

การศึกษาเชิงตัวเลขเกี่ยวกับวิธีการติดตั้งเพิ่มเติมสำหรับสะพานแขวน

ภายใต้แรงแผ่นดินไหว

A Numerical Study on Retrofitting Methods for Suspension Bridge

under Earthquake Loading



ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

การศึกษาเชิงตัวเลขเกี่ยวกับวิธีการติดตั้งเพิ่มเติมสำหรับสะพานแขวนภายใต้แรงแผ่นดินไหว
A Numerical Study on Retrofitting Methods for Suspension Bridge under Earthquake Loading



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2563
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองโครงการพิเศษ

หัวข้อโครงการพิเศษ การศึกษาเชิงตัวเลขเกี่ยวกับวิธีการติดตั้งเพิ่มเติมสำหรับสะพานแขวน
ภายใต้แรงแผ่นดินไหว
A Numerical Study on Retrofitting Methods for Suspension Bridge
under Earthquake Loading







นักศึกษา นายณัฐเบศร์ เครื่องประสิทธิ์ 60010514

นายแผ่นดิน ดำรงชาติ 60010632

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร. ณัฐดนัย สีนสมุทรผดุง

คณะกรรมการสอบโครงการพิเศษ	ลายมือชื่อ
ดร. ณัฐดนัย สีนสมุทรผดุง	
ผศ.ดร.อาทิตย์ เพชรศศิธร	
รศ.สุวัฒน์ ธีรเศรษฐ์	
ผศ.ดร.อำพน จรัสจรวงเกียรติ	
ผศ.ดร.อัฐวิทย์ สุจริตพงศ์	
อ.ทรงกลด แซ่ฮึง	

ภาควิชาวิศวกรรมโยธาได้รับรองแล้ว



(ผศ.ดร.อาทิตย์ เพชรศศิธร)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
วันที่.....

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

การศึกษาเชิงตัวเลขเกี่ยวกับวิธีการติดตั้งเพิ่มเติมสำหรับสะพานแขวนภายใต้แรงแผ่นดินไหว

นายนฤเบศร์ เครือประสิทธิ์ รหัสนักศึกษา 60010514

นายแผ่นดิน คำรงชาติ รหัสนักศึกษา 60010632

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร. ณ์ภูธรณ์ สินสมุทรผดุง

ปีการศึกษา 2563

บทคัดย่อ

มีหลายประเทศที่ได้รับผลกระทบและได้รับความเสียหายจากแผ่นดินไหวเช่น **Japan** : Hyogo (1995), **Pakistan** : Kashmir (2005) แผ่นดินไหวเป็นปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ มักจะเกิดตามรอยเลื่อนของโลก เป็นปรากฏการณ์การสั่นสะเทือนของพื้นผิวโลกเพื่อปรับตัวให้อยู่ในสภาวะสมดุล ในประเทศไทยมีรอยเลื่อนมีพลังทั้งหมด 16 รอยเลื่อน จากบันทึกของกรมอุตุนิยมวิทยา พบว่าแผ่นดินไหวที่เคยเกิดขึ้นในประเทศไทย 40 ปีย้อนหลังจะมีค่าอยู่ระหว่าง 4-5 Magnitude แต่เมื่อวันที่ 5 พฤษภาคม พ.ศ. 2557 ได้เกิดแผ่นดินไหวขนาด 6.3 Magnitude ที่อำเภอพานจังหวัดเชียงราย ทำให้สิ่งปลูกสร้างในบริเวณนั้น ๆ ได้รับความเสียหายเป็นจำนวนมาก นอกจากโครงสร้างของอาคารแล้ว ยังมีสะพานซึ่งเป็นโครงสร้างที่สำคัญในระบบขนส่งที่ได้รับผลกระทบจากแผ่นดินไหว ดังนั้นควรจะมีการป้องกันความเสียหายของสะพานจากแรงแผ่นดินไหว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

A Numerical Study on Retrofitting Methods for Suspension Bridge under Earthquake Loading

Mr. Narubet Kruaprasit Student ID 60010514

Mr. Phandin Dumrongchat Student ID 60010632

Advisor: Dr. Natdanai Sinsamutpadung

Academic Year 2019

Abstract

There are many countries that are affected and damaged by the earthquake. For example, **Japan**: Hyogo (1995), **Pakistan**: Kashmir (2005). Earthquakes are a natural phenomenon. Often follow the fault of the world. There are 16 powerful faults in Thailand from the records of the Earth observation division. Found that the earthquake that occurred in Thailand for the past 40 years is between 4-5 Magnitude. But on May 5, 2014, a magnitude 6.3 magnitude earthquake occurred in Phan, Chiang Rai, causing buildings in that area to be damaged a lot. In addition to the structure of the building There is also a bridge, an important structure in the transportation system that has been affected by the earthquake. Therefore, there should be protection against damage to the bridge from earthquakes.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์ช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก ดร. ณีภูษิตนัย สินสมุทรผดุง ที่กรุณาให้คำปรึกษาปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่อง คอยแนะนำช่วยเหลือในการแก้ไข ปัญหา คอยให้ความรู้ เอาใจใส่ ตลอดจนให้ความช่วยเหลือจนสำเร็จได้ด้วยดี คณะผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในความ อนุเคราะห์จากท่านอาจารย์ และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง ที่ได้ให้ความรู้ในทุก ๆ รายวิชาที่ศึกษาเพื่อเป็นพื้นฐาน โดยคณาจารย์ท่านต่าง ๆ ได้ถ่ายทอด ความรู้ทั้งทางด้านวิชาการ ความรู้ทั่วไป และประสบการณ์ต่าง ๆ จนสามารถนำมาใช้ในการทำงานและการ ดำเนินชีวิตได้อย่างดีเยี่ยม ตลอดจนขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ร่วมเป็นกรรมการในการทดสอบ

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ ในภาควิชาวิศวกรรมโยธา ที่คอยให้คำแนะนำ ช่วยเหลือซึ่งกันและกันในการทำ โครงการ รวมถึงตลอดระยะเวลาที่ได้เรียนรู้ศึกษาในภาควิชาวิศวกรรมโยธานี้ตลอดมา

สุดท้ายขอขอบพระคุณ บิดา มารดาอันเป็นที่เคารพรักรยิ่ง ซึ่งเป็นผู้ให้ความรักและกำลังใจในการ สนับสนุนการศึกษาเล่าเรียนของคณะผู้จัดทำมาโดยตลอด ทำให้คณะผู้จัดทำมีวันนี้ได้ คณะผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้ง ในพระคุณเป็นอย่างสูง

นายณัฐเบศร์ เครือประสิทธิ์ 60010514

นายแผ่นดิน คำรงค์ชาติ 60010632

25/05/2564

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ.....	I
Abstract.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญรูป.....	IX
สารบัญตาราง.....	VI
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของโครงการพิเศษ.....	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	2
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
บทที่ 2 วรรณกรรมปริทัศน์.....	5
2.1 การเกิดแผ่นดินไหว.....	5
2.1.1 สาเหตุของการเกิดแผ่นดินไหว.....	5
2.2 รอยเลื่อนมีพลังในประเทศไทย.....	6
2.3 สถิติการเกิดแผ่นดินไหวของประเทศไทย.....	9
2.4 คลื่นแผ่นดินไหวที่นำมาใช้วิเคราะห์.....	12
2.4.1 คลื่นแผ่นดินไหวมาตรฐาน El Centro.....	12
2.4.2 คลื่นแผ่นดินไหวของรอยเลื่อนพะเยา.....	12
2.4.3 คลื่นแผ่นดินไหวของจังหวัดกาญจนบุรี.....	13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.5 โครงสร้างที่ใช้ในการวิเคราะห์.....	13
2.5.1 หลักการทำงานของสะพานแขวน.....	13
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	15
2.6.1 Dynamic Behavior of RAMA IX Cable-Stayed Bridge.....	15
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน.....	16
3.1 รูปแบบงานวิจัย.....	16
3.2 การรวบรวมข้อมูล.....	16
3.3 เครื่องมือวิจัย.....	16
3.4 ขั้นตอนในการทำงานวิจัย.....	16
3.4.1 สร้างแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์(FEM)ของสะพานแขวน.....	16
3.4.1.1 เลือกแบบสะพานแขวนเป้าหมาย.....	17
3.4.1.2 แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของสะพานแขวน.....	17
3.4.2 วิเคราะห์แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์(FEM)ของสะพานแขวน.....	19
3.4.2.1 วิธีแรงสถิตยเทียบเท่า (Equivalent Static Forces).....	19
3.4.2.2 วิธีเชิงพลศาสตร์(Dynamic analysis).....	20
3.4.3 หาคจุดวิกฤตของสะพานแขวนจากแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์(FEM).....	20
3.4.4 พิจารณาและประเมินประสิทธิภาพของการติดตั้งแดมเปอร์.....	20
3.4.4.1 สร้างแบบจำลองอุปกรณ์ควบคุมการสั่นสะเทือน.....	20
3.4.4.2 รูปแบบการติดตั้งแบบจำลองอุปกรณ์ควบคุมการสั่นสะเทือน.....	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพียงการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามใช้ข้อมูลการติดตั้งแบบจำลองอุปกรณ์ควบคุมการสั่นสะเทือน
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน.....	24
4.1 กล่าวนำ.....	24
4.2 สร้างแบบจำลองไฟไนต์อีลิเมนต์ของสะพานแขวน (สะพานแขวนไทรโยค จ.กาญจนบุรี) โดยใช้ฟังก์ชัน Line Element.....	24
4.3 วิเคราะห์แบบจำลองสะพานแขวนร่วมกับแรงสถิตและคลื่นแผ่นดินไหว.....	25
4.3.1 วิเคราะห์แบบจำลองสะพานแขวนโดยใช้วิธี Equivalent static force analysis.....	25
4.3.1.1 แรงสถิตที่กระทำกับเสาสูง (Pylon)ของแบบจำลองสะพานแขวน.....	25
4.3.1.2 วิเคราะห์แบบจำลองสะพานเพื่อหาการกระจัด(Displacement).....	26
4.3.2 วิเคราะห์แบบจำลองสะพานแขวนโดยใช้วิธี Dynamic analysis.....	27
4.3.2.1 วิเคราะห์แบบจำลองสะพานแขวนร่วมกับคลื่นแผ่นดินไหว EL Centro...27	
4.3.2.2 วิเคราะห์แบบจำลองสะพานแขวนร่วมกับคลื่นแผ่นดินไหวกาญจนบุรี.....	28
4.3.2.3 วิเคราะห์แบบจำลองสะพานแขวนร่วมกับคลื่นแผ่นดินไหวรอยเลื่อน พะเยา.....	29
4.4 วิเคราะห์แบบจำลองสะพานแขวนที่ติดตั้งแดมเปอร์ในรูปแบบต่างๆ ร่วมกับคลื่นแผ่นดินไหว รอยเลื่อนพะเยา.....	30
4.4.1 วิเคราะห์แบบจำลองสะพานแขวนที่ติดตั้งแดมเปอร์กรณีที่ 1 (No Damper).....	31
4.4.2 วิเคราะห์แบบจำลองสะพานแขวนที่ติดตั้งแดมเปอร์กรณีที่ 2 (Damper01).....	31
4.4.3 วิเคราะห์แบบจำลองสะพานแขวนที่ติดตั้งแดมเปอร์กรณีที่ 3 (Damper02).....	32
4.4.4 วิเคราะห์แบบจำลองสะพานแขวนที่ติดตั้งแดมเปอร์กรณีที่ 4 (Damper03).....	33
4.4.5 วิเคราะห์แบบจำลองสะพานแขวนที่ติดตั้งแดมเปอร์กรณีที่ 5 (Damper04).....	33
4.4.6 วิเคราะห์แบบจำลองสะพานแขวนที่ติดตั้งแดมเปอร์กรณีที่ 6 (Damper05).....	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.4.7 วิเคราะห์แบบจำลองสะพานแขวนที่ติดตั้งแดมเปอร์กรณีที่ 7 (Damper06).....	35
4.4.8 วิเคราะห์แบบจำลองสะพานแขวนที่ติดตั้งแดมเปอร์กรณีที่ 8 (Damper07).....	35
4.4.9 วิเคราะห์แบบจำลองสะพานแขวนที่ติดตั้งแดมเปอร์กรณีที่ 9 (Damper08).....	36
บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงาน.....	38
5.1 สรุปผลการศึกษา.....	38
5.2 ข้อเสนอแนะจากการวิจัย และแนวทางทางในการดำเนินการศึกษาในอนาคต.....	39
บรรณานุกรม.....	40
ภาคผนวก	42
ประวัติผู้เขียน.....	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 รอยเลื่อนมีพลังในประเทศไทย 16 แห่ง.....	8
รูปที่ 2.2 คลื่นแผ่นดินไหว El Centro.....	12
รูปที่ 2.3 คลื่นแผ่นดินไหวชิงรอยเลื่อน Payao.....	12
รูปที่ 2.4 คลื่นแผ่นดินไหวของรอยเลื่อน Kanchanaburi.....	13
รูปที่ 2.5 ตัวอย่างโครงสร้างสะพานแขวน.....	14
รูปที่ 2.6 แรงที่เกิดขึ้นในโครงสร้างสะพานแขวน.....	15
รูปที่ 3.1 รูปแสดงตัวอย่างของสะพานแขวนที่ใช้ในการวิเคราะห์ (ด้านข้าง).....	17
รูปที่ 3.2 รูปแสดงตัวอย่างของสะพานแขวนที่ใช้ในการวิเคราะห์ (ด้านบน).....	17
รูปที่ 3.3 แบบจำลองไฟไนต์อีลิเมนต์ของสะพานแขวน.....	18
รูปที่ 3.4 แบบจำลองไฟไนต์อีลิเมนต์ของสะพานแขวน (โครงสร้างหลัก).....	18
รูปที่ 3.5 แบบจำลองไฟไนต์อีลิเมนต์ของสะพานแขวน (โครงรับพื้นสะพาน).....	19
รูปที่ 3.6 แสดงตำแหน่งและความสูงของจุดที่แรงสถิตกระทำบนเสาสูง (Pylon).....	19
รูปที่ 3.7 หน้าตัดของอุปกรณ์ควบคุมการสั่นสะเทือน.....	20
รูปที่ 3.8 การติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมการสั่นสะเทือนรูปแบบ Damper 01.....	21
รูปที่ 3.9 การติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมการสั่นสะเทือนรูปแบบ Damper 02.....	22
รูปที่ 3.10 การติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมการสั่นสะเทือนรูปแบบ Damper 03.....	22
รูปที่ 3.11 การติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมการสั่นสะเทือนรูปแบบ Damper 04.....	22
รูปที่ 3.12 การติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมการสั่นสะเทือนรูปแบบ Damper 05.....	22
รูปที่ 3.13 การติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมการสั่นสะเทือนรูปแบบ Damper 06.....	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูปร่างภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.14 การติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมการสั่นสะเทือนรูปแบบ Damper 07.....	23
รูปที่ 3.15 การติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมการสั่นสะเทือนรูปแบบ Damper 08.....	23
รูปที่ 4.1 แบบจำลองสะพานแขวนแบบเส้น (Line Element).....	24
รูปที่ 4.2 ใช้โปรแกรม ABAQUS ในการวิเคราะห์แบบจำลองสะพานร่วมกับแรงสถิต.....	26
รูปที่ 4.3 การกระจัดของเสาสูง (Pylon) เมื่อได้รับแรงสถิต.....	27
รูปที่ 4.4 แสดงความเค้นของผลการวิเคราะห์แบบจำลองสะพานแขวนร่วมกับคลื่น El Centro.....	27
รูปที่ 4.5 แสดงการกระจัดของผลการวิเคราะห์แบบจำลองสะพานแขวนร่วมกับคลื่น El Centro.....	28
รูปที่ 4.6 แสดงความเค้นของผลการวิเคราะห์แบบจำลองสะพานแขวนร่วมกับคลื่นแผ่นดินไหวกาญจนบุรี.....	28
รูปที่ 4.7 แสดงความเค้นของผลการวิเคราะห์แบบจำลองสะพานแขวนร่วมกับคลื่นแผ่นดินไหวกาญจนบุรี.....	29
รูปที่ 4.8 แสดงความเค้นของผลการวิเคราะห์แบบจำลองสะพานแขวนร่วมกับคลื่นแผ่นดินรอยเลื่อน พะเยา.....	29
รูปที่ 4.9 แสดงการกระจัดของผลการวิเคราะห์แบบจำลองสะพานแขวนร่วมกับคลื่นแผ่นดินรอยเลื่อน พะเยา.....	30
รูปที่ 4.10 แสดงความเค้นบนแบบจำลองสะพานหลังติดตั้งแดมเปอร์กรณีที่ 1 (No Damper).....	31
รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความเค้น (Von Mises Stress) กรณีที่1 (No Damper).....	31
รูปที่ 4.13 กราฟเปรียบเทียบความเค้น (Von Mises Stress) สูงสุด ระหว่างกรณีไม่มีการติดตั้งแดมเปอร์และ กรณีติดตั้งแดมเปอร์ 01.....	32
รูปที่ 4.14 แสดงความเค้นบนแบบจำลองสะพานหลังติดตั้งแดมเปอร์กรณีที่ 3 (Damper 02).....	32
รูปที่ 4.15 กราฟเปรียบเทียบความเค้น (Von Mises Stress) สูงสุด ระหว่างกรณีไม่มีการติดตั้งแดมเปอร์และ กรณีติดตั้งแดมเปอร์ 02.....	32
รูปที่ 4.16 แสดงความเค้นบนแบบจำลองสะพานหลังติดตั้งแดมเปอร์กรณีที่ 4 (Damper 03).....	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานภายในเท่านั้น เมื่อผู้ใช้เห็นใบแจ้งประโยชน์ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปร่างภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.17 กราฟเปรียบเทียบความเค้น (Von Mises Stress) สูงสุด ระหว่างกรณีไม่มีการติดตั้งแดมเปอร์และกรณีติดตั้งแดมเปอร์ 03.....	33
รูปที่ 4.18 แสดงความเค้นบนแบบจำลองสะพานหลังติดตั้งแดมเปอร์กรณี 5 (Damper 04).....	33
รูปที่ 4.19 กราฟเปรียบเทียบความเค้น (Von Mises Stress) สูงสุด ระหว่างกรณีไม่มีการติดตั้งแดมเปอร์และกรณีติดตั้งแดมเปอร์ 04.....	34
รูปที่ 4.20 แสดงความเค้นบนแบบจำลองสะพานหลังติดตั้งแดมเปอร์กรณี 6 (Damper 05).....	34
รูปที่ 4.21 กราฟเปรียบเทียบความเค้น (Von Mises Stress) สูงสุด ระหว่างกรณีไม่มีการติดตั้งแดมเปอร์และกรณีติดตั้งแดมเปอร์ 05.....	34
รูปที่ 4.22 แสดงความเค้นบนแบบจำลองสะพานหลังติดตั้งแดมเปอร์กรณี 7 (Damper 06).....	35
รูปที่ 4.23 กราฟเปรียบเทียบความเค้น (Von Mises Stress) สูงสุด ระหว่างกรณีไม่มีการติดตั้งแดมเปอร์และกรณีติดตั้งแดมเปอร์ 06.....	35
รูปที่ 4.24 แสดงความเค้นบนแบบจำลองสะพานหลังติดตั้งแดมเปอร์กรณี 8 (Damper 07).....	35
รูปที่ 4.25 กราฟเปรียบเทียบความเค้น (Von Mises Stress) สูงสุด ระหว่างกรณีไม่มีการติดตั้งแดมเปอร์และกรณีติดตั้งแดมเปอร์ 07.....	36
รูปที่ 4.26 แสดงความเค้นบนแบบจำลองสะพานหลังติดตั้งแดมเปอร์กรณี 9 (Damper 08).....	36
รูปที่ 4.27 กราฟเปรียบเทียบความเค้น (Von Mises Stress) สูงสุด ระหว่างกรณีไม่มีการติดตั้งแดมเปอร์และกรณีติดตั้งแดมเปอร์ 08.....	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	3
ตารางที่ 2.1 สถิติการเกิดแผ่นดินไหวในประเทศไทย ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2521-2562.....	9
ตารางที่ 3.1 ค่าคุณสมบัติของวัสดุ.....	21
ตารางที่ 4.1 กรณีวิเคราะห์แบบจำลองสะพานแขวน.....	25
ตารางที่ 4.2 การคำนวณหาแรงสถิตยที่กระทำต่อเสาสูง (Pylon).....	26
ตารางที่ 4.3 กรณีวิเคราะห์แบบจำลองสะพานแขวนหลังจากติดตั้งแดมเปอร์.....	30
ตารางที่ 4.4 เปรียบค่าความเค้น (Von Mises Stress) ของแต่ละกรณี.....	37



