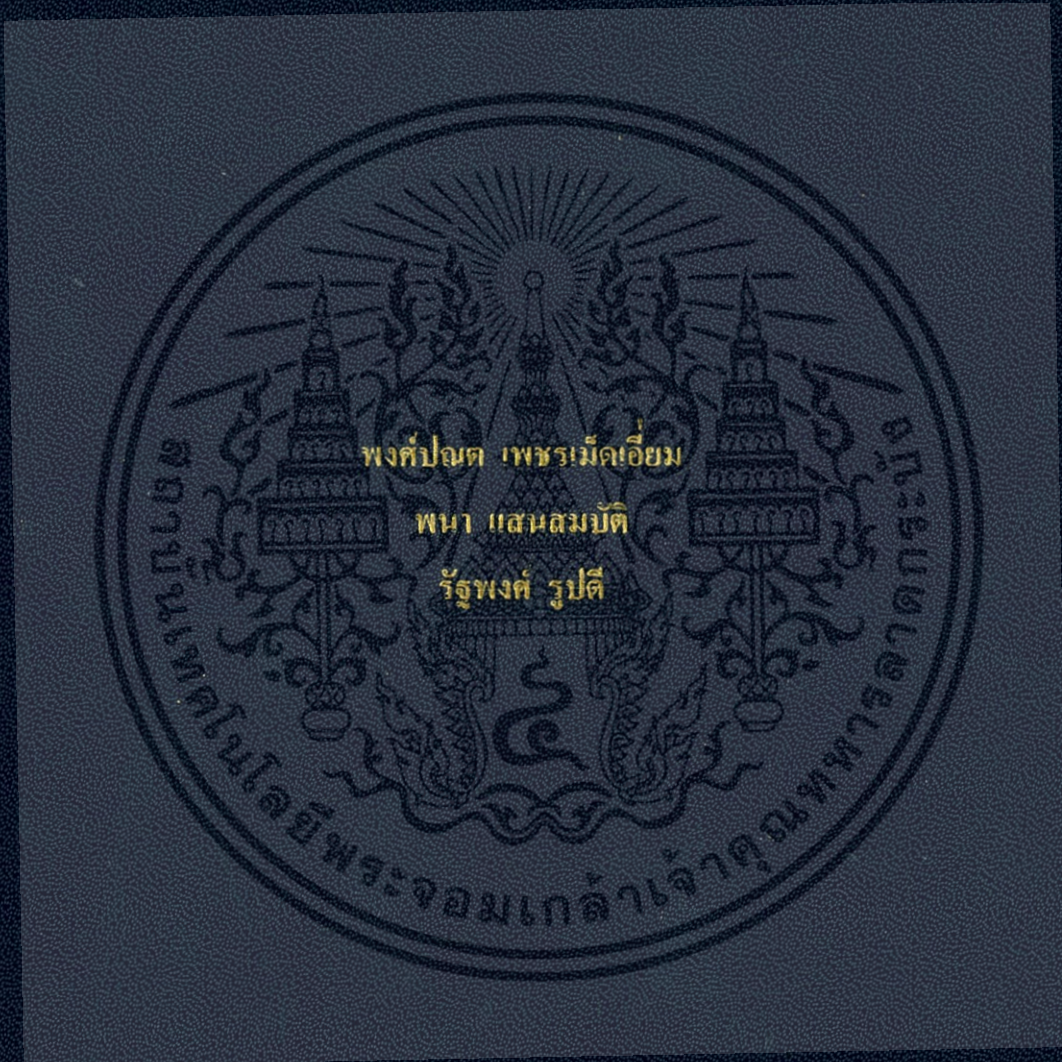


การหาค่าความถี่ธรรมชาติของสะพาน
ESTIMATING THE NATURAL FREQUENCY
OF BRIDGE STRUCTURE



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2557

การหาค่าความถี่ธรรมชาติของสะพาน

ESTIMATING THE NATURAL FREQUENCY
OF BRIDGE STRUCTURE



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2557

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองโครงการพิเศษ

หัวข้อโครงการพิเศษ การหาค่าความถี่ธรรมชาติของสะพาน
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

นักศึกษา นายพงศ์ปณต เพชรเมื่อดเยี่ยม รหัสประจำตัว 54010851
นายพนา แสนสมบัติ รหัสประจำตัว 54010863
นายรัฐพงศ์ รูปดี รหัสประจำตัว 54011079

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.อาทิตย์ เพชรศิธร

คณะกรรมการสอบโครงการพิเศษ	ลายมือชื่อ
รศ.นันทวัฒน์ อภิเรขยัญ	
ดร.อภินันท์ สุจริตพงศ์	
ดร.อาทิตย์ เพชรศิธร	
อ.ทรงกลด แซ่เอ็ง	

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว



(ผศ.ดร.นันทวัฒน์ จรัสโรจน์ธนเดช)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่ 25 เดือน มค พ.ศ. 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาค่าความถี่ธรรมชาติของโครงสร้างสะพาน

นาย พงศ์ปณต เพชรเม็ดเยี่ยม 54010851
นาย พนา แสนสมบัติ 54010863
นาย รัฐพงศ์ รูปดี 54011079
ดร.อาทิตย์ เพชรศศิธร อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2557

บทคัดย่อ

จากเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นบริเวณอำเภอพาน ในปี พ.ศ.2557 ผลกระทบจากแผ่นดินไหวครั้งนี้ได้สร้างความเสียหายต่อสิ่งก่อสร้างเป็นอย่างมาก ซึ่งปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ความเสียหายรุนแรงขึ้นมากมาจากการเกิดการสั่นพ้องที่จะเกิดขึ้นเมื่อความถี่ธรรมชาติของแผ่นดินไหวเท่ากับค่าความถี่ธรรมชาติของโครงสร้าง ด้วยเหตุนี้ผู้จัดทำจึงทำการวิเคราะห์หาค่าความถี่ธรรมชาติว่าค่าความถี่ธรรมชาตินั้นขึ้นกับว่าปัจจัยใดและสูตรอย่างง่ายที่ใช้ในการหาค่าความถี่ธรรมชาติแบบประมาณนั้นสามารถเชื่อถือได้หรือไม่เมื่อเทียบกับการหาค่าความถี่ธรรมชาติจากโปรแกรมไฟไนต์ อิลิเมนต์ โดยเลือกตัวโมเดลที่ใช้วิเคราะห์เป็นสะพานเนื่องจากเป็นโครงสร้างที่สำคัญ หากเสียหายจะมีผลกระทบต่อผู้คนมาก

โดยจากการวิเคราะห์หาค่าความถี่ธรรมชาติของสะพานจะพบว่าปัจจัยที่สำคัญที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความถี่ธรรมชาติคือ ความยาวของตัวสะพาน และ จากการวิเคราะห์จะพบว่าค่าความถี่ธรรมชาติที่ได้จากสูตรอย่างง่ายนั้นน้อยกว่าการหาค่าความถี่ธรรมชาติที่ได้จากโปรแกรมไฟไนต์ อิลิเมนต์ถึง 1.6-1.7 เท่า

Estimating the natural frequency of bridge structure

Mr. Pongpanot Pechmedcuim 54010851

Mr. Phana Sansombat 54010863

Mr. Ratthapong Roopde 54011079

Dr. Arthit Petchsasithon Advisor

Academic Year 2014

Abstract

From the earthquake that occurred in the year 2557 in Phan affected by this earthquake damage to buildings as well. The factors that cause severe damage to many of the resonance occurs when the earthquake have frequency that equal to natural frequency of the structure. Because of this, the preparation was to determine that the natural frequency depends on the factors or formulas that are used to determine and the fair value of the estimated frequency can be trusted or compared to the natural frequency of the finite element analysis model used by the bridge because it is the critical structures. If damage is affecting more people.

From the analysis of the natural frequency of the bridge to find the key factors affecting the natural frequency is change is the length of the bridge and from the analysis is that the natural frequency of the simple formula is less than the natural frequency of the Finite Element by 1.6-1.7 times.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความอนุเคราะห์ของ บุคคลหลายท่าน ซึ่งไม่อาจจะนำมา กล่าวได้ทั้งหมด ซึ่งผู้มีพระคุณท่านแรกที่คุณศึกษาใคร่ขอกราบพระคุณคือ ดร.อาทิตย์ เพชรศศิธร อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษฉบับนี้ที่ได้ให้ความรู้ คำแนะนำตรวจทาน และแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความเอาใจใส่ทุกขั้นตอน เพื่อให้การเขียนรายงานสั้นคว่ำอย่างอิสระฉบับนี้สมบูรณ์ที่สุด ท่านที่สอง คือ ผศ.ดร.ชนาตล คงสมบูรณ์ อาจารย์ประจำวิชาโครงการพิเศษที่ให้คำแนะนำชี้แจงรายละเอียดเกี่ยวกับวิชาโครงการพิเศษ รวมถึงเทคนิคการทำรูปเล่ม ผู้ศึกษาใคร่ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ไว้ ณ โอกาสนี้ นอกจากนี้ ผู้ศึกษาใคร่ขอขอบพระคุณ อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกคนที่คอยให้คำแนะนำ คำปรึกษา จึงทำให้โครงการพิเศษฉบับนี้ผ่านสำเร็จได้ด้วยดี ขอขอบคุณ ชื่อ ผศ.ดร. นันทวัฒน์ จรัสโรจน์ธนเดช หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา ที่สนับสนุนวิชาโครงการพิเศษนี้ ขอขอบคุณ เพื่อนร่วมชั้นปี นักศึกษาภาควิชาวิศวกรรมโยธา รุ่นที่ 34 ทุกคนที่ช่วยในการสืบค้นข้อมูลในแลกเปลี่ยนความรู้ความคิด และให้กำลังใจในการศึกษาค้นคว้าตลอดมา ขอขอบพระคุณคุณพ่อ และคุณแม่ ของคณะผู้จัดทำ ที่อยู่เบื้องหลังในความสำเร็จที่ได้ให้ความช่วยเหลือสนับสนุนและให้กำลังใจ ตลอดมา

พงศ์ปณต เพชรเม็ดเยี่ยม

พนา แสนสมบัติ

รัฐพงศ์ รูปดี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ	IV-V
สารบัญภาพ	VI-VII
สารบัญตาราง	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของ โครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 สมมติฐาน	2
1.4 ขอบเขตโครงการ.....	2
1.5 วิธีการดำเนินการ	2
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 วรรณกรรมปริทัศน์	4
2.1 คลื่นกล.....	4
2.2 ความหมายของคาบการสั่นธรรมชาติ	10
2.3 ทฤษฎีการเกิดแผ่นดินไหว.....	12

2.4 งานปริญาานิพนธ์ที่เกี่ยวข้อง.....	19
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน.....	22
3.1 กล่าวนำ.....	22
3.2 การเลือกข้อมูล.....	22
3.3 โปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณ.....	22
3.4 ขั้นตอนรวบรวมข้อมูล.....	23
3.5 ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูล.....	27
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	28
4.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากโปรแกรม SAP2000.....	28
4.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากสูตรอย่างง่าย.....	37
4.3 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการเปรียบเทียบระหว่าง โปรแกรมและสูตรอย่างง่าย.....	41
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	47
5.1 บทสรุปของโครงการ.....	47
5.2 อุปสรรคและวิธีการแก้ไข.....	48
5.3 แนวทางการพัฒนาต่อ.....	49

บรรณานุกรม

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 แสดงสูตรในการคำนวณที่แกนต่างๆ	7
2.2 แสดงสูตรการคำนวณซึมเป็ลฮาร์โมนิกของสปริงและลูกตุ้มนาฬิกา	8
4.1 แสดงค่าความถี่ธรรมชาติเมื่อเปลี่ยนแปลงค่าความกว้างช่องจราจร	28
4.2 แสดงค่าความถี่ธรรมชาติเมื่อเปลี่ยนแปลงความสูงเสาตอม่อ	30
4.3 แสดงค่าความถี่ธรรมชาติเมื่อเปลี่ยนแปลงจำนวนเสาตอม่อ	31
4.4 แสดงค่าความถี่ธรรมชาติเมื่อเปลี่ยนแปลงขนาดตัวรองรับสะพาน	32
4.5 แสดงค่าความถี่ธรรมชาติเมื่อเปลี่ยนแปลงความหนาของหน้าตัดสะพาน	33
4.6 แสดงค่าความถี่ธรรมชาติเมื่อเปลี่ยนแปลงความยาวหน้าตัดสะพาน	36
4.7 แสดงค่าความถี่ธรรมชาติโดยใช้สูตรอย่างง่ายเมื่อเปลี่ยนแปลงความกว้างสะพาน	37
4.8 แสดงค่าความถี่ธรรมชาติโดยใช้สูตรอย่างง่ายเมื่อเปลี่ยนแปลงความหนาของหน้าตัดสะพาน	38
4.9 แสดงค่าความถี่ธรรมชาติโดยใช้สูตรอย่างง่ายเมื่อเปลี่ยนแปลงความยาวของหน้าตัดสะพาน	41
4.10 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างโปรแกรมและสูตรอย่างง่ายเมื่อเปลี่ยนแปลงความกว้างสะพาน	42
4.11 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างโปรแกรมและสูตรอย่างง่ายเมื่อเปลี่ยนแปลงความหนาของสะพาน	43
4.12 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างโปรแกรมและสูตรอย่างง่ายเมื่อเปลี่ยนแปลงความยาวของสะพาน	46

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ส่วนประกอบต่างๆของคลื่น.....	4
2.2 ลักษณะของคลื่นหน้าตรงและคลื่นวงกลม.....	5
2.3 แสดงลักษณะของคลื่นที่เวลาต่างๆ.....	8
2.4 แสดงเฟสของคลื่น.....	9
2.5 แสดงการรวมกันของคลื่นแบบเสริมกัน.....	9
2.6 แสดงการรวมกันแบบหักล้างของคลื่น.....	10
2.7 แสดงสูตรอย่างง่ายของการหาค่าความถี่ธรรมชาติ.....	11
2.8 แผ่นดินไหวที่ซานฟรานซิสโก.....	12
2.9 รอยต่อของแผ่นธรณี.....	13
2.10 แผนที่แสดงความลึกของจุดศูนย์กลางแผ่นดินไหว.....	14
2.11 เครื่องมือวัดแผ่นดินไหวเครื่องแรกคิดค้น โดยชาวจีน.....	16
2.12 เครื่องมือวัดอัตราเร่งขนาดความรุนแรง.....	17
2.13 เครื่องมือวัดแผ่นดินไหวอย่างง่าย.....	18
2.14 เครื่องมือตรวจวัดแผ่นดินไหวแบบอนาล็อก.....	18
3.1 โปรแกรม SAP 2000.....	22
3.2 โปรแกรม Microsoft Excel 2010.....	23
3.3 แสดงการใช้โปรแกรม SAP2000 คำนวณสะพานคอนกรีตเสริมเหล็ก.....	23
3.4 แสดงการเปลี่ยนแปลงจำนวนช่องจราจรของสะพานจากโปรแกรม SAP2000.....	24
3.5 แสดงการเปลี่ยนแปลงความยาวตัวสะพานจากโปรแกรม SAP 2000.....	24
3.6 แสดงการเปลี่ยนแปลงความสูงของเสาตอม่อของตัวสะพาน จากโปรแกรม SAP 2000.....	25
3.7 แสดงการเปลี่ยนแปลงจำนวนเสาตอม่อของตัวสะพานจากโปรแกรม SAP 2000.....	25
3.8 รูปแสดงการเปลี่ยนแปลงความหนาของตัวสะพานจากโปรแกรม SAP 2000.....	26
3.9 แสดงการรันโปรแกรม SAP 2000 เพื่อหาค่าความถี่ธรรมชาติของสะพาน.....	27
4.1 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความถี่ธรรมชาติเมื่อเปลี่ยนแปลงจำนวนช่องจราจร.....	29
4.2 แสดงการเปลี่ยนแปลงความถี่ธรรมชาติเมื่อเปลี่ยนแปลงความสูงเสาตอม่อ.....	30
4.3 แสดงการเปลี่ยนแปลงความถี่ธรรมชาติเมื่อเปลี่ยนแปลงจำนวนเสาตอม่อ.....	31
4.4 แสดงการเปลี่ยนแปลงความถี่ธรรมชาติเมื่อเปลี่ยนแปลงขนาด Cap Beam.....	33
4.5 แสดงการเปลี่ยนแปลงความถี่ธรรมชาติเมื่อเปลี่ยนแปลงความหนาของหน้าตัดสะพาน.....	35

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.6 แสดงค่าความถี่ธรรมชาติของสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กจากการเปลี่ยนแปลง ความหนาของหน้าตัดสะพาน	36
4.7 แสดงค่าความถี่ธรรมชาติของสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กจากการเปลี่ยนแปลง ความกว้างของสะพาน	38
4.8 แสดงค่าความถี่ธรรมชาติของสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กจากการเปลี่ยนแปลง ความหนาของหน้าตัดสะพาน	40
4.9 แสดงค่าความถี่ธรรมชาติของสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กจากการเปลี่ยนแปลง ความยาวของหน้าตัดสะพาน	41
4.10 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าความถี่ธรรมชาติของสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กที่ได้จาก โปรแกรม SAP2000 และจากสูตรอย่างง่าย จากการเปลี่ยนแปลงความกว้างของสะพาน	42
4.11 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าความถี่ธรรมชาติของสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กที่ได้จาก โปรแกรม SAP2000 และจากสูตรอย่างง่าย จากการเปลี่ยนแปลงความหนาของสะพาน	45
4.12 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าความถี่ธรรมชาติของสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กที่ได้จาก โปรแกรม SAP2000 และจากสูตรอย่างง่าย จากการเปลี่ยนแปลงความยาวของสะพาน	46

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการ

ปัจจุบันเหตุการณ์แผ่นดินไหวได้ส่งผลกระทบต่อประเทศไทย เช่น แผ่นดินไหวขนาด 6.1 ริกเตอร์ บริเวณอำเภอพาน จังหวัดเชียงราย เมื่อวันที่ 5 พฤษภาคม 2557 โดยแรงสั่นสะเทือนทำให้เกิดความเสียหายแก่สิ่งปลูกสร้างในระยะ 30 กิโลเมตรจากจุดศูนย์กลาง และมีแผ่นดินไหวตามกว่า 730 ครั้ง เกิดแรงสั่นสะเทือนทั้งภาคเหนือของประเทศไทย ประชาชนหลายจังหวัดภาคเหนือ (รวมถึง เชียงราย เชียงใหม่และลำปาง) สามารถรับรู้แรงสั่นสะเทือนได้ ซึ่งความรุนแรงของแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นนั้นเป็นไปตามกฎของนิวตันข้อที่ 2 $F=ma$ กล่าวคือความรุนแรงของแผ่นดินไหวขึ้นกับ m และ a โดย m น้ำหนักของโครงสร้าง และ a คือความเร่งซึ่งหาได้จากค่าความถี่ธรรมชาติ และหากความถี่ธรรมชาติตรงกับความถี่ของแผ่นดินไหวหรือคลื่นความถี่จากพลังงานภายนอกที่มากระทำ จะทำให้เกิดการสั่นพ้อง (Resonant) ทำให้เกิดการสั่นอย่างรุนแรงและสร้างความเสียหายต่อโครงสร้างของสิ่งปลูกสร้างมากขึ้น

