

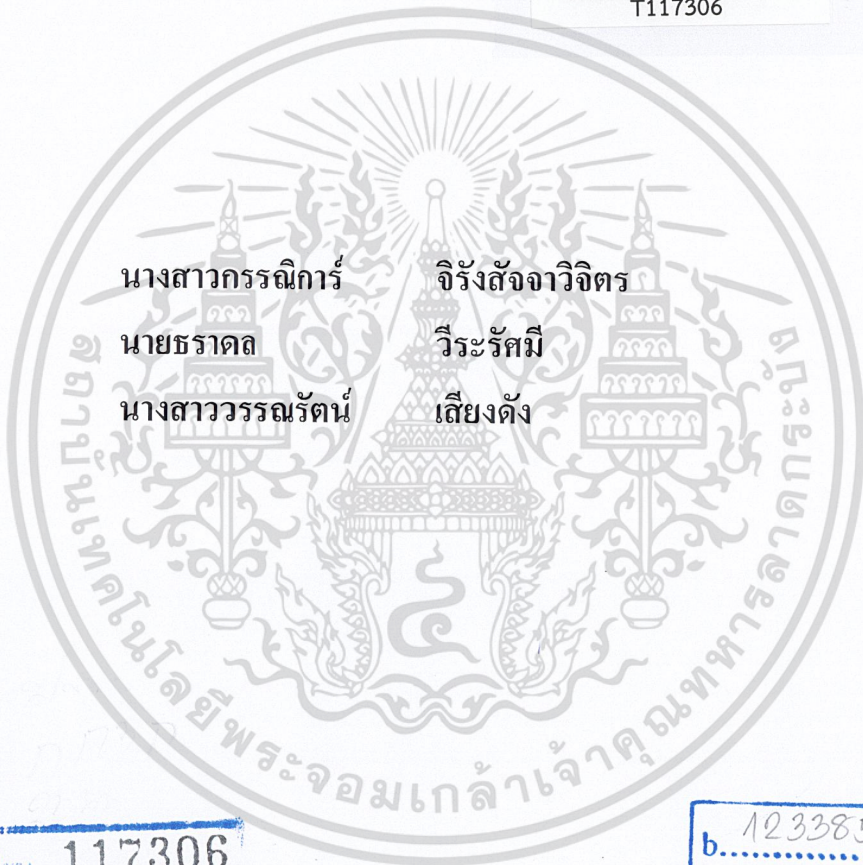
**สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง**

การศึกษาผลกระทบจากความสั่นสะเทือนที่เกิดจากรถไฟต่อโครงสร้างของ  
อาคาร

**Effect of Train Vibration to The Building Structure**



T117306



นางสาวกรรณิการ์ จิรังสัจจาวิจิตร  
นายชราตล วีระรัศมี  
นางสาววรรณรัตน์ เสียงดัง

สาขา...  
เลขทะเบียน... 117306  
วันเดือนปี... 20 ก.ค. 2554

b. 123385ax  
i. ....

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชา เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม  
คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ปีการศึกษา 2553  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# EFFECT OF TRAIN VIBRATION TO THE BUILDING STRUCTURE



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIRMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE  
IN ENVIONMENTAL RESOURCE CHEMISTRY  
FACULTY OF SCIENCE

**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและตงยอ้งองเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การศึกษาผลกระทบจากความสั่นสะเทือนที่เกิดจากรถไฟต่อ โครงสร้าง  
ของอาคาร

Effect of Train Vibration to The Building Structure

ชื่อนักศึกษา นางสาว กรรณิการ์ จิรังสัจจาจิตร

นาย ทรายดล วีระรัมย์

นางสาว วรณรัตน์ เสียงดั่ง

ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิชา เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ. พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อาจารย์ธนาพันธ์ สุกสอาด

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้  
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชา เคมี  
ทรัพยากรสิ่งแวดล้อม ประจำปีการศึกษา 2553

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
รศ. วิชาญ เดชดิธีระ	
ผศ. ประธาน อารีพล	
ผศ. พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย	
อาจารย์ธนาพันธ์ สุกสอาด	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การศึกษาผลกระทบจากความสั่นสะเทือนที่เกิดจากรถไฟต่อ โครงสร้างของอาคาร
ชื่อนักศึกษา	นางสาวกรรณิการ์ จิรังส์จาวิจิตร นายชราดล วีระรัศมี นางสาววรรณรัตน์ เสียงดั่ง
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต
สาขาวิชา	เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา	2553
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ. พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อ.ธนาพันธ์ สุกสอาด

### บทคัดย่อ

ปัจจุบันความสั่นสะเทือนเป็นปัญหาสำคัญที่เกิดขึ้นต่อ โครงสร้างอาคารและการดำเนินชีวิตของผู้คน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเมืองใหญ่ แหล่งกำเนิดความสั่นสะเทือนส่วนใหญ่ จากการก่อสร้าง และการคมนาคมขนส่ง เช่น รถบรรทุก รถไฟ และรถยนต์ขนาดใหญ่ ดังนั้นในการศึกษาวิจัยนี้ได้ศึกษาผลกระทบจากความสั่นสะเทือนที่เกิดจากรถไฟต่อ โครงสร้างอาคาร โดยบริเวณที่ศึกษาคือบริเวณ อาคารกิจกรรมนักศึกษาของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังและบริเวณ บ้านพักเจ้าหน้าที่สื่อสารการรถไฟของสถานีรถไฟลาดกระบัง โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วน คือ 1. ศึกษาการลดทอนความสั่นสะเทือนในดินบริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2. ศึกษาผลกระทบของระดับความสั่นสะเทือนที่มีผลต่อ โครงสร้างอาคาร โดยเปรียบเทียบกับมาตรฐานความสั่นสะเทือนเพื่อป้องกันผลกระทบต่ออาคาร ตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 37 : 2553 และมาตรฐาน DIN 4150 ในการประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้นโดยใช้แหล่งกำเนิดความสั่นสะเทือนจากรถไฟโดยสารและรถไฟขนส่งสินค้า บริเวณบ้านพักเจ้าหน้าที่สื่อสารการรถไฟ จากการศึกษาพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงวัสดุของดินบริเวณที่ศึกษา มีค่าเท่ากับ 0.3621 และค่าระดับความสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นจากรถไฟ มีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานมาก จึงไม่ส่งผลกระทบต่อโครงสร้างอาคาร อย่างไรก็ตามความสั่นสะเทือนจากรถไฟบางขบวนอาจมีค่าสูงอาจส่งผลกระทบต่อความเป็นอยู่ของประชาชนบริเวณดังกล่าวเมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน ISO 2631-2

**คำสำคัญ :** ความสั่นสะเทือน , การวิเคราะห์ความสั่นสะเทือน , ผลกระทบจากความสั่นสะเทือน , มาตรฐานความสั่นสะเทือน , มาตรฐานผลกระทบต่อมนุษย์ ISO 2631-2, ค่าสัมประสิทธิ์การ

เอกสารฉบับนี้ได้รับการสนับสนุนจากสำนักงานส่งเสริมการศึกษานอกระบบ และการศึกษาตามอัธยาศัย (กศน.) และขอขอบคุณสำนักงานส่งเสริมการศึกษานอกระบบ และการศึกษาตามอัธยาศัย (กศน.) อีกที่ที่หาข้อมูลและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>Title</b>	Effect of Train Vibration to The Building Structure
<b>Students</b>	Miss Kannika Jirangsajjavijit Mr. Taradon Virarusmi Miss Wannarat Siengdung
<b>Degree</b>	Bachelor of Science
<b>Major Program</b>	Environmental Resource Chemistry
<b>Academic Year</b>	2010
<b>Advisor</b>	Asst.Prof.Pitsamai Chairatutai
<b>Co-Advisor</b>	Mr.Thanaphan suksaard

## ABSTRACT

In the present, vibration effect on structure of the buildings and people's health is a major problem especially in the big city. The mostly sources of vibration come from the constructions and the transportations such as trucks, trains, and large vehicles etc. In this study, the effect of vibration from trains have been studied in 2 parts as the followings 1) Study of the Attenuation coefficient of vibration in the soil at King Mongkut's institute of technology Ladkrabang area and 2) Study of the vibration on building structures and people's health by comparison between measurement data and Vibration standards for impact protection to buildings according to the National Environment Board No.37:2010, standard DIN 4150 and ISO 2631-2. As the result, the Attenuation coefficient of vibration in the soil at study area was equal to 0.3621 and the vibrations from the passenger trains and transport trains were lower than the standard to prevent vibration impacts to buildings according to the National Environment Board No. 37:2010 and standard DIN 4150. Therefore, they did not impact to the building structure. However, vibration from some trains might affect or annoy the well-being of people because it was higher than standard according to ISO 2631-2.

**Keywords :** Vibration , Impact of Vibration , Vibration Analysis , Standard of Vibration , Impact

of Vibration to Health , ISO 2631-3 , Train

เอกสารนี้ยังอยู่ระหว่างการพิจารณาของกองส่งเสริมการศึกษาระดับปริญญาตรี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ทางคณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณ ผศ.พิสมัย ชัยรัตน์อุทัยและอาจารย์ธนาพันธ์ สุกสอาด ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ รวมถึง รศ.วิชาญ เตชิตธีระ คุณสุโรชา พุสวัตต์ นักวิชาการสิ่งแวดล้อมปฏิบัติการ กรมควบคุมมลพิษ และอาจารย์ประจำภาควิชาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อมทุกท่านที่ให้แนวคิด พร้อมคำแนะนำในการทำโครงการพิเศษฉบับนี้ ตลอดจนแก้ไขปัญหาต่างๆ และการช่วยเหลือในด้านอื่นๆอย่างดียิ่ง อันประโยชน์ในการจัดทำรายงานโครงการพิเศษฉบับนี้ ขอขอบคุณ ภาควิชาเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ให้ความรู้ อีกทั้งคณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณเพื่อนๆ ทุกคน และผู้ที่เกี่ยวข้องในการทำโครงการพิเศษฉบับนี้ ไม่ว่าจะเป็นที่ปรึกษาและช่วยเหลือ รวมถึงเป็นกำลังใจให้แก่กลุ่มผู้จัดทำจนทำให้โครงการพิเศษฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ได้ด้วยดี

ทางคณะผู้จัดทำใคร่ขอขอบพระคุณ ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม ส่วนเสียงและความสัมพันธ์ และเจ้าหน้าที่ในศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อมทุกท่าน ที่เอื้อเพื่อเครื่องมือและอุปกรณ์การตรวจวัดข้อมูล พร้อมทั้งให้คำปรึกษาตลอดการทำโครงการพิเศษฉบับนี้ เจ้าหน้าที่กรมควบคุมมลพิษที่เอื้อเพื่อเครื่องมืออุปกรณ์ เจ้าหน้าที่การรถไฟแห่งประเทศไทยที่เอื้อเพื่อสถานที่และข้อมูลด้านตารางการเดินรถไฟ และสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่เอื้อเพื่ออาคารและสถานที่ในการทำโครงการพิเศษนี้

สุดท้ายนี้ทางคณะผู้จัดทำ ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่ได้เป็นกำลังใจและสนับสนุนในการทำโครงการพิเศษจนสำเร็จได้ด้วยดี ซึ่งทางคณะผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงขอกราบขอบพระคุณท่านทั้งสองไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

กรรมกร จิรังสัจจาวิจิตร

ธราดล วีระรัศมี

วรรณรัตน์ เสียงดัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหามุและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูป	VII

<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
1.5 แผนการดำเนินงาน	4
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b>	5
2.1 การสันตะเทียน	5
2.2 คุณสมบัติของคลื่นการสันตะเทียน	5
2.3 การเคลื่อนที่ของการสันตะเทียน	6
2.4 การลดทอนการสันตะเทียนตามระยะทาง	7
2.5 รถไฟ	9
2.6 แหล่งกำเนิดการสันตะเทียนของรถไฟ	14
2.7 การตรวจวัดการสันตะเทียน	16
2.8 กำหนดมาตรฐานการสันตะเทียนเพื่อป้องกันผลกระทบต่ออาคาร	28
2.9 สภาพแวดล้อมที่มีผลกระทบต่อ การวัดการสันตะเทียน	30
2.10 ผลกระทบของการสันตะเทียน	31
<b>บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย</b>	34
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์	34
3.2 ขั้นตอนการดำเนินการ	34
3.3 การประมวลผล	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่มีให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

### บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล

4.1 ผลการศึกษาการลดทอนความสั่นสะเทือนเนื่องจากดินบริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	40
4.2 ผลการศึกษาผลกระทบจากแรงสั่นสะเทือนที่เกิดจากรถไฟต่อโครงสร้างของอาคารประเภทที่ 2	41
4.3 การหาความสัมพันธ์	55
4.4 ผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์	58

### บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย	66
5.2 ข้อเสนอแนะ	67
เอกสารอ้างอิง	68
ภาคผนวก ก	70
ภาคผนวก ข	75
ภาคผนวก ค	87
ภาคผนวก ง	91
ภาคผนวก จ	95
ภาคผนวก ฉ	97



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

ตารางที่ 1.1 ตารางการดำเนินงาน	39
ตารางที่ 2.1 ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนทางเรขาคณิตของคลื่นชนิดต่างๆ	8
ตารางที่ 2.2 ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงวัสดุของดินชนิดต่างๆ	8
ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบความไวของหัววัดแบบระยะทางที่ผลิตจากวัสดุที่ต่างกัน	19
ตารางที่ 2.4 มาตรฐานความสั่นสะเทือนอาคารประเภทที่ 2	29
ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงช่วงค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงวัสดุของดินร่วนทราย	40
ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงความสั่นสะเทือนที่เกิดจากรถไฟโดยสาร	45
ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงความสั่นสะเทือนที่เกิดจากรถไฟขนส่งสินค้า	52
ตารางที่ 1-ง แสดงข้อมูลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนโบกี้ กับความสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นรถไฟ ในแกน x	92
ตารางที่ 2-ง แสดงข้อมูลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนโบกี้ กับความสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นรถไฟ ในแกน y	93
ตารางที่ 3-ง แสดงข้อมูลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนโบกี้ กับความสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นรถไฟในแกน z	94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูปลภาพ

รูปที่ 2.1 การเคลื่อนที่ของคลื่นแบบฮาร์โมนิก	6
รูปที่ 2.2 การเคลื่อนที่ของคลื่นแบบไม่เป็นฮาร์โมนิก	7
รูปที่ 2.3 รถจักรดีเซล	9
รูปที่ 2.4 รถจักรดีเซลราง	11
รูปที่ 2.5 รถตู้ใหญ่(ตญ.)	12
รูปที่ 2.6 รถบรรทุกเกลือ( รก.)	12
รูปที่ 2.7 รถข้างต่ำ ( ขต.)	13
รูปที่ 2.8 รถข้างสูง ( ขส.)	13
รูปที่ 2.9 รถโบกี้บรรทุกน้ำมันชั้น ( บทค.)	13
รูปที่ 2.10 รถโบกี้บรรทุกตู้สินค้า ( บตญ.)	13
รูปที่ 2.11 แสดงการสัมผัสกันของล้อและรางรถไฟ	14
รูปที่ 2.12 แสดงกลไกของการเกิดความสั่นสะเทือนจากล้อและรางรถไฟ	15
รูปที่ 2.13 แสดงลักษณะของคลื่นเสียงที่เกิดจากผลกระทบของล้อรถไฟ	15
รูปที่ 2.14 ลักษณะของล้อและรางรถไฟในแนวตั้ง	16
รูปที่ 2.15 ส่วนประกอบสำหรับวัดและวิเคราะห์สัญญาณความสั่นสะเทือน	17
รูปที่ 2.16 ส่วนประกอบของระบบหัววัดความสั่นสะเทือนแบบระยะทาง	18
รูปที่ 2.17 หัววัดความสั่นสะเทือนแบบพรีอิกซิมิตีวัดการเคลื่อนที่ของเพลลาในเครื่องจักรกล	19
รูปที่ 2.18 หัววัดความสั่นสะเทือนแบบความเร็ว	20
รูปที่ 2.19 ค่าความไว(Sensitivity) ของหัววัดความสั่นสะเทือนแบบความเร็ว	21
รูปที่ 2.20 หัววัดความเร่งที่ขายทั่วไป (ซ้าย) และภาพตัดของหัววัดความเร่ง (ขวา)	22
รูปที่ 2.21 ความถี่ธรรมชาติของหัววัดความเร่งเปลี่ยนแปลงตามวิธีการติดตั้ง	23
รูปที่ 2.22 การยึดหัววัดแบบความเร่งด้วยสลักเกลียว	24
รูปที่ 2.23 การยึดหัววัดแบบความเร่งด้วยขี้นี้	24
รูปที่ 2.24 การยึดหัววัดแบบความเร่งด้วยกาวอีพอกซี	25
รูปที่ 2.25 การยึดหัววัดแบบความเร่งด้วยแม่เหล็ก	25
รูปที่ 2.26 การยึดหัววัดแบบความเร่งด้วยการใช้มีกอด	26

รูปที่ 2.27 เครื่องกำเนิดความสั่นสะเทือนเพื่อเปรียบเทียบหัววัดแบบความเร่งที่ต้องการทดสอบ 27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่ 3.1 แสดงจุดตรวจวัดเมื่อมองจากด้านบน (Top view)	35
รูปที่ 3.2 แสดง จุดตรวจวัดในตอนี่ 2 จากด้านบน (Top view)	36
รูปที่ 3.3 แสดงจุดวัดความสั่นสะเทือนในตอนี่2 จากด้านข้าง	37
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่(Hz) และความเร็วของอนุภาค(m/s) เมื่อเทียบกับกราฟมาตรฐานของบริเวณฐานรากในแกน X : รถไฟโดยสาร	42
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่(Hz) และความเร็วของอนุภาค(m/s) ของบริเวณฐานรากในแกน Y : รถไฟโดยสาร	42
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่(Hz) และความเร็วของอนุภาค(m/s) ของบริเวณฐานรากในแกน Z : รถไฟโดยสาร	43
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่(Hz) และความเร็วของอนุภาค(m/s) ของบริเวณชั้นกลาง : รถไฟโดยสาร	43
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่(Hz) และความเร็วของอนุภาค(m/s) ของบริเวณชั้นคาน้ำในแกน X : รถไฟโดยสาร	44
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่(Hz) และความเร็วของอนุภาค(m/s) ของบริเวณชั้นคาน้ำในแกน Y : รถไฟโดยสาร	44
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่(Hz) และความเร็วของอนุภาค(m/s) เมื่อเทียบกับกราฟมาตรฐานของบริเวณฐานรากในแกน X : รถไฟโดยสาร	45
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่(Hz) และความเร็วของอนุภาค(m/s) เมื่อเทียบกับกราฟมาตรฐานของบริเวณฐานรากในแกน Y : รถไฟโดยสาร	46
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่(Hz) และความเร็วของอนุภาค(m/s) เมื่อเทียบกับกราฟมาตรฐานของบริเวณฐานรากในแกน Z : รถไฟโดยสาร	46
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่(Hz) และความเร็วของอนุภาค(m/s) เมื่อเทียบกับกราฟมาตรฐานของบริเวณชั้นกลาง : รถไฟโดยสาร	47
รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่(Hz) และความเร็วของอนุภาค(m/s) เมื่อเทียบกับกราฟมาตรฐานของบริเวณชั้นคาน้ำในแกน X : รถไฟโดยสาร	47
รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่(Hz) และความเร็วของอนุภาค(m/s) เมื่อเทียบกับกราฟมาตรฐานของบริเวณชั้นคาน้ำในแกน Y : รถไฟโดยสาร	48
รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่(Hz) และความเร็วของอนุภาค(m/s)	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานาน ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ของบริเวณฐานรากในแกน X : รถไฟขนส่งสินค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.14	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่(Hz) และความเร็วของอนุภาค(m/s) ของบริเวณฐานรากในแกน Y : รถไฟขนส่งสินค้า	49
รูปที่ 4.15	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่(Hz) และความเร็วของอนุภาค(m/s) ของบริเวณฐานรากในแกน Z : รถไฟขนส่งสินค้า	50
รูปที่ 4.16	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่(Hz) และความเร็วของอนุภาค(m/s) ของบริเวณชั้นกลาง : รถไฟขนส่งสินค้า	50
รูปที่ 4.17	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่(Hz) และความเร็วของอนุภาค(m/s) ของบริเวณชั้นคาบฟ้าในแกน X : รถไฟขนส่งสินค้า	51
รูปที่ 4.18	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่(Hz) และความเร็วของอนุภาค(m/s) บริเวณชั้นคาบฟ้าในแกน Y : รถไฟขนส่งสินค้า	51
รูปที่ 4.19	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่(Hz) และความเร็วของอนุภาค(m/s) เมื่อเทียบกับกราฟมาตรฐานของบริเวณฐานรากในแกน X : รถไฟขนส่งสินค้า	52
รูปที่ 4.20	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่(Hz) และความเร็วของอนุภาค(m/s) เมื่อเทียบกับกราฟมาตรฐานของบริเวณฐานรากในแกน Y : รถไฟขนส่งสินค้า	53
รูปที่ 4.21	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่(Hz) และความเร็วของอนุภาค(m/s) เมื่อเทียบกับกราฟมาตรฐานของบริเวณฐานรากในแกน Z : รถไฟขนส่งสินค้า	53
รูปที่ 4.22	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่(Hz) และความเร็วของอนุภาค(m/s) เมื่อเทียบกับกราฟมาตรฐานของบริเวณชั้นกลาง : รถไฟขนส่งสินค้า	54
รูปที่ 4.23	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่(Hz) และความเร็วของอนุภาค(m/s) เมื่อเทียบกับกราฟมาตรฐานของบริเวณชั้นคาบฟ้าในแกน X : รถไฟขนส่งสินค้า	54
รูปที่ 4.24	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่(Hz) และความเร็วของอนุภาค(m/s) เมื่อเทียบกับกราฟมาตรฐานของบริเวณชั้นคาบฟ้าในแกน Y : รถไฟขนส่งสินค้า	55
รูปที่ 4.25	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของขบวนรถไฟกับความสั่นสะเทือนในแกนต่างๆ	56
รูปที่ 4.26	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวน โบกี้กับความสั่นสะเทือนในแกน X	56
รูปที่ 4.27	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวน โบกี้กับความสั่นสะเทือนในแกน Y	57
รูปที่ 4.28	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวน โบกี้กับความสั่นสะเทือนในแกน Z	57
รูปที่ 4.29	กราฟแสดงค่าการเปรียบเทียบค่าความสั่นสะเทือนกับค่ามาตรฐาน ISO 2631-2 บริเวณ บ้านพักเจ้าหน้าที่การสื่อสารการรถไฟ : รถไฟโดยสาร แกน X	59
รูปที่ 4.30	กราฟแสดงค่าการเปรียบเทียบค่าความสั่นสะเทือนกับค่ามาตรฐาน ISO 2631-2 บริเวณบ้านพักเจ้าหน้าที่การสื่อสารการรถไฟ : รถไฟโดยสาร แกน Y	59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่วางไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.31	กราฟแสดงค่าการเปรียบเทียบค่าความสั้นสะเทือนกับค่ามาตรฐาน ISO 2631-2 บริเวณ บ้านพักเจ้าหน้าที่การสื่อสารการรถไฟ : รถไฟโดยสาร แคน Z	60
รูปที่ 4.32	กราฟแสดงค่าการเปรียบเทียบค่าความสั้นสะเทือนกับค่ามาตรฐาน ISO 2631-2 บริเวณบ้านพักเจ้าหน้าที่การสื่อสารการรถไฟ : รถไฟขนส่งสินค้า แคน X	60
รูปที่ 4.33	กราฟแสดงค่าการเปรียบเทียบค่าความสั้นสะเทือนกับค่ามาตรฐาน ISO 2631-2 บริเวณบ้านพักเจ้าหน้าที่การสื่อสารการรถไฟ : รถไฟขนส่งสินค้า แคน Y	61
รูปที่ 4.34	กราฟแสดงค่าการเปรียบเทียบค่าความสั้นสะเทือนกับค่ามาตรฐาน ISO 2631-2 บริเวณบ้านพักเจ้าหน้าที่การสื่อสารการรถไฟ : รถไฟขนส่งสินค้า แคน Z	61
รูปที่ 4.35	กราฟแสดงค่าการเปรียบเทียบค่าความสั้นสะเทือนกับค่ามาตรฐาน ISO 2631-2 บริเวณอาคารกิจกรรมนักศึกษา: รถไฟโดยสาร แคน X	62
รูปที่ 4.36	กราฟแสดงค่าการเปรียบเทียบค่าความสั้นสะเทือนกับค่ามาตรฐาน ISO 2631-2 บริเวณอาคารกิจกรรมนักศึกษา: รถไฟโดยสาร แคน Y	63
รูปที่ 4.37	กราฟแสดงค่าการเปรียบเทียบค่าความสั้นสะเทือนกับค่ามาตรฐาน ISO 2631-2 บริเวณอาคารกิจกรรมนักศึกษา: รถไฟโดยสาร แคน Z	63
รูปที่ 4.38	กราฟแสดงค่าการเปรียบเทียบค่าความสั้นสะเทือนกับค่ามาตรฐาน ISO 2631-2 บริเวณอาคารกิจกรรมนักศึกษา: รถไฟขนส่งสินค้า แคน X	64
รูปที่ 4.39	กราฟแสดงค่าการเปรียบเทียบค่าความสั้นสะเทือนกับค่ามาตรฐาน ISO 2631-2 บริเวณอาคารกิจกรรมนักศึกษา: รถไฟขนส่งสินค้า แคน Y	64
รูปที่ 4.40	กราฟแสดงค่าการเปรียบเทียบค่าความสั้นสะเทือนกับค่ามาตรฐาน ISO 2631-2 บริเวณอาคารกิจกรรมนักศึกษา: รถไฟขนส่งสินค้า แคน Z	65
รูปที่ 1-จ	รูปสามเหลี่ยมแสดงชนิดของดิน	92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ปัจจุบันการคมนาคมขนส่งทางบกมีหลากหลายรูปแบบเช่น การขนส่งทางรถ ทางเรือ ทางเครื่องบิน และทางรถไฟ ซึ่งการขนส่งเหล่านี้ได้ก่อให้เกิดปัญหาทางสิ่งแวดล้อมมากมาย ทั้งมลพิษทางน้ำ ทางอากาศ และทางเสียง นอกจากนี้ยังมีปัญหอันเนื่องมาจากความสั่นสะเทือนที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ ซึ่งความสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นอาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยและจิตใจของผู้ที่อาศัยอยู่ในบริเวณใกล้เคียง เช่น ก่อให้เกิดอาการเมารถ การทรงตัวผิดปกติ อาการเสื่อมสมรรถภาพในการมองเห็น และอาจส่งผลอันตรายต่อระบบหมุนเวียนโลหิต หัวใจและหลอดเลือด ระบบการหายใจ ระบบประสาท กล้ามเนื้อและกระดูก ทำให้รู้สึกอ่อนเพลีย และหงุดหงิดง่าย เป็นต้น [11] และผลกระทบต่อสิ่งปลูกสร้าง เช่น โครงสร้างอาคารมีการแตกร้าว แตกหัก ถล่ม หรือก่อให้เกิดการทรุดตัวได้ โดยความรุนแรงของผลกระทบที่เกิดขึ้นในแต่ละพื้นที่อาจไม่เท่ากันทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประเภทของยานพาหนะ ลักษณะของการเคลื่อนที่ ความเร็วในการเคลื่อนที่ ความเร่ง น้ำหนักของยานพาหนะ ระยะเวลาในการสัมผัสกับความสั่นสะเทือน ระยะทางจากแหล่งกำเนิดความสั่นสะเทือนถึงแหล่งที่ได้รับผลกระทบ ฤดูกาล และสภาพพื้นที่บริเวณใกล้เคียง ฯลฯ [9-10] แต่ในปัจจุบันการตรวจวัดและประเมินผลกระทบจากความสั่นสะเทือนยังไม่เป็นที่แพร่หลายนัก ทางคณะผู้จัดทำได้เล็งเห็นถึงความสำคัญของปัญหาที่จะเกิดขึ้น จึงดำเนินการศึกษาผลกระทบที่เกิดจากความสั่นสะเทือนต่อ โครงสร้างอาคารบริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เพื่อนำผลการศึกษาไปปรับปรุงแก้ไขและป้องกันปัญหาที่อาจเกิดขึ้นได้

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังตั้งอยู่ในเขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานครเป็นสถานที่ที่หนึ่งที่ได้รับผลกระทบจากความสั่นสะเทือนที่เกิดจากการขนส่งทางรถไฟ ซึ่งภายในสถานีรถไฟ 2 จุด คือ สถานีรถไฟพระจอมเกล้าตั้งอยู่บริเวณใกล้เคียงกับหอพัก

ภายในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และสถานีรถไฟหัวตะเข้ตั้งอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า บริเวณใกล้เคียงกับอาคารเรียน คณะวิทยาศาสตร์ โดยมีรถไฟโดยสารสายตะวันออกเที่ยวไป-กลับ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งหากมีการนำไปใช้

