



การศึกษาผลกระทบจากการสิ้นสะท้อนของรถบรรทุกจากเส้นทางหลวงแผ่นดินหมายเลข
12 ต่อชุมชนที่ตั้งอยู่ริมถนน จังหวัดพิษณุโลก



กัมปนาท หลวงจิโน

วิทยานิพนธ์เสนอบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยนเรศวร
เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา 2566
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยนเรศวร

การศึกษาผลกระทบจากการสิ้นสะท้อนของรถบรรทุกจากเส้นทางหลวงแผ่นดินหมายเลข
12 ต่อชุมชนที่ตั้งอยู่ริมถนน จังหวัดพิษณุโลก



วิทยานิพนธ์เสนอบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยนเรศวร
เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา 2566
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยนเรศวร

วิทยานิพนธ์ เรื่อง "การศึกษาผลกระทบจากการสิ้นเสื่อของรถบรรทุกจากเส้นทางหลวงแผ่นดิน
หมายเลข 12 ต่อชุมชนที่ตั้งอยู่ริมถนน จังหวัดพิษณุโลก"
ของ กัมปนาท หลวงจิโน
ได้รับการพิจารณาให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์
(รองศาสตราจารย์ ดร.พงศ์ศักดิ์ หนูพันธ์)

..... ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนินทร์ อัมพรสถิร)

..... กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กรกฎ นุสีทธิ)

..... กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิภายใน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จรูญ สารินทร์)

อนุมัติ

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.กรรองกาญจน์ ชูทิพย์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อเรื่อง	การศึกษาผลกระทบจากการสั่นสะเทือนของรถบรรทุกจากเส้นทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 12 ต่อชุมชนที่ตั้งอยู่ริมถนน จังหวัดพิษณุโลก
ผู้วิจัย	กัมปนาท หลวงจิโน
ประธานที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนินทร์ อัมพรสถิร
กรรมการที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กรกฎ นุสีทธิ
ประเภทสารนิพนธ์	วิทยานิพนธ์ วท.ม. วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยนเรศวร, 2566
คำสำคัญ	การสั่นสะเทือนบนพื้นดิน, การสั่นสะเทือนจากการจราจร, ความเร็วอนุภาคสูงสุด, ทางหลวง

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจวัดการสั่นสะเทือนโดยจำแนกจากรถบรรทุกประเภทต่าง ๆ ที่วิ่งผ่านทางหลวงระหว่างจังหวัดและประเมินผลกระทบของการสั่นสะเทือนจากรถบรรทุกต่อพื้นที่เขตชุมชนที่มีทางหลวงระหว่างจังหวัดวิ่งผ่าน โดยการตรวจวัดความเร็วอนุภาคสูงสุด (PPV) และความถี่ Zero crossing และ Fast Fourier Transform ของรถบรรทุกที่วิ่งบนทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 12 โดยใช้เครื่องมือวัดการสั่นสะเทือน InstanTel Micromate โดยการทดลองที่ 1 ข้อมูลการสั่นสะเทือนและความเร็วถูกรวบรวมจากรถบรรทุก 238 คัน ที่มีน้ำหนักตั้งแต่ 5 - 50.5 ตัน และความเร็วตั้งแต่ 51 - 80 กม./ชม ซึ่งผ่านสถานีตรวจสอบน้ำหนักบนทางหลวงที่ติดตั้งกล้อง ในการทดลองที่ 2 วางเครื่องวัดการสั่นสะเทือนในอาคาร 2 หลัง ริมถนนในเขตชุมชนที่รถบรรทุกวิ่งไปที่สัญญาณไฟจราจรเพื่อเตรียมหยุดหรือเร่งความเร็วผ่าน ผลการวิจัยพบว่า การสั่นสะเทือนที่เกิดจากรถบรรทุกมีลักษณะเป็นคลื่นในแนวตั้งเป็นหลัก และความเร็วอนุภาคสูงสุดมีความสัมพันธ์กับน้ำหนักและความเร็วของรถบรรทุก และที่น่าสนใจคือพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของข้อมูลการสั่นสะเทือนระหว่างรถบรรทุก 2 ประเภท คือ รถกึ่งพ่วง 22 ล้อ และรถพ่วง 22 ล้อ โดยผลกระทบของการสั่นสะเทือนต่อชุมชนเมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐาน DIN 4150-3 พบว่า ไม่มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่ออาคารและมนุษย์ อย่างไรก็ตาม การสั่นสะเทือนของรถบรรทุกในระดับนี้อาจเป็นไปได้ที่จะรู้สึกถึงการสั่นสะเทือนแต่ไม่รบกวนชีวิตปกติ

Title	VIBRATION EFFECT FROM NATIONAL HIGHWAY NO. 12 TRUCK ON ROADSIDE COMMUNITY, PHITSANULOK
Author	Kampanad Hlongjino
Advisor	Assistant Professor Chanin Umponstira, Ph.D.
Co-Advisor	Assistant Professor Korakod Nusit, Ph.D.
Academic Paper	M.S. Thesis in Environmental Science, Naresuan University, 2023
Keywords	Ground vibration, Traffic induce vibration, Peak Particle Velocity, Highway

ABSTRACT

The purpose of this research was to measure the vibration from different types of trucks passing through interprovincial highways and to assess the impact of vibrations on the community areas. The Peak Particle Velocity (PPV) and frequency of Zero crossing and Fast Fourier Transform of a truck running on National Highway No. 12 was obtained by InstanTel Micromate. The first experiment, vibration, speed data were collected from 238 identified trucks weighing from 5 to 50.5 tons and speeds ranging from 51 to 80 km/h which pass through the highway balance station installed with camera. The second experiment was conducted by place the vibration meter on 2 buildings on the roadside in the community area which trucks run to the traffic light prepare for stopping or accelerate through. The results showed that the vibrations generated by trucks was dominated by vertical waves and Peak Particle Velocity was correlated with weight and speed of trucks. Interestingly, the significant difference of vibration data between two type of trucks which were Semi-Trailer and Full-Trailer found. The impact of vibration on community was minimized following the standard DIN 4150-3 which nor significant effect on building and human. However, at this level it could be perhaps possible to feel vibrations with no disturbing for normal life.



ประกาศคุณูปการ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงในความกรุณาของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชนินทร์ อัมพรสถิร ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่สละเวลาอันมีค่าเป็นที่ปรึกษา พร้อมทั้งให้คำแนะนำ ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์ จนทำให้สำเร็จลุล่วงได้อย่างสมบูรณ์ และขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการวิทยานิพนธ์ อันประกอบไปด้วย รองศาสตราจารย์ ดร.พงษ์ศักดิ์ หนูพันธ์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กรกฎ นุสิทธิ์ กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จรรยา สารินทร์ กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ

ขอขอบพระคุณ บริษัท เอ็นไวร์ เซอร์วิส จำกัด สำหรับทุนการศึกษาในการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา และเครื่องมือตรวจวัดการสิ้นเสเทือน และขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ทวีศักดิ์ เตชะกระโทก ที่ให้ความอนุเคราะห์ปิ่นเรดาร์จับความเร็ว

ขอขอบพระคุณ สำนักงานควบคุมน้ำหนัทยานพาหนะ กรมทางหลวง สำหรับความอนุเคราะห์ในการเก็บข้อมูล ณ ด้านซ่งน้ำหนักรถบรรทุก อีกทั้งเจ้าหน้าที่ ณ ด้านซ่งน้ำหนักรถบรรทุกที่ให้ความร่วมมือเป็นอย่างดีในการเก็บรวบรวมข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาทำให้วิทยานิพนธ์ ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี

เหนือสิ่งอื่นใดขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ของผู้วิจัยที่เฝ้ากำลังใจและให้การสนับสนุนในทุก ๆ ด้านอย่างดีที่สุดเสมอมา

คุณค่าและคุณประโยชน์อันพึงจะมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบและอุทิศแด่ผู้มีพระคุณทุก ๆ ท่าน ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่างานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่สนใจบ้างไม่มากก็น้อย

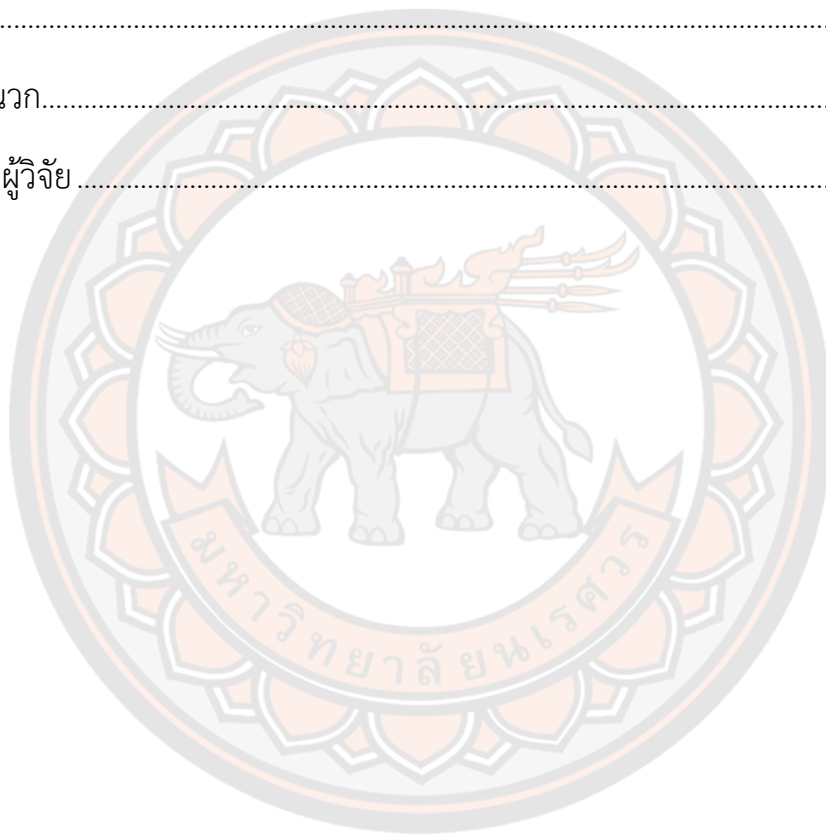
กัมปนาท หลวงจิโน

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
ประกาศคุุณุปการ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.1 วัตถุประสงค์ในการวิจัย.....	2
1.2 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 แหล่งกำเนิดการสั่นสะเทือน.....	4
2.2 ประเภทของคลื่นสั่นสะเทือน.....	5
2.3 การสั่นสะเทือนในแนวแกนต่าง ๆ.....	6
2.4 ความเร็วอนุภาคสูงสุด (Peak Particle Velocity หรือ PPV).....	7
2.5 ความถี่ (Frequency).....	7
2.5.1 Fast Fourier Transform : FFT.....	8

2.5.2 Zero Crossing.....	9
2.6 การสันสเทเทือนต่อมนุษย์.....	9
2.7. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	10
2.7.1 เกณฑ์มาตรฐาน.....	10
2.7.2 การตรวจวัดความสันสเทเทือน.....	15
2.7.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	16
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	21
วิธีดำเนินการวิจัย.....	21
3.1 พื้นที่ศึกษา.....	21
3.2 การเก็บรวบรวมข้อมูล.....	22
3.2.1 การทดลองที่ 1.....	22
3.2.2 การทดลองที่ 2.....	26
3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล.....	28
3.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	29
บทที่ 4 ผลการศึกษา.....	32
4.1 ระดับการสันสเทเทือนของรถบรรทุกประเภทต่างๆ.....	34
4.1.1 ความเร็วอนุภาคสูงสุด.....	34
4.1.2 ความถี่การสันสเทเทือน.....	40
4.1.2.1 Zero Crossing.....	40
4.1.2.2 Fast Fourier Transform.....	43
4.2 ผลกระทบจากการสันสเทเทือนจากรถบรรทุกต่อพื้นที่เขตชุมชน.....	50
4.2.1 ระดับการสันสเทเทือนและความถี่ในอาคาร.....	52

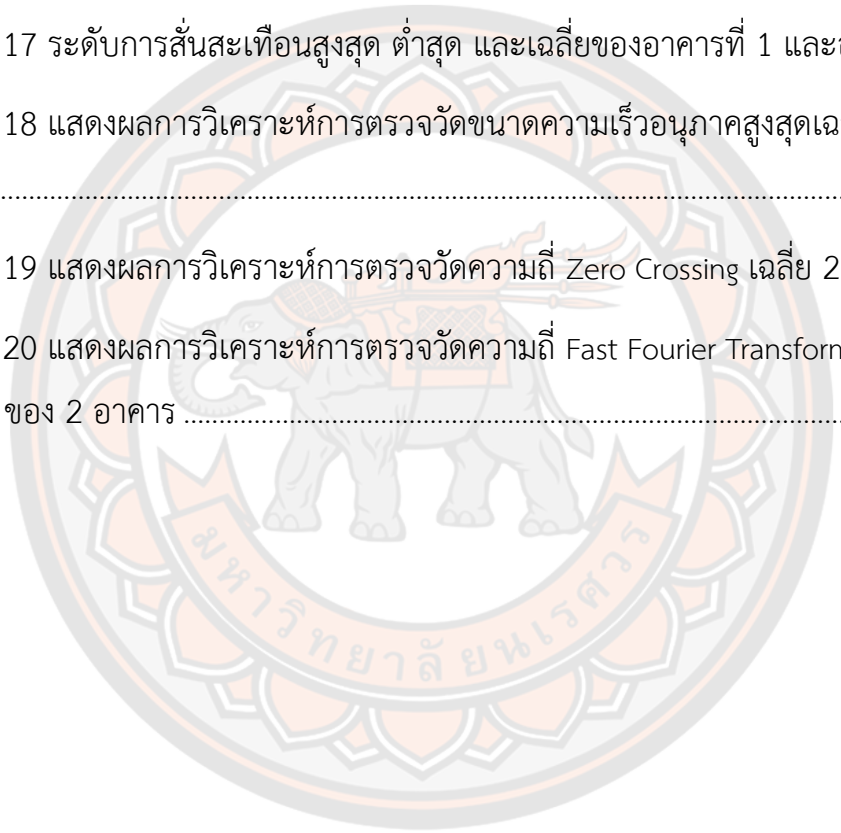
	ณ
4.2.2 การทดสอบ Independent-sample t-test	52
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษา อภิปรายผล และขอเสนอแนะ.....	54
ผลการศึกษา	54
ข้อเสนอแนะ	56
บรรณานุกรม	57
.....	62
ภาคผนวก.....	62
ประวัติผู้วิจัย	69



สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 1 แหล่งกำเนิดสั่นสะเทือนที่พบมากที่สุดจากกิจกรรมของมนุษย์.....	4
ตาราง 2 ผลกระทบเนื่องจากความสั่นสะเทือนที่มีต่อคนและอาคารสิ่งปลูกสร้าง.....	11
ตาราง 3 เกณฑ์การสั่นสะเทือนที่ยอมรับได้ DIN 4150-3 สำหรับการประเมินการ สั่นสะเทือนต่อโครงสร้าง.....	12
ตาราง 4 กำหนดมาตรฐานความสั่นสะเทือนเพื่อป้องกันผลกระทบต่ออาคารดังต่อไปนี้..	14
ตาราง 5 ประเภทของรถบรรทุกและน้ำหนักบรรทุก.....	23
ตาราง 6 ปริมาณข้อมูลของรถบรรทุกแต่ละประเภท.....	32
ตาราง 7 การแบ่งระดับความเร็วของรถบรรทุก.....	33
ตาราง 8 ระดับการสั่นสะเทือนสูงสุด ต่ำสุด และเฉลี่ยของรถบรรทุกประเภทต่าง ๆ ใน แนวตั้ง ความเร็วระดับที่ 1.....	35
ตาราง 9 ระดับการสั่นสะเทือนสูงสุด ต่ำสุด และเฉลี่ยของรถบรรทุกประเภทต่าง ๆ ใน แนวตั้ง ความเร็วระดับที่ 2.....	35
ตาราง 10 ระดับการสั่นสะเทือนสูงสุด ต่ำสุด และเฉลี่ยของรถบรรทุกประเภทต่าง ๆ ใน แนวตั้ง ความเร็วระดับที่ 3.....	36
ตาราง 11 Zero crossing สูงสุด ต่ำสุด และเฉลี่ยของรถบรรทุกประเภทต่าง ๆ ของคลื่น ตามยาว คลื่นตามขวาง และคลื่นในแนวตั้ง ความเร็วระดับที่ 1.....	40
ตาราง 12 Zero crossing สูงสุด ต่ำสุด และเฉลี่ยของรถบรรทุกประเภทต่าง ๆ ของคลื่น ตามยาว คลื่นตามขวาง และคลื่นในแนวตั้ง ความเร็วระดับที่ 2.....	41
ตาราง 13 Zero crossing สูงสุด ต่ำสุด และเฉลี่ยของรถบรรทุกประเภทต่าง ๆ ของคลื่น ตามยาว คลื่นตามขวาง และคลื่นในแนวตั้ง ความเร็วระดับที่ 3.....	41

ตาราง 14 Fast Fourier Transform สูงสุด ต่ำสุด และเฉลี่ยของรบบรรทุกประเภทต่าง ๆ ของคลื่นตามยาว คลื่นตามขวาง และคลื่นในแนวตั้ง ความเร็วระดับที่ 1	44
ตาราง 15 Fast Fourier Transform สูงสุด ต่ำสุด และเฉลี่ยของรบบรรทุกประเภทต่าง ๆ ของคลื่นตามยาว คลื่นตามขวาง และคลื่นในแนวตั้ง ความเร็วระดับที่ 2.....	45
ตาราง 16 Fast Fourier Transform สูงสุด ต่ำสุด และเฉลี่ยของรบบรรทุกประเภทต่าง ๆ ของคลื่นตามยาว คลื่นตามขวาง และคลื่นในแนวตั้ง ความเร็วระดับที่ 3.....	45
ตาราง 17 ระดับการสั่นสะเทือนสูงสุด ต่ำสุด และเฉลี่ยของอาคารที่ 1 และอาคารที่ 2..	52
ตาราง 18 แสดงผลการวิเคราะห์การตรวจวัดขนาดความเร็วอนุภาคสูงสุดเฉลี่ย 24 ชั่วโมง	52
ตาราง 19 แสดงผลการวิเคราะห์การตรวจวัดความถี่ Zero Crossing เฉลี่ย 24 ชั่วโมง.....	53
ตาราง 20 แสดงผลการวิเคราะห์การตรวจวัดความถี่ Fast Fourier Transform เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ของ 2 อาคาร	53



สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพ 1 การเคลื่อนที่ของอนุภาคที่เกี่ยวข้องกับคลื่นประเภทต่างๆ.....	5
ภาพ 2 ลำดับการเกิดของคลื่นสั้นสะเทือน.....	6
ภาพ 3 ความเร็วอนุภาคสูงสุด (Peak Particle Velocity).....	7
ภาพ 4 มุมมองของ waveform เวลาและความถี่.....	8
ภาพ 5 การหาความถี่จากการสั้นสะเทือนโดยใช้ Zero Crossing.....	9
ภาพ 6 ช่วงความถี่ที่ส่งผลกระทบต่อมนุษย์.....	10
ภาพ 7 เกณฑ์การสั้นสะเทือนของอาคาร DIN 4150-3.....	13
ภาพ 8 ตัวอย่างจุดตรวจวัดความสั้นสะเทือน.....	15
ภาพ 9 การทดลองที่ 1.....	22
ภาพ 10 การจำแนกประเภทธรบรรทุก 6 – 22 ล้อ.....	23
ภาพ 11 Trigger Level Geophone ตั้งเป็น 0.127 มม./วินาที.....	24
ภาพ 12 ทิศทางการติดตั้งหัววัดการสั้นสะเทือน.....	24
ภาพ 13 ตำแหน่งการวางเครื่องมือวัดการสั้นสะเทือน.....	25
ภาพ 14 ตัวอย่างข้อมูลน้ำหนักรถบรรทุกจากสถานีตรวจสอบน้ำหนักพิษณุโลก.....	25
ภาพ 15 การทดลองที่ 2.....	26
ภาพ 16 ตำแหน่งอาคารที่ติดตั้งเครื่องวัดการสั้นสะเทือน.....	27
ภาพ 17 อาคารก่อนถึงแยกไฟแดง.....	27
ภาพ 18 อาคารที่อยู่ถัดจากแยกไฟแดง.....	27
ภาพ 19 InstanTel Micromate.....	29

ภาพ 20 โปรแกรมสำหรับวิเคราะห์ข้อมูลการสั่นสะเทือน	30
ภาพ 21 Bushnell Velocity Speed Gun.....	31
ภาพ 22 โทรศัพท์มือถือรุ่น Redmi 9C	31
ภาพ 23 ตัวอย่างข้อมูลการตรวจวัดการสั่นสะเทือนของรถบรรทุก 6 ล้อ.....	33
ภาพ 24 ตัวอย่างรถบรรทุก 6 – 22 ล้อ.....	34
ภาพ 25 ความแตกต่างของความเร็วอนุภาคสูงสุดระหว่าง.....	37
ภาพ 26 ความแตกต่างของความเร็วอนุภาคสูงสุดระหว่างรถบรรทุก 6 ล้อ ในความเร็วที่ต่างกัน	37
ภาพ 27 ความแตกต่างของความเร็วสูงสุดของอนุภาคของรถบรรทุก 22 ล้อ	38
ภาพ 28 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักรถบรรทุกกับความเร็วอนุภาคสูงสุด (แนวตั้ง).....	39
ภาพ 29 ความแตกต่างของ Zero Crossing ของรถบรรทุก 6 – 22 ล้อ (เคลื่อนตามยาว).....	42
ภาพ 30 ความแตกต่างของ Zero Crossing ของรถบรรทุก 6 – 22 ล้อ (เคลื่อนตามขวาง)....	42
ภาพ 31 ความแตกต่างของ Zero Crossing ของรถบรรทุก 6 – 22 ล้อ (เคลื่อนในแนวตั้ง)....	43
ภาพ 32 ความแตกต่างของ FFT ของรถบรรทุก 6 – 22 ล้อ	44
ภาพ 33 ความแตกต่างของควมถี่ที่เกิดจากรถบรรทุก 6 – 12 ล้อ	46
ภาพ 34 ความแตกต่างของควมถี่ที่เกิดจากรถบรรทุก 18 – 22 ล้อ.....	47
ภาพ 35 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักรถบรรทุกกับ Zero Crossing.....	48
ภาพ 36 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักรถบรรทุกกับ Fast Fourier Transform.....	49
ภาพ 37 ความเร็วอนุภาคสูงสุดในอาคารที่ 1	51
ภาพ 38 ความเร็วอนุภาคสูงสุดในอาคาร 2	51

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ประเทศไทยมีการขนส่งสินค้าภายในประเทศโดยใช้รูปแบบการขนส่งทางถนนเป็นหลัก เนื่องจากสามารถขนส่งจากต้นทางถึงผู้รับปลายทางได้สะดวกและทั่วถึง ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 78.3 ของรูปแบบการขนส่งในประเทศ (สำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, 2563) โดยการขนส่งทางถนนส่วนใหญ่ของไทยจะใช้อยานพาหนะประเภทรถบรรทุก คือ รถบรรทุก 6 ล้อ 10 ล้อ และมากกว่า 10 ล้อขึ้นไป ซึ่งเส้นทางที่รถบรรทุกใช้คมนาคมขนส่งโดยเฉพาะเส้นทางที่ต้องผ่านเขตชุมชนและพื้นที่ต่าง ๆ ที่มีสิ่งปลูกสร้างหรือที่อยู่อาศัยใกล้เคียงทาง รถบรรทุกที่วิ่งผ่านอาจก่อให้เกิดปัญหาการสั่นสะเทือนที่เกิดจากการคมนาคมขนส่ง ซึ่งยานพาหนะหนัก ได้แก่ รถบรรทุก รถโดยสาร รถพ่วง รถกึ่งพ่วง เป็นยานพาหนะที่มีผลต่อระดับของการสั่นสะเทือนอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่รถยนต์นั่งส่วนบุคคลทั่วไปมีระดับการสั่นสะเทือนที่ต่ำเนื่องจากมีน้ำหนักน้อยกว่ามาก (อาสนจินดา, 2020)

เมื่อรถบรรทุกเคลื่อนที่ด้วยความเร็วการสั่นสะเทือนจะเกิดขึ้น คลื่นจะแพร่กระจายผ่านไปยังบริเวณรอบ ๆ โดยน้ำหนักของรถบรรทุกที่มากกว่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลจะส่งผลให้เกิดการทรุดตัวของถนน ซึ่งการทรุดตัวของถนนทำให้ถนนชำรุดเป็นหลุมบ่อ ส่งผลให้เกิดความเสียหายแก่โครงสร้างถนน และมีผลโดยตรงทำให้การสั่นสะเทือนมีขนาดที่เพิ่มมากขึ้นในกรณีที่รถบรรทุกตกหลุมบ่อทำให้เกิดการกระแทก และหนึ่งในปัจจัยที่ส่งผลต่อระดับการสั่นสะเทือนอย่างมีนัยสำคัญ คือ ความเร็วของยานพาหนะ (Al-Hunaidi & Rainer, 1991) โดยพบว่าขนาดของการสั่นสะเทือนมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อความเร็วของยานพาหนะเพิ่มขึ้น แม้ว่าจะเป็นถนนที่มีผิวเรียบก็ตาม (Lak, Degrande, & Lombaert, 2011)

การศึกษาการสั่นสะเทือนสามารถประเมินได้โดยการใช้อุปกรณ์วัดการสั่นสะเทือน ซึ่งดัชนีที่ตรวจวัด ได้แก่ ความเร็วอนุภาคสูงสุด และความถี่ (กรมควบคุมมลพิษ, 2564) โดยเกณฑ์มาตรฐานการสั่นสะเทือนนั้น จะกำหนดค่าการสั่นสะเทือนแตกต่างกันไปตามประเภทอาคารหรือสิ่งปลูกสร้าง รวมไปถึงการรับรู้ของมนุษย์ โดยใช้ความเร็วอนุภาคสูงสุด ซึ่งมีหน่วยเป็น มม./วินาที เป็นตัวชี้วัดในการเกิดความเสียหายต่อโครงสร้างอาคารหรือสิ่งปลูกสร้าง หรือการรับรู้ของมนุษย์ (Transportation, 2013)

หากการสั่นสะเทือนมีขนาดมากพออาจก่อให้เกิดความเสียหายต่อสิ่งปลูกสร้างหรือที่อยู่อาศัย เช่น รอยแตกบนผนังหรือพื้น อีกทั้งยังสามารถสร้างความรำคาญและความรู้สึกไม่สบายให้กับผู้

อาศัย ซึ่งกรณีของรถบรรทุกที่ทำให้เกิดความเสียหาย ยกตัวอย่างพื้นที่ใน อ.ลำลูกกา จ.ปทุมธานี เกิดการร้องเรียนเกี่ยวกับรถบรรทุกดินจำนวนหลายสิบล้านคันวิ่งผ่านเข้าออกภายในชุมชน สร้างความเดือดร้อนให้ประชาชนจำนวนมากที่พักอาศัยอยู่ ส่งผลให้บ้านเรือนได้รับความเสียหาย (ไทยรัฐออนไลน์, 2563) และ พื้นที่หมู่บ้านเมืองทอง 2 โครงการ 3 ซอยพัฒนาการ 53 แขวงและเขตสวนหลวง กรุงเทพฯ มีรถบรรทุกขนาดใหญ่ใช้เส้นทางผ่านหมู่บ้านทำให้เกิดการสั่นสะเทือน จนบ้านพังเสียหาย ทำให้ตัวบ้านทรุดตัว ตลอดจนแนวกำแพงบ้านเกิดรอยร้าวไปเป็นวงกว้าง ซึ่งสร้างความเดือดร้อนแก่ผู้อยู่อาศัย (เนชั่นออนไลน์, 2563)

รถบรรทุกหนักอาจเป็นยานพาหนะที่ส่งผลกระทบต่ออาคารและประชาชนที่อยู่บริเวณเส้นทางสัญจรได้ ซึ่งในปัจจุบันประเทศไทยยังไม่มีข้อกำหนดเกณฑ์มาตรฐานสำหรับการสั่นสะเทือนที่มีแหล่งกำเนิดมาจากการจราจรแบบโดยเฉพาะ เนื่องจากขาดข้อมูลพื้นฐานที่จะช่วยสนับสนุนในการกำหนดเกณฑ์มาตรฐาน มีเพียงการกำหนดน้ำหนักบรรทุกเพื่อป้องกันถนนเสียหาย อีกทั้งยังไม่มีข้อกำหนดขนาดการสั่นสะเทือนจากรถบรรทุกแต่ละประเภทที่ชัดเจน เช่น รถบรรทุกแต่ละประเภทมีขนาดการสั่นสะเทือนเท่าไร หรือรถบรรทุกประเภทใดที่มีศักยภาพเพียงพอที่จะสร้างความเสียหายแก่บ้านเรือน หรือสร้างความรำคาญให้กับประชาชนผู้อยู่อาศัยในบริเวณนั้น

จากข้อมูลที่กล่าวมาข้างต้นผู้วิจัยจึงมีวัตถุประสงค์ในการวิจัยเพื่อตรวจวัดขนาดการสั่นสะเทือนของพื้นดินจากรถบรรทุกเพื่อที่จะสามารถจำแนกขนาดการสั่นสะเทือนจากรถบรรทุกแต่ละประเภท และประเมินผลกระทบของการสั่นสะเทือนต่อเขตพื้นที่ชุมชนบริเวณอาคารที่อยู่อาศัยริมถนนจากการที่รถบรรทุกวิ่งอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา โดยประเมินได้จากการเปรียบเทียบผลการศึกษา กับเกณฑ์มาตรฐานการสั่นสะเทือน DIN 4150-3 และ Whiffin and Leonard (1971)

1.1 วัตถุประสงค์ในการวิจัย

1. เพื่อตรวจวัดการสั่นสะเทือนโดยจำแนกจากรถบรรทุกประเภทต่าง ๆ ที่วิ่งผ่านทางหลวงระหว่างจังหวัด
2. เพื่อประเมินผลกระทบของการสั่นสะเทือนจากรถบรรทุกต่อพื้นที่เขตชุมชนที่มีทางหลวงระหว่างจังหวัดวิ่งผ่าน

1.2 ขอบเขตการวิจัย

1.2.1 ขอบเขตด้านพื้นที่

ในการศึกษาวิจัยนี้ได้กำหนดการทดลองภาคสนาม โดยกำหนดพื้นที่ศึกษา ณ ต.บ้านกร่าง อ.เมืองพิษณุโลก จ.พิษณุโลก และกำหนดปัจจัยศึกษาและการวิเคราะห์ดังนี้

1.2.2 ขอบเขตด้านประชากร

ประชากรที่ใช้ในการศึกษาในครั้งนี้ได้แก่ รถบรรทุก 6 ล้อ 10 ล้อ 12 ล้อ 18 ล้อ และ 22 ล้อ

1.2.3 ขอบเขตด้านเนื้อหา

1. ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดการสั่นสะเทือนเนื่องจากรถบรรทุกประเภทต่างๆ กับน้ำหนักและความเร็วของรถบรรทุก
2. ศึกษาความสัมพันธ์ความถี่ของการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นจากรถบรรทุก
3. ศึกษาขนาดความสั่นสะเทือนจากรถบรรทุกที่เกิดขึ้นในอาคารที่ตั้งอยู่ใกล้กับเส้นทางหลวง
4. วิเคราะห์ขนาดการสั่นสะเทือนที่ตรวจวัดจากรถบรรทุกประเภทต่าง ๆ โดยพิจารณาจากความเร็วของอนุภาค (Peak Particle Velocity หรือ PPV) และความถี่ Zero crossing และ Fast Fourier Transform (FFT)
5. ศึกษาขนาดความสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานต่างประเทศ ได้แก่ DIN 4150-3 (1999) และ เกณฑ์เสนอแนะในรายงาน A Survey of Traffic Induced Vibration ของ Whiffin and Leonard (1971)
6. การศึกษาครั้งนี้ ไม่คำนึงถึงคุณสมบัติเฉพาะของพื้นดิน