ด้วยเหตุนี้การศึกษาเรื่องความถี่ธรรมชาติจึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจ ซึ่งโครงสร้างที่ได้รับผลกระทบจากความถี่ธรรมชาติมากที่สุดคือ สะพาน เนื่องจากสะพานต้องรองรับการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ แรงแลม รวมทั้งแรงแผ่นดินไหว เช่น สะพาน Tahoma Narrow Bridge จึงทำให้คณะผู้จัดทำสนใจที่จะศึกษาความถี่ธรรมชาติ และปัจจัยที่มีผลต่อความถี่ธรรมชาติของสะพานคอนกรีตเสริมเหล็ก เพื่อนำมาใช้ในการลดค่าความถี่ธรรมชาติของสะพานคอนกรีตเสริมเหล็ก และนำมาใช้ในการป้องกันการสั่นพ้องเพื่อลดความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นต่อ โครงสร้างของสะพานคอนกรีตเสริมเหล็ก

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1) เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบค่าความถี่ธรรมชาติของสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กที่ได้จากการใช้โปรแกรมคำนวณกับสมการอย่างง่ายของสะพานคอนกรีตเสริมเหล็ก
- 2) เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความถี่ธรรมชาติของสะพานคอนกรีตเสริมเหล็ก

1.3 สมมติฐาน

- 1) ค่าความถี่ธรรมชาติของสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กที่ได้จากการศึกษาผ่านโปรแกรมคำนวณกับสมการอย่างง่ายของสะพานคอนกรีตเสริมเหล็ก มีความแตกต่างกัน
- 2) ในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลง ความกว้าง ความยาวของ Span และความสูงของเสาสะพาน มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความถี่ธรรมชาติของสะพานคอนกรีตเสริมเหล็ก

1.4 ขอบเขตของโครงการ

- 1) ศึกษาค่าความถี่ธรรมชาติของสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กในรูปแบบ Plank Girder
- 2) ศึกษาค่าความถี่ธรรมชาติของสะพานในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลง ความกว้าง ความยาวของ Span ความสูงของเสาตอม่อสะพาน และจำนวนเสาตอม่อ
- 3) เพื่อหาสมการอย่างง่ายของสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กในรูปแบบ Plank Girder ด้วยโปรแกรม SAP2000

1.5 วิธีการดำเนินการ

- 1) ศึกษาการใช้โปรแกรม SAP2000 และการขึ้นรูปโมเดล
- 2) เปลี่ยนแปลง ความกว้าง โดยความกว้าง เปลี่ยนแปลงตามจำนวนช่องจราจรของถนนที่ใช้จริงในสะพาน นั่นคือ 2 ช่องจราจร หรือ 3.5 เมตร , 4 ช่องจราจร หรือ 14 เมตร , 6 ช่องจราจร หรือ 21 เมตร , 8 ช่องจราจร หรือ 28 เมตร
- 3) เปลี่ยนแปลง ความยาว โดยเปลี่ยนแปลงตามความยาวของ plank girder ที่มีอยู่ตามท้องตลาด
- 4) เปลี่ยนแปลงความสูงของเสาตอม่อ ในช่วง 1-10 เมตร
- 5) เปลี่ยนแปลงจำนวนเสาตอม่อของสะพาน
- 6) ทำการรันโปรแกรมเพื่อหาค่าความถี่ธรรมชาติที่ได้จากการใช้โปรแกรม
- 7) หาค่าความถี่ธรรมชาติของโครงสร้างสะพานจากการใช้สูตรอย่างง่าย
- 8) นำข้อมูล ไปวิเคราะห์ในโปรแกรม Microsoft Excel เพื่อจะหาค่าว่าปัจจัยใดที่มีผลต่อค่าความถี่ธรรมชาติของโครงสร้างสะพาน โดยอาจใช้กราฟเป็นตัววิเคราะห์
- 9) นำข้อมูลค่าความถี่ธรรมชาติของโครงสร้างสะพานที่ได้จากการใช้โปรแกรม SAP2000 เปรียบเทียบค่าความถี่ธรรมชาติของโครงสร้างสะพานที่ได้จากสูตรอย่างง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ได้ทราบว่าคุณสมบัติของวัสดุที่นำมาใช้ในการคำนวณค่าความถี่ธรรมชาติของสะพานนั้นสามารถนำมาใช้กับสะพานในทุกรกรณีหรือไม่
- 2) ได้ทราบถึงปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความถี่ธรรมชาติ
- 3) สามารถนำความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลต่อค่าความถี่ธรรมชาติไปประยุกต์ใช้กับงานสะพาน
- 4) เป็นแนวทางสำหรับการศึกษา ค้นคว้าและวิจัยในสาขาวิชาที่เกี่ยวข้องนี้ได้ต่อไป
- 5) อื่นๆ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

วรรณกรรมปริทัศน์

2.1 คลื่นกล (Mechanical Wave)

คลื่นกล คือการถ่ายโอนพลังงานจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง โดยการเคลื่อนที่ไปของคลื่นต้องมีโมเลกุลหรืออนุภาคตัวกลางเป็นตัวถ่ายโอนพลังงาน จึงจะทำให้คลื่นแผ่ออกไปได้ ดังนั้นคลื่นกลจะเดินทางและส่งผ่านพลังงาน โดยไม่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ตำแหน่งอย่างถาวรของอนุภาคตัวกลาง เพราะตัวกลางไม่ได้เคลื่อนที่แต่จะสั่นไปมารอบจุดสมดุล ต่างจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เดินทางโดยไม่ต้องอาศัยตัวกลาง

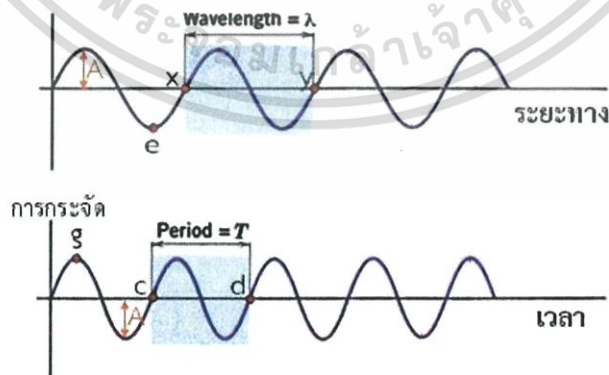
คำว่าคลื่นตามคำจำกัดความ หมายถึง การรบกวน (disturbance) สภาวะสมดุลทางฟิสิกส์ และการรบกวนนั้นจะเคลื่อนที่จากจุดหนึ่งออกไปยังอีกจุดหนึ่งได้ตามเวลาที่ผ่านไป ในบทนี้จะกล่าวถึงกฎเกณฑ์ต่างๆ ของคลื่นในทางฟิสิกส์

2.1.1 การแบ่งประเภทของคลื่น

คลื่นตามขวาง (transverse wave) ลักษณะของอนุภาคของตัวกลางเคลื่อนที่ในทิศตั้งฉากกับทิศการเคลื่อนที่ของคลื่น เช่น คลื่นผิวน้ำ คลื่นในเส้นเชือก

คลื่นตามยาว (longitudinal wave) ลักษณะอนุภาคของตัวกลางเคลื่อนที่ไปมาในแนวเดียวกับทิศการเคลื่อนที่ของคลื่น เช่น คลื่นเสียง

2.1.2 ส่วนประกอบของคลื่น



รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบต่างๆของคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-สันคลื่น (Crest) เป็นตำแหน่งสูงสุดของคลื่น หรือเป็นตำแหน่งที่มีการกระจัดสูงสุดในทางบวก จุด g

-ท้องคลื่น (Trough) เป็นตำแหน่งต่ำสุดของคลื่น หรือเป็นตำแหน่งที่มีการกระจัดสูงสุดในทางลบ จุด e

-แอมพลิจูด (Amplitude) เป็นระยะการกระจัดมากที่สุด ทั้งค่าบวกและค่าลบ วัดจากระดับปกติไปถึงสันคลื่นหรือไปถึงท้องคลื่น สัญลักษณ์ A

-ความยาวคลื่น (wavelength) เป็นความยาวของคลื่นหนึ่งลูกมีค่าเท่ากับระยะระหว่างสันคลื่นหรือท้องคลื่นที่อยู่ติดกัน หรือระยะระหว่าง 2 ตำแหน่งบนคลื่นที่เฟสตรงกัน (inphase) ความยาวคลื่นแทนด้วยสัญลักษณ์ λ มีหน่วยเป็นเมตร (m) ระยะ xy

-ความถี่ (frequency) หมายถึง จำนวนลูกคลื่นที่เคลื่อนที่ผ่านตำแหน่งใด ๆ ในหนึ่งหน่วยเวลา แทนด้วยสัญลักษณ์ มีหน่วยเป็นรอบต่อวินาที (s-1) หรือ เฮิรตซ์ (Hz) จาก cd โดย $f = 1/T$

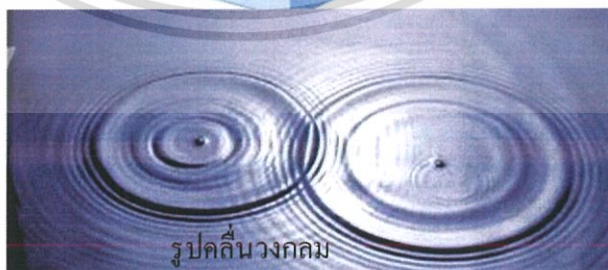
-คาบ (period) หมายถึง ช่วงเวลาที่คลื่นเคลื่อนที่ผ่านตำแหน่งใด ๆ ครบหนึ่งลูกคลื่น แทนด้วยสัญลักษณ์ มีหน่วยเป็นวินาทีต่อรอบ (s/รอบ) โดย $T = 1/f$

-หน้าคลื่น (wave front) เป็นแนวเส้นที่ลากผ่านตำแหน่งที่มีเฟสเดียวกันบนคลื่น เช่น ลากแนวสันคลื่น หรือลากแนวท้องคลื่น ตามรูป

Wavefronts

wavefronts

รูปคลื่นหน้าตรง



รูปคลื่นวงกลม

รูปที่ 2.2 ลักษณะของคลื่นหน้าตรงและคลื่นวงกลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 อัตราเร็วในเรื่งคลื่น

อัตราเร็วในเรื่งคลื่นแบ่งได้ดังนี้

1. อัตราเร็วคลื่น หรือเรียกว่าอัตราเร็วเฟส เป็นอัตราเร็วคลื่นที่เคลื่อนที่ไปแบบเชิงเส้น ซึ่งอัตราเร็วคลื่นกลจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของตัวกลางที่คลื่นเคลื่อนที่ผ่าน

2. อัตราเร็วของอนุภาคตัวกลาง เป็นการเคลื่อนที่แบบซิมเปิลฮาร์โมนิก โคนต้นซ้ารอย เติมรอบแนวสมมูล ไม่ว่าจะเป็คลื่นกลชนิดตามขวางหรือตามยาว

สมการที่ใช้

-อัตราเร็วที่สัมพันธ์กับท้องคลื่น เป็นศูนย์

$$v = \frac{s}{t} = \frac{\lambda}{T} = f\lambda \quad (2.1)$$

-อัตราเร็วอนุภาคขณะผ่านแนวสมมูล มีอัตราเร็วมากที่สุด

$$v = a\lambda = 2\pi f\lambda = \frac{2\pi}{T} \lambda \quad (2.2)$$

-อัตราเร็วอนุภาคขณะมีการกระจัด y ใดๆ จากแนวสมมูล

$$v = \omega \sqrt{A^2 - y^2} = 2\pi f \sqrt{A^2 - y^2} \quad (2.3)$$

2.1.4 การเกิดคลื่นและการเคลื่อนที่แบบซิมเปิลฮาร์โมนิก

การถ่ายโอนพลังงานของคลื่นกล อนุภาคตัวกลางจะเคลื่อนที่แบบซิมเปิลฮาร์โมนิก อย่างง่าย ซ้ารอยเติมรอบจุดสมมูล ไม่ได้เคลื่อนที่ไปพร้อมกับคลื่น การเคลื่อนที่ของอนุภาค ตัวกลางแบบนี้เราจะเขียนแทนการเคลื่อนที่ของคลื่นแบบรูปไซน์ (sinusoidal wave) ซึ่งเราสามารถหาค่าปริมาณต่างๆ ได้ ดังนี้

ลักษณะการเคลื่อนที่แบบซิมเปิลฮาร์โมนิกอย่างง่าย

-เป็นการเคลื่อนที่แบบสั้นหรือแกว่งกลับไปกลับมาซ้ำรอยเดิมโดยมีการกระจัดสูงสุดจากแนวสมดุล (แอมพลิจูด) คงที่

-เป็นการเคลื่อนที่ที่มีความเร่งและแรงแปรผันโดยตรงกับขนาดของการกระจัด แต่มีทิศทางตรงข้ามกันเสมอ (แรงและความเร่งมีทิศเข้าหาจุดสมดุล แต่การกระจัดมีทิศพุ่งออกจากจุดสมดุล)

-ณ ตำแหน่งสมดุล x หรือ $y = 0$, $F = 0$, $a = 0$ แต่ v มีค่าสูงสุด

-ณ ตำแหน่งปลาย x หรือ y , F , a มีค่ามากที่สุด แต่ $v = 0$

-สมการการเคลื่อนที่แบบซิมเปิลฮาร์โมนิก

ตารางที่ 2.1 แสดงสูตรในการคำนวณที่เกณฑ์ต่างๆ

พิกัดในแนวระดับ (x)	พิกัดในแนวตั้ง (y)
1. $x = A \cos \omega t$	1. $y = A \sin \omega t$
2. $v = -\omega A \sin \omega t$	2. $v = \omega A \cos \omega t$
3. $v = \pm \omega \sqrt{A^2 - x^2}$	3. $v = \pm \omega \sqrt{A^2 - y^2}$
4. $a = -\omega^2 A \cos \omega t$	4. $a = -\omega^2 A \sin \omega t$
5. $a = -\omega^2 x$	5. $a = -\omega^2 y$
6. $v_{\max} = \omega A$	
7. $a_{\max} = \omega^2 A$	

-กรณีที่มีมุมเฟสเริ่มต้นไม่เป็นศูนย์ สมการความสัมพันธ์ของการกระจัด ความเร็ว และความเร่ง กับเวลาอาจเขียนได้ว่า

$$X = A \cos(\omega t + \phi) \quad \text{และ} \quad v = A \sin(\omega t + \phi) \quad (2.4)$$

$$v_x = -\omega A \sin(\omega t + \phi) \quad \text{และ} \quad v_y = \omega A \cos(\omega t + \phi) \quad (2.5)$$

$$a_x = -\omega^2 A \cos(\omega t + \phi) \quad \text{และ} \quad a_y = -\omega^2 A \sin(\omega t + \phi) \quad (2.6)$$

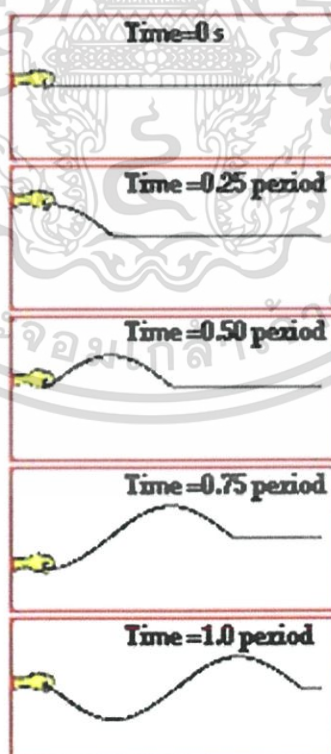
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-การเคลื่อนที่แบบซิมเปิลฮาร์โมนิกของ สปริง และลูกตุ้มนาฬิกา

ตารางที่ 2.2 แสดงสูตรการคำนวณซิมเปิลฮาร์โมนิกของสปริงและลูกตุ้มนาฬิกา

	อัตราเร็วเชิงมุม (ω)	คาบ (T)	ความถี่ (f)
สปริง	$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$	$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$	$f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{m}}$
ลูกตุ้มนาฬิกา	$\omega = \sqrt{\frac{g}{l}}$	$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$	$f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{g}{l}}$

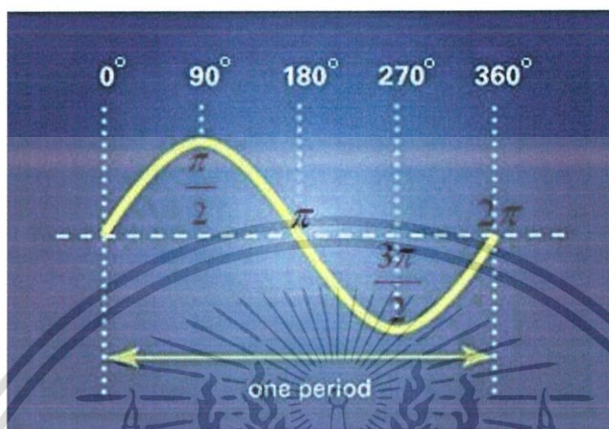
-ลักษณะการเคลื่อนที่ของคลื่นขณะเวลาต่างๆ(เมื่อคาบหมายถึงเวลาครบ1รอบ)



รูปที่ 2.3 แสดงลักษณะของคลื่นที่เวลาต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-การบอกตำแหน่งบนคลื่นรูปไซน์ ด้วย เฟส (phase) เป็นการบอกด้วยค่ามุมเป็นเรเดียน หรือองศา

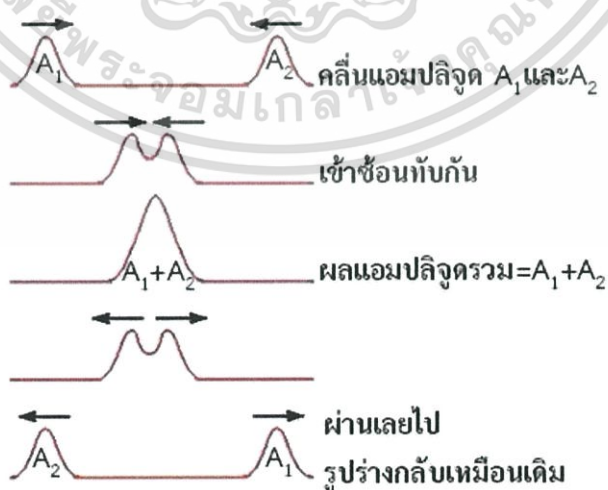


รูปที่ 2.4 แสดงเฟสของคลื่น

2.1.5 การซ้อนทับกันของคลื่น

เมื่อคลื่น 2 ขบวนผ่านมาในบริเวณเดียวกัน มันจะรวมกัน โดยอาศัยหลักการซ้อนทับของคลื่น (Superposition principle) การซ้อนทับกันมี 2 แบบ คือแบบเสริม และแบบหักล้าง