ประมาณวันละ 27 ขบวนต่อวัน และนอกจากนี้ยังมีรถไฟฟ้าสินค้าโดยประมาณ 42 ขบวนต่อวัน (จำนวนการวิ่งของขบวนรถไฟฟ้าสินค้าอาจมีเปลี่ยนแปลงไปตามคำสั่งจ้างของลูกค้าได้) (การรถไฟฟ้าแห่งประเทศไทย, 2553) วิ่งผ่านบริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกวันจันทร์-อาทิตย์อีกด้วยเนื่องจากมีคลังสินค้าตั้งอยู่บริเวณใกล้เคียงกับสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ซึ่งแรงสั่นสะเทือนที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของรถไฟฟ้าอาจส่งผลกระทบต่อโครงสร้างอาคารและสิ่งปลูกสร้างรวมทั้งอุปกรณ์และเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ได้ ดังนั้นจึงได้ทำการสำรวจผลกระทบจากความสั่นสะเทือนที่เกิดจากรถไฟฟ้าโดยสารและรถไฟฟ้าสินค้าที่มีต่อโครงสร้างอาคารประเภทที่ 2 (ตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 37 : 2553) โดยเลือกอาคารกิจกรรมนักศึกษา คณะวิทยาศาสตร์ เป็นตัวแทนในการตรวจวัดและตรวจวัดความสั่นสะเทือนตาม มาตรฐานความสั่นสะเทือน ของประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 37 (พ.ศ.2553) และตามมาตรฐาน DIN 4150

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาความสั่นสะเทือนที่เกิดจากขบวนรถไฟฟ้าประเภทต่างๆ ในแง่ของผลจากความเร็วในการเคลื่อนที่ และจำนวน โบกี้ของขบวนรถไฟฟ้า
2. เพื่อศึกษาหาค่าประสิทธิภาพการลดทอนความสั่นสะเทือนเนื่องจากดินบริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
3. เพื่อประเมินผลกระทบจากความสั่นสะเทือนที่เกิดจากรถไฟฟ้าต่อโครงสร้างของอาคารและสิ่งปลูกสร้าง

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

### 1.3.1 ขอบเขตด้านเครื่องมือ

เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดความสั่นสะเทือนคือ เครื่องตรวจวัดเสียงและความสั่นสะเทือน

ยี่ห้อ 01dB รุ่น Harmonic และใช้ห้วงวัดความสั่นสะเทือนแบบความเร่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.3.2 ขอบเขตด้านตัวอย่าง

ประเภทของรถไฟที่ศึกษา คือ รถไฟสินค้าและรถไฟโดยสาร

### 1.3.3 ขอบเขตด้านพารามิเตอร์

พารามิเตอร์ที่ตรวจวัด คือ ความถี่สูงสุดและระดับความสั่นสะเทือนในหน่วย มิลลิเมตรต่อวินาที โดยติดตั้งหัววัดแกน X(ทิศทางหันไปทางรางรถไฟ) หัววัดแกน Y(ทิศทางขนานกับรางรถไฟ) และหัววัดแกน Z(ทิศทางในแนวตั้ง)

### 1.3.4 ขอบเขตด้านสถานที่

1. ตอนที่ 1 ศึกษาหาประสิทธิภาพการลดทอนความสั่นสะเทือนของดินบริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

- สถานที่ที่ศึกษาคือ บริเวณรางรถไฟ – บริเวณบ้านพักเจ้าหน้าที่สื่อสารการรถไฟ
- ติดตั้งเครื่องมือตรวจวัด 2 จุด คือ บริเวณใกล้รางรถไฟ และบริเวณบ้านพักเจ้าหน้าที่สื่อสารการรถไฟ โดยติดตั้งหัววัดแกน X, Y และ Z

2. ตอนที่ 2 ศึกษาผลกระทบจากแรงสั่นสะเทือนที่เกิดจากรถไฟต่อโครงสร้างของอาคารประเภทที่ 2 ได้แก่ อาคารอยู่อาศัย อาคารชุด หอพัก อาคารสถานพยาบาล อาคารสถานศึกษา อาคารที่ใช้ประโยชน์เพื่อกิจกรรมทางศาสนา

- สถานที่ที่ศึกษาคือ บริเวณอาคารกิจกรรมนักศึกษา คณะวิทยาศาสตร์
- ติดตั้งเครื่องมือตรวจวัด 3 จุด คือ
  - จุดที่ 1 ฐานรากอาคาร คือ เสาบริเวณลาน โรงอาหารใต้อาคาร โดยจะติดตั้งหัววัดทั้งสามแกน
  - จุดที่ 2 ชั้นต่างๆภายในอาคาร คือ บริเวณริมระเบียงทางเดินบริเวณกึ่งกลางอาคาร โดยติดตั้งหัววัดแกน Z เท่านั้น

จุดที่ 3 ชั้นบนสุดของอาคาร คือ บริเวณชั้นดาดฟ้า โดยติดตั้งเฉพาะหัววัดแกน X และ Y

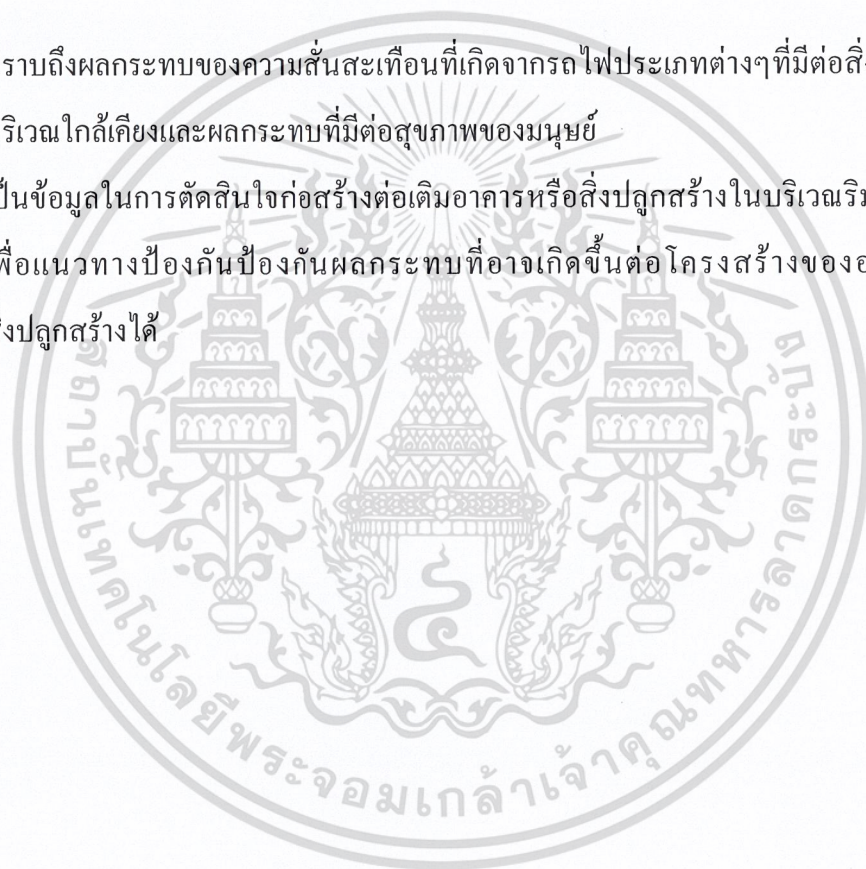
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.3.5 ขอบเขตด้านมาตรฐาน

หลักการตรวจวัดและการประเมินผลกระทบจะเป็นไปตาม มาตรฐานความสั่นสะเทือนเพื่อป้องกันผลกระทบต่ออาคาร ตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 37 (พ.ศ. 2553) และมาตรฐาน DIN 4150 (รายละเอียดในภาคผนวก ก) และการประเมินผลกระทบต่อมนุษย์ จะอ้างอิงจากมาตรฐาน ISO 2631-2

### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงผลกระทบของความสั่นสะเทือนที่เกิดจากรถไฟประเภทต่างๆที่มีต่อสิ่งปลูกสร้างบริเวณใกล้เคียงและผลกระทบที่มีต่อสุขภาพของมนุษย์
2. เป็นข้อมูลในการตัดสินใจก่อสร้างต่อเติมอาคารหรือสิ่งปลูกสร้างในบริเวณริมทางรถไฟ เพื่อแนวทางป้องกันป้องกันผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นต่อโครงสร้างของอาคารและสิ่งปลูกสร้างได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.5 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 แสดงแผนการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงาน	ระยะเวลาในการดำเนินงานวิจัย									
	มี.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
ศึกษาและค้นคว้าข้อมูล	■	■								
ตั้งวัตถุประสงค์ และขอบเขตการวิจัย		■								
จัดทำเค้าโครงงานวิจัย			■	■						
เสนอเค้าโครงงานวิจัย				■	■					
เตรียมอุปกรณ์และ เครื่องมือ				■	■	■				
ดำเนินการทดลอง					■	■	■	■		
รวบรวมและวิเคราะห์ ผลการทดลอง					■	■	■	■	■	
สรุปและวิจารณ์ ผลการทดลอง							■	■	■	
ค้นคว้าข้อมูลเพิ่มเติม									■	■
จัดทำรูปเล่มรายงาน										■
เตรียมเสนอโครงงานพิเศษ										■
เสนอโครงงานพิเศษ										■

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ความสั่นสะเทือน (Vibration)

คือการเคลื่อนที่ของวัตถุรอบๆจุดสมดุลในช่วงเวลาหนึ่งของการเคลื่อนที่ ไม่ว่าจะการเคลื่อนที่ที่รอบจุดสมดุลนั้นจะเกิดขึ้นในแบบการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาของวัตถุภายใต้แรงกระทำ ซึ่งอาจเป็นแรงภายในหรือภายนอกก็ได้ (ประดิษฐ์ หมู่มืองสอง และ สุขญาณ หารรรษสุข)

### 2.2 คุณสมบัติของคลื่นความสั่นสะเทือน

**2.2.1 ความถี่ (Frequency)** คือปริมาณที่บ่งบอกจำนวนครั้งที่เหตุการณ์เกิดขึ้นในเวลาหนึ่ง การวัดความถี่สามารถทำได้โดยกำหนดช่วงเวลาที่ค่าหนึ่ง นับจำนวนครั้งที่เหตุการณ์เกิดขึ้น นำจำนวนครั้งหารด้วยระยะเวลา และ คาบ เป็นส่วนกลับของความถี่ หมายถึงเวลาที่ใช้ไปในการเคลื่อนที่ครบหนึ่งรอบในระบบหน่วย SI หน่วยวัดความถี่คือเฮิร์ตซ์ (hertz) ซึ่ง เหตุการณ์ที่มีความถี่หนึ่งเฮิร์ตซ์หมายถึงการเคลื่อนที่ไปกลับ 1 รอบ ในเวลา 1 วินาที

**2.2.2 แอมพลิจูด (Amplitude)** คือขนาดของการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจากการแกว่งตัวในระบบที่มีการแกว่ง ตัวอย่างเช่น คลื่นเสียง คือการแกว่งตัวของแรงดันในบรรยากาศ แอมพลิจูดของมันคือการเปลี่ยนแปลงของแรงดันในแต่ละรอบ ถ้าการเปลี่ยนแปลงนี้อยู่ในคาบการแกว่งตัวปกติ จะสามารถวาดเส้นกราฟของระบบออกมาโดยให้ค่าการเปลี่ยนแปลงเป็นแกนตั้ง และเส้นเวลาเป็นแกนนอน รูปที่ 2.1 แสดงให้เห็นภาพของแอมพลิจูดเป็นการเปลี่ยนแปลงขนาดขึ้นลงในแนวตั้งระหว่างจุดสูงสุดและจุดต่ำสุด

**2.2.3 ความเร็ว (Velocity)** วัตถุที่มีการเคลื่อนที่แบบสั่น จะมีการขจัด ( displacement ) ที่เปลี่ยนแปลงเทียบกับเวลาในระหว่างการเคลื่อนที่ จะเรียกว่า ความเร็ว ซึ่งจะมีหน่วยเป็นมิลลิเมตรต่อวินาที หรือนิวต่อวินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

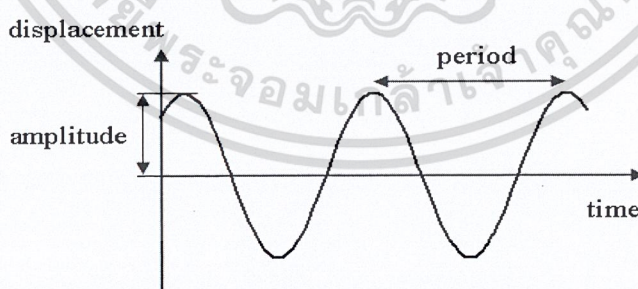
**2.2.4 ความเร่ง (Acceleration)** ความเร็วของการสั่นของวัตถุจากค่า 0 ถึงค่าสูงสุดระหว่างการสั่นแต่ละรอบ ค่าการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเทียบกับเวลาจะเรียกว่า ความเร่ง ซึ่งจะถูกวัดเพื่อให้ทราบถึงความเร็วของการเปลี่ยนแปลงความเร็วเทียบกับเวลา ดังนั้นหน่วยของความเร่งจึงแสดงได้ด้วยค่ามิลลิเมตรหรือนิวตันต่อวินาทียกกำลังสอง ( $\text{mm/s}^2$ ) ค่าของความเร่งจะมีค่าเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 0 ถึงค่าสูงสุดระหว่างการสั่นแต่ละรอบ โดยจะมีค่าสูงสุดในตำแหน่งของแอมพลิจูด และค่าต่ำสุดที่ตำแหน่งสมดุล

## 2.3 การเคลื่อนที่ของความสั่นสะเทือน

รูปแบบการเคลื่อนที่ของความสั่นสะเทือน มีลักษณะการเคลื่อนที่แบบซ้ำๆ ในช่วงคาบเวลาที่ค่าหนึ่ง ( $T$ ) หรือ 1 รอบ ( $2\pi$ ) การเคลื่อนที่ดังกล่าวสามารถแบ่งออกได้เป็นสองแบบ คือ การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิก (Harmonic motion) และการเคลื่อนที่แบบไม่เป็นฮาร์มอนิก (Non-Harmonic motion)

### 2.3.1 การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิก (Harmonic motion)

เป็นการเคลื่อนที่แบบคาบเวลาที่มีความซับซ้อนน้อยและง่ายแก่การทำความเข้าใจ การเคลื่อนที่แบบนี้จะมีลักษณะเคลื่อนที่กลับไปกลับมาที่เหมือนกันทุกคาบดังรูปที่ 2.1



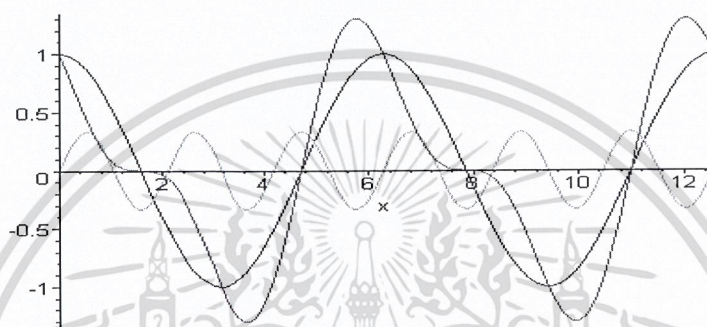
[http://commons.wikipedia.org/wiki/File:Simple\\_harmonic\\_motion.png](http://commons.wikipedia.org/wiki/File:Simple_harmonic_motion.png)

รูปที่ 2.1 กราฟแสดงการเปลี่ยนตำแหน่งกับเวลาของการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.2 การเคลื่อนที่แบบไม่เป็นฮาร์มอนิก (Non-Harmonic motion)

สำหรับเครื่องจักรอุปกรณ์ส่วนใหญ่ปกติแล้วจะมีแหล่งที่มาของความสั่นสะเทือนหลายแหล่ง ในขณะที่ทุกๆการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกจะมีลักษณะเป็นคาบเวลา แต่ไม่ใช่ว่าทุกๆการเคลื่อนที่ที่มีลักษณะเป็นคาบเวลาจะเป็นการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกเสมอไป คือการเคลื่อนที่แบบไม่เป็นฮาร์มอนิกที่เกิดจากการรวมตัวกันของการเคลื่อนที่ในลักษณะเป็นคลื่นไซน์ (Sine wave) สองคลื่นที่มีความถี่ต่างกันดังรูปที่ 2.2



<http://www.upscale.utoronto.ca/PVB/Harrison/Vibrations/Vibrations.html>

รูปที่ 2.2 กราฟแสดงการเปลี่ยนตำแหน่งกับเวลาของการเคลื่อนที่แบบไม่เป็นฮาร์มอนิก

### 2.4 การลดทอนความสั่นสะเทือนตามระยะทาง

ความสั่นสะเทือนที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของรถไฟจะมีค่าลดลงตามระยะทาง จากแหล่งกำเนิดและมีการลดลงเมื่อเดินทางผ่านดินเนื่องจากสาเหตุหลัก 2 ประการได้แก่ การลดทอนเชิงเรขาคณิต (Geometric attenuation) และการลดทอนเชิงวัสดุ (Material attenuation)

การลดทอนเชิงเรขาคณิตเกิดขึ้นเนื่องจากความเข้มของพลังงานเคลื่อนที่ลดลงไป เมื่อนำคลื่นขยายตัวครอบคลุมบริเวณที่กว้างขึ้น ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการลดทอนชนิดนี้ได้แก่ ตำแหน่งของแหล่งกำเนิดคลื่น ลักษณะของแหล่งกำเนิดคลื่น และชนิดของคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การลดทอนเชิงวัสดุเกิดขึ้นเนื่องจากพื้นดินไม่เป็นวัสดุแบบอีลาสติกโดยสมบูรณ์ (Perfectly Elastic) ทำให้พลังงานคลื่นสูญเสียไปในระหว่างการเดินทาง ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการลดทอนชนิดนี้ได้แก่ ชนิดของดินและความถี่ของความสั่นสะเทือน การลดทอนความสั่นสะเทือนเนื่องจากทั้งสองสาเหตุสามารถจำลองได้ด้วยสมการดังนี้

$$v_2 = v_1 \left( \frac{r_1}{r_2} \right)^n e^{\alpha(r_1-r_2)} = v_1 \left( \frac{r_1}{r_2} \right)^n \frac{e^{\alpha r_1}}{e^{\alpha r_2}} \text{ ----- (2.1)}$$

เมื่อ  $v_1$  คือ ความเร็วอนุภาคที่ระยะ  $r_1$  เมตร

$v_2$  คือ ความเร็วอนุภาคที่ระยะ  $r_2$  เมตร

$r$  คือ ระยะทางในแนวราบที่วัดจากจุดกำเนิด

$\alpha$  คือ สัมประสิทธิ์ลดทอนเชิงวัสดุ

ตารางที่ 2.1 ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนทางเรขาคณิต ( $n$ ) ของคลื่นชนิดต่างๆ

ตำแหน่งของแหล่งกำเนิดคลื่น	ลักษณะของแหล่งกำเนิดคลื่น	ชนิดของคลื่น	$n$
ที่ผิวดิน	เป็นจุด	คลื่นอัดและคลื่นเฉือน	2.0
		คลื่นผิว	0.5
	เป็นเส้น	คลื่นอัดและคลื่นเฉือน	1.0
		คลื่นผิว	0
ใต้ผิวดิน	เป็นจุด	คลื่นอัดและคลื่นเฉือน	1.0
	เป็นเส้น	คลื่นอัดและคลื่นเฉือน	0.5

ตารางที่ 2.2 ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงวัสดุของดินชนิดต่างๆ

ประเภทของดิน	$\alpha$ (1/m)		หมายเหตุ
	5 เฮิร์ตซ์	50 เฮิร์ตซ์	
ดินอ่อน	0.01-0.033	0.1-0.3	$N < 5$
ดินค่อนข้างแข็ง	0.0033-0.01	0.03-0.1	$5 < N < 15$
ดินแข็ง	0.00033-0.0033	0.003-0.03	$15 < N < 50$
ดินแข็งมาก	$< 0.00033$	$< 0.003$	$N > 50$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่เนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5 รถไฟ

สำหรับรถไฟที่ผ่านจุดตรวจวัด ณ สถานีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังมีด้วยกัน 2 แบบได้แก่รถไฟโดยสาร และ รถไฟขนส่งสินค้า

### 2.5.1 รถไฟโดยสาร

ชนิดของรถไฟโดยสารมีทั้งหมด 10 ชนิด และประเภทขบวนรถโดยสารมีทั้งหมด 8 ประเภท (ภาคผนวก ข)

สำหรับรถไฟโดยสารที่ผ่านสถานีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังมี 2 ชนิดได้แก่รถจักรดีเซล และ รถดีเซลราง ส่วนประเภทของขบวนรถไฟได้แก่ขบวนรถไฟโดยสารธรรมดา และ ขบวนรถไฟโดยสารพิเศษขบวนเมือง

#### 2.5.1.1 รถจักรดีเซล



รูปที่ 2.3 รถจักรดีเซล

รถจักรดีเซล คือ รถจักรที่ใช้เครื่องยนต์ดีเซลเป็นเครื่องต้นกำลัง และมีเครื่องอุปกรณ์สำหรับส่งหรือถ่ายกำลังจากเครื่องยนต์ไปหมุนล้อ เพื่อขับเคลื่อนตัวเอง และลากจูงรถพ่วง

ประเทศไทยเป็นประเทศแรกในทวีปเอเชีย ที่ได้นำเอารถจักรดีเซลมาใช้ในการในปี พ.ศ. 2471 กรมรถไฟหลวงแห่งกรุงสยามได้สั่งซื้อรถจักรดีเซลกำลัง 180 แรงม้า จำนวน 2 คัน มาใช้การเป็นรุ่นแรกในประเทศไทย และเป็นรายแรกในทวีปเอเชียด้วย โดยนำมาใช้เป็นรถจักรสับเปลี่ยน

และลากจูงขบวนรถท้องถิ่นรอบ ๆ บริเวณกรุงเทพมหานคร เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### รถจักรดีเซลประกอบด้วย

1. โครงประธานและลำตัว ทำหน้าที่รับตัวเครื่องยนต์และอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ติดตั้งอยู่บนโครงพื้นซึ่งวางลงบนล้อโดยตรง หรือลงบนแคร่โบกี้ ภายในแบ่งออกเป็นห้องขั้วตั้งอยู่ในตำแหน่งที่มองเห็นทางข้างหน้าถนัดและห้องเครื่องซึ่งมีเครื่องยนต์และเครื่องอุปกรณ์ต่าง ๆ
2. ตัวเครื่องยนต์ดีเซล ซึ่งเป็นเครื่องต้นกำลังจะติดตั้งอยู่บนรถที่ห้องเครื่อง
3. อุปกรณ์เครื่องถ่ายทอดกำลังจากเครื่องยนต์ ซึ่งถ่ายทอดกำลังมาขับล้ออีกต่อหนึ่งด้วยระบบต่าง ๆ

ระบบถ่ายทอดกำลังที่มีใช้กันในรถจักรดีเซล คือ

1. ระบบไฟฟ้า รถจักรที่ใช้วิธีการถ่ายทอดกำลังด้วยระบบไฟฟ้า เรียกว่ารถจักรดีเซลไฟฟ้า (diesel electric locomotive) มีเครื่องถ่ายทอดกำลังประกอบไปด้วย เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (generator) และเครื่องยนต์ไฟฟ้าฉุดลากเพื่อการหมุนล้อ (traction motor) วิธีนี้ตัวเครื่องยนต์ดีเซลจะขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ให้จำหน่ายกระแสไฟฟ้าป้อนเข้าไปที่เครื่องยนต์ไฟฟ้า ซึ่งจะขับหมุนเพลาล้อกำลังของรถจักร เครื่องยนต์ดีเซลและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตั้งอยู่บนโครง ประธานรวมเป็นชุดเดียวกันภายในห้องเครื่อง จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีสายนำกระแสไฟฟ้าผ่านไปที่แผงควบคุมที่ห้องขั้วแล้วผ่านไปยังเครื่องยนต์ไฟฟ้า ฉุดลากติดตั้งอยู่บนแคร่ได้โครงประธาน ซึ่งจะไปหมุนเพลาล้อด้วยฟันเฟืองให้เร็วหรือช้าขึ้นกับแต่กระแสไฟฟ้าที่ปล่อยเข้าไป
2. ระบบไฮดรอลิก รถจักรที่ใช้เครื่องถ่ายทอดกำลังด้วยระบบของเหลว (ไฮดรอลิก) เรียกว่ารถจักรดีเซลไฮดรอลิก (diesel hydraulic locomotive) อุปกรณ์เครื่องถ่ายทอดกำลังเรียกว่า เครื่องแปลงแรงหมุน (torque converter) จะประกอบด้วยใบพัด 2 ตัวเรียกว่า อิมเพลเลอร์ (impeller) และเทอร์ไบน์รันเนอร์ (turbine runner) และมีน้ำมันอยู่ภายในเครื่องยนต์ดีเซลต้นกำลังจะหมุนอิมเพลเลอร์ให้ปั่นน้ำมัน เพื่อให้มีแรงไปหมุนเทอร์ไบน์รันเนอร์ ซึ่งจะทำการกำลังงานหรือแรงเพิ่มขึ้นพอที่จะไปหมุนเพลาล้อรถจักรได้โดยผ่านฟันเฟืองและกลไกต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.5.1.2 รถดีเซลราง



รูปที่ 2.4 รถจักรดีเซลราง

ประมาณ พ.ศ. 2470 การรถไฟไทยได้นำเอารถโดยสารโบกี้ขับเคลื่อนด้วยตนเองโดยใช้เครื่องกลไอน้ำ เรียกว่ารถโบกี้กลไฟมาใช้ในการเป็นรถที่สร้างโดยบริษัทบอลด์วิน แห่งสหรัฐอเมริกา มีลักษณะคล้ายคลึงกับรถจักรไอน้ำแต่ บรรทุกคนโดยสารได้ด้วย รถชนิดนี้กล่าวได้ว่าเป็นการเริ่มต้นในการนำเอารถโดยสารที่ขับเคลื่อนด้วยตนเองมาใช้ในการครั้งแรก คือ รถดีเซลรางแบบดีเซลไฟฟ้า ซึ่งนำมาใช้ใน พ.ศ. 2475 และต่อมาจนถึงปัจจุบันเป็นรถดีเซลรางและดีเซล ไฮดรอลิก รถดีเซลรางเหล่านี้เดิมที่นำมาใช้รับส่งคนโดยสารในระยะทางใกล้ๆ โดยหยุดรับส่งคนโดยสารตามรายทาง ภายหลังต่อมาได้ใช้การเป็นขบวนรถชานเมือง โดยให้หยุดทุกสถานี และให้เป็นขบวนรถที่เดินทางในระยะไกลปานกลางระหว่างเมือง (inter city) อีกด้วย รถดีเซลรางที่ใช้การในปี พ.ศ. 2475 เป็นรถที่เรียกกันว่า 2 คันชุด คือประกอบไปด้วยรถกำลัง 1 คัน ขับเคลื่อนด้วยระบบดีเซลไฟฟ้า ซึ่งติดตั้งอยู่บนรถส่วนหนึ่ง อีกส่วนหนึ่งเป็นห้องคนโดยสารและมีห้องขับอยู่ ตอนหัวรถที่นำทาง และพ่วงตามด้วยรถโดยสารอีก 1 คัน ภายหลังสงครามโลกครั้งที่ 2 รถดีเซลรางได้รับการพัฒนาให้ดีขึ้น ทำให้มีสมรรถนะสูง และมีความคล่องตัวในการใช้งาน สามารถที่จะวิ่งด้วยความเร็วสูงกว่า 80 กม./ชม. และสามารถที่จะเร่งความเร็วได้ถึงอัตราเร็วสูงสุดนี้ได้ในระยะเวลาอันสั้น ตัวรถสามารถสร้างให้มีน้ำหนักเบาแต่มีกำลังเครื่องยนต์สูง นอกจากนี้รถดีเซลรางยังมีระบบ

ห้ามล้อประสิทธิภาพสูง จึงทำให้สามารถห้ามล้อ เพื่อหยุดได้ในเวลารวดเร็วเป็นการช่วยให้มีความคล่องตัวเพิ่มขึ้นอีก โดยปกติการนำเอารถดีเซลรางมาพ่วงต่อกันเข้าเป็นขบวนสำหรับวิ่งรับส่ง



## 2 รถเปิด

ใช้บรรทุกสินค้าประเภทวัตถุดิบหรือสิ่งของที่ไม่ชำรุดเสียหายเมื่อถูกแดด หรือมีน้ำฝนมีทั้ง 4 ล้อและ 8 ล้อ

รถ 4 ล้อ เช่น

รถข้างต่ำ (ขต.) ใช้บรรทุกสินค้าที่มีน้ำหนักไม่เกิน 13,500 กก

รถข้างสูง (ขส.) ใช้บรรทุกสินค้าที่มีน้ำหนักไม่เกิน 15,000 กก

รถ 8 ล้อ เช่น

รถโบกี้ข้างต่ำสำหรับบรรทุกยางขนาดหนัก (บขน.) ใช้บรรทุกสินค้าที่มีน้ำหนักตั้งแต่ 23,000 กก – 24,000 กก

รถโบกี้ข้างต่ำ (บขต.) ใช้บรรทุกสินค้าที่มีน้ำหนักไม่เกิน 28,000 กก

รถโบกี้ข้างสูง (บขส.) ใช้บรรทุกสินค้าที่มีน้ำหนักไม่เกิน 26,000 กก – 28,000 กก



รูปที่ 2.7 รถข้างต่ำ (ขต.)