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถจำแนกระดับการสั่นสะเทือนของรถบรรทุกแต่ละประเภทและคาดการณ์ผลกระทบต่อพื้นที่เขตชุมชนได้
2. สามารถใช้ข้อมูลเพื่อเป็นแนวทางในการลดผลกระทบการสั่นสะเทือนต่อชุมชน
3. เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานที่จะช่วยสนับสนุนการออกเกณฑ์มาตรฐานการสั่นสะเทือนที่มาจากการจราจรในประเทศไทย

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 แหล่งกำเนิดการสั่นสะเทือน

การสั่นสะเทือนเกิดได้จากหลายแหล่งกำเนิดซึ่งแบ่งออกเป็นการสั่นสะเทือนต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง โดยเวลาและขนาดของแอมพลิจูดจะแตกต่างกัน ซึ่งการสั่นสะเทือนต่อเนื่องนั้นจะมีเวลานานแต่ขนาดของแอมพลิจูดจะต่ำ ในทางกลับกันการสั่นสะเทือนแบบไม่ต่อเนื่องจะมีเวลาที่สั้นแต่ขนาดของแอมพลิจูดจะสูง โดยอุปกรณ์หรือกิจกรรมที่สร้างการสั่นสะเทือนไม่ต่อเนื่องหรือเพียงครั้งเดียว เช่น การระเบิด เป็นต้น และอุปกรณ์หรือกิจกรรมที่สร้างการสั่นสะเทือนอย่างต่อเนื่อง เช่น รถที่ใช้ในงานที่เกี่ยวกับการก่อสร้าง ได้แก่ เครน รถตัก รถขุด รถบด รถปูยาง รถบรรทุก เป็นต้น โดยแหล่งกำเนิดการสั่นสะเทือนที่พบมากที่สุดจากกิจกรรมของมนุษย์แสดงในตาราง 1 ซึ่งระบุไว้ภายใต้ ISO 4866-1990 "Mechanical Vibrations and Shocks - Vibrations of buildings - Guideines for the measurement of vibrations and evaluation of their effects on buildings" (Norma, 1990)

ตาราง 1 แหล่งกำเนิดสั่นสะเทือนที่พบมากที่สุดจากกิจกรรมของมนุษย์

แหล่งกำเนิดการสั่นสะเทือน	ช่วงความถี่ (Hz)	ช่วงความเร็วของอนุภาค (mm/s)
การจราจร	1 - 80	0.2 - 50
การระเบิด	1 - 300	0.2 - 500
ตอกเสาเข็ม	1 -100	0.2 - 50
เครื่องจักร	1 - 300	0.2 - 50

2.2 ประเภทของคลื่นสั่นสะเทือน

เมื่อเกิดการสั่นสะเทือนจะเกิดคลื่น 2 แบบ คือ คลื่นในตัวกลาง (Body wave) และคลื่นพื้นผิว (Surface wave)

5.2.1 คลื่นในตัวกลาง (Body wave) การเคลื่อนที่มีลักษณะผ่านตัวกลางในทุกทิศทาง คลื่นในตัวกลาง มี 2 ชนิด คือ

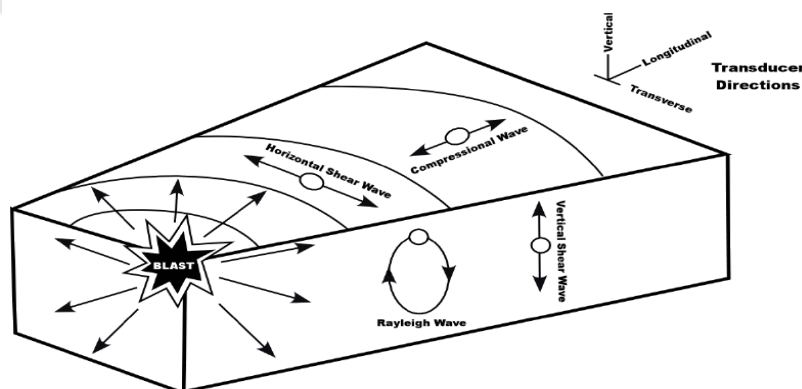
1. Compressional waves หรือ P-waves จะเคลื่อนที่ไปในทิศทางของการแพร่กระจายไปข้างหน้า หรือเคลื่อนที่ในแนวทิศทางตามยาว (Longitudinal)

2. Shear waves หรือ S-waves มีการเคลื่อนที่ในลักษณะที่มีตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น หรือเคลื่อนที่ในแนวทิศทางตามขวาง (Transverse)

5.2.2 คลื่นพื้นผิว (Surface wave) การเคลื่อนที่มีลักษณะเหมือนการโยนหินลงไปในน้ำแล้วเกิดคลื่นบนผิวน้ำ คลื่นพื้นผิวเคลื่อนที่ช้ากว่าคลื่นในตัวกลาง คลื่นพื้นผิวมี 2 ชนิด คือ Rayleigh waves และ Love wave

1. Rayleigh waves หรือ R-waves เคลื่อนที่เป็นวงรีในระนาบแนวตั้งในทิศทางเดียวกับทิศทางการแพร่กระจาย ซึ่งโดยส่วนมากแล้ว R-waves จะเคลื่อนที่ในแนวตั้ง (Vertical)

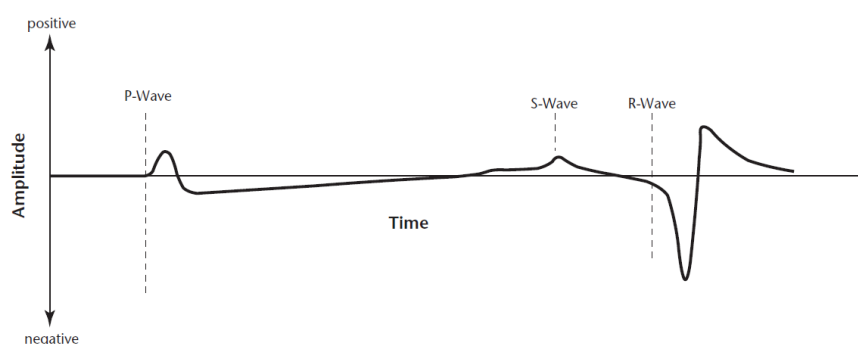
2. Love wave หรือ L-wave เป็นคลื่นที่ทำให้อนุภาคของตัวกลางสั่นในแนวราบ โดยมีทิศทางตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ของคลื่น ซึ่งจะคล้ายกับ S-waves แต่ L-wave เกิดขึ้นบนพื้นผิวเท่านั้น



ภาพ 1 การเคลื่อนที่ของอนุภาคที่เกี่ยวข้องกับคลื่นประเภทต่างๆ

ที่มา: Richard & Moore, 2012

P-waves, S-waves และ R-waves เคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่ต่างกัน โดย P-waves จะเร็วที่สุด รองลงมาคือ S-waves จากนั้น R-waves โดยพลังงานประมาณ 67% ถูกส่งผ่าน R-waves, 26% ใน S-waves และ 7% ใน P-waves ดังภาพ 2 ดังนั้นคลื่น R อาจเป็นคลื่นเดี่ยวที่แยกความแตกต่างได้ชัดเจนเนื่องจากมีพลังงานมาก และเป็นคลื่นรบกวนที่สำคัญที่สุดตามพื้นผิวของพื้นดิน (Transportation, 2013)



ภาพ 2 ลำดับการเกิดของคลื่นสั่นสะเทือน

ที่มา: F. Richard, Woods, & Hall Jr, 1970

2.3 การสั่นสะเทือนในแนวแกนต่าง ๆ

การสั่นสะเทือนของพื้นดินนั้นมีลักษณะการเคลื่อนตัวของตัวกลางแบบ 3 มิติ คือ สามารถวัดการเคลื่อนตัวในแนวแกน X แกน Y และแกน Z ซึ่งทั้ง 3 แกนเป็นองค์ประกอบในการอ่านข้อมูลของเครื่องมือวัดแรงสั่นสะเทือน โดยแกน X แกน Y และแกน Z จะสามารถเรียกอีกรูปแบบหนึ่ง คือ คลื่นตามยาว (Longitudinal) คลื่นตามขวาง (Transverse) และคลื่นในแนวตั้ง (Vertical) ตามลำดับ โดยผลลัพธ์ซึ่งเป็นผลรวมของทั้ง 3 แกน ซึ่งหาได้จากรากที่สองของผลรวมของกำลังสองของค่าความเร็วอนุภาคสูงสุด (Peak Particle Velocity หรือ PPV) ในทั้งสามแกนที่วัดโดยเครื่องวัดการสั่นสะเทือน

$$PVS = \sqrt{L^2 + T^2 + V^2}$$

เมื่อ L = ความเร็วของอนุภาคของคลื่นตามยาว (Longitudinal)

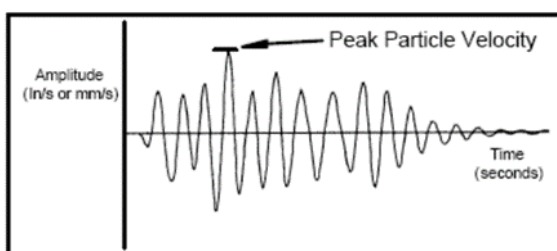
T = ความเร็วของอนุภาคของคลื่นตามขวาง (Transverse)

V = ความเร็วของอนุภาคของคลื่นในแนวตั้ง (Vertical)

จากสูตรความเร็วของอนุภาคที่เป็นผลรวมของทั้ง 3 แกน เรียกว่า Peak Vector Sum (PVS) เป็นหน่วยวัดที่ไม่จำกัดแกนในการวัดหนึ่งในสามแกน ซึ่งความเร็วอนุภาคสูงสุดที่เป็นผลลัพธ์ในแต่ละแกน จะแสดงลักษณะของความรุนแรงของการสั่นและเรียกว่าความเร็วอนุภาคสูงสุด (Peak particle velocity หรือ PPV) ซึ่งค่ามาตรฐานการสั่นสะเทือนส่วนใหญ่จะระบุไว้ในค่า PPV ไม่ใช่ PVS

2.4 ความเร็วอนุภาคสูงสุด (Peak Particle Velocity หรือ PPV)

ความเร็วอนุภาคสูงสุด (Peak Particle Velocity หรือ PPV) คือ ค่าความเร็วของความสั่นสะเทือนในแนวแกน X (Longitudinal) แกน Y (Transverse) หรือแกน Z (Vertical) ที่มีค่าสูงสุด มีหน่วยเป็น นิ้ว/วินาที หรือ มม./วินาที ซึ่ง PPV เป็นความเร็วของการเคลื่อนที่ของอนุภาคบนพื้นดิน หรือในพื้นดินที่เกิดจากการผ่านของคลื่นสั่นสะเทือน ไม่ใช่ความเร็วของคลื่นที่ผ่านพื้นดิน



ภาพ 3 ความเร็วอนุภาคสูงสุด (Peak Particle Velocity)

ที่มา: Instantel, 2013

2.5 ความถี่ (Frequency)

ความถี่ คือ จำนวนครั้ง หรือจำนวนรอบของการเคลื่อนที่ของวัตถุที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาหนึ่ง มีหน่วยเป็นรอบต่อวินาที หรือเฮิรตซ์ (Hz)

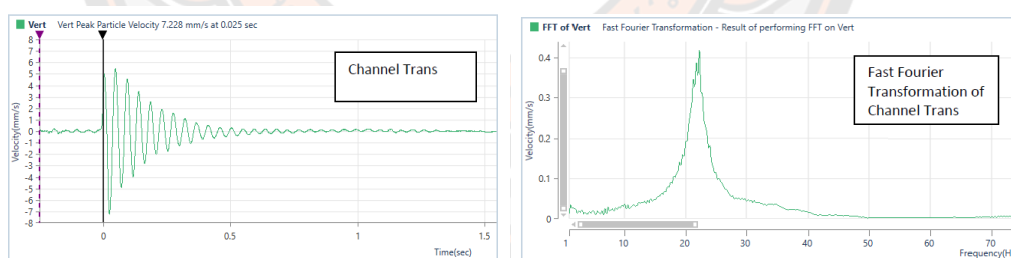
ความถี่ธรรมชาติ (Natural Frequency) คือ การสั่นแบบอิสระของระบบโดยมีแรงมากระทำเพียงแค่ระยะเริ่มต้น ซึ่งหากมีแรงภายนอกมากระทำ โดยมีจังหวะที่พอดีกับคาบการสั่นแบบอิสระของระบบ หรือ ความถี่ของแรงภายนอกที่มากระทำนั้นมีความถี่เท่ากับความถี่ของการสั่นตามธรรมชาติ หรือ ความถี่ธรรมชาติ จะทำให้เกิดการเสริมกันก่อให้เกิดการสั่นที่มีขนาดรุนแรงขึ้น เรียกว่า การสั่นพ้อง หรือ เรโซแนนซ์ (Resonance) เช่นเดียวกับโครงสร้างอาคาร บ้านหรือที่อยู่

อาศัยจะมีความถี่ธรรมชาติเฉพาะตัว หากความถี่ธรรมชาติใกล้เคียงกับคลื่นสั่นสะเทือนที่ส่งผ่านชั้นดินขึ้นมาจะมีการตอบสนองต่อการสั่นสะเทือนที่ชัดเจน อาจส่งผลกระทบต่อให้เกิดความเสียหายได้

วัตถุที่สั่นสะเทือนเคลื่อนที่ไปมาจากตำแหน่งที่หยุดนิ่งตามปกติ การสั่นสะเทือนจะครบรอบเกิดขึ้นเมื่อวัตถุเคลื่อนที่จากตำแหน่งสูงสุดไปยังตำแหน่งต่ำสุด จำนวนรอบที่วัตถุเคลื่อนที่จากตำแหน่งสูงสุดไปยังตำแหน่งต่ำสุดในหนึ่งวินาทีเรียกว่า ความถี่ (f) หน่วยของความถี่ คือ เฮิรตซ์ (Hz) หนึ่งเฮิรตซ์เท่ากับหนึ่งรอบต่อวินาที โดยการตอบสนองของโครงสร้างทางวิศวกรรม เช่น อาคาร หรืออื่น ๆ มีความไวในการตอบสนองต่อความถี่ของการสั่นสะเทือนที่ต่างกัน ซึ่งคลื่นการสั่นสะเทือนจะประกอบไปความถี่หลาย ๆ ความถี่เข้าด้วยกัน โดยการรับข้อมูลของการสั่นสะเทือน สามารถรับได้จากการใช้อุปกรณ์รับสัญญาณรวมกับการใช้โปรแกรมรับสัญญาณและแปลงสัญญาณ โดยใช้วิธีการแปลงสัญญาณแบบ Fast Fourier Transform หรือ Zero Crossing

2.5.1 Fast Fourier Transform : FFT

เป็นการแยกแยะสัญญาณที่ซับซ้อนจาก waveform ที่อยู่ในรูปของเวลา มาอยู่ในรูปของความถี่ ดังรูป 5.4 เพื่อให้ทราบว่ากราฟประกอบไปด้วยการสั่นสะเทือนที่มีความถี่และช่วงความกว้างเป็นอย่างไร ซึ่งสามารถระบุความถี่ที่โดดเด่นได้ และนำมาวิเคราะห์แหล่งกำเนิดของการสั่นสะเทือน

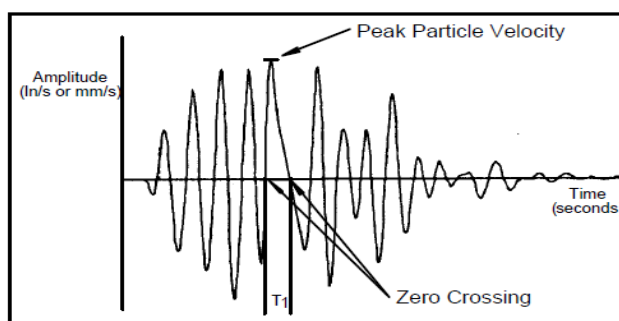


ภาพ 4 มุมมองของ waveform เวลาและความถี่

ที่มา: Instatel, 2019

2.5.2 Zero Crossing

Zero Crossing (Z.C.) เป็นวิธีหนึ่งในการหาความถี่จากการสั่นสะเทือนโดยใช้การประมาณความถี่ของความเร็วอนุภาคสูงสุดจาก waveform ที่อยู่ในรูปของเวลา โดยเวลาระหว่างจุดตัดศูนย์สองจุดที่ต่อเนื่องกันของความเร็วคลื่นก่อนและหลังของความเร็วอนุภาคสูงสุด จากนั้นคำนวณด้วย 1หารด้วยความกว้างระหว่างจุดตัดศูนย์สองจุดจะได้ความถี่ (f) ซึ่งมีหน่วยเป็น เฮิรตซ์ (Hz) นอกจากนี้รูปคลื่นอาจมีความเร็วอนุภาคสูงสุดเท่ากันแต่มี zero crossing ต่างกัน โดยจะขึ้นอยู่กับรูปร่างของรูปคลื่น

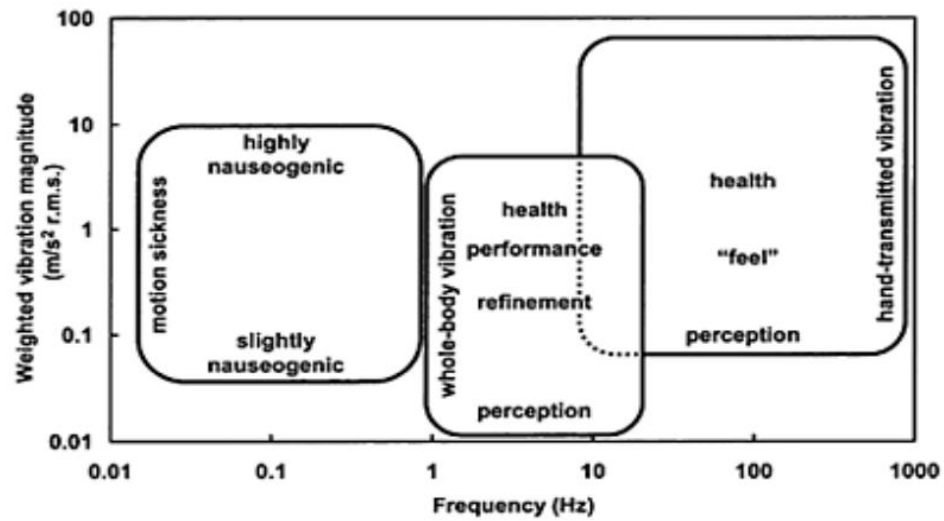


ภาพ 5 การหาความถี่จากการสั่นสะเทือนโดยใช้ Zero Crossing

ที่มา: Instantel, 2013

2.6 การสั่นสะเทือนต่อมนุษย์

การสั่นสะเทือนของพื้นดินอาจเป็นสาเหตุของความรำคาญ ความรู้สึกไม่สบาย ลดประสิทธิภาพการทำงานและทำให้เกิดการรบกวนของกิจกรรมที่กำลังดำเนินอยู่ให้กับบุคคลที่อาศัยหรือทำงานใกล้กับกิจกรรมที่ก่อให้เกิดการสั่นสะเทือน ในบางกรณีการสั่นสะเทือนอาจสร้างความรำคาญอย่างยิ่งในเวลากลางคืน เนื่องจากเป็นเวลาที่กิจกรรมน้อยกว่าช่วงเวลากลางวัน ดังนั้นการสั่นสะเทือนอาจจะรู้สึกได้ชัดเจนกว่า ซึ่งอาจนำไปสู่การรบกวนการนอนหลับได้ อีกทั้งยังสามารถเป็นเหตุก่อให้เกิดผลกระทบต่อด้านสุขภาพในผู้ที่สัมผัสแรงสั่นสะเทือนเป็นเวลานาน โดยช่วงของความถี่การสั่นสะเทือนจะส่งผลกระทบต่างกัน ดังภาพ 6



ภาพ 6 ช่วงความถี่ที่ส่งผลต่อมนุษย์

ที่มา: Mansfield, 2004

2.7. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.7.1 เกณฑ์มาตรฐาน

นักวิจัยจาก UK Transport and Road Research Laboratory (TRRL) ได้ดำเนินการศึกษาจำนวนมากเกี่ยวกับการจราจรบนทางหลวงที่ทำให้เกิดการสั่นสะเทือนจากพื้นดิน และพัฒนา Guidelines จากผลการศึกษารวมไปถึงข้อมูลจากการทบทวนวรรณกรรม จนได้เป็นรายงานสรุปสำหรับการประเมินการสั่นสะเทือนที่เกิดจากการจราจรบนทางหลวงโดย Whiffin and Leonard (1971) ได้เสนอ Guidelines ดังตารางเพื่อประเมินผลกระทบของการสั่นสะเทือนต่อผู้คนและอาคาร ดังตาราง 2

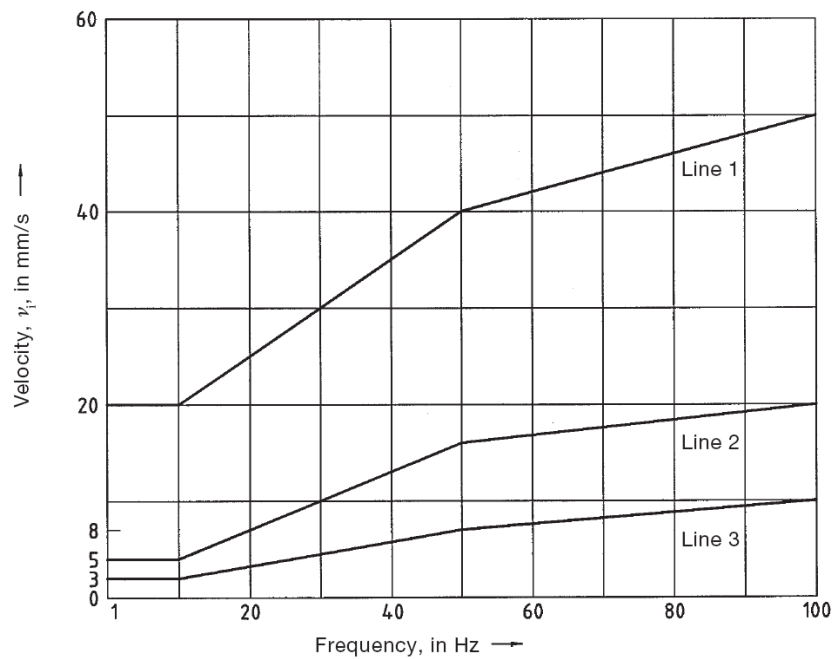
ตาราง 2 ผลกระทบเนื่องจากความสั่นสะเทือนที่มีต่อคนและอาคารสิ่งปลูกสร้าง

ความเร็วอนุภาคสูงสุด มม./วินาที	ผลกระทบต่อมนุษย์	ผลกระทบต่อโครงสร้างอาคาร
0 - 0.15	ไม่สามารถรับรู้ความรู้สึกได้	ไม่ส่งผลกระทบ/ความเสียหายต่อ โครงสร้างทุกประเภท
0.15 - 0.30	ระดับที่เป็นไปได้ที่จะรับรู้	ไม่ส่งผลกระทบ/ความเสียหายต่อ โครงสร้างทุกประเภท
2.0	รู้สึกถึงความสั่นสะเทือน	ระดับที่สูงขึ้นของความสั่นสะเทือน ส่งผลต่อการทำลาย หรือสร้างความ เสียหายต่อโบราณสถาน
2.5	ถ้าความสั่นสะเทือนเป็นไป อย่างต่อเนื่องจะรู้สึกว้าวุ่น	ไม่เสี่ยงต่อความเสียหายที่จะเกิด ขึ้นกับอาคารทั่วไป หรือโครงสร้าง ทางสถาปัตยกรรม
5.0	ความสั่นสะเทือนรบกวนต่อ คนที่อยู่อาศัยในอาคาร (สอดคล้องกับระดับที่ส่งผล กระทบต่อคนที่อยู่สะพาน และได้รับในช่วงเวลาสั้น ๆ)	ระดับที่จะส่งผลทำให้เกิดความ เสียหายต่อโครงสร้างทาง สถาปัตยกรรมบ้านเรือนทั่วไปที่มี ผนังและเพดานเป็นแบบ Plaster (ส่วนผสมที่มีปูน ทราย น้ำ และ ใยต่าง ๆ) ในกรณีที่เป็นผนัง/ ฝ้า เพดานแบบยี่ดหุยนจะได้รับ ความเสียหายเพียงเล็กน้อย
10 - 15	คนรู้สึกไม่พอใจถ้าเกิด แรงสั่นสะเทือนอย่างต่อเนื่อง และคนที่เดินบนสะพานจะไม่ สามารถยอมรับได้	ระดับความสั่นสะเทือนที่สูงกว่า การจรรยาบรรณที่ก่อให้เกิด ความเสียหายต่อโครงสร้าง ทางสถาปัตยกรรม และสร้าง ความเสียหายต่อโครงสร้าง บ้านเรือนเล็กน้อย

เกณฑ์มาตรฐานของประเทศเยอรมันที่ได้รับการยอมรับและนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายทั่วโลก DIN 4150-3 : 1999 Effects of vibration on structures ซึ่งใช้ในการตรวจวัดความเร็วอนุภาคสูงสุด (PPV) จากการสั่นสะเทือน ดังตาราง 3

ตาราง 3 เกณฑ์การสั่นสะเทือนที่ยอมรับได้ DIN 4150-3 สำหรับการประเมินการสั่นสะเทือนต่อโครงสร้าง

ประเภทของอาคาร	เกณฑ์การสั่นสะเทือนสำหรับความเสียหายต่อโครงสร้าง PPV (mm/s)				
	ระยะสั้น (short-term)			ระยะยาว (long-term)	
	พื้น			ชั้นบนสุด	ชั้นบนสุด
	0 - 10 Hz	10 - 50 Hz	50 - 100 Hz	ทุกความถี่	ทุกความถี่
1. อาคารที่ใช้เพื่อการพาณิชย์อาคารอุตสาหกรรมหรืออาคารที่มีลักษณะคล้ายกัน	20	20 - 40	40 - 50	40	10
2. ที่อยู่อาศัยหรืออาคารที่มีการออกแบบที่คล้ายคลึงกัน	5	5 - 15	15 - 20	15	5
3. โครงสร้างที่มีความไวต่อการสั่นสะเทือนเป็นพิเศษ เช่น โบราณสถาน	3	3 - 8	8 - 10	8	2.5



ภาพ7 เกณฑ์การสันสะเทือนของอาคาร DIN 4150-3

ที่มา: Normung, 1999

ในประเทศไทยมีกำหนดมาตรฐานความสันสะเทือนเพื่อป้องกันผลกระทบต่ออาคารซึ่งปรากฏอยู่ในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 ดังตาราง 6.3 ซึ่งต้นแบบในการกำหนดมาตรฐานของไทย คือ DIN 4150-3 ของประเทศเยอรมัน โดยมีเนื้อหาที่เทียบเท่ากัน (กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2535)

ตาราง 4 กำหนดมาตรฐานความสั่นสะเทือนเพื่อป้องกันผลกระทบต่ออาคารดังต่อไปนี้

อาคารประเภทที่	จุดตรวจวัด	ความถี่ (Hz)	ความเร็วอนุภาคสูงสุดไม่เกิน (มม./วินาที)	
			ความสั่นสะเทือนกรณีที่ 1	ความสั่นสะเทือนกรณีที่ 2
1	1.1 ฐานรากหรือชั้นล่างของอาคาร	$f \leq 10$	20	-
		$10 < f \leq 50$	$0.5 f + 15$	
		$50 < f \leq 100$	$0.2 f + 30$	
		$f > 100$	50	
	1.2 ชั้นบนสุดของอาคาร	ทุกความถี่	40^*	10^*
1.3 พื้นอาคารในแต่ละชั้น	ทุกความถี่	40^{**}	10^{**}	
2	2.1 ฐานรากหรือชั้นล่างของอาคาร	$f \leq 10$	5	-
		$10 < f \leq 50$	$0.25 f + 2.5$	
		$50 < f \leq 100$	$0.1 f + 10$	
		$f > 100$	20	
	2.2 ชั้นบนสุดของอาคาร	ทุกความถี่	15^*	5^*
	2.3 พื้นอาคารในแต่ละชั้น	ทุกความถี่	20^{**}	10^{**}
3	3.1 ฐานรากหรือชั้นล่างของอาคาร	$f \leq 10$	3	-
		$10 < f \leq 50$	$0.125 f + 1.75$	
		$50 < f \leq 100$	$0.04 f + 6$	
		$f > 100$	10	
	3.2 ชั้นบนสุดของอาคาร	ทุกความถี่	8^*	2.5^*
	3.3 พื้นอาคารในแต่ละชั้น	ทุกความถี่	20^{**}	10^{**}

หมายเหตุ

- 1) f = ความถี่ของความสั่นสะเทือน ณ เวลาที่มีความเร็วอนุภาคสูงสุดมีหน่วยเป็นเฮิรตซ์
- 2) $*$ = กำหนดมาตรฐานไว้เฉพาะค่าความเร็วอนุภาคสูงสุดในแกนนอน
- 3) $**$ = กำหนดมาตรฐานไว้เฉพาะค่าความเร็วอนุภาคสูงสุดในแกนตั้ง
- 4) การวัดค่าความสั่นสะเทือนสูงสุดสำหรับความสั่นสะเทือนกรณีที่ ๒ ตามข้อ ๑.๒, ๒.๒ และ ๓.๒ ให้วัดที่ชั้นบนสุดของอาคารหรือชั้นอื่นซึ่งมีค่าความสั่นสะเทือนสูงสุด
- 5) การวัดค่าความสั่นสะเทือนที่พื้นอาคารในแต่ละชั้นตามข้อ 1.3, 2.3 และ 3.3 ให้ยกเว้นการวัดที่ฐานราก หรือชั้นล่างของอาคาร

2.7.2 การตรวจวัดความสั่นสะเทือน

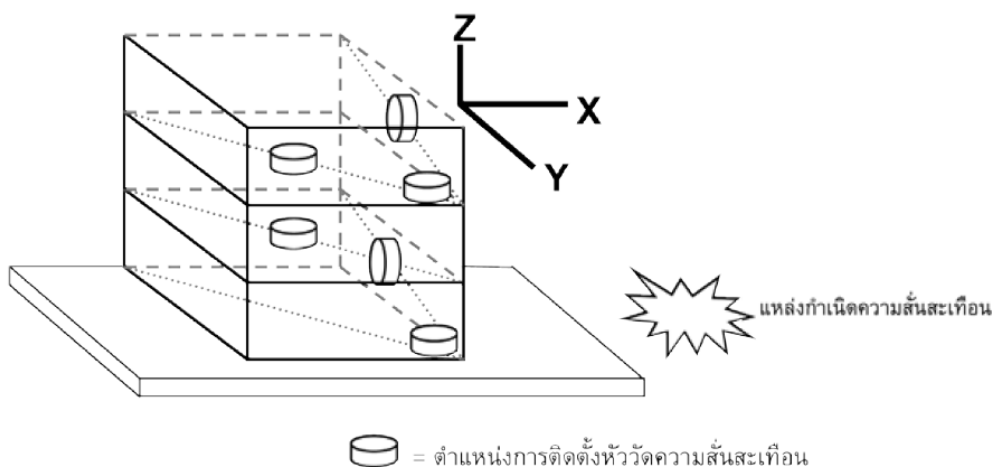
1. การตรวจวัดความสั่นสะเทือนบริเวณฐานรากหรือชั้นล่างของอาคาร ให้ติดตั้งหัววัดบริเวณอาคารด้านที่หันหน้าไปทางแหล่งกำเนิดความสั่นสะเทือน โดยติดตั้งหัววัดบนพื้นอาคารชั้นล่างบริเวณใกล้ฐานกำแพงนอกสุดของอาคารหรือบนผนังอาคารหรือกำแพงนอกสุดของอาคารหรือช่องเปิดบนผนังอาคารหรือกำแพงนอกสุดของอาคาร และตำแหน่งหัววัดต้องอยู่สูงจากพื้นอาคารหรือพื้นดินไม่เกิน 0.5 เมตร สำหรับอาคารซึ่งมีชั้นล่างเป็นบริเวณกว้าง ให้ตรวจวัดหลายๆ ตำแหน่งพร้อมๆ กัน