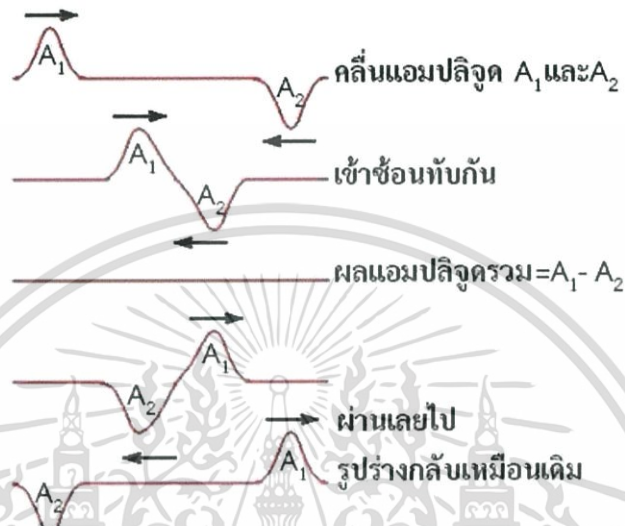
1. การซ้อนทับแบบเสริม เกิดจากคลื่นที่มีเฟสตรงกัน เข้ามาซ้อนทับกัน เช่น สันคลื่น+ สันคลื่น หรือท้องคลื่น+ท้องคลื่น ผลการซ้อนทับทำให้แอมพลิจูดเพิ่มขึ้นมากที่สุด เท่ากับผลบวกของแอมพลิจูด คลื่นทั้งสอง



รูปที่ 2.5 แสดงการรวมกันของคลื่นแบบเสริมกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การซ้อนทับแบบหักล้าง เกิดจากคลื่นที่มีเฟสตรงกันข้าม เข้ามาซ้อนทับกัน เช่น สันคลื่น+ ท้องคลื่น ผลการซ้อนทับทำให้แอมพลิจูดลดลง เท่ากับผลต่างของแอมพลิจูด คลื่นทั้งสอง



รูปที่ 2.6 แสดงการรวมกันแบบหักล้างของคลื่น

2.2 ความหมายของคาบการสั่นธรรมชาติ

คาบการสั่นตามธรรมชาติ (T_n) หมายถึง ระยะเวลาที่ใช้ในการแกว่งตัวของโครงสร้างอาคารตามธรรมชาติครบ 1 รอบ ซึ่งแปรผกผันกับค่าความถี่ธรรมชาติ (f_n) ของการสั่นไหว

$$T_n = \frac{1}{f_n} = \frac{2\pi}{\omega_n} \quad (2.7)$$

โดยที่ f_n คือ ความถี่ธรรมชาติของโครงสร้างอาคาร (รอบ/วินาที, Hz)

ω_n คือ ความถี่เชิงมุมธรรมชาติของโครงสร้าง (เรเดียน/วินาที)

สำหรับค่าความถี่และคาบการสั่นไหวจะขึ้นอยู่กับมวลและสติฟเฟสของโครงสร้างอาคาร

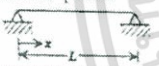
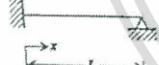
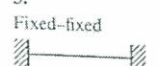
ค่าคาบการสั่นไหวตามธรรมชาติของโครงสร้างอาคาร ถือเป็นตัวแปรสำคัญค่าที่ส่งผลกระทบต่อความเสียหายของอาคาร หากว่าคาบการสั่นไหวตามธรรมชาติของโครงสร้างสอดคล้องกับคาบการสั่นสำคัญของพื้นดินแล้ว จะทำให้เกิดการสั่นที่รุนแรงมากขึ้น เนื่องจากเกิดการกาทอนของคลื่นสั่นสะเทือน เป็นเหตุให้อาคารที่มีความสูงอยู่ในช่วงของคาบการสั่นนี้พอดิเกิดความเสียหายได้อย่างมาก และถ้าหากว่าคาบการสั่นสำคัญของพื้นดินสอดคล้องกับคาบการสั่นตามธรรมชาติของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชั้นดินด้วย ก็จะมีส่งผลให้เกิดการกำทอนซ้อนขึ้นไปอีก ซึ่งเรียกว่าการเกิดกำทอนซ้อน (Double Resonance)

การตอบสนองของอาคารต่อการสั่นไหวของแผ่นดินไหวก่อให้เกิดความถี่ซึ่งเรียกว่า Fundamental Frequency ซึ่งอาคารดีจะมีการสั่นไหวธรรมชาติสูง ขณะที่อาคารสูงจะมีการสั่นไหวธรรมชาติต่ำกว่า อาคารที่มีธรรมชาติการสั่นไหวสูงซึ่งก็คือมีระยะเวลาการสั่นไหวสั้น จะก่อให้เกิดความเสียหายในอัตราสูงเนื่องมาจากอัตราเร่งสูงสุดของพื้นดิน แต่จะเกิดความเสียหายจากการขยับตัวไปจากจุดเดิมน้อย ในขณะที่อาคารที่มีธรรมชาติการสั่นไหวต่ำซึ่งก็คือมีระยะเวลาการสั่นไหวยาวจะก่อให้เกิดความเสียหายในอัตราที่ต่ำเนื่องมาจากอัตราเร่งสูงสุดของพื้นดิน แต่จะเกิดความเสียหายจากการขยับตัวไปจากจุดเดิมสูง

TABLE 11-12 NATURAL FREQUENCIES AND MODE SHAPES FOR UNIFORM BEAMS

Notation			
		E = modulus of elasticity	ρ = mass per unit length
		I = moment of inertia	L = length of the beam
		Natural frequency: ω_i (rad/s) = $\frac{\lambda_i^2}{L^2} \left(\frac{EI}{\rho} \right)^{1/2}$	f_i (Hz) = $\frac{\lambda_i^2}{2\pi L^2} \left(\frac{EI}{\rho} \right)^{1/2}$
Boundary Conditions	$\lambda_i, i = 1, 2, 3, \dots$	Mode Shapes	$\beta_i, i = 1, 2, 3, \dots$
1. Pinned-pinned 	$i\pi$	$\sin \frac{i\pi x}{L}$	
2. Fixed-pinned 	3.92660231 7.06858275 10.21017612 13.35176878 16.49336143 $(4i + 1)\pi/4, i > 5$	$\cosh \frac{\lambda_i x}{L} - \cos \frac{\lambda_i x}{L} - \beta_i \left(\sinh \frac{\lambda_i x}{L} - \sin \frac{\lambda_i x}{L} \right)$	$\frac{\cosh \lambda_i - \cos \lambda_i}{\sinh \lambda_i - \sin \lambda_i}$
3. Fixed-fixed 	4.73004074 7.85320462 10.99560790 14.13716550 17.27875970 $(2i + 1)\pi/2, i > 5$	$\cosh \frac{\lambda_i x}{L} - \cos \frac{\lambda_i x}{L} - \beta_i \left(\sinh \frac{\lambda_i x}{L} - \sin \frac{\lambda_i x}{L} \right)$	$\frac{\cosh \lambda_i - \cos \lambda_i}{\sinh \lambda_i - \sin \lambda_i}$

รูปที่ 2.7 รูปแสดงสูตรอย่างง่ายของการหาค่าความถี่ธรรมชาติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ทฤษฎีการเกิดแผ่นดินไหว

แผ่นดินไหว (Earthquake) เป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติซึ่งเกี่ยวเนื่องกับกระบวนการแปรสัณฐาน (Plate Tectonics) ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อหินเปลือกโลกเคลื่อนที่หรือสัมผัสกันและคายพลังงานออกมา ซึ่งสามารถอุปมาอุปมัยได้เหมือนกับการตัดไม้บรรทัด เมื่อเราใช้มือจับปลายไม้บรรทัดทั้งสองข้างแล้วตัดให้โค้งงออย่างช้าๆ จนเกิดความเค้น (Stress) ไม้บรรทัดจะเกิดความเครียด (Strain) ภายใน แม้ว่าจะอ่อนตัวให้โค้งตามแรงที่เราตัด แต่ก็สิ้นตัวทันทีที่เราปล่อยมือ และถ้าหากเราออกแรงตัดมากเกินไป พลังงานซึ่งสะสมอยู่ในจะเค้นให้ไม้บรรทัดนั้นหัก และปลดปล่อยพลังงานอย่างฉับพลัน ทำให้เกิดแรงสั่นสะเทือนและเสียง หินในเปลือกโลกก็มีคุณสมบัติเช่นไม้บรรทัด เมื่อแผ่นธรณีกระทบกัน แรงกดดันหรือแรงเฉียดทานจะทำให้หินที่บริเวณขอบของแผ่นธรณีเกิดความเค้นและความเครียด สะสมพลังงานไว้ภายใน เมื่อหินแตกหรือหักก็จะปลดปล่อยพลังงานออกมา ทำให้เกิดการสั่นสะเทือนเป็นแผ่นดินไหว

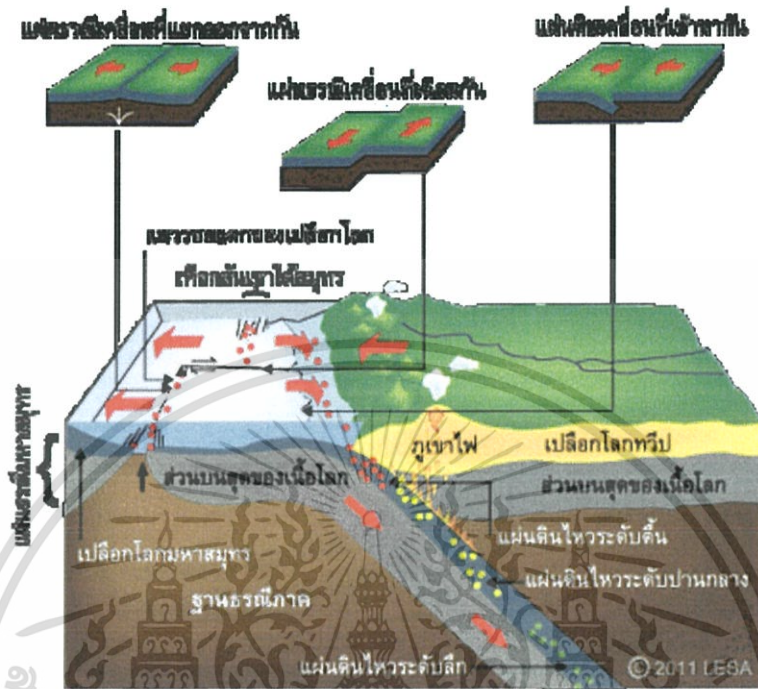


รูปที่ 2.8 แผ่นดินไหวที่เมืองซานฟรานซิสโกปี พ.ศ.2449

2.3.1 แผ่นดินไหวมักเกิดขึ้นที่ใด

แผ่นดินไหวมักเกิดขึ้นในบริเวณรอยต่อของแผ่นธรณี เนื่องจากเป็นบริเวณที่เกิดกระบวนการแปรสัณฐาน 3 ลักษณะ ดังภาพที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 รอยต่อของแผ่นธรณี

แผ่นธรณีเคลื่อนที่ออกจากกัน (Divergent boundaries) แยกมาจากชั้นฐานธรณีภาคคั้งให้แผ่นธรณีโค้งตัวอย่างช้าๆ จนแตกเป็นหุบเขาทรุด (Rift valley) หรือสันเขาใต้สมุทร (Oceanic Ridge) ทำให้เกิดแผ่นดินไหวขนาดเบาที่ระดับตื้น (ลึกจากพื้นผิวน้อยกว่า 70 กิโลเมตร) เช่นบริเวณกลางมหาสมุทรแอตแลนติก

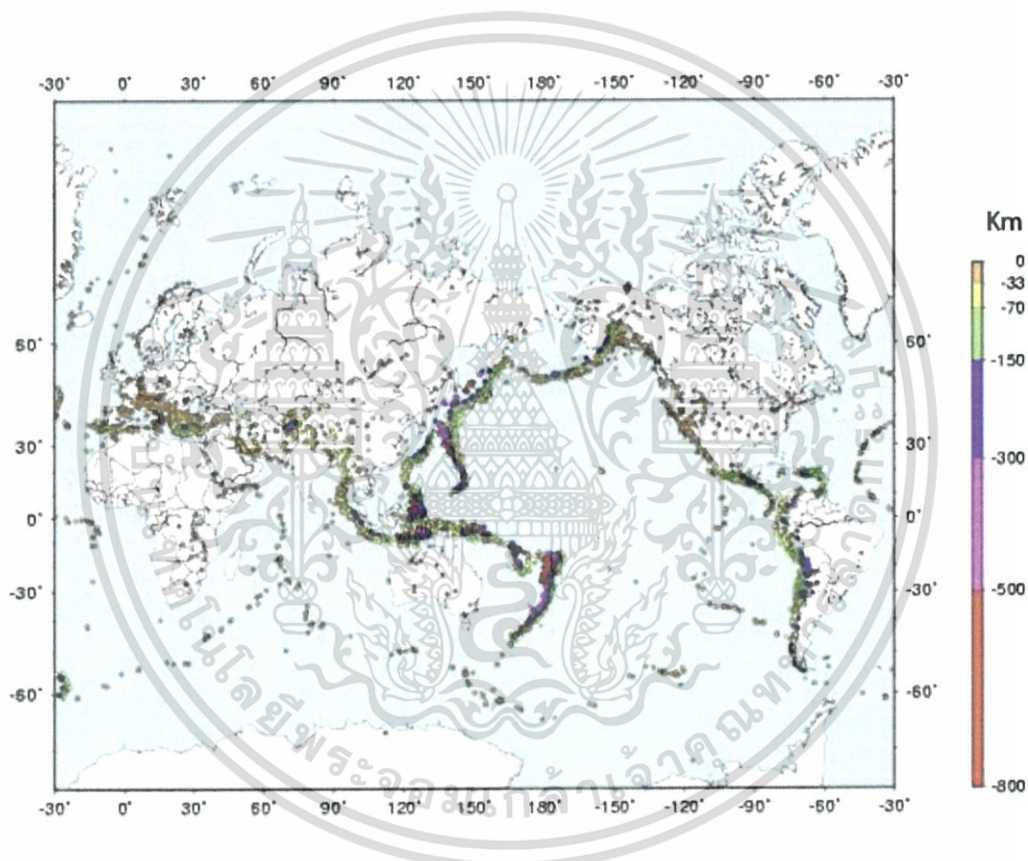
แผ่นธรณีเคลื่อนที่เข้าหากัน (Convergent boundaries) การชนกันของแผ่นธรณีสองแผ่นในแนวมุดตัว (Subduction zone) ทำให้แผ่นที่มีความหนาแน่นมากกว่าจมตัวลงสู่ชั้นฐานธรณีภาค การปะทะกันเช่นนี้ทำให้เกิดแผ่นดินไหวอย่างรุนแรงที่ระดับลึก (300 – 700 กิโลเมตร) และหากเกิดขึ้นในมหาสมุทรก็จะทำให้เกิดคลื่นสึนามิ เช่น สันเขาใต้สมุทรใกล้เกาะสุมาตรา และเกาะฮอนชู ประเทศญี่ปุ่น

แผ่นธรณีเคลื่อนที่ผ่านกัน (Transform fault) ทำให้เกิดแรงเสียดทานของหินเปลือกโลก แม้ว่าแผ่นธรณีจะเคลื่อนที่ผ่านกันด้วยความเร็วเพียงปีละประมาณ 3 - 6 เซนติเมตร แต่เมื่อเวลาผ่านไป 100 ปี ก็จะเคลื่อนที่ได้ระยะทาง 3 - 6 เมตร ซึ่งถ้าหากหินคั้งตัวก็จะสามารถปลดปล่อยพลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มหาศาลได้ ดังเช่น รอยเลื่อนซานแอนเดรียส์ก็เคยทำลายเมืองซานฟรานซิสโก ประเทศสหรัฐอเมริกา จนประสบความเสียหายหนักเมื่อปี พ.ศ.2449 ดังภาพที่ 2.8

นอกจากบริเวณรอยต่อของแผ่นธรณีแล้ว แผ่นดินไหวยังเกิดขึ้นที่บริเวณจุดร้อน (Hot spot) ที่ซึ่งหินหนืดร้อนลอยตัวขึ้นจากเนื้อโลกตอนล่างแล้วทะลุเปลือกโลกขึ้นมากลายเป็นภูเขาไฟรูปโล่ เช่น เกาะฮาวาย ที่กลางมหาสมุทรแปซิฟิก และ เกาะไอซ์แลนด์ ที่ตอนบนของมหาสมุทรแอตแลนติก



รูปที่ 2.10 แผนที่แสดงความลึกของจุดศูนย์เกิดแผ่นดินไหว

เมื่อพิจารณาแผนที่ในภาพที่ 3 จะเห็นได้ว่า แผ่นดินไหวส่วนใหญ่เกิดขึ้นที่บริเวณรอยต่อของแผ่นเปลือกโลก โดยบริเวณที่แผ่นธรณีเคลื่อนที่ออกจากกันและแผ่นธรณีเคลื่อนที่ผ่านกันจะเกิดแผ่นดินไหวในระดับตื้น ส่วนบริเวณที่แผ่นธรณีเคลื่อนที่เข้าหากันเช่น เขตมุดตัวในวงแหวนไฟ (Ring of fire) รอบมหาสมุทรแปซิฟิก บริเวณหมู่เกาะญี่ปุ่น หมู่เกาะฟิลิปปินส์ หมู่เกาะแปซิฟิกใต้ และชายฝั่งตะวันตกของทวีปอเมริกาใต้ จะเกิดแผ่นดินไหวในระดับลึก ซึ่งมักเป็นตัวการทำให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดคลื่นสึนามิ ทั้งนี้ท่านสามารถติดตามการเกิดแผ่นดินไหวของครั้งล่าสุดของโลกได้ที่ USGS
 Latest Earthquakes in the World

