแบบประวัติเวลา (Time History Analysis)

5.14.1 การวิเคราะห์ค่าการเคลื่อนที่ (Displacement) ของคลื่นแผ่นดินไหวด้วยวิธีเชิงพลศาสตร์ โดยการวิเคราะห์แบบการตอบสนองแบบประวัติเวลา (Time History Analysis)

5.14.1.1 การวิเคราะห์ค่าการเคลื่อนที่ (Displacement) แรงแผ่นดินไหวในทิศทางแกน X

พบว่าอาคารที่มีคาน้ำของกำแพงเต็มช่องมีค่าเคลื่อนตัวสูงสุด 125 mm และ เมื่ออาคารคิดผลของคาน้ำของกำแพงเต็มช่องจะมีค่าเคลื่อนตัวสูงสุด 72.1 mm ลดลงสูงสุด 42.3 % ในรูปที่ 5.13

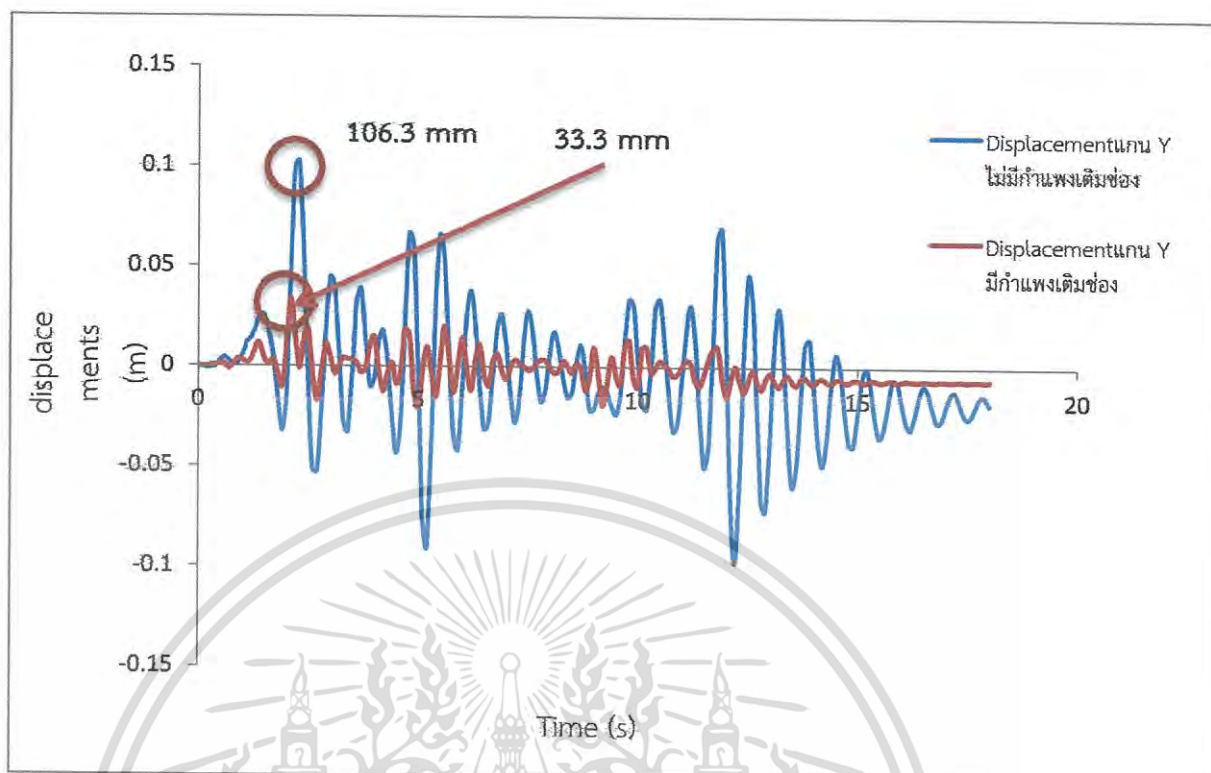


รูปที่ 5.13 การเคลื่อนที่ (displacements) ของอาคารเมื่อมีแรงแผ่นดินไหวด้วยวิธีวิเคราะห์แบบการตอบสนองแบบประวัติเวลาในแนวแกน X

5.14.1.2 การวิเคราะห์ค่าการเคลื่อนที่ (Displacement) แรงแผ่นดินไหวในทิศทางแกน Y

พบว่าอาคารที่มีคาน้ำของกำแพงเต็มช่องมีค่าเคลื่อนตัวสูงสุด 106.3 mm และ เมื่ออาคารคิดผลของคาน้ำของกำแพงเต็มช่องจะมีค่าเคลื่อนตัวสูงสุด 33.3 mm ลดลง 68.7 % ในรูปที่ 5.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.14 การเคลื่อนที่ (displacements) ของอาคารเมื่อมีแรงแผ่นดินไหวด้วยวิธีวิเคราะห์แบบการตอบสนองแบบประวัติเวลาในแนวแกน Y

5.14.2 วิเคราะห์แรงเฉือนของคลื่นแผ่นดินไหวด้วยวิธีเชิงพลศาสตร์ โดยการวิเคราะห์แบบการตอบสนองแบบประวัติเวลา (Time History Analysis)

5.14.2.1 การวิเคราะห์แรงเฉือนของอาคารจากแรงแผ่นดินไหวในทิศทางแกน X

พบว่าแรงเฉือนของอาคารที่ไม่คิดผลของกำแพงเติมช่องมีค่าสูงสุด 386,400 Kg และเมื่อคิดถึงผลของกำแพงเติมช่องจะมีค่าสูงสุด 372,900 Kg ลดลง 3.23 %

5.14.2.2 การวิเคราะห์แรงเฉือนของอาคารจากแรงแผ่นดินไหวในทิศทางแกน Y

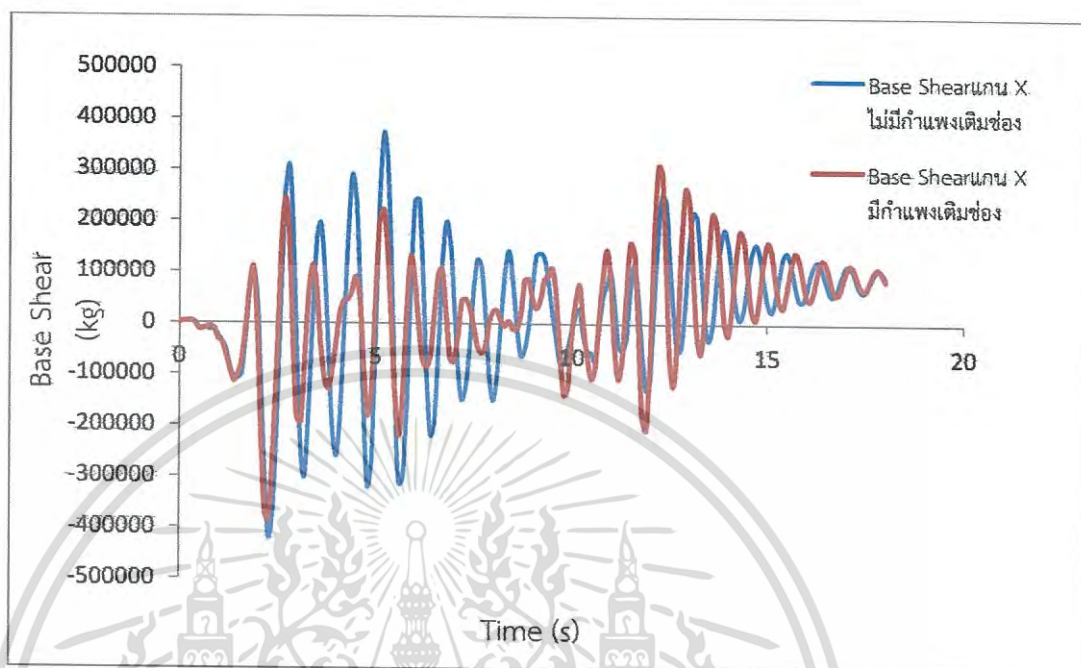
พบว่าแรงเฉือนของอาคารที่ไม่คิดผลของกำแพงเติมช่องมีค่าสูงสุด 393,100 Kg และเมื่อคิดถึงผลของกำแพงเติมช่องจะมีค่าสูงสุด 395,500 Kg เพิ่ม 0.6 %

5.14.2.3 วิจัยผลกระทบทดลองวิเคราะห์แรงเฉือนของคลื่นแผ่นดินไหวด้วยวิธีเชิงพลศาสตร์