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

มีหลายประเทศที่ได้รับผลกระทบและได้รับความเสียหายจากแผ่นดินไหวเช่น Japan : Hyogo (1995), Pakistan : Kashmir (2005) แผ่นดินไหวเป็นปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ มักจะเกิดตามรอยเลื่อนของโลก เป็นปรากฏการณ์การสั่นสะเทือนของพื้นผิวโลกเพื่อปรับตัวให้อยู่ในสภาวะสมดุล ในประเทศไทยมีรอยเลื่อนมีพลังทั้งหมด 16 รอยเลื่อน จากบันทึกของกรมอุตุนิยมวิทยา พบว่าแผ่นดินไหวที่เคยเกิดขึ้นในประเทศไทย 40 ปีย้อนหลังจะมีค่าอยู่ระหว่าง 4-5 Magnitude แต่เมื่อวันที่ 5 พฤษภาคม พ.ศ. 2557 ได้เกิดแผ่นดินไหวขนาด 6.3 Magnitude ที่อำเภอพานจังหวัดเชียงราย ทำให้สิ่งปลูกสร้างในบริเวณนั้น ๆ ได้รับความเสียหายเป็นจำนวนมาก นอกจากโครงสร้างของอาคารแล้ว ยังมีสะพานซึ่งเป็นโครงสร้างที่สำคัญในระบบขนส่งที่ได้รับผลกระทบจากแผ่นดินไหว ดังนั้นควรจะมีการป้องกันความเสียหายของสะพานจากแรงแผ่นดินไหว

ในประเทศไทยได้มีการประกาศมาตรฐาน 1302-52 ในปี พ.ศ. 2552 เพื่อให้มีมาตรฐานที่เป็นสากลมากขึ้นแต่ในปี พ.ศ. 2557 ได้มีแผ่นดินไหวขนาด 6.3 Magnitude ขึ้นจึงได้มีการปรับมาตรฐานเป็นมาตรฐาน 1302-61 ออกมาในปี พ.ศ. 2561 เพื่อปรับค่าคงที่ในการคำนวณให้ทันสมัยมากยิ่งขึ้น จากเหตุแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นที่อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย ซึ่งรุนแรงที่สุดในรอบ 40 ปีของประเทศไทย ทำให้มีการตระหนักถึงวิธีการรับมือแผ่นดินไหว คณะผู้จัดทำจึงมองเห็นว่านอกจากโครงสร้างของอาคาร ยังมีโครงสร้างอื่นๆที่ได้รับความเสียหายจากแผ่นดินไหว โดยได้เลือกสะพานที่เป็นโครงสร้างสำคัญในระบบขนส่ง เนื่องจากหากสะพานได้รับความเสียหายแล้วไม่สามารถใช้งานได้จะส่งผลให้เกิดการสูญเสียเป็นอย่างมาก

ในปัจจุบันมีการนำ FE models มาใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างต่าง ๆ เนื่องจากสามารถนำแบบจำลองที่สร้างมาจับกับคลื่นแผ่นดินไหว ทำให้เห็นจุดที่โครงสร้างมีการเสียรูปมากที่สุดได้อย่าง

ชัดเจนและสามารถบอกถึงความเค้นและความเครียดในส่วนต่าง ๆ ของโครงสร้างได้ ทำให้สามารถระบุตำแหน่งที่ควรติดตั้งอุปกรณ์ลดการสั่นสะเทือนของโครงสร้างสะพานได้ โดยมีตัวอย่างให้เห็นจาก

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

งานวิจัยของ เสนีย์ ศิริไชย, ชิต เหล่าวัฒนา และบรรพต วนาศิริสวัสดิ์ ได้มีการวิเคราะห์โครงสร้างของสะพานพระรามเก้า โดยใช้ FE models มาวิเคราะห์พฤติกรรมของส่วนต่างๆของโครงสร้างของสะพาน เมื่อได้รับแรงต่างๆเช่น แรงลมและ การสั่นสะเทือนเนื่องจากยานพาหนะ เพื่อหาความถี่ธรรมชาติ และผิดรูปของสะพาน

โดยในงานวิจัยได้ทำการสร้างแบบจำลองโครงสร้างสะพานด้วยโปรแกรม ABAQUS เพื่อศึกษาพฤติกรรมของโครงสร้างจากทั้งโปรแกรมและทฤษฎีเพื่อยืนยันว่าโปรแกรมนี้สามารถนำมาวิเคราะห์โครงสร้างที่ซับซ้อนได้อย่างถูกต้องและในอนาคตจะมีการนำคลื่นจากแผ่นดินไหว มาวิเคราะห์ร่วมกับแบบจำลองโครงสร้างของสะพาน

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อประเมินความปลอดภัยของสะพานแขวนภายใต้แรงแผ่นดินไหวโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีพลศาสตร์ (Dynamic Analysis)

1.3 ขอบเขตของโครงการพิเศษ

1. ใช้ FE models ในการทำ Line element กับ Solid element
2. วิเคราะห์โครงสร้างโครงสร้างสะพานแขวน
3. ใช้คลื่นแผ่นดินไหวในการวิเคราะห์
4. ติดตั้งแบบจำลองอุปกรณ์ควบคุมการสั่นสะเทือน

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงานและระยะเวลาในการดำเนินงานแสดงตามตารางที่ 1.1 ซึ่งแสดงการดำเนินงานตั้งแต่เริ่มต้นวิจัยจนขั้นตอนสุดท้ายของงานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

NO	TASK NAME	DURATION	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
1	หาข้อมูลรอยเลื่อน แผ่นดินไหว และ มาตรฐานการออกแบบ	8 week									
2	ทำการสร้างแบบจำลอง สะพานและตรวจสอบ หาจุดผิดพลาดของ แบบจำลอง	5 week									
3	ทำการวิเคราะห์ โครงสร้างสะพานแขวน ด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า	4 week									
4	ศึกษาและค้นคว้าข้อมูล เกี่ยวกับคลื่นแผ่นดินไหว	3 week									
5	ทำการวิเคราะห์ โครงสร้างสะพานแขวน กับคลื่นแผ่นดินไหว	4 week									
6	หาจุดวิกฤตของ โครงสร้างวิเคราะห์การ ติดตั้งแดมเปอร์	4 week									
7	สรุปผลการวิเคราะห์	4 week									
8	จัดทำเล่มวิทยานิพนธ์	4 week									

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ทราบพฤติกรรมของโครงสร้างสะพานแขวนเนื่องจากแรงแผ่นดินไหว
2. สามารถกำหนดตำแหน่งที่จะติดตั้งอุปกรณ์ลดการสั่นสะเทือนของโครงสร้างสะพาน
3. ทดลองติดตั้งชุดติดตั้งเพิ่มเติมเพื่อต้านแรงแผ่นดินไหว พร้อมวิเคราะห์ผลลัพธ์หลังการติดตั้ง
4. สามารถกำหนดรูปแบบการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมการสั่นสะเทือนที่ให้ประสิทธิภาพมากที่สุด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 2

วรรณกรรมปริทัศน์

2.1 การเกิดแผ่นดินไหว

แผ่นดินไหวเป็นภัยพิบัติทางธรรมชาติที่เกิดจากการสั่นสะเทือนของพื้นดิน อันเนื่องมาจากการปลดปล่อยพลังงานเพื่อลดความเครียดที่สะสมไว้ภายในโลกออกมาเพื่อปรับสมดุลของเปลือกโลกให้คงที่ ปัจจุบันนักวิทยาศาสตร์ยังไม่สามารถทำนายเวลา สถานที่ และความรุนแรงของแผ่นดินไหวที่จะเกิดขึ้นในอนาคตได้ ดังนั้นจึงควรศึกษา เรียนรู้ เพื่อให้เข้าใจถึงกระบวนการเกิดของแผ่นดินไหวที่แท้จริง เพื่อเป็นแนวทางในการลดความเสียหายที่เกิดขึ้น

2.1.1 สาเหตุของการเกิดแผ่นดินไหว

การเกิดแผ่นดินไหวมีสาเหตุมาจาก 2 สาเหตุใหญ่ สาเหตุแรกเกิดจากการกระทำของมนุษย์ ได้แก่ การทดลองระเบิดปรมาณู การกักเก็บน้ำในเขื่อน และแรงระเบิดจากการทำเหมืองแร่ ส่วนสาเหตุที่สองเป็นสาเหตุหลักของการเกิดแผ่นดินไหว โดยเป็นการเกิดตามธรรมชาติอันเนื่องมาจากการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลก ทั้งนี้ทฤษฎีกลไกการเกิดแผ่นดินไหวที่ยอมรับกันในปัจจุบันมี 2 ทฤษฎี คือ

1. ทฤษฎีว่าด้วยการขยายตัวของเปลือกโลก โดยแผ่นดินไหวเกิดจากการที่เปลือกโลกเกิดการคดโค้ง โกงตัวอย่างฉับพลัน และเมื่อวัตถุขาดออกจากกันจึงปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปคลื่นแผ่นดินไหว

2. ทฤษฎีว่าด้วยการคืนตัวของวัตถุ โดยแผ่นดินไหวมาจากการเคลื่อนตัวของรอยเลื่อน กล่าวคือ เมื่อรอยเลื่อนเกิดการเคลื่อนตัวถึงจุดหนึ่งวัตถุจะขาดออกจากกันและเสียรูปอย่างมาก พร้อมทั้งปลดปล่อยพลังงานมหาศาลออกมาในรูปของคลื่นแผ่นดินไหว และหลังจากนั้นวัตถุจะคืนตัวกลับสู่รูปเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.2 รอยเลื่อนมีพลังในประเทศไทย

เมื่อรอยเลื่อนใดรอยเลื่อนหนึ่งขยับ ก็มีโอกาสที่รอยเลื่อนอื่น ๆ จะขยับตามและทำให้เกิดแผ่นดินไหวในจุดอื่น ๆ ตามมาได้เช่นกัน ซึ่งรอยเลื่อนมีพลังในประเทศไทย เคยเกิดขึ้นแล้ว 9 แห่งด้วยกัน และจากการรายงานของกรมทรัพยากรธรณีวิทยา พบว่า ปัจจุบันประเทศไทยมีรอยเลื่อนที่มีพลังทั้งหมด 15 รอยเลื่อน โดยกระจายอยู่ใน 22 จังหวัด ได้แก่

1. รอยเลื่อนแม่จัน

พาดผ่านอำเภอฝาง อำเภอแม่เมาะ จังหวัดเชียงใหม่ อำเภอแม่จัน อำเภอเชียงแสน และอำเภอเชียงของ จังหวัดเชียงราย ในแนวทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ มีความยาวประมาณ 101 กิโลเมตร

2. รอยเลื่อนแม่เอ็ง

พาดผ่านอำเภอเทิง อำเภอขุนตาล และอำเภอเชียงของ จังหวัดเชียงรายในแนวทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ มีความยาวประมาณ 57 กิโลเมตร

3. รอยเลื่อนแม่ฮ่องสอน

พาดผ่านอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอน จังหวัดแม่ฮ่องสอน ในแนวทิศเหนือ-ใต้ มีความยาวประมาณ 29 กิโลเมตร

4. รอยเลื่อนเมย

วางตัวในแนวทิศตะวันออกเฉียงเหนือ พาดผ่านตั้งต้นจากลำน้ำเมย ชายแดนพม่า ต่อไปยังห้วยแม่ท้อ ลำน้ำปิง จังหวัดตาก ไปถึงจังหวัดกำแพงเพชร นครสวรรค์ และสิ้นสุดที่จังหวัดอุทัยธานี ในแนวทิศตะวันตกเฉียงเหนือ มีความยาวประมาณ 250 กิโลเมตร

5. รอยเลื่อนแม่ทา

พาดผ่านอำเภอแม่ทา จังหวัดลำพูน และอำเภอแม่ออน จังหวัดเชียงใหม่ ในแนวโค้งไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ มีความยาวประมาณ 61 กิโลเมตร

6. รอยเลื่อนเถิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

พาดผ่านอำเภอแม่พริก อำเภอเถิน จังหวัดลำปาง และอำเภอวังชิ้น จังหวัดแพร่ ในแนวโค้ง
ในไปทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือ มีความยาวประมาณ 103 กิโลเมตร

7. รอยเลื่อนพะเยา

พาดผ่านอำเภองาว จังหวัดลำปาง และอำเภอเมือง จังหวัดพะเยา ในแนวทิศตะวันตกเฉียง
เหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ ทางด้านทิศเหนือของรอยเลื่อนท่าสี่ มีความยาวประมาณ 23 กิโลเมตร

8. รอยเลื่อนป่า

พาดผ่านพื้นที่อำเภอสันติสุข อำเภอท่าวังมา อำเภอป่า อำเภอเชียงกลาง และอำเภอทุ่งช้าง
ของจังหวัดน่านในแนวเหนือ-ใต้ ด้วยความยาวประมาณ 130 กิโลเมตร

9. รอยเลื่อนอุตรดิตถ์

พาดผ่านอำเภอเมือง อำเภอท่าปลา จังหวัดอุตรดิตถ์ อำเภอนาหมื่น อำเภอนาน้อย อำเภอ
เวียงสา และอำเภอแม่จริม จังหวัดน่าน ในแนวทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ มีความยาว
ประมาณ 150 กิโลเมตร

10. รอยเลื่อนเจดีย์สามองค์

พาดผ่านอำเภอทองผาภูมิ และอำเภอสังขละบุรี จังหวัดกาญจนบุรี ในแนวทิศตะวันตกเฉียง
เหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ มีความยาวประมาณ 60 กิโลเมตร

11. รอยเลื่อนศรีสวัสดิ์

พาดผ่านอำเภอบ้านไร่ จังหวัดอุทัยธานี อำเภอศรีสวัสดิ์ และอำเภอหนองปรือ จังหวัด
กาญจนบุรี ในแนวโค้งเล็กน้อยไปทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ มีความยาวประมาณ 62 กิโลเมตร