2.3.2 ผลกระทบจากแผ่นดินไหว

ผลกระทบจากแผ่นดินไหว มีทั้งทางตรงและทางอ้อม เช่น ทำให้เกิดพื้นดินแตกแยก ภูเขาไฟระเบิด อาคารสิ่งก่อสร้างพังทลาย ไฟไหม้ แก๊สรั่ว ท่อระบายน้ำและท่อประปาแตก คลื่นสึนามิ แผ่นดินถล่ม เส้นทางการคมนาคมเสียหายและถูกตัดขาด ถนนและทางรถไฟบิดเบี้ยวโค้งงอ เกิดโรคระบาด ปัญหาด้านสุขภาพจิตของผู้ประสบภัย ความสูญเสียในชีวิตและทรัพย์สิน รวมถึงทางเศรษฐกิจ เช่น การสื่อสาร โทรคมนาคมขาดช่วง ระบบคอมพิวเตอร์ขัดข้อง การคมนาคมทั้งทางบก ทางน้ำ ทางอากาศหยุดชะงัก ประชาชนตื่นตระหนก ซึ่งมีผลต่อการลงทุน การประกันภัย และในกรณีที่แผ่นดินไหวมีความรุนแรงมาก เมืองทั้งเมืองอาจถูกทำลายหมด และมีผู้เสียชีวิตเป็นจำนวนมาก

ถ้าแผ่นดินไหวเกิดขึ้นใต้ทะเล แรงสั่นสะเทือนอาจทำให้เกิดเป็นคลื่นขนาดใหญ่ที่เรียกว่า "สึนามิ" (ญี่ปุ่น: 津波, Tsunami) มีความเร็วคลื่น 600-800 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ในทะเลเปิด ส่วนใหญ่คลื่นจะมีความสูงไม่เกิน 1 เมตร และสังเกตได้ยาก แต่จะมีขนาดใหญ่ขึ้นเมื่อเคลื่อนถึงใกล้ชายฝั่ง โดยอาจมีความสูงถึง 60 เมตร สามารถก่อให้เกิดน้ำท่วม สร้างความเสียหายอย่างใหญ่หลวงกับสิ่งก่อสร้างที่ติดอยู่ชายฝั่งทะเล

ในปัจจุบันมีการสร้างอาคาร ตึกระฟ้าใหม่ ๆ บนหินแข็งในเขตแผ่นดินไหว อาคารเหล่านั้นจะใช้โครงสร้างเหล็กกล้าที่แข็งแรงและขยับเขยื้อนได้ มีประตูและหน้าต่างน้อยแห่ง บางแห่งก็มุงหลังคาด้วยแผ่นยางหรือพลาสติกแทนกระเบื้อง ป้องกันการตกลงมาของกระเบื้องแข็งทำให้ผู้คนบาดเจ็บ ถนนมักจะสร้างให้กว้างเพื่อว่าเมื่อเวลาตึกพังลงมาจะได้ไม่กีดขวางทางจราจร และยังมีการสร้างที่ว่างต่าง ๆ ในเมือง เช่น สวนสาธารณะ ซึ่งผู้คนสามารถจะไปหลบภัยให้พ้นจากการถล่มของอาคารบ้านเรือนได้

2.3.3 เครื่องมือวัดแผ่นดินไหว

เครื่องมือตรวจวัดแผ่นดินไหว ประดิษฐ์ขึ้นครั้งแรกโดยนักวิทยาศาสตร์ชาวจีน ชื่อ จางเหิง (Chang Heng) ในปีพ.ศ. 621 ลักษณะคล้ายไหเหล้า ทำด้วยทองสัมฤทธิ์ รอบๆ ไหมีมั่งกรเล็กๆ 8 ตัว แต่ละตัวหันไปคนละทิศที่ปากถูกทองแดง เมื่อเกิดการเคลื่อนที่ของแผ่นดินไหวอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภายในจะทำให้ปากของมังกรเปิด ออก ลูกบอลจะตกลงไปอยู่ในปากของกบที่อยู่ด้านล่างทำให้เกิดเสียงดัง และสามารถทำนายทิศทางของการเกิดแผ่นดินไหวในภาพที่ 1



รูปที่ 2.11 เครื่องมือวัดแผ่นดินไหวเครื่องแรกคิดค้นโดยชาวจีน

ต่อมาได้มีการพัฒนาเครื่องมือวัดแผ่นดินไหว โดยมีการบันทึกด้วยระบบแม่เหล็กไฟฟ้า ที่นิยมมีอยู่ 2 แบบ คือ

1. เครื่องวัดอัตราเร่งขนาดความรุนแรง (Strong Motion Accelerograph, SMA) เป็นเครื่องมือวัดขนาดความรุนแรงเท่านั้นเพื่อหาอัตราเร่งของพื้นดิน ดังแสดงในภาพที่ 2 โดยนำค่าที่ได้ไปออกแบบการก่อสร้างที่มีขนาดใหญ่ เช่น ตึกสูง เขื่อนขนาดใหญ่ เป็นต้น

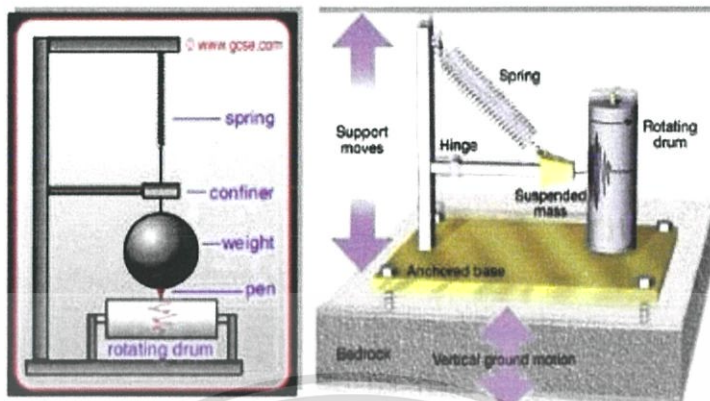
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



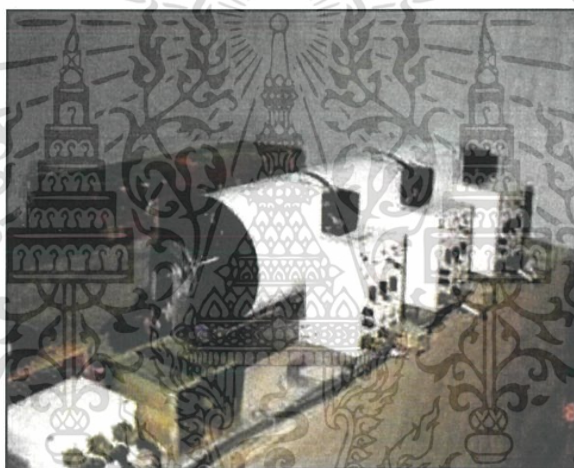
รูปที่ 2.12 เครื่องวัดอัตราเร่งขนาดความรุนแรง

2. เครื่องไซโมกราฟ (Seimograph) เป็นเครื่องตรวจวัดแผ่นดินไหวชนิดวัดการสั่นสะเทือนได้ทุกขนาด มีทั้งการวัดขนาดความลึก การคำนวณหาจุดศูนย์กลางแผ่นดินไหว

2.1 เครื่องไซโมกราฟอย่างง่าย ๆ ประกอบด้วย ครอบทรงกลมหมุนได้ตั้งอยู่บนพื้นราบ พื้นระดับสม่ำเสมอ โดยที่ครอบหมุนไป ปากกาจะบันทึกเส้นลงบนผิวของครอบทรงกลมนั้น ปัจจุบันการบันทึกข้อมูลอาจใช้ฮอสซิลโคป สำหรับการสร้างเครื่องวัดแผ่นดินไหว ดังแสดงในภาพที่ 3 และ 4



รูปที่ 2.13 เครื่องมือวัดแผ่นดินไหวอย่างง่ายทั้งชนิดวัดแผ่นดินไหวแนวราบ และแนวตั้ง



รูปที่ 2.14 เครื่องมือตรวจวัดแผ่นดินไหวแบบอะนาล็อก

ประกอบด้วย 4 ระบบ ดังนี้คือ

2.2 ระบบการสัมผัสสะท้อน โดยใช้ลูกตุ้ม (Seismometer)

2.3 ระบบบันทึก โดยการใส่กระดาษ (Recorder)

2.4 ระบบภาคขยาย (Magnification)

2.5 ระบบเวลา (Timing)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 งานปริญญานิพนธ์ที่เกี่ยวข้อง

2.4.1 การประมาณค่าความถี่พื้นฐานจากการตอบสนองต่อการสั่นของการวิ่งผ่านของยานพาหนะ:ศึกษาโดยการวิเคราะห์และทดลอง

Dionysius M. Siringoringo* and Yozo Fujino : Bridge and Structure Laboratory.

Department of Civil Engineering, The University of Tokyo, 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku Tokyo, JAPAN 113-8656

Abstract: ความเร็วในการขับขี่, ความถี่ธรรมชาติของพาหนะและของสะพานคือตัวประกอบหลักในการพิจารณาการสั่นของพาหนะขณะที่ผ่านมาผ่านสะพาน โดยการแยกตัวประกอบสองตัวแรกออกจากกัน อันหนึ่งสามารถประมาณค่าความถี่ธรรมชาติของสะพาน ได้อย่างอ้อมๆจากการตอบสนองต่อความเร่งของยานพาหนะเมื่อมันข้ามสะพาน ในเอกสารชิ้นนี้พวกเราลองใช้หลักการประมาณความถี่ธรรมชาติโดยอ้อมๆจากการตอบสนองต่อความเร่งของยานพาหนะที่เคลื่อนที่ผ่าน เอกสารในส่วนแรกอธิบายเกี่ยวกับสมการ โดยอ้อมและการจำลองขอบเขตธรรมชาติเพื่อพิสูจน์ความเป็นไปได้ของหลักการ พวกเราบรรยายเกี่ยวกับการทดลองพิสูจน์โดยแนวคิดที่ยอมรับได้ของทฤษฎีบนสะพานช่วงสั้นขนาดจริงบนจตุรรองรับแบบพื้นฐาน โดยใช้พาหนะเครื่องมือ น้ำหนักเบาและเครื่องวัดความเร่ง การตอบสนองแบบจลน์ศาสตร์ของพาหนะขณะเคลื่อนที่ผ่านสะพานถูกเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ การวิเคราะห์แบบ Spectra ของการตอบสนองของยานพาหนะบ่งบอกว่าความถี่ธรรมชาติค่าแรกของสะพานสามารถประมาณได้ด้วยเหตุผลอย่างแม่นยำเมื่อพาหนะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ ความคิดของการประมาณค่าความถี่โดยอ้อมคือการประเมินค่าที่มีประโยชน์ของสะพานช่วงสั้นและช่วงกลางๆที่เครื่องมือถาวรและการตรวจเช็คประจำวันนั้นมีราคาแพง ในทฤษฎีนี้หนึ่งสามารถใช้พาหนะเครื่องมือตรวจสอบที่มีตัวตรวจจับการสั่นสะเทือนเพื่อตรวจวัดการสั่นสะเทือนเป็นครั้งคราว โดยใช้พาหนะเคลื่อนที่ผ่านและมีการตรวจวัดและประมาณค่าความถี่ที่หลากหลาย เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าความถี่อย่างมีนัยสำคัญจะถูกตรวจจับรายละเอียดของการตรวจจับสามารถใช้จัดการตรวจสอบหาความเสียหายที่เป็นไปได้ต่อสะพานอย่างกว้างๆ

ทฤษฎี: สมการของการเคลื่อนที่ของระบบของพาหนะสะพาน

พิจารณาจากระบบพาหนะสะพานสองมิติดังรูปที่ 1 พาหนะ, มีมวล M_v วางบนล้อที่มีมวล m_i , ค่าความแข็ง k_i และ dashpot C_i เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว v แบบจำลองสะพานมีจตุรรองรับพื้นฐานแบบระบบคานเบอร์นูลด์คือออกเลอร์มีมวล M_b ค่าความแข็ง K_b และตัวหน่วง C_b ตามหลักการของแฮมิลตัน จะได้สมการตอบสนองของสะพานต่อความเร่งของยานพาหนะดังสูตร $X = \sqrt{\sum_{i=1}^2 \omega_{vi}^2}$ และความถี่ $\eta = \Pi v/L$ และค่าความถี่ของสะพานที่เกิดจากความถี่ของยานพาหนะคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$(\omega_b \pm \eta) = (\omega_b \pm \pi v/L)$ ผลลัพธ์ง่าย ๆ ก็ปรากฏขึ้นจากการทำงานสำหรับกรณีมวลเดี่ยวและการหยุดเพียงครั้งเดียว โดยเคลื่อนที่ไปบนคาน อย่างไรก็ตามหากเรารู้ค่าความเร็วยานพาหนะ ค่าความยาวสะพานจากนั้นจะสามารถคำนวณหาค่า η ได้ และหาค่าความถี่ธรรมชาติของสะพานได้ มันไม่ยากเลยถ้าหากว่าเรารู้ค่าความถี่ของยานพาหนะ โดยความถี่ของยานพาหนะสามารถหาได้จากการทดสอบการสั่นสะเทือนอิสระของยานพาหนะ

Finite Element

จากการทดลองพบว่าความเร็วรถที่วิ่งผ่านสะพานต้องไม่สูงเกินไปเพราะจะทำให้เกิดการสั่นสะเทือนยาก และจากการศึกษาพบว่าจุดสูงสุดของกราฟความถี่ที่ 1 และ 3 ซึ่งเป็นการตอบสนองต่อความถี่ของยานพาหนะที่วิ่งผ่านค่อนข้างที่จะคงที่ แต่ว่าจุดสูงสุดของกราฟที่ 2 จะลดลงเมื่อค่าสตีเฟนลดลงเช่นเดียวกับจุดสูงสุดของคลื่นลูกที่ 4 และสุดท้ายเมื่อค่าสตีเฟนของสะพานลดลงค่าความถี่ธรรมชาติก็จะถูกแทนที่ด้วยรูปแบบการสั่นที่สองดังจะเห็นได้จากแอมพลิจูดของจุดสูงสุดที่ 1 และ 2

เมื่อค่าสตีเฟนลดลงไป 0.7 ค่าความถี่ที่สองจะเกิดขึ้นใกล้เคียงกับความถี่ของพาหนะซึ่งแสดงให้เห็นจากการสั่นพ้อง จากการจำลองทำให้ทราบว่าเมื่อมีการลดค่าสตีเฟนสามารถสังเกตการณ์ลดลงของค่าความถี่ธรรมชาติจากการตอบสนองต่อยานพาหนะ แสดงได้จากหลักฐานการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขซึ่งเปลี่ยนแปลงความถี่ของสะพานสังเกตได้จากการวิเคราะห์การตอบสนองแบบพลศาสตร์ต่อยานพาหนะที่วิ่งผ่าน

การทดลอง

ใช้สะพานขนาดเท่าของจริง โดยสะพานเป็นแบบจตุรรองรับคานและเป็นแบบ Steel-box girder มีความยาว 59 เมตรและกว้าง 4 เมตร พื้นทำด้วยคอนกรีตเสริมเหล็กวางตัวอยู่บน Steel-box girder อัตราส่วนความยาวต่อความกว้างคือ 15 โดยแบ่งการทดลองออกเป็นสองอย่างแบบแรกคือใช้พาหนะที่ทราบความถี่เคลื่อนที่ผ่านสะพานด้วยความเร็วคงที่ และแบบที่สองใช้รถเครนยกสูงทราซขึ้นในระยะเวลาที่กำหนดแล้วปล่อยลงกระแทกสะพานในจุดต่างๆในสะพาน โดยติดเครื่อง Accelerometers ไว้ 8 จุด จากนั้นนำค่าที่ได้มาวิเคราะห์หาค่าความถี่ โดยสรุปได้ความถี่เท่ากับ 2.17Hz.

สรุปผล

ในเอกสารชุดนี้พวกเราได้อธิบายถึงการศึกษาหาความถี่ธรรมชาติของสะพาน โดยวิธีอ้อมจากการใช้การตอบสนองของพาหนะที่ติดเครื่องมือเคลื่อนที่ผ่าน มันแสดงให้เห็นการวิเคราะห์ที่โดยใช้รูปจำลองพาหนะสะพานสองมิติ ระบบตอบสนองต่อพาหนะที่เคลื่อนที่ผ่านสะพานอย่างมีอิทธิพลจากส่วนประกอบของความถี่ที่มีความสำคัญจากความเร็วของพาหนะ, ความถี่ของยานพาหนะ และความถี่ของสะพาน โดยการกำหนดให้ความเร็วของพาหนะคงที่และใช้พาหนะที่รู้ค่าความถี่ ค่าความถี่ธรรมชาติของสะพานสามารถประมาณค่าได้อย่างมีเหตุผลจากการตอบสนองต่อยานพาหนะ

จากการทดลองและการประมาณค่าพบว่าค่าที่ได้แตกต่างกัน 11.4 % โดยกำหนดให้ความเร็วรถไม่เกิน 30 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

2.4.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความถี่ธรรมชาติ

- Ferrar and Jauregui : ทำการเปลี่ยน Stiffness steel main plate ลดลง 96.4% ค่าความถี่ธรรมชาติจะเปลี่ยนไป 7%
- Maguire and Severn : ทดลองจากการเปลี่ยน cover ของแผ่นพื้นสะพานคอนกรีตซึ่งจะพบว่าค่าความถี่ธรรมชาติได้เปลี่ยนไป 2%
- Salawu : ทดลองจากการเปลี่ยนจตุรรองรับของสะพานค่าความถี่ธรรมชาติจะลดลง 1.7% จากการทดลอง 6 mode 11ริก
- Eccles et al. : พบว่าเมื่อสะพานคอนกรีตได้รับความเสียหายจากการใช้น้ำหนักกระทำลง 4 จุด จะพบว่าค่าความถี่ธรรมชาติจะลดลงราวๆ 1.2%

สรุป : จากการศึกษาข้อมูลจะพบว่าค่าความถี่ธรรมชาติขึ้นกับความเสียหายของตัวสะพานกับ Stiffness ของสะพาน ยังพบว่ายังมีปัจจัยสิ่งแวดล้อมอื่นนั่นคืออุณหภูมิ ในที่นี้เราจึงสนใจการเปลี่ยน stiffness เพราะกว้างมาก เราสามารถลองเปลี่ยนค่าต่างๆของ stiffness ได้ด้วยค่า

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

3.1 กล่าวนำ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาหาค่าความถี่ธรรมชาติของโครงสร้างสะพานคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยทำการศึกษาจากการเปลี่ยนแปลงค่าสถิติเฟนตของตัวโครงสร้างสะพานคอนกรีตเสริมเหล็ก ด้วยวิธีการเปลี่ยนส่วนประกอบของโครงสร้างสะพานคอนกรีตเสริมเหล็ก ในหลายๆรูปแบบ โดยใช้โปรแกรม SAP2000 เปรียบเทียบกับการหาค่าความถี่ธรรมชาติโดยวิธีการใช้สูตรอย่างง่าย ซึ่งในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงวิธีการดำเนินงานอย่างละเอียดดังต่อไปนี้

