

การสำรวจระดับความสิ้นเปลืองของที่ดินจากการจราจรบนทางด่วน



นาย รา.เชนทร์ สันทรลัมปิติ

007419

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2525

ISBN 974-561-028-3

i 17118694

A SURVEY OF GROUND VIBRATION LEVELS INDUCED  
BY TRAFFIC ON THE EXPRESSWAY



Mr. Rachane Jantarasombat

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Civil Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1982

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การสำรวจระดับความสั่นสะเทือนของพื้นดินจากการจราจรบนทางด่วน
ชื่อนิสิต	นาย ราเชนทร์ จันทร์ลัมปิติ
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.สุประดิษฐ์ บุณมาศ
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา
ปีการศึกษา	2524

บทคัดย่อ



การวิจัยเรื่องนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อสำรวจความสั่นสะเทือนของพื้นดินจากการจราจรบนทางด่วนตอนดินแดง-ท่าเรือ ความถี่และ peak particle velocity ที่วัดได้ จะใช้เป็นตัวเปรียบเทียบกับความสั่นสะเทือนมาตรฐาน เพื่อหาผลกระทบต่อคนและสิ่งปลูกสร้าง

ในการเก็บข้อมูลใช้ Velocity transducer วัดความเร็วในแนวตั้งของผิวหน้าดิน สัญญาณจาก velocity transducer จะปรากฏเป็นภาพบน oscilloscope และบันทึกโดยกล้องถ่ายรูป

ผลการวัดระดับความสั่นสะเทือนจาก 10 จุดทดลองซึ่งวัดภายในระยะ 5 เมตร จากทางด่วนทั้งสองฟากพบว่า ความถี่มีค่า 11.1-28.6 Hz. และ peak particle velocities มีค่าประมาณ 0.01-0.37 mm/s ซึ่งความสั่นสะเทือนอยู่ในระดับที่คนเพิ่งจะรับรู้ได้ แต่ยังไม่อยู่ในขีดต่ำ ไม่สามารถทำความเสียหายต่อสิ่งปลูกสร้างได้ และได้ทำการวัดระดับความสั่นสะเทือนบนถนนวิภาวดี-รังสิต พบว่าความถี่มีค่า 12.5-16.7 Hz. peak particle velocity ที่ระยะ 5 เมตร มีค่า 0.02-0.42 mm/s และลดลงเหลือ 0.02-0.35 mm/s ที่ระยะ 10 เมตร จากขอบถนน ซึ่งความสั่นสะเทือนอยู่ในระดับที่คนเพิ่งจะรับรู้ได้ และไม่ทำความเสียหายแก่สิ่งปลูกสร้าง นอกจากนี้ได้ทำการวัดความสั่นสะเทือนเนื่องจากรถไฟที่อยู่ติดกับทางด่วน พบว่าค่า peak particle velocity สูงสุด

ที่ระยะ 5 เมตร ห่างจากรางรถไฟมีค่าเท่ากับ 1.46 mm/s ซึ่งค่านี้ยังไม่เป็นสาเหตุ  
ของความเสียหายต่อสิ่งปลูกสร้างหรือทำความรำคาญให้แก่คนแต่อย่างใด

ในการวิจัยครั้งนี้ยังพบว่า เมื่อรถวิ่งบนถนนเรียบ ความเร็วมีอิทธิพลต่อความ  
สั่นสะเทือนมากกว่าน้ำหนักบรรทุกของรถยนต์ และรถที่ทำให้เกิด peak particle  
velocities สูงสุดเกือบทั้งหมดได้แก่ รถสิบล้อและรถโดยสารขนาดใหญ่ (รถบัส)



หัวข้อวิทยานิพนธ์      การสำรวจระดับความสั่นสะเทือนของพื้นดินจากการจราจรบน  
 ทางด่วน  
 โดย                              นาย ราเชนทร์ ฉันทระสัมปดี  
 ภาควิชา                         วิศวกรรมโยธา  
 อาจารย์ที่ปรึกษา            รองศาสตราจารย์ ดร.สุประดิษฐ์ บุญนาค



บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยเป็นส่วน  
 หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

*สุประดิษฐ์ บุญนาค*  
 ..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
 (รองศาสตราจารย์ ดร.สุประดิษฐ์ บุญนาค)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์  
*วิเชียร เต็งอำนวย*  
 ..... ประธานกรรมการ  
 (รองศาสตราจารย์ วิเชียร เต็งอำนวย)

*สุประดิษฐ์ บุญนาค*  
 ..... กรรมการ  
 (รองศาสตราจารย์ ดร.สุประดิษฐ์ บุญนาค)

*อนุภักดิ์ อิศร์เสนาฯ*  
 ..... กรรมการ  
 (รองศาสตราจารย์ อนุภักดิ์ อิศร์เสนาฯ)

*สุรฉัตร สัมพันธ์รักษ์*  
 ..... กรรมการ  
 (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรฉัตร สัมพันธ์รักษ์)

*ชวลิต สุชะวรรณ*  
 ..... กรรมการ  
 (นาย ชวลิต สุชะวรรณ)

Thesis Title            A Survey of Ground Vibration Levels Induced  
by Traffic on The Expressway

Name                     Mr. Rachane Jantarasombat

Thesis Advisor        Associate Professor Supadit Bunnag, Ph.D.

Department            Civil Engineering

Academic Year        1981



#### ABSTRACT

The purpose of this research was to observe the ground vibrations which induced by traffic on the DINDAENG-PORT expressway. The measured frequencies and peak particle velocities were compared with the standard vibrations to find the effects on humans and structures.

In collecting data, velocity transducer was used to measure the vertical component of velocity of the ground surface. The signals from the velocity transducer were displayed on an oscilloscope and recorded by camera.

Vibration levels at 10 stations within a distance of about 5 meters from both sides of the expressway were measured. The results showed that most frequencies varied from 11.1-28.6 Hz. and peak particle velocities varied from about 0.01-0.37 mm/s. These values just reached about the threshold of human perception but they were still below the limit to cause any light damage to the



structures. The vibrations on the VIBRAVADI-RANGSIT road also measured. The results showed that frequencies varied from 12.5-16.7 Hz. The peak particle velocities at a distance of 5 meters varied from 0.02-0.42 mm/s and reduced to 0.02-0.35 mm/s at 10 meters from the edge of the road. These vibration levels were just perceptible to humans, and were far below the level to cause any damage. In addition, the measurements of vibration induced by train adjacent to the expressway were made. It was found that at a distance of 5 meters from the railway, the maximum peak particle velocity was equal to 1.46 mm/s. However, this value neither caused any damage to structures nor annoyed human beings.

It was also found in this research that when the vehicles traveled along a smooth road the speed was more dominant on ground vibrations than the weight of the vehicle, and most of the maximum peak particle velocities were induced by trucks (3-axle, 10-wheel) and buses (2-axle, 6-wheel).



### กติกกรรมการประกาศ

ผู้เขียนขอแสดงความขอบคุณต่อ รองศาสตราจารย์ ดร.สุประดิษฐ์ บูณนาค อาจารย์ที่ปรึกษา ซึ่งกรุณาให้ความรู้และคำแนะนำอันเป็นประโยชน์อย่างมากต่อการวิจัย รองศาสตราจารย์ วิเชียร เต็งอ้นวย รองศาสตราจารย์ อนุภักย์ อิศรเสนาฯ ผู้ช่วย-ศาสตราจารย์ ดร.สุรฉัตร สัมพันธ์รักษ์ และคุณ ชวลิต ลุยะวรรณ คณะกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์ที่ร่วมพิจารณาตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ผู้เขียนขอแสดงความขอบคุณต่อ คณะวิทยาคำศัพท์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชียที่ให้ยืมอุปกรณ์และเครื่องมือต่าง ๆ ที่ใช้ในการวิจัย