12. รอยเลื่อนเพชรบูรณ์

พาดผ่านอำเภอหนองไผ่ อำเภอเมือง อำเภอหล่มสัก และอำเภอหล่มเก่า จังหวัดเพชรบูรณ์
ประกอบด้วยรอยเลื่อนบริวารในแนวทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ กับแนวทิศตะวันตก
เฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้สลับกัน มีความยาวประมาณ 110 กิโลเมตร

13. รอยเลื่อนระนอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบรรณารักษ์เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

พาดผ่านพื้นที่ตั้งแต่ จังหวัดระนอง ชุมพร ประจวบ คีรีขันธ์ และพังงา มีความยาวประมาณ 270 กิโลเมตร

14. รอยเลื่อนคลองมะรุ่ย

พาดผ่านอำเภอบ้านตาขุน อำเภอพนม จังหวัดสุราษฎร์ธานี อำเภอบ้านพุด อำเภอเมือง จังหวัดพังงา พาดผ่านไปตามทะเลอันดามัน ระหว่างอำเภอเมือง จังหวัดภูเก็ต กับอำเภอเกาะยาว จังหวัดพังงา ในแนวทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ มีความยาวประมาณ 148 กิโลเมตร

15. รอยเลื่อนมะยม

พาดผ่านอำเภอสอง จังหวัดแพร่ และอำเภอเชียงม่วน จังหวัดพะเยา ในแนวทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ มีความยาวประมาณ 22 กิโลเมตร

16. รอยเลื่อนเวียงแหง

พาดผ่านทิศเหนือใต้บริเวณชายแดนเมียนมาจาก อ.เวียงแหง-อ.สะเมิง จังหวัดเชียงใหม่ความยาวประมาณ 100 กม. ผ่าน 37หมู่บ้าน 8 ตำบล ของ 4 อำเภอ เป็นรอยเลื่อนลงในแนวตั้ง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ **รูปที่ 2.1** รอยเลื่อนมีพลังในประเทศไทย 16 แห่ง

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ (<https://www.cm108.com/w/10458/>)

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.3 สถิติการเกิดแผ่นดินไหวของประเทศไทย

แผ่นดินไหวในประเทศไทยที่เกิดขึ้นเมื่อเวลา 18.08 น. ของวันที่ 5 พฤษภาคม 2557 โดยมีจุดศูนย์กลางอยู่ที่อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย นับเป็นเหตุแผ่นดินไหวครั้งรุนแรงที่สุดในรอบ 50-100 ปี เพราะมีขนาดความรุนแรงมากถึง 6.3 แมกนิจูด สร้างความเสียหายให้บ้านเรือนประชาชน สิ่งปลูกสร้างในจังหวัดเชียงรายและจังหวัดใกล้เคียงไม่น้อยเพราะเป็นการเกิดแผ่นดินไหวบนบกที่ลึกจากพื้นดินเพียงแค่ 7.4 กิโลเมตรเท่านั้น

สถิติการเกิดแผ่นดินไหวในประเทศไทย ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2521-2562 ที่มีจุดศูนย์กลางอยู่ในประเทศไทย และเป็นแผ่นดินไหวที่ระดับความรุนแรง 4.0 แมกนิจูดขึ้นไป ซึ่งเป็นระดับที่รับรู้แรงสั่นสะเทือน และทำให้วัตถุแกว่งไกวได้ ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สถิติการเกิดแผ่นดินไหวในประเทศไทย ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2521-2562

วันที่	ขนาด (แมกนิจูด)	จุดศูนย์กลาง	ความเสียหาย
20 ก.พ. 2562	4.9	อ.วังเหนือ จ.ลำปาง	ประชาชนบางส่วนในพื้นที่สามารถรับรู้ได้ถึงแรงสั่นสะเทือน แต่ยังไม่มียุทธศาสตร์ความเสียหาย
5 พ.ค. 2557	6.3	อ.พาน จ. เชียงราย	บ้านเรือน สิ่งปลูกสร้าง ในจังหวัดเชียงรายและใกล้เคียงเสียหาย รับรู้ แรงสั่นสะเทือนถึงตึกสูงใน กทม.
4 มิ.ย. 2555	4.0	อ.เมือง จ.ระนอง	รู้สึกสั่นไหวที่ ต.เขานิเวศน์ ต.บางนอน อ.เมืองระนอง จ.ระนอง
16 เม.ย. 2555	4.3	อ.ถลาง จ.ภูเก็ต	รู้สึกไหวในหลายพื้นที่ใน จ.ภูเก็ต บ้านเรือนแตกร้าวหลายหลัง เกิดอาฟเตอร์ช็อคมากกว่า 26 ครั้ง ใน อ.ถลาง
23 ธ.ค. 2551	4.1	อ.พระแสง จ.สุราษฎร์ธานี	รู้สึกสั่นไหวในบริเวณ อ.พระแสง จ.สุราษฎร์ธานี
19 มิ.ย. 2550	4.5	อ.แมริม จ.เชียงใหม่	รู้สึกสั่นสะเทือนได้ที่ อ.แมริม จ.เชียงใหม่ และ จ.ลำพูน
22 เม.ย. 2550	4.5	อ.เวียงป่าเป้า จ.เชียงราย	รู้สึกสั่นสะเทือนได้ที่ อ.เวียงป่าเป้า จ.เชียงราย และ จ.พะเยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่หรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาหรือข้อมูลใดๆของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

วันที่	ขนาด (แมกนิจูด)	จุดศูนย์กลาง	ความเสียหาย
13 ธ.ค. 2549	5.1	อ.แมริม จ.เชียงใหม่	รู้สึกสั่นสะเทือนได้เกือบทั่วไปใน จ.เชียงใหม่ และอาคาร สูงใน จ.เชียงราย
17 พ.ย. 2549	4.4	อ.พาน จ. เชียงราย	รู้สึกสั่นสะเทือนได้ที่ อ.พาน และ อ.เมือง จ.เชียงราย
15 ธ.ค. 2548	4.1	จ.เชียงราย	รู้สึกสั่นสะเทือนได้ที่ อ.เมือง อ.เทิง จ.เชียงราย
4 ธ.ค. 2548	4.1	จ.เชียงราย	รู้สึกสั่นสะเทือนได้บนอาคารสูง จ.เชียงใหม่ และ จ. ลำพูน
18 ธ.ค. 2545	4.3	อ.เชียงดาว จ.เชียงใหม่	รู้สึกได้ที่ อ.เชียงดาว จ.เชียงราย
2 ก.ค. 2545	4.7	อ.เชียงแสน จ.เชียงราย	รู้สึกได้ที่ อ.เชียงแสน อ.เมือง อ.เชียงของ จ.เชียงราย, อ.เมือง จ.พะเยา, อ.เมือง จ.น่าน มีความเสียหาย เล็กน้อยบริเวณ อ.เชียงแสน อ.เชียงของ
22 ก.พ. 2544	4.3	เขื่อนเขาแหลม จ.กาญจนบุรี	รู้สึกได้ที่ อ.ทองผาภูมิ จ.กาญจนบุรี
13 ก.ค. 2541	4.1	อ.ฝาง จ. เชียงใหม่	รู้สึกได้ที่ อ.ฝาง จ.เชียงใหม่ และ จ.เชียงราย
2 ก.พ. 2540	4.0	บริเวณ อ.สอง จ.แพร่	รู้สึกได้ที่ อ.สอง จ.แพร่
21 ธ.ค. 2538	5.2	อ.พร้าว จ.เชียงใหม่	รู้สึกได้ที่ จ.เชียงใหม่ เชียงราย พะเยา ลำปาง ลำพูน และแม่ฮ่องสอน มีผู้สูงอายุเสียชีวิตที่ อ.เมือง จ. เชียงใหม่ 1 คน จากการล้มศีรษะ กระแทกพื้น มีความ เสียหายเล็กน้อยที่บริเวณใกล้ศูนย์กลาง
9 ธ.ค. 2538	5.1	อ.ร้องกวาง จ.แพร่	รู้สึกได้ที่ อ.เชียงใหม่ เชียงราย ลำพูน ลำปาง พะเยา แพร่ อุตรดิตถ์ และน่าน เสียหายเล็กน้อย ที่ จ.แพร่
5 พ.ย. 2538	4.0	อ.ฝาง จ. เชียงใหม่	รู้สึกได้ที่ อ.ฝาง จ.เชียงใหม่
17 ต.ค. 2538	4.3	อ.ปาย แม่ฮ่องสอน	รู้สึกได้ที่ อ.เมือง จ.เชียงใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานานาชาติ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกรุ่นใหม่ให้ข้อเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องสงวนลิขสิทธิ์ของเอกสารฉบับนี้ไว้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

วันที่	ขนาด (แมกนิจูด)	จุดศูนย์กลาง	ความเสียหาย
11 ก.ย. 2537	5.1	อ.แม่สรวย จ.เชียงราย	รู้สึกได้ที่ จ.เชียงราย มีความเสียหายต่อสิ่งก่อสร้างใกล้ ศูนย์กลาง เช่น โรงพยาบาลพาน วัด และโรงเรียน
8 พ.ค. 2537	4.5	จ.เชียงใหม่	รู้สึกได้ที่ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ จ.ลำปาง จ.ลำพูน
5 พ.ย. 2534	4.0	จ.แม่ฮ่องสอน	รู้สึกสั่นไหวที่ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ และ อ.ขุนยวม จ. แม่ฮ่องสอน
3 พ.ย. 2533	4.0	จ.กาญจนบุรี	รู้สึกสั่นไหวที่ อ.ศรีสวัสดิ์ จ.กาญจนบุรี
12 ต.ค. 2533	4.0	จ. เพชรบูรณ์	รู้สึกสั่นไหวที่ อ.หล่มสัก อ.หล่มเก่า จ.เพชรบูรณ์
28 พ.ค. 2533	4.2	จ.กาญจนบุรี	รู้สึกสั่นไหวที่ อ.ศรีสวัสดิ์ จ.กาญจนบุรี
15 ธ.ค. 2532	4.0	จ.กาญจนบุรี	รู้สึกสั่นไหวที่ อ.ศรีสวัสดิ์ จ.กาญจนบุรี
29 พ.ย. 2531	4.5	จ.กาญจนบุรี	รู้สึกสั่นไหวที่ อ.ศรีสวัสดิ์ และ อ.ทองพูนภูมิ จ.กาญจนบุรี
25 ก.ค. 2531	4.2	จ.พะเยา	รู้สึกสั่นไหวที่ จ.เชียงใหม่
19 ก.พ. 2531	4.2	จ.เชียงใหม่	รู้สึกสั่นไหวที่ จ.เชียงใหม่
30 ส.ค. 2526	4.2	จ.กาญจนบุรี	รู้สึกสั่นไหวที่ จ.กาญจนบุรี
18 ก.ค.2526	4.7	จ.กาญจนบุรี	รู้สึกสั่นไหวที่ อ.บ้านโป่ง จ.ราชบุรี
22 เม.ย. 2526	5.2	จ.กาญจนบุรี	รู้สึกแผ่นดินไหวตลอดภาคกลาง และภาคเหนือ ส่วน อาคารใน กทม. เสียหายเล็กน้อย
22 เม.ย. 2526	5.9	จ.กาญจนบุรี	รู้สึกแผ่นดินไหวตลอดภาคกลาง และภาคเหนือ ส่วน อาคารใน กทม. เสียหายเล็กน้อย
15 เม.ย. 2526	5.5	จ.กาญจนบุรี	รู้สึกแผ่นดินไหวชัดเจนใน กทม.
20 มิ.ย. 2525	4.3	จ.เชียงใหม่	รู้สึกสั่นไหวที่ จ.เชียงใหม่ เชียงราย ลำพูน และลำปาง มี เสียงดังคล้ายฟ้าร้อง
22 ธ.ค. 2523	4.0	จ.แพร่	รู้สึกสั่นไหวที่ จ.แพร่
10 ก.พ. 2523	4.2	จ.เชียงใหม่	รู้สึกสั่นไหวที่ จ.เชียงใหม่ นาน 5 วินาที
24 ก.ค. 2521	4.0	จ.ตาก	รู้สึกสั่นไหวที่ อ.สามเงา อ.อุ้มผาง และ อ.แม่สอด จ. ตาก
26 พ.ค. 2521	4.8	อ.พร้าว จ.เชียงใหม่	เสียหายเล็กน้อยที่ อ.พร้าว รู้สึกสั่นไวนาน 15 วินาที ที่ จ.เชียงราย เชียงใหม่ และลำปาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับใช้ในการเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ลิขสิทธิ์นี้สงวนไว้ให้จัดแบ่งปันแก่ผู้อื่น และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

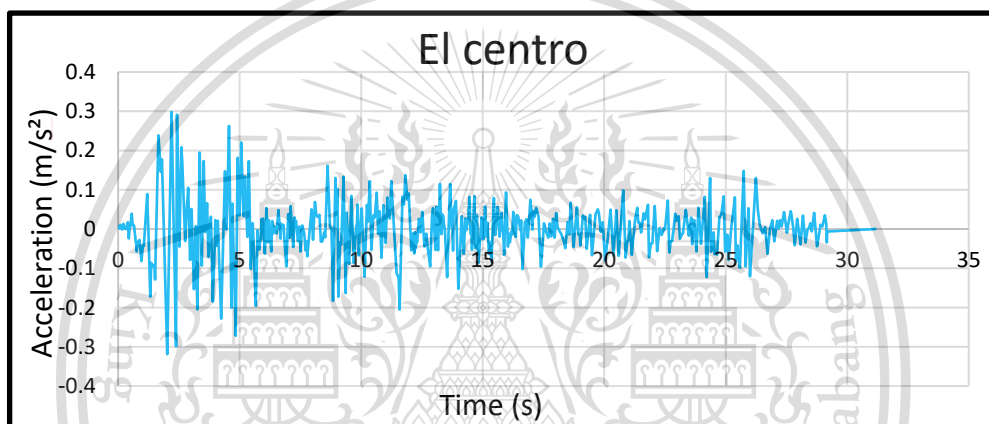
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

วันที่	ขนาด (แมกนิจูด)	จุดศูนย์กลาง	ความเสียหาย
17 ก.พ. 2518	5.6	พม่า-ไทย (จ.ตาก)	รู้สึกได้ทั้งภาคเหนือและภาคกลาง รวมถึง กทม. มีความเสียหายเล็กน้อย

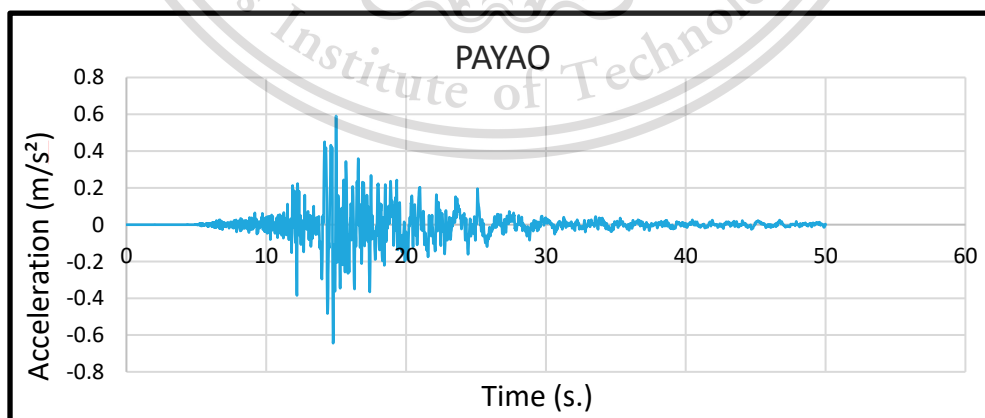
2.4 คลื่นแผ่นดินไหวที่นำมาใช้วิเคราะห์

2.4.1 คลื่นแผ่นดินไหวมาตรฐาน El Centro



รูปที่ 2.2 คลื่นแผ่นดินไหว El Centro

2.4.2 คลื่นแผ่นดินไหวของรอยเลื่อนพะเยา



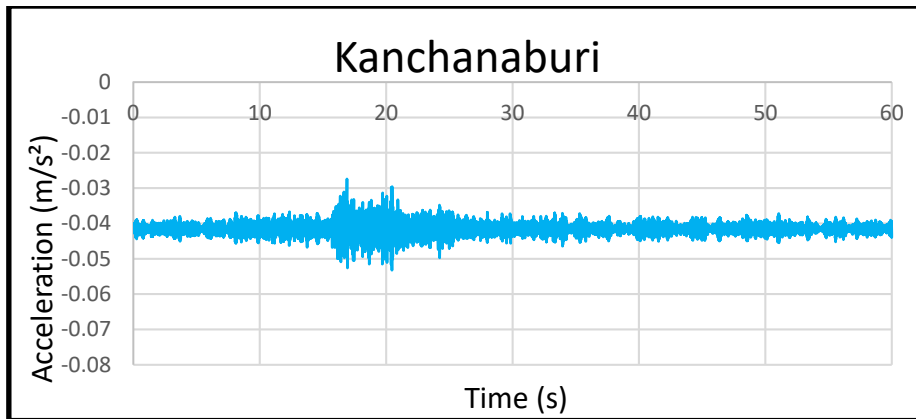
รูปที่ 2.3 คลื่นแผ่นดินไหวของรอยเลื่อน Payao

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.4.3 คลื่นแผ่นดินไหวของจังหวัดกาญจนบุรี