3.2 การเลือกข้อมูล

ในงานวิจัยนี้จะศึกษาข้อมูล จาก 2 แหล่งข้อมูล ได้แก่

1. จากตัวโปรแกรม SAP2000 เนื่องจากเป็น โปรแกรมที่สะดวกต่องานวิจัย เพราะในงานวิจัยนี้จำเป็นต้องเปลี่ยนตัวแปรหลายค่า เพื่อหาค่าความถี่ธรรมชาติในรูปแบบตัวแปรที่แตกต่างกัน และด้วยระยะเวลาที่จำกัด การรวบรวมข้อมูลนี้จึงเป็นวิธีที่ดีที่สุด

2. สูตรอย่างง่าย ที่ใช้ในการประมาณหาค่าความถี่ธรรมชาติของโครงสร้างสะพานคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งเหตุที่ใช้สูตรอย่างง่ายในการหาข้อมูลนั้นเพื่อต้องการทราบว่าค่าที่ได้จากการประมาณค่าความถี่ธรรมชาติของสะพานคอนกรีตเสริมเหล็ก นั้น สามารถใช้ในการหาค่าความถี่ธรรมชาติได้ถูกต้องและครอบคลุมทุกกรณีหรือไม่เมื่อเทียบกับตัวโปรแกรม

3.3 โปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณ

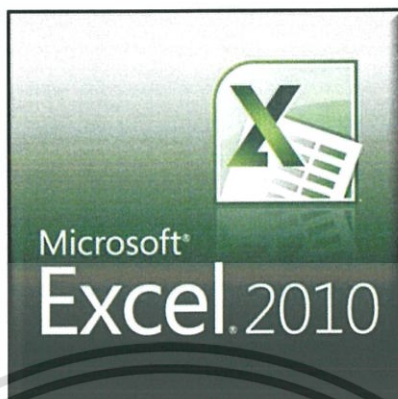
1. SAP2000 ใช้ในการรวบรวมข้อมูล



รูปที่ 3.1 โปรแกรม SAP 2000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

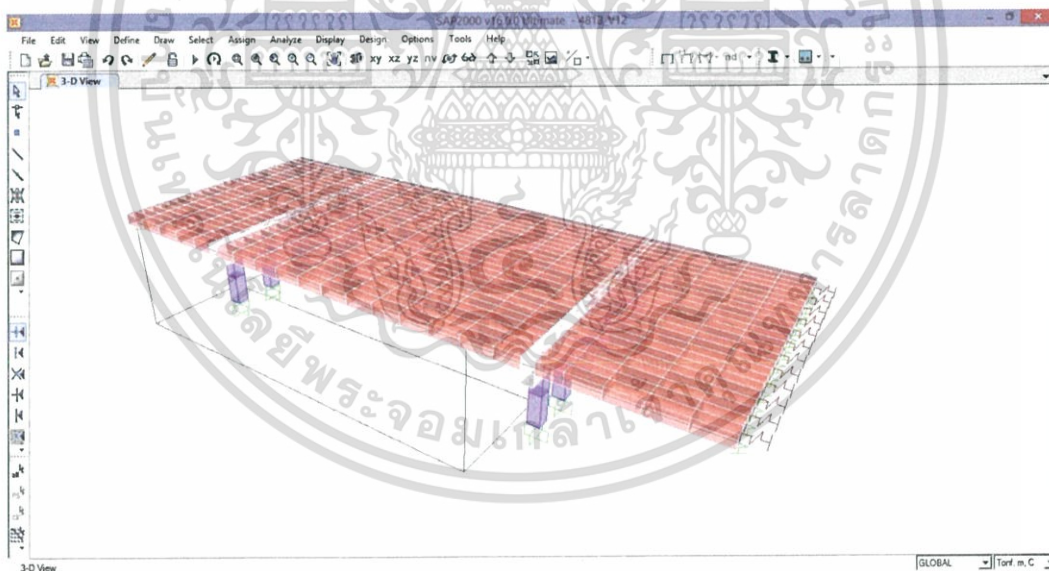
2. Microsoft excel 2010 ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล



รูปที่ 3.2 โปรแกรม Microsoft Excel 2010

3.4 ขั้นตอนการรวบรวมข้อมูล

3.4.1 ศึกษาการใช้โปรแกรม SAP2000และการขึ้นรูปโมเดลสะพานคอนกรีตเสริมเหล็ก

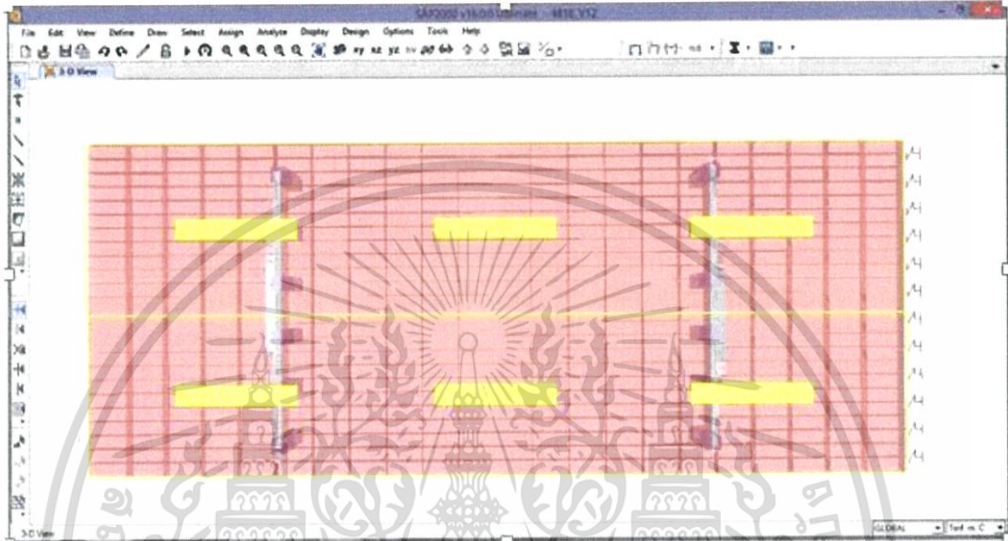


รูปที่ 3.3 แสดงการใช้โปรแกรม SAP2000 คำนวณสะพานคอนกรีตเสริมเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

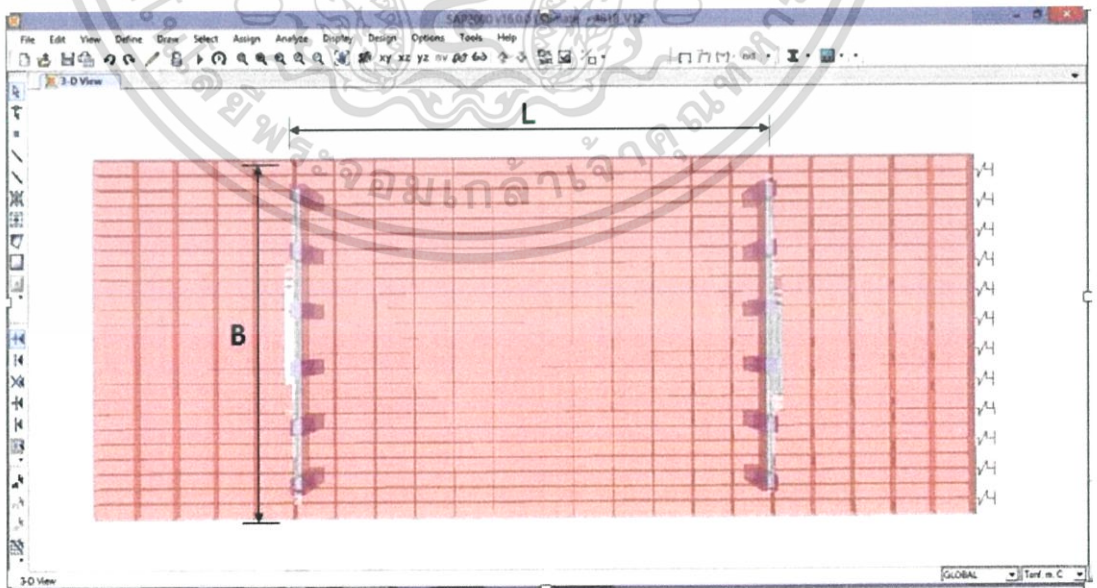
3.4.2 เปลี่ยนแปลงสถิติพื้นของตัวโมเดล

3.4.2.1 เปลี่ยนแปลง ความกว้าง โดยความกว้าง เปลี่ยนแปลงตามจำนวนช่องจราจรของถนนที่ใช้จริงในสะพานคอนกรีตเสริมเหล็ก นั้นคือ 1 ช่องจราจร หรือ 5.5 เมตร ,2 ช่องจราจร หรือ 9 เมตร ,3 ช่องจราจร หรือ 12.5 เมตร, 4 ช่องจราจร หรือ 16 เมตร, 5 ช่องจราจร หรือ 19.5 เมตร, 6 ช่องจราจร หรือ 23เมตร, 7 ช่องจราจร หรือ 26.5 เมตร, 8 ช่องจราจร หรือ 30 เมตร



รูปที่ 3.4 รูปแสดงการเปลี่ยนแปลงจำนวนช่องจราจรของสะพานจากโปรแกรม SAP2000

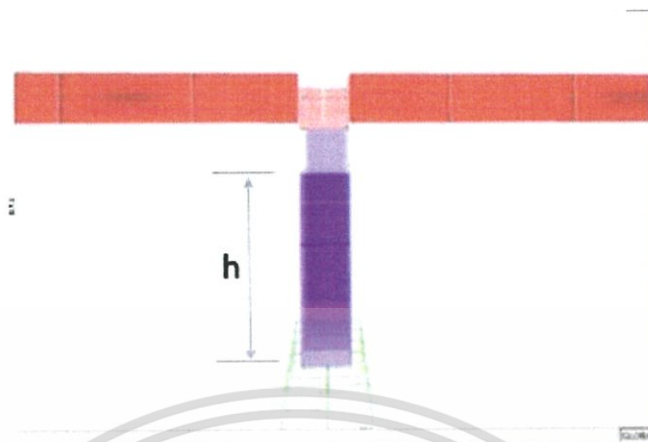
3.4.2.2 เปลี่ยนแปลง ความยาวโดยเปลี่ยนแปลงตามความยาวสะพานตั้งแต่ 5 m. ถึง 12 m.



รูปที่ 3.5 แสดงการเปลี่ยนแปลงความยาวตัวสะพานจากโปรแกรม SAP 2000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2.3 เปลี่ยนแปลงความสูงของเสาตอม่อ ในช่วง 1 เมตรถึง 10 เมตร



รูปที่ 3.6 แสดงการเปลี่ยนแปลงความสูงของเสาตอม่อของตัวสะพานจากโปรแกรม SAP 2000

3.4.2.4 เปลี่ยนแปลงจำนวนเสาตอม่อของสะพานคอนกรีตเสริมเหล็ก ตั้งแต่ 2 ต้นถึง 10 ต้น



รูปที่ 3.7 แสดงการเปลี่ยนแปลงจำนวนเสาตอม่อของตัวสะพานจากโปรแกรม SAP 2000

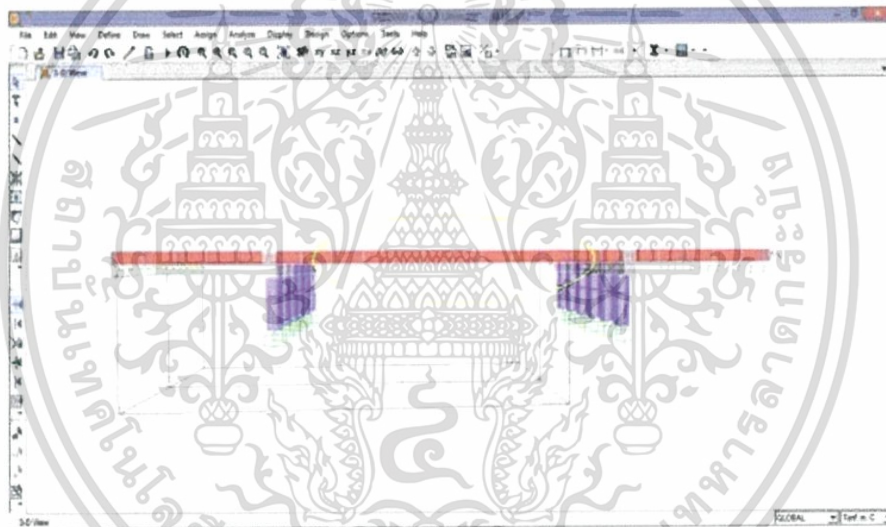
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2.5 เปลี่ยนแปลงขนาดของตัวคานรองรับสะพานคอนกรีตเสริมเหล็ก (Cap Beam)

เป็นไปตาม 7 ขนาดดังนี้

- 1.คานรองรับสะพานคอนกรีต ขนาด 40x40 ซม.
- 2.คานรองรับสะพานคอนกรีต ขนาด 40x50 ซม.
- 3.คานรองรับสะพานคอนกรีต ขนาด 40x60 ซม.
- 4.คานรองรับสะพานคอนกรีต ขนาด 40x70 ซม.
- 5.คานรองรับสะพานคอนกรีต ขนาด 40x80 ซม.
- 6.คานรองรับสะพานคอนกรีต ขนาด 40x90 ซม.
- 7.คานรองรับสะพานคอนกรีต ขนาด 40x100 ซม.

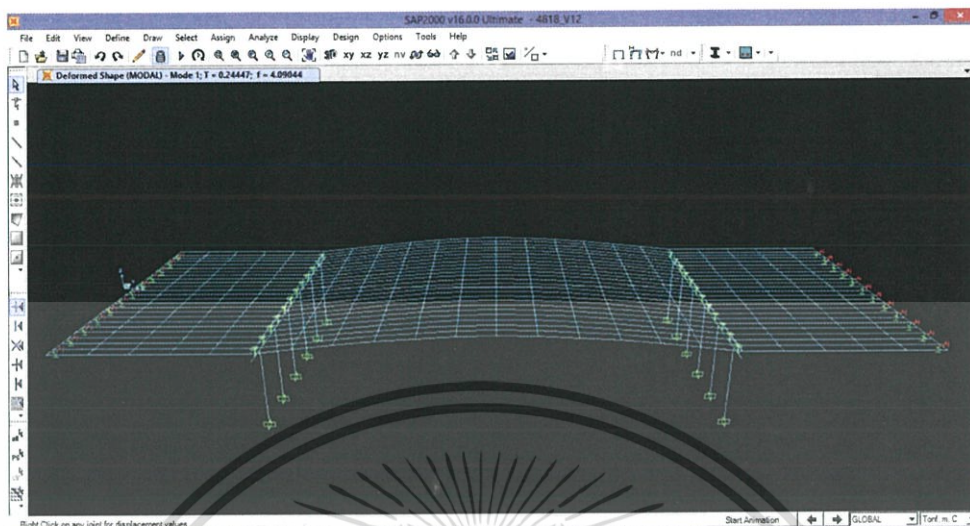
3.4.2.6 เปลี่ยนแปลงขนาดความหนาของตัวสะพานคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยจะ
เปลี่ยนแปลงความหนาของสะพานคอนกรีตเสริมเหล็ก ตั้งแต่ 0.30-0.70 เมตร



รูปที่ 3.8 แสดงการเปลี่ยนแปลงความหนาของตัวสะพานจากโปรแกรม SAP 2000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3 ทำการรันโปรแกรมเพื่อหาค่าความถี่ธรรมชาติที่ได้จากการใช้โปรแกรม



รูปที่ 3.9 แสดงการรันโปรแกรม SAP 2000 เพื่อหาค่าความถี่ธรรมชาติของสะพาน

3.4.4 หาค่าความถี่ธรรมชาติของโครงสร้างสะพานคอนกรีตเสริมเหล็ก จากการใช้สูตรอย่างง่าย

3.5 ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูล

3.5.1 นำข้อมูลไปวิเคราะห์ในโปรแกรม Microsoft Excel เพื่อจะหาค่าว่าปัจจัยใดที่มีผลต่อค่าความถี่ธรรมชาติของโครงสร้างสะพานคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยอาจใช้กราฟเป็นตัววิเคราะห์

3.5.2 นำข้อมูลค่าความถี่ธรรมชาติของโครงสร้างสะพานคอนกรีตเสริมเหล็ก ที่ได้จากการใช้โปรแกรม SAP2000 เปรียบเทียบค่าความถี่ธรรมชาติของโครงสร้างสะพานคอนกรีตเสริมเหล็ก ที่ได้จากสูตรอย่างง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

จากการทดลองโดยใช้โปรแกรม SAP2000 เพื่อหาค่าความถี่ธรรมชาติของสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงปัจจัยต่างๆของสะพานคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel เพื่อแสดงผลการเปลี่ยนแปลงค่าความถี่ธรรมชาติ

4.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม SAP2000

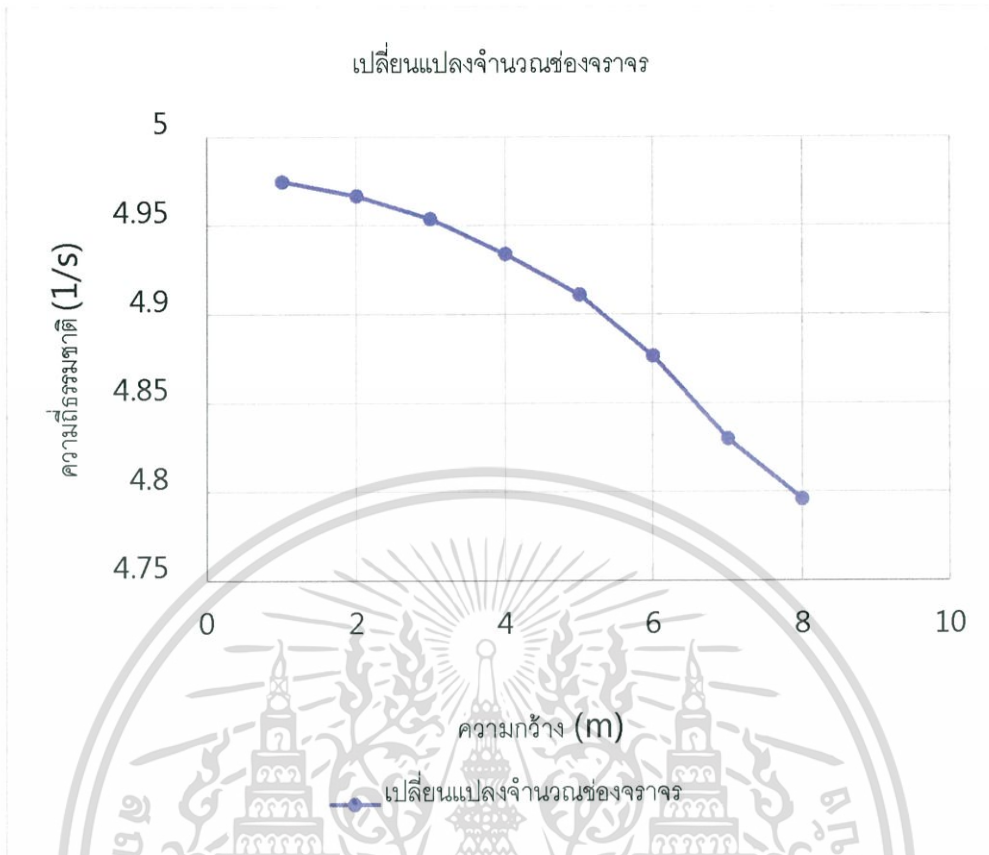
4.1.1 การเปลี่ยนแปลงค่าความกว้างของสะพาน

