

ระดับการสันเส เทือนของสะพานลอยไทย-เบล เขียมจากการจราชรบนสะพาน



นาย พินิจ แก้วมาคุณ

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2533

ISBN 974-577-177-5

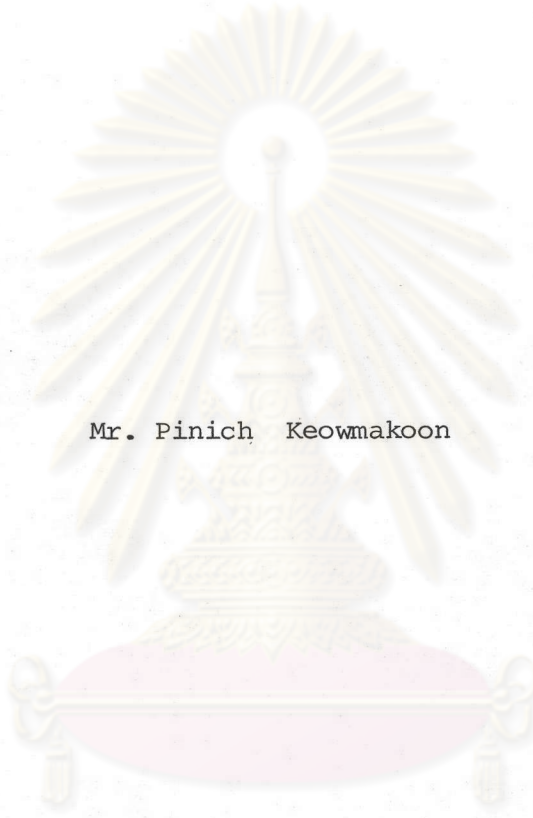
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I10309299

016791

VIBRATION LEVELS INDUCED BY TRAFFIC

ON THAI-BELGIAN FLYOVER



Mr. Pinich Keowmakoon

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Civil Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1990

ISBN 974-577-177-5



หัวข้อวิทยานิพนธ์ ระดับการสิ้นสะ เทือนของสะพานลอยไทย-เบลเยียม จากการจราจร
บนสะพาน

โดย นายพินิจ แก้วมาคุณ

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษา ศาสตราจารย์ ดร.ดิเรก ลาวัณย์ศิริ

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของ
การศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร. ถาวร วัชรากัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ อนุกัณฑ์ อิศรเสนา ณ อยุธยา)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ศาสตราจารย์ ดร. ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ศุภรี กัมปนาท)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เรืองเดช รัชตโพธิ์)



พินิจ แก้วมาคง : ระดับการสั่นสะเทือนของสะพานลอยไทย-เบลเยียม จากการจราจรบน
สะพาน (VIBRATION LEVELS INDUCED BY TRAFFIC ON THAI-BELGIAN FLYOVER)
อ.ที่ปรึกษา : ศ.ดร. ดิเรก ลาวัณย์ศิริ, 360 หน้า. ISBN 974-577-177-5

การวิจัยเรื่องนี้มุ่งหมาย เพื่อสำรวจระดับการสั่นสะเทือนของสะพานลอยไทย-เบลเยียม
ซึ่งเกิดจากแรงกระทำระหว่างล้อรถยนต์ และพื้นผิวสะพานขณะที่รถยนต์แล่นบนสะพาน ว่ามีผลกระทบ
ต่อผู้ใช้สะพานและโครงสร้างของสะพานอย่างไร เมื่อเปรียบเทียบกับข้อกำหนดของระดับการสั่นสะเทือน
มาตรฐาน

การวิจัยนี้ วัดค่าความเร็วอนุภาคสูงสุด และวัดความถี่ของการสั่นสะเทือน โดยใช้ Triaxial
velocity transducers และเครื่อง S-6 Peak vibration monitor

ผลการวิจัยพบว่า ความเร็วของการสั่นสะเทือนสูงสุดในแนวตั้งมีค่าถึง 58.2 มิลลิเมตรต่อวินาที
และเวกเตอร์ (Vector) ความเร็วมีค่า 59.9 มิลลิเมตรต่อวินาที ระดับการสั่นสะเทือนเกือบทุก Event
สูงกว่าเกณฑ์ที่ยอมรับสำหรับผู้ใช้สะพานและโครงสร้างสะพาน ทำให้ผู้ใช้สะพานเกิดความรู้สึกไม่สบายใจหรือ
ถูกรบกวน (Unpleasant or disturbing) จนถึงรู้สึกปวดร้าว (Painful) ต่อการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้น
ความถี่จากรถบรรทุกหนักที่ทำให้เกิดการสั่นสะเทือนมากมีค่า 5-8 รอบต่อวินาที