รูปที่ 2.4 คลื่นแผ่นดินไหวของรอยเลื่อน Kanchanaburi

2.5 โครงสร้างที่ใช้ในการวิเคราะห์

โครงสร้างที่ใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างต้านทานแผ่นดินไหว คือ โครงสร้างสะพานแขวน เนื่องมาสะพานเป็นเส้นทางหนึ่งเดียวที่เชื่อมต่อระหว่างจุด 2 จุด ที่ไม่สามารถข้ามผ่านไปได้อย่างสะดวก สะพาน และสะพานแขวนนั้นมีช่วง Span ที่พาดยาวระหว่างจุด 2 จุด ดังนั้นจึงเลือกที่จะวิเคราะห์โครงสร้างสะพานแขวน นอกจากนั้นยังพบได้หลายพื้นที่ในประเทศไทย

2.5.1 หลักการทำงานของสะพานแขวน

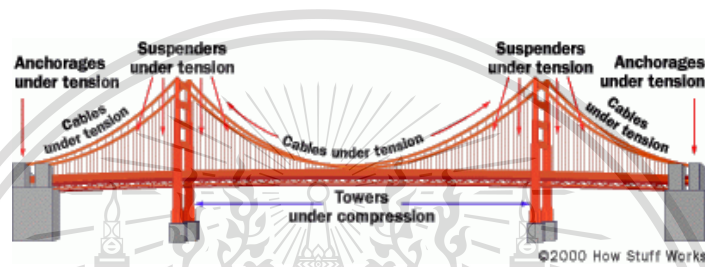
สิ่งก่อสร้างต่างๆที่มนุษย์สร้างขึ้น เราอาจจะเห็นจนชินเป็นเรื่องปรกติ แต่แท้จริงแล้วทุกอย่างล้วนมีการออกแบบทางวิศวกรรมอย่างชาญฉลาด ถ้าเราพิจารณาถึงสิ่งก่อสร้างต่างๆล้วนน่าสนใจมาก อย่างเช่นสะพาน สะพานคือสิ่งก่อสร้างที่ใช้ข้ามอุปสรรคต่างๆเช่นหุบเหวหรือแหล่งน้ำต่างๆ เพื่อให้คนเดินทางหรือใช้ยานพาหนะข้ามไป ในประเทศไทยมีสะพานที่สวยงามหลายแห่งเช่น สะพานภูมิพล 1 และ 2 หรือสะพานพระราม 8 เป็นต้น สะพานที่โด่งดังมากในโลกแห่งหนึ่งชื่อว่าสะพานโกลเดนเกต (Golden Gate Bridge) ซึ่งสะพานที่มีรูปร่างคล้ายๆกันนี้เราเรียกมันว่าสะพานแขวน นอกจากความสวยงามของสะพานนี้แล้ว รูปทรงการออกแบบนี้ยังช่วยให้มันสามารถตั้งอยู่ได้ยาวนานไม่ถล่มหรือพังลงมา แต่ว่าสะพานแบบนี้มีหลักการทำงานอย่างไร

เพื่อที่จะเข้าใจเรื่องนี้เราต้องเข้าใจนิยามศัพท์เฉพาะในทางฟิสิกส์ก่อนที่เป็นสิ่งสำคัญ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนด้านการค้า มากสำหรับสะพานนี้คือเรื่องของแรงดึง (tension) และแรงบีบอัด (compression) เมื่อไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ลึกทงหนามมีให้คิดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ เชือกหรือสายเคเบิลผูกติดกับวัตถุต่างๆและเราออกแรงดึงให้ตั้งเส้นเชือกนี้จะดึงวัตถุด้วย

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

แรง T ในทิศทางพุ่งออกจากวัตถุและตามกฎข้อที่ 3 ของนิวตันก็จะมีแรงขนาดที่เท่ากันจากฝั่งตรงข้ามของวัตถุด้วย แรงนี้เรียกว่าแรงดึงเพราะเส้นเชือกนั้นดึง ส่วนแรงบีบอัดนั้นหมายถึงเมื่อมีแรงกดไปยังวัตถุ โดยสมมติให้มีแรงกดจากด้านบนกดมายังวัตถุบนพื้น ตามกฎข้อที่ 3 ของนิวตันก็จะมีแรงขนาดเท่ากันจากพื้นกระทำต่อวัตถุด้วย เพื่อให้เห็นภาพอย่างง่ายๆเช่นในระบบสปริงเมื่อเราออกแรงบีบอัดจะทำให้สปริงนั้นหดสั้นลง เมื่อเราออกแรงดึงสปริงจะทำให้เกิดแรงดึงและสปริงขยายใหญ่ขึ้น ในการสร้างสะพานนั้นจะต้องพยายามทำให้แรงทั้งสองนั้นสมดุลกันเพื่อที่จะให้สะพานนั้นแข็งแรงไม่พังทลายลงมา



รูปที่ 2.5 ตัวอย่างโครงสร้างสะพานแขวน

(<https://suspensionbridges1.weebly.com/blog/forces-acting-on-a-suspension-bridge>)

สะพานแขวนนั้นเป็นสะพานชนิดหนึ่งที่มีคนสร้างกันมากเพราะเมื่อสร้างเพื่อข้ามแม่น้ำจะใช้เสารับน้ำหนักน้อย น้อยสุดเพียงแค่ 2 ต้นทำให้ไม่กีดขวางการจราจรทางเรือ สะพานแขวนนี้มีหลักการคล้ายๆกับสะพานอีกชนิดหนึ่งคือสะพานซิง (cable-stayed bridge) ซึ่งสามารถพบเห็นในประเทศไทยได้มากกว่า อาทิเช่นสะพานพระราม 8 จัดเป็นสะพานซิงแบบอสมมาตรเสาเดียว 3 ระบายที่ยาวที่สุดในโลก

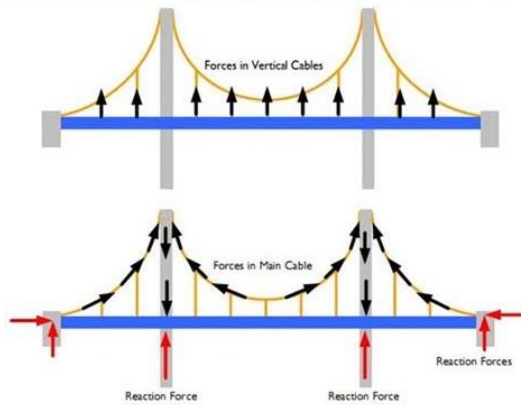
สะพานแขวนโดยปกติจะมีเสารับน้ำหนักทำหน้าที่รับน้ำหนักโครงสร้างของสะพาน โดยจะมีสายเคเบิลหลักพาดระหว่างเสารับน้ำหนักและเชื่อมไปยังฐานทั้งสองฝั่งของสะพาน ทำหน้าที่ซึ่งดึงสายเคเบิล และมีสายเคเบิลในแนวตั้งจำนวนหลายสายยึดระหว่างโครงสร้างของสะพานไปยังสายเคเบิลหลัก สะพานแขวนนั้นถูกแขวนโดยสายเคเบิลหลักกับเสารับน้ำหนักทั้ง 2 เสา รับน้ำหนักส่วนใหญ่ของโครงสร้างสะพาน น้ำหนักของโครงสร้างสะพานจะดึงสายเคเบิลในแนวตั้งจำนวนหลายสายตลอดความยาวของสะพาน โดยแรงดึงที่เกิดขึ้นใน

สายเคเบิลจะถูกส่งไปยังฐานทั้งสองฝั่งของสะพานที่มักทำมาจากวัตถุที่มีมวลมากและมีความแข็งแรงสูง เพราะเช่นนี้เองสะพานแขวนจึงมีจำนวนเสารับน้ำหนักน้อยกว่าสะพานแบบปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.6 แรงที่เกิดขึ้นในโครงสร้างสะพานแขวน

(<https://www.scimath.org/lesson-physics/item/7296-vs>)

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.6.1 Dynamic Behavior of RAMA IX Cable-Stayed Bridge.

(3) Mr. Seney Sirichai, Mr. Djitt Laowattana and Mr. Bunpoth Vanasirisawut , 2000 กล่าวถึงการพิจารณาโครงสร้างของสะพานพระรามเก้า โดยสร้างแบบจำลองของสะพานขึ้นมาเป็น Finite Element Model และใช้วิธี Dynamic analysis ในการวิเคราะห์พฤติกรรมของโครงสร้างเมื่อโครงสร้างได้รับแรงต่างๆเช่น แรงลม และการสั่นสะเทือนเนื่องจากยานพาหนะ เพื่อหาความถี่ธรรมชาติ และผิครูปของสะพาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

3.1 รูปแบบงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์และการเสริมกำลังต้านทานของสะพานแขวนภายใต้แรงแผ่นดินไหวจากรอยเลื่อนพะเยา อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย คลื่นกาญจนบุรี และคลื่น El Centro ด้วยวิธีการเพิ่มโครงสร้างรับแรงต้านข้าง โดยใช้การติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมการสั่นสะเทือน โดยใช้อุปกรณ์สลายพลังงานตามมาตรฐานของกรมโยธาธิการและผังเมือง นอกจากนี้ยังใช้การวิเคราะห์ด้วยวิธีสถิตยศาสตร์ (แรงสถิตเทียบเท่า : Equivalent Static Forces) เพื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จากวิธีพลศาสตร์ (Dynamic Analysis)

3.2 การรวบรวมข้อมูล

การรวบรวมข้อมูลได้ทำการศึกษาค้นคว้าจากหนังสือ วิทยานิพนธ์ และเอกสารวิชาการต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย โดยรายละเอียดของการศึกษาค้นคว้าได้แสดงไว้ในบทที่ 2

3.3 เครื่องมือวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการวิเคราะห์พฤติกรรมของโครงสร้างสะพานแขวน และทำการเสริมกำลังต้านแรงแผ่นดินไหวโดยใช้วิธีการเสริมกำลังตามที่ได้กล่าวไว้ และทำการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยโปรแกรม ABAQUS โดยวิธีเชิงพลศาสตร์ (Dynamic Analysis)

3.4 ขั้นตอนในการทำงานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ 3.4.1 สร้างแบบจำลองไฟไนต์อีลิเมนต์ (FEM) ของสะพานแขวน เพื่อให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.4.1.1 เลือกแบบสะพานแขวนเป้าหมาย

รูปแบบของโครงสร้างสะพานแขวนที่เลือกใช้ในการวิเคราะห์นั้น เกิดจากการสังเกตของสมาชิกในกลุ่มวิจัยในพื้นที่ของจังหวัดกาญจนบุรี โดยเหตุผลในการเลือกสะพานเป้าหมายเพื่อใช้ในการสร้างแบบจำลองไฟไนต์อีลิเมนต์นั้น เนื่องจากสะพานมีโครงสร้างขนาดใหญ่ไม่ใหญ่มาก รายละเอียดไม่เยอะ พอดีที่จะสามารถสร้างแบบจำลองให้คล้ายคลึงได้ง่าย นอกจากนี้ยังสามารถเก็บรูปถ่ายของโครงสร้างสะพานได้ชัดเจนอีกด้วย ดังแสดงในรูปที่ 3.1 และ 3.2



รูปที่ 3.1 รูปแสดงตัวอย่างของสะพานแขวนที่ใช้ในการวิเคราะห์ (ด้านข้าง)



รูปที่ 3.2 รูปแสดงตัวอย่างของสะพานแขวนที่ใช้ในการวิเคราะห์ (ด้านบน)

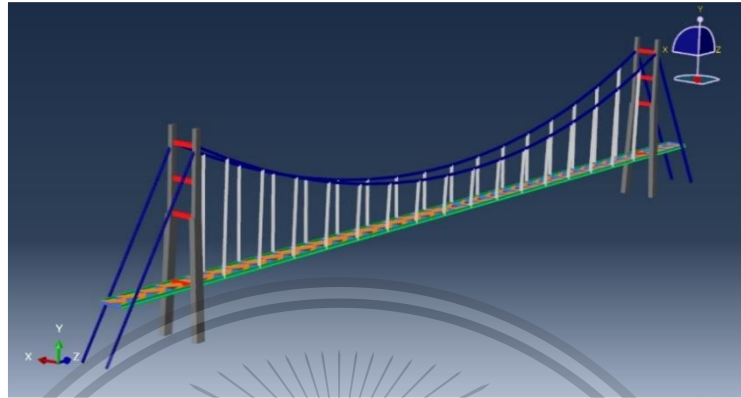
3.4.1.2 แบบจำลองไฟไนต์อีลิเมนต์(FEM)ของสะพานแขวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ในการวิเคราะห์โครงสร้างสะพานแขวนได้ใช้โปรแกรม ABAQUS ในการ
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
สร้างแบบจำลองโดยวิธี line element & solid element และวิเคราะห์โครงสร้าง

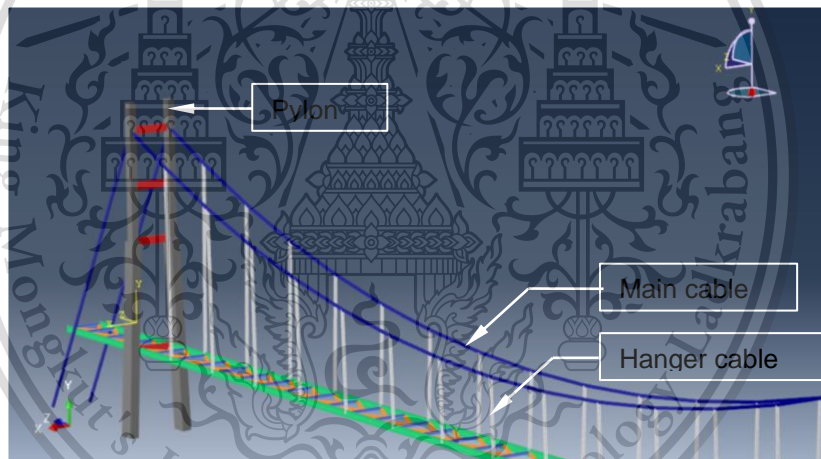
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ด้วยวิธีด้วยวิธีสถิตยศาสตร์ (แรงสถิตเทียบเท่า : Equivalent Static Forces) และวิธีพลศาสตร์ (Dynamic Analysis) โดยแบบจำลองที่สร้างได้จากโปรแกรมแสดงในรูปที่ 3.3, 3.4 และ 3.5



รูปที่ 3.3 แบบจำลองไฟไนต์อีลิเมนต์ของสะพานแขวน

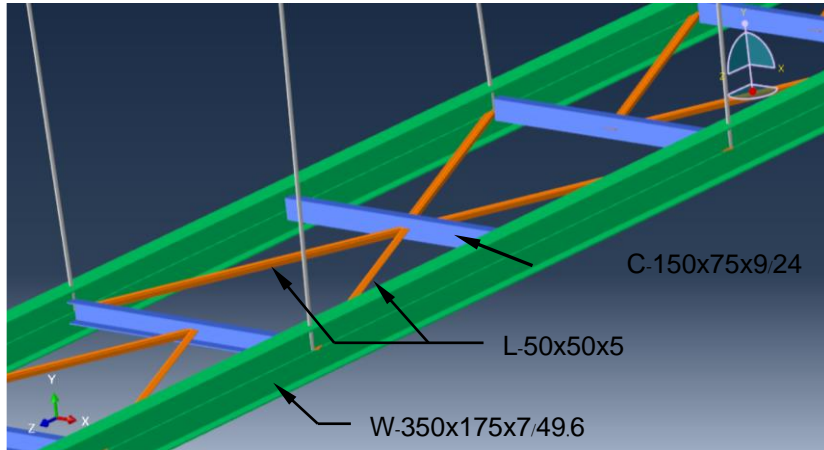


รูปที่ 3.4 แบบจำลองไฟไนต์อีลิเมนต์ของสะพานแขวน (โครงสร้างหลัก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

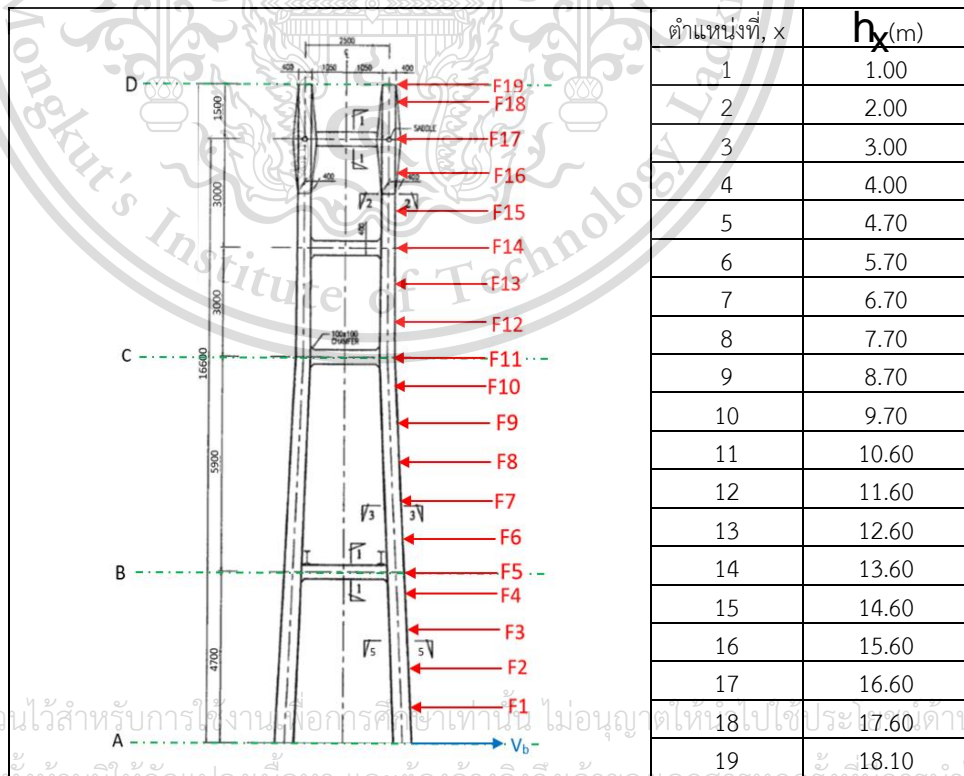


รูปที่ 3.5 แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของสะพานแขวน (โครงสร้างพื้นสะพาน)