จากการวิเคราะห์สะพานคอนกรีตเสริมเหล็กโดยการเปลี่ยนความกว้างของสะพานโดยการเปลี่ยนแปลงแปลงจำนวนช่องจราจรของถนนในสะพาน ตั้งแต่ 1-8 ช่องจราจร กว้างช่องละ 3.50 เมตร ใหญ่ทางข้างละ 1 เมตร โดยกำหนดให้ความกว้างของหน้าตัดถนน 9 เมตร Cap beam ยาว 9 เมตร ขนาด Cap beam 40x80 เซนติเมตร ความหนาของหน้าตัด 40 เซนติเมตร เสาขนาด 40x40 เซนติเมตร จำนวนเสา 6 ต้น

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าความถี่ธรรมชาติของสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กจากการเปลี่ยนแปลงจำนวนช่องจราจร

จำนวนช่องจราจร	ความกว้าง(m)	T(sec)	f(1/s)	%การเปลี่ยนแปลง
1	5.5	0.20102	4.9746	0
2	9	0.2014	4.9664	0.1639
3	12.5	0.2019	4.9536	0.2576
4	16	0.2027	4.9338	0.3996
5	19.5	0.2036	4.9108	0.4665
6	23	0.2051	4.8763	0.7022
7	26.5	0.2071	4.8297	0.9563
8	30	0.20852	4.7957	0.7050

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



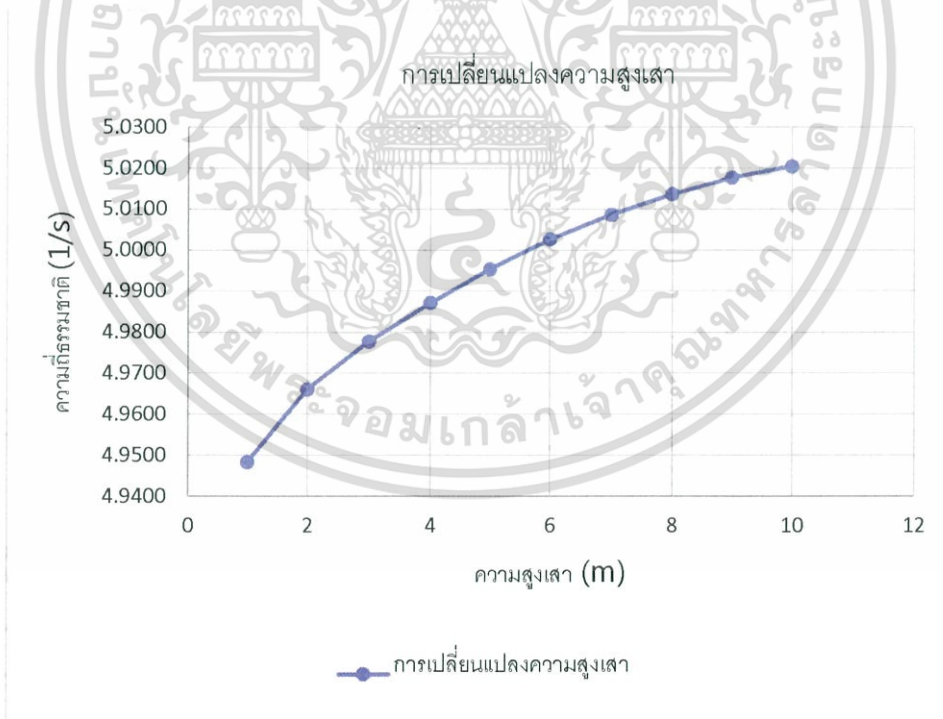
รูปที่ 4.1 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความถี่ธรรมชาติเมื่อเปลี่ยนแปลงจำนวนช่องจราจร

4.1.2 การเปลี่ยนแปลงความสูงของเสาตอม่อ

จากการวิเคราะห์สะพานคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยการเปลี่ยนความสูงของเสาตอม่อ ในช่วง 1-10 เมตร กำหนดให้ ความกว้างของหน้าตัดถนน 9 เมตร Cap beam ยาว 9 เมตร ขนาด Cap beam 40x80 เซนติเมตร ความหนาของหน้าตัดสะพาน 40 เซนติเมตร จำนวนเสา 6 ต้น

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าความถี่ธรรมชาติของสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กจากการเปลี่ยนแปลงความสูงเสาตอม่อ

ความสูงเสา(m)	ขนาดหน้าตัด(cm \times cm)	T(s)	f(1/s)	%การเปลี่ยนแปลง
1	20x20	0.2021	4.9483	0
2	40x40	0.2014	4.9660	0.3576
3	60x60	0.2009	4.9776	0.2339
4	80x80	0.2005	4.9870	0.1895
5	100x100	0.2002	4.9953	0.1648
6	120x120	0.1999	5.0025	0.1451
7	140x140	0.1997	5.0085	0.1202
8	160x160	0.1995	5.0135	0.1003
9	180x180	0.1993	5.0176	0.0803
10	200x200	0.1992	5.0203	0.0552



รูปที่ 4.2 แสดงการเปลี่ยนแปลงความถี่ธรรมชาติเมื่อเปลี่ยนแปลงความสูงเสาตอม่อ

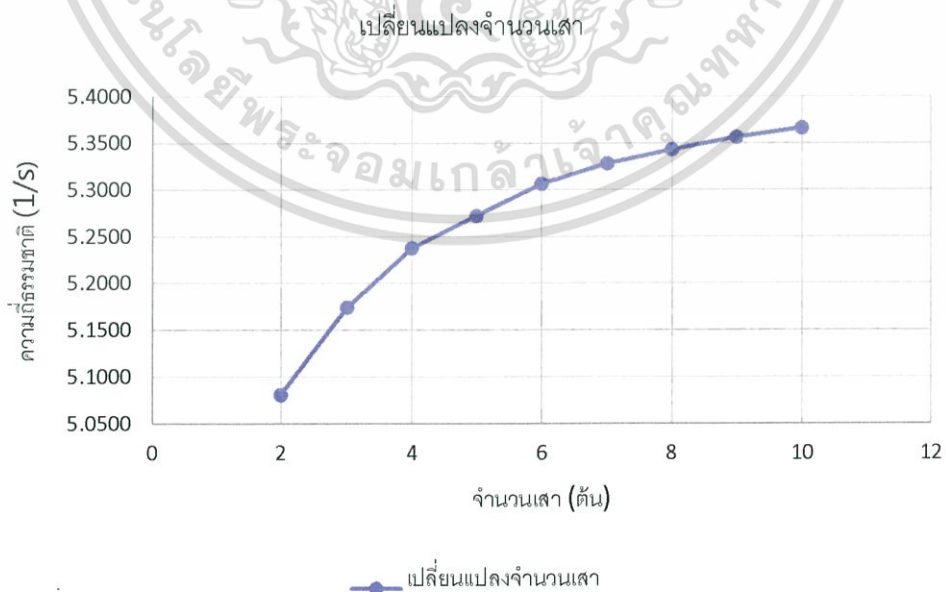
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 การเปลี่ยนแปลงจำนวนเสา

จากการวิเคราะห์สะพานคอนกรีตเสริมเหล็กโดยการเปลี่ยนแปลงจำนวนเสาตอม่อของสะพานตั้งแต่ 2 – 10 ต้น กำหนดให้ ความกว้างของหน้าตัดถนน 9 เมตร Cap beam ยาว 9 เมตร ขนาดCap beam 40x80 เซนติเมตร ความหนาของหน้าตัดสะพาน 40 เซนติเมตร เสาขนาด 40x40 เซนติเมตร จำนวนเสา 6 ต้น ความสูงเสาต้นละ2เมตร เสาห่างต้นละเท่าๆกัน

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าความถี่ธรรมชาติของสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กจากการเปลี่ยนแปลงจำนวนเสาตอม่อ

จำนวนเสา(ต้น)	T(s)	f(1/s)	%การเปลี่ยนแปลง
2	0.1968	5.0803	0
3	0.1933	5.1738	1.8419
4	0.1909	5.2372	1.2255
5	0.1897	5.2718	0.6590
6	0.1885	5.3062	0.6527
7	0.1877	5.3279	0.4103
8	0.1872	5.3427	0.2778
9	0.1867	5.3559	0.2464
10	0.1864	5.3657	0.1824



รูปที่ 4.3 แสดงการเปลี่ยนแปลงความถี่ธรรมชาติเมื่อเปลี่ยนแปลงจำนวนเสาตอม่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.4 การเปลี่ยนแปลงขนาดคานรองรับสะพาน

จากการวิเคราะห์สะพานคอนกรีตเสริมเหล็กโดยการเปลี่ยนแปลงของตัวรองรับสะพาน (Cap Beam) เป็นไปตาม 7 ขนาดดังนี้

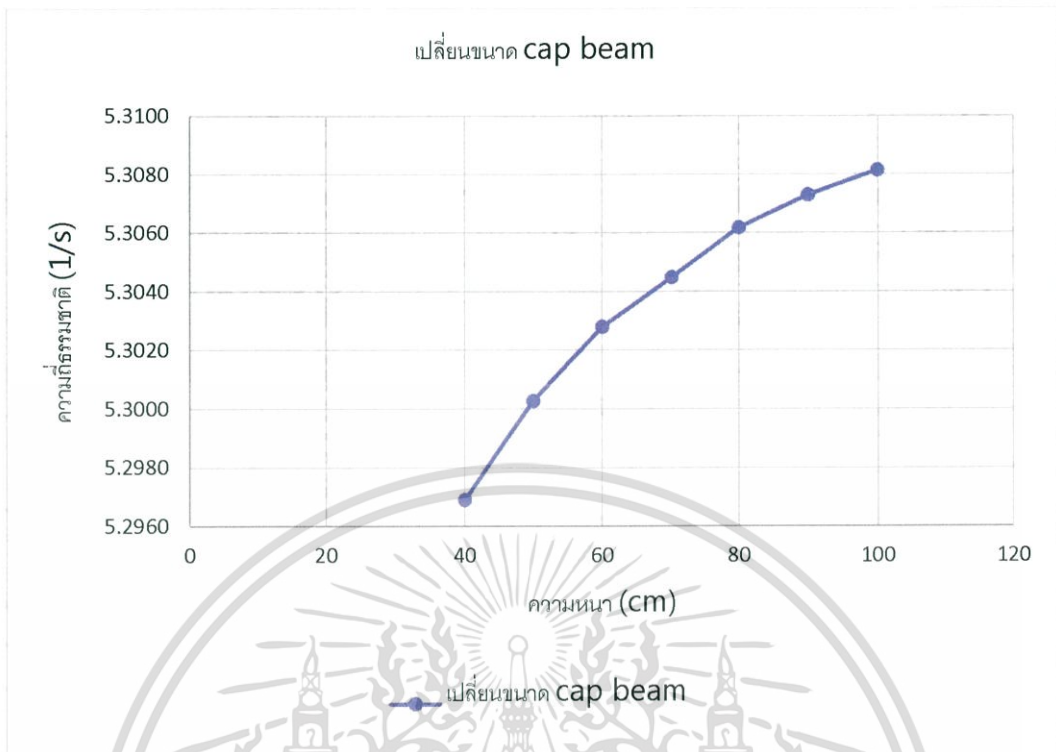
- 1.คานรองรับสะพานคอนกรีต ขนาด 40x40 ซม.
- 2.คานรองรับสะพานคอนกรีต ขนาด 40x50 ซม.
- 3.คานรองรับสะพานคอนกรีต ขนาด 40x60 ซม.
- 4.คานรองรับสะพานคอนกรีต ขนาด 40x70 ซม.
- 5.คานรองรับสะพานคอนกรีต ขนาด 40x80 ซม.
- 6.คานรองรับสะพานคอนกรีต ขนาด 40x90 ซม.
- 7.คานรองรับสะพานคอนกรีต ขนาด 40x100 ซม.

กำหนดให้ ความกว้างของหน้าตัดคาน 9 เมตร Cap beam ยาว 9 เมตร เสาขนาด 40x40 เซนติเมตร ความหนาของหน้าตัดสะพาน 40 เซนติเมตร จำนวนเสา 6 ต้น

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าความถี่ธรรมชาติของสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กจากการเปลี่ยนแปลงขนาดตัวรองรับสะพาน (Cap Beam)

ขนาด CAP BEAM		T(s)	f(1/s)	%การเปลี่ยนแปลง
ความกว้าง(cm)	ความหนา (cm)			
40	40	0.1888	5.2969	0
40	50	0.1887	5.3003	0.0636
40	60	0.1886	5.3028	0.0477
40	70	0.1885	5.3045	0.0318
40	80	0.1885	5.3062	0.0318
40	90	0.1884	5.3073	0.0212
40	100	0.1884	5.3081	0.0159

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 แสดงการเปลี่ยนแปลงความถี่ธรรมชาติเมื่อเปลี่ยนแปลงขนาด Cap Beam

4.1.5 การเปลี่ยนแปลงความหนาของพื้นสะพาน

จากการวิเคราะห์สะพานคอนกรีตเสริมเหล็กโดยการเปลี่ยนแปลงความหนาของหน้าตัดสะพานตั้งแต่ 0.30-0.70 เมตร กำหนดให้ ความกว้างของหน้าตัดถนน 9 เมตร Cap beam ยาว 9 เมตร ขนาดCap beam 40x80 เซนติเมตร เสาขนาด 40x40เซนติเมตร จำนวนเสา 6 ต้น

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าความถี่ธรรมชาติของสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กจากการเปลี่ยนแปลงความหนาของหน้าตัดสะพาน

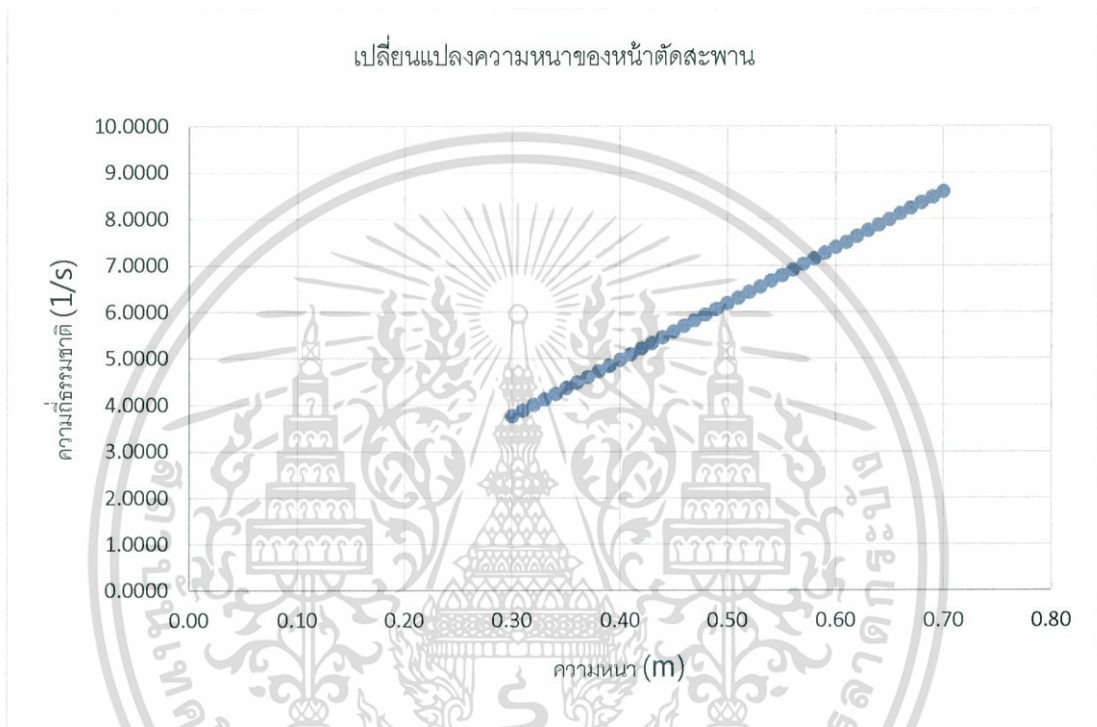
ความหนา (m)	T(s)	f(1/s)	%การเปลี่ยนแปลง
0.30	0.2659	3.7610	0
0.31	0.2577	3.8803	3.1741
0.32	0.2500	4.0000	3.0840
0.33	0.2427	4.1200	2.9993
0.34	0.2358	4.2403	2.9216
0.35	0.2293	4.3609	2.8433

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความหนา (m)	T(s)	f(1/s)	%การเปลี่ยนแปลง
0.36	0.2231	4.4815	2.7651
0.37	0.2173	4.6026	2.7017
0.38	0.2117	4.7234	2.6262
0.39	0.2064	4.8447	2.5677
0.40	0.2014	4.9660	2.5029
0.41	0.1966	5.0872	2.4419
0.42	0.1920	5.2089	2.3909
0.43	0.1876	5.3302	2.3293
0.44	0.1834	5.4517	2.2788
0.45	0.1794	5.5732	2.2293
0.46	0.1756	5.6948	2.1811
0.47	0.1719	5.8163	2.1346
0.48	0.1684	5.9379	2.0901
0.49	0.1650	6.0591	2.0419
0.50	0.1618	6.1809	2.0088
0.51	0.1587	6.3020	1.9599
0.52	0.1557	6.4234	1.9270
0.53	0.1528	6.5445	1.8848
0.54	0.1500	6.6658	1.8531
0.55	0.1473	6.7870	1.8189
0.56	0.1448	6.9080	1.7823
0.57	0.1423	7.0289	1.7502
0.58	0.1399	7.1495	1.7159
0.59	0.1376	7.2701	1.6867
0.60	0.1353	7.3904	1.6555
0.61	0.1333	7.4996	1.4774
0.62	0.1310	7.6313	1.7552
0.63	0.1290	7.7513	1.5735
0.64	0.1270	7.8715	1.5507
0.65	0.1251	7.9911	1.5183
0.66	0.1233	8.1110	1.5005

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความหนา (m)	T(s)	f(1/s)	%การเปลี่ยนแปลง
0.67	0.1215	8.2305	1.4733
0.68	0.1198	8.3493	1.4444
0.69	0.1181	8.4681	1.4226
0.70	0.1165	8.5874	1.4083



รูปที่ 4.5 แสดงการเปลี่ยนแปลงความถี่ธรรมชาติเมื่อเปลี่ยนแปลงความหนาของหน้าตัดสะพาน