เมื่อทำการตรวจสอบสะพานตาม Standard Specification for Highway Bridges
(1989) ของ AASHTO หน่วยแรงที่คำนวณได้มีค่าน้อยกว่าหน่วยแรงที่ยอมรับ แต่เมื่อทำการตรวจสอบข้อ
กำหนดสำหรับการสั่นสะเทือน Depth-span ratios มีค่าน้อยกว่าที่กำหนดประมาณ 5% และการโก่งตัว
มีค่ามากกว่าที่ยอมรับตามมาตรฐานประมาณ 63% เมื่อใช้ HS20-44 (MS18) Truck loading ของ
AASHTO

ผลการวิจัยบ่งว่าควรทำการเสริมความลึกของคานหลักเพื่อเพิ่มสลิปเนสของโครงสร้าง และ
ทำการซ่อมแซมพื้นผิวสะพาน และ Bridge approach ที่ชำรุดขรุขระให้อยู่ในสภาพที่ดีอยู่เสมอ เพื่อลด
ระดับการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา
ปีการศึกษา 2532

ลายมือชื่อนิสิต
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาช่วย



PINICH KEOWMAKOOON : VIBRATION LEVELS INDUCED BY TRAFFIC ON THAI-BELGIAN FLYOVER. THESIS ADVISOR : PROF. DIREK LAVANSIRI, Ph.D.
360 pp. ISBN 974-577-177-5

This research aims to evaluate how the vibration caused by the dynamic reaction of the vehicles on the Thai-Belgian bridge deck affects the users and the structure, using a standard specification for vibration levels as the basis for comparison.

Measurements of peak particle velocity and frequency of vibrations by means of Triaxial Velocity Transducers and S-6 Peak Vibration Monitor were made during the study.

The results revealed that the highest vertical peak particle velocity was 58.2 mm/s and the vector velocity was 59.9 mm/s. Vibration levels of nearly all events were higher than the acceptable criteria for users and flyover structures causing unpleasant or disturbing up to painful effects to users. The forcing frequencies by heavy trucks caused high vibration levels 5-8 cycles per second.

Examination of the flyover in accordance with Standard Specifications for Highway Bridges (1989) by AASHTO shows that the computed stresses are less than the allowable stresses. But with regard to specifications for vibration, the depth-span ratios of the bridge are about 5% less than required. In addition, the deflections are approximately 63% more than the allowable values according to the specifications when using AASHTO HS20-44 (MS18) truck loading.

Based on the results of this research, it is recommended that the depth of girders should be reinforced for additional stiffness. Furthermore, the bridge deck and irregularities on the bridge approach should be regularly repaired in order to decrease the vibration levels.

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา
ปีการศึกษา 2532

ลายมือชื่อนิติต
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม



กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงต่อ ศาสตราจารย์ ดร. ตีเรก ลาวัณย์ศิริ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้ความรู้และคำแนะนำอัน เป็นประโยชน์อย่างมากในการศึกษา และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงต่อคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งประกอบด้วย รองศาสตราจารย์ อนุกัลย์ อิศรเสนา ณ อยุธยา รองศาสตราจารย์ ศุภรี กัมปนาทนท์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เรือง เดชา รัชตโพธิ์ ที่ได้ให้คำแนะนำในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ และตรวจสอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จ เรียบร้อยโดยสมบูรณ์

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณต่อ รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศศิริญวงค์ ที่ได้ให้คำแนะนำและให้ความอนุเคราะห์ Radar วัดความเร็ววดยาน ซึ่งใช้ในการวิจัยครั้งนี้

ผู้เขียนขอขอบคุณต่อ บริษัท เอส ที เอส เอ็นจิเนียริ่ง คอนซัลแตนท์ จำกัด ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์เครื่อง S-6 Peak vibration monitor ที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้