ผู้เขียนขอแสดงความขอบคุณต่อ คุณอภิวัฒน์ กฤษณะพันธ์ และคุณปรียา วงษ์วิไล ที่มีส่วนช่วยเหลือในการเก็บข้อมูลครั้งนี้ ตลอดจนผู้ที่มิได้กล่าวนาม ซึ่งต่างก็มีส่วนช่วยงานนี้กันทุกคน จึงขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ผู้เขียนขอแสดงความขอบคุณต่อ การทางพิเศษแห่งประเทศไทย ซึ่งให้ทุนอุดหนุนการวิจัยครั้งนี้

ท้ายนี้ คุณค่าความดีของวิทยานิพนธ์นี้ถ้ามีอยู่บ้าง ขอมอบให้บุคลากรที่ได้ช่วยเหลือทุกวิถีทางในการส่งเสริมการศึกษาและให้กำลังใจแก่ผู้เขียนมาโดยตลอด จนกระทั่งการวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ราเชนทร์ สันทรลัมปติ



สารบัญ



	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ม
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	จ
กิตติกรรมประกาศ .....	ข
รายการตารางประกอบ .....	ฎ
รายการรูปประกอบ .....	ญ
สัญลักษณ์ .....	ท
บทที่ 1 บทนำ .....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา .....	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย .....	3
1.3 สัมมุติฐานการวิจัย .....	3
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย .....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้จากการวิจัย .....	4
บทที่ 2 ทบทวนวรรณคดี .....	6
2.1 ระบบทางตัวนทเค็ช .....	6
2.2 ผลงานและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	9
2.3 ธรรมชาติของคลื่น .....	10
2.4 การแผ่ของคลื่น (Propagation of waves) ใน Elastic Half-Space .....	15
2.5 การเกิด การสั่งผ่าน ของความสั้นละเทือนที่เกดขึ้นเนื่อง จากการรจจรของรถยนต์ .....	24

	หน้า
บทที่ 3 ผลกระทบของความสิ้นลู่เทือนต่อสิ่งแวดล้อม .....	30
3.1 ผลกระทบของความสิ้นลู่เทือนที่มีต่อคน .....	30
3.2 ผลกระทบของความสิ้นลู่เทือนที่มีต่อเครื่องมือในห้อง ทดลอง .....	53
3.3 ผลกระทบของความสิ้นลู่เทือนที่มีต่อสิ่งปลูกสร้าง .....	55
3.4 สรุปรูปกริยาของคนและความเสียหายของสิ่งปลูกสร้าง เนื่องจากความสิ้นลู่เทือน .....	67
บทที่ 4 วิธีดำเนินการทดลอง .....	71
4.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง .....	71
4.2 การติดตั้งเครื่องมือเพื่อวัดความสิ้นลู่เทือน .....	74
4.3 ขั้นตอนในการทดลอง .....	74
4.4 หลักเกณฑ์ในการเก็บข้อมูล .....	78
4.5 รายละเอียดของสถานที่ทำการวัดระดับความสิ้นลู่เทือน	79
4.6 การเก็บข้อมูล การตีความหมาย และการวิเคราะห์ ข้อมูล .....	101
บทที่ 5 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล การอภิปรายผล การสรุปผล .....	108
5.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล .....	108
5.2 การอภิปรายผล .....	151
5.3 การสรุปผล .....	155
เอกสารอ้างอิง .....	158
ประวัติผู้เขียน .....	163

รายการตารางประกอบ

ตาราง	หน้า
2.1 แสดงความเร็วของ P-waves และ S-waves ในดินชนิดต่าง ๆ กัน (จาก Barkan 1962) .....	21
2.2 ค่าโดยประมาณของสัมประสิทธิ์ของการดูดซึมคลื่น, $\alpha$ ของดินชนิดต่าง ๆ (จาก Barkan 1962).....	25
3.1 แสดงการคำนวณค่า K ของ Dieckmann .....	40
3.2 แสดงการแบ่งค่า K ของ DIN 4025 .....	40
3.3 แสดงการแบ่งค่า K ของ DIN 4150 .....	41
3.4 แสดงค่า K ที่ยอมให้ได้ในสถานที่ต่าง ๆ .....	41
3.5 แสดงการเปรียบเทียบค่าของสัมประสิทธิ์ซึ่งทำให้ยอมไม่สบายของข้อกำหนดระบบต่าง ๆ .....	44
3.6 แสดงการแบ่งระดับความสั่นสะเทือนในหน่วย Pa1 (Zeller) .....	48
3.7 แสดงการเปรียบเทียบระดับความสั่นสะเทือนในมาตรฐานต่าง ๆ .....	48
3.8 แสดงผลกระทบของความสั่นสะเทือนต่อเครื่องมือทดลอง .....	56
3.9 แสดงผลกระทบของความสั่นสะเทือนต่อเครื่องมือทดลองบางชนิด .....	57