2. การตรวจวัดความสั่นสะเทือนบริเวณชั้นบนสุดของอาคาร ให้ติดตั้งหัววัดเข้ากับพื้นอาคารบริเวณที่ใกล้ผนังอาคารหรือกำแพงหรือบนผนังอาคารหรือกำแพงที่ชั้นบนสุดของอาคาร

3. การตรวจวัดความสั่นสะเทือนบริเวณพื้นอาคารในแต่ละชั้น ให้ติดตั้งหัววัดบริเวณกึ่งกลางพื้นอาคารในแต่ละชั้นยกเว้นฐานรากหรือชั้นล่างของอาคาร

3.1 ช่วงเวลาในการตรวจวัด ต้องครอบคลุมถึงระยะเวลาที่เกิดความสั่นสะเทือนที่ต้องการประเมินผล

3.1 การบันทึกผล ให้บันทึกค่าความเร็วอนุภาคสูงสุดในแต่ละแกน



ภาพ 8 ตัวอย่างจุดตรวจวัดความสั่นสะเทือน

2.7.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาปัญหาการสั่นสะเทือนที่เกิดจากการจราจรเป็นปัญหาที่ศึกษามากันเป็นระยะเวลานานโดยงานวิจัยในอดีตในการศึกษาของ Hunaidi and Tremblay (1997) ได้สรุปแนวโน้มของนักวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการสั่นสะเทือนที่มาจากจราจรในคริสต์ศตวรรษที่ 20 โดยเริ่มจาก HYDE and Lintern (1929) ซึ่งเป็นผู้บุกเบิกในการรายงานระดับการสั่นสะเทือนที่เกิดจากยานพาหนะที่แล่นผ่าน โดยพวกเขาสรุปว่าพื้นผิวถนนและสภาพของยางที่ไม่ดีเป็นสาเหตุหลักของการสั่นสะเทือนและการศึกษาอีกชิ้นหนึ่งที่ดำเนินการโดยสภาวิจัยแห่งชาติของแคนาดาในปี 1949 เพื่อประเมินการสั่นสะเทือนที่เกิดจากรถบัส ของ Sutherland (1949) โดยการศึกษาพบว่า การสั่นสะเทือนเกิดจากสาเหตุต่างๆ เช่น ความเร็ว น้ำหนัก และสภาพผิวถนน ซึ่งการเคลื่อนไหวที่ทำให้เกิดการสั่นสะเทือนเรียกว่า Harmonic Motion และพบอีกว่าการสั่นสะเทือนจากรถบัสมีการสั่นสะเทือนในแนวตั้ง (Vertical) มากที่สุด รองลงมาคือ แนวยาว (Longitudinal) และแนวขวาง (Transverse) ตามลำดับ Taniguchi and Sawada (1979) ทำการศึกษาลักษณะการแพร่กระจายของการสั่นสะเทือนที่เกิดจากการจราจร โดยมีรถบรรทุกเป็นแหล่งกำเนิดการสั่นสะเทือน ซึ่งทำการทดสอบภาคสนามโดยการวัดการสั่นสะเทือนของพื้นดินที่ผิวดินและในพื้นดินที่ระดับความลึก 2 และ 4 เมตร ผลการศึกษาพบว่า คลื่น Rayleigh คือ คลื่นหลักของการสั่นสะเทือนที่มาจากรถบรรทุก และความถี่ของการสั่นสะเทือนที่เกิดจากรถบรรทุกนั้น ถูกกำหนดโดยสภาพของดิน

Al-Hunaidi and Rainer (1991) ได้ทำการศึกษาการสั่นสะเทือนบนพื้นดินที่เกิดจากการจราจร โดยทำการตรวจสอบการสั่นสะเทือนของพื้นดินที่มาจากยานพาหนะขนาดใหญ่และกำหนดให้มีความเร็วประมาณ 30, 50 และ 70 กม./ชม. จากการศึกษาพบว่าแอมพลิจูดของการสั่นสะเทือนของพื้นดินได้รับอิทธิพลอย่างมากเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยแอมพลิจูดจะเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ย 55% เมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นจาก 30 เป็น 50 กม./ชม. และเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 30% เมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นจาก 50 เป็น 70 กม./ชม. และยังพบว่าความไม่สม่ำเสมอของผิวถนนสามารถเพิ่มแอมพลิจูดของการสั่นสะเทือนของพื้นดินได้ถึง 42% ที่ความเร็ว 30 และ 50 กม./ชม.

Watts and Krylov (2000) ทำการศึกษาการสั่นสะเทือนบนพื้นดินที่เกิดจากยานพาหนะโดยใช้ยานพาหนะทั้งหมด 11 คัน ซึ่งมีลักษณะที่แตกต่างกันและน้ำหนักตั้งแต่ 1.4 – 38.4 ตัน และใช้ความเร็ว 15 – 45 กม./ชม. โดยการวัดการสั่นสะเทือนจะใช้ Geophone ซึ่งติดตั้งห่างจากเลนถนนซ้ายสุด 6 เมตร ผลการศึกษาพบว่า โดยทั่วไปแล้วขนาดของความเร็วอนุภาคสูงสุดในแกน X และแกน Y จะมีขนาดที่ต่ำกว่า 0.1 มม./วินาที ดังนั้นความเร็วอนุภาคสูงสุดในแกน Z จึงถูกนำไปวิเคราะห์ต่อ อีกทั้งยังพบอีกว่า ขนาดของความเร็วอนุภาคสูงสุดในแกน Z จะเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วของยานพาหนะเพิ่มขึ้น

Hajek, Blaney, and Hein (2006) การสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นบนพื้นดินที่มีแหล่งกำเนิดมาจากรถบรรทุก เกิดจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างแรงที่เกิดจากยางของรถและพื้นผิวถนน แม้ว่าพื้นผิวของถนนจะเรียบ แต่ในความเป็นจริงแล้วพื้นผิวของถนนจะไม่ราบเรียบอย่างสมบูรณ์ ด้วยเหตุนี้พื้นผิวถนนจึงเป็นหนึ่งในปัจจัยที่ทำให้เกิดการสั่นสะเทือนบนพื้นดิน และอีก 2 ปัจจัยที่ส่งผลต่อขนาดการสั่นสะเทือน คือ น้ำหนักและความเร็ว อย่างไรก็ตามแม้ว่าการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นจะต่ำ แต่ก็เป็นไปได้ที่จะรับรู้ได้เมื่อผู้รับสัมผัสอยู่ใกล้แหล่งกำเนิดมาก ซึ่งโดยทั่วไปแล้วเหตุที่ทำให้เกิดการสั่นสะเทือนและความถี่การสั่นสะเทือนที่จากรถบรรทุกมีอยู่ 3 อย่าง ได้แก่

1. แแรงกระแทกของแต่ละส่วนของดอกยาง ความถี่ที่เกิดการกระแทกของแรงเหล่านี้บนถนนโดยทั่วไปแล้วจะอยู่ในช่วง 800 ถึง 1500 เฮิรตซ์ ขึ้นอยู่กับชนิดของพื้นผิวถนนและรูปแบบของดอกยาง

2. แแรงกระแทกที่เชื่อมโยงกับน้ำหนักใต้สปริงของรถบรรทุก ซึ่งส่วนหนึ่งของยางสัมผัสกับพื้นผิวถนนประมาณ 10 ถึง 15 ครั้งต่อวินาที การเต้นของยางนี้สัมพันธ์กับความถี่ (เรียกอีกอย่างว่าการกระโดดของเพลลา (Hopping))

3. แแรงกระแทกที่เชื่อมโยงกับน้ำหนักเหนือสปริงของรถบรรทุก ซึ่งทั่วไปแล้วรถบรรทุก 5 เพลลา หรือรถบรรทุกกึ่งพ่วงจะเต้นขึ้น-ลง 1 – 2 ครั้งต่อวินาที โดยการเต้นนี้สัมพันธ์กับความถี่

Lak et al. (2011) ได้ทำการศึกษาความไม่สม่ำเสมอของพื้นผิวถนนต่อการเกิดการสั่นสะเทือนบนพื้นดิน โดยแบ่งถนนออกเป็น 6 ประเภท จากการศึกษาพบว่า ถนนที่มีความไม่สม่ำเสมอ ได้แก่ ถนนที่ทรุดโทรมและถนนที่สร้างโดยการใช้อิฐเรียงกันให้เป็นพื้นผิวถนนนั้น มีการสั่นสะเทือนที่มีค่าสูงกว่าถนนที่มีพื้นผิวเรียบในทุกระยะทางที่ทำการตรวจวัด คือ 4, 8, 16, 32 และ 64 เมตร จากขอบถนน อีกทั้งยังพบขนาดของความเร็วอนุภาคมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อความเร็วของยานพาหนะเพิ่มขึ้น แม้ว่าจะเป็นถนนที่มีผิวเรียบก็ตาม

Agostinacchio, Ciampa, and Olita (2014) ทำการศึกษา Dynamic Load ของยานพาหนะที่กระทำต่อพื้นผิวถนน โดยใช้รถยนต์ รถบัส และรถบรรทุก วิ่งด้วยความเร็ว 20, 40, 60, 80 และ 100 กม./ชม. จากการศึกษาพบว่า ประเภทของยานพาหนะมีผลต่อพื้นผิวถนน โดยรถบรรทุกมี Dynamic Load มากที่สุด ซึ่งมากกว่ารถบัสประมาณ 2 เท่า

Chandarasiri, De Silva, and De Silva (2015) ทำการศึกษากการสั่นสะเทือนที่เกิดการจรรยาในการก่อสร้างและการจรรยาปกติ โดยทำการตรวจวัดการสั่นสะเทือนของพื้นดินจากความเร็วอนุภาคสูงสุด (PPV) ทั้ง 3 ทิศทาง คือ Longitudinal, Transverse และ Vertical จากการศึกษาพบว่าระดับการสั่นสะเทือนของพื้นดินที่พบในช่วงของการจรรยาในการก่อสร้างสูงกว่าระดับการจรรยาปกติและพบขนาดของความเร็วอนุภาคสูงสุดมีขนาดที่สูงที่สุดในแนวตั้ง (Vertical) และทำการตรวจวัดรถบรรทุกขณะเคลื่อนที่ พบการสั่นสะเทือนของพื้นดินในแนวตั้ง (Vertical) อยู่

ในช่วง 0.127-1.400 มม./วินาที ในขณะที่ช่วงทิศทางตามขวาง (Transverse) คือ 0.079-0.730 มม./วินาที และทิศทางตามยาว (Longitudinal) คือ 0.127-0.825 มม./วินาที ตามลำดับ ในส่วนของ การจรรยาบรรณการสั่นสะเทือนตั้งแต่ 0.079 มม./วินาที ถึง 0.143 มม./วินาที ทั้งสามทิศทาง ซึ่งมี ขนาดต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับการสั่นสะเทือนของพื้นดินที่เกิดจากการจราจรในงาน ก่อสร้าง แสดงให้เห็นว่ารถขนาดใหญ่สามารถสร้างการสั่นได้มากกว่า

Zhou, Yan, Li, and Xie (2015) ศึกษาปัจจัยความเร็วของรถบรรทุกต่อระดับการ สั่นสะเทือน โดยความเร็วของรถบรรทุกถูกแบ่งออกเป็นสามกลุ่ม ได้แก่ 0 – 30 กม./ชม, 31 – 60 กม./ชม. และ 61 – 90 กม./ชม. ผลการศึกษาพบว่า ระดับการสั่นสะเทือนเพิ่มขึ้น เมื่อความเร็วของ รถบรรทุกสูงขึ้น โดยกลุ่มที่ระดับการสั่นสะเทือนสูงที่สุดคือ กลุ่ม 61 – 90 กม./ชม.

Aliyu, Abdu, and Yusuf (2016) กล่าวถึงปัญหาทั่วไปเกี่ยวกับการสั่นสะเทือนของพื้นดินที่ เกิดจากการก่อสร้างถนน โดยการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นนั้นอาจเกิดจากชั้นดินหรือชั้นหินที่อยู่ใต้ดิน ซึ่ง ทำให้เกิดการสะท้อนและการหักเหของ Body waves ที่เกิดจากแหล่งกำเนิดการสั่นสะเทือน ส่งผล ให้เกิด Rayleigh waves ผลกระทบที่เกิดจากคลื่นเหล่านี้อาจไม่ถูกตรวจพบบนพื้นดิน แต่อาจทำให้ เกิดการสั่นสะเทือนในอาคารที่อยู่ติดกับแหล่งกำเนิด และก่อให้เกิดความเสียหายได้ โดยเกิดจากการ รับการสั่นสะเทือนซ้ำๆ ซึ่งทำให้เกิดการรบกวนต่อผู้อยู่อาศัย

TOPLAK, LUBEJ, IVANIC, and LEP (2016) เปรียบเทียบการสั่นสะเทือนจากสภาพพื้นผิว ถนนที่ขรุขระและพื้นผิวถนนที่ทำการซ่อมแซมจนเรียบที่เกิดจากการสัญจรของยานพาหนะ วัดการ สั่นสะเทือนด้วย geophones ในตำแหน่งต่างๆ ของอาคารเก่าที่อยู่ติดกับถนน โดยเทียบกับเกณฑ์มา ตฐาน DIN 4150-3 จากการศึกษาพบว่าในถนนที่สภาพพื้นผิวถนนที่ขรุขระพบขนาดของ PPV สูงที่สุด คือ 12.40 มม./วินาที ซึ่งเกินกว่าเกณฑ์มาตรฐาน โดยเกณฑ์มาตรฐาน DIN 4150-3 กำหนดให้อาคาร เก่าไม่ควรได้รับการสั่นสะเทือนเกิน 3 มม./วินาที และในพื้นที่ผิวถนนที่ทำการซ่อมแซมแล้ว พบขนาด ของ PPV สูงที่สุดคือ 2.16 มม./วินาที ดังนั้นการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นการสัญจรของยานพาหนะจะ ลดลงและต่ำกว่าระดับความค่ามาตรฐานคือ 3 มม./วินาที

Astrauskas, Grubliauskas, and Januševičius (2017) ทำศึกษาการยานพาหนะที่แล่น ผ่านเนินชะลอความเร็ว โดยแบ่งยานพาหนะออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ รถยนต์ขนาดเล็ก รถบรรทุก ขนาดเล็ก รถขนส่งสินค้าหนัก การติดตั้งเครื่องวัดการสั่นสะเทือน จะติดตั้งห่างจากเนินชะลอ ความเร็ว 1 เมตร และ 10 เมตร เพื่อประเมินการแพร่กระจายของการสั่นสะเทือน จากการศึกษา พบว่า รถขนส่งสินค้าหนักมีขนาดการสั่นสะเทือนสูงกว่ายานพาหนะอีก 2 ประเภท โดยรถขนส่ง สินค้าหนักมีน้ำหนักประมาณ 18 ตัน ในขณะที่รถยนต์ขนาดเล็กและรถบรรทุกขนาดเล็ก มีน้ำหนัก ประมาณ 1.5 – 3.5 ตัน

ซุบทอง and ภู่วโรดม (2018) ศึกษาผลกระทบจากการสั่นสะเทือนเนื่องจากการจราจรที่อาจมีผลกระทบต่อความมั่นคงของโบราณสถาน จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ซึ่งได้ทำการวัดการสั่นสะเทือนในแนวแกน X คือ แนวตั้งฉากกับถนน แกน Y คือ แนวขนานกับถนน และแกน Z คือ แนวตั้ง โดยการทดสอบพบว่า การสั่นสะเทือนที่มาจากจราจรเกิดคลื่นในแนวแกนนตั้ง (Vertical) เป็นหลัก และพบการสั่นสะเทือนสูงสุดประมาณ 0.5 มม./วินาที ที่ระยะทางประมาณ 4 เมตร จากแหล่งกำเนิด ซึ่งเมื่อเทียบกับเกณฑ์มาตรฐาน DIN 4150-3 พบว่ายังต่ำกว่าเกณฑ์ที่แนะนำสำหรับอาคารที่ควรอนุรักษ์ซึ่งมีค่าไม่ควรเกิน 3 มม./วินาที นอกจากนี้ระดับความรุนแรงของการสั่นสะเทือนในแนวตั้งมีการลดทอนตามระยะทางที่คลื่นแพร่ไป

อาสนจินดา (2020) ทำการศึกษาระดับการรับรู้ของบุคคลจากการสั่นสะเทือนของโครงสร้างทางพิเศษยกระดับบูรพาวิถี โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินระดับการสั่นสะเทือนที่ส่งผลกระทบต่อผู้ปฏิบัติงาน ศึกษาบริเวณด้านรับชำระค่าผ่านทาง ซึ่งจะตรวจวัดค่าการสั่นสะเทือนในแนวตั้ง และประเมินระดับการรับรู้การสั่นสะเทือนจากค่าแอมพลิจูดความถี่และการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นจากยานพาหนะที่ผ่านช่องชำระค่าผ่านทาง โดยเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐาน จากการศึกษาพบว่า รถบรรทุก รถโดยสาร รถพ่วง รถกึ่งพ่วง เป็นยานพาหนะประเภทที่มีผลต่อระดับการสั่นสะเทือนอย่างมีนัยสำคัญ และการเคลื่อนที่ของยานพาหนะในจังหวะออกตัวหลังจากชำระค่าผ่านทางแล้วสามารถเพิ่มแอมพลิจูดของการสั่นสะเทือนและระดับการรับรู้อย่างมีนัยสำคัญ

Nguyen, Le, Jiao, and Yuan (2020) ได้ประเมินลักษณะความถี่ของระบบกันสะเทือนของยานพาหนะหนัก ผลการศึกษาพบว่า ความถี่ที่เกิดจากระบบกันกระเทือนไม่ได้รับผลกระทบจากความเร็วยานพาหนะและพื้นผิวถนน ในขณะที่น้ำหนักของยานพาหนะและค่าความแข็งของระบบกันสะเทือนจะได้รับผลกระทบอย่างชัดเจน

Shiferaw (2021) ศึกษาการสั่นสะเทือนโดยข้อมูลจะถูกรวบรวมที่ระยะห่าง 1 ม. และ 2 ม. จากยานพาหนะ และวัดการสั่นสะเทือนต่ำกว่าผิวดิน 50 ซม. จากรถบรรทุกน้ำหนัก 12,450 กก. ที่ความเร็ว 25 และ 50 กม./ชม. โดยใช้แอปพลิเคชันในสมาร์ตโฟนที่มีชื่อว่า iDynamics จากการศึกษาพบว่า ขนาดการสั่นสะเทือนจะเพิ่มขึ้นตามน้ำหนักของรถ และความเร็ว และลดลงตามระยะทางที่ห่างจากแหล่งกำเนิด

Beben, Maleska, Bobra, Duda, and Anigacz (2022) ศึกษาการสั่นสะเทือนในอาคารเก่าก่อนสงครามโลกครั้งที่ 2 โดยแหล่งกำเนิดจากการจราจร ซึ่งอาคารอยู่ห่างจากถนน 12 เมตร และในหนึ่งวันจะมีรถ 3 ประเภทแล่นผ่าน คือ รถยนต์น้ำหนัก 2 ตัน ใช้ความเร็ว 20 และ 40 กม./ชม. รถเกี่ยวขั้วน้ำหนัก 13 ตัน ใช้ความเร็ว 15 กม./ชม. และรถบรรทุกน้ำหนัก 41.2 ตัน ใช้ความเร็ว 35 – 40 กม./ชม. จากการศึกษาพบว่า การสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นจากรถทั้ง 3 ประเภท ไม่เกณฑ์มาตรฐาน

อาคารเก่า นอกจากนี้การสั่นสะเทือนที่เกิดจากยานพาหนะสามารถสังเกตได้ในช่วง 8–80 เฮิรตซ์ และระดับการสั่นสะเทือนในแนวตั้ง (Vertical) มีค่าสูงกว่าแนวนอน (Horizontal)

6.2 รายงานการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม (Environmental Impact Assessment) ในส่วนของการประเมินผลกระทบสั่นสะเทือนจากรถบรรทุก

โครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 211 อ.ท่าบ่อ - อ.ศรีเชียงใหม่ จ.หนองคาย พิจารณาเหตุการณ์ที่ทำให้เกิดความสั่นสะเทือนสูงสุดบนถนนแนวเส้นทางโครงการ คือ ผลกระทบจากรถบรรทุก 1 คัน ที่เคลื่อนที่ผ่าน ณ จุดสังเกต ซึ่งมีระยะห่างจากกึ่งกลางแนวเส้นทางโครงการ ประมาณ 7 เมตร พบว่าระดับความสั่นสะเทือนจากรถบรรทุกพ่วง ณ บริเวณพื้นที่อ่อนไหว ในกรณีไม่มีโครงการ ระยะก่อสร้าง และระยะดำเนินการ พบว่าระดับการสั่นสะเทือนจากรถบรรทุกอยู่ในระดับรู้สึกได้เพียงเล็กน้อย โดยระดับความสั่นสะเทือนนั้นไม่มีผลกระทบใด ๆ ต่ออาคาร (กรมทางหลวง, 2562c)

โครงการทางหลวงหมายเลข 348 อ.ปะคำ - อ.นางรอง จ.บุรีรัมย์ บริเวณรัศมี 500 เมตร จากแนวเส้นทางโครงการ ประกอบไปด้วย ชุมชน โรงพยาบาล วัดและโบราณสถาน โดยผลกระทบจากรถบรรทุก 1 คันที่เคลื่อนที่ผ่าน ณ จุดสังเกต โดยทั้งกรณีไม่มีโครงการและระยะดำเนินการ พบว่า ระดับความสั่นสะเทือนจากรถบรรทุกอยู่ในระดับไม่สามารถรับรู้ได้ไปจนถึงสามารถรับรู้ได้โดยง่าย มีค่าอยู่ในช่วง 0.0169 - 0.1779 มม./วินาที ซึ่งมีระยะห่างจากกึ่งกลางแนวเส้นทางโครงการ มากกว่า 26 เมตร และความเร็วรถบรรทุกวิ่งด้วยความเร็ว 80 กม./ชม. โดยระดับการสั่นสะเทือนข้างต้นไม่มีผลกระทบใด ๆ ต่อสิ่งปลูกสร้าง แต่อย่างไรก็ตามประชาชนที่อาศัยใกล้เคียงแนวโครงการ อาจได้รับแรงสั่นสะเทือนจากการก่อสร้างโครงการเพียงระยะสั้นๆ เท่านั้น (กรมทางหลวง, 2562a)

โครงการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมทางหลวงหมายเลข 3646 อ.รัฐประเศ-ชายแดน ไทย/กัมพูชา (บ.หนองเอี่ยน-สตึงบท) ตอนแยกทางหลวงหมายเลข 33 บรรจบทางหลวงหมายเลข 3586 มีชุมชนอยู่ใกล้กับแนวเส้นทางโครงการมีระยะห่างจากโครงการ ประมาณ 96 - 227 เมตร พิจารณาเหตุการณ์ที่ทำให้เกิดความสั่นสะเทือนสูงสุดบนถนนแนวเส้นทางโครงการ คือ ผลกระทบจากรถบรรทุก 1 คัน ที่เคลื่อนที่ผ่าน ณ จุดสังเกต พบปัญหาการสั่นสะเทือนร้อยละ 12.5 โดยเป็นปัญหาที่เกิดจากยานพาหนะบนถนนทางหลวง ซึ่งช่วงเวลาที่ได้รับผลกระทบ คือ ตอนกลางคืน นอกจากนี้ค่าความสั่นสะเทือนทั้ง 3 แกน ส่วนใหญ่อยู่ในระดับรู้สึกได้เพียงเล็กน้อย ส่วนผลกระทบต่อสิ่งปลูกสร้าง โครงสร้างอาคาร พบว่า ค่าความสั่นสะเทือนที่ตรวจวัดได้ไม่มีผลกระทบใด ๆ ต่ออาคารเก่าแก่หรืออาคารที่พักอาศัย และไม่ส่งผลเสียต่อโครงการทุกประเภท (กรมทางหลวง, 2562b)

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีดำเนินการวิจัย

ในการศึกษาผลกระทบจากการสันสเทือนของรถบรรทุกจากเส้นทางหลวงต่อชุมชนครั้งนี้ ผู้วิจัยแยกการทดลองออกเป็น 2 ส่วน คือ

1. ทดสอบภาคสนามโดยวัดขนาดการสันสเทือนของรถบรรทุกตั้งแต่ 6 - 22 ล้อ นอกเขตพื้นที่ชุมชน
2. การศึกษาผลกระทบจากการสันสเทือนของรถบรรทุกในอาคารในเขตพื้นที่ชุมชน ทดสอบภาคสนามโดยการวัดขนาดการสันสเทือนของรถบรรทุกเมื่อสัญจรผ่านอาคารในชุมชน

3.1 พื้นที่ศึกษา

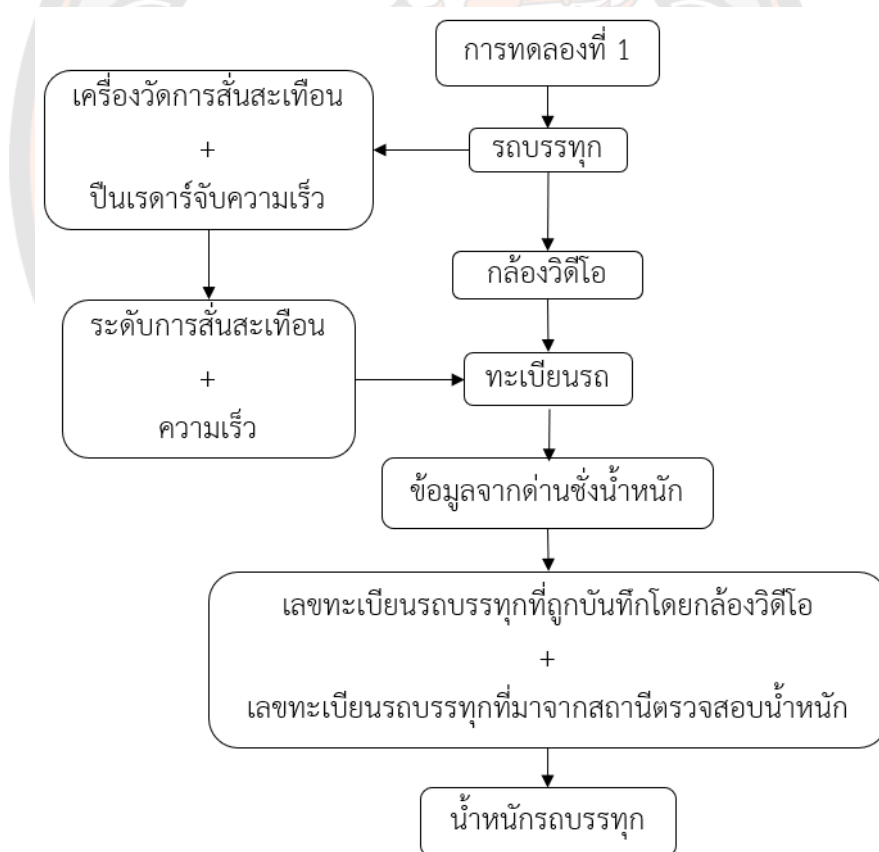
การทดลองที่ 1 ตรวจวัดขนาดการสันสเทือน ริมทางหลวงหมายเลข 12 ก่อนถึงสถานีตรวจสอบน้ำหนักประมาณ 1 กิโลเมตร กม.ที่ 221+100 จากนั้นขอความอนุเคราะห์ข้อมูลน้ำหนักรถบรรทุกตั้งแต่ 6 - 22 ล้อ ที่ได้ตรวจวัดขนาดการสันสเทือนไว้แล้ว ณ สถานีตรวจสอบน้ำหนักพิษณุโลก (ขาเข้า) ที่ตั้งริมทางหลวงหมายเลข 12 กม.ที่ 220+000 สายทาง/ตอน พิษณุโลก-สุโขทัย ต.ไผ่ขอดตอน อ.เมืองพิษณุโลก จ.พิษณุโลก โดยถนนมีผิวการจราจรแบบแอสฟัลติกคอนกรีต 4 เลน มีเกาะกลางถนนแบบยก

การทดลองที่ 2 ผู้วิจัย เลือกชุมชนบ้านกร่าง ต.บ้านกร่าง อ.เมืองพิษณุโลก จ.พิษณุโลก เนื่องจากเป็นชุมชนที่มีบ้านเรือนที่มีผู้อยู่อาศัยติดริมถนนทางหลวง และมีการสัญจรของรถบรรทุกเป็นปริมาณมาก สัญจรตลอด 24 ชม. โดยชุมชนบ้านกร่าง ถนนมีผิวการจราจรแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก 8 เลน มีเกาะกลางถนนแบบยก มีระยะทางประมาณ 500 เมตร ตั้งแต่ กม.ที่ 222+800 - 222+300 ของทางหลวงหมายเลข 12 โดยชุมชนบ้านกร่าง ณ บริเวณตรวจวัด ประกอบไปด้วย อาคารพาณิชย์ อาคารที่ใช้เป็นสถานพยาบาล อาคารอยู่อาศัย อาคารที่ใช้ประโยชน์เพื่อกิจกรรมทางศาสนา และโรงเรียน

3.2 การเก็บรวบรวมข้อมูล

3.2.1 การทดลองที่ 1

ตรวจวัดการสั่นสะเทือนของรถบรรทุกตั้งแต่ 6 – 22 ล้อ ณ กม.ที่ 218+500 ของทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 12 ตั้งแต่วันที่ 4 – 13 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2565 เป็นเวลา 8 ชั่วโมงต่อวัน ตั้งแต่เวลา 8.00 – 16.00 น. รถบรรทุกที่ถูกวัดการสั่นสะเทือนนั้นถูกบันทึกด้วยกล้องวิดีโอ ทำให้สามารถเห็นเลขทะเบียนของรถบรรทุกได้ จากนั้นขอความอนุเคราะห์ข้อมูลน้ำหนักของรถบรรทุกที่ทำการตรวจวัดการสั่นสะเทือนไว้จากสถานีตรวจสอบน้ำหนักพิษณุโลก ที่ตั้งอยู่ริมทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 12 กม. ที่ 222+000 โดยข้อมูลจากสถานีตรวจสอบน้ำหนักประกอบไปด้วยเลขทะเบียนรถบรรทุกและน้ำหนักรถบรรทุก (ดังภาพ 14) จากนั้นทำการตรวจสอบเลขทะเบียนรถบรรทุกที่ถูกบันทึกไว้โดยกล้องวิดีโอกับเลขทะเบียนรถบรรทุกที่มาจากสถานีตรวจสอบน้ำหนักให้ตรงกัน เพื่อให้ทราบว่าน้ำหนักของรถบรรทุกที่ถูกบันทึกไว้โดยกล้องวิดีโอ นั้นมีน้ำหนักเท่าไร