ผู้เขียนขอขอบคุณต่อ การไฟฟ้านครหลวง เขตคลองเตย ที่อนุเคราะห์รถกระบะ เข้าสำหรับติดตั้ง เครื่องมือในการวิจัยครั้งนี้ ตลอดจนผู้ที่มีได้กล่าวนาม ซึ่งมีส่วนช่วยงานวิจัยนี้ จึงขอขอบคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

ท้ายนี้ คุณค่าความดีของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบให้บุพการีที่ได้ช่วยเหลือทุกวิถีทางในการศึกษาและให้กำลังใจแก่ผู้เขียนมาโดยตลอด

พินิจ แก้วมาตุณ

มีนาคม 2533



สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญตาราง	ฅ
สารบัญภาพ	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย	3
1.3 สมมติฐานการวิจัย	3
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย	5
บทที่ 2 ปรัชศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 สะพานลอยไทย-เบลเยียม	6
2.2 ผลงานและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	16
บทที่ 3 ปัจจัยที่มีผลต่อการสิ้นสະ เทื่อนของสะพาน	24
3.1 การเกิดและการส่งผ่านของการสิ้นสະ เทื่อนที่เกิดขึ้น เนื่องจากการจราจรบนสะพาน	25
3.2 การตอบสนองหรือการสิ้นสະ เทื่อนของสะพาน	44
3.3 ความสามารถของความหน่วง	46
3.4 ผลกระทบต่อการสิ้นสະ เทื่อนอัน เนื่องมาจากปริมาณ การจราจร เลียบตัวสะพานและใต้สะพาน	46

บทที่ 4	ผลกระทบจากการสั่นสะเทือนของสะพาน	48
4.1	ผลกระทบของการสั่นสะเทือนที่มีต่อคน	49
4.2	ผลกระทบของการสั่นสะเทือนที่มีต่อโครงสร้างสะพาน	62
4.3	ข้อกำหนดในการออกแบบสำหรับการสั่นสะเทือนของสะพาน	68
4.4	การตรวจสอบหน่วยแรงของ Plate girder	72
บทที่ 5	วิธีดำเนินงานการทดสอบ	78
5.1	เครื่องมือที่ใช้ในการวัดการสั่นสะเทือน	78
5.2	หลักเกณฑ์ในการเก็บข้อมูล	82
5.3	การติดตั้งเครื่องมือ	83
5.4	ขั้นตอนในการวัดการสั่นสะเทือน	85
5.5	การวิเคราะห์ข้อมูลจากเครื่อง S-6	85
5.6	ผลการทดสอบ	87
บทที่ 6	ผลการวิเคราะห์ข้อมูล การอภิปรายผล การสรุปผล	113
6.1	ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	113
6.2	การอภิปรายผล	156
6.3	การสรุปผล	160
รายการอ้างอิง	162
ภาคผนวก	166
ภาคผนวก ก	การสั่นสะเทือน	167
ภาคผนวก ข	รายการคำนวณการโก่งตัว	206
ภาคผนวก ค	รายการคำนวณหน่วยแรง	220
ภาคผนวก ง	รายการคำนวณคุณสมบัติของหน้าตัดที่เสนอแนะ	225
ภาคผนวก จ	รายละเอียด Specifications และผลการทดสอบที่ได้จาก เครื่อง S-6 Peak Vibration Monitor	231
ประวัติผู้เขียน	360



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ผลการทดสอบสะพานแบบต่อเนื่อง	17
2.2 ผลการทดสอบสะพานโดย Road Research Laboratory (ค.ศ. 1966-1970)	21
3.1 ช่วงล้อและน้ำหนักของขบวนรถประเภทต่าง ๆ	32
3.2 แรงดัด แรงเฉือนสูงสุดของ Simple span จาก HS20-44 (MS18) Loading	39
3.3 แรงดัด แรงเฉือนสูงสุดของ Simple span 25.00 เมตร จาก HS20-44 (MS18) รถ 10 ล้อ รถกึ่งพ่วง รถพ่วง โดย Wheel loading ไม่คิดผลของ Impact	41
3.4 ความถี่ธรรมชาติของสะพานลอยไทย-เบลเยียม	44
4.1 ความเร็วของการสั่นสะเทือน (\hat{V}_i) ของโครงสร้างสำหรับการประเมินผลกระทบจาก Short-term (Transient) Vibration	64
4.2 การแบ่งลำดับชั้นของโครงสร้าง SN 640312	65
4.3 เกณฑ์ที่ยอมรับได้ของ SN 640312 สำหรับโครงสร้างตาม ตาราง 4.2	66
4.4 ปฏิกริยาตอบสนองของคนและความเสียหายของสิ่งปลูกสร้าง จากการสั่นสะเทือน	67
4.5 คุณสมบัติของหน้าตัด	70
4.6 Deflection ที่ยอมให้กับ Computed deflection	71
5.1 ผลการสำรวจปริมาณการจราจรความเร็วและขนาดบรรทุกของ ขบวนรถ ในช่วงเวลา 11.20 น.- 12.00 น. (ทดสอบ Continuous span)	89

