

พฤติกรรมของระบบเอาริกเกอร์และผนังรัดสำหรับอาคารสูง  
บนฐานรากแบบยืดหยุ่น

BEHAVIOR OF OUTRIGGER AND BELT WALL SYSTEM  
IN HIGH-RISE BUILDING ON FLEXIBLE FOUNDATION



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2558

KMITL-2015-EN-M-093-181

พฤติกรรมของระบบเอาริกเกอร์และผนังรััดสำหรับอาคารสูง  
บนฐานรากแบบยืดหยุ่น

BEHAVIOR OF OUTRIGGER AND BELT WALL SYSTEM  
IN HIGH-RISE BUILDING ON FLEXIBLE FOUNDATION



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
พ.ศ.2558

KMITL-2015-EN-M-093-181

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BEHAVIOR OF OUTRIGGER AND BELT WALL SYSTEM  
IN HIGH-RISE BUILDING ON FLEXIBLE FOUNDATION

SUWISAN TUETHONG



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
MASTER OF ENGINEERING IN CIVIL ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
2015

KMITL-2015-EN-M-093-181

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**COPYRIGHT 2015**

**FACULTY OF ENGINEERING**

**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**คณะวิศวกรรมศาสตร์**  
**สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**  
**ใบรับรองวิทยานิพนธ์**

หัวข้อวิทยานิพนธ์ พฤติกรรมของระบบเอาริกเกอร์และผนังรัดสำหรับอาคารสูงบนฐานรากแบบยืดหยุ่น  
Thesis Title Behavior of Outrigger and Belt Wall System in High-rise Building on Flexible Foundation  
นักศึกษา นายสุวิศาล ถือทอง  
รหัสประจำตัว 55613201  
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา  
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.อำนวยการ พานิชกุลพงศ์  
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2015-EN-M-093-181

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.สุวัฒน์	ธีรเศรษฐ์	
ดร.อภินันท์	สุจริตพงศ์	
รศ.เอนก	ศิริพานิชกร	
ดร.อาทิตย์	เพชรศศิธร	
รศ.อำนวยการ	พานิชกุลพงศ์	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันจันทร์ที่ 5 ตุลาคม พ.ศ. 2558 เวลา 14.00-16.00 น.  
สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 5 ห้องประชุม 4

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
วันที่ 5 ตุลาคม พ.ศ. 2558

หัวข้อวิทยานิพนธ์

พฤติกรรมของระบบเอาริกเกอร์และผนังรัด

สำหรับอาคารสูงบนฐานรากแบบยึดหยุน

นักศึกษา

นายสุวิศาล ถือทอง

รหัสประจำตัว

55613201

ปริญญา

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา

วิศวกรรมโยธา

พ.ศ.

2558

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

รศ.อำนวยการ พานิชกุลพงศ์

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาพฤติกรรมของระบบเอาริกเกอร์และผนังรัดสำหรับอาคารสูงในพื้นที่กรุงเทพมหานครเมื่อรับแรงเนื่องจากแรงโน้มถ่วง แรงลม และแรงแผ่นดินไหว ตามมาตรฐานของกรมโยธาธิการและผังเมือง วิเคราะห์โดยใช้แบบจำลองโครงสร้าง 3 มิติ ของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กสูง 60 ชั้น มีผนังรับแรงเฉือนบริเวณกลางอาคารและเสารอบนอกพร้อมกับโครงสร้างเอาริกเกอร์และผนังรัดหนึ่งระดับ สองระดับ และสามระดับ โดยจำลองโครงสร้างอาคารบนฐานรากแบบยึดแน่นและบนฐานรากแบบยึดหยุนโดยใช้ค่าสถิติเฟนสของสปริงแทนเสาเข็ม จากนั้นทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบการตอบสนองของอาคาร พบว่าโครงสร้างระบบเอาริกเกอร์และผนังรัดบนฐานรากแบบยึดหยุน ให้ผลของโมเมนต์ดัดในผนังรับแรงเฉือนลดลง แต่เกิดแรงดึงในเสาด้านต้นลมและแรงอัดในเสาด้านท้ายลมเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ผลของคาบการสั่นพื้นฐานของโครงสร้างอาคาร ระยะการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น และระยะการเคลื่อนตัวด้านข้างของโครงสร้างอาคารมีค่ามากกว่าเมื่อเทียบกับโครงสร้างระบบเอาริกเกอร์และผนังรัดบนฐานรากแบบยึดแน่น

<b>Thesis</b>	Behavior of Outrigger and Belt Wall System in High-rise Building on Flexible Foundation
<b>Student</b>	Mr.Suwisan Tuethong
<b>Student ID.</b>	55613201
<b>Degree</b>	Master of Engineering
<b>Program</b>	Civil Engineering
<b>Year</b>	2015
<b>Thesis Advisor</b>	Assoc.Prof. Amnouy Panitkulpong

### ABSTRACT

This research was aimed to indicate the behavior of the outrigger and belt wall system used in high-rise buildings in Bangkok area. The buildings were designed governed by which the gravity, wind and seismic load leading to the complicated analysis in high-rise buildings. From the standards of the Department of Public works and Town & Country Planning (DPT), the analysis of 60-stories reinforced concrete building was configured in a specific 3D structural program. The building was stimulated into two main models i.e. fixed supports and flexible foundation using equivalent spring stiffness of piles. The structure of building was the wall-frame system as core wall and exterior columns with one, two and three outriggers in different levels. The research showed the analysis and comparison of internal forces and building responses among these cases. The group of flexible foundation exhibited the reduction in bending moment at core walls compared to the group of fixed supports. In the other hand, the axial forces in the exterior columns, tensile on the windward and compressive on the leeward side were increased in flexible foundation models. Finally, the fixed support models experienced the decreasing in fundamental period, inter-story drift and lateral displacement.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต่ออ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความช่วยเหลือและความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.อำนาจ พานิชกุลพงศ์ และ ดร.อาทิตย์ เพชรศศิธร ที่ให้ความช่วยเหลือและคำชี้แนะในการแก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้และประการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้าสามารถบรรลุวัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ และขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ให้ข้อเสนอแนะทางวิชาการ ข้อคิดเห็น และแนวทางที่เป็นประโยชน์ ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

สุดท้ายต้องขอขอบพระคุณ บิดา-มารดา ที่ให้การอุปการะเลี้ยงดู อบรมส่งเสริมการศึกษา และภรรยาของข้าพเจ้าที่คอยเป็นกำลังใจที่ดีตลอดมา

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดา มารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

สุวิศาล ถือทอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 สมมติฐานการวิจัย.....	2
1.4 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	2
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและปริทัศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1.1 ทฤษฎีสำหรับโครงสร้างระบบเอริกเกอร์และผนังรัด.....	4
2.1.2 ทฤษฎีสำหรับการจำลองเสาเข็มด้วยสติฟเนสของสปริง.....	13
2.2 ปริทัศน์วรรณกรรม.....	18
2.2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์โครงสร้างระบบเอริกเกอร์และผนังรัด.....	18
2.2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์โครงสร้างภายใต้ฐานรากแบบยึดหย่อน.....	21
บทที่ 3 ระเบียบวิธีการวิจัย.....	23
3.1 รูปแบบการวิจัยหรือแบบแผนการวิจัย.....	23
3.2 กลุ่มตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์.....	24
3.3 การรวบรวมข้อมูล.....	25
3.4 เครื่องมือการวิจัย.....	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.5 ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย.....	26
3.6 การสร้างแบบจำลองและวิเคราะห์ข้อมูล.....	27
3.6.1 ขั้นตอนการสร้างแบบจำลอง.....	27
3.6.2 การคำนวณแรงลมโดยวิธีการอย่างละเอียด (มยผ.1311-50).....	36
3.6.3 การคำนวณแรงแผ่นดินไหวโดยวิธีสเปกตรัมการตอบสนอง แบบโหมด (มยผ.1302-52).....	43
3.6.4 การคำนวณค่าสติเฟนสของสปริงในแนวราบ ( $K_H$ ).....	49
3.6.5 การคำนวณค่าสติเฟนสของสปริงในแนวตั้ง ( $K_V$ ).....	53
3.6.6 วิเคราะห์โครงสร้างระบบเอาริกเกอร์และผนังรับน้ำหนักแบบยึดแน่น.....	54
3.6.7 วิเคราะห์โครงสร้างระบบเอาริกเกอร์และผนังรับน้ำหนักแบบยึดหยุ่น.....	56
บทที่ 4 ผลการศึกษาและวิเคราะห์ผล.....	59
4.1 คาบการสั่นพื้นฐานของโครงสร้างอาคาร (Fundamental Period).....	59
4.2 ระยะเวลาเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น (Inter-Story Drift).....	69
4.2.1 ระยะเวลาเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นเนื่องจากแรงลม.....	69
4.2.2 ระยะเวลาเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นเนื่องจากแรงแผ่นดินไหว.....	70
4.3 ระยะเวลาเคลื่อนตัวด้านข้าง (Lateral Displacement).....	72
4.3.1 ระยะเวลาเคลื่อนตัวด้านข้างเนื่องจากแรงลม.....	72
4.3.2 ระยะเวลาเคลื่อนตัวด้านข้างเนื่องจากแรงแผ่นดินไหว.....	73
4.4 แรงตามแนวแกนเสา (Axial force of Column).....	75
4.4.1 แรงตามแนวแกนเสาเนื่องจากโน้มถ่วง.....	75
4.4.2 แรงตามแนวแกนเสาเนื่องจากแรงลม.....	78
4.5 แรงเฉือนในผนังรับแรงเฉือน (Shear force of Core wall).....	80
4.5.1 แรงเฉือนในผนังรับแรงเฉือนเนื่องจากแรงลม.....	80
4.5.2 แรงเฉือนในผนังรับแรงเฉือนเนื่องจากแรงแผ่นดินไหว.....	81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.6 โมเมนต์ดัดในผนังรับแรงเฉือน (Bending moment of Core wall).....	83
4.6.1 โมเมนต์ดัดในผนังรับแรงเฉือนเนื่องจากแรงลม.....	83
4.6.2 โมเมนต์ดัดในผนังรับแรงเฉือนเนื่องจากแรงแผ่นดินไหว.....	84
4.7 โมเมนต์ดัดในฐานราก (Bending Moment of Foundation).....	87
4.7.1 โมเมนต์ดัดในฐานรากเนื่องจากการรวมแรงโน้มถ่วงกับแรงลม.....	87
4.7.2 โมเมนต์ดัดในฐานรากเนื่องจากการรวมแรงโน้มถ่วงกับแรงแผ่นดินไหว.....	88
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	89
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	89
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	90
เอกสารอ้างอิง.....	91
ภาคผนวก.....	93
ภาคผนวก ก. ผลการคำนวณแรงลมโดยวิธีอย่างละเอียดและการคำนวณแรงแผ่นดินไหว โดยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า.....	94
ภาคผนวก ข. น้ำหนักบรรทุกทุกใช้งานสำหรับคำนวณจำนวนเสาเข็ม.....	107
ภาคผนวก ค. ผลการป้อนข้อมูลในโปรแกรม ETABS.....	111
ภาคผนวก ง. บทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่.....	144
ประวัติผู้เขียน.....	154

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ค่าคงที่สำหรับต้านทานแรงกดแนวราบ.....	15
2.2 ค่า $n_h$ ที่แนะนำสำหรับดินทราย.....	15
2.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง SPT-N กับความหนาแน่นสัมพัทธ์ของดิน.....	15
3.1 ขนาดโครงสร้างของแบบจำลอง.....	24
3.2 ค่าคาบและความถี่ธรรมชาติของการสั่นพื้นฐานของโครงสร้าง.....	33
3.3 มวลอาคารของแต่ละชั้นและความหนาแน่นเฉลี่ยของอาคาร (กรณี $1.0DL + 1.0SDL + 1.0LL$ ) .....	34
3.4 มวลอาคารของแต่ละชั้นและความหนาแน่นเฉลี่ยของอาคาร (กรณี $1.0DL + 1.0SDL + 0.25LL$ ) .....	35
3.5 ค่าแรงลมสุทธิในทิศทางลมกระทำที่ศูนย์กลางของไดอะแฟรม (Diaphragm).....	40
3.6 ค่าโมเมนต์บิดจากแรงลมกระทำที่ศูนย์กลางของไดอะแฟรม (Diaphragm).....	41
3.7 ข้อมูลชั้นดินในกรุงเทพมหานคร .....	49
3.8 ค่าสติเฟนสของสปริงในแนวราบ ( $K_h$ ).....	51
3.9 แบบจำลองโครงสร้างระบบเอาริกเกอร์และผนังรับน้ำหนักแบบยึดแน่น.....	55
3.10 แบบจำลองโครงสร้างระบบเอาริกเกอร์และผนังรับน้ำหนักแบบยึดหยุ่น.....	58
4.1 คาบการสั่นพื้นฐานของโครงสร้างระบบเอาริกเกอร์และผนังรับน้ำหนักแบบยึดแน่น.....	60
4.2 คาบการสั่นพื้นฐานของโครงสร้างระบบเอาริกเกอร์และผนังรับน้ำหนักแบบยึดหยุ่น.....	60
ก.1 ข้อมูลและค่าสัมประสิทธิ์สำหรับการคำนวณแรงลมโดยวิธีอย่างละเอียด.....	95
ก.2 ผลการคำนวณหน่วยแรงลมในทิศทางลมโดยวิธีอย่างละเอียด.....	96
ก.3 ผลการคำนวณหน่วยแรงลมในทิศทางตั้งฉากโดยวิธีอย่างละเอียด.....	99
ก.4 ผลการคำนวณโมเมนต์บิดโดยวิธีอย่างละเอียด.....	101
ก.5 การคำนวณแรงแผ่นดินไหวโดยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า.....	104
ข.1 ใช้น้ำหนักบรรทุกที่ใช้งานสำหรับคำนวณจำนวนเสาเข็ม.....	108

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างระบบเอาริกเกอร์และผนังรััด.....	4
2.2 เอาริกเกอร์ยื่นจากผนังรับแรงเฉือนด้านเดียว.....	5
2.3 เอาริกเกอร์ยื่นจากผนังรับแรงเฉือนทั้งสองด้าน.....	5
2.4 ระบบเอาริกเกอร์แบบ Cap wall .....	6
2.5 เอาริกเกอร์และผนังรััดที่ตำแหน่ง $z = L$ .....	7
2.6 เอาริกเกอร์และผนังรััดที่ตำแหน่ง $z = 0.75L$ .....	9
2.7 เอาริกเกอร์และผนังรััดที่ตำแหน่ง $z = 0.5L$ .....	10
2.8 เอาริกเกอร์และผนังรััดที่ตำแหน่ง $z = 0.25L$ .....	11
2.9 ตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับเอาริกเกอร์และผนังรััด.....	12
2.10 การจำลองสปริงของดินสำหรับการวิเคราะห์ฐานรากเสาเข็ม.....	13
2.11 แนวคิดการคำนวณค่าโมดูลัสต้านทานแรงแนวราบของดิน .....	14
2.12 ค่าคงที่สำหรับต้านทานแรงกดแนวราบ แนะนำโดย Terzaghi และ Reese .....	16
2.13 ฐานรากรองรับด้วยเสาเข็ม.....	17
2.14 จำลองฐานรองรับแบบจุดหมุน.....	17
2.15 จำลองฐานรองรับด้วยสปริงของเสาเข็ม.....	17
2.16 แสดงตำแหน่งของเอาริกเกอร์กับความสูงของอาคาร ( $H_s/H$ ).....	18
2.17 แบบจำลองเอาริกเกอร์สองระดับที่ตำแหน่งด้านบนและที่ระดับ 0.50 ของความสูงอาคาร.....	19
2.18 แบบจำลองโครงข้อแข็ง 2 มิติ สำหรับการศึกษาพฤติกรรมการตอบสนอง ผลของปฏิสัมพันธ์ระหว่างดินและโครงสร้าง.....	21
2.19 เปรียบเทียบระยะเวลาการเคลื่อนตัวของแต่ละชั้นสำหรับโครงสร้างที่มีฐานรากแบบยึดแน่น กับโครงสร้างที่มีฐานรากแบบยึดหยุ่น.....	21
3.1 แบบจำลองฐานรากแบบยึดแน่น (Fixed Support).....	24
3.2 แบบจำลองฐานรากแบบยึดหยุ่น (Flexible Foundation).....	25
3.3 แผนผังขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย.....	26
3.4 กำหนดแนว Grid line และจำนวนชั้นของแบบจำลอง.....	27
3.5 กำหนดคุณสมบัติของวัสดุคอนกรีตและเหล็กเสริม.....	28
3.6 กำหนดหน้าตัดและคุณสมบัติของเสา.....	28

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.7 กำหนดหน้าตัดและคุณสมบัติของผนังรับแรงเฉือน.....	29
3.8 กำหนดหน้าตัดและคุณสมบัติของแผ่นพื้นไร้คาน.....	29
3.9 แบบแปลนของแบบจำลองจากโปรแกรม ETABS .....	30
3.10 กำหนดจุดรองรับแบบจำลองเป็นแบบยึดแน่น.....	30
3.11 ขั้นตอนการใส่หน้าหนักบรรทุกจร.....	31
3.12 กำหนดพื้น D1 เป็นไดอะแฟรมแข็ง (Rigid diaphragm).....	31
3.13 กำหนดค่าน้ำหนักสุทธิ (Mass source).....	32
3.14 กำหนดจำนวนโหมดในการวิเคราะห์.....	32
3.15 โปรแกรมคำนวณแรงลม Wind Loading Assistant Version 1.0.....	36
3.16 การป้อนข้อมูลสำหรับเลือกวิธีการวิเคราะห์แรงลม.....	37
3.17 การป้อนข้อมูลสำหรับการคำนวณแรงลมด้วยวิธีอย่างละเอียด.....	38
3.18 ผลการคำนวณแรงลมด้านหน้าลมและด้านท้ายลม.....	38
3.19 ผลการคำนวณแรงลมในทิศตั้งฉากกับทิศทางลม.....	39
3.20 การป้อนค่าแรงลม WX แบบ User Defined ในโปรแกรม ETAB .....	42
3.21 การป้อนค่าแรงลม WY แบบ User Defined ในโปรแกรม ETAB.....	42
3.22 การป้อนสเปกตรัมผลตอบสนองสำหรับการออกแบบอาคารในเขตกรุงเทพมหานคร และปริมาตรโซน 5 (หน่วยเป็น g).....	43
3.23 กำหนดกรณีบรรทุกสเปกตรัมในทิศทาง X และ Y .....	44
3.24 กำหนดค่าสถิติเนสประสิทธิภาพของเสา.....	45
3.25 กำหนดค่าสถิติเนสประสิทธิภาพของผนังรับแรงเฉือน.....	45
3.26 กำหนดค่าสถิติเนสประสิทธิภาพของแผ่นพื้นไร้คาน.....	45
3.27 ผลรวมของน้ำหนักประสิทธิภาพเชิงโหมด.....	46
3.28 ตรวจสอบแรงเฉือนที่ฐาน (Base Shear) หน่วยเป็น ตัน.....	46
3.29 การปรับค่า Scale Factor .....	47
3.30 ตรวจสอบแรงเฉือนที่ฐาน (Base Shear) จากการปรับค่า Scale Factor หน่วยเป็น ตัน.....	48
3.31 การจำลองเสาเข็มติดสปริงยึดหยุนเชิงเส้นในแนวราบ.....	52
3.32 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กระทำในแนวราบกับระยะการเคลื่อนตัวของหัวเสาเข็ม.....	52

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.33 กราฟระหว่างแรงที่กระทำในแนวราบกับระยะเวลาการเคลื่อนตัวของหัวเสาเข็ม.....	53
3.34 กำหนดคุณสมบัติของเอาริกเกอร์และผนังรัด.....	54
3.35 เอาริกเกอร์และผนังรัดสำหรับแบบจำลอง MF1.....	55
3.36 กำหนดคุณสมบัติของฐานราก.....	56
3.37 สร้างฐานรากในแบบจำลอง MSO.....	57
3.38 กำหนดค่าสติฟเนสของสปริงแทนเสาเข็มในแบบจำลองฐานราก MSO.....	57
4.1 เปรียบเทียบคาบการสั่นพ้องพื้นฐานโหมด 1 ของระบบเอาริกเกอร์และผนังรัดบนฐานราก แบบยึดแน่นกับฐานรากแบบยึดหยุ่น.....	61
4.2 เปรียบเทียบคาบการสั่นพ้องพื้นฐานโหมด 2 ของระบบเอาริกเกอร์และผนังรัดบนฐานราก แบบยึดแน่นกับฐานรากแบบยึดหยุ่น.....	62
4.3 เปรียบเทียบคาบการสั่นพ้องพื้นฐานโหมด 3 ของระบบเอาริกเกอร์และผนังรัดบนฐานราก แบบยึดแน่นกับฐานรากแบบยึดหยุ่น.....	63
4.4 เปรียบเทียบคาบการสั่นพ้องพื้นฐานโหมด 4 ของระบบเอาริกเกอร์และผนังรัดบนฐานราก แบบยึดแน่นกับฐานรากแบบยึดหยุ่น.....	64
4.5 เปรียบเทียบคาบการสั่นพ้องพื้นฐานโหมด 5 ของระบบเอาริกเกอร์และผนังรัดบนฐานราก แบบยึดแน่นกับฐานรากแบบยึดหยุ่น.....	65
4.6 เปรียบเทียบคาบการสั่นพ้องพื้นฐานโหมด 6 ของระบบเอาริกเกอร์และผนังรัดบนฐานราก แบบยึดแน่นกับฐานรากแบบยึดหยุ่น.....	65
4.7 เปรียบเทียบคาบการสั่นพ้องพื้นฐานโหมด 7 ของระบบเอาริกเกอร์และผนังรัดบนฐานราก แบบยึดแน่นกับฐานรากแบบยึดหยุ่น.....	66
4.8 เปรียบเทียบคาบการสั่นพ้องพื้นฐานโหมด 8 ของระบบเอาริกเกอร์และผนังรัดบนฐานราก แบบยึดแน่นกับฐานรากแบบยึดหยุ่น.....	66
4.9 เปรียบเทียบคาบการสั่นพ้องพื้นฐานโหมด 9 ของระบบเอาริกเกอร์และผนังรัดบนฐานราก แบบยึดแน่นกับฐานรากแบบยึดหยุ่น.....	67
4.10 เปรียบเทียบคาบการสั่นพ้องพื้นฐานโหมด 10 ของระบบเอาริกเกอร์และผนังรัดบนฐานราก แบบยึดแน่นกับฐานรากแบบยึดหยุ่น.....	67

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.11 เปรียบเทียบคาบการสั่นพื้นฐานโหมด 11 ของระบบเออริกเกอร์และผนังรัศบบนฐานรากแบบยึดแน่นกับฐานรากแบบยึดหย่อน.....	68
4.12 เปรียบเทียบคาบการสั่นพื้นฐานโหมด 12 ของระบบเออริกเกอร์และผนังรัศบบนฐานรากแบบยึดแน่นกับฐานรากแบบยึดหย่อน.....	68
4.13 ระยะการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นเนื่องจากแรงลมในทิศทาง X .....	69
4.14 ระยะการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นเนื่องจากแรงลมในทิศทาง Y .....	70
4.15 ระยะการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นเนื่องจากแรงแผ่นดินไหวในทิศทาง X .....	70
4.16 ระยะการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นเนื่องจากแรงแผ่นดินไหวในทิศทาง Y .....	71
4.17 ระยะการเคลื่อนตัวด้านข้างเนื่องจากแรงลมในทิศทาง X .....	72
4.18 ระยะการเคลื่อนตัวด้านข้างเนื่องจากแรงลมในทิศทาง Y .....	73
4.19 ระยะการเคลื่อนตัวด้านข้างเนื่องจากแรงแผ่นดินไหวในทิศทาง X .....	74
4.20 ระยะการเคลื่อนตัวด้านข้างเนื่องจากแรงแผ่นดินไหวในทิศทาง Y .....	74
4.21 แบบแปลนหมายเลขเสา.....	75
4.22 แรงตามแนวแกนเสา C3 เนื่องจากแรงโน้มถ่วง.....	76
4.23 แรงตามแนวแกนเสา C8 เนื่องจากแรงโน้มถ่วง.....	76
4.24 แรงตามแนวแกนเสา C9 เนื่องจากแรงโน้มถ่วง.....	77
4.25 แรงตามแนวแกนเสา C14 เนื่องจากแรงโน้มถ่วง.....	77
4.26 แรงตามแนวแกนเสา C8 เนื่องจากแรงลมในทิศทาง X .....	78
4.27 แรงตามแนวแกนเสา C9 เนื่องจากแรงลมในทิศทาง X .....	78
4.28 แรงตามแนวแกนเสา C3 เนื่องจากแรงลมในทิศทาง Y .....	79
4.29 แรงตามแนวแกนเสา C14 เนื่องจากแรงลมในทิศทาง Y .....	79
4.30 แรงเฉือนในผนังรับแรงเฉือนเนื่องจากแรงลมในทิศทาง X .....	80
4.31 แรงเฉือนในผนังรับแรงเฉือนเนื่องจากแรงลมในทิศทาง Y .....	81
4.32 แรงเฉือนในผนังรับแรงเฉือนเนื่องจากแรงแผ่นดินไหวในทิศทาง X .....	82
4.33 แรงเฉือนในผนังรับแรงเฉือนเนื่องจากแรงแผ่นดินไหวในทิศทาง Y .....	82
4.34 โมเมนต์ดัดในผนังรับแรงเฉือนเนื่องจากแรงลมในทิศทาง X .....	83
4.35 โมเมนต์ดัดในผนังรับแรงเฉือนเนื่องจากแรงลมในทิศทาง Y .....	84

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.36 โมเมนต์ดัดในผนังรับแรงเฉือนเนื่องจากแรงแผ่นดินไหวในทิศทาง X .....	85
4.37 โมเมนต์ดัดในผนังรับแรงเฉือนเนื่องจากแรงแผ่นดินไหวในทิศทาง Y .....	85
4.38 โมเมนต์ดัดในฐานรากเนื่องจากการรวมแรงโน้มถ่วงกับแรงลม .....	87
4.39 โมเมนต์ดัดในฐานรากเนื่องจากการรวมแรงโน้มถ่วงกับแรงแผ่นดินไหว .....	88



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันในเมืองใหญ่ๆ อาคารสูงได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก เนื่องมาจากความหนาแน่นของประชากรมีมากขึ้นและมูลค่าของที่ดินที่สูงขึ้น รวมทั้งความต้องการในการใช้อาคารสูงเป็นสำนักงานและที่พักอาศัยเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นสิ่งที่วิศวกรโครงสร้างต้องคำนึงถึงมากที่สุด คือ อาคารต้องมีความปลอดภัยทั้งต่อชีวิตและทรัพย์สิน การเลือกใช้ระบบโครงสร้างอาคารสูงและการออกแบบจำเป็นต้องวิเคราะห์แรงเนื่องจากแรงโน้มถ่วง คือ น้ำหนักขององค์อาคารและน้ำหนักบรรทุกจร รวมทั้งแรงด้านข้างที่กระทำต่ออาคาร เช่น แรงลมและแรงแผ่นดินไหว เป็นต้น สำหรับอาคารสูงส่วนใหญ่ในเขตกรุงเทพมหานครนิยมใช้โครงสร้างระบบโครงอาคาร (Building Frame System) และระบบโครงสร้าง แบบผสม (Dual System) ระหว่างโครงต้านการดัดร่วมกับระบบผนังรับแรงเฉือน แต่เมื่อระดับความสูงของอาคารเพิ่มขึ้นและมีความซับซ้อนมากขึ้นกำลังความสามารถของโครงสร้างที่ต้านทานต่อแรงกระทำด้านข้างก็ลดลง ทำให้อาคารมีการสั่นไหวได้ง่าย การเคลื่อนที่ด้านข้างบริเวณชั้นบนสุดของอาคารเกินค่าที่มาตรฐานกำหนดไว้ ดังนั้นการออกแบบโครงสร้างอาคารสูงจึงต้องคำนึงถึงความแข็งแรงและเสถียรภาพขององค์อาคารเป็นหลัก ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงได้เสนอโครงสร้างระบบเอาริกเกอร์และผนังรััด (Outrigger and Belt wall) ซึ่งเป็นโครงสร้างแบบผนังหรือคานลึกลับประมาณ 1-2 ชั้นของความสูงอาคารยื่นออกมาจากผนังรับแรงเฉือนบริเวณกลางอาคารถึงเสารอบนอกและยึดเสาแต่ละต้นด้วยผนังรััด ซึ่งทำให้โครงสร้างอาคารมีสติฟเนสเพิ่มขึ้นในบริเวณชั้นดังกล่าว

ดังนั้นงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลการวิเคราะห์พฤติกรรมของระบบเอาริกเกอร์และผนังรััดในรูปแบบต่างๆ ได้แก่ เอาริกเกอร์และผนังหนึ่งระดับ, เอาริกเกอร์และผนังรััดสองระดับ และเอาริกเกอร์และผนังรััดสามระดับ สำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กสูง 60 ชั้นที่มีผนังรับแรงเฉือนบริเวณกลางอาคารและเสารอบนอก ภายใต้การจำลองฐานรากแบบยึดแน่นและฐานรากแบบยึดหยุ่น เนื่องจากพื้นที่ของกรุงเทพมหานครตั้งอยู่บนชั้นดินอ่อน การพิจารณาผลของฐานรากแบบยึดแน่นเพียงอย่างเดียวอาจไม่เพียงพอ ควรจะมีการวิเคราะห์บนฐานรากแบบยึดหยุ่นด้วยโดยการใช้ค่าสติฟเนสของสปริงของดินแทนเสาเข็ม เพื่อเปรียบเทียบพฤติกรรมและผลตอบสนองของโครงสร้างจากการใช้เอาริกเกอร์และผนังรััด เนื่องจากแรงโน้มถ่วงและแรงกระทำด้านข้าง ได้แก่ แรงลม และแรงแผ่นดินไหว ตามมาตรฐานของกรมโยธาธิการและผังเมือง ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้วิศวกรเข้าใจและเลือกใช้ระบบโครงสร้างอาคารสูงให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษาพฤติกรรมของระบบเอาริกเกอร์และผนังรัดในรูปแบบต่างๆ บนฐานรากแบบยึดแน่นและฐานรากแบบยึดหยุ่นของอาคารสูงในพื้นที่กรุงเทพมหานคร

1.2.2 เพื่อเปรียบเทียบผลการตอบสนองของอาคาร ค่าคาบการสั่นพื้นฐานของโครงสร้างอาคาร ระยะการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น ระยะการเคลื่อนตัวด้านข้าง รวมทั้งแรงตามแนวแกนที่เกิดขึ้นในเสา แรงเฉือนและโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นในผนังรับแรงเฉือนและฐานรากเมื่อใช้โครงสร้างระบบเอาริกเกอร์และผนังรัด

## 1.3 สมมติฐานการวิจัย

โครงสร้างระบบเอาริกเกอร์และผนังรัดจะสามารถลดระยะการเคลื่อนตัวด้านข้างของอาคารลงได้เนื่องจากผลของสติฟเนสที่เพิ่มขึ้นในบริเวณชั้นที่มีเอาริกเกอร์และผนังรัด นอกจากนี้ โครงสร้างระบบเอาริกเกอร์และผนังรัดที่อยู่บนฐานรากแบบยึดหยุ่นจะมีพฤติกรรมที่แตกต่างกับโครงสร้างระบบเอาริกเกอร์และผนังรัดที่อยู่บนฐานรากแบบยึดแน่น

## 1.4 ขอบเขตการวิจัย

1.4.1 ศึกษาผลจากการใช้เอาริกเกอร์และผนังรัดหนึ่งระดับ สองระดับ และสามระดับเท่านั้น ภายใต้การจำลองโครงสร้างบนฐานรากแบบยึดแน่นและฐานรากแบบยึดหยุ่นต่อการเปลี่ยนแปลงค่าคาบการสั่นพื้นฐานของโครงสร้างอาคาร ระยะการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น ระยะการเคลื่อนตัวด้านข้าง รวมทั้งแรงตามแนวแกนที่เกิดขึ้นในเสา แรงเฉือนและโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นในผนังรับแรงเฉือนและฐานรากเท่านั้น

1.4.2 ศึกษาเฉพาะแบบจำลองโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กสูง 60 ชั้น ที่มีผนังรับแรงเฉือนกลางอาคาร เสารอบนอก 16 ต้นและระบบพื้นไร้คานเท่านั้น

1.4.3 แรงกระทำด้านข้างในการวิเคราะห์ที่ใช้มาตรฐานของกรมโยธาธิการและผังเมือง โดยแรงลม ใช้มาตรฐานการคำนวณแรงลมและการตอบสนองของอาคาร (มยพ.1311-50) และแรงแผ่นดินไหว ใช้มาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว (มยพ.1302-52) เท่านั้น

1.4.4 ศึกษาและวิเคราะห์แบบจำลองโครงสร้างอาคารโดยใช้โปรแกรม ETABS เท่านั้น

## 1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1.5.1 ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างระบบเอาริกเกอร์และผนังรัด รวมทั้งการวิเคราะห์โครงสร้างบนฐานรากแบบยึดหยุ่นโดยใช้ค่าสติฟเนสของสปริงแทนเสาเข็มในแบบจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1.5.2 สร้างแบบจำลองโดยใช้ฐานรากแบบยึดแน่น สำหรับข้อมูลพื้นฐานในการคำนวณแรงลมและแรงแผ่นดินไหว
- 1.5.3 คำนวณหาแรงกระทำด้านข้าง ได้แก่ แรงลมและแรงแผ่นดินไหว
- 1.5.4 คำนวณหาค่าสติฟเนสของสปริงของดินและเสาเข็มสำหรับใช้ในแบบจำลองฐานรากแบบยึดหยุ่น
- 1.5.5 สร้างแบบจำลองที่ใช้โครงสร้างระบบเอาริกเกอร์และผนังรัดบนฐานรากแบบยึดแน่นและฐานรากแบบยึดหยุ่น
- 1.5.6 วิเคราะห์ผลและเปรียบเทียบข้อมูล
- 1.5.7 สรุปผลการวิจัยและจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

## 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.6.1 ได้ทราบถึงพฤติกรรมของระบบเอาริกเกอร์และผนังรัดที่มีผลต่อระบบโครงสร้างรวมบนฐานรากแบบยึดแน่นและฐานรากแบบยึดหยุ่นของอาคารสูงที่รับแรงกระทำด้านข้างตามมาตรฐานของกรมโยธาธิการและผังเมือง
- 1.6.2 ข้อมูลและข้อค้นพบที่ได้จากการศึกษาสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับผู้สนใจที่ต้องการศึกษาวิเคราะห์ในประเด็นที่เกี่ยวข้องต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

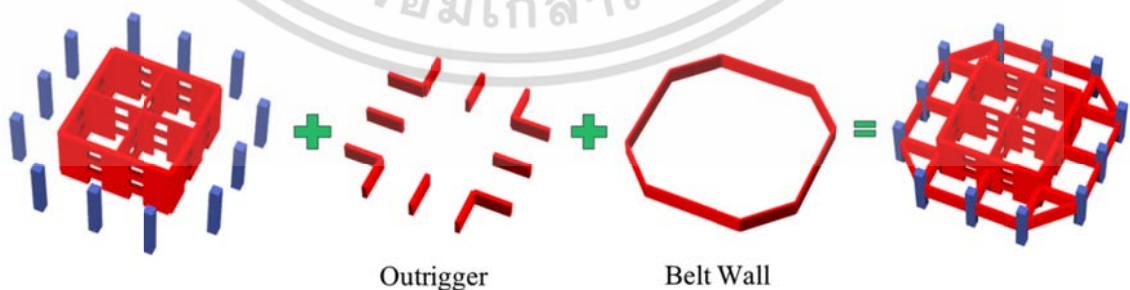
## ทฤษฎีและปรัทัศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ระบบโครงสร้างอาคารสูงจะมีการออกแบบที่แตกต่างกันออกไป ทั้งนี้ในการออกแบบจะต้องคำนึงถึงความสามารถในการรับแรงกระทำเนื่องจากแรงโน้มถ่วง และแรงกระทำด้านข้าง ได้แก่ แรงลมและแรงแผ่นดินไหว ดังนั้นในอาคารสูงจึงจำเป็นต้องมีระบบโครงสร้างอาคารที่ใช้ในการดูดซับผลกระทบจากแรงภายนอกที่มากระทำ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายและยังช่วยสลายพลังงานที่มากระทำกับโครงสร้าง นอกจากนี้ยังสามารถลดขนาดของโครงสร้างหลักลงได้และยังทำให้โครงสร้างอาคารโดยรวมมีเสถียรภาพมากขึ้นด้วย ซึ่งระบบโครงสร้างที่กล่าวถึง คือ โครงสร้างระบบเอาริกเกอร์และผนังรัด (Outrigger and Belt wall)

#### 2.1.1 ทฤษฎีสำหรับโครงสร้างระบบเอาริกเกอร์และผนังรัด

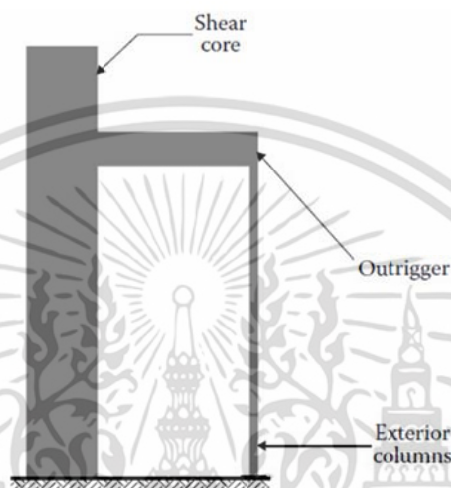
โครงสร้างระบบเอาริกเกอร์และผนังรัด [1] เป็นระบบโครงสร้างที่สามารถใช้กับอาคารสูงประมาณ 40-60 ชั้น ระบบนี้จะมีผนังรับแรงเฉือนอยู่บริเวณกลางอาคาร (Shear wall หรือ Core wall) และเสาอยู่รอบนอก (Exterior column) โดยจะมีโครงถักหรือผนังถักประมาณ 1-2 ชั้นของความสูงอาคารยื่นออกมาจากผนังรับแรงเฉือนที่อยู่บริเวณกลางอาคารถึงเสาตัวนอก เรียกว่า เอาริกเกอร์ (Outrigger) และผนังถักหรือโครงถักประมาณ 1-2 ชั้นของความสูงอาคารเช่นเดียวกันที่ยึดเสารอบนอกแต่ละต้นไว้ด้วยกันเรียกว่า ผนังรัดหรือโครงถักรัด (Belt wall หรือ Belt Truss) ซึ่งทำให้โครงสร้างมีพฤติกรรมเป็นแบบยื่น-ปล่องซ้อนปล่อง (Cantilever tube-in-tube) บริเวณตำแหน่งที่มีโครงสร้างเอาริกเกอร์และผนังรัด ส่งผลให้การเคลื่อนตัวด้านข้างและโมเมนต์ดัดที่ฐานอาคารลดลง



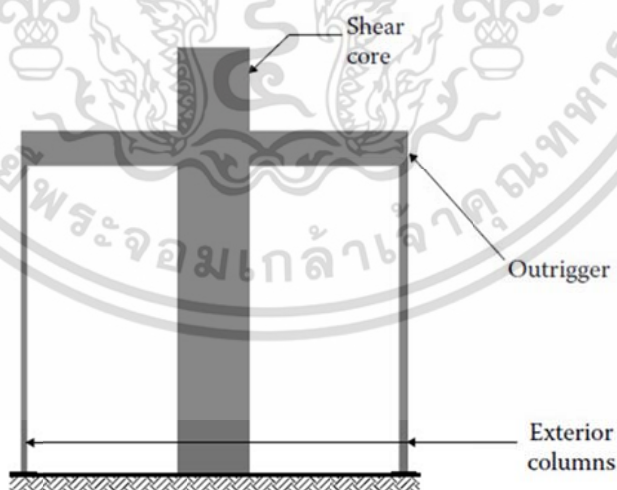
รูปที่ 2.1 โครงสร้างระบบเอาริกเกอร์และผนังรัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตอบสนองของโครงสร้างเมื่อมีแรงกระทำด้านข้าง โดยเสาและเอาริกเกอร์จะช่วยต้านการหมุนของผนังรับแรงเฉือนบริเวณกลางอาคารทำให้การเคลื่อนตัวด้านข้างลดลง ซึ่งเอาริกเกอร์จะยื่นออกมาจากผนังรับแรงเฉือนบริเวณกลางอาคารไปยังเสารอบนอกเพียงด้านเดียว ตามรูปที่ 2.2 หรืออาจจะยื่นออกมาจากผนังรับแรงเฉือนบริเวณกลางอาคารไปยังเสาทั้งสองด้าน ตามรูปที่ 2.3 เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด เอาริกเกอร์และผนังรับแรงเฉือนมีความลึกประมาณ 1 หรือ 2 ชั้นของความสูงอาคาร



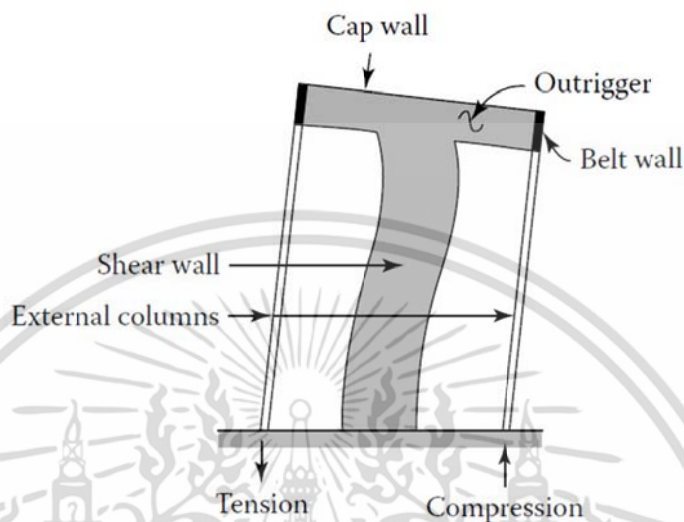
รูปที่ 2.2 เอาริกเกอร์ยื่นจากผนังรับแรงเฉือนด้านเดียว



รูปที่ 2.3 เอาริกเกอร์ยื่นจากผนังรับแรงเฉือนทั้งสองด้าน

เพื่อให้เข้าใจพฤติกรรมของเอาริกเกอร์ พิจารณาอาคารที่มีการวางเอาริกเกอร์ไว้ที่ตำแหน่งด้านบนของอาคารที่เรียกว่า “Cap wall” หรือ “Hat wall system” ตามรูปที่ 2.4 ซึ่งเมื่อมีแรงเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้านข้างมากกระทำ เช่น แรงลม จะทำให้เกิดแรงคู่ควบในเสาเป็นแรงดึงสำหรับเสาด้านต้นลมและเป็นแรงอัดสำหรับเสาด้านท้ายลม ผนังรับแรงเฉือนบริเวณกลางอาคารเกิดการดัดงอส่งผลให้โมเมนต์ดัดในผนังรับแรงเฉือนลดลง



รูปที่ 2.4 ระบบเอาริกเกอร์แบบ Cap wall

สมมติว่าผนังรับแรงเฉือนกลางอาคารมีพฤติกรรมแบบคานยื่นแต่เมื่อมีโครงสร้างเอาริกเกอร์และผนังรับแรงเฉือนที่เชื่อมต่อกับผนังรับแรงเฉือนไปยังเสาทำให้บริเวณนั้นมีสติเฟเนสเพิ่มขึ้น ส่งผลให้การยึดและการหดตัวตามแนวแกนของเสาเท่ากับมุมหมุนของผนังรับแรงเฉือนคูณด้วยระยะทางไปยังแนวศูนย์กลางของผนังรับแรงเฉือนกลางอาคาร ถ้าระยะจากเสาถึงศูนย์กลางผนังรับแรงเฉือนกลางอาคารเท่ากับ  $d/2$  การเสี้ยวรูปตามแนวแกนของเสาจะเท่ากับ  $\theta d/2$  เมื่อ  $\theta$  คือ มุมหมุนของผนังรับแรงเฉือนกลางอาคาร ถ้าเกิดมุมหมุนเท่ากับ 1 หน่วย ( $\theta = 1$ ) การเสี้ยวรูปตามแนวแกนของเสาจะเท่ากับ  $1 \times d/2 = d/2$  หน่วย และแรงตามแนวแกนของเสาสามารถหาได้จากสมการที่ 2.1

$$P = AE \frac{d}{2L} \quad (2.1)$$

- เมื่อ P คือ แรงตามแนวแกนของเสา  
 A คือ พื้นที่หน้าตัดของเสา  
 E คือ โมดูลัสยืดหยุ่นของวัสดุทำเสา  
 d คือ ระยะทางระหว่างเสารอบนอกที่อยู่ตรงกันข้าม  
 L คือ ความสูงของอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าสติฟเนสต้านการหมุนของ Cap wall เกิดจากแรงภายในเสาคุณด้วยระยะจากศูนย์กลางผนังรับแรงเฉือนไปยังเสาต้นที่พิจารณา โดยใช้สัญลักษณ์  $K$  แทนสติฟเนสต้านการหมุน และสังเกตได้ว่ามีเสาด้วยกัน 2 ต้น ซึ่งห่างจากศูนย์กลางผนังรับแรงเฉือนกลางอาคารเป็นระยะทางเท่ากับ  $d/2$

ดังนั้น 
$$K = P \times \frac{d}{2} \times 2$$

$$K = Pd$$

แทนค่าจาก 
$$P = AE \frac{d}{2} L$$

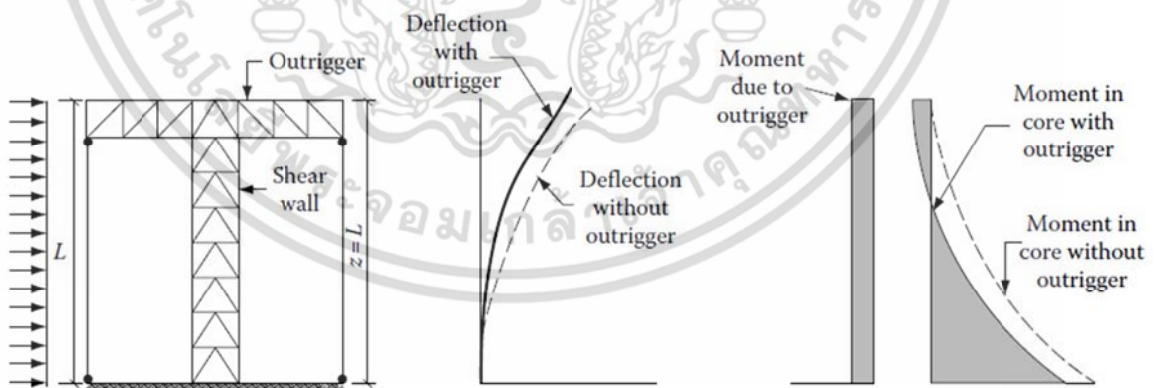
จะได้ 
$$K = \frac{AE d^2}{L} \quad (2.2)$$

2.1.1.1 ทฤษฎีสำหรับหาค่าระยะการเคลื่อนตัวด้านข้างจากการใช้ระบบเอาริกเกอร์

กรณีที่ 1 สำหรับโครงสร้างเอาริกเกอร์ที่ตำแหน่งด้านบนสุดของอาคาร

ข้อกำหนดที่สอดคล้องกับมุมหมุนที่เกิดขึ้นเมื่อระยะ  $z = L$  ตามรูปที่ 2.5 สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\theta_w - \theta_s = \theta_L \quad (2.3)$$



รูปที่ 2.5 เอาริกเกอร์และผนังรับแรงที่ตำแหน่ง  $z = L$

เมื่อ  $\theta_w$  คือ มุมหมุนของผนังรับแรงเฉือนกรณีที่ไม่มีเอาริกเกอร์ที่ระดับความสูง  $z = L$

เนื่องจากแรงด้านข้าง (มีหน่วยเป็น เรเดียน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- $\theta_s$  คือ มุมหมุนที่เกิดจากเอาริกเกอร์ที่ความสูง  $z = L$  (มีหน่วยเป็นเรเดียน) มีทิศตรงข้ามกับมุมหมุนของผนังรับแรงเฉือนกรณีที่ไม่มีเอาริกเกอร์
- $\theta_L$  คือ มุมหมุนสุทธิที่ความสูง  $z = L$  (มีหน่วยเป็นเรเดียน)

สำหรับมุมหมุนของผนังรับแรงเฉือนที่ด้านบนกรณีไม่มีการยึดรั้งจากเอาริกเกอร์ที่ความสูง  $z = L$  เนื่องจากแรงด้านข้าง ( $W$ ) ที่กระทำสม่ำเสมอตลอดความสูงกับผลของโมเมนต์ความเฉื่อย ( $I$ ) และโมดูลัสยืดหยุ่น ( $E$ )

$$\theta_w = \frac{WL^3}{6EI}$$

เมื่อ  $M_1$  และ  $K_1$  แทนโมเมนต์ตัดและค่าสติเฟนส ที่ตำแหน่ง  $z = L$  สามารถเขียนใหม่ได้ดังนี้

$$\frac{WL^3}{6EI} - \frac{M_1L}{EI} = \frac{M_1}{K_1}$$

และ

$$M_1 = \frac{WL^3/6EI}{MK_1 + L/EI} \quad (2.4)$$

ระยะการเคลื่อนตัวด้านข้าง  $\Delta_1$  ที่ด้านบนของอาคารเกิดจากผลรวมของระยะการเคลื่อนตัวเนื่องจากแรงด้านข้าง ( $\Delta_w$ ) และผลจากโมเมนต์ตัดของเอาริกเกอร์ ( $\Delta_s$ )

$$\Delta_1 = \Delta_w - \Delta_s$$

$$\Delta_1 = \frac{WL^4}{8EI} - \frac{M_1L^2}{2EI}$$

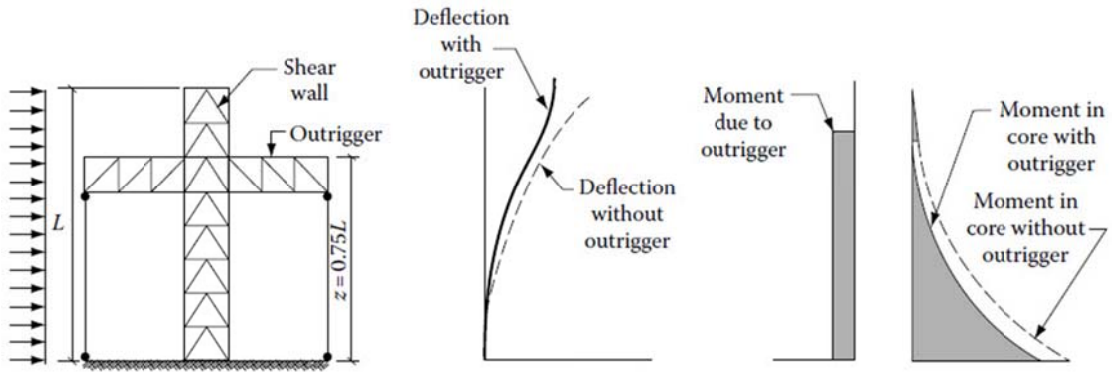
$$\Delta_1 = \frac{L^2}{2EI} \left( \frac{WL^2}{4} - M_1 \right) \quad (2.5)$$

**กรณีที่ 2** สำหรับโครงสร้างเอาริกเกอร์ที่ตำแหน่ง 1/4 ของความสูงอาคารจากด้านบน

สำหรับระยะการเคลื่อนตัว  $y$  ในแนวราบ ที่ระยะ  $x$  จากด้านบนของอาคารเนื่องจากแรงด้านข้าง  $W$  เมื่อระยะ  $x$  เท่ากับ  $L - z$

$$y = \frac{W}{24EI} (x^4 - 4L^3x + 3L^4) \quad (2.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 เอาริกเกอร์และผนังรัดที่ตำแหน่ง  $z = 0.75L$

หาความชันของสมการโดยการ  $\frac{dy}{dx}$  จะได้

$$\frac{dy}{dx} = \frac{W}{6EI} (X^3 - L^3)$$

ดังนั้นความชัน ที่ระยะ  $z = 3L/4$  นั่นคือ  $x = L/4$  แทนลงไปในสมการความชันด้านบน จะได้

$$\begin{aligned} \frac{dy}{dx} \text{ (at } z = \frac{3L}{4}) &= \frac{W}{6EI} \left( \frac{L^3}{64} - L^3 \right) \\ &= \frac{WL^3}{6EI} \times \frac{63}{64} \end{aligned}$$

เมื่อ  $M_2$  และ  $K_2$  แทนโมเมนต์ตัดและค่าสติเฟเนส ที่ระยะ  $z = 3L/4$  ดังนั้นสมการความสอดคล้องของมูมหมุนที่เนื่องจากผลของโมเมนต์ตัด  $M_2$  และค่าสติเฟเนส  $K_2$  จะได้

$$\frac{WL^3}{6EI} \left( \frac{63}{64} \right) - \frac{M_2}{EI} \left( \frac{3L}{4} \right) = \frac{M_2}{K_2}$$

จะสังเกตได้ว่า  $K_2 = \frac{4K_1}{3}$  สามารถเขียนสมการของ  $M_2$  ได้

$$\begin{aligned} M_2 &= \left( \frac{WL^3/6EI}{1/K_1 + L/EI} \right) \left( \frac{63/64}{3/4} \right) \\ &= 1.31 \left( \frac{WL^3/6EI}{1/K_1 + L/EI} \right) \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ (2.4) เมื่อ  $M_1 = \frac{WL^3/6EI}{MK_1+L/EI}$  จะได้

$$M_2 = 1.31M_1 \quad (2.7)$$

ระยะการเคลื่อนตัวด้านข้างสามารถหาได้จากสมการ

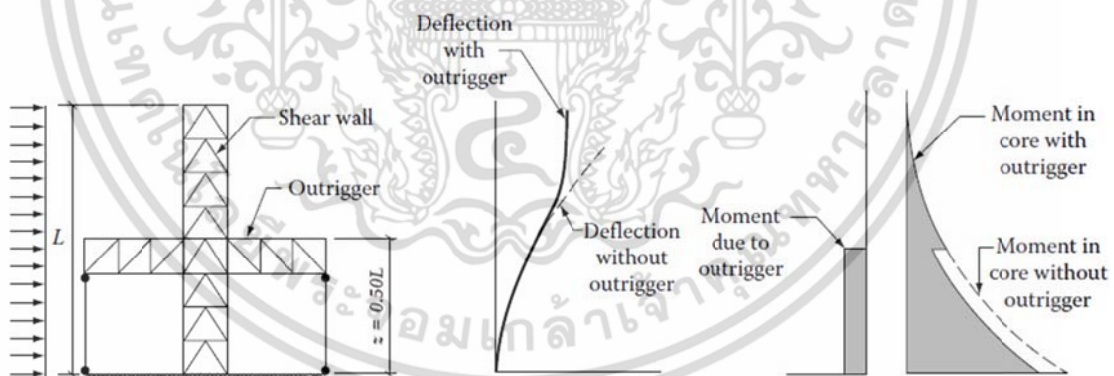
$$\Delta_2 = \frac{WL^4}{8EI} - \frac{M_2 3L}{4EI} \left( L - \frac{3L}{8} \right)$$

หรือ 
$$\Delta_2 = \frac{L^2}{2EI} \left( \frac{WL^2}{4} - 1.23M_1 \right) \quad (2.8)$$

**กรณีที่ 3** สำหรับโครงสร้างเอาริกเกอร์ที่ตำแหน่ง  $1/2$  ของความสูงอาคารจากด้านบน

มุมหมุนที่เกิดขึ้นที่ระดับความสูง  $z = L/2$  เนื่องจากแรงด้านข้าง ( $W$ ) ตามรูปที่ 2.7 มีค่าเท่ากับ  $\frac{7WL^3}{48EI}$  ดังนั้น สมการความสอดคล้องของมุมหมุนจะเท่ากับ

$$\frac{7WL^3}{48EI} - \frac{M_3 L}{2EI} = \frac{M_3}{K_3}$$



**รูปที่ 2.7** เอาริกเกอร์และผนังรัดที่ตำแหน่ง  $z = 0.5L$

เมื่อ  $M_3$  และ  $K_3$  แทนโมเมนต์ดัดและค่าสติเฟนส์ที่ระยะ  $z = L/2$  จะสังเกตได้ว่า  $K_3 = 2K_1$  สามารถเขียนสมการของ  $M_3$  ได้ดังนี้

$$M_3 = \left( \frac{WL^3/6EI}{1/K_1+L/EI} \right) \left( \frac{7}{4} \right)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เขียนสมการของ  $M_3$  ให้อยู่ในรูปของ  $M_1$  จะได้

$$M_3 = 1.75M_1 \quad (2.9)$$

ระยะการเคลื่อนตัวด้านข้างสามารถหาได้จากสมการ

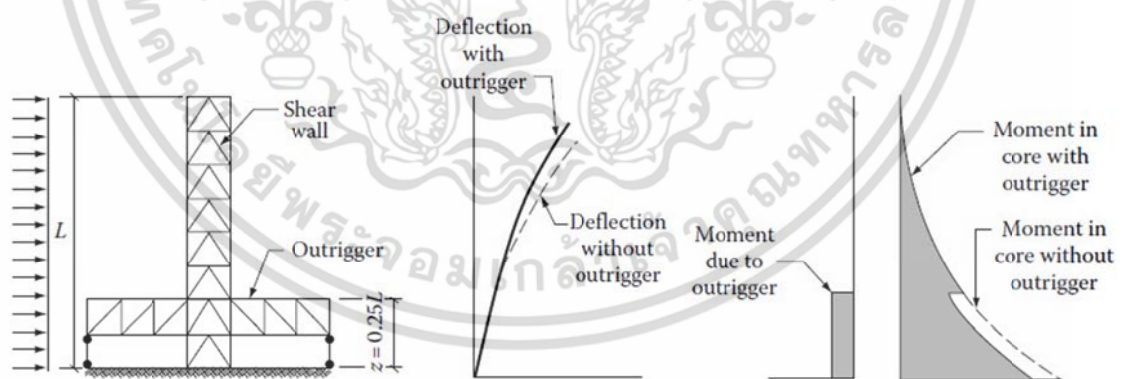
$$\Delta_3 = \frac{WL^4}{8EI} - \frac{M_3L}{2EI} \left( L - \frac{L}{4} \right)$$

หรือ

$$\Delta_3 = \frac{L^2}{2EI} \left( \frac{WL^2}{4} - 1.31M_1 \right) \quad (2.10)$$

**กรณีที่ 4** สำหรับโครงสร้างเอาริกเกอร์ที่ตำแหน่ง  $1/4$  ของความสูงอาคารจากด้านล่าง มุมหมุนที่เกิดขึ้นที่ระดับความสูง  $z = L/4$  เนื่องจากแรงด้านข้าง ( $W$ ) ตามรูปที่ 2.8 มีค่าเท่ากับ  $\frac{WL^3}{6EI} \left( \frac{37}{64} \right)$  ดังนั้น สมการความสอดคล้องของมุมหมุนจะเท่ากับ

$$\frac{WL^3}{6EI} \left( \frac{37}{64} \right) - \frac{M_4L}{4EI} = \frac{M_4}{K_4}$$



**รูปที่ 2.8** เอาริกเกอร์และผนังรััดที่ตำแหน่ง  $z = 0.25L$

เมื่อ  $M_4$  และ  $K_4$  แทนโมเมนต์ดัดและค่าสติเฟนสที่ระยะ  $z = L/4$  จะสังเกตได้ว่า  $K_4 = 4K_1$  สามารถเขียนสมการของ  $M_4$  ให้อยู่ในรูปของ  $M_1$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้ 
$$M_4 = 2.3M_1 \quad (2.11)$$

ระยะการเคลื่อนตัวด้านข้างสามารถหาได้จากสมการ

$$\Delta_4 = \frac{WL^4}{8EI} - \frac{M_4L}{4EI} \left( L - \frac{L}{8} \right)$$

หรือ 
$$\Delta_4 = \frac{L^2}{2EI} \left( \frac{WL^2}{4} - M_1 \right) \quad (2.12)$$

ตัวแปร A, E และ I ในสมการสำหรับหาค่าระยะการเคลื่อนตัวด้านข้างของอาคารจะเป็นคุณสมบัติของเสารอบนอก (Exterior Column)

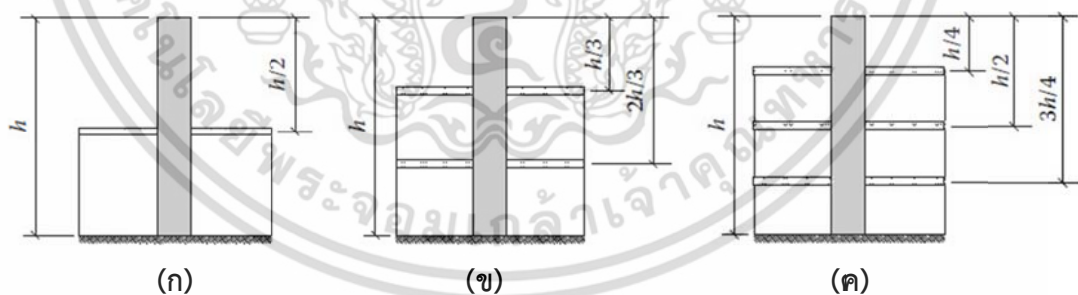
เมื่อ A คือ พื้นที่หน้าตัดของเสา

E คือ โมดูลัสยืดหยุ่นของเสา

I คือ โมเมนต์ความเฉื่อยของหน้าตัดเสา

#### 2.1.1.2 ข้อแนะนำสำหรับตำแหน่งที่เหมาะสมของเอาริกเกอร์และผนังรัด

ในการหาตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับเอาริกเกอร์และผนังรัด โดยวัตถุประสงค์หลัก คือ เพื่อลดระยะการเคลื่อนตัวด้านข้างของอาคาร