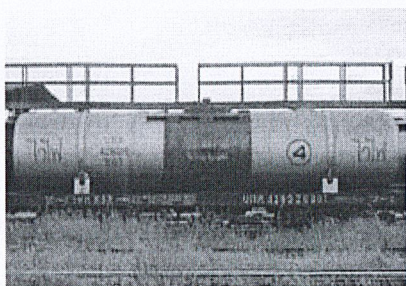
รูปที่ 2.8 รถข้างสูง (ขส.)

## 3 รถเฉพาะกิจ

เป็นรถที่ออกแบบมาใช้บรรทุกสินค้าเฉพาะอย่างแต่ละชนิด หรือใช้เฉพาะงาน เช่น

รถโบกี้บรรทุกน้ำมันชั้น (บทค.) ใช้บรรทุกสินค้าที่มีน้ำมันไม่เกิน 25000 กก

รถโบกี้บรรทุกตู้สินค้า (บตญ.) ใช้บรรทุกสินค้าที่มีน้ำหนักไม่เกิน 24,000 กก – 38,000 กก



รูปที่ 2.9 รถโบกี้บรรทุกน้ำมันชั้น (บทค.)



รูปที่ 2.10 รถโบกี้บรรทุกตู้สินค้า (บตญ.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่าจำนวนขบวนรถไฟขนส่งสินค้าที่ผ่านจุดตรวจวัดมีวันละ 42 เทียบ (ภาคผนวก ข) ครั้งที่มีการนำไปใช้

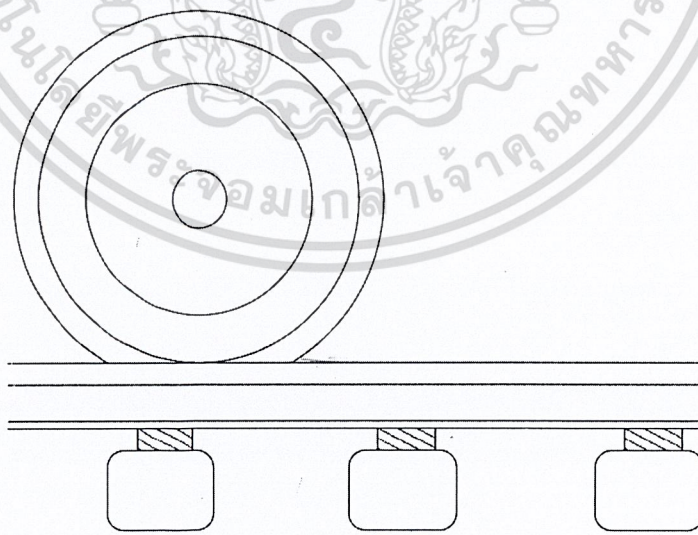
## 2.6 แหล่งกำเนิดความสั่นสะเทือนของรถไฟ

แหล่งกำเนิดความสั่นสะเทือนที่สำคัญที่สุดของรถไฟเกิดจากส่วนต่างๆ ที่มีการเคลื่อนที่และการกระทำระหว่างล้อกับราง ระดับของเสียงที่ส่งออกมาโดยพื้นฐานหลักแล้วขึ้นอยู่กับความเร็วของรถไฟ แต่การแปรผันระดับความสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นอยู่กับ ชนิดของเครื่องยนต์ ตู้รถ และราง โดยรถไฟความเร็วสูงจะมีปัญหาความสั่นสะเทือนมากเมื่อเทียบกับรถไฟความเร็วต่ำ

### 2.6.1 เสียงที่เกิดจากการหมุน

#### 1. ล้อและราง

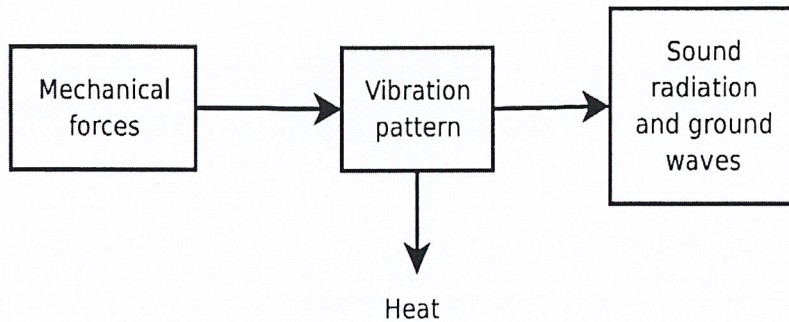
ความสั่นสะเทือนที่เกิดจากการสัมผัสกันระหว่างล้อและรางรถไฟทำให้เกิดเสียงรบกวนดังแสดงในรูปที่ 2.11 แสดงลักษณะของล้อบนรางรถไฟ เมื่อล้อสัมผัสกับรางจะทำให้เสียงตรงส่วนบนของรางรถไฟ ส่วนที่ล้อและรางรถไฟสัมผัสกันอยู่ในช่วง 10 – 15 มิลลิเมตร ที่ทุกสภาพพื้นผิวของรางรถไฟ เมื่อสัมผัสกับรางจะก่อให้เกิดแรง ซึ่งแรงจะกระตุ้นให้เกิดความสั่นสะเทือน จึงทำให้เกิดการแผ่กระจายสู่สภาพแวดล้อม สำหรับกลไกของแรงแสดงดังรูปที่ 2.11 โดยแรงที่เกิดจากการสัมผัสของล้อ ราง และหมอนรถไฟก่อให้เกิดความสั่นสะเทือน และแรงที่เกิดจากการสั่นนั้นทำให้เกิดการแพร่ของเสียงและคลื่นบริเวณพื้นดิน รวมถึงสูญเสียความร้อนในบางส่วน



รูปที่ 2.11 แสดงการสัมผัสกันของล้อและรางรถไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า (ที่มา ; Mikael Oeren,2006)

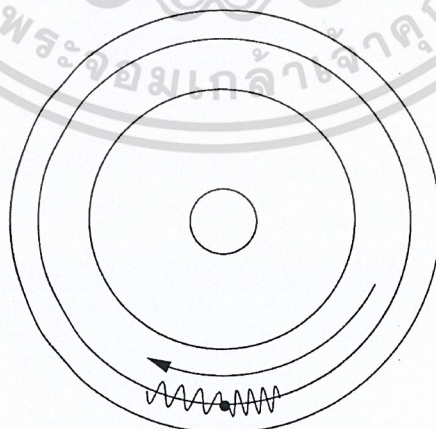
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 แสดงกลไกของการเกิดคลื่นสะเทือนจากล้อและรางรถไฟ

(ที่มา ; Mikeal Oeren,2006)

2. ความสั่นสะเทือนของล้อและการแพร่ของเสียง โครงสร้างของล้อก่อให้เกิดเสียงกังวาน เช่นเดียวกับเสียงระฆัง ซึ่งแรงจากการสัมผัสจะกระตุ้นให้เกิดความสั่นสะเทือนในล้อ เช่นเดียวกับแรงจากการเคาะระฆัง แต่ต่างกันตรงที่แรงจากล้อเกิดจากการหมุนรอบแกนเพลลาและแรงจากล้อจะสัมผัสกับรางด้วยแรงที่สม่ำเสมอ โดยที่ความสั่นสะเทือนจะทำให้เกิดการแพร่ของเสียงในลักษณะคลื่น ซึ่งคลื่นที่เคลื่อนที่ไปด้านหน้าจะมีความยาวคลื่นมากกว่าคลื่นที่เดินทางไปด้านหลัง เนื่องจากการเคลื่อนที่ของล้อ ดังรูปที่ 2.13 แสดงลักษณะคล้ายกับหลักการของปรากฏการณ์ดอปเลอร์



รูปที่ 2.13 แสดงลักษณะของคลื่นเสียงที่เกิดจากผลกระทบของล้อรถไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกสิ่งนี้ไปและต้องขออนุญาตเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
(ที่มา ; Mikeal Oeren,2006)

3. ความสั่นสะเทือนของรางรถไฟและการแพร่ของเสียง โครงสร้างของรางรถไฟไม่มีขอบเขต แรงจากล้อที่สัมผัสกับรางรถไฟจะไปในทิศทางเดียวกัน ซึ่งจะนำไปสู่ความสั่นสะเทือนจากล้อ โดยลักษณะของรางรถไฟจะยึดด้วยไม้หมอนที่เว้นช่องเป็นระยะที่เท่าๆกัน ซึ่งช่องว่างระหว่างไม้หมอนจะโรยด้วยหิน โดยที่เมื่อล้อสัมผัสกับรางที่มีไม้หมอนที่โรยด้วยหินในช่องว่างระหว่างไม้หมอนจะก่อให้เกิดการแพร่ของเสียง เนื่องจากไม้หมอนและหินมีสถานะเป็นของแข็งจะไม่สามารถยืดหยุ่นได้เมื่อถูกกระทบด้วยล้อ ดังรูปที่ 2.14



## 2.7 การตรวจวัดความสั่นสะเทือน

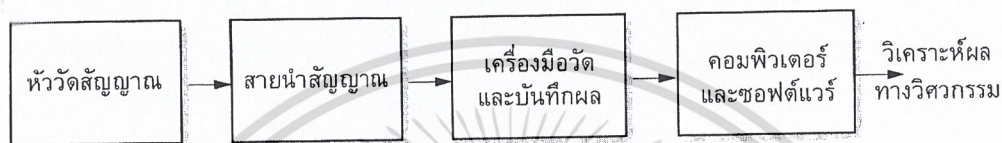
### 2.7.1 อุปกรณ์ตรวจวัดและวิเคราะห์ความสั่นสะเทือน

ในการตรวจวัดความสั่นสะเทือนมีส่วนประกอบที่สำคัญหลายส่วนด้วยกันเช่น หัววัด สัญญาณความสั่นสะเทือน สายนำสัญญาณ เครื่องมือวัดและบันทึกผล และระบบซอฟต์แวร์ สำหรับการวิเคราะห์ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.7.2 หัววัดสัญญาณความสั่นสะเทือน (Vibration Transducer)

ความสั่นสะเทือนทางกลนั้นเป็นความสั่นสะเทือนที่แบบกลับไปกลับมาของวัตถุ โดยสามารถเทียบเป็นแบบระยะทางการเคลื่อนที่ ความเร็วของการเคลื่อนที่ หรือความเร่งจากการเคลื่อนที่ของวัตถุนั้น หัววัดความสั่นสะเทือนทางกลสำหรับวัดค่าต่างๆ ที่กล่าวมาข้างต้นจะมีหลักการทำงานคือ เปลี่ยนการเปลี่ยนแปลงทางกลให้เป็นการเปลี่ยนแปลงทางไฟฟ้า เพื่อที่จะส่งสัญญาณทางไฟฟ้านั้นไปสู่เครื่องมือบันทึกเก็บค่าและแปลงกลับมาแสดงผลในทางกลต่อไป



รูปที่ 2.15 ส่วนประกอบสำหรับวัดและวิเคราะห์สัญญาณความสั่นสะเทือน

(ที่มา ; ประดิษฐ์ หมู่เมืองสองและสุชญา นทรยศ, 2550)

2.7.2.1 ประเภทของหัววัดความสั่นสะเทือน ที่มีใช้ในปัจจุบันสามารถแยกตามหลักการทำงานเป็น 3 ประเภทดังนี้

1. หัววัดความสั่นสะเทือนแบบระยะทาง (Displacement Transducer)
2. หัววัดความสั่นสะเทือนแบบความเร็ว (Velocity Transducer)
3. หัววัดความสั่นสะเทือนแบบความเร่ง (Acceleration Transducer)

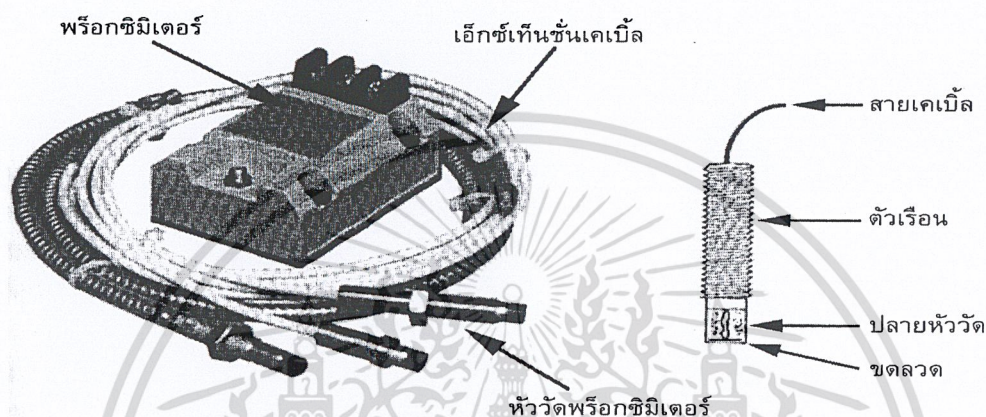
### 1 หัววัดความสั่นสะเทือนแบบระยะทาง

หัววัดความสั่นสะเทือนแบบระยะทาง (Displacement Transducer) หรือเรียกอีกแบบว่า หัววัดความสั่นสะเทือนแบบกระแสไฟฟ้าไหลวน (Eddy-current) หัววัดความสั่นสะเทือนแบบนี้ใช้สำหรับวัดระยะห่างระหว่างหัววัดความสั่นสะเทือนกับผิวของตัวนำ เช่น วัดระยะห่างระหว่างผิวเพลลาที่มุ่มกับปลายของหัววัดความสั่นสะเทือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนประกอบของระบบหัววัดความสั้นสะเทือนแบบระยะทางนี้จะประกอบไปด้วย (ดังรูปที่ 2.16)

1. หัววัดระยะทาง (Proximity Probe)
2. เอ็กซ์เท็นชันเคเบิล (Extension Cable)
3. พร็อกซิมิเตอร์ (Proximeter)



รูปที่ 2.16 ส่วนประกอบของระบบหัววัดความสั้นสะเทือนแบบระยะทาง (ที่มา ; ประดิษฐ์ หมู่มืองสองและสุชญาณ หารรุษสุข, 2550)

ซึ่งภายในหัววัดจะประกอบไปด้วยสายขดลวด (Coil) บรรจุอยู่ในแท่งโลหะที่หุ้มด้วยฉนวนที่ไม่นำไฟฟ้า ในการทำงานของหัววัดความสั้นสะเทือนแบบระยะทางนี้ เครื่องจะส่งสัญญาณความถี่ผ่านสายไปยังสายขดลวด คลื่นไฟฟ้านี้จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กที่ปลายของหัววัดระยะทาง

หลักการทำงาน โดยทั่วไปคือการเหนี่ยวนำเกิดกระแสไฟฟ้า โดยหัววัดระยะทางเป็นตัวสร้างสนามแม่เหล็ก และสนามแม่เหล็กจะถูกตัดโดยวัตถุที่ต้องการวัด เช่น เพลาหมุน ซึ่งหัววัดระยะทางเป็นตัวทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก โดยค่ากระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะแปรตามระยะห่างระหว่างผิวหัววัดความสั้นสะเทือนแบบระยะทางกับผิววัตถุ เช่น ค่ากระแสที่วัดกลับมาจะต่ำลงเมื่อระยะห่างระหว่างผิวหัววัดกับผิวของวัตถุน้อยลง เนื่องจากวัตถุจะไปขวางไม่ให้กระแสไฟฟ้าไหลกลับได้สะดวก และค่ากระแสจะสูงขึ้นเมื่อระยะห่างเพิ่มขึ้น ดังกราฟรูปที่ 2.16 และค่าความไว (Sensitivity) ของหัววัดระยะทางจะมีหน่วยเป็น โวลต์ต่อระยะห่างของผิวหัววัดกับผิววัตถุ และขึ้นกับวัสดุที่ใช้ผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

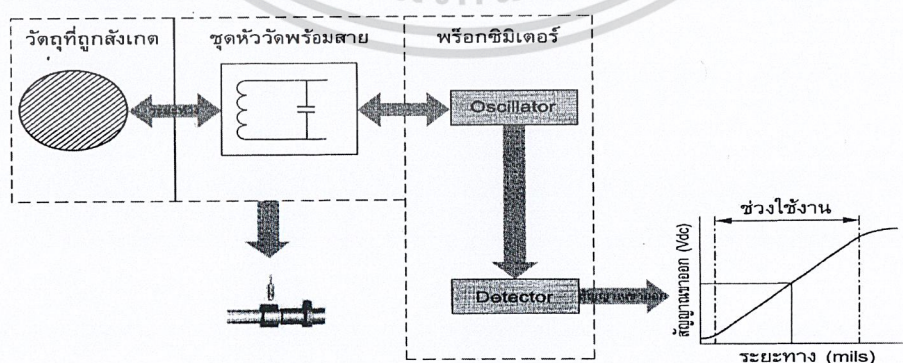
ห้วงระยะทางนั้นด้วย เช่น ห้วงที่ผลิตจากโลหะทองแดง จะมีค่าความไวอยู่ที่ 380 mV/mil โดยเปรียบเทียบความไวของวัสดุที่ใช้ผลิตดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 การเปรียบเทียบความไวของห้วงแบบระยะทางที่ผลิตจากวัสดุที่ต่างกัน

การเปลี่ยนแปลงความไวของห้วงรับสัญญาณแบบระยะทางที่ผลิตจากวัสดุต่างชนิดกัน	
ชนิดของวัสดุ	ความไวของห้วงรับสัญญาณ (mV/mil)
ทองแดง	380
อะลูมิเนียม	370
ทองเหลือง	330
ทังสเตนคาร์ไบด์	290
สแตนเลส	250
เหล็ก 4140 หรือ 4340	200

ที่มา ; ประดิษฐ์ หมู่มืองสองและสุชญา น ทรยศ, 2550

พิจารณารูปที่ 2.17 เป็นการแสดงระบบห้วงความถี่สูงแบบระยะทาง ซึ่งประกอบด้วยวัสดุที่ถูกสังเกตร หรือเพลอาห้วง หรือเรียกว่า พร็อกซิมิตี (Proximity Probe) เอ็กซ์เทนชัน เคเบิล (Extension Cable) และพร็อกซิมิเตอร์ (Proximeter) ซึ่งสัญญาณขาออกจะได้ในลักษณะกราฟด้านล่างขวาสุด โดยแกนนอนจะเป็นระยะห่างระหว่างผิวห้วงกับผิววัตถุ และแกนตั้งจะเป็นค่าสัญญาณทางไฟฟ้าระหว่างผิวห้วงกับผิวของวัตถุเป้าหมาย



รูปที่ 2.17 ห้วงความถี่สูงแบบพร็อกซิมิตีวัดการเคลื่อนที่ของเพลอาในเครื่องจักรกล

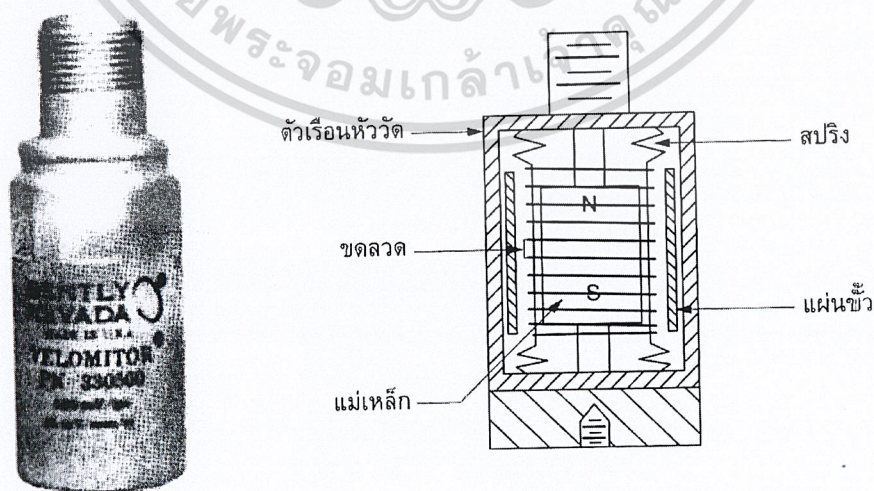
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานานาชาติ ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า (ที่มา ; ประดิษฐ์ หมู่มืองสองและสุชญา น ทรยศ, 2550) ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยสรุปแล้ว หัววัดความสั่นสะเทือนแบบวัดระยะทางคือหัววัดสัญญาณที่ไม่ต้องมีการสัมผัสโดยตรง (Non-contact) ซึ่งใช้หลักการเหนี่ยวนำกระแสไฟฟ้าของขดลวดที่มีสนามแม่เหล็กไฟฟ้า เมื่อระยะห่างระหว่างวัตถุและขดลวดเปลี่ยนแปลงไป จะทำให้ภาระทางแม่เหล็กไฟฟ้าของขดลวดเปลี่ยนแปลงเป็นสัดส่วนกับระยะห่างด้วย โดยหัววัดความสั่นสะเทือนประเภทนี้มักใช้ในการวัดความสั่นสะเทือนของเครื่องจักรกลที่มีโครงสร้างขนาดใหญ่ ซึ่งเครื่องจักรเหล่านี้มักจะใช้แบร์ริงฟิล์มน้ำมัน (Plain Bearing) ซึ่งได้แก่ กังหันไอน้ำ เครื่องสูบน้ำขนาดใหญ่ เครื่องอัดอากาศขนาดใหญ่ และชุดเกียร์ขนาดใหญ่ เป็นต้น

## 2 หัววัดความสั่นสะเทือนแบบความเร็ว

หัววัดความสั่นสะเทือนแบบความเร็ว (Velocity Transducer) เป็นหัววัดสำหรับวัดความเร็วในการเคลื่อนที่สำหรับชิ้นส่วนที่มีการเคลื่อนไหวหรือเกิดความสั่นสะเทือน ในที่นี้จะใช้สำหรับวัดค่าความเร็วในความสั่นสะเทือนของแหล่งกำเนิดความสั่นสะเทือน โดยอาศัยหลักการพื้นฐานการเหนี่ยวนำทางค่านไฟฟ้า ซึ่งเป็นการเคลื่อนที่ตัดกันของแม่เหล็กกับขดลวด ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางไฟฟ้าขึ้น

รูปที่ 2.18 แสดงรูปร่างภายนอก (ด้านซ้าย) และภาพตัดภายใน (ด้านขวา) ของหัววัดความสั่นสะเทือนแบบความเร็ว โดยอาศัยก้อนแม่เหล็กเคลื่อนที่ผ่านขดลวด ซึ่งมีส่วนประกอบที่สำคัญ คือ ตัวเรือนหัววัด สปริง ขดลวด และแม่เหล็ก

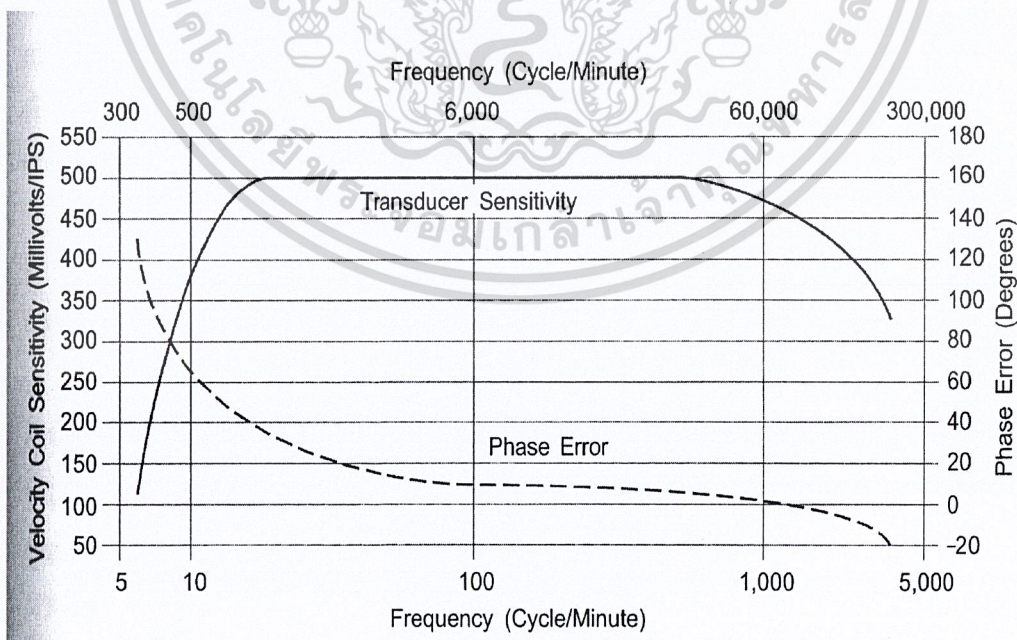


รูปที่ 2.18 หัววัดความสั่นสะเทือนแบบความเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในห้องเรียนเท่านั้น มิใช่ให้ผู้ใดนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้ง (ที่มา; ประดิษฐ์ หมู่เมืองสองและสุชานุกรณ์ ธรรมสุข, 2550) ครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการทํางานของหัววัดความสั่นสะเทือนแบบความเร็วคือ เมื่อนําหัววัดความสั่นสะเทือนแบบความเร็วไปติดกับวัตถุที่มีความสั่นสะเทือน หัววัดความสั่นสะเทือนแบบความเร็วจะมีการเคลื่อนที่ไปกับวัตถุ (สั่นไปตามวัตถุ) เมื่อหัววัดเกิดการเคลื่อนที่ ก้อนแม่เหล็กที่อยู่ภายใน จะเกิดการเคลื่อนที่ตัดกับขดลวดและก่อให้เกิดกระแสไฟฟ้าที่ขดลวด ซึ่งเมื่อมีการเคลื่อนที่ของวัตถุมาก (สั่นมาก) ก็จะได้กระแสไฟฟ้าสูงส่งออกมา เมื่อนํามาเขียนกราฟจะได้ดังรูปที่ 2.19 และคุณสมบัติอีกอย่างของหัววัดแบบนี้จะขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของสปริงด้วย คือถ้าสปริงมีความแข็งแรงสูง ก็จะสามารถวัดค่าที่ความถี่สูงได้ดี ส่วนสปริงที่มีความแข็งต่ำ ก็จะสามารถวัดค่าที่ความถี่ต่ำได้ดีเช่นกัน

โดยสรุปแล้ว หัววัดความสั่นสะเทือนแบบความเร็วนี้มีหลักการทํางานโดยอาศัยหลักการเคลื่อนที่ของแม่เหล็กที่เคลื่อนที่ผ่านขดลวด แล้วทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าขึ้น เมื่อมีความสั่นสะเทือนเกิดขึ้น ขดลวดก็จะสั่นและเคลื่อนที่ตัดกับเส้นแรงแม่เหล็กแล้วเกิดการเหนี่ยวนําทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางไฟฟ้าที่เป็นสัดส่วนกับความเร็วของการเคลื่อนที่ของความเร็วของการเคลื่อนที่ของวัตถุที่หัววัดความสั่นสะเทือนที่ติดอยู่ แล้วนําไปประมวลผลแสดงเป็นค่าของความสั่นสะเทือนของวัตถุนั้นต่อไป

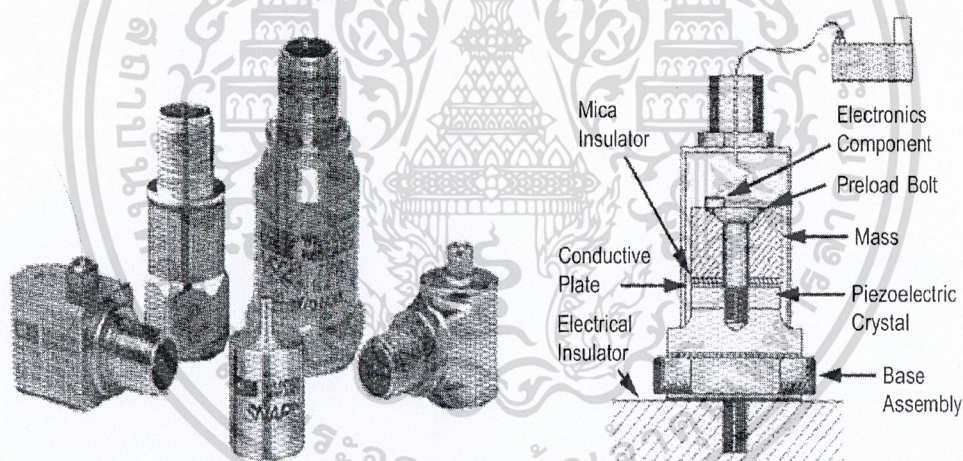


รูปที่ 2.19 ค่าความไว (Sensitivity) ของหัววัดความสั่นสะเทือนแบบความเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า (ทิมา ; ประดิษฐ์ หมู่เมืองสองและสุชฎาน หารรชชช, 2550) ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่แบบสิ่งนี้ หากละเมิดจะฟ้องเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3 หัววัดความสั่นสะเทือนแบบความเร่ง