5.2 ผลการสำรวจปริมาณการจราจร ความเร็วและขนาดบรรทุก ของยวดยาน ในช่วงเวลา 13.20 น.- 14.00 น. (ทดสอบ Simple span)	93
5.3 ผลการสำรวจปริมาณการจราจร ความเร็วและขนาดบรรทุก ของยวดยาน ในช่วงเวลา 21.00 น.- 21.40 น. (ทดสอบ Continuous span)	97
5.4 ผลการสำรวจปริมาณการจราจร ความเร็วและขนาดบรรทุก ของยวดยาน ในช่วงเวลา 22.20 น.- 23.00 น. (ทดสอบ Simple span)	101
5.5 ผลการวัดการสิ้นสະเทือนของ Continuous span 30 m ในช่วงเวลา 11.20 น.- 12.00 น.	105
5.6 ผลการวัดการสิ้นสະเทือนของ Simple span 25 m ในช่วงเวลา 13.20 น.- 14.00 น.	107
5.7 ผลการวัดการสิ้นสະเทือนของ Continuous span 30 m ในช่วงเวลา 21.00 น.- 21.40 น.	109
5.8 ผลการวัดการสิ้นสະเทือนของ Simple span 25 m ในช่วงเวลา 22.20 น.- 23.00 น.	111
6.1 ผลการสิ้นสະเทือนของ Continuous span 30 m (ช่วงเวลา 11.20 น.- 12.00 น.) ที่มีต่อผู้ใช้สะพาน	116
6.2 ผลการสิ้นสະเทือนของ Simple span 25 m (ช่วงเวลา 13.20 น.- 14.00 น.) ที่มีต่อผู้ใช้สะพาน	119
6.3 ผลการสิ้นสະเทือนของ Continuous span 30 m (ช่วงเวลา 21.00 น.- 21.40 น.) ที่มีต่อผู้ใช้สะพาน	122
6.4 ผลการสิ้นสະเทือนของ Simple span 25 m (ช่วงเวลา 22.20 น.- 23.00 น.) ที่มีต่อผู้ใช้สะพาน	125

6.5 ผลการสิ้นสะท้อนของ Continuous span 30 m (ช่วงเวลา 11.20 น.- 12.00 น.) ที่มีต่อโครงสร้างสะพาน	144
6.6 ผลการสิ้นสะท้อนของ Simple span 25 m (ช่วงเวลา 13.20 น.- 14.00 น.) ที่มีต่อโครงสร้างสะพาน	147
6.7 ผลการสิ้นสะท้อนของ Continuous span 30 m (ช่วงเวลา 21.00 น.- 21.40 น.) ที่มีต่อโครงสร้างสะพาน	150
6.8 ผลการสิ้นสะท้อนของ Simple span 25 m (ช่วงเวลา 22.20 น.- 23.00 น.) ที่มีต่อโครงสร้างสะพาน	153