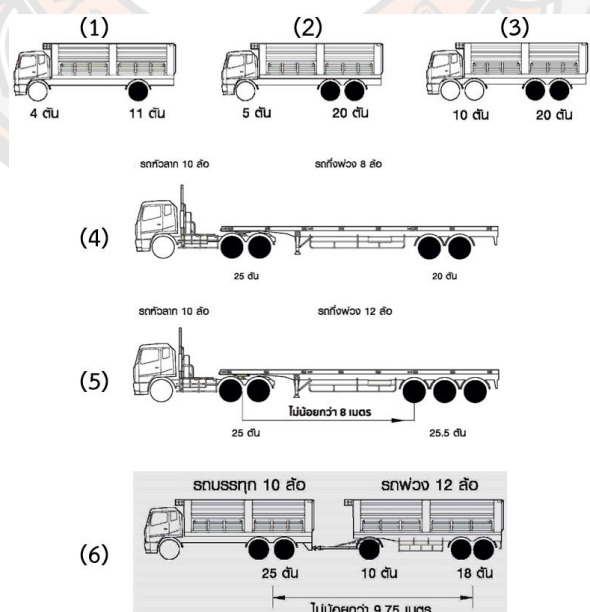


ภาพ 9 การทดลองที่ 1

ในส่วนองความเร็วของรถบรรทุกจะถูกวัดโดยป็นเรดาร์จับความเร็ว และกำหนดระยะห่างในการติดตั้งเครื่องวัดการสั่นสะเทือนที่ 3 เมตร จากช่องจราจรซ้ายสุด (ดังภาพ 13) ซึ่งจะทดสอบการสั่นสะเทือนเฉพาะรถบรรทุกที่วิ่งในเลนซ้ายสุดเท่านั้น และเก็บข้อมูลแบบไม่จำกัดจำนวนในระยะเวลาที่กำหนด โดยประเภทของรถบรรทุกและน้ำหนักบรรทุกกำหนดให้เป็น 6 สิ่งทดลอง ดังตาราง 5

ตาราง 5 ประเภทของรถบรรทุกและน้ำหนักบรรทุก

ประเภทรถบรรทุก	น้ำหนักเปล่า (ตัน)	น้ำหนักบรรทุกสูงสุด (ตัน)
1 รถบรรทุก 6 ล้อ	5	15
2 รถบรรทุก 10 ล้อ	7	25
3 รถบรรทุก 12 ล้อ	8.5	30
4 รถบรรทุกกึ่งพ่วง 18 ล้อ	14.5	45
5 รถบรรทุกกึ่งพ่วง 22 ล้อ	18	50.5
6 รถบรรทุกพ่วง 22 ล้อ	20	50.5



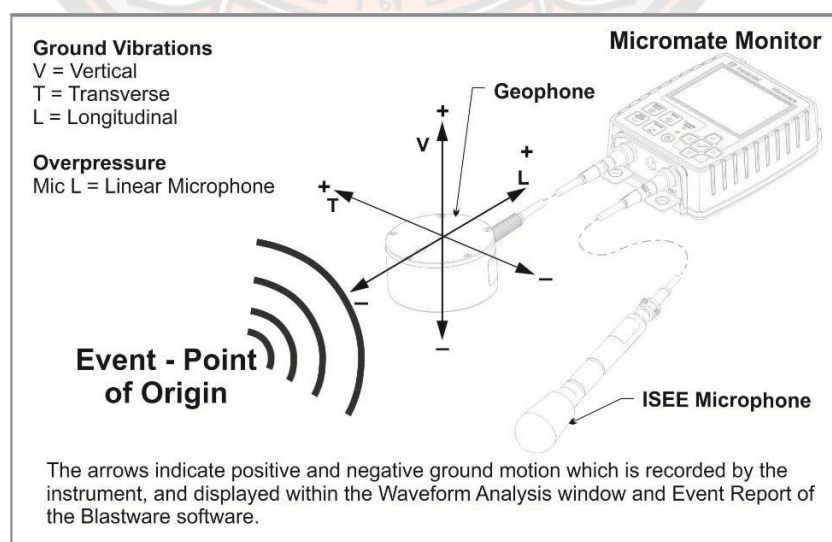
ภาพ 10 การจำแนกประเภทรถบรรทุก 6 – 22 ล้อ

(1) 6 ล้อ (2) 10 ล้อ (3) 12 ล้อ (4) 18 ล้อ (5) กึ่งพ่วง 22 ล้อ (6) พ่วง 22 ล้อ

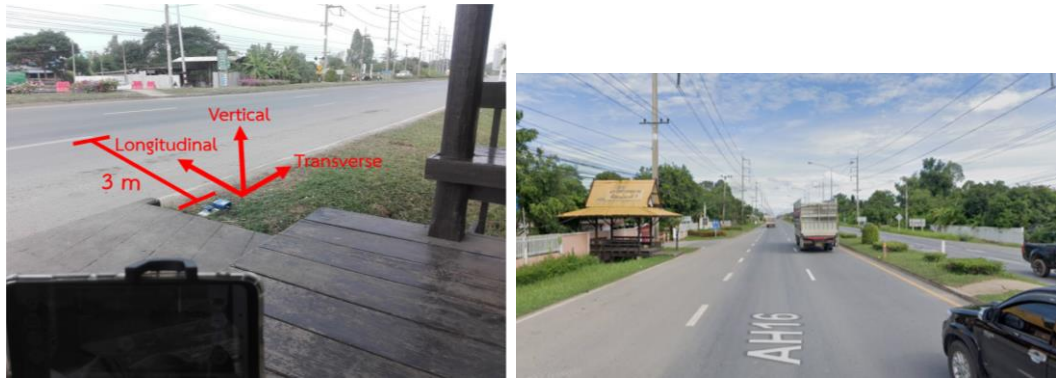
การตั้งค่าการทำงานของเครื่องมือวัดการสั่นสะเทือน โดยให้เครื่องมือวัดการสั่นสะเทือนทำการบันทึกแอมพลิจูดการสั่นสะเทือนเป็นเวลา 3 วินาที เมื่อการสั่นสะเทือนถึงเกณฑ์ที่กำหนดไว้ (Trigger Level) คือ 0.127 มม./วินาที ดังภาพ 11 โดยตัวเลขดังกล่าวนั้นเป็นค่าการสั่นสะเทือนค่าต่ำที่สุดที่เครื่องมือวัดการสั่นสะเทือนในการศึกษาครั้งนี้สามารถบันทึกได้ กล่าวคือการสั่นสะเทือนที่มีค่าต่ำกว่า 0.127 มม./วินาที ข้อมูลจะแสดงเป็น <math><0.127</math> มม./วินาที ซึ่งจะไม่สามารถนำข้อมูลมาใช้วิเคราะห์ต่อไปได้ และให้ติดตั้งหัววัดด้านที่หันหน้าไปทางแหล่งกำเนิด โดยที่การสั่นสะเทือนของคลื่นตามยาว (Longitudinal) คือ แนวตั้งฉากกับถนน คลื่นตามขวาง (Transverse) คือ แนวขนานกับถนน และ คลื่นในแนวตั้ง (Vertical) คือ แนวตั้ง ดังภาพ 12 และตำแหน่งการวางเครื่องมือวัดการสั่นสะเทือน ดังภาพ 13




ภาพ 11 Trigger Level Geophone ตั้งเป็น 0.127 มม./วินาที



ภาพ 12 ทิศทางการติดตั้งหัววัดการสั่นสะเทือน



ภาพ 13 ตำแหน่งการวางเครื่องมือวัดการสันสะเทือน



สถานีตรวจสอบน้ำหนักติงงูโลก(ขาเข้า)
สำนักงานควบคุมน้ำหนักยานพาหนะ กรมทางหลวง

หน้า 1
วันเวลาที่พิมพ์
8/2/2565 07:11:26
น้ำหนักรถหน่วยเป็น กิโลกรัม

รายงานผลการวัดน้ำหนักรถบรรทุก

ตั้งแต่วันที่เวลา	7/2/2022 08:00:00
ถึงวันที่เวลา	7/2/2022 17:00:00
เจ้าหน้าที่บันทึกข้อมูล	นางศิริวรรณ บุญด้วง
ผลการวัด (บน/เกิน/ไม่เกิน)	ทั้งหมด

จำนวนรถที่เข้าทั้งหมด	216 คัน
จำนวนรถที่น้ำหนักเกิน	14 คัน
จำนวนรถที่ไม่มีน้ำหนักเกิน	202 คัน

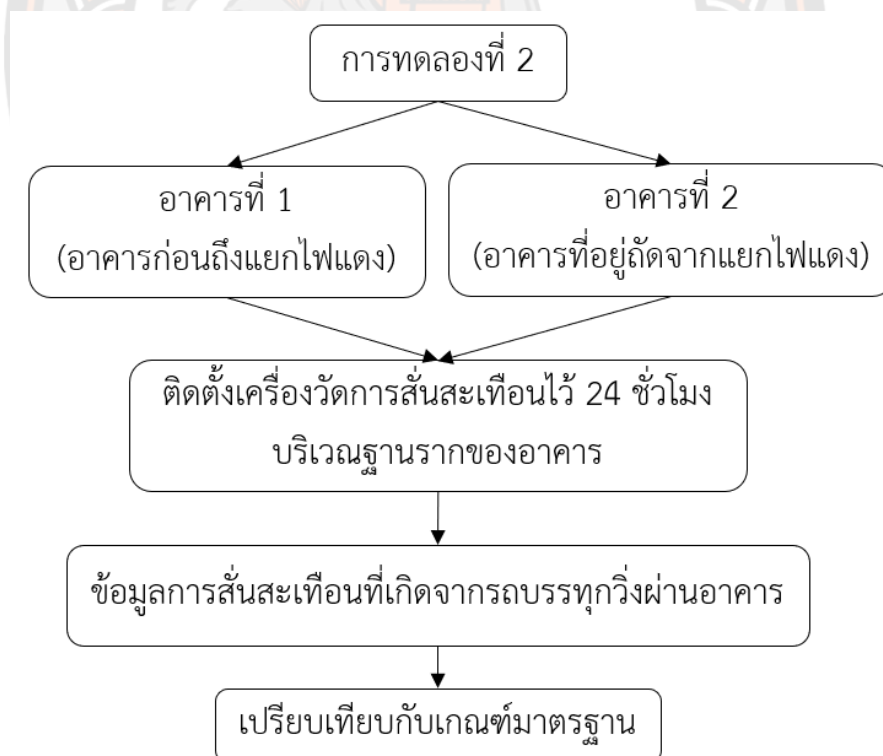
ลำดับที่	วันเวลา	ประเภทรถ	ตักัด	รถตักัด (ตัน)	น้ำหนักรถ	น้ำหนักเกิน	ทะเบียนรถ	สถานะ	ซ้ดัดโนมิติ	ผู้บันทึก	ผู้ขับ
1	7/2/2565 15:57:46	2 เหลา 4 ล้อ ใซ้ยาง 6 เส้น	15,000	0	11,660	0	80-9511	ไม่เกิน	Y	นางศิริวรรณ บุญด้วง	-
2	7/2/2565 15:55:45	รถลากจูง 4 เหลา 8 ล้อ ใซ้ยาง 12 เส้น ลากรถพ่วง 2 เหลา 4 ล้อ ใซ้ยาง 8 เส้น(Full)	50,500	0	50,450	0	81-5454	ไม่เกิน	Y	นางศิริวรรณ บุญด้วง	-
3	7/2/2565 15:53:32	2 เหลา 4 ล้อ ใซ้ยาง 6 เส้น	15,000	0	9,740	0	81-5690	ไม่เกิน	Y	นางศิริวรรณ บุญด้วง	-
4	7/2/2565 15:49:24	2 เหลา 4 ล้อ ใซ้ยาง 6 เส้น	15,000	0	7,000	0	70-7796	ไม่เกิน	Y	นางศิริวรรณ บุญด้วง	-
5	7/2/2565 15:49:12	รถลากจูง 3 เหลา 6 ล้อ ใซ้ยาง 10 เส้น ลากรถพ่วง 3 เหลา 6 ล้อ ใซ้ยาง 12 เส้น	50,500	0	50,250	0	70-1044	ไม่เกิน	Y	นางศิริวรรณ บุญด้วง	-
6	7/2/2565 15:46:29	3 เหลา 6 ล้อ ใซ้ยาง 10 เส้น	25,000	0	11,800	0		ไม่เกิน	Y	นางศิริวรรณ บุญด้วง	-

ภาพ 14 ตัวอย่างข้อมูลน้ำหนักของรถบรรทุกจากสถานีตรวจสอบน้ำหนักพิชญ์โลก

3.2.2 การทดลองที่ 2

ติดตั้งเครื่องวัดการสั่นสะเทือนในอาคารที่อยู่ใกล้ริมถนนในพื้นที่ชุมชน จากนั้นทำการตรวจวัดการสั่นสะเทือนที่เกิดจากรถบรรทุกที่สัญจรผ่าน โดยการตรวจวัดการสั่นสะเทือนในอาคารครั้งนี้ ได้ดำเนินการตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 37 (พ.ศ. 2553) เรื่อง กำหนดมาตรฐานความสั่นสะเทือนเพื่อป้องกันผลกระทบต่ออาคาร ลงวันที่ 26 เมษายน 2553 และคู่มือตรวจวัดความสั่นสะเทือนเพื่อป้องกันผลกระทบต่ออาคาร กรมควบคุมมลพิษ

ตรวจวัดการสั่นสะเทือนโดยติดตั้งเครื่องวัดการสั่นสะเทือนไว้ 24 ชั่วโมง 1 ตำแหน่งของบริเวณที่จะเป็นฐานรากของอาคารที่อยู่ใกล้ริมถนนของทั้ง 2 อาคาร ซึ่งห่างจากช่องจราจรซ้ายสุด 6 เมตร ได้แก่ อาคารบริเวณก่อนถึงแยกไฟแดง กม.ที่ 222+800 ของทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 12 (ดังภาพ 17) และอาคารที่อยู่ถัดจากแยกไฟแดง กม.ที่ 222+400 ของทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 12 (ดังภาพ 18) โดยจะกำหนดให้เป็นอาคารที่ 1 และอาคารที่ 2 ตามลำดับ ซึ่งข้อมูลการสั่นสะเทือนที่ได้ ณ จุดตรวจวัดของการทดลองที่ 2 เป็นข้อมูลการสั่นสะเทือนเกิดจากรถบรรทุกที่สัญจรผ่านเขตชุมชนที่จะสามารถนำไปวิเคราะห์ผลกระทบต่ออาคารโดยการเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด



ภาพ 15 การทดลองที่ 2



ภาพ 16 ตำแหน่งอาคารที่ติดตั้งเครื่องวัดการสั่นสะเทือน



ภาพ 17 อาคารก่อนถึงแยกไฟแดง



ภาพ 18 อาคารที่อยู่ถัดจากแยกไฟแดง

3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับปัจจัยการศึกษาที่ส่งผลต่อการสั่นสะเทือนที่เกิดจากรถบรรทุกแต่ละประเภทในการศึกษาครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ใช้แบ่งการวิเคราะห์ข้อมูล ดังนี้

1. การทดลองที่ 1 เปรียบเทียบความแตกต่างของการสั่นสะเทือนโดยใช้ค่าความเร็วอนุภาคสูงสุด, ความถี่ในรูปแบบ Zero crossing และความถี่ในรูปแบบ Fast Fourier Transform ของรถบรรทุก 6 - 22 ล้อ โดยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) ทดสอบความแตกต่างของขนาดการสั่นสะเทือนและความถี่ ซึ่งใช้สถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA) โดยเลือกวิธี Duncan

2. ข้อมูลการสั่นสะเทือนที่ได้จากการทดลองที่ 1 นำมาวิเคราะห์เพิ่มเติม ได้แก่

2.1. ความสัมพันธ์ระหว่างระดับการสั่นสะเทือนและความถี่ของรถบรรทุกกับน้ำหนัก ในแต่ละระดับความเร็ว

2.2 ความแตกต่างของระดับการสั่นสะเทือนและความถี่รถบรรทุกที่มีน้ำหนักเท่ากัน แต่มีความเร็วต่างกันและระดับการสั่นสะเทือนและความถี่รถบรรทุกที่มีน้ำหนักต่างกันแต่มีความเร็วเท่ากัน

3. ขนาดการสั่นสะเทือนในอาคารที่มีทางหลวงแผ่นดินผ่านพื้นที่ชุมชน

3.1 ขนาดการสั่นสะเทือนและความถี่ใน 24 ชม. ของอาคารที่อยู่บริเวณก่อนถึงแยกไฟแดง และอาคารที่อยู่ถัดจากแยกไฟแดง

3.2 ความแตกต่างของขนาดการสั่นสะเทือนและความถี่ของอาคารที่อยู่บริเวณก่อนถึงแยกไฟแดง และอาคารที่อยู่ถัดจากแยกไฟแดง เปรียบเทียบความแตกต่างโดยใช้สถิติ Independent Samples T-Test

3.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. อุปกรณ์ตรวจวัดการสั่นสะเทือน

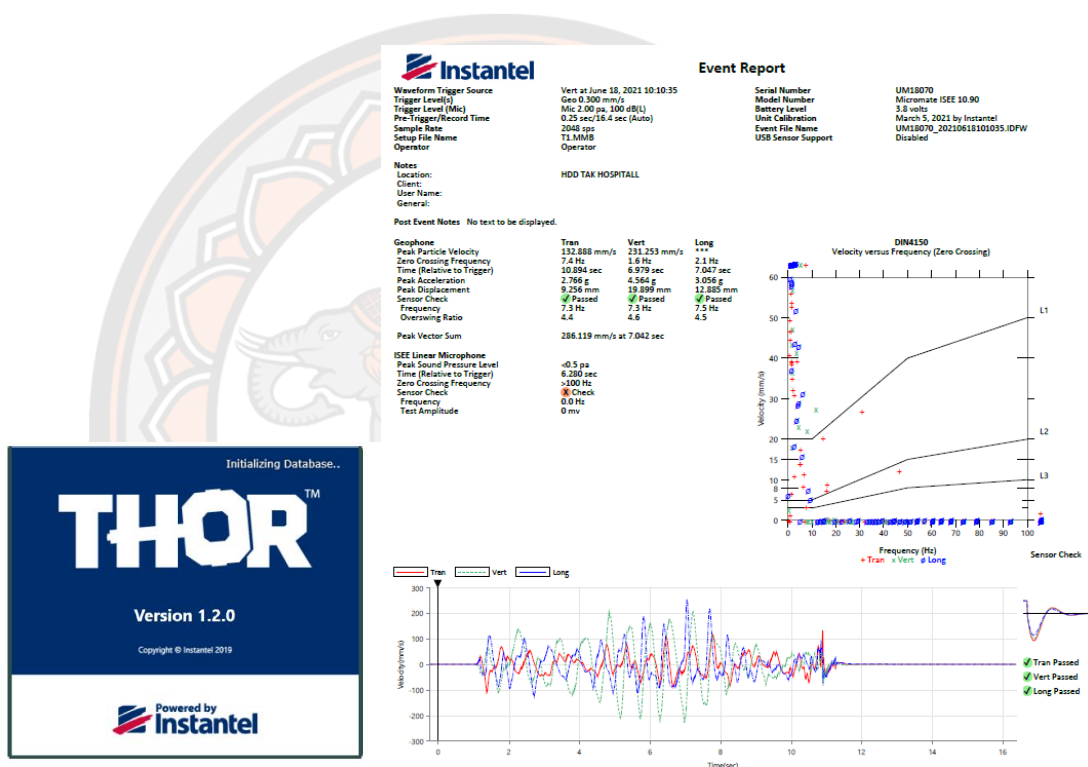
ตรวจวัดการสั่นสะเทือนโดยเครื่องวัดความสั่นสะเทือนชนิด 3 แกน ของ InstanTel Inc. รุ่น Micromate (ดังภาพ 19) โดยทรานสดิวเซอร์วัดการสั่นสะเทือนคือ Geophone แบบ DIN Triaxial Geophone (1-315 Hz) ซึ่งเป็นเครื่องวัดความสั่นสะเทือนตามมาตรฐาน DIN 45669-1 โดยมีการบันทึก Peak Particle Velocity ในหน่วย มม./วินาที และความถี่ ทั้งรูปแบบ Zero crossing และ Fast Fourier Transform มีหน่วย เฮิรตซ์ โดยข้อมูลถูกบันทึกเก็บไว้ในหน่วยความจำของเครื่อง



ภาพ 19 InstanTel Micromate

2. โปรแกรมสำหรับวิเคราะห์ข้อมูลการสั่นสะเทือน

เป็นโปรแกรมที่ออกแบบมาเพื่อใช้งานกับเครื่องตรวจวัดการสั่นสะเทือน มีพารามิเตอร์ที่ทำให้สะดวกต่อการใช้งาน สามารถเก็บรวบรวมข้อมูลแบบอิเล็กทรอนิกส์ที่มีรายละเอียดวันที่ เวลา และสถานที่ โดยรายงานผลการตรวจวัดเป็นค่าความเร็ว ความเร่งและการขจัด มีรายละเอียดความถี่ ประกอบในขณะที่เกิดค่าสูงสุดได้พร้อมกัน 3 แกน วิเคราะห์และ Plot กราฟเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานความสั่นสะเทือน และสามารถวิเคราะห์ข้อมูลผลการตรวจวัดเป็นแบบ Fast Fourier Transform และ Zero Crossing (ดังภาพ 20)



ภาพ 20 โปรแกรมสำหรับวิเคราะห์ข้อมูลการสั่นสะเทือน

3. ปืนเรดาร์จับความเร็ว

เป็นปืนเรดาร์จับความเร็ว ยี่ห้อ Bushnell Velocity Speed Gun (ดังภาพ 21) ใช้วัดความเร็วรถยนต์หรือยานพาหนะ สามารถวัดความเร็วได้ตั้งแต่วัตถุขนาดลูกเทนนิสในระยะ 27 เมตร ไปจนถึงรถยนต์ ในระยะ 457 เมตร โดยสามารถวัดความเร็วยานพาหนะได้ตั้งแต่ 16 - 322 กม./ชม.



ภาพ 21 Bushnell Velocity Speed Gun

4. กล้องวิดีโอ

ใช้โทรศัพท์มือถือรุ่น Redmi 9C ในการบันทึกวิดีโอ (ดังภาพ 22)



ภาพ 22 โทรศัพท์มือถือรุ่น Redmi 9C

บทที่ 4

ผลการศึกษา

การศึกษาผลกระทบจากการสิ้นสະเทือนของรถบรรทุกจากเส้นทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 12 ต่อชุมชนที่ตั้งอยู่ริมถนน จังหวัดพิษณุโลก โดยมีการแบ่งการทดลองออกเป็น 2 การทดลอง โดยการทดลองที่ 1 คือ ตรวจวัดขนาดการสิ้นสະเทือนของรถบรรทุกตั้งแต่ 6 - 22 ล้อ และการทดลองที่ 2 คือ ศึกษาผลกระทบจากการสิ้นสະเทือนของรถบรรทุกในอาคารที่อยู่ริมถนนในเขตพื้นที่ชุมชน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจวัดการสิ้นสະเทือนโดยจำแนกจากรถบรรทุกประเภทต่าง ๆ ที่วิ่งผ่านทางหลวงระหว่างจังหวัด และเพื่อประเมินผลกระทบของการสิ้นสະเทือนจากรถบรรทุกต่อพื้นที่เขตชุมชนที่มีทางหลวงระหว่างจังหวัดวิ่งผ่าน โดยมีผลการศึกษาดังนี้

จากการดำเนินการเก็บข้อมูลขนาดการสิ้นสະเทือนของรถบรรทุกตั้งแต่ 6 - 22 ล้อ ตั้งแต่วันที่ 4 - 13 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2565 เป็นเวลา 8 ชั่วโมงต่อวัน ตั้งแต่เวลา 8.00 - 16.00 น. ณ กม.ที่ 218+500 ของทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 12 การตรวจวัดการสิ้นสະเทือนจากการเคลื่อนที่ของรถบรรทุกจำนวนข้อมูลที่เก็บบันทึกได้มีจำนวนทั้งหมด 238 คัน ซึ่งเป็นจำนวนรถบรรทุกที่ทำการซั่งน้ำหนักแล้ว โดยได้แสดงปริมาณข้อมูลของรถบรรทุกแต่ละประเภทดังตาราง 6 และจากการตรวจวัดความเร็วรถบรรทุกพบว่า มีความเร็วตั้งแต่ 51 - 80 กม./ชม. เนื่องจากพื้นที่ศึกษามีสภาพการจราจรปกติ รถบรรทุกจึงสามารถวิ่งทำความเร็วได้ปกติ โดยไม่มีการชะลอความเร็ว ความเร็วของรถบรรทุกที่บันทึกได้จึงเป็นความเร็วที่มากกว่า 50 กม./ชม. ขึ้นไปจนถึง 80 กม./ชม. ตามความเร็วที่กฎหมายกำหนด โดยผู้วิจัยทำการแบ่งความเร็วออกเป็น 3 ระดับ ดังตาราง 7

ตาราง 6 ปริมาณข้อมูลของรถบรรทุกแต่ละประเภท

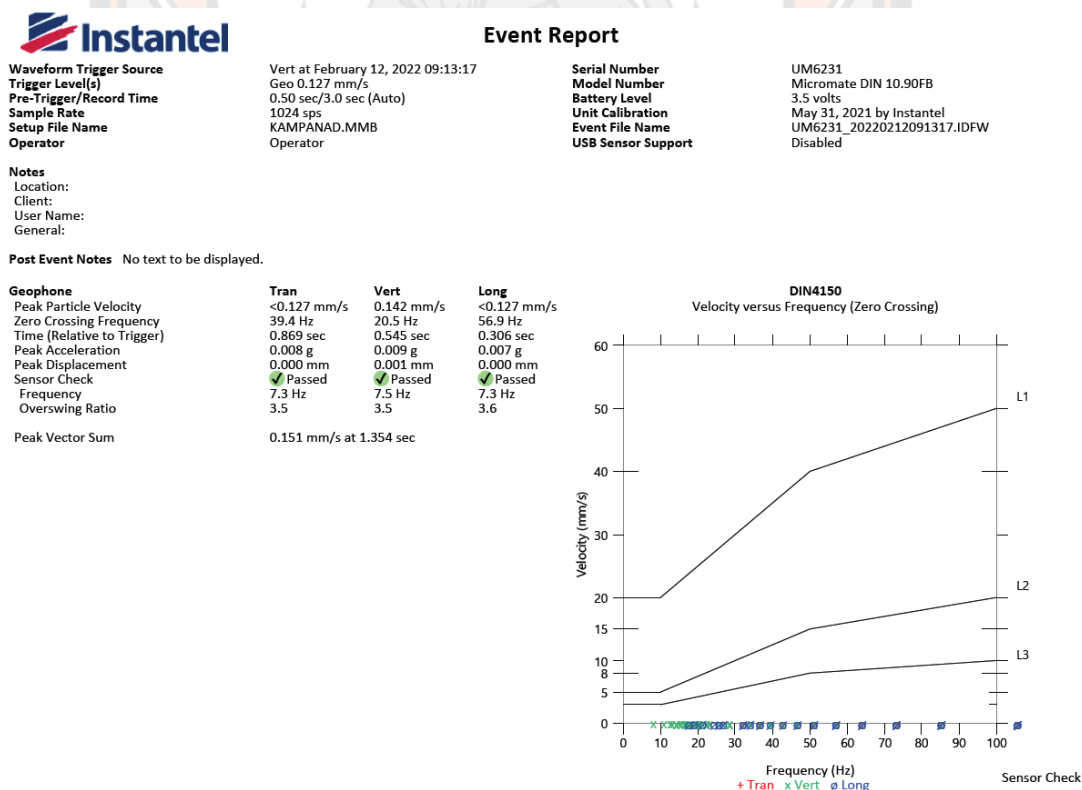
ประเภทรถบรรทุก	จำนวน (คัน)
6 ล้อ	92
10 ล้อ	36
12 ล้อ	6
18 ล้อ	19
22 ล้อ (กึ่งพ่วง)	18
22 ล้อ (พ่วง)	67

ตาราง 7 การแบ่งระดับความเร็วของรถบรรทุก

ระดับที่ 1	51 – 60 กม./ชม.
ระดับที่ 2	61 – 70 กม./ชม.
ระดับที่ 3	71 – 80 กม./ชม.