หัววัดความสั่นสะเทือนแบบความเร่ง (Acceleration Transducer) จะมีลักษณะการทำงานคล้ายกันกับหัววัดความสั่นสะเทือนแบบความเร็ว (Velocity Transducer) คือเป็นหัววัดสำหรับการวัดการเคลื่อนที่เทียบกับเวลาสำหรับชิ้นส่วนที่มีการเคลื่อนไหวหรือเกิดความสั่นสะเทือน ซึ่งสามารถวัดในรูปแบบของความเร่งหรือแปลงค่าวัดในรูปแบบของความเร็วก็ได้โดยการเปลี่ยนแปลงการเคลื่อนที่ทางกลมาเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า ซึ่งอาศัยหลักการของผลึกเพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric Crystal) และก้อนน้ำหนักภายในหัววัดความสั่นสะเทือน พร้อมทั้งวงจรรีเลย์ทรอนิกภายใน หลักการทำงานของหัววัดความสั่นสะเทือนชนิดนี้จะอาศัยคุณสมบัติของผลึกเพียโซ ซึ่งผลึกเพียโซนี้จะมีคุณสมบัติไวต่อการเปลี่ยนแปลงมาก เมื่อผลึกชนิดนี้ถูกแรงกระทำที่มีลักษณะเป็นแรงกดหรือแรงเหวี่ยงแล้ว ผลึกนี้ก็จะสามารถจ่ายเป็นพลังงานไฟฟ้าในรูปแบบของแรงดันไฟฟ้าออกมา แรงดันไฟฟ้าจะมากหรือน้อยก็ขึ้นอยู่กับแรงที่กระทำกับผลึกเพียโซนั้น



รูปที่ 2.20 หัววัดความเร่งที่ขายทั่วไป (ซ้าย) และภาพตัดของหัววัดความเร่ง (ขวา)

(ที่มา ; ประดิษฐ์ หมุ่มเมืองสองและสุชัญญา หรรษสุข, 2550)

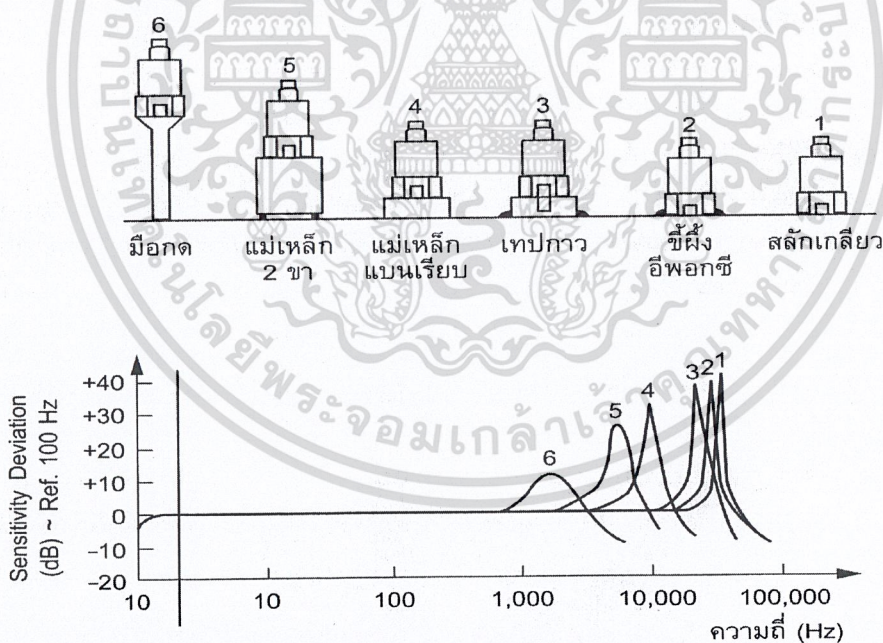
ส่วนประกอบของหัววัดจะแสดงดังรูปที่ 2.20 รูปร่างภายนอก (ด้านซ้าย) และภาพตัดภายใน (ด้านขวา) ของหัววัดความสั่นสะเทือนแบบความเร่ง โดยอาศัยก้อนน้ำหนักเป็นตัวอัดกระแทกกับผลึกเพียโซ ซึ่งมีส่วนประกอบที่สำคัญคือ ตัวเรือนหัววัด ก้อนน้ำหนักผลึกเพียโซ และวงจรรีเลย์ทรอนิกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการทํางานของหัววัดความสั่นสะเทือนชนิดนี้คือ เมื่อนําหัววัดไปติดกับเครื่องจักรกลที่มีความสั่นสะเทือน หัววัดก็จะเกิดความสั่นสะเทือนตามเครื่องจักรนั้น เมื่อหัววัดเกิดความสั่นสะเทือนก็จะทำให้ก้อนนํ้าหนักภายในหัววัดเกิดการเคลื่อนที่ไป แล้วกดทับกับผลึกเพียโซ ซึ่งผลึกเพียโซก็จะคายประจุออกมาในรูปของแรงดันทางไฟฟ้า ซึ่งแรงดันไฟฟ้าที่ออกมาจะสูงหรือต่ำก็ขึ้นอยู่กับลักษณะความสั่นสะเทือนของเครื่องจักร ถ้าเครื่องจักรเกิดความสั่นสะเทือนมาก ค่าแรงดันที่ออกมา ก็จะมีค่าสูงตาม แล้วนำค่าที่ได้ไปประมวลผลตามค่าความไว (Sensitivity) ของหัววัดต่อไป

### 2.7.2.2 การติดตั้งหัววัดความสั่นสะเทือนแบบความเร่ง

การติดตั้งหัววัดความสั่นสะเทือนแบบความเร่งจะทำการติดตั้งหัววัดแบบสัมผัส ซึ่งจุดที่สำคัญที่สุดของการติดตั้งหัววัดนี้คือ การเกิดเรโซแนนซ์ของตัวหัววัดเอง ซึ่งสามารถทำได้หลายวิธี และสามารถเลือกใช้ได้ตามความเหมาะสมของช่วงความถี่ที่ต้องการได้ ดังรูปที่ 2.21

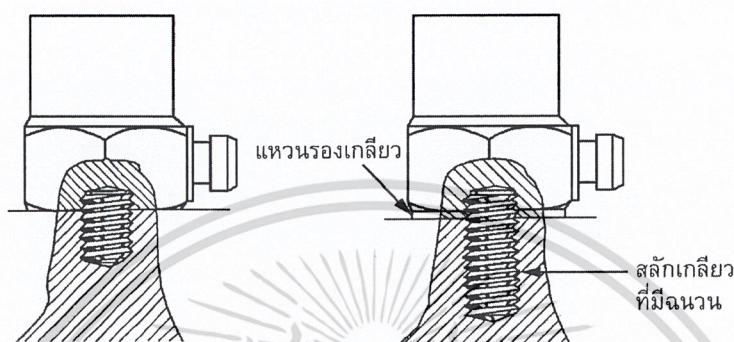


รูปที่ 2.21 ความถี่ธรรมชาติของหัววัดความเร่งเปลี่ยนแปลงตามวิธีการติดตั้ง

(ที่มา ; ประดิษฐ์ หมู่เมืองสองและสุชญา น ทรยศ, 2550)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

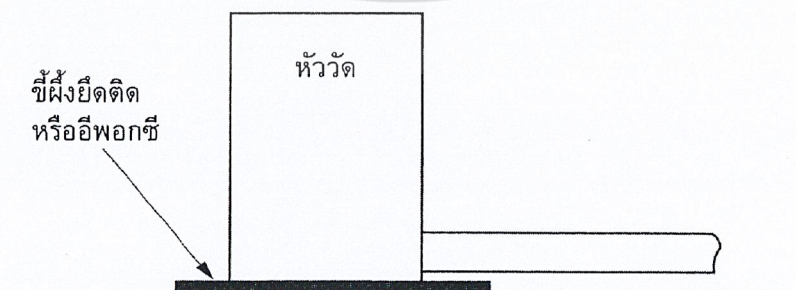
1 การยึดหัววัดด้วยสลักเกลียว (เส้นความถี่หมายเลข 1 จากรูปที่ 2.21) การติดตั้งหัววัดโดยวิธีนี้เป็นการยึดหัววัดที่แน่นหนามั่นคงที่สุด ความถี่ของการตอบสนองของการใช้งานจึงมีย่านความถี่ใช้งานที่สูง การยึดวิธีนี้จึงเหมาะสำหรับวัดความสั่นสะเทือนที่มีความถี่สูง ส่วนมากจะเป็นการติดตั้งหัววัดแบบถาวร



รูปที่ 2.22 การยึดหัววัดแบบความเร่งด้วยสลักเกลียว

(ทีมา ; ประดิษฐ์ หมูเมืองสองและสุชญาณ หารรัชสุข, 2550)

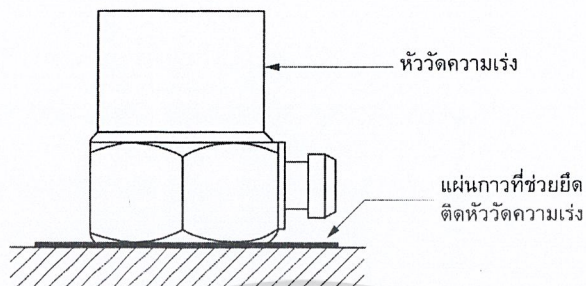
2 การยึดหัววัดด้วยซีเมนต์ (เส้นความถี่หมายเลข 2 จากรูปที่ 2.21) การติดตั้งหัววัดโดยวิธีนี้เป็นการยึดหัววัดด้วยซีเมนต์ วิธีการติดตั้งจะต้องทำการปรับแต่งผิวหน้าของส่วนที่จะติดตั้งให้เรียบเสียก่อน และทำการเช็ดผิวให้แห้งและสะอาดด้วย เพื่อที่จะทำให้ซีเมนต์ประสานระหว่างหัววัดความเร่งกับพื้นผิวนั้นๆ ได้ดี ส่วนมากการยึดหัววัดด้วยวิธีนี้จะเหมาะกับหัววัดที่มีขนาดเล็ก ซึ่งการตอบสนองต่อความถี่การใช้งานจะใกล้เคียงกับการยึดหัววัดด้วยสลักเกลียว แต่การยึดด้วยวิธีนี้จะไม่สามารถใช้ในที่ที่มีอุณหภูมิสูงได้ เนื่องจากจะทำให้ซีเมนต์เกิดการละลายได้



รูปที่ 2.23 การยึดหัววัดแบบความเร่งด้วยซีเมนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีก(ทีมา ; ประดิษฐ์ หมูเมืองสองและสุชญาณ หารรัชสุข, 2550) ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3 การยึดหัววัดด้วยกาวอีพอกซี (เส้นความถี่หมายเลข 2 จากรูปที่ 2.21) การติดตั้งหัววัด โดยวิธีนี้เป็นวิธีการยึดหัววัดด้วยกาวอีพอกซี ซึ่งการยึดหัววัดด้วยวิธีนี้จะสามารถทนต่ออุณหภูมิ ได้ดีกว่าซีเมนต์เล็กน้อย วิธีการติดตั้งเหมือนกันกับการยึดหัววัดด้วยซีเมนต์

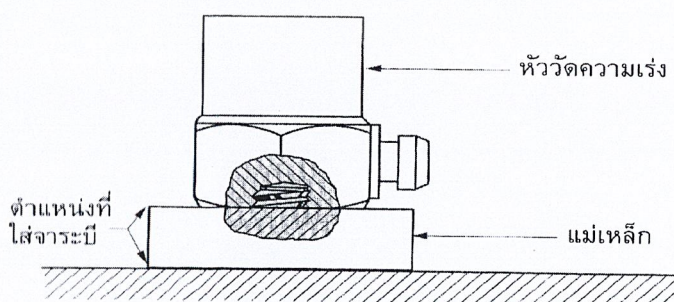


รูปที่ 2.24 การยึดหัววัดแบบความเร่งด้วยกาวอีพอกซี

(ทีมา ; ประดิษฐ์ หมูเมืองสองและสุขญาณ ธรรมสุข, 2550)

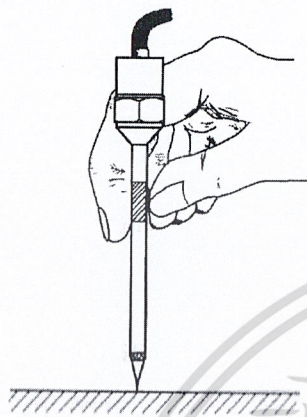
4 การยึดหัววัดด้วยเทปกาวสองหน้า(เส้นความถี่หมายเลข 3 จากรูปที่ 2.21) มีการติดตั้ง เช่นเดียวกันกับการติดตั้งหัววัดด้วยซีเมนต์ โดยการติดตั้งด้วยวิธีนี้เป็นฉนวนไฟฟ้าได้ดีกว่าการใช้ ซีเมนต์หรือกาวอีพอกซี

5 การยึดหัววัดด้วยแม่เหล็ก (เส้นความถี่หมายเลข 4 และ 5 จากรูปที่ 2.21) การติดตั้งหัววัด โดยวิธีนี้ เป็นการยึดหัววัดด้วยแม่เหล็กถาวรที่ขันแน่นกับหัววัดความเร่ง แล้วนำไปยึดติดกับ ชิ้นส่วนของแหล่งกำเนิด วิธีนี้เหมาะสำหรับตรวจวัดค่าความสั่นสะเทือนเป็นครั้งคราว เนื่องจาก สามารถทำได้สะดวกและรวดเร็ว ซึ่งการยึดด้วยแม่เหล็กถาวรนี้จะมีอยู่ 2 แบบ คือ แม่เหล็กแบบ เรียบและแม่เหล็ก 2 ขา โดยแบบแม่เหล็ก 2 ขา จะมีความสะดวกในกรณีที่ทำกรยึดหัววัดกับ ชิ้นส่วนที่มีลักษณะเป็น โลหะทรงกระบอก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้รูปที่ 2.25 การยึดหัววัดแบบความเร่งด้วยแม่เหล็ก นี้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ผู้ใช้ควรพิจารณาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อี (ทีมา ; ประดิษฐ์ หมูเมืองสองและสุขญาณ ธรรมสุข, 2550) ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6 การยึดหัววัดด้วยการใช้มือกด (เส้นความถี่หมายเลข 6 จากรูปที่ 2.21) เป็นการยึดหัววัดด้วยการกดหัววัดด้วยมือลงบนแหล่งกำเนิด เช่น เครื่องจักรบางชนิดที่ไม่สามารถยึดแบบแม่เหล็กได้ เนื่องจากตัวเรือนเครื่องจักรไม่ได้ทำจากวัสดุโลหะ



รูปที่ 2.26 การยึดหัววัดแบบความเร่งด้วยการใช้มือกด

(ที่มา ; ประดิษฐ์ หมู่เมืองสองและสุชญาณ ทรัพย์สุข, 2550)

### 2.7.2.3 การปรับเทียบหัววัดความสั่นสะเทือน (Transducer Calibration)

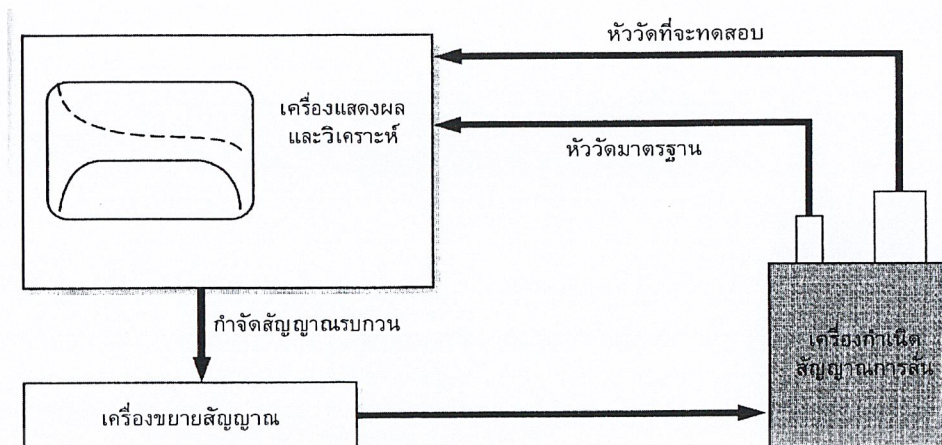
หัววัดความสั่นสะเทือน (Transducer) เป็นชิ้นส่วนที่เกี่ยวกับวงจรรีเล็กทรอนิกส์ เมื่อใช้งานไปสักระยะหนึ่งอาจจะเกิดความคลาดเคลื่อนหรือเกิดความผิดพลาดในการวัดได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการตรวจสอบว่าความคลาดเคลื่อนดังกล่าวยังอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้หรือไม่ หรือที่เรียกว่าการปรับเทียบหัววัดความสั่นสะเทือน (Transducer Calibration) ในการดำเนินการตรวจสอบหรือปรับเทียบนั้น ควรดำเนินการในช่วงระยะเวลาที่เหมาะสมไม่ควรถี่จนเกินไป เพราะจะทำให้เกิดค่าใช้จ่ายเพิ่มสูงขึ้น และไม่ควรห่างจนเกินไป เพราะจะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนขึ้นกับหัววัดนั้นได้

หลักการเบื้องต้นในการปรับเทียบหัววัดความสั่นสะเทือนนั้น เป็นการนำค่าที่อ่านได้จากหัววัดความสั่นสะเทือนที่ต้องการตรวจสอบเทียบกับค่าที่แท้จริง เช่น การปรับเทียบหัววัดความสั่นสะเทือนแบบความเร่ง โดยการใช้เครื่องกำเนิดความสั่นสะเทือนที่เรียกว่า Shaker ดังแสดงในรูป 2.27 โดยนำหัววัดความสั่นสะเทือนแบบความเร่งที่ใช้งานอยู่มาติดตั้งที่เครื่องมือ พร้อมกับหัววัดความสั่นสะเทือนมาตรฐานที่ติดอยู่กับ Shaker แล้วเปรียบเทียบผลที่อ่านได้จากหัววัดที่นำมา

ทดสอบกับที่อ่านได้จากหัววัดมาตรฐาน แล้วนำมาพิจารณาตัดสินใจว่าจะใช้งานต่อไปหรือเปลี่ยนใหม่หากค่าที่ได้เกิดความผิดพลาดสูงเกินช่วงที่ยอมรับได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ยกเว้นกรณีไม่มีเหตุสงสัยสงสัย และต้องยื่นเรื่องถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.27 เครื่องกำเนิดความสั่นสะเทือนเพื่อเปรียบเทียบหัววัดแบบความเร่งที่ต้องการทดสอบ

(ที่มา ; ประดิษฐ์ หมูเมืองสองและสุชญา นรรษสุข, 2550)

### 2.7.3 สายนำสัญญาณความสั่นสะเทือน

สายนำสัญญาณความสั่นสะเทือน (Vibration Cable) เป็นชิ้นส่วนที่ทำหน้าที่เชื่อมระหว่างหัววัดสัญญาณความสั่นสะเทือนกับเครื่องมือวัดความสั่นสะเทือน โดยจะทำหน้าที่นำสัญญาณความสั่นสะเทือนที่เป็นสัญญาณทางไฟฟ้าไปสู่เครื่องมือวัดและบันทึกผลต่อไป

### 2.7.4 เครื่องมือวัดและบันทึกผลความสั่นสะเทือน

เครื่องมือวัดและบันทึกผลความสั่นสะเทือน (Vibration Recorder) เป็นอุปกรณ์ที่มีหน้าที่อ่านค่าและบันทึกผลจากการวัดความสั่นสะเทือน ซึ่งสัญญาณที่ได้มาอาจจะเป็นสัญญาณในรูปแบบดิจิทัลหรือสัญญาณในรูปแบบแอนะล็อก แล้วแต่คุณสมบัติและความสามารถของเครื่องมือวัดนั้น

### 2.7.5 คอมพิวเตอร์และซอฟต์แวร์

คอมพิวเตอร์ (Computer and Software) จะทำหน้าที่รับข้อมูลจากเครื่องมือวัดและบันทึกผล เมื่อผู้ที่ทำหน้าที่ในการวัดดำเนินการวัดเก็บค่าความสั่นสะเทือนของแหล่งกำเนิดแล้ว ก็จะนำข้อมูลที่ได้อ่านค่าโอนเข้าสู่คอมพิวเตอร์ที่มีซอฟต์แวร์รองรับสำหรับเครื่องมือชุดนั้น โดยชุดเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ซอฟต์แวร์สำหรับการวิเคราะห์สัญญาณความสั่นสะเทือนนี้สามารถแสดงผลออกมาในรูปแบบของไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุผลเบื้องเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มาไปใช้

กราฟแบบต่างๆ หรือรูปแบบตาราง แล้วแต่ความสามารถของซอฟต์แวร์นั้น ซึ่งในปัจจุบันได้มีบริษัทผู้ผลิตอุปกรณ์และซอฟต์แวร์สำหรับวัดและวิเคราะห์ความสั่นสะเทือนเป็นจำนวนมาก ซึ่งส่วนมากซอฟต์แวร์ที่ใช้เก็บก็จะควบคู่กับเครื่องมือวัดและบันทึกผลที่เป็นยี่ห้อเดียวกัน เพื่อความสะดวกต่อการถ่ายโอนข้อมูล

## 2.8 การกำหนดมาตรฐานความสั่นสะเทือนเพื่อป้องกันผลกระทบต่ออาคาร

มาตรฐานความสั่นสะเทือน

### 2.8.1 มาตรฐานความสั่นสะเทือนของเครื่องจักร

ในการประเมินสภาพเครื่องจักรที่ทำการวัดค่าความสั่นสะเทือนมานั้น สามารถแบ่งเกณฑ์ในการกำหนดค่าความสั่นสะเทือนออกเป็น 2 ประเภทด้วยกันคือ

**ประเภทแรก** เป็นเกณฑ์ที่กำหนดโดยบริษัทผู้ผลิตเครื่องจักรเอง ส่วนมากจะกำหนดไว้เป็นตัวเลขที่ง่ายเพื่อความเข้าใจและการใช้งาน เพื่อใช้สำหรับประเมินค่าความสั่นสะเทือนว่าอยู่ในช่วงที่จะใช้งานได้ต่อไปหรือไม่

**ประเภทที่สอง** จะเป็นเกณฑ์ที่กำหนดขึ้นมาจากประสบการณ์ของกลุ่มคนทำงาน และมีความชำนาญด้านนี้โดยตรง โดยจะกำหนดตามรูปแบบการติดตั้ง และตัวแปรอื่นๆ ในบางกรณีอาจเรียกว่า มาตรฐานความสั่นสะเทือน ซึ่งมีหลายสถาบันที่เป็นที่ยอมรับบังคับใช้ เช่น American Petroleum Institute (API), National Electric Manufacture (NEMA), American Gear Manufactures Association (AGMA), American National Standard Institute (ANSI), International Organization for Standard (ISO) และมาตรฐานเยอรมนี Verein Deutscher Ingenieure (VDI) เป็นต้น สำหรับเกณฑ์ที่ได้ยังไม่มียุติที่แน่นอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.82 มาตรฐานความสั่นสะเทือนของอาคารประเภทที่ 2

ตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติฉบับที่ 37 (พ.ศ. 2553) เรื่อง กำหนดมาตรฐานความสั่นสะเทือนเพื่อป้องกันผลกระทบต่ออาคาร ได้กำหนดมาตรฐานความสั่นสะเทือนของอาคารประเภทที่ 2 ไว้ดังตารางที่ 2.4

### ตารางที่ 2.4 มาตรฐานความสั่นสะเทือนอาคารประเภทที่ 2

จุดตรวจวัด	ความถี่ (เฮิรตซ์)	ความเร็วอนุภาคสูงสุดไม่เกิน (มิลลิเมตรต่อวินาที)	
		ความสั่นสะเทือน กรณีที่ 1	ความสั่นสะเทือน กรณีที่ 2
2.1 ฐานรากหรือชั้นล่าง ของอาคาร	$f < 10$ $10 < f < 50$ $50 < f < 100$ $f > 100$	5 $0.25 f + 2.5$ $0.1f + 10$ 20	-
2.2 ชั้นบนสุดของอาคาร	ทุกความถี่	15*	5*
2.3 พื้นอาคารในแต่ละชั้น	ทุกความถี่	20**	10**

#### หมายเหตุ

- 1)  $f$  = ความถี่ของความสั่นสะเทือน ณ เวลาที่มีความเร็วอนุภาคสูงสุดมีหน่วยเป็นเฮิรตซ์
- 2) \* = กำหนดมาตรฐานไว้เฉพาะค่าความเร็วอนุภาคสูงสุดในแกนนอน
- 3) \*\* = กำหนดมาตรฐานไว้เฉพาะค่าความเร็วอนุภาคสูงสุดในแกนตั้ง
- 4) การวัดค่าความสั่นสะเทือนสูงสุดสำหรับความสั่นสะเทือนกรณีที่ 2 ตามข้อ 1.2, 2.2 และ 3.2 ให้วัดที่ชั้นบนสุดของอาคารหรือชั้นอื่นซึ่งมีค่าความสั่นสะเทือนสูงสุด
- 5) การวัดค่าความสั่นสะเทือนที่พื้นอาคารในแต่ละชั้นตามข้อ 1.3, 2.3 และ 3.3 ให้ยกเว้นการวัดที่ฐานรากหรือชั้นล่างของอาคาร
- 6) ความสั่นสะเทือนกรณีที่ 1 หมายความว่า ความสั่นสะเทือนที่ไม่ทำให้เกิดการล้าและการสั่นพ้องของโครงสร้างอาคาร
- 7) ความสั่นสะเทือนกรณีที่ 2 หมายความว่า ความสั่นสะเทือนที่ทำให้เกิดการล้าหรือ การสั่นพ้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นใบเขียวประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่าของโครงสร้างอาคาร ห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.9 สภาพแวดล้อมที่มีผลกระทบต่อการวัดความสั้นสะเทือน

สภาพแวดล้อมที่มีผลทั้ง โดยตรงและโดยอ้อมต่อการวัดความสั้นสะเทือน โดยเฉพาะห้วงวัดความสั้นสะเทือนแบบความเร่ง เพราะว่าในบางครั้งผลของสภาพแวดล้อมเหล่านี้อาจทำให้ค่าของความสั้นสะเทือนเกิดการเบี่ยงเบนได้ทำให้ค่าที่ได้มาไม่ตรงกับความเป็นจริงซึ่งประกอบไปด้วย

### 2.9.1 ผลกระทบจากอุณหภูมิ

อุณหภูมิลดลงมีผลกระทบต่อห้วงวัดความสั้นสะเทือน ซึ่งถ้าอุณหภูมิลดลงของห้วงวัดมีค่าสูงจนเกินขีดจำกัดของห้วงวัดจะทำให้ได้ค่าที่เบี่ยงเบนไปจากค่าที่แท้จริง โดยทั่วไปแล้วจะทำการตรวจวัดอุณหภูมิก่อนทำการติดตั้งเครื่องมือ โดยช่วงที่เหมาะสมคือ  $-40$  ถึง  $85$  °ซ แต่ถ้ามีอุณหภูมิสูงกว่านี้ต้องควรเลือกห้วงวัดชนิดพิเศษที่สามารถทนต่อความร้อนได้

### 2.9.2 ผลกระทบจากความชื้นรอบข้าง

บริเวณที่ติดตั้งห้วงวัดที่มีความชื้นและอุณหภูมิสูงอาจทำให้ ฉนวนหุ้มสายไฟเมื่ออายุการใช้งานที่สั้นลง เมื่อเกิดการชำรุดหรือสึกกร่อนจะทำให้สัญญาณทางไฟฟ้าเกิดการรั่วไหลได้

### 2.9.3 ผลกระทบจากการแผ่รังสี

จากการใช้งานโดยมั่วไปแล้วพบว่าผลกระทบที่เกิดจากการแผ่รังสีในบริเวณใกล้เคียงกับตำแหน่งของห้วงวัดการสั้นสะเทือนนั้น อาจจะไม่มียุทธกระทบต่อสัญญาณมากนัก แต่ถ้าการแผ่รังสีบริเวณนั้นสูงเกินไปอาจส่งผลกระทบต่อสัญญาณความสั้นสะเทือนได้เช่นกัน

### 2.9.4 ผลกระทบจากอำนาจแม่เหล็ก

โดยทั่วไปแล้วพบว่าอำนาจแม่เหล็กในบริเวณใกล้เคียงกับตำแหน่งของห้วงวัดความสั้นสะเทือนนั้นไม่ค่อยมีผลกระทบต่อสัญญาณความสั้นสะเทือนมากนัก แต่ถ้าความเข้มข้นของสนามแม่เหล็กในบริเวณนั้นสูงเกินไป ก็อาจส่งผลกระทบต่อสัญญาณความสั้นสะเทือนได้เช่นกัน

นอกจากนี้ยังมีผลกระทบทางด้านอื่นๆอีก เช่น ผลกระทบทั้งทางตรงและทางอ้อม เช่น ความแข็งแรงของขาคัดห้วงวัดความสั้นสะเทือน สภาพแวดล้อมที่มีการกักกร่อนอย่างรุนแรง เสียงที่มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.10 ผลกระทบของความสั่นสะเทือน

ปัญหาสุขภาพอนามัยที่มีสาเหตุมาจากความสั่นสะเทือนนั้น แบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

1. อันตรายที่เกิดจากความสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย
2. อันตรายที่เกิดจากความสั่นสะเทือนเฉพาะบางส่วนของร่างกาย

### 2.10.1 อันตรายที่เกิดจากความสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย

อันตรายที่เกิดจากความสั่นสะเทือนทั้งร่างกายชนิดเรื้อรังที่เกิดขึ้นในระยะยาวนั้นยังไม่ทราบแน่ชัด แต่การศึกษาถึงอันตรายในระยะสั้น อาจก่อให้เกิดอันตรายต่ออวัยวะและส่วนต่างๆ ของร่างกายมากมาย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะของความสั่นสะเทือน อาจจะทำให้ไม่สามารถทรงตัวอยู่ได้ ระดับน้ำตาลในเลือดต่ำมาก ระดับโคเลสเตอรอลในเลือดลดต่ำลง และระดับของกรดแอสคอร์บิกต่ำด้วย