3.4.2 วิเคราะห์แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์(FEM)ของสะพานแขวน

3.4.2.1 วิธีแรงสถิตเทียบเท่า (Equivalent Static Forces)

คำนวณแรงสถิตที่กระทำบนเสาสูง (Pylon) ตามตำแหน่งดังรูปที่ 3.6 ตามคู่มือการปฏิบัติประกอบมาตรฐานออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว โดยกรมโยธาธิการและผังเมือง ปี 2561



รูปที่ 3.6 แสดงตำแหน่งและความสูงของจุดที่แรงสถิตกระทำบนเสาสูง (Pylon)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังห้ามเผยแพร่และต้องรับผิดชอบต่อเนื้อหาที่ปรากฏในเอกสารนี้ไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากนั้นนำแรงสถิตที่ได้จากการคำนวณมาใส่ในแบบจำลองสะพานแขวนที่สร้างไว้ในโปรแกรม ABAQUS แล้วทำการวิเคราะห์พฤติกรรมของสะพานแขวน

3.4.2.2 วิธีเชิงพลศาสตร์(Dynamic analysis)

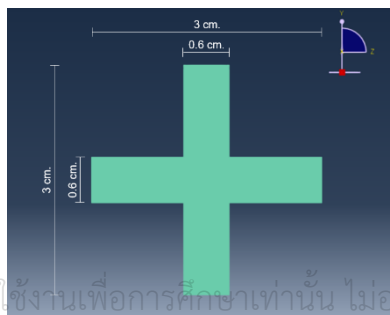
นำแบบจำลองสะพานแขวนที่สร้างเสร็จแล้วมาวิเคราะห์ร่วมกับคลื่นแผ่นดินไหวทั้ง 3 คลื่น ได้แก่ คลื่นแผ่นดินไหว El Centro, คลื่นแผ่นดินไหวกาญจนบุรี และคลื่นแผ่นดินไหวรอยเลื่อนพะเยา โดยใช้ค่า Time Domain ของคลื่นแผ่นดินไหวดังกล่าวที่เป็นความสัมพันธ์ระหว่างความเร่ง (Acceleration), mm/s^2 กับเวลา (Time), s ดังรูป 2.2 ถึง 2.4 โดยหน่วยเหล่านี้เป็นหน่วยพื้นฐานของโปรแกรม

3.4.3 หาจุดวิกฤตของสะพานแขวนจากแบบจำลองไฟไนต์อีลิเมนต์(FEM)

การหาจุดวิกฤตของสะพานหรือจุดที่สะพานจะเกิดความเสียหายมากที่สุด ในการวิจัยครั้งนี้เราสนใจที่จะวิเคราะห์ค่าความเค้น(Stress) และค่าการกระจัด(Displacement) หลังจากที่เรานำคลื่นแผ่นดินไหวทั้ง 3 คลื่นมาวิเคราะห์ร่วมกับแบบจำลองสะพานแล้ว เราจะทำการประเมินว่าจุดที่สะพานจะเกิดความเสียหายมากที่สุดจะเกิดที่บริเวณใดของสะพานโดยอาศัยค่าความเค้นที่มากที่สุด และการกระจัดที่มากที่สุด หลังจากนั้นจึงประเมินว่าคลื่นแผ่นดินไหวคลื่นใดที่จะส่งผลกระทบต่อสะพานมากที่สุด เพื่อที่จะนำคลื่นแผ่นดินไหวนั้นไปวิเคราะห์ในขั้นตอนถัดไป

3.4.4 พิจารณาและประเมินประสิทธิภาพของการติดตั้งแดมเปอร์

3.4.4.1 สร้างแบบจำลองอุปกรณ์ควบคุมการสั่นสะเทือน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้เผยแพร่ลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

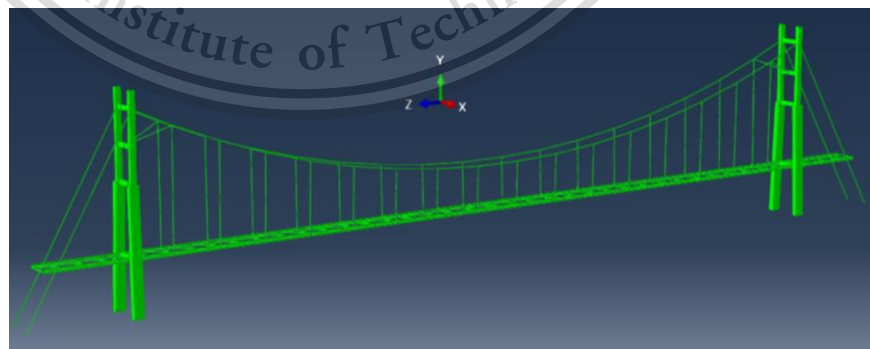
ตารางที่ 3.1 ค่าคุณสมบัติของวัสดุ

Material	SS400
Properties	
Density (kg/m ³)	7850
Yong Modulus (GPa)	200
Poisson's Ratio	0.33
Yield Strength (MPa)	245

สร้างแบบจำลองของอุปกรณ์ควบคุมการสั่นสะเทือนด้วยฟังก์ชันเส้น(Line element) โดยสร้างเป็นหน้าตัดรูปตัว X ดังรูปที่ 3.7 และใช้คุณสมบัติของวัสดุตามตารางที่ 3.1 จากนั้นจะนำมาติดตั้งที่แบบจำลองสะพานแขวนในรูปแบบต่างๆ เพื่อประเมินว่ารูปแบบการติดตั้งแบบใดที่จะให้ประสิทธิภาพมากที่สุด

3.4.4.2 รูปแบบการติดตั้งแบบจำลองอุปกรณ์ควบคุมการสั่นสะเทือน

ในการจำลองอุปกรณ์ควบคุมการสั่นสะเทือน (Damper) มีทั้งหมด 8 รูปแบบ ได้แก่ Damper 01 – Damper 08 ซึ่งลักษณะและตำแหน่งการติดตั้ง ดังแสดงในรูปที่ 3.8 – 3.15

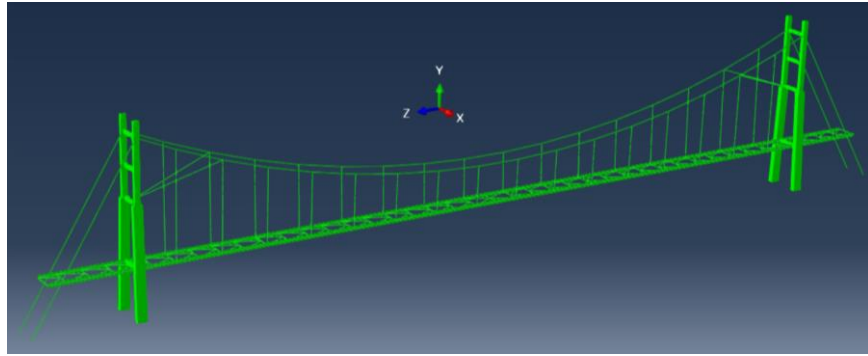


รูปที่ 3.8 การติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมการสั่นสะเทือนรูปแบบ Damper 01

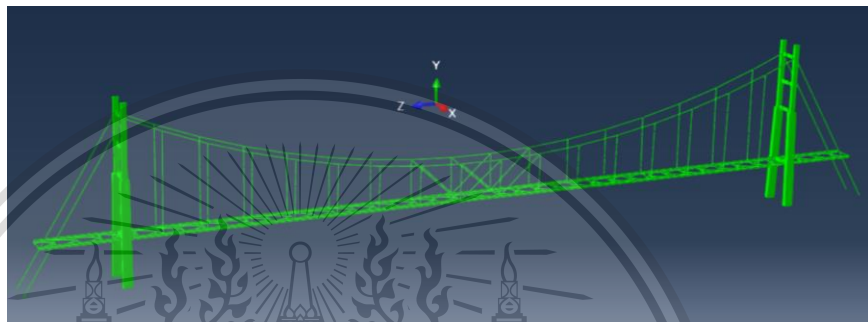
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



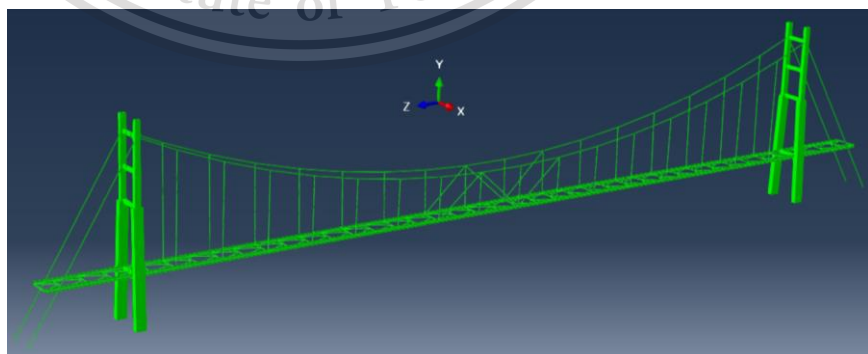
รูปที่ 3.9 การติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมการสั่นสะเทือนรูปแบบ Damper 02



รูปที่ 3.10 การติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมการสั่นสะเทือนรูปแบบ Damper 03



รูปที่ 3.11 การติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมการสั่นสะเทือนรูปแบบ Damper 04

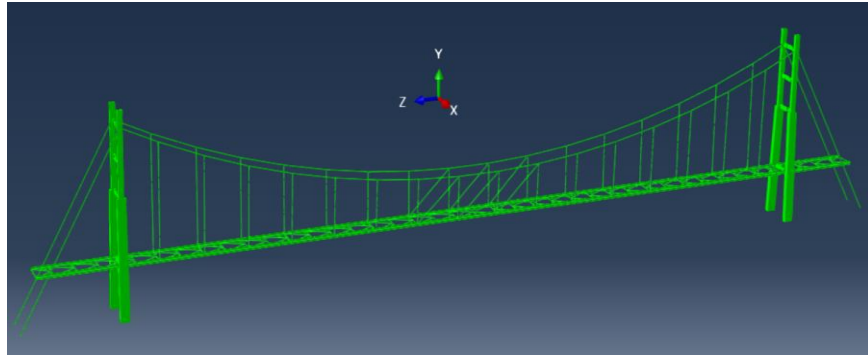


รูปที่ 3.12 การติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมการสั่นสะเทือนรูปแบบ Damper 05

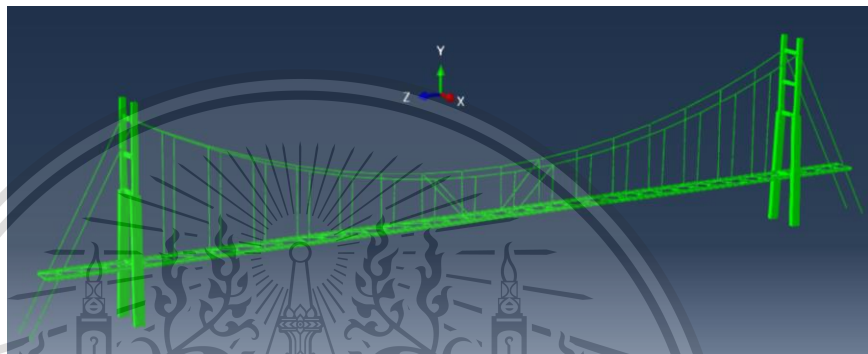
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

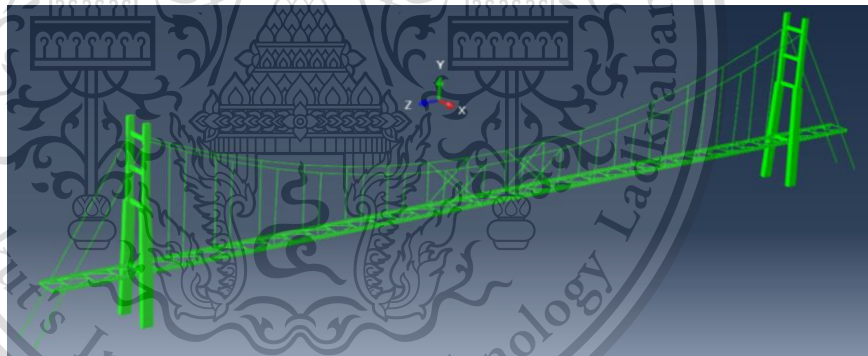
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.13 การติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมการสั่นสะเทือนรูปแบบ Damper 06



รูปที่ 3.14 การติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมการสั่นสะเทือนรูปแบบ Damper 07



รูปที่ 3.15 การติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมการสั่นสะเทือนรูปแบบ Damper 08

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

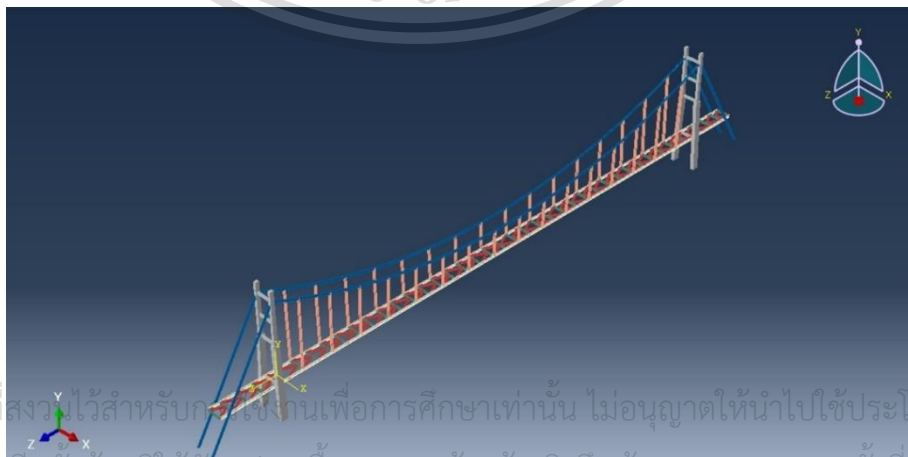
บทที่ 4

ผลการดำเนินงาน

4.1 กล่าวนำ

ในการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า(Equivalent static force) เราสร้างแบบจำลองสะพานขึ้นมาจากนั้นนำแรงสถิตที่คำนวณได้จากทฤษฎีมาใส่ในแบบจำลองสะพาน เพื่อหาค่า Displacement เพื่อแสดงให้เห็นว่าโปรแกรมสามารถวิเคราะห์โครงสร้างได้ และแบบจำลองสะพานที่สร้างสามารถใช้งานได้อย่างไม่มีข้อผิดพลาดจากการสร้างแบบจำลอง อีกทั้งยังช่วยฝึกการใช้โปรแกรม ในหัวข้อนี้เราได้เลือกใช้สะพาน หลังจากตรวจสอบแบบจำลองสะพานเสร็จแล้ว จากนั้นจึงนำแบบจำลองสะพานมาวิเคราะห์ร่วมกับคลื่นแผ่นดินไหว โดยคลื่นแผ่นดินไหวที่ใช้ในการวิเคราะห์นั้นประกอบด้วย คลื่นแผ่นดินไหว El Centro, คลื่นแผ่นดินไหว Phayao และคลื่นแผ่นดินไหว Kanchanaburi เพื่อเลือกใช้คลื่นแผ่นดินไหวที่ส่งผลกระทบต่อแบบจำลองสะพานมากที่สุด หลังจากนั้นสร้างแบบจำลองสะพานที่ติดตั้งแดมเปอร์ในรูปแบบต่างๆ แล้วนำคลื่นแผ่นดินไหวที่เลือกมาวิเคราะห์ร่วมกับแบบจำลองสะพานที่ติดตั้งแดมเปอร์ในรูปแบบต่างๆ เพื่อประเมินว่าการติดตั้งแดมเปอร์ในรูปแบบใดที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด

4.2 สร้างแบบจำลองไฟไนต์อีลิเมนต์ของสะพานแขวน (สะพานแขวนไทรโยค จ.กาญจนบุรี) โดยใช้ฟังก์ชัน Line Element



รูปที่ 4.1 แบบจำลองสะพานแขวนแบบเส้น (Line Element)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.1 กรณีวิเคราะห์แบบจำลองสะพานแขวน

Index	Model	Analysis type	Loading axis	Waveform
1	Bridge	Static analysis	X-axis	Equivalent static force
2	Bridge	Dynamic analysis	X-axis	EI Centro
3	Bridge	Dynamic analysis	X-axis	Kanchanaburi
4	Bridge	Dynamic analysis	X-axis	Phayao