การสั่นสะเทือนของพื้นดินสามารถวัดการเคลื่อนตัวในแนวแกน X แกน Y และแกน Z ซึ่งทั้ง 3 แกน เป็นองค์ประกอบในการอ่านข้อมูลของเครื่องมือวัดแรงสั่นสะเทือน โดยแกน X แกน Y และแกน Z จะสามารถเรียกอีกรูปแบบหนึ่ง คือ เคลื่อนตามยาว (Longitudinal) เคลื่อนตามขวาง (Transverse) และเคลื่อนในแนวตั้ง (Vertical) ตามลำดับ

นอกจากนี้การศึกษาครั้งนี้เครื่องมือวัดการสั่นสะเทือนไม่สามารถวัดระดับขนาดความเร็วอนุภาคสูงสุดที่ต่ำกว่า 0.127 มม./วินาที ซึ่งส่งผลให้ไม่สามารถตรวจวัดขนาดความเร็วอนุภาคสูงสุดของเคลื่อนตามยาว และเคลื่อนตามขวาง (ดังภาพ 23) เนื่องจากขนาดความเร็วอนุภาคสูงสุดมีขนาดต่ำกว่าค่าดังกล่าว ดังนั้นขนาดความเร็วอนุภาคสูงสุดจะเป็นการวิเคราะห์เพียงเคลื่อนในแนวตั้งเท่านั้น



ภาพ 23 ตัวอย่างข้อมูลการตรวจวัดการสั่นสะเทือนของรถบรรทุก 6 ล้อ



ภาพ 24 ตัวอย่างรถบรรทุก 6 – 22 ล้อ

(1) 6 ล้อ (2) 10 ล้อ (3) 12 ล้อ (4) 18 ล้อ (5) กึ่งพ่วง 22 ล้อ (6) พ่วง 22 ล้อ

4.1 ระดับการสิ้นเปลืองของรถบรรทุกประเภทต่างๆ

4.1.1 ความเร็วอนุภาคสูงสุด

ผลการตรวจวัดความเร็วอนุภาคสูงสุดของรถบรรทุก 6 – 22 ล้อ ในแนวตั้ง ตามระดับความเร็วที่รถบรรทุกวิ่ง แสดงดังตาราง 8 - 10 โดยผลการตรวจวัดความเร็วอนุภาคสูงสุดของรถบรรทุกพบว่า ค่าเฉลี่ยของความเร็วอนุภาคสูงสุดของรถบรรทุกพ่วง 22 ล้อ ในแนวตั้งมีขนาดสูงกว่ารถบรรทุกทุกประเภทในทุกกลุ่มความเร็ว และความเร็วอนุภาคสูงสุดที่สูงที่สุดของรถบรรทุกจากการตรวจวัดครั้งนี้คือ 0.670 มม./วินาที ซึ่งเป็นของรถบรรทุกพ่วง 22 ล้อ น้ำหนัก 50.4 ตัน วิ่งด้วยความเร็ว 57 กม./ชม. (ความเร็วระดับที่ 1) ในขณะที่รถบรรทุกขนาดเล็กที่สุดของระดับความเร็วเดียวกันในการศึกษาครั้งนี้คือ รถบรรทุก 6 ล้อ ความเร็วอนุภาคสูงสุดที่ตรวจวัดได้คือ 0.221 มม./วินาที ซึ่งมีน้ำหนัก 13.31 ตัน และวิ่งด้วยความเร็ว 59 กม./ชม. (ระดับความเร็วที่ 1) พบว่าความเร็วอนุภาคสูงสุดของรถบรรทุกพ่วง 22 ล้อ เพิ่มขึ้น 203% จากความเร็วอนุภาคสูงสุดของรถบรรทุก 6 ล้อ กล่าวคือรถบรรทุกพ่วง 22 ล้อ มีระดับการสิ้นเปลืองสูงกว่ารถบรรทุก 6 – 18 ล้อ เมื่อรถบรรทุกมีความเร็วเท่ากัน

ตาราง 8 ระดับการสันสะเทือนสูงสุด ต่ำสุด และเฉลี่ยของรถบรรทุกประเภทต่าง ๆ ในแนวตั้ง
ความเร็วระดับที่ 1

ประเภทรถบรรทุก	ระดับการสันสะเทือน สูงสุด (มม./วินาที)	ระดับการสันสะเทือน ต่ำสุด (มม./วินาที)	ระดับการสันสะเทือน เฉลี่ย (มม./วินาที)
6 ล้อ	0.221	0.134	0.177
10 ล้อ	0.355	0.134	0.245
12 ล้อ	0.355	0.292	0.324
18 ล้อ	0.378	0.221	0.311
22 ล้อ (กึ่งพ่วง)	0.473	0.244	0.341
22 ล้อ (พ่วง)	0.670	0.221	0.379

ตาราง 9 ระดับการสันสะเทือนสูงสุด ต่ำสุด และเฉลี่ยของรถบรรทุกประเภทต่าง ๆ ในแนวตั้ง
ความเร็วระดับที่ 2

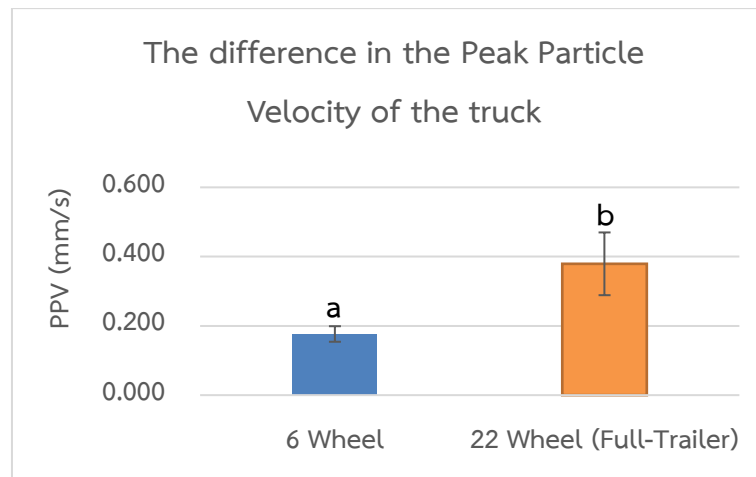
ประเภทรถบรรทุก	ระดับการสันสะเทือน สูงสุด (มม./วินาที)	ระดับการสันสะเทือน ต่ำสุด (มม./วินาที)	ระดับการสันสะเทือน เฉลี่ย (มม./วินาที)
6 ล้อ	0.276	0.134	0.182
10 ล้อ	0.363	0.181	0.259
12 ล้อ	0.244	0.213	0.229
18 ล้อ	0.520	0.189	0.348
22 ล้อ (กึ่งพ่วง)	0.441	0.284	0.354
22 ล้อ (พ่วง)	0.638	0.307	0.439

ตาราง 10 ระดับการสั่นสะเทือนสูงสุด ต่ำสุด และเฉลี่ยของรถบรรทุกประเภทต่าง ๆ ในแนวตั้ง ความเร็วระดับที่ 3

ประเภทรถบรรทุก	ระดับการสั่นสะเทือน	ระดับการสั่นสะเทือน	ระดับการสั่นสะเทือน
	สูงสุด (มม./วินาที)	ต่ำสุด (มม./วินาที)	เฉลี่ย (มม./วินาที)
6 ล้อ	0.370	0.150	0.212
10 ล้อ	0.481	0.236	0.366
12 ล้อ	0.347	0.347	0.347
18 ล้อ	0.481	0.418	0.447
22 ล้อ (กึ่งพ่วง)	0.355	0.268	0.312
22 ล้อ (พ่วง)	0.560	0.394	0.460

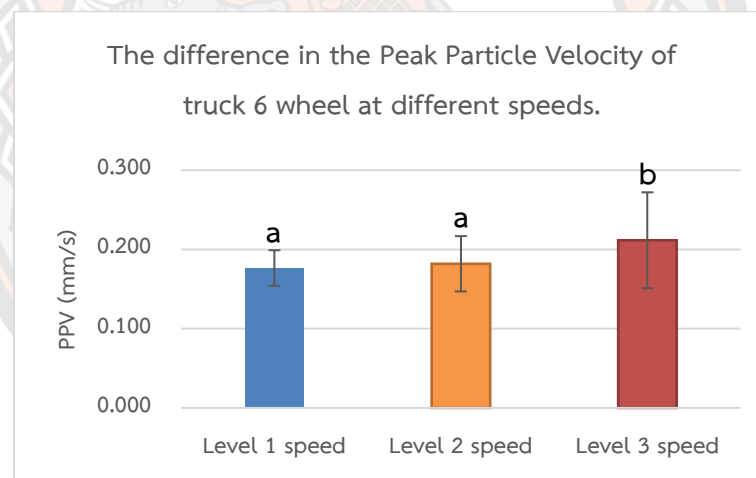
จากข้อมูลข้างต้น พบว่าความเร็วนุภาคสูงสุดมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อรถบรรทุกมีจำนวนล้อมากขึ้นในระดับความเร็วเดียวกัน ซึ่งความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของความเร็วนุภาคสูงสุดระหว่างรถบรรทุก 6 ล้อ กับรถบรรทุกพ่วง 22 ล้อ ในระดับความเร็วเดียวกัน (ดังภาพ 25) พบว่าความเร็วนุภาคสูงสุดที่เกิดขึ้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยความเร็วนุภาคสูงสุดเฉลี่ยเพิ่มขึ้นมากกว่า 100% ซึ่งรถบรรทุกทั้ง 2 ประเภทมีความเร็วนุภาคสูงสุดเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในทุกกลุ่มความเร็วเสมอ เนื่องจากมีน้ำหนักที่ต่างกันมาก โดยน้ำหนักอาจต่างกันมากถึง 35 ตัน ซึ่งน้ำหนักบรรทุกของรถบรรทุก 6 ล้อ มีน้ำหนักอยู่ในช่วง 5 - 15 ตัน และน้ำหนักบรรทุกสูงสุดของรถบรรทุกพ่วง 22 ล้อ มีน้ำหนักอยู่ในช่วง 20 - 50.5 ตัน ในขณะที่รถบรรทุกประเภทอื่น ๆ สามารถมีน้ำหนักที่ใกล้เคียงกับรถบรรทุก 6 ล้อ ได้ เช่น รถบรรทุก 10 ล้อ มีน้ำหนักอยู่ในช่วง 7 - 25 ตัน ดังนั้นการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นจึงมีขนาดที่ใกล้เคียงกัน หรือไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากน้ำหนักที่ไม่ต่างกันมาก

อย่างไรก็ตามความเร็วนุภาคสูงสุดมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อรถบรรทุกมีจำนวนล้อมากขึ้น โดยเมื่อพิจารณาโครงสร้างของรถบรรทุก 10 ล้อ พบว่ารถบรรทุกพ่วง 22 ล้อจะมีลักษณะเหมือนรถบรรทุก 10 ล้อ เพียงแต่เพิ่มส่วนพ่วงท้ายเข้าไป ดังนั้นความเร็วนุภาคสูงสุดที่เกิดจากรถบรรทุกพ่วง 22 ล้อ ก็คล้ายกับรถบรรทุก 10 ล้อ วิ่งต่อกัน 2 คัน ทำให้ขนาดของความเร็วนุภาคสูงสุดของรถบรรทุกพ่วง 22 ล้อ สูงกว่าขนาดของความเร็วนุภาคสูงสุดของรถบรรทุก 10 ล้อ



ภาพ 25 ความแตกต่างของความเร็วอนุภาคสูงสุดระหว่างรถบรรทุก 6 ล้อ กับรถบรรทุกพ่วง 22 ล้อ

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่ต่างกัน (a,b) แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



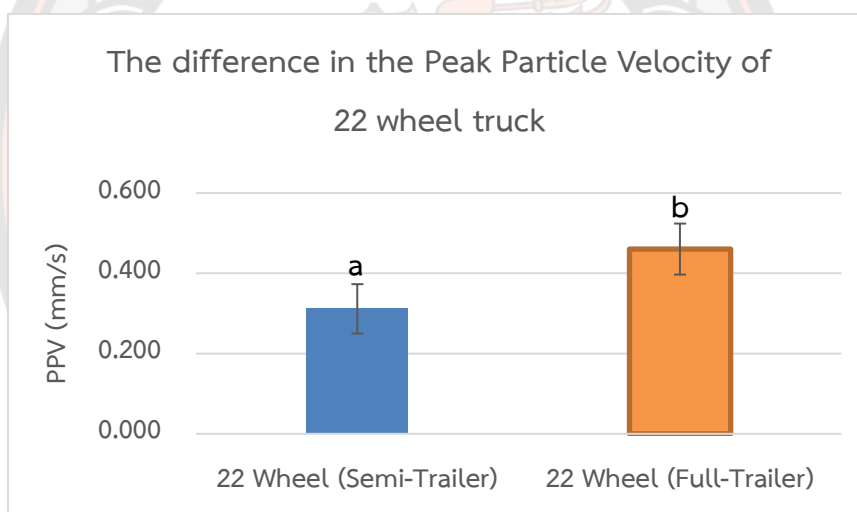
ภาพ 26 ความแตกต่างของความเร็วอนุภาคสูงสุดระหว่างรถบรรทุก 6 ล้อ ในความเร็วที่ต่างกัน

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่ต่างกัน (a,b) แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

นอกจากปัจจัยด้านน้ำหนักของยานพาหนะที่สามารถส่งผลต่อความเร็วอนุภาคสูงสุดแล้ว ปัจจัยด้านความเร็วของยานพาหนะยังส่งผลต่อความเร็วอนุภาคสูงสุดเช่นกัน จากภาพ 26 ความเร็วอนุภาคสูงสุดที่เกิดจากรถบรรทุก 6 ล้อ ที่มีความเร็วแตกต่างกัน พบว่าเมื่อความเร็วของรถบรรทุกเพิ่มขึ้นส่งผลให้ความเร็วอนุภาคสูงสุดมีขนาดมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยความเร็วอนุภาคสูงสุดของความเร็วระดับที่ 3 เพิ่มขึ้น 20% ของความเร็วอนุภาคสูงสุดของความเร็วระดับที่ 1

กล่าวคือรถบรรทุกที่มีน้ำหนักที่เท่ากันหรือประเภทเดียวกัน เมื่อทำความเร็วเพิ่มขึ้นประมาณ 20 กม./ชม. ส่งผลให้ความเร็วอนุภาคสูงสุดเพิ่มขึ้น 20%

รถบรรทุกกึ่งพ่วง 22 ล้อ กับรถบรรทุกพ่วง 22 ล้อ เป็นรถบรรทุกที่มีจำนวนล้อเท่ากันแต่ไม่ใช่รถบรรทุกประเภทเดียวกัน ขนาดความเร็วอนุภาคสูงสุดที่เกิดขึ้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ดังภาพ 27) โดยที่รถบรรทุกพ่วง 22 ล้อ มีขนาดความเร็วอนุภาคสูงสุดมากกว่า โดยเพิ่มขึ้น 47% ของรถบรรทุกกึ่งพ่วง 22 ล้อ เนื่องจากอย่างที่กล่าวมาข้างต้น รถบรรทุกพ่วง 22 ล้อ นั้นคล้ายกับรถบรรทุก 10 ล้อ วิ่งต่อกัน 2 คัน ซึ่งน้ำหนักรถ และน้ำหนักบรรทุกทั้งหมดลงบนเพลาล้อสมบูรณ์ในตัวเอง ในขณะที่รถบรรทุกกึ่งพ่วง 22 ล้อ ส่วนหัวคือ รถหัวลากที่มีไว้สำหรับลากไม่ใช่สำหรับบรรทุก การรับน้ำหนักบรรทุกรถหัวลากและรถกึ่งพ่วง น้ำหนักรถและน้ำหนักบรรทุกบางส่วนเฉลี่ยลงบนเพลาล้อของรถหัวลาก ดังนั้นความเร็วอนุภาคสูงสุดที่เกิดจากรถบรรทุกกึ่งพ่วงจึงไม่เท่ากับรถบรรทุกพ่วงแม้มีจำนวนล้อเท่ากัน

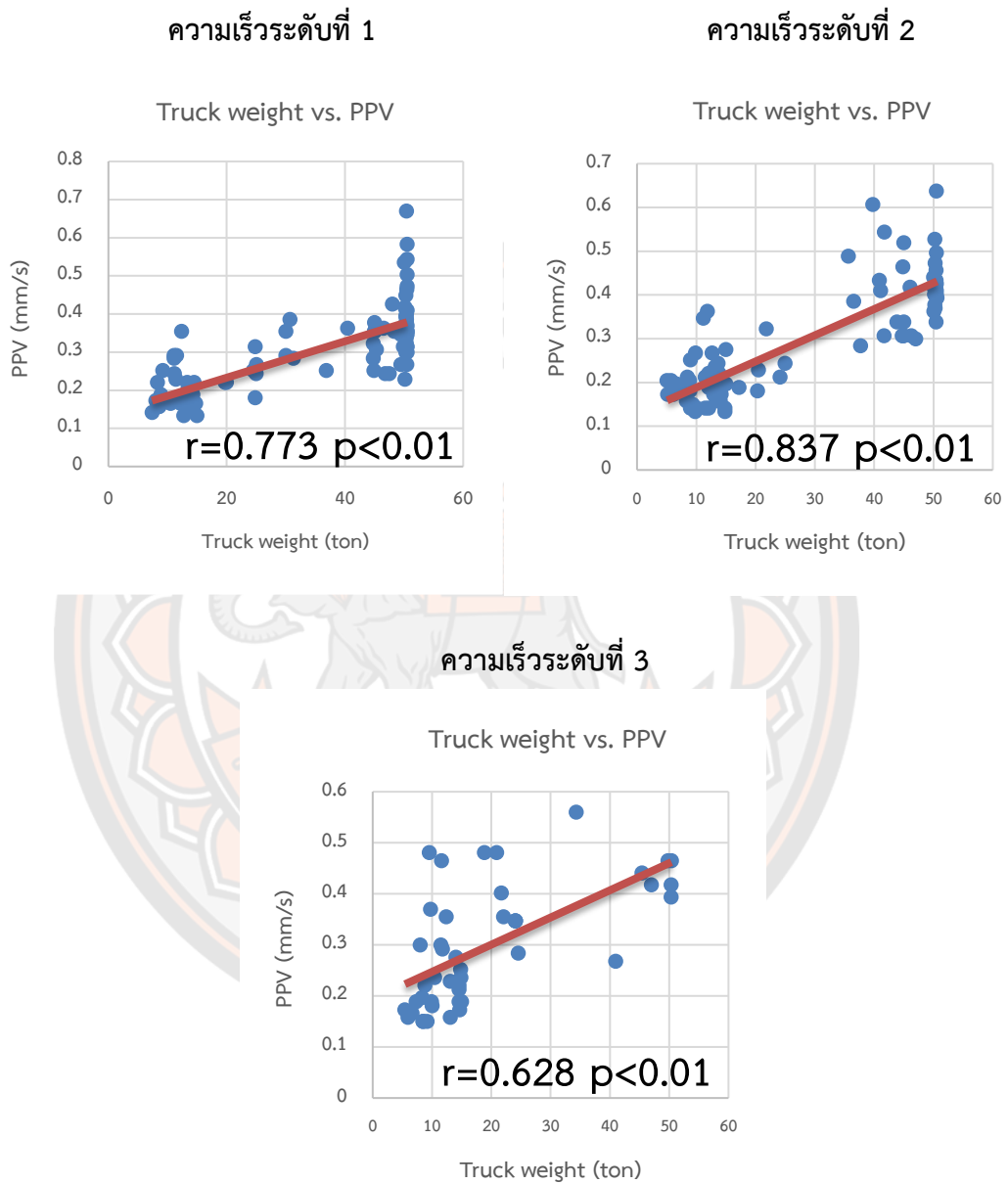


ภาพ 27 ความแตกต่างของความเร็วสูงสุดของอนุภาคของรถบรรทุก 22 ล้อ

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่ต่างกัน (a,b) แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากที่กล่าวมาข้างต้น เมื่อประเภทของรถบรรทุกมีการเปลี่ยนแปลงไป แสดงถึงน้ำหนักที่มากขึ้นหรือน้อยลง ซึ่งส่งผลให้ขนาดของความเร็วอนุภาคสูงสุดเปลี่ยนแปลงตาม โดยหากพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับความเร็วอนุภาคสูงสุดนั้น โดยใช้การวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson correlation) พบว่า มีความสัมพันธ์กันไปในทิศทางเดียวกัน โดยคลื่นในแนวตั้งของตัวแปรทั้งสองตัวในทุกระดับความเร็วมีความสัมพันธ์ทางสถิติที่ระดับ

นัยสำคัญ 0.01 หรือมีความสัมพันธ์กันไปในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือเมื่อน้ำหนักบรรทุกทุกเพิ่มขึ้นขนาดของความเร็วอนุภาคสูงสุดเพิ่มขึ้นตาม (ดังภาพ 28)



ภาพ 28 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับความเร็วอนุภาคสูงสุด (แนวตั้ง)

4.1.2 ความถี่การสั้นสะเทือน

4.1.2.1 Zero Crossing

ผลการตรวจวัด Zero Crossing ของรถบรรทุก 6 – 22 ล้อ ตามระดับความเร็วที่รถบรรทุกวิ่ง ซึ่งแสดงดังตาราง 11 - 13 โดยผลการตรวจวัดความถี่ Zero Crossing ที่ต่ำที่สุดของรถบรรทุกจากการตรวจวัดครั้งนี้คือ 3.2 เฮิรตซ์ ซึ่งเกิดขึ้นในแนวตั้ง โดยเป็นของรถบรรทุกพ่วง 22 ล้อ น้ำหนัก 50.5 ตัน วิ่งด้วยความเร็ว 59 กม./ชม. (ความเร็วระดับที่ 1) ในขณะที่รถบรรทุกขนาดเล็กที่สุดในระดับความเร็วเดียวกันและแนวเดียวกันในการศึกษา ครั้งนี้คือ รถบรรทุก 6 ล้อ ความถี่ Zero Crossing ต่ำที่สุดที่ตรวจวัดได้คือ 5.6 เฮิรตซ์ ซึ่งมีน้ำหนัก 14.16 ตัน และวิ่งด้วยความเร็ว 53 กม./ชม. (ความเร็วระดับที่ 1) พบว่า Zero crossing ต่ำที่สุดของรถบรรทุกพ่วง 22 ล้อ ลดลง 43% จาก Zero Crossing ต่ำที่สุดของรถบรรทุก 6 ล้อ กล่าวคือรถบรรทุกพ่วง 22 ล้อ มีค่าความถี่ต่ำกว่ารถบรรทุก 6 – 18 ล้อ เมื่อรถบรรทุกมีความเร็วเท่ากัน

ตาราง 11 Zero crossing สูงสุด ต่ำสุด และเฉลี่ยของรถบรรทุกประเภทต่าง ๆ ของคลื่นตามยาว คลื่นตามขวาง และคลื่นในแนวตั้ง ความเร็วระดับที่ 1

ประเภทรถบรรทุก	Zero Crossing สูงสุด (เฮิรตซ์)			Zero Crossing ต่ำสุด (เฮิรตซ์)			Zero Crossing เฉลี่ย (เฮิรตซ์)		
	Long	Tran	Vert	Long	Tran	Vert	Long	Tran	Vert
	6 ล้อ	73.1	100.0	25.6	8.7	10.9	5.6	28.6	46.9
10 ล้อ	39.4	100.0	22.3	7.2	5.7	9.1	19.8	34.4	17.6
12 ล้อ	28.4	19.0	16.5	17.1	12.2	60.0	22.8	15.6	11.3
18 ล้อ	30.1	25.6	21.3	11.9	8	4.5	18.2	16.1	13.5
22 ล้อ (กึ่งพ่วง)	28.4	36.6	20.5	5.1	7.9	5.4	14.1	17.1	14.0
22 ล้อ (พ่วง)	73.1	85.3	19.0	4.7	5.1	3.2	13.2	15.5	9.7

ตาราง 12 Zero crossing สูงสุด ต่ำสุด และเฉลี่ยของรถบรรทุกประเภทต่าง ๆ ของคลื่นตามยาว คลื่นตามขวาง และคลื่นในแนวตั้ง ความเร็วระดับที่ 2

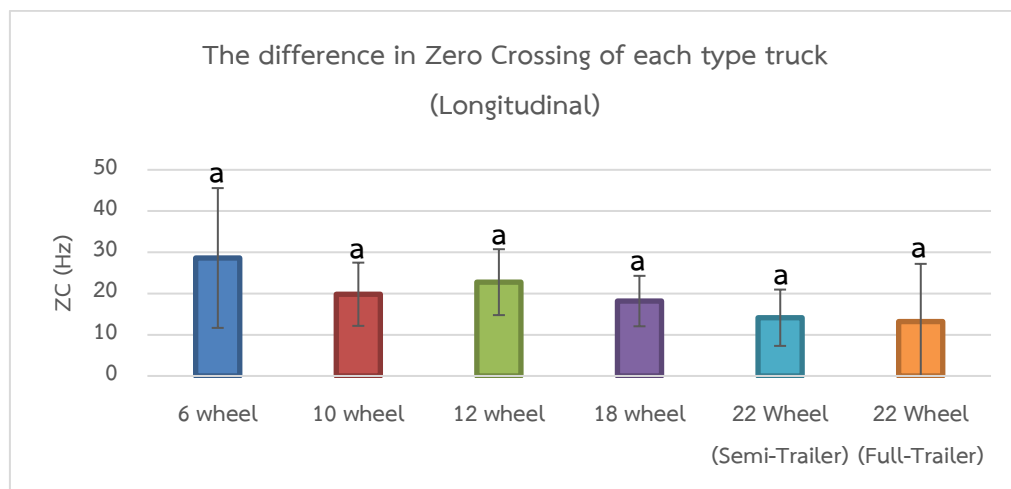
ประเภทรถบรรทุก	Zero Crossing สูงสุด (เฮิร์ตซ์)			Zero Crossing ต่ำสุด (เฮิร์ตซ์)			Zero Crossing เฉลี่ย (เฮิร์ตซ์)		
	Long	Tran	Vert	Long	Tran	Vert	Long	Tran	Vert
6 ล้อ	73.1	100.0	39.4	4.7	13.1	9	26.4	54.3	19.8
10 ล้อ	42.7	32.0	24.4	13.1	12.8	10.9	20.5	21.0	18.1
12 ล้อ	34.1	100.0	24.4	16.5	14.6	19.0	25.4	57.2	21.0
18 ล้อ	26.9	24.4	49.0	11.1	10.0	3.7	16.6	15.7	20.5
22 ล้อ (กึ่งพ่วง)	19.7	36.6	24.4	12.8	9.8	14.6	15.6	17.9	19.6
22 ล้อ (พ่วง)	56.9	56.9	20.5	6.6	7.5	3.8	19.1	16.2	10.7

ตาราง 13 Zero crossing สูงสุด ต่ำสุด และเฉลี่ยของรถบรรทุกประเภทต่าง ๆ ของคลื่นตามยาว คลื่นตามขวาง และคลื่นในแนวตั้ง ความเร็วระดับที่ 3

ประเภทรถบรรทุก	Zero Crossing สูงสุด (เฮิร์ตซ์)			Zero Crossing ต่ำสุด (เฮิร์ตซ์)			Zero Crossing เฉลี่ย (เฮิร์ตซ์)		
	Long	Tran	Vert	Long	Tran	Vert	Long	Tran	Vert
6 ล้อ	64.0	100.0	30.1	6.2	17.7	15.1	26.7	58.9	21.5
10 ล้อ	26.9	100.0	21.3	10.4	9.3	10.9	18.5	30.9	16.2
12 ล้อ	21.3	22.3	17.1	21.3	22.3	17.1	21.3	22.3	17.1
18 ล้อ	28.4	18.3	16.0	19.0	4.1	10.4	22.9	9.9	12.6
22 ล้อ (กึ่งพ่วง)	23.3	19.0	25.6	13.1	13.1	15.1	18.2	16.1	20.4
22 ล้อ (พ่วง)	20.5	25.6	17.1	16.0	10.9	5.4	17.5	16.9	13.6

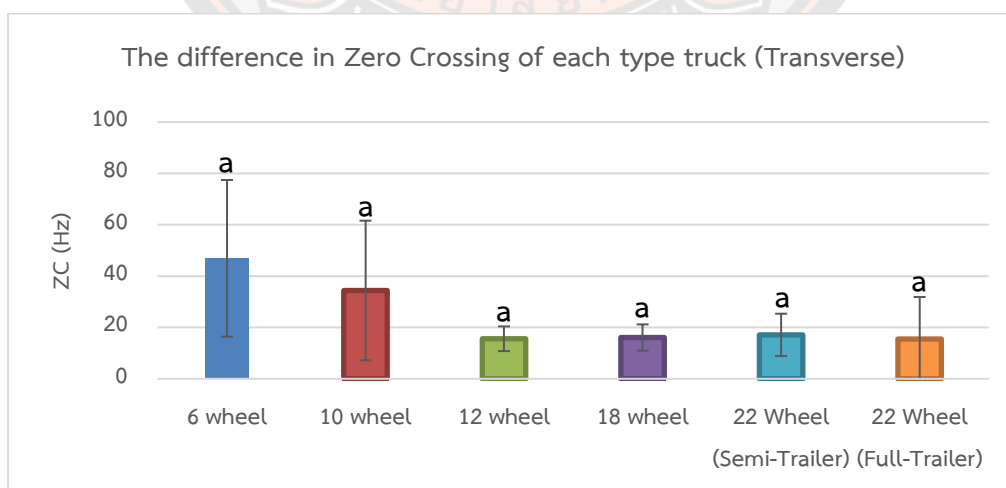
จากตารางข้างต้นพบว่า ความถี่ Zero Crossing ในแนวตั้ง มีแนวโน้มต่ำลงเมื่อรถบรรทุกมีจำนวนล้อมากขึ้นในระดับความเร็วเดียวกัน ซึ่งความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของความถี่ Zero Crossing ของคลื่นในแนวตั้ง (ดังภา 31) พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ที่

รถบรรทุก 6 ล้อ กับรถบรรทุกพ่วง 22 ล้อ ชัดเจนที่สุดเช่นเดียวกับขนาดความเร็วอนุภาคสูงสุดที่มีความแตกต่างกัน เนื่องจากมีน้ำหนักที่ต่างกันมาก ดังนั้นปัจจัยน้ำหนักของยานพาหนะนอกจากส่งผลให้ความเร็วอนุภาคสูงสุดเพิ่มขึ้นแล้ว ยังสามารถส่งผลให้เกิดค่าความถี่ต่ำ ในขณะความถี่ Zero crossing ของคลื่นตามยาว คลื่นตามขวาง ดังภาพ 29 และ 30 ความถี่ที่เกิดขึ้นโดยรถบรรทุกแต่ละประเภทไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) กล่าวคือ น้ำหนักของรถบรรทุกเพิ่มขึ้นส่งผลให้ความถี่ในแนวตั้งต่ำลงเท่านั้น



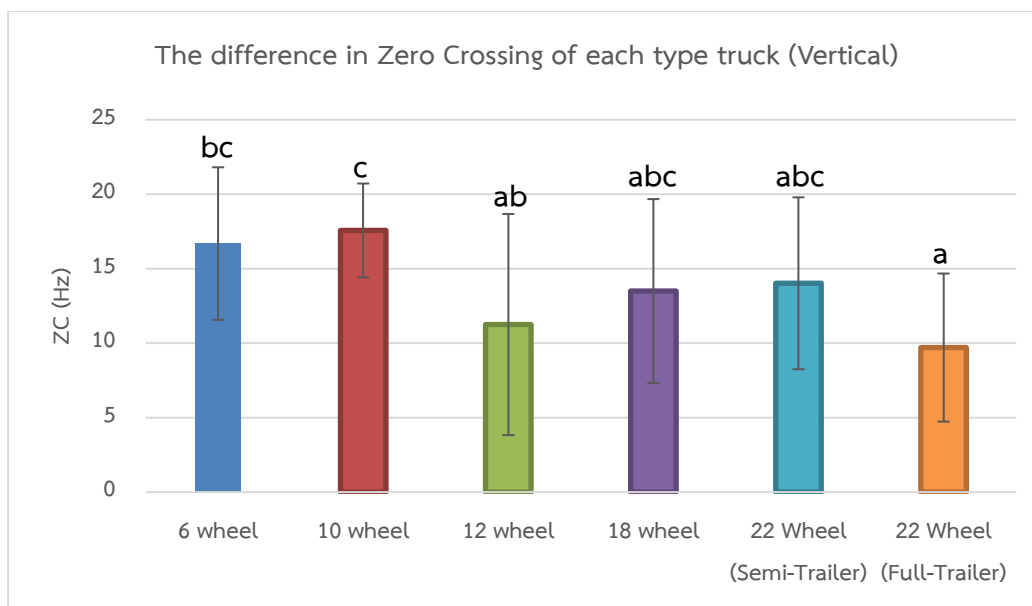
ภาพ 29 ความแตกต่างของ Zero Crossing ของรถบรรทุก 6 – 22 ล้อ (คลื่นตามยาว)

หมายเหตุ: ตัวอักษรไม่แตกต่างกัน (a) แสดงถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)



ภาพ 30 ความแตกต่างของ Zero Crossing ของรถบรรทุก 6 – 22 ล้อ (คลื่นตามขวาง)

หมายเหตุ: ตัวอักษรไม่แตกต่างกัน (a) แสดงถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

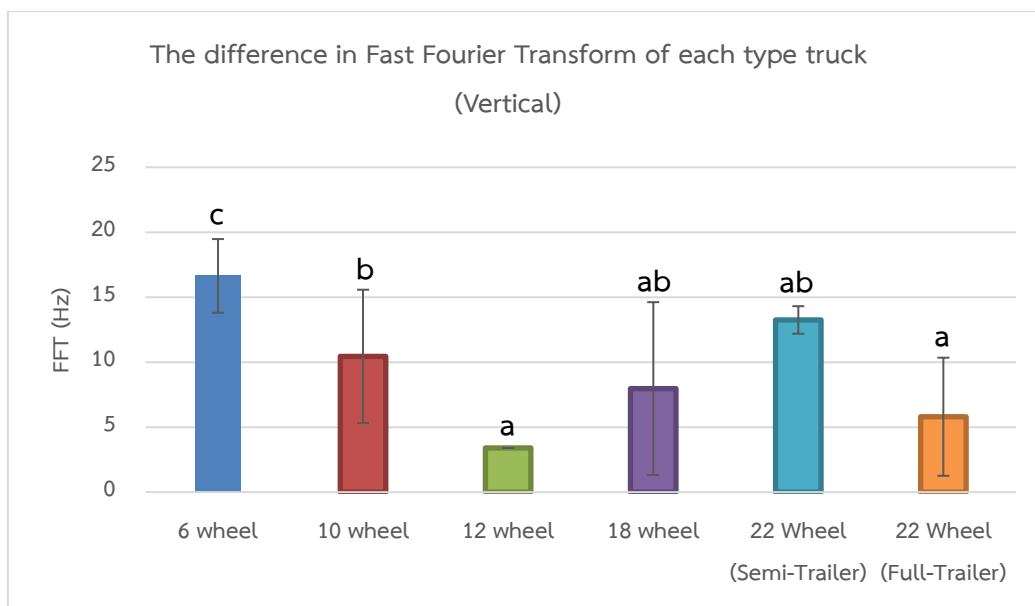


ภาพ 31 ความแตกต่างของ Zero Crossing ของรถบรรทุก 6 – 22 ล้อ (คลื่นในแนวตั้ง)

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่ต่างกัน (a,b,c) แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.1.2.2 Fast Fourier Transform