ตาราง

หน้า

3.10	แสดงค่าอัมพลิจูดสูงที่สุดที่ยอมให้เกิดขึ้นได้สำหรับสิ่ง ปลุกสร้างชนิดต่าง ๆ .....	62
3.11	แสดงค่าอัมพลิจูดสูงที่สุดที่ยอมให้เกิดขึ้นได้สำหรับสิ่ง ปลุกสร้างชนิดต่าง ๆ (ปรับปรุงจากตาราง 3.10) ..	62
3.12	แสดงการเปรียบเทียบค่าอัมพลิจูดที่ยอมให้เกิดขึ้นได้ ของข้อกำหนดระบบต่าง ๆ .....	63
3.13	แสดงค่าเปรียบเทียบระดับความสั่นสะเทือนในรูปของ ความเร่งและพลังงาน .....	63
3.14	แสดงการเปรียบเทียบผลกระทบของความสั่นสะเทือน ต่อคนและสิ่งปลุกสร้างของข้อกำหนดระบบต่าง ๆ ...	65
3.15	รวบรวมปฏิกิริยาของคนและความเสียหายของสิ่ง ปลุกสร้างต่อความสั่นสะเทือนที่เกิดจากการจราจร ของรถยนต์ .....	70
4.1	การแบ่งชนิดของรถยนต์ .....	80
4.2	แสดงรายละเอียดสถานที่และตำแหน่งที่ติดตั้ง Velocity transducer บนทางด่วนตอน ดินแดง - ท่าเรือ .....	87
4.3	แสดงรายละเอียดสถานที่และตำแหน่งที่ติดตั้ง Velocity transducer บนถนน วิภาวดี - รังสิต .....	99
4.4	สัญลักษณ์ที่ใช้แทนชนิดของรถยนต์ที่แสดงในผลการทดลอง บนทางล่ายวิภาวดี - รังสิต .....	100

4.5	แสดงตัวอย่างการหาค่าความสัมพันธ์ของปริมาณต่าง ๆ ( $f, \omega, v, A, a$ ) (สถานที่ทดลอง : บริเวณเฟลตดินแดง) .	107
5.1	สรุปผลการทดลองวัดความสั้นละเทือนของพื้นดินเนื่องจากการจราจรของรถยนต์บนทางด่วนตอนดินแดง - ท่าเรือ ..	110
5.2	สรุปผลการทดลองวัดความสั้นละเทือนของพื้นดินเนื่องจากการจราจรของรถไฟ .....	127
5.3	สรุปผลการวัดความสั้นละเทือนของพื้นดินเนื่องจากการจราจรของรถยนต์บนทางสายวิภาวดี - รังสิต .....	131