### 2.10.2 อันตรายที่เกิดจากความสั่นสะเทือนเฉพาะบางส่วนของร่างกาย

อันตรายที่เกิดจากความสั่นสะเทือนเฉพาะบางส่วนจะเกิดขึ้นเฉพาะที่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่นิ้วมือ และมีที่ต้องจับเครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่มีความสั่นสะเทือน เช่น เลื่อยไฟฟ้า เครื่องย้ำหมุด หรือเครื่องเจาะหิน อาจทำให้เกิดอาการผิดปกติทางานาชนิด เช่น ทำให้กระดูกขาดแคลเซียมหรือเกลือแร่ ทำให้เกิดปวดข้อโดยไม่มีสาเหตุ ทำให้เกิดการผิดปกติของหลอดเลือดที่เรียกว่า Raynaud's Phenomenon บางครั้งเรียกว่า โรคมือตาย

มลพิษทางเสียงและความสั่นสะเทือน เป็นมลพิษที่มีความแตกต่างจากมลพิษประเภทอื่นๆ เนื่องจากเสียงและความสั่นสะเทือนเป็นการเคลื่อนที่ของพลังงานผ่านตัวกลางใดๆ เข้าสู่ร่างกายของมนุษย์ทางอวัยวะรับความรู้สึกของมนุษย์ คือ หูและร่างกาย ถ้าพลังงานที่ร่างกายได้รับนี้อยู่ในรูปแบบและในเวลาที่เหมาะสม นอกจากจะไม่เป็นอันตรายแล้ว ยังเป็นประโยชน์แก่มนุษย์ เช่น

เอกสารใช้เสียงและความสั่นสะเทือนในการสื่อสาร ให้ความบันเทิง ใช้เตือนภัย ใช้ตรวจสอบความถูกต้อง  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้องการทำงานของเครื่องจักรและอุปกรณ์ เป็นต้น แต่หากพลังงานที่ร่างกายได้รับมากเกินไปจนเกิดการสะสมของร่างกาย และอยู่ในรูปแบบหรือเวลาที่ ไม่เหมาะสมก็จะส่งผลกระทบต่อร่างกายและจิตใจ เช่น การทำลาชอวี่วะรับการได้ยิน การทำให้เกิดความรำคาญ โรคเครียด หรืออาจเป็นสาเหตุให้เกิดโรคร้ายต่างๆ ได้

มลพิษจากเสียงและความสั่นสะเทือน เป็นปัญหาที่พบในเขตชุมชนและพื้นที่ต่างๆ ที่มีการขยายตัวของอาคารคมนาคมขนส่งและอุตสาหกรรม โดยเฉพาะกรุงเทพมหานครและเมืองศูนย์กลางความเจริญในส่วนภูมิภาค แหล่งกำเนิดมลพิษทางเสียงที่สำคัญคือ ยานพาหนะ สถานประกอบการ และโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งจากผลการตรวจสอบค่าระดับเสียงเฉลี่ยในเวลา 24 ชม. บริเวณริมเส้นทางการจราจรในกรุงเทพมหานคร และบริเวณพื้นที่ต่างๆ ในจังหวัดสมุทรปราการ ปี พ.ศ. 2537 พบค่าระดับเสียงสูงสุดในช่วง 74-84 เดซิเบลเอ และ 63-78 เดซิเบลเอตามลำดับ ซึ่งเป็นระดับเสียงที่อาจก่อให้เกิดอันตรายต่อการได้ยินของมนุษย์ตามข้อกำหนดพิทักษ์สิ่งแวดล้อมของอเมริกา(U.S.EPA) เสนอแนะไว้คือ ระดับเสียงเฉลี่ย 24 ชม.จะต้องไม่เกิน 70 เดซิเบลเอ สำหรับแหล่งกำเนิดมลพิษทางความสั่นสะเทือนนั้น ส่วนใหญ่เกิดจากการใช้เครื่องจักร เครื่องมือ และอุปกรณ์ในขบวนการอุตสาหกรรม การก่อสร้างและการขนส่ง การตอกเสาเข็ม การขุดเจาะ การระเบิดย่อยหินรวมทั้งกิจกรรมในชุมชนบางอย่าง มลพิษทางความสั่นสะเทือนนี้มีผลให้อาคารบ้านเรือนสิ่งก่อสร้างแตกร้าวหรือทรุดตัวได้ และมีผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชน รวมทั้งยังก่อเหตุเดือดร้อนต่อประชาชนด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### การศึกษาความสัมพันธ์ของรถยนต์ที่จอดติดบนสะพาน

ชนวรรณ โสภณมหาผล (2553)

ในงานวิจัยนี้จะศึกษาถึงพฤติกรรมและผลกระทบของการสั้น ไหวของสะพานต่อยานพาหนะที่จอดติดอยู่บนสะพาน ในกรณีที่การจราจรบนสะพานข้ามทางแยกในแต่ละทิศทางมีความหนาแน่นแตกต่างกันมาก ทำให้ผู้โดยสารภายในรถยนต์ที่จอดติดอยู่บนสะพานเกิดความรู้สึกถึงความสั้นสะพานขึ้นเมื่อมียานพาหนะวิ่งผ่านในทิศทางตรงกันข้าม ซึ่งมีสาเหตุมาจากสะพานทั้งสองวางตัวอยู่บนคานขวางเดียวกัน โดยการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของยานพาหนะที่จอดหนึ่งบนคานซึ่งจากรองรับทั้งสองด้านมีการเคลื่อนที่ตามแนวดิ่ง และอาศัยข้อมูลการเคลื่อนที่ของจากรองรับสะพานที่ได้จากการทดสอบจริงในภาคสนามของสะพานเหล็กข้ามทางแยกแห่งหนึ่ง โดยพิจารณาการเคลื่อนที่ผ่านของรถบรรทุกที่ความเร็วต่างๆ ภายใต้การจราจรปกติ ทำให้สามารถวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของรถยนต์ที่จอดติดอยู่บนสะพานได้ การศึกษานี้พิจารณาผลของคุณสมบัติด้านน้ำหนัก และช่วงล่างของยานพาหนะ รวมทั้งตำแหน่งที่จอดติดบนสะพาน เพื่อให้ครอบคลุมรูปแบบของรถยนต์ในแบบที่แตกต่างกัน

ผลการศึกษาพฤติกรรมความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นกับรถยนต์ พบว่าปัจจัยที่มีผลกระทบต่อระดับความสัมพันธ์ขึ้นอยู่กับการวัดค่าความถี่ช่วงล่างของรถยนต์ และความเร็วในการวิ่งผ่านของรถบรรทุกในทิศทางตรงข้าม โดยเฉพาะเมื่อรถยนต์มีค่าความถี่ช่วงล่างที่สูงจนมีค่าเข้าใกล้ความถี่ในโหมดการสั่นหลักของสะพาน ในขณะที่ค่าน้ำหนักของรถยนต์จะมีผลกระทบต่อค่าความถี่ที่เกิดขึ้นกับรถยนต์น้อยมากเมื่อเทียบกับอิทธิพลของความเร็วในการวิ่งผ่านของรถบรรทุก และค่าความถี่ช่วงล่างของรถยนต์

ผลการประเมินโดยมาตรฐาน ISO 2631 พบว่าความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นกับรถยนต์ส่งผลกระทบต่อผู้โดยสารได้ถึงความสั้นสะพานในทุกกรณีและเกิดความรู้สึกไม่สะดวกสบายกับผู้โดยสารในบางกรณีในส่วนของผลการประเมินความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นกับรถยนต์โดยอาศัยสัญญาณการสั้นไหวที่จากรองรับสะพานที่ตรวจวัดได้ภายใต้การจราจรปกติ พบว่าการอยู่ภายใต้ความสัมพันธ์ภายในรถยนต์ที่มีระยะเวลายาวนานเกินกว่า 1 ชั่วโมง 36 นาที (1.60 ชม.) จะส่งผลกระทบต่อสุขภาพของผู้โดยสาร นอกจากนี้ยังพบว่าความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นกับรถยนต์ภายใต้การจราจรปกติสามารถรับรู้ได้ในทุกกรณีและเกิดความรู้สึกไม่สะดวกสบายในบางกรณี ซึ่งมีความสอดคล้องกับกรณีของการวิ่งผ่านโดยรถบรรทุก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินงานวิจัย

#### 3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1)	ชุดเครื่องมือวัดความสั่นสะเทือนยี่ห้อ 01dB รุ่น Hamonic	2	ชุด
2)	เครื่องคอมพิวเตอร์แบบพกพา (Note book)	2	เครื่อง
3)	วิทยุสื่อสารขนาดพกพา	2	เครื่อง
4)	สายสัญญาณ 30 m	6	เส้น
5)	หัววัดความสั่นสะเทือนยี่ห้อ PCB รุ่น 799M SN10915	6	หัว
6)	ฐานติดตั้งอุปกรณ์วัดความสั่นสะเทือนแบบ 3 ทิศทาง	2	อัน
7)	ตลับเมตร	1	ตลับ
8)	เครื่องตรวจวัดพิกัด(GPS) รุ่น 60CSX	1	เครื่อง
9)	กล้องถ่ายรูป	1	เครื่อง
10)	นาฬิกาจับเวลา	1	เครื่อง
11)	Vibration Calibrator ยี่ห้อ PCB รุ่น 394C06 SN2932	1	เครื่อง

#### 3.2 ขั้นตอนการดำเนินการ

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยประกอบด้วยขั้นตอนดังต่อไปนี้

##### 3.2.1 การเลือกสถานที่และการติดตั้งมาตรวัดความสั่นสะเทือน

ตอนที่ 1 การศึกษาประสิทธิภาพการลดทอนความสั่นสะเทือนเนื่องจากดินบริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

สถานที่ทำการศึกษา บริเวณรางรถไฟ- บ้านพักเจ้าหน้าที่สื่อสารการรถไฟ

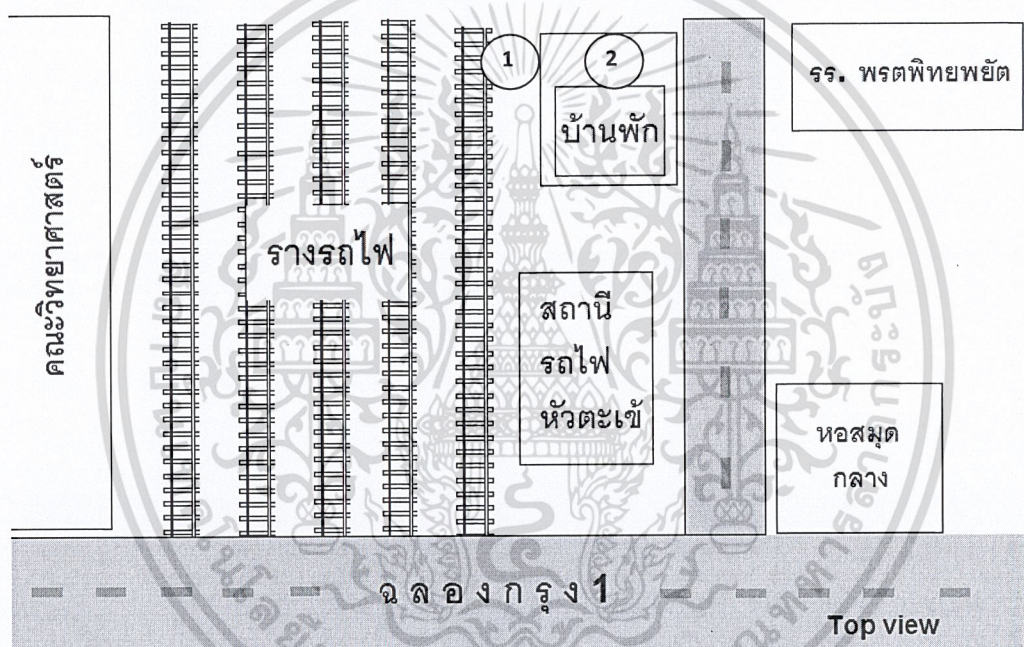
ติดตั้งเครื่องมือและอุปกรณ์ตรวจวัดความสั่นสะเทือน 2 จุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุดตรวจวัดที่ 1 บริเวณใกล้รางรถไฟโดยติดตั้งห่างจากจุดกึ่งกลางรางรถไฟเป็นระยะทางประมาณ 1.5 เมตร

จุดตรวจวัดที่ 2 บริเวณลานจอดรถของบ้านพักเจ้าหน้าที่การรถไฟติดตั้งห่างจากจุดกึ่งกลางรางรถไฟเป็นระยะทางประมาณ 11.5 เมตร

โดยติดตั้งเครื่องมือตรวจวัด 2 จุดพร้อมกันคือ บริเวณใกล้รางรถไฟ และบริเวณฐานของบ้านพักเจ้าหน้าที่การรถไฟ โดยห้วงวัดแกน X หันเข้าหารางรถไฟ สำหรับห้วงวัดแกน Y จะหันไปในทิศทางขนานกับรางรถไฟและห้วงวัดแกน Z อยู่ในแนวตั้ง ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงจุดตรวจวัดเมื่อมองจากด้านบน (Top view)

## ตอนที่ 2 การศึกษาผลกระทบจากแรงสั่นสะเทือนที่เกิดเนื่องจากรถไฟต่อโครงสร้างอาคารประเภทที่ 2

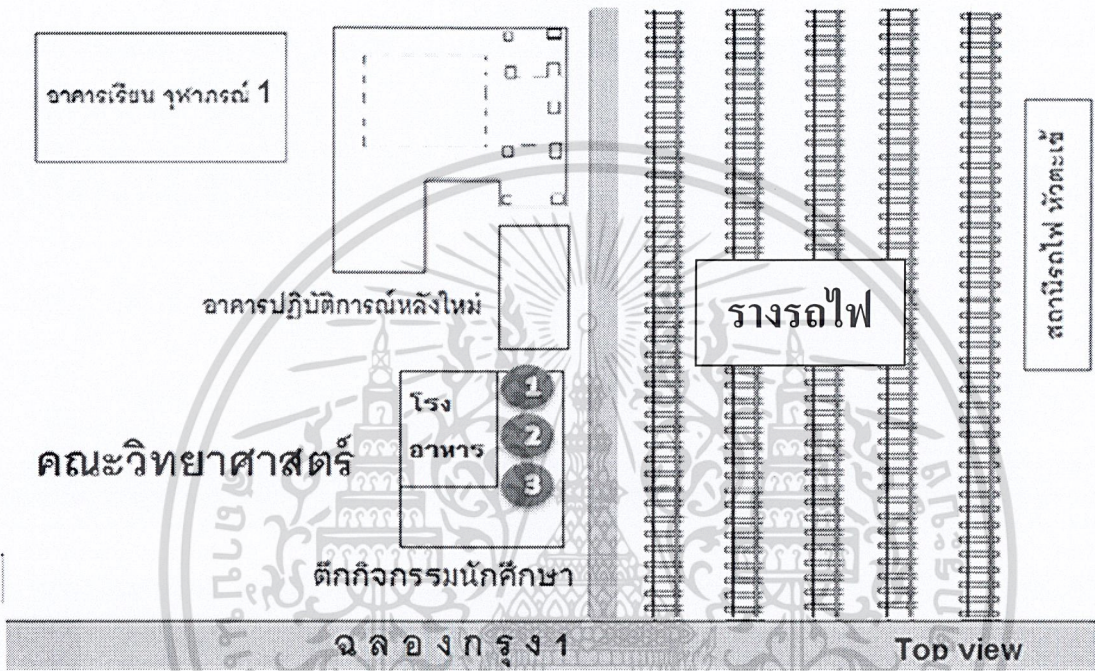
สถานที่ทำการศึกษาคณะวิทยาศาสตร์ บริเวณอาคารกิจกรรมนักศึกษา คณะวิทยาศาสตร์ โดยทำการติดตั้งเครื่องมือและอุปกรณ์ตรวจวัดความสั่นสะเทือน 3 จุด ดังนี้ คือ (รูปที่ 3.2)

1. ฐานรากอาคาร บริเวณเสาดานโรงอาหารใต้อาคารวัดแกน x แกน y และแกน z

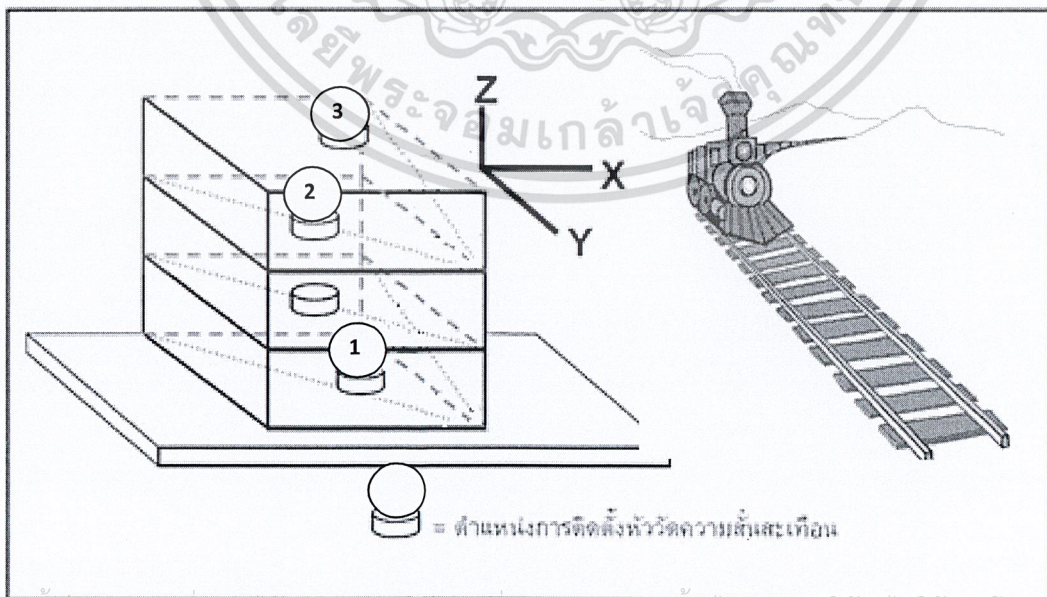
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 2 ชั้นกึ่งกลางอาคาร บริเวณริมระเบียงทางเดินบริเวณกึ่งกลางอาคาร โดยติดตั้งหัววัดแกน z
- 3 ชั้นบนสุดของอาคารบริเวณชั้นดาดฟ้าของอาคาร โดยติดตั้งหัววัดแกน x และแกน y

ในการติดตั้งเครื่องมือจะทำการติดตั้งที่ละตำแหน่ง โดยติดตั้งหัววัดที่ตำแหน่ง 2 และ 3 พร้อมกันดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.2 แสดง จุดตรวจวัดในตอนต้นที่ 2 จากด้านบน (Top view)



เอกสารนี้เป็นเอกสารทสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 รูปที่ 3.3 แสดงจุดวัดความถี่และเทื่อในตอนต้นที่ 2 จากด้านข้าง  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อิมพริ้นท์ไม่มีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และที่อยู่อีเมลยังคงเหมือนเดิมทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.2 การตรวจวัดความสั่นสะเทือน

ในการศึกษาการลดทอนความสั่นสะเทือนเนื่องจากดินบริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังหลังจากทำการติดตั้งมาตรวัดความสั่นสะเทือนแล้วทำการจดบันทึกตำแหน่งจุดตรวจวัดโดยใช้ GPS รุ่น 60CSX เพื่อระบุตำแหน่งพร้อมถ่ายรูปประกอบ

ในการศึกษาผลกระทบแรงสั่นสะเทือนที่มีผลต่อโครงสร้างอาคาร ทำการระบุตำแหน่ง เช่นเดียวกับการทดลองการลดทอนความสั่นสะเทือน

ในการทดลองทั้ง 2 ตอนได้ใช้โปรแกรม dB TRIG32 ในการบันทึกและวิเคราะห์ผล โดยมีขั้นตอนการตรวจวัดดังนี้

-การตรวจวัด

ก่อนทำการทดลอง ต้องมีการปรับเทียบทุกครั้งเพื่อให้มาตรวัดความสั่นสะเทือนมีความแม่นยำ ตรวจวัด Background อย่างน้อย 5 นาทีเพื่อเก็บข้อมูลไปใช้ปรับแต่งค่ารายการ

-พารามิเตอร์ที่ใช้

ตรวจแรงสั่นสะเทือนในหน่วยความเร่ง ( $\text{mm/s}^2$ )

ระยะเวลาที่รถไฟเคลื่อนที่ผ่านสถานที่เก็บตัวอย่าง

ประเภทรถไฟและจำนวน โบกี้รถไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.3 การประมวลผล

นำข้อมูลความสั่นสะเทือนในรูปแบบของความเร่ง ( $\text{mm} / \text{s}^2$ ) ที่ตรวจวัดได้ไปแปลงค่าให้อยู่ในรูปแบบของความเร็วของอนุภาคดิน ( $\text{mm} / \text{s}$ ) ด้วยโปรแกรม dB FA32

ในการศึกษาการลดทอนความสั่นสะเทือนเนื่องจากดินบริเวณเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จะนำค่าความสั่นสะเทือนในรูปแบบความเร็วของอนุภาคดินที่ความถี่รวมของหัววัดในแต่ละแกนมาพิจารณาหาค่าความเร็วของอนุภาคสูงสุด เพื่อนำไปหาค่า  $\alpha$  (ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนของดิน) จากสมการที่ 2.1

ส่วนในการศึกษาผลกระทบของแรงสั่นสะเทือนที่มีผลต่อโครงสร้างอาคาร จะนำค่าความสั่นสะเทือนในรูปแบบของความเร็วอนุภาค ( $\text{mm/s}$ ) ในทุกๆความถี่ (Hz) ของหัววัดในแต่ละแกนมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร็วของอนุภาค ( $\text{mm/s}$ ) กับความถี่ (Hz) แล้วนำไปเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานตามมาตรฐานความสั่นสะเทือนของประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 37 (พ.ศ.2553) และตามมาตรฐาน DIN 4150 เพื่อประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อโครงสร้างของอาคาร

นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของขบวนรถไฟกับความสั่นสะเทือน และความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนโบกี้ของรถไฟกับความสั่นสะเทือน ด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (Linear regression)

และในการประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อสุขภาพของมนุษย์ จะทำการศึกษาโดยนำข้อมูลความสั่นสะเทือน ( $\text{mm/s}$ ) ไปเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานตามมาตรฐาน ISO 2631-2

## บทที่ 4

### ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ในการศึกษาเรื่องความสัมพันธ์ได้แบ่งการศึกษออกเป็น 2 ส่วน คือส่วนที่ 1 คือ การศึกษาเกี่ยวกับการลดทอนความสัมพันธ์เนื่องจากดินบริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และส่วนที่ 2 เป็นการศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบจากแรงสั่นสะเทือนต่อโครงสร้างของอาคารกิจกรรมนักศึกษาซึ่งจัดเป็นอาคารประเภท 2 ตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 37 (พ.ศ.2553) โดยใช้วิธีการติดตั้งเครื่องมือและตรวจวัดตามมาตรฐานที่กำหนด และเปรียบเทียบผลที่ได้กับมาตรฐาน DIN 4150 ได้ผลดังนี้

#### 4.1 ผลการศึกษาการลดทอนความสัมพันธ์ในดินบริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

สถานที่ที่ใช้ในการตรวจวัดความสัมพันธ์คือ บริเวณบ้านพักเจ้าหน้าที่สื่อสารการรถไฟ ในช่วงวันที่ 19-24 พฤศจิกายน 2553 และช่วงวันที่ 22-25 มกราคม 2554 รวมระยะเวลาทั้งหมด 10 วัน จากการศึกษาองค์ประกอบของดินโดยการทดสอบหา Sand Silk Clay ในห้องปฏิบัติการพบว่าเนื้อดินบริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังมีลักษณะเป็นดินร่วนทราย (Sandy loam) ผลจากการศึกษาแรงสั่นสะเทือนที่เกิดจากขบวนรถไฟโดยसारขาออก จำนวน 30 ขบวน เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงวัสดุของดิน ( $\alpha$ ) ที่ระดับความถี่ 1 Hz พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงวัสดุของดินจะอยู่ในช่วง 0.040 ถึง 0.236 ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงช่วงค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงวัสดุของดินร่วนทราย

ประเภทของรถไฟ	ช่วงค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงวัสดุของดินร่วนทราย ( $\alpha$ ) ที่ระดับความถี่ 1 Hz
รถไฟโดยसार	0.040 ถึง 0.236

หมายเหตุ สามารถดูผลการวิเคราะห์ดินเพิ่มเติมได้ในภาคผนวก จ หน้า 94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการเปรียบเทียบความสั่นสะเทือนที่เกิดจากรถไฟโดยสารและรถไฟขนส่งสินค้า โดยรถไฟโดยสารมีค่าความสั่นสะเทือนเฉลี่ยเท่ากับ  $3.23E-03$  mm/s มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ  $1.21E-03$  mm/s และรถไฟขนส่งสินค้ามีค่าความสั่นสะเทือนเฉลี่ยเท่ากับ  $8.83E-03$  mm/s มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ  $9.86E-03$  mm/s พบว่าค่าความสั่นสะเทือนจากรถไฟทั้งสองประเภทไม่สามารถนำมาเปรียบเทียบกันได้เนื่องจากรถไฟทั้งสองประเภทไม่ได้วิ่งในรางเดียวกัน ซึ่งทำให้ระยะห่างจากจุดกึ่งกลางรางจนถึงจุดตรวจวัดไม่เท่ากัน

## 4.2 ผลการศึกษาผลกระทบจากแรงสั่นสะเทือนที่เกิดจากรถไฟต่อโครงสร้างของอาคารประเภทที่ 2

ในการศึกษานี้ได้ทำการตรวจวัดความสั่นสะเทือนบริเวณอาคารกิจกรรมนักศึกษาซึ่งเป็นอาคารปูน 5 ชั้น ในช่วงวันที่ 26-29 พฤศจิกายน 2553 รวมระยะเวลา 4 วัน การศึกษาความสั่นสะเทือนที่เกิดจากรถไฟโดยสาร 32 ขบวน และรถไฟขนส่งสินค้า 32 ขบวน โดยนำผลไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานตามมาตรฐานความสั่นสะเทือน ของประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 37 (พ.ศ.2553) กำหนดไว้ (รายละเอียดตามมาตรฐานความสั่นสะเทือนเพิ่มในภาคผนวก ก หน้า 69) ได้ผลดังนี้

### 4.2.1 ผลการศึกษาผลกระทบจากแรงสั่นสะเทือนที่เกิดจากรถไฟโดยสาร

จากการวัดความสั่นสะเทือนที่เกิดจากรถไฟโดยสารจำนวน 32 ขบวน พบว่ามีความเร็วของอนุภาคที่ระดับความถี่ 0 - 100 Hz ดังนี้

จากรูปที่ 4.1-4.6 พบว่าความสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นจากรถไฟโดยสารในแกน X, แกน Y และแกน Z มีความถี่เด่นอยู่ที่ 1 Hz และมีช่วงของความสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นโดย

ในบริเวณฐานรากแกน X มีช่วงความสั่นสะเทือน คือ  $3.40E-06$  ถึง 0.142

ในบริเวณฐานรากแกน Y มีช่วงความสั่นสะเทือน คือ  $2.67E-06$  ถึง 0.126

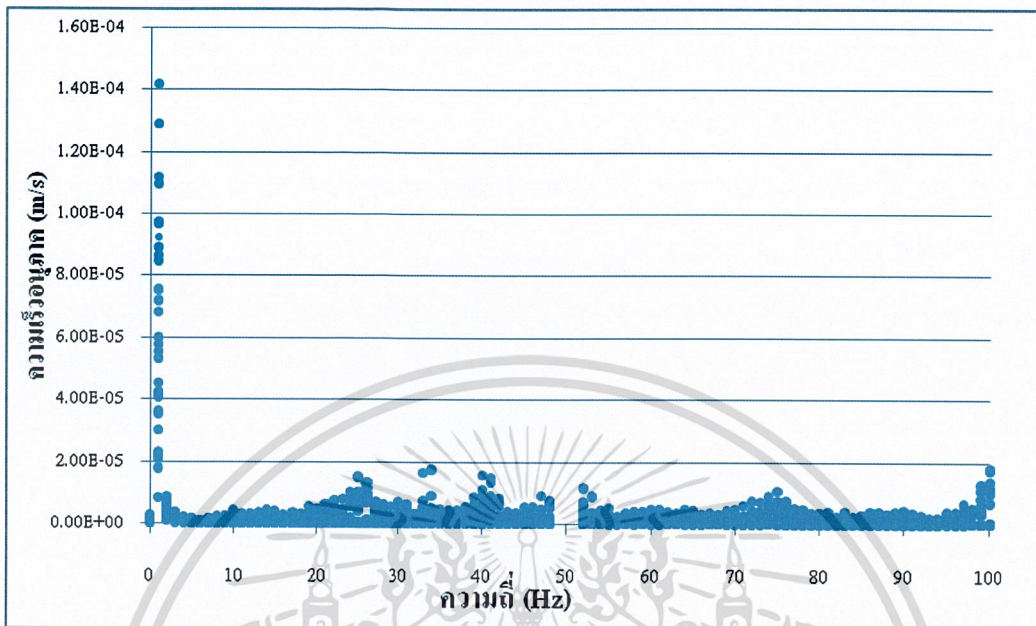
ในบริเวณฐานรากแกน Z มีช่วงความสั่นสะเทือน คือ  $5.13E-06$  ถึง 0.099