ผลการตรวจวัด Fast Fourier Transform ของรถบรรทุก 6 – 22 ล้อ ตามระดับความเร็วที่รถบรรทุกวิ่ง ซึ่งแสดงดังตาราง 14 - 16 โดยหากเปรียบเทียบค่าความถี่ที่มากจากวิธี Fast Fourier Transform กับ Zero Crossing พบว่าความถี่ที่ได้จากวิธี Fast Fourier Transform นั้นมีแนวโน้มที่ได้ค่าความถี่ต่ำกว่า ความถี่ Fast Fourier Transform ที่ต่ำที่สุดในแกน Z ของรถบรรทุกจากการตรวจวัดครั้งนี้มีค่าใกล้เคียงกันมาก ดังนั้นจึงพิจารณาโดยใช้ค่าความถี่เฉลี่ยโดยพิจารณาจากรถบรรทุกที่มีขนาดเล็กในการศึกษาครั้งนี้คือ รถบรรทุก 6 ล้อ กับ รถบรรทุกที่มีขนาดใหญ่ที่สุดคือรถบรรทุกพ่วง 22 ล้อ มีความถี่เฉลี่ยในความเร็วระดับที่ 3 คือ 16.6 และ 5.8 เฮิรตซ์ พบว่า ความถี่ของรถบรรทุกพ่วง 22 ล้อ ลดลง 65% ของรถบรรทุก 6 ล้อ อีกทั้งความถี่ของรถบรรทุกทั้ง 2 ประเภท พบว่า ความถี่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังภาพ 32



ภาพ 32 ความแตกต่างของ FFT ของรถบรรทุก 6 – 22 ล้อ

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่ต่างกัน (a,b,c) แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตาราง 14 Fast Fourier Transform สูงสุด ต่ำสุด และเฉลี่ยของรถบรรทุกประเภทต่าง ๆ ของ
คลื่นตามยาว คลื่นตามขวาง และคลื่นในแนวตั้ง ความเร็วระดับที่ 1

ประเภท รถบรรทุก	FFT สูงสุด (เฮิรตซ์)			FFT ต่ำสุด (เฮิรตซ์)			FFT เฉลี่ย (เฮิรตซ์)		
	Long	Tran	Vert	Long	Tran	Vert	Long	Tran	Vert
6 ล้อ	61.0	91.0	22.8	3.2	3.0	2.8	33.7	17.6	11.6
10 ล้อ	50	13.9	23.8	3.1	3	3	30.1	7.9	9.4
12 ล้อ	50	10.0	4.5	11.2	4.4	3.2	30.6	7.2	3.9
18 ล้อ	50	13.8	12.9	2.6	3	3	39.5	6.7	4.2
22 ล้อ (เทเลอร์)	50	12.8	25.0	4.8	3.9	3.2	45.0	8.9	13.1
22 ล้อ (พ่วง)	62.4	12.1	20.2	2.8	2.9	2.9	20.5	4.9	4.3

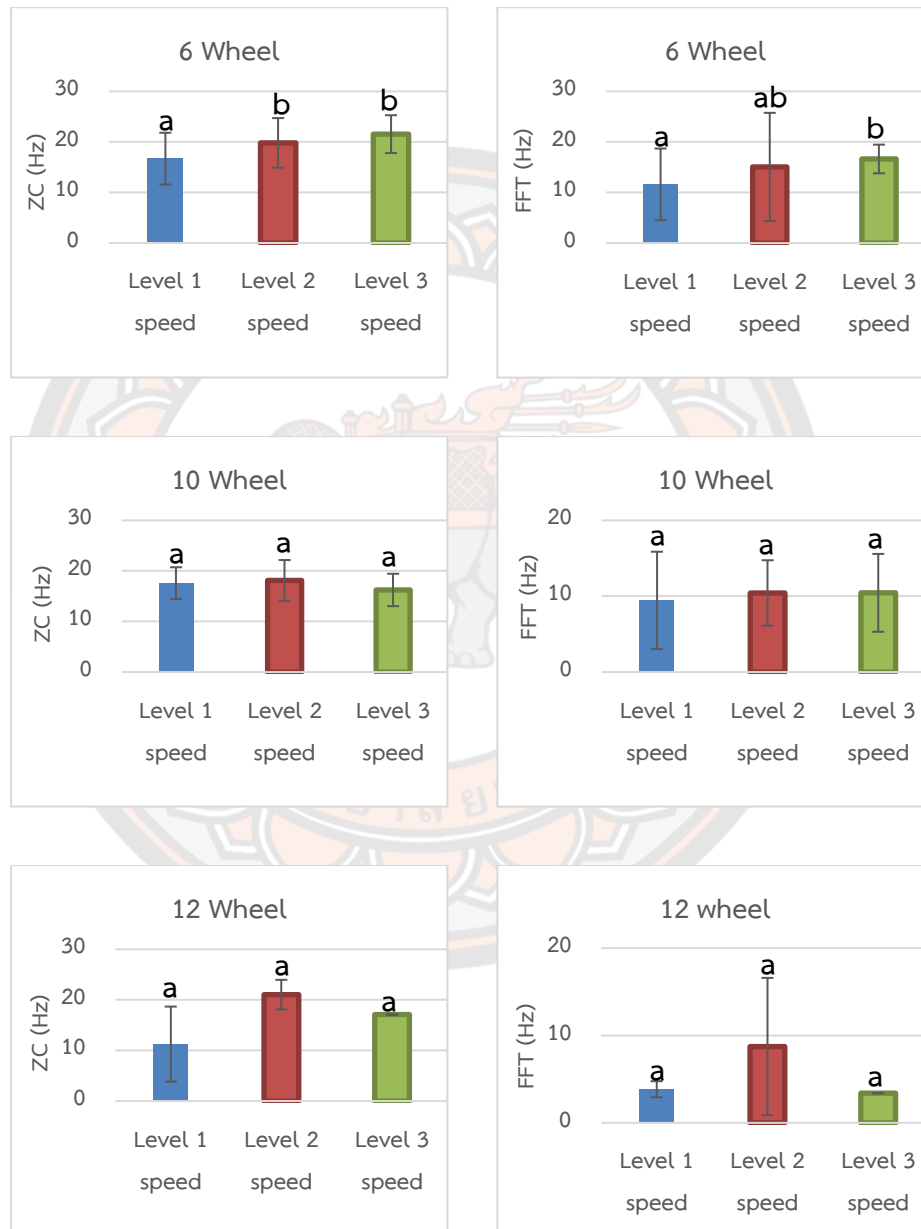
ตาราง 15 Fast Fourier Transform สูงสุด ต่ำสุด และเฉลี่ยของรถบรรทุกประเภทต่าง ๆ ของ คลื่นตามยาว คลื่นตามขวาง และคลื่นในแนวตั้ง ความเร็วระดับที่ 2

ประเภท รถบรรทุก	FFT สูงสุด (เฮิรตซ์)			FFT ต่ำสุด (เฮิรตซ์)			FFT เฉลี่ย (เฮิรตซ์)		
	Long	Tran	Vert	Long	Tran	Vert	Long	Tran	Vert
6 ล้อ	96.5	73.8	68.2	2.6	2.0	2.5	30.0	12.9	15.1
10 ล้อ	50.0	14.8	15.2	14.4	3.0	4.1	35.9	7.6	10.4
12 ล้อ	50.0	10.8	17.8	17.8	3.2	3.8	39.3	6.0	8.7
18 ล้อ	50.0	11.2	16.5	12.1	3.1	3.0	34.3	5.6	8.0
22 ล้อ (เทเลอร์)	50.0	14.9	25.4	12.4	4.4	2.9	34.7	11.6	13.0
22 ล้อ (พ่วง)	58.4	58.4	12.4	3.4	3.4	2.8	35.0	6.5	4.1

ตาราง 16 Fast Fourier Transform สูงสุด ต่ำสุด และเฉลี่ยของรถบรรทุกประเภทต่าง ๆ ของ คลื่นตามยาว คลื่นตามขวาง และคลื่นในแนวตั้ง ความเร็วระดับที่ 3

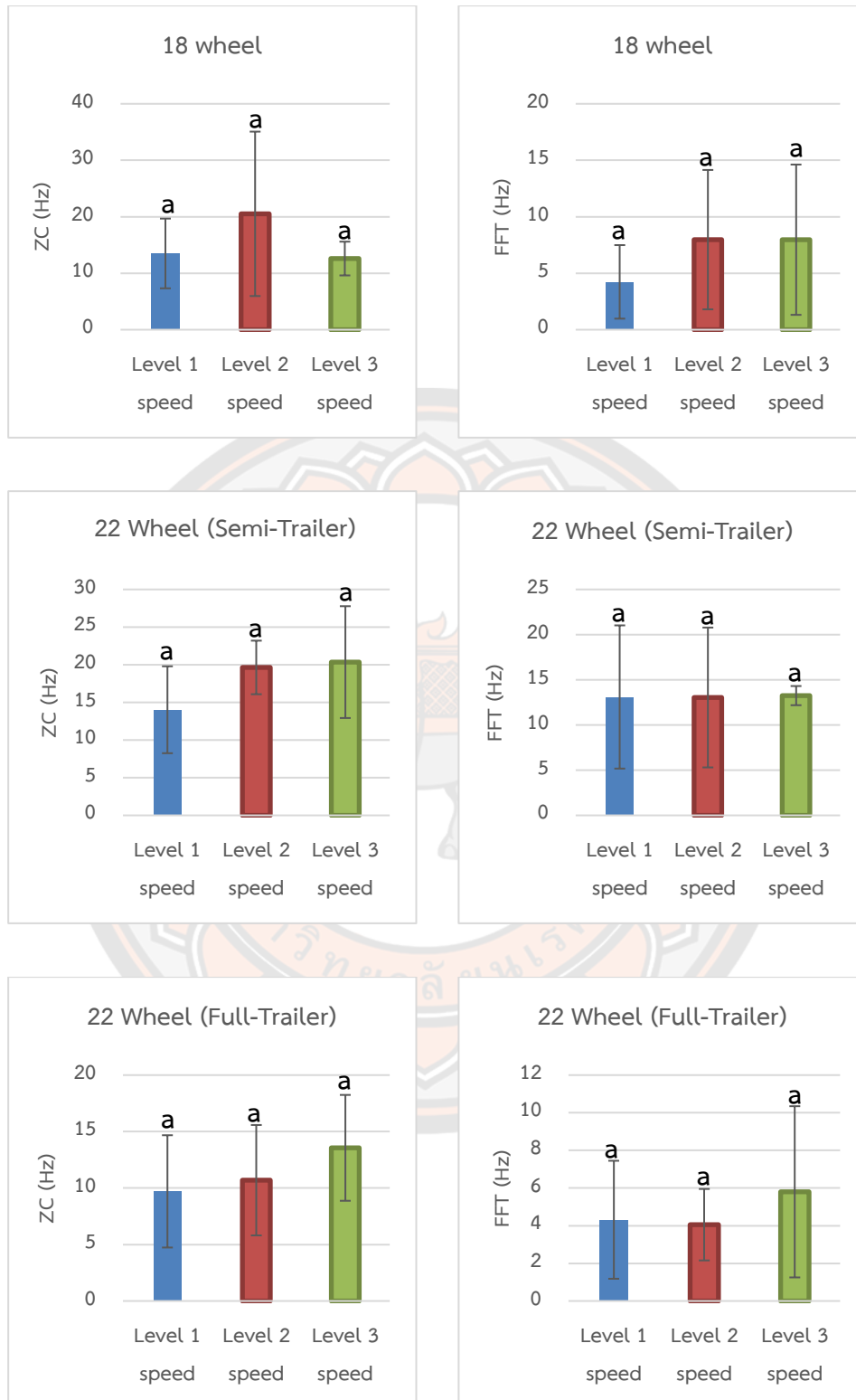
ประเภท รถบรรทุก	FFT สูงสุด (เฮิรตซ์)			FFT ต่ำสุด (เฮิรตซ์)			FFT เฉลี่ย (เฮิรตซ์)		
	Long	Tran	Vert	Long	Tran	Vert	Long	Tran	Vert
6 ล้อ	72.0	72.2	24.8	11.8	2.0	11.5	35.5	21.3	16.6
10 ล้อ	50.0	17.0	16.2	12.1	3.4	3.1	30.3	7.6	10.4
12 ล้อ	50.0	3.5	3.4	50.0	3.5	3.4	50.0	3.5	3.4
18 ล้อ	50.0	13.1	15.6	3.1	3.5	3.4	34.4	6.9	8.0
22 ล้อ (เทเลอร์)	50.0	10.1	14.0	14.0	3.9	12.5	32.0	7.0	13.3
22 ล้อ (พ่วง)	50.0	14.1	13.9	15.2	3.8	3.4	36.6	7.7	5.8

ปัจจัยด้านน้ำหนักของยานพาหนะสามารถส่งผลต่อความถี่ ในขณะที่ปัจจัยด้านความเร็วของยานพาหนะนั้น มีผลต่อความถี่เพียงเล็กน้อยหรือไม่มีผลเลย ดังภาพ 33 และ 34 กล่าวคือ ความเร็วของรถบรรทุกที่วิ่งนั้น ไม่ส่งผลให้เกิดค่าความถี่ต่ำหรือค่าความถี่สูง โดยค่าความถี่ต่ำหรือค่าความถี่สูงที่เกิดขึ้นถูกกำหนดโดยน้ำหนักของรถบรรทุก



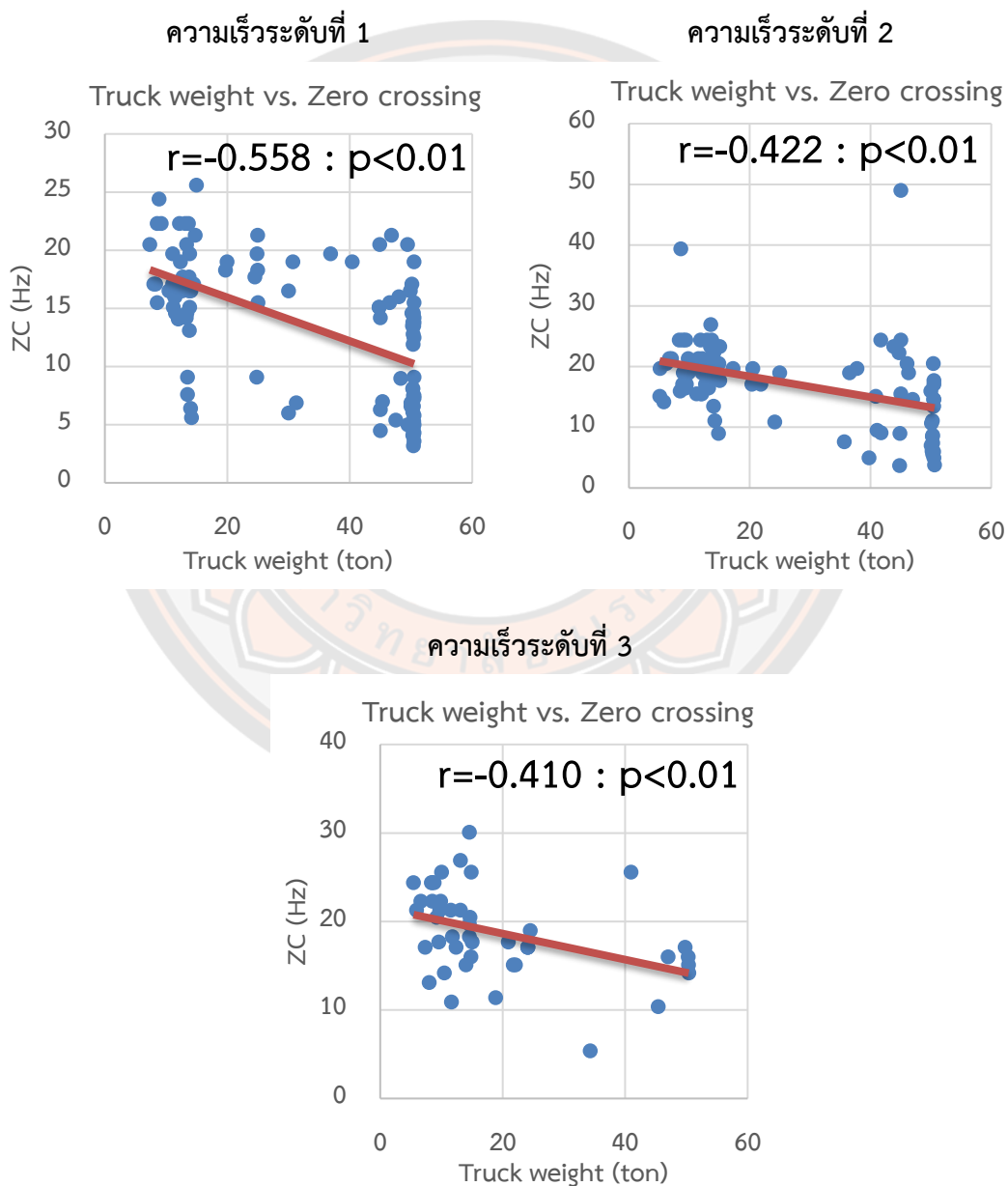
ภาพ 33 ความแตกต่างของความถี่ที่เกิดจากรถบรรทุก 6 - 12 ล้อ

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกัน (a,b) แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

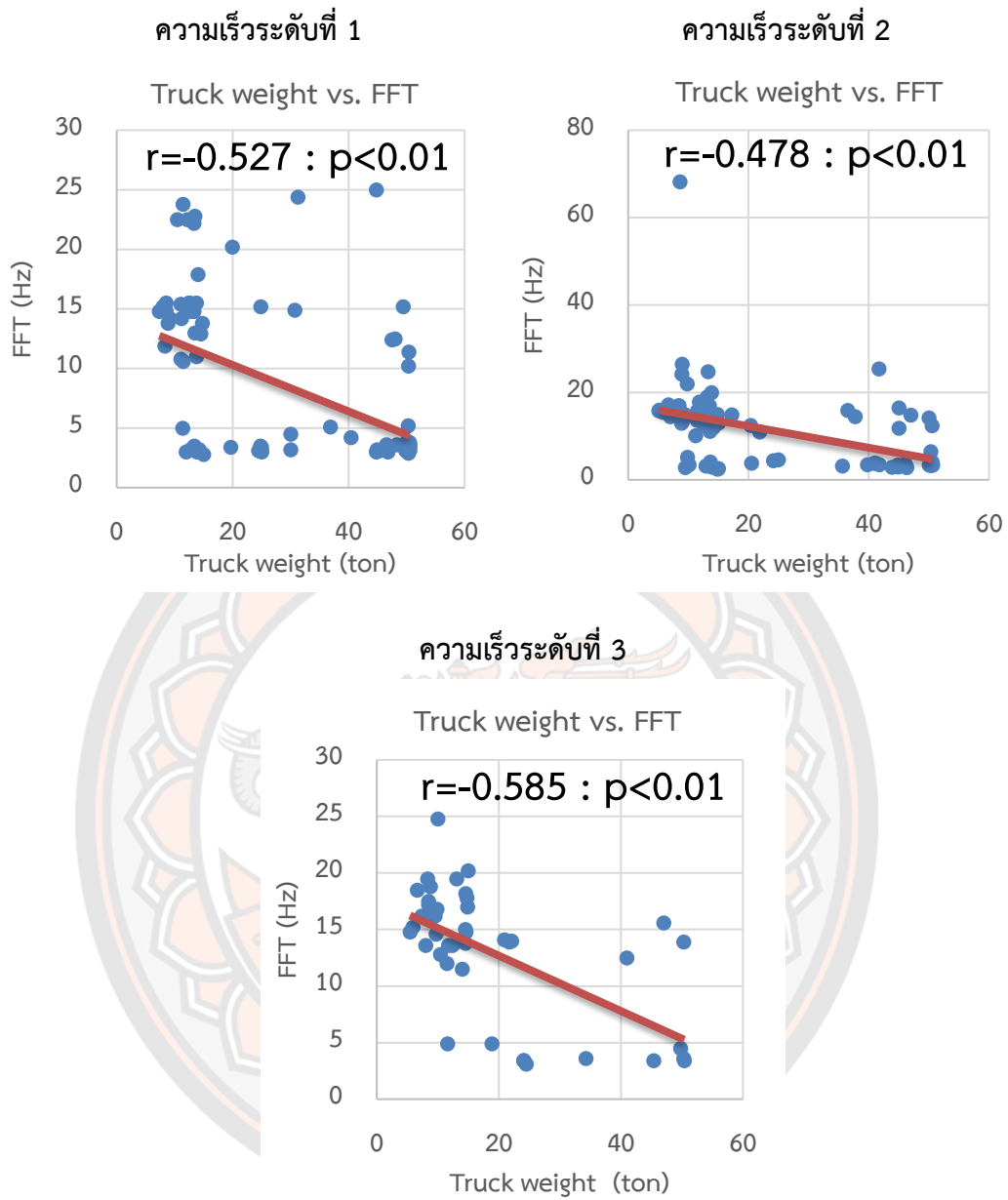


ภาพ 34 ความแตกต่างของความถี่ที่เกิดจากรถบรรทุก 18 - 22 ล้อ
 หมายเหตุ: ตัวอักษรไม่แตกต่างกัน (a) แสดงถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ประเภทของรถบรรทุกมีการเปลี่ยนแปลงไป แสดงถึงน้ำหนักที่มากขึ้นหรือน้อยลง ซึ่งส่งผลให้ค่าความถี่เปลี่ยนแปลงตาม โดยหากพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักรถบรรทุกกับความถี่นั้น โดยใช้การวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson correlation) พบว่า มีความสัมพันธ์กันในเชิงตรงกันข้าม โดยคลื่นในแนวตั้งของตัวแปรทั้งสองตัวในทุกระดับความเร็วมีความสัมพันธ์ทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 หรือมีความสัมพันธ์กันในเชิงตรงกันข้าม กล่าวคือเมื่อน้ำหนักรถบรรทุกเพิ่มขึ้นขนาดของค่าความถี่ลดลง ดังภาพ 35 และ 36



ภาพ 35 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักรถบรรทุกกับ Zero Crossing



ภาพ 36 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับ Fast Fourier Transform

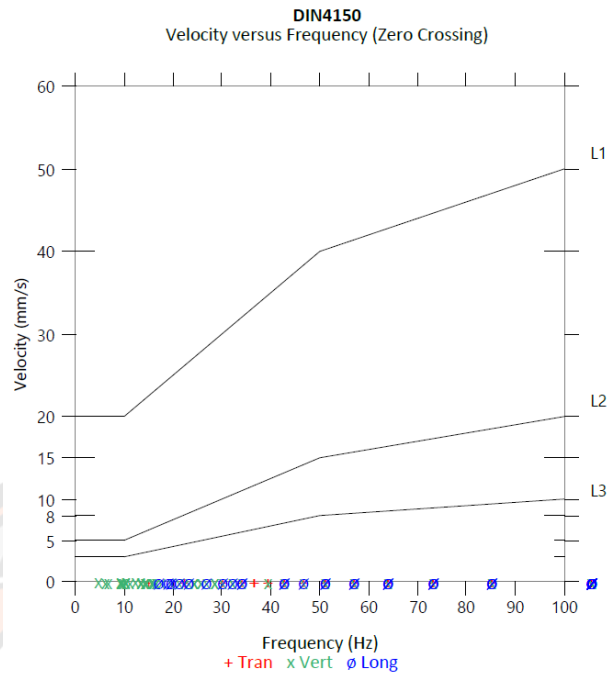
4.2 ผลกระทบจากการสั่นสะเทือนจากรถบรรทุกต่อพื้นที่เขตชุมชน

จากการดำเนินการติดตั้งเครื่องวัดการสั่นสะเทือนในอาคารที่อยู่ใกล้ริมถนนในพื้นที่ชุมชน ในอาคารที่ 1 กม.ที่ 222+800 ของทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 12 วันที่ 15 – 16 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2565 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และในอาคารที่ 2 กม.ที่ 222+400 ของทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 12 วันที่ 24 – 25 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2565 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

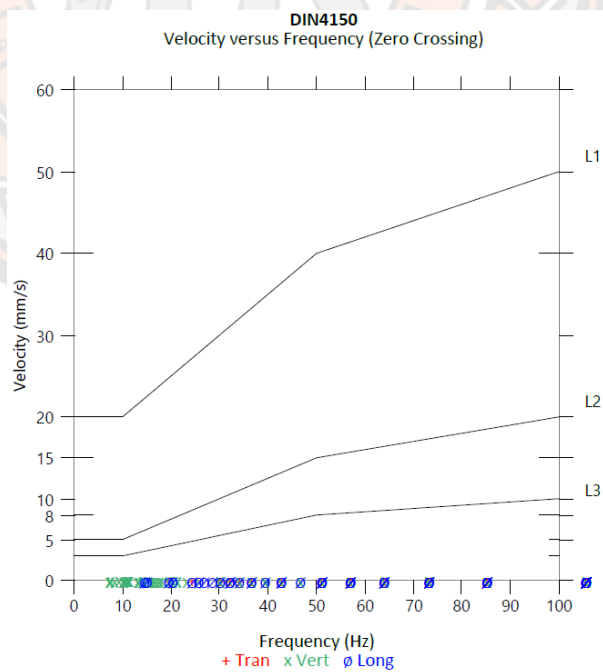
การตรวจวัดการสั่นสะเทือนจากรถบรรทุกในอาคาร จำนวนเหตุการณ์ที่เก็บบันทึกได้ในอาคารที่ 1 มีจำนวนทั้งหมด 582 เหตุการณ์ และอาคารที่ 2 มีจำนวนทั้งหมด 614 เหตุการณ์

ผลการตรวจวัดระดับการสั่นสะเทือนในอาคารที่ 1 (อาคารบริเวณก่อนถึงแยกไฟแดง) กม.ที่ 222+800 ของทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 12 ต.บ้านกร่าง อ.เมืองพิษณุโลก จ.พิษณุโลก พบว่าค่าความเร็วอนุภาคสูงสุดในแนวตั้งของอาคารที่ 1 มีค่าอยู่ระหว่าง 0.134 – 0.315 มม./วินาที และค่าความถี่ Zero crossing ในคลื่นตามยาว คลื่นตามขวาง และคลื่นในแนวตั้ง มีค่าอยู่ระหว่าง 4.7 – 100, 4.5 – 100 และ 2.9 – 20.5 เฮิร์ตซ์ ตามลำดับ และค่าความถี่ Fast Fourier Transform ในคลื่นตามยาว คลื่นตามขวาง และคลื่นในแนวตั้ง มีค่าอยู่ระหว่าง 2.0 – 30.0, 2.0 – 96 และ 2.5 – 19.2 เฮิร์ตซ์ ตามลำดับ โดยเมื่อพิจารณาค่าสั่นสะเทือนและค่าความถี่ที่ตรวจวัดได้นี้เปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานการสั่นสะเทือนของ DIN 4150-3 พบว่า ไม่มีผลต่อโครงสร้างอาคารใด ๆ และเมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลเกณฑ์เสนอแนะในรายงาน A Survey of Traffic Induced Vibration ของ Whiffin and Leonard (1971) พบว่า อยู่ในระดับที่เป็นไปได้ที่จะรับรู้สึกลงถึงความสั่นสะเทือน

ผลการตรวจวัดระดับการสั่นสะเทือนในอาคารที่ 2 (อาคารที่อยู่ถัดจากแยกไฟแดง) กม.ที่ 222+400 ของทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 12 ต.บ้านกร่าง อ.เมืองพิษณุโลก จ.พิษณุโลก พบว่าค่าความเร็วสูงสุดของอนุภาคในแนวตั้งของอาคารที่ 1 มีค่าอยู่ระหว่าง 0.134 – 0.410 มม./วินาที และค่าความถี่ Zero crossing ในคลื่นตามยาว คลื่นตามขวาง และคลื่นในแนวตั้ง มีค่าอยู่ระหว่าง 3.8 – 100, 3.9 – 100 และ 1.6 – 64.0 เฮิร์ตซ์ ตามลำดับ และค่าความถี่ Fast Fourier Transform ในคลื่นตามยาว คลื่นตามขวาง และคลื่นในแนวตั้ง มีค่าอยู่ระหว่าง 2.0 – 49.5, 2.0 – 23.0 และ 2.5 – 59.0 เฮิร์ตซ์ ตามลำดับ โดยเมื่อพิจารณาค่าสั่นสะเทือนและค่าความถี่ที่ตรวจวัดได้นี้เปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานการสั่นสะเทือนของ DIN 4150-3 พบว่า ไม่มีผลต่อโครงสร้างอาคารใด ๆ และเมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลเกณฑ์เสนอแนะในรายงาน A Survey of Traffic Induced Vibration ของ Whiffin and Leonard (1971) พบว่า อยู่ในระดับที่เป็นไปได้ที่จะรับรู้สึกลงถึงความสั่นสะเทือน



ภาพ 37 ความเร็วอนุภาคสูงสุดในอาคารที่ 1
เปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานการสั่นสะเทือนของ DIN 4150



ภาพ 38 ความเร็วอนุภาคสูงสุดในอาคาร 2
เปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานการสั่นสะเทือนของ DIN 4150

4.2.1 ระดับการสั่นสะเทือนและความถี่ในอาคาร

ผลการตรวจขนาดการสั่นสะเทือนและความถี่ของคลื่นตามยาว คลื่นตามขวาง และคลื่นในแนวตั้งในอาคาร โดยแบ่งออกเป็น 2 อาคาร ได้แก่ อาคารบริเวณก่อนถึงแยกไฟแดง กม.ที่ 222+800 ของทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 12 (ดังภาพ 17) กำหนดให้เป็นอาคารที่ 1 และอาคารที่อยู่ถัดจากแยกไฟแดง กม.ที่ 222+400 ของทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 12 (ดังภาพ 18) กำหนดให้เป็นอาคารที่ 2 โดยผลการตรวจวัดการสั่นสะเทือนและความถี่ในอาคารแสดงดังตาราง 17

ตาราง 17 ระดับการสั่นสะเทือนสูงสุด ต่ำสุด และเฉลี่ยของอาคารที่ 1 และอาคารที่ 2

อาคาร	สูงสุด			ต่ำสุด			เฉลี่ย		
	Long	Tran	Vert	Long	Tran	Vert	Long	Tran	Vert
1 (PPV)	<0.127	<0.127	0.315	<0.127	<0.127	0.134	<0.127	<0.127	0.162
2 (PPV)	<0.127	<0.127	0.410	<0.127	<0.127	0.134	<0.127	<0.127	0.179
1 (ZC)	100.0	100.0	20.5	4.7	4.5	2.9	34.0	65.9	10.2
2 (ZC)	100.0	100.0	64.0	3.8	3.9	1.6	19.0	36.6	13.5
1 (FFT)	30.0	96.0	19.2	2.0	2.0	2.5	7.3	6.3	6.8
2 (FFT)	49.5	23.0	59.0	2.0	2.0	2.5	8.2	7.3	8.5

4.2.2 การทดสอบ Independent-sample t-test

ตาราง 18 แสดงผลการวิเคราะห์การตรวจวัดขนาดความเร็วอนุภาคสูงสุดเฉลี่ย 24 ชั่วโมง

แกน	อาคาร	จำนวน	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	t	P
Vert	1	582	0.162	0.029	7.302	.000
Vert	2	614	0.179	0.045		

หมายเหตุ: นัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ตาราง 19 แสดงผลการวิเคราะห์การตรวจวัดความถี่ Zero Crossing เฉลี่ย 24 ชั่วโมง

แกน	อาคาร	จำนวน	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	t	P
Long	1	582	34.0	38.1	8.673	.000
	2	614	19.0	17.0		
Tran	1	582	65.9	33.1	15.596	.000
	2	614	36.6	31.5		
Vert	1	582	10.2	3.5	10.666	.000
	2	614	13.5	6.8		

หมายเหตุ: นัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ตาราง 20 แสดงผลการวิเคราะห์การตรวจวัดความถี่ Fast Fourier Transform เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ของ 2 อาคาร