4.3 วิเคราะห์แบบจำลองสะพานแขวนร่วมกับแรงสถิตและคลื่นแผ่นดินไหว

4.3.1 วิเคราะห์แบบจำลองสะพานแขวนโดยใช้วิธี Equivalent static force analysis

4.3.1.1 แรงสถิตที่กระทำกับเสาสูง (Pylon) ของแบบจำลองสะพานแขวน

การวิเคราะห์โครงสร้างรับแรงแผ่นดินไหว ด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า (Equivalent static force) อ้างอิงตาม คู่มือการปฏิบัติประกอบมาตรฐานออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว โดยกรมโยธาธิการและผังเมือง ปี 2561 ได้ถูกใช้ร่วมกับสะพาน เพื่อหาแรงสถิตเทียบเท่า ดังตารางที่ 4.2 รายการคำนวณโดยละเอียดแสดงในภาคผนวก วิธีการดังกล่าวเป็นการเทียบแรงแผ่นดินไหวให้กลายเป็นแรงกระทำด้านข้างโครงสร้างโดยใช้การกระจายของมวลเพื่อตรวจสอบกำลังรับแรงแผ่นดินไหวของโครงสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

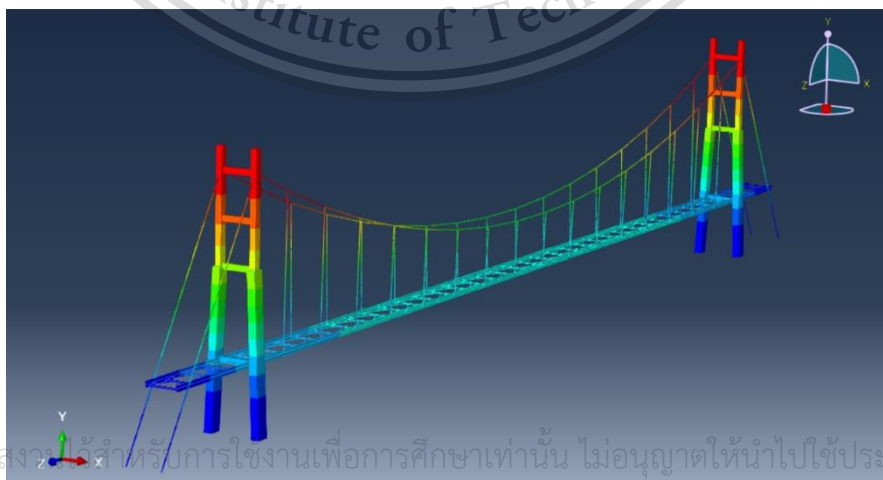
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.2 การคำนวณหาแรงสถิตยที่กระทำต่อเสาสูง (Pylon)

ตำแหน่ง ที่, x	W_x (T)	H_x (m)	$W_x H_x$ (T- m)	F_x (T)	V_x (T)	F_x (N)
1	2.536	1.00	2.536	0.011	0.011	105.299
2	2.536	2.00	5.073	0.021	0.032	210.598
3	2.536	3.00	7.609	0.032	0.064	315.897
4	2.536	4.00	10.145	0.043	0.107	421.196
5	32.243	4.70	151.541	0.641	0.749	6291.419
6	2.624	5.70	14.954	0.063	0.812	620.849
7	2.378	6.70	15.931	0.067	0.879	661.409
8	2.378	7.70	18.309	0.077	0.957	760.127
9	2.378	8.70	20.687	0.088	1.044	858.844
10	2.378	9.70	23.065	0.098	1.142	957.562
11	2.342	10.60	24.821	0.105	1.247	1030.486
12	1.258	11.60	14.588	0.062	1.309	605.648
13	1.056	12.60	13.306	0.056	1.365	552.400
14	1.258	13.60	17.103	0.072	1.437	710.070
15	1.258	14.60	18.361	0.078	1.515	762.281
16	1.056	15.60	16.474	0.070	1.585	683.924
17	8.118	16.60	134.766	0.570	2.155	5594.990
18	1.258	17.60	22.134	0.094	2.249	918.914
19	0.528	18.10	9.557	0.040	2.289	396.764
รวม	72.653	-	540.959			

4.3.1.2 วิเคราะห์แบบจำลองสะพานเพื่อหาการกระจัด(Displacement)

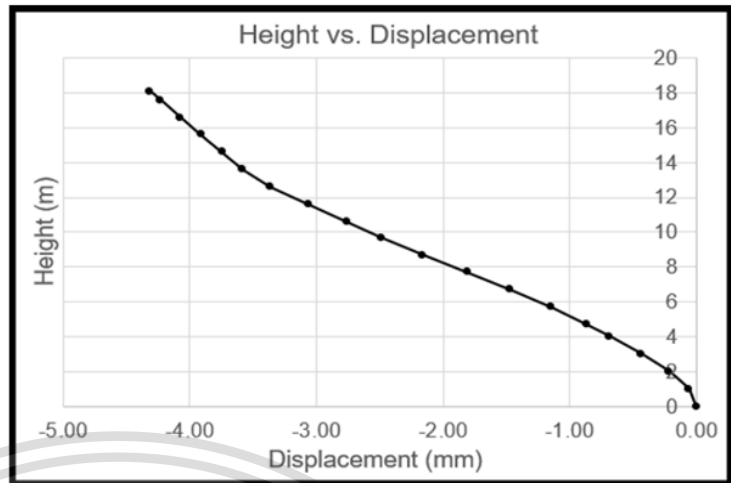


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น รูปที่ 4.2 ใช้โปรแกรม ABAQUS ในการวิเคราะห์แบบจำลองสะพานร่วมกับแรงสถิต

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Height(m.)	displacement(mm.)
0	-9.65E-33
1	-0.0608
2	-0.215
3	-0.433
4	-0.686
4.7	-0.866
5.7	-1.14649
6.7	-1.4689
7.7	-1.81308
8.7	-2.15932
9.7	-2.48866
10.6	-2.75592
11.6	-3.05978
12.6	-3.36438
13.6	-3.58174
14.6	-3.74389
15.6	-3.91531
16.6	-4.07559
17.6	-4.23401
18.1	-4.31575

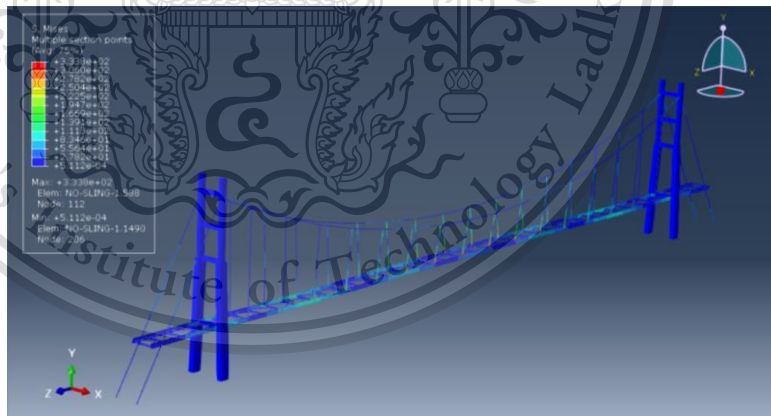


รูปที่ 4.3 การกระจัดของเสาสูง (Pylon) เมื่อได้รับแรงสถิต

4.3.2 วิเคราะห์แบบจำลองสะพานแขวนโดยใช้วิธี Dynamic analysis

4.3.2.1 วิเคราะห์แบบจำลองสะพานแขวนร่วมกับคลื่นแผ่นดินไหว EL Centro

-Von mises stress ที่มากที่สุดเท่ากับ 333.8 เมกกะปาสกาล



รูปที่ 4.4 แสดงความเค้นของผลการวิเคราะห์แบบจำลองสะพานแขวนร่วมกับคลื่น

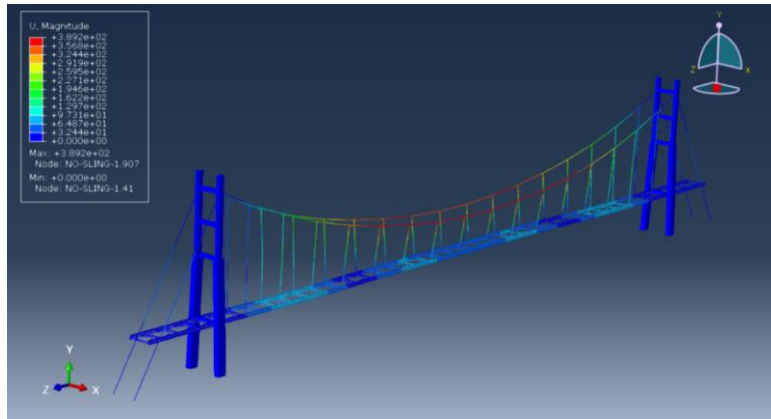
El Centro

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

-การกระจัด(Displacement)ที่มากที่สุดเท่ากับ 389.2 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.5 แสดงการกระจัดของผลการวิเคราะห์แบบจำลองสะพานแขวนร่วมกับ
คลื่น El Centro

4.3.2.2 วิเคราะห์แบบจำลองสะพานแขวนร่วมกับคลื่นแผ่นดินไหวกาญจนบุรี

-Von mises stress ที่มากที่สุดเท่ากับ 311.7 เมกะปาสคาล



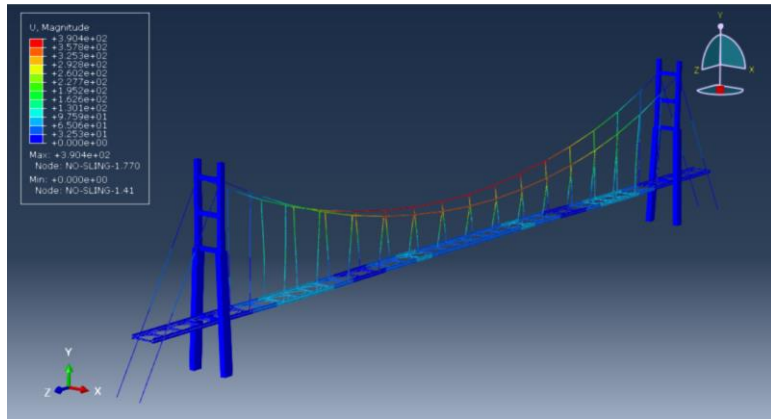
รูปที่ 4.6 แสดงความเค้นของผลการวิเคราะห์แบบจำลองสะพานแขวนร่วมกับคลื่น
แผ่นดินไหวกาญจนบุรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

-การกระจัด(Displacement)ที่มากที่สุดเท่ากับ 390.4 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.7 แสดงความเค้นของผลการวิเคราะห์แบบจำลองสะพานแขวนร่วมกับคลื่นแผ่นดินไหวกาญจนบุรี

4.3.2.3 วิเคราะห์แบบจำลองสะพานแขวนร่วมกับคลื่นแผ่นดินไหวรอยเลื่อนพะเยา

-Von mises stress ที่มากที่สุดเท่ากับ 353.8 เมกกะปาสคาล



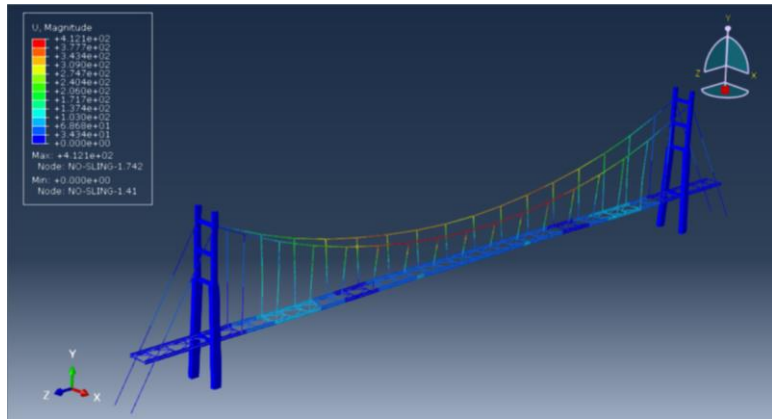
รูปที่ 4.8 แสดงความเค้นของผลการวิเคราะห์แบบจำลองสะพานแขวนร่วมกับคลื่นแผ่นดินรยเลื่อนพะเยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

-การกระจัด(Displacement)ที่มากที่สุดเท่ากับ 412.1 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.9 แสดงการกระจัดของผลการวิเคราะห์แบบจำลองสะพานแขวนร่วมกับ
คลื่นแผ่นดินรอยเลื่อนพะเยา

4.4 วิเคราะห์แบบจำลองสะพานแขวนที่ติดตั้งแดมเปอร์ในรูปแบบต่างๆ ร่วมกับคลื่นแผ่นดินไหว รอยเลื่อนพะเยา

ตารางที่ 4.3 กรณีวิเคราะห์แบบจำลองสะพานแขวนหลังจากติดตั้งแดมเปอร์

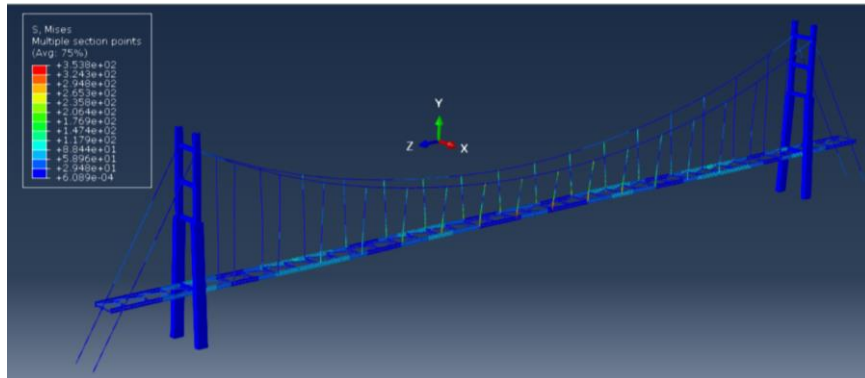
Index	Analysis type	Loading axis	Wave form	Damper installation patterns	
1	Dynamic analysis	X-axis	Phayao	No damper	
2	Dynamic analysis	X-axis	Phayao	Damper 01	
3	Dynamic analysis	X-axis	Phayao	Damper 02	
4	Dynamic analysis	X-axis	Phayao	Damper 03	
5	Dynamic analysis	X-axis	Phayao	Damper 04	
6	Dynamic analysis	X-axis	Phayao	Damper 05	
7	Dynamic analysis	X-axis	Phayao	Damper 06	
8	Dynamic analysis	X-axis	Phayao	Damper 07	
9	Dynamic analysis	X-axis	Phayao	Damper 08	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

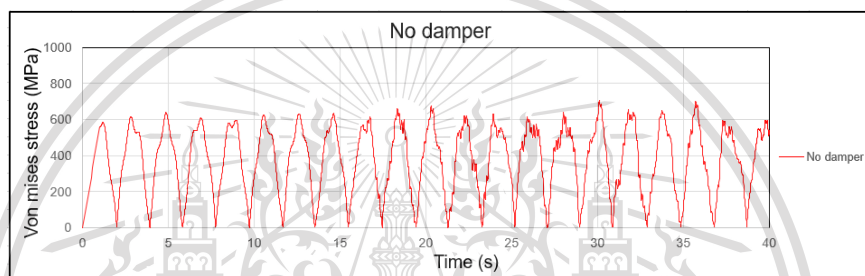
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.4.1 วิเคราะห์แบบจำลองสะพานแขวนที่ติดตั้งแดมเปอร์กรณีที่ 1 (No Damper)

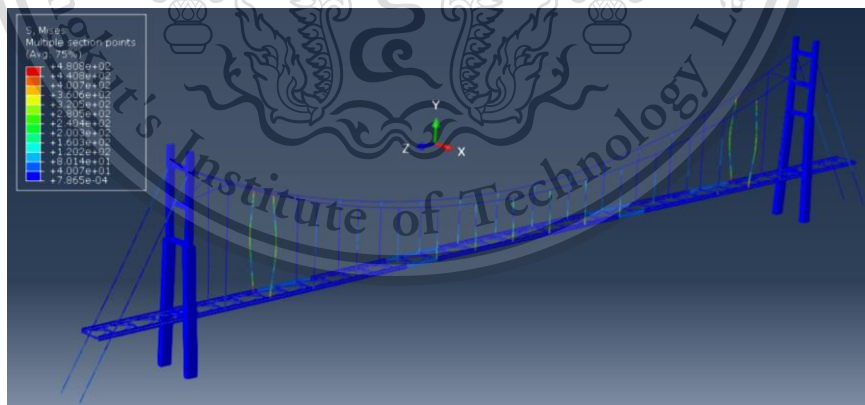


รูปที่ 4.10 แสดงความเค้นบนแบบจำลองสะพานหลังติดตั้งแดมเปอร์กรณีที่ 1 (No Damper)



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความเค้น (Von Mises Stress) กรณีที่ 1 (No Damper)

4.4.2 วิเคราะห์แบบจำลองสะพานแขวนที่ติดตั้งแดมเปอร์กรณีที่ 2 (Damper 01)

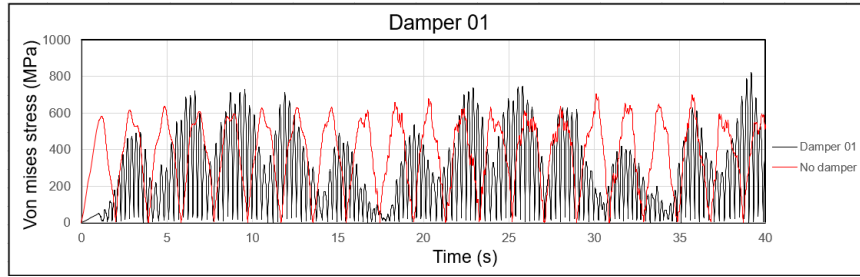


รูปที่ 4.12 แสดงความเค้นบนแบบจำลองสะพานหลังติดตั้งแดมเปอร์กรณีที่ 2 (Damper 01)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