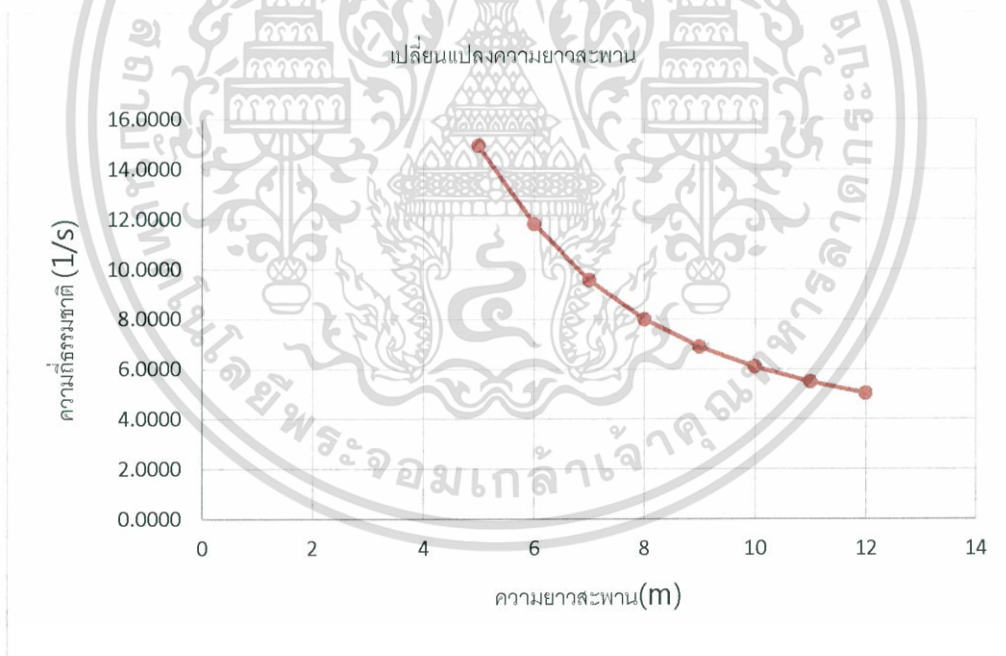
4.1.6 การเปลี่ยนแปลงความยาวของสะพานแต่ละช่วง

จากการวิเคราะห์สะพานคอนกรีตเสริมเหล็กโดยการเปลี่ยนแปลงความยาวของสะพาน โดยการเปลี่ยนแปลงแปลงตั้งแต่ 5-20 เมตร โดยกำหนดให้ ความกว้างของหน้าตัดถนน 9 เมตร Cap beam ยาว 9 เมตร ขนาดCap beam 40x80 เซนติเมตร ความหนาของหน้าตัดสะพาน เท่ากับ L/33 เซนติเมตร เสาขนาด 40x40เซนติเมตร จำนวนเสา6 ต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าความถี่ธรรมชาติของสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กจากการเปลี่ยนแปลงความยาวของหน้าตัดสะพาน

ความยาว	T(s)	f(1/s)	%การเปลี่ยนแปลง
5	0.0669	14.9522	0
6	0.0847	11.8106	21.0110
7	0.1047	9.5547	19.0999
8	0.1253	7.9840	16.4391
9	0.1454	6.8771	13.8642
10	0.1645	6.0775	11.6264
11	0.1825	5.4807	9.8213
12	0.1992	5.0198	8.4082



รูปที่ 4.6 แสดงค่าความถี่ธรรมชาติของสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กจากการเปลี่ยนแปลงความยาวของหน้าตัดสะพาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากสูตรอย่างง่าย

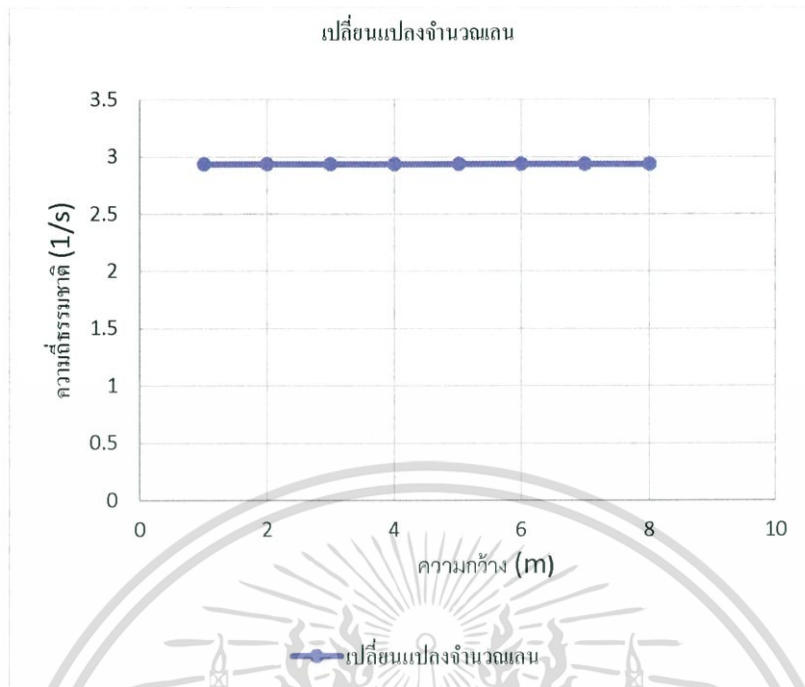
4.2.1 การเปลี่ยนแปลงความกว้าง

จากการวิเคราะห์สะพานคอนกรีตเสริมเหล็กโดยการเปลี่ยนความกว้างของสะพาน โดยการเปลี่ยนแปลงแปลงจำนวนช่องจราจรของถนนในสะพาน ตั้งแต่ 1-8 ช่องจราจร กว้างช่องละ 3.50 เมตร ใหญ่ทางข้างละ 1 เมตร โดยกำหนดให้ ความกว้างของหน้าตัดถนน 9 เมตร Cap beam ยาว 9 เมตร ขนาดCap beam 40x80 เซนติเมตร ความหนาของหน้าตัดสะพาน 40 เซนติเมตร เสา ขนาด 40x40 เซนติเมตร จำนวนเสา 6 ต้น

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าความถี่ธรรมชาติของสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กจากการเปลี่ยนแปลงความกว้างของสะพาน

B(m)	h(m)	L(m)	Unit($c*B*h, kg/m$)	I(m ⁴)	F(1/s)
5.5	0.4	12	5280	0.0293	2.9343
9	0.4	12	8640	0.0480	2.9343
12.5	0.4	12	12000	0.0667	2.9343
16	0.4	12	15360	0.0853	2.9343
19.5	0.4	12	18720	0.1040	2.9343
23	0.4	12	22080	0.1227	2.9343
26.5	0.4	12	25440	0.1413	2.9343
30	0.4	12	28800	0.1600	2.9343

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 แสดงค่าความถี่ธรรมชาติของสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กจากการเปลี่ยนแปลงความกว้างของสะพาน

4.2.2 การเปลี่ยนแปลงความหนาของหน้าตัดสะพาน

จากการวิเคราะห์สะพานคอนกรีตเสริมเหล็กโดยการเปลี่ยนแปลงความหนาของหน้าตัดสะพานตั้งแต่ 0.30-0.70 เมตร กำหนดให้ ความกว้างของหน้าตัดถนน 9 เมตร Cap beam ยาว 9 เมตร ขนาด Cap beam 40x80 เซนติเมตร เสาขนาด 40x40 เซนติเมตร จำนวนเสา 6 ต้น

ตารางที่ 4.8 แสดงค่าความถี่ธรรมชาติของสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กจากการเปลี่ยนแปลงความหนาของหน้าตัดสะพาน

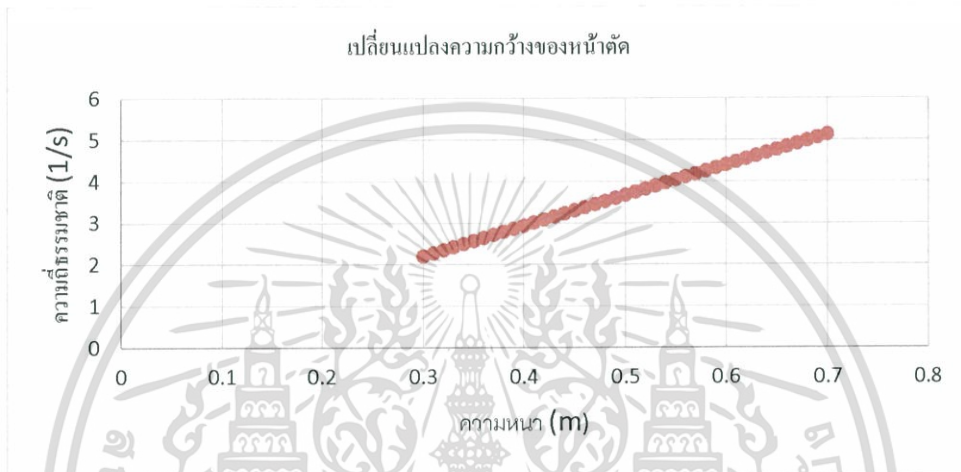
B(m)	h(m)	L(m)	Unit($c \cdot B \cdot h, \text{kg/m}$)	$I(\text{m}^4)$	F(1/s)
9	0.3	12	6480	0.0203	2.2007
9	0.31	12	6696	0.0223	2.2741
9	0.32	12	6912	0.0246	2.3474
9	0.33	12	7128	0.0270	2.4208
9	0.34	12	7344	0.0295	2.4941
9	0.35	12	7560	0.0322	2.5675
9	0.36	12	7776	0.0350	2.6409
9	0.37	12	7992	0.0380	2.7142

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

B(m)	h(m)	L(m)	Unit(c*B*h,kg/m)	I(m ⁴)	F(1/s)
9	0.38	12	8208	0.0412	2.7876
9	0.39	12	8424	0.0445	2.8609
9	0.4	12	8640	0.0480	2.9343
9	0.41	12	8856	0.0517	3.0076
9	0.42	12	9072	0.0556	3.0810
9	0.43	12	9288	0.0596	3.1544
9	0.44	12	9504	0.0639	3.2277
9	0.45	12	9720	0.0683	3.3011
9	0.46	12	9936	0.0730	3.3744
9	0.47	12	10152	0.0779	3.4478
9	0.48	12	10368	0.0829	3.5211
9	0.49	12	10584	0.0882	3.5945
9	0.5	12	10800	0.0938	3.6679
9	0.51	12	11016	0.0995	3.7412
9	0.52	12	11232	0.1055	3.8146
9	0.53	12	11448	0.1117	3.8879
9	0.54	12	11664	0.1181	3.9613
9	0.55	12	11880	0.1248	4.0346
9	0.56	12	12096	0.1317	4.1080
9	0.57	12	12312	0.1389	4.1814
9	0.58	12	12528	0.1463	4.2547
9	0.59	12	12744	0.1540	4.3281
9	0.6	12	12960	0.1620	4.4014
9	0.61	12	13176	0.1702	4.4748
9	0.62	12	13392	0.1787	4.5481
9	0.63	12	13608	0.1875	4.6215
9	0.64	12	13824	0.1966	4.6949
9	0.65	12	14040	0.2060	4.7682
9	0.66	12	14256	0.2156	4.8416
9	0.67	12	14472	0.2256	4.9149

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

B(m)	h(m)	L(m)	Unit($c*B*h,kg/m$)	I(m^4)	F(1/s)
9	0.68	12	14688	0.2358	4.9883
9	0.69	12	14904	0.2464	5.0616
9	0.7	12	15120	0.2572	5.1350



รูปที่ 4.8 แสดงค่าความถี่ธรรมชาติของสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กจากการเปลี่ยนแปลงความหนาของหน้าตัดสะพาน

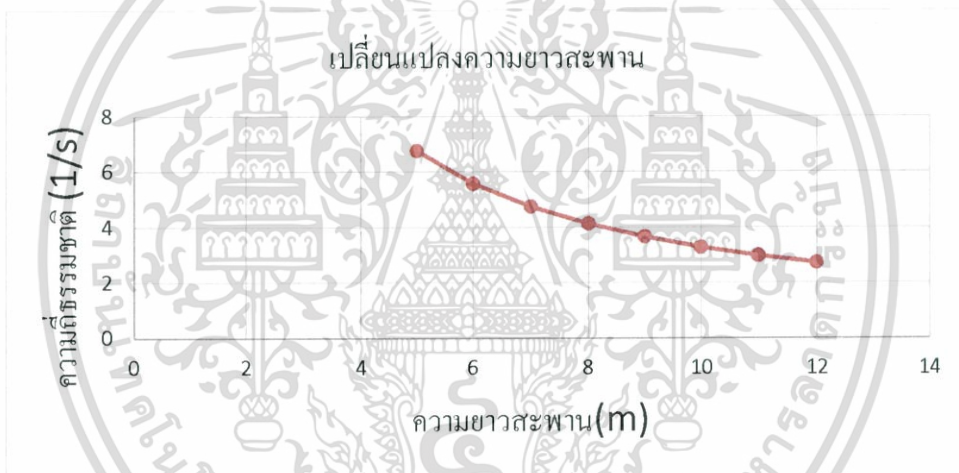
4.2.3 การเปลี่ยนแปลงความยาวของสะพานแต่ละช่วง

จากการวิเคราะห์สะพานคอนกรีตเสริมเหล็กโดยการเปลี่ยนแปลงความยาวของสะพาน โดยการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 5-20 เมตร โดยกำหนดให้ ความกว้างของหน้าตัดถนน 9 เมตร Cap beam ยาว 9 เมตร ขนาด Cap beam 40x80 เซนติเมตร ความหนาของหน้าตัดสะพาน 40 เซนติเมตร เสาขนาด 40x40เซนติเมตร จำนวนเสา 6 ต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 แสดงค่าความถี่ธรรมชาติของสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กจากการเปลี่ยนแปลงความยาวของหน้าตัดสะพาน

B(m)	h(m)	L(m)	Unit($c*B*h,kg/m$)	I(m^4)	F(1/s)
9	0.16	5	3456	0.0031	6.7606
9	0.19	6	4104	0.0051	5.5751
9	0.22	7	4752	0.0080	4.7428
9	0.25	8	5400	0.0117	4.1263
9	0.28	9	6048	0.0165	3.6516
9	0.31	10	6696	0.0223	3.2747
9	0.34	11	7344	0.0295	2.9682
9	0.37	12	7992	0.0380	2.7142



รูปที่ 4.9 แสดงค่าความถี่ธรรมชาติของสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กจากการเปลี่ยนแปลงความยาวของหน้าตัดสะพาน

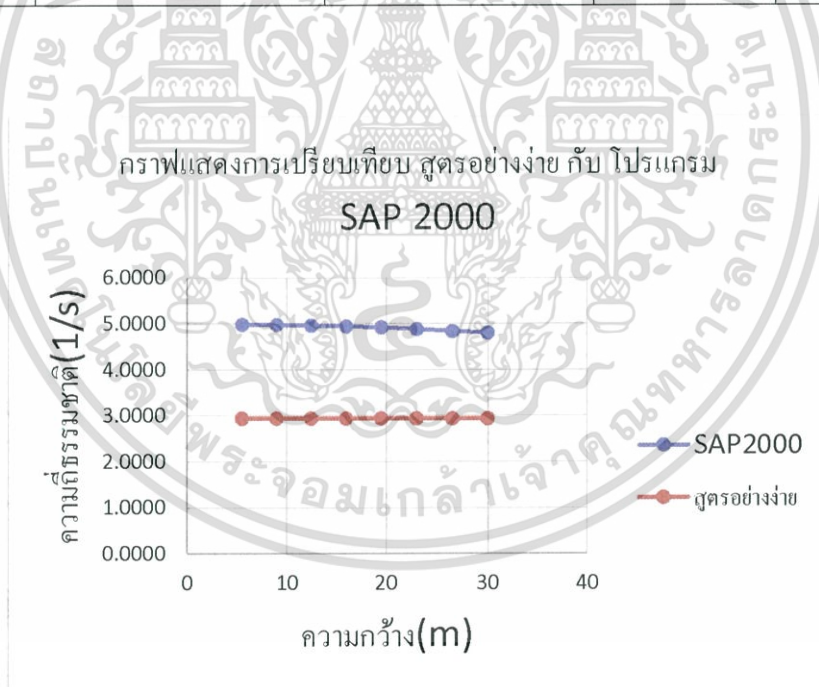
4.3 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการเปรียบเทียบระหว่างค่าความถี่ธรรมชาติของสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กที่ได้จากโปรแกรม SAP2000 และจากสูตรอย่างง่าย

จากผลการวิเคราะห์หาค่าความถี่ธรรมชาติของสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กโดยการเปลี่ยนแปลงความกว้างของสะพาน พบว่า ค่าความถี่ธรรมชาติที่ได้จากโปรแกรม SAP 2000 มีค่ามากกว่าค่าความถี่ธรรมชาติที่ได้จากสูตรอย่างง่ายประมาณ 4 เท่า ดังแสดงในตารางที่ 4.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าความถี่ธรรมชาติของสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กที่ได้จากโปรแกรม SAP2000 และจากสูตรอย่างง่าย จากการเปลี่ยนแปลงความกว้างของสะพาน

ความกว้าง (m)	ความถี่ธรรมชาติ (1/s)		%ความ แตกต่าง	จำนวนเท่า
	จากโปรแกรม SAP 2000	จากสูตรอย่างง่าย		
5.5	4.9746	2.9343	69.5345	1.6953
9	4.9665	2.9343	69.2566	1.6926
12.5	4.9537	2.9343	68.8206	1.6882
16	4.9339	2.9343	68.1459	1.6815
19.5	4.9109	2.9343	67.3615	1.6736
23	4.8764	2.9343	66.1863	1.6619
26.5	4.8298	2.9343	64.5970	1.6460
30	4.7957	2.9343	63.4367	1.6344



รูปที่ 4.10 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าความถี่ธรรมชาติของสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กที่ได้จากโปรแกรม SAP2000 และจากสูตรอย่างง่าย จากการเปลี่ยนแปลงความกว้างของสะพาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1 เปรียบเทียบโดยการเปลี่ยนแปลงความหนาของสะพาน

จากผลการวิเคราะห์หาค่าความถี่ธรรมชาติของสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กโดยการเปลี่ยนแปลงความหนาของสะพาน พบว่า ค่าความถี่ธรรมชาติที่ได้จากโปรแกรม SAP 2000 มีค่ามากกว่าค่าความถี่ธรรมชาติที่ได้จากสูตรอย่างง่ายประมาณ 4 เท่า ดังแสดงในตารางที่ 4.12