แกน	อาคาร	จำนวน	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	t	P
Long	1	582	7.3	5.6	2.948	.000
	2	614	8.2	5.2		
Tran	1	582	6.3	8.1	2.792	.000
	2	614	7.3	4.1		
Vert	1	582	6.8	6.5	4.713	.000
	2	614	8.5	5.7		

หมายเหตุ: นัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จากตาราง 18 – 20 พบว่า ขนาดความเร็วอนุภาคสูงสุดและความถี่ของอาคารที่ 1 และอาคารที่ 2 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยขนาดความเร็วอนุภาคสูงสุดและความถี่ของคลื่นในแนวตั้ง ของอาคารที่ 2 มีขนาดสูงกว่าอาคารที่ 1 เนื่องจากอาคารที่ 2 เป็นอาคารที่อยู่ถัดจากแยกไฟแดง ดังนั้นจะมีรถบรรทุกที่หยุดเพื่อรอสัญญาณไฟจราจร จากนั้นในจังหวะที่รถบรรทุกออกตัว จะมีแรงเฉื่อยเกิดขึ้นมากกว่ารถบรรทุกที่วิ่งมาด้วยความเร็วปกติในบริเวณอาคารที่ 1 ดังนั้นความเร็วอนุภาคสูงสุดและความถี่ในอาคารที่ 2 จึงมีขนาดมากกว่าอาคารที่ 1 โดยขนาดความเร็วอนุภาคสูงสุดเพิ่มขึ้น 10% และความถี่เพิ่มขึ้นสูงสุด 32%

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษา อภิปรายผล และขอเสนอแนะ

ผลการศึกษา

การศึกษาผลกระทบจากการสั่นสะเทือนของรถบรรทุกจากเส้นทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 12 ต่อชุมชนที่ตั้งอยู่ริมถนน จังหวัดพิษณุโลก โดยมีการแบ่งการทดลองออกเป็น 2 การทดลอง โดยการทดลองที่ 1 คือ ตรวจวัดขนาดการสั่นสะเทือนของรถบรรทุกตั้งแต่ 6 - 22 ล้อ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจวัดการสั่นสะเทือนโดยจำแนกจากรถบรรทุกประเภทต่าง ๆ ที่วิ่งผ่านทางหลวงระหว่างจังหวัด ซึ่งรถบรรทุกที่ทำการศึกษามีจำนวนทั้งหมด 238 คัน โดยแบ่งเป็น รถบรรทุก 6 ล้อ จำนวน 92 คัน รถบรรทุก 10 ล้อ 36 คัน รถบรรทุก 12 ล้อ จำนวน 6 คัน รถบรรทุก 18 ล้อ จำนวน 19 คัน รถบรรทุกกึ่งพวง 22 ล้อ จำนวน 18 คัน และรถบรรทุกพวง 22 ล้อ จำนวน 67 คัน ในส่วนของการทดลองที่ 2 คือ ศึกษาผลกระทบจากการสั่นสะเทือนของรถบรรทุกในอาคารที่อยู่ริมถนนในเขตพื้นที่ชุมชน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินผลกระทบของการสั่นสะเทือนจากรถบรรทุกต่อพื้นที่เขตชุมชนที่มีทางหลวงระหว่างจังหวัดวิ่งผ่าน ซึ่งประเมินทั้งหมด 2 อาคาร โดยจำนวนเหตุการณ์ที่เก็บบันทึกได้ในอาคารที่ 1 มีจำนวนทั้งหมด 582 เหตุการณ์ และอาคารที่ 2 มีจำนวนทั้งหมด 614 เหตุการณ์ โดยทั้ง 2 การทดลองใช้เครื่องมือวัดการสั่นสะเทือนของ Instatel Inc. รุ่น Micromate ทรานดิวเซอร์วัดการสั่นสะเทือนคือ Geophone แบบ DIN Triaxial Geophone ผลการศึกษาสามารถสรุปได้ดังนี้

1. รถบรรทุก 6 – 22 ล้อ มีลักษณะการสั่นสะเทือนที่เหมือนกันทั้งหมด ซึ่งความเร็วอนุภาคสูงสุดของคลื่นตามยาว คลื่นตามขวาง และคลื่นในแนวตั้ง ที่เกิดจากรถบรรทุก มีขนาดแตกต่างกัน โดยความเร็วอนุภาคสูงสุดจากทั้ง 3 คลื่น มากที่สุดไปน้อยที่สุด คือ คลื่นในแนวตั้ง คลื่นตามยาว และคลื่นตามขวาง ตามลำดับ ซึ่งขนาดของความเร็วอนุภาคสูงสุดในคลื่นตามขวาง มีขนาดต่ำกว่า 0.127 มม./วินาที เสมอ ในขณะที่คลื่นในแนวตั้งมีขนาดสูงกว่าคลื่นตามยาวและคลื่นตามขวางเสมอ กล่าวคือ การสั่นสะเทือนบนพื้นดินที่เกิดจากรถบรรทุก มีลักษณะเป็นคลื่นในแนวตั้งเป็นหลัก ตามด้วยแนวยาว และแนวขวาง โดยผลการศึกษาสอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Sutherland (1949), Taniguchi and Sawada (1979), Chandarasiri et al. (2015), Aliyu et al. (2016) และทอง and วิโรตม (2018)

2. ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักรถบรรทุกกับความเร็วอนุภาคสูงสุดของคลื่นในแนวตั้ง มีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ เมื่อน้ำหนักรถบรรทุกเพิ่มขึ้น ขนาดของความเร็วอนุภาคสูงสุดจะเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักรถบรรทุกกับความถี่ Zero Crossing และ Fast Fourier Transform พบว่า มีความสัมพันธ์กันในเชิงตรงกันข้าม กล่าวคือ เมื่อน้ำหนักรถบรรทุก

เพิ่มขึ้นความถี่ลดลง ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่า รถบรรทุกที่มีน้ำหนักมากจะส่งผลให้น้ำหนักของรถบรรทุกกดลงบนพื้นถนนมากขึ้นหรือทำให้มี Dynamic Load ต่อพื้นผิวถนนมากขึ้น (Hunaidi, 2000) ส่งผลให้ปฏิสัมพันธ์ระหว่างยางกับถนนมีมากขึ้น กล่าวคือ รถบรรทุกที่มีน้ำหนักมากส่งผลให้เกิดแรงกดลงบนพื้นผิวถนนมากขึ้น อีกทั้งถนนนั้นมีความไม่สม่ำเสมอของพื้นผิว โดยการวิ่งของรถบรรทุกจะมีกระแทกที่เกิดขึ้นจากการดั่งขึ้น-ลง (Bounce) หรือเพลากระโดด (Axle Hop) อยู่เสมอ ดังนั้นรถบรรทุกที่มีน้ำหนักมากการดั่งขึ้น-ลงหรือเพลากระโดดจะน้อยลง เนื่องจากน้ำหนักที่กดลงบนสปริง จึงเป็นเหตุให้เกิดค่าความถี่ต่ำเมื่อมีรถบรรทุกมีน้ำหนักมากขึ้น ซึ่งผลการศึกษาสอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Watts and Krylov (2000), Lak et al. (2011), Chandarasiri et al. (2015), Zhou et al. (2015), Astrauskas et al. (2017), Nguyen et al. (2020) และ Shiferaw (2021) อย่างไรก็ตามรถบรรทุกที่มีน้ำหนักน้อยกว่าสามารถสร้างขนาดความเร็วอนุภาคสูงสุดได้สูงกว่ารถบรรทุกที่มีน้ำหนักมากกว่า (Marczak & Zetterlund, 2019) อาจเป็นเพราะปัจจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น ระบบกันสะเทือน ล้อ ยาง และสิ่งที่บรรทุก เป็นต้น (Pidl, 2018) จากที่กล่าวมาข้างต้นรถบรรทุกถูกออกแบบให้มีสมรรถนะของช่วงล่างให้แตกต่างกันขึ้นอยู่กับการใช้งานหรือประเภท ดังนั้นขนาดการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นบนพื้นดินของรถบรรทุกจึงมีขนาดไม่เท่ากัน

3. รถบรรทุกกึ่งพ่วง 22 ล้อ กับรถบรรทุกพ่วง 22 ล้อ มีขนาดความเร็วอนุภาคสูงสุดในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งรถบรรทุกทั้ง 2 ประเภทเป็นรถบรรทุกที่มีจำนวนล้อเท่ากันแต่ประเภทต่างกัน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่า รถบรรทุกพ่วง 22 ล้อ นั้นคล้ายกับรถบรรทุก 10 ล้อ วิ่งต่อกัน 2 คัน ซึ่งน้ำหนักรถ และน้ำหนักบรรทุกทั้งหมดลงบนเพลาล้อสมบูรณ์ในตัวเอง ในขณะที่รถบรรทุกกึ่งพ่วง 22 ล้อ ส่วนหัวคือ รถหัวลากที่มีไว้สำหรับลากไม่ใช้สำหรับบรรทุก การรับน้ำหนักบรรทุกรถหัวลากและรถกึ่งพ่วง น้ำหนักรถและน้ำหนักบรรทุก บางส่วนเฉลี่ยลงบนเพลาล้อของรถหัวลาก ดังนั้นความเร็วอนุภาคสูงสุดที่เกิดจากรถบรรทุกกึ่งพ่วงนั้นไม่คล้ายกับรถบรรทุก 10 ล้อ วิ่งต่อกัน 2 คัน เหมือนกับรถบรรทุกพ่วง 22 ล้อ

4. ความเร็วของรถบรรทุกมีผลต่อขนาดของความเร็วอนุภาคสูงสุดในแนวตั้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กล่าวคือเมื่อความเร็วของรถบรรทุกเพิ่มขึ้นขนาดของความเร็วอนุภาคสูงสุดจะเพิ่มขึ้น โดยความเร็วต่างกันประมาณ 10 กม./ชม. เพียงพอสำหรับเพิ่มขนาดของความเร็วอนุภาคสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่ความถี่ Zero crossing และ Fast Fourier Transform ความเร็วจะมีผลเพียงเล็กน้อยหรือไม่ผลเลย

5. การสั่นสะเทือนที่ตรวจวัดได้จากการวิ่งผ่านของรถบรรทุกในระยะ 2 และ 6 เมตร บริเวณริมถนน และในอาคาร ในการทดลองที่ 1 และ 2 เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์เสนอแนะในรายงาน A Survey of Traffic Induced Vibration ของ Whiffin and Leonard (1971) พบว่า การรับรู้การสั่นสะเทือนอยู่ในระดับที่เป็นไปได้ที่จะรับรู้ได้ถึงความรู้สึกถึงความสั่นสะเทือน และไม่มีผลต่อโครงสร้างอาคาร

ใด ๆ เมื่อเทียบกับเกณฑ์มาตรฐาน DIN 4150-3 นอกจากนี้การสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นในอาคาร พบว่า คลื่นในแนวตั้งมีขนาดของความเร็วอนุภาคสูงสุดสูงกว่าคลื่นตามยาว และคลื่นตามขวาง และขนาดของความเร็วอนุภาคสูงสุดในคลื่นตามยาว และคลื่นตามขวาง มีค่าต่ำกว่าที่เครื่องวัดการสั่นสะเทือนในการศึกษาครั้งนี้จะบันทึกได้ ซึ่งผลการศึกษาสอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Beben et al. (2022) ที่กล่าวว่า ระดับการสั่นสะเทือนในแนวตั้งมีค่าสูงกว่าแนวนอน (Horizontal) ซึ่งขนาดของความเร็วอนุภาคสูงสุดในแนวนอนมีขนาดที่ต่ำกว่า 0.1 มม./วินาที

6. ความเร็วอนุภาคสูงสุด ความถี่ Zero Crossing และ Fast Fourier Transform ในอาคารที่ 1 (บริเวณก่อนถึงแยกไฟแดง) และอาคารที่ 2 (อาคารที่อยู่ถัดจากแยกไฟแดง) พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยที่ความเร็วอนุภาคสูงสุดและความถี่ Zero Crossing ในแนวตั้งในอาคารที่ 2 มีขนาดสูงกว่าอาคารที่ 1 และความถี่ Fast Fourier Transform ทั้ง 3 คลื่น ในอาคารที่ 2 มีขนาดสูงกว่าอาคารที่ 1 ทั้งนี้อาจเป็นเพราะการสั่นสะเทือนในอาคารที่ 2 เป็นรถบรรทุกที่กำลังออกตัวจากแยกไฟแดงจราจรซึ่งมีการเร่งเครื่องยนต์ขึ้น โดยในกรณีของรถบรรทุกในจังหวะออกตัวจะมีแรงเฉื่อยเกิดขึ้นมากกว่ารถบรรทุกที่วิ่งมาด้วยความเร็วปกติในบริเวณอาคารที่ 1 ดังนั้นความเร็วอนุภาคสูงสุดและความถี่ในอาคารที่ 2 จึงมีขนาดมากกว่าอาคารที่ 1 ซึ่งสอดคล้องกับผลงานวิจัยของ อาสนจินดา (2020) ที่กล่าวว่า การเคลื่อนที่ของยานพาหนะในจังหวะออกตัวสามารถเพิ่มแอมพลิจูดของการสั่นสะเทือนได้อย่างมีนัยสำคัญ

ข้อเสนอแนะ

1. ในการศึกษาครั้งต่อไปควรทำการเก็บข้อมูลเพิ่มเติม เพื่อให้ข้อมูลมีความถูกต้องและชัดเจนมากขึ้น โดยอาจเพิ่มระยะเวลาในการเก็บข้อมูล
2. ในการศึกษาครั้งต่อไปควรเพิ่มการศึกษาการสั่นสะเทือนในอาคารเป็น 3 จุด ได้แก่ บริเวณชั้นฐานรากหรือชั้นล่างของอาคาร, บริเวณชั้นบนสุดของอาคาร และบริเวณกึ่งกลางพื้นอาคารในแต่ละชั้น
3. ในการศึกษาครั้งต่อไปควรศึกษาเสียงและ Air Blast ที่เกิดจากรถบรรทุกแต่ละประเภท

บรรณานุกรม



- กรมควบคุมมลพิษ. (2564). *คู่มือการตรวจวัดความสั่นสะเทือนเพื่อป้องกันผลกระทบต่ออาคาร*.
กรุงเทพฯ: บริษัท ฮีซี จำกัด. สืบค้นจาก <https://www.pcd.go.th/publication/13881>
- กรมทางหลวง. (2562a). *โครงการทางหลวงหมายเลข 348 อ.ปะคำ - อ.นางรอง จ.บุรีรัมย์*.
กรุงเทพฯ: บริษัท เอเชีย แล็บ แอนด์ คอนซัลแตนท์ จำกัด. สืบค้นจาก
<https://eia.onep.go.th/eia/detail?id=10092>
- กรมทางหลวง. (2562b). *รายงานการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม โครงการประเมินผลกระทบ
สิ่งแวดล้อมทางหลวงหมายเลข 3646 อ.อรัญประเทศ-ชายแดนไทย/กัมพูชา (บ.หนองเอี่ยน-
ลัดตึงบพ) ตอนแยกทางหลวงหมายเลข 33 บรรจบทางหลวงหมายเลข 3586*. กรุงเทพฯ:
บริษัท พีรี ดีเวลลอปเม้นท์ คอนซัลแตนท์ จำกัด. สืบค้นจาก
http://eiadoc.onep.go.th/eialibrary/3transport/62/F62_4616_1.pdf
- กรมทางหลวง. (2562c). *รายงานการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อม โครงการก่อสร้างทางหลวง
หมายเลข 211*. กรุงเทพฯ: บริษัท พีรี ดีเวลลอปเม้นท์ คอนซัลแตนท์ จำกัด. สืบค้นจาก
http://eiadoc.onep.go.th/eialibrary/3transport/62/F62_7492.pdf
- ชูปทอง, ว., & ภู่วโรดม, น. (2018). การประเมินผลกระทบจากการสั่นสะเทือนเนื่องจากการจราจร
ต่อโครงสร้างโบราณสถานจังหวัดพระนครศรีอยุธยา. *Thai Science and Technology
Journal*, 1075-1085.
- ไทยรัฐออนไลน์. (2563). *ปลัด อบต. พืชอุดมคุมเข้มห้ามรถบรรทุกดินวิ่งในชุมชนทำถนนพังบ้าน
เสียหาย*. สืบค้น 25 กุมภาพันธ์ 2565, จาก
<https://www.thairath.co.th/news/local/central/1864201>
- เนชั่นออนไลน์. (2563). *ชาวบ้านร้องสื่อ! "ลึบล้อ" วิ่งผ่านทำหมู่บ้านพัง*. สืบค้น 25 กุมภาพันธ์ 2565,
จาก <https://www.nationtv.tv/news/378776157>
- สำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. (2563). *รายงานโลจิสติกส์ของประเทศไทย
ประจำปี 2562*. กองยุทธศาสตร์การพัฒนาระบบโลจิสติกส์. สืบค้นจาก
https://www.nesdc.go.th/ewt_dl_link.php?nid=10791
- อาสนจินดา, พ. (2020). การศึกษาระดับการรับรู้ของบุคคลจากการสั่นสะเทือนของโครงสร้างทาง
พิเศษยกระดับบูรพาวิถี. *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 25*. (น. 1694-
1702). การประชุมออนไลน์.
- Agostinacchio, M., Ciampa, D., & Olita, S. (2014). The vibrations induced by surface
irregularities in road pavements—a Matlab® approach. *European Transport
Research Review*, 6(3), 267-275. doi:10.1007/s12544-013-0127-8

- Al-Hunaidi, M. O., & Rainer, J. (1991). Remedial measures for traffic-induced vibrations at a residential site. I. Field tests. *Canadian Acoustics*, 19(1), 3-13. Retrieved from 10.1139/l97-023
- Aliyu, D. S., Abdu, Y. A., & Yusuf, D. A. (2016). Transmission of ground vibration on road side structures. *Eur. J. Adv. Eng. Technol*, 3, 43-46. Retrieved from <https://ejaet.com/archive/volume-3-issue-7-2016/>
- Astrauskas, T., Grubliauskas, R., & Januševičius, T. (2017). *Investigation and Evaluation of Speed Table Influence on Road Traffic Induced Ground Borne Vibration*. Paper presented at the Environmental Engineering. Proceedings of the International Conference on Environmental Engineering. ICEE.
- Beben, D., Maleska, T., Bobra, P., Duda, J., & Anigacz, W. (2022). Influence of Traffic-Induced Vibrations on Humans and Residential Building—A Case Study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(9), 5441. doi:10.3390/ijerph19095441
- Chandarasiri, P., De Silva, G., & De Silva, G. (2015). *Investigation on ground vibration induced by construction traffic and normal traffic*. Paper presented at the Proc. 6th Int. Conf. Struct. Eng. and Construction Manage.
- Hajek, J. J., Blaney, C. T., & Hein, D. K. (2006). *Mitigation of highway traffic-induced vibration*. Paper presented at the 2006 Annual Conference of the Transportation Association of Canada.
- Hunaidi, O. (2000). *Traffic vibrations in buildings*: Citeseer.
- Hunaidi, O., & Tremblay, M. (1997). Traffic-induced building vibrations in Montréal. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 24(5), 736-753. Retrieved from <https://jcaa.caa-aca.ca/index.php/jcaa/article/view/627>
- HYDE, J. H., & Lintern, H. (1929). *The Vibrations of Roads and Structures*. Paper presented at the Minutes of the Proceedings of the Institution of Civil Engineers.
- Instantel. (2013). *BlastMate III Operator Manual*. Retrieved from <https://www.instantel.com/resource/blastmate-iii>

- InstanTel. (2019). *THOR Operator Manual*. Retrieved from <https://www.instanTel.com/sites/instanTel.com/files/media/2020-07/723U0201%20THOR%20Operator%20Manual%20Rev%2008.pdf>
- Lak, M. A., Degrande, G., & Lombaert, G. (2011). The effect of road unevenness on the dynamic vehicle response and ground-borne vibrations due to road traffic. *Soil dynamics and earthquake engineering*, 31(10), 1357-1377. doi:10.1016/j.soildyn.2011.04.009
- Mansfield, N. J. (2004). *Human response to vibration*. CRC press. Retrieved from <https://docs.wind-watch.org/Mansfield-human-response-vibration.pdf>
- Marczak, A., & Zetterlund, M. (2019). *Parametric Study of Traffic Induced Ground Vibrations due to Heavy Vehicles*. (Master's thesis). Chalmers University of Technology, Sweden. Retrieved from <https://hdl.handle.net/20.500.12380/300252>
- Nguyen, V., Le, V., Jiao, R., & Yuan, H. (2020). Low-frequency vibration analysis of heavy vehicle suspension system under various operating conditions. *Mathematical Models in Engineering*, 6(1), 13-22. doi:10.21595/mme.2019.21229
- Norma, I. (1990). 4866;“. *Mechanical vibration and shock—Vibration of Buildings—Guidelines for the measurement of vibrations and evaluation of their effects on buildings (ISO 4866: 1990)*.
- Normung, D. I. f. (1999). DIN 4150-3: Structural vibrations—Part 3: Effects of vibration on structures. In: German Standards Organization (GSO)
- Pidl, R. (2018). *Analytical approach to determine vertical dynamics of a semi-trailer truck from the point of view of goods protection*. Paper presented at the AIP Conference Proceedings.
- Richard, A., & Moore, A. (2012). Blast Vibration Course: Measurement, Assessment, Control, Terrock Consult. Eng.(Terrock Pty. Ltd.), Aust. Retrieved from http://tsst.mn/assets/uploads/techs/b8695-blast-vibration-course_measurement_assessment_control.pdf
- Richart, F. E., Hall, J. R., & Woods, R. D. (1970). *Vibrations of soils and foundations*. Englewood Cliffs: New Jersey. Prentice-Hall, Inc.

- Shiferaw, H. M. (2021). Measuring traffic induced ground vibration using smartphone sensors for a first hand structural health monitoring. *Scientific African*, 11, e00703. doi:10.1016/j.sciaf.2021.e00703
- Sutherland, H. B. (1949). *Investigation of vibrations through soil caused by heavy vehicles in Winnipeg*. Retrieved from
- Taniguchi, E., & Sawada, K. (1979). Attenuation with distance of traffic-induced vibrations. *Soils and foundations*, 19(2), 15-28. doi:10.3208/sandf1972.19.2_15
- TOPLAK, S., LUBEJ, S., IVANIČ, A., & LEP, M. (2016). THE PAVEMENT QUALITY AND VIBRATIONS. Retrieved from https://dips.si/wp-content/uploads/2019/05/5_The-pavement-quality-and-vibrations_Toplak-Lubej-Ivani%C4%8D-Lep_ISEC-2016.pdf
- Transportation, C. D. o. (2013). *Transportation and Construction Vibration Guidance Manual*. Retrieved from <https://www.contracosta.ca.gov/DocumentCenter/View/34120/Caltrans-2013-construction-vibration-PDF?bidId=>
- Watts, G., & Krylov, V. (2000). Ground-borne vibration generated by vehicles crossing road humps and speed control cushions. *Applied Acoustics*, 59(3), 221-236. doi:10.1016/S0003-682X(99)00026-2
- Whiffin, A., & Leonard, D. (1971). *A survey of traffic induced vibrations*. Retrieved from
- Zhou, R., Yan, L., Li, B., & Xie, J. (2015). Measurement of truck transport vibration levels in China as a function of road conditions, truck speed and load level. *Packaging Technology and Science*, 28(11), 949-957. doi:10.1002/pts.2176



ภาคผนวก ก ตารางแสดงข้อมูลความเร็วอนุภาคสูงสุดและความถี่ที่ตรวจวัดได้

ความเร็ว 51 - 60 กม./ชม.													
ประเภท รถบรรทุก	ทะเบียนรถ	เวลา	น้ำหนัก	ความเร็ว	Peak Particle Velocity			Zero Crossing			Fast Fourier Transform		
					Tran	Vert	long	Tran	Vert	long	Tran	Vert	long
6 ล้อ	82-8111	15.07.59	7.36	59	<0.127	0.142	<0.127	26.9	20.5	20.5	60.8	14.8	61.0
6 ล้อ	81-8761	15.16.23	8	55	<0.127	0.173	<0.127	21.3	17.1	28.4	6.5	15.2	50.0
6 ล้อ	82-2258	10.00.45	8.29	52	<0.127	0.221	<0.127	10.9	17.1	13.1	11.5	11.9	12.2
6 ล้อ	70-3431	10.36.06	8.54	54	<0.127	0.158	<0.127	15.5	15.5	19.7	12.5	14.8	14.8
6 ล้อ	71-4884	9.24.48	8.54	60	<0.127	0.158	<0.127	85.3	22.3	51.2	4.0	15.5	50.0
6 ล้อ	78-2785	15.32.44	8.85	54	<0.127	0.189	<0.127	100.0	24.4	13.1	11.8	13.8	50.0
6 ล้อ	81-4893	9.55.40	10.48	55	<0.127	0.166	<0.127	100.0	16.5	15.5	11.2	22.5	50.0
6 ล้อ	81-6432	14.38.24	12	58	<0.127	0.173	<0.127	20.5	14.1	32.0	8.5	3.0	15.0
6 ล้อ	81-4816	9.25.35	12.19	60	<0.127	0.166	<0.127	56.9	22.3	56.9	4.8	22.5	14.8
6 ล้อ	81-3418	14.28.26	12.49	54	<0.127	0.181	<0.127	51.2	17.1	19.7	8.2	15.5	50.0
6 ล้อ	81-3418	9.31.05	12.62	58	<0.127	0.173	<0.127	100.0	16.5	34.1	3.0	15.5	50.0
6 ล้อ	81-3418	9.48.51	13.13	50	<0.127	0.158	<0.127	46.5	22.3	21.3	13.8	14.8	50.0
6 ล้อ	81-4816	10.33.50	13.31	59	<0.127	0.221	<0.127	64.0	14.2	23.3	13.5	22.2	50.0
6 ล้อ	82-1809	10.20.59	13.32	60	<0.127	0.181	<0.127	22.3	20.5	30.1	91.2	14.8	50.0
6 ล้อ	81-9866	9.43.01	13.39	53	<0.127	0.166	<0.127	46.5	14.6	73.1	8.5	3.5	3.2
6 ล้อ	81-6130	10.31.33	13.48	58	<0.127	0.205	<0.127	42.7	7.6	34.1	8.8	22.8	50.0
6 ล้อ	81-9866	10.46.13	13.5	51	<0.127	0.166	<0.127	73.1	9.1	10.4	58.4	13.0	12.8
6 ล้อ	81-6430	10.37.35	13.66	57	<0.127	0.189	<0.127	23.3	22.3	17.7	8.5	3.2	13.8
6 ล้อ	82-1809	10.49.56	13.76	58	<0.127	0.15	<0.127	100.0	17.7	32.0	4.8	11.0	50.0
6 ล้อ	81-6130	9.36.18	13.77	55	<0.127	0.173	<0.127	85.3	16.5	20.5	9.2	3.2	13.5
6 ล้อ	81-3418	15.30.05	13.78	58	<0.127	0.205	0.134	14.6	13.1	64.0	6.0	15.5	50.0
6 ล้อ	82-8565	9.37.39	13.84	60	<0.127	0.181	<0.127	56.9	15.1	17.1	11.5	3.2	11.0
6 ล้อ	81-9866	14.54.43	13.86	55	<0.127	0.158	<0.127	20.5	19.7	19.7	8.2	3.0	50.0
6 ล้อ	81-6130	10.35.11	13.98	58	<0.127	0.205	<0.127	13.8	6.4	56.9	8.2	3.2	50.0
6 ล้อ	82-2132	14.58.54	14.03	59	<0.127	0.205	<0.127	42.7	16.5	8.7	69.5	17.9	4.5
6 ล้อ	81-4816	16.02.15	14.16	53	<0.127	0.158	<0.127	24.4	5.6	15.5	12.8	3.0	7.0
6 ล้อ	81-6430	14.50.05	14.25	56	<0.127	0.189	<0.127	16.5	17.1	20.5	8.2	3.2	50.0
6 ล้อ	82-8165	16.16.46	14.97	54	<0.127	0.134	<0.127	32.0	25.6	32.0	7.5	2.8	10.0
10 ล้อ	81-4644	15.37.42	9.19	57	<0.127	0.252	<0.127	12.8	22.3	18.3	13.9	14.2	15.5
10 ล้อ	70-2868	9.32.01	11.07	53	<0.127	0.292	<0.127	14.6	17.1	14.6	13.1	15.4	50.0
10 ล้อ	82-1976	9.43.40	11.08	58	<0.127	0.284	<0.127	39.4	19.7	28.4	10.5	10.8	4.8
10 ล้อ	82-3063	10.31.56	11.16	53	<0.127	0.244	<0.127	100.0	15.1	17.7	4.8	14.2	20.2
10 ล้อ	82-3060	9.54.12	11.39	58	<0.127	0.229	<0.127	73.1	16.0	15.1	4.8	5.0	15.5
10 ล้อ	71-7025	14.51.22	11.46	56	<0.127	0.181	<0.127	42.7	16.0	39.4	4.0	23.8	50.0
10 ล้อ	82-3062	10.06.41	11.52	58	<0.127	0.292	<0.127	19.0	14.6	18.3	4.8	10.6	21.4
10 ล้อ	82-5561	10.39.22	12.33	60	<0.127	0.355	0.158	14.2	19.0	19.7	4.1	14.8	12.8
10 ล้อ	81-9866	09.13.46	12.72	56	<0.127	0.134	<0.127	85.3	17.7	26.9	9.0	3.2	50.0
10 ล้อ	82-3296	9.19.15	14.76	56	<0.127	0.166	<0.127	30.1	21.3	32.0	13.2	13.8	50.0
10 ล้อ	70-1522	14.52.43	19.7	53	<0.127	0.221	<0.127	25.6	18.3	16.5	11.6	3.4	3.1
10 ล้อ	70-0228	14.31.40	24.49	53	<0.127	0.252	<0.127	13.8	17.7	17.1	3.0	3.1	50.0