ในบริเวณชั้นกลางแกน Z มีช่วงความสั่นสะเทือน คือ  $2.40E-05$  ถึง 1.780

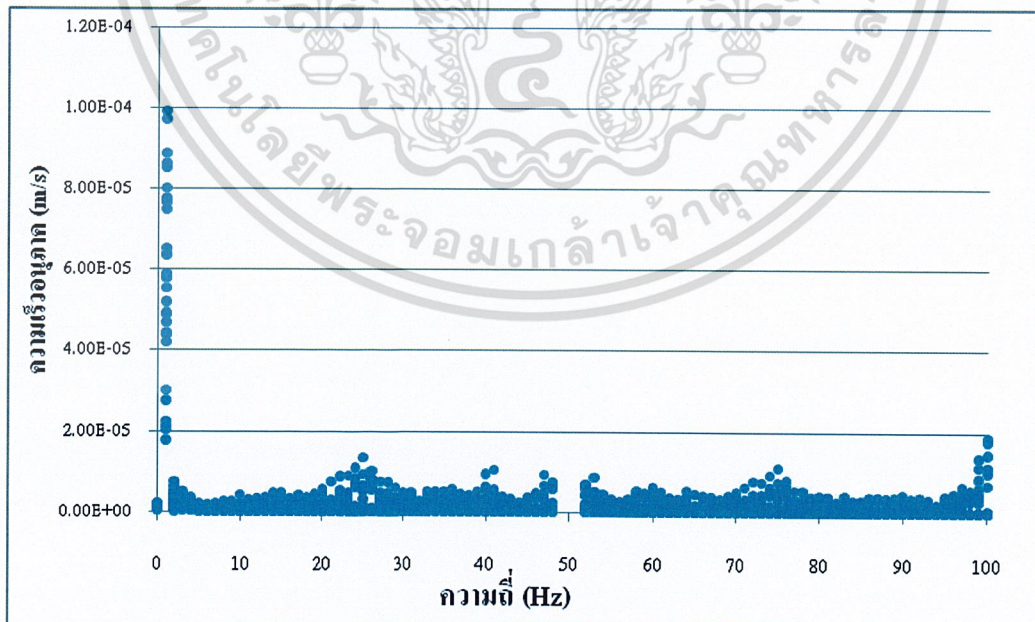
ในบริเวณคานฟ้าแกน X มีช่วงความสั่นสะเทือน คือ  $1.15E-05$  ถึง 0.522

ในบริเวณคานฟ้าแกน Y มีช่วงความสั่นสะเทือน คือ  $1.43E-05$  ถึง 0.464

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของกรมโยธาธิการและผังเมือง ไม่สามารถนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่าในรูปแบบใดก็ตาม และช่วงของความสั่นสะเทือนที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของรถไฟโดยสารได้สรุปไว้ในตารางที่ 4.2



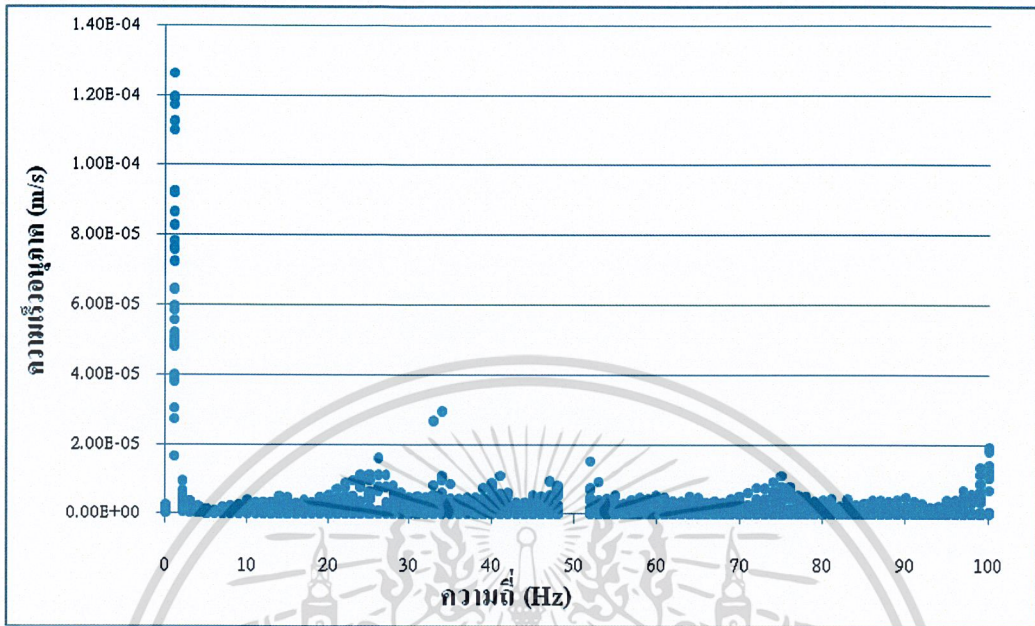
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่(Hz) และความเร็วของอนุภาค(m/s) ของบริเวณฐานรากในแกน X : รถไฟโดยสาร



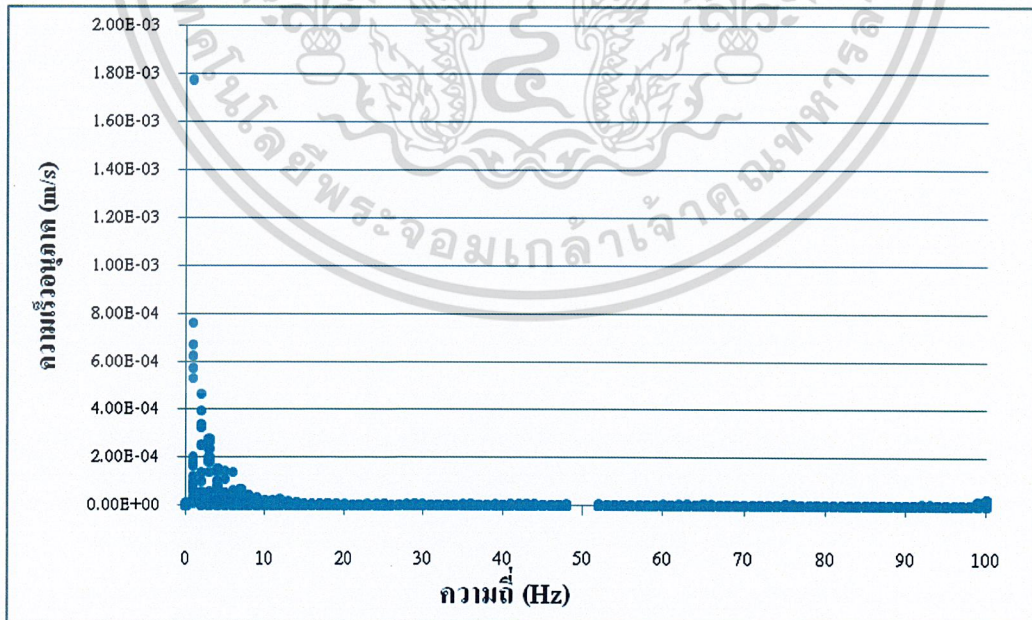
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่(Hz) และความเร็วของอนุภาค(m/s)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าของบริเวณฐานรากในแกน Y : รถไฟโดยสาร

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

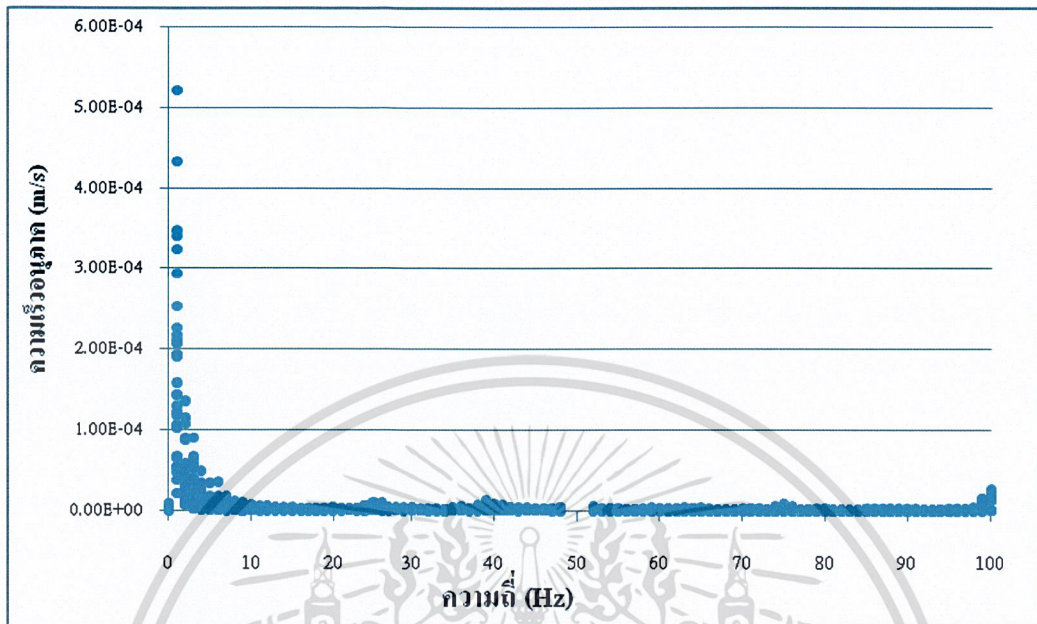


รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่(Hz) และความเร็วของอนุภาค(m/s) ของบริเวณฐานรากในแกน Z : รถไฟโดยสาร

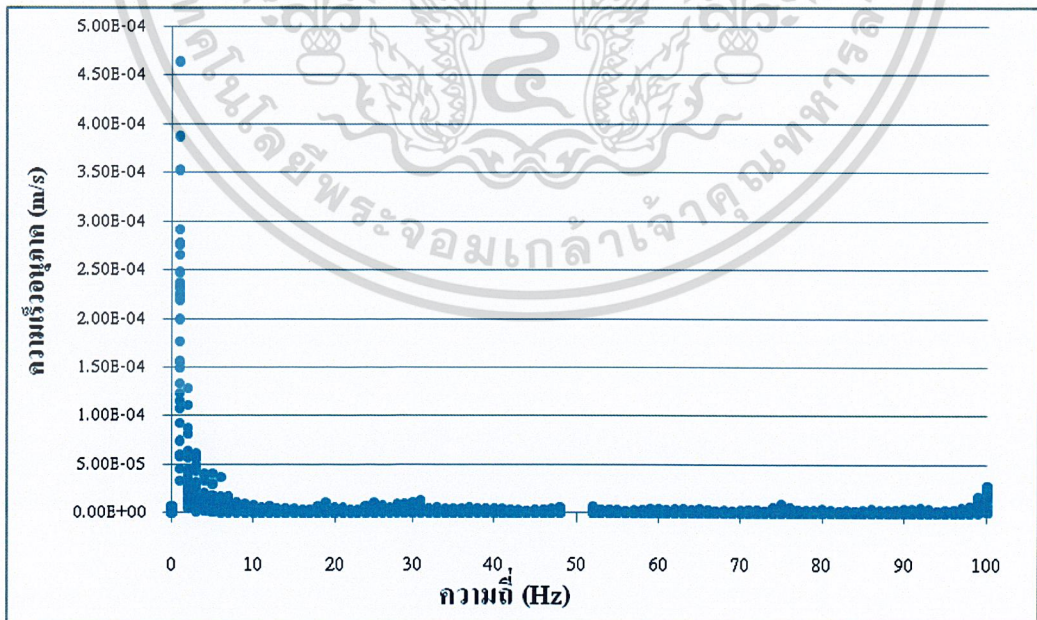


รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่(Hz) และความเร็วของอนุภาค(m/s)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ของบริเวณชั้นกลาง : รถไฟโดยสาร  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่(Hz) และความเร็วของอนุภาค(m/s) ของบริเวณคาบฟ้า แกน X : รถไฟโดยสาร



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่(Hz) และความเร็วของอนุภาค(m/s)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ของบริเวณคาบฟ้า แกน Y : รถไฟโดยสาร

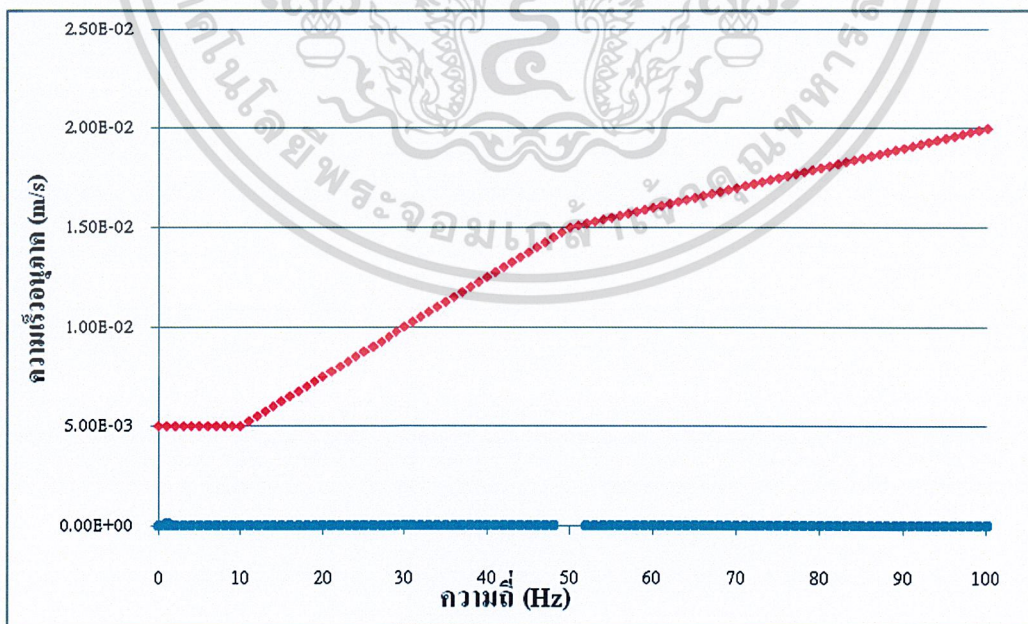
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงความสั่นสะเทือนที่เกิดจากรถไฟโดยสาร

ระดับชั้นต่างๆ ของอาคาร	ช่วงของความเร็วอนุภาค ที่ระดับความถี่ 0-100 Hz (mm/s)		
	แกน X	แกน Y	แกน Z
ฐานราก	3.40E-06 ถึง 0.142	2.67E-06 ถึง 0.126	5.13E-06 ถึง 0.099
ชั้นกลาง			2.40E-05 ถึง 1.78
ชั้นดาดฟ้า	1.15E-05 ถึง 0.522	1.43E-05 ถึง 0.464	

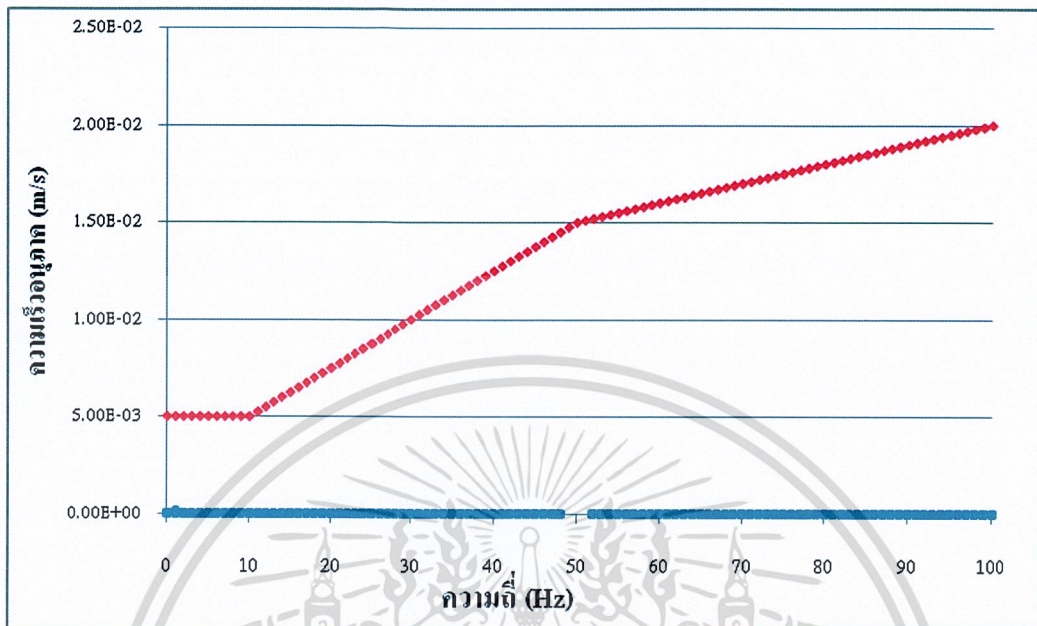
หมายเหตุ ที่ระดับความถี่ 49-51 Hz จะไม่นำข้อมูลมาพิจารณาเนื่องจากถูกรบกวนสัญญาณจากกระแสไฟฟ้า

เมื่อเทียบผลการศึกษาที่ตรวจวัดได้กับค่ามาตรฐานตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 37 (พ.ศ.2553) ได้พบว่าความสั่นสะเทือนที่ตรวจวัดได้ไม่เกินค่าที่มาตรฐานความสั่นสะเทือนที่กำหนดไว้ ดังรูปที่ 4.7-4.12 ดังนั้น ความสั่นสะเทือนที่เกิดจากรถไฟโดยสารจึงไม่ส่งผลกระทบต่อโครงสร้างของอาคารกิจกรรมนักศึกษา



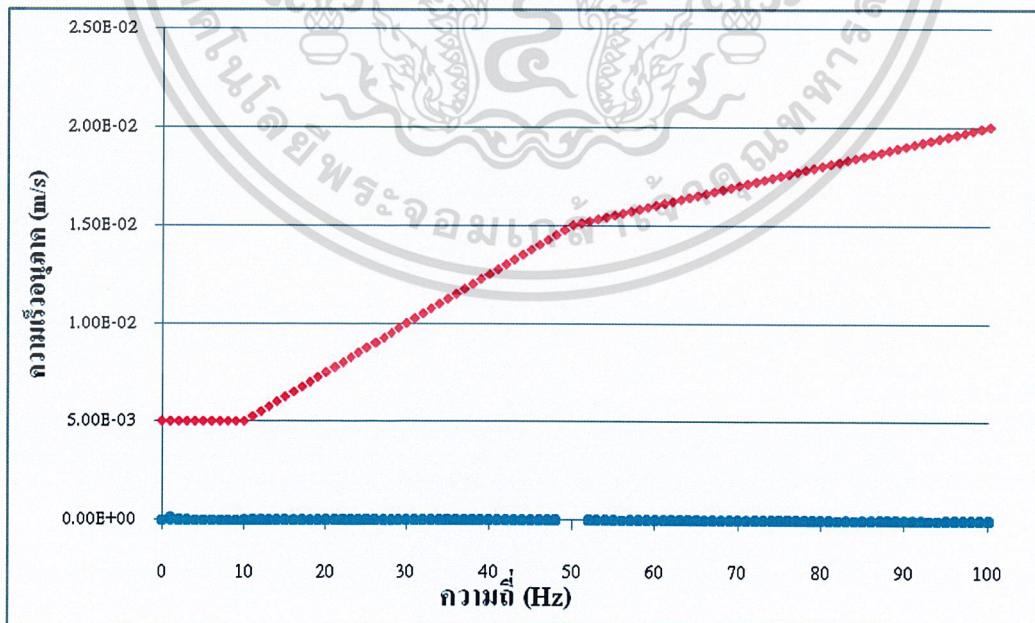
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่(Hz) และความเร็วของอนุภาค(mm/s)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำมาใช้โดยไม่แจ้งขออนุญาตหรือแจ้งไปยังหน่วยงานต้นสังกัด  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ยกเว้นหากไม่พบเห็นแต่ผู้ส่งเนื้อหาแล้วต้องอยู่ใต้วงเล็บของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่(Hz) และความเร็วของอนุภาค(m/s)

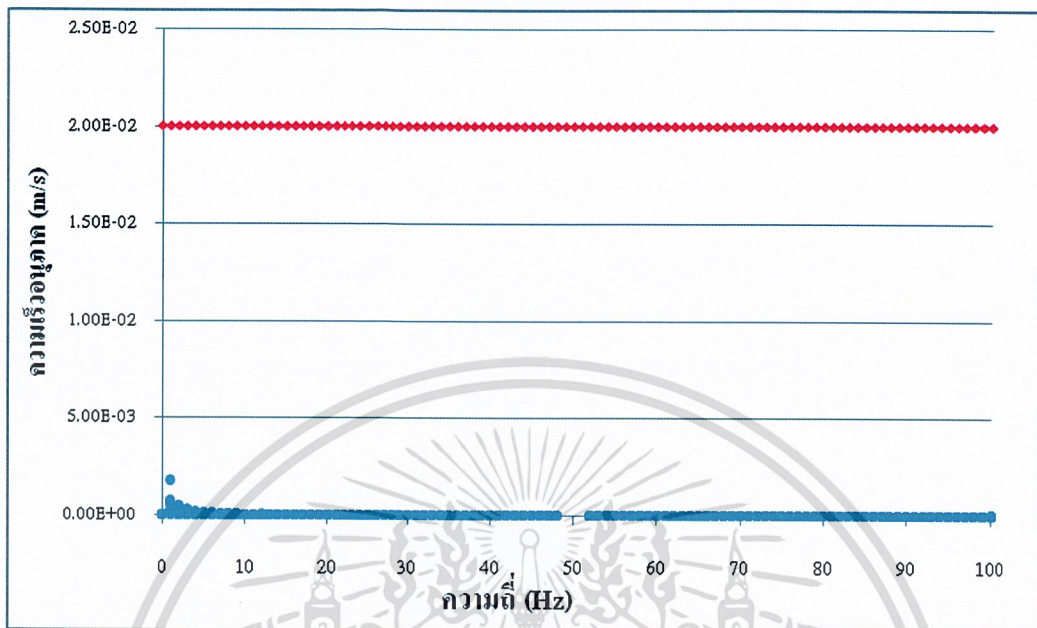
เมื่อเทียบกับกราฟมาตรฐานของบริเวณฐานรากในแกน Y : รถไฟโดยสาร



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่(Hz) และความเร็วของอนุภาค(m/s)

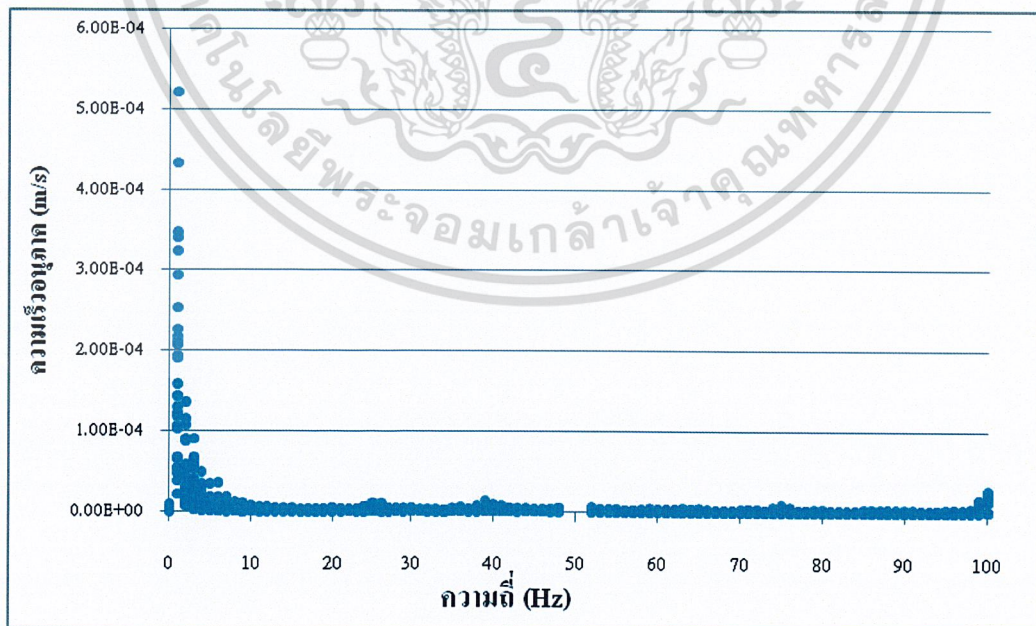
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้จัดทำเห็นจำเป็นต้องขอสงวนสิทธิ์ในการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งนี้ ยี่สิบห้า ไม่มีเหตุฟ้องร้องใดๆ ต่อผู้จัดทำเอกสารฉบับนี้ และขอสงวนสิทธิ์ในการนำใบไปใช้



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่(Hz) และความเร็วของอนุภาค(m/s)

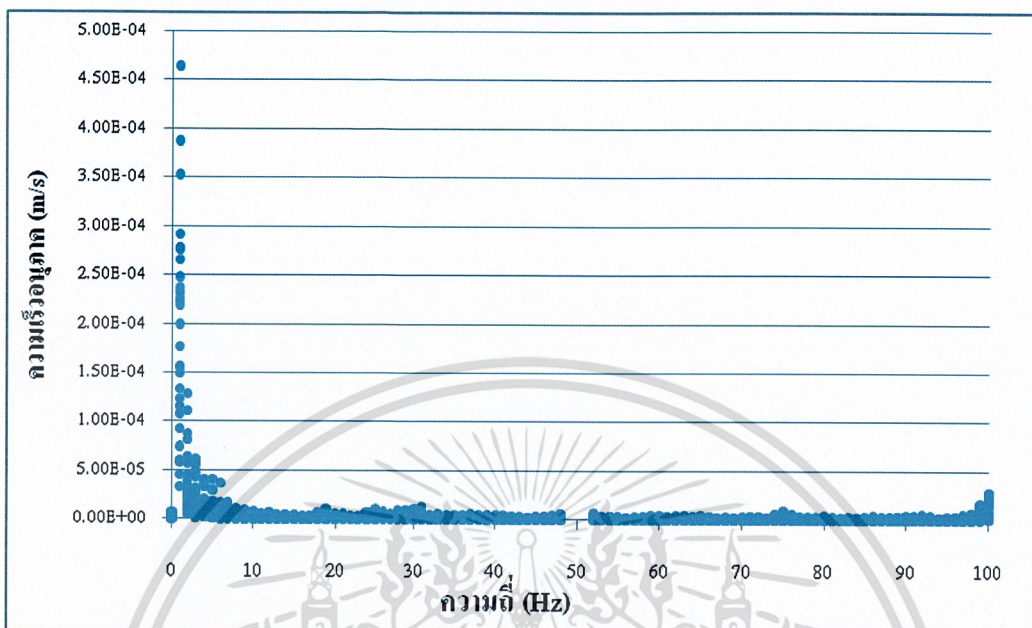
เมื่อเทียบกับกราฟมาตรฐานของบริเวณชั้นกลาง : รถไฟโดยสาร



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่(Hz) และความเร็วของอนุภาค(m/s)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ยกเว้น ไม่มีเหตุอันสมควรอื่นใด และต้องอยู่ภายใต้เงื่อนไขของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่(Hz) และความเร็วของอนุภาค(m/s) เมื่อเทียบกับกราฟมาตรฐานของบริเวณชั้นคาตฟ้าในแกน Y : รถไฟโดยสาร

#### 4.2.2 ผลการศึกษาผลกระทบจากแรงสั่นสะเทือนที่เกิดจากรถไฟขนส่งสินค้า

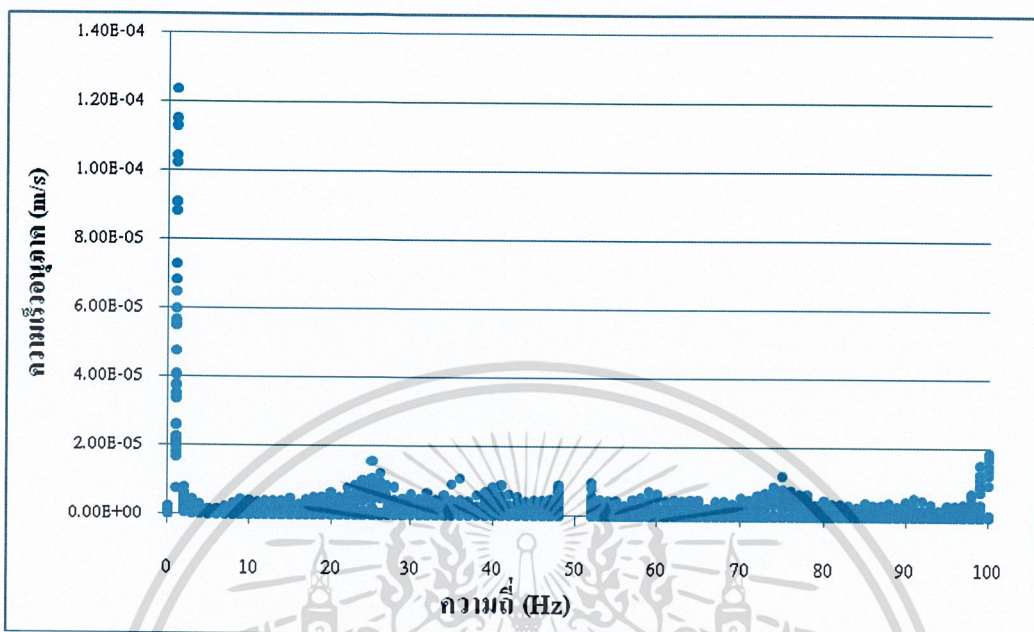
จากการวัดความสั่นสะเทือนที่เกิดจากรถไฟขนส่งสินค้าจำนวน 32 ขบวน ในรูปแบบความเร็วของอนุภาคที่ระดับความถี่ 0- 100 Hz ได้ผลดังนี้