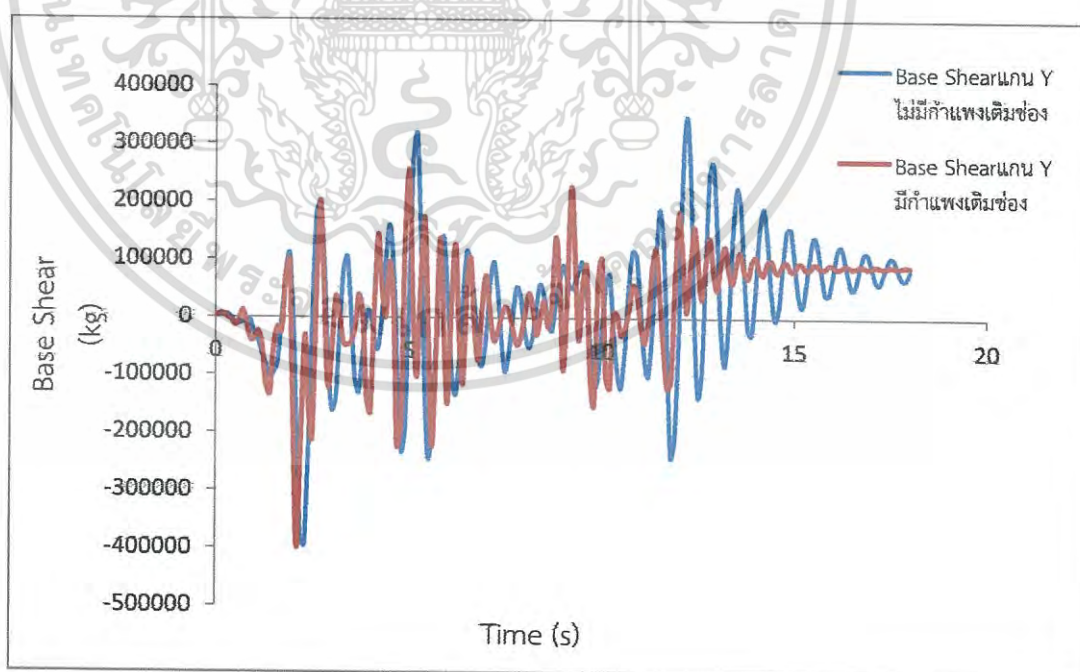
จากทั้งแกน X และ แกน Y จะเห็นว่าค่าแรงเฉือนสูงสุดมีค่าลดลง 0-3.23 % แต่ว่าเมื่อพิจารณาในแกน Y จะพบว่ามีการเติมช่องมากกว่าแต่ค่าแรงเฉือนกลับสูงกว่าแสดงว่ากำแพงเติมช่องไม่ได้ช่วยลดค่าแรงเฉือนให้กับตัวอาคาร จากกราฟ 5.15 และ 5.16 จะพบว่าบางช่วงเวลาอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่มีกำแพงเติมช่องจะมีค่าแรงเฉือนของตัวอาคารมากกว่าไม่มีกำแพงเติมช่อง อาจเพราะว่ากำแพงเติมช่องทำให้อาคารมีความแข็งแรงมากขึ้นทำให้มีความอ่อนตัวน้อยลงต้านการเคลื่อนที่มากขึ้น



รูปที่ 5.15 แรงเฉือนของอาคารเมื่อมีแรงแผ่นดินไหวด้วยวิธีวิเคราะห์แบบการตอบสนองแบบประวัติ เวลาในแนวแกน X



รูปที่ 5.16 แรงเฉือนของอาคารเมื่อมีแรงแผ่นดินไหวด้วยวิธีวิเคราะห์แบบการตอบสนองแบบประวัติ เวลาในแนวแกน Y

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.15 วิเคราะห์ผลการออกแบบอาคาร

5.15.1 วิเคราะห์ห่อแบบเมื่อมีแรงกระทำด้านข้างในทิศทางแกน X

5.15.1.1 วิเคราะห์เหล็กเสริมหลักเสาจากตาราง 5.2 วิเคราะห์ได้ว่ากำแพงเต็มช่องสามารถช่วยลดปริมาณเหล็กเสริมหลักเสาประมาณ 22.0 %

ตาราง 5.2 วิเคราะห์ผลการออกแบบเหล็กเสริมหลักของเสาเมื่อมีแรงกระทำด้านข้างทิศทางแกน X

ชั้น	กรณีไม่มีกำแพงเต็มช่อง		กรณีมีกำแพงเต็มช่อง		ผลต่าง %	
	หน้าตัดเสา (cm ²)	หน้าตัดเหล็กเสริมหลักที่ใช้ (ค่า max) (cm ²)	หน้าตัดเสา (cm ²)	หน้าตัดเหล็กเสริมหลักที่ใช้ (ค่า max) (cm ²)	หน้าตัดเสา	หน้าตัดเหล็กเสริมหลักที่ใช้
5	30*30	9.00	30*30	9.00	-	0
4	30*30	15.55	30*30	9.00	-	-42.1
3	35*35	19.07	35*35	17.84	-	-6.5
2	35*35	25.91	35*35	21.4	-	-17.4
1	35*35	16.47	35*35	20.87	-	20.8
				เฉลี่ย	-	-9.04

**เสาชั้นล่างเป็นบวกรอเนื่องจากไม่มีกำแพงเต็มช่อง

5.15.1.2 วิเคราะห์เหล็กปลอกเสาจากตาราง 5.3 วิเคราะห์ได้ว่ากำแพงเต็มช่องสามารถช่วยลดปริมาณเหล็กปลอกเสาประมาณ 56.6 % ต่อความยาวช่วง 1 เมตร

ตาราง 5.3 วิเคราะห์ผลการออกแบบเหล็กปลอกเสาเมื่อมีแรงกระทำด้านข้างทิศทางแกน X

ชั้น	กรณีไม่มีกำแพงเต็มช่อง		กรณีมีกำแพงเต็มช่อง		ผลต่าง %	
	หน้าตัดเสา (cm ²)	ผลรวมเหล็กปลอก (cm ² /m)	หน้าตัดเสา (cm ²)	ผลรวมเหล็กปลอก (cm ² /m)	หน้าตัดเสา	หน้าตัดเหล็กเสริมหลักที่ใช้
5	30*30	10	30*30	1.96	-	-80.4
4	30*30	11	30*30	4.4	-	-60.0
3	35*35	15	35*35	5.1	-	-66.0
2	35*35	16	35*35	11.1	-	-30.6
1	35*35	19	35*35	10.2	-	-46.3
				เฉลี่ย	-	-56.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.15.1.3 วิเคราะห์เหล็กเสริมหลักคาน

จากตาราง 5.4 วิเคราะห์ได้ว่ากำแพงเติมช่องสามารถช่วยลดปริมาณเหล็กเสริมหลักของคานลงประมาณ 25.2 % สำหรับเหล็กบน และประมาณ 20.2 % สำหรับเหล็กล่าง

ตาราง 5.4 วิเคราะห์ผลการออกแบบเหล็กเสริมหลักของเสาเมื่อมีแรงกระทำด้านข้างทิศทางแกน X

ชั้น	กรณีไม่มีกำแพงเติมช่อง			กรณีมีกำแพงเติมช่อง			ผลต่าง %		
	หน้าตัด เสา (cm ²)	เหล็ก บน (cm ²)	เหล็ก ล่าง (cm ²)	หน้าตัด เสา (cm ²)	เหล็ก บน (cm ²)	เหล็ก ล่าง (cm ²)	หน้าตัด เสา (cm ²)	เหล็ก บน	เหล็ก ล่าง
5	20*40	3.91	2.98	20*40	3.23	2.81	-	-17.4	-5.7
4	20*40	5.20	4.43	20*40	4.28	4.09	-	-17.7	-7.7
3	20*40	6.98	5.63	20*40	5.17	4.36	-	-25.9	-22.6
2	30*45	10.75	8.62	20*40	5.75	4.49	-550	-46.5	-47.9
1	20*40	6.81	5.55	20*40	5.54	4.60	-	-18.6	-17.1
					เฉลี่ย		-	-25.2	-20.2

5.15.1.4 วิเคราะห์เหล็กปลอกคาน

จากตาราง 5.5 วิเคราะห์ได้ว่ากำแพงเติมช่องสามารถช่วยลดปริมาณเหล็กปลอกคานลงประมาณ 67.4 % ต่อความยาวช่วง 1 เมตร

ตาราง 5.5 วิเคราะห์ผลการออกแบบเหล็กปลอกเสาเมื่อมีแรงกระทำด้านข้างทิศทางแกน X

ชั้น	กรณีไม่มีกำแพงเติมช่อง		กรณีมีกำแพงเติมช่อง		ผลต่าง %	
	หน้าตัด คาน (cm ²)	ผลรวมเหล็ก ปลอก (cm ² /m)	หน้าตัด คาน (cm ²)	ผลรวมเหล็ก ปลอก (cm ² /m)	หน้าตัด เสา	หน้าตัด เหล็กเสริม หลักที่ใช้
5	20*40	9	20*40	4	-	-55.5
4	20*40	16	20*40	4	-	-75
3	20*40	23	20*40	6	-	-73.9
2	30*45	29	20*40	8	-550	-72.4
1	20*40	20	20*40	8	-	-60
				เฉลี่ย		-67.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.15.2 วิเคราะห์ออกแบบเมื่อมีแรงกระทำด้านข้างในทิศทางแกน Y

5.15.2.1 วิเคราะห์เหล็กเสริมหลักเสา

ตาราง 5.6 วิเคราะห์ผลการออกแบบเหล็กเสริมหลักของเสาเมื่อมีแรงกระทำด้านข้างทิศทางแกน Y

ชั้น	กรณีไม่มีกำแพงเดิห้อง		กรณีมีกำแพงเดิห้อง		ผลต่าง %	
	หน้าตัดเสา (cm ²)	หน้าตัดเหล็กเสริมหลักที่ใช้ (ค่า max) (cm ²)	หน้าตัดเสา (cm ²)	หน้าตัดเหล็กเสริมหลักที่ใช้ (ค่า max) (cm ²)	หน้าตัดเสา	หน้าตัดเหล็กเสริมหลักที่ใช้
5	30*30	9.00	30*30	9.00	-	0
4	30*30	9.00	30*30	9.00	-	0
3	35*35	12.25	35*35	12.25	-	0
2	35*35	12.25	35*35	12.25	-	0
1	35*35	12.25	35*35	12.25	-	0
				เฉลี่ย	-	0