รายการรูปประกอบ

รูป	หน้า
2.1 แปลนทางควันทอนดินแดง-ท่าเรือ .....	7
2.2 แสดงการเคลื่อนที่ของคลื่นแบบฮาร์โมนิค .....	12
2.3 แสดงการเคลื่อนที่ของคลื่นขวาง .....	14
2.4 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัมพลิจูด ความเร็ว ความเร่ง และความถี่ .....	16
2.5 แสดงการกระจายของ displacement waves จากการเขย่าฐาน รากชนิดวงกลมบน homogeneous, isothopic, elastic half- space (จาก Woods, 1968) .....	18
2.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Poisson's ratio, P-waves, S-waves และ R-waves ใน semi-infinite elastic medium (จาก Richart, 1962) .....	23
2.7 แสดงผลการทดลองของ Bakan เพื่อตรวจสอบสมการ 2.8 และ 2.9 โดยใช้ vertical amplitude, $A_V$ เป็นตัวเปรียบเทียบ ...	25
3.1 ผลกระทบของความสั่นสะเทือนในแนวตั้งต่อความรู้สึกของคน (Reiher-Meister) .....	33
3.2 ผลกระทบของความสั่นสะเทือนในแนวตั้งต่อความรู้สึกของคน (Reiher-Meister) .....	34
3.3 ผลกระทบของความสั่นสะเทือนในแนวตั้งต่อความรู้สึกของคน (Reiher-Meister) .....	35
3.4 แสดงค่า K ของ Dieckmann สำหรับความสั่นสะเทือนในแนวตั้ง ...	36
3.5 แสดงค่า K ของ Dieckmann สำหรับความสั่นสะเทือนในแนวราบ ..	37

รูป	หน้า
3.6 แสดงค่า K ของ Dieckmann สำหรับความสั่นสะเทือนในแนวตั้ง ...	38
3.7 แสดงค่า K ของ Dieckmann (DIN 4150) .....	42
3.8 แสดงผลเฉลี่ยของระดับความสั่นสะเทือนที่ทำให้อายุไม่ล่ำลาย .....	45
3.9 แสดงค่าของความสั่นสะเทือนในหน่วย "Vibrar" .....	47
3.10 แสดงช่วงของความสั่นสะเทือนต่อความรู้สึกของคน (Goldman) ...	50
3.11 แสดงช่วงของความสั่นสะเทือนต่อความรู้สึกของคน (Goldman) ...	51
3.12 แสดงช่วงของความสั่นสะเทือนต่อความรู้สึกของคน (Wright and Green) .....	52
3.13 แสดงช่วงของความสั่นสะเทือนต่อความรู้สึกของคน (Janeway) ...	54
3.14 แสดงช่วงของความสั่นสะเทือนที่มีผลกระทบต่อสิ่งปลูกสร้าง .....	68
4.1 แสดงรูปถ่ายของ Velocity transducer .....	72
4.2 แสดงการติดตั้งเครื่องมือสำหรับ Calibration velocity transducer (ยูชาติ บุณนาค) <sup>(39)</sup> .....	72
4.3 Calibration curve ของ velocity transducer.....	75
4.4 รูปถ่าย Oscilloscope .....	76
4.5 แสดงรูปถ่ายอุปกรณ์การทดลองทั้งชุด .....	76
4.6 รูปวาดการติดตั้ง เครื่องมือวัดความสั่นสะเทือนของพื้นดินในสนาม .....	77
4.7 แสดงจุดทดลองวัดความสั่นสะเทือนของพื้นดินบนทางด่วนตอน ดินแดง-ท่าเรือ .....	82
4.8 แสดงรูปถ่ายของถนนที่ขนานแฟลตดินแดง .....	84
4.9 แสดงรูปถ่ายของทางด่วนในส่วนที่อยู่ติดพื้นดินบริเวณซอยร่วมฤดี 1 ...	84
4.10 แสดงรูปตัดของทางด่วนในส่วนที่ติดกับพื้นดิน .....	85