จากรูปที่ 4.13-4.18 พบว่าความสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นจากรถไฟขนส่งสินค้าในแกน X, แกน Y และแกน Z มีความถี่เด่นอยู่ที่ 1 Hz และมีช่วงของความสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นโดย

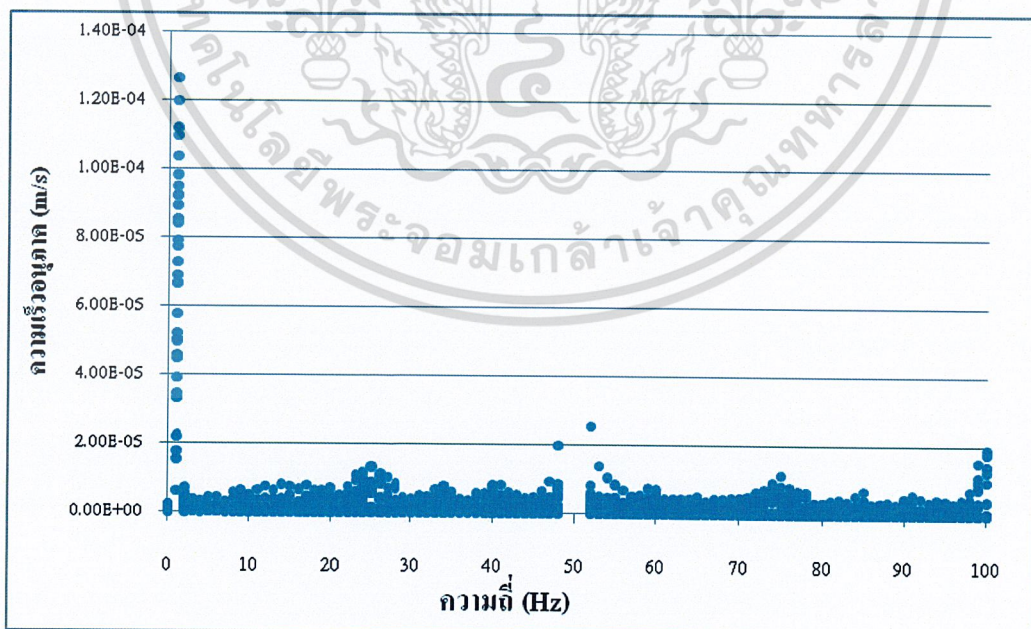
ในบริเวณฐานรากแกน X	มีช่วงความสั่นสะเทือน คือ	2.80E-06	ถึง	0.124
ในบริเวณฐานรากแกน Y	มีช่วงความสั่นสะเทือน คือ	4.15E-06	ถึง	0.127
ในบริเวณฐานรากแกน Z	มีช่วงความสั่นสะเทือน คือ	6.02E-06	ถึง	0.112
ในบริเวณชั้นกลางแกน Z	มีช่วงความสั่นสะเทือน คือ	3.90E-08	ถึง	1.970
ในบริเวณคาตฟ้าแกน X	มีช่วงความสั่นสะเทือน คือ	1.05E-05	ถึง	0.629
ในบริเวณคาตฟ้าแกน Y	มีช่วงความสั่นสะเทือน คือ	1.28E-05	ถึง	0.586

ซึ่งสรุปช่วงของความสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นจากการเคลื่อนที่ของรถไฟขนส่งสินค้าไว้ดังตารางที่ 4.3 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ขึ้นด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

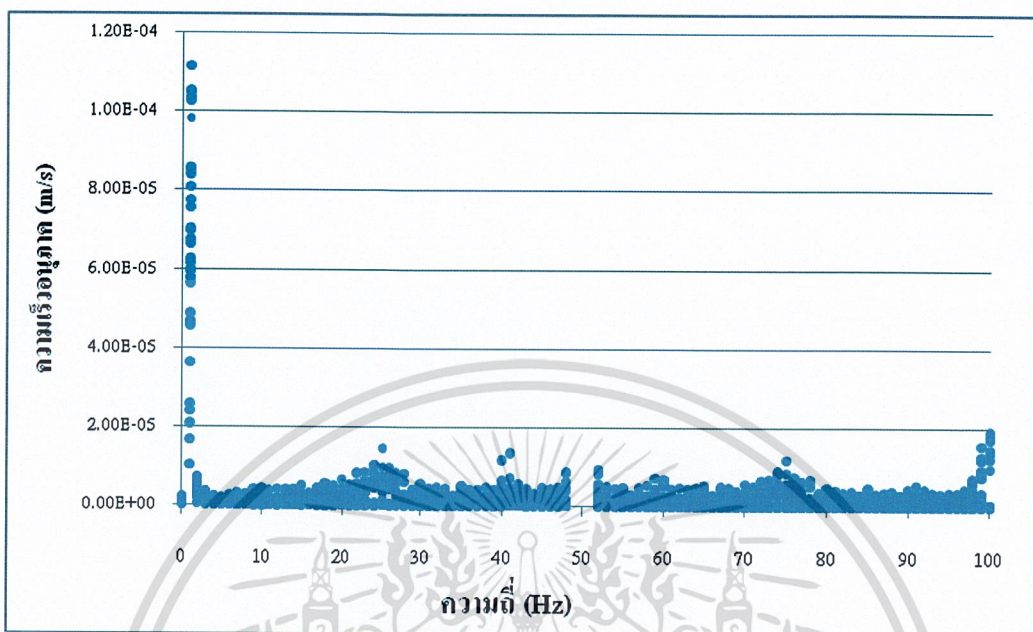


รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่(Hz) และความเร็วของอนุภาค(ของบริเวณฐานรากในแกน X : รถไฟขนส่งสินค้า

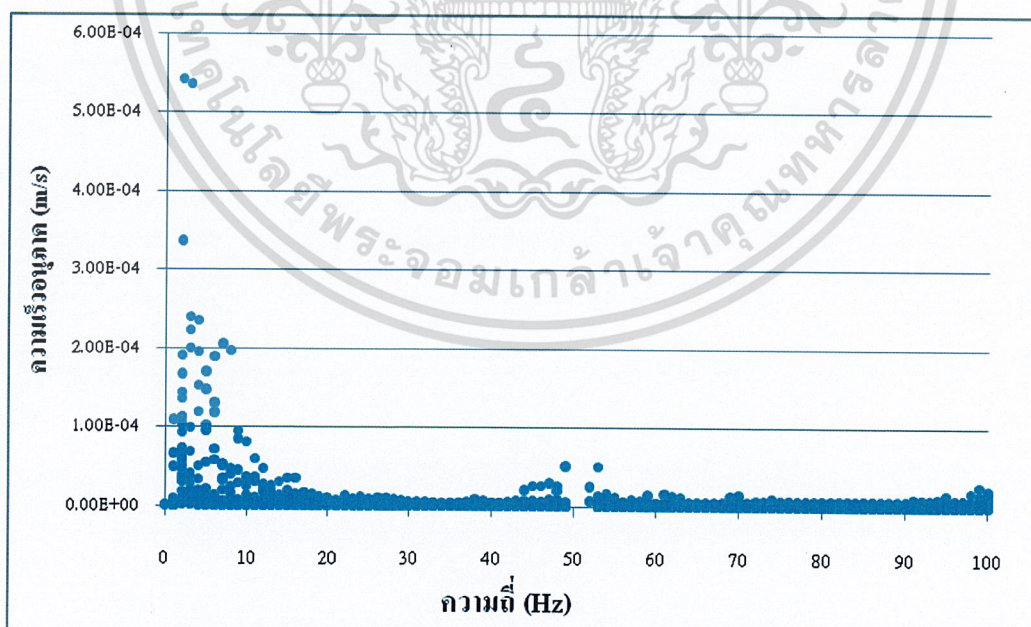


รูปที่ 4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่(Hz) และความเร็วของอนุภาค(m/s)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าของบริเวณฐานรากในแกน Y : รถไฟขนส่งสินค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

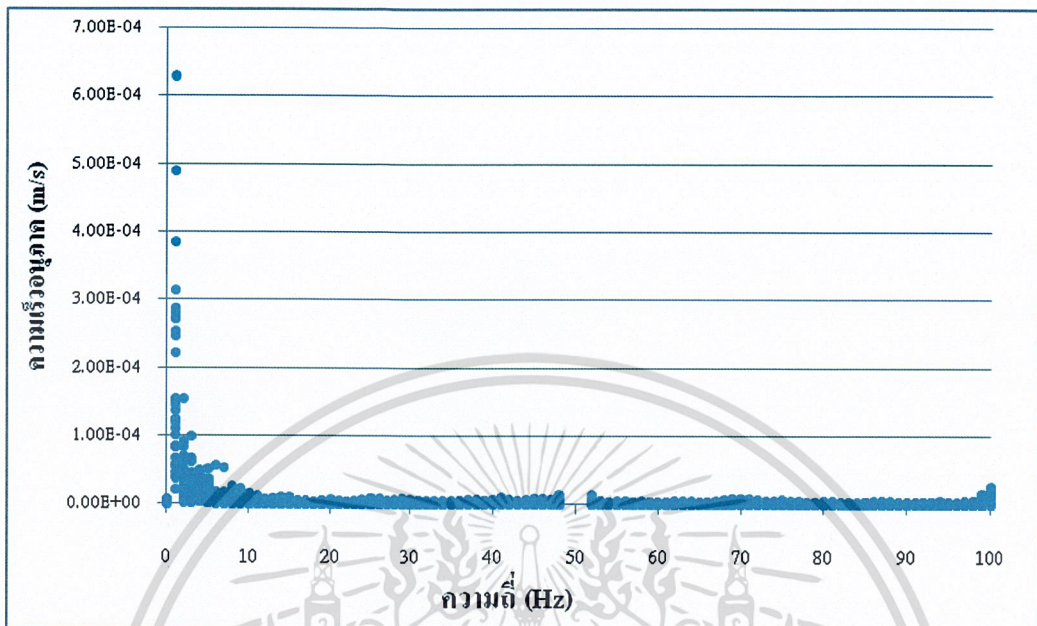


รูปที่ 4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่(Hz) และความเร็วของอนุภาค(m/s) ของบริเวณฐานรากในแกน Z : รถไฟขนส่งสินค้า

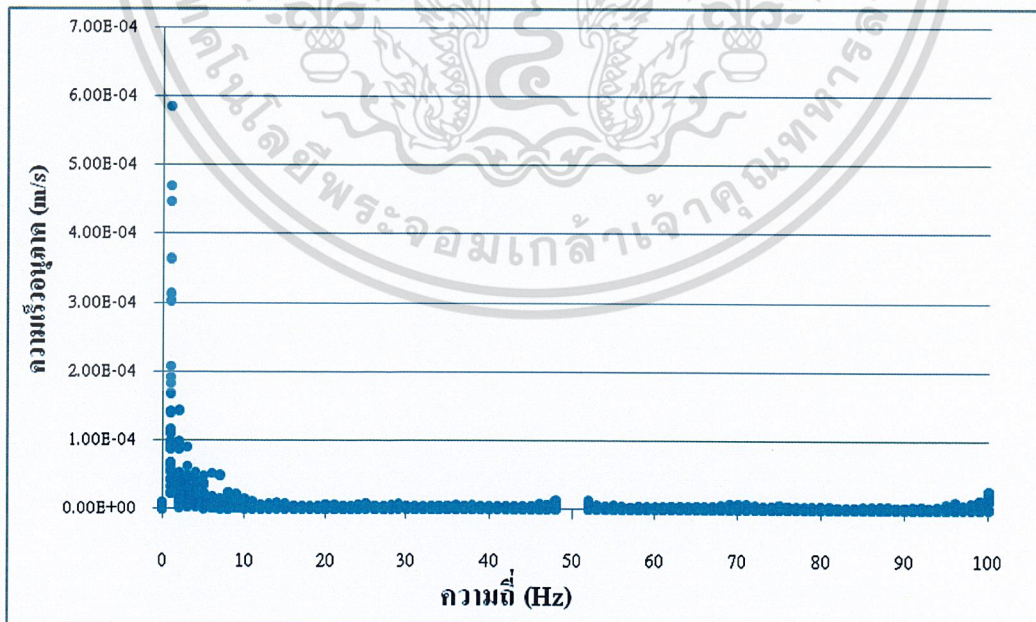


รูปที่ 4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่(Hz) และความเร็วของอนุภาค(m/s)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับของบริเวณชั้นกึ่งกลาง : รถไฟขนส่งสินค้า อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่(Hz) และความเร็วของอนุภาค(m/s)  
ของบริเวณคาน้ำฟ้าในแกน X : รถไฟขบวนสงสินคำ



รูปที่ 4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่(Hz) และความเร็วของอนุภาค(m/s)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ของบริเวณคาน้ำฟ้าในแกน Y : รถไฟขบวนสงสินคำ

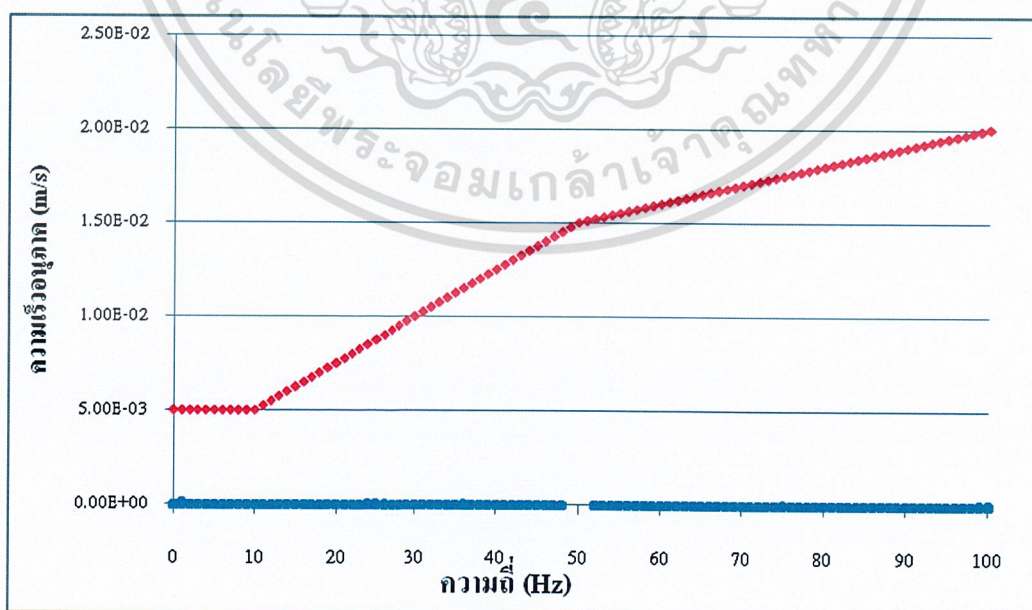
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงความสัมพันธ์ที่เกิดจากรถไฟขนส่งสินค้า

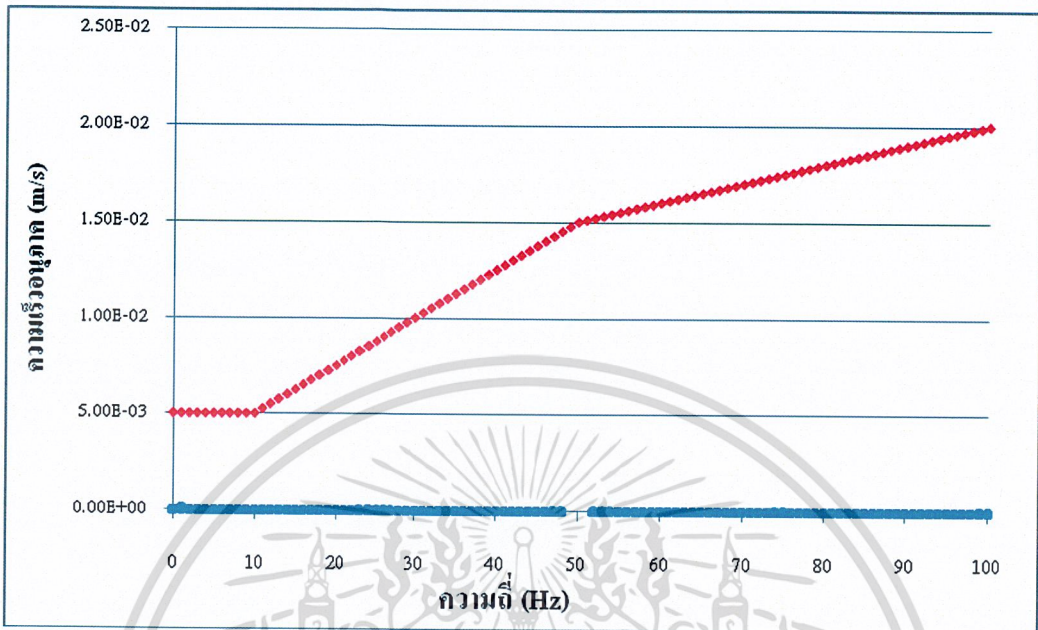
ระดับชั้นต่างๆ ของอาคาร	ช่วงของความเร็วอนุภาค ที่ระดับความถี่ 0-100 Hz (mm/s)		
	แกน X	แกน Y	แกน Z
ฐานราก	2.80E-06 ถึง 0.124	4.15E-06 ถึง 0.127	6.02E-06 ถึง 0.112
ชั้นกลาง			3.90E-08 ถึง 1.97
ชั้นคาถไฟฟ้า	1.05E-05 ถึง 0.629	1.28E-05 ถึง 0.586	

หมายเหตุ ที่ระดับความถี่ 49-51 Hz จะไม่นำข้อมูลมาพิจารณาเนื่องจากถูกรบกวนสัญญาณจากกระแสไฟฟ้า

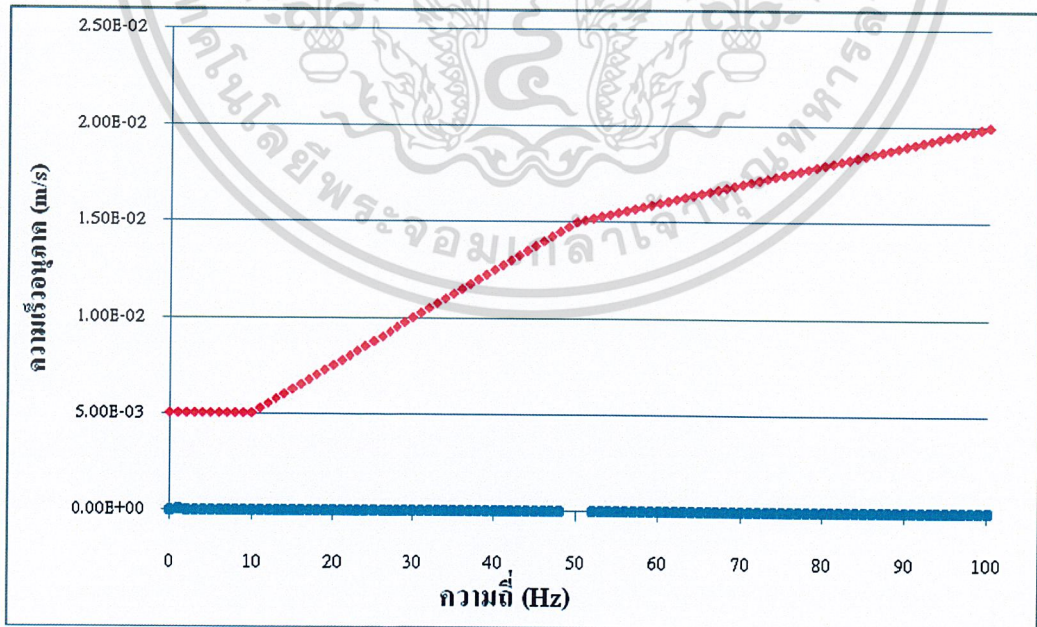
จากผลการศึกษาพบว่าความสัมพันธ์ที่ตรวจวัดได้ มีค่าไม่เกินค่าที่มาตรฐานความสัมพันธ์ ของประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 37 (พ.ศ.2553) กำหนดไว้ ดังรูปที่ 4.19-4.24 จึงสรุปได้ว่า ความสัมพันธ์ที่เกิดจากรถไฟโดยสารไม่ส่งผลกระทบต่อโครงสร้างของอาคารกิจกรรมนักศึกษา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งนี้ลิขสิทธิ์ของงานวิจัยนี้สงวนและคุ้มครองไว้โดยเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
เมื่อเทียบกับกราฟมาตรฐานของบริเวณฐานรากในแกน X : รถไฟขนส่งสินค้า

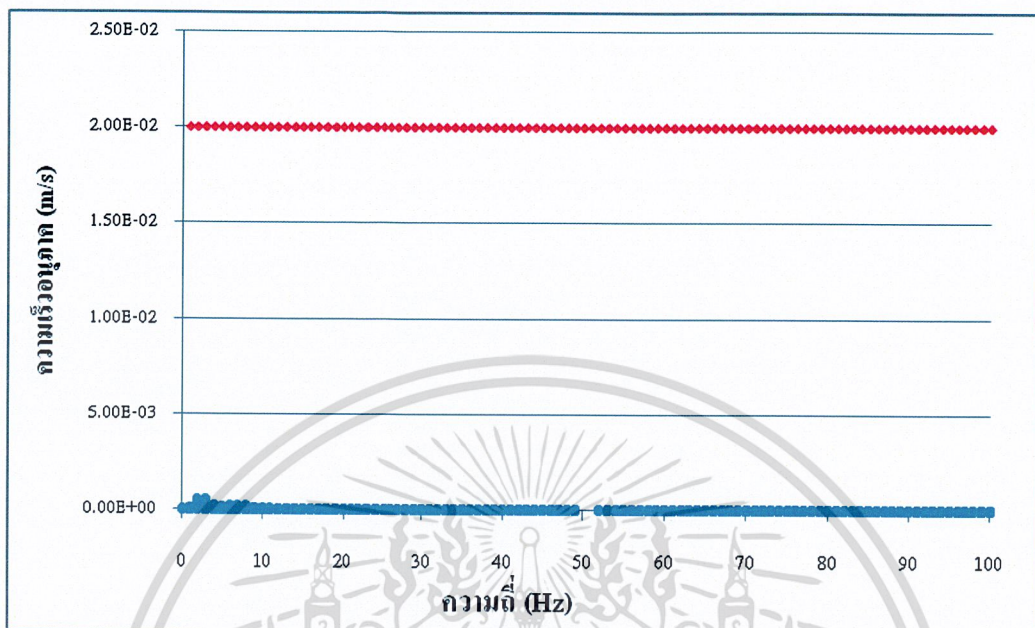


รูปที่ 4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่(Hz) และความเร็วของอนุภาค(m/s) เมื่อเทียบกับกราฟมาตรฐานของบริเวณฐานรากในแกน Y : รถไฟขนส่งสินค้า

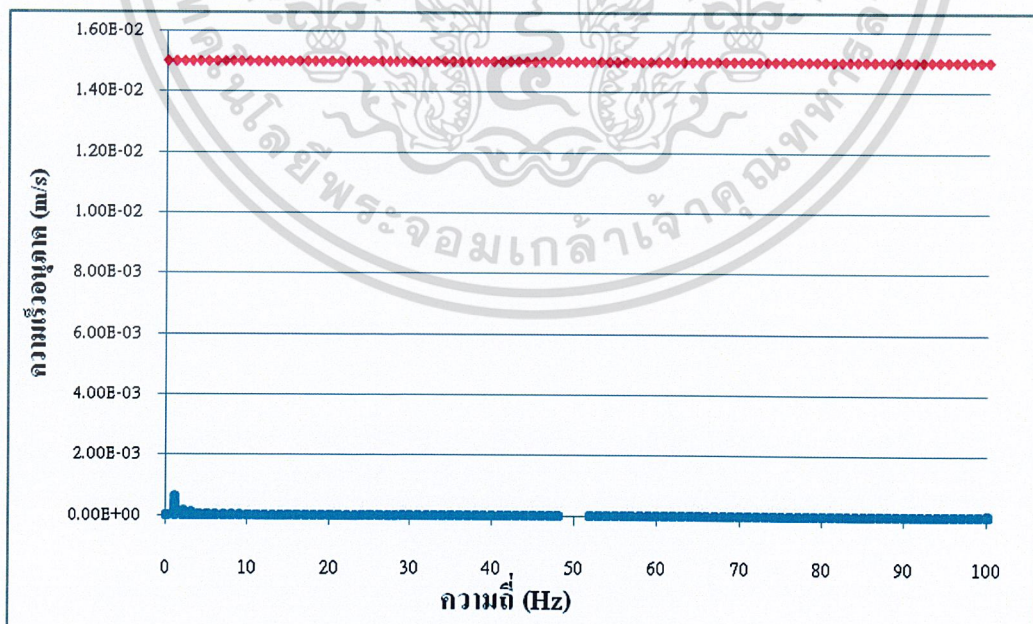


รูปที่ 4.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่(Hz) และความเร็วของอนุภาค(m/s)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
เมื่อเทียบกับกราฟมาตรฐานของบริเวณฐานรากในแกน Z : รถไฟขนส่งสินค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

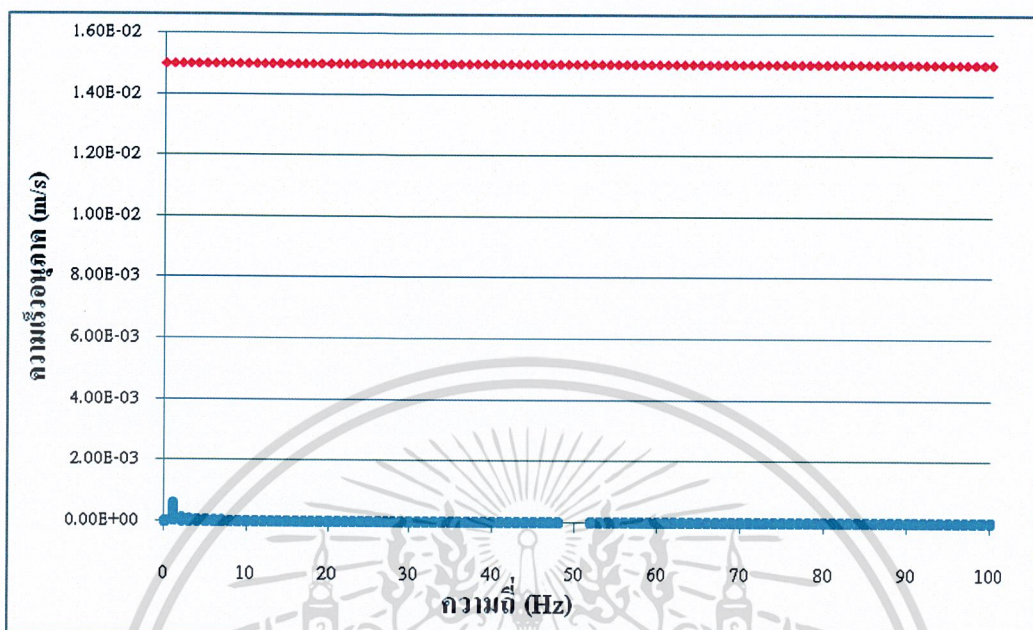


รูปที่ 4.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่(Hz) และความเร็วของอนุภาค(m/s)  
เมื่อเทียบกับกราฟมาตรฐานของบริเวณชั้นกลาง : รถไฟขนส่งสินค้า



รูปที่ 4.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่(Hz) และความเร็วของอนุภาค(m/s)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
เมื่อเทียบกับกราฟมาตรฐานของบริเวณชั้นคาบฟ้าในแกน X : รถไฟขนส่งสินค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปดเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่(Hz) และความเร็วของอนุภาค(m/s) เมื่อเทียบกับกราฟมาตรฐานของบริเวณชั้นคาตฟ้าในแกน Y : รถไฟขนส่งสินค้า

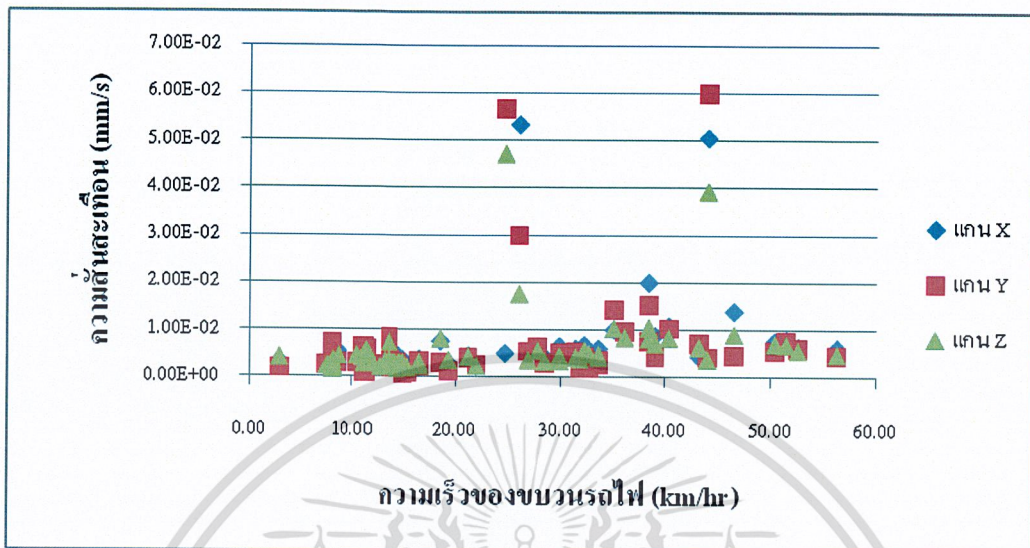
### 4.3 การหาความสัมพันธ์

#### 4.3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของขบวนรถไฟกับความสั่นสะเทือน

ในการศึกษาผลจากความเร็วของขบวนรถไฟ โดยจะพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของรถไฟ (km/h) จำนวน 60 ขบวนทั้งขาขึ้นและขาล่อง กับความสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นจากการเคลื่อนที่ของรถไฟในรูปแบบความเร็วอนุภาค (mm/s) ในแกน X แกน Y และแกน Z โดยใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (Linear regression) ดังรูปที่ 4.25