รูปที่ 2.9 ตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับเอาริกเกอร์และผนังรัด

รูปแบบ (ก) เป็นระบบเอาริกเกอร์และผนังรัดหนึ่งระดับ ตำแหน่งที่เหมาะสมอยู่ที่  $h/2$

รูปแบบ (ข) เป็นระบบเอาริกเกอร์และผนังรัดสองระดับ ตำแหน่งที่เหมาะสมอยู่ที่  $h/3$  และ  $2h/3$  จากด้านบนอาคาร

รูปแบบ (ค) เป็นระบบเอาริกเกอร์และผนังรัดสามระดับ ตำแหน่งที่เหมาะสมอยู่ที่  $h/4$ ,  $h/2$  และ  $3h/4$  จากด้านบนอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.1.2 ทฤษฎีสำหรับการจำลองเสาเข็มด้วยสปริงของสปริง

การจำลองเสาเข็มด้วยสปริงของสปริงสำหรับใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างบนฐานรากแบบยืดหยุ่น โดยใช้ค่าสปริงของสปริงในแนวราบและแนวตั้งแทนเสาเข็ม

### 2.1.2.1 ทฤษฎีสำหรับการจำลองเสาเข็มด้วยสปริงของสปริงในแนวราบ ( $K_h$ )

สำหรับการจำลองเสาเข็มด้วยสปริงของสปริงในแนวราบ [2] มีตัวแปรที่สำคัญ คือ โมดูลัสต้านทานแรงแนวราบของชั้นดิน (Modulus of horizontal subgrade reaction,  $k_s$ ) ซึ่งมีหน่วยเป็น “แรงต่อปริมาตร” พารามิเตอร์ตัวดังกล่าวจะบอกถึงความสามารถในการต้านทานแรงทางข้างของเสาเข็มกับดินรอบข้าง

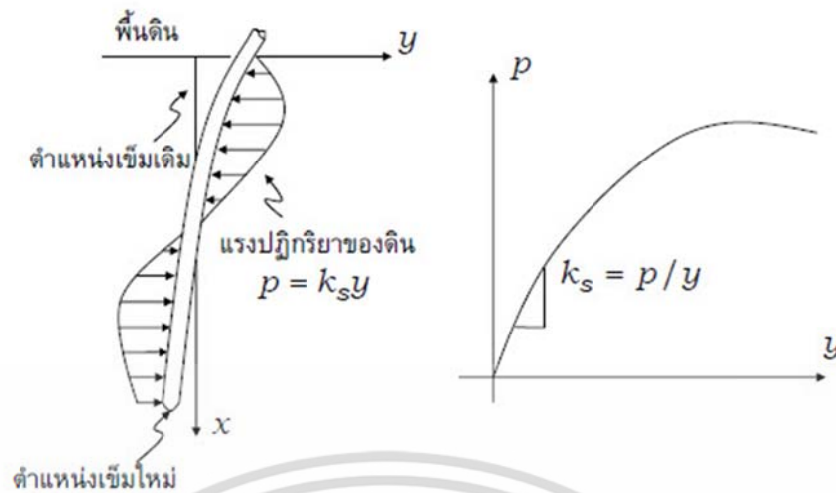


เมื่อ  $k_s$  คือ ค่าโมดูลัสต้านทานแรงแนวราบของดิน (Modulus of horizontal subgrade reaction) (ตันต่อลูกบาศก์เมตร)

$B$  คือ ขนาดความกว้างหรือเส้นผ่านศูนย์กลางของเสาเข็ม (เมตร)

$\Delta L$  คือ ระยะเรียงของสปริง (เมตร)

ค่า  $k_s$  เป็นอัตราส่วนระหว่างแรงดัน (Pressure,  $p$ ) ที่เกิดจากการผลัดเสาเข็มออกไปทางด้านข้างต่อระยะการเคลื่อนตัวด้านข้างที่เกิดขึ้น ( $y$ ) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 แนวคิดการคำนวณค่าโมดูลัสต้านทานแรงแนวราบของดิน

เมื่อ  $p$  คือ แรงดันดิน (ตันต่อตารางเมตร)  
 $y$  คือ ระยะที่เสาเข็มเคลื่อนตัวด้านข้าง (เมตร)

อาจจะกล่าวได้ว่าค่า  $k_s$  คือ ค่าความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและระยะการเคลื่อนตัวในแนวราบ (เส้นโค้ง  $p-y$ ) ตามสมการที่ (2.14)

$$k_s = \frac{p}{y} \quad (2.14)$$

การคำนวณค่า  $k_s$  สำหรับดินทรายและดินเหนียวจะมีความแตกต่างกัน สำหรับดินทราย Terzaghi (1955) ได้เสนอสูตรการคำนวณโดยค่า  $k_s$  ไม่คงที่ตามความลึกของชั้นดินโดยนิยามค่าคงที่สำหรับต้านทานแรงแนวราบ (Constant of horizontal subgrade reaction) หรือ  $n_h$  มีหน่วยเป็น “แรงต่อปริมาตร” ในหน่วยตันและเมตรจะมีค่าเท่ากับ “ตันต่อลูกบาศก์เมตร” ดังนั้นค่าโมดูลัสต้านทานแรงแนวราบของดินสามารถเขียนเป็นสมการได้ ดังนี้

$$k_s = \frac{n_h x}{B} \quad (2.15)$$

เมื่อ  $x$  คือ ความลึก ณ จุดที่พิจารณา (เมตร)

$B$  คือ ขนาดความกว้างหรือเส้นผ่านศูนย์กลางของเสาเข็ม (เมตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าคงที่สำหรับต้านทานแรงกดแนวราบ หรือค่า  $n_h$  สามารถประมาณได้จากค่าในตารางที่ 2.1 และ ตารางที่ 2.2

**ตารางที่ 2.1** ค่าคงที่สำหรับต้านทานแรงกดแนวราบโดย Davisson, M. T., 1970

ประเภทของดิน	$n_h$ (ตันต่อลูกบาศก์เมตร)
กรวด (Granular)	284 - 2,838
ตะกอน (silt)	11 - 85
พีช (Peat)	6

**ตารางที่ 2.2** ค่า  $n_h$  ที่แนะนำสำหรับดินทรายโดย Prakash, S. และ Sharma, H., 1990

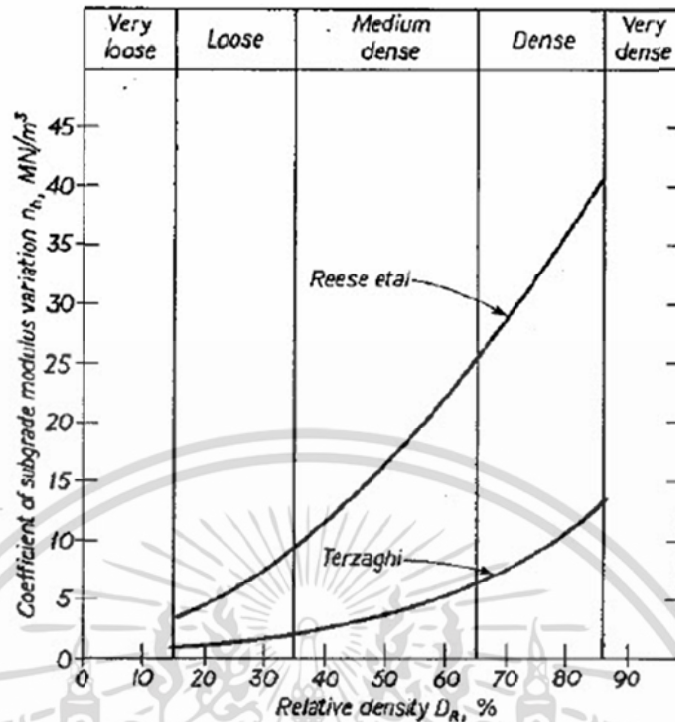
คณะผู้เสนอค่า $n_h$	หลวม	ปานกลาง	แน่น
Terzaghi (1955)	74 - 218	218 - 738	738 - 1,447
Reese และคณะ (1974)	568	1,703	3,547

ค่าที่แนะนำโดย Terzaghi และ Reese แสดงไว้ละเอียดขึ้นในรูปที่ 2.12 โดยค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์ สามารถประมาณได้จากค่า SPT-N value ตามตารางที่ 2.3

**ตารางที่ 2.3** ความสัมพันธ์ระหว่าง SPT-N กับความหนาแน่นสัมพัทธ์ของดิน

ค่า SPT-N (ครั้งต่อฟุต)	ความหนาแน่นสัมพัทธ์	สภาพดิน
0-4	0 - 0.2	หลวมมาก
4-10	0.2 - 0.4	หลวม
10-30	0.4 - 0.6	ปานกลาง
30-50	0.6 - 0.8	แน่น
> 50	0.8 - 1.0	แน่นมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 ค่าคงที่สำหรับต้านทานแรงกดแนวราบ แนะนำโดย Terzaghi และ Reese

สำหรับดินเหนียวค่า  $k_s$  จะคงที่ตลอดชั้นดิน โดย Davisson, M. T. (1970) เสนอสูตรการคำนวณไว้ตามสมการที่ 2.16

$$k_s = 67 \frac{S_u}{B} \quad (2.16)$$

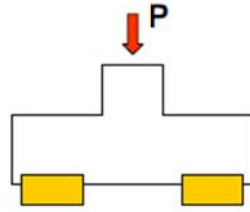
เมื่อ  $S_u$  คือ กำลังต้านทานแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ (Undrained shear strength) (ตันต่อตารางเมตร)

B คือ ขนาดความกว้างหรือเส้นผ่านศูนย์กลางของเสาเข็ม (เมตร)

#### 2.1.2.2 ทฤษฎีสำหรับการจำลองเสาเข็มด้วยสปริงในแนวตั้ง ( $K_v$ )

การวิเคราะห์ผลตอบสนองของอาคารที่ถ่ายน้ำหนักลงสู่ฐานรากเสาเข็มในกรณีที่พิจารณาแรงในแนวตั้งเป็นหลัก สามารถวิเคราะห์ได้โดยการแทนเสาเข็มในแนวตั้งด้วย สปริงของเสาเข็ม (Pile spring) แทนการใช้ฐานรองรับแบบจุดหมุน (Pin support) หรือแบบยึดแน่น (Fixed support) แสดงไว้ในรูปที่ 2.13 ถึง 2.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 ฐานรากรองรับด้วยเสาเข็ม

แทนแทนหัวเข็มด้วย  
Beam element หรือ Plate element

รูปที่ 2.14 จำลองฐานรองรับแบบจุดหมุน

รูปที่ 2.15 จำลองฐานรองรับด้วยสปริงของเสาเข็ม

เสาเข็มซึ่งเป็นวัสดุยืดหยุ่น (Elastic material) เมื่อรับน้ำหนักบรรทุกทุกตามแนวแกนจะเกิดระยะการเคลื่อนตัวตามแนวแกน ทำให้เมื่อรวมผลของการยืด-หดตัวดังกล่าว การจำลองพฤติกรรม การเคลื่อนตัวของอาคารจะมีความละเอียดยิ่งขึ้น โดยมาตรฐาน ATC-40 (1995) ได้แนะนำสมการหาค่าสติฟเนสของสปริงในแนวตั้ง เท่ากับ

$$K_v = \frac{2A_p E_p}{L_p} \quad (2.17)$$

เมื่อ  $A_p$  คือ พื้นที่หน้าตัดของเสาเข็ม (ตารางเมตร)

$E_p$  คือ โมดูลัสยืดหยุ่นของวัสดุที่ใช้ทำเสาเข็ม (ตันต่อตารางเมตร)

$L_p$  คือ ความยาวของเสาเข็ม (เมตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

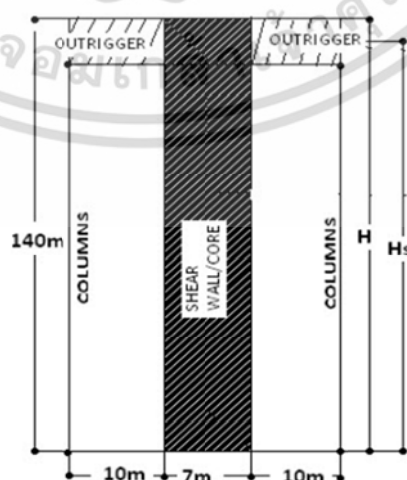
โดยสมการอยู่บนพื้นฐานที่ว่าเสาเข็มวางอยู่บนชั้นดินที่มีสภาพแน่น ดังนั้นตามหลักกลศาสตร์ของวัสดุ สติเฟนตามแนวแกนของเสาเข็มจึงมีค่าเท่ากับ  $A_p E_p / L_p$  และเมื่อรวมผลของแรงเสียดทานผิวตลอดความยาวเสาเข็มก็ให้เพิ่มค่าดังกล่าวเป็นสองเท่า

## 2.2 ปรัชน์วรรณกรรม

### 2.2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์โครงสร้างระบบเอาริกเกอร์และผนังรัด

การศึกษาและวิเคราะห์เกี่ยวกับพฤติกรรมของระบบเอาริกเกอร์และผนังรัดหรือโครงถักรัดได้เริ่มมาตั้งแต่ช่วงคริสต์ศักราช 1974 เป็นต้นมาโดย Taranath S. ได้ทำการศึกษา [3] หาตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับโครงถักรัดเพื่อลดการเคลื่อนตัวด้านข้างเนื่องจากแรงลมโดยใช้การวิเคราะห์อย่างง่าย ต่อมา McNabb (1975) ได้ขยายผลการศึกษาโดยวิเคราะห์ในรูปแบบของเอาริกเกอร์สองระดับเพื่อเปรียบเทียบระยะการเคลื่อนตัวสัมพันธ์ระหว่างชั้นที่ลดลง [4] เนื่องจากผลของการใช้เอาริกเกอร์และในปีเดียวกัน McNabb (1975) ได้ยืนยันผลการศึกษาของ Taranath (1974) ว่าตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับเอาริกเกอร์หนึ่งระดับอยู่ที่ 0.445 ของความสูงอาคารจากด้านบน และแสดงให้เห็นว่าตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับเอาริกเกอร์สองระดับอยู่ที่ 0.312 และ 0.685 ของความสูงอาคารจากด้านบน หลังจากนั้นก็ได้มีการศึกษากันเรื่อยมา

การศึกษา [5] พฤติกรรมทางสถิตศาสตร์และพลศาสตร์เกี่ยวกับโครงสร้างระบบเอาริกเกอร์สำหรับอาคารสูง วิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม ETABS ด้วยแบบจำลอง 3 มิติ เป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กสูง 40 ชั้น มีผนังรับแรงเฉือนกลางอาคารและเสารอบนอก ความสูงของแต่ละชั้น 3.50 เมตร โดยเอาริกเกอร์จะอยู่ที่ระดับความสูง 0.975, 0.75, 0.50 และ 0.40 เมื่อเทียบกับตำแหน่งของเอาริกเกอร์กับความสูงของอาคาร ( $H_s/H$ )

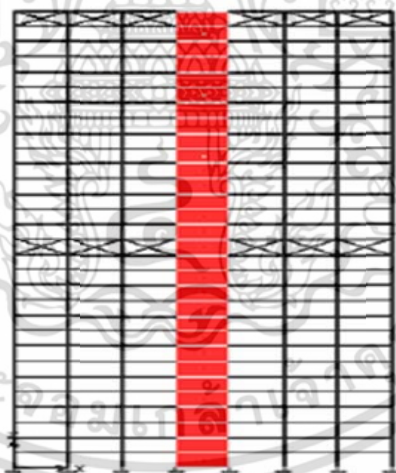


รูปที่ 2.16 แสดงตำแหน่งของเอาริกเกอร์กับความสูงของอาคาร ( $H_s/H$ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยวิเคราะห์ภายใต้แรงลม และแรงแผ่นดินไหว ที่เกิดขึ้นในเมืองลอสแอนเจลิส LA03 (El Centro Array 5, James Road), LA06 (El Centro Array 6) และ LA14 (Northridge, LA County Fire Station) จากผลการศึกษาพบว่าเมื่อเอาริกเกอร์อยู่ที่ตำแหน่ง Hs/H เท่ากับ 0.975 การเคลื่อนตัวด้านข้างลดลง 37% และเมื่อเอาริกเกอร์อยู่ที่ตำแหน่ง Hs/H เท่ากับ 0.5 การเคลื่อนตัวด้านข้างลดลง 61% เมื่อเทียบกับโครงสร้างที่ไม่ใช้ระบบเอาริกเกอร์ นอกจากนี้แรงเฉือนและแรงดัดที่เกิดขึ้นในผนังรับแรงเฉือนกลางอาคารก็ลดลงเช่นกันเมื่อใช้โครงสร้างระบบเอาริกเกอร์

การศึกษา [6] ระบบเอาริกเกอร์เพื่อหาตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับอาคารสูงที่เป็นโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กภายใต้แรงลมและแรงแผ่นดินไหว โดยศึกษาจากแบบจำลองโครงสร้างที่ใช้เป็นอาคารสำนักงานสูง 30 ชั้น (90 เมตร) ขนาด 38.50 เมตร x 38.50 เมตร มีโครงสร้างผนังรับแรงเฉือนอยู่กลางอาคารและเสารอบนอกแต่ละต้นมีระยะห่างกัน 5.50 เมตร วิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม ETABS โดยแบ่งแบบจำลองออกเป็น 9 รูปแบบ กำหนดจุดรองรับเป็นแบบยึดแน่น (Fix Support) จากนั้นทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลของการเคลื่อนตัวด้านข้าง แรงตามแนวแกนเสาและโมเมนต์ดัดในผนังรับแรงเฉือนที่เกิดจากแรงลมและแรงแผ่นดินไหว ซึ่งพบว่าสามารถลดการเคลื่อนตัวด้านข้างได้ถึง 23% เมื่อใช้เอาริกเกอร์สองระดับ โดยตำแหน่งแรกอยู่ที่ด้านบนของอาคาร และตำแหน่งที่สองอยู่ที่ 0.50 ของความสูงอาคารโดยไม่มีโครงถัก



รูปที่ 2.17 แบบจำลองเอาริกเกอร์สองระดับที่ตำแหน่งด้านบนและที่ระดับ 0.50 ของความสูงอาคาร

การศึกษาถึงพฤติกรรม [7] ระบบเอาริกเกอร์ของอาคารสูงภายใต้แรงแผ่นดินไหว จาก 9 แห่งกำเนิดคลื่นแผ่นดินไหวทำการวิเคราะห์โดยวิธีสเปกตรัมการตอบสนอง โดยใช้แบบจำลอง 3 มิติ เป็นโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กสูง 50 ชั้น (187.50 เมตร) มีผนังรับแรงเฉือนหนา 450 มิลลิเมตร และเสารอบนอกขนาด 2000x1200 มิลลิเมตร ขนาดหน้าตัดของผนังรับแรงเฉือนและเสาสม่ำเสมอตลอดความสูงของอาคาร สำหรับเอาริกเกอร์จะเป็นรูปแบบของคานลึกมีขนาด 250x3750 มิลลิเมตร เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยสมมุติฐานให้จุดต่อระหว่างเอาริกเกอร์กับผนังรับแรงเฉือนกลางอาคารเป็นแบบยึดแน่นและจุดรองรับของผนังรับแรงเฉือนกำหนดเป็นแบบยึดแน่น (Fix Support) จากผลการศึกษาพบว่า การตอบสนองของโครงสร้าง เช่น ระยะเวลาเคลื่อนตัวด้านข้างและระยะเวลาเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น ภายใต้แรงแผ่นดินไหวจะมีค่าลดลงเมื่อเอาริกเกอร์แบบคานลิกอยู่ระหว่างชั้น 22-24 หรือที่ระดับ 0.44-0.48 ของความสูงอาคารจากด้านล่าง

การใช้ระบบเอาริกเกอร์และโครงถักรัด [8] สำหรับอาคารสูงเป็นโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่รับแรงกระทำด้านข้าง ได้แก่แรงลมและแรงแผ่นดินไหวโดยแรงลมใช้ตามมาตรฐานของ British Standard Institution, CP3 และแรงแผ่นดินไหวใช้มาตรฐานของอินโดนีเซีย โซน 4 ซึ่งแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 2 รูปแบบหลัก คือวิเคราะห์แบบ 2 มิติ ด้วยแบบจำลอง 40 ชั้น แบ่งออกเป็น 8 รูปแบบ วิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม GT-Struld และวิเคราะห์แบบ 3 มิติ ด้วยแบบจำลอง 60 ชั้น แบ่งออกเป็น 5 รูปแบบ วิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม ETABS จากนั้นทำการเปรียบเทียบระยะเวลาเคลื่อนตัวด้านข้างและระยะเวลาเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น ซึ่งพบว่าการวิเคราะห์แบบ 2 มิติ ระยะเวลาเคลื่อนตัวด้านข้างลดลงถึง 65% เมื่อใช้เอาริกเกอร์สองระดับ โดยตำแหน่งแรกอยู่ที่ด้านบนอาคารและตำแหน่งที่ 2 อยู่ที่ระดับ 0.50 ของความสูงอาคาร สำหรับการวิเคราะห์แบบ 3 มิติ การเคลื่อนที่ด้านข้างลดลง 18% สำหรับเอาริกเกอร์สองระดับภายใต้แรงแผ่นดินไหวเมื่อเอาริกเกอร์อยู่ที่ตำแหน่งด้านบนของอาคารและที่ระดับ 0.45 ของความสูงอาคารจากด้านบน

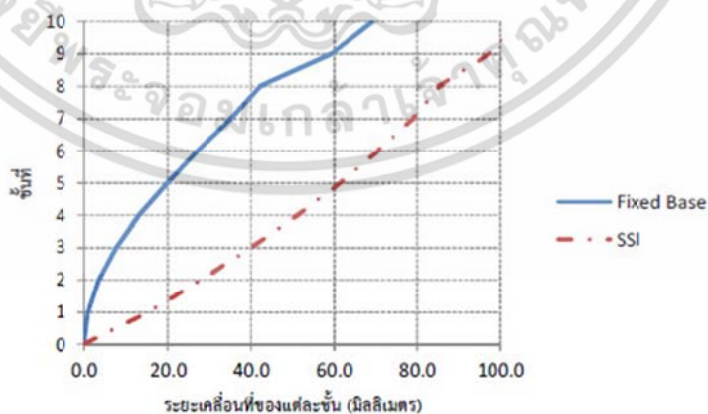
การควบคุมระยะเวลาเคลื่อนตัวด้านข้างของอาคารคอมโพสิต [9] โดยการใช้โครงสร้างระบบเอาริกเกอร์และโครงถักรัดในการต้านทานแรงด้านข้างตามมาตรฐานของออสเตรเลีย โดยศึกษาจากแบบจำลอง 60 ชั้น (210 เมตร) ความสูงแต่ละชั้นเท่ากับ 3.50 เมตร อาคารมีความกว้าง 19.20 เมตรและยาว 37.0 เมตร เอาริกเกอร์และโครงถักรัดใช้เป็นโครงสร้างหลักโดยแบ่งแบบจำลองออกเป็น 4 รูปแบบ โดยรูปแบบ MT0-เป็นแบบจำลองที่ไม่มีเอาริกเกอร์และโครงถักรัด, MT1-เป็นแบบจำลองที่มีเอาริกเกอร์และโครงถักรัดหนึ่งระดับ, MT2-เป็นแบบจำลองที่มีเอาริกเกอร์และโครงถักรัดสองระดับ และ MT3-เป็นแบบจำลองที่มีเอาริกเกอร์และโครงถักรัดสามระดับ จากผลการศึกษาพบว่าระยะเวลาเคลื่อนตัวด้านข้างลดลง 34% เมื่อใช้เอาริกเกอร์และโครงถักรัดหนึ่งระดับ การเคลื่อนตัวด้านข้างลดลง 42% เมื่อใช้เอาริกเกอร์และโครงถักรัดสองระดับ และการเคลื่อนตัวด้านข้างลดลง 51% เมื่อใช้เอาริกเกอร์และโครงถักรัดสามระดับ เมื่อเทียบกับโครงสร้างอาคารคอมโพสิตที่ไม่มีเอาริกเกอร์และโครงถักรัด

### 2.2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์โครงสร้างภายใต้ฐานรากแบบยืดหยุ่น

การศึกษาพฤติกรรม [10] การตอบสนองผลของปฏิสัมพันธ์ระหว่างดินและโครงสร้าง เพื่อนำมาสร้างกราฟการตอบสนองของสเปกตรัมใช้ในการออกแบบอาคารต้านทานแผ่นดินไหวในกรุงเทพมหานครซึ่งรวมผลของปฏิสัมพันธ์ระหว่างดินเหนียวอ่อนและโครงสร้าง ซึ่งดำเนินการโดยศึกษาข้อมูลของดินในพื้นที่กรุงเทพมหานครแล้วแปลงข้อมูลมาเป็นตัวแปรเชิงปฏิสัมพันธ์สำหรับการวิเคราะห์ โดยแบบจำลองเป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กสูง 10 ชั้น เป็นระบบโครงสร้างข้อแข็ง 2 มิติ ฐานรากวางบนดินเหนียวอ่อนที่มีการตอบสนองของโครงสร้างทางแนวดิ่งและด้านข้าง โดยจตุรรองรับ แบ่งเป็น 2 รูปแบบ แบบแรกจำลองเป็นแบบยึดแน่น และแบบที่สองจำลองเป็นสปริงยืดหยุ่นเชิงเส้นในแกน X และ แกน Y เมื่อพิจารณาผลของปฏิสัมพันธ์ระหว่างดินและโครงสร้าง

รูปที่ 2.18 แบบจำลองโครงสร้างข้อแข็ง 2 มิติ สำหรับการศึกษาพฤติกรรมการตอบสนองผลของปฏิสัมพันธ์ระหว่างดินและโครงสร้าง

จากผลการศึกษาพบว่าโครงสร้างที่มีฐานรากแบบยืดหยุ่นโดยใช้ค่าสติเฟนสของสปริงแทนเสาเข็มเกิดระยะการเคลื่อนตัวของอาคาร แรงเฉือนและค่าโมเมนต์การพลิกคว่ำของอาคารมากกว่าโครงสร้างที่มีฐานรากแบบยึดแน่น



รูปที่ 2.19 เปรียบเทียบระยะการเคลื่อนตัวของแต่ละชั้นสำหรับโครงสร้างที่มีฐานรากแบบยึดแน่นกับโครงสร้างที่มีฐานรากแบบยืดหยุ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาถึงพฤติกรรม [11] การต้านทานแผ่นดินไหวของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยรวมผลของปฏิสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างและดิน (Soil-Structure Interaction, SSI) โดยแบบจำลองใช้โครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กสูง 14 ชั้น ระบบพื้น-เสาตั้งอยู่ในเขตกรุงเทพมหานคร วิเคราะห์ด้วยวิธีพลศาสตร์ไม่เชิงเส้น (Nonlinear Dynamic Analysis) และจำลองฐานรากแบบยืดหยุ่นโดยมีการแปรเปลี่ยนค่าความยืดหยุ่น 3 ระดับ จากการศึกษาพบว่าค่าระยะการเคลื่อนตัวด้านข้างและดัชนีระยะการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นของอาคารที่มีฐานรากแบบยืดหยุ่นมีค่ามากกว่าอาคารซึ่งใช้ฐานรากแบบยึดแน่นและดัชนีความเสียหายของอาคารที่มีฐานรากแบบยืดหยุ่นมีค่าสูงกว่าโครงสร้างที่มีฐานรากแบบยึดแน่น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

# ระเบียบวิธีการวิจัย

### 3.1 รูปแบบการวิจัยหรือแบบแผนการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์และเปรียบเทียบพฤติกรรมของโครงสร้างระบบเอริกเกอร์และผนังรับน้ำหนักแบบยึดหยุ่นและฐานรากแบบยึดแน่น โดยจะศึกษาและเปรียบเทียบดังนี้

3.1.1. พิจารณาค่าคาบการสั่นพื้นฐานของโครงสร้างอาคารโดยกำหนดให้น้ำหนักประสิทธิผลของโครงสร้าง (Define Mass Source) เท่ากับผลรวม 100% ของน้ำหนักบรรทุกคงที่และ 25% ของน้ำหนักบรรทุกจร ( $1.0DL+1.0SDL+0.25LL$ )

3.1.2. พิจารณาระยะการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นของอาคาร เนื่องจากแรงลมและแรงแผ่นดินไหว ตามมาตรฐานของกรมโยธาธิการและผังเมือง (WX, WY, EQSX และ EQSY)

3.1.3. พิจารณาระยะการเคลื่อนตัวด้านข้างของอาคาร เนื่องจากแรงลมและแรงแผ่นดินไหว ตามมาตรฐานของกรมโยธาธิการและผังเมือง (WX, WY, EQSX และ EQSY)

3.1.4. พิจารณาแรงตามแนวแกนเสา เนื่องจากแรงโน้มถ่วงและแรงลม ตามมาตรฐานของกรมโยธาธิการและผังเมือง (GRAVITY, WX และ WY)

3.1.5. พิจารณาแรงเฉือนที่เกิดขึ้นในผนังรับแรงเฉือน เนื่องจากแรงลมและแรงแผ่นดินไหว ตามมาตรฐานของกรมโยธาธิการและผังเมือง (WX, WY, EQSX และ EQSY)

3.1.6. พิจารณาโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นในผนังรับแรงเฉือน เนื่องจากแรงลมและแรงแผ่นดินไหว ตามมาตรฐานของกรมโยธาธิการและผังเมือง (WX, WY, EQSX และ EQSY)

3.1.7. พิจารณาโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นในฐานราก เนื่องจากการรวมน้ำหนักระหว่างแรงโน้มถ่วงกับแรงลม ( $1.2DL+1.2SDL+1.0LL+1.6WX$ )

เมื่อ	DL	คือ น้ำหนักบรรทุกคงที่เนื่องจากโครงสร้างอาคาร
	SDL	คือ น้ำหนักบรรทุกคงที่เนื่องจากวัสดุตกแต่งและงานระบบ
	LL	คือ น้ำหนักบรรทุกจร
	GRAVITY	คือ แรงโน้มถ่วง (DL + SDL + LL)
	WX	คือ แรงลมในทิศทางแกน X
	WY	คือ แรงลมในทิศทางแกน Y
	EQSX	คือ แรงแผ่นดินไหวในทิศทางแกน X โดยวิธีสเปกตรัมการตอบสนอง
	EQSY	คือ แรงแผ่นดินไหวในทิศทางแกน Y โดยวิธีสเปกตรัมการตอบสนอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EQEX คือ แรงแผ่นดินไหวในทิศทางแกน X โดยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า

EQEY คือ แรงแผ่นดินไหวในทิศทางแกน Y โดยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า

### 3.2 กลุ่มตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์

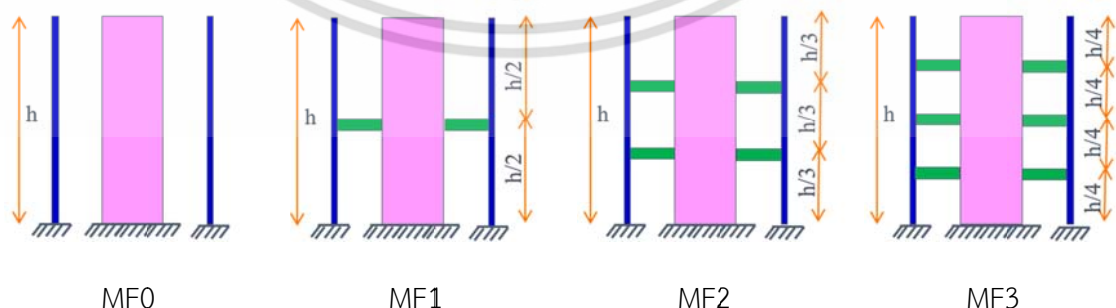
กำหนดให้แบบจำลองเป็นอาคารโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กสูง 60 ชั้น มีผนังรับแรงเฉือนอยู่บริเวณกลางอาคาร เสารอบนอก 16 ต้น และพื้นระบบไร้คาน มีขนาดความกว้าง 45 เมตร และยาว 45 เมตร โดยแต่ละชั้นมีความสูง 3.50 เมตร ความสูงรวมทั้งอาคาร 210 เมตร ตั้งอยู่ในเขตกรุงเทพมหานคร ขนาดโครงสร้างของแบบจำลองมีรายละเอียดแสดงตามตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ขนาดโครงสร้างของแบบจำลอง

ชั้น	เสา (ชม. x ชม.)	ผนังรับแรงเฉือน (ชม.)	พื้น (ชม.)	เอาริกเกอร์และผนังรััด (ชม.)
46-60	75 x 75	40/30/20	25	40x350 ชม. เฉพาะชั้นที่พิจารณา
31-45	100 x 100	60/30/20	25	
16-30	125 x 125	80/50/20	25	
1-15	150 x 150	100/70/20	25	
ฐานราก	ขนาด 50x50x8.50 เมตร สำหรับจำลองฐานรากแบบยึดหยุน			

สำหรับคุณสมบัติของวัสดุประกอบด้วย คอนกรีตมีกำลังรับแรงอัด ( $f'_c$ ) เท่ากับ 500 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (รูปทรงกระบอกที่อายุ 28 วัน) สำหรับโครงสร้างเสา ผนังรับแรงเฉือน เอาริกเกอร์และผนังรััด ในส่วนของพื้นและฐานรากใช้คอนกรีตที่มีกำลังรับแรงอัด ( $f'_c$ ) เท่ากับ 320 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (รูปทรงกระบอกที่อายุ 28 วัน) เหล็กเสริมมีกำลังรับแรงดึงที่จุดคราก ( $f_y$ ) เท่ากับ 5,000 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (SD50)

แบบจำลองโครงสร้างสำหรับการวิเคราะห์ห้มีด้วยกันทั้งหมด 8 รูปแบบ ดังนี้



รูปที่ 3.1 แบบจำลองฐานรากแบบยึดแน่น (Fixed Support)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

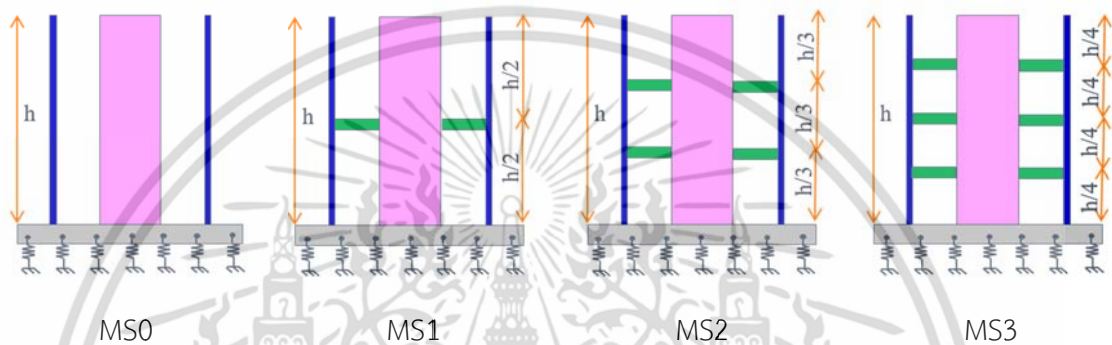
รายละเอียดของแบบจำลองฐานรากแบบยึดแน่น (Fixed Support)

MF0 แบบจำลองฐานรากแบบยึดแน่นไม่มีเอาริกเกอร์และผนังรััด

MF1 แบบจำลองฐานรากแบบยึดแน่นมีเอาริกเกอร์และผนังรััดหนึ่งระดับที่ตำแหน่ง  $h/2$

MF2 แบบจำลองฐานรากแบบยึดแน่นมีเอาริกเกอร์และผนังรััดสองระดับที่ตำแหน่ง  $h/3$  และ  $2h/3$  ตามลำดับ

MF3 แบบจำลองฐานรากแบบยึดแน่นมีเอาริกเกอร์และผนังรััดสามระดับที่ตำแหน่ง  $h/4$ ,  $2h/4$  และ  $3h/4$  ตามลำดับ



รูปที่ 3.2 แบบจำลองฐานรากแบบยึดหยุ่น (Flexible Foundation)

รายละเอียดของแบบจำลองฐานรากแบบยึดหยุ่น (Flexible Foundation)

MS0 แบบจำลองฐานรากแบบยึดหยุ่นไม่มีเอาริกเกอร์และผนังรััด

MS1 แบบจำลองฐานรากแบบยึดหยุ่นมีเอาริกเกอร์และผนังรััดหนึ่งระดับที่ตำแหน่ง  $h/2$

MS2 แบบจำลองฐานรากแบบยึดหยุ่นมีเอาริกเกอร์และผนังรััดสองระดับที่ตำแหน่ง  $h/3$  และ  $2h/3$  ตามลำดับ

MS3 แบบจำลองฐานรากแบบยึดหยุ่นมีเอาริกเกอร์และผนังรััดสามระดับที่ตำแหน่ง  $h/4$ ,  $2h/4$  และ  $3h/4$  ตามลำดับ

### 3.3 การรวบรวมข้อมูล

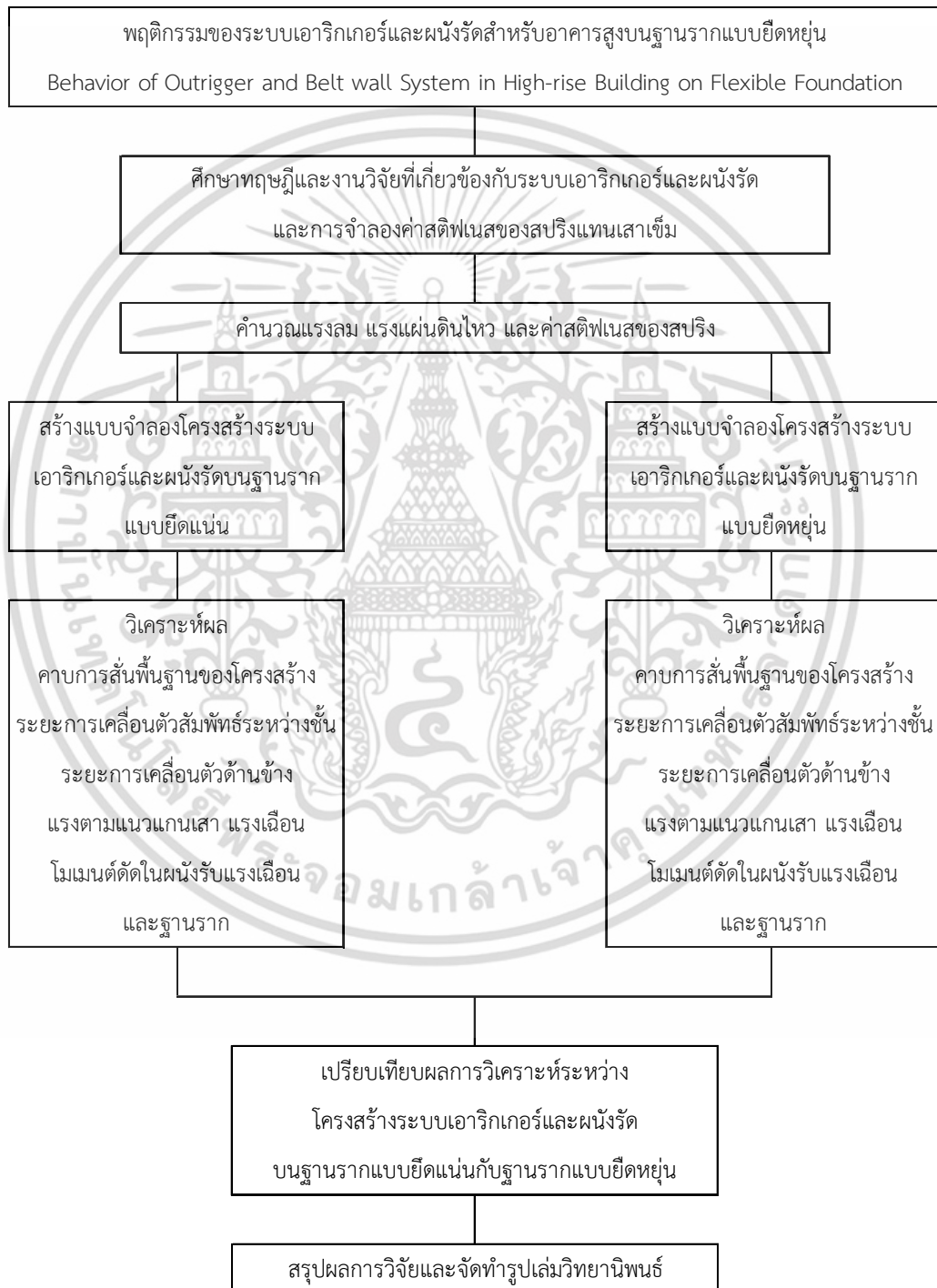
ทำการรวบรวมข้อมูลจากวิทยานิพนธ์ หนังสือ และเอกสารต่างๆ ที่เกี่ยวข้องโดยได้ให้รายละเอียดไว้แล้วในบทก่อนหน้า

### 3.4 เครื่องมือการวิจัย

สำหรับการคำนวณแรงลมโดยวิธีอย่างละเอียดใช้โปรแกรม Wind Loading Assistant Version 1.0 (สถาบันวิจัยและให้คำปรึกษาแห่งมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์) และการวิเคราะห์โครงสร้างหาพฤติกรรมของระบบเอาริกเกอร์และผนังรัด (Outrigger and Belt wall) ภายใต้ฐานรากแบบยึดแน่นและฐานรากแบบยึดหยุ่น เนื่องจากแรงโน้มถ่วง แรงลมและแรงแผ่นดินไหวด้วยโปรแกรม ETABS

### 3.5 ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย



รูปที่ 3.3 แผนผังขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย

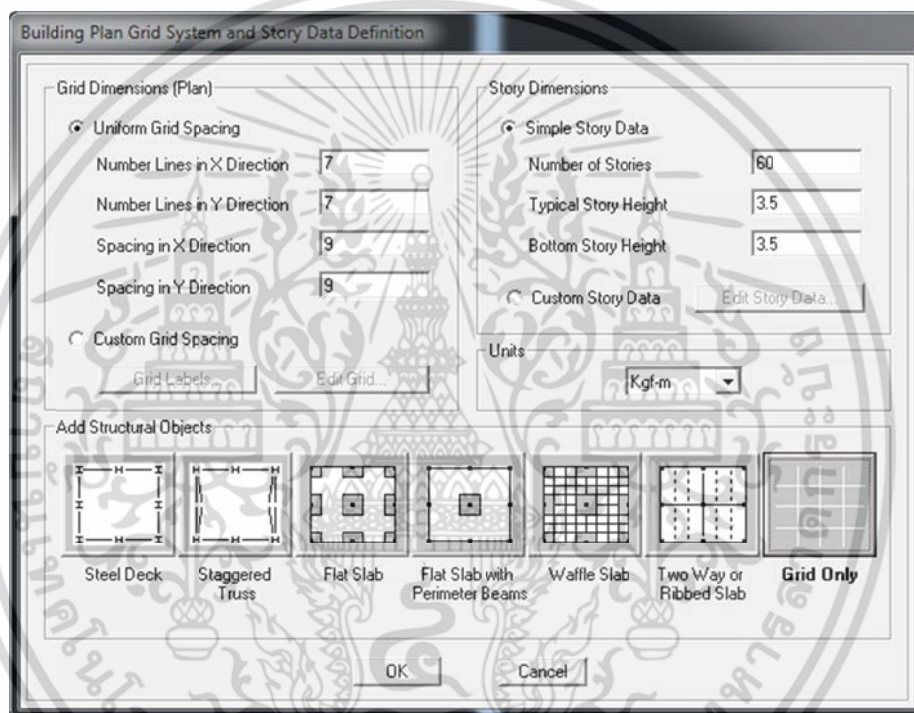
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.6 การสร้างแบบจำลองและวิเคราะห์ข้อมูล

#### 3.6.1 ขั้นตอนการสร้างแบบจำลอง

สร้างแบบจำลองสำหรับวิเคราะห์ข้อมูลพื้นฐานในการคำนวณแรงลมและแรงแผ่นดินไหว โดยการจำลองโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กสูง 60 ชั้น ขนาดของโครงสร้างอาคารแสดงไว้ในตารางที่ 3.1

เริ่มต้นโปรแกรม ETABS กำหนดแนว Grid line จำนวนชั้นและความสูงของแต่ละชั้นของแบบจำลอง



รูปที่ 3.4 กำหนดแนว Grid line และจำนวนชั้นของแบบจำลอง

กำหนดคุณสมบัติของวัสดุคอนกรีต C500 โดยใช้คอนกรีตมีกำลังรับแรงอัด ( $f'_c$ ) เท่ากับ 500 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (รูปทรงกระบอกที่อายุ 28 วัน) โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต (E) เท่ากับ  $15,100\sqrt{f'_c}$  และเหล็กเสริมมีกำลังรับแรงดึงที่จุดคราก ( $f_y$ ) เท่ากับ 5,000 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (SD50) สำหรับรับแรงดัดและ ( $f_y$ ) เท่ากับ 4,000 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (SD40) สำหรับรับแรงเฉือน

รูปที่ 3.5 กำหนดคุณสมบัติของวัสดุคอนกรีตและเหล็กเสริม

กำหนดขนาดหน้าตัดและคุณสมบัติของโครงสร้างเสา ผนังรับแรงเฉือน และพื้น  
รายละเอียดตามตารางที่ 3.1

รูปที่ 3.6 กำหนดหน้าตัดและคุณสมบัติของเสา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Wall/Slab Section

Section Name: W100

Material: C500

Thickness

Membrane: 100.

Bending: 100.

Type

Shell  Membrane  Plate

Thick Plate

Load Distribution

Use Special One-Way Load Distribution

Display Color: ■

OK Cancel

รูปที่ 3.7 กำหนดหน้าตัดและคุณสมบัติของผนังรับแรงเฉือน

Wall/Slab Section

Section Name: S25

Material: C320

Thickness

Membrane: 25.

Bending: 25.

Type

Shell  Membrane  Plate

Thick Plate

Load Distribution

Use Special One-Way Load Distribution

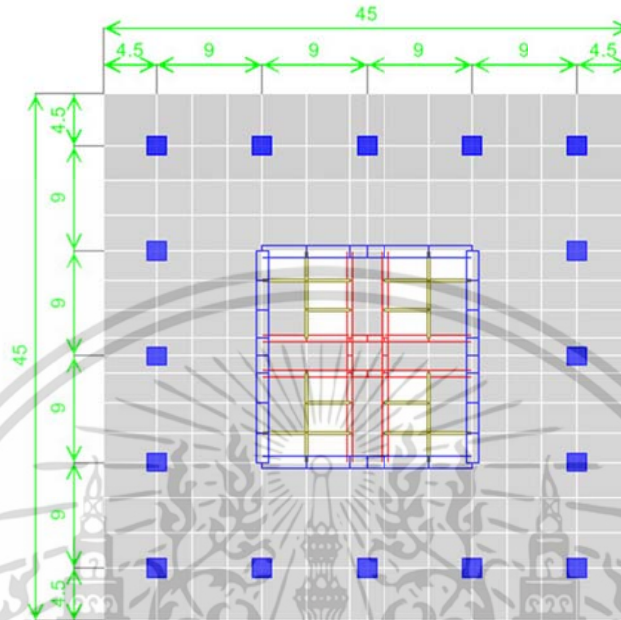
Display Color: ■

OK Cancel

รูปที่ 3.8 กำหนดหน้าตัดและคุณสมบัติของแผ่นพื้นไร้คาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สร้างแบบจำลองเสา ผนังรับแรงเฉือน และพื้น เสริมเรียบร้อย จากนั้นกำหนดจุดรองรับของแบบจำลองเป็นแบบยึดแน่น สำหรับวิเคราะห์ข้อมูลพื้นฐานในการคำนวณแรงลมและแรงแผ่นดินไหว



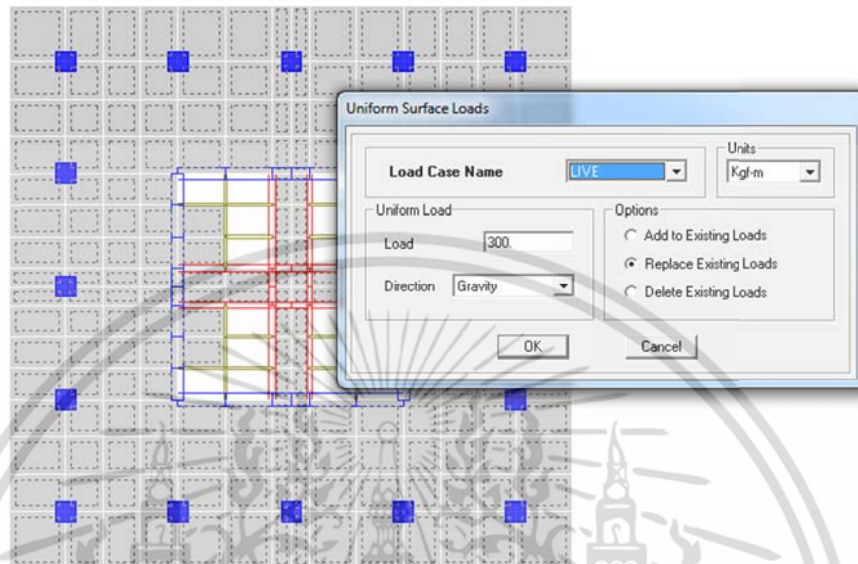
รูปที่ 3.9 แบบแปลนของแบบจำลองจากโปรแกรม ETABS



รูปที่ 3.10 กำหนดจุดรองรับแบบจำลองเป็นแบบยึดแน่น

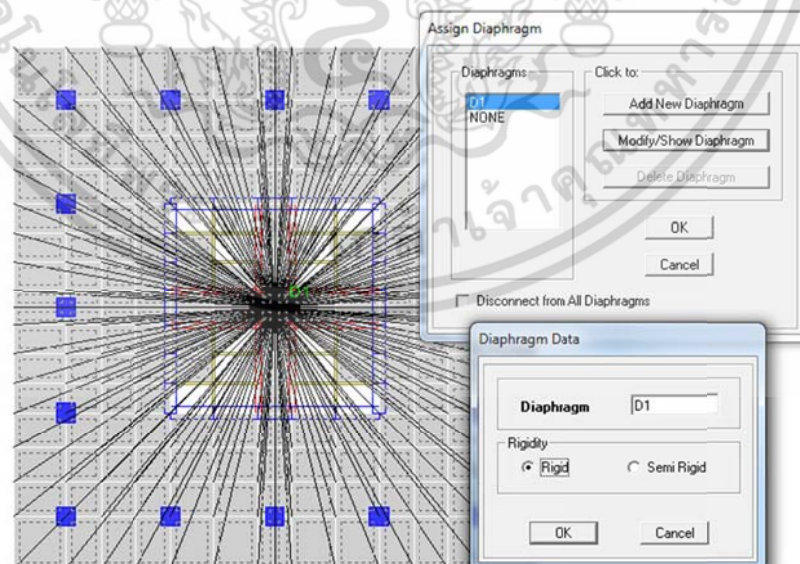
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดรูปแบบแรงโน้มถ่วงและใส่น้ำหนักบรรทุกทุกที่ที่พื้นของแต่ละชั้นโดยน้ำหนักบรรทุกคงที่เนื่องจากวัสดุตกแต่งและผนัง (SDL) เท่ากับ 250 กิโลกรัมต่อตารางเมตร และน้ำหนักบรรทุกจร (LL.) เท่ากับ 300 กิโลกรัมต่อตารางเมตร



รูปที่ 3.11 ขั้นตอนการใส่น้ำหนักบรรทุกจร

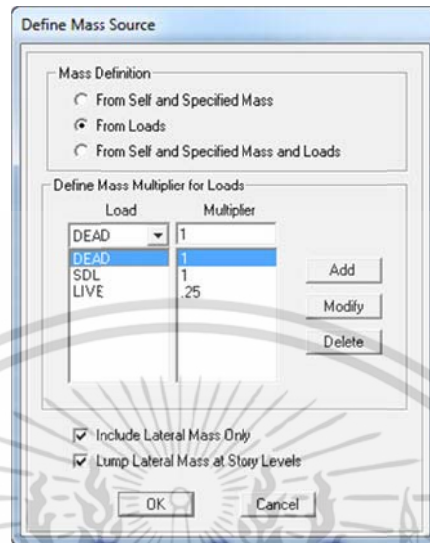
กำหนดพื้นเป็นไดอะแฟรม D1 สำหรับส่งถ่ายแรงด้านข้างโดยเลือก D1 เป็นไดอะแฟรมแข็ง (Rigid diaphragm)



รูปที่ 3.12 กำหนดพื้น D1 เป็นไดอะแฟรมแข็ง (Rigid diaphragm)

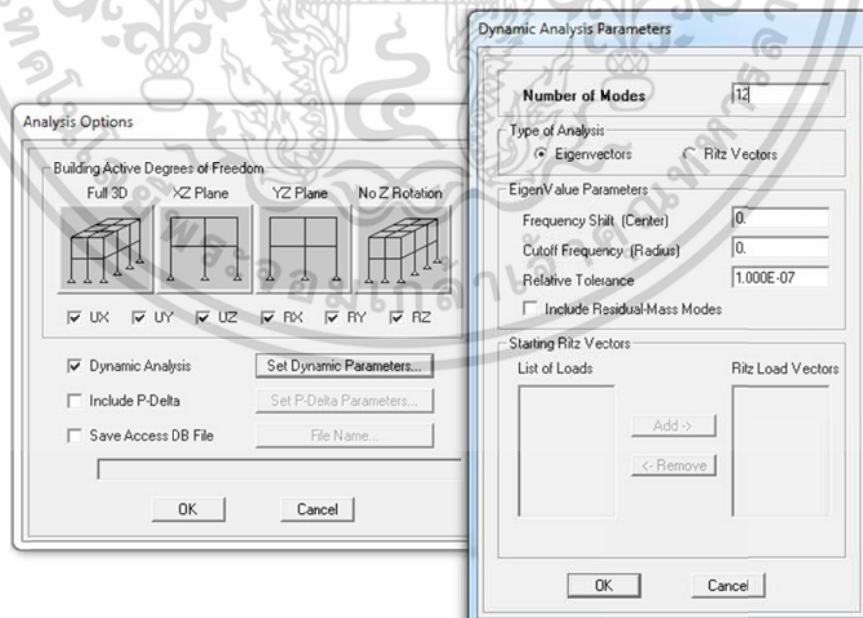
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดค่าน้ำหนักสุทธิ Mass source โดยใช้น้ำหนักบรรทุกคงที่ (น้ำหนักของโครงสร้าง) 100% , น้ำหนักบรรทุกคงที่ (เนื่องจากวัสดุตกแต่งและผนัง) 100% และน้ำหนักบรรทุกจร 25%



รูปที่ 3.13 กำหนดค่าน้ำหนักสุทธิ (Mass source)

กำหนดจำนวนรูปแบบการสั่นพื้นฐานของอาคารที่ 12 โหมด เมื่อกำหนดและป้อนข้อมูลทุกอย่างเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ทำการสังเคราะห์แบบจำลอง

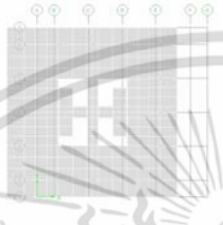
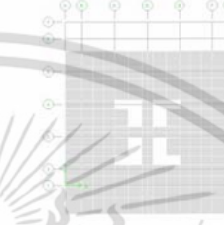
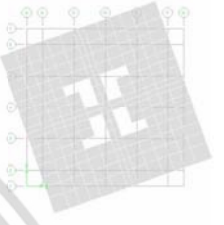
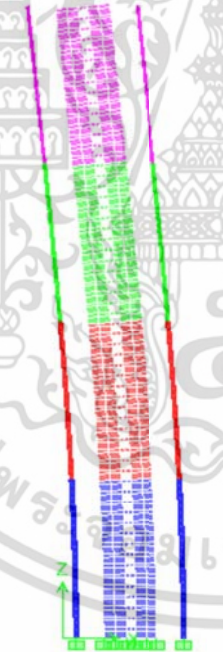

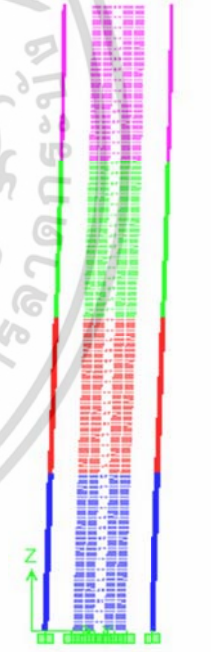


รูปที่ 3.14 กำหนดจำนวนโหมดในการวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับข้อมูลจากผลการวิเคราะห์ที่นำไปใช้ในการคำนวณแรงลมและแรงแผ่นดินไหวคือ ค่าคาบการสั่นพื้นฐานและความถี่ธรรมชาติของการสั่นพื้นฐานของโครงสร้าง มวลและความหนาแน่นเฉลี่ยของอาคาร

ตารางที่ 3.2 ค่าคาบและความถี่ธรรมชาติของการสั่นพื้นฐานของโครงสร้าง

รูปแบบ	โหมดที่ 1	โหมดที่ 2	โหมดที่ 3
แปลน			
ด้านข้าง	 X-Z	 Y-Z	 X-Z
คาบการสั่น (วินาที)	6.329	6.257	1.892
ความถี่ (Hz.)	0.158	0.160	0.529

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 มวลอาคารของแต่ละชั้นและความหนาแน่นเฉลี่ยของอาคาร

(กรณี 1.0DL + 1.0SDL + 1.0LL)

ชั้น	มวลอาคาร (กก.)	ชั้น	มวลอาคาร (กก.)	ชั้น	มวลอาคาร (กก.)
60	2,680,986	40	2,901,354	20	3,192,378
59	2,680,986	39	2,901,354	19	3,192,378
58	2,680,986	38	2,901,354	18	3,192,378
57	2,680,986	37	2,901,354	17	3,192,378
56	2,680,986	36	2,901,354	16	3,192,378
55	2,680,986	35	2,901,354	15	3,500,202
54	2,680,986	34	2,901,354	14	3,500,202
53	2,680,986	33	2,901,354	13	3,500,202
52	2,680,986	32	2,901,354	12	3,500,202
51	2,680,986	31	2,901,354	11	3,500,202
50	2,680,986	30	3,192,378	10	3,500,202
49	2,680,986	29	3,192,378	9	3,500,202
48	2,680,986	28	3,192,378	8	3,500,202
47	2,680,986	27	3,192,378	7	3,500,202
46	2,680,986	26	3,192,378	6	3,500,202
45	2,901,354	25	3,192,378	5	3,500,202
44	2,901,354	24	3,192,378	4	3,500,202
43	2,901,354	23	3,192,378	3	3,500,202
42	2,901,354	22	3,192,378	2	3,500,202
41	2,901,354	21	3,192,378	1	3,500,202
รวมมวลของอาคารทั้งหมด		184,123,800		กิโลกรัม	
		หรือ		184,124 ตัน	
ความหนาแน่นเฉลี่ยของอาคาร		433		กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 มวลอาคารของแต่ละชั้นและความหนาแน่นเฉลี่ยของอาคาร

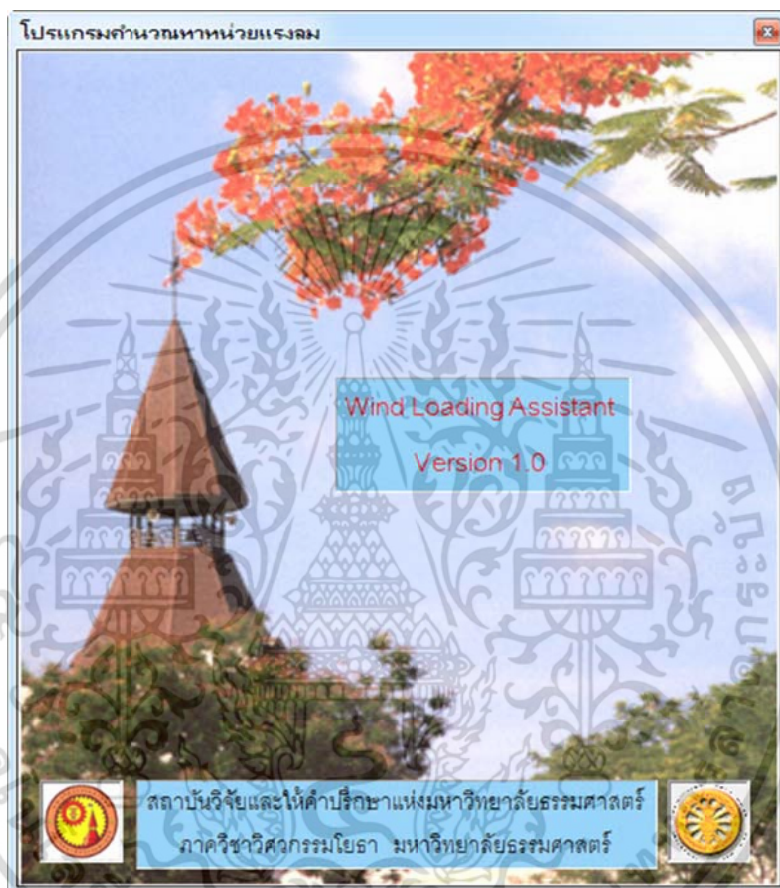
(กรณี 1.0DL + 1.0SDL + 0.25LL)