รูป	หน้า
4.11 แสดงรูปตัดทัวไปของทางด่วนในล้นนที่ยกระดับ .....	86
4.12 แสดงรูปถ่ายการวัดความล้นละเทือนบนรั้วบริเวณแพลตดินแดง .....	89
4.13 แสดงการวัดความล้นละเทือนเมื่อ velocity transducer อยู่ติดเสาบริเวณสถานีรถไฟกษะสัน .....	89
4.14 แสดงการวัดความล้นละเทือนบริเวณทางแยกถนนเพชรบุรี .....	90
4.15 แสดงการติดตั้ง velocity transducer บริเวณถนนเพชรบุรี ที่ระยะ 1.5 ม. จากเสา .....	90
4.16 แสดงการวัดความล้นละเทือนโดยการติดตั้ง velocity transducer บนรั้วบริเวณช่ยร่วมฤดี 1 .....	90
4.17 แสดงการวัดความล้นละเทือนโดยการติดตั้ง velocity transducer บนคอนกรีตที่ขอบทางบริเวณแพลตบ่อนโก่ .....	91
4.18 แสดงรูปแปลนถนนสายวิภาวดี-รังสิต และจุดที่ติดตั้ง เครื่องมือทดลอง .	94
4.19 แสดงรูปตัดถนนสายวิภาวดี-รังสิตช่วง รังสิต-ดอนเมือง .....	95
4.20 แสดงรูปตัดถนนสายวิภาวดี-รังสิตช่วง ดอนเมือง-ลาดพร้าว .....	96
4.21 แสดงรูปตัดถนนสายวิภาวดี-รังสิตช่วง ลาดพร้าว-ดินแดง .....	97
4.22 รูปถ่ายบริเวณผิวถนนขรุขระที่หน้าบริษัทโยคัยอินเตอร์เนชั่นแนล ....	98
4.23 รูปถ่ายของสถานีที่ทดลองที่ร้านโก่เหลียงก้วยเตี่ยวเรือ .....	98
4.24 แสดงรูปถ่ายคลื่นความล้นละเทือนเนื่องจากรถสิบล้อ .....	102
4.25 แสดงรูปถ่ายคลื่นความล้นละเทือนเนื่องจากรถบัล .....	101
4.26 แสดงรูปถ่ายคลื่นความล้นละเทือนเนื่องจากรถบัล .....	102
4.27 แสดงรูปถ่ายคลื่นความล้นละเทือนเนื่องจากรถนั่ง .....	102
5.1 ระดับความล้นละเทือนที่วัดได้บริเวณแพลตดินแดง .....	111
5.2 ระดับความล้นละเทือนที่วัดได้บริเวณสถานีรถไฟกษะสัน .....	112



รูป	หน้า
5.3 ระดับความสั้นละเทือนที่วัดได้บริเวณถนนเพชรบุรี .....	113
5.4 ระดับความสั้นละเทือนที่วัดได้บริเวณถนนสุขุมวิท .....	115
5.5 ระดับความสั้นละเทือนที่วัดได้บริเวณซอยร่วมฤดี 1 .....	116
5.6 ระดับความสั้นละเทือนที่วัดได้บริเวณแฟลตตำราวจ .....	118
5.7 ระดับความสั้นละเทือนที่วัดได้บริเวณแฟลตบ่อนไก่ .....	119
5.8 ระดับความสั้นละเทือนที่วัดได้บริเวณถนนพระรามสี่ .....	120
5.9 ระดับความสั้นละเทือนที่วัดได้บริเวณตลาดปิ้งใหม่ .....	121
5.10 ระดับความสั้นละเทือนที่วัดได้บริเวณคลองเตย .....	122
5.11 ระดับความสั้นละเทือนที่วัดได้เนื่องจากการจราจรของรถไฟฟ้าชานาน กับทางด่วน .....	128
5.12 ระดับความสั้นละเทือนที่วัดได้เนื่องจากการจราจรของรถไฟฟ้าบริเวณ ราชวิถี .....	129
5.13 ระดับความสั้นละเทือนที่วัดได้ที่ร้านโกเหลียงก้วยเตี้ยวเรือ .....	132
5.14 ระดับความสั้นละเทือนที่วัดได้ที่บริษัทโชคชัยอินเตอร์เนชั่นแนล .....	134
5.15 ระดับความสั้นละเทือนที่วัดได้ที่เขตการทางกรุงเทพฯ .....	135
5.16 ระดับความสั้นละเทือนที่วัดได้ที่บริษัทอิมบิฮอย .....	136
5.17 ระดับความสั้นละเทือนที่วัดได้ที่กองบัญชาการตำรวจอรุร 1 .....	137
5.18 ระดับความสั้นละเทือนที่วัดได้ที่บริษัทการบินไทย .....	138
5.19 ระดับความสั้นละเทือนที่วัดได้ที่ นสพ. ไทยรัฐ .....	139
5.20 แสดงการเปรียบเทียบผลกระทบของระดับความสั้นละเทือนที่มีต่อคน ซึ่งวัดได้ที่ทางด่วนตอนดินแดง-ท่าเรือ .....	142
5.21 แสดงการเปรียบเทียบผลกระทบของระดับความสั้นละเทือนที่มีต่ออาคาร และสิ่งปลูกสร้างซึ่งวัดได้ที่ทางด่วนตอนดินแดง-ท่าเรือ .....	145