5.15.2.2 วิเคราะห์เหล็กปลอกเสา

จากตาราง 5.7 วิเคราะห์ได้ว่ากำแพงเดิห้องสามารถช่วยลดปริมาณเหล็กเหล็กปลอกเสา लगประมาณ 16.1 % ต่อความยาวช่วง 1 เมตร

ตาราง 5.7 วิเคราะห์ผลการออกแบบเหล็กปลอกเสาเมื่อมีแรงกระทำด้านข้างทิศทางแกน Y

ชั้น	กรณีไม่มีกำแพงเดิห้อง		กรณีมีกำแพงเดิห้อง		ผลต่าง %	
	หน้าตัดเสา (cm ²)	ผลรวมเหล็กปลอก (cm ² /m)	หน้าตัดเสา (cm ²)	ผลรวมเหล็กปลอก (cm ² /m)	หน้าตัดเสา	หน้าตัดเหล็กเสริมหลักที่ใช้
5	30*30	10	30*30	1.96	-	-80.4
4	30*30	1.96	30*30	1.96	-	0
3	35*35	1.96	35*35	1.96	-	0
2	35*35	1.96	35*35	1.96	-	0
1	35*35	5	35*35	5	-	0
				เฉลี่ย	-	-16.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.15.2.3 วิเคราะห์เหล็กเสริมหลักคาน

จากตาราง 5.8 วิเคราะห์ได้ว่าค่าแรงแผดิมช่องสามารถช่วยลดปริมาณเหล็กเสริมหลักของคานลงประมาณ 12.6 % สำหรับเหล็กบน และประมาณ 6.68 % สำหรับเหล็กล่าง

ตาราง 5.8 วิเคราะห์ผลการออกแบบเหล็กเสริมหลักของเสาเมื่อมีแรงกระทำด้านข้างทิศทางแกน Y

ชั้น	กรณีไม่มีค่าแรงแผดิมช่อง			กรณีมีค่าแรงแผดิมช่อง			ผลต่าง %		
	หน้าตัด เสา (cm ²)	เหล็ก บน (cm ²)	เหล็ก ล่าง (cm ²)	หน้าตัด เสา (cm ²)	เหล็ก บน (cm ²)	เหล็ก ล่าง (cm ²)	หน้าตัด เสา (cm ²)	เหล็ก บน	เหล็ก ล่าง
5	20*40	2.77	1.75	20*40	2.64	1.66	-	-4.69	-5.1
4	20*45	6.63	4.88	20*45	5.67	4.57	-	-14.4	-6.3
3	20*45	7.02	4.77	20*45	5.79	4.35	-	-17.5	-8.8
2	20*45	7.19	4.74	20*45	5.90	4.30	-	-17.9	-9.3
1	20*45	6.19	4.22	20*45	5.68	4.06	-	-8.2	-3.8
					เฉลี่ย		-	-12.6	-6.68

5.15.2.4 วิเคราะห์เหล็กปลอกคาน

จากตาราง 5.9 วิเคราะห์ได้ว่าค่าแรงแผดิมช่องสามารถช่วยลดปริมาณเหล็กปลอกคานลงประมาณ 38.6 % ต่อความยาวช่วง 1 เมตร

ตาราง 5.9 วิเคราะห์ผลการออกแบบเหล็กปลอกเสาเมื่อมีแรงกระทำด้านข้างทิศทางแกน Y

ชั้น	กรณีไม่มีค่าแรงแผดิมช่อง		กรณีมีค่าแรงแผดิมช่อง		ผลต่าง %	
	หน้าตัด คาน (cm ²)	ผลรวมเหล็ก ปลอก (cm ² /m)	หน้าตัด คาน (cm ²)	ผลรวมเหล็ก ปลอก (cm ² /m)	หน้าตัด เสา	หน้าตัด เหล็กเสริม หลักที่ใช้
5	20*40	4	20*40	3.23	-	-19.3
4	20*45	5	20*45	3.18	-	-36.4
3	20*45	5	20*45	3.18	-	-36.4
2	20*45	5	20*45	3.18	-	-36.4
1	20*45	5	20*45	3.18	-	-36.4
				เฉลี่ย		-33.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.16 วิเคราะห์อาคาร 10 ชั้น

วิเคราะห์ค่า Sidesway พบว่าแบบจำลอง Strut open first จะมีค่า Sidesway ใกล้เคียงกับแบบจำลอง Normal

วิเคราะห์ค่าแรงเฉือนของอาคาร แบบ Strut open first จะมีแรงเฉือนมากกว่าแบบจำลองแบบ Normal 12.2 % ในขณะที่แบบจำลอง Strut และ Norma มีค่าแรงเฉือนใกล้เคียงกัน

แสดงว่าอาคารที่คิดถึงกำแพงเต็มช่องและมีชั้นล่างเปิดมีแรงเฉือนมากกว่าอาคารที่ไม่คิดกำแพงเต็มช่อง ถึง 12.2 % ซึ่งค่าผลต่าง น่าจะส่งผลต่อการออกแบบอาคาร

สรุป อาคารที่คิดถึงกำแพงเต็มช่องและมีชั้นล่างเปิดจะได้รับผลกระทบจากแรงกระทำด้านข้างมากกว่าอาคารที่ไม่คิดถึงกำแพงเต็มช่อง ทำให้เราควรคำนึงถึงการมีอยู่ของกำแพงเต็มช่องเมื่ออาคารที่เราวิเคราะห์มีชั้นล่างเปิด เช่น ที่จอดรถ หรือ ล็อบบี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัย

6.1 การจำลองกำแพงเติมช่องเป็นค้ำยันแนวทแยงมุมรับแรงอัดตามมาตรฐาน FEMA 274,306

6.1.1 ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของกำแพงเติมช่องที่หาได้จากงานวิจัยพฤติกรรมการรับแรงด้านข้างของโครงข้อแข็งเหล็กรูปแบบประตูที่มีการก่อคอนกรีตมวลเบา

จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีสตีเฟนสมเมตรีซ์สำหรับโครงข้อหมุนและโครงข้อแข็ง พบว่าจะได้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของกำแพงเติมช่อง ซึ่งคิดในทิศทางแนวทแยงมุม $E_{me} = 35769.57 \text{ kg/cm}^2$ ซึ่งเป็นค่าที่รวมค่าการก่อและการฉาบ ซึ่งแต่ละประเทศจะมีมาตรฐานงานก่อไม่เหมือนกัน ตัวอย่างเช่น งานวิจัยของประเทศ ตุรกีจะใช้ 1393 MPA [10] งานวิจัยจากประเทศเกาหลีจะใช้ 1200 MPA [13] และนักวิจัยศึกษาญี่ปุ่นใช้ค่า 33000 kg/cm^2 [17] ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าแต่ละประเทศจะมีค่าไม่เท่ากัน

จะเห็นว่าควรจะมีการวิจัยเพิ่มเติมเกี่ยวกับการวิจัยเพื่อหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของกำแพงเติมช่องที่คิดในแนวทแยงมุม เพื่อที่จะได้ค่าที่ถูกต้องมากขึ้น และจำลองพฤติกรรมได้ดียิ่งขึ้น

6.2 สรุปผลของการวิเคราะห์ที่มีกำแพงเติมช่อง

เมื่อมีแรงด้านข้างมากระทำกับอาคารกำแพงเติมช่องสามารถช่วยลดค่า Sidesway และค่าจากการทดลองพบว่าแรงลมไม่มีผลต่อแรงเฉือนของอาคาร

กำแพงเติมช่องสามารถเปลี่ยนค่าการสั่นพื้นฐานของอาคารได้โดยจะลดค่าคาบการสั่นลง และ เปลี่ยนแปลง Mode การสั่นพื้นฐานของอาคาร จากการวิเคราะห์แบบ Dynamic โดยจะมีค่าลดลง

กำแพงเติมช่องจะช่วยลดค่าแรงเฉือนในเสาและคาน และ โมเมนต์ในเสาและคาน ซึ่งสามารถลดปริมาณคอนกรีตและเหล็กเสริมในคานและเสาได้

6.3 วิจัยกรณีผลการทดลอง

จากการทดลองเรื่องการจำลองกำแพงเติมช่องเป็นค้ำยันแนวทแยงมุม นั้น เพื่อลดความยุ่งยากจากการวิเคราะห์ห่ออกแบบอาคาร แต่ค้ำยันแนวทแยงมุมไม่สามารถจำลองพฤติกรรมของกำแพงเติมช่องได้ทั้งหมด ดังนั้นการจะจำลองกำแพงเติมช่องให้มีพฤติกรรมเสมือนค้ำยันแนวทแยงมุมทุกอย่าง เป็นเรื่องที่ไม่ถูกต้อง เพราะ ในการวิเคราะห์ค้ำยันแนวทแยงมุมมีการถ่ายแรงเข้าสู่เสาและคาน ซึ่งในความเป็นจริงอาจไม่ได้มีการถ่ายแรงได้ถูกต้องเหมือนค้ำยัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค้ำยันแนวทแยงมุมสามารถวิเคราะห์โดยรวมว่า เมื่อเกิดแผ่นดินไหวแล้วกำแพงเติมช่องจะสามารถช่วยลดการสั่นสะเทือนและลดความเสียหายได้แน่นอน ทำให้เราไม่ควรที่จะมองข้ามการมีอยู่ของกำแพงเติมช่อง