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สารบัญภาพ

รูปภาพที่	หน้า
2.1 แผนที่แสดงที่ตั้งของสะพานลอยไทย-เบลเยียม	8
2.2 รูปแปลนของสะพานลอยไทย-เบลเยียม	9
2.3 รูปตัดของสะพานลอยไทย-เบลเยียม	10
2.4 รูปตัดตามยาวของคานประกอบ (Plate girder)	11
2.5 รูปตัดของคานประกอบ (Plate girder)	12
2.6 รูปตัดแสดงทางเท้า	13
2.7 รูปถ่ายแสดงระบบคานของสะพานลอยไทย-เบลเยียม	14
2.8 รูปถ่ายแสดงระบบรองรับของคาน	14
2.9 รูปถ่ายแสดงจุดต่อ (Hinge) ที่ Span 30 เมตร	15
2.10 รูปถ่ายแสดงพื้นผิวสะพาน (Tar epoxy) และ Expansion joint ที่ชำรุด	15
2.11 รูปถ่ายแสดงยวดยานที่แล่นบนสะพาน	16
2.12 Dynamic deformation profile ของสะพานหมายเลข 15 ..	18
2.13 ผลการทดสอบการสั่นสะเทือนของสะพาน ค.ศ. 1969-1971 ...	19
3.1 การกำหนดน้ำหนักลง เพลาและน้ำหนักกรรวมน้ำหนักบรรทุก ตามกฎหมาย	28
3.2 พิกัดน้ำหนักกรรวมน้ำหนักบรรทุกของรถบรรทุก ตามกฎหมาย	30
3.3 แสดงความถี่ (Forcing frequency) จากยวดยาน ประเภทต่าง ๆ	34
3.4 Standard H Trucks	36
3.5 Lane Loading	37
3.6 Standard HS Trucks	38

4.1	ความรู้สึกของคนต่อการสั่นสะเทือนในแนวตั้ง (Reiher and Meister) Amplitude vs. Frequency	52
4.2	ความรู้สึกของคนต่อการสั่นสะเทือนในแนวตั้ง (Reiher and Meister) Velocity vs. Frequency	53
4.3	Tolerance levels ของคนต่อการสั่นสะเทือน (Goldman) Amplitude vs. Frequency	54
4.4	Tolerance levels ของคนต่อการสั่นสะเทือน (Goldman) Acceleration vs. Frequency	55
4.5	ระดับของความเครียดของคนต่อการสั่นสะเทือนในแนวตั้ง (Dieckmann) Amplitude vs. Frequency	56
4.6	ระดับของความเครียดของคนต่อการสั่นสะเทือนในแนวตั้ง (Dieckmann) Velocity vs. Frequency	57
4.7	ข้อจำกัดสำหรับการสั่นสะเทือนในแนวตั้งสำหรับความสะดวกสบายของผู้โดยสาร (Janeway) Amplitude vs. Frequency	58
4.8	Tolerance levels ของคนเดินเท้าต่อการสั่นสะเทือนของสะพาน (R.R.L.) Amplitude vs. Frequency	59
4.9	Tolerance levels ของคนเดินเท้าต่อการสั่นสะเทือนของสะพาน (R.R.L.) Velocity vs. Frequency	60
4.10	Tolerance levels ของคนเดินเท้าต่อการสั่นสะเทือนของสะพาน (R.R.L.) Acceleration vs. Frequency	61
4.11	รูปตัดของคานประกอบ (Plate girder)	69
5.1	Triaxial velocity transducers กับสาย Cable	79
5.2	เครื่องวัด S-6 Peak vibration monitor, Triaxial velocity transducers, และ Sound level sensor	80
5.3	Radar และเครื่อง S-6 vibration monitor	81
5.4	การติดตั้ง Triaxial velocity transducer ที่ Bottom flange ของ girder	84

6.1	ผลการสิ้นสະเทือนของ Continuous span 30 m (ช่วงเวลา 11.20 น.-12.00 น.) ที่มีต่อผู้ใช้สะพาน (Reiher and Meister)	128
6.2	ผลการสิ้นสະเทือนของ Continuous span 30 m (ช่วงเวลา 11.20 น.-12.00 น.) ที่มีต่อผู้ใช้สะพาน (Dieckmann)	129
6.3	ผลการสิ้นสະเทือนของ Continuous span 30 m (ช่วงเวลา 11.20 น.- 12.00 น.) ที่มีต่อผู้ใช้สะพาน (Janeway)	130
6.4	ผลการสิ้นสະเทือนของ Continuous span 30 m (ช่วงเวลา 11.20 น.- 12.00 น.) ที่มีต่อผู้ใช้สะพาน (TRRL)	131
6.5	ผลการสิ้นสະเทือนของ Simple span 25 m (ช่วงเวลา 13.20 น.- 14.00 น.) ที่มีต่อผู้ใช้สะพาน (Reiher and Meister)	132
6.6	ผลการสิ้นสະเทือนของ Simple span 25 m (ช่วงเวลา 13.20 น.- 14.00 น.) ที่มีต่อผู้ใช้สะพาน (Dieckmann)	133
6.7	ผลการสิ้นสະเทือนของ Simple span 25 m (ช่วงเวลา 13.20 น.- 14.00 น.) ที่มีต่อผู้ใช้สะพาน (Janeway)	134
6.8	ผลการสิ้นสະเทือนของ Simple span 25 m (ช่วงเวลา 13.20 น.- 14.00 น.) ที่มีต่อผู้ใช้สะพาน (TRRL)	135
6.9	ผลการสิ้นสະเทือนของ Continuous span 30 m (ช่วงเวลา 21.00 น.- 21.40 น.) ที่มีต่อผู้ใช้สะพาน (Reiher and Meister)	136
6.10	ผลการสิ้นสະเทือนของ Continuous span 30 m (ช่วงเวลา 21.00 น.-21.40 น.) ที่มีต่อผู้ใช้สะพาน (Dieckmann)	137
6.11	ผลการสิ้นสະเทือนของ Continuous span 30 m (ช่วงเวลา 21.00 น.- 21.40 น.) ที่มีต่อผู้ใช้สะพาน (Janeway)	138