จากผลการศึกษาจะพบว่าความเร็วของขบวนรถไฟไม่มีความสัมพันธ์กับค่าความสั่นสะเทือน โดยในแกน X มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) เท่ากับ 0.3362 และค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.1113 ส่วนผลในแกน Y มีค่า  $R = 0.2674$  และค่า  $R^2 = 0.0715$  และผลในแกน Z มีค่า  $R = 0.3007$  และค่า  $R^2 = 0.0904$  และความเร็วของขบวนรถไฟอยู่ในช่วง 2.9 - 56.4 km/hr

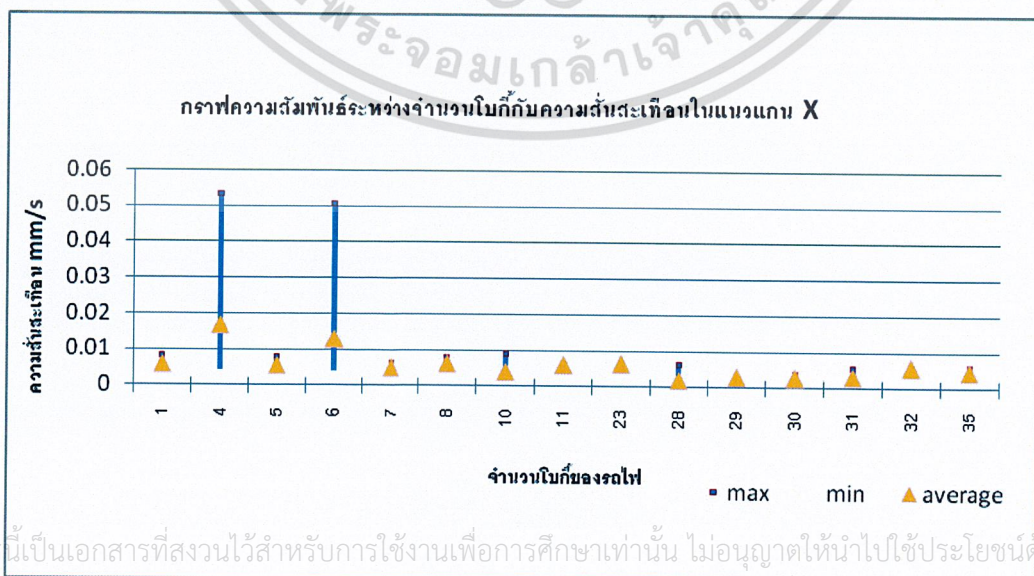
ซึ่งสาเหตุที่รถไฟมีความเร็วต่ำเนื่องจากบริเวณที่ทำการศึกษายู่ใกล้กับบริเวณสถานีรถไฟ จึงทำให้เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่หรือนำไปใช้โดยไม่ผ่านการเห็นชอบจากทางมหาวิทยาลัยให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.25 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของขบวนรถไฟกับความสั่นสะเทือนในแกนต่างๆ

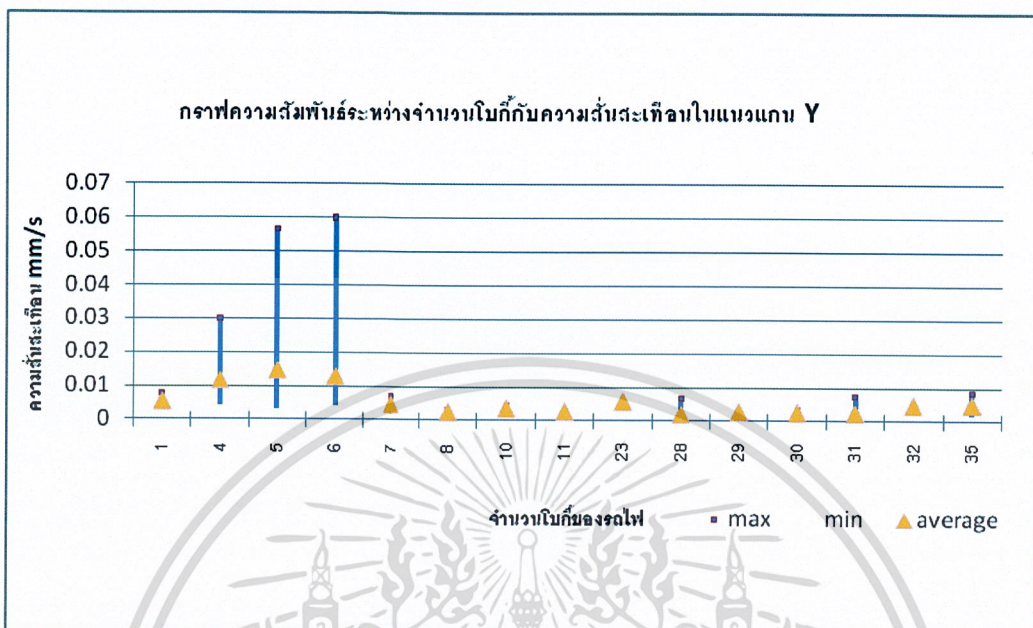
#### 4.3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนโบกี้กับความสั่นสะเทือน

ในการศึกษานี้เป็นการศึกษาผลจากระยะเวลาสัมผัส โดยจะพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนโบกี้ของขบวนรถไฟ 60 ขบวน กับความสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นจากการเคลื่อนที่ของรถไฟในรูปแบบความเร็วอนุภาค (mm/s) ในแกน X แกน Y และแกน Z โดยใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (Linear regression) ดังรูปที่ 4.26-4.28 (ตามภาคผนวก ง หน้า 90)

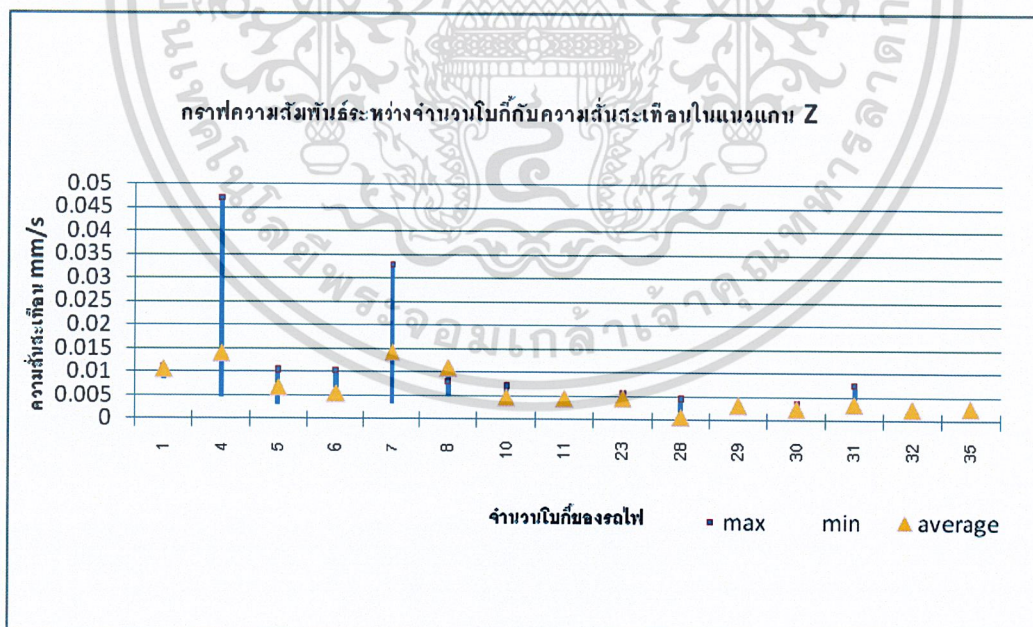


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ใช้ซ้ำในสิ่งอื่นใดโดยไม่ขออนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์และต้องอ้างอิงถึงที่มาของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.26 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวน โบกี้กับความสั่นสะเทือน ในแกน X



รูปที่ 4.27 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวน โบกกับความผันผวนในแกน Y



รูปที่ 4.28 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวน โบกกับความผันผวนในแกน Z

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.26 – 4.28 จะเห็นได้ว่าการศึกษานี้ผลของจำนวนโบกีส่งผลทำให้ความสั่นสะเทือนของทั้งสามแกนมีค่าเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมไม่มากนัก ซึ่งอาจเป็นผลมาจากบริเวณที่ตรวจวัดอยู่ใกล้กับสถานีรถไฟ จึงทำให้รถไฟเคลื่อนที่ช้า และทำให้เกิดความสั่นสะเทือนน้อยลง นอกจากนี้ยังมีผลมาจากประเภทของรถไฟและผลจากการที่รถไฟวิ่งในรางที่มีระยะแตกต่างกัน จึงทำให้ผลที่ได้มีค่าความสั่นสะเทือนที่แตกต่างกัน

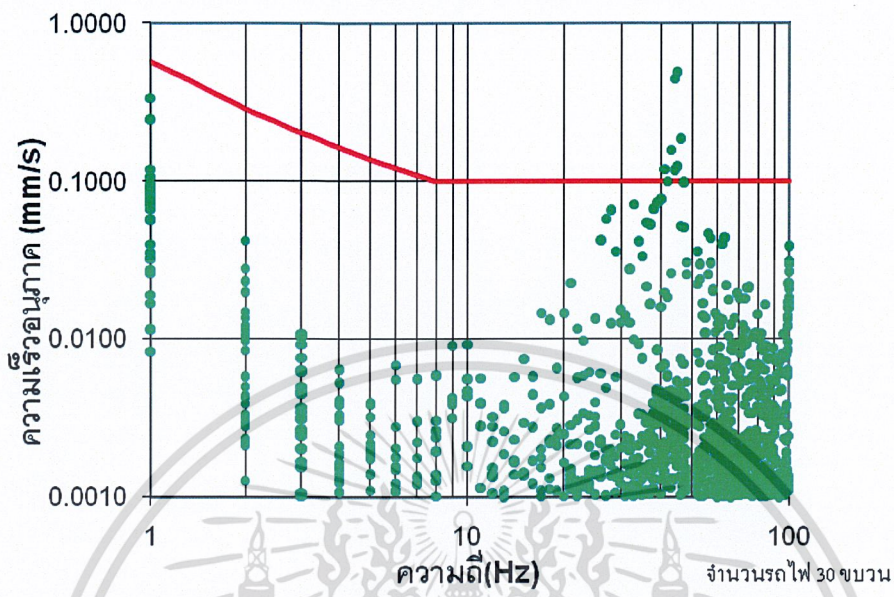
#### 4.4 ผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์

ในการศึกษานี้เป็นการศึกษาผลกระทบที่เกิดจากความสั่นสะเทือนต่อสุขภาพของมนุษย์ โดยการนำข้อมูลความสั่นสะเทือนในรูปแบบของความเร็วอนุภาค (mm/s) ที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของรถไฟโดยสารและรถไฟขนส่งสินค้า ประเภทละ 30 ขบวน ในพื้นที่ที่ทำการศึกษาทั้งสองบริเวณ มาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานตามที่มาตรฐาน ISO 2631-2 กำหนด (สามารถดูรายละเอียดของมาตรฐาน ISO 2631-2 ได้ในภาคผนวก ก หน้า 96)

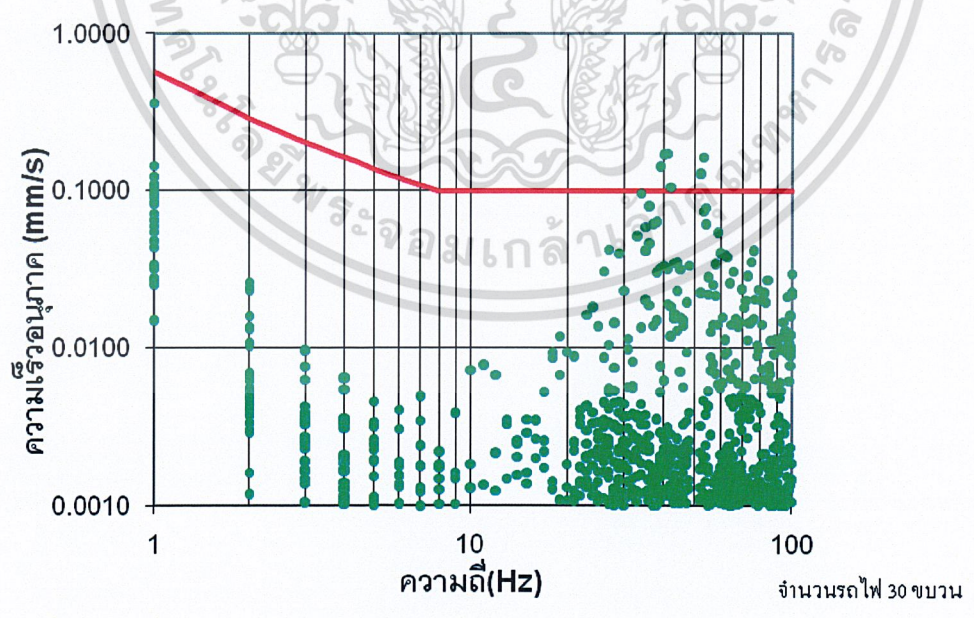
##### 4.4.1 ผลกระทบที่เกิดขึ้นในบริเวณบ้านพักเจ้าหน้าที่การรถไฟ

จากการนำค่าความสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นในบริเวณบ้านพักเจ้าหน้าที่การรถไฟ ไปเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน ดังรูปที่ 4.29 – 4.31 พบว่าความสั่นสะเทือนที่เกิดจากรถไฟโดยสารส่งผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ โดยในแกน X มีช่วงความถี่ที่ก่อให้เกิดผลกระทบ คือ 41-46 Hz มีช่วงของความสั่นสะเทือน คือ 0.489 ถึง 0.119 mm/s และในแกน Y มีช่วงความถี่ที่ก่อให้เกิดผลกระทบ คือ 39-42 Hz และ 52-53 Hz มีช่วงของความสั่นสะเทือน คือ 0.171 ถึง 0.105 mm/s ส่วนแกน Z ไม่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพ และความสั่นสะเทือนที่เกิดจากรถไฟสินค้าไม่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพทั้งในแกน X, แกน Y และแกน Z ดังรูปที่ 3.32 – 3.34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

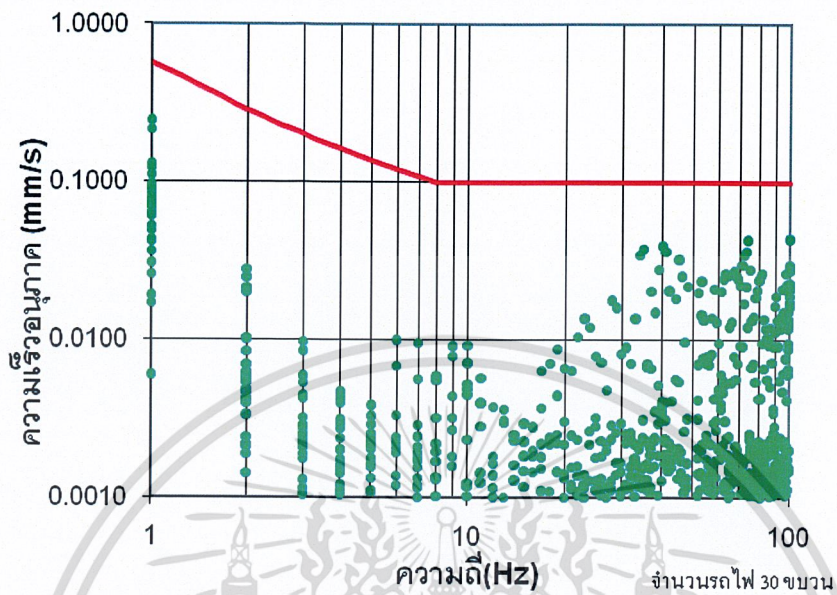


รูปที่ 4.29 กราฟแสดงค่าการเปรียบเทียบค่าความสั่นสะเทือนกับค่ามาตรฐาน ISO 2631-2 บริเวณบ้านพักเจ้าหน้าที่การสื่อสารการรถไฟ : รถไฟโดยสาร แกน X



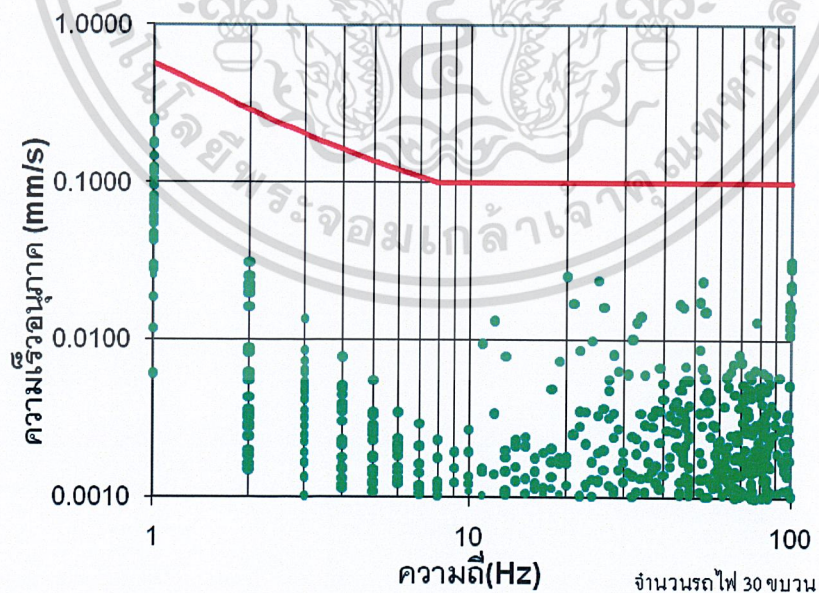
รูปที่ 4.30 กราฟแสดงค่าการเปรียบเทียบค่าความสั่นสะเทือนกับค่ามาตรฐาน ISO 2631-2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่บริเวณบ้านพักเจ้าหน้าที่การสื่อสารการรถไฟ : รถไฟโดยสาร แกน Y ใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



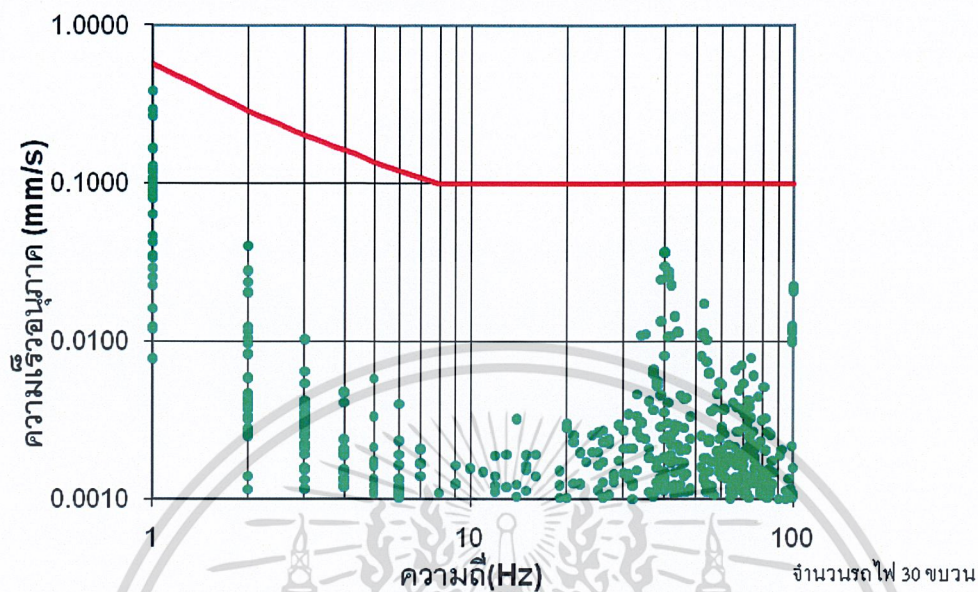
รูปที่ 4.31 กราฟแสดงค่าการเปรียบเทียบค่าความสั่นสะเทือนกับค่ามาตรฐาน ISO 2631-2

บริเวณบ้านพักเจ้าหน้าที่การสื่อสารการรถไฟ : รถไฟโดยสาร แกน Z

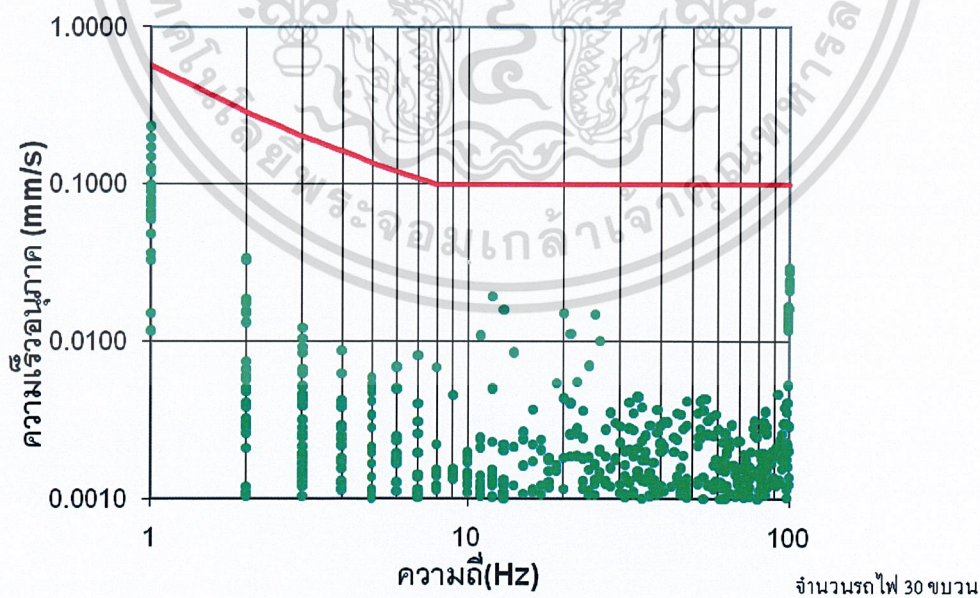


รูปที่ 4.32 กราฟแสดงค่าการเปรียบเทียบค่าความสั่นสะเทือนกับค่ามาตรฐาน ISO 2631-2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการสื่อสารเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 บริเวณบ้านพักเจ้าหน้าที่การสื่อสารการรถไฟ : รถไฟขบวนส่งสินค้า แกน X  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.33 กราฟแสดงค่าการเปรียบเทียบค่าความสั่นสะเทือนกับค่ามาตรฐาน ISO 2631-2 บริเวณบ้านพักเจ้าหน้าที่การสื่อสารการรถไฟ : รถไฟขบวนส่งสินค้า แกน Y

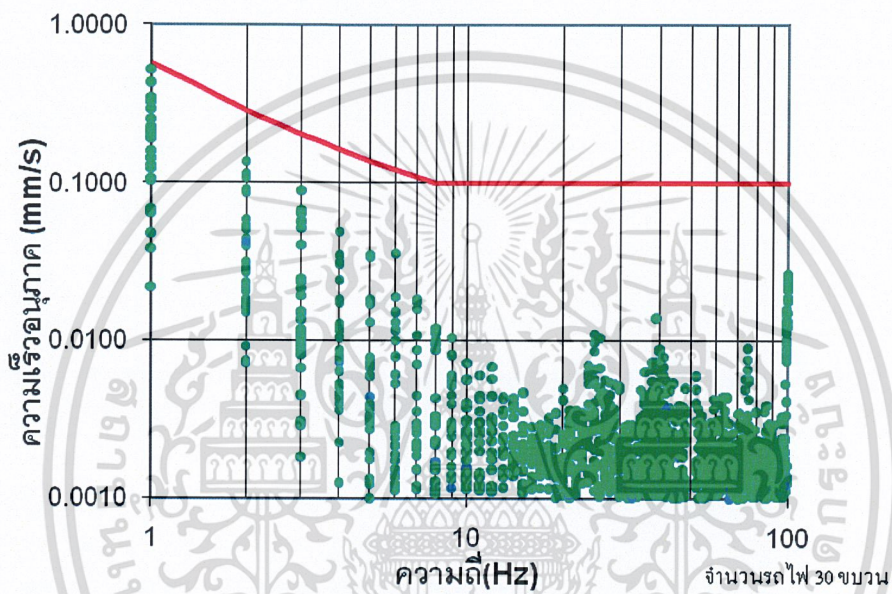


รูปที่ 4.34 กราฟแสดงค่าการเปรียบเทียบค่าความสั่นสะเทือนกับค่ามาตรฐาน ISO 2631-2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เฉพาะเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 บริเวณบ้านพักเจ้าหน้าที่การสื่อสารการรถไฟ : รถไฟขบวนส่งสินค้า แกน Z  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

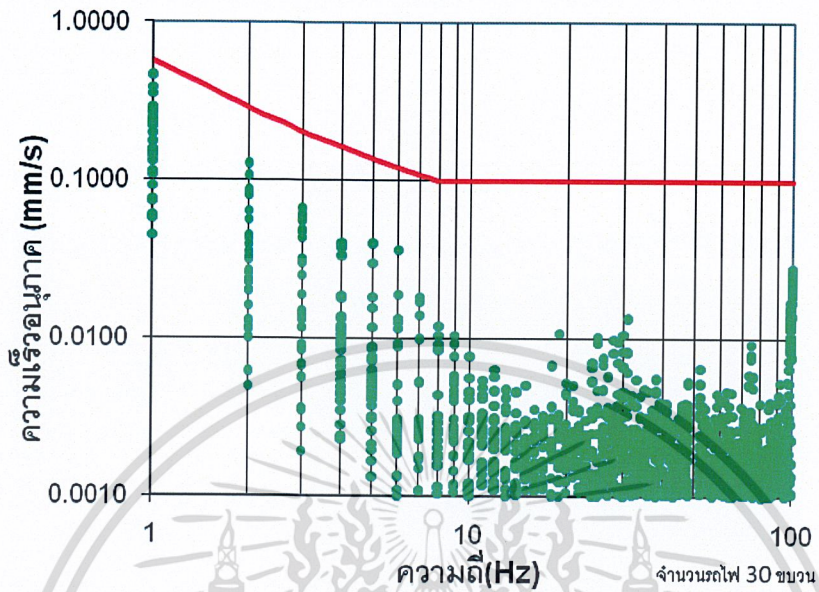
#### 4.4.2 ผลกระทบที่เกิดขึ้นในบริเวณอาคารกิจกรรมนักศึกษา

เมื่อนำค่าความสั่นสะเทือนที่วัดได้จากบริเวณอาคารกิจกรรมนักศึกษา ไปเปรียบเทียบกับ กราฟมาตรฐานตามที่มาตรฐาน ISO 2631-2 กำหนด ให้ผลดังนี้

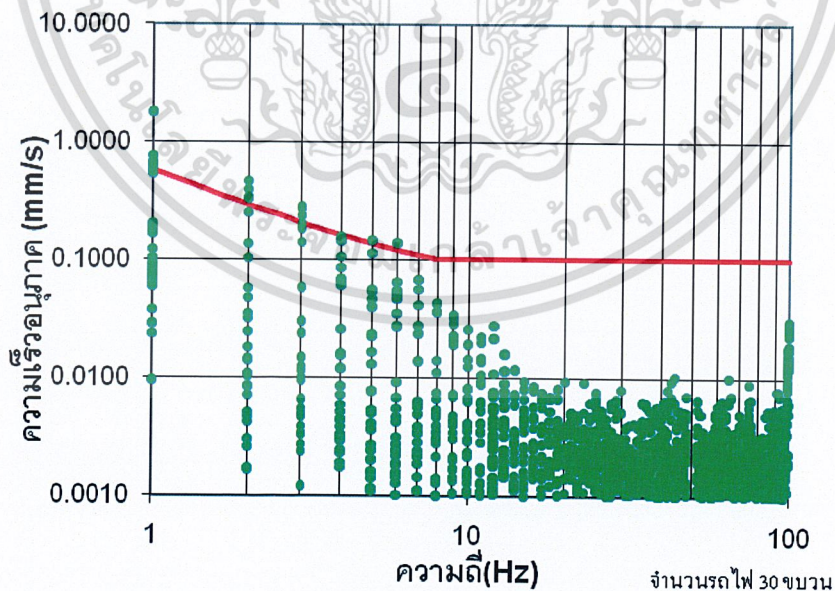


รูปที่ 4.35 กราฟแสดงค่าการเปรียบเทียบค่าความสั่นสะเทือนกับค่ามาตรฐาน ISO 2631-2  
บริเวณอาคารกิจกรรมนักศึกษา: รถไฟโดยสาร แกน X

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