6.4 ข้อเสนอแนะ

การทดลองนี้สามารถ ศึกษาเพิ่มเติมได้เช่น พฤติกรรมของกำแพงเติมช่องในงานวิจัยนี้ในการทดลองจะทดสอบเพียงแรงต้านข้าง แต่ในความเป็นจริงกำแพงเติมช่องจะต้องรับแรงแนวตั้งด้วย จากงานวิจัยอื่น พบว่ากำแพงเติมช่องที่รับแรงแนวตั้งเมื่อรับแรงต้านข้างจะมีความแข็งแรงมากขึ้น

งานวิจัยนี้ศึกษากำแพงเติมช่องในช่วง อิลาสติก คือศึกษากำแพงเติมช่องตอนที่ยังไม่เสียหาย แต่เมื่อเสียหายแล้วกำแพงเติมช่องจะเปลี่ยนพฤติกรรมจาก Braced Frame เป็น Moment resistance frame ซึ่งจะมีผลต่อคุณสมบัติทางพลศาสตร์ของโครงสร้าง

ผู้วิจัยก็หวังว่างานวิจัยนี้จะมีประโยชน์และทำให้วิศวกรโยธาเห็นความสำคัญของกำแพงเติมช่องมากขึ้น



บรรณานุกรม

- [1] สถาพร ลือรุ่งรัตน์วุฒิ, สรวิศ กาญจนชุมพล และสุทธิเกียรติ รัตนไพศาลศรี. 2554. "พฤติกรรมการรับแรงด้านข้างของโครงข้อแข็งเหล็กรูปแบบประตูที่มีการก่อคอนกรีตมวลเบา". วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [2] อนุสรณ์ อินทร์สี. 2552. "การออกแบบโครงสร้างงานก่อ" วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [3] คมสัน ศิริพันธ์. 2547. " พฤติกรรมการรับแรงด้านข้างของโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีกำแพงอิฐสามัญเต็มช่องโดยการวิเคราะห์แบบไฟไนท์เอลิเมนต์". วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [4] สุวัฒน์ ธีรเศรษฐ์. 2553. การวิเคราะห์โครงสร้าง(Structural Analysis). กรุงเทพมหานคร : มินเซอรัวิส ซัพพลาย.
- [5] Asteris P. G., Antoniou S. T., Sophianopoulos D. S. and Chrysostomou C. Z. "Mathematical Macromodeling of Infilled Frames: State of the Art". *Journal of Strucural Engineering*. Vol. 137, No. 12, December 2011, pp. 1508-1517.
- [6] Fernando César A. R. Madia and Guilherme A. Parsekian. "Modeling a Reinforced Concrete Building Frame With Infill Walls". eleventh namc Minneapolis, june. 2011.
- [7] FEMA 306. Federal Emergency Management Agency. 1998.
- [8] FEMA 274. Federal Emergency Management Agency. October. 1997.
- [9] Ravichandran S. S., Klingne R.E., "Seismic design factors for steel moment frames with masonry infills". *Journal of Earthquake Engineering Research Institute*. Vol. 28:3, August 2012.
- [10] Mehmet Metin Kose. "Parameters affecting the fundamental period of RC buildings with infill walls" *Journal of Engineering Structures*. Vol.31, Issue 1, January 2009, pp.93-102.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [11] Amato G., Fossetti M., Cavaleri L. , Papia M. “ An Updated Model of Equivalent Diagonal Strut For Infill Panels ”. Eurocode 8 Perspectives from the Italian Standpoint Workshop, 119-128, Napoli, Italy. 2009.
- [12] Korkmaz K. A., Demir F., Tekeli H. and Karahan A. E. “ EFFECTS OF INFILLED MASONRY WALLS ON NONLINEAR STRUCTURAL BEHAVIOR OF PRECAST CONCRETE STRUCTURES IN TURKEY ”. The 14th World Conference on Earthquake Engineering, Beijing, China, October 12-17. 2008.
- [13] Hyun Ko, Yong-Koo Park and Dong-Guen Lee. “Evaluation of Seismic Behavior for Low-Rise RC Moment Resisting Frame with Masonry Infill Walls”. The 14th World Conference on Earthquake Engineering, Beijing, China, October 12-17. 2008.
- [14] มยผ.1302. มาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว. 2552.
- [15] ไพบุลย์ ปัญญาคะโป. 2545. การออกแบบอาคาร (Building Design). กรุงเทพฯ: รุ่งแสงการพิมพ์
- [16] บริษัทควอลิตี้คอนสตรัคชั่นโปรดัก จำกัด มหาชน
- [17] Mostafaei H and Kabeyasawa T. “ Effect of masonry infill walls on the seismic Response of reinforced concrete buildings subjected to the 2003 Bam earthquake strong motion: A case study of bam telephone center”. Journal of Earthquake Engineering Research Institute. Vol.79, 2004

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การประชุมวิชาการ วิศวกรรมโยธาแห่งชาติ

Proceedings of the Eighteenth
National Convention on Civil Engineering

ครั้งที่

18

Chiang Mai

Volume 1

STR
GTE

เรื่อง วิศวกรรมโยธาเพื่อการตอบสนองต่อภัยพิบัติทางธรรมชาติ
Civil Engineering towards Natural Disaster Responses

ระหว่างวันที่ 8-10 พฤษภาคม 2556

ณ โรงแรมดิเอ็มเพรส เชียงใหม่

จัดโดย สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์

และภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์โดยสภาวิศวกรรมการโยธา และอนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่คิดค่า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ISBN 978-974-672-787-7

การใช้ค้ำยันแนวทแยงมุมจำลองกำแพงเติมช่องสำหรับรับแรงด้านข้าง Application of Diagonal Strut Simulation Model of Infillwall for Lateral Load

สุทธิเกียรติ รัตนไพศาลศรี^{1*} สุวัฒน์ ภิระเศรษฐ์² และ อานนท์พร สุวรรณพลาย³

¹ นักศึกษาปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

² รองศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

³ นักวิจัย สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

E-mail: ¹ pond21@hotmail.com, ² kdsuwat@kmit.ac.th, ³ amoncf@hotmail.com

บทคัดย่อ

ในขั้นตอนการออกแบบนั้นกำแพงเติมช่องจะเป็นเพียงโครงสร้างที่ช่วยเสริมความแข็งแรงให้กับโครงสร้างหลักเท่านั้นไม่มีการนำมาคิดคำนวณออกแบบแต่อย่างใด ซึ่งในงานวิจัยนี้จะศึกษาผลของการมีและไม่มีกำแพงเติมช่องด้วยคอนกรีตมวลเบา ซึ่งในการวิเคราะห์จะใช้มาตรฐานของ FEMA 274 และ FEMA 306 ซึ่งมาตรฐานจะให้จำลองกำแพงเติมช่องเป็นค้ำยันแนวทแยงมุมรับแรงอัด ผลการทดลองพบว่ากำแพงเติมช่องสามารถลดการเคลื่อนตัวของอาคารได้ถึง 10-65 % ทั้งยังลดคาบการสั่นพื้นฐานของอาคารลงจาก 0.842 ลดลงเหลือ 0.514 วินาที ซึ่งจะส่งผลต่อการออกแบบแผ่นดินไหว
คำสำคัญ: กำแพงเติมช่อง, ค้ำยันแนวทแยงมุม, คาบการสั่นพื้นฐาน

Abstract

In process design of masonry infill wall are support main structure, which do not a calculation for process design. So, this research concentrate on result of masonry infill wall structure and Non-masonry infill wall structure with lightweigh concrete. Which analysis use the standard of FEMA 274 and FEMA 306 which simulation masonry infill wall can reduce displacement of buildings during earthquakes to 10-65 percentage. Actually, that can reduce fundamental Period of buildings 0.842 to 0.514 second .Which have an effect of process design for earthquakes.

Keywords: infill wall, diagonal strut, Fundamental Period

1. บทนำ

ในการออกแบบโครงสร้างนั้นกำแพงจะถูกคิดเป็นเพียงวัสดุเสริมช่องว่างเท่านั้น ไม่มีส่วนในการเสริมความแข็งแรงแต่อย่างใด และมักไม่ได้คำนึงถึงความสามารถในการรับแรงด้านข้างของกำแพงเติมช่องจากรัสคอก ซึ่งในความเป็นจริงแล้วกำแพงเติมช่องนั้นมีความสามารถในการรับแรงเสมือนเป็นค้ำยันแนวทแยงมุม โดยเฉพาะในการรับแรงด้านข้าง เนื่องจากลักษณะทางกายภาพของตัวกำแพงเองโดยส่วนใหญ่จะก่อสร้างอยู่ภายในเสาและคาน (Infill Wall) โดยทั้งสองส่วนจะทำหน้าที่ในการรับแรงร่วมกัน (Composite Structure) ส่งผลให้อาคารบริเวณที่มีกำแพงมีความแข็งแรง (stiffness) เพิ่มขึ้นอย่างมาก ซึ่งการศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมดังกล่าวทำให้สามารถประเมินความแข็งแรงของอาคารได้ถูกต้องมากขึ้น ซึ่งการออกแบบอาคารนั้นผู้ออก