6.12 ผลการสิ้นสะเทือนของ Continuous span 30 m (ช่วงเวลา 21.00 น.-21.40 น.) ที่มีต่อผู้ใช้สะพาน (TRRL)	139
6.13 ผลการสิ้นสะเทือนของ Simple span 25 m (ช่วงเวลา 22.20 น.- 23.00 น.) ที่มีต่อผู้ใช้สะพาน (Reiher and Meister)	140
6.14 ผลการสิ้นสะเทือนของ Simple span 25 m (ช่วงเวลา 22.20 น.- 23.00 น.) ที่มีต่อผู้ใช้สะพาน (Dieckmann)	141
6.15 ผลการสิ้นสะเทือนของ Simple span 25 m (ช่วงเวลา 22.20 น.- 23.00 น.) ที่มีต่อผู้ใช้สะพาน (Janeway)	142
6.16 ผลการสิ้นสะเทือนของ Simple span 25 m (ช่วงเวลา 22.20 น.- 23.00 น.) ที่มีต่อผู้ใช้สะพาน (TRRL)	143
6.17 รูปตัด (Plate girder) เสนอแนะสำหรับ Simple spans	158
6.18 รูปตัด (Plate girder) เสนอแนะสำหรับ Continuous spans	159
ก.1 ความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนที่, ความเร็วและความเร่ง ของการเคลื่อนที่แบบ Simple harmonic โดยเทียบกับเวลา t ค่าคงที่ของเฟสเป็นศูนย์	169
ก.2 Prismatic beam	171
ก.3 Simple beam	174
ก.4 Modes ของการสิ้นสะเทือนสำหรับ Simply supported beam	176
ก.5 การกระจาย (Distribution) ของความถี่ธรรมชาติ ของ Two-span beam	177

ก.6	Modes ของการสั่นสะเทือนสำหรับ Two-span beam	178
ก.7	Modes ของการสั่นสะเทือนสำหรับ Three-span beam	179
ก.8	การกระจาย (Distribution) ของความถี่ธรรมชาติ Three-span beam	180
ก.9	Forced vibration ของระบบสปริง-มวลเดออร์	182
ก.10	กราฟระหว่าง Magnification factor (β) กับ Frequency ratio (ω/p)	184
ก.11	กราฟของการเคลื่อนที่ (Distribution) ของ Transient- state forced vibrations	186
ก.12	ผลของ Damping ต่อการสั่นสะเทือนอย่างอิสระ (Free vibration)	189
ก.13	Free vibration with viscous damping ของระบบมวล- สปริง	190
ก.14	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Angular frequency ratio กับ Damping ratio	193
ก.15	กราฟแสดงการเคลื่อนที่ของ Free vibration with viscous damping	194
ก.16	แสดงถึงการเคลื่อนที่ในกรณี Critically damped	198
ก.17	Forced vibration with viscous damping ของระบบ สปริงที่ยึดมวลเดออร์	198
ก.18	กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ Magnification factor (β) กับ Frequency ratio (ω/p) ที่ Damping ratio (γ) ต่าง ๆ กัน	202
ก.19	กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ Phase angle (θ) กับ Frequency ratio (ω/p) ที่ Damping ratio (γ) ต่าง ๆ กัน	204