ความเร็ว 51 – 60 กม./ชม.													
ประเภท รถบรรทุก	ทะเบียนรถ	เวลา	น้ำหนัก	ความเร็ว	Peak Particle Velocity			Zero Crossing			Fast Fourier Transform		
					Tran	Vert	long	Tran	Vert	long	Tran	Vert	long
10 ล้อ	80-8847	14.54.04	24.82	57	<0.127	0.315	<0.127	16.5	9.1	7.2	3.8	3.5	3.2
10 ล้อ	70-1635	14.47.15	24.83	55	<0.127	0.181	<0.127	39.4	19.7	16.0	13.1	15.2	15.2
10 ล้อ	70-2139	15.20.38	24.96	53	<0.127	0.26	0.134	22.3	18.3	15.5	3.5	3.2	50.0
10 ล้อ	20-2177	14.47.21	24.97	54	<0.127	0.244	0.142	30.1	21.3	16.5	13.8	3.4	50.0
10 ล้อ	70-2299	15.07.45	25	52	<0.127	0.268	<0.127	5.7	15.5	17.7	3.0	3.0	50.0
12 ล้อ	70-1305	10.39.39	30	56	<0.127	0.292	<0.127	19.0	16.5	17.1	10.0	3.2	11.2
12 ล้อ	71-0577	11.02.18	30	50	<0.127	0.355	<0.127	12.2	6.0	28.4	4.4	4.5	50.0
18 ล้อ	72-0640	15.09.37	14.5	51	<0.127	0.221	<0.127	21.3	17.1	30.1	11.6	12.9	50.0
18 ล้อ	81-7768	15.35.11	44.77	58	<0.127	0.323	<0.127	17.7	15.1	12.8	8.9	3.0	3.2
18 ล้อ	82-6611	15.40.25	44.89	53	<0.127	0.252	<0.127	16.0	20.5	17.7	3.5	3.2	50.0
18 ล้อ	70-1003	14.25.49	45	57	<0.127	0.378	0.134	14.6	14.2	12.8	10.0	3.1	50.0
18 ล้อ	70-1398	14.26.44	45	56	<0.127	0.355	<0.127	8.0	6.3	18.3	3.2	3.1	50.0
18 ล้อ	70-3355	9.11.40	45	57	<0.127	0.355	<0.127	13.8	4.5	18.3	3.0	3.1	2.6
18 ล้อ	70-1003	15.10.09	45.33	53	<0.127	0.307	<0.127	15.5	7.0	11.9	3.4	3.1	50.0
18 ล้อ	80-9548	15.43.02	46.52	59	<0.127	0.363	<0.127	12.2	15.5	16.0	13.8	3.6	50.0
18 ล้อ	82-0979	9.08.45	46.79	60	<0.127	0.244	<0.127	25.6	21.3	25.6	3.0	3.0	50.0
22 ล้อ (พ่วง)	70-1257	8.53.35	19.94	51	<0.127	0.221	<0.127	56.9	19.0	13.8	11.6	20.2	12.9
22 ล้อ (พ่วง)	82-5060	15.20.44	40.41	52	<0.127	0.363	0.142	10.2	19.0	6.2	4.4	4.2	50.0
22 ล้อ (พ่วง)	70-2838	9.49.44	48.31	57	<0.127	0.355	<0.127	15.5	9.0	17.7	3.9	3.6	3.5
22 ล้อ (พ่วง)	70-8241	9.12.25	49.46	54	<0.127	0.347	0.158	85.3	5.0	64.0	3.1	3.5	50.0
22 ล้อ (พ่วง)	82-6832	14.50.20	49.87	54	<0.127	0.315	0.142	10.0	16.5	16.0	3.6	3.1	3.4
22 ล้อ (พ่วง)	82-8055	14.21.26	50	59	<0.127	0.37	0.142	6.8	6.6	15.1	4.0	3.8	3.8
22 ล้อ (พ่วง)	70-2478	9.59.51	50	57	<0.127	0.536	0.166	8.7	6.9	7.1	3.9	3.7	3.5
22 ล้อ (พ่วง)	82-5056	15.38.04	50.12	60	<0.127	0.229	<0.127	10.7	17.1	19.1	9.9	3.9	50.0
22 ล้อ (พ่วง)	82-7279	14.39.12	50.13	58	<0.127	0.418	0.142	9.8	14.6	14.2	3.6	3.5	3.5
22 ล้อ (พ่วง)	82-5056	15.42.01	50.2	55	<0.127	0.37	0.158	15.5	4.7	7.5	3.8	3.5	3.4
22 ล้อ (พ่วง)	82-5060	15.24.03	50.23	57	<0.127	0.363	<0.127	5.1	13.5	8.3	3.9	3.4	3.6
22 ล้อ (พ่วง)	82-6832	15.01.26	50.27	55	<0.127	0.394	<0.127	6.3	8.1	5.3	3.8	3.6	3.5
22 ล้อ (พ่วง)	82-7279	15.34.16	50.27	53	<0.127	0.331	0.142	7.5	4.1	8.3	3.6	3.5	50.0
22 ล้อ (พ่วง)	82-7263	15.36.28	50.27	53	<0.127	0.3	0.15	6.8	4.7	6.5	3.5	3.4	3.2
22 ล้อ (พ่วง)	82-0735	15.15.38	50.28	59	<0.127	0.347	0.181	42.7	13.8	17.7	3.9	3.8	62.4
22 ล้อ (พ่วง)	82-7279	14.26.26	50.28	55	<0.127	0.355	0.142	8.7	6.1	6.5	3.8	3.6	3.6
22 ล้อ (พ่วง)	82-6840	15.34.37	50.32	55	<0.127	0.394	0.134	7.0	12.8	11.1	3.6	3.5	3.5
22 ล้อ (พ่วง)	80-5048	15.24.27	50.33	59	<0.127	0.339	0.134	13.5	4.7	6.7	2.9	2.9	2.8
22 ล้อ (พ่วง)	82-2999	15.21.32	50.36	55	0.158	0.323	0.134	10.2	11.9	13.1	10.5	10.2	50.0
22 ล้อ (พ่วง)	81-5454	14.56.30	50.39	55	<0.127	0.402	0.158	10.7	3.2	9.8	3.8	3.1	3.1
22 ล้อ (พ่วง)	82-7943	15.10.25	50.39	54	0.134	0.378	0.173	9.0	7.5	7.1	3.6	3.1	50.1
22 ล้อ (พ่วง)	81-7911	9.53.13	50.4	57	<0.127	0.67	0.158	10.7	13.8	10.7	11.4	11.4	10.9
22 ล้อ (พ่วง)	70-1790	11.07.29	50.4	59	<0.127	0.386	<0.127	11.6	6.6	4.7	5.0	3.4	50.0
22 ล้อ (พ่วง)	82-66055	15.04.38	50.4	58	<0.127	0.41	0.166	7.1	4.1	7.9	3.8	3.6	3.6
22 ล้อ (พ่วง)	82-5748	14.28.22	50.41	58	<0.127	0.363	0.15	9.3	14.6	6.8	3.9	3.6	3.6

ความเร็ว 51 – 60 กม./ชม.													
ประเภท รถบรรทุก	ทะเบียนรถ	เวลา	น้ำหนัก	ความเร็ว	Peak Particle Velocity			Zero Crossing			Fast Fourier Transform		
					Tran	Vert	long	Tran	Vert	long	Tran	Vert	long
22 ล้อ (พ่วง)	71-9945	10.14.48	50.44	54	<0.127	0.268	<0.127	20.5	13.5	10.9	3.5	3.4	3.2
22 ล้อ (พ่วง)	82-3909	14.44.34	50.45	52	<0.127	0.315	<0.127	10.4	5.3	14.6	3.6	3.5	3.4
22 ล้อ (พ่วง)	82-7279	15.34.18	50.47	59	<0.127	0.465	0.173	7.5	7.3	14.6	3.9	3.6	3.6
22 ล้อ (พ่วง)	81-3059	16.24.27	50.5	59	<0.127	0.583	0.213	13.1	13.8	19.7	11.2	3.2	16.5
22 ล้อ (พ่วง)	70-2655	14.39.47	50.5	53	<0.127	0.544	0.166	6.7	4.3	4.8	3.4	3.4	3.4
22 ล้อ (พ่วง)	70-2653	14.39.58	50.5	54	<0.127	0.355	0.15	9.3	9.1	4.7	3.1	3.1	50.1
22 ล้อ (พ่วง)	84-3544	14.52.23	50.5	59	<0.127	0.504	<0.127	11.6	5.0	5.2	4.0	3.4	50.0
22 ล้อ (พ่วง)	82-8055	14.58.32	50.5	52	<0.127	0.355	0.134	13.8	14.2	5.6	3.5	3.8	3.8
22 ล้อ (พ่วง)	82-7263	15.18.09	50.5	52	<0.127	0.315	0.158	7.9	5.8	5.6	3.5	3.6	50.0
22 ล้อ (พ่วง)	82-7279	15.18.24	50.5	56	<0.127	0.41	0.173	10.4	7.5	14.2	3.6	3.5	3.5
22 ล้อ (พ่วง)	82-4381	15.24.18	50.5	52	<0.127	0.347	0.134	10.2	19.0	10.7	12.1	3.5	50.0
22 ล้อ (พ่วง)	82-3373	9.52.22	50.5	54	<0.127	0.3	<0.127	51.2	3.6	73.1	3.0	3.1	50.0
22 ล้อ (พ่วง)	82-6836	15.11.06	50.5	58	<0.127	0.37	<0.127	20.5	12.5	6.5	4.0	3.8	3.9
22 ล้อ (กึ่งพ่วง)	70-5620	10.57.16	30.7	56	<0.127	0.386	0.158	16.0	19.0	17.7	11.1	14.9	50.0
22 ล้อ (กึ่งพ่วง)	70-1508	15.42.23	31.27	59	<0.127	0.284	0.134	13.8	6.9	11.1	5.0	24.4	50.0
22 ล้อ (กึ่งพ่วง)	72-9950	14.37.49	36.85	53	<0.127	0.252	<0.127	16.0	19.7	28.4	5.1	5.1	4.8
22 ล้อ (กึ่งพ่วง)	85-3562	8.57.20	44.79	51	<0.127	0.284	<0.127	12.2	15.1	13.5	12.2	25.0	50.0
22 ล้อ (กึ่งพ่วง)	70-4105	15.47.42	47.5	51	<0.127	0.244	<0.127	19.0	5.4	5.1	12.1	12.4	50.0
22 ล้อ (กึ่งพ่วง)	70-2239	10.58.14	48.03	52	<0.127	0.426	<0.127	11.9	16.0	12.8	12.8	12.5	50.0
22 ล้อ (กึ่งพ่วง)	66-7161	9.13.51	49.42	52	<0.127	0.268	0.158	36.6	20.5	19.0	12.8	15.2	50.0
22 ล้อ (กึ่งพ่วง)	82-0893	15.42.08	50.3	59	<0.127	0.449	0.166	7.9	8.1	8.8	5.2	5.2	50.0
22 ล้อ (กึ่งพ่วง)	70-1881	9.04.50	50.5	59	<0.127	0.473	0.142	20.5	15.5	10.7	3.9	3.2	50.0

ความเร็ว 61 – 70 กม./ชม.													
ประเภท รถบรรทุก	ทะเบียนรถ	เวลา	น้ำหนัก	ความเร็ว	Peak Particle Velocity			Zero Crossing			Fast Fourier Transform		
					Tran	Vert	long	Tran	Vert	long	Tran	Vert	long
6 ล้อ	70-0983	10.42.55	5.08	61	<0.127	0.205	<0.127	42.7	15.1	18.3	16.2	15.8	50.0
6 ล้อ	70-1967	14.57.16	5.16	61	<0.127	0.173	<0.127	39.4	19.7	24.4	16.5	16.0	50.0
6 ล้อ	50-6732	14.40.28	5.76	69	<0.127	0.205	<0.127	73.1	14.2	26.9	73.8	15.5	50.0
6 ล้อ	75-4717	15.57.22	6.17	62	<0.127	0.173	<0.127	32.0	20.5	19.0	20.0	16.0	12.5
6 ล้อ	70-2691	10.48.31	6.68	68	<0.127	0.197	<0.127	85.3	21.3	56.9	18.0	17.2	18.2
6 ล้อ	85-7886	14.45.32	7.02	69	<0.127	0.181	<0.127	39.4	21.3	19.0	10.5	14.5	19.8
6 ล้อ	82-1828	9.17.12	8.33	70	<0.127	0.158	<0.127	100.0	24.4	20.5	17.0	17.0	16.2
6 ล้อ	70-5119	15.23.20	8.48	69	<0.127	0.213	<0.127	34.1	16.0	24.4	5.9	17.0	50.0
6 ล้อ	50-4542	16.00.52	8.59	62	<0.127	0.189	<0.127	73.1	39.4	46.5	68.2	68.2	68.2
6 ล้อ	73-6269	10.48.07	8.88	62	<0.127	0.205	<0.127	42.7	17.1	22.3	11.0	13.0	13.0
6 ล้อ	82-9082	16.45.07	8.94	66	<0.127	0.181	<0.127	21.3	24.4	28.4	10.0	24.2	20.0
6 ล้อ	82-1839	14.46.26	9	63	<0.127	0.142	<0.127	25.6	19.0	20.5	12.0	26.5	17.5
6 ล้อ	70-1343	14.29.26	9.37	64	<0.127	0.15	<0.127	34.1	24.4	21.3	2.0	15.0	15.5
6 ล้อ	70-1584	9.28.45	9.42	66	<0.127	0.142	<0.127	73.1	16.5	19.0	13.5	14.8	15.8

ความเร็ว 61 - 70 กม./ชม.													
ประเภท รถบรรทุก	ทะเบียนรถ	เวลา	น้ำหนัก	ความเร็ว	Peak Particle Velocity			Zero Crossing			Fast Fourier Transform		
					Tran	Vert	long	Tran	Vert	long	Tran	Vert	long
6 ล้อ	82-2430	14.37.54	9.5	66	<0.127	0.142	<0.127	100.0	17.1	26.9	6.0	2.8	14.0
6 ล้อ	81-3664	9.44.52	9.8	65	<0.127	0.134	<0.127	100.0	21.3	73.1	2.2	22.0	14.2
6 ล้อ	81-7067	10-52.39	10.1	65	<0.127	0.142	<0.127	100.0	19.7	42.7	4.5	3.5	50.0
6 ล้อ	81-3418	9.17.06	11.5	64	<0.127	0.142	<0.127	42.7	19.7	4.7	6.5	15.8	3.8
6 ล้อ	80-9575	10.42.22	12.06	64	<0.127	0.142	<0.127	100.0	15.5	21.3	15.2	15.2	50.0
6 ล้อ	70-1683	16.29.24	12.09	63	<0.127	0.189	<0.127	46.5	21.3	17.7	16.8	16.2	20.5
6 ล้อ	82-2801	15.40.10	12.1	63	<0.127	0.221	<0.127	25.6	19.0	14.2	11.2	17.5	50.0
6 ล้อ	81-4816	10.17.21	12.65	62	<0.127	0.268	<0.127	19.0	17.1	12.2	5.8	12.4	16.6
6 ล้อ	41-8625	9.18.03	12.94	62	<0.127	0.173	<0.127	36.6	24.4	25.6	5.2	3.2	5.8
6 ล้อ	81-3418	9.13.27	13.1	63	<0.127	0.205	<0.127	51.2	18.3	36.6	9.8	15.8	96.5
6 ล้อ	81-4816	15.15.06	13.15	61	<0.127	0.197	<0.127	21.3	18.3	26.9	9.0	19.0	50.0
6 ล้อ	81-9866	9.37.49	13.2	70	<0.127	0.236	<0.127	30.1	16.5	26.9	9.0	13.5	50.0
6 ล้อ	82-1809	9.19.22	13.3	65	<0.127	0.166	<0.127	15.1	21.3	17.1	5.5	24.8	12.8
6 ล้อ	81-4918	9.51.56	13.49	67	<0.127	0.173	<0.127	64.0	23.3	23.3	4.8	14.5	50.0
6 ล้อ	82-8622	10.12.24	13.51	63	<0.127	0.158	<0.127	85.3	21.3	26.9	12.0	17.0	17.0
6 ล้อ	81-4816	9.17.38	13.56	64	<0.127	0.221	<0.127	64.0	26.9	25.6	5.2	3.2	16.8
6 ล้อ	82-8565	10.35.38	13.58	65	<0.127	0.205	<0.127	73.1	20.5	11.6	11.0	11.1	50.0
6 ล้อ	81-4816	10.36.23	13.85	65	<0.127	0.221	<0.127	100.0	20.5	18.3	9.2	20.0	50.0
6 ล้อ	83-1600	10.46.03	13.9	61	<0.127	0.166	<0.127	42.7	19.7	32.0	5.0	3.0	16.2
6 ล้อ	-	15.07.54	14	67	<0.127	0.181	<0.127	100.0	13.5	34.1	9.8	3.0	15.0
6 ล้อ	81-0578	14.33.39	14.06	65	<0.127	0.158	<0.127	13.5	22.3	16.0	9.8	13.0	50.0
6 ล้อ	82-8565	10.51.14	14.19	69	<0.127	0.173	<0.127	42.7	11.1	46.5	11.8	12.0	50.0
6 ล้อ	83-2207	15.31.35	14.82	65	<0.127	0.134	<0.127	73.1	9.0	18.3	14.5	15.0	15.2
6 ล้อ	70-7022	9.13.17	14.85	69	<0.127	0.142	<0.127	39.4	20.5	56.9	4.0	2.5	3.0
6 ล้อ	70-3605	9.14.17	15	65	<0.127	0.197	<0.127	56.9	17.7	24.4	3.6	2.6	2.6
6 ล้อ	82-8585	14.12.29	15	61	<0.127	0.276	0.181	13.1	23.3	9.5	13.2	13.0	12.2
10 ล้อ	82-0958	9.11.49	9.01	65	<0.127	0.252	0.134	26.9	17.1	16.5	3.0	13.5	14.4
10 ล้อ	70-9730	15.25.43	9.88	66	<0.127	0.268	0.134	13.1	19.0	20.5	5.4	5.2	50.0
10 ล้อ	80-6022	10.17.20	11.2	66	<0.127	0.347	0.15	16.5	15.5	20.5	10.0	10.1	14.5
10 ล้อ	52-0299	9.17.25	11.48	61	<0.127	0.213	<0.127	28.4	21.3	18.3	14.6	13.6	50.0
10 ล้อ	84-6875	10.17.06	11.88	69	<0.127	0.363	0.205	17.1	15.5	14.2	4.4	14.6	14.6
10 ล้อ	71-2193	11.07.32	13.67	67	<0.127	0.244	<0.127	23.3	24.4	13.1	3.5	4.1	50.0
10 ล้อ	-	15.41.15	13.78	62	<0.127	0.181	<0.127	25.6	23.3	23.3	14.8	15.2	15.2
10 ล้อ	70-2233	15.30.00	20.34	64	<0.127	0.181	<0.127	13.8	17.1	15.1	12.2	12.5	50.0
10 ล้อ	82-8467	14.21.34	21.83	67	<0.127	0.323	<0.127	12.8	17.1	20.5	4.2	11.0	50.0
10 ล้อ	82-8467	10.08.04	24.12	63	<0.127	0.213	<0.127	32.0	10.9	42.7	4.2	4.4	50.0
12 ล้อ	86-1209	9.10.52	11.85	63	<0.127	0.213	<0.127	100.0	24.4	16.5	10.8	17.8	17.8
12 ล้อ	83-9650	15.22.10	20.5	61	<0.127	0.229	<0.127	56.9	19.7	34.1	3.2	3.8	50.0
12 ล้อ	70-4132	15.17.57	24.97	61	<0.127	0.244	0.134	14.6	19.0	25.6	4.1	4.6	50.0
18 ล้อ	70-1327	9.24.50	17.23	64	<0.127	0.189	<0.127	11.4	19.7	15.1	5.1	14.9	14.9
18 ล้อ	82-6993	14.35.37	44.71	65	<0.127	0.307	0.134	17.1	22.3	19.0	3.1	3.1	50.0
18 ล้อ	82-5534	16.21.35	44.83	68	<0.127	0.465	0.134	14.6	3.7	15.1	3.2	3.4	13.4
18 ล้อ	70-3699	15.13.46	44.85	69	<0.127	0.307	0.134	10.0	9.0	11.1	3.1	3.0	50.0
18 ล้อ	87-7768	15.15.23	45	62	<0.127	0.307	<0.127	18.3	15.5	11.9	11.2	11.8	12.1
18 ล้อ	81-6660	9.47.25	45	65	<0.127	0.52	0.142	13.8	24.4	26.9	9.9	16.5	50.0
18 ล้อ	70-2611	11.01.10	45	64	<0.127	0.339	0.134	24.4	49.0	17.1	3.6	3.1	50.0
22 ล้อ (พ่วง)	82-3375	10.53.53	35.64	61	0.181	0.489	0.197	56.9	7.6	46.5	58.4	3.2	58.4
22 ล้อ (พ่วง)	82-9741	16.11.13	39.76	69	<0.127	0.607	<0.127	10.7	5.0	15.5	3.9	3.5	3.4
22 ล้อ (พ่วง)	82-5048	15.02.38	40.86	61	<0.127	0.434	0.181	11.4	15.1	6.6	4.0	3.8	3.8
22 ล้อ (พ่วง)	82-9677	9.17.00	41.1	68	<0.127	0.41	<0.127	9.8	9.5	10.9	3.9	3.8	4.2
22 ล้อ (พ่วง)	82-7283	14.54.29	41.74	62	<0.127	0.544	<0.127	19.0	9.1	14.2	3.8	3.5	4.0
22 ล้อ (พ่วง)	70-1949	15.32.12	46.29	66	<0.127	0.307	<0.127	18.3	19.0	11.1	5.5	2.8	50.0
22 ล้อ (พ่วง)	82-7053	15.44.18	50.05	63	<0.127	0.418	0.15	8.7	7.0	18.3	3.8	3.4	50.0
22 ล้อ (พ่วง)	82-5046	11.02.05	50.09	67	<0.127	0.363	0.181	8.7	10.7	10.7	3.6	3.5	50.0

ความเร็ว 61 – 70 กม./ชม.													
ประเภท รถบรรทุก	ทะเบียนรถ	เวลา	น้ำหนัก	ความเร็ว	Peak Particle Velocity			Zero Crossing			Fast Fourier Transform		
					Tran	Vert	long	Tran	Vert	long	Tran	Vert	long
22 ล้อ (พ่วง)	70-2819	9.07.43	50.19	66	<0.127	0.402	0.134	11.4	6.1	13.1	3.5	3.6	50.0
22 ล้อ (พ่วง)	70-3457	10.27.29	50.22	64	<0.127	0.528	<0.127	36.6	8.5	18.3	4.1	3.5	50.0
22 ล้อ (พ่วง)	82-5059	10.46.46	50.23	61	<0.127	0.378	0.142	23.3	11.1	56.9	4.0	3.4	50.0
22 ล้อ (พ่วง)	70-2183	9.24.01	50.27	64	<0.127	0.473	<0.127	15.1	5.6	14.6	3.4	3.5	50.0
22 ล้อ (พ่วง)	82-7047	9.48.46	50.28	67	<0.127	0.402	<0.127	15.5	8.7	42.7	3.8	4.0	3.9
22 ล้อ (พ่วง)	84-0306	15.33.57	50.3	63	<0.127	0.37	<0.127	7.5	7.4	8.1	3.4	6.5	50.0
22 ล้อ (พ่วง)	82-6605	10.08.04	50.38	66	<0.127	0.418	<0.127	19.7	13.5	19.7	4.4	4.1	3.4
22 ล้อ (พ่วง)	82-5165	15.25.04	50.42	62	0.134	0.339	0.134	20.5	20.5	15.5	3.8	4.0	50.0
22 ล้อ (พ่วง)	81-7197	15.20.41	50.44	65	<0.127	0.434	<0.127	15.5	13.5	17.1	4.1	3.5	50.0
22 ล้อ (พ่วง)	82-5048	14.56.53	50.46	61	<0.127	0.457	0.158	18.3	6.0	11.4	4.0	3.4	3.8
22 ล้อ (พ่วง)	82-6965	11.07.38	50.47	63	<0.127	0.497	0.15	10.7	14.6	20.5	3.8	3.4	50.0
22 ล้อ (พ่วง)	82-8055	14.11.38	50.5	66	<0.127	0.426	<0.127	8.4	17.7	19.0	4.1	4.1	4.1
22 ล้อ (พ่วง)	81-7738	15.08.37	50.5	70	0.15	0.638	0.213	13.8	14.6	19.0	12.0	12.4	50.0
22 ล้อ (พ่วง)	71-3672	15.26.55	50.5	64	<0.127	0.402	<0.127	8.7	5.0	17.7	4.1	3.5	50.0
22 ล้อ (พ่วง)	81-9153	15.38.51	50.5	63	<0.127	0.41	0.205	8.1	17.1	13.8	3.4	3.5	50.0
22 ล้อ (พ่วง)	82-3373	10.29.55	50.61	62	<0.127	0.394	<0.127	11.4	3.8	18.3	3.6	3.4	50.0
22 ล้อ (กึ่งพ่วง)	62-3427	10.56.44	36.52	67	<0.127	0.386	0.142	11.6	19.0	14.2	11.1	15.9	50.0
22 ล้อ (กึ่งพ่วง)	63-3029	14.21.25	37.73	61	<0.127	0.284	0.158	9.8	19.7	13.5	14.8	14.5	50.0
22 ล้อ (กึ่งพ่วง)	70-3796	14.54.46	41.69	62	<0.127	0.307	0.134	24.4	24.4	19.0	14.9	25.4	50.0
22 ล้อ (กึ่งพ่วง)	70-6048	10.35.40	43.85	69	<0.127	0.339	0.142	12.8	23.3	12.8	12.8	2.9	50.0
22 ล้อ (กึ่งพ่วง)	72-4814	10.05.03	46.04	65	<0.127	0.418	<0.127	18.3	20.5	15.5	4.4	3.6	17.5
22 ล้อ (กึ่งพ่วง)	70-2143	8.54.30	46.99	63	<0.127	0.3	0.142	36.6	14.6	14.2	10.8	14.8	12.4
22 ล้อ (กึ่งพ่วง)	-	14.06.32	50	65	<0.127	0.441	0.15	11.9	16.0	19.7	12.4	14.2	12.8

ความเร็ว 71 – 80 กม./ชม.													
ประเภท รถบรรทุก	ทะเบียนรถ	เวลา	น้ำหนัก	ความเร็ว	Peak Particle Velocity			Zero Crossing			Fast Fourier Transform		
					Tran	Vert	long	Tran	Vert	long	Tran	Vert	long
6 ล้อ	82-7016	9.22.20	5.44	72	<0.127	0.173	<0.127	100.0	24.4	20.5	14.8	14.8	15.0
6 ล้อ	82-3040	9.37.54	5.94	72	<0.127	0.158	<0.127	100.0	21.3	20.5	57.0	15.2	17.2
6 ล้อ	70-8363	10.19.15	6.62	80	<0.127	0.166	<0.127	23.3	22.3	64.0	58.0	18.5	50.0
6 ล้อ	82-8790	15.45.06	7.33	74	<0.127	0.189	<0.127	85.3	17.1	16.0	4.5	16.2	50.0
6 ล้อ	81-3596	15.37.51	8.33	79	<0.127	0.197	<0.127	26.9	24.4	30.1	20.8	19.5	50.0
6 ล้อ	50-5778	16.15.33	8.5	75	<0.127	0.15	<0.127	46.5	24.4	26.9	18.2	17.5	19.0
6 ล้อ	82-1026	10.47.41	8.5	72	<0.127	0.15	<0.127	64.0	22.3	56.9	3.2	17.2	50.0
6 ล้อ	70-3977	15.13.06	8.81	77	<0.127	0.221	<0.127	19.0	24.4	28.4	18.2	18.8	50.0
6 ล้อ	53-7549	9.42.51	9.18	71	<0.127	0.15	<0.127	100.0	20.5	51.2	69.2	16.5	50.0
6 ล้อ	83-8873	14.37.01	9.72	78	<0.127	0.37	0.173	85.3	21.3	19.7	11.8	14.6	50.0
6 ล้อ	82-6723	16.00.51	9.88	71	<0.127	0.189	<0.127	42.7	22.3	30.1	2.0	16.8	20.5
6 ล้อ	72-4072	14.37.53	10.03	72	<0.127	0.181	<0.127	100.0	25.6	32.0	16.8	24.8	50.0
6 ล้อ	70-2688	15.00.51	11.76	72	<0.127	0.292	0.166	42.7	18.3	26.9	13.4	13.6	50.0
6 ล้อ	82-8565	9.30.24	12.4	71	<0.127	0.355	0.158	30.1	17.1	17.1	11.8	13.6	12.1
6 ล้อ	-	9.13.50	13.1	71	<0.127	0.229	<0.127	73.1	21.3	13.5	3.2	13.9	11.8
6 ล้อ	82-8565	10.36.34	13.1	72	<0.127	0.158	<0.127	100.0	26.9	19.7	4.2	19.5	16.0
6 ล้อ	82-8565	15.44.26	14	71	<0.127	0.276	0.142	24.4	15.1	16.5	11.8	11.5	50.0
6 ล้อ	20-8869	11.09.26	14.53	80	<0.127	0.213	<0.127	25.6	30.1	51.2	8.8	13.8	50.0
6 ล้อ	50-0151	15.49.19	14.54	73	<0.127	0.221	<0.127	51.2	19.7	19.7	72.2	15.0	72.0
6 ล้อ	82-8273	15.07.01	14.55	79	<0.127	0.189	<0.127	24.4	18.3	24.4	18.5	18.2	18.2

ความเร็ว 71 – 80 กม./ชม.													
ประเภท รถบรรทุก	ทะเบียนรถ	เวลา	น้ำหนัก	ความเร็ว	Peak Particle Velocity			Zero Crossing			Fast Fourier Transform		
					Tran	Vert	long	Tran	Vert	long	Tran	Vert	long
6 ล้อ	71-4215	9.15.23	14.64	72	<0.127	0.173	0.134	17.7	20.5	6.2	28.5	14.8	16.8
6 ล้อ	82-9928	9.14.35	14.8	80	<0.127	0.252	<0.127	32.0	16.0	12.8	3.2	17.8	15.5
6 ล้อ	70-9005	10.31.38	14.86	79	<0.127	0.236	<0.127	100.0	25.6	19.0	21.2	17.0	17.5
6 ล้อ	82-1260	15.54.50	15	73	<0.127	0.189	<0.127	100.0	17.7	16.5	19.8	20.2	50.0
10 ล้อ	82-1885	15.56.41	8	77	<0.127	0.3	0.142	9.3	13.1	16.0	5.1	13.6	50.0
10 ล้อ	70-9054	16.09.05	9.54	73	<0.127	0.481	0.229	20.5	17.7	16.5	17.0	16.2	16.5
10 ล้อ	82-4356	16.32.19	10.44	78	<0.127	0.236	0.229	64.0	14.2	18.3	4.0	12.8	12.8
10 ล้อ	83-5276	15.30.44	11.51	72	<0.127	0.3	<0.127	10.4	21.3	18.3	4.6	12.0	12.1
10 ล้อ	84-6903	10.30.36	11.61	80	<0.127	0.465	0.158	11.6	10.9	26.9	4.5	4.9	50.0
10 ล้อ	82-0732	9.56.01	20.91	75	<0.127	0.481	0.166	15.5	17.7	17.7	14.4	14.1	50.0
10 ล้อ	82-2982	15.24.22	21.7	73	<0.127	0.402	0.189	100.0	15.1	10.4	12.1	13.9	14.6
10 ล้อ	85-5355	15.11.47	24.08	72	<0.127	0.347	0.158	22.3	17.1	21.3	3.5	3.4	50.0
10 ล้อ	70-2069	9.42.38	24.52	71	<0.127	0.284	<0.127	24.4	19.0	21.3	3.4	3.1	17.1
12 ล้อ	85-5355	15.11.47	24.08	72	<0.127	0.347	0.158	22.3	17.1	21.3	3.5	3.4	50.0
12 ล้อ	85-5355	15.11.47	24.08	72	<0.127	0.347	0.158	22.3	17.1	21.3	3.5	3.4	50.0
18 ล้อ	86-6771	10.30.31	18.85	80	<0.127	0.481	<0.127	7.4	11.4	19.0	4.2	4.9	50.0
18 ล้อ	82-7900	8.47.16	45.39	72	<0.127	0.441	<0.127	4.1	10.4	28.4	3.5	3.4	3.1
18 ล้อ	70-3117	16.40.32	47	72	<0.127	0.418	0.189	18.3	16.0	21.3	13.1	15.6	50.0
22 ล้อ (พ่วง)	82-9580	9.30.03	34.3	80	<0.127	0.56	0.142	10.9	5.4	19.0	4.0	3.6	15.2
22 ล้อ (พ่วง)	82-0903	14.37.25	49.79	72	<0.127	0.465	0.134	19.0	17.1	16.0	4.2	4.5	50.0
22 ล้อ (พ่วง)	70-5837	15.41.58	50.31	79	<0.127	0.418	0.15	14.6	16.0	16.0	3.8	3.6	50.0
22 ล้อ (พ่วง)	82-1839	10.54.36	50.32	72	<0.127	0.394	0.134	25.6	15.1	16.0	14.1	13.9	50.0
22 ล้อ (พ่วง)	82-1438	14.57.03	50.38	76	<0.127	0.465	<0.127	14.6	14.2	20.5	12.6	3.4	17.9
22 ล้อ (กึ่งพ่วง)	87-3794	15.57.54	22.08	79	<0.127	0.355	<0.127	19.0	15.1	13.1	10.1	14.0	14.0
22 ล้อ (กึ่งพ่วง)	70-4206	9.44.30	40.96	71	<0.127	0.268	0.134	13.1	25.6	23.3	3.9	12.5	50.0