5.22	แสดงการเปรียบเทียบผลกระทบของระดับความสิ้นลະเคือนที่มีต่อคน ชั่งวัดได้ที่ทางล่ายวิภาวดี-รังสิต .....	147
5.23	แสดงการ เปรียบเทียบผลกระทบของระดับความสิ้นลະเคือนที่มีต่อ อาคารและสิ่งปลูกสร้างชั่งวัดได้ที่ทางล่ายวิภาวดี-รังสิต .....	148
5.24	แสดงการ เปรียบเทียบผลกระทบของระดับความสิ้นลະเคือนที่มีต่อ อาคารและสิ่งปลูกสร้างชั่งวัดได้จากการจราจรของรถไฟข่างทางด่วน .	149
5.25	แสดงการ เปรียบเทียบผลกระทบของระดับความสิ้นลະเคือนที่มีต่อคน ชั่งวัดได้จากการจราจรของรถไฟข่างทางด่วน .....	150



สัญลักษณ์



กม.	กิโลเมตร
ซม.	ซั้วโมง
ม.	เมตร
มม.	มิลลิเมตร
a	ความเร่ง
A	แอมพลิจูด
$A_0$	แอมพลิจูดที่ระยะ $r_0$ จากจุดกำเนิดความสั่นสะเทือน
$A_r$	แอมพลิจูดที่ระยะ r จากจุดกำเนิดความสั่นสะเทือน
$A_v$	แอมพลิจูดในแนวตั้ง
E	โมดูลัสยืดหยุ่น
f	ความถี่
g	ความเร่ง
G	Lamé's constant
Hz.	ความถี่เป็น Hertz (รอบ/วินาที)
K	Dieckmann's value
$K_1$	ค่าคงที่
m	เมตร
mm	มิลลิเมตร
P-wave	compression wave
r	ระยะห่างจากจุดกำเนิดความสั่นสะเทือนเท่ากับ r
$r_0$	ระยะห่างจากจุดกำเนิดความสั่นสะเทือนเท่ากับ $r_0$
R-wave	Rayleigh wave

S	วินาที (Second)
S	ระยะทางจากขอบถนนถึงจุดวัดความสั่นสะเทือน
S-wave	Shear wave
t	เวลา (time)
T	คาบเวลา (Period)
u, v, w	Elastic displacement ตามแกน x,y,z ตามลำดับ
v	อัตราเร็วคลื่น, ความเร็วคลื่น (wave velocity)
v	peak particle velocity
$v_p$	Compression wave velocity
$v_r$	Rayleigh wave velocity
$v_s$	Shear wave velocity
z	อัมพลิจูด ณ ตำแหน่งใด
$\dot{z}$	ความเร็ว
$\ddot{z}$	ความเร่ง
Z	Zeller's power
$Z_i$	Threshold value ( $50 \text{ mm}^2/\text{s}^3$ )
$\alpha$	สัมประสิทธิ์การดูดซึมคลื่น
$\gamma$	ความแน่น
$\Delta$	Cubical dilatation
$\nabla$	Laplace operator
$\epsilon_x, \epsilon_y, \epsilon_z$	Unit elongation in x, y, z directions
$\lambda$	Lamé's constant
$\lambda$	ความยาวช่วงคลื่น, ความยาวคลื่น
$\phi$	ค่าคงที่ของเฟส
$\omega$	ความถี่เชิงมุม (angular frequency)
$\nu$	Poisson's ratio