แบบจะไม่นิยมออกแบบให้กำแพงเติมช่องช่วยรับแรงแต่จะทำการวิเคราะห์และออกแบบในส่วนของโครงสร้างคาน เสา พื้น และ ฐานรากเท่านั้น แต่ถ้าผู้ออกแบบได้ทำการออกแบบให้กำแพงเติมช่องช่วยรับแรงด้วยแล้วนั้น อาจจะทำให้โครงสร้างมีความแข็งแรงมากขึ้น สามารถรับน้ำหนักได้มากขึ้นหรืออาจจะนำไปประยุกต์ใช้ได้กับการออกแบบอาคารที่มีกำแพงเติมช่อง ซึ่งอาจจะช่วยลดขนาดโครงสร้างลงได้บางส่วนส่งผลให้ประหยัดค่าโครงสร้างกว่าการออกแบบโดยทั่วไปอีกด้วย

วัสดุที่ใช้ในปัจจุบันที่นิยมใช้คือคอนกรีตมวลเบาในการก่อมากกว่าใช้อิฐมอญ เนื่องจากมีคุณสมบัติที่กว้างอิฐมอญหลายประการ เช่น มีกำลังต้านทานแรงอัด และความคงทนต่อสภาพดินฟ้าอากาศดีกว่า ช่วยลดผลกระทบจากอุณหภูมิภายนอกและสามารถก่อสร้างได้อย่างรวดเร็วกว่าการก่อสร้างทั่วไป

เป็นที่ยอมรับกันทั่วไปว่ากำแพงเติมช่องนั้นสามารถเพิ่มความแข็งแรง (stiffness) ให้แก่ตัวอาคารในการรับแรงด้านข้างและยังเพิ่มความมั่นคงและคุณสมบัติเชิงกลของอาคารให้มีความแข็งแรงและความแข็งแรง (rigidity) มากขึ้น [5,6,12,13] ให้กับอาคารในการรับแรงด้านข้างซึ่งเกิดจากแรงลมและแรงแผ่นดินไหวโดยจะช่วยเปลี่ยนผลเมื่อเกิดแผ่นดินไหวในเรื่องการเคลื่อนที่ของอาคาร (displacements) และแรงเฉือนที่ฐานอาคาร [6,11,12] โดยมีผู้ทดลองโครงสร้างซึ่งมีและไม่มีกำแพงเติมช่องซึ่งพบว่าแรงประลัย กรณีที่มีกำแพงเติมช่องจะมีค่ามากกว่าประมาณ 1-3 โครงสร้างซึ่งที่ไม่มีกำแพงเติมช่องและการเคลื่อนตัวของโครงสร้างซึ่งคอนกรีตเสริมเหล็กกรณีที่มีกำแพงเติมช่องจะมีการเคลื่อนตัวน้อยกว่าอยู่ประมาณ 4-6 เท่า [1,3] กำแพงเติมช่องจะช่วยลดคาบของการสั่นตามธรรมชาติของโครงสร้างลงซึ่งจะเปลี่ยนผลลัพธ์ของการเกิดแผ่นดินไหว [5,13] เมื่อเกิดแผ่นดินไหว กำแพงเติมช่องถือว่าเป็นส่วนของอาคารที่สามารถดูดซับพลังงานอันเกิดจากแผ่นดินไหวได้ดี และเมื่อมีการแตกร้าวเสียหาย สามารถทุบออกและสร้างใหม่ได้ จึงน่าจะได้นำมาช่วยในการรับแรงจากแผ่นดินไหวได้ [2] ซึ่งพบว่าจากการศึกษาเพื่อหาพลังงานที่เกิดจากแผ่นดินไหวในระบบโครงสร้างพบว่าโครงสร้างกำแพงเติมช่อง จะดูดซับพลังงานมากถึง 95% ซึ่งสูงกว่าชิ้นส่วนคอนกรีตเสริมเหล็กอื่นๆ ทำให้โครงสร้างกำแพงเติมช่องมีความสำคัญเนื่องจากจะทำหน้าที่เป็นสิ่งแรกในการป้องกันโครงสร้างภายใต้ภาวะแผ่นดินไหวและช่วยเสริมให้ระบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กเสริมมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น [5]

แบบจำลองสำหรับผนังก่ออิฐเติมช่องจะสามารถจำแนกเป็นแบบจำลองจุลภาคและมหภาค แบบจำลองจำลองจุลภาคของผนังเติมช่องจะมีรายละเอียดของ ปูนก่อ อิฐ รอยต่อของชิ้นส่วน ซึ่งเป็นส่วนที่ทำให้การจำลองพฤติกรรมของกำแพงเติมช่องมีความถูกต้องมากขึ้น

อย่างไรก็ตามจะวิเคราะห์ได้ในระดับพื้นฐานเนื่องจากมีตัวแปรที่เกี่ยวข้องจำนวนมาก แต่แบบจำลองมหภาคจะใช้เป็นตัวแทนพฤติกรรมของกำแพงเติมช่องและผลตอบสนองของโครงสร้างโดยรวมได้ดีกว่า รูปแบบจำลองมหภาคที่นิยมคือแบบค้ำยันแนวทแยงมุม [13]

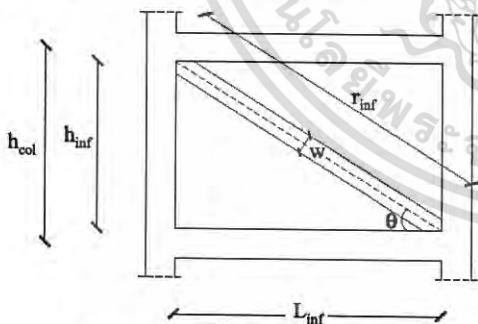
ผลกระทบของการไม่คำนึงถึงกำแพงเติมช่องอาจเป็นสาเหตุให้อาคารมีความยืดหยุ่นมากเกินไปกว่าความเป็นจริงและค่าคาบการสั่นพื้นฐานจะมากกว่าปกติ [10] ทำให้โครงสร้างมีกำลังที่เกินจริงจากกำลังของผนังก่ออิฐ [13] บางกรณีผนังเติมช่องจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมในโครงสร้างตัวอาคารได้ เช่น กรณีที่กำแพงก่อในอาคารที่มีรูปทรงไม่สมมาตร อาจจะทำให้บางบริเวณมีความแข็ง (rigidity) มากกว่าที่คำนวณไว้ หรือการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งศูนย์กลางความแข็ง (rigidity of central) ทำให้เกิดผลกระทบของแรงบิดในเสาที่อยู่ห่างจากศูนย์กลางมากที่สุดซึ่งทำให้ความแข็งแรงของอาคารโดยรวมลดลงไป [6,11]

รูปแบบอาคารที่ได้รับผลกระทบจากกำแพงเติมช่องคืออาคารที่ชั้นล่างเปิดเนื่องจากส่วนใหญ่ทำเป็นที่จอดรถ หรือ ล็อบบี้ [9,10,13] แม้ว่ากำแพงเติมช่องจะเพิ่มความแข็งแรง แต่เมื่อชั้นล่างซึ่งส่วนใหญ่ถูกออกแบบให้เป็นช่องเปิดและชั้นบนมีกำแพงก่อจะทำให้โครงสร้างชั้นแรกอ่อนแอและจะอ่อนแอยิ่งกว่าเดิมเมื่อเกิดแรงแผ่นดินไหว [13]

พฤติกรรมของกำแพงเติมช่องเมื่อรับแรงด้านข้างของกำแพงจะมีพฤติกรรมเสมือนจะทำหน้าที่เป็นค้ำยันที่เชื่อมต่อของมุมในแนวแยงมุมทั้งสองมุมโดยรับแรงกดแนวแยง ทำให้เสริมความแข็งแรงและกำลังของโครงสร้างในการต้านทานแรงกระทำด้านข้าง [5,6,9,11]

2. FEMA 276,306 [7,8]

มาตรฐาน FEMA 274,306 เป็นมาตรฐานที่จำลองกำแพงเติมช่องให้เป็นค้ำยันแนวแยงมุมรับแรงอัด [7,8] เป็นมาตรฐานที่นักวิจัยหลายคนนิยมใช้ [10-13] เนื่องจากมาตรฐานนี้ได้รับการยอมรับจากเสียงส่วนใหญ่ของนักวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ของโครงสร้างเติมช่อง



รูปที่ 1 การจำลองกำแพงเติมช่องเป็นค้ำยันแนวแยงมุม

เราสามารถหาความหนาของค้ำยันแนวแยงมุมได้จากสมการ

$$w = 0.175(\lambda_1 h_{col})^{-0.4} r_{inf} \quad (1)$$

เมื่อ
$$\lambda_h = \left[\frac{E_{me} t_{inf} \sin 2\theta}{4 E_{fe} l_{col} h_{inf}} \right]^{\frac{1}{4}} \quad (2)$$

และ
$$\theta = \tan^{-1} \frac{h_{inf}}{L_{inf}} \quad (3)$$

โดยที่ λ_h คือ พารามิเตอร์ไร้มิติ (dimensionless parameters) ใช้ในการสัมพันธ์ของข้อมูลการทดลองที่เกี่ยวข้อง