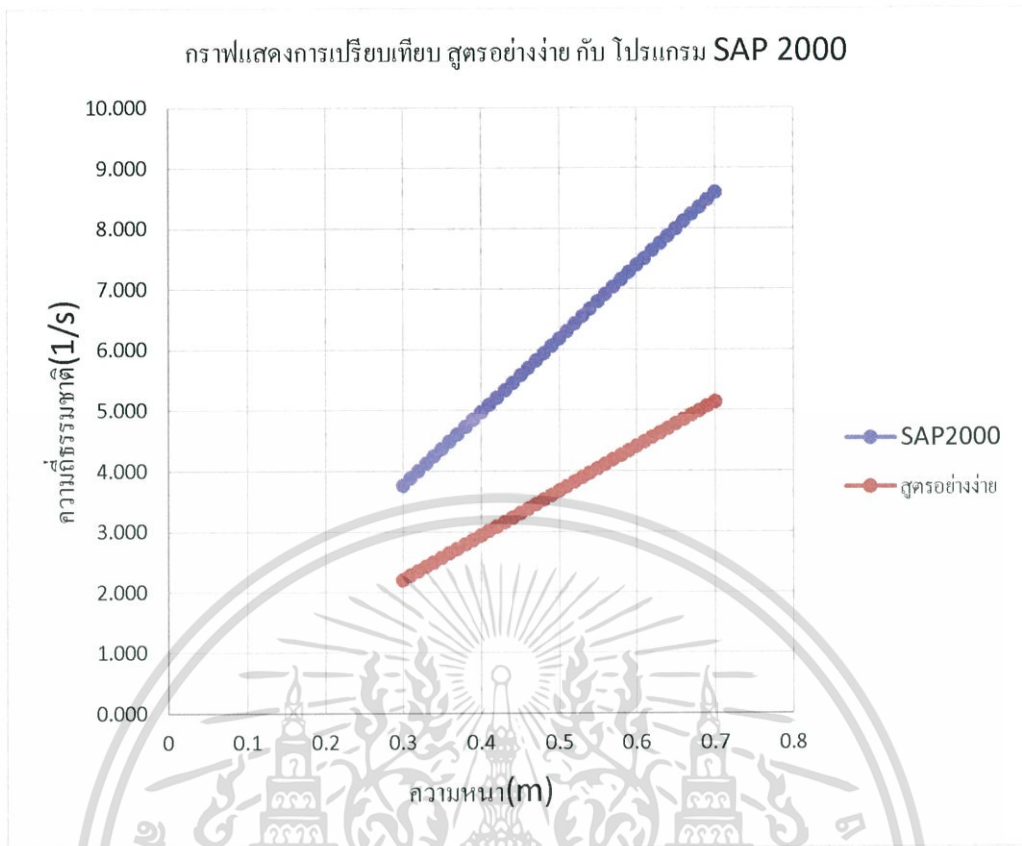
ตารางที่ 4.11 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าความถี่ธรรมชาติของสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กที่ได้จากโปรแกรม SAP2000 และจากสูตรอย่างง่าย จากการเปลี่ยนแปลงความหนาของสะพาน

ความหนา (m)	ความถี่ธรรมชาติ (1/s)		%ความ แตกต่าง	จำนวนเท่า
	จากโปรแกรม SAP 2000	จากสูตรอย่างง่าย		
0.30	3.7610	2.2007	70.8989	1.7090
0.31	3.8803	2.2741	70.6321	1.7063
0.32	4.0000	2.3474	70.3991	1.7040
0.33	4.1200	2.4208	70.1925	1.7019
0.34	4.2403	2.4941	70.0102	1.7001
0.35	4.3609	2.5675	69.8499	1.6985
0.36	4.4815	2.6409	69.6986	1.6970
0.37	4.6026	2.7142	69.5738	1.6957
0.38	4.7234	2.7876	69.4448	1.6944
0.39	4.8447	2.8609	69.3400	1.6934
0.40	4.9660	2.9343	69.2404	1.6924
0.41	5.0872	3.0076	69.1423	1.6914
0.42	5.2089	3.0810	69.0651	1.6907
0.43	5.3302	3.1544	68.9788	1.6898
0.44	5.4517	3.2277	68.9027	1.6890
0.45	5.5732	3.3011	68.8299	1.6883
0.46	5.6948	3.3744	68.7633	1.6876
0.47	5.8163	3.4478	68.6965	1.6870
0.48	5.9379	3.5211	68.6355	1.6864
0.49	6.0591	3.5945	68.5657	1.6857
0.50	6.1809	3.6679	68.5152	1.6852
0.51	6.3020	3.7412	68.4478	1.6845

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความหนา (m)	ความถี่ธรรมชาติ (1/s)		%ความ แตกต่าง	จำนวนเท่า
	จากโปรแกรม SAP 2000	จากสูตรอย่างง่าย		
0.52	6.4234	3.8146	68.3910	1.6839
0.53	6.5445	3.8879	68.3286	1.6833
0.54	6.6658	3.9613	68.2735	1.6827
0.55	6.7870	4.0346	68.2180	1.6822
0.56	6.9080	4.1080	68.1596	1.6816
0.57	7.0289	4.1814	68.1008	1.6810
0.58	7.1495	4.2547	68.0370	1.6804
0.59	7.2701	4.3281	67.9754	1.6798
0.60	7.3904	4.4014	67.9090	1.6791
0.61	7.4996	4.4748	67.5967	1.6760
0.62	7.6313	4.5481	67.7892	1.6779
0.63	7.7513	4.6215	67.7225	1.6772
0.64	7.8715	4.6949	67.6620	1.6766
0.65	7.9911	4.7682	67.5909	1.6759
0.66	8.1110	4.8416	67.5281	1.6753
0.67	8.2305	4.9149	67.4591	1.6746
0.68	8.3493	4.9883	67.3780	1.6738
0.69	8.4681	5.0616	67.2993	1.6730
0.70	8.5874	5.1350	67.2326	1.6723

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



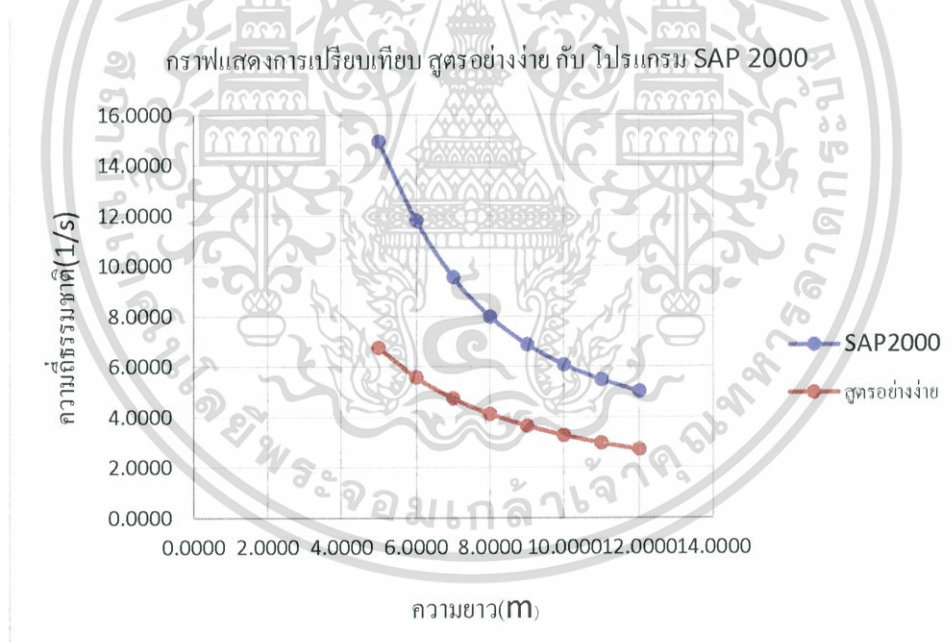
รูปที่ 4.11 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าความถี่ธรรมชาติของสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กที่ได้จากโปรแกรม SAP2000 และจากสูตรอย่างง่าย จากการเปลี่ยนแปลงความหนาของสะพาน

4.3.2 เปรียบเทียบโดยการเปลี่ยนแปลงความยาวสะพาน

จากผลการวิเคราะห์หาค่าความถี่ธรรมชาติของสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กโดยการเปลี่ยนแปลงความยาวของสะพาน พบว่า ค่าความถี่ธรรมชาติที่ได้จากโปรแกรม SAP 2000 มีค่ามากกว่าค่าความถี่ธรรมชาติที่ได้จากสูตรอย่างง่ายประมาณ 4 เท่า ดังแสดงในตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.12 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าความถี่ธรรมชาติของสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กที่ได้จากโปรแกรม SAP2000 และจากสูตรอย่างง่าย จากการเปลี่ยนแปลงความยาวของสะพาน

ความยาว (m)	ความถี่ธรรมชาติ (1/s)		%ความ แตกต่าง	จำนวน เท่า
	จากโปรแกรม SAP 2000	จากสูตรอย่างง่าย		
5.00	14.9522	6.7606	121.1661	2.2117
6.00	11.8106	5.5751	111.8430	2.1184
7.00	9.5547	4.7428	101.4593	2.0146
8.00	7.9840	4.1263	93.4893	1.9349
9.00	6.8771	3.6516	88.3335	1.8833
10.00	6.0775	3.2747	85.5930	1.8559
11.00	5.4807	2.9682	84.6433	1.8464
12.00	5.0198	2.7142	84.9458	1.8495



รูปที่ 4.12 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าความถี่ธรรมชาติของสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กที่ได้จากโปรแกรม SAP2000 และจากสูตรอย่างง่าย จากการเปลี่ยนแปลงความยาวของสะพาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุปของโครงการ

จากผลการทดลองของโครงการเรื่องการหาความถี่ธรรมชาติของสะพาน ทำให้เราทราบผลว่าการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของสะพานมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความถี่ธรรมชาติของสะพาน เช่น การเพิ่มความหนาของพื้นสะพานทำให้ค่าความถี่ธรรมชาติ (Hz) มีค่าเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าสะพานมีความทนทานต่อการสั่นไหวมากขึ้น

5.1.1 การเพิ่มจำนวนช่องจราจร

การเพิ่มจำนวนช่องจราจร ยังมีจำนวนช่องจราจรมาก หมายความว่าค่าความถี่ธรรมชาติจะลดลงตามความกว้างที่เพิ่มขึ้น สรุปความกว้างสะพานแปรผกผันกับค่าความถี่ธรรมชาติ

5.1.2 การเพิ่มความสูงเสา

การเพิ่มความสูงเสา ยิ่งเสามีความสูงมากเท่าไร ค่าความถี่ธรรมชาติยิ่งเพิ่มขึ้น โดยเพิ่มในอัตราที่น้อยมาก ๆ สรุปความสูงเสาแปรผันตรงกับค่าความถี่ธรรมชาติ

5.1.3 การเพิ่มจำนวนเสาตอม่อ

การเพิ่มจำนวนเสาตอม่อ ยิ่งมีเสาตอม่อมากเท่าไร ค่าความถี่ธรรมชาติจะยิ่งเพิ่มขึ้นมากเท่านั้น สรุปจำนวนเสาตอม่อแปรผันตรงกับค่าความถี่ธรรมชาติ

5.1.4 การเพิ่มขนาดของ Cap beam

การเพิ่มขนาดของ Cap Beam ยิ่ง Cap beam มีความหนาเพิ่มขึ้นเท่าไรค่าความถี่ธรรมชาติก็จะเพิ่มขึ้นเท่านั้น สรุปความหนาของ Cap beam แปรผันตรงกับค่าความถี่ธรรมชาติ

5.1.5 การเพิ่มความหนาของพื้นสะพานคอนกรีตเสริมเหล็ก

การเพิ่มความหนาของพื้นสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กจะทำให้ค่าความถี่ธรรมชาติเพิ่มขึ้น สรุปค่าความถี่ธรรมชาติจะแปรผันตรงกับค่าความหนาของพื้นสะพาน

5.1.6 การเพิ่มความยาวของช่วงสะพาน

การเพิ่มความยาวของช่วงสะพานทำให้ค่าความถี่ธรรมชาติลดลง สรุปลความยาวช่วงของสะพานแปรผกผันกับค่าความถี่ธรรมชาติ

5.1.7 การเพิ่มช่วงสะพาน

การเพิ่มช่วงสะพาน ทำให้ค่าความถี่ธรรมชาติมีค่าลดลง ดังนั้นยังมีช่วงสะพานเยอะเท่าไร สรุปลช่วงสะพานแปรผกผันกับค่าความถี่ธรรมชาติ

5.1.8 การวิเคราะห์จากสูตรอย่างง่าย

การวิเคราะห์จากสูตรอย่างง่าย แสดงให้เห็นว่าความแตกต่างระหว่างการใช้สูตรอย่างง่ายและการใช้โปรแกรมจำลองการสั่นไหวมีค่าที่แตกต่างกัน โดยการโปรแกรมจะมีค่ามากกว่าการใช้สูตรอย่างง่ายถึง 1.6 ถึง 1.7 เท่า ดังนั้นหลังจากการใช้สูตรอย่างง่ายแล้วอาจคูณด้วย 1.6 ถึง 1.7 ให้ค่าที่ได้นั้นใกล้เคียงกับความเป็นจริงที่สุด

5.1.9 เปรียบเทียบความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่ได้

จากการวิเคราะห์ค่าความถี่ธรรมชาติของสะพานที่ได้จากโปรแกรม SAP 2000 และการใช้สูตรอย่างง่ายให้ผลปรากฏว่า ค่าที่ได้จากการใช้โปรแกรม SAP2000 มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการวัดค่าจากสถานที่จริง ค่าความถี่ธรรมชาติที่ได้จาก โปรแกรม SAP2000 จึงน่าเชื่อถือกว่า

5.2 ปัญหาอุปสรรคและแนวทางแก้ไข

จากการทำงานที่ผ่านมาพบอุปสรรคในการทำงานเล็กน้อย แต่ผู้ทำการวิจัยได้พยายามตรวจสอบหาสาเหตุและวิธีการแก้ไขต่างๆ ดังนี้

5.2.1 ความผิดพลาดในการใส่ข้อมูลแบบจำลอง

เนื่องจากแบบจำลองมีความละเอียด ดังนั้นการใส่ข้อมูลที่ผิดพลาดแม้แต่จุดเดียวอาจก่อให้เกิดค่าที่ผิดพลาดในผลการทดลอง วิธีแก้ไขคือตรวจสอบข้อมูลและแนวโน้มผลการทดลองที่ได้ก่อนนำไปใช้เสมอ

5.2.2 สูตรอย่างง่ายไม่ครอบคลุม

สูตรอย่างง่ายไม่ครอบคลุมในทุกๆปัจจัยที่มีการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นเราจึงเลือกเปรียบเทียบเฉพาะปัจจัยที่ครอบคลุมในสูตรอย่างง่ายแทน

5.2.3 ไม่มีสูตรพื้นฐานสำหรับการหาค่าความถี่ธรรมชาติ

โดยมีเฉพาะสูตรอย่างง่ายเท่านั้น ทำให้ไม่สามารถหาข้อเปรียบเทียบได้มากนัก วิธีแก้ไขคือในอนาคตควรมีการทำวิจัยเรื่องสูตรพื้นฐานของการหาค่าความถี่ธรรมชาติของสะพาน

5.3 แนวทางการพัฒนาต่อ

แนวทางในการพัฒนาเรื่องการหาค่าความถี่ธรรมชาติของสะพานอาจนำไปพัฒนาต่อได้โดยอาศัยพื้นฐานข้อมูลที่กลุ่มผู้วิจัยได้ทำการศึกษาค้นคว้ามา นำไปต่อยอดและทำการทดสอบให้ครอบคลุมเช่น

5.3.1 ทำการศึกษาวิจัยตัวอย่างสะพานชนิดอื่นๆ

เช่น I-girder และ Box-girder เป็นต้น เพื่อทำการหาค่าความถี่ธรรมชาติของสะพานหลายๆชนิดแล้วนำมาประยุกต์ใช้เป็นแนวทางการทำการก่อสร้างสะพานต่อไป เพราะสะพานขนาดใหญ่ที่ใช้งานกันในปัจจุบันมีลักษณะเป็น I-girder และ Box-girder ทั้งสิ้น ดังนั้นการคำนวณหาค่าความถี่ธรรมชาติของสะพานเหล่านี้จะช่วยป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นอย่างรุนแรงได้

5.3.2 ทำการทดลองเทียบจากรูปแบบลักษณะของสะพานที่มีอยู่จริง

เพื่อนำมาเทียบกับการสร้างแบบจำลองในโปรแกรมเพื่อวิเคราะห์ความถูกต้องของโปรแกรม โดยเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการวัดค่าความถี่ธรรมชาติสะพานที่ก่อสร้างและใช้งานจริง ทั้งนี้เพื่อความแม่นยำของข้อมูลและการปรับปรุงค่าที่ได้จากการทดลองในโปรแกรมจำลองหรือการคำนวณให้มีความถูกต้องใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด

5.3.3 สร้างแบบจำลองขนาดเล็ก

เพื่อทำเป็นฐานข้อมูลในการทดลองและใช้ในการหาสูตรอย่างง่ายที่สะดวกรวดเร็วมากยิ่งขึ้น โดยการสร้างแบบจำลองสะพานขนาดเล็กและวัดค่าความถี่ธรรมชาติที่ได้จากแบบจำลองและนำค่าที่ได้ไปหาตัวคูณเปรียบเทียบเพื่อประยุกต์ใช้ในการก่อสร้างสะพานจริงต่อไป

5.3.4 หาสูตรพื้นฐาน

เพื่อที่จะใช้สำหรับการหาค่าความถี่ธรรมชาติของสะพาน เพื่อให้สามารถใช้เปรียบเทียบกับสูตรอย่างง่ายและแบบจำลองจากโปรแกรมได้ โดยอาจวิเคราะห์มาจากการทดลองเทียบจากแบบจำลองขนาดเล็ก และทำการหาสูตรพื้นฐานอย่างเป็นขั้นเป็นตอนจนสามารถนำสูตรที่ได้ไปปรับปรุงใช้กับสิ่งก่อสร้างจริงต่อไป

บรรณานุกรม

Pilkey and Walter D, C. 1994. **Formulas for stress, strain, and structural matrices.**

New york : John Wiley

S.A. Neild, July 2001. **Using Non-Linear Vibration Techniques to Detect Damage in Concrete Bridges.** Ph.D. of Thesis of Department of Engineering Science, University of Oxford.

W. T. Arnold, April 2009. **A critical overview of the Verrazzano-Narrows Bridge**
Proceedings of Bridge Engineering 2 Conference 2009, University of Bath,
Bath, UK

Golden Gate Bridge, **Natural frequency of Golden gate bridge**

<http://www.vibrationdata.com/golden.htm>

Anil K. Chopra, **Dynamics of Structures: Theory and Applications of Earthquake.**
Engineering Prentice Hall, 1996.

ความถี่ธรรมชาติและ การสั่นพ้อง

<http://www.scimath.org/socialnetwork/groups/viewbulletin/290-ความถี่>

ธรรมชาติและ การสั่นพ้อง?groupid=130