ชั้น	มวลอาคาร (กก.)	ชั้น	มวลอาคาร (กก.)	ชั้น	มวลอาคาร (กก.)
60	2,259,111	40	2,479,479	20	2,770,503
59	2,259,111	39	2,479,479	19	2,770,503
58	2,259,111	38	2,479,479	18	2,770,503
57	2,259,111	37	2,479,479	17	2,770,503
56	2,259,111	36	2,479,479	16	2,770,503
55	2,259,111	35	2,479,479	15	3,078,327
54	2,259,111	34	2,479,479	14	3,078,327
53	2,259,111	33	2,479,479	13	3,078,327
52	2,259,111	32	2,479,479	12	3,078,327
51	2,259,111	31	2,479,479	11	3,078,327
50	2,259,111	30	2,770,503	10	3,078,327
49	2,259,111	29	2,770,503	9	3,078,327
48	2,259,111	28	2,770,503	8	3,078,327
47	2,259,111	27	2,770,503	7	3,078,327
46	2,259,111	26	2,770,503	6	3,078,327
45	2,479,479	25	2,770,503	5	3,078,327
44	2,479,479	24	2,770,503	4	3,078,327
43	2,479,479	23	2,770,503	3	3,078,327
42	2,479,479	22	2,770,503	2	3,078,327
41	2,479,479	21	2,770,503	1	3,078,327
รวมมวลของอาคารทั้งหมด		158,811,300	กิโลกรัม		
		หรือ	158,811	ตัน	
ความหนาแน่นเฉลี่ยของอาคาร		373	กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.6.2 การคำนวณแรงลมโดยวิธีการอย่างละเอียด (มยผ.1311-50)

ขั้นตอนการคำนวณแรงลม [12] โดยวิธีการอย่างละเอียดตามมาตรฐานการคำนวณแรงลม และการตอบสนองของอาคาร มยผ.1311-50 ของกรมโยธาธิการและผังเมือง โดยใช้โปรแกรม Wind Loading Assistant Version 1.0 (สถาบันวิจัยและให้คำปรึกษาแห่งมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์) ดังแสดงในรูปที่ 3.15

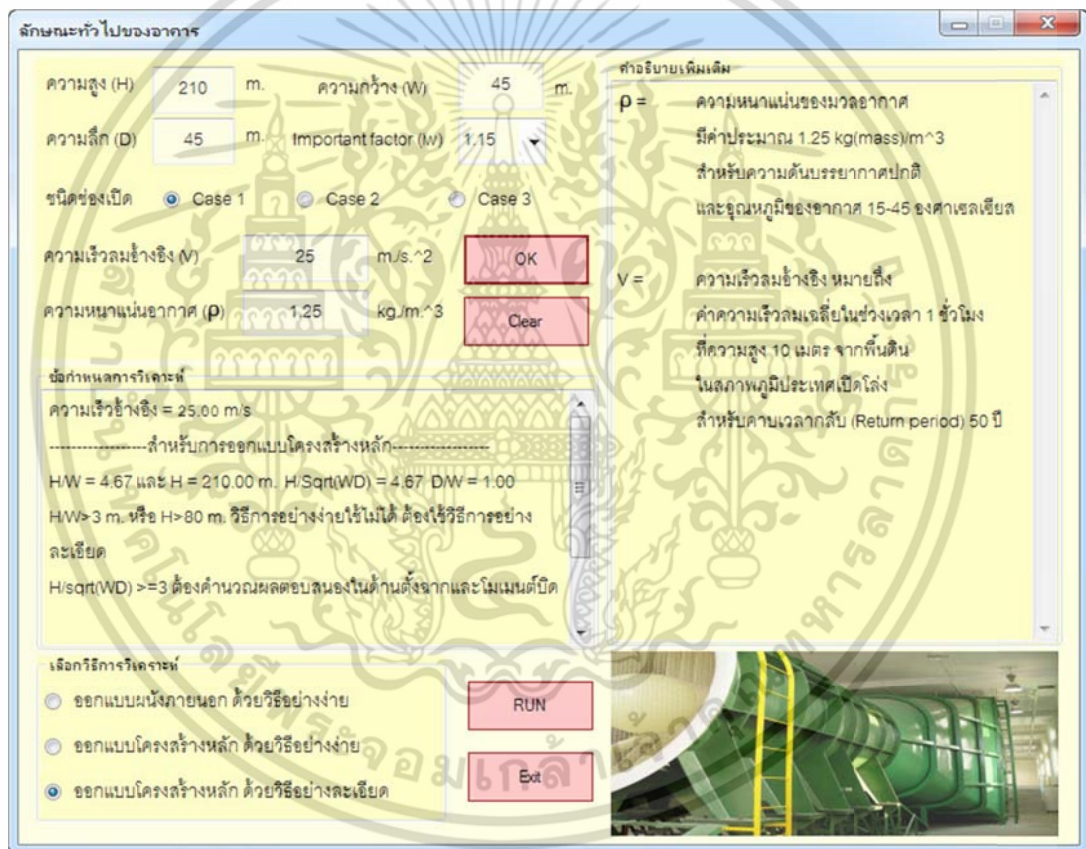


รูปที่ 3.15 โปรแกรมคำนวณแรงลม Wind Loading Assistant Version 1.0

อาคารสำหรับกรวิเคราะห์ที่ตั้งอยู่ในเขตกรุงเทพมหานคร ตามมาตรฐานการคำนวณแรงลม และการตอบสนองของอาคาร 1311-50 กรมโยธาธิการและผังเมือง อยู่ในกลุ่มที่ 1 มีความเร็วลมอ้างอิงสำหรับคาบเวลากลับ (Return period) 50 ปี  $V_{50}$  เท่ากับ 25 เมตรต่อวินาที<sup>2</sup> เมื่อแบบจำลองมีความสูง (H) 210 เมตร ความกว้าง (W) 45 เมตร และความลึก (D) 45 เมตร กำหนดค่าค่าประกอบความสำคัญของแรงลม ( $I_w$ ) เท่ากับ 1.15 (ประเภทความสำคัญของอาคาร : มาก) โปรแกรมจะแนะนำให้ใช้วิธีอย่างละเอียดในการคำนวณแรงลม ดังแสดงในรูปที่ 3.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับสภาพภูมิประเทศที่ตั้งของอาคารเป็นสภาพภูมิประเทศแบบ C (สภาพภูมิประเทศแบบกลางเมืองใหญ่) คุณสมบัติของอาคารมีความหนาแน่นเฉลี่ยเท่ากับ 375 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร อัตราส่วนความหน่วงในทิศทางลม ในทิศทางตั้งฉากและในทิศทางปิด เท่ากับ 0.005 และความถี่ธรรมชาติการสั่นไหวของอาคารในทิศทางลม 0.158 Hz. ในทิศทางตั้งฉาก 0.160 Hz. และในทิศทางปิด 0.529 Hz. จากนั้นกำหนดช่วงความสูงในการคำนวณ 3.50 เมตร แสดงในรูปที่ 3.17 จากนั้นกดปุ่ม OK โปรแกรมจะคำนวณหน่วยแรงดันบริเวณด้านหน้าลม (ซึ่งมีค่าเป็นบวกหมายถึงทิศเข้าหาผนังอาคาร) หน่วยแรงดันบริเวณด้านท้ายลม (ซึ่งมีค่าเป็นลบหมายถึงทิศออกจากผนังอาคาร) ดังแสดงในรูปที่ 3.18 และหน่วยแรงลมในทิศทางตั้งฉากกับทิศทางลมและโมเมนต์บิด แสดงในรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.16 การป้อนข้อมูลสำหรับเลือกวิธีการวิเคราะห์แรงลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีอย่างละเอียด สำหรับออกแบบโครงสร้างหลัก

สภาพภูมิประเทศ

สภาพภูมิประเทศแบบ A (ภูมิประเทศเปิดโล่ง)

สภาพภูมิประเทศแบบ B (ภูมิประเทศแบบชานเมือง)

สภาพภูมิประเทศแบบ C (ภูมิประเทศแบบกลางเมืองใหญ่)

คุณสมบัติของอาคาร

ความหนาแน่นเฉลี่ยของอาคาร kg(mass)/m<sup>3</sup>

อัตราส่วนความหน่วงในทิศทางลม

อัตราส่วนความหน่วงในทิศทางตั้งฉาก

อัตราส่วนความหน่วงในทิศทางบิด

ประมาณความถี่ธรรมชาติ (Hz)

	ทิศทางลม	ตั้งฉาก	ทิศทางบิด
<input checked="" type="radio"/> กำหนดค่าเอง	<input type="text" value="0.158"/>	<input type="text" value="0.160"/>	<input type="text" value="0.529"/>
<input type="radio"/> มาตรฐานประเทศไทย 2550	<input type="text" value="0.210"/>	<input type="text" value="0.210"/>	<input type="text" value="0.262"/>

ความสูงที่ใช้ในการคำนวณ  
H = 210 m.

Step  m

Specific  m

210  
206.5  
203  
199.5  
196  
192.5  
189  
185.5

คำอธิบายเพิ่มเติม

ใส่ค่า ช่วงระยะความสูงของอาคารที่จะคำนวณแรงลม แล้วกดปุ่ม Add step

รูปที่ 3.17 การป้อนข้อมูลสำหรับการคำนวณแรงลมด้วยวิธีอย่างละเอียด

ผลการคำนวณ

Action				
บริเวณด้านท้ายลม				
ทุกความสูง	0.986	-69.83	-58.06	-69.83
บริเวณด้านหน้าลม				
ระยะ z จากพื้น (m)				
210.00	1.624	184.04	195.82	184.04
206.50	1.604	181.83	193.61	181.83
203.00	1.585	179.61	191.38	179.61
199.50	1.565	177.37	189.15	177.37
196.00	1.545	175.13	186.90	175.13
192.50	1.525	172.87	184.64	172.87
189.00	1.505	170.60	182.38	170.60
185.50	1.485	168.32	180.09	168.32
182.00	1.465	166.03	177.80	166.03
178.50	1.444	163.72	175.50	163.72

รูปที่ 3.18 ผลการคำนวณแรงลมด้านหน้าลมและด้านท้ายลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการคำนวณ

Action

แรงลมในทิศทางตั้งฉากกับทิศทางลม

ระยะความสูงจากพื้นดิน	P (kgf/m <sup>2</sup> )
210.00	465.608
206.50	457.848
203.00	450.088
199.50	442.328
196.00	434.568
192.50	426.808
189.00	419.048
185.50	411.287
182.00	403.527
178.50	395.767
175.00	388.007
171.50	380.247
168.00	372.487

รูปที่ 3.19 ผลการคำนวณแรงลมในทิศตั้งฉากกับทิศทางลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.5 แสดงแรงด้นลมสุทธิซึ่งได้จากผลรวมของหน่วยแรงด้นบริเวณด้านหน้าลมและด้านท้ายลมคูณด้วยพื้นที่รับลมของแต่ละชั้นเพื่อใช้เป็นแรงลมกระทำที่ศูนย์กลางของ Diaphragm นำไปใส่ใน WX และ WY แบบ User Defined (ใช้หน่วย Ton) ในโปรแกรม ETABS แสดงในรูปที่ 3.20 และรูปที่ 3.21 ตามลำดับ

ตารางที่ 3.5 ค่าแรงลมสุทธิในทิศทางลมกระทำที่ศูนย์กลางของไดอะแฟรม (Diaphragm)

ชั้น	แรงลม (ตัน)	ชั้น	แรงลม (ตัน)	ชั้น	แรงลม (ตัน)
60	41.84	40	34.50	20	26.00
59	41.49	39	34.11	19	25.52
58	41.14	38	33.72	18	25.03
57	40.79	37	33.32	17	24.54
56	40.43	36	32.92	16	24.05
55	40.08	35	32.52	15	23.54
54	39.72	34	32.11	14	23.02
53	39.36	33	31.70	13	22.49
52	39.00	32	31.29	12	21.95
51	38.64	31	30.87	11	21.40
50	38.27	30	30.45	10	20.83
49	37.91	29	30.03	9	20.25
48	37.54	28	29.60	8	19.99
47	37.17	27	29.17	7	19.99
46	36.79	26	28.73	6	19.99
45	36.42	25	28.29	5	19.99
44	36.04	24	27.84	4	19.99
43	35.66	23	27.39	3	19.99
42	35.28	22	26.93	2	19.99
41	34.89	21	26.46	1	19.99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.6 แสดงโมเมนต์บิดที่กระทำกับอาคารของแต่ละชั้นโดยกระทำที่ศูนย์กลางของไดอะแฟรม (Diaphragm) นำไปใส่ใน WX และ WY แบบ User Defined (ใช้หน่วย Ton-m) ในโปรแกรม ETABS แสดงในรูปที่ 3.20 และรูปที่ 3.21 จากนั้นบันทึกไฟล์แบบจำลองใช้ชื่อ MF0

ตารางที่ 3.6 ค่าโมเมนต์บิดจากแรงลมกระทำที่ศูนย์กลางของไดอะแฟรม (Diaphragm)

ชั้น	โมเมนต์บิด (ตัน-เมตร)	ชั้น	โมเมนต์บิด (ตัน-เมตร)	ชั้น	โมเมนต์บิด (ตัน-เมตร)
60	283.84	40	193.96	20	94.61
59	279.11	39	189.23	19	89.88
58	274.38	38	184.50	18	85.15
57	269.65	37	179.77	17	80.42
56	264.92	36	175.04	16	75.69
55	260.19	35	170.31	15	70.96
54	255.46	34	165.58	14	66.23
53	250.73	33	160.84	13	61.50
52	246.00	32	156.11	12	56.77
51	241.27	31	151.38	11	52.04
50	236.54	30	146.65	10	47.31
49	231.81	29	141.92	9	42.58
48	227.08	28	137.19	8	37.85
47	222.34	27	132.46	7	33.12
46	217.61	26	127.73	6	28.38
45	212.88	25	123.00	5	23.65
44	208.15	24	118.27	4	18.92
43	203.42	23	113.54	3	14.19
42	198.69	22	108.81	2	9.46
41	193.96	21	104.08	1	4.73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

User Wind Load

Edit

User Wind Loads on Diaphragms

Story	Diaphragm	FX	FY	MZ	X-Ord	Y-Ord
STORY60	D1	41.84	0.	283.84	22.5	22.5
STORY59	D1	41.49	0.	279.11	22.5	22.5
STORY58	D1	41.14	0.	274.38	22.5	22.5
STORY57	D1	40.79	0.	269.65	22.5	22.5
STORY56	D1	40.43	0.	264.92	22.5	22.5
STORY55	D1	40.08	0.	260.19	22.5	22.5
STORY54	D1	39.72	0.	255.46	22.5	22.5
STORY53	D1	39.36	0.	250.73	22.5	22.5
STORY52	D1	39	0	246	22.5	22.5
STORY51	D1	38.64	0.	241.27	22.5	22.5
STORY50	D1	38.27	0.	236.54	22.5	22.5
STORY49	D1	37.91	0.	231.81	22.5	22.5
STORY48	D1	37.54	0.	227.08	22.5	22.5
STORY47	D1	37.17	0.	222.34	22.5	22.5
STORY46	D1	36.79	0.	217.61	22.5	22.5
STORY45	D1	36.42	0.	212.88	22.5	22.5
STORY44	D1	36.04	0.	208.15	22.5	22.5
STORY43	D1	35.66	0.	203.42	22.5	22.5
STORY42	D1	35.28	0.	198.69	22.5	22.5
STORY41	D1	34.89	0.	193.96	22.5	22.5
STORY40	D1	34.5	0.	189.23	22.5	22.5

Ton      Ton-m

OK      Cancel

รูปที่ 3.20 การป้อนค่าแรงลม WX แบบ User Defined ในโปรแกรม ETAB

User Wind Load

Edit

User Wind Loads on Diaphragms

Story	Diaphragm	FX	FY	MZ	X-Ord	Y-Ord
STORY60	D1	0.	41.53	283.84	22.5	22.5
STORY59	D1	0.	41.19	279.11	22.5	22.5
STORY58	D1	0.	40.84	274.38	22.5	22.5
STORY57	D1	0.	40.49	269.65	22.5	22.5
STORY56	D1	0.	40.14	264.92	22.5	22.5
STORY55	D1	0.	39.79	260.19	22.5	22.5
STORY54	D1	0.	39.43	255.46	22.5	22.5
STORY53	D1	0.	39.08	250.73	22.5	22.5
STORY52	D1	0.	38.72	246	22.5	22.5
STORY51	D1	0.	38.36	241.27	22.5	22.5
STORY50	D1	0.	38	236.54	22.5	22.5
STORY49	D1	0.	37.63	231.81	22.5	22.5
STORY48	D1	0.	37.27	227.08	22.5	22.5
STORY47	D1	0.	36.9	222.34	22.5	22.5
STORY46	D1	0.	36.53	217.61	22.5	22.5
STORY45	D1	0.	36.15	212.88	22.5	22.5
STORY44	D1	0.	35.78	208.15	22.5	22.5
STORY43	D1	0.	35.4	203.42	22.5	22.5
STORY42	D1	0.	35.02	198.69	22.5	22.5
STORY41	D1	0.	34.64	193.96	22.5	22.5
STORY40	D1	0.	34.25	189.23	22.5	22.5

Ton      Ton-m

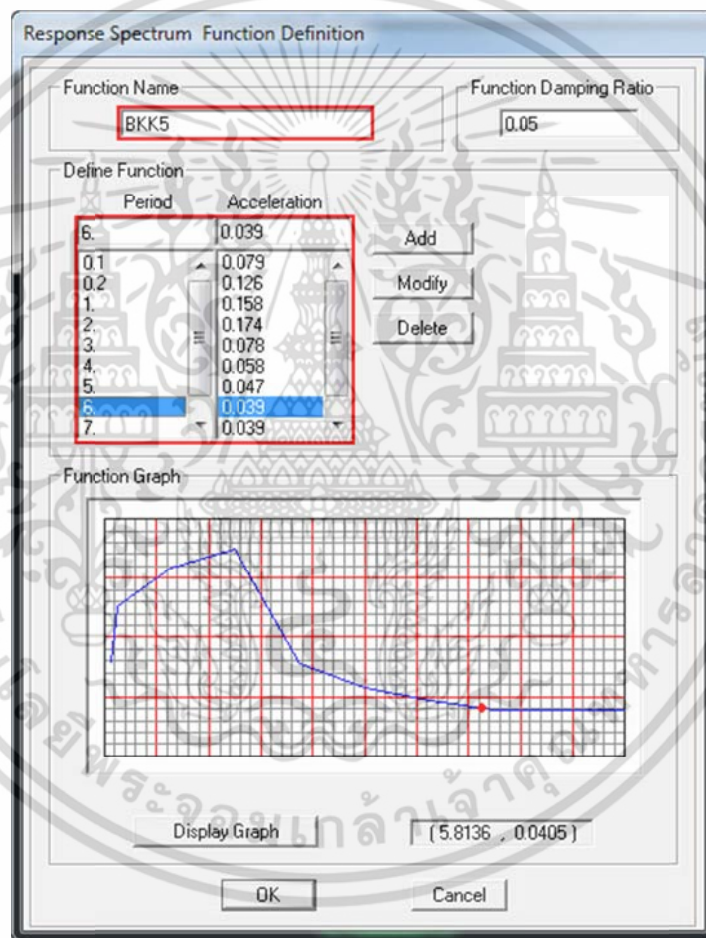
OK      Cancel

รูปที่ 3.21 การป้อนค่าแรงลม WY แบบ User Defined ในโปรแกรม ETAB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.6.3 การคำนวณแรงแผ่นดินไหวโดยวิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมด (มยพ. 1302-52)

การวิเคราะห์โครงสร้างเนื่องจากแรงแผ่นดินไหว [13] ตามมาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว (มยพ. 1302) โดยใช้โปรแกรม ETABS จากแบบจำลอง MFO กำหนดให้กลุ่มตัวอย่างอยู่ในเขตกรุงเทพมหานครและปริมาณทลโซน 5 การคำนวณแรงแผ่นดินไหวเริ่มจากการสร้างสเปกตรัมฟังก์ชันสำหรับการออกแบบ สเปกตรัมผลตอบสนองสำหรับการออกแบบด้วยวิธีเชิงพลศาสตร์สำหรับโซน 5 ของพื้นที่ในแอ่งกรุงเทพ (หน้าที่ 28 มยพ. 1302) ใช้ชื่อ BKK5 เลือกฟังก์ชันเป็น User Spectrum ดังแสดงในรูปที่ 3.22

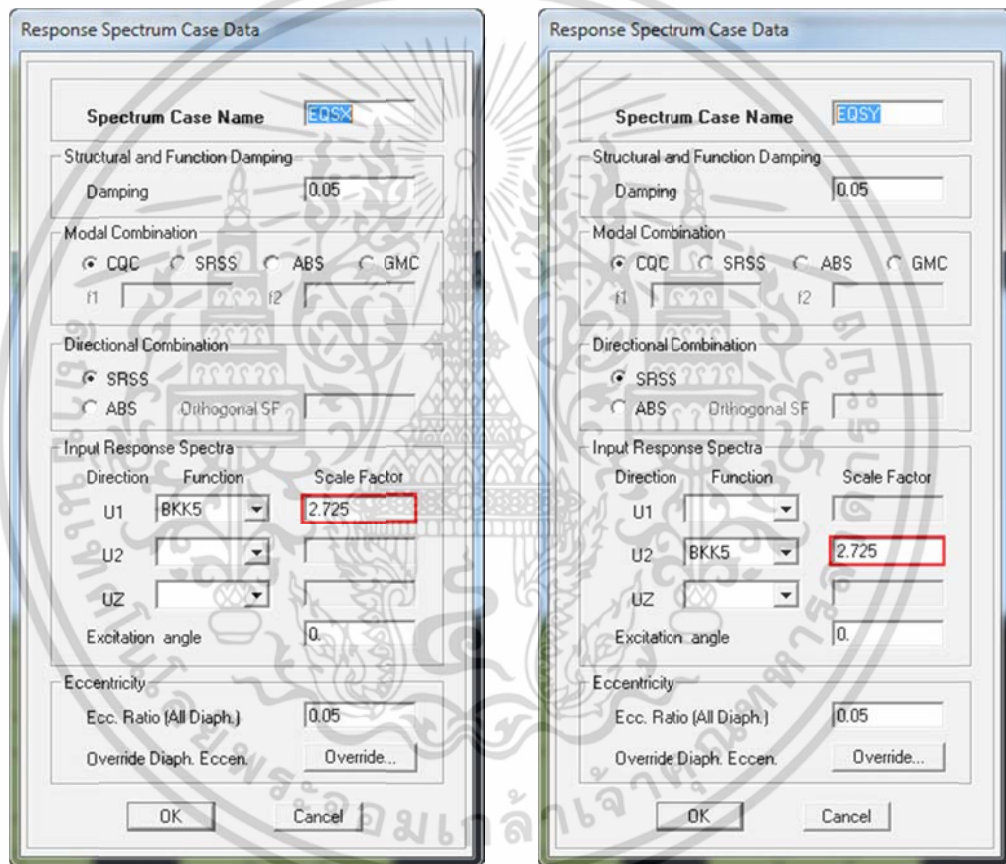


รูปที่ 3.22 การป้อนสเปกตรัมผลตอบสนองสำหรับการออกแบบอาคารในเขตกรุงเทพมหานครและปริมาณทลโซน 5 (หน่วยเป็น g)

กำหนดกรณีบรรทุกสเปกตรัมในทิศทาง X (EQSX) และทิศทาง Y (EQSY) โดยกำหนดความหน่วง 5% เลือกสเปกตรัมฟังก์ชันตอบสนอง BKK5 ตัวคูณปรับค่าแรง Scale Factor คำนวณจากสมการ (I/R)g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

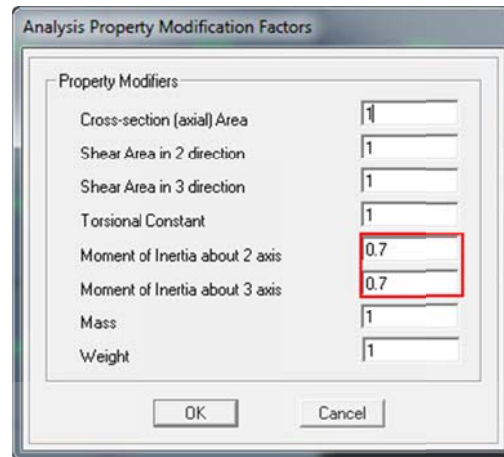
- โดย
- I คือ ตัวประกอบความสำคัญของอาคาร (เป็นประเภท III = มาก) มีค่าเท่ากับ 1.25
  - R คือ ตัวประกอบปรับผลตอบแทน มีค่าเท่ากับ 4.5 (ระบบปฏิสัมพันธ์ระหว่างกำแพงรับแรงเฉือนและโครงต้านแรงดัดแบบธรรมดาที่ไม่มีการให้รายละเอียดความเหนียว)
  - g คือ ความเร่งจากแรงโน้มถ่วงของโลก มีค่าเท่ากับ  $9.81 \text{ m/s}^2$
- ตัวคูณปรับค่าแรง Scale Factor =  $(I/R)g = (1.25/4.5) \times 9.81 = 2.725$  การกำหนดกรณีบรรทุกสเปกตรัมแสดงในรูปที่ 3.23



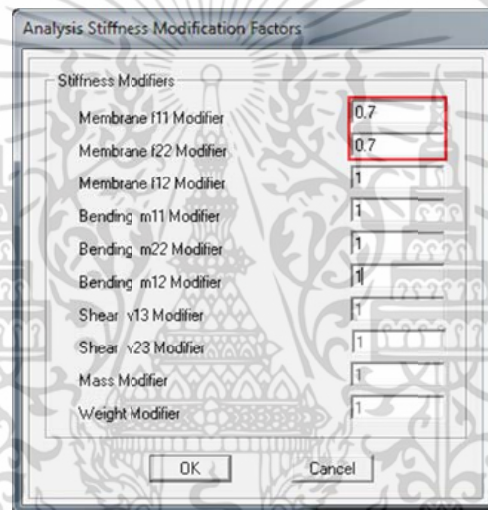
รูปที่ 3.23 กำหนดกรณีบรรทุกสเปกตรัมในทิศทาง X และ Y

เมื่อสร้างสเปกตรัมฟังก์ชันสำหรับการออกแบบและกรณีบรรทุกสเปกตรัมทั้งทิศทาง X และ Y เสร็จแล้วจากนั้นกำหนดค่าสติฟเนสที่สอดคล้องกับสภาพจริงจากคำสั่ง Analysis Property Modification Factor โดยกำหนด Moment of Inertia ของหน้าตัดเสา เท่ากับ 0.7, ผนังรับแรงเฉือน (ที่ไม่แตกร้า) เท่ากับ 0.7 และแผ่นพื้นไร้คาน เท่ากับ 0.25 แสดงในรูปที่ 3.24 รูปที่ 3.25 และรูปที่ 3.26 ตามลำดับ

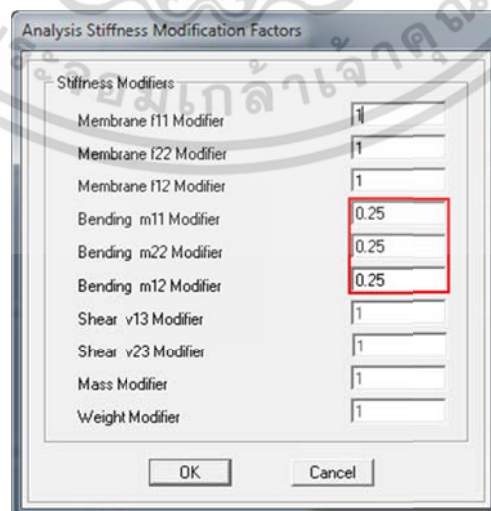
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.24 กำหนดค่าสตีฟเนสประสิทธิภาพของเสา



รูปที่ 3.25 กำหนดค่าสตีฟเนสประสิทธิภาพของผนังรับแรงเฉือน



รูปที่ 3.26 กำหนดค่าสตีฟเนสประสิทธิภาพของแผ่นพื้นไร้คาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการวิเคราะห์และตรวจสอบคุณสมบัติของคาบการสั่นพื้นฐานของโครงสร้างอาคารแบบ โหมดและผลรวมของน้ำหนักประสิทธิผลเชิงโหมด (Effective Modal Weight or Modal Weight Participation) ต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 90% ของน้ำหนักประสิทธิผลทั้งหมดของอาคาร จากที่กำหนดไว้ 12 โหมด แสดงในรูปที่ 3.27

Mode	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY
1	6.329532	57.5873	0.0000	0.0000	57.5873	0.0000
2	6.257636	0.0000	57.6524	0.0000	57.5873	57.6524
3	1.892321	0.0000	0.0000	0.0000	57.5873	57.6524
4	1.302658	20.3305	0.0000	0.0000	77.9178	57.6524
5	1.288263	0.0000	20.3579	0.0000	77.9178	78.0103
6	0.719087	0.0000	0.0000	0.0000	77.9178	78.0103
7	0.542438	7.9542	0.0000	0.0000	85.8720	78.0103
8	0.538265	0.0000	7.9319	0.0000	85.8720	85.9423
9	0.436859	0.0000	0.0000	0.0000	85.8720	85.9423
10	0.314010	4.2579	0.0000	0.0000	90.1299	85.9423
11	0.312758	0.0000	4.2524	0.0000	90.1299	90.1946
12	0.307466	0.0000	0.0000	0.0000	90.1299	90.1946

รูปที่ 3.27 ผลรวมของน้ำหนักประสิทธิผลเชิงโหมด

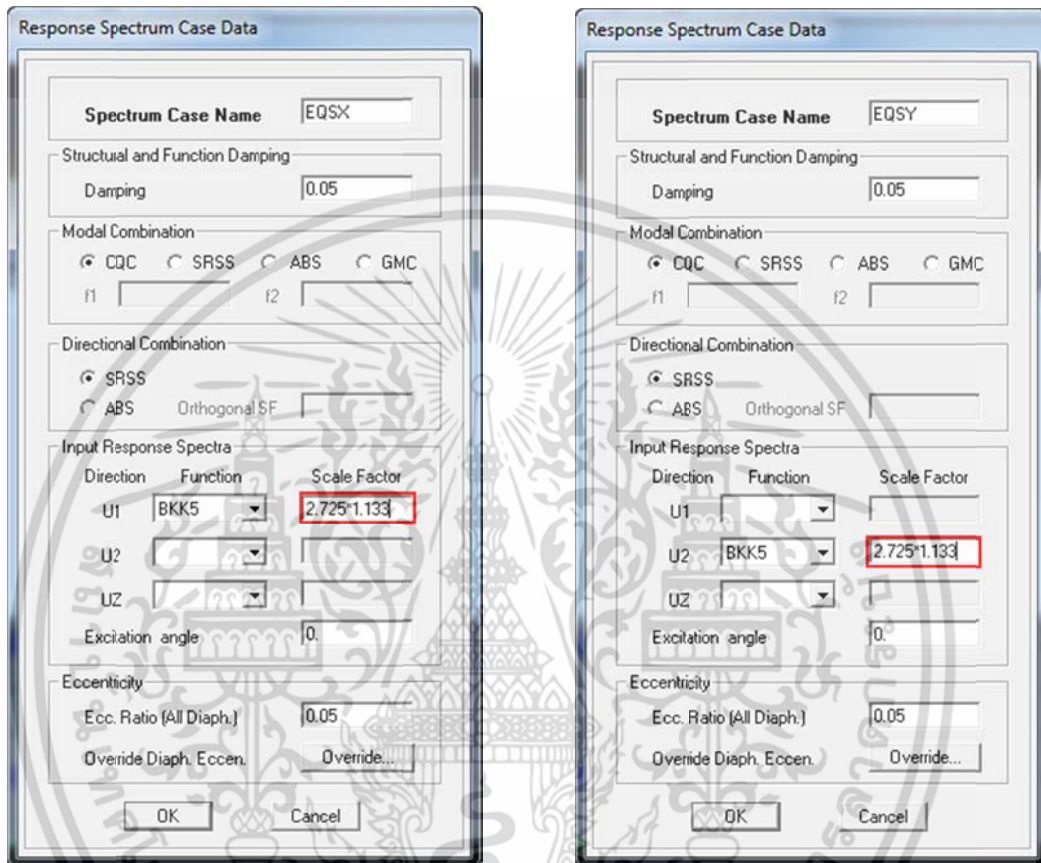
ตรวจสอบแรงเฉือนที่ฐาน แสดงในรูปที่ 3.28 โดยมาตรฐาน มยผ.1302 กำหนดให้ค่าแรงเฉือนที่ฐานจากการวิเคราะห์เชิงพลศาสตร์ (Modal Base Shear,  $V_p$ ) ไม่ควรมีน้อยกว่า 85% ของค่าแรงเฉือนที่ฐานจากวิธีแรงสถิตเทียบเท่า (Base Shear,  $V$ )

Story	Load	Loc	P	VX
STORY3	EQEX	Top	0.00	-2467.14
STORY3	EQEX	Bottom	0.00	-2467.14
STORY3	EQSX	Top	0.00	1845.56
STORY3	EQSX	Bottom	0.00	1845.56
STORY2	EQEX	Top	0.00	-2467.31
STORY2	EQEX	Bottom	0.00	-2467.31
STORY2	EQSX	Top	0.00	1848.82
STORY2	EQSX	Bottom	0.00	1848.82
STORY1	EQEX	Top	0.00	-2467.35
STORY1	EQEX	Bottom	0.00	-2467.35
STORY1	EQSX	Top	0.00	1849.98
STORY1	EQSX	Bottom	0.00	1849.98

รูปที่ 3.28 ตรวจสอบแรงเฉือนที่ฐาน (Base Shear) หน่วยเป็น ตัน

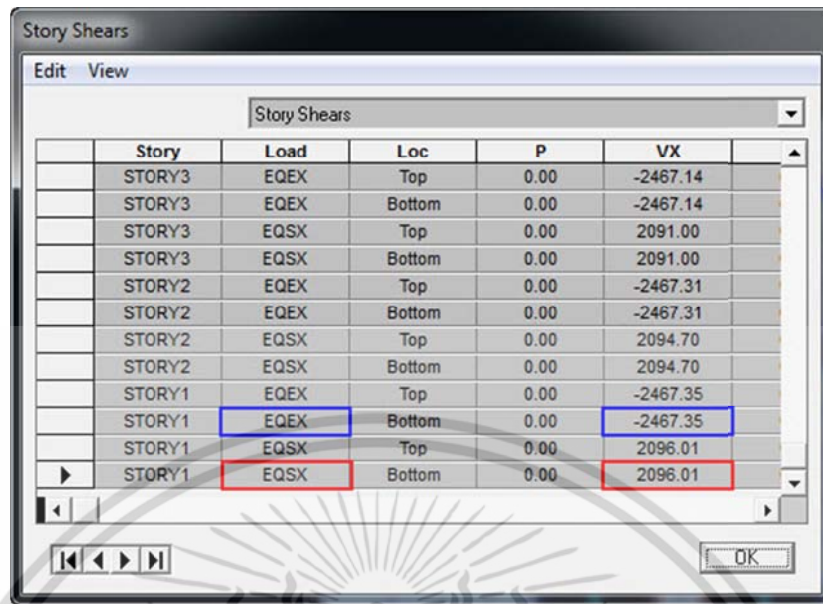
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการวิเคราะห์พบว่าแรงเฉือนที่ฐานจากวิธีเชิงพลศาสตร์มีค่า  $EQSX = 1,850$  ตัน คิดเป็น 75% ของแรงเฉือนที่ฐานจากวิธีแรงสถิตเทียบเท่าที่มีค่า  $EQEX = 2,467$  ตัน ดังนั้นต้องปรับตัวคูณด้วยค่า  $0.85V/V_t = 0.85(EQEX)/EQSX = 1.133$  ปรับค่า Scale Factor อีกครั้งแสดงในรูปที่ 3.29



รูปที่ 3.29 การปรับค่า Scale Factor

วิเคราะห์และตรวจสอบแรงเฉือนที่ฐานอีกครั้งโดยได้ค่าแรงเฉือนที่ฐานจากวิธีเชิงพลศาสตร์มีค่า  $EQSX = 2,096$  ตัน คิดเป็น 85% ของแรงเฉือนที่ฐานจากวิธีแรงสถิตเทียบเท่า แสดงในรูปที่ 3.30 ดังนั้นสามารถใช้ค่า Scale Factor =  $2.725 \times 1.133 = 3.087$  สำหรับในการวิเคราะห์แรงแผ่นดินไหวของแบบจำลองโครงสร้างระบบเอาริกเกอร์และผนังรัด



Story	Load	Loc	P	VX
STORY3	EQEX	Top	0.00	-2467.14
STORY3	EQEX	Bottom	0.00	-2467.14
STORY3	EQSX	Top	0.00	2091.00
STORY3	EQSX	Bottom	0.00	2091.00
STORY2	EQEX	Top	0.00	-2467.31
STORY2	EQEX	Bottom	0.00	-2467.31
STORY2	EQSX	Top	0.00	2094.70
STORY2	EQSX	Bottom	0.00	2094.70
STORY1	EQEX	Top	0.00	-2467.35
STORY1	EQEX	Bottom	0.00	-2467.35
STORY1	EQSX	Top	0.00	2096.01
STORY1	EQSX	Bottom	0.00	2096.01

รูปที่ 3.30 ตรวจสอบแรงเฉือนที่ฐาน (Base Shear) จากการปรับค่า Scale Factor หน่วยเป็น ตัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.6.4 การคำนวณค่าสติฟเนสของสปริงในแนวราบ ( $K_h$ )

แบบจำลองสำหรับการวิเคราะห์โครงสร้างระบบเอาริกเกอร์และผนังรััดตั้งอยู่ในพื้นที่กรุงเทพมหานครซึ่งเป็นบริเวณชั้นดินเหนียวอ่อน ดังนั้นในกรณีนี้วิเคราะห์หาพฤติกรรมและการตอบสนองของอาคารบนฐานรากแบบยึดหยุ่นจำเป็นต้องวิเคราะห์หาค่าสติฟเนสของสปริงเพื่อนำไปจำลองแทนเสาเข็มในฐานราก

สำหรับข้อมูลชั้นดินในพื้นที่กรุงเทพมหานคร [14] ได้มีการศึกษาและแสดงรายละเอียดไว้ตามตารางที่ 3.7 สำหรับนำมาใช้ในการหาค่าสติฟเนสของสปริงในแนวราบ ( $K_h$ ) ซึ่งจะพิจารณาตามประเภทของดินที่ระดับความลึกต่างๆ จากผลของค่า SPT และค่า  $S_u$

ตารางที่ 3.7 ข้อมูลชั้นดินในกรุงเทพมหานคร

ลำดับที่	ระดับความลึก (ม.)	ประเภทของชั้นดิน	SPT. N-value	Avg. $S_u$ (ตัน/ม <sup>2</sup> )	Avg. $\phi$ (องศา)
1	2-15	Very Soft to Soft Clay	2-12	2.15	-
2	15-18	Medium Clay	6-18	5.74	-
3	18-25	Stiff to Very Stiff Clay	15-35	12.01	-
4	25-40	Dense Sand (1 <sup>st</sup> Sand)	18-65	-	35
5	40-45	Hard Clay	27-62	26.25	-
6	45-60	Very Dense Sand (2 <sup>nd</sup> Sand)	25-80	-	36

ขนาดและคุณสมบัติของเสาเข็มสำหรับการวิเคราะห์

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง	B	=	1.50 เมตร
ความยาว	L	=	50 เมตร
กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต	$f'_c$	=	320 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต	$E_p$	=	$15,100\sqrt{f'_c}$
		=	270,118 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
กำลังรับน้ำหนักปลอดภัย	SF.	=	2,600 ตันต่อตัน

การวิเคราะห์หาค่าสติฟเนสของสปริงในแนวราบ ( $K_h$ ) มีตัวแปรที่สำคัญ คือ โมดูลัสต้านทานแรงแนวราบของชั้นดิน (Modulus of horizontal subgrade reaction,  $k_s$ ) การคำนวณค่า  $k_s$  ขึ้นอยู่กับว่าอยู่ในชั้นดินทรายหรือดินเหนียว โดยการคำนวณใช้สมการที่ (2.15) สำหรับชั้นดินทรายและสมการที่ (2.16) สำหรับชั้นดินเหนียว

สำหรับชั้นดินทราย เสนอโดย Terzaghi (1955)

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ (2.15)} \quad k_s &= \frac{n_h \cdot X}{B} \\ \text{และจากสมการ (2.13)} \quad K_h &= k_s B \Delta L \end{aligned}$$

แทนค่า  $k_s$  จากสมการ (2.15) ลงในสมการที่ (2.13) จะได้ค่าสติเฟนสของสปริงในแนวราบ ( $K_h$ ) สำหรับชั้นดินทราย ตามสมการ (3.1)

$$K_h = n_h \cdot x \cdot \Delta L \quad (3.1)$$

จากตารางที่ 3.7 ระดับความลึกของชั้นดินที่ 25-40 เมตร เป็นชั้นดินประเภท Dense Sand (1<sup>st</sup> Sand) มีค่า SPT โดยเฉลี่ยเท่ากับ 42 ครั้ง (ค่าเฉลี่ยของ 18-65 ครั้ง) เป็นสภาพดินแบบ “แน่น” จากตารางที่ 2.3 ค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์เท่ากับ 0.7 ซึ่งจากรูปที่ 2.12 จะได้ค่าคงที่สำหรับต้านทานแรงกดแนวราบ ( $n_h$ ) เท่ากับ 720 ตันต่อลูกบาศก์เมตร และที่ระดับความลึกของชั้นดินที่ 45-60 เมตร เป็นชั้นดินประเภท Very Dense Sand (2<sup>nd</sup> Sand) มีค่า SPT โดยเฉลี่ยเท่ากับ 53 ครั้ง (ค่าเฉลี่ยของ 25-80 ครั้ง) เป็นสภาพดินแบบ “แน่นมาก” มีค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์เท่ากับ 0.8 และค่าคงที่สำหรับต้านทานแรงกดแนวราบ ( $n_h$ ) เท่ากับ 1,350 ตันต่อลูกบาศก์เมตร

สำหรับชั้นดินเหนียว เสนอโดย Davisson, M. T. (1970)

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ (2.16)} \quad k_s &= 67 \frac{S_u}{B} \\ \text{และจากสมการ (2.13)} \quad K_h &= k_s B \Delta L \end{aligned}$$

แทนค่า  $k_s$  จากสมการ (2.16) ลงในสมการที่ (2.13) จะได้ค่าสติเฟนสของสปริงในแนวราบ ( $K_h$ ) สำหรับชั้นดินเหนียว ตามสมการ (3.2)

$$K_h = 67 S_u \cdot \Delta L \quad (3.2)$$

พิจารณาเสาเข็มทุกๆ ระยะ  $\Delta L$  เท่ากับ 1.00 เมตร แต่สำหรับที่ปลายด้านล่างและด้านบนของเสาเข็ม  $\Delta L$  เท่ากับ 0.50 เมตร คำนวณค่าสติเฟนสของสปริงในแนวราบของชั้นดินทรายตาม

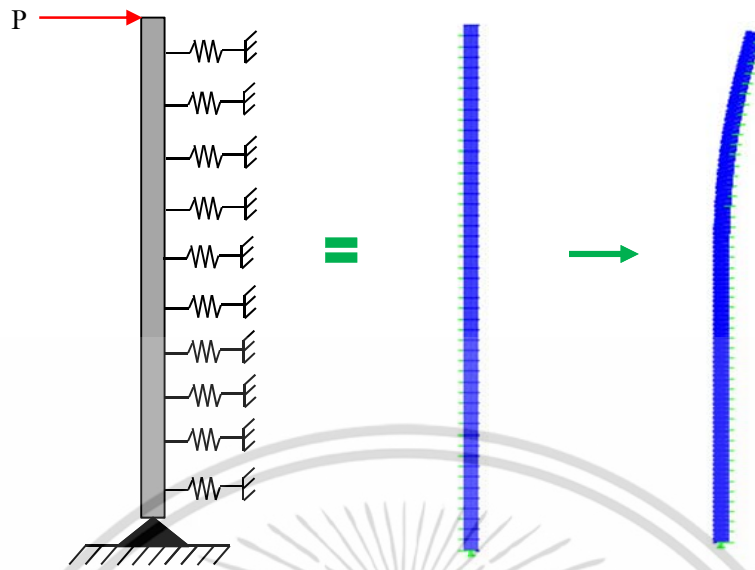
สมการที่ (3.1) และของชั้นดินเหนียวตามสมการที่ (3.2) ได้ค่าสติฟเนสของสปริงในแนวราบ ( $K_h$ ) แสดงไว้ตามตารางที่ 3.8

**ตารางที่ 3.8** ค่าสติฟเนสของสปริงในแนวราบ ( $K_h$ )

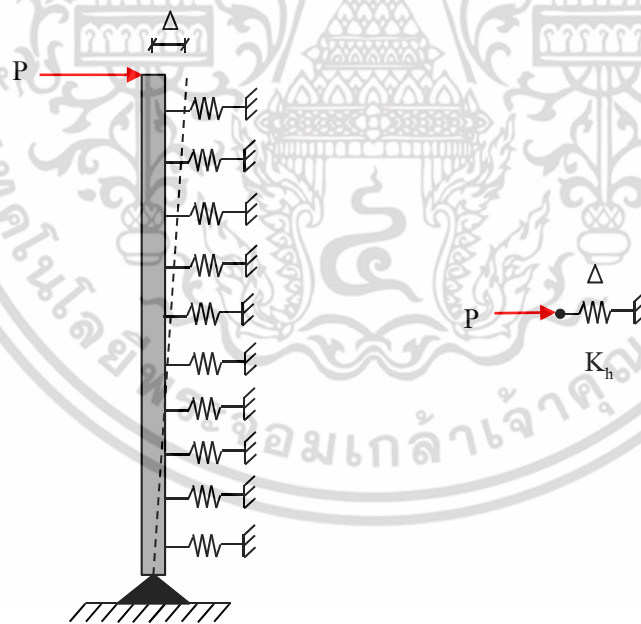
ระดับความลึก (เมตร)	ค่าสปริง $K_h$ (ตันต่อเมตร)	ระดับความลึก (เมตร)	ค่าสปริง $K_h$ (ตันต่อเมตร)
2-15	144	35	25,200
15-18	385	36	25,920
18-25	805	37	26,640
25	18,000	38	27,360
26	18,720	39	28,080
27	19,440	40	28,800
28	20,160	40-45	1,759
29	20,880	45	60,750
30	21,600	46	62,100
31	22,320	47	63,450
32	23,040	48	64,800
33	23,760	49	66,150
34	24,480	50	33,750

เมื่อได้ค่าสติฟเนสของสปริงในแนวราบ ( $K_h$ ) ที่ระดับความลึกต่างๆ จากนั้นต้องสร้างแบบจำลองเสาเข็มสำหรับหาค่าสติฟเนสของสปริงในแนวราบเพียงค่าเดียว เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างบนฐานรากแบบยึดหยุ่น

การหาค่าสติฟเนสของสปริงในแนวราบ ( $K_h$ ) ในโปรแกรม ETABS กำหนดให้แบบจำลองเสาเข็มมีจุดรองรับที่ปลายด้านล่างเป็นแบบยึดหมุน (Pin Support) และปลายด้านบนเป็นแบบอิสระ (Free) ด้านข้างทุกๆ ระยะ 1 เมตรใส่ค่าสปริงตามตารางที่ 3.8 ดังแสดงในรูปที่ 3.31 เนื่องจากต้องการหาค่าสติฟเนสของสปริงในแนวราบ ( $K_h$ ) ใหม่เพียงค่าเดียว ดังนั้นจึงใส่แรงในแนวราบกระทำที่บริเวณปลายด้านบนของเสาเข็มตั้งแต่ 1 ตัน ถึง 30 ตัน แสดงในรูปที่ 3.32 เพื่อดูพฤติกรรมการเคลื่อนตัวของเสาเข็มในแนวราบ จากนั้นสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กระทำในแนวราบกับระยะการเคลื่อนตัวของหัวเสาเข็ม แสดงในรูปที่ 3.33

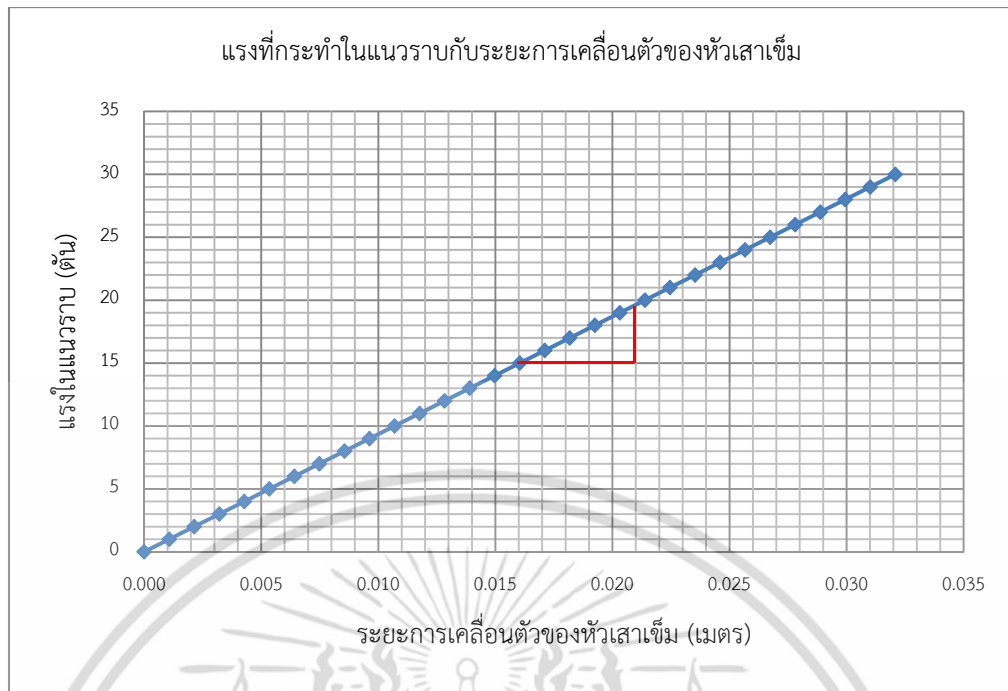


รูปที่ 3.31 การจำลองเสาเข็มติดสปริงยืดหยุ่นเชิงเส้นในแนวราบ



รูปที่ 3.32 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กระทำในแนวราบกับระยะการเคลื่อนตัวของหัวเสาเข็ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.33 กราฟระหว่างแรงที่กระทำในแนวราบกับระยะการเคลื่อนตัวของหัวเสาเข็ม

ความชันของกราฟที่ได้ คือ ค่าสติเฟนของสปริงในแนวราบ ( $K_h$ ) เป็นค่าเดียวที่เกิดจากการรวมสติเฟนของสปริงหลายๆค่า ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1,113 ตันต่อเมตร สำหรับนำไปใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างบนฐานรากแบบยึดหยุ่นต่อไป

### 3.6.5 การคำนวณค่าสติเฟนของสปริงในแนวตั้ง ( $K_v$ )

สำหรับการจำลองเสาเข็มด้วยสติเฟนของสปริงในแนวตั้ง ( $K_v$ ) ตามมาตรฐาน ATC-40 (1996) ได้แนะนำสมการหาค่าสติเฟนของสปริง

จากสมการที่ (2.17) 
$$K_v = \frac{2A_p E_p}{L_p}$$

เมื่อ	$A_p$	$=$	$\frac{\pi B^2}{4} = \frac{\pi (1.5)^2}{4}$	$= 1.767$	ตารางเมตร
	$E_p$	$=$	$15,100\sqrt{f_c}$	$= 270,118$	กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
				$= 2.7 \times 10^6$	ตันต่อตารางเมตร
	$L_p$	$=$	ความยาวเข็ม	$= 50.00$	เมตร

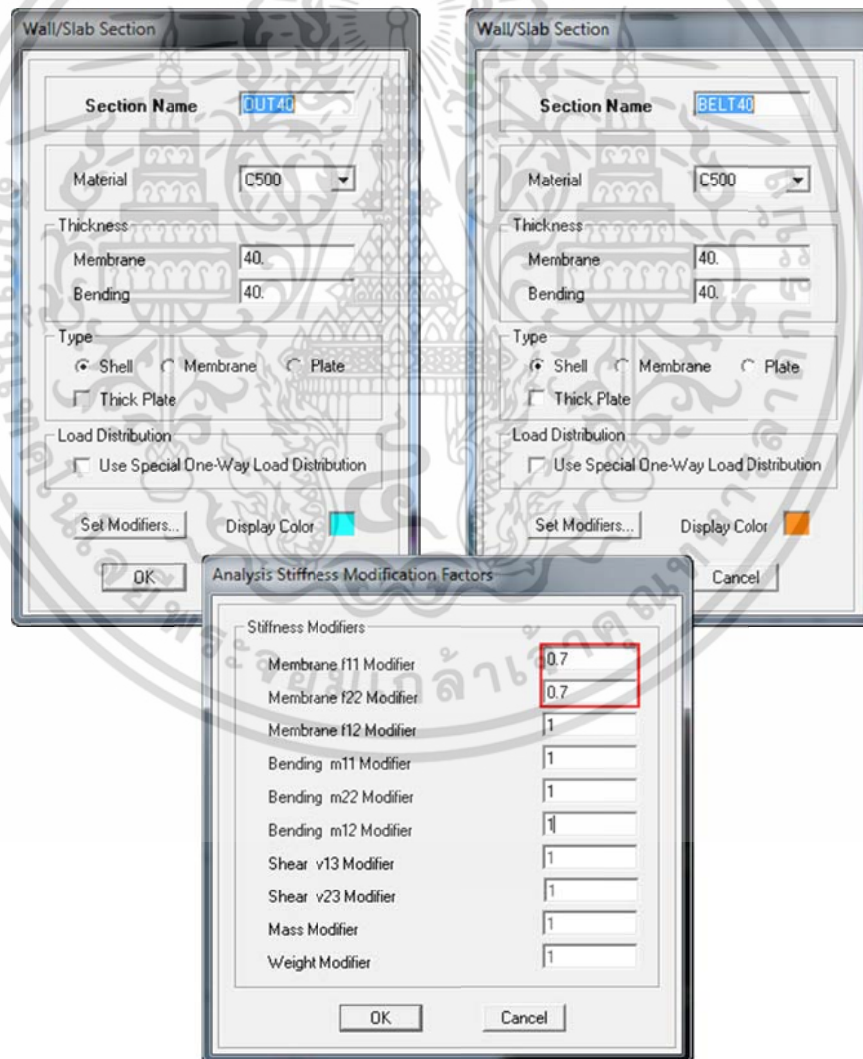
ดังนั้น 
$$K_v = \frac{(2)(1.767)(2.7 \times 10^6)}{50} = 190,836 \text{ ตันต่อเมตร}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.6.6 วิเคราะห์โครงสร้างระบบเอาริกเกอร์และผนังรับน้ำหนักแบบยึดแน่น

สร้างแบบจำลอง MF1 สำหรับวิเคราะห์โครงสร้างระบบเอาริกเกอร์และผนังรับน้ำหนักแบบยึดแน่นจากแบบจำลอง MF0 ซึ่งเป็นแบบจำลองโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กสูง 60 ชั้น ฐานรองรับเป็นแบบยึดแน่น (Fixed Support) ภายใต้แรงโน้มถ่วงและแรงด้านข้าง คือ แรงลมและแรงแผ่นดินไหว ตามมาตรฐานของกรมโยธาธิการและผังเมือง

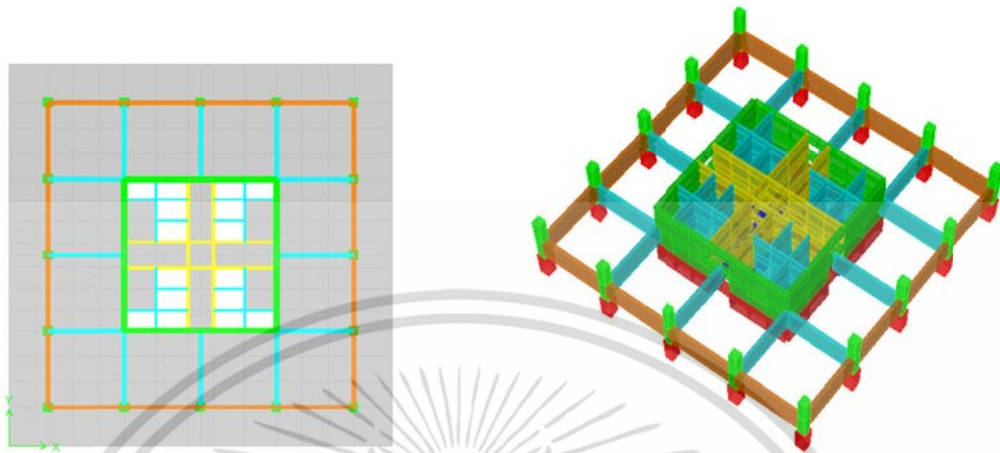
เริ่มต้นจากเปิดแบบจำลอง MF0 ในโปรแกรม ETABS จากนั้นกำหนดคุณสมบัติของเอาริกเกอร์และผนังรับ โดยใช้ชื่อ OUT40 สำหรับเอาริกเกอร์และ BELT40 สำหรับผนังรับ เลือกวัสดุคอนกรีตเป็น C500 และกำหนดความหนาเท่ากับ 40 เซนติเมตร เป็นโครงสร้างประเภทแผ่นบาง (Shell Element) และกำหนดสตีฟเนสประสิทธิผลของหน้าตัด f11 และ f22 เท่ากับ 0.7 ดังแสดงในรูปที่ 3.34



รูปที่ 3.34 กำหนดคุณสมบัติของเอาริกเกอร์และผนังรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นสร้างเอาริกเกอร์และผนังรัดโดยกำหนดความลึกเท่ากับ 1 ชั้นของความสูงอาคาร (3.50 เมตร) อยู่ระหว่างชั้น 30 กับชั้น 31 ตามรูปที่ 3.35 เสร็จแล้วบันทึกชื่อไฟล์ของแบบจำลองเป็น MF1 และสั่งโปรแกรมทำการวิเคราะห์



แบบแปลน

แบบสามมิติ

รูปที่ 3.35 เอาริกเกอร์และผนังรัดสำหรับแบบจำลอง MF1

สำหรับแบบจำลอง MF2 สร้างเอาริกเกอร์และผนังรัดอยู่ที่ตำแหน่ง  $h/3$  และ  $2h/3$  ของความสูงอาคารตามลำดับ และแบบจำลอง MF3 สร้างเอาริกเกอร์และผนังรัดอยู่ที่ตำแหน่ง  $h/4$ ,  $2h/4$  และ  $3h/4$  ของความสูงอาคารตามลำดับ

ตารางที่ 3.9 แบบจำลองโครงสร้างระบบเอาริกเกอร์และผนังรัดบนฐานรากแบบยึดแน่น

แบบจำลอง MF0	แบบจำลอง MF1	แบบจำลอง MF2	แบบจำลอง MF3

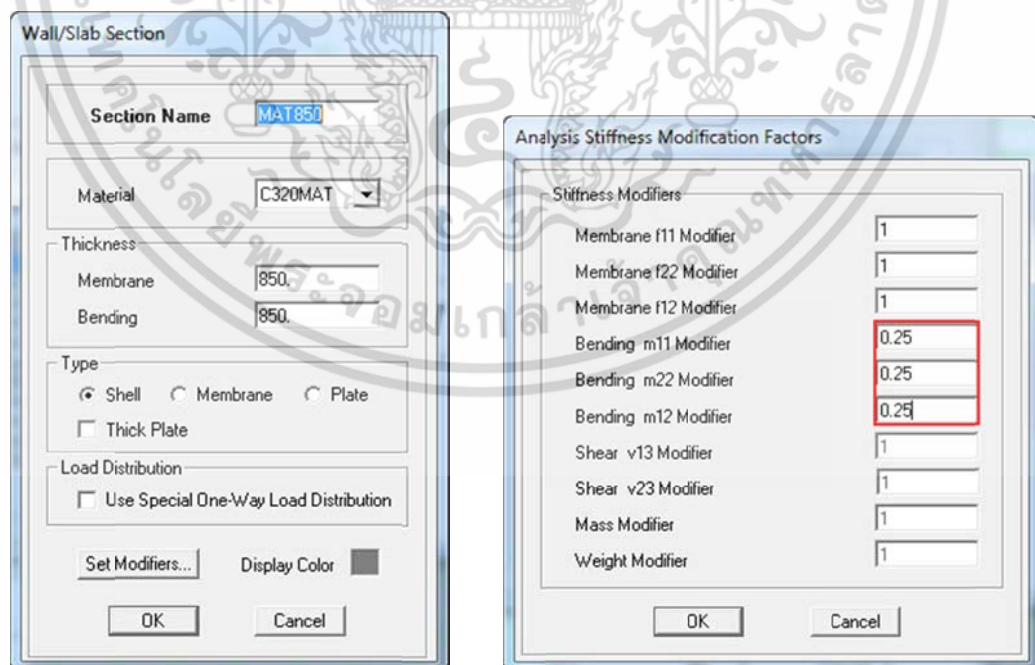
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.6.7 วิเคราะห์โครงสร้างระบบเอาริกเกอร์และผนังรับน้ำหนักแบบยึดหย่อน

การวิเคราะห์โครงสร้างระบบเอาริกเกอร์และผนังรับน้ำหนักแบบยึดหย่อนโดยใช้ค่าสตีฟเนสของสปริงแทนเสาเข็มในแบบจำลองฐานราก ค่าสตีฟเนสของสปริงในแนวราบ ( $K_h$ ) และในแนวตั้ง ( $K_v$ ) หาค่าไว้แล้วในหัวข้อที่ 3.6.4 และ 3.6.5 โดยค่าสตีฟเนสของสปริงในแนวราบ ( $K_h$ ) เท่ากับ 1,133 ตันต่อเมตร และค่าสตีฟเนสของสปริงในแนวตั้ง ( $K_v$ ) เท่ากับ 190,836 ตันต่อเมตร สำหรับขนาดของฐานรากที่ใช้ในแบบจำลองมีความกว้าง 50 เมตร ยาว 50 เมตรและมีความหนา 8.50 เมตร จำนวนเสาเข็มในฐานรากทั้งหมด 100 ต้น (รายละเอียดการคำนวณเพื่อหาจำนวนเสาเข็มแสดงอยู่ในภาคผนวก) ซึ่งแต่ละต้นมีความสามารถในการรับน้ำหนักปลอดภัยที่ 2,600 ตันต่อต้น ตำแหน่งเสาเข็มแต่ละต้นห่างกัน 5.00 เมตร และห่างจากขอบฐานรากเท่ากับ 2.50 เมตร

สร้างแบบจำลอง MS0, MS1, MS2 และ MS3 สำหรับวิเคราะห์โครงสร้างระบบเอาริกเกอร์และผนังรับน้ำหนักภายใต้ฐานรากแบบยึดหย่อนจากแบบจำลอง MF0, MF1, MF2 และ MF3 ตามลำดับ โดยการเปลี่ยนจุดรองรับจากแบบยึดแน่น (Fix Support) เป็นฐานรากแบบแพ (Raft Foundation) และใช้ค่าสตีฟเนสของสปริงแทนเสาเข็มในแบบจำลองฐานราก

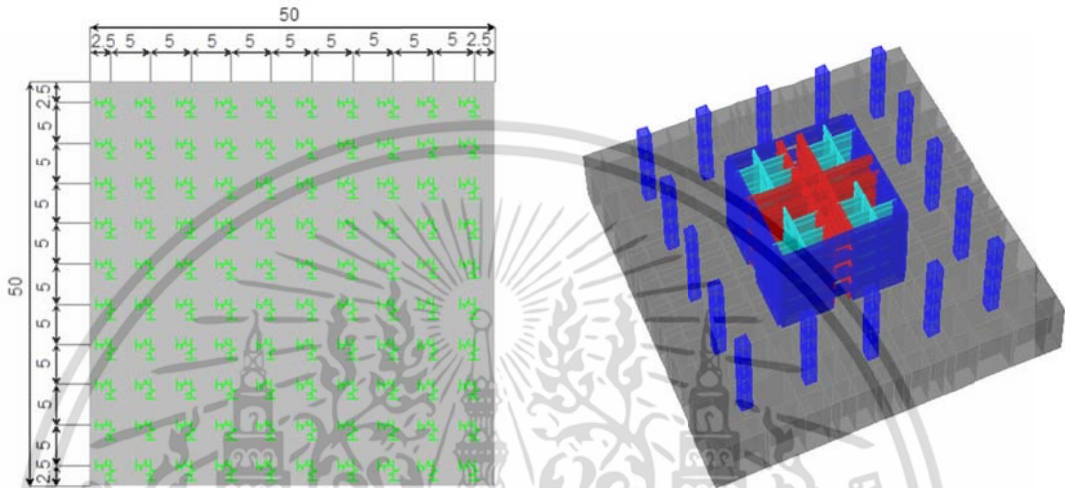
เริ่มต้นจากเปิดแบบจำลอง MF0 ในโปรแกรม ETABS จากนั้นกำหนดคุณสมบัติของฐานราก โดยใช้ชื่อ MAT850 เลือกวัสดุคอนกรีตเป็น C320MAT และกำหนดความหนาเท่ากับ 850 เซนติเมตร เป็นโครงสร้างประเภทแผ่นบาง (Shell Element) และกำหนดสตีฟเนสประสิทธิภาพของหน้าตัด m11, m22 และ m12 เท่ากับ 0.25 ดังแสดงในรูปที่ 3.36



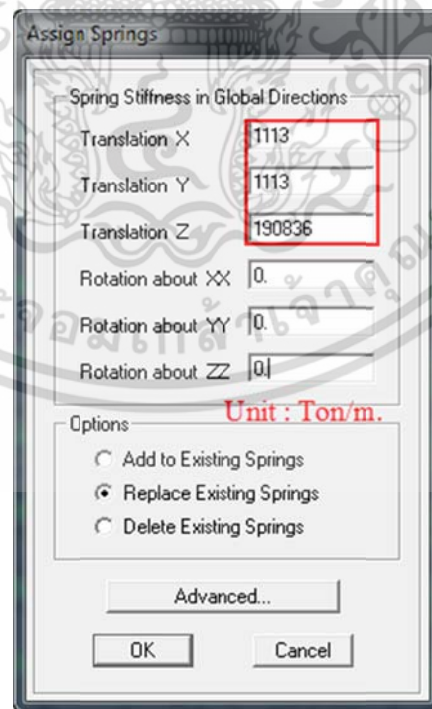
รูปที่ 3.36 กำหนดคุณสมบัติของฐานราก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สร้างแบบจำลองฐานรากตามขนาดที่กำหนด แสดงในรูปที่ 3.37 จากนั้นกำหนดค่าสติฟเนสของสปริงแทนเสาเข็มในแบบจำลองฐานราก โดยค่าสติฟเนสของสปริงในแนวราบ ( $K_h$ ) ทางแกน X และทางแกน Y (Translation X และ Translation Y) เท่ากับ 1,113 ตันต่อเมตรและค่าสติฟเนสของสปริงในแนวตั้ง ( $K_v$ ) ทางแกน Z (Translation Z) เท่ากับ 190,836 ตันต่อเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.38 เสร็จแล้วบันทึกชื่อไฟล์ของแบบจำลองเป็น MSO และสั่งโปรแกรมทำการวิเคราะห์



รูปที่ 3.37 สร้างฐานรากในแบบจำลอง MSO

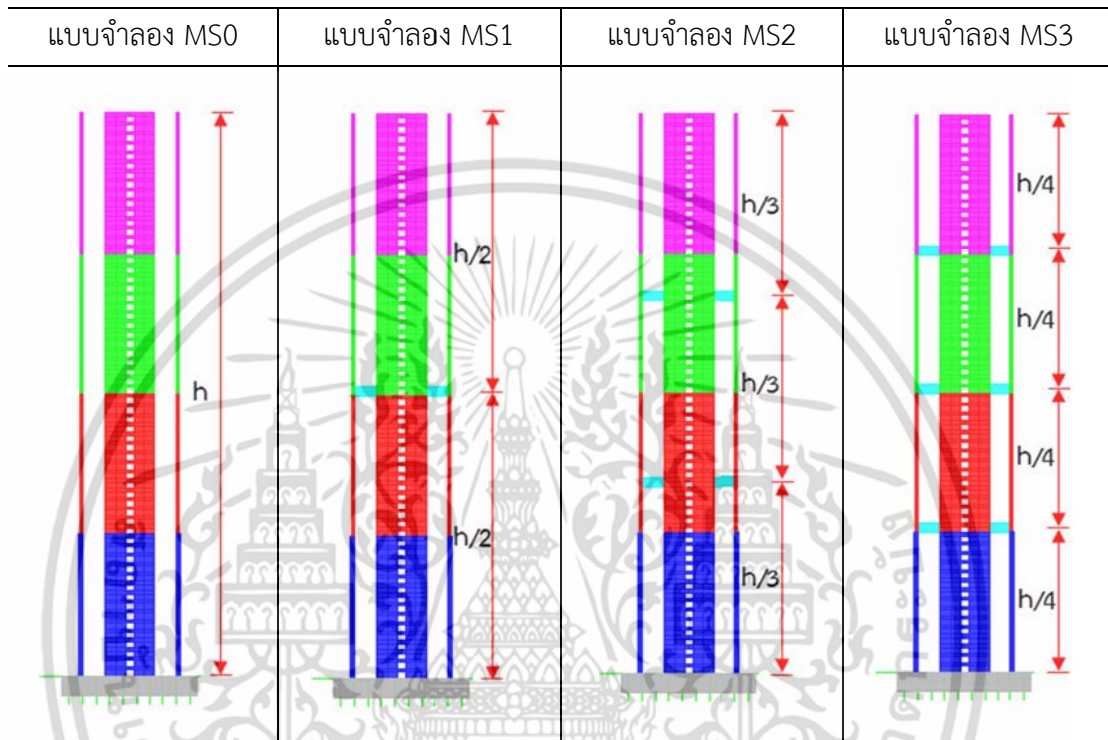


รูปที่ 3.38 กำหนดค่าสติฟเนสของสปริงแทนเสาเข็มในแบบจำลองฐานราก MSO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับแบบจำลอง MS1, MS2 และ MS3 ก็สามารถสร้างฐานรากแบบยืดหยุ่นและกำหนดค่าสติเฟนของสปริงตามขั้นตอนของแบบจำลอง MS0 โดยใช้แบบจำลอง MF1, MF2 และ MF3 ตามลำดับ

ตารางที่ 3.10 แบบจำลองโครงสร้างระบบเอริกเกอร์และผนังรับน้ำหนักแบบยืดหยุ่น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการศึกษาและวิเคราะห์ผล

การวิเคราะห์พฤติกรรมของโครงสร้างระบบเอาริกเกอร์และผนังรับน้ำหนักแบบยึดแน่น และฐานรากแบบยึดหยุ่นของโครงสร้างอาคารสูงในพื้นที่กรุงเทพมหานครเมื่อรับแรงเนื่องจากแรงโน้มถ่วง แรงลม และแรงแผ่นดินไหว ตามมาตรฐานของกรมโยธาธิการและผังเมือง วิเคราะห์โดยใช้แบบจำลอง 3 มิติ ของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กสูง 60 ชั้น โดยใช้แบบจำลองทั้งหมด 8 รูปแบบ ทำการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม ETABS เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบพฤติกรรมในด้านต่างๆ ดังนี้

- คาบการสั่นพื้นฐานของโครงสร้างอาคาร (Fundamental Period)
- ระยะการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น (Inter-Story Drift)
- ระยะการเคลื่อนตัวด้านข้าง (Lateral Displacement)
- แรงตามแนวแกนเสา (Axial force of Column)
- แรงเฉือนในผนังรับแรงเฉือน (Shear force of Core wall)
- โมเมนต์ดัดในผนังรับแรงเฉือน (Bending Moment of Core wall)
- โมเมนต์ดัดในฐานราก (Bending Moment of Foundation)

#### 4.1 คาบการสั่นพื้นฐานของโครงสร้างอาคาร (Fundamental Period)

คาบการสั่นพื้นฐานของโครงสร้างอาคาร เป็นระยะเวลาที่ใช้ในการแกว่งตัวของโครงสร้างอาคารตามธรรมชาติครบ 1 รอบซึ่งแปรผกผันกับค่าความถี่ธรรมชาติของการสั่นไหว ( $T_n = 2\pi\sqrt{m/k} = 1/f_n$  เมื่อ  $T_n$  คือ คาบการสั่นพื้นฐานของโครงสร้างอาคาร (วินาทีต่อรอบ),  $f_n$  คือ ความถี่พื้นฐานของโครงสร้างอาคาร (รอบต่อวินาที, Hz),  $m$  คือ มวลของอาคาร และ  $k$  คือ สติฟเนสของโครงสร้างอาคาร) สำหรับคาบการสั่นพื้นฐานและความถี่จะขึ้นอยู่กับมวลและสติฟเนสของโครงสร้าง ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความแข็งแรงหรือความอ่อนของระบบโครงสร้างนั้น สำหรับโครงสร้างที่มีเอาริกเกอร์และผนังรับน้ำหนักก็จะมีคาบการสั่นพื้นฐานที่ต่างกับโครงสร้างที่ไม่มีเอาริกเกอร์และผนังรับน้ำหนัก รวมถึงโครงสร้างที่อยู่บนฐานรากแบบยึดแน่นและฐานรากแบบยึดหยุ่นด้วย ซึ่งผลการวิเคราะห์ค่าคาบการสั่นพื้นฐานของโครงสร้างอาคารแสดงไว้ตามตารางที่ 4.1 และ ตารางที่ 4.2

**ตารางที่ 4.1** คาบการสั้นพื้นฐานของโครงสร้างระบบเอริกเกอร์และผนังรับน้ำหนักแบบยึดแน่น

ฐานรากแบบ ยึดแน่น	ไม่มีเอริกเกอร์และ ผนังรับ (MF0)	มีเอริกเกอร์และผนังรับ หนึ่งระดับ (MF1)	มีเอริกเกอร์และผนังรับ สองระดับ (MF2)	มีเอริกเกอร์และผนังรับ สามระดับ (MF3)
	ค่าคาบ (วินาที)	ค่าคาบ (วินาที)	ค่าคาบ (วินาที)	ค่าคาบ (วินาที)
โหมคที่ 1	6.330	4.717	4.303	4.118
โหมคที่ 2	6.258	4.693	4.288	4.106
โหมคที่ 3	1.892	1.868	1.852	1.829
โหมคที่ 4	1.303	1.305	1.131	1.051
โหมคที่ 5	1.288	1.291	1.123	1.046
โหมคที่ 6	0.719	0.719	0.707	0.696
โหมคที่ 7	0.542	0.514	0.541	0.497
โหมคที่ 8	0.538	0.511	0.537	0.494
โหมคที่ 9	0.436	0.426	0.438	0.425
โหมคที่ 10	0.314	0.315	0.294	0.310
โหมคที่ 11	0.313	0.314	0.287	0.309
โหมคที่ 12	0.307	0.309	0.286	0.309

**ตารางที่ 4.2** คาบการสั้นพื้นฐานของโครงสร้างระบบเอริกเกอร์และผนังรับน้ำหนักแบบยึดหยุ่น

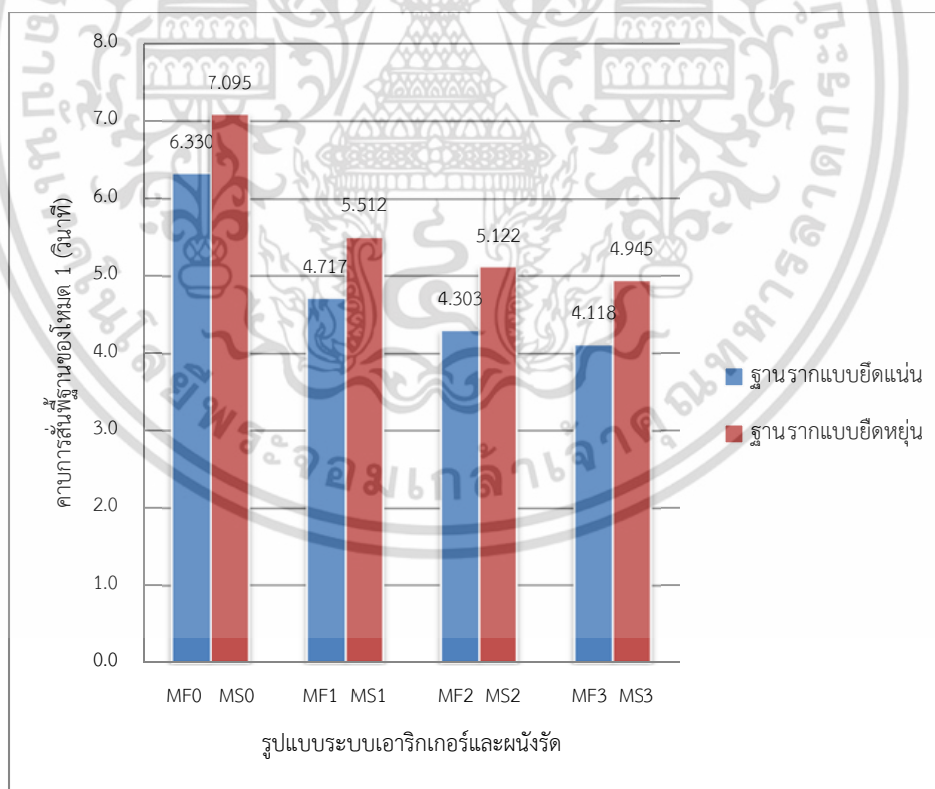
ฐานรากแบบ ยึดหยุ่น	ไม่มีเอริกเกอร์และ ผนังรับ (MS0)	มีเอริกเกอร์และผนังรับ หนึ่งระดับ (MS1)	มีเอริกเกอร์และผนังรับ สองระดับ (MS2)	มีเอริกเกอร์และผนังรับ สามระดับ (MS3)
	ค่าคาบ (วินาที)	ค่าคาบ (วินาที)	ค่าคาบ (วินาที)	ค่าคาบ (วินาที)
โหมคที่ 1	7.095	5.512	5.122	4.945
โหมคที่ 2	7.035	5.496	5.113	4.939
โหมคที่ 3	2.669	2.662	2.657	2.648
โหมคที่ 4	1.863	1.797	1.678	1.633
โหมคที่ 5	1.853	1.786	1.673	1.630
โหมคที่ 6	0.934	0.919	0.913	0.903
โหมคที่ 7	0.857	0.837	0.770	0.723
โหมคที่ 8	0.850	0.831	0.765	0.720
โหมคที่ 9	0.523	0.522	0.512	0.503
โหมคที่ 10	0.442	0.429	0.431	0.405
โหมคที่ 11	0.440	0.426	0.429	0.403
โหมคที่ 12	0.356	0.351	0.353	0.348

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.1 เป็นการเปรียบเทียบค่าการสั่นพื้นฐานของโครงสร้างโหมดที่ 1 ซึ่งมีรูปแบบการสั่นไหวในทิศทางแกน X พบว่าโครงสร้างอาคารที่มีเอาริกเกอร์และผนังรััดจะมีค่าการสั่นพื้นฐานที่ต่ำกว่าโครงสร้างที่ไม่มีเอาริกเกอร์และผนังรััด เมื่อพิจารณาโครงสร้างที่อยู่บนฐานรากแบบยึดแน่น เกิดค่าการสั่นพื้นฐานของโครงสร้าง 4.717 วินาที, 4.303 วินาที และ 4.118 วินาที เมื่อมีเอาริกเกอร์และผนังรััดหนึ่งระดับ สองระดับ และสามระดับ ตามลำดับ

สำหรับโครงสร้างอาคารที่มีระบบเอาริกเกอร์และผนังรััดบนฐานรากแบบยึดหยุ่นโดยใช้ค่าสถิติเฟนของสปริงแทนเสาเข็ม เกิดค่าการสั่นพื้นฐานของโครงสร้าง 5.512 วินาที, 5.122 วินาที และ 4.945 วินาที เมื่อมีเอาริกเกอร์และผนังรััดหนึ่งระดับ สองระดับ และสามระดับ ตามลำดับ

ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบค่าการสั่นพื้นฐานของโครงสร้างอาคารที่มีระบบเอาริกเกอร์และผนังรััดบนฐานรากแบบยึดแน่นกับฐานรากแบบยึดหยุ่นที่มีจำนวนเอาริกเกอร์และผนังรััดเท่ากัน พบว่าโครงสร้างที่มีระบบเอาริกเกอร์และผนังรััดบนฐานรากแบบยึดหยุ่นเกิดค่าการสั่นพื้นฐานสูงกว่าโครงสร้างที่มีระบบเอาริกเกอร์และผนังรััดบนฐานรากแบบยึดแน่น คิดเป็น 1.17 เท่า เมื่อมีเอาริกเกอร์และผนังรััดหนึ่งระดับ 1.19 เท่า เมื่อมีเอาริกเกอร์และผนังรััดสองระดับ และ 1.20 เท่า เมื่อมีเอาริกเกอร์และผนังรััดสามระดับ



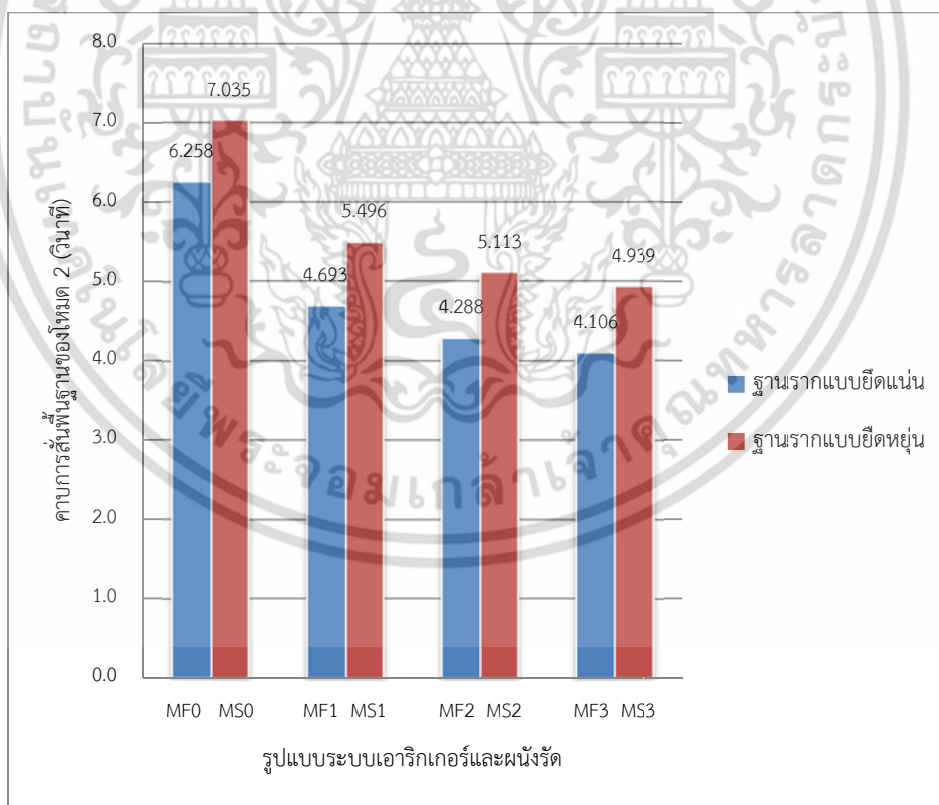
**รูปที่ 4.1** เปรียบเทียบค่าการสั่นพื้นฐานโหมด 1 ของระบบเอาริกเกอร์และผนังรััดบนฐานรากแบบยึดแน่นกับฐานรากแบบยึดหยุ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.2 เป็นการเปรียบเทียบค่าการสั่นพื้นฐานของโครงสร้างโหมดที่ 2 ซึ่งมีรูปแบบการสั่นไหวในทิศทางแกน Y พบว่าโครงสร้างอาคารที่มีเอาริกเกอร์และผนังรััดจะมีค่าการสั่นพื้นฐานที่ต่ำกว่าโครงสร้างที่ไม่มีเอาริกเกอร์และผนังรััด เมื่อพิจารณาโครงสร้างที่อยู่บนฐานรากแบบยึดแน่น เกิดค่าการสั่นพื้นฐานของโครงสร้าง 4.693 วินาที, 4.288 วินาที และ 4.106 วินาที เมื่อมีเอาริกเกอร์และผนังรััดหนึ่งระดับ สองระดับ และสามระดับ ตามลำดับ

สำหรับโครงสร้างอาคารที่มีระบบเอาริกเกอร์และผนังรััดบนฐานรากแบบยึดหยุ่นโดยใช้ค่าสถิติเฟนสของสปริงแทนเสาเข็ม เกิดค่าการสั่นพื้นฐานของโครงสร้าง 5.496 วินาที, 5.113 วินาที และ 4.939 วินาที เมื่อมีเอาริกเกอร์และผนังรััดหนึ่งระดับ สองระดับ และสามระดับ ตามลำดับ

นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบค่าการสั่นพื้นฐานของโครงสร้างอาคารที่มีระบบเอาริกเกอร์และผนังรััดบนฐานรากแบบยึดแน่นกับฐานรากแบบยึดหยุ่นที่มีจำนวนเอาริกเกอร์และผนังรััดเท่ากัน พบว่าโครงสร้างที่มีระบบเอาริกเกอร์และผนังรััดบนฐานรากแบบยึดหยุ่นเกิดค่าการสั่นพื้นฐานของโครงสร้างอาคารสูงกว่าโครงสร้างที่มีระบบเอาริกเกอร์และผนังรััดบนฐานรากแบบยึดแน่น คิดเป็น 1.17 เท่า เมื่อมีเอาริกเกอร์และผนังรััดหนึ่งระดับ 1.19 เท่า เมื่อมีเอาริกเกอร์และผนังรััดสองระดับ และ 1.20 เท่า เมื่อมีเอาริกเกอร์และผนังรััดสามระดับ



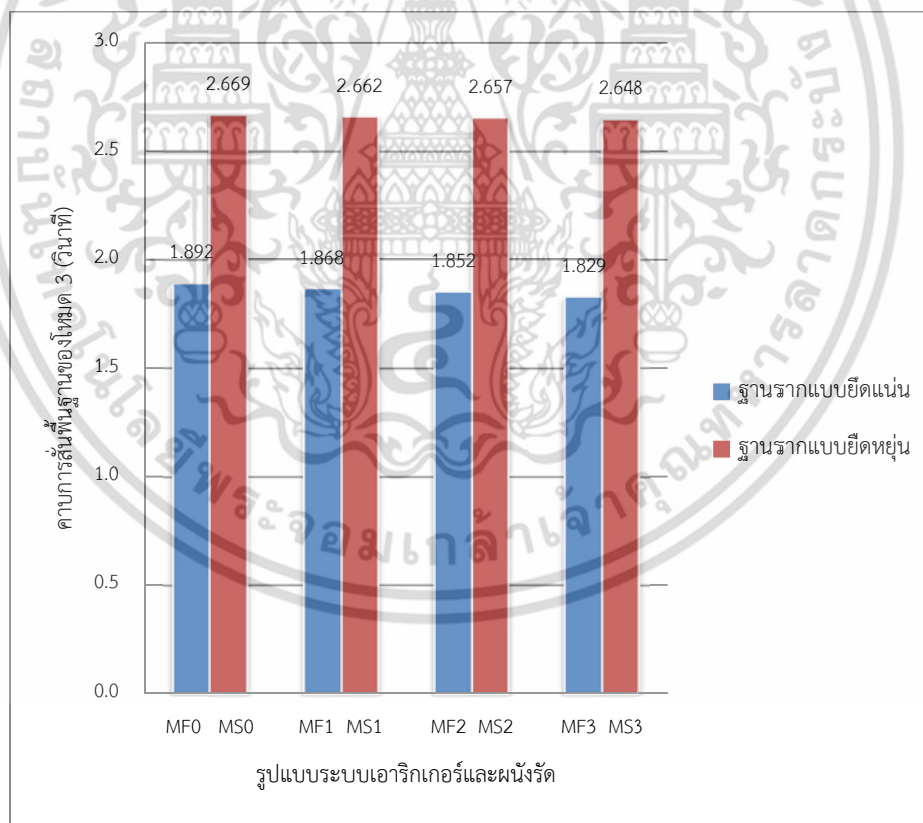
รูปที่ 4.2 เปรียบเทียบค่าการสั่นพื้นฐานโหมด 2 ของระบบเอาริกเกอร์และผนังรััดบนฐานรากแบบยึดแน่นกับฐานรากแบบยึดหยุ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.3 เป็นการเปรียบเทียบคาบการสั่นพื้นฐานของโครงสร้างโหมดที่ 3 ซึ่งมีรูปแบบการสั่นไหวแบบการบิด (Torsional mode) พบว่าโครงสร้างอาคารที่มีเอาริกเกอร์และผนังรััดจะมีคาบการสั่นพื้นฐานที่ต่ำกว่าโครงสร้างที่ไม่มีเอาริกเกอร์และผนังรััด เมื่อพิจารณาโครงสร้างที่อยู่บนฐานรากแบบยึดแน่น เกิดคาบการสั่นพื้นฐานของโครงสร้าง 1.868 วินาที, 1.852 วินาที และ 1.829 วินาที เมื่อมีเอาริกเกอร์และผนังรััดหนึ่งระดับ สองระดับ และสามระดับ ตามลำดับ

สำหรับโครงสร้างอาคารที่มีระบบเอาริกเกอร์และผนังรััดบนฐานรากแบบยึดหยุ่นโดยใช้ค่าสติฟเนสของสปริงแทนเสาเข็ม เกิดคาบการสั่นพื้นฐานของโครงสร้าง 2.662 วินาที, 2.657 วินาที และ 2.648 วินาที เมื่อมีเอาริกเกอร์และผนังรััดหนึ่งระดับ สองระดับ และสามระดับ ตามลำดับ

นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบคาบการสั่นพื้นฐานของโครงสร้างระบบเอาริกเกอร์และผนังรััดบนฐานรากแบบยึดแน่นกับฐานรากแบบยึดหยุ่นที่มีจำนวนเอาริกเกอร์และผนังรััดเท่ากัน พบว่าโครงสร้างระบบเอาริกเกอร์และผนังรััดบนฐานรากแบบยึดหยุ่นเกิดค่าคาบการสั่นพื้นฐานของโครงสร้างอาคารสูงกว่าโครงสร้างระบบเอาริกเกอร์และผนังรััดบนฐานรากแบบยึดแน่น 1.43 เท่า เมื่อมีเอาริกเกอร์และผนังรััดหนึ่งและสองระดับ และ 1.45 เท่า เมื่อมีเอาริกเกอร์และผนังรััดสามระดับ



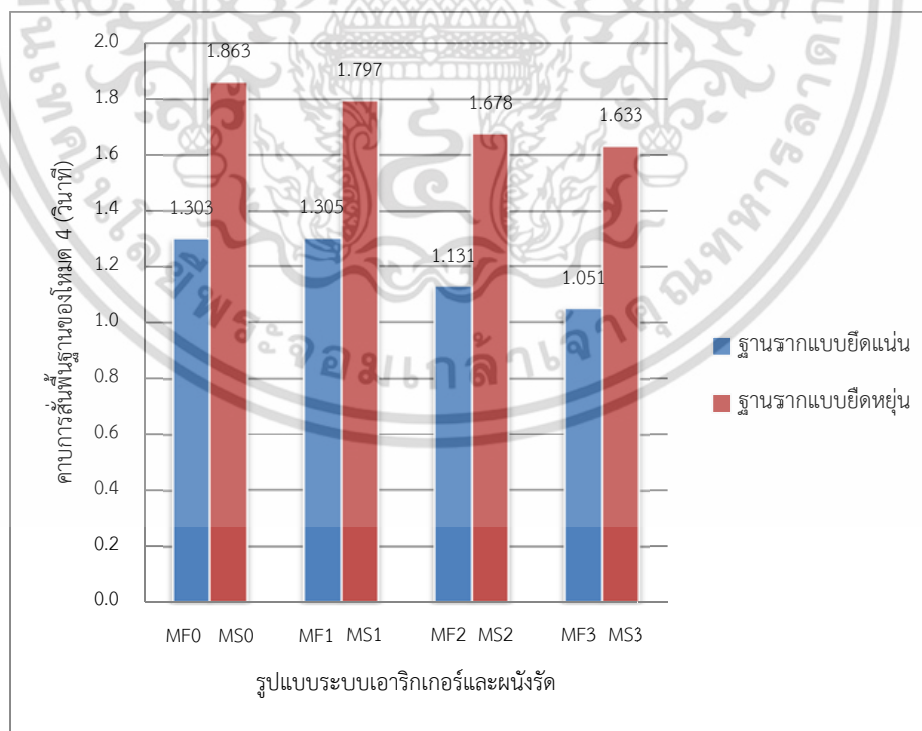
รูปที่ 4.3 เปรียบเทียบคาบการสั่นพื้นฐานโหมด 3 ของระบบเอาริกเกอร์และผนังรััดบนฐานรากแบบยึดแน่นกับฐานรากแบบยึดหยุ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับรูปแบบการสันพื้นฐานของโครงสร้างอาคารในแต่ละโหมดแสดงรายละเอียดไว้ในตารางที่ 4.3 และการเปรียบเทียบค่าการสันพื้นฐานของโครงสร้างอาคารในโหมดที่ 4 ถึง 12 แสดงไว้ในรูปที่ 4.4 ถึงรูปที่ 4.12 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.3 รูปแบบการสันพื้นฐานของโครงสร้างอาคารในแต่ละโหมด

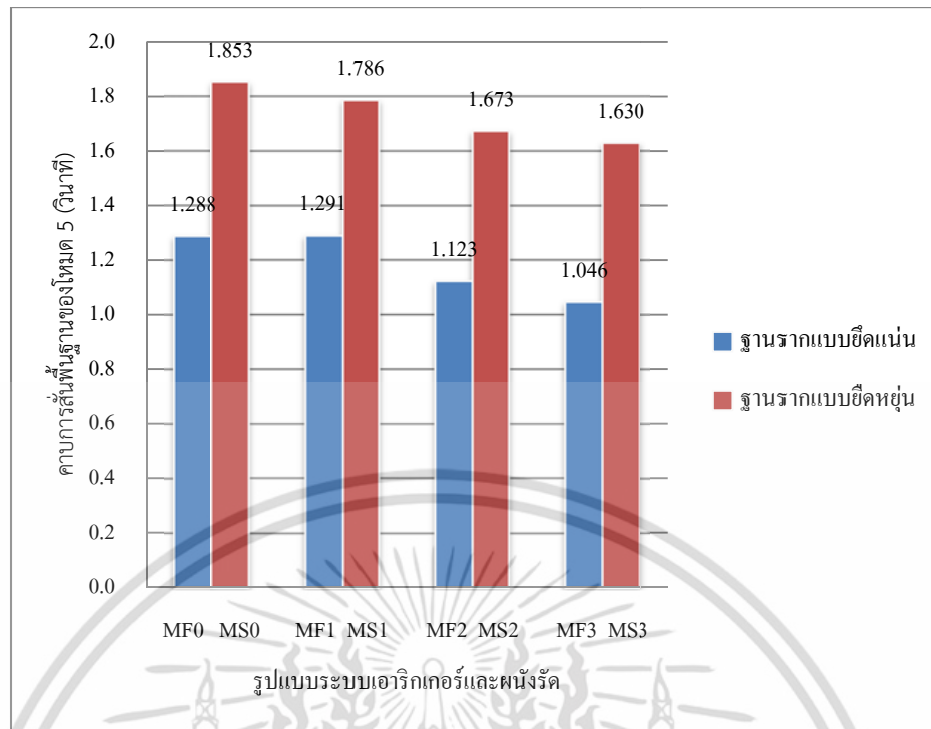
รูปแบบ	MF0	MF1	MF2	MF3	MS0	MS1	MS2	MS3
โหมด1	ทิศทาง X	ทิศทาง X	ทิศทาง X	ทิศทาง X	ทิศทาง X	ทิศทาง X	ทิศทาง X	ทิศทาง X
โหมด2	ทิศทาง Y	ทิศทาง Y	ทิศทาง Y	ทิศทาง Y	ทิศทาง Y	ทิศทาง Y	ทิศทาง Y	ทิศทาง Y
โหมด3	การบิด	การบิด	การบิด	การบิด	การบิด	การบิด	การบิด	การบิด
โหมด4	ทิศทาง X	ทิศทาง X	ทิศทาง X	ทิศทาง X	ทิศทาง X	ทิศทาง X	ทิศทาง X	ทิศทาง X
โหมด5	ทิศทาง Y	ทิศทาง Y	ทิศทาง Y	ทิศทาง Y	ทิศทาง Y	ทิศทาง Y	ทิศทาง Y	ทิศทาง Y
โหมด6	การบิด	การบิด	การบิด	การบิด	การบิด	การบิด	การบิด	การบิด
โหมด7	ทิศทาง X	ทิศทาง X	ทิศทาง X	ทิศทาง X	ทิศทาง X	ทิศทาง X	ทิศทาง X	ทิศทาง X
โหมด8	ทิศทาง Y	ทิศทาง Y	ทิศทาง Y	ทิศทาง Y	ทิศทาง Y	ทิศทาง Y	ทิศทาง Y	ทิศทาง Y
โหมด9	การบิด	การบิด	การบิด	การบิด	การบิด	การบิด	การบิด	การบิด
โหมด10	ทิศทาง X	ทิศทาง X	ทิศทาง X	ทิศทาง X	ทิศทาง X	ทิศทาง X	ทิศทาง X	ทิศทาง X
โหมด11	ทิศทาง Y	ทิศทาง Y	ทิศทาง Y	ทิศทาง Y	ทิศทาง Y	ทิศทาง Y	ทิศทาง Y	ทิศทาง Y
โหมด12	การบิด	การบิด	การบิด	การบิด	การบิด	การบิด	การบิด	การบิด



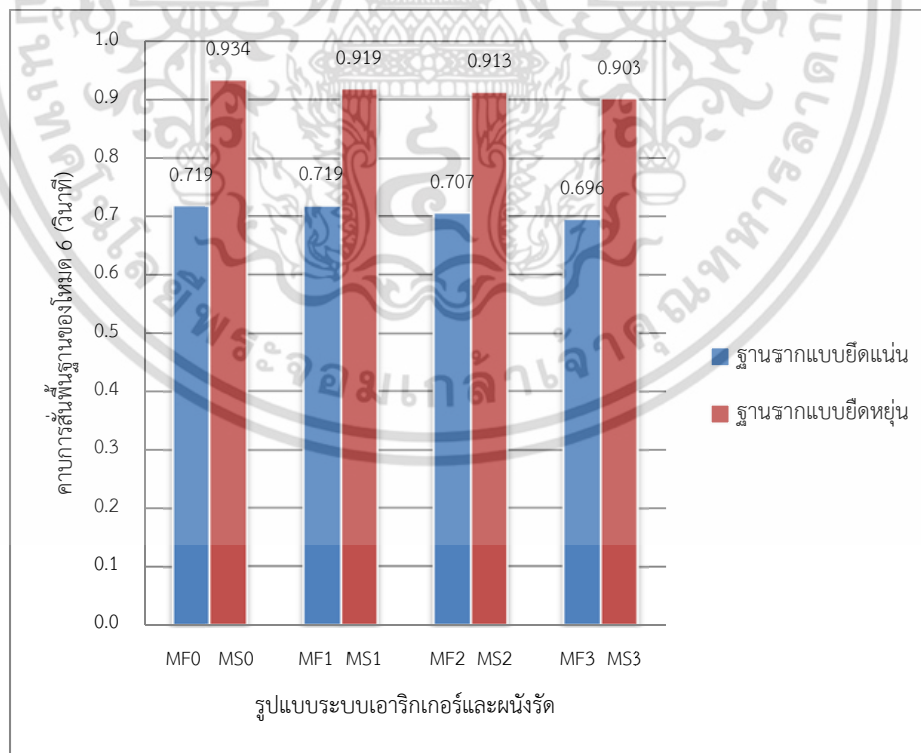
รูปที่ 4.4 เปรียบเทียบค่าการสันพื้นฐานโหมด 4 ของระบบเอาริกเกอร์และผนังรัดบนฐานราก

แบบยึดแน่นกับฐานรากแบบยึดหยุ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

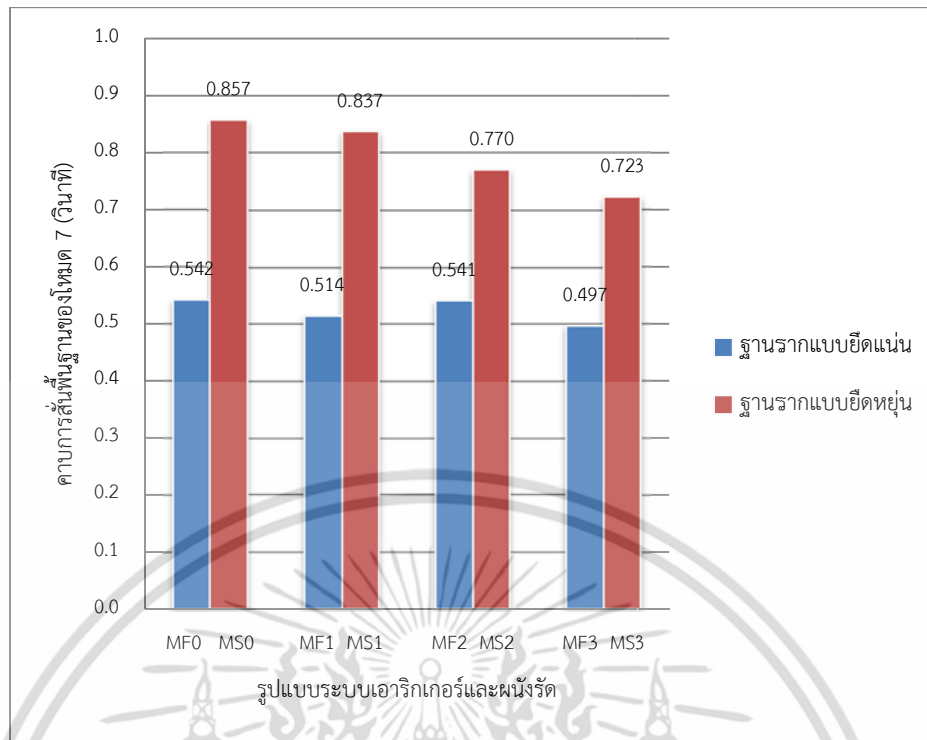


รูปที่ 4.5 เปรียบเทียบค่าการสั่นพ้องฐานใหม่ต 5 ของระบบเอริกเกอร์และผนังรัดบนฐานรากแบบยึดแน่นกับฐานรากแบบยึดหยุ่น

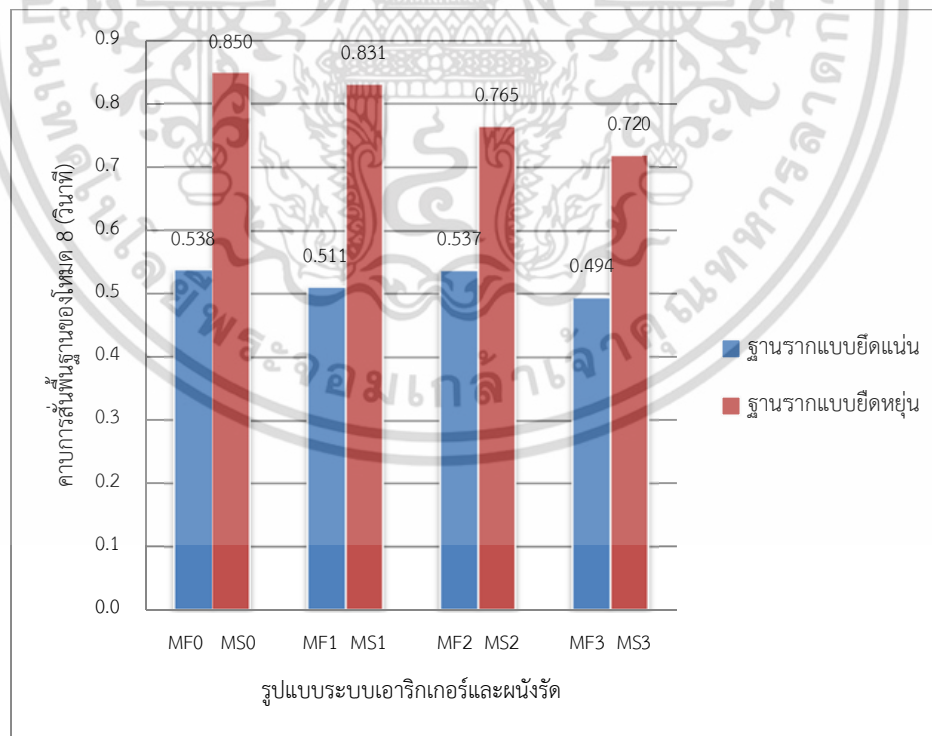


รูปที่ 4.6 เปรียบเทียบค่าการสั่นพ้องฐานใหม่ต 6 ของระบบเอริกเกอร์และผนังรัดบนฐานรากแบบยึดแน่นกับฐานรากแบบยึดหยุ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

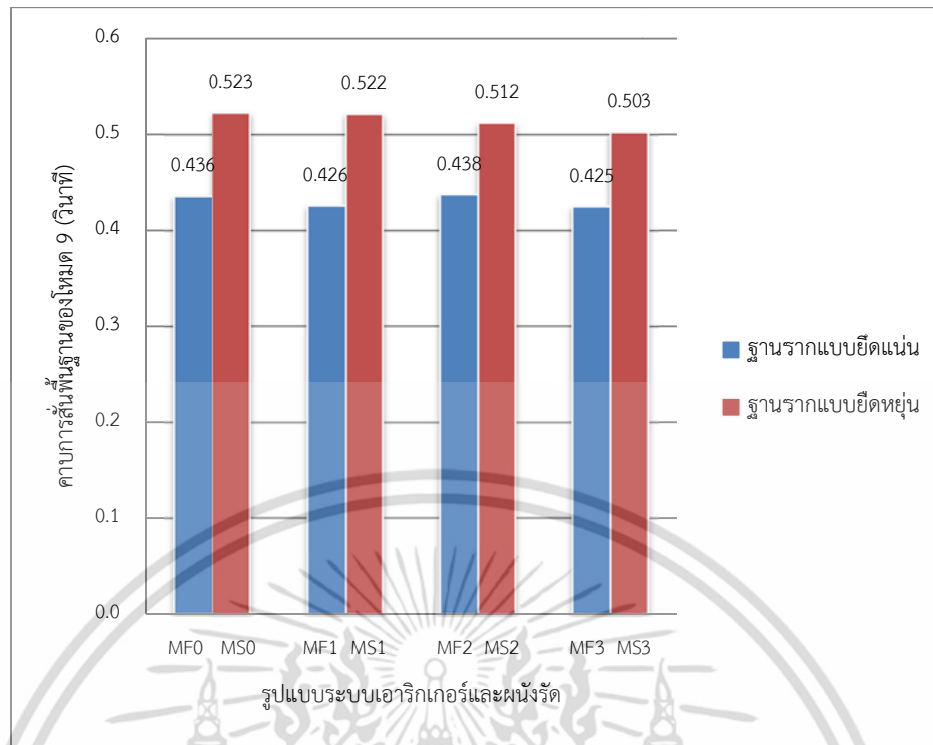


รูปที่ 4.7 เปรียบเทียบค่าการสั่นพ้องฐานโมเมนต์ 7 ของระบบเอาริกเกอร์และผนังรัดบนฐานรากแบบยึดแน่นกับฐานรากแบบยึดหยุ่น

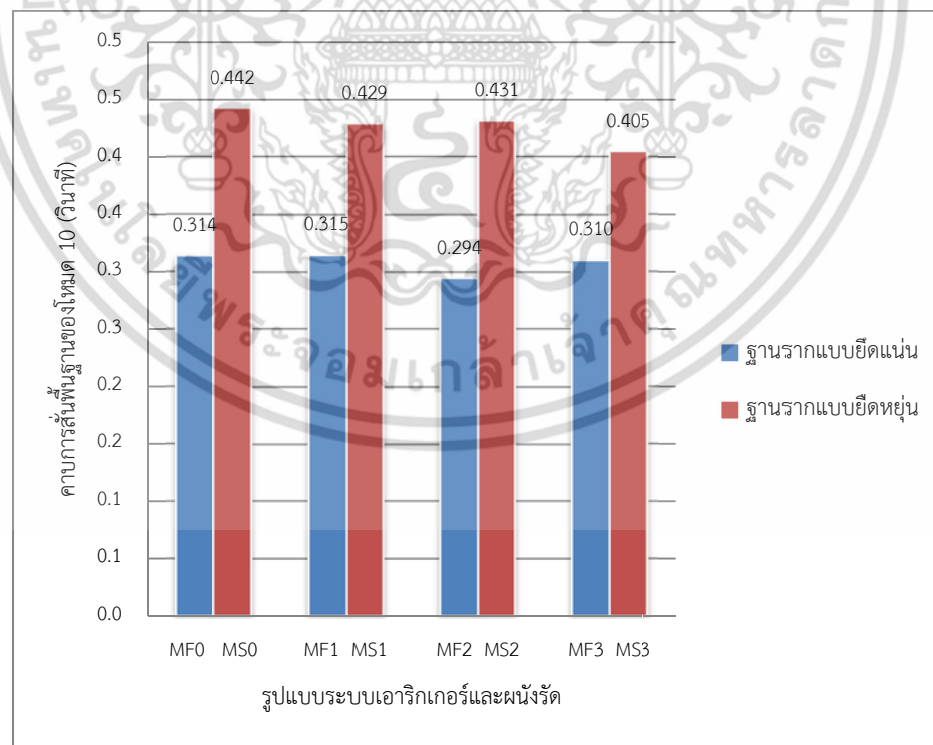


รูปที่ 4.8 เปรียบเทียบค่าการสั่นพ้องฐานโมเมนต์ 8 ของระบบเอาริกเกอร์และผนังรัดบนฐานรากแบบยึดแน่นกับฐานรากแบบยึดหยุ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



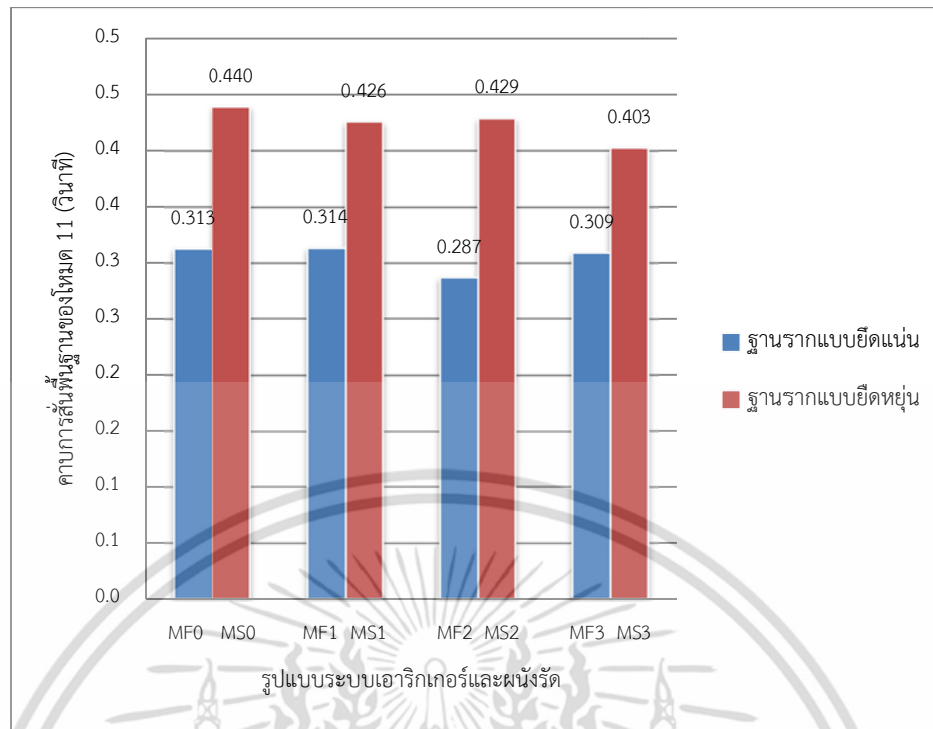
รูปที่ 4.9 เปรียบเทียบค่าการสั่นพ้องฐานโมเมนต์ 9 ของระบบเอาริกเกอร์และผนังรัดบนฐานรากแบบยึดแน่นกับฐานรากแบบยึดหยุ่น



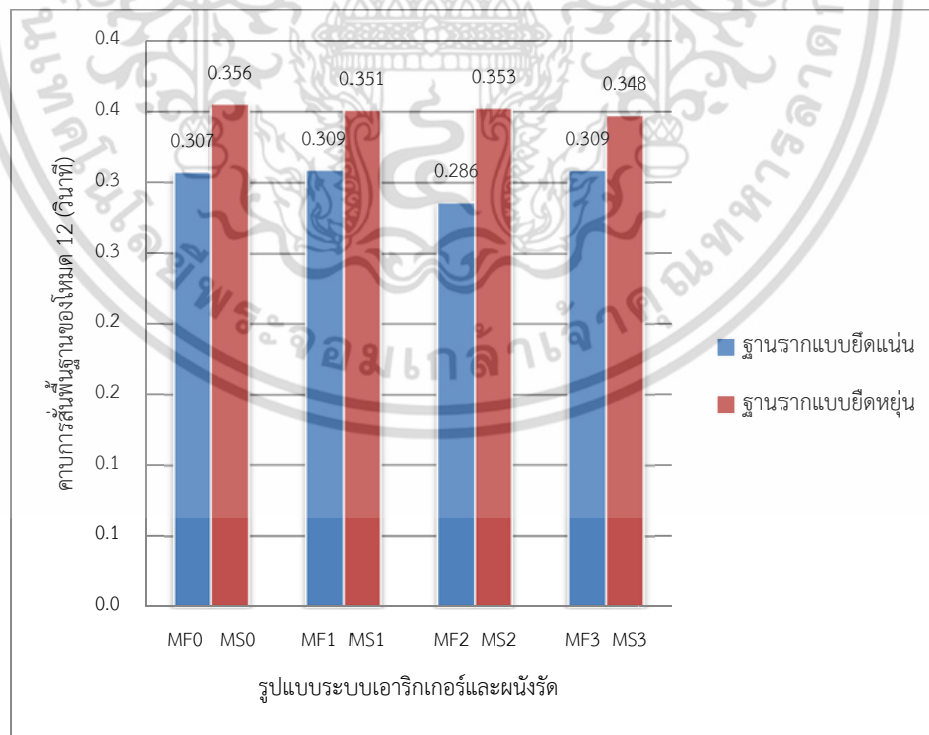
รูปที่ 4.10 เปรียบเทียบค่าการสั่นพ้องฐานโมเมนต์ 10 ของระบบเอาริกเกอร์และผนังรัดบนฐานราก

แบบยึดแน่นกับฐานรากแบบยึดหยุ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 เปรียบเทียบค่าการสัณพื้นฐานใหม่ด 11 ของระบบเอาริกเกอร์และผนังรัดบนฐานรากแบบยึดแน่นกับฐานรากแบบยืดหยุ่น



รูปที่ 4.12 เปรียบเทียบค่าการสัณพื้นฐานใหม่ด 12 ของระบบเอาริกเกอร์และผนังรัดบนฐานรากแบบยึดแน่นกับฐานรากแบบยืดหยุ่น

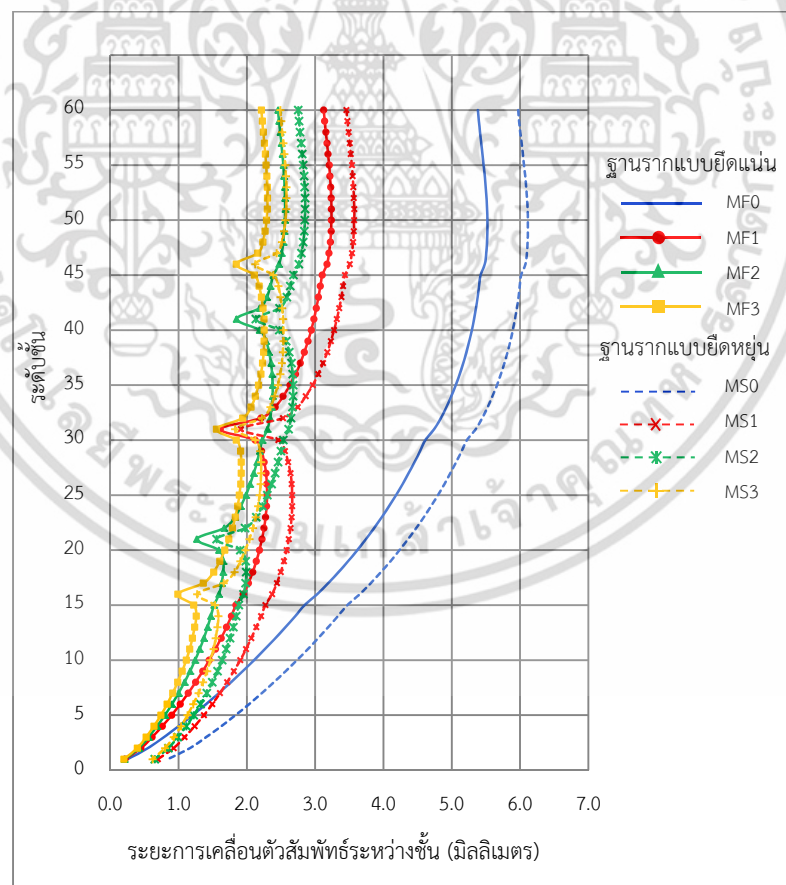
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 ระยะเวลาเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น (Inter-Story Drift)

### 4.2.1 ระยะเวลาเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นเนื่องจากแรงลม

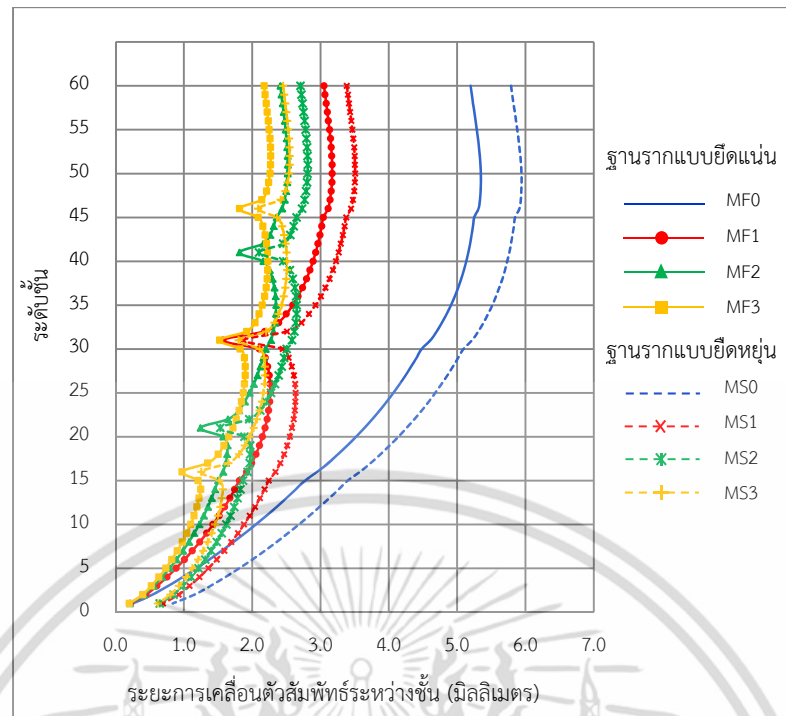
ระยะเวลาเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น (Inter-Story Drift) เนื่องจากแรงลมในทิศทางแกน X และแกน Y แสดงไว้ในรูปที่ 4.13 และ รูปที่ 4.14 ตามลำดับ จากผลการวิเคราะห์พบว่าโครงสร้างอาคารมีระยะเวลาเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นสูงสุดเนื่องจากแรงลมในทิศทางแกน X และโครงสร้างที่มีเอาริกเกอร์และผนังรัดสามารถลดระยะเวลาเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นลงได้เมื่อเทียบกับโครงสร้างที่ไม่มีเอาริกเกอร์และผนังรัด

นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบค่าระยะเวลาเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นของโครงสร้างระบบเอาริกเกอร์และผนังรัดบนฐานรากแบบยึดแน่นกับฐานรากแบบยึดหยุ่นที่มีจำนวนเอาริกเกอร์และผนังรัดเท่ากัน พบว่าโครงสร้างที่มีระบบเอาริกเกอร์และผนังรัดบนฐานรากแบบยึดหยุ่นเกิดระยะเวลาเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นของโครงสร้างอาคารมากกว่าโครงสร้างที่มีระบบเอาริกเกอร์และผนังรัดบนฐานรากแบบยึดแน่น คิดเป็น 1.10 เท่า เมื่อมีเอาริกเกอร์และผนังรัดหนึ่งระดับ 1.11 เท่า เมื่อมีเอาริกเกอร์และผนังรัดสองระดับ และ 1.12 เท่า เมื่อมีเอาริกเกอร์และผนังรัดสามระดับ



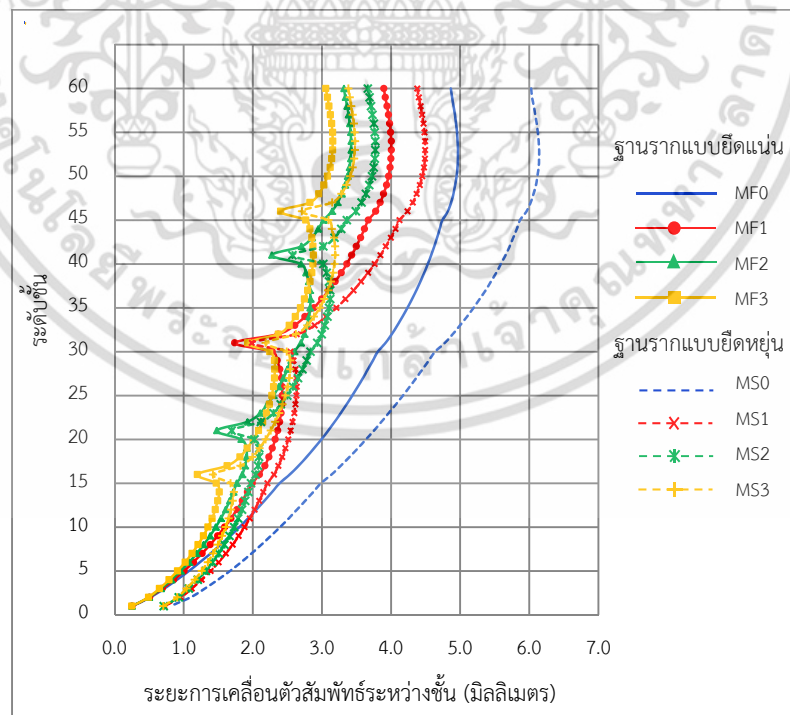
รูปที่ 4.13 ระยะเวลาเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นเนื่องจากแรงลมในทิศทาง X

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 ระยะการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นเนื่องจากแรงลมในทิศทาง Y

#### 4.2.2 ระยะการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นเนื่องจากแรงแผ่นดินไหว

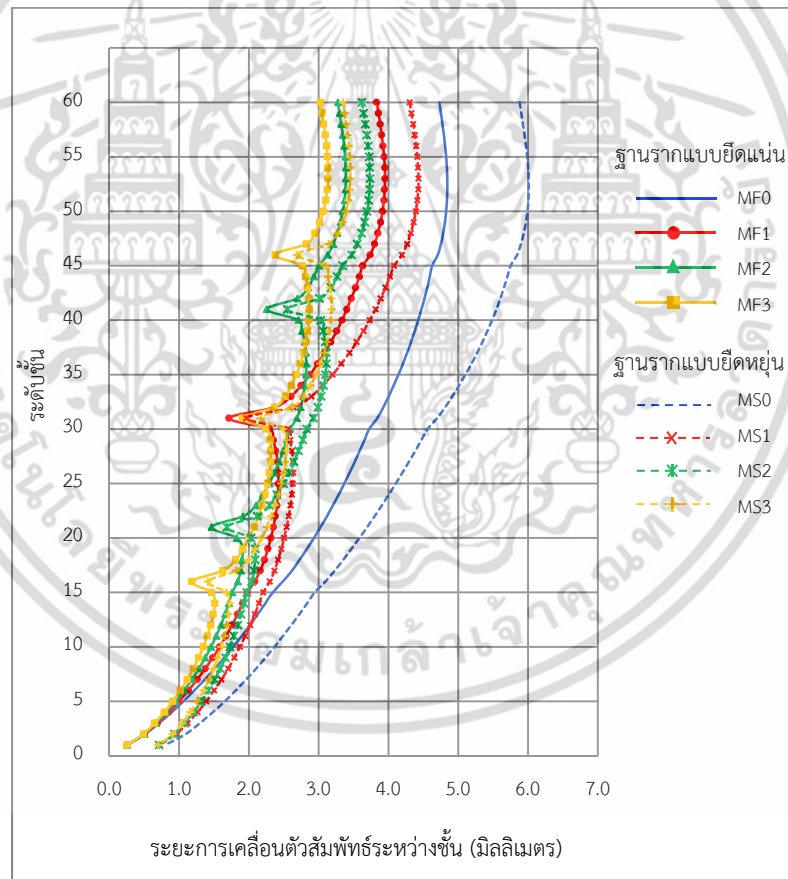


รูปที่ 4.15 ระยะการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นเนื่องจากแรงแผ่นดินไหวในทิศทาง X

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับระยะการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น (Inter-Story Drift) เนื่องจากแรงแผ่นดินไหวตามมาตรฐานของกรมโยธาธิการและผังเมือง มยพ.1302-52 ในทิศทางแกน X และแกน Y แสดงไว้ในรูปที่ 4.15 และ รูปที่ 4.16 ตามลำดับ จากผลการวิเคราะห์พบว่าโครงสร้างที่มีเอาริกเกอร์และผนังรับดัดเกิดระยะการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นน้อยกว่าโครงสร้างที่ไม่มีเอาริกเกอร์และผนังรับดัด

เมื่อเปรียบเทียบระยะการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นของโครงสร้างระบบเอาริกเกอร์และผนังรับดัดบนฐานรากแบบยึดแน่นกับฐานรากแบบยึดหยุ่นที่มีจำนวนเอาริกเกอร์และผนังรับดัดเท่ากันพบว่าโครงสร้างที่มีระบบเอาริกเกอร์และผนังรับดัดบนฐานรากแบบยึดหยุ่นเกิดระยะการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นของโครงสร้างอาคารมากกว่าโครงสร้างที่มีระบบเอาริกเกอร์และผนังรับดัดบนฐานรากแบบยึดแน่น คิดเป็น 1.12 เท่า เมื่อมีเอาริกเกอร์และผนังรับดัดหนึ่งระดับ 1.10 เท่า เมื่อมีเอาริกเกอร์และผนังรับดัดสองระดับและสามระดับ



รูปที่ 4.16 ระยะการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นเนื่องจากแรงแผ่นดินไหวในทิศทาง Y

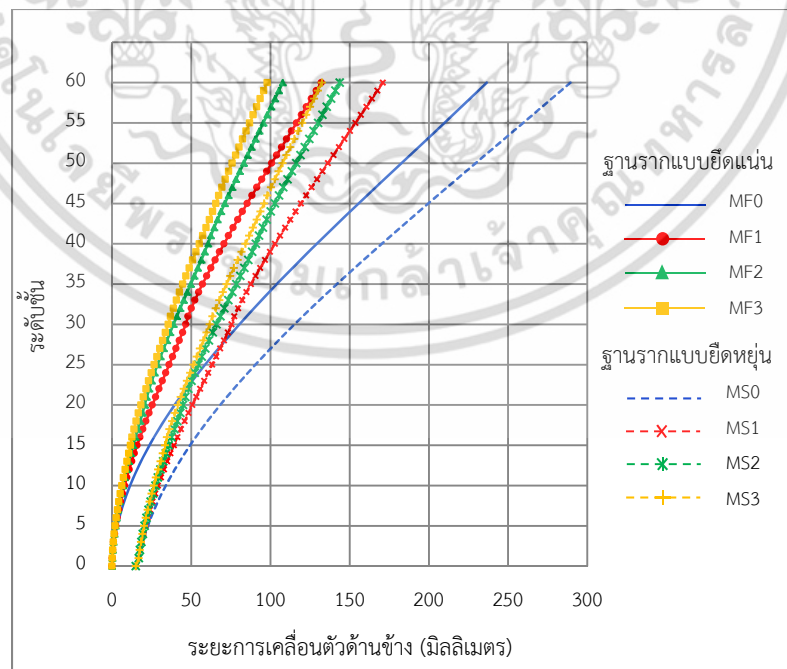
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 ระยะเวลาเคลื่อนตัวด้านข้าง (Lateral Displacement)

#### 4.3.1 ระยะเวลาเคลื่อนตัวด้านข้างเนื่องจากแรงลม

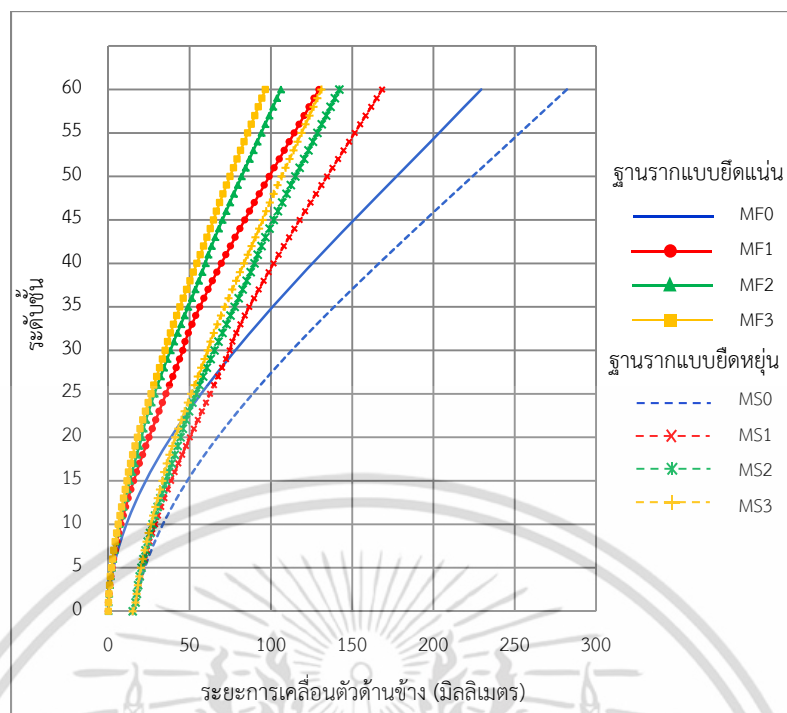
สำหรับระยะเวลาเคลื่อนตัวด้านข้าง (Lateral Displacement) เนื่องจากแรงลมตามมาตรฐานของกรมโยธาธิการและผังเมือง มยพ.1311-50 ในทิศทางแกน X และแกน Y แสดงไว้ในรูปที่ 4.17 และ รูปที่ 4.18 ตามลำดับ โดยแรงลมในทิศทางแกน X ทำให้โครงสร้างที่ชั้นบนสุดของอาคารเกิดระยะเวลาเคลื่อนตัวด้านข้างสูงสุด และเมื่อพิจารณาโครงสร้างอาคารบนฐานรากแบบยึดแน่นมีระยะเวลาเคลื่อนตัวด้านข้าง 237 มิลลิเมตร เมื่อไม่มีเอาริกเกอร์และผนังรับ 132 มิลลิเมตร เมื่อมีเอาริกเกอร์และผนังรับหนึ่งระดับ 108 มิลลิเมตร เมื่อมีเอาริกเกอร์และผนังรับสองระดับ และ 98 มิลลิเมตร เมื่อมีเอาริกเกอร์และผนังรับสามระดับ ส่วนโครงสร้างบนฐานรากแบบยึดหยุ่นโดยใช้ค่าสติฟเนสของสปริงแทนเสาเข็มมีระยะเวลาเคลื่อนตัวด้านข้าง 289 มิลลิเมตร เมื่อไม่มีเอาริกเกอร์และผนังรับ 171 มิลลิเมตร เมื่อมีเอาริกเกอร์และผนังรับหนึ่งระดับ 144 มิลลิเมตร เมื่อมีเอาริกเกอร์และผนังรับสองระดับ และ 132 มิลลิเมตร เมื่อมีเอาริกเกอร์และผนังรับสามระดับ ซึ่งจากผลการวิเคราะห์พบว่าโครงสร้างที่มีเอาริกเกอร์และผนังรับสามารถลดระยะเวลาเคลื่อนตัวด้านข้างลงได้เมื่อเทียบกับโครงสร้างที่ไม่มีเอาริกเกอร์และผนังรับ

ระยะเวลาเคลื่อนตัวด้านข้างจะลดลงเมื่อมีจำนวนเอาริกเกอร์และผนังรับเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลจากสติฟเนส (K) ที่เพิ่มขึ้นระหว่างผนังรับแรงเฉือนที่อยู่บริเวณกลางอาคาร (Core Wall) กับเสารอบนอกอาคาร (Exterior Column)



รูปที่ 4.17 ระยะเวลาเคลื่อนตัวด้านข้างเนื่องจากแรงลมในทิศทาง X

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 ระยะการเคลื่อนตัวด้านข้างเนื่องจากแรงลมในทิศทาง Y

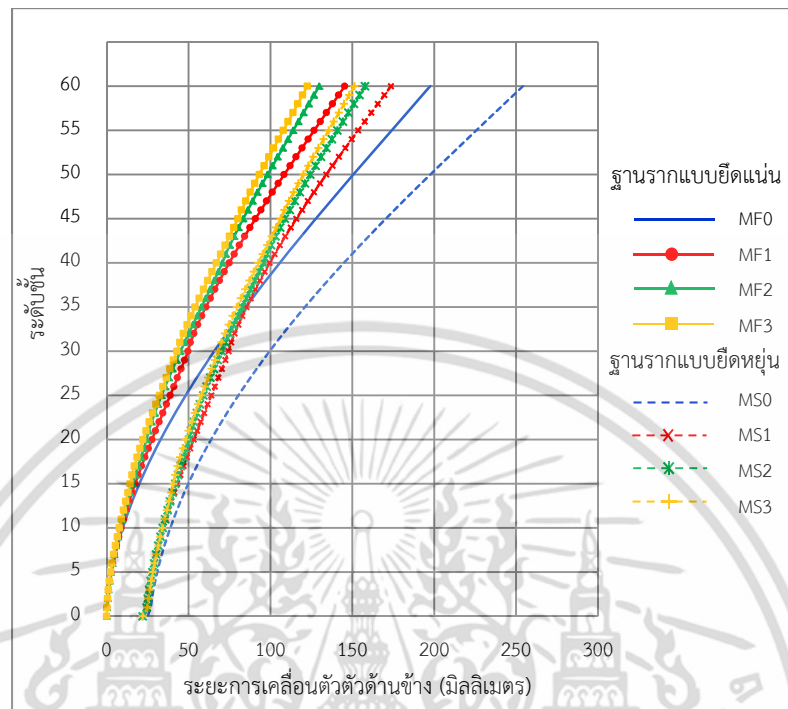
เมื่อเปรียบเทียบระยะการเคลื่อนตัวด้านข้างของโครงสร้างระบบเอาริกเกอร์และผนังรับน้ำหนักฐานรากแบบยึดแน่นกับฐานรากแบบยึดหยุ่นที่มีจำนวนเอาริกเกอร์และผนังรับน้ำหนักเท่ากัน พบว่าโครงสร้างที่มีระบบเอาริกเกอร์และผนังรับน้ำหนักฐานรากแบบยึดหยุ่นเกิดระยะการเคลื่อนตัวด้านข้างของโครงสร้างอาคารมากกว่าโครงสร้างที่มีระบบเอาริกเกอร์และผนังรับน้ำหนักฐานรากแบบยึดแน่น คิดเป็น 1.30 เท่า เมื่อมีเอาริกเกอร์และผนังรับน้ำหนักหนึ่งระดับ 1.33 เท่า เมื่อมีเอาริกเกอร์และผนังรับน้ำหนักสองระดับ และ 1.35 เท่า เมื่อมีเอาริกเกอร์และผนังรับน้ำหนักสามระดับ

#### 4.3.2 ระยะการเคลื่อนตัวด้านข้างเนื่องจากแรงแผ่นดินไหว

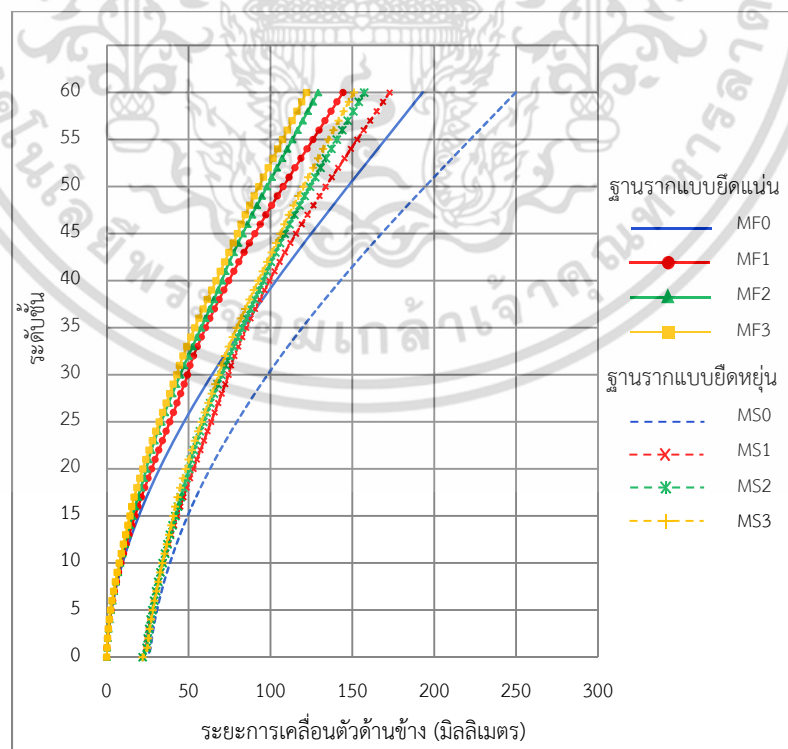
ระยะการเคลื่อนตัวด้านข้าง (Lateral Displacement) เนื่องจากแรงแผ่นดินไหวตามมาตรฐานของกรมโยธาธิการและผังเมือง มยพ.1302-52 ในทิศทางแกน X และแกน Y แสดงไว้ในรูปที่ 4.19 และ รูปที่ 4.20 ตามลำดับ โดยแรงแผ่นดินไหวในทิศทางแกน X ทำให้โครงสร้างที่ชั้นบนสุดของอาคารเกิดระยะการเคลื่อนตัวด้านข้างสูงสุด และเมื่อพิจารณาโครงสร้างอาคารบนฐานรากแบบยึดแน่นมีระยะการเคลื่อนตัวด้านข้าง 197 มิลลิเมตร เมื่อไม่มีเอาริกเกอร์และผนังรับน้ำหนัก 145 มิลลิเมตร เมื่อมีเอาริกเกอร์และผนังรับน้ำหนักหนึ่งระดับ 130 มิลลิเมตร เมื่อมีเอาริกเกอร์และผนังรับน้ำหนักสองระดับ และ 123 มิลลิเมตร เมื่อมีเอาริกเกอร์และผนังรับน้ำหนักสามระดับ ส่วนโครงสร้างบนฐานรากแบบยึดหยุ่นโดยใช้ค่าสถิติเฟนสของสปริงแทนเสาเข็มมีระยะการเคลื่อนตัวด้านข้าง 254 มิลลิเมตร เมื่อไม่มีเอาริกเกอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และผนังรัด 174 มิลลิเมตร เมื่อมีเอาริกเกอร์และผนังรัดหนึ่งระดับ 158 มิลลิเมตร เมื่อมีเอาริกเกอร์ และผนังรัดสองระดับ และ 151 มิลลิเมตร เมื่อมีเอาริกเกอร์และผนังรัดสามระดับ



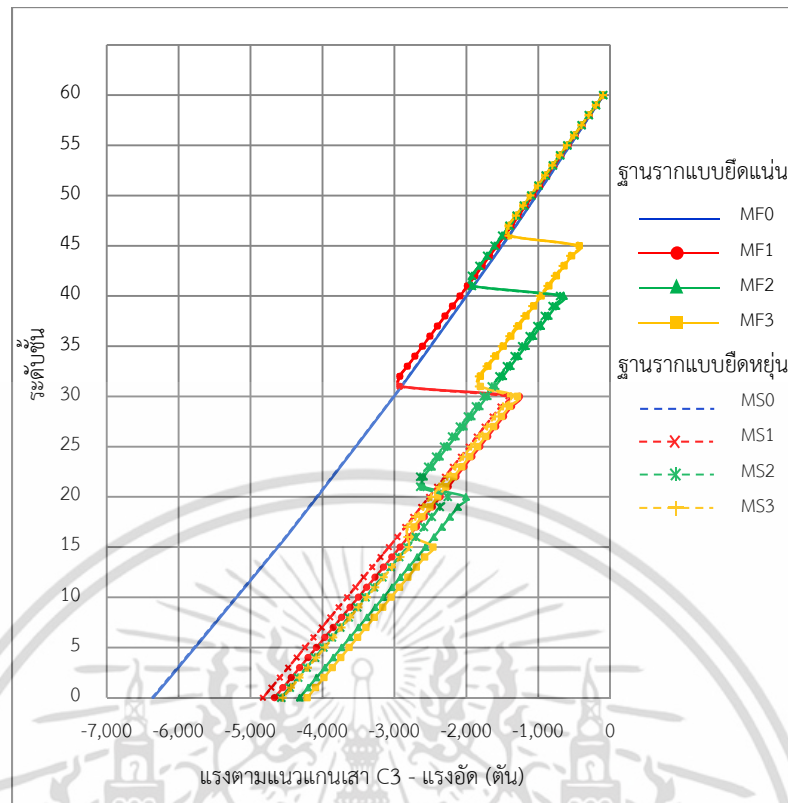
รูปที่ 4.19 ระยะการเคลื่อนตัวด้านข้างเนื่องจากแรงแผ่นดินไหวในทิศทาง X



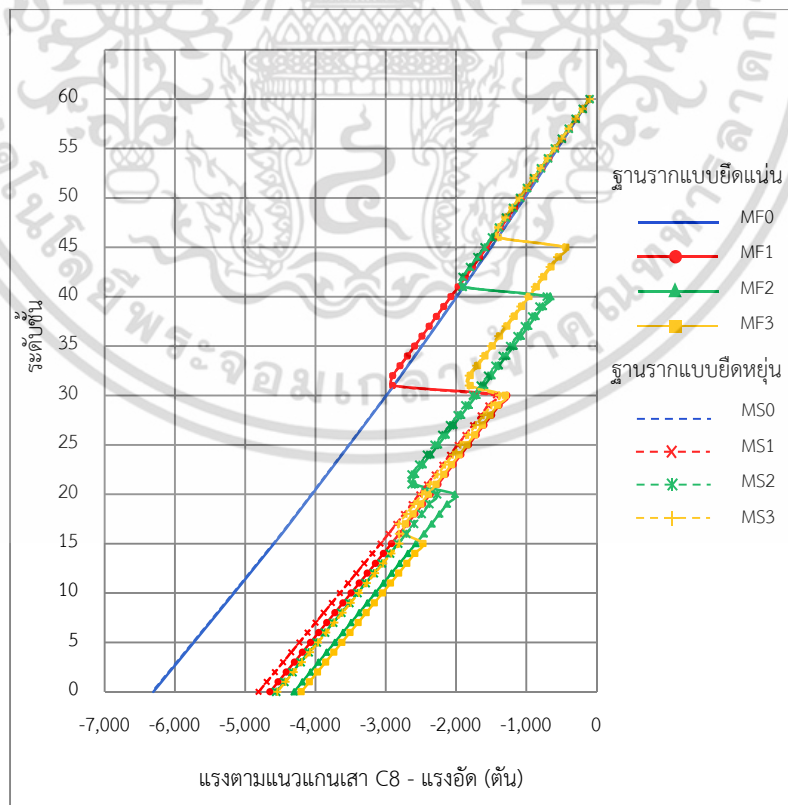
รูปที่ 4.20 ระยะการเคลื่อนตัวด้านข้างเนื่องจากแรงแผ่นดินไหวในทิศทาง Y

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



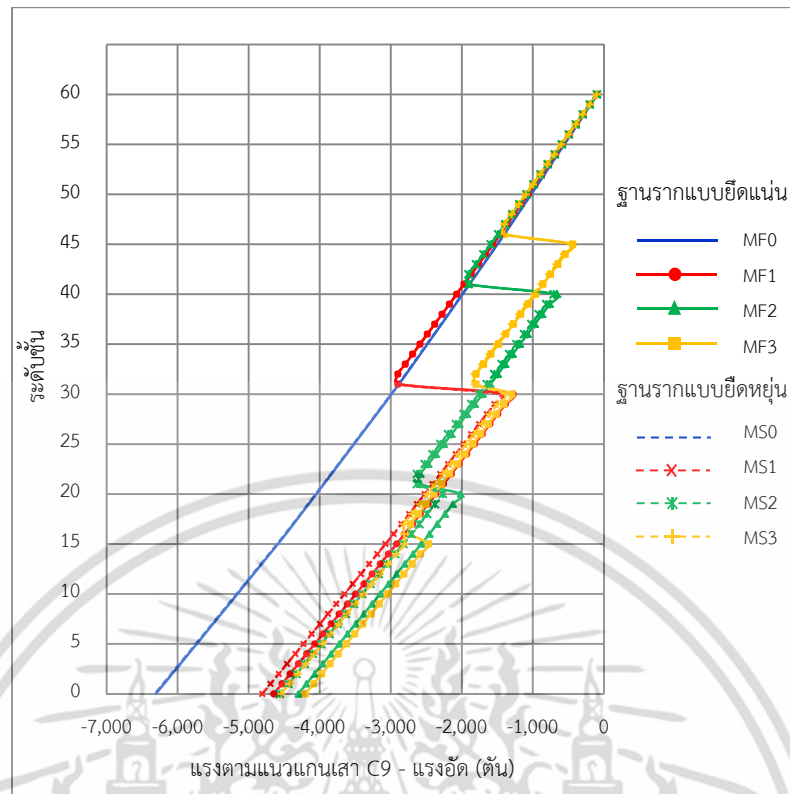


รูปที่ 4.22 แรงตามแนวแกนเสา C3 เนื่องจากแรงโน้มถ่วง

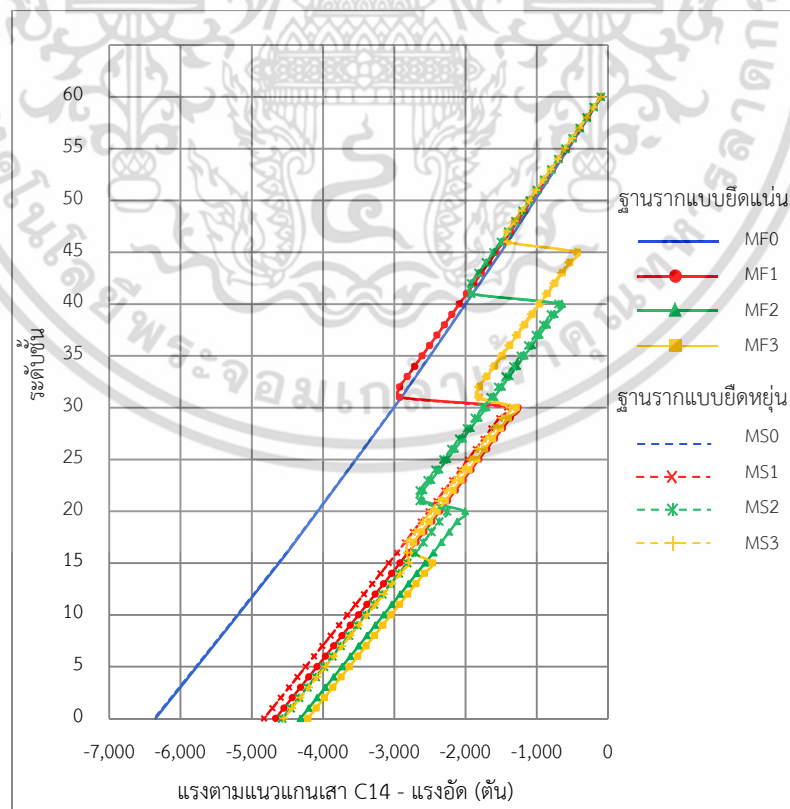


รูปที่ 4.23 แรงตามแนวแกนเสา C8 เนื่องจากแรงโน้มถ่วง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



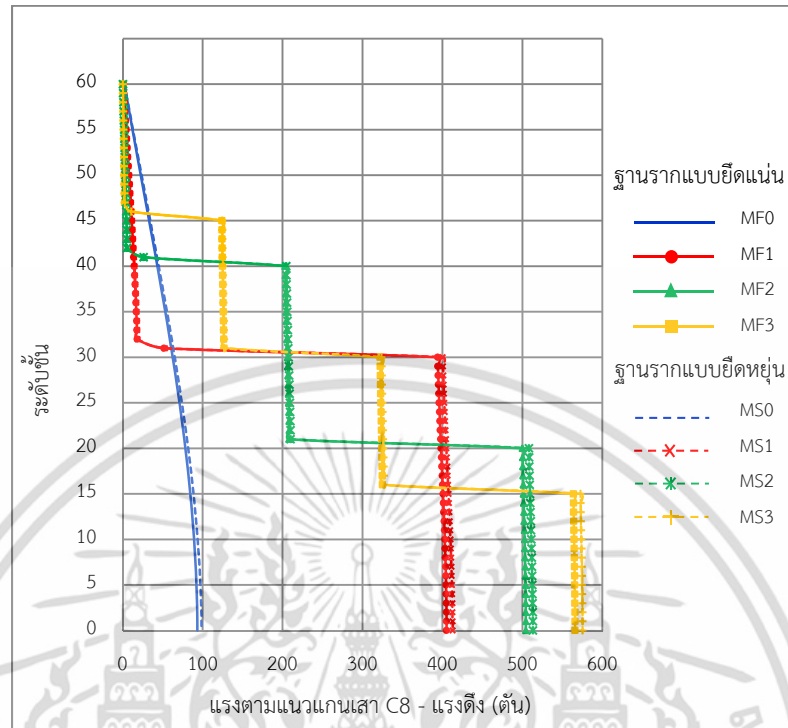
รูปที่ 4.24 แรงตามแนวแกนเสาค9 เนื่องจากแรงโน้มถ่วง



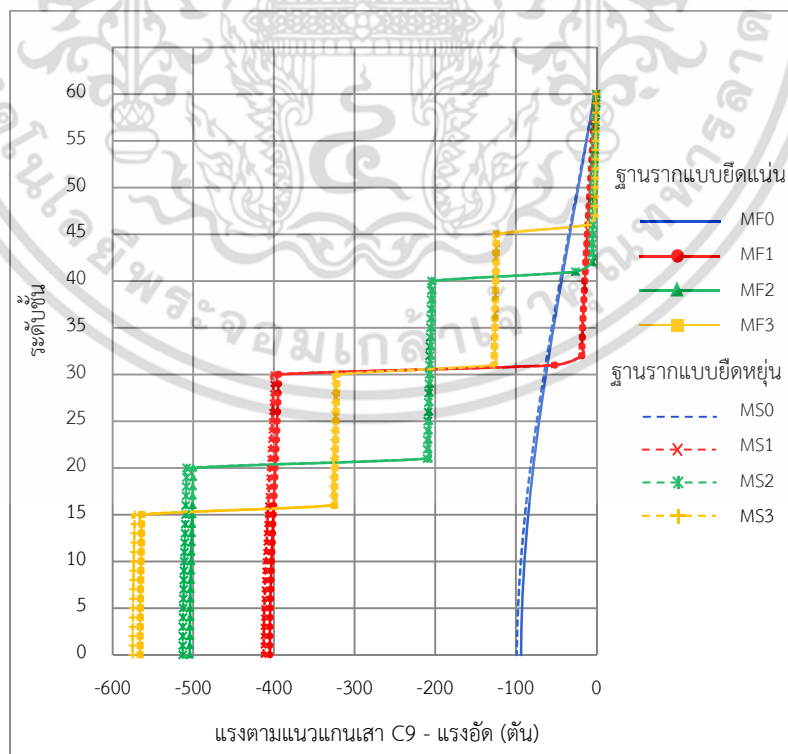
รูปที่ 4.25 แรงตามแนวแกนเสาค14 เนื่องจากแรงโน้มถ่วง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4.2 แรงตามแนวแกนเสาเนื่องจากแรงลม

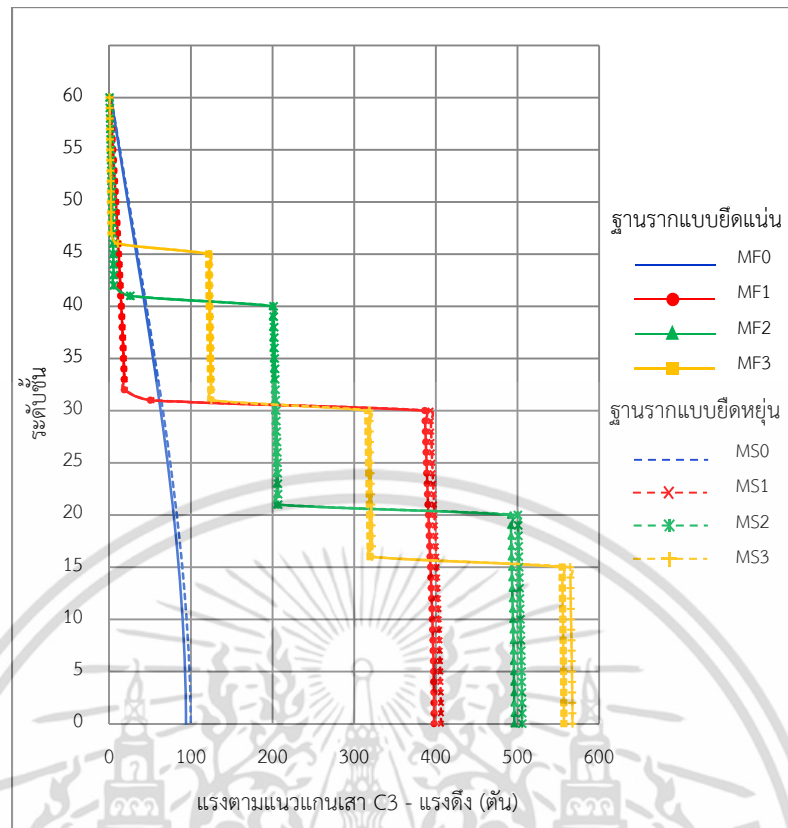


รูปที่ 4.26 แรงตามแนวแกนเสา C8 เนื่องจากแรงลมในทิศทาง X

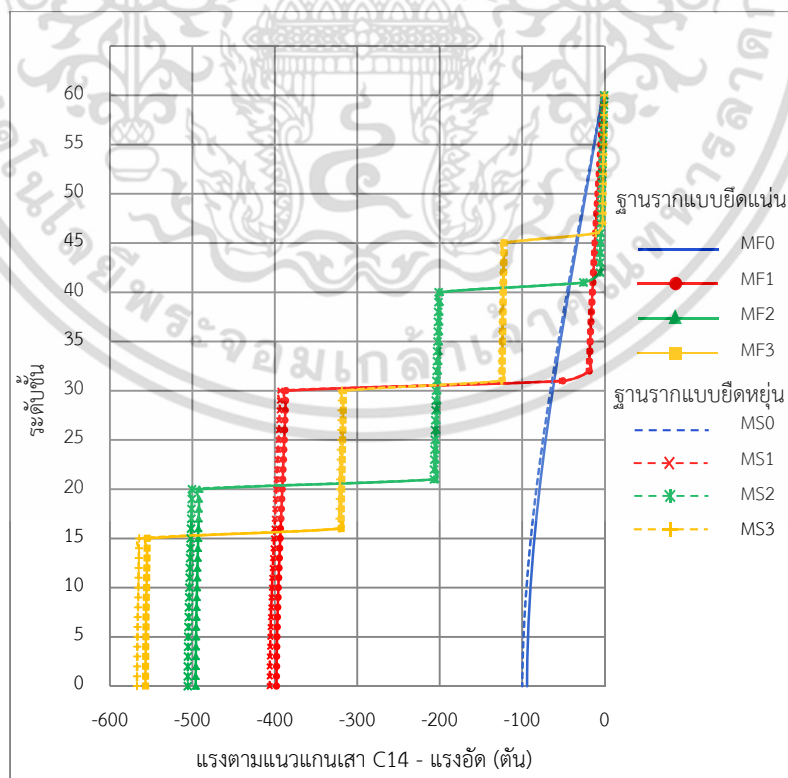


รูปที่ 4.27 แรงตามแนวแกนเสา C9 เนื่องจากแรงลมในทิศทาง X

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.28 แรงตามแนวแกนเสา C3 เนื่องจากแรงลมในทิศทาง Y



รูปที่ 4.29 แรงตามแนวแกนเสา C14 เนื่องจากแรงลมในทิศทาง Y

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

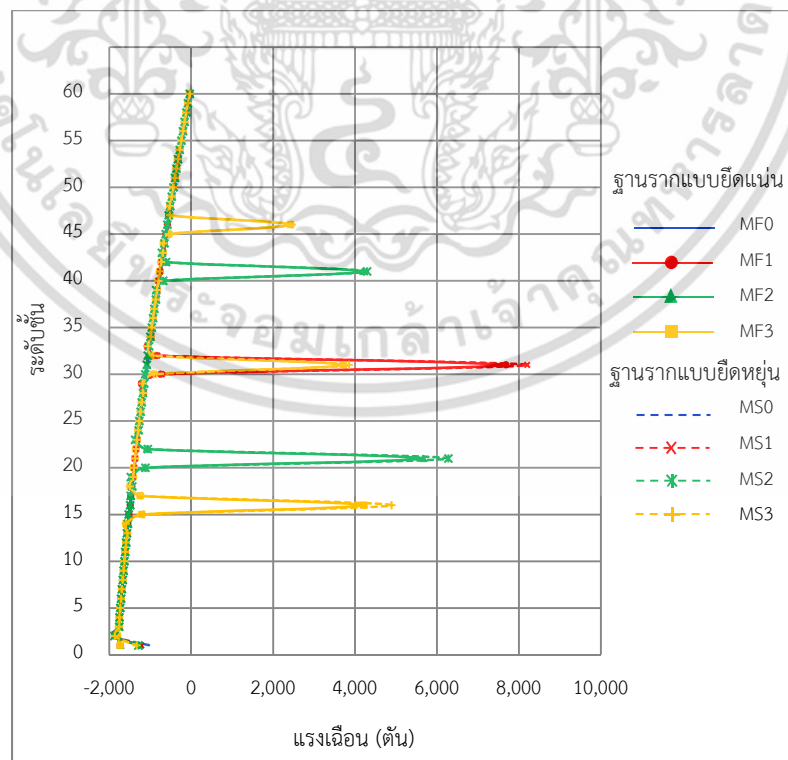
จากรูปที่ 4.26 และรูปที่ 4.27 แสดงแรงตามแนวแกนเสาหมายเลข C8 กับ C9 เนื่องจากแรงลมในทิศทางแกน X ส่วนรูปที่ 4.28 และรูปที่ 4.29 แสดงแรงตามแนวแกนเสาหมายเลข C3 กับ C14 เนื่องจากแรงลมในทิศทางแกน Y จากผลการวิเคราะห์พบว่าโครงสร้างที่มีเอาริกเกอร์และผนังรัดทำให้เสาหมายเลข C8 ซึ่งอยู่ด้านต้นลมในทิศทางแกน X เกิดแรงดึงเพิ่มขึ้นและจะมีค่ามากที่สุดเมื่อมีเอาริกเกอร์และผนังรัดสามระดับ ส่วนเสาหมายเลข C9 ซึ่งอยู่ด้านท้ายลมในทิศทางแกน X เกิดแรงอัดเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับโครงสร้างที่ไม่มีเอาริกเกอร์และผนังรัด สำหรับแรงลมในทิศทางแกน Y ก็เกิดแรงดึงเพิ่มขึ้นในเสาหมายเลข C3 ซึ่งอยู่ด้านต้นลม และเกิดแรงอัดเพิ่มขึ้นในเสาหมายเลข C14 ที่อยู่ด้านท้ายลมเช่นเดียวกัน

ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบแรงตามแนวแกนเสา ทั้งแรงดึงของเสาต้นลมและแรงอัดของเสาต้นลมของโครงสร้างระบบเอาริกเกอร์และผนังรัดบนฐานรากแบบยึดหยุ่นจะมีค่ามากกว่าเมื่อเทียบกับโครงสร้างระบบเอาริกเกอร์และผนังรัดบนฐานรากแบบยึดแน่น

#### 4.5 แรงเฉือนในผนังรับแรงเฉือน (Shear force of Core wall)

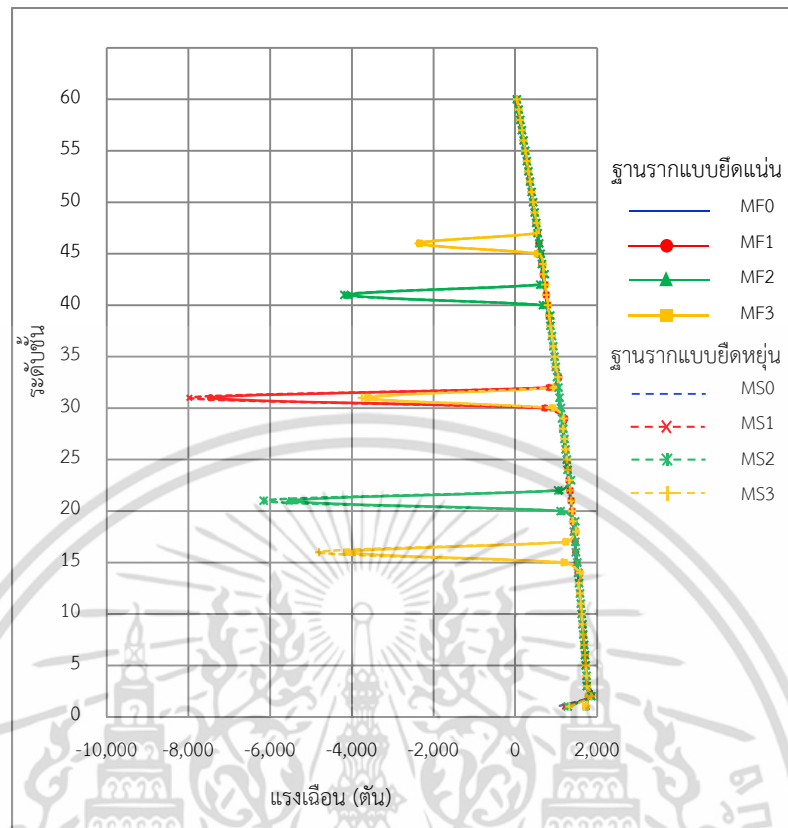
##### 4.5.1 แรงเฉือนในผนังรับแรงเฉือนเนื่องจากแรงลม

แรงเฉือนที่เกิดขึ้นในผนังรับแรงเฉือนบริเวณกลางอาคาร แสดงไว้ในรูปที่ 4.30 เนื่องจากแรงลมในทิศทาง X และรูปที่ 4.31 เนื่องจากแรงลมในทิศทาง Y



รูปที่ 4.30 แรงเฉือนในผนังรับแรงเฉือนเนื่องจากแรงลมในทิศทาง X

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



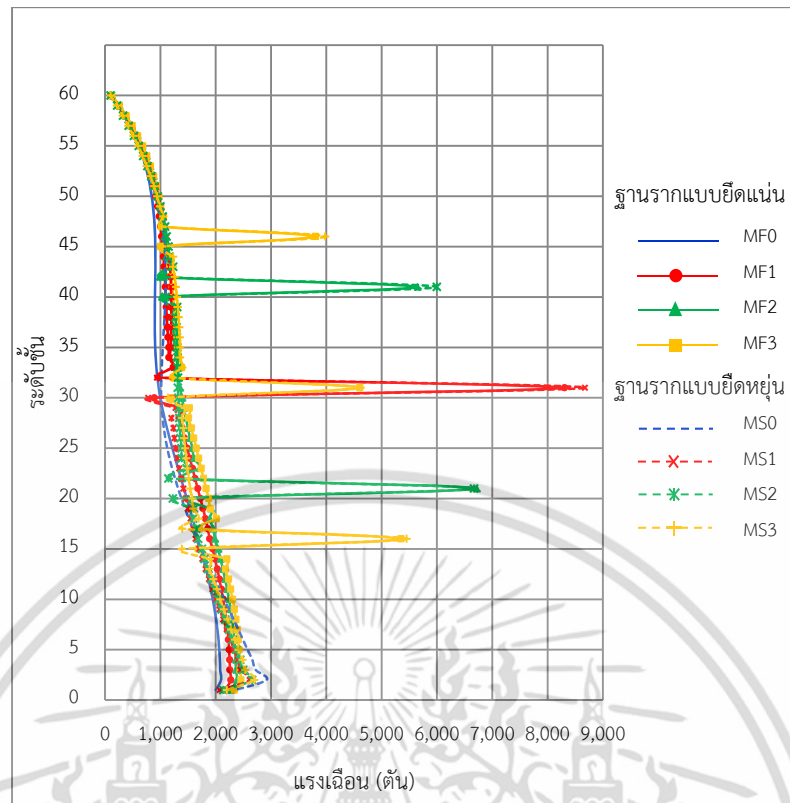
รูปที่ 4.31 แรงเดือนในผนังรับแรงเฉือนเนื่องจากแรงลมในทิศทาง Y

จากผลการวิเคราะห์แรงเฉือนที่เกิดขึ้นในผนังรับแรงเฉือนเนื่องจากแรงลมในทิศทาง X และ Y ซึ่งพบว่าแรงเฉือนจะมีค่าเพิ่มขึ้นและมีค่ามากที่สุดเมื่อโครงสร้างมีเอาริกเกอร์และผนังรัตหนึ่งระดับและมีทิศทางตรงกันข้ามกับชั้นที่ไม่มีเอาริกเกอร์และผนังรัต สำหรับแรงเฉือนที่ฐานอาคารพบว่าโครงสร้างระบบเอาริกเกอร์และผนังรัตบนฐานรากแบบยึดหยุ่นจะมีค่าน้อยกว่าโครงสร้างระบบเอาริกเกอร์และผนังรัตบนฐานรากแบบยึดแน่น

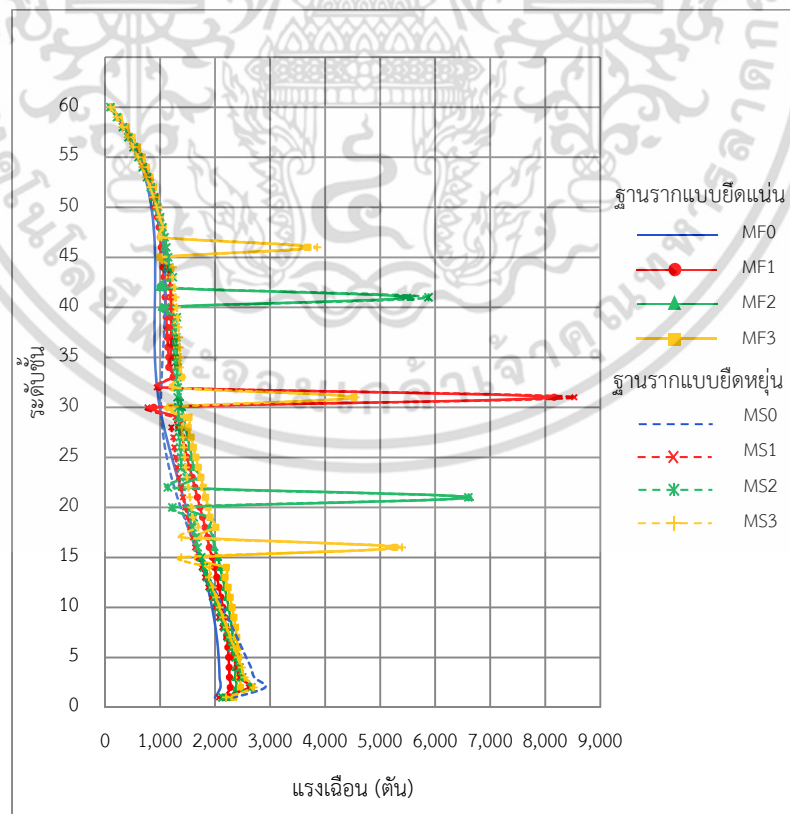
#### 4.5.2 แรงเฉือนในผนังรับแรงเฉือนเนื่องจากแรงแผ่นดินไหว

สำหรับแรงเฉือนที่เกิดขึ้นในผนังรับแรงเฉือนบริเวณกลางอาคารเนื่องจากแรงแผ่นดินไหวในทิศทาง X และทิศทาง Y แสดงไว้ในรูปที่ 4.32 และรูปที่ 4.33 ตามลำดับ จากผลการวิเคราะห์พบว่าโครงสร้างที่ไม่มีเอาริกเกอร์และผนังรัตบนฐานรากแบบยึดหยุ่นจะมีค่าแรงเฉือนมากกว่าโครงสร้างบนฐานรากแบบยึดแน่น แต่เมื่อโครงสร้างมีเอาริกเกอร์และผนังรัตส่งผลให้แรงเฉือนที่ฐานของโครงสร้างระบบเอาริกเกอร์และผนังรัตบนฐานรากแบบยึดหยุ่นมีค่าน้อยกว่าโครงสร้างบนฐานรากแบบยึดแน่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.32 แรงเฉือนในผนังรับแรงเฉือนเนื่องจากแรงแผ่นดินไหวในทิศทาง X



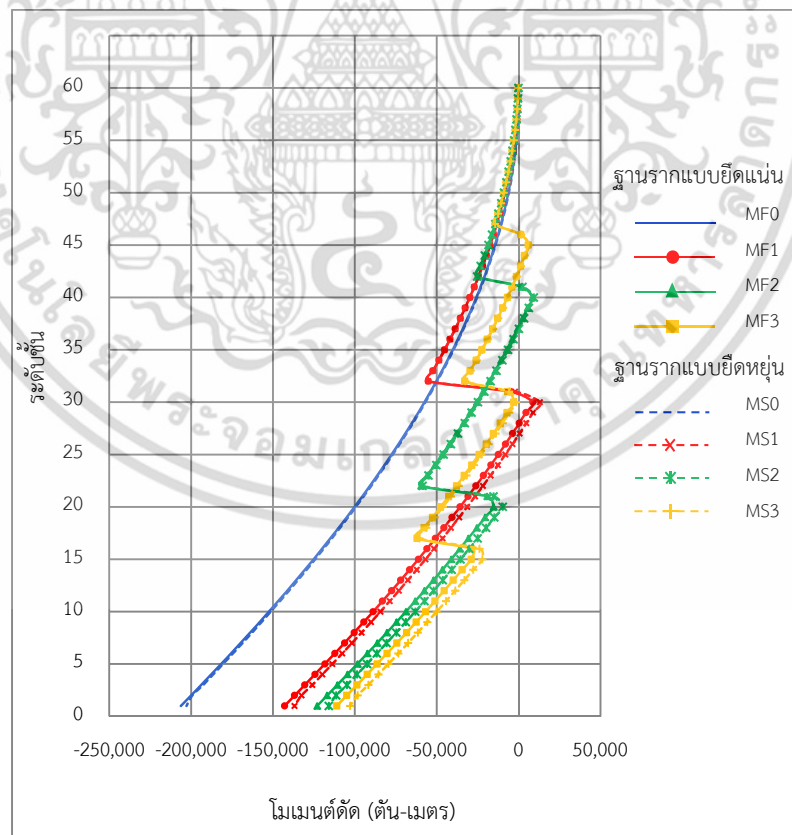
รูปที่ 4.33 แรงเฉือนในผนังรับแรงเฉือนเนื่องจากแรงแผ่นดินไหวในทิศทาง Y

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.6 โมเมนต์ดัดในผนังรับแรงเฉือน (Bending moment of Core wall)

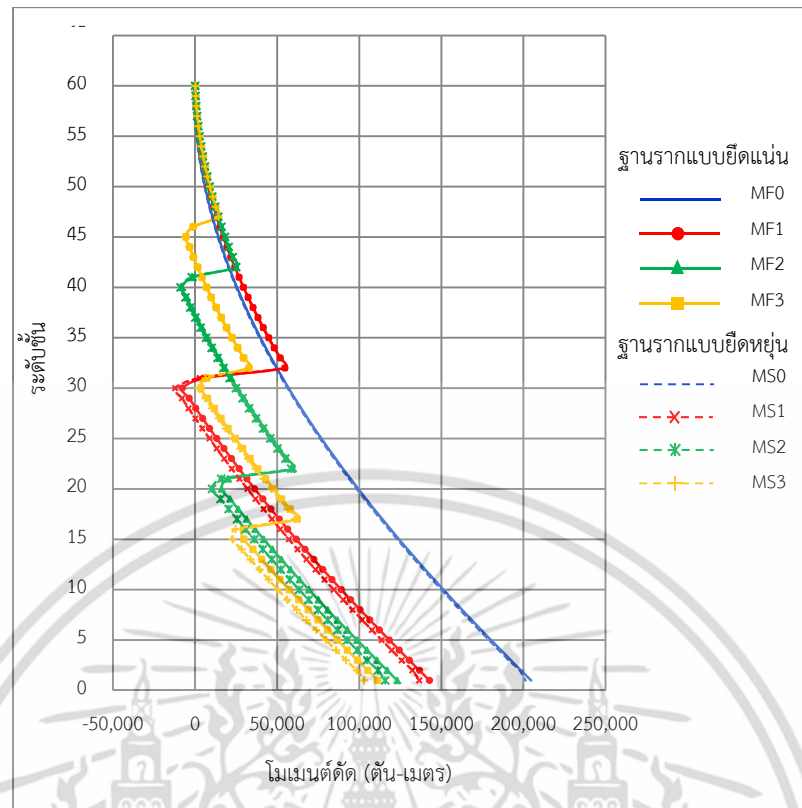
### 4.6.1 โมเมนต์ดัดในผนังรับแรงเฉือนเนื่องจากแรงลม

โมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นในผนังรับแรงเฉือนเนื่องจากแรงลมในทิศทาง X และทิศทาง Y แสดงไว้ในรูปที่ 4.34 และรูปที่ 4.35 ตามลำดับ โดยแรงลมในทิศทางแกน X ทำให้เกิดโมเมนต์ดัดที่ฐานในผนังรับแรงเฉือนสูงสุด และเมื่อพิจารณาโครงสร้างอาคารบนฐานรากแบบยึดแน่นพบว่าเกิดโมเมนต์ดัดที่ฐานในผนังรับแรงเฉือน 206,243 ตัน-เมตร เมื่อไม่มีเอาริกเกอร์และผนังรัด 142,928 ตัน-เมตร เมื่อมีเอาริกเกอร์และผนังรัดหนึ่งระดับ 123,048 ตัน-เมตร เมื่อมีเอาริกเกอร์และผนังรัดสองระดับ และ 111,049 ตัน-เมตร เมื่อมีเอาริกเกอร์และผนังรัดสามระดับ ส่วนโครงสร้างอาคารบนฐานรากแบบยึดหยุ่นโดยใช้คาสติฟเนซของสปริงแทนเสาเข็มเกิดโมเมนต์ดัดที่ฐานของผนังรับแรงเฉือน 202,801 ตัน-เมตร เมื่อไม่มีเอาริกเกอร์และผนังรัด 136,806 ตัน-เมตร เมื่อมีเอาริกเกอร์และผนังรัดหนึ่งระดับ 115,895 ตัน-เมตร เมื่อมีเอาริกเกอร์และผนังรัดสองระดับ และ 102,968 ตัน-เมตร เมื่อมีเอาริกเกอร์และผนังรัดสามระดับ จากข้อมูลข้างต้นจะพบว่าโครงสร้างที่มีเอาริกเกอร์และผนังรัดสามารถลดโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นที่ฐานในผนังรับแรงเฉือนลงได้เมื่อเทียบกับโครงสร้างที่ไม่มีเอาริกเกอร์และผนังรัด



รูปที่ 4.34 โมเมนต์ดัดในผนังรับแรงเฉือนเนื่องจากแรงลมในทิศทาง X

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



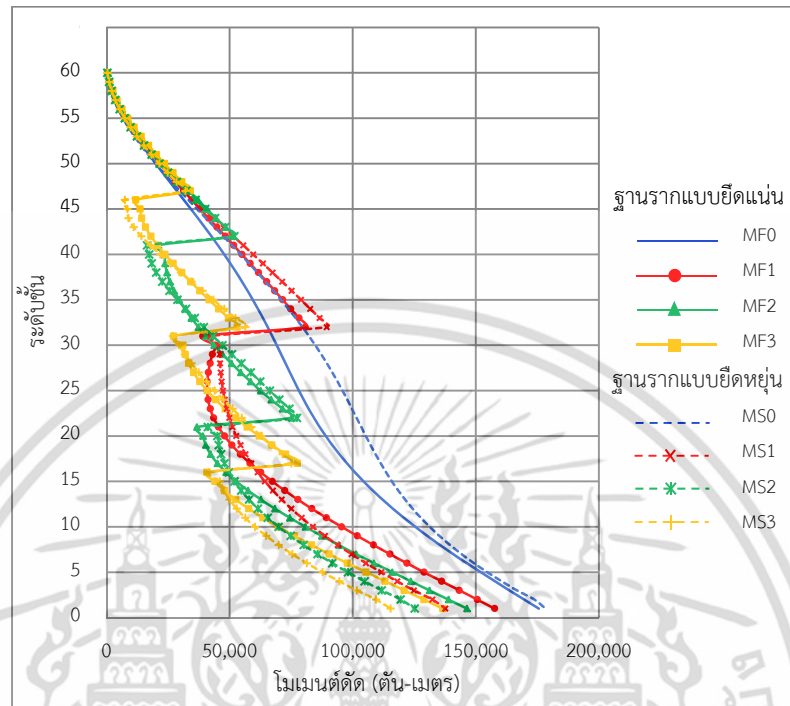
รูปที่ 4.35 โมเมนต์ดัดในผนังรับแรงเฉือนเนื่องจากแรงลมในทิศทาง Y

เมื่อเปรียบเทียบโมเมนต์ดัดที่ฐานในผนังรับแรงเฉือนของโครงสร้างระบบเอาริกเกอร์และผนังรับน้ำหนักฐานรากแบบยึดแน่นกับฐานรากแบบยึดหยุ่นที่มีจำนวนเอาริกเกอร์และผนังรับน้ำหนักเท่ากันพบว่าโครงสร้างระบบเอาริกเกอร์และผนังรับน้ำหนักฐานรากแบบยึดหยุ่นเกิดโมเมนต์ดัดในผนังรับแรงเฉือนน้อยกว่าโครงสร้างระบบเอาริกเกอร์และผนังรับน้ำหนักฐานรากแบบยึดแน่น คิดเป็น 0.96 เท่า เมื่อมีเอาริกเกอร์และผนังรับน้ำหนักหนึ่งระดับ 0.94 เท่า เมื่อมีเอาริกเกอร์และผนังรับน้ำหนักสองระดับ และ 0.93 เท่า เมื่อมีเอาริกเกอร์และผนังรับน้ำหนักสามระดับ

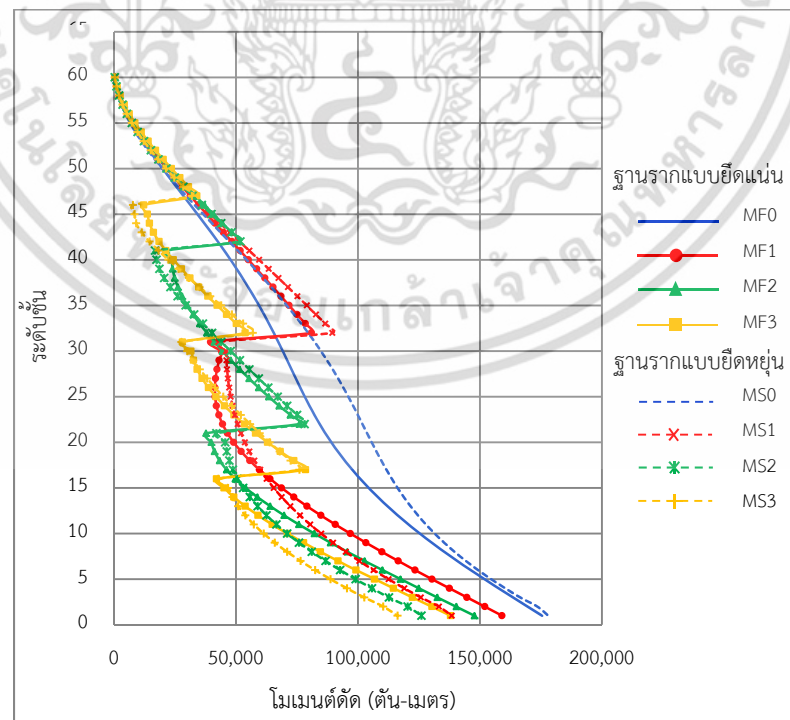
#### 4.6.2 โมเมนต์ดัดในผนังรับแรงเฉือนเนื่องจากแรงแผ่นดินไหว

โมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นในผนังรับแรงเฉือนเนื่องจากแรงแผ่นดินไหวในทิศทาง X และทิศทาง Y แสดงไว้ในรูปที่ 4.36 และรูปที่ 4.37 ตามลำดับ โดยแรงแผ่นดินไหวในทิศทางแกน X ทำให้เกิดโมเมนต์ดัดที่ฐานในผนังรับแรงเฉือนสูงสุด และเมื่อพิจารณาโครงสร้างอาคารบนฐานรากแบบยึดแน่นพบว่าเกิดโมเมนต์ดัดที่ฐานในผนังรับแรงเฉือน 175,600 ตัน-เมตร เมื่อไม่มีเอาริกเกอร์และผนังรับน้ำหนัก 157,662 ตัน-เมตร เมื่อมีเอาริกเกอร์และผนังรับน้ำหนักหนึ่งระดับ 146,368 ตัน-เมตร เมื่อมีเอาริกเกอร์และผนังรับน้ำหนักสองระดับ และ 136,580 ตัน-เมตร เมื่อมีเอาริกเกอร์และผนังรับน้ำหนักสามระดับ ส่วนโครงสร้างอาคารบนฐานรากแบบยึดหยุ่นเกิดโมเมนต์ดัดที่ฐานของผนังรับแรงเฉือน 178,300 ตัน-เมตร เมื่อไม่มีเอาริกเกอร์และผนังรับน้ำหนัก 137,639 ตัน-เมตร เมื่อมีเอาริกเกอร์และผนังรับน้ำหนักหนึ่งระดับ 125,182 ตัน-เมตร เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมตร เมื่อมีเอาริกเกอร์และผนังรัดสองระดับ และ 115,355 ตัน-เมตร เมื่อมีเอาริกเกอร์และผนังรัด  
สามระดับ



รูปที่ 4.36 โมเมนต์ดัดในผนังรับแรงเฉือนเนื่องจากแรงแผ่นดินไหวในทิศทาง X



รูปที่ 4.37 โมเมนต์ดัดในผนังรับแรงเฉือนเนื่องจากแรงแผ่นดินไหวในทิศทาง Y

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

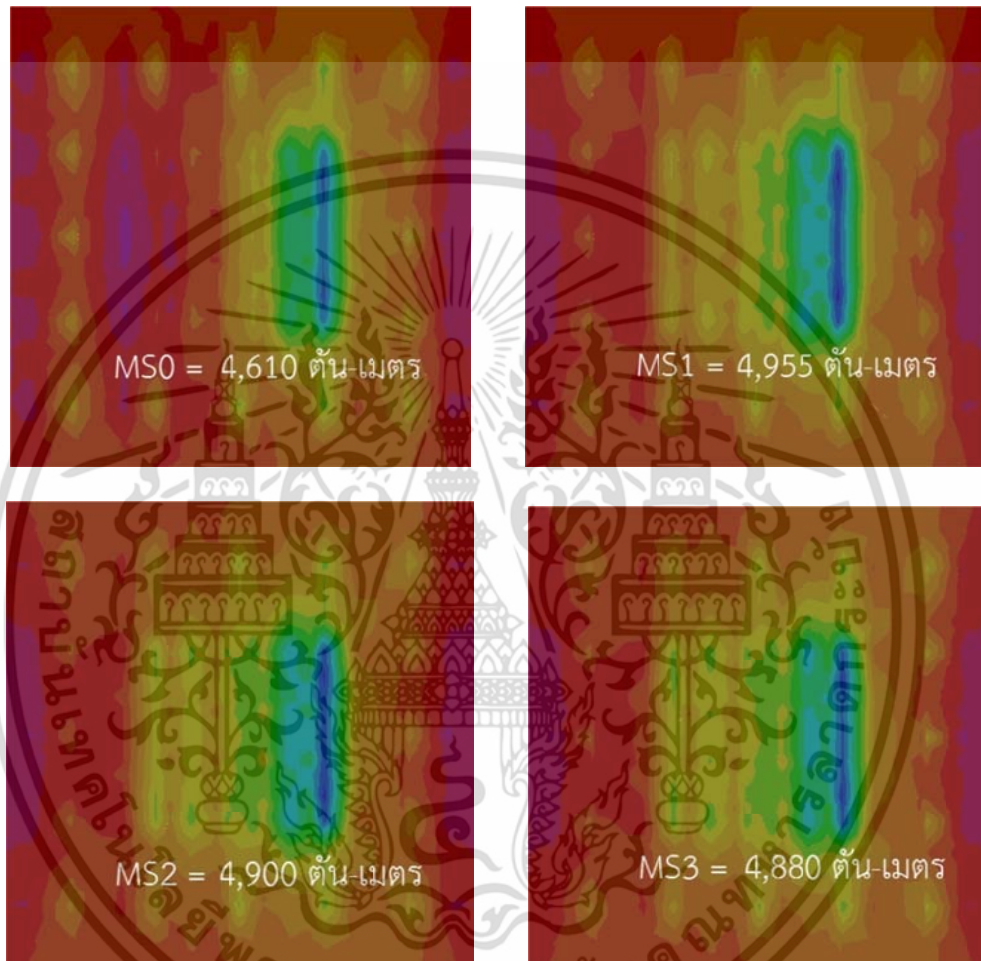
จากข้อมูลข้างต้นพบว่าโครงสร้างที่ไม่มีเอาริกเกอร์และผนังรับฐานรากแบบยึดหยุ่นจะเกิดโมเมนต์ดัดที่ฐานในผนังรับแรงเฉือนมากกว่าโครงสร้างบนฐานรากแบบยึดแน่น ( $M_{MS0} > M_{MF0}$ ) แต่เมื่อโครงสร้างบนฐานรากแบบยึดหยุ่นมีเอาริกเกอร์และผนังรับจะทำให้โมเมนต์ดัดลดลงจนมีค่าน้อยกว่าโครงสร้างบนฐานรากแบบยึดแน่น ( $M_{MS1} < M_{MF1}$ ,  $M_{MS2} < M_{MF2}$  และ  $M_{MS3} < M_{MF3}$ ) คิดเป็น 0.87 เท่าเมื่อมีเอาริกเกอร์และผนังรับหนึ่งระดับ 0.86 เท่าเมื่อมีเอาริกเกอร์และผนังรับสองระดับ และ 0.84 เท่าเมื่อมีเอาริกเกอร์และผนังรับสามระดับ

เมื่อ	$M_{MF0}$	คือ	โมเมนต์ดัดที่ฐานในผนังรับแรงเฉือนของโครงสร้างบนฐานรากแบบยึดแน่นที่ไม่มีเอาริกเกอร์และผนังรับ
	$M_{MF1}$	คือ	โมเมนต์ดัดที่ฐานในผนังรับแรงเฉือนของโครงสร้างบนฐานรากแบบยึดแน่นที่มีเอาริกเกอร์และผนังรับหนึ่งระดับ
	$M_{MF2}$	คือ	โมเมนต์ดัดที่ฐานในผนังรับแรงเฉือนของโครงสร้างบนฐานรากแบบยึดแน่นที่มีเอาริกเกอร์และผนังรับสองระดับ
	$M_{MF3}$	คือ	โมเมนต์ดัดที่ฐานในผนังรับแรงเฉือนของโครงสร้างบนฐานรากแบบยึดแน่นที่มีเอาริกเกอร์และผนังรับสามระดับ
	$M_{MS0}$	คือ	โมเมนต์ดัดที่ฐานในผนังรับแรงเฉือนของโครงสร้างบนฐานรากแบบยึดหยุ่นที่ไม่มีเอาริกเกอร์และผนังรับ
	$M_{MS1}$	คือ	โมเมนต์ดัดที่ฐานในผนังรับแรงเฉือนของโครงสร้างบนฐานรากแบบยึดหยุ่นที่มีเอาริกเกอร์และผนังรับหนึ่งระดับ
	$M_{MS2}$	คือ	โมเมนต์ดัดที่ฐานในผนังรับแรงเฉือนของโครงสร้างบนฐานรากแบบยึดหยุ่นที่มีเอาริกเกอร์และผนังรับสองระดับ
	$M_{MS3}$	คือ	โมเมนต์ดัดที่ฐานในผนังรับแรงเฉือนของโครงสร้างบนฐานรากแบบยึดหยุ่นที่มีเอาริกเกอร์และผนังรับสามระดับ

## 4.7 โมเมนต์ดัดในฐานราก (Bending Moment of Foundation)

### 4.7.1 โมเมนต์ดัดในฐานรากเนื่องจากการรวมแรงโน้มถ่วงกับแรงลม

ผลของโมเมนต์ดัดในฐานรากเนื่องจากการรวมแรงโน้มถ่วงกับแรงลมในทิศทางแกน X  
(1.2DL+1.2SDL+1.0LL+1.6WX)

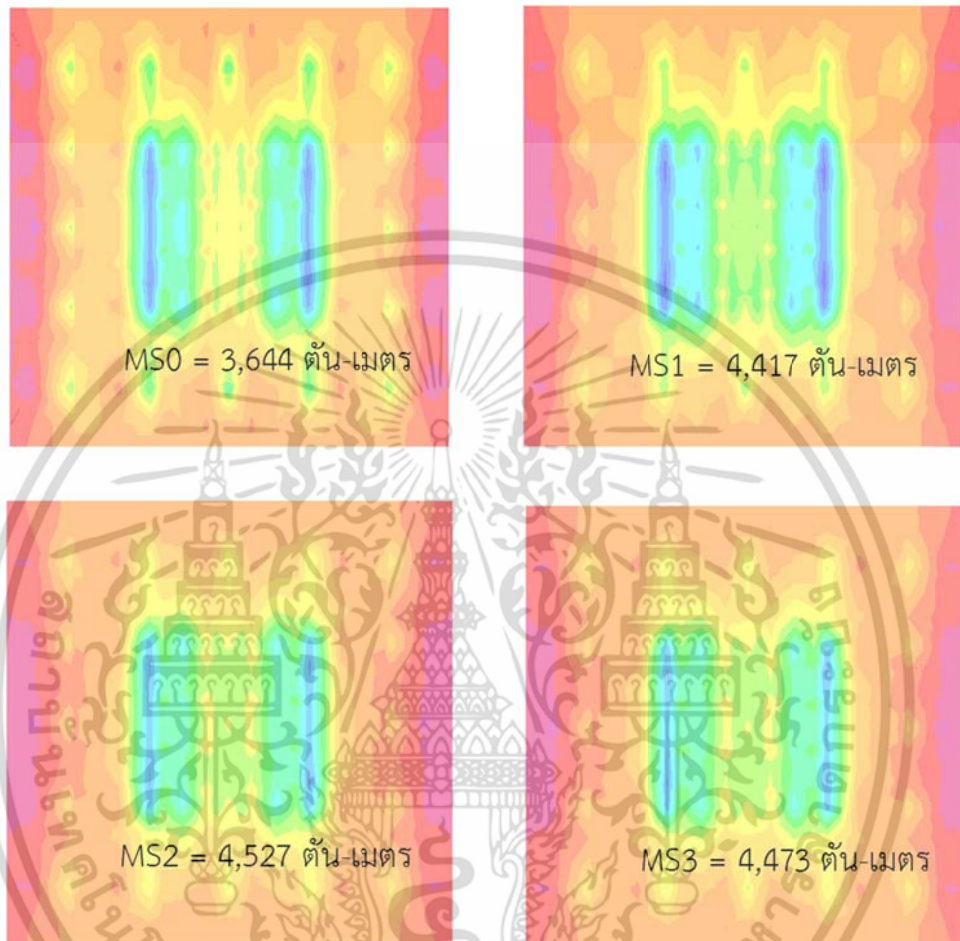


รูปที่ 4.38 โมเมนต์ดัดในฐานรากเนื่องจากการรวมแรงโน้มถ่วงกับแรงลม

จากรูปที่ 4.38 แสดงผลของโมเมนต์ดัดในฐานรากของโครงสร้างระบบเอาริกเกอร์และผนัง  
รัดบนฐานรากแบบยึดหยุ่นเนื่องจากผลการรวมแรงโน้มถ่วงกับแรงลมในทิศทางแกน X  
(1.2DL+1.2SDL+1.2LL+1.6WX) ซึ่งพบว่าโครงสร้างระบบเอาริกเกอร์และผนังรัดก่อให้เกิดโมเมนต์  
ดัดในฐานรากเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับระบบโครงสร้างที่ไม่มีเอาริกเกอร์และผนังรัด และจะมีค่ามากที่สุดที่  
โครงสร้างมีเอาริกเกอร์และผนังรัดหนึ่งระดับ

#### 4.7.2 โมเมนต์ดัดในฐานรากเนื่องจากการรวมแรงโน้มถ่วงกับแรงแผ่นดินไหว

ผลของโมเมนต์ดัดในฐานรากเนื่องจากการรวมแรงโน้มถ่วงกับแรงแผ่นดินไหวในทิศทางแกน X ( $1.2DL+1.2SDL+1.0LL+1.0EQSX$ )



รูปที่ 4.39 โมเมนต์ดัดในฐานรากเนื่องจากการรวมแรงโน้มถ่วงกับแรงแผ่นดินไหว

จากรูปที่ 4.39 แสดงผลของโมเมนต์ดัดในฐานรากของโครงสร้างระบบเอาริกเกอร์และผนังรััดบนฐานรากแบบยึดหยุ่นเนื่องจากผลของการรวมแรงโน้มถ่วงกับแรงแผ่นดินไหวในทิศทางแกน X ( $1.2DL+1.2SDL+1.2LL+1.0EQSX$ ) ซึ่งพบว่าโครงสร้างระบบเอาริกเกอร์และผนังรััดก่อให้เกิดโมเมนต์ดัดในฐานรากเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับระบบโครงสร้างที่ไม่มีเอาริกเกอร์และผนังรััด และจะมีค่ามากที่สุดที่โครงสร้างมีเอาริกเกอร์และผนังรััดสองระดับ

## สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาพฤติกรรมของโครงสร้างระบบเอริกเกอร์และผนังรับน้ำหนักแบบยึดหยุ่นและฐานรากแบบยึดแน่น เมื่อรับแรงกระทำด้านข้างจากแรงลมและแรงแผ่นดินไหว โดยกำหนดให้แบบจำลองเป็นโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กสูง 60 ชั้น ตั้งอยู่ในพื้นที่กรุงเทพมหานคร ซึ่งใช้ข้อมูลชั้นดินและเสาเข็มในการคำนวณหาค่าสถิติเนสของสปริงของดินแทนเสาเข็มในแบบจำลองโครงสร้างบนฐานรากแบบยึดหยุ่น และใช้โปรแกรม ETABS ในการวิเคราะห์ซึ่งสามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

5.1.1 ระบบเอริกเกอร์และผนังรับน้ำหนักสามารถเพิ่มความแข็งแรงให้กับระบบโครงสร้างทำให้คาบการสั่นพื้นฐานสั้นลง เป็นผลมาจากสถิติเนสที่เพิ่มขึ้นระหว่างเสาเข็มกับผนังรับแรงเฉือนที่เชื่อมต่อกันด้วยเอริกเกอร์ สำหรับโครงสร้างระบบเอริกเกอร์และผนังรับน้ำหนักแบบยึดหยุ่นจะเกิดคาบการสั่นพื้นฐานที่ยาวกว่าโครงสร้างระบบเอริกเกอร์และผนังรับน้ำหนักแบบยึดแน่น แต่มีรูปแบบการสั่นไหวไปในทิศทางเดียวกันในแต่ละโหมด ซึ่งคาบการสั่นพื้นฐานที่ยาวขึ้นของโครงสร้างระบบเอริกเกอร์บนฐานรากแบบยึดหยุ่นจะก่อให้เกิดความเสียหายในอัตราที่ต่ำเนื่องจากอัตราเร่งสูงสุดของพื้นดินในกรณีเกิดแผ่นดินไหว แต่จะเกิดความเสียหายจากการเคลื่อนตัวไปจากจุดเดิมสูง

5.1.2 ระยะเวลาการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นและระยะเวลาการเคลื่อนตัวด้านข้างเนื่องจากแรงลมและแรงแผ่นดินไหวของโครงสร้างที่มีเอริกเกอร์และผนังรับน้ำหนักน้อยกว่าโครงสร้างที่ไม่มีเอริกเกอร์และผนังรับน้ำหนัก โดยระยะเวลาการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นจะมีค่าลดลงเป็นอย่างมากในบริเวณชั้นที่มีเอริกเกอร์และผนังรับน้ำหนัก ซึ่งส่งผลให้ระยะเวลาการเคลื่อนตัวด้านข้างบริเวณชั้นบนสุดของอาคารลดลงไปด้วย สำหรับระบบเอริกเกอร์และผนังรับน้ำหนักแบบยึดหยุ่นมีระยะเวลาการเคลื่อนตัวด้านข้างบริเวณชั้นบนสุดของอาคารเนื่องจากแรงลมมากกว่าระบบเอริกเกอร์และผนังรับน้ำหนักแบบยึดแน่น เมื่อเปรียบเทียบกันโดยมีจำนวนเอริกเกอร์และผนังรับน้ำหนักเท่ากัน คิดเป็น 1.30 เท่า, 1.33 เท่า และ 1.35 เท่าเมื่อมีเอริกเกอร์และผนังรับน้ำหนักหนึ่งระดับ สองระดับ และสามระดับ ตามลำดับ ส่วนจากแรงแผ่นดินไหวคิดเป็น 1.20 เท่า, 1.22 เท่า และ 1.23 เท่าเมื่อมีเอริกเกอร์และผนังรับน้ำหนักหนึ่งระดับ สองระดับ และสามระดับ ตามลำดับ

5.1.3 ระบบเอริกเกอร์และผนังรับน้ำหนักแบบยึดหยุ่นเกิดแรงตามแนวแกนเสามากกว่าระบบเอริกเกอร์และผนังรับน้ำหนักแบบยึดแน่นและจะมีค่ามากที่สุดที่มีเอริกเกอร์และผนังรับน้ำหนักสามระดับ โดยจะเกิดเป็นแรงดึงสำหรับเสาด้านต้นลมและเป็นแรงอัดสำหรับเสาด้านท้ายลม

อย่างไรก็ตามเสาที่เกิดขึ้นเป็นแรงดึงเมื่อรวมกับผลของแรงโน้มถ่วงแล้วจะไม่ทำให้แรงภายในแกนเสาดันนั้นเกิดเป็นแรงดึงเนื่องจากผลของแรงโน้มถ่วงมีค่ามากกว่าแรงลม 7.90 เท้า

5.1.4 แรงเฉือนที่เกิดขึ้นในผนังรับแรงเฉือนมีค่าสูงสุดเมื่อโครงสร้างมีเอาริกเกอร์และผนังรัทหนึ่งระดับ สำหรับโครงสร้างระบบเอาริกเกอร์และผนังรัทบนฐานรากแบบยึดหยุ่นจะเกิดแรงเฉือนที่ฐานในผนังรับแรงเฉือนเนื่องจากแรงลมและแรงแผ่นดินไหวน้อยกว่าโครงสร้างระบบเอาริกเกอร์และผนังรัทบนฐานรากแบบยึดแน่น

5.1.5 โมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นที่ฐานผนังรับแรงเฉือนของโครงสร้างระบบเอาริกเกอร์และผนังรัทบนฐานรากแบบยึดหยุ่นมีค่าน้อยกว่าโครงสร้างระบบเอาริกเกอร์และผนังรัทบนฐานรากแบบยึดแน่น เมื่อเปรียบเทียบกันโดยมีจำนวนเอาริกเกอร์และผนังรัทเท่ากัน เกิดโมเมนต์ดัดเนื่องจากแรงลมคิดเป็น 0.96 เท้า, 0.94 เท้า และ 0.93 เท้า เมื่อมีเอาริกเกอร์และผนังรัทหนึ่งระดับ สองระดับ และสามระดับ ตามลำดับ ส่วนจากแรงแผ่นดินไหวคิดเป็น 0.87 เท้า, 0.86 เท้า และ 0.84 เท้าเมื่อมีเอาริกเกอร์และผนังรัทหนึ่งระดับ สองระดับ และสามระดับ ตามลำดับ

5.1.6 โมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นในฐานรากเนื่องจากผลของการรวมแรงโน้มถ่วงกับแรงลมพบว่าโครงสร้างที่มีเอาริกเกอร์และผนังรัทบนฐานรากแบบยึดหยุ่นเกิดโมเมนต์ดัดในฐานรากมากกว่าโครงสร้างที่ไม่มีเอาริกเกอร์และผนังรัท ซึ่งเมื่อนำไปคำนวณหาปริมาณเหล็กเสริมในฐานรากจะทำให้มีปริมาณเพิ่มขึ้น

ดังนั้นจากผลการศึกษาแสดงว่าการวิเคราะห์พฤติกรรมของระบบเอาริกเกอร์และผนังรัทควรพิจารณาการจำลองโครงสร้างบนฐานรากแบบยึดหยุ่นด้วย เนื่องจากโครงสร้างอาคารมีระยะการเคลื่อนตัวสัมพันธ์ระหว่างชั้นและระยะการเคลื่อนตัวด้านข้างเนื่องจากแรงลมและแรงแผ่นดินไหวมากกว่าการวิเคราะห์บนฐานรากแบบยึดแน่น ซึ่งอาจส่งผลให้อาคารสูงที่ไม่ได้พิจารณาโครงสร้างระบบเอาริกเกอร์และผนังรัทบนฐานรากแบบยึดหยุ่นเกิดความเสียหายได้

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 การเลือกตำแหน่งหรือจำนวนของเอาริกเกอร์และผนังรัทของโครงสร้างอาคารสูงขึ้นอยู่กับความต้องการในการลดระยะการเคลื่อนตัวด้านข้างเป็นหลัก สำหรับปัญหาการใช้พื้นที่อาคารในบริเวณชั้นที่มีเอาริกเกอร์และผนังรัทอาจแก้ได้โดยการใช้บริเวณชั้นดังกล่าวเป็นพื้นที่สำหรับงานระบบเครื่องกล ระบบสุขาภิบาล หรือ ระบบงานไฟฟ้า

5.2.2 งานวิจัยนี้ได้ใช้โครงสร้างอาคารที่มีความสมมาตรและมีผนังรับแรงเฉือนอยู่กลางอาคารเท่านั้น หากได้ศึกษาโครงสร้างที่ไม่สมมาตร (Irregular Shape) ทั้งในแนวราบและแนวตั้งก็จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง ซึ่งจะเป็นหัวข้อวิจัยในอนาคตได้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Taranath S. **Reinforced Concrete Design of Tall Building**. CRC Press Taylor & Francis Group, Inc. 2009.
- [2] อมร พิมานมาศ, ปรีดา ไชยมหาวัน และ ภาณุวัฒน์ จ้อยกลัด. **การออกแบบโครงสร้างฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็กชั้นสูง**. กรุงเทพมหานคร : บริษัทซีวิลเอ็นจิเนียริง คอนซัลแตนท์แอนด์เทรนนิ่ง จำกัด. 2555.
- [3] Taranath S. “Optimum Belt Truss Locations for High-Rise Structures” **The Structural Engineer**, 1975. pp. 345-348.
- [4] McNabb J.W., B.B. Muvidi. “Drift Reduction Factors for Belted High-Rise Structures” **Engineering Journal-American Institute of Steel Construction**, 1975. pp. 44-47.
- [5] Kamath K., Divya N. and Asha U Rao. “A Study on Static and Dynamic Behaviour of Outrigger Structure system for Tall Building” **Bonfring International Journal of Industrial Engineering and Management Science**, 2012. pp. 15-20.
- [6] Raj Kiran Nanduri, Suresh B. and Ihtesham Hussain. “Optimum Position of Outrigger System for High-Rise Reinforced Concrete Buildings Under Wind And Earthquake Loadings” **American Journal of Engineering Research**, vol.2, 2013. pp. 76-89.
- [7] Herath N., Haritos N., Ngo T. and Mendis P. “Behavior of Outrigger Beam in High rise Building Under Earthquake Loads” **Australian Earthquake Engineering Society 2009 Conference**, 2009.
- [8] Po Seng Kian, Frits Torang Siahaan. “The Use of Outrigger and Belt Truss System for High-Rise Concrete Building” **Dimensi Teknik Sipil**, vol.3, 2001. pp. 36-41.
- [9] Fawzia S., Fatima T. “Deflection Control in Composite Building by Using Belt Truss and Outrigger Systems” **World Academy of Science, Engineering and Technology**. 2010. pp. 771-776.
- [10] สมัชญ์ จันทรสาขา. “ผลของปฏิสัมพันธ์ระหว่างดินและโครงสร้างที่มีผลต่อสเปกตร้าการตอบสนองเพื่อใช้ในการออกแบบอาคารต้านทานแผ่นดินไหวในเขตกรุงเทพมหานคร” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. 2555.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [11] สิริกร นาคพันธุ์. “การวิเคราะห์หาค่ากำลังต้านทานแผ่นดินไหวสำหรับอาคารสูงในกรุงเทพมหานครที่คำนึงถึงผลของปฏิสัมพันธ์ระหว่างดินและโครงสร้าง” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 2550.
- [12] กรมโยธาธิการและผังเมือง. **มาตรฐานการคำนวณแรงลมและการตอบสนองของอาคาร มยผ. 1311-50.** กรุงเทพมหานคร : บริษัท เอส.พี.เอ็ม. การพิมพ์ จำกัด. 2550.
- [13] กรมโยธาธิการและผังเมือง. **มาตรฐานการออกแบบอาคารด้านการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว มยผ. 1302.** กรุงเทพมหานคร : บริษัท เอส.พี.เอ็ม. การพิมพ์ จำกัด. 2552.
- [14] ภาณุ ไชยวรรณ. “การศึกษาพฤติกรรมการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มเจาะขนาดใหญ่ในชั้นดินกรุงเทพมหานคร” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2550.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

**ผลการคำนวณแรงลมโดยวิธีอย่างละเอียด  
และการคำนวณแรงแผ่นดินไหวโดยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.1 ข้อมูลและค่าสัมประสิทธิ์สำหรับการคำนวณแรงลมโดยวิธีอย่างละเอียด

ผลการคำนวณในทิศทางลม		
ข้อมูลการออกแบบ		หน่วย
H	210	m.
W	45	m.
D	45	m.
lw	1.15	-
ลักษณะช่องเปิด	1	-
ความเร็วลม	25	m/s <sup>2</sup>
ความหนาแน่นอากาศ	1.25	kg(mass)/m <sup>3</sup>
ลักษณะภูมิประเทศ	C	-
ผลการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ที่เกี่ยวข้อง		
q	39.82	kgf/m <sup>2</sup>
สัมประสิทธิ์ความดันภายใน		
C <sub>pi</sub> สำหรับแรงดัน	0	-
C <sub>pi</sub> สำหรับแรงดูด	-0.15	-
สัมประสิทธิ์ความดันภายนอก		
C <sub>p</sub> ด้านหน้าลม	0.8	
C <sub>p</sub> บริเวณด้านท้ายลม	-0.5	
C <sub>p</sub> บริเวณหลังคา	-1	
หน่วยแรงลมภายในเมื่อ C <sub>pi</sub> = -0.15 คือ	-11.78	kgf/m <sup>2</sup>
หน่วยแรงลมภายในเมื่อ C <sub>pi</sub> = 0.00 คือ	0	kgf/m <sup>2</sup>
คำนวณ C <sub>g</sub>		
C <sub>gi</sub>	2	-
ความเร็วลมที่คาบเวลากลับ 50 ปี	25	m/s
ความเร็วลมที่คาบเวลากลับ 10 ปี	20.25	m/s
ความถี่ธรรมชาติพื้นฐาน ของอาคาร ในทิศทางลม,nD	0.158	Hz
อัตราส่วนความหน่วง ในทิศทางลม,bD	0.005	Hz
Roughness Coefficient of exposure:K	0.14	-
	lw =0.75	lw =1
	V=V <sub>50</sub>	V=V <sub>10</sub>
Wind velocity at top building:VH	31.86	25.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.1 ข้อมูลและค่าสัมประสิทธิ์สำหรับการคำนวณแรงลมโดยวิธีอย่างละเอียด (ต่อ)

Reduction frequency of structure	1.0415	1.2858
Size reduction factor:S	0.0858	0.063
Wave number per meter:nD/vH	0.005	0.0061
Gust energy ratio at the nD:F	0.2905	0.2556
Back ground turbulence factor:B	0.5265	0.5265
Average fluctuation rate:v(Hz)	0.1503	0.1465
Statistical peak factor:gp	3.7104	3.7035
Turbulence intensity:RMS/mean	0.6894	0.5683
Gust effect factor,Cg	3.56	3.1
รวมผลแรงลมกระทำภายนอกอาคาร ในทิศทางลม		
Total baseshear	1,951.2	Tonf
Overtuning alongwind	234,384.6	Tonf.m

ตาราง ก.2 ผลการคำนวณหน่วยแรงลมในทิศทางลมโดยวิธีอย่างละเอียด

ผลการคำนวณหน่วยแรงลมในทิศทางลม				
บริเวณ	Ce	P ext	P net เมื่อ	P net เมื่อ
		kgf/m <sup>2</sup>	P int (-)	P int (+)
บริเวณหลังคา				
บริเวณกลางหลังคา	1.624	-230.06	-218.28	-230.06
บริเวณด้านท้ายลม				
ทุกความสูง	0.986	-69.83	-58.06	-69.83
บริเวณด้านหน้าลม				
ระยะ z จากพื้น (m)	210.00	1.62	184.04	195.82
	206.50	1.60	181.83	193.61
	203.00	1.59	179.61	191.38
	199.50	1.57	177.37	189.15
	196.00	1.55	175.13	186.90
	192.50	1.53	172.87	184.64
	189.00	1.51	170.60	182.38
	185.50	1.49	168.32	180.09
	182.00	1.47	166.03	177.80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.2 ผลการคำนวณหน่วยแรงลมในทิศทางลมโดยวิธีอย่างละเอียด (ต่อ)

ระยะ z จากพื้น (m)	Ce	P ext	P net เมื่อ	P net เมื่อ
		kgf/m <sup>2</sup>	P int (-)	P int (+)
178.50	1.44	163.72	175.50	163.72
175.00	1.42	161.40	173.18	161.40
171.50	1.40	159.07	170.85	159.07
168.00	1.38	156.73	168.50	156.73
164.50	1.36	154.37	166.15	154.37
161.00	1.34	152.00	163.77	152.00
157.50	1.32	149.61	161.39	149.61
154.00	1.30	147.21	158.99	147.21
150.50	1.28	144.79	156.57	144.79
147.00	1.26	142.36	154.14	142.36
143.50	1.23	139.91	151.69	139.91
140.00	1.21	137.45	149.22	137.45
136.50	1.19	134.96	146.74	134.96
133.00	1.17	132.46	144.24	132.46
129.50	1.15	129.94	141.72	129.94
126.00	1.12	127.41	139.18	127.41
122.50	1.10	124.85	136.62	124.85
119.00	1.08	122.27	134.05	122.27
115.50	1.06	119.67	131.45	119.67
112.00	1.03	117.05	128.82	117.05
108.50	1.01	114.40	126.18	114.40
105.00	0.99	111.73	123.51	111.73
101.50	0.96	109.04	120.81	109.04
98.00	0.94	106.32	118.09	106.32
94.50	0.91	103.57	115.35	103.57
91.00	0.89	100.79	112.57	100.79
87.50	0.87	97.99	109.76	97.99
84.00	0.84	95.15	106.93	95.15
80.50	0.81	92.28	104.05	92.28
77.00	0.79	89.37	101.15	89.37
73.50	0.76	86.43	98.20	86.43
70.00	0.74	83.44	95.22	83.44
66.50	0.71	80.42	92.19	80.42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.2 ผลการคำนวณหน่วยแรงลมในทิศทางลมโดยวิธีอย่างละเอียด (ต่อ)

ระยะ z จากพื้น (m)	Ce	P ext	P net เมื่อ	P net เมื่อ
		kgf/m <sup>2</sup>	P int (-)	P int (+)
63.00	0.68	77.35	89.12	77.35
59.50	0.66	74.23	86.01	74.23
56.00	0.63	71.06	82.84	71.06
52.50	0.60	67.83	79.61	67.83
49.00	0.57	64.55	76.32	64.55
45.50	0.54	61.19	72.97	61.19
42.00	0.51	57.76	69.54	57.76
38.50	0.48	54.26	66.03	54.26
35.00	0.45	50.66	62.43	50.66
31.50	0.41	46.96	58.73	46.96
28.00	0.40	45.34	57.11	45.34
24.50	0.40	45.34	57.11	45.34
21.00	0.40	45.34	57.11	45.34
17.50	0.40	45.34	57.11	45.34
14.00	0.40	45.34	57.11	45.34
10.50	0.40	45.34	57.11	45.34
7.00	0.40	45.34	57.11	45.34
3.50	0.40	45.34	57.11	45.34
0.00	0.40	45.34	57.11	45.34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.3 ผลการคำนวณหน่วยแรงลมในทิศทางตั้งฉากโดยวิธีอย่างละเอียด

ผลการคำนวณในทิศทางตั้งฉากและโมเมนต์บิด		
แรง และ ผลการตอบสนองในทิศทางตั้งฉากกับทิศทางลม		
$vH/(nW*(W*D)^{0.5})$	4.42	อัตราส่วนมีค่า $\leq 10$
ผลการคำนวณค่าที่เกี่ยวข้อง		
ความเร็วลมที่คาบเวลากลับ 50 ปี	25	m/s
ความเร็วลมที่คาบเวลากลับ 10 ปี	20.25	m/s
ความถี่ธรรมชาติพื้นฐาน ในทิศทางตั้งฉากกับทิศทางลม ; nW	0.16	Hz
อัตราส่วนความหน่วงในทิศทางตั้งฉากกับทิศทางลม ; bW	0.005	
	lw = 0.75	lw=1
	V=V50	V=V10
หน่วยแรงลมอ้างอิง qH ที่ระดับความสูงยอดอาคาร	64.66 kgf/m <sup>2</sup>	42.42 kgf/m <sup>2</sup>
RMS ในทิศทางตั้งฉากกับทิศทางลม ; CL'	0.157	0.157
Statistical Peak factor ; gL	3.727	3.727
ค่าสเปกตรัมของแรงลมในทิศตั้งฉากกับทิศทางลม ; FL	0.0744	0.0443
ค่าตอบสนองแบบก้ำกอน ; RL	11.69	6.957
ความเร่งในทิศทางตั้งฉากกับทิศทางลม ที่ระดับยอดอาคาร ; aW	0.17 m/s <sup>2</sup>	0.115 m/s <sup>2</sup>
แรงลมในทิศทางตั้งฉากกับทิศทางลม		P (kgf/m <sup>2</sup> )
ระยะความสูงจากพื้นดิน	210.00	465.61
	206.50	457.85
	203.00	450.09
	199.50	442.33
	196.00	434.57
	192.50	426.81
	189.00	419.05
	185.50	411.29
	182.00	403.53
	178.50	395.77
	175.00	388.01
	171.50	380.25
	168.00	372.49
	164.50	364.73
	161.00	356.97
	157.50	349.21
	154.00	341.45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.3 ผลการคำนวณหน่วยแรงลมในทิศทางตั้งฉากโดยวิธีอย่างละเอียด (ต่อ)

แรงลมในทิศทางตั้งฉากกับทิศทางลม	P (kgf/m <sup>2</sup> )
ระยะความสูงจากพื้นดิน 150.50	333.69
147.00	325.93
143.50	318.17
140.00	310.41
136.50	302.65
133.00	294.89
129.50	287.13
126.00	279.37
122.50	271.61
119.00	263.85
115.50	256.09
112.00	248.32
108.50	240.56
105.00	232.80
101.50	225.04
98.00	217.28
94.50	209.52
91.00	201.76
87.50	194.00
84.00	186.24
80.50	178.48
77.00	170.72
73.50	162.96
70.00	155.20
66.50	147.44
63.00	139.68
59.50	131.92
56.00	124.16
52.50	116.40
49.00	108.64
45.50	100.88
42.00	93.12
38.50	85.36
35.00	77.60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.3 ผลการคำนวณหน่วยแรงลมในทิศทางตั้งฉากโดยวิธีอย่างละเอียด (ต่อ)

แรงลมในทิศทางตั้งฉากกับทิศทางลม	P (kgf/m <sup>2</sup> )
ระยะความสูงจากพื้นดิน 31.50	69.84
28.00	62.08
24.50	54.32
21.00	46.56
17.50	38.80
14.00	31.04
10.50	23.28
7.00	15.52
3.50	7.76

ตาราง ก.4 ผลการคำนวณโมเมนต์บิดโดยวิธีอย่างละเอียด

โมเมนต์บิดสถิตย์เทียบเท่า		
$vH/(nT*(W*D)^{0.5}) =$	1.34	: อัตราส่วนมีค่า $\leq 10$
ผลการคำนวณค่าที่เกี่ยวข้อง		
ความถี่ธรรมชาติพื้นฐาน ในแนวบิด ; nT	0.529	Hz
อัตราส่วนความหน่วงในแนวบิด ; bT	0.005	
RMS ในแนวบิด ; Ct	0.05	
Statistical Peak factor ; gT	4.035	
ค่าสเปกตรัมของแรงลมในแนวบิด ; FT	0.0075	
ค่าตอบสนองแบบกำทอน ; RT	1.181	
โมเมนต์บิด MT	MT (kgf.m) ต่อ ความสูง 1 เมตร	
ระยะความสูงจากพื้นดิน 210.00	210.00	81,098.24
206.50	206.50	79,746.60
203.00	203.00	78,394.96
199.50	199.50	77,043.32
196.00	196.00	75,691.69
192.50	192.50	74,340.05
189.00	189.00	72,988.41
185.50	185.50	71,636.77
182.00	182.00	70,285.14
178.50	178.50	68,933.50
175.00	175.00	67,581.86
171.50	171.50	66,230.22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.4 ผลการคำนวณโมเมนต์บิดโดยวิธีอย่างละเอียด (ต่อ)

โมเมนต์บิด MT	MT (kgf.m) ต่อ ความสูง 1 เมตร
ระยะความสูงจากพื้นดิน 168.00	64,878.59
164.50	63,526.95
161.00	62,175.31
157.50	60,823.68
154.00	59,472.04
150.50	58,120.40
147.00	56,768.77
143.50	55,417.13
140.00	54,065.49
136.50	52,713.85
133.00	51,362.22
129.50	50,010.58
126.00	48,658.94
122.50	47,307.30
119.00	45,955.67
115.50	44,604.03
112.00	43,252.39
108.50	41,900.75
105.00	40,549.12
101.50	39,197.48
98.00	37,845.84
94.50	36,494.21
91.00	35,142.57
87.50	33,790.93
84.00	32,439.29
80.50	31,087.66
77.00	29,736.02
73.50	28,384.38
70.00	27,032.75
66.50	25,681.11
63.00	24,329.47
59.50	22,977.83
56.00	21,626.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.4 ผลการคำนวณโมเมนต์บิดจากแรงลมโดยวิธีอย่างละเอียด (ต่อ)

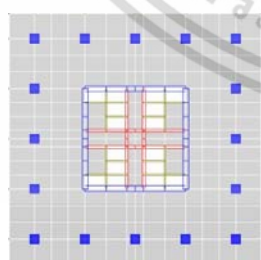
โมเมนต์บิด MT	MT (kgf.m) ต่อ ความสูง 1 เมตร
ระยะความสูงจากพื้นดิน 52.50	20,274.56
49.00	18,922.92
45.50	17,571.28
42.00	16,219.65
38.50	14,868.01
35.00	13,516.37
31.50	12,164.74
28.00	10,813.10
24.50	9,461.46
21.00	8,109.82
17.50	6,758.19
14.00	5,406.55
10.50	4,054.91
7.00	2,703.27
3.50	1,351.64
0.00	0.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.5 การคำนวณแรงแผ่นดินไหวโดยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า

การคำนวณแรงแผ่นดินไหวโดยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า				อ้างอิง : มาตรฐาน มยผ. 1302				
<b>ข้อมูลองค์อาคาร</b>								
อาคารด้านกว้าง, B	45.00	เมตร	อาคารด้านยาว, D	45.00	เมตร			
ความสูงต่อชั้น, h	3.50	เมตร	จำนวนชั้นทั้งหมด	60	ชั้น			
ความสูงรวมทั้งอาคาร, H	210.00	เมตร						
<b>น้ำหนักขององค์อาคารรวมวัสดุตกแต่งและ 25 % ของน้ำหนักบรรทุกจร</b>								
ชั้นที่	น้ำหนัก (ตัน)	ชั้นที่	น้ำหนัก (ตัน)	ชั้นที่	น้ำหนัก (ตัน)	ชั้นที่	น้ำหนัก (ตัน)	หมายเหตุ
60	2,259	45	2,479	30	2,771	15	3,078	รวมน้ำหนัก ทั้งอาคาร <b>158,811</b> ตัน (W)
59	2,259	44	2,479	29	2,771	14	3,078	
58	2,259	43	2,479	28	2,771	13	3,078	
57	2,259	42	2,479	27	2,771	12	3,078	
56	2,259	41	2,479	26	2,771	11	3,078	
55	2,259	40	2,479	25	2,771	10	3,078	
54	2,259	39	2,479	24	2,771	9	3,078	
53	2,259	38	2,479	23	2,771	8	3,078	
52	2,259	37	2,479	22	2,771	7	3,078	
51	2,259	36	2,479	21	2,771	6	3,078	
50	2,259	35	2,479	20	2,771	5	3,078	
49	2,259	34	2,479	19	2,771	4	3,078	
48	2,259	33	2,479	18	2,771	3	3,078	
47	2,259	32	2,479	17	2,771	2	3,078	
46	2,259	31	2,479	16	2,771	1	3,078	

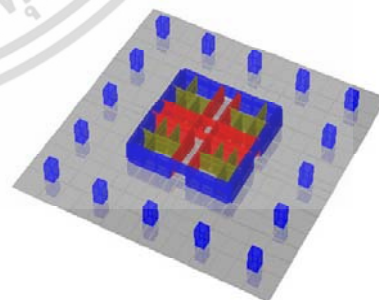
ลักษณะรูปร่างโครงสร้างอาคาร



รูปแปลน



รูปตัด



รูป 3 มิติ

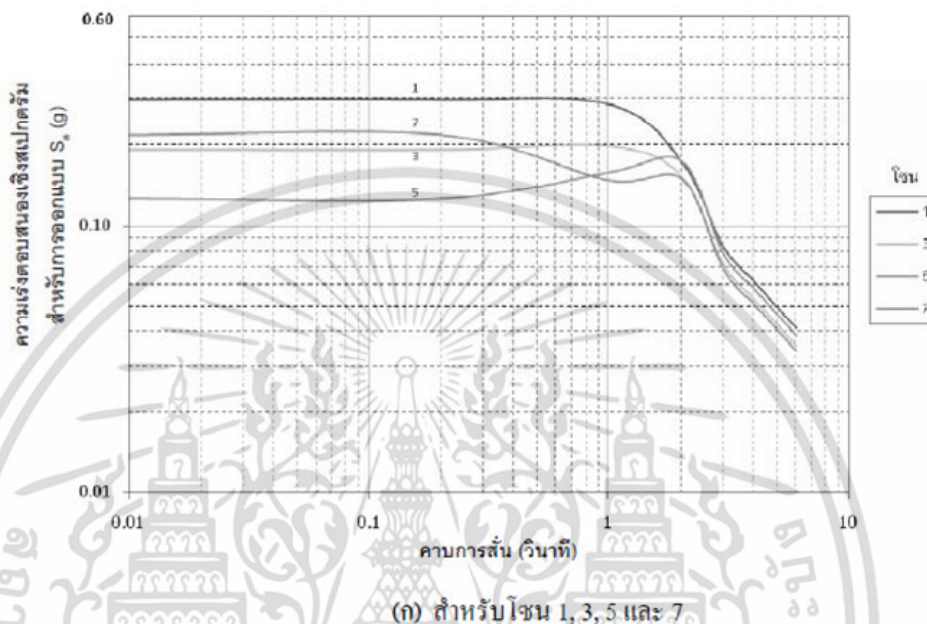
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.5 การคำนวณแรงแผ่นดินไหวโดยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า (ต่อ)

การคำนวณแรงแผ่นดินไหวโดยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า	อ้างอิง : มาตรฐาน มยผ. 1302
--	-----------------------------

สเปกตรัมผลตอบสนองสำหรับการออกแบบ (S<sub>a</sub>)

ที่ตั้งอาคาร : บริเวณแอ่งกรุงเทพมหานคร โซน 5



ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า สำหรับพื้นที่ในแอ่งกรุงเทพ โซน 5

S <sub>a</sub> (0.1s)	S <sub>a</sub> (0.2s)	S <sub>a</sub> (1s)	S <sub>a</sub> (2s)	S <sub>a</sub> (3s)	S <sub>a</sub> (4s)	S <sub>a</sub> (5s)	S <sub>a</sub> (6s)	หน่วย
0.126	0.126	0.158	0.174	0.078	0.058	0.047	0.039	g.

คาบการสั่นพื้นฐานของโครงสร้าง  
พื้นที่ในแอ่งกรุงเทพใช้ค่า

T = 0.02 H = 4.20 วินาที  
S<sub>DS</sub> = S<sub>DI</sub> = S<sub>a</sub> = 0.056 g.

ค่า S <sub>DS</sub>	ประเภทการออกแบบต้านทานแผ่นดินไหว			ค่า S <sub>DI</sub>	ประเภทการออกแบบต้านทานแผ่นดินไหว		
	I หรือ II	III	IV		I หรือ II	III	IV
SDS < 0.167	ก(ไม่ออกแบบ)	ก(ไม่ออกแบบ)	ก(ไม่ออกแบบ)	S <sub>DI</sub> < 0.067	ก(ไม่ออกแบบ)	ก(ไม่ออกแบบ)	ก(ไม่ออกแบบ)
0.167 ≤ SDS < 0.33	ข	ข	ค	0.067 ≤ S <sub>DI</sub> < 0.133	ข	ข	ค
0.33 ≤ SDS < 0.50	ค	ค	ง	0.133 ≤ S <sub>DI</sub> < 0.20	ค	ค	ง
0.50 ≤ SDS	ง	ง	ง	0.20 ≤ S <sub>DI</sub>	ง	ง	ง

ก = น้อย ไม่ต้องออกแบบ    ข = น้อยถึงปานกลาง    ค = มาก    ง = รุนแรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.5 การคำนวณแรงแผ่นดินไหวโดยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า (ต่อ)

การคำนวณแรงแผ่นดินไหวโดยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า	อ้างอิง : มาตรฐาน มยผ. 1302
ตัวประกอบความสำคัญของอาคาร (III = มาก)	I = 1.25
ระบบโครงสร้างต้านทานแรงแผ่นดินไหว : ระบบปฏิสัมพันธ์ระหว่างกำแพงรับแรงเฉือนและโครงสร้างแรงค้ำแบบธรรมดาที่ไม่มีการให้รายละเอียดความเหนียว	
ค่าตัวประกอบปรับผลตอบสนอง	R = 4.5
ค่าตัวประกอบกำลังส่วนเกิน	$\Omega_0 = 2.5$
ค่าตัวประกอบขยายค่าการโก่งตัว	$C_d = 4.0$
ดังนั้น ค่าสัมประสิทธิ์ผลตอบสนองแผ่นดินไหว	$C_s = S_a(I/R) = 0.0156$ g. > 0.0100 g.
แรงเฉือนที่ฐานอาคาร โดยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า	$V = C_s W = 2,470$ ตัน
สัมประสิทธิ์การกระจายแรงในแนวดิ่ง	K = 2.0



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข.1 น้ำหนักบรรทุกทุกใช้งานสำหรับคำนวณจำนวนเสาเข็ม

การรวมน้ำหนัก (Load Combination)	น้ำหนักบรรทุกทุกใช้งาน (ตัน)	หมายเหตุ
SER01	150,374	- น้ำหนักบรรทุกทุกใช้งานสูงสุดเท่ากับ 189,010 ตัน
SER02	184,124	- น้ำหนักฐานราก = $50 \times 50 \times 8.5 \times 2.4 = 51,000$ ตัน
SER03	150,374	- รวมน้ำหนักบรรทุกทุกใช้งานทั้งหมด = 240,010 ตัน
SER04	150,374	- จำนวนเสาเข็ม = $240,010 / 2,600 = 93$ ตัน
SER05	150,374	*** สรุปลงเสาเข็มทั้งหมด 100 ตัน (จัดเป็นแบบ 10x10) ***
SER06	150,374	
SER07 MAX	168,139	
SER07 MIN	132,609	
SER08 MAX	168,139	
SER08 MIN	132,609	
SER09 MAX	168,089	
SER09 MIN	132,659	
SER10 MAX	168,089	
SER10 MIN	132,659	
SER11	175,686	
SER12	175,686	
SER13	175,686	
SER14	175,686	
SER15 MAX	189,010	
SER15 MIN	162,363	
SER16 MAX	189,010	
SER16 MIN	162,363	
SER17 MAX	188,973	
SER17 MIN	162,400	
SER18 MAX	188,973	
SER18 MIN	162,400	
SER19	90,224	
SER20	90,224	
SER21	90,224	
SER22	90,224	
SER23 MAX	107,989	
SER23 MIN	72,459	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข.1 น้ำหนักบรรทุกใช้งานสำหรับคำนวณจำนวนเสาเข็ม (ต่อ)

การรวมน้ำหนัก (Load Combination)	น้ำหนักบรรทุกใช้งาน (ตัน)	หมายเหตุ
SER24 MAX	107,989	
SER24 MIN	72,459	
SER25 MAX	107,939	
SER25 MIN	72,509	
SER26 MAX	107,939	
SER26 MIN	72,509	

เมื่อ	SER01	เท่ากับ	$1.0DL + 1.0SDL$
	SER02	เท่ากับ	$1.0DL + 1.0SDL + 1.0LL$
	SER03	เท่ากับ	$1.0DL + 1.0SDL + 1.0WX$
	SER04	เท่ากับ	$1.0DL + 1.0SDL - 1.0WX$
	SER05	เท่ากับ	$1.0DL + 1.0SDL + 1.0WY$
	SER06	เท่ากับ	$1.0DL + 1.0SDL - 1.0WY$
	SER07	เท่ากับ	$1.0DL + 1.0SDL + 0.7EQSX$
	SER08	เท่ากับ	$1.0DL + 1.0SDL - 0.7EQSX$
	SER09	เท่ากับ	$1.0DL + 1.0SDL + 0.7EQSY$
	SER10	เท่ากับ	$1.0DL + 1.0SDL - 0.7EQSY$
	SER11	เท่ากับ	$1.0DL + 1.0SDL + 0.75LL + 0.75WX$
	SER12	เท่ากับ	$1.0DL + 1.0SDL + 0.75LL - 0.75WX$
	SER13	เท่ากับ	$1.0DL + 1.0SDL + 0.75LL + 0.75WY$
	SER14	เท่ากับ	$1.0DL + 1.0SDL + 0.75LL - 0.75WY$
	SER15	เท่ากับ	$1.0DL + 1.0SDL + 0.75LL + 0.525EQSX$
	SER16	เท่ากับ	$1.0DL + 1.0SDL + 0.75LL - 0.525EQSX$
	SER17	เท่ากับ	$1.0DL + 1.0SDL + 0.75LL + 0.525EQSY$
	SER18	เท่ากับ	$1.0DL + 1.0SDL + 0.75LL - 0.525EQSY$
	SER19	เท่ากับ	$0.6DL + 0.6SDL + 1.0WX$
	SER20	เท่ากับ	$0.6DL + 0.6SDL - 1.0WX$
	SER21	เท่ากับ	$0.6DL + 0.6SDL + 1.0WY$
	SER22	เท่ากับ	$0.6DL + 0.6SDL - 1.0WY$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SER23	เท่ากับ	$0.6DL + 0.6SDL + 0.7EQSX$
SER24	เท่ากับ	$0.6DL + 0.6SDL - 0.7EQSX$
SER25	เท่ากับ	$0.6DL + 0.6SDL + 0.7EQSY$
SER26	เท่ากับ	$0.6DL + 0.6SDL - 0.7EQSY$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ค

ผลการป้อนข้อมูลในโปรแกรม ETABS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PROJECT INFORMATION : ETABS v9.7.4 File:20150111\_1300\_MF0\_FINAL Units:Ton-m

## STORY DATA

STORY	SIMILAR TO	HEIGHT	ELEVATION
STORY60	STORY01	3.500	210.000
STORY59	STORY01	3.500	206.500
STORY58	STORY01	3.500	203.000
STORY57	STORY01	3.500	199.500
STORY56	STORY01	3.500	196.000
STORY55	STORY01	3.500	192.500
STORY54	STORY01	3.500	189.000
STORY53	STORY01	3.500	185.500
STORY52	STORY01	3.500	182.000
STORY51	STORY01	3.500	178.500
STORY50	STORY01	3.500	175.000
STORY49	STORY01	3.500	171.500
STORY48	STORY01	3.500	168.000
STORY47	STORY01	3.500	164.500
STORY46	STORY01	3.500	161.000
STORY45	STORY01	3.500	157.500
STORY44	STORY01	3.500	154.000
STORY43	STORY01	3.500	150.500
STORY42	STORY01	3.500	147.000
STORY41	STORY01	3.500	143.500
STORY40	STORY01	3.500	140.000
STORY39	STORY01	3.500	136.500
STORY38	STORY01	3.500	133.000
STORY37	STORY01	3.500	129.500
STORY36	STORY01	3.500	126.000
STORY35	STORY01	3.500	122.500
STORY34	STORY01	3.500	119.000
STORY33	STORY01	3.500	115.500
STORY32	STORY01	3.500	112.000
STORY31	STORY01	3.500	108.500
STORY30	STORY01	3.500	105.000
STORY29	STORY01	3.500	101.500
STORY28	STORY01	3.500	98.000
STORY27	STORY01	3.500	94.500
STORY26	STORY01	3.500	91.000
STORY25	STORY01	3.500	87.500
STORY24	STORY01	3.500	84.000
STORY23	STORY01	3.500	80.500
STORY22	STORY01	3.500	77.000
STORY21	STORY01	3.500	73.500
STORY20	STORY01	3.500	70.000
STORY19	STORY01	3.500	66.500
STORY18	STORY01	3.500	63.000
STORY17	STORY01	3.500	59.500

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STORY16	STORY01	3.500	56.000
STORY15	STORY01	3.500	52.500
STORY14	STORY01	3.500	49.000
STORY13	STORY01	3.500	45.500
STORY12	STORY01	3.500	42.000
STORY11	STORY01	3.500	38.500
STORY10	STORY01	3.500	35.000
STORY09	STORY01	3.500	31.500
STORY08	STORY01	3.500	28.000
STORY07	STORY01	3.500	24.500
STORY06	STORY01	3.500	21.000
STORY05	STORY01	3.500	17.500
STORY04	STORY01	3.500	14.000
STORY03	STORY01	3.500	10.500
STORY02	STORY01	3.500	7.000
STORY01	None	3.500	3.500
BASE	None		0.000

## RESPONSE SPECTRUM CASES

RESP SPEC CASE: EQSX

## BASIC RESPONSE SPECTRUM DATA

MODAL	DIRECTION	MODAL	SPECTRUM	TYPICAL
COMBO	COMBO	DAMPING	ANGLE	ECCEN
CQC	SRSS	0.0500	0.0000	0.0500

## RESPONSE SPECTRUM FUNCTION ASSIGNMENT DATA

DIRECTION	FUNCTION	SCALE FACT
U1	BKK5	3.0874
U2	----	N/A
UZ	----	N/A

RESP SPEC CASE: EQSY

## BASIC RESPONSE SPECTRUM DATA

MODAL	DIRECTION	MODAL	SPECTRUM	TYPICAL
COMBO	COMBO	DAMPING	ANGLE	ECCEN
CQC	SRSS	0.0500	0.0000	0.0500

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## RESPONSE SPECTRUM FUNCTION ASSIGNMENT DATA

DIRECTION    FUNCTION    SCALE FACT

U1	----	N/A
U2	BKK5	3.0874
UZ	----	N/A

## MASS SOURCE DATA

MASS	LATERAL	LUMP MASS
FROM	MASS ONLY	AT STORIES

Loads	Yes	Yes
-------	-----	-----

## MASS SOURCE LOADS

LOAD    MULTIPLIER

DEAD	1.0000
LIVE	0.2500
SDL	1.0000

## MODAL PERIODS AND FREQUENCIES

MODE NUMBER	PERIOD (TIME)	FREQUENCY (CYCLES/TIME)	CIRCULAR FREQ (RADIANS/TIME)
Mode 1	6.32953	0.15799	0.99268
Mode 2	6.25764	0.15980	1.00408
Mode 3	1.89232	0.52845	3.32036
Mode 4	1.30256	0.76772	4.82373
Mode 5	1.28826	0.77624	4.87725
Mode 6	0.71909	1.39065	8.73773
Mode 7	0.54244	1.84353	11.58324
Mode 8	0.53827	1.85782	11.67303
Mode 9	0.43586	2.29432	14.41564
Mode 10	0.31401	3.18461	20.00948
Mode 11	0.31276	3.19736	20.08962
Mode 12	0.30747	3.25239	20.43536

## MODAL PARTICIPATING MASS RATIOS

MODE NUMBER	X-TRANS %MASS <SUM>	Y-TRANS %MASS <SUM>	Z-TRANS %MASS <SUM>	RX-ROTN %MASS <SUM>	RY-ROTN %MASS <SUM>	RZ-ROTN %MASS <SUM>
Mode 1	57.59 < 58>	0.00 < 0>	0.00 < 0>	0.00 < 0>	96.32 < 96>	0.00 < 0>
Mode 2	0.00 < 58>	57.65 < 58>	0.00 < 0>	96.36 < 96>	0.00 < 96>	0.00 < 0>
Mode 3	0.00 < 58>	0.00 < 58>	0.00 < 0>	0.00 < 96>	0.00 < 96>	74.14 < 74>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Mode 4	20.33 < 78>	0.00 < 58>	0.00 < 0>	0.00 < 96>	3.10 < 99>	0.00 < 74>
Mode 5	0.00 < 78>	20.36 < 78>	0.00 < 0>	3.07 < 99>	0.00 < 99>	0.00 < 74>
Mode 6	0.00 < 78>	0.00 < 78>	0.00 < 0>	0.00 < 99>	0.00 < 99>	12.10 < 86>
Mode 7	7.95 < 86>	0.00 < 78>	0.00 < 0>	0.00 < 99>	0.43 < 100>	0.00 < 86>
Mode 8	0.00 < 86>	7.93 < 86>	0.00 < 0>	0.42 < 100>	0.00 < 100>	0.00 < 86>
Mode 9	0.00 < 86>	0.00 < 86>	0.00 < 0>	0.00 < 100>	0.00 < 100>	4.61 < 91>
Mode 10	4.26 < 90>	0.00 < 86>	0.00 < 0>	0.00 < 100>	0.10 < 100>	0.00 < 91>
Mode 11	0.00 < 90>	4.25 < 90>	0.00 < 0>	0.10 < 100>	0.00 < 100>	0.00 < 91>
Mode 12	0.00 < 90>	0.00 < 90>	0.00 < 0>	0.00 < 100>	0.00 < 100>	2.66 < 94>

## TOTAL REACTIVE FORCES (RECOVERED LOADS) AT ORIGIN

LOAD	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
DEAD	-2.549E-09	-8.554E-10	1.222E+05	2.751E+06	-2.751E+06	4.278E-08
LIVE	-4.589E-10	-1.546E-10	3.375E+04	7.594E+05	-7.594E+05	7.738E-09
SDL	-3.824E-10	-1.289E-10	2.812E+04	6.328E+05	-6.328E+05	6.446E-09
WX	-1.819E+03	2.439E-08	8.400E-09	-3.554E-06	-2.199E+05	3.227E+04
WY	2.375E-08	-1.806E+03	3.462E-09	2.183E+05	3.558E-06	-4.929E+04
EQSX	2.096E+03	1.441E-03	6.961E-09	1.031E-02	1.855E+05	5.672E+04
EQSY	1.161E-03	2.096E+03	2.939E-09	1.854E+05	7.204E-03	5.672E+04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PROJECT INFORMATION : ETABS v9.7.4 File:20150111 1300 MF1 FINAL Units:Ton-m

## STORY DATA

STORY	SIMILAR TO	HEIGHT	ELEVATION
STORY60	STORY01	3.500	210.000
STORY59	STORY01	3.500	206.500
STORY58	STORY01	3.500	203.000
STORY57	STORY01	3.500	199.500
STORY56	STORY01	3.500	196.000
STORY55	STORY01	3.500	192.500
STORY54	STORY01	3.500	189.000
STORY53	STORY01	3.500	185.500
STORY52	STORY01	3.500	182.000
STORY51	STORY01	3.500	178.500
STORY50	STORY01	3.500	175.000
STORY49	STORY01	3.500	171.500
STORY48	STORY01	3.500	168.000
STORY47	STORY01	3.500	164.500
STORY46	STORY01	3.500	161.000
STORY45	STORY01	3.500	157.500
STORY44	STORY01	3.500	154.000
STORY43	STORY01	3.500	150.500
STORY42	STORY01	3.500	147.000
STORY41	STORY01	3.500	143.500
STORY40	STORY01	3.500	140.000
STORY39	STORY01	3.500	136.500
STORY38	STORY01	3.500	133.000
STORY37	STORY01	3.500	129.500
STORY36	STORY01	3.500	126.000
STORY35	STORY01	3.500	122.500
STORY34	STORY01	3.500	119.000
STORY33	STORY01	3.500	115.500
STORY32	STORY01	3.500	112.000
STORY31	STORY01	3.500	108.500
STORY30	STORY01	3.500	105.000
STORY29	STORY01	3.500	101.500
STORY28	STORY01	3.500	98.000
STORY27	STORY01	3.500	94.500
STORY26	STORY01	3.500	91.000
STORY25	STORY01	3.500	87.500
STORY24	STORY01	3.500	84.000
STORY23	STORY01	3.500	80.500
STORY22	STORY01	3.500	77.000
STORY21	STORY01	3.500	73.500
STORY20	STORY01	3.500	70.000
STORY19	STORY01	3.500	66.500
STORY18	STORY01	3.500	63.000
STORY17	STORY01	3.500	59.500

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการแข่งขันเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STORY16	STORY01	3.500	56.000
STORY15	STORY01	3.500	52.500
STORY14	STORY01	3.500	49.000
STORY13	STORY01	3.500	45.500
STORY12	STORY01	3.500	42.000
STORY11	STORY01	3.500	38.500
STORY10	STORY01	3.500	35.000
STORY09	STORY01	3.500	31.500
STORY08	STORY01	3.500	28.000
STORY07	STORY01	3.500	24.500
STORY06	STORY01	3.500	21.000
STORY05	STORY01	3.500	17.500
STORY04	STORY01	3.500	14.000
STORY03	STORY01	3.500	10.500
STORY02	STORY01	3.500	7.000
STORY01	None	3.500	3.500
BASE	None		0.000

## RESPONSE SPECTRUM CASES

RESP SPEC CASE: EQSX

## BASIC RESPONSE SPECTRUM DATA

MODAL	DIRECTION	MODAL	SPECTRUM	TYPICAL
COMBO	COMBO	DAMPING	ANGLE	ECCEN
CQC	SRSS	0.0500	0.0000	0.0500

## RESPONSE SPECTRUM FUNCTION ASSIGNMENT DATA

DIRECTION FUNCTION SCALE FACT

U1	BKK5	3.0874
U2	----	N/A
UZ	----	N/A

RESP SPEC CASE: EQSY

## BASIC RESPONSE SPECTRUM DATA

MODAL	DIRECTION	MODAL	SPECTRUM	TYPICAL
COMBO	COMBO	DAMPING	ANGLE	ECCEN
CQC	SRSS	0.0500	0.0000	0.0500

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RESPONSE SPECTRUM FUNCTION ASSIGNMENT DATA

DIRECTION    FUNCTION    SCALE FACT

U1    ---    N/A  
 U2    BKK5    3.0874  
 UZ    ---    N/A

MASS SOURCE DATA

MASS    LATERAL    LUMP MASS  
 FROM    MASS ONLY    AT STORIES

Loads    Yes    Yes

MASS SOURCE LOADS

LOAD    MULTIPLIER

DEAD    1.0000  
 LIVE    0.2500  
 SDL    1.0000

MODAL PERIODS AND FREQUENCIES

MODE NUMBER	PERIOD (TIME)	FREQUENCY (CYCLES/TIME)	CIRCULAR FREQ (RADIANS/TIME)
Mode 1	4.71743	0.21198	1.33191
Mode 2	4.69303	0.21308	1.33883
Mode 3	1.86813	0.53529	3.36335
Mode 4	1.30502	0.76627	4.81463
Mode 5	1.29073	0.77476	4.86793
Mode 6	0.71932	1.39020	8.73489
Mode 7	0.51436	1.94415	12.21548
Mode 8	0.51108	1.95664	12.29395
Mode 9	0.42602	2.34728	14.74842
Mode 10	0.31478	3.17686	19.96083
Mode 11	0.31358	3.18897	20.03691
Mode 12	0.30927	3.23341	20.31612

MODAL PARTICIPATING MASS RATIOS

MODE NUMBER	X-TRANS %MASS <SUM>	Y-TRANS %MASS <SUM>	Z-TRANS %MASS <SUM>	RX-ROTN %MASS <SUM>	RY-ROTN %MASS <SUM>	RZ-ROTN %MASS <SUM>
Mode 1	59.16 < 59>	0.00 < 0>	0.00 < 0>	0.00 < 0>	96.81 < 97>	0.00 < 0>
Mode 2	0.00 < 59>	59.22 < 59>	0.00 < 0>	96.85 < 97>	0.00 < 97>	0.00 < 0>
Mode 3	0.00 < 59>	0.00 < 59>	0.00 < 0>	0.00 < 97>	0.00 < 97>	75.04 < 75>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Mode 4	19.69 < 79>	0.00 < 59>	0.00 < 0>	0.00 < 97>	2.84 <100>	0.00 < 75>
Mode 5	0.00 < 79>	19.69 < 79>	0.00 < 0>	2.81 <100>	0.00 <100>	0.00 < 75>
Mode 6	0.00 < 79>	0.00 < 79>	0.00 < 0>	0.00 <100>	0.00 <100>	11.24 < 86>
Mode 7	7.16 < 86>	0.00 < 79>	0.00 < 0>	0.00 <100>	0.18 <100>	0.00 < 86>
Mode 8	0.00 < 86>	7.17 < 86>	0.00 < 0>	0.18 <100>	0.00 <100>	0.00 < 86>
Mode 9	0.00 < 86>	0.00 < 86>	0.00 < 0>	0.00 <100>	0.00 <100>	4.79 < 91>
Mode 10	4.34 < 90>	0.00 < 86>	0.00 < 0>	0.00 <100>	0.10 <100>	0.00 < 91>
Mode 11	0.00 < 90>	4.33 < 90>	0.00 < 0>	0.10 <100>	0.00 <100>	0.00 < 91>
Mode 12	0.00 < 90>	0.00 < 90>	0.00 < 0>	0.00 <100>	0.00 <100>	2.53 < 94>

## TOTAL REACTIVE FORCES (RECOVERED LOADS) AT ORIGIN

LOAD	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
DEAD	-3.163E-09	-1.027E-09	1.231E+05	2.770E+06	-2.770E+06	5.410E-08
LIVE	-8.075E-10	-2.500E-10	3.375E+04	7.594E+05	-7.594E+05	1.417E-08
SDL	-6.733E-10	-2.078E-10	2.812E+04	6.328E+05	-6.328E+05	1.182E-08
WX	-1.819E+03	1.359E-08	5.114E-09	-1.954E-06	-2.199E+05	3.227E+04
WY	1.358E-08	-1.806E+03	1.186E-09	2.183E+05	2.027E-06	-4.929E+04
EQSX	2.271E+03	1.420E-03	5.529E-09	9.849E-03	2.329E+05	6.086E+04
EQSY	3.229E-03	2.276E+03	1.382E-09	2.340E+05	1.332E-02	6.097E+04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PROJECT INFORMATION : ETABS v9.7.4 File:20150111\_1300\_MF2\_FINAL Units:Ton-m

## STORY DATA

STORY	SIMILAR TO	HEIGHT	ELEVATION
STORY60	STORY01	3.500	210.000
STORY59	STORY01	3.500	206.500
STORY58	STORY01	3.500	203.000
STORY57	STORY01	3.500	199.500
STORY56	STORY01	3.500	196.000
STORY55	STORY01	3.500	192.500
STORY54	STORY01	3.500	189.000
STORY53	STORY01	3.500	185.500
STORY52	STORY01	3.500	182.000
STORY51	STORY01	3.500	178.500
STORY50	STORY01	3.500	175.000
STORY49	STORY01	3.500	171.500
STORY48	STORY01	3.500	168.000
STORY47	STORY01	3.500	164.500
STORY46	STORY01	3.500	161.000
STORY45	STORY01	3.500	157.500
STORY44	STORY01	3.500	154.000
STORY43	STORY01	3.500	150.500
STORY42	STORY01	3.500	147.000
STORY41	STORY01	3.500	143.500
STORY40	STORY01	3.500	140.000
STORY39	STORY01	3.500	136.500
STORY38	STORY01	3.500	133.000
STORY37	STORY01	3.500	129.500
STORY36	STORY01	3.500	126.000
STORY35	STORY01	3.500	122.500
STORY34	STORY01	3.500	119.000
STORY33	STORY01	3.500	115.500
STORY32	STORY01	3.500	112.000
STORY31	STORY01	3.500	108.500
STORY30	STORY01	3.500	105.000
STORY29	STORY01	3.500	101.500
STORY28	STORY01	3.500	98.000
STORY27	STORY01	3.500	94.500
STORY26	STORY01	3.500	91.000
STORY25	STORY01	3.500	87.500
STORY24	STORY01	3.500	84.000
STORY23	STORY01	3.500	80.500
STORY22	STORY01	3.500	77.000
STORY21	STORY01	3.500	73.500
STORY20	STORY01	3.500	70.000
STORY19	STORY01	3.500	66.500
STORY18	STORY01	3.500	63.000
STORY17	STORY01	3.500	59.500

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการแข่งขันเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STORY16	STORY01	3.500	56.000
STORY15	STORY01	3.500	52.500
STORY14	STORY01	3.500	49.000
STORY13	STORY01	3.500	45.500
STORY12	STORY01	3.500	42.000
STORY11	STORY01	3.500	38.500
STORY10	STORY01	3.500	35.000
STORY09	STORY01	3.500	31.500
STORY08	STORY01	3.500	28.000
STORY07	STORY01	3.500	24.500
STORY06	STORY01	3.500	21.000
STORY05	STORY01	3.500	17.500
STORY04	STORY01	3.500	14.000
STORY03	STORY01	3.500	10.500
STORY02	STORY01	3.500	7.000
STORY01	None	3.500	3.500
BASE	None		0.000

## RESPONSE SPECTRUM CASES

RESP SPEC CASE: EQSX

## BASIC RESPONSE SPECTRUM DATA

MODAL	DIRECTION	MODAL	SPECTRUM	TYPICAL
COMBO	COMBO	DAMPING	ANGLE	ECCEN
CQC	SRSS	0.0500	0.0000	0.0500

## RESPONSE SPECTRUM FUNCTION ASSIGNMENT DATA

DIRECTION	FUNCTION	SCALE FACT
U1	BKK5	3.0874
U2	----	N/A
UZ	----	N/A

RESP SPEC CASE: EQSY

## BASIC RESPONSE SPECTRUM DATA

MODAL	DIRECTION	MODAL	SPECTRUM	TYPICAL
COMBO	COMBO	DAMPING	ANGLE	ECCEN
CQC	SRSS	0.0500	0.0000	0.0500

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## RESPONSE SPECTRUM FUNCTION ASSIGNMENT DATA

DIRECTION    FUNCTION    SCALE FACT

U1	----	N/A
U2	BKK5	3.0874
UZ	----	N/A

## MASS SOURCE DATA

MASS	LATERAL	LUMP MASS
FROM	MASS ONLY	AT STORIES

Loads	Yes	Yes
-------	-----	-----

## MASS SOURCE LOADS

LOAD    MULTIPLIER

DEAD    1.0000

LIVE    0.2500

SDL    1.0000

## MODAL PERIODS AND FREQUENCIES

MODE NUMBER	PERIOD (TIME)	FREQUENCY (CYCLES/TIME)	CIRCULAR FREQ (RADIANS/TIME)
-------------	---------------	-------------------------	------------------------------

Mode 1	4.30302	0.23239	1.46018
Mode 2	4.28762	0.23323	1.46543
Mode 3	1.85232	0.53986	3.39206
Mode 4	1.13071	0.88440	5.55685
Mode 5	1.12273	0.89069	5.59637
Mode 6	0.70718	1.41407	8.88486
Mode 7	0.54122	1.84768	11.60929
Mode 8	0.53721	1.86147	11.69597
Mode 9	0.43778	2.28426	14.35245
Mode 10	0.29422	3.39884	21.35556
Mode 11	0.28674	3.48742	21.91212
Mode 12	0.28627	3.49321	21.94846

## MODAL PARTICIPATING MASS RATIOS

MODE NUMBER	X-TRANS %MASS <SUM>	Y-TRANS %MASS <SUM>	Z-TRANS %MASS <SUM>	RX-ROTN %MASS <SUM>	RY-ROTN %MASS <SUM>	RZ-ROTN %MASS <SUM>
-------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------

Mode 1	59.73 < 60>	0.00 < 0>	0.00 < 0>	0.00 < 0>	97.13 < 97>	0.00 < 0>
--------	-------------	-----------	-----------	-----------	-------------	-----------

Mode 2	0.00 < 60>	59.75 < 60>	0.00 < 0>	97.14 < 97>	0.00 < 97>	0.00 < 0>
--------	------------	-------------	-----------	-------------	------------	-----------

Mode 3	0.00 < 60>	0.00 < 60>	0.00 < 0>	0.00 < 97>	0.00 < 97>	75.15 < 75>
--------	------------	------------	-----------	------------	------------	-------------

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Mode 4	20.05 < 80>	0.00 < 60>	0.00 < 0>	0.00 < 97>	2.50 <100>	0.00 < 75>
Mode 5	0.00 < 80>	20.11 < 80>	0.00 < 0>	2.49 <100>	0.00 <100>	0.00 < 75>
Mode 6	0.00 < 80>	0.00 < 80>	0.00 < 0>	0.00 <100>	0.00 <100>	11.89 < 87>
Mode 7	7.08 < 87>	0.00 < 80>	0.00 < 0>	0.00 <100>	0.28 <100>	0.00 < 87>
Mode 8	0.00 < 87>	7.04 < 87>	0.00 < 0>	0.27 <100>	0.00 <100>	0.00 < 87>
Mode 9	0.00 < 87>	0.00 < 87>	0.00 < 0>	0.00 <100>	0.00 <100>	3.94 < 91>
Mode 10	0.00 < 87>	0.00 < 87>	0.00 < 0>	0.00 <100>	0.00 <100>	2.72 < 94>
Mode 11	3.37 < 90>	0.00 < 87>	0.00 < 0>	0.00 <100>	0.05 <100>	0.00 < 94>
Mode 12	0.00 < 90>	3.40 < 90>	0.00 < 0>	0.05 <100>	0.00 <100>	0.00 < 94>

## TOTAL REACTIVE FORCES (RECOVERED LOADS) AT ORIGIN

LOAD	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
DEAD	-3.295E-09	-1.171E-09	1.239E+05	2.789E+06	-2.789E+06	5.310E-08
LIVE	-8.790E-10	-3.081E-10	3.375E+04	7.594E+05	-7.594E+05	1.425E-08
SDL	-7.328E-10	-2.568E-10	2.812E+04	6.328E+05	-6.328E+05	1.188E-08
WX	-1.819E+03	1.123E-08	4.065E-09	-1.626E-06	-2.199E+05	3.227E+04
WY	1.110E-08	-1.806E+03	1.531E-09	2.183E+05	1.644E-06	-4.929E+04
EQSX	2.380E+03	2.331E-03	4.802E-09	2.218E-02	2.537E+05	6.336E+04
EQSY	1.734E-03	2.385E+03	1.890E-09	2.545E+05	9.970E-03	6.350E+04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PROJECT INFORMATION : ETABS v9.7.4 File:20150111\_1300\_MF3\_FINAL Units:Ton-m

## STORY DATA

STORY	SIMILAR TO	HEIGHT	ELEVATION
STORY60	STORY01	3.500	210.000
STORY59	STORY01	3.500	206.500
STORY58	STORY01	3.500	203.000
STORY57	STORY01	3.500	199.500
STORY56	STORY01	3.500	196.000
STORY55	STORY01	3.500	192.500
STORY54	STORY01	3.500	189.000
STORY53	STORY01	3.500	185.500
STORY52	STORY01	3.500	182.000
STORY51	STORY01	3.500	178.500
STORY50	STORY01	3.500	175.000
STORY49	STORY01	3.500	171.500
STORY48	STORY01	3.500	168.000
STORY47	STORY01	3.500	164.500
STORY46	STORY01	3.500	161.000
STORY45	STORY01	3.500	157.500
STORY44	STORY01	3.500	154.000
STORY43	STORY01	3.500	150.500
STORY42	STORY01	3.500	147.000
STORY41	STORY01	3.500	143.500
STORY40	STORY01	3.500	140.000
STORY39	STORY01	3.500	136.500
STORY38	STORY01	3.500	133.000
STORY37	STORY01	3.500	129.500
STORY36	STORY01	3.500	126.000
STORY35	STORY01	3.500	122.500
STORY34	STORY01	3.500	119.000
STORY33	STORY01	3.500	115.500
STORY32	STORY01	3.500	112.000
STORY31	STORY01	3.500	108.500
STORY30	STORY01	3.500	105.000
STORY29	STORY01	3.500	101.500
STORY28	STORY01	3.500	98.000
STORY27	STORY01	3.500	94.500
STORY26	STORY01	3.500	91.000
STORY25	STORY01	3.500	87.500
STORY24	STORY01	3.500	84.000
STORY23	STORY01	3.500	80.500
STORY22	STORY01	3.500	77.000
STORY21	STORY01	3.500	73.500
STORY20	STORY01	3.500	70.000
STORY19	STORY01	3.500	66.500
STORY18	STORY01	3.500	63.000
STORY17	STORY01	3.500	59.500

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STORY16	STORY01	3.500	56.000
STORY15	STORY01	3.500	52.500
STORY14	STORY01	3.500	49.000
STORY13	STORY01	3.500	45.500
STORY12	STORY01	3.500	42.000
STORY11	STORY01	3.500	38.500
STORY10	STORY01	3.500	35.000
STORY09	STORY01	3.500	31.500
STORY08	STORY01	3.500	28.000
STORY07	STORY01	3.500	24.500
STORY06	STORY01	3.500	21.000
STORY05	STORY01	3.500	17.500
STORY04	STORY01	3.500	14.000
STORY03	STORY01	3.500	10.500
STORY02	STORY01	3.500	7.000
STORY01	None	3.500	3.500
BASE	None		0.000

## RESPONSE SPECTRUM CASES

RESP SPEC CASE: EQSX

## BASIC RESPONSE SPECTRUM DATA

MODAL	DIRECTION	MODAL	SPECTRUM	TYPICAL
COMBO	COMBO	DAMPING	ANGLE	ECCEN
CQC	SRSS	0.0500	0.0000	0.0500

## RESPONSE SPECTRUM FUNCTION ASSIGNMENT DATA

DIRECTION	FUNCTION	SCALE FACT
U1	BKK5	3.0874
U2	----	N/A
UZ	----	N/A

RESP SPEC CASE: EQSY

## BASIC RESPONSE SPECTRUM DATA

MODAL	DIRECTION	MODAL	SPECTRUM	TYPICAL
COMBO	COMBO	DAMPING	ANGLE	ECCEN
CQC	SRSS	0.0500	0.0000	0.0500

## RESPONSE SPECTRUM FUNCTION ASSIGNMENT DATA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DIRECTION FUNCTION SCALE FACT

U1	----	N/A
U2	BKK5	3.0874
UZ	----	N/A

MASS SOURCE DATA

MASS LATERAL LUMP MASS  
 FROM MASS ONLY AT STORIES

Loads Yes Yes

MASS SOURCE LOADS

LOAD	MULTIPLIER
DEAD	1.0000
LIVE	0.2500
SDL	1.0000

MODAL PERIODS AND FREQUENCIES

MODE NUMBER	PERIOD (TIME)	FREQUENCY (CYCLES/TIME)	CIRCULAR FREQ (RADIANS/TIME)
Mode 1	4.11831	0.24282	1.52567
Mode 2	4.10646	0.24352	1.53007
Mode 3	1.82949	0.54660	3.43440
Mode 4	1.05086	0.95160	5.97911
Mode 5	1.04594	0.95608	6.00721
Mode 6	0.69555	1.43770	9.03335
Mode 7	0.49700	2.01206	12.64214
Mode 8	0.49436	2.02281	12.70967
Mode 9	0.42522	2.35172	14.77627
Mode 10	0.31027	3.22301	20.25076
Mode 11	0.30933	3.23278	20.31214
Mode 12	0.30906	3.23558	20.32972

MODAL PARTICIPATING MASS RATIOS

MODE NUMBER	X-TRANS %MASS <SUM>	Y-TRANS %MASS <SUM>	Z-TRANS %MASS <SUM>	RX-ROTN %MASS <SUM>	RY-ROTN %MASS <SUM>	RZ-ROTN %MASS <SUM>
Mode 1	59.57 <60>	0.00 <0>	0.00 <0>	0.00 <0>	97.07 <97>	0.00 <0>
Mode 2	0.00 <60>	59.59 <60>	0.00 <0>	97.08 <97>	0.00 <97>	0.00 <0>
Mode 3	0.00 <60>	0.00 <60>	0.00 <0>	0.00 <97>	0.00 <97>	75.38 <75>
Mode 4	20.52 <80>	0.00 <60>	0.00 <0>	0.00 <97>	2.55 <100>	0.00 <75>
Mode 5	0.00 <80>	20.56 <80>	0.00 <0>	2.54 <100>	0.00 <100>	0.00 <75>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Mode 6	0.00 < 80>	0.00 < 80>	0.00 < 0>	0.00 <100>	0.00 <100>	11.97 < 87>
Mode 7	7.29 < 87>	0.00 < 80>	0.00 < 0>	0.00 <100>	0.29 <100>	0.00 < 87>
Mode 8	0.00 < 87>	7.28 < 87>	0.00 < 0>	0.29 <100>	0.00 <100>	0.00 < 87>
Mode 9	0.00 < 87>	0.00 < 87>	0.00 < 0>	0.00 <100>	0.00 <100>	4.20 < 92>
Mode 10	3.61 < 91>	0.00 < 87>	0.00 < 0>	0.00 <100>	0.06 <100>	0.00 < 92>
Mode 11	0.00 < 91>	3.59 < 91>	0.00 < 0>	0.06 <100>	0.00 <100>	0.00 < 92>
Mode 12	0.00 < 91>	0.00 < 91>	0.00 < 0>	0.00 <100>	0.00 <100>	2.12 < 94>

## TOTAL REACTIVE FORCES (RECOVERED LOADS) AT ORIGIN

LOAD	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
DEAD	-3.255E-09	-1.057E-09	1.248E+05	2.808E+06	-2.808E+06	5.464E-08
LIVE	-8.712E-10	-2.730E-10	3.375E+04	7.594E+05	-7.594E+05	1.494E-08
SDL	-7.263E-10	-2.271E-10	2.812E+04	6.328E+05	-6.328E+05	1.247E-08
WX	-1.819E+03	9.906E-09	3.283E-09	-1.444E-06	-2.199E+05	3.227E+04
WY	1.026E-08	-1.806E+03	7.517E-10	2.183E+05	1.530E-06	-4.929E+04
EQSX	2.453E+03	2.243E-03	4.038E-09	1.627E-02	2.637E+05	6.521E+04
EQSY	4.108E-03	2.458E+03	9.920E-10	2.643E+05	2.669E-02	6.533E+04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PROJECT INFORMATION : ETABS v9.7.4 File:20150111\_1400\_MS0\_FINAL Units:Ton-m

## STORY DATA

STORY	SIMILAR TO	HEIGHT	ELEVATION
STORY60	STORY01	3.500	210.000
STORY59	STORY01	3.500	206.500
STORY58	STORY01	3.500	203.000
STORY57	STORY01	3.500	199.500
STORY56	STORY01	3.500	196.000
STORY55	STORY01	3.500	192.500
STORY54	STORY01	3.500	189.000
STORY53	STORY01	3.500	185.500
STORY52	STORY01	3.500	182.000
STORY51	STORY01	3.500	178.500
STORY50	STORY01	3.500	175.000
STORY49	STORY01	3.500	171.500
STORY48	STORY01	3.500	168.000
STORY47	STORY01	3.500	164.500
STORY46	STORY01	3.500	161.000
STORY45	STORY01	3.500	157.500
STORY44	STORY01	3.500	154.000
STORY43	STORY01	3.500	150.500
STORY42	STORY01	3.500	147.000
STORY41	STORY01	3.500	143.500
STORY40	STORY01	3.500	140.000
STORY39	STORY01	3.500	136.500
STORY38	STORY01	3.500	133.000
STORY37	STORY01	3.500	129.500
STORY36	STORY01	3.500	126.000
STORY35	STORY01	3.500	122.500
STORY34	STORY01	3.500	119.000
STORY33	STORY01	3.500	115.500
STORY32	STORY01	3.500	112.000
STORY31	STORY01	3.500	108.500
STORY30	STORY01	3.500	105.000
STORY29	STORY01	3.500	101.500
STORY28	STORY01	3.500	98.000
STORY27	STORY01	3.500	94.500
STORY26	STORY01	3.500	91.000
STORY25	STORY01	3.500	87.500
STORY24	STORY01	3.500	84.000
STORY23	STORY01	3.500	80.500
STORY22	STORY01	3.500	77.000
STORY21	STORY01	3.500	73.500
STORY20	STORY01	3.500	70.000
STORY19	STORY01	3.500	66.500
STORY18	STORY01	3.500	63.000
STORY17	STORY01	3.500	59.500

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STORY16	STORY01	3.500	56.000
STORY15	STORY01	3.500	52.500
STORY14	STORY01	3.500	49.000
STORY13	STORY01	3.500	45.500
STORY12	STORY01	3.500	42.000
STORY11	STORY01	3.500	38.500
STORY10	STORY01	3.500	35.000
STORY09	STORY01	3.500	31.500
STORY08	STORY01	3.500	28.000
STORY07	STORY01	3.500	24.500
STORY06	STORY01	3.500	21.000
STORY05	STORY01	3.500	17.500
STORY04	STORY01	3.500	14.000
STORY03	STORY01	3.500	10.500
STORY02	STORY01	3.500	7.000
STORY01	None	3.500	3.500
BASE	None		0.000

## RESPONSE SPECTRUM CASES

RESP SPEC CASE: EQSX

## BASIC RESPONSE SPECTRUM DATA

MODAL	DIRECTION	MODAL	SPECTRUM	TYPICAL
COMBO	COMBO	DAMPING	ANGLE	ECCEN
CQC	SRSS	0.0500	0.0000	0.0500

## RESPONSE SPECTRUM FUNCTION ASSIGNMENT DATA

DIRECTION FUNCTION SCALE FACT

U1	BKK5	3.0874
U2	----	N/A
UZ	----	N/A

RESP SPEC CASE: EQSY

## BASIC RESPONSE SPECTRUM DATA

MODAL	DIRECTION	MODAL	SPECTRUM	TYPICAL
COMBO	COMBO	DAMPING	ANGLE	ECCEN
CQC	SRSS	0.0500	0.0000	0.0500

## RESPONSE SPECTRUM FUNCTION ASSIGNMENT DATA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## DIRECTION FUNCTION SCALE FACT

U1	----	N/A
U2	BKK5	3.0874
UZ	----	N/A

## MASS SOURCE DATA

MASS LATERAL LUMP MASS  
FROM MASS ONLY AT STORIES

Loads Yes Yes

## MASS SOURCE LOADS

LOAD	MULTIPLIER
DEAD	1.0000
LIVE	0.2500
SDL	1.0000

## MODAL PERIODS AND FREQUENCIES

MODE NUMBER	PERIOD (TIME)	FREQUENCY (CYCLES/TIME)	CIRCULAR FREQ (RADIANS/TIME)
Mode 1	7.09454	0.14095	0.88564
Mode 2	7.03531	0.14214	0.89309
Mode 3	2.66947	0.37461	2.35372
Mode 4	1.86307	0.53675	3.37249
Mode 5	1.85280	0.53972	3.39118
Mode 6	0.93411	1.07053	6.72636
Mode 7	0.85719	1.16660	7.32997
Mode 8	0.85010	1.17634	7.39113
Mode 9	0.52293	1.91232	12.01546
Mode 10	0.44248	2.26001	14.20007
Mode 11	0.43952	2.27520	14.29551
Mode 12	0.35563	2.81192	17.66780

## MODAL PARTICIPATING MASS RATIOS

MODE NUMBER	X-TRANS %MASS <SUM>	Y-TRANS %MASS <SUM>	Z-TRANS %MASS <SUM>	RX-ROTN %MASS <SUM>	RY-ROTN %MASS <SUM>	RZ-ROTN %MASS <SUM>
Mode 1	65.68 <66>	0.00 <0>	0.00 <0>	0.00 <0>	98.71 <99>	0.00 <0>
Mode 2	0.00 <66>	65.89 <66>	0.00 <0>	98.76 <99>	0.00 <99>	0.00 <0>
Mode 3	0.00 <66>	0.00 <66>	0.00 <0>	0.00 <99>	0.00 <99>	94.49 <94>
Mode 4	30.42 <96>	0.00 <66>	0.00 <0>	0.00 <99>	1.06 <100>	0.00 <94>
Mode 5	0.00 <96>	30.33 <96>	0.00 <0>	1.00 <100>	0.00 <100>	0.00 <94>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Mode 6	0.00 <96>	0.00 <96>	0.00 <0>	0.00 <100>	0.00 <100>	4.72 <99>
Mode 7	3.61 <100>	0.00 <96>	0.00 <0>	0.00 <100>	0.11 <100>	0.00 <99>
Mode 8	0.00 <100>	3.49 <100>	0.00 <0>	0.11 <100>	0.00 <100>	0.00 <99>
Mode 9	0.00 <100>	0.00 <100>	0.00 <0>	0.00 <100>	0.00 <100>	0.57 <100>
Mode 10	0.25 <100>	0.00 <100>	0.00 <0>	0.00 <100>	0.08 <100>	0.00 <100>
Mode 11	0.00 <100>	0.24 <100>	0.00 <0>	0.08 <100>	0.00 <100>	0.00 <100>
Mode 12	0.00 <100>	0.00 <100>	0.00 <0>	0.00 <100>	0.00 <100>	0.14 <100>

## TOTAL REACTIVE FORCES (RECOVERED LOADS) AT ORIGIN

LOAD	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
DEAD	-4.653E-09	-1.716E-09	1.222E+05	2.751E+06	-2.751E+06	7.223E-08
LIVE	-9.197E-10	-3.384E-10	3.375E+04	7.594E+05	-7.594E+05	1.441E-08
SDL	-7.636E-10	-2.840E-10	2.812E+04	6.328E+05	-6.328E+05	1.187E-08
WX	-1.819E+03	3.554E-08	-7.024E-09	-5.223E-06	-2.199E+05	3.227E+04
WY	3.580E-08	-1.806E+03	1.979E-08	2.183E+05	4.631E-06	-4.929E+04
EQSX	2.932E+03	2.457E-04	2.978E-08	3.250E-02	1.915E+05	7.726E+04
EQSY	2.484E-04	2.923E+03	3.320E-08	1.914E+05	2.698E-02	7.703E+04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PROJECT INFORMATION : ETABS v9.7.4 File:20150111\_1400\_MS1\_FINAL Units:Ton-m

## STORY DATA

STORY	SIMILAR TO	HEIGHT	ELEVATION
STORY60	STORY01	3.500	210.000
STORY59	STORY01	3.500	206.500
STORY58	STORY01	3.500	203.000
STORY57	STORY01	3.500	199.500
STORY56	STORY01	3.500	196.000
STORY55	STORY01	3.500	192.500
STORY54	STORY01	3.500	189.000
STORY53	STORY01	3.500	185.500
STORY52	STORY01	3.500	182.000
STORY51	STORY01	3.500	178.500
STORY50	STORY01	3.500	175.000
STORY49	STORY01	3.500	171.500
STORY48	STORY01	3.500	168.000
STORY47	STORY01	3.500	164.500
STORY46	STORY01	3.500	161.000
STORY45	STORY01	3.500	157.500
STORY44	STORY01	3.500	154.000
STORY43	STORY01	3.500	150.500
STORY42	STORY01	3.500	147.000
STORY41	STORY01	3.500	143.500
STORY40	STORY01	3.500	140.000
STORY39	STORY01	3.500	136.500
STORY38	STORY01	3.500	133.000
STORY37	STORY01	3.500	129.500
STORY36	STORY01	3.500	126.000
STORY35	STORY01	3.500	122.500
STORY34	STORY01	3.500	119.000
STORY33	STORY01	3.500	115.500
STORY32	STORY01	3.500	112.000
STORY31	STORY01	3.500	108.500
STORY30	STORY01	3.500	105.000
STORY29	STORY01	3.500	101.500
STORY28	STORY01	3.500	98.000
STORY27	STORY01	3.500	94.500
STORY26	STORY01	3.500	91.000
STORY25	STORY01	3.500	87.500
STORY24	STORY01	3.500	84.000
STORY23	STORY01	3.500	80.500
STORY22	STORY01	3.500	77.000
STORY21	STORY01	3.500	73.500
STORY20	STORY01	3.500	70.000
STORY19	STORY01	3.500	66.500
STORY18	STORY01	3.500	63.000
STORY17	STORY01	3.500	59.500

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการแข่งขันเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STORY16	STORY01	3.500	56.000
STORY15	STORY01	3.500	52.500
STORY14	STORY01	3.500	49.000
STORY13	STORY01	3.500	45.500
STORY12	STORY01	3.500	42.000
STORY11	STORY01	3.500	38.500
STORY10	STORY01	3.500	35.000
STORY09	STORY01	3.500	31.500
STORY08	STORY01	3.500	28.000
STORY07	STORY01	3.500	24.500
STORY06	STORY01	3.500	21.000
STORY05	STORY01	3.500	17.500
STORY04	STORY01	3.500	14.000
STORY03	STORY01	3.500	10.500
STORY02	STORY01	3.500	7.000
STORY01	None	3.500	3.500
BASE	None		0.000

RESPONSE SPECTRUM CASES

RESP SPEC CASE: EQSX

BASIC RESPONSE SPECTRUM DATA

MODAL	DIRECTION	MODAL	SPECTRUM	TYPICAL
COMBO	COMBO	DAMPING	ANGLE	ECCEN
CQC	SRSS	0.0500	0.0000	0.0500

RESPONSE SPECTRUM FUNCTION ASSIGNMENT DATA

DIRECTION FUNCTION SCALE FACT

U1	BKK5	3.0874
U2	----	N/A
UZ	----	N/A

RESP SPEC CASE: EQSY

BASIC RESPONSE SPECTRUM DATA

MODAL	DIRECTION	MODAL	SPECTRUM	TYPICAL
COMBO	COMBO	DAMPING	ANGLE	ECCEN
CQC	SRSS	0.0500	0.0000	0.0500

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## RESPONSE SPECTRUM FUNCTION ASSIGNMENT DATA

DIRECTION FUNCTION SCALE FACT

U1	----	N/A
U2	BKK5	3.0874
UZ	----	N/A

## MASS SOURCE DATA

MASS	LATERAL	LUMP MASS
FROM	MASS ONLY	AT STORIES

Loads	Yes	Yes
-------	-----	-----

## MASS SOURCE LOADS

LOAD MULTIPLIER

DEAD	1.0000
LIVE	0.2500
SDL	1.0000

## MODAL PERIODS AND FREQUENCIES

MODE NUMBER	PERIOD (TIME)	FREQUENCY (CYCLES/TIME)	CIRCULAR FREQ (RADIANS/TIME)
Mode 1	5.51166	0.18143	1.13998
Mode 2	5.49619	0.18194	1.14319
Mode 3	2.66209	0.37564	2.36025
Mode 4	1.79652	0.55663	3.49742
Mode 5	1.78623	0.55984	3.51757
Mode 6	0.91927	1.08782	6.83496
Mode 7	0.83727	1.19435	7.50435
Mode 8	0.83140	1.20278	7.55731
Mode 9	0.52162	1.91711	12.04554
Mode 10	0.42888	2.33168	14.65037
Mode 11	0.42619	2.34637	14.74267
Mode 12	0.35137	2.84599	17.88188

## MODAL PARTICIPATING MASS RATIOS

MODE NUMBER	X-TRANS %MASS <SUM>	Y-TRANS %MASS <SUM>	Z-TRANS %MASS <SUM>	RX-ROTN %MASS <SUM>	RY-ROTN %MASS <SUM>	RZ-ROTN %MASS <SUM>
Mode 1	71.88 < 72>	0.00 < 0>	0.00 < 0>	0.00 < 0>	99.50 < 99>	0.00 < 0>
Mode 2	0.00 < 72>	72.02 < 72>	0.00 < 0>	99.51 < 100>	0.00 < 99>	0.00 < 0>
Mode 3	0.00 < 72>	0.00 < 72>	0.00 < 0>	0.00 < 100>	0.00 < 99>	94.89 < 95>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Mode 4	24.19 <96>	0.00 <72>	0.00 <0>	0.00 <100>	0.16 <100>	0.00 <95>
Mode 5	0.00 <96>	24.17 <96>	0.00 <0>	0.15 <100>	0.00 <100>	0.00 <95>
Mode 6	0.00 <96>	0.00 <96>	0.00 <0>	0.00 <100>	0.00 <100>	4.28 <99>
Mode 7	3.70 <100>	0.00 <96>	0.00 <0>	0.00 <100>	0.27 <100>	0.00 <99>
Mode 8	0.00 <100>	3.59 <100>	0.00 <0>	0.27 <100>	0.00 <100>	0.00 <99>
Mode 9	0.00 <100>	0.00 <100>	0.00 <0>	0.00 <100>	0.00 <100>	0.62 <100>
Mode 10	0.18 <100>	0.00 <100>	0.00 <0>	0.00 <100>	0.02 <100>	0.00 <100>
Mode 11	0.00 <100>	0.18 <100>	0.00 <0>	0.02 <100>	0.00 <100>	0.00 <100>
Mode 12	0.00 <100>	0.00 <100>	0.00 <0>	0.00 <100>	0.00 <100>	0.11 <100>

## TOTAL REACTIVE FORCES (RECOVERED LOADS) AT ORIGIN

LOAD	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
DEAD	-5.244E-09	-1.873E-09	1.231E+05	2.770E+06	-2.770E+06	8.385E-08
LIVE	-1.333E-09	-4.572E-10	3.375E+04	7.594E+05	-7.594E+05	2.184E-08
SDL	-1.101E-09	-3.777E-10	2.812E+04	6.328E+05	-6.328E+05	1.804E-08
WX	-1.819E+03	2.351E-08	-3.389E-08	-3.772E-06	-2.199E+05	3.227E+04
WY	2.533E-08	-1.806E+03	-3.907E-08	2.183E+05	4.084E-06	-4.929E+04
EQSX	2.617E+03	1.388E-04	6.050E-09	1.443E-02	2.133E+05	6.939E+04
EQSY	4.286E-04	2.618E+03	2.024E-08	2.141E+05	3.494E-02	6.938E+04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PROJECT INFORMATION : ETABS v9.7.4 File:20150111\_1400\_MS2\_FINAL Units:Ton-m

## STORY DATA

STORY	SIMILAR TO	HEIGHT	ELEVATION
STORY60	STORY01	3.500	210.000
STORY59	STORY01	3.500	206.500
STORY58	STORY01	3.500	203.000
STORY57	STORY01	3.500	199.500
STORY56	STORY01	3.500	196.000
STORY55	STORY01	3.500	192.500
STORY54	STORY01	3.500	189.000
STORY53	STORY01	3.500	185.500
STORY52	STORY01	3.500	182.000
STORY51	STORY01	3.500	178.500
STORY50	STORY01	3.500	175.000
STORY49	STORY01	3.500	171.500
STORY48	STORY01	3.500	168.000
STORY47	STORY01	3.500	164.500
STORY46	STORY01	3.500	161.000
STORY45	STORY01	3.500	157.500
STORY44	STORY01	3.500	154.000
STORY43	STORY01	3.500	150.500
STORY42	STORY01	3.500	147.000
STORY41	STORY01	3.500	143.500
STORY40	STORY01	3.500	140.000
STORY39	STORY01	3.500	136.500
STORY38	STORY01	3.500	133.000
STORY37	STORY01	3.500	129.500
STORY36	STORY01	3.500	126.000
STORY35	STORY01	3.500	122.500
STORY34	STORY01	3.500	119.000
STORY33	STORY01	3.500	115.500
STORY32	STORY01	3.500	112.000
STORY31	STORY01	3.500	108.500
STORY30	STORY01	3.500	105.000
STORY29	STORY01	3.500	101.500
STORY28	STORY01	3.500	98.000
STORY27	STORY01	3.500	94.500
STORY26	STORY01	3.500	91.000
STORY25	STORY01	3.500	87.500
STORY24	STORY01	3.500	84.000
STORY23	STORY01	3.500	80.500
STORY22	STORY01	3.500	77.000
STORY21	STORY01	3.500	73.500
STORY20	STORY01	3.500	70.000
STORY19	STORY01	3.500	66.500
STORY18	STORY01	3.500	63.000
STORY17	STORY01	3.500	59.500

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการแข่งขันเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STORY16	STORY01	3.500	56.000
STORY15	STORY01	3.500	52.500
STORY14	STORY01	3.500	49.000
STORY13	STORY01	3.500	45.500
STORY12	STORY01	3.500	42.000
STORY11	STORY01	3.500	38.500
STORY10	STORY01	3.500	35.000
STORY09	STORY01	3.500	31.500
STORY08	STORY01	3.500	28.000
STORY07	STORY01	3.500	24.500
STORY06	STORY01	3.500	21.000
STORY05	STORY01	3.500	17.500
STORY04	STORY01	3.500	14.000
STORY03	STORY01	3.500	10.500
STORY02	STORY01	3.500	7.000
STORY01	None	3.500	3.500
BASE	None		0.000

## RESPONSE SPECTRUM CASES

RESP SPEC CASE: EQSX

## BASIC RESPONSE SPECTRUM DATA

MODAL	DIRECTION	MODAL	SPECTRUM	TYPICAL
COMBO	COMBO	DAMPING	ANGLE	ECCEN
CQC	SRSS	0.0500	0.0000	0.0500

## RESPONSE SPECTRUM FUNCTION ASSIGNMENT DATA

DIRECTION FUNCTION SCALE FACT

U1	BKK5	3.0874
U2	----	N/A
UZ	----	N/A

RESP SPEC CASE: EQSY

## BASIC RESPONSE SPECTRUM DATA

MODAL	DIRECTION	MODAL	SPECTRUM	TYPICAL
COMBO	COMBO	DAMPING	ANGLE	ECCEN
CQC	SRSS	0.0500	0.0000	0.0500

## RESPONSE SPECTRUM FUNCTION ASSIGNMENT DATA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DIRECTION FUNCTION SCALE FACT

U1	----	N/A
U2	BKK5	3.0874
UZ	----	N/A

MASS SOURCE DATA

MASS LATERAL LUMP MASS  
 FROM MASS ONLY AT STORIES

Loads Yes Yes

MASS SOURCE LOADS

LOAD	MULTIPLIER
DEAD	1.0000
LIVE	0.2500
SDL	1.0000

MODAL PERIODS AND FREQUENCIES

MODE NUMBER	PERIOD (TIME)	FREQUENCY (CYCLES/TIME)	CIRCULAR FREQ (RADIANS/TIME)
Mode 1	5.12156	0.19525	1.22681
Mode 2	5.11299	0.19558	1.22887
Mode 3	2.65727	0.37633	2.36452
Mode 4	1.67818	0.59588	3.74404
Mode 5	1.67318	0.59766	3.75524
Mode 6	0.91349	1.09471	6.87824
Mode 7	0.77030	1.29820	8.15684
Mode 8	0.76512	1.30698	8.21201
Mode 9	0.51244	1.95146	12.26138
Mode 10	0.43124	2.31892	14.57018
Mode 11	0.42904	2.33080	14.64487
Mode 12	0.35281	2.83440	17.80906

MODAL PARTICIPATING MASS RATIOS

MODE NUMBER	X-TRANS %MASS <SUM>	Y-TRANS %MASS <SUM>	Z-TRANS %MASS <SUM>	RX-ROTN %MASS <SUM>	RY-ROTN %MASS <SUM>	RZ-ROTN %MASS <SUM>
Mode 1	73.97 < 74>	0.00 < 0>	0.00 < 0>	0.00 < 0>	99.61 < 100>	0.00 < 0>
Mode 2	0.00 < 74>	74.06 < 74>	0.00 < 0>	99.61 < 100>	0.00 < 100>	0.00 < 0>
Mode 3	0.00 < 74>	0.00 < 74>	0.00 < 0>	0.00 < 100>	0.00 < 100>	95.07 < 95>
Mode 4	23.64 < 98>	0.00 < 74>	0.00 < 0>	0.00 < 100>	0.01 < 100>	0.00 < 95>
Mode 5	0.00 < 98>	23.61 < 98>	0.00 < 0>	0.01 < 100>	0.00 < 100>	0.00 < 95>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Mode 6	0.00 <98>	0.00 <98>	0.00 <0>	0.00 <100>	0.00 <100>	4.19 <99>
Mode 7	2.07 <100>	0.00 <98>	0.00 <0>	0.00 <100>	0.25 <100>	0.00 <99>
Mode 8	0.00 <100>	2.03 <100>	0.00 <0>	0.25 <100>	0.00 <100>	0.00 <99>
Mode 9	0.00 <100>	0.00 <100>	0.00 <0>	0.00 <100>	0.00 <100>	0.49 <100>
Mode 10	0.29 <100>	0.00 <100>	0.00 <0>	0.00 <100>	0.10 <100>	0.00 <100>
Mode 11	0.00 <100>	0.28 <100>	0.00 <0>	0.10 <100>	0.00 <100>	0.00 <100>
Mode 12	0.00 <100>	0.00 <100>	0.00 <0>	0.00 <100>	0.00 <100>	0.17 <100>

## TOTAL REACTIVE FORCES (RECOVERED LOADS) AT ORIGIN

LOAD	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
DEAD	-5.351E-09	-1.972E-09	1.239E+05	2.789E+06	-2.789E+06	8.362E-08
LIVE	-1.401E-09	-5.240E-10	3.375E+04	7.594E+05	-7.594E+05	2.189E-08
SDL	-1.162E-09	-4.367E-10	2.812E+04	6.328E+05	-6.328E+05	1.816E-08
WX	-1.819E+03	1.650E-08	-1.042E-08	-2.842E-06	-2.199E+05	3.227E+04
WY	1.821E-08	-1.806E+03	3.775E-08	2.183E+05	1.850E-06	-4.929E+04
EQSX	2.666E+03	2.002E-04	2.940E-08	2.185E-02	2.324E+05	7.027E+04
EQSY	5.111E-04	2.665E+03	1.579E-08	2.329E+05	4.884E-02	7.025E+04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PROJECT INFORMATION : ETABS v9.7.4 File:20150111\_1400\_MS3\_FINAL Units:Ton-m

## STORY DATA

STORY	SIMILAR TO	HEIGHT	ELEVATION
STORY60	STORY01	3.500	210.000
STORY59	STORY01	3.500	206.500
STORY58	STORY01	3.500	203.000
STORY57	STORY01	3.500	199.500
STORY56	STORY01	3.500	196.000
STORY55	STORY01	3.500	192.500
STORY54	STORY01	3.500	189.000
STORY53	STORY01	3.500	185.500
STORY52	STORY01	3.500	182.000
STORY51	STORY01	3.500	178.500
STORY50	STORY01	3.500	175.000
STORY49	STORY01	3.500	171.500
STORY48	STORY01	3.500	168.000
STORY47	STORY01	3.500	164.500
STORY46	STORY01	3.500	161.000
STORY45	STORY01	3.500	157.500
STORY44	STORY01	3.500	154.000
STORY43	STORY01	3.500	150.500
STORY42	STORY01	3.500	147.000
STORY41	STORY01	3.500	143.500
STORY40	STORY01	3.500	140.000
STORY39	STORY01	3.500	136.500
STORY38	STORY01	3.500	133.000
STORY37	STORY01	3.500	129.500
STORY36	STORY01	3.500	126.000
STORY35	STORY01	3.500	122.500
STORY34	STORY01	3.500	119.000
STORY33	STORY01	3.500	115.500
STORY32	STORY01	3.500	112.000
STORY31	STORY01	3.500	108.500
STORY30	STORY01	3.500	105.000
STORY29	STORY01	3.500	101.500
STORY28	STORY01	3.500	98.000
STORY27	STORY01	3.500	94.500
STORY26	STORY01	3.500	91.000
STORY25	STORY01	3.500	87.500
STORY24	STORY01	3.500	84.000
STORY23	STORY01	3.500	80.500
STORY22	STORY01	3.500	77.000
STORY21	STORY01	3.500	73.500
STORY20	STORY01	3.500	70.000
STORY19	STORY01	3.500	66.500
STORY18	STORY01	3.500	63.000
STORY17	STORY01	3.500	59.500

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STORY16	STORY01	3.500	56.000
STORY15	STORY01	3.500	52.500
STORY14	STORY01	3.500	49.000
STORY13	STORY01	3.500	45.500
STORY12	STORY01	3.500	42.000
STORY11	STORY01	3.500	38.500
STORY10	STORY01	3.500	35.000
STORY09	STORY01	3.500	31.500
STORY08	STORY01	3.500	28.000
STORY07	STORY01	3.500	24.500
STORY06	STORY01	3.500	21.000
STORY05	STORY01	3.500	17.500
STORY04	STORY01	3.500	14.000
STORY03	STORY01	3.500	10.500
STORY02	STORY01	3.500	7.000
STORY01	None	3.500	3.500
BASE	None		0.000

## RESPONSE SPECTRUM CASES

RESP SPEC CASE: EQSX

## BASIC RESPONSE SPECTRUM DATA

MODAL	DIRECTION	MODAL	SPECTRUM	TYPICAL
COMBO	COMBO	DAMPING	ANGLE	ECCEN
CQC	SRSS	0.0500	0.0000	0.0500

## RESPONSE SPECTRUM FUNCTION ASSIGNMENT DATA

DIRECTION FUNCTION SCALE FACT

U1	BKK5	3.0874
U2	---	N/A
UZ	---	N/A

RESP SPEC CASE: EQSY

## BASIC RESPONSE SPECTRUM DATA

MODAL	DIRECTION	MODAL	SPECTRUM	TYPICAL
COMBO	COMBO	DAMPING	ANGLE	ECCEN
CQC	SRSS	0.0500	0.0000	0.0500

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## RESPONSE SPECTRUM FUNCTION ASSIGNMENT DATA

DIRECTION    FUNCTION    SCALE FACT

U1	----	N/A
U2	BKK5	3.0874
UZ	----	N/A

## MASS SOURCE DATA

MASS	LATERAL	LUMP MASS
FROM	MASS ONLY	AT STORIES

Loads	Yes	Yes
-------	-----	-----

## MASS SOURCE LOADS

LOAD    MULTIPLIER

DEAD	1.0000
LIVE	0.2500
SDL	1.0000

## MODAL PERIODS AND FREQUENCIES

MODE NUMBER	PERIOD (TIME)	FREQUENCY (CYCLES/TIME)	CIRCULAR FREQ (RADIAN/TIME)
Mode 1	4.94467	0.20224	1.27070
Mode 2	4.93872	0.20248	1.27223
Mode 3	2.64850	0.37757	2.37236
Mode 4	1.63309	0.61233	3.84741
Mode 5	1.62989	0.61354	3.85496
Mode 6	0.90250	1.10803	6.96198
Mode 7	0.72281	1.38349	8.69270
Mode 8	0.71952	1.38981	8.73246
Mode 9	0.50254	1.98991	12.50296
Mode 10	0.40473	2.47080	15.52450
Mode 11	0.40281	2.48259	15.59856
Mode 12	0.34763	2.87662	18.07433

## MODAL PARTICIPATING MASS RATIOS

MODE NUMBER	X-TRANS %MASS <SUM>	Y-TRANS %MASS <SUM>	Z-TRANS %MASS <SUM>	RX-ROTN %MASS <SUM>	RY-ROTN %MASS <SUM>	RZ-ROTN %MASS <SUM>
Mode 1	74.72 <75>	0.00 <0>	0.00 <0>	0.00 <0>	99.58 <100>	0.00 <0>
Mode 2	0.00 <75>	74.79 <75>	0.00 <0>	99.59 <100>	0.00 <100>	0.00 <0>
Mode 3	0.00 <75>	0.00 <75>	0.00 <0>	0.00 <100>	0.00 <100>	95.31 <95>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Mode 4	23.46 < 98>	0.00 < 75>	0.00 < 0>	0.00 <100>	0.00 <100>	0.00 < 95>
Mode 5	0.00 < 98>	23.42 < 98>	0.00 < 0>	0.00 <100>	0.00 <100>	0.00 < 95>
Mode 6	0.00 < 98>	0.00 < 98>	0.00 < 0>	0.00 <100>	0.00 <100>	4.01 < 99>
Mode 7	1.60 <100>	0.00 < 98>	0.00 < 0>	0.00 <100>	0.28 <100>	0.00 < 99>
Mode 8	0.00 <100>	1.58 <100>	0.00 < 0>	0.28 <100>	0.00 <100>	0.00 < 99>
Mode 9	0.00 <100>	0.00 <100>	0.00 < 0>	0.00 <100>	0.00 <100>	0.47 <100>
Mode 10	0.17 <100>	0.00 <100>	0.00 < 0>	0.00 <100>	0.09 <100>	0.00 <100>
Mode 11	0.00 <100>	0.16 <100>	0.00 < 0>	0.09 <100>	0.00 <100>	0.00 <100>
Mode 12	0.00 <100>	0.00 <100>	0.00 < 0>	0.00 <100>	0.00 <100>	0.11 <100>

## TOTAL REACTIVE FORCES (RECOVERED LOADS) AT ORIGIN

LOAD	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
DEAD	-5.543E-09	-2.091E-09	1.248E+05	2.808E+06	-2.808E+06	8.563E-08
LIVE	-1.467E-09	-5.555E-10	3.375E+04	7.594E+05	-7.594E+05	2.272E-08
SDL	-1.226E-09	-4.606E-10	2.812E+04	6.328E+05	-6.328E+05	1.903E-08
WX	-1.819E+03	1.771E-08	1.714E-08	-2.449E-06	-2.199E+05	3.227E+04
WY	2.250E-08	-1.806E+03	-2.473E-08	2.183E+05	2.935E-06	-4.929E+04
EQSX	2.711E+03	2.287E-05	1.785E-08	2.619E-03	2.427E+05	7.129E+04
EQSY	1.803E-04	2.710E+03	4.679E-09	2.432E+05	1.957E-02	7.126E+04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ง

บทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



พฤติกรรมของระบบเอาริกเกอร์และผนังรััด  
สำหรับอาคารสูงบนฐานรากแบบยืดหยุ่น  
Behavior of Outrigger and Belt wall System  
in High-rise Building on Flexible Foundation

สุวิศาล ถือทอง<sup>1\*</sup> อำนวย พานิชกุลพงษ์<sup>2</sup> และ อาทิตย์ เพชรศศิธร<sup>3</sup>

<sup>1</sup> นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จ.กรุงเทพฯ  
<sup>2,3</sup> อาจารย์ประจำ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จ.กรุงเทพฯ

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาพฤติกรรมของระบบเอาริกเกอร์และผนังรััดสำหรับอาคารสูงในพื้นที่กรุงเทพมหานครเมื่อรับแรงเนื่องจากแรงโน้มถ่วง แรงลม และแรงแผ่นดินไหว ตามมาตรฐานของกรมโยธาธิการและผังเมือง วิเคราะห์โดยใช้แบบจำลองโครงสร้าง 3 มิติ ของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กสูง 60 ชั้น มีผนังรับแรงเฉือนบริเวณกลางอาคารและเสารอบนอกร่วมกับโครงสร้างเอาริกเกอร์และผนังรััดหนึ่งระดับ สองระดับ และสามระดับ โดยจำลองโครงสร้างอาคารบนฐานรากแบบยึดแน่นและบนฐานรากแบบยืดหยุ่น โดยใช้ค่าสตีฟเนสของสปริงแทนเสาเข็ม จากนั้นทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบการตอบสนองของอาคาร พบว่าโครงสร้างระบบเอาริกเกอร์และผนังรััดบนฐานรากแบบยืดหยุ่น ให้ผลของโมเมนต์ดัดในผนังรับแรงเฉือนลดลง แต่เกิดแรงดึงในเสาด้านต้นลมและแรงอัดในเสาด้านท้ายลมเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ผลของคาบการสั่นพื้นฐานของโครงสร้างอาคาร ระยะการเคลื่อนตัวสัมพันธ์ระหว่างชั้น และระยะการเคลื่อนตัวด้านข้างของโครงสร้างอาคารมีค่ามากกว่าเมื่อเทียบกับโครงสร้างระบบเอาริกเกอร์และผนังรััดบนฐานรากแบบยึดแน่น

คำสำคัญ: เอาริกเกอร์ ผนังรััด การเคลื่อนตัวสัมพันธ์ระหว่างชั้น

Abstract

This research aims to indicate the behavior of the outrigger and Belt wall system in high-rise buildings in Bangkok area. Building designs are governed by the gravity, wind and seismic load leading to the complicated analysis in high-rise buildings. From the data of the Department of Public works and Town & Country Planning (DPT), the analysis of 60-stories reinforced concrete building was imitated in a specific 3D structural program. The building was stimulated into two main models including fixed supports and flexible foundation. The structure of building was assigned to be the wall-frame system as core

wall and exterior columns with one, two and three outrigger levels. The research showed the analysis and comparison of internal forces and building response among cases. The group of flexible foundation has shown the reduction in bending moment at core walls compared to the group of fixed supports. In the other hand, the axial force in the exterior columns, tensile on the windward and compressive on the leeward side has increased in flexible foundation models. Finally, fixed support models have experienced the decrease in fundamental period, inter-story drift and lateral displacement.

Keywords: Outrigger, Belt wall, Inter-story drift

1. บทนำ

ปัจจุบันในเมืองใหญ่ๆ อาคารสูงได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก เนื่องจากความหนาแน่นของประชากรมีมากขึ้นและมูลค่าของที่ดินที่สูงขึ้น รวมทั้งความต้องการในการใช้อาคารสูงเป็นสำนักงานและที่พักอาศัยเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นสิ่งทีวิศวกรโครงสร้างต้องคำนึงถึงมากที่สุด คือ อาคารต้องมีความปลอดภัยทั้งต่อชีวิตและทรัพย์สิน การเลือกใช้ระบบโครงสร้างอาคารสูงและการออกแบบจำเป็นต้องวิเคราะห์แรงเนื่องจากแรงโน้มถ่วงคือ น้ำหนักขององค์อาคาร และน้ำหนักบรรทุกจร รวมทั้งแรงด้านข้างที่กระทำต่ออาคาร เช่น แรงลมและแรงแผ่นดินไหว เป็นต้น สำหรับอาคารสูงส่วนใหญ่ในพื้นที่กรุงเทพมหานครใช้โครงสร้างระบบโครงอาคาร (Building Frame System) และระบบโครงสร้างแบบผสม (Dual System) ระหว่างโครงต้านการดัดร่วมกับระบบผนังรับแรงเฉือน แต่เมื่อระดับความสูงของอาคารเพิ่มขึ้นและมีความชะลูดมากขึ้นกำลังความสามารถของโครงสร้างที่ต้านทานต่อแรงกระทำด้านข้างก็ลดลง ทำให้อาคารมีการสั่นไหวได้ง่าย การเคลื่อนตัวด้านข้างบริเวณชั้นบนสุดของอาคารเกินกว่าค่าที่มาตรฐานกำหนดไว้ ดังนั้นการออกแบบโครงสร้างอาคารสูงจึงต้องคำนึงถึงความแข็งแรงและเสถียรภาพขององค์อาคารเป็นหลัก ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงเสนอเอาริกเกอร์และผนังรััด (Outrigger and Belt wall) ซึ่งเป็นโครงสร้างแบบผนังหรือคานลึกประมาณ 1-2 ชั้นของความสูงอาคารที่ยื่นออกมาจากผนังรับแรงเฉือนบริเวณกลางอาคารถึงเสารอบนอกและยึดเสาแต่ละต้นเข้าด้วยกัน ซึ่งทำให้โครงสร้างอาคารมีสติฟเนสเพิ่มขึ้นในบริเวณชั้นดังกล่าว

\* ผู้เขียนผู้รับผิดชอบบทความ (Corresponding author)

E-mail address: suwisan500@gmail.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

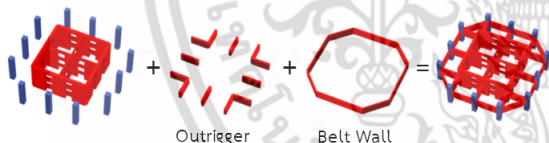
ดังนั้นงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลการวิเคราะห์พฤติกรรมของระบบเอาริกเกอร์และผนังรับแรงในรูปแบบต่างๆ ได้แก่ เอาริกเกอร์และผนังรับแรงระดับเอาริกเกอร์และผนังรับแรงสองระดับ และเอาริกเกอร์และผนังรับแรงสามระดับ สำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กสูง 60 ชั้น ที่มีผนังรับแรงเฉือนบริเวณกลางอาคารและเสารอบนอก ภายใต้การจำลองฐานรากแบบยึดแน่นและฐานรากแบบยึดหยุ่นเนื่องจากชั้นดินในพื้นที่กรุงเทพมหานครเป็นชั้นดินอ่อน การพิจารณาผลของฐานรากแบบยึดแน่นเพียงอย่างเดียวอาจไม่เพียงพอควรจะมีการวิเคราะห์ภายใต้การจำลองฐานรากแบบยึดหยุ่นด้วย โดยการใช้ค่าสตีเฟนสของสปริงแทนเสาเข็ม เพื่อเปรียบเทียบพฤติกรรมและผลการตอบสนองของโครงสร้างระบบเอาริกเกอร์และผนังรับ เนื่องจากแรงโน้มถ่วงและแรงกระทำด้านข้าง ได้แก่ แรงลม และแรงแผ่นดินไหวตามมาตรฐานของกรมโยธาธิการและผังเมือง ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้วิศวกรเข้าใจและเลือกใช้ระบบโครงสร้างอาคารสูงให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

2. บทความหลัก

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

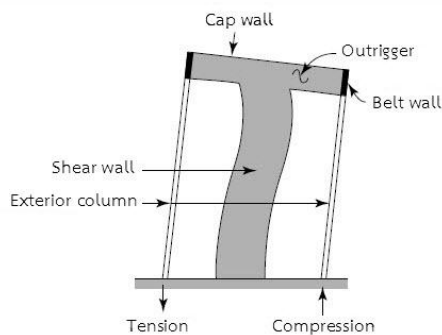
2.1.1 ระบบเอาริกเกอร์และผนังรับ

โครงสร้างระบบเอาริกเกอร์และผนังรับ [1] เป็นระบบโครงสร้างที่สามารถใช้กับอาคารสูงประมาณ 40-60 ชั้น ระบบนี้จะมีผนังรับแรงเฉือนอยู่บริเวณกลางอาคาร (Core wall หรือ Shear wall) และเสารอบนอก (Exterior column) โดยจะมีโครงถักหรือผนังถักประมาณ 1-2 ชั้นของความสูงอาคารยื่นออกมาจากผนังรับแรงเฉือนที่อยู่บริเวณกลางอาคารถึงเสารอบนอก เรียกว่า เอาริกเกอร์ (Outrigger) และโครงถักหรือผนังถักประมาณ 1-2 ชั้นของความสูงอาคารเช่นเดียวกันที่ยึดเสารอบนอกแต่ละต้นไว้ด้วยกันเรียกว่า ผนังรับหรือโครงถักรัด (Belt wall หรือ Belt Truss) ซึ่งทำให้โครงสร้างมีพฤติกรรมเป็นแบบ Cantilever tube-in-tube บริเวณชั้นที่มีเอาริกเกอร์และผนังรับ



รูปที่ 1 โครงสร้างระบบเอาริกเกอร์และผนังรับ

เพื่อให้เข้าใจพฤติกรรมของระบบเอาริกเกอร์พิจารณาอาคารที่มีการวางเอาริกเกอร์ไว้ที่ตำแหน่งด้านบนของอาคารที่เรียกว่า “cap wall” หรือ “hat wall system” ตามรูปที่ 2 ซึ่งเมื่อมีแรงกระทำด้านข้าง เช่น แรงลม จะทำให้เกิดแรงคู่ควบในเสาโดยเป็นแรงดึงสำหรับเสาด้านต้นลมและเป็นแรงอัดสำหรับเสาด้านท้ายลม ผนังรับแรงเฉือนบริเวณกลางอาคารเกิดการดัดงอส่งผลให้โมเมนต์ดัดในผนังรับแรงเฉือนที่ฐานลดลง



รูปที่ 2 ระบบเอาริกเกอร์แบบ cap wall

สมมุติว่าผนังรับแรงเฉือนกลางอาคารมีพฤติกรรมแบบคานยื่นแต่เมื่อมีเอาริกเกอร์และผนังรับแรงที่เชื่อมต่อกับผนังรับแรงเฉือนไปยังเสาทำให้บริเวณนั้นมีสตีเฟนสเพิ่มขึ้น การยึดและการหดตัวตามแนวแกนของเสาเท่ากับการหมุนของผนังรับแรงเฉือนคูณด้วยระยะทางไปยังแนวศูนย์กลางอาคาร ถ้าระยะทางจากเสาถึงแนวศูนย์กลางอาคารเท่ากับ  $d/2$  การเสียรูปตามแนวแกนของเสาจะเท่ากับ  $\theta d/2$  เมื่อ  $\theta$  คือ มุมหมุนของผนังรับแรงเฉือนกลางอาคาร ถ้ามุมหมุนเท่ากับ 1 หน่วย ( $\theta = 1$ ) การเสียรูปตามแนวแกนของเสาจะเท่ากับ  $1 \times d/2 = d/2$  หน่วย ดังนั้นแรงตามแนวแกนของเสาสามารถหาได้จากสมการที่ 1

$$P = AE \times \frac{d}{2L} \tag{1}$$

เมื่อ  $P$  คือ แรงตามแนวแกนเสา,  $A$  คือ พื้นที่หน้าตัดเสา,  $E$  คือ โมดูลัสยืดหยุ่นของวัสดุเสา,  $d$  คือ ระยะทางระหว่างเสาที่อยู่ตรงกันข้าม และ  $L$  คือ ความสูงของอาคาร

ค่าสตีเฟนสการหมุนของ cap wall เกิดจากแรงภายในเสาคูณด้วยระยะจากศูนย์กลางผนังรับแรงเฉือนไปยังเสาต้นที่พิจารณา โดยใช้สัญลักษณ์  $K$  แทนสตีเฟนสการหมุน และสังเกตได้ว่ามีเสาด้วยกัน 2 ต้น ซึ่งห่างจากศูนย์กลางผนังรับแรงเฉือนเป็นระยะทาง  $d/2$

$$K = P \times \frac{d}{2} \times 2$$

$$\text{ดังนั้น } K = \frac{AE}{L} \times \frac{d^2}{2} \tag{2}$$

2.1.2 การจำลองเสาเข็มด้วยสตีเฟนสของสปริง

การจำลองเสาเข็มด้วยสตีเฟนสของสปริง [2] สำหรับใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างบนฐานรากแบบยึดหยุ่น โดยการใช้ค่าสตีเฟนสของสปริงในแนวราบและแนวตั้งแทนเสาเข็ม

การจำลองเสาเข็มด้วยสตีเฟนสของสปริงของดินในแนวราบมีตัวแปรที่สำคัญ คือ โมดูลัสต้านทานแรงแนวราบของชั้นดิน (Modulus of horizontal subgrade reaction,  $k_s$ ) พารามิเตอร์ตัวดังกล่าวจะบอกถึงความสามารถในการต้านทานแรงทางข้างของเสาเข็มกับดินรอบข้าง ดังนั้นสตีเฟนสของสปริงของดินในแนวราบหาได้จากสมการที่ 3

$$K_h = k_s \times B \times \Delta L \tag{3}$$

เมื่อ  $K_h$  คือ สตีเฟนสของสปริงของดินในแนวราบ (ตันต่อเมตร),  $k_s$  คือ ค่าโมดูลัสต้านทานแรงแนวราบของดิน (ตันต่อลูกบาศก์เมตร),  $B$  คือ ความกว้างหรือเส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็ม (เมตร) และ  $\Delta L$  คือ ระยะเรียงของสปริง (เมตร)

ค่าโมดูลัสต้านทานแรงแนวราบของดินทราบหาได้จากสมการที่ 4

$$k_s = \frac{n_h \cdot x}{B} \tag{4}$$

เมื่อ  $n_h$  คือ ค่าต้านทานแรงกดแนวราบ (ตันต่อลูกบาศก์เมตร),  $x$  คือ ความลึก ณ จุดที่พิจารณา (เมตร) และ  $B$  คือ ความกว้างหรือเส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็ม (เมตร)

ค่าโมดูลัสต้านทานแรงแนวราบของดินเหนียวหาได้จากสมการที่ 5

$$k_s = 67 \frac{S_u}{B} \tag{5}$$

เมื่อ  $S_u$  คือ กำลังต้านทานแรงเฉือนของดินแบบไม่ระบายน้ำ (ตันต่อตารางเมตร) และ  $B$  คือ ความกว้างหรือเส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็ม (เมตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับงานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการจำลองเสาเข็มด้วยสติฟเนสของสปริงในแนวตั้งทางมาตรฐาน ATC-40 (1995) ได้แนะนำสูตรการคำนวณไว้โดยอาศัยหลักทางกลศาสตร์ของวัสดุที่ว่าสติฟเนสตามแนวแกนของเสาเข็มมีค่าเท่ากับ  $A_p E_p / L_p$  และเมื่อรวมผลของแรงเสียดทานผิวตลอดความยาวเสาเข็มก็ให้เพิ่มค่าดังกล่าวเป็นสองเท่า ตามสมการที่ 6

$$K_v = \frac{2A_p E_p}{L_p} \quad (6)$$

เมื่อ  $K_v$  คือ สติฟเนสของสปริงในแนวตั้ง (ตันต่อเมตร),  $A_p$  คือ พื้นที่หน้าตัดของเสาเข็ม (ตารางเมตร),  $E_p$  คือ โมดูลัสยืดหยุ่นของวัสดุทำเสาเข็ม (ตันต่อตารางเมตร) และ  $L_p$  คือ ความยาวของเสาเข็ม (เมตร)

2.2 ปรัชญาวิศวกรรม

การศึกษาและวิเคราะห์พฤติกรรมของระบบเอาริกเกอร์และผนังรั้วหรือโครงถักได้เริ่มมาตั้งแต่ช่วงคริสต์ศักราช 1974 เป็นต้นมาโดย B.S. Taranath [3] ได้วิเคราะห์หาค่าตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับโครงถักเพื่อลดการเคลื่อนตัวด้านข้างเนื่องจากแรงลมโดยใช้การวิเคราะห์อย่างง่าย ต่อมา J.W. McNabb และ B.B. Muvdi [4] ได้ขยายผลการศึกษาโดยวิเคราะห์ในรูปแบบของเอาริกเกอร์สองระดับ เพื่อเปรียบเทียบระยะการเคลื่อนตัวด้านข้างและระยะการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นที่ลดลงเนื่องจากผลของการใช้ระบบเอาริกเกอร์ และในปีเดียวกัน J.W. McNabb และ B.B. Muvdi ได้ยืนยันผลการศึกษาของ B.S. Taranath ว่าตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับเอาริกเกอร์หนึ่งระดับอยู่ที่ 0.445 ของความสูงอาคารจากด้านบน และแสดงให้เห็นว่าตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับเอาริกเกอร์สองระดับอยู่ที่ 0.312 และ 0.685 ของความสูงอาคารจากด้านบน หลังจากนั้นนักวิจัยได้มีการศึกษากันเรื่อยมา

พฤติกรรมทางสถิติศาสตร์และพลศาสตร์เกี่ยวกับระบบเอาริกเกอร์ได้มีนักวิจัย [5] ศึกษาจากโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กสูง 40 ชั้น วิเคราะห์ด้วยแบบจำลอง 3 มิติ จากตำแหน่งของเอาริกเกอร์อยู่ที่ 0.975, 0.75, 0.50 และ 0.40 ของความสูงอาคารจากด้านล่างเมื่อเปรียบเทียบผลของระยะการเคลื่อนตัวด้านข้างและดัชนีการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นพบว่าเอาริกเกอร์ที่ระดับ 0.50 ของความสูงอาคารจากด้านล่างทำให้โครงสร้างมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นสูงสุด สำหรับพฤติกรรมของระบบเอาริกเกอร์ที่รับแรงแผ่นดินไหว [6] ของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กสูง 50 ชั้น เอาริกเกอร์เป็นแบบคานลึก เสาและผนังรับแรงเฉือนมีขนาดหน้าตัดสม่ำเสมอตลอดความสูง โดยจุดต่อระหว่างเอาริกเกอร์กับผนังรับแรงเฉือนเป็นแบบยึดแน่น พบว่าตำแหน่งที่เหมาะสมของเอาริกเกอร์อยู่ที่ระดับ 0.44-0.48 ของความสูงอาคารจากด้านล่าง นอกจากนี้ยังมีผู้วิจัย [7] ผลของการใช้ระบบเอาริกเกอร์สำหรับโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กสูง 60 ชั้น รับแรงกระทำด้านข้างจากแรงลมและแรงแผ่นดินไหว วิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม ETABS พบว่ามีระยะการเคลื่อนตัวด้านข้างลดลง 18% เมื่อใช้เอาริกเกอร์สองระดับโดยตำแหน่งแรกอยู่ที่บริเวณชั้นบนสุดของอาคารและตำแหน่งที่สองอยู่ที่ชั้น 33 หรือระดับ 0.55 ของความสูงอาคารจากด้านล่าง จากผลของการวิจัย [8] ระบบเอาริกเกอร์สามารถนำมาใช้ในการควบคุมการเคลื่อนตัวด้านข้างของอาคารคอมโพสิตโดยศึกษาจากแบบจำลองสูง 60 ชั้น เอาริกเกอร์เป็นโครงสร้างหลัก ซึ่งพบว่าระยะการเคลื่อนตัวด้านข้างลดลง 34% สำหรับเอาริกเกอร์หนึ่งระดับ, 42% สำหรับเอาริกเกอร์สองระดับ และ 51% สำหรับเอาริกเกอร์สามระดับเมื่อเทียบกับโครงสร้างอาคารคอมโพสิตที่ไม่มีเอาริกเกอร์

งานวิจัยข้างต้นเป็นการศึกษาระบบเอาริกเกอร์โดยสมมติฐานให้ผนังรับแรงเฉือนซึ่งเป็นโครงสร้างหลักในการรับแรงด้านข้างมีจุดรองรับแบบยึดแน่น (Fixed Support) ซึ่งต่อมามีการวิจัย [9] เสนอพารามิเตอร์สำหรับ

วิเคราะห์ระบบเอาริกเกอร์บนฐานรากแบบยึดหยุ่นเพื่อใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการออกแบบแต่การวิเคราะห์ที่ใช้สติฟเนสของสปริงยึดหยุ่นเชิงเส้นในแนวตั้งเพียงอย่างเดียวโดยไม่คำนึงถึงสติฟเนสของสปริงในแนวราบ

สำหรับการวิเคราะห์โครงสร้างบนฐานรากแบบยึดหยุ่นโดยใช้ค่าสติฟเนสของสปริงแทนเสาเข็ม [10] ได้แสดงวิธีการหาค่าสติฟเนสของสปริงยึดหยุ่นเชิงเส้นในแนวราบและในแนวตั้งโดยอาศัยข้อมูลจากชั้นดินในพื้นที่กรุงเทพมหานครและนำมาวิเคราะห์หาพฤติกรรมการตอบสนองของอาคารจากผลของปฏิสัมพันธ์ระหว่างดินและโครงสร้าง

2.3 ระเบียบวิธีวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาและเปรียบเทียบพฤติกรรมของระบบเอาริกเกอร์ ในรูปแบบต่างๆ บนฐานรากแบบยึดแน่นและฐานรากแบบยึดหยุ่นโดยใช้ค่าสติฟเนสของสปริงแทนเสาเข็ม ศึกษาและเปรียบเทียบพฤติกรรมในด้านต่างๆ ดังนี้ คาบการสั่นพื้นฐานของโครงสร้างอาคาร (Fundamental Period), ระยะการเคลื่อนตัวด้านข้าง (Lateral Displacement), การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น (Inter-story Drift) และ แรงตามแนวแกนแรงเฉือนและโมเมนต์ดัด (Axial Force, Shear Force and Bending Moment)

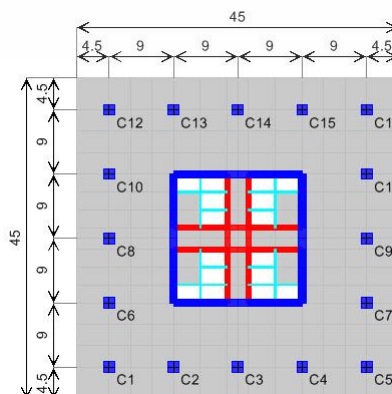
การวิเคราะห์จะขึ้นอยู่กับสมมติฐานดังต่อไปนี้ คือ จุดต่อระหว่างเอาริกเกอร์กับผนังรับแรงเฉือนเป็นแบบข้อแข็ง (Rigid) คุณสมบัติของวัสดุอยู่ในช่วงเชิงเส้นและแบบจำลองโครงสร้างบนฐานรากแบบยึดหยุ่นใช้ค่าสติฟเนสของสปริงยึดหยุ่นเชิงเส้นในแนวราบและในแนวตั้งเท่านั้น

2.3.1 แบบจำลองสำหรับการวิเคราะห์

สำหรับการวิเคราะห์ที่ใช้แบบจำลอง 3 มิติ ของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กสูง 60 ชั้น มีผนังรับแรงเฉือนอยู่บริเวณกลางอาคาร เสารอบนอก 16 ต้น ระบบพื้นไร้คาน ขนาดความกว้าง 45 เมตร และยาว 45 เมตร ตามรูปที่ 3 โดยแต่ละชั้นมีความสูง 3.50 เมตร ความสูงรวมทั้งอาคาร 210 เมตร ตั้งอยู่ในพื้นที่กรุงเทพมหานคร วิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม ETABS โดยรายละเอียดขนาดของโครงสร้างแบบจำลองแสดงไว้ตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ขนาดโครงสร้างของแบบจำลอง

ชั้น	เสา (ชม. x ชม.)	ผนังรับแรงเฉือน (ชม.)	พื้น (ชม.)	เอาริกเกอร์และผนังรั้ว
46-60	75x75	40/30/20	25	40x350 ชม. เฉพาะชั้นที่พิจารณา
31-45	100x100	60/30/20	25	
16-30	125x125	80/50/20	25	
1-15	150x150	100/70/20	25	
ฐานราก	ขนาด 50x50x8.50 เมตร สำหรับจำลองฐานรากแบบยึดหยุ่น			

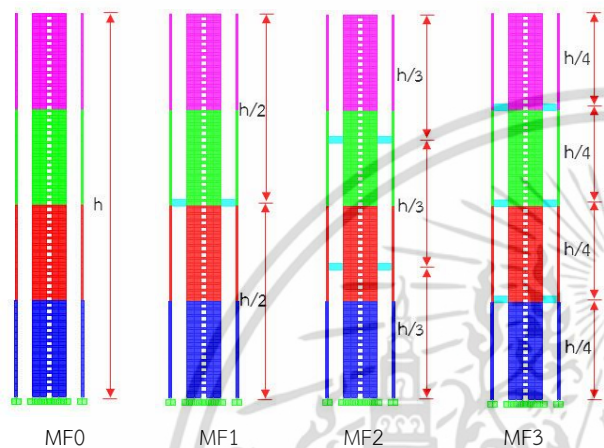


รูปที่ 3 แบบแปลนจากโปรแกรม ETABS

ไม่ว่าการณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

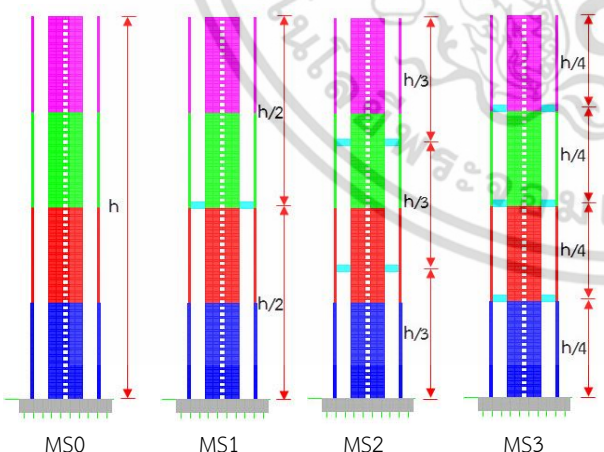
สำหรับคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้กับแบบจำลองประกอบด้วย คอนกรีตมีกำลังรับแรงอัด ( $f'_c$ ) ที่ 28 วัน (รูปทรงกระบอก) เท่ากับ 500 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร สำหรับโครงสร้างเสา ผนังรับแรงเฉือน เอาริกเกอร์และผนังรัด สำหรับพื้นและฐานรากใช้คอนกรีตที่มีกำลังรับแรงอัด ( $f'_c$ ) เท่ากับ 320 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เหล็กเสริมมีกำลังรับแรงดึงที่จุดคราก ( $f_y$ ) เท่ากับ 5,000 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (SD50)

แบบจำลองโครงสร้างมีด้วยกันทั้งหมด 8 รูปแบบ โดยแบ่งเป็นแบบจำลองโครงสร้างบนฐานรากแบบยึดแน่น 4 รูปแบบ และแบบจำลองโครงสร้างบนฐานรากแบบยึดหยุ่นโดยใช้ค่าสติฟเนสของสปริงแทนเสาเข็ม 4 รูปแบบ



รูปที่ 4 แบบจำลองระบบเอาริกเกอร์และผนังรัดบนฐานรากแบบยึดแน่น

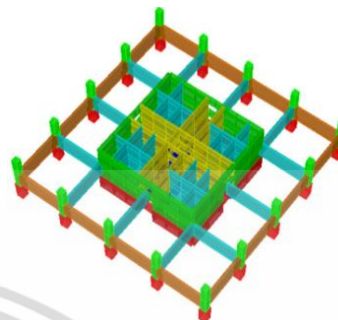
รายละเอียดของแบบจำลองระบบเอาริกเกอร์และผนังรัดบนฐานรากแบบยึดแน่นประกอบด้วย MF0 คือ ไม่มีเอาริกเกอร์และผนังรัด, MF1 คือ มีเอาริกเกอร์และผนังรัดหนึ่งระดับที่ตำแหน่ง  $h/2$ , MF2 คือ มีเอาริกเกอร์และผนังรัดสองระดับที่ตำแหน่ง  $h/3$  และ  $2h/3$  และ MF3 คือ มีเอาริกเกอร์และผนังรัดสามระดับที่ตำแหน่ง  $h/4$ ,  $2h/4$  และ  $3h/4$  ตามลำดับ



รูปที่ 5 แบบจำลองระบบเอาริกเกอร์และผนังรัดบนฐานรากแบบยึดหยุ่น

รายละเอียดแบบจำลองระบบเอาริกเกอร์และผนังรัดบนฐานรากแบบยึดหยุ่นประกอบด้วย MS0 คือ ไม่มีเอาริกเกอร์และผนังรัด, MS1 คือ มีเอาริกเกอร์และผนังรัดหนึ่งระดับที่ตำแหน่ง  $h/2$ , MS2 คือ มีเอาริกเกอร์และผนังรัดสองระดับที่ตำแหน่ง  $h/3$  และ  $2h/3$  และ MS3 คือ มีเอาริกเกอร์และผนังรัดสามระดับที่ตำแหน่ง  $h/4$ ,  $2h/4$  และ  $3h/4$  ตามลำดับ

สำหรับแบบจำลองโครงสร้างบนฐานรากแบบยึดหยุ่นทั้ง 4 รูปแบบ โดยในโปรแกรม ETABS จะจำลองค่าสติฟเนสของสปริงในแนวราบ ( $K_h$ ) ในทิศทางแกน X กับทิศทางแกน Y และค่าสติฟเนสของสปริงในแนวตั้ง ( $K_v$ ) ในทิศทางแกน Z โดยจำนวนของสปริงที่ใช้แทนเสาเข็มจำนวน 100 ต้น คำนวณจากน้ำหนักบรรทุกทุกใช้งานทั้งหมดต่อกำลังรับน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยของเสาเข็มของแต่ละต้น



รูปที่ 6 ระบบเอาริกเกอร์และผนังรัดจากโปรแกรม ETABS

2.3.2 น้ำหนักบรรทุกและแรงกระทำด้านข้าง

น้ำหนักบรรทุกเนื่องจากแรงโน้มถ่วง ได้แก่ น้ำหนักบรรทุกคงที่ซึ่งเป็นโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กเท่ากับ 2,400 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร, น้ำหนักบรรทุกคงที่เนื่องจากวัสดุตกแต่งและงานระบบเท่ากับ 250 กิโลกรัมต่อตารางเมตร และน้ำหนักบรรทุกจร 300 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

แรงลมใช้มาตรฐานการคำนวณแรงลมและการตอบสนองของอาคาร มยพ. 1311-50 [11] ของกรมโยธาธิการและผังเมือง โดยใช้วิธีการอย่างละเอียดในการคำนวณแรงลมจากโปรแกรม Wind Loading Assistant Version 1.0 (สถาบันวิจัยและให้คำปรึกษาแห่งมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์) กำหนดให้อาคารสำหรับการวิเคราะห์ที่ตั้งอยู่ในพื้นที่กรุงเทพมหานคร อยู่ในกลุ่มที่ 1 มีความเร็วลมอ้างอิงสำหรับคาบเวลากลับ (Return period) 50 ปี  $V_{50}$  เท่ากับ 25 เมตรต่อวินาที<sup>2</sup>

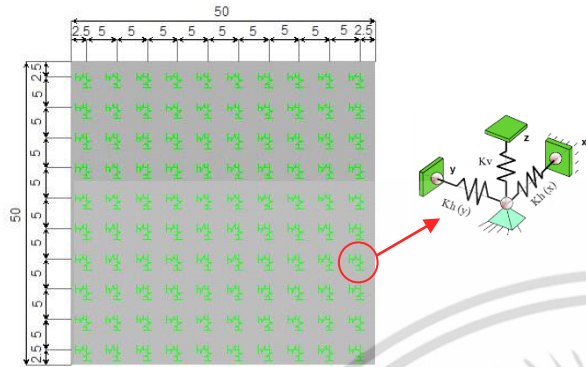
แรงแผ่นดินไหวใช้มาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว มยพ. 1302 [12] ของกรมโยธาธิการและผังเมือง วิเคราะห์โดยวิธีเชิงพลศาสตร์ ใช้สเปกตรัมผลตอบสนองการออกแบบด้วยวิธีเชิงพลศาสตร์ในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑลโซน 5 กำหนดให้ค่าตัวประกอบความสำคัญของอาคาร (เป็นประเภท III = มาก) มีค่า  $I$  เท่ากับ 1.25 และกำหนดสติฟเนสขององค์อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กพิจารณาผลของหน้าตัดที่แตกร้าวในการวิเคราะห์ที่โมเมนต์ความเฉื่อย (Moment of Inertia) โดย เสา 0.7 $I_u$ , กำแพง (ไม่แตกร้าว) 0.7 $I_u$  และแผ่นพื้นไร้คาน 0.25 $I_u$  ตามลำดับ

2.3.3 ค่าสติฟเนสของสปริง

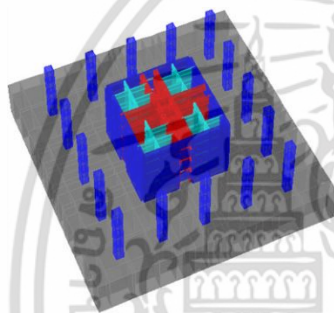
สำหรับค่าสติฟเนสของสปริงในแนวราบสามารถคำนวณจากสมการที่ 3 จากนั้นสร้างแบบจำลองเสาเข็มในโปรแกรม ETABS กำหนดจุดรองรับที่ปลายด้านล่างเป็นแบบยึดหมุน (Pin Support) โดยใส่ค่าสติฟเนสของสปริงในแนวราบที่คำนวณได้จากสมการที่ 3 ทุกๆระยะ 1 เมตร และใส่แรงในแนวราบที่บริเวณปลายด้านบนของเสาเข็มตั้งแต่ 1 ต้น ถึง 30 ต้น เพื่อดูพฤติกรรมการโก่งตัวของเสาเข็มในแนวราบ จากนั้นสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กระทำในแนวราบกับระยะการโก่งตัวของหัวเสาเข็ม ซึ่งความสัมพันธ์ของกราฟที่ได้ คือ ค่าสติฟเนสของสปริงในแนวราบ ( $K_h$ ) เพียงค่าเดียวที่เกิดจากการรวมสติฟเนสของสปริงหลายๆค่า โดยอาศัยข้อมูลชั้นดินในพื้นที่กรุงเทพมหานคร ภาณุ ไชยวรรณ (2550) [13] และคุณสมบัติของเสาเข็มดังนี้ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเสาเข็ม ( $B$ ) เท่ากับ 1.50 เมตร, ความยาว

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของเสาเข็ม ( $L_p$ ) เท่ากับ 50 เมตร, กำลังรับแรงอัดคอนกรีตของเสาเข็ม ( $f'_c$ ) เท่ากับ 320 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และกำลังรับน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยเท่ากับ 2,600 ตันต่อตัน จากนั้นคำนวณค่าสติเฟสของสปริงในแนวราบ ( $K_R$ ) ได้เท่ากับ 1,113 ตันต่อเมตร และค่าสติเฟสของสปริงในแนวตั้ง ( $K_V$ ) คำนวณจากสมการที่ 6 ได้เท่ากับ 190,836 ตันต่อเมตร



รูปที่ 7 การจำลองสติเฟสของสปริงแทนเสาเข็มในฐานรากแบบยึดหยุ่น

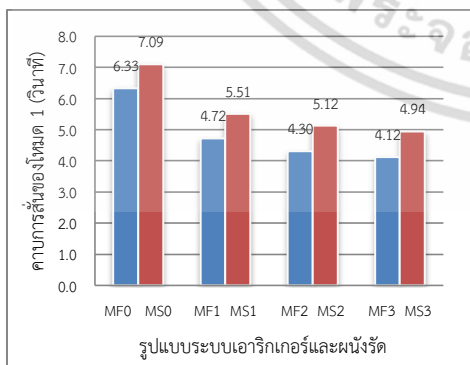


รูปที่ 8 โครงสร้างฐานรากแบบยึดหยุ่น 3 มิติ

2.4 ผลการศึกษา

2.4.1 คาบการสั่นพื้นฐานของโครงสร้าง

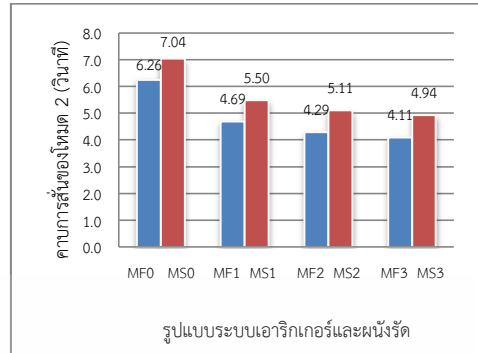
คาบการสั่นพื้นฐานของโครงสร้างจะแสดงให้เห็นถึงความแข็งแรงหรือความอ่อนของระบบโครงสร้างเนื่องจากคาบการสั่นพื้นฐานขึ้นอยู่กับมวลและสติเฟสของโครงสร้าง



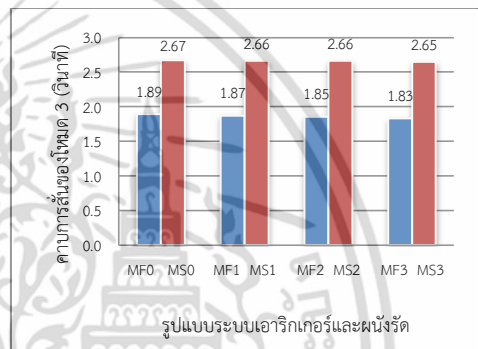
รูปที่ 9 เปรียบเทียบคาบการสั่นพื้นฐานโหมด 1 ของระบบเอาริกเกอร์และผนังรับน้ำหนักบนฐานรากแบบยึดหยุ่น

จากรูปที่ 9 เป็นการเปรียบเทียบคาบการสั่นพื้นฐานของโครงสร้างโหมดที่ 1 พบว่าโครงสร้างอาคารที่มีเอาริกเกอร์และผนังรับน้ำหนักบนฐานรากที่ต่ำกว่าโครงสร้างที่ไม่มีเอาริกเกอร์และผนังรับน้ำหนัก สำหรับโครงสร้าง

ระบบเอาริกเกอร์และผนังรับน้ำหนักที่อยู่บนฐานรากแบบยึดหยุ่นโดยใช้ค่าสติเฟสของสปริงแทนเสาเข็มจะมีคาบการสั่นพื้นฐานที่สูงกว่าโครงสร้างบนฐานรากแบบยึดหยุ่น



รูปที่ 10 เปรียบเทียบคาบการสั่นพื้นฐานโหมด 2 ของระบบเอาริกเกอร์และผนังรับน้ำหนักบนฐานรากแบบยึดหยุ่นกับฐานรากแบบยึดหยุ่น

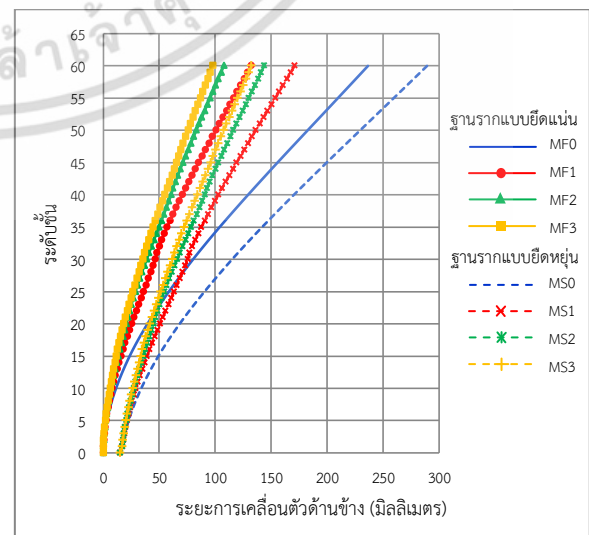


รูปที่ 11 เปรียบเทียบคาบการสั่นพื้นฐานโหมด 3 ของระบบเอาริกเกอร์และผนังรับน้ำหนักบนฐานรากแบบยึดหยุ่นกับฐานรากแบบยึดหยุ่น

สำหรับคาบการสั่นพื้นฐานตามธรรมชาติของโครงสร้างโหมดที่ 2 และโหมดที่ 3 แสดงไว้ในรูปที่ 10 และรูปที่ 11 ตามลำดับ

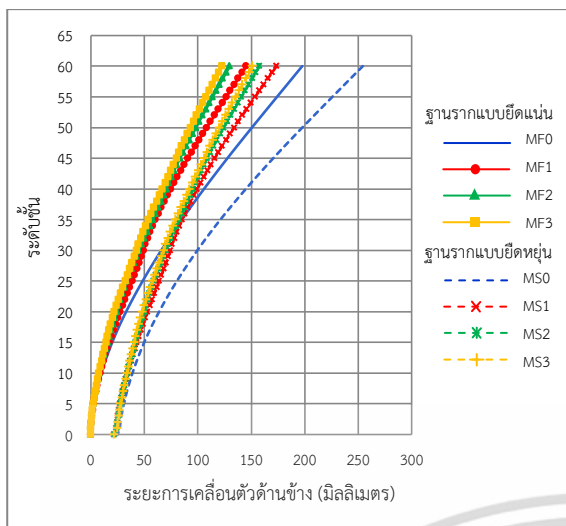
2.4.2 ระยะการเคลื่อนตัวด้านข้าง

ระยะการเคลื่อนตัวด้านข้างของแต่ละชั้นเนื่องจากแรงลมและแรงแผ่นดินไหวแสดงไว้ในรูปที่ 12 และรูปที่ 13 ตามลำดับ



รูปที่ 12 ระยะการเคลื่อนตัวด้านข้างของแต่ละชั้นเนื่องจากแรงลม

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

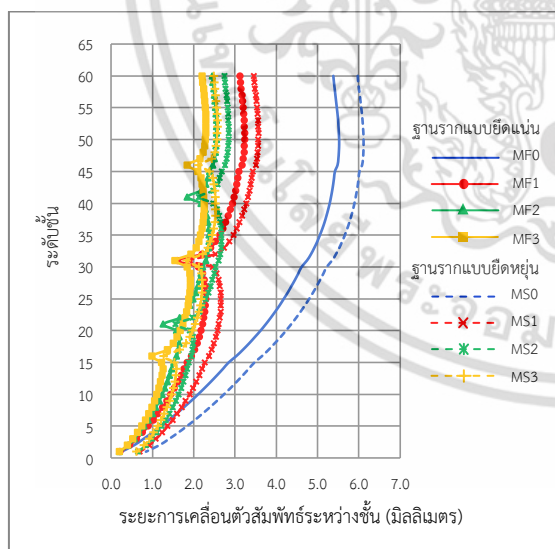


รูปที่ 13 ระยะการเคลื่อนตัวด้านข้างของแต่ละชั้นเนื่องจากแรงแผ่นดินไหว

จากรูปที่ 12 และรูปที่ 13 แสดงระยะการเคลื่อนตัวด้านข้างของแต่ละชั้นเนื่องจากแรงลมและแรงแผ่นดินไหว เมื่อพิจารณาที่ชั้นบนสุดของอาคารพบว่าโครงสร้างที่มีเอาริกเกอร์และผนังรัดจะมีระยะการเคลื่อนตัวด้านข้างน้อยกว่าโครงสร้างที่ไม่มีเอาริกเกอร์และผนังรัด ซึ่งระยะการเคลื่อนตัวด้านข้างจะลดลงเมื่อมีจำนวนเอาริกเกอร์และผนังรัดเพิ่มขึ้น สำหรับโครงสร้างที่มีระบบเอาริกเกอร์และผนังรัดบนฐานรากแบบยึดหยุ่นมีระยะการเคลื่อนตัวด้านข้างมากกว่าโครงสร้างบนฐานรากแบบยึดแน่น

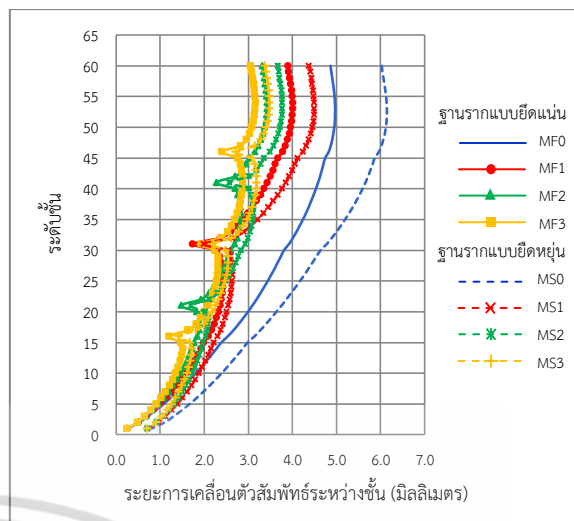
2.4.3 ระยะการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น

ระยะการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นเนื่องจากแรงลมและแรงแผ่นดินไหวแสดงในรูปที่ 14 และรูปที่ 15 ตามลำดับ



รูปที่ 14 ระยะการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นเนื่องจากแรงลม

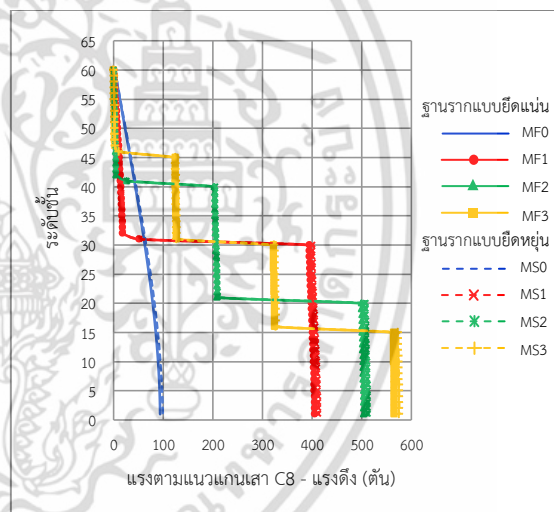
จากผลของระยะการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นเนื่องจากแรงลมและแรงแผ่นดินไหวพบว่าค่าลดลงบริเวณชั้นที่มีเอาริกเกอร์และผนังรัดซึ่งส่งผลให้การเคลื่อนตัวด้านข้างที่ชั้นบนสุดของอาคารลดลงตามไปด้วย สำหรับโครงสร้างที่มีระบบเอาริกเกอร์และผนังรัดบนฐานรากแบบยึดหยุ่นจะมีระยะการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นที่มากกว่าโครงสร้างที่มีระบบเอาริกเกอร์และผนังรัดบนฐานรากแบบยึดแน่น



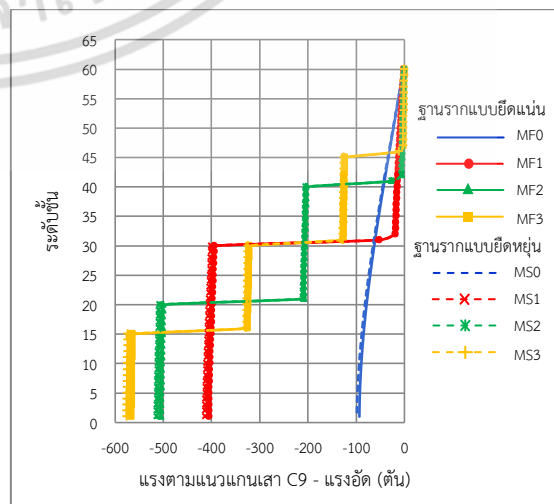
รูปที่ 15 ระยะการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นเนื่องจากแรงแผ่นดินไหว

2.4.4 แรงตามแนวแกนเสา

แรงตามแนวแกนเสา C8 และ C9 เนื่องจากแรงลมแสดงไว้ในรูปที่ 16 และรูปที่ 17 ตามลำดับ



รูปที่ 16 แรงตามแนวแกนเสา C8 เนื่องจากแรงลม



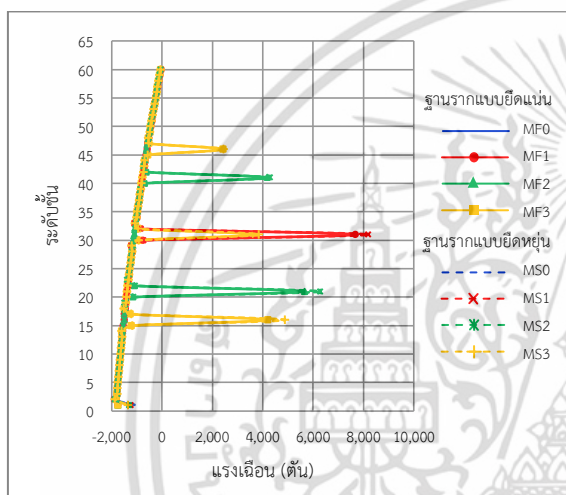
รูปที่ 17 แรงตามแนวแกนเสา C9 เนื่องจากแรงลม

ไม่ว่าการณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

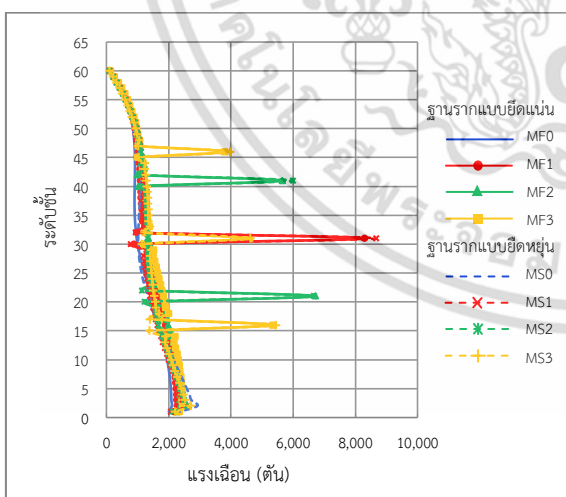
รูปที่ 16 แสดงผลของแรงตามแนวแกนเสา C8 และรูปที่ 17 แสดงผลของแรงตามแนวแกนเสา C9 จากผลการศึกษาพบว่าโครงสร้างที่มีเอาริกเกอร์และผนังรััดจะทำให้เสา C8 ซึ่งอยู่ด้านต้นลมเกิดแรงดึงและเสา C9 อยู่ด้านท้ายลมเกิดแรงอัดเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับโครงสร้างที่ไม่มีเอาริกเกอร์และผนังรััด สำหรับกรณีโครงสร้างที่มีระบบเอาริกเกอร์และผนังรััดบนฐานรากแบบยึดหยุ่นจะเกิดแรงดึงในเสา C8 และแรงอัดในเสา C9 มากกว่าโครงสร้างบนฐานรากแบบยึดแน่น อย่างไรก็ตามแรงดึงที่เกิดขึ้นในเสา C8 เนื่องจากแรงลมเมื่อรวมกับผลของแรงตามแนวแกนจากแรงโน้มถ่วงจะทำให้เสา C8 ไม่เกิดแรงดึง เนื่องจากแรงอัดที่เกิดจากแรงโน้มถ่วงมีค่ามากกว่าแรงดึงที่เกิดจากแรงลม

2.4.5 แรงเฉือนที่เกิดขึ้นในผนังรับแรงเฉือน

แรงเฉือนที่เกิดขึ้นในผนังรับแรงเฉือนเนื่องจากแรงลมและแรงแผ่นดินไหวแสดงไว้ในรูปที่ 18 และรูปที่ 19 ตามลำดับ



รูปที่ 18 แรงเฉือนที่เกิดขึ้นในผนังรับแรงเฉือนเนื่องจากแรงลม

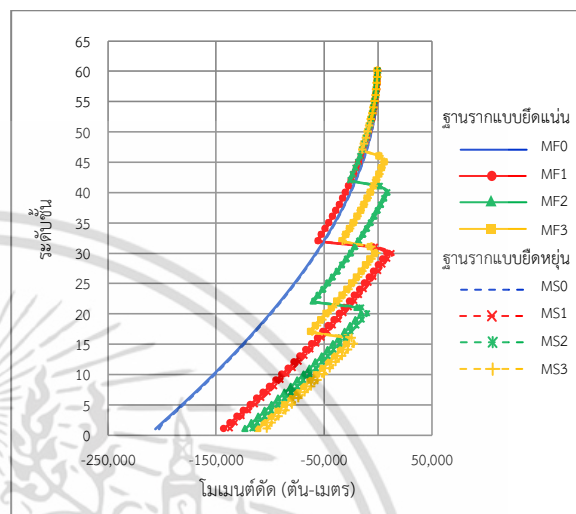


รูปที่ 19 แรงเฉือนที่เกิดขึ้นในผนังรับแรงเฉือนเนื่องจากแรงแผ่นดินไหว

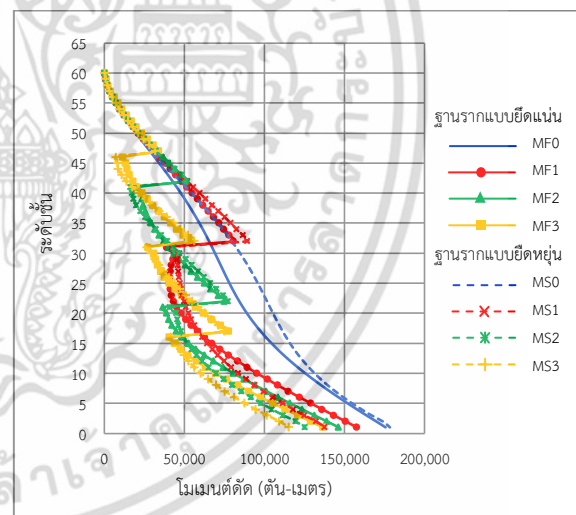
จากรูปที่ 18 แสดงผลของแรงเฉือนที่เกิดขึ้นในผนังรับแรงเฉือนเนื่องจากแรงลมซึ่งพบว่าจะมีค่าเพิ่มขึ้นและมีค่ามากที่สุดเมื่อโครงสร้างมีเอาริกเกอร์และผนังรััดหนึ่งระดับและมีทิศตรงข้ามกับชั้นที่ไม่มีเอาริกเกอร์และผนังรััด สำหรับแรงเฉือนที่ฐานพบว่าโครงสร้างที่มีระบบเอาริกเกอร์และผนังรััดบนฐานรากแบบยึดหยุ่นจะมีค่าน้อยกว่าโครงสร้างบนฐานรากแบบยึดแน่น

รูปที่ 19 แสดงผลของแรงเฉือนเนื่องจากแรงแผ่นดินไหวพบว่าโครงสร้างที่ไม่มีระบบเอาริกเกอร์และผนังรััดบนฐานรากแบบยึดหยุ่นจะมีค่ามากกว่าโครงสร้างบนฐานรากแบบยึดแน่น แต่เมื่อมีระบบเอาริกเกอร์และผนังรััดทำให้แรงเฉือนที่ฐานของโครงสร้างบนฐานรากแบบยึดหยุ่นมีค่าน้อยกว่าโครงสร้างบนฐานรากแบบยึดแน่น

2.4.6 โมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นในผนังรับแรงเฉือนและฐานราก



รูปที่ 20 โมเมนต์ดัดในผนังรับแรงเฉือนเนื่องจากแรงลม

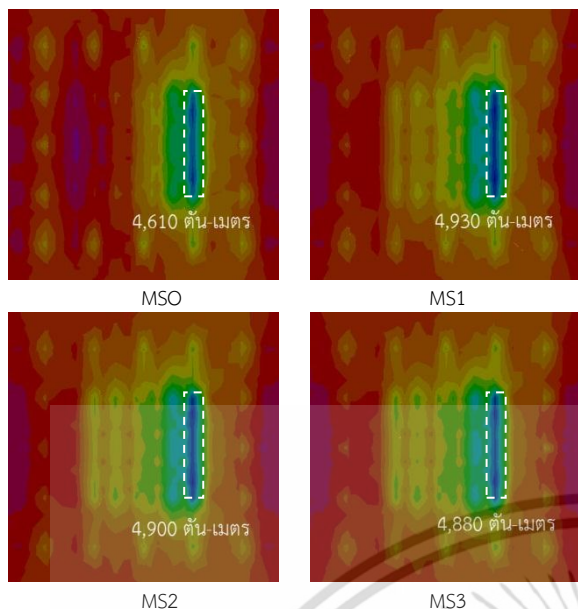


รูปที่ 21 โมเมนต์ดัดในผนังรับแรงเฉือนเนื่องจากแรงแผ่นดินไหว

จากรูปที่ 20 แสดงผลของโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นในผนังรับแรงเฉือนเนื่องจากแรงลมซึ่งมีค่าลดลงบริเวณตำแหน่งที่มีเอาริกเกอร์และผนังรััดส่งผลให้โมเมนต์ดัดที่ฐานลดลงตามลำดับเมื่อมีจำนวนเอาริกเกอร์และผนังรััดเพิ่มขึ้น โดยโมเมนต์ดัดที่ฐานของโครงสร้างที่มีระบบเอาริกเกอร์และผนังรััดบนฐานรากแบบยึดหยุ่นจะมีค่าน้อยกว่าโครงสร้างบนฐานรากแบบยึดแน่น

สำหรับโมเมนต์ดัดที่ฐานในผนังรับแรงเฉือนเนื่องจากแรงแผ่นดินไหวในรูปที่ 21 พบว่าเมื่อโครงสร้างไม่มีระบบเอาริกเกอร์และผนังรััดบนฐานรากแบบยึดหยุ่นมีค่ามากกว่าโครงสร้างบนฐานรากแบบยึดแน่น แต่เมื่อโครงสร้างมีระบบเอาริกเกอร์และผนังรััดจะส่งผลให้โมเมนต์ดัดที่ฐานลดลงจนทำให้โครงสร้างที่มีระบบเอาริกเกอร์และผนังรััดบนฐานรากแบบยึดหยุ่นเกิดโมเมนต์ดัดที่ฐานน้อยกว่าโครงสร้างบนฐานรากแบบยึดแน่น

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 22 โมเมนต์ดัดในฐานรากแบบยึดหยุ่นเนื่องจากผลของการรวมแรงโน้มถ่วงกับแรงลม

จากรูปที่ 22 แสดงผลของโมเมนต์ดัดในฐานรากของโครงสร้างระบบเอาริกเกอร์และผนังรับแรงฐานรากแบบยึดหยุ่นเนื่องจากผลของการรวมแรงโน้มถ่วงกับแรงลมในทิศทางแกน X ( $1.2DL+1.2SDL+1.0LL+1.6Wx$ ) ซึ่งพบว่าโครงสร้างระบบเอาริกเกอร์และผนังรับแรงก่อให้เกิดโมเมนต์ดัดในฐานรากเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับระบบโครงสร้างที่ไม่มีเอาริกเกอร์และผนังรับ

### 3. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

ผลการศึกษาแบบจำลองโครงสร้างระบบเอาริกเกอร์และผนังรับแรงฐานรากแบบยึดหยุ่นและฐานรากแบบยึดหยุ่นโดยใช้ค่าสถิติของสปริงแทนเสาเข็มสามารถสรุปได้ดังนี้

โครงสร้างที่มีเอาริกเกอร์และผนังรับแรงสามารถเพิ่มความแข็งแรงให้กับระบบโครงสร้างทำให้คาบการสั่นพื้นฐานของโครงสร้างอาคารสั้นลง การเคลื่อนตัวสัมพันธ์ระหว่างชั้นและการเคลื่อนตัวด้านข้างลดลง รวมทั้งโมเมนต์ดัดที่ฐานในผนังรับแรงเนื่องจากแรงลมและแรงแผ่นดินไหวก็ลดลงเช่นกันซึ่งเป็นผลมาจากสถิติที่เพิ่มขึ้นระหว่างเสากับผนังรับแรงเนื่องจากผลของเอาริกเกอร์และผนังรับ

สำหรับการเลือกตำแหน่งหรือจำนวนของเอาริกเกอร์และผนังรับแรงของโครงสร้างอาคารสูงขึ้นอยู่กับความต้องการในการลดการเคลื่อนตัวด้านข้างเป็นหลัก ซึ่งโครงสร้างที่มีระบบเอาริกเกอร์และผนังรับแรงฐานรากแบบยึดหยุ่นสามารถลดระยะการเคลื่อนตัวด้านข้างจากแรงลม 41% สำหรับเอาริกเกอร์และผนังรับแรงหนึ่งระดับ, 50% สำหรับเอาริกเกอร์และผนังรับแรงสองระดับ และ 54% สำหรับเอาริกเกอร์และผนังรับแรงสามระดับ เมื่อเทียบกับโครงสร้างที่ไม่มีเอาริกเกอร์และผนังรับแรง ซึ่งจำนวนของเอาริกเกอร์และผนังรับแรงที่เพิ่มขึ้นก็จะเพิ่มความแข็งแรงของโครงสร้างขึ้นด้วย ส่วนปัญหาการใช้พื้นที่อาคารในบริเวณชั้นที่มีเอาริกเกอร์และผนังรับแรงอาจแก้ปัญหาโดยการใช้บริเวณชั้นดังกล่าวเป็นพื้นที่สำหรับงานระบบเครื่องกล ระบบสุขาภิบาล หรือ ระบบงานไฟฟ้าเป็นหลัก

โครงสร้างที่มีระบบเอาริกเกอร์และผนังรับแรงฐานรากแบบยึดหยุ่นมีคาบการสั่นพื้นฐานของโครงสร้างอาคาร ระยะการเคลื่อนตัวสัมพันธ์ระหว่างชั้นและระยะการเคลื่อนตัวด้านข้างเนื่องจากแรงลมและแรงแผ่นดินไหวมากกว่าโครงสร้างฐานรากแบบยึดหยุ่น ซึ่งเกิดจากการเคลื่อนตัวที่ฐานของอาคารที่มีพฤติกรรมแบบยึดหยุ่น แต่โครงสร้างที่มีระบบเอาริกเกอร์และ

ผนังรับแรงฐานรากแบบยึดหยุ่นให้ค่าโมเมนต์ดัดที่ฐานในผนังรับแรงเฉือนน้อยกว่าโครงสร้างฐานรากแบบยึดหยุ่น นอกจากนั้นเมื่อรวมผลของแรงโน้มถ่วงและแรงลมโครงสร้างที่ใช้ระบบเอาริกเกอร์และผนังรับแรงฐานรากแบบยึดหยุ่นก่อให้เกิดโมเมนต์ดัดในฐานรากเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับระบบโครงสร้างที่ไม่มีเอาริกเกอร์และผนังรับ

ดังนั้นจากผลการศึกษาแสดงว่าการวิเคราะห์พฤติกรรมของระบบเอาริกเกอร์และผนังรับแรงควรพิจารณาการจำลองโครงสร้างฐานรากแบบยึดหยุ่นโดยใช้ค่าสถิติของสปริงแทนเสาเข็มด้วย เพราะโครงสร้างอาคารมีระยะการเคลื่อนตัวด้านข้างเนื่องจากแรงลมและแรงแผ่นดินไหวมากกว่าการวิเคราะห์ฐานรากแบบยึดหยุ่น ซึ่งอาจส่งผลให้อาคารสูงที่ไม่ได้พิจารณาโครงสร้างระบบเอาริกเกอร์และผนังรับแรงฐานรากแบบยึดหยุ่นเกิดความเสียหายได้

### กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ สำเร็จลุล่วงด้วยความกรุณาของอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.อำนวยการพานิชกุลพงศ์ และ ดร.อาทิตย์ เพชรศศิธร ที่ให้คำปรึกษาและชี้แนะในการศึกษาค้นคว้า แนะนำขั้นตอนและวิธีจัดทำความจนสำเร็จลุล่วงด้วยดี กระผมจึงกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้และขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ให้กำลังใจในการศึกษา จนกระทั่งประสบความสำเร็จด้วยดี

### เอกสารอ้างอิง

- [1] S. Taranath. *Reinforced Concrete Design of Tall Building*. CRC Press Taylor & Francis Group, 2009, pp. 234-250.
- [2] อมร พิมานมาศ, ปรีดา ไชยมหาพันธ์ และ ภาพวิวัฒน์ จ้อยกลัด, *การออกแบบโครงสร้างฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็กชั้นสูง*, บริษัทซีวิลเอ็นจิเนียริ่ง คอนซัลแตนท์แอนด์ เทรนนิง จำกัด, พ.ศ.2555, หน้า 320-374.
- [3] B.S.Taranath. "Optimum Belt Truss Locations for High-Rise Structures", *The Structural Engineer*, 1975, pp. 345-348.
- [4] J.W. McNabb, B.B. Muvidi. "Drift Reduction Factors for Belted High-Rise Structures". *Engineering Journal-American Institute of Steel Construction*, 4(3), pp. 44-47, 1975.
- [5] Kiran Kamath, N. Divya, Asha U Rao. "A Study on Static and Dynamic Behaviour of Outrigger Structure system for Tall Building". *Bonfring International Journal of Industrial Engineering and Management Science*, 4(2), pp. 15-20, 2012.
- [6] N. Herath, N. Haritos, T. Ngo, P. Mendis, "Behavior of Outrigger Beam in High rise Building Under Earthquake Loads", *Australian Earthquake Engineering Society 2009 Conference*, 2009.
- [7] Po Seng Kian, Frits Torang Siahaan. "The Use of Outrigger and Belt Truss System for High-Rise Concrete Building". *Dimensi Teknik Sipil*, 3(2), pp. 36-41, 2001.
- [8] S. Fawzia, T. Fatima, "Deflection Control in Composite Building by Using Belt Truss and Outrigger Systems", *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 2010, pp. 771-776.

ไม่ว่ากรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [9] J.C.D. Hoenderkamp, M.C.M. Bakker, H.H. Snijder. "Preliminary Design of High-Rise Outrigger Braced Shear Wall Structures on Flexible Foundations". *HERON*, 48(2), pp. 81-97, 2003.
- [10] สมัชญ์ จันทรสาขา "ผลของปฏิสัมพันธ์ระหว่างดินและโครงสร้างที่มีผลต่อสเปกตร้าการตอบสนองเพื่อใช้ในการออกแบบอาคารต้านทานแผ่นดินไหวในเขตกรุงเทพมหานคร" วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา, 2555.
- [11] กรมโยธาธิการและผังเมือง, *มาตรฐานการคำนวณแรงลมและการตอบสนองของอาคาร มยผ. 1311-50*, บริษัท เอส.พี.เอ็ม. การพิมพ์ จำกัด, พ.ศ.2550.
- [12] กรมโยธาธิการและผังเมือง, *มาตรฐานการออกแบบอาคารด้านการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว มยผ. 1302*, บริษัท เอส.พี.เอ็ม. การพิมพ์ จำกัด, พ.ศ.2552.
- [13] ภาณุ ไชยวรรณ "การศึกษาพฤติกรรมการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มเจาะขนาดใหญ่ในชั้นดินกรุงเทพมหานคร" วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร, 2550.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายสุวิศาล ถือทอง
วัน เดือน ปีเกิด	18 มีนาคม 2526 ที่ นครศรีธรรมราช
ที่อยู่	บ้านเลขที่ 6 หมู่ที่ 3 ตำบลท่าพญา อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช 80140 โทร. 0-92248-6632
ประวัติการศึกษา	2552 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ความชำนาญเฉพาะด้าน	1.) การออกแบบโครงสร้างอาคารสูง โรงงานและอาคารพักอาศัย 2.) ปรึกษาและควบคุมงานก่อสร้าง
ประสบการณ์การทำงาน	
พ.ศ.2552-2553	ตำแหน่งวิศวกรควบคุมงานก่อสร้าง บริษัท ปิเอสวาย คอนสตรัคชั่น จำกัด - ผลงานควบคุมงานก่อสร้างห้างสรรพสินค้า โฮมโปร ปากช่อง - ผลงานควบคุมงานก่อสร้างอาคารคลังสินค้า KAO นิคมอุตสาหกรรมอมตะนคร ชลบุรี
พ.ศ.2553-2554	ตำแหน่งวิศวกรออกแบบโครงสร้าง บริษัท ซิวิลพาร์ค อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด - ผลงานออกแบบโครงสร้างอาคารมหานคร (แบบประมูล) กรุงเทพมหานคร - ผลงานออกแบบโครงสร้างทาวนโฮม ปริณสุริ กรุงเทพมหานคร
พ.ศ.2554-2556	ตำแหน่งวิศวกรออกแบบโครงสร้าง บริษัท เอ็นเอสแอล คอนสตรัคชั่น จำกัด - ผลงานออกแบบโครงสร้างโรงงาน KATATA ระยอง - ผลงานออกแบบโครงสร้างโรงงาน KYOWAKAKO ฉะเชิงเทรา - ผลงานออกแบบโครงสร้างโรงงาน IDA อัญชยา - ผลงานออกแบบโครงสร้างโรงงาน GM Thailand ระยอง
พ.ศ.2556-ปัจจุบัน	ตำแหน่งวิศวกรออกแบบโครงสร้าง บริษัท Warnes Associates จำกัด - ผลงานออกแบบโครงสร้างอาคารมหานคร (แบบก่อสร้าง) กรุงเทพมหานคร - ผลงานออกแบบโครงสร้างคอนโด Riviera พัทยา ชลบุรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้