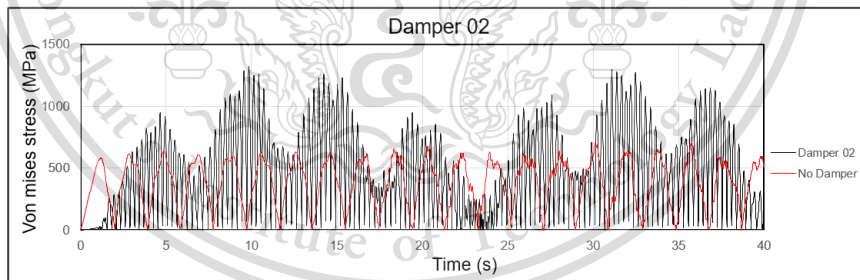


รูปที่ 4.13 กราฟเปรียบเทียบความเค้น (Von Mises Stress) สูงสุด ระหว่างกรณีไม่มีการติดตั้งแดมเปอร์และกรณีติดตั้งแดมเปอร์ 01

4.4.3 วิเคราะห์แบบจำลองสะพานแขวนที่ติดตั้งแดมเปอร์กรณี 3 (Damper02)



รูปที่ 4.14 แสดงความเค้นบนแบบจำลองสะพานหลังติดตั้งแดมเปอร์กรณี 3 (Damper 02)



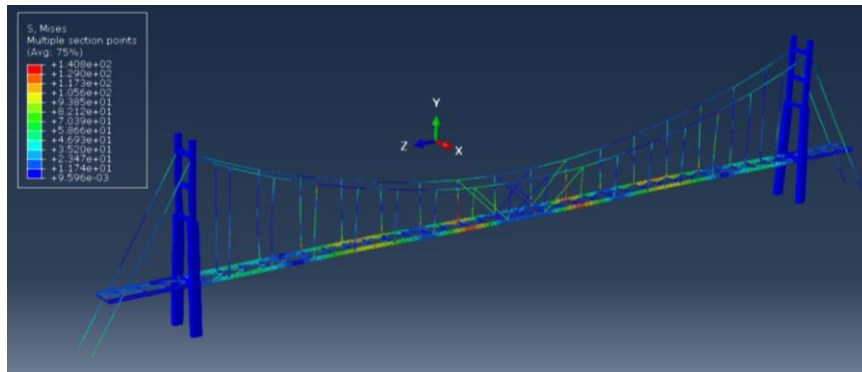
รูปที่ 4.15 กราฟเปรียบเทียบความเค้น (Von Mises Stress) สูงสุด ระหว่างกรณีไม่มีการติดตั้งแดมเปอร์และกรณีติดตั้งแดมเปอร์ 02

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

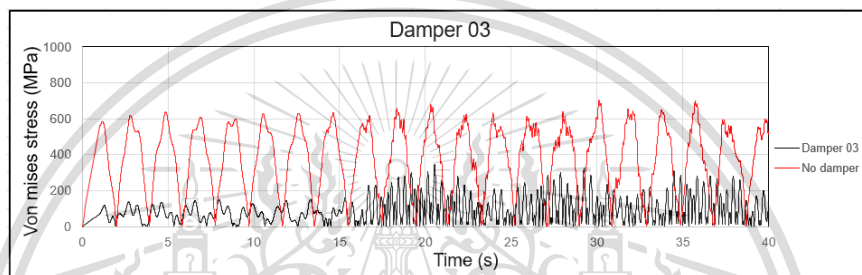
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.4.4 วิเคราะห์แบบจำลองสะพานแขวนที่ติดตั้งแดมเปอร์กรณีที่ 4 (Damper03)

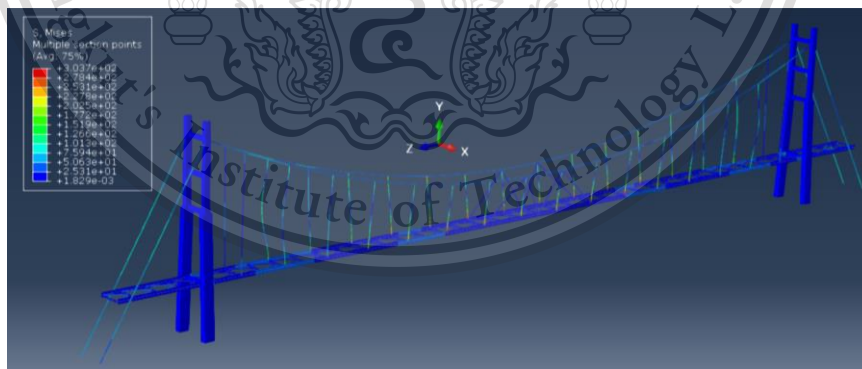


รูปที่ 4.16 แสดงความเค้นบนแบบจำลองสะพานหลังติดตั้งแดมเปอร์กรณีที่ 4 (Damper 03)



รูปที่ 4.17 กราฟเปรียบเทียบความเค้น (Von Mises Stress) สูงสุด ระหว่างกรณีไม่มีการติดตั้งแดมเปอร์และกรณีติดตั้งแดมเปอร์ 03

4.4.5 วิเคราะห์แบบจำลองสะพานแขวนที่ติดตั้งแดมเปอร์กรณีที่ 5 (Damper04)

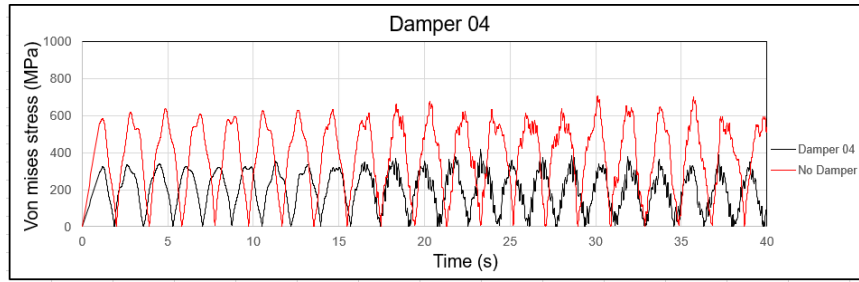


รูปที่ 4.18 แสดงความเค้นบนแบบจำลองสะพานหลังติดตั้งแดมเปอร์กรณีที่ 5 (Damper 04)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

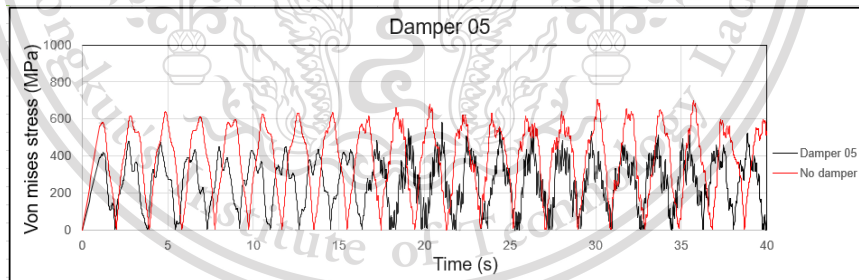


รูปที่ 4.19 กราฟเปรียบเทียบความเค้น (Von Mises Stress) สูงสุด ระหว่างกรณีไม่มีการติดตั้งแดมเปอร์และกรณีติดตั้งแดมเปอร์ 04

4.4.6 วิเคราะห์แบบจำลองสะพานแขวนที่ติดตั้งแดมเปอร์กรณีที่ 6 (Damper05)



รูปที่ 4.20 แสดงความเค้นบนแบบจำลองสะพานหลังติดตั้งแดมเปอร์กรณีที่ 6 (Damper 05)



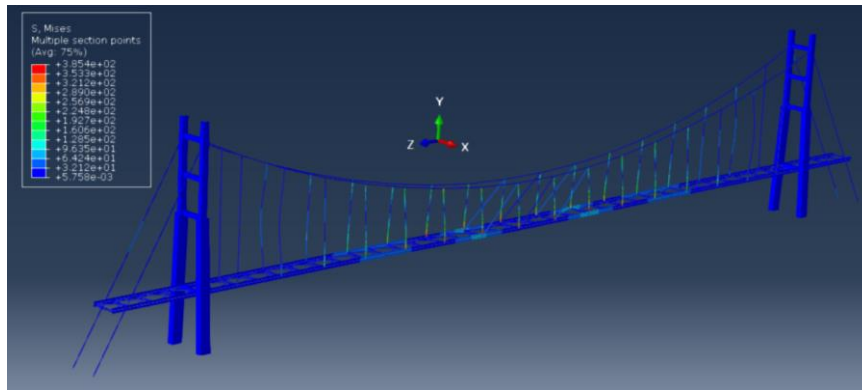
รูปที่ 4.21 กราฟเปรียบเทียบความเค้น (Von Mises Stress) สูงสุด ระหว่างกรณีไม่มีการติดตั้งแดมเปอร์และกรณีติดตั้งแดมเปอร์ 05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

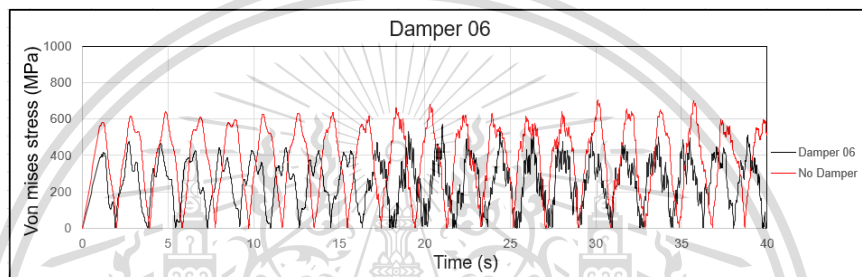
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.4.7 วิเคราะห์แบบจำลองสะพานแขวนที่ติดตั้งแดมเปอร์กรณีที่ 7 (Damper06)

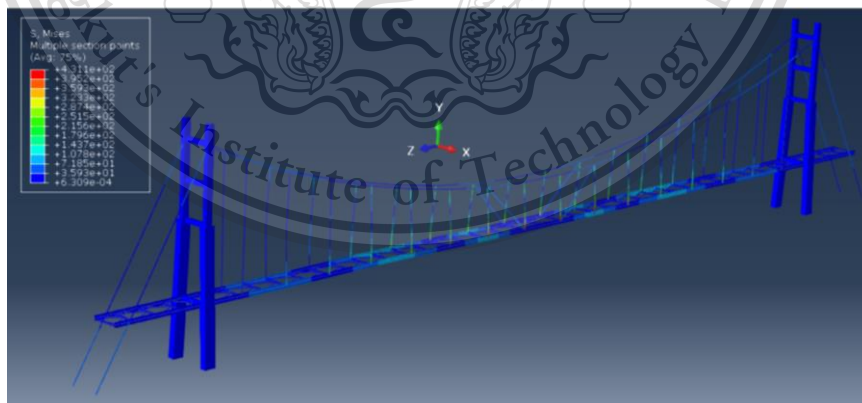


รูปที่ 4.23 แสดงความเค้นบนแบบจำลองสะพานหลังติดตั้งแดมเปอร์กรณีที่ 7 (Damper 06)



รูปที่ 4.24 กราฟเปรียบเทียบความเค้น (Von Mises Stress) สูงสุด ระหว่างกรณีไม่มีการติดตั้งแดมเปอร์และกรณีติดตั้งแดมเปอร์ 06

4.4.8 วิเคราะห์แบบจำลองสะพานแขวนที่ติดตั้งแดมเปอร์กรณีที่ 8 (Damper07)

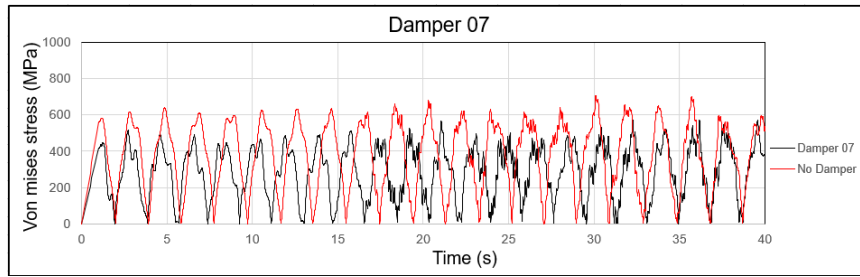


รูปที่ 4.25 แสดงความเค้นบนแบบจำลองสะพานหลังติดตั้งแดมเปอร์กรณีที่ 8 (Damper 07)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

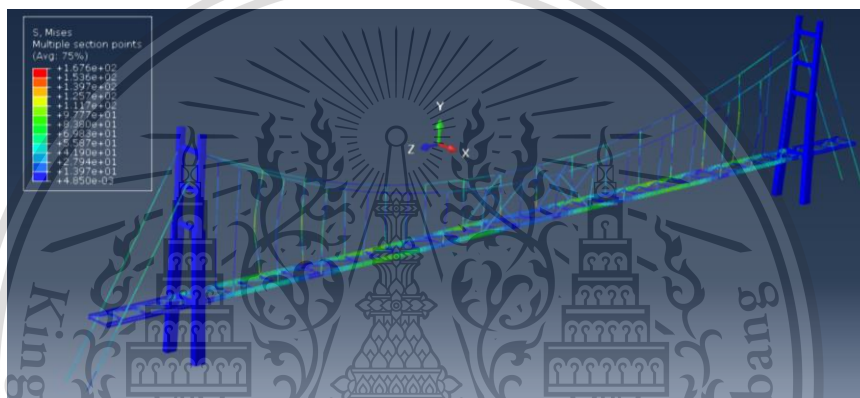
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

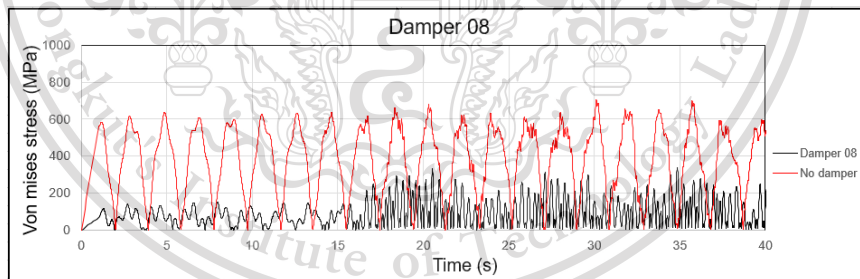


รูปที่ 4.26 กราฟเปรียบเทียบความเค้น (Von Mises Stress) สูงสุด ระหว่างกรณีไม่มีการติดตั้งแดมเปอร์และกรณีติดตั้งแดมเปอร์ 07

4.4.9 วิเคราะห์แบบจำลองสะพานแขวนที่ติดตั้งแดมเปอร์กรณี 9 (Damper08)



รูปที่ 4.27 แสดงความเค้นบนแบบจำลองสะพานหลังติดตั้งแดมเปอร์กรณี 9 (Damper 08)



รูปที่ 4.28 กราฟเปรียบเทียบความเค้น (Von Mises Stress) สูงสุด ระหว่างกรณีไม่มีการติดตั้งแดมเปอร์และกรณีติดตั้งแดมเปอร์ 08

ซึ่งการเปรียบเทียบค่าความเค้น (Von Mises Stress) ของแต่ละกรณี สามารถดูได้ตามตารางที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.4 เปรียบค่าความเค้น (Von Mises Stress) ของแต่ละกรณี

กรณี	รูปแบบการติดตั้ง	ความเค้น(Von Mises Stress), MPa
1	No Damper	704.95
2	Damper 01	824.45
3	Damper 02	1341.20
4	Damper 03	347.95
5	Damper 04	419.53
6	Damper 05	583.55
7	Damper 06	569.42
8	Damper 07	579.08
9	Damper 08	339.49



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 5

สรุปผลการดำเนินงาน

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1. ศึกษาพฤติกรรมของสะพานแขวนภายใต้แรงแผ่นดินไหว 2. เพื่อศึกษาพฤติกรรมของสะพานแขวนหลังจากติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมการสั่นสะเทือน(Damper) 3. เพื่อเป็นแนวทางสำหรับการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมการสั่นสะเทือน(Damper)ให้เกิดประสิทธิภาพในการใช้งานมากที่สุด

เนื้อหาในบทนี้จะนำเสนอการสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ โดยมีลำดับหัวข้อการนำเสนอต่อไปนี้

5.1 สรุปผลการศึกษา

5.2 ข้อเสนอแนะการศึกษา

5.1 สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาการวิเคราะห์การติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมแผ่นดินไหวของสะพานแขวนภายใต้แรงแผ่นดินไหว เพื่อเป็นแนวทางสำหรับการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมการสั่นสะเทือนให้เกิดประสิทธิภาพในการใช้งานมากที่สุด ได้ผลสรุปการศึกษาดังนี้

1. แบบจำลองสะพานแขวนที่ใช้ในการวิเคราะห์ที่ได้รับการสร้างด้วยองค์ประกอบเส้น (Line Element)