L_{inf} คือ ความยาวของแนวเติมช่อง

E_{me} คือ โมดูลัสของความยืดหยุ่นของแนวเติมช่อง

h_{col} คือ ความสูงของเสาระหว่างศูนย์กลางของคาน

h_{inf} คือ ความสูงของแนวเติมช่อง

E_{fe} คือ โมดูลัสของความยืดหยุ่นของโครง

l_{col} คือ ความแข็งเชิงดัดของเสา

t_{inf} คือ ความหนาของแนวเติมช่องและของค้ำยัน

r_{inf} คือ ความยาวแนวเส้นทแยงมุม

θ คือ มุมค่าแทนเจนต์ของอัตราส่วนระหว่างความสูงกับ ความยาวของแนวเติมช่อง หน่วย เรเดียน

w คือ ความยาวแนวเส้นทแยงมุม

หมายเหตุ ทุกสูตรหน่วย cm และ kg/cm^2

ตามมาตรฐานนั้นกำแพงก่อจะได้รับการจำลองเป็นค้ำยันแนวแยงมุม จะต้องไม่มีช่องเปิดในแนวแยงมุม เช่น หน้าต่าง หรือ ช่องท่อ ประปาซึ่งจะทำให้แรงด้านหลักถูกตัดขาด

ในการจำลองตามมาตรฐานนั้นจะจำลองค้ำยันแนวแยงมุมจะเชื่อมต่อกับเสาและคานด้วยข้อต่อแบบบานพับ (hinge) ไม่มีโมเมนต์ที่จุดต่อและคำนวณเฉพาะผลของแรงอัดและผลของแรงดึงจะไม่นำมาคิด การวิเคราะห์จึงใช้หลักการวิเคราะห์โครงสร้างแบบง่าย [2,7,8,10]

ตามมาตรฐานค่าที่ใช้ในการคำนวณค่าที่ต้องได้จากการทดลองคือค่า E_{me} ค่าโมดูลัสอีลาสติกของกำแพงเติมช่องซึ่งไม่สามารถค่าได้จากวิธีปกติและจากมาตรฐานเป็นแรงอัดในแนวแยงมุมแสดงว่าค่า modulus of elasticity of the infill ในสมการของ FEMA 274,306 ควรจะอ้างอิงในแนวแยงมุม [11]

3. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

ศึกษาและใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการจำลองพฤติกรรมของกำแพงเติมช่อง เพื่อวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของและคาบการสั่นพื้นฐานของอาคารด้วยแบบจำลองที่มีกำแพงเติมช่องและไม่มีกำแพงด้วยแรงกระทำด้านข้าง (แรงลมและแรงแผ่นดินไหว)

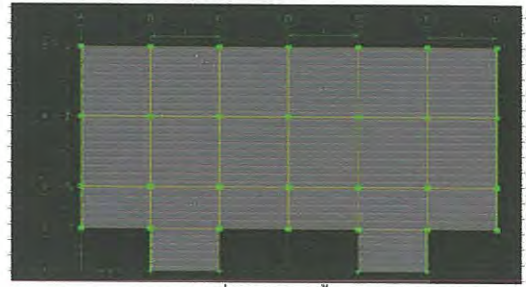
4. การหาค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่นของแนวแยงมุมกริด

มอลเบาในแนวแยงมุม [1]

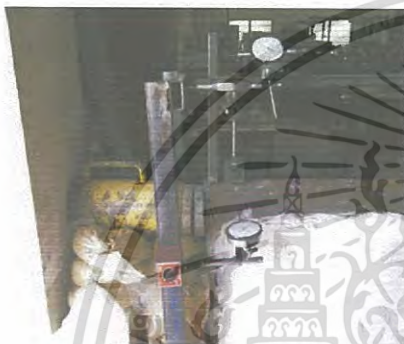
งานวิจัยมีการทดสอบอัตราส่วนบัวของของคอนกรีตมอลเบา พบว่ามีค่า 0.23 โครงเหล็กที่ใช้ทดสอบใช้เหล็กกล่องขนาด 2*2 นิ้ว หนา 3.2 มิลลิเมตร เป็นเสาและใช้ เหล็กกล่องขนาด 2*4 นิ้วเป็นคานโดยมีการก่ออิฐมอลเบาแบบ G2 ขนาด 20*60 เซนติเมตร หนา 7.5 เซนติเมตร มาตัดแบ่งจนเหลือขนาด 7*20 เซนติเมตร หนา 5 เซนติเมตร และมีการก่อและฉาบตามมาตรฐานงานก่อทั่วไปโดยที่โครงเหล็กจะมีการติดเหล็กหนวดกึ่งช่วยให้ในการก่อให้มีการยึดติดกันมากขึ้นจะสมมติให้ฐานของโครงเหล็กมีสถานะแบบยึดแน่น (Fix) ทำการทดสอบ frame ก่ออิฐ โดยทำการทดสอบด้วยเครื่องมือ Hydraulic Jack [1]



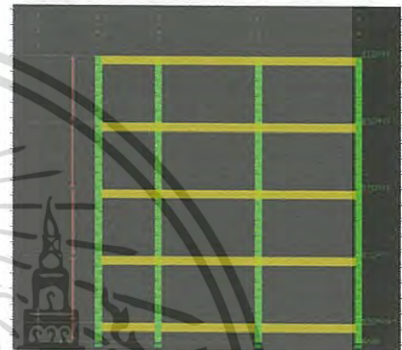
รูปที่ 2 การทดสอบโครงเหล็กก่อนกรีดมวลเบา



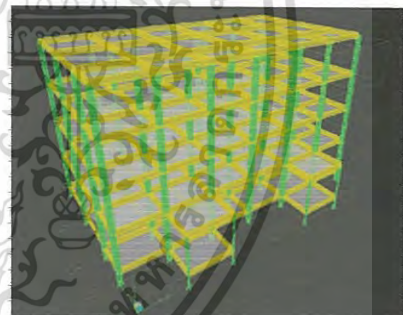
รูปที่ 4 รูปแปลนพื้น



รูปที่ 3 การทดสอบและการวัดค่า



รูปที่ 5 ตัดด้านข้างของ



รูปที่ 6 รูปสามมิติของอาคาร

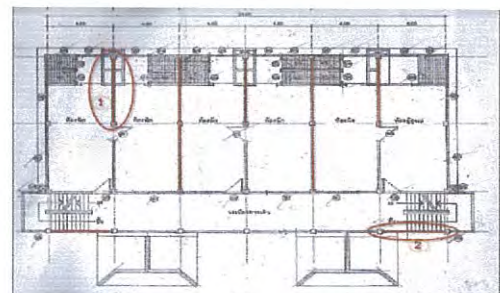
ในการทดสอบจะมีการวัดการเคลื่อนตัวด้านข้างของโครงเหล็กเดิมช่องและจะมีการเพิ่มขนาดแรงด้วยเครื่องเครื่องมือที่ละ 50 กิโลนิวตันเพิ่มไปจนถึงขีดสุดที่ไม่สามารถเพิ่มได้อีกแล้ว

หาค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่นของแผงก้ออิฐในแนวแ่งมุมจากผลการทดลองของโครงเหล็ก และ โครงเหล็กที่มีการก้อคอนกรีตมวลเบา ด้วยวิธีสตีฟเนส (stiffness) ของโครงข้อแข็งและโครงข้อหมุน ซึ่งจะพิจารณาเฉพาะช่วงที่ค่าการเคลื่อนตัวยังเป็นเส้นตรงจะได้ค่าโมดูลัสอีลาสติกของกำแพงเดิมช่อง $E_{me} = 35769.57 \text{ kg/cm}^2$ ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการจำลองกำแพงเดิมช่องให้เป็นค้ำยันแนวแ่งมุมซึ่งมีจุดต่อแบบข้อหมุนรับเฉพาะแรงอัดตามมาตรฐาน FEMA 276,306

5. แบบจำลองอาคารที่ใช้ในการวิเคราะห์

5.1 แบบจำลองหอพักนักเรียนคอนกรีตเสริมเหล็กขนาด 5 ชั้น เป็นโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก เป็นหอพักนักเรียนของสำนักงานพัฒนา การกีฬาในตัวเมืองจังหวัดลำปาง ที่มีเสาขนาด 35x35 cm มีขนาดคาน 45x20 cm พื้นมีความหนา 10 cm support ที่ฐานถือว่าเป็นแบบยึดแน่น (Fix) คุณสมบัติของคอนกรีตจะมีค่า $f_c = 240 \text{ ksc}$ และ เหล็กเส้นมีกำลังรับแรงดึง SD40 เหล็กเส้นรับแรงเฉือน SR24 ตลอดทั้งอาคาร ตัวอาคารมีความกว้างระหว่างเสา 4 และ 5 เมตร ความสูงชั้นแรก 1 เมตร ชั้นที่เหลือ 3.5 เมตร

การจำลองกำแพงเดิมช่องเป็นจะคำนึงถึงเฉพาะกำแพงในแบบอาคารที่ไม่มีช่องเปิดเช่น หน้าต่าง หรือประตู เพราะเป็นการลดความแข็งแรงหรือสตีฟเนส (stiffness) ของกำแพงเดิมช่อง จากแบบจะเลือกเฉพาะ กำแพงเดิมช่องที่ไม่มีประตูและหน้าต่าง



รูปที่ 7 กำแพงที่ไม่มีช่องเปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

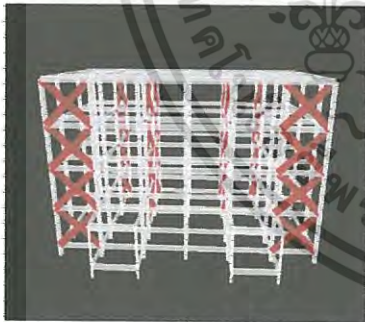
จากแบบจะได้ค้ำยันแนวทแยงมุมรับแรงอัดที่มีความกว้าง 2 แบบคือ 1 ความกว้าง 64.7 เซนติเมตร และ 2 ความกว้าง 56 เซนติเมตร

ตารางที่ 1 ตัวเลขในการคำนวณความกว้างค้ำยัน

Infill wall	1	2
t_{ef} (cm)	7.5	7.5
E_{me} (kg/cm ²)	35,769.6	35,769.6
h_{col} (cm)	395	395
h_{inf} (cm)	350	350
E_{fe} (kg/cm ²)	234,000	234,000
I_{col} (cm ⁴)	125,052	125,052
L_{inf} (cm)	500	400
r_{inf} (cm)	610.3	531.5
w (cm)	64.7	56



รูปที่ 8 การจำลองค้ำยันใส่เข้าไประหว่างเสากับคาน



รูปที่ 9 แบบจำลอง 3 มิติที่มีการใส่ค้ำยันแนวทแยงมุม

ค้ำยันแนวทแยงมุมที่ใช้ในการจำลองจะบังคับให้รับแต่แรงอัดไม่คิดผลของแรงดึงหรือแรงดึงเป็นศูนย์ และ โมเมนต์ที่ปลายทั้งสองข้างมีค่าเป็นศูนย์หรือมีจุดต่อแบบบานพับ (hinge)

6. การวิเคราะห์แรงลมและแรงแผ่นดินไหว

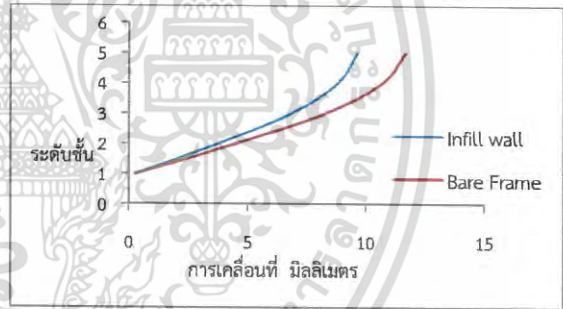
คำนวณแรงลมตามมาตรฐาน มยผ.1311-50 ขนาดแรงลมตามพระราชบัญญัติควบคุมอาคารคือ สำหรับอาคารสูงไม่เกิน 20 เมตร ใช้แรงลม 0.8 kPa ค่ากระแสของลม $C_g=2$ สำหรับหน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่าที่กระทำกับพื้นผิวภายนอกอาคาร ตัวประกอบความสำคัญประเภท ปรกติ $I = 1$ C_p ด้านต้นลม 0.8 และด้านท้ายลม -0.5 ออกแบบแผ่นดินไหวตามมาตรฐาน มยผ.1302 ไม่มีข้อมูลดินให้เป็นดิน

ประเภท D ให้ค่าความเร่งตอบสนองสำหรับพื้นที่ในตัวเมือง จ.ลำปาง S_u และ ค่า S_1 เท่ากับ 0.738g และ 0.177g ตามลำดับ คาบการสั่นพื้นฐานของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก $T = 0.02 \times 15 = 0.3$ ค่า Factors ด้วยระบบโครงสร้างแบบโครงต้านแรงดัดคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีความเหนียวจำกัด $R = 5$ ค่าตัวประกอบความสำคัญของอาคารปรกติ $I = 1$ การกำหนดค่าสติฟเนส (stiffness) ขององค์อาคารคอนกรีตโดยคำนึงถึงผลของการแตกร้าวที่มีต่อค่าสติฟเนส (stiffness) โดย โมเมนต์ความเฉื่อยประสิทธิผลของคานและเสา $I_{eff} = 0.35 I_g$ และ $I_{eff} = 0.70 I_g$ ในการวิเคราะห์แบบจำลองให้แรงลมและแรงแผ่นดินไหว โดยจะให้กระทำในแนวแกน X หรือ แกน Y ทดสอบทีละแกน

7. ผลการทดลอง

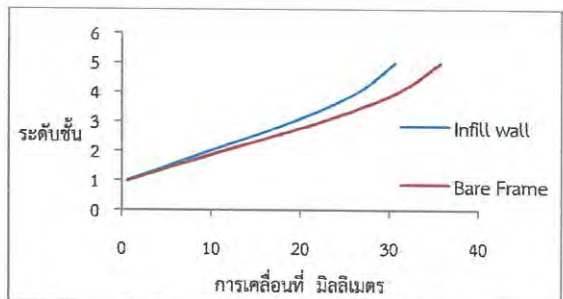
7.1 วิเคราะห์การเคลื่อนที่ (displacements) ของอาคารด้วยโปรแกรม คอมพิวเตอร์โดยวิเคราะห์แรงแผ่นดินไหวด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า

จากรูปที่ 10 แรงลมกระทำในแนวแกน X จะมีการเคลื่อนที่สูงสุดของอาคารที่มีและไม่มีกำแพงเติมช่องคือ 9.64 และ 11.66 มิลลิเมตร จาการที่ทั้ง 5 ชั้นมีค่าการเคลื่อนที่ลดลงเฉลี่ย 10-17 %



รูปที่ 10 การเคลื่อนที่ (displacements) ของอาคารเมื่อมีแรงลมในแนวแกน X

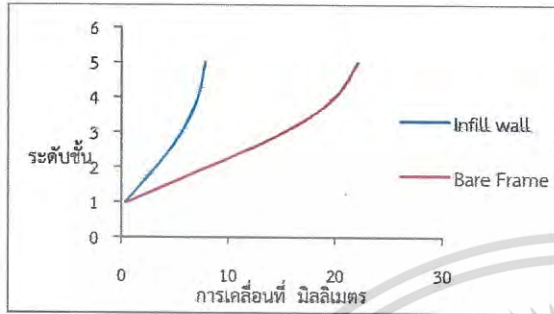
จากรูปที่ 11 แรงแผ่นดินไหวกระทำในแนวแกน X ด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่าจะมีการเคลื่อนที่สูงสุดของอาคารที่มีและไม่มีกำแพงเติมช่องคือ 35.79 และ 30.69 มิลลิเมตรจาการที่ทั้ง 5 ชั้นมีค่าเฉลี่ยการเคลื่อนที่ลดลง 7-14%



รูปที่ 11 การเคลื่อนที่ (displacements) ของอาคารเมื่อมีแรงแผ่นดินไหวด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่าในแนวแกน X

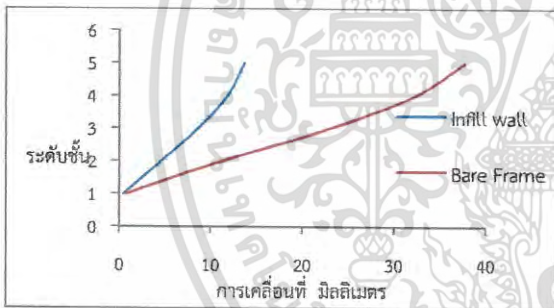
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 12 แรงลมกระทำในแนวแกน Y จะมีการเคลื่อนที่สูงสุดของอาคารที่มีและไม่มีกำแพงเติมช่องคือ 22.05 และ 7.85 มิลลิเมตร จากกราฟทั้ง 5 ชั้นมีค่าการเคลื่อนที่ลดลงเฉลี่ย 38-64 %



รูปที่ 12 การเคลื่อนที่ (displacements) ของอาคารเมื่อมีแรงลมในแนวแกน Y

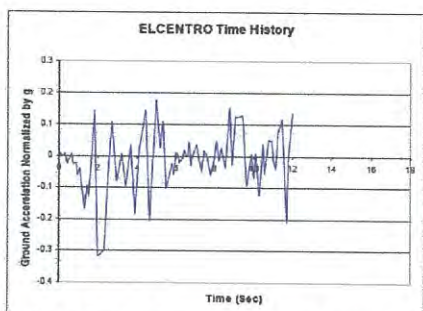
จากรูปที่ 13 แรงแผ่นดินไหวกระทำแนวแกน Y ด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่าจะมีการเคลื่อนที่สูงสุดของอาคารที่มีและไม่มีกำแพงเติมช่องคือ 37.66 และ 13.69 มิลลิเมตรจากกราฟทั้ง 5 ชั้นมีค่าเฉลี่ยการเคลื่อนที่ลดลง 38-63 %



รูปที่ 13 การเคลื่อนที่ (displacements) ของอาคารเมื่อมีแรงแผ่นดินไหวด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่าในแนวแกน X

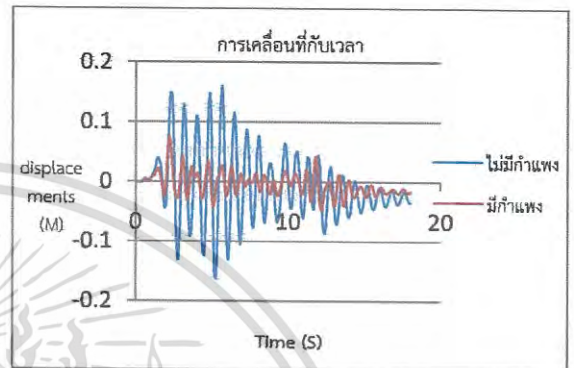
7.2 วิเคราะห์การเคลื่อนที่ (displacements) ของอาคารด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยวิเคราะห์แรงแผ่นดินไหวด้วยวิธีวิเคราะห์แบบการตอบสนองแบบประวัติเวลา (Time History Analysis)

เป็นการวิเคราะห์ด้วยคลื่นแผ่นดินไหว El-centro ที่บันทึกได้จากสถานี Imperial Valley Irrigation Distric ในปี ค.ศ.1940 ในรัฐแคลิฟอร์เนีย



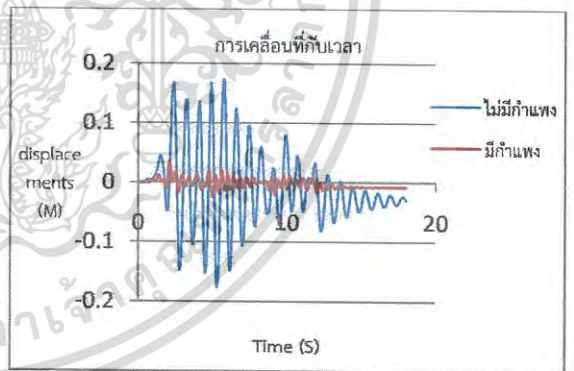
รูปที่ 14 คลื่นแผ่นดินไหว El-centro ในปี ค.ศ.1940

จากรูปที่ 15 การวิเคราะห์แรงแผ่นดินไหวในทิศทางแกน X ด้วยวิธีเชิงพลศาสตร์ แบบ (Time History Analysis) พบว่าอาคารที่มีคิดผลของกำแพงเติมช่องมีค่าเคลื่อนตัวสูงสุด 163 MM และ เมื่ออาคารคิดผลของกำแพงเติมช่องจะมีค่าเคลื่อนตัวสูงสุด 75.7 MM ลดลง 53.6 %



รูปที่ 15 การเคลื่อนที่ (displacements) ของอาคารเมื่อมีแรงแผ่นดินไหวด้วยวิธีวิเคราะห์แบบการตอบสนองแบบประวัติเวลาในแนวแกน X

จากรูปที่ 16 การวิเคราะห์แรงแผ่นดินไหวในทิศทางแกน Y ด้วยวิธีเชิงพลศาสตร์ แบบ (Time History Analysis) พบว่าอาคารที่มีคิดผลของกำแพงเติมช่องมีค่าเคลื่อนตัวสูงสุด 175.1 MM และ เมื่ออาคารคิดผลของกำแพงเติมช่องจะมีค่าเคลื่อนตัวสูงสุด 34.7 MM ลดลง 80.2 %



รูปที่ 16 การเคลื่อนที่ (displacements) ของอาคารเมื่อมีแรงแผ่นดินไหวด้วยวิธีวิเคราะห์แบบการตอบสนองแบบประวัติเวลาในแนวแกน Y

7.3 คาบการสั่นพื้นฐานของอาคาร

ตามมาตรฐานแผ่นดินไหว มยพ.1302 ด้วยวิธีลักษณะการกระจายมวลรูปแบบ ข.[14] จากลักษณะการกระจายมวลเมื่อแรงแผ่นดินไหวกระทำกับแกน X คาบการสั่นของอาคารแบบไม่มีกำแพงเติมช่องคือ 0.845 วินาที และแบบมีกำแพงเติมช่องคือ 0.786 วินาที และเมื่อมีแรงกระทำในแกน Y คาบการสั่นเมื่อไม่มีกำแพงเติมช่องและมีกำแพงเติมช่องคือ 0.862 และ 0.526 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.สรุป

จากการวิจัยพบว่ากำแพงเติมช่องสามารถช่วยลดการเคลื่อนที่ของอาคารในแนวแกน X ลง 7-17 % และในแนว Y 38-64 % และจากการวิเคราะห์แรงแผ่นดินไหวด้วยวิธีเชิงพลศาสตร์ แบบ (Time History Analysis) พบว่าอาคารที่มีติดผลของกำแพงเติมช่องจะช่วยลดค่าการเคลื่อนที่ (displacements) มากถึง 53.6 % ในแกน X และลดลง 80.2 % ในแนวแกน Y เนื่องมาจากกำแพงเติมช่องไปเพิ่มความแข็งแรง(stiffness) ให้กับตัวอาคารทำให้ตัวอาคารมีความแข็งแรงมากขึ้น และในแกน Y จะลดลงมากกว่าเนื่องจากมีกำแพงเติมช่องในแนวแกน Y มากกว่าในแนวแกน X ทำให้ในแนวแกน Y นั้นมี stiffness มากกว่า และจากการวิเคราะห์คาบการสั่นพื้นฐานของอาคารมีค่าลดลงเนื่องมาจากอาคารมี stiffness เพิ่มขึ้นทำให้ลดค่าการเคลื่อนที่ (displacements) ซึ่งส่งผลต่อคาบการสั่นพื้นฐานของอาคาร

สรุปโดยรวมพฤติกรรมของกำแพงเติมช่องนั้นจะเพิ่มแข็งแรง ให้กับอาคารโดยรวมซึ่งส่งผลต่อการวิเคราะห์โครงสร้าง ถ้าเราไม่คิดผลของกำแพงเติมช่องอาจทำให้การออกแบบโครงสร้างมีขนาดใหญ่เกินจริง

แต่เนื่องจากในประเทศไทยนั้นยังไม่มีมาตรฐานเกี่ยวกับงานก่อสร้าง จึงทำให้โครงสร้างรูปแบบนี้เป็นเพียงตัวสนับสนุนให้โครงสร้างหลักมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นเท่านั้น และพฤติกรรมของกำแพงเติมช่องก็มีความซับซ้อนมาก งานวิจัยนี้กำแพงเติมช่องจะอยู่ในช่วงอีลาสติก แต่เมื่อกำแพงเติมช่องมีความเสียหายจะทำให้พฤติกรรมของกำแพงเติมช่องเปลี่ยนไป ซึ่งส่งผลต่อการวิเคราะห์ด้วยมาตรฐาน FEMA 274,306

การศึกษากำแพงเติมช่องมีเรื่องให้ศึกษาอีกมาก เช่น จะใช้มาตรฐานไหนในการออกแบบให้เข้ากับประเทศไทย หรือจะใช้รูปแบบการจำลองอื่นที่มีความถูกต้องมากกว่านี้แต่ก็มีความยุ่งยากในการคำนวณมากขึ้น

ผู้วิจัยก็หวังเป็นอย่างยิ่งว่างานวิจัยนี้เป็นแนวทางการศึกษาเรื่องกำแพงเติมช่องในประเทศไทยให้พัฒนาขึ้นไปอีก

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ รศ.สุวัฒน์ ธีระเศรษฐ์ ที่ยินดีให้คำปรึกษาและสละเวลาอันมีค่าให้คำปรึกษาที่ยังชี้แนะแนวทางแก่ผู้วิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] นายสถาพร ลือรุ่งรัตน์วุฒิ,นายสรวิศ กาญจนชุมพล และ นายสุทธิเกียรติ รัตนไพศาลศรี. "พฤติกรรมการรับแรงด้านข้างของโครงสร้างเหล็กรูปแบบประตูที่มีการก่อคอนกรีตมวลเบา" งานวิจัย,สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2554.
- [2] อนุสรณ์ อินทร์สี. การออกแบบโครงสร้างงานก่อ
- [3] คมสัน ศิริพันธ์. พฤติกรรมการรับแรงด้านข้างของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่มี กำแพงอิฐสามัญเติมช่องโดยการวิเคราะห์แบบไฟไนท์เอลเมนต์ , 2004.
- [4] ผศ.สุวัฒน์ ธีระเศรษฐ์. การวิเคราะห์โครงสร้าง (Structural Analysis).
- [5] P.G.Asteris, M.ASCE,S.T.Antoniou,D.S.Sophianopoulos, M.ASCE and C.Z.Chrysostomou, "Mathematical Macromodeling of Infilled Frames: State of the Art". Journal of Strucural Engineering, December. 2011.
- [6] Fernando César A. R. Madia and Guilherme A. Parsekian. "Modeling a Reinforced Concrete Building Frame With Infill Walls". eleventh nanc Minneapolis, june. 2011.

- [7] FEMA 306. Federal Emergency Management Agency. 1998.
- [8] FEMA 274. Federal Emergency Management Agency. October. 1997.
- [9] Shiv Shanker Ravichandran,Richard E.Klingne. "Seismic design factors for steel moment frames with masonry infills"
- [10] Mehmet Metin Kose. "Parameters affecting the fundamental period of RC buildings with infill walls". Department of Civil Engineering, Kahramanmaras Sutcu Imam University, 46050-9 Kahramanmaras, Turkey.
- [11] Giuseppina Amato, Marinella Fossetti, Liborio Cavaleri, Maurizio Papia. "An Updated Model of Equivalent Diagonal Strut For Infill Panels". E. Cosenza (ed), Eurocode 8 Perspectives from the Italian Standpoint Workshop, 119-128, Napoli, Italy. 2009.
- [12] K.A.Korkmaz ,F.Demir, H.Tekeli , A.E.Karahan. "EFFECTS OF INFILLED MASONRY WALLS ON NONLINEAR STRUCTURAL BEHAVIOR OF PRECAST CONCRETE STRUCTURES IN TURKEY" The 14th World Conference on Earthquake Engineering, Beijing, China, October 12-17. 2008.
- [13] Hyun Ko, Yong-Koo Park and Dong-Guen Lee. "Evaluation of Seismic Behavior for Low-Rise RC Moment Resisting Frame with Masonry Infill Walls" The 14th World Conference on Earthquake Engineering, Beijing, China, October 12-17. 2008.
- [14] มยผ.1302. มาตรฐานการออกแบบอาคารด้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว. พ.ศ.2552.