2. จากคลื่นแผ่นดินไหวทั้งหมด 3 คลื่น คลื่นแผ่นดินไหวรอยเลื่อนพะเยาเป็นคลื่นแผ่นดินไหวที่ส่งผลกระทบต่อแบบจำลองสะพานแขวนมากที่สุด

3. ความเค้นที่มากที่สุดเกิดขึ้นที่จุดกึ่งกลางสะพาน บริเวณจุดเชื่อมต่อระหว่างเคเบิลแขวนสะพาน(Hanger Cable)กับคานเหล็ก(Girder) ดังนั้นเราจึงติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมการสั่นสะเทือน(Damper)ไว้ที่บริเวณช่วงกลางของแบบจำลองสะพาน

4. รูปแบบการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมการสั่นสะเทือน(Damper)ที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดคือ Damper 08 ที่มีความเค้น(Von Mises Stress)เท่ากับ 339.49 MPa. ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

5. หากพิจารณามูลค่าของวัสดุของอุปกรณ์ควบคุมการสั่นสะเทือนร่วมด้วย กรณี Damper 03 จะมีความคุ้มค่าด้านราคาที่ดีกว่า Damper 08 ในขณะที่ด้านประสิทธิภาพการทำงานที่ใกล้เคียงกัน

5.2 ข้อเสนอแนะจากการวิจัย และแนวทางทางในการดำเนินการศึกษาในอนาคต

จากประสบการณ์ที่ได้เรียนรู้จากการทำงานวิจัยครั้งนี้ทำให้เราสามารถให้ข้อเสนอแนะ และแนวทางในการดำเนินการศึกษางานวิจัยในอนาคต ได้ดังนี้

1. ในขั้นตอนการใช้โปรแกรม ABAQUS ในการสร้างโปรแกรม การทำงานอย่างเป็นระบบจะสามารถช่วยลดความผิดพลาดของของการสร้างแบบจำลองได้ ทำให้สามารถทำงานได้อย่างถูกต้องและรวดเร็ว
2. การเพิ่มหน้าตัดของเคเบิล สามารถช่วยให้ความเค้น (Stress) และการกระจัด (Displacement) ลดลงได้ ทำให้ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับสะพานลดลง
3. เลือกประเภทของอุปกรณ์ควบคุมการสั่นสะเทือนที่เหมาะสมกับตำแหน่งที่จะติดตั้ง เพื่อความคุ้มค่า และประสิทธิภาพที่ดีที่สุด
4. ทดลองสร้างแบบจำลองแดมเปอร์ประเภทต่างๆ เพื่อวิเคราะห์หาประเภทของอุปกรณ์ควบคุมการสั่นสะเทือนที่เหมาะสมที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บรรณานุกรม

กรมอุตุนิยมวิทยา. (2562). สาเหตุของการเกิดแผ่นดินไหว(Earthquake). สืบค้นเมื่อ 20 ส.ค.

2562, จาก <https://www.tmd.go.th/info/info.php?FileID=77>

กรมทรัพยากรธรณี. (2562). รอยเลื่อนมีพลังในประเทศไทย (Active faults area). สืบค้นเมื่อ

20 ส.ค. 2562, จาก http://www.dmr.go.th/main.php?filename=Active_FAULTS_THAI

กองเฝ้าระวังแผ่นดินไหวกรมอุตุนิยมวิทยา. (2562). สถิติแผ่นดินไหวในประเทศไทย(Earthquake

Stat). สืบค้นเมื่อ 25 ส.ค. 2562, จาก <https://earthquake.tmd.go.th/earthquakestat.html>

สำนักงานควบคุมและตรวจสอบอาคาร กรมโยธาธิการและผังเมือง. (2561). มาตรฐานการออกแบบ

อาคาร ด้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว มยผ. 1301/1302-61 (พิมพ์ครั้งที่ 1).

กรุงเทพมหานคร: บริษัท เอส.พี.เอ็ม. การพิมพ์ จำกัด.

Ali Fuat Genç et al. **Dynamic analysis of experimentally-updated FE model of historical masonry clock towers using site-specific seismic characteristics and scaling parameters according to the 2018 Turkey building earthquake code.** Master Thesis. Department of Civil Engineering, Faculty of Technology, Karadeniz Technical University. Turkey: Trabzon.

Anil K. Chopra. (2012). **Dynamics of Structures(Theory and Applications to Earthquake Engineering)** (Fourth Edition). California: Pearson Education, Inc.,

Worldwide Strong Ground Motion Data. (2018). **Acceleration time domain.**

Retrieved 1 June 2020, from <https://strongmotioncenter.org/vdc/scripts/default.plx>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
Ponlawat Pripaisankij. (2016). **Simulation so Easy.** Retrieved 25 Jan 2021, from
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
<http://thai-solidworks-simulation.blogspot.com/2016/03/>

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บรรณานุกรม (ต่อ)

The World Material. **JIS G3101 SS400 Steel Equivalent Material Properties Specification Composition Density Strength**. Retrieved 5 Jan 2021, from <https://www.theworldmaterial.com/jis-g3101-ss400-steel-equivalent-material/>

Wiley Online Library. (2019). **Damping system for long-span suspension bridges**. Retrieved 28 Jan 2021, from <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/stc.2448>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ภาคผนวก

การคำนวณ Equivalent Statics Force (UBC-1994)

Equivalent Statics Force (UBC-1994)

$$V_b = \frac{ZC}{R_w} W$$

V_b = แรงเฉือนที่ฐานของอาคาร

Z = สัมประสิทธิ์ความเสี่ยงภัยจากแผ่นดินไหว (Seismic Zone Factor)

I = สัมประสิทธิ์ความสำคัญของอาคาร (Important Factor)

C = สัมประสิทธิ์แรงเฉือนที่ฐาน (C Coefficient)

R_w = ค่าตัวประกอบลดระดับพลังงาน (R_w Factor)

W = น้ำหนักอาคาร (weight)

สัมประสิทธิ์ความเสี่ยงภัยจากแผ่นดินไหว (Seismic Zone Factor : Z)

Seismic Zone 1 มีค่า $Z = 0.075$

สัมประสิทธิ์ความสำคัญของอาคาร (Important Factor : I)

ความสำคัญของอาคาร (UBC-1994) พบว่าอาคารประเภทที่ 1 มีค่า $I = 1.25$

สัมประสิทธิ์แรงเฉือนที่ฐาน (C Coefficient : C)

$$C = \frac{1.25S}{T^{2/3}}$$

S = ค่าสัมประสิทธิ์ชั้นดิน (Site Coefficient)

T = คาบการสั่นธรรมชาติ (Natural Period)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม หากมีข้อสงสัยหรือต้องการข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อฝ่ายวิชาการของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ค่าสัมประสิทธิ์ชั้นดิน (UBC-1994)

ประเภท	รายละเอียดชนิดของชั้นดิน	S
S1	ชั้นดินซึ่ง ก) เป็นชั้นหินหรือ ข) เป็นชั้นดินแข็งปานกลางถึงแข็งมาก ซึ่งลึก < 61 ม.	1.0
S2	ชั้นดินแข็งปานกลางถึงแข็งมาก ซึ่งลึก > 61 ม.	1.2
S3	ชั้นดินเหนียวอ่อนถึงดินเหนียวแข็งปานกลาง มีความลึกเกินกว่า 6 ม. แต่มีชั้นดินอ่อนไม่เกิน 12 ม.	1.5
S4	ชั้นดินเหนียวอ่อนที่มีความลึกมากกว่า 12 ม. ซึ่งจำแนกได้โดยมีค่าความเร็วคลื่น Shear Wave < 150 ม./วินาที	2.0

$$T = C_q (h_n)^{\frac{3}{4}}$$

ประเภทโครงสร้าง	C_q
โครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก	0.0731
โครงสร้างอาคารโครงเหล็ก	0.0853
โครงสร้างอาคารอื่น ๆ	0.0488

สะพานเคเบิลข้ามแม่น้ำแคว เส้า Pylon เป็นโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ดังนั้น $C_q = 0.0731$ และ h_n คือความสูงทั้งหมดของอาคาร มีค่า 18.10 เมตร และเมื่อแทนค่าในสมการ จะได้ $I = 0.641$

ค่าตัวประกอบการดัดซับพลังงาน (R_w Factor : R_w)

สะพานเคเบิลข้ามแม่น้ำแคว อำเภอไทรโยค จังหวัดกาญจนบุรี อยู่ในเขต Seismic Zone 1 และเป็นโครงสร้างที่ต้านทานโมเมนต์ตัดจากการถ่ายแรงของเคเบิลมาสู่โครงสร้างเส้า PYLON ของสะพาน จากตารางค่าตัวประกอบการดัดซับพลังงาน พบว่า สะพานเคเบิลข้ามแม่น้ำแคว อำเภอไทรโยค

จังหวัดกาญจนบุรี เป็นโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กในประเภท Ordinary Moment-Resisting Frame (OFRM) ที่มีค่า $R_w = 5$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

น้ำหนักอาคาร (Weight : **W**)

คำนวณหาน้ำหนัก (W) ของเสา PYLON แต่ละช่วงความสูง

ความหนาแน่นของคอนกรีตเสริมเหล็ก	2.4 T/m ³	
ความหนาแน่นของเหล็ก	7.86 T/m ³	
พื้นที่หน้าตัดของเสา line A-B (Section 5)	0.528 m ²	(960x550 mm)
พื้นที่หน้าตัดของเสา line B-C (Section 3)	0.495 m ²	(900x550 mm)
พื้นที่หน้าตัดของเสา line C-D (Section 2)	0.22 m ²	(550x400 mm)
พื้นที่หน้าตัดท่อนคาน line B (2.56 m)	0.512 m ²	(Section 1)
พื้นที่หน้าตัดท่อนคาน line C-D (2.1 m)	0.42 m ²	(Section 1)
มุมเอียงของเสาช่วง line B-D (เทียบกับแนวดิ่ง)	2.231 องศา	(เทียบสามเหลี่ยมคล้าย)
Main Cable (PC Strand 15.2mm 12 เส้น) r=50	61.732 kg/m	(2เส้น ยาวเส้นละ 108.995 m)
Hanger Cable (PC Strand 15.2mm 1 เส้น)	1.426 kg/m	(ความยาวรวมข้างละ 92.7685 m)
W-350x175x7/49.5 (63.14 cm ²)	49.628 kg/m	(ความยาวข้างละ 91.5 m)
C-150x75x9/24 (30.59 cm ²)	24.044 kg/m	(ความยาวรวม 94.60 m)
L-50x50x5 (4.802 cm ²)	3.774 kg/m	(ความยาวรวม 205.208 m)
พื้นคอนกรีตอัดแรง 5 cm คอนกรีตทับหน้า 5 cm	0.528 T/m	(ความยาวรวม 91.5 m)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

$$W = \gamma \times A \times H$$

ช่วง	H(m)	H(exact)(m)	เสา	คาน	W	C	L	Cable	พื้นคอนกรีต	น้ำหนัก,T
w1	1.00	1.001	2.536	-	-	-	-	-	-	2.536
w2	1.00	1.001	2.536	-	-	-	-	-	-	2.536
w3	1.00	1.001	2.536	-	-	-	-	-	-	2.536
w4	1.00	1.001	2.536	-	-	-	-	-	-	2.536
w5	0.70	0.701	1.775	0.246	4.541	1.137	0.387	-	24.156	32.243
w6	1.00	1.001	2.378	0.246	-	-	-	-	-	2.624
w7	1.00	1.001	2.378	-	-	-	-	-	-	2.378
w8	1.00	1.001	2.378	-	-	-	-	-	-	2.378
w9	1.00	1.001	2.378	-	-	-	-	-	-	2.378
w10	1.00	1.001	2.378	-	-	-	-	-	-	2.378
w11	0.90	0.901	2.140	0.202	-	-	-	-	-	2.342
w12	1.00	1.000	1.056	0.202	-	-	-	-	-	1.258
w13	1.00	1.000	1.056	-	-	-	-	-	-	1.056
w14	1.00	1.000	1.056	0.202	-	-	-	-	-	1.258
w15	1.00	1.000	1.056	0.202	-	-	-	-	-	1.258
w16	1.00	1.000	1.056	-	-	-	-	-	-	1.056
w17	1.00	1.000	1.056	0.202	-	-	-	6.861	-	8.118
w18	1.00	1.000	1.056	0.202	-	-	-	-	-	1.258
w19	0.50	0.500	0.528	-	-	-	-	-	-	0.528
	18.10	18.108							W	72.653
									2 ชั้น	145.3064

$$V_b = \frac{ZC}{R_w} W$$

Z	0.075	(Seismic Zone 1)
I	1.25	(ประเภทที่1)

$$C = \frac{1.25S}{T^{2/3}}$$

S	1.0	(S1 ดินแข็งปานกลางถึงแข็งมากลึกน้อยกว่า 61 ม.)
---	-----	--

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

$$T=C_r(h_n)^{\frac{3}{4}}$$

C_r	0.0731	(โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก)
h_n	18.100	m (ความสูงโครงสร้างทั้งหมด)
T	0.641	
C	1.681	(ใช้ไม่เกิน 2.75)
R_w	5	(OMRF)
W	72.653	Ton
V_b	2.289	Ton

กระจายแรงเฉือนที่ฐานเป็นแรงกระทำด้านข้างของโครงสร้าง

$$F_t = \begin{cases} 0.071V, & (\text{ใช้ไม่เกิน } 0.25V) \\ 0, & T \leq 0.7 \text{ sec} \end{cases}$$

T	V	F_t , Ton	F_t (Exact), Ton
0.641	2.289	0.103	0

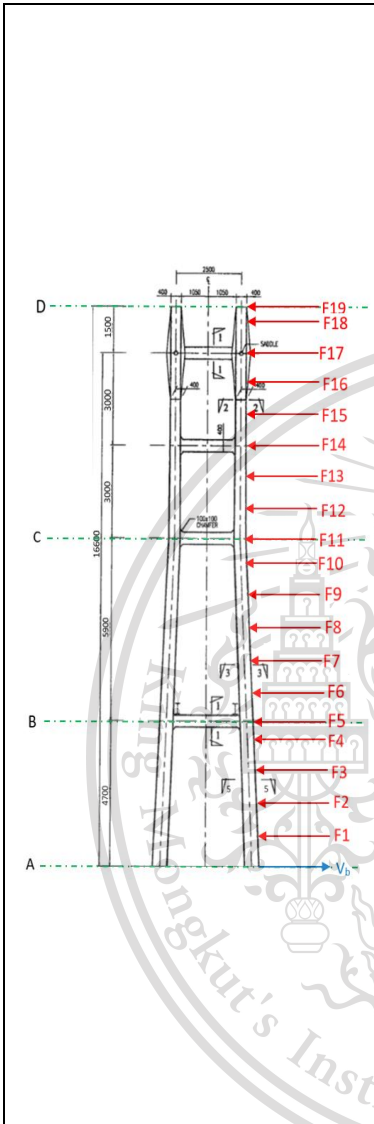
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

$$F_x = \frac{(V_b + F_t) W_x h_x}{\sum_{x=1}^n (W_x h_x)}$$

$$V_x = F_t + \sum_{x=1}^n F_x$$



ตำแหน่งที่, x	$W_x^{(T)}$	$h_x(m)$	$W_x h_x$ (T·m)	$F_x^{(T)}$	$V_x^{(T)}$	$F_x^{(N)}$
1	2.536	1.00	2.536	0.011	0.011	105.299
2	2.536	2.00	5.073	0.021	0.032	210.598
3	2.536	3.00	7.609	0.032	0.064	315.897
4	2.536	4.00	10.145	0.043	0.107	421.196
5	32.243	4.70	151.541	0.641	0.749	6291.419
6	2.624	5.70	14.954	0.063	0.812	620.849
7	2.378	6.70	15.931	0.067	0.879	661.409
8	2.378	7.70	18.309	0.077	0.957	760.127
9	2.378	8.70	20.687	0.088	1.044	858.844
10	2.378	9.70	23.065	0.098	1.142	957.562
11	2.342	10.60	24.821	0.105	1.247	1030.486
12	1.258	11.60	14.588	0.062	1.309	605.648
13	1.056	12.60	13.306	0.056	1.365	552.400
14	1.258	13.60	17.103	0.072	1.437	710.070
15	1.258	14.60	18.361	0.078	1.515	762.281
16	1.056	15.60	16.474	0.070	1.585	683.924
17	8.118	16.60	134.766	0.570	2.155	5594.990
18	1.258	17.60	22.134	0.094	2.249	918.914
19	0.528	18.10	9.557	0.040	2.289	396.764
รวม	72.653	-	540.959			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายณัฐเบศร์ เครือประสิทธิ์
วัน เดือน ปีเกิด	วันเสาร์ที่ 20 มิถุนายน 2541
ที่อยู่	52 ม.8 ต.หัวไผ่ อ.เมืองอ่างทอง จ.อ่างทอง 14000
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2554 – 2560 โรงเรียนอ่างทองปัทมโรจน์วิทยาคม จ.อ่างทอง พ.ศ. 2560 – 2564 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร
ชื่อ-นามสกุล	นายแผ่นดิน ดำรงชาติ
วัน เดือน ปีเกิด	วันศุกร์ที่ 18 ธันวาคม 2541
ที่อยู่	100 ม.9 ต.หนองบัวระเหว อ.หนองบัวระเหว จ.ชัยภูมิ 36250
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2554 – 2560 โรงเรียนชัยภูมิภักดีชุมพล จ.ชัยภูมิ พ.ศ. 2560 – 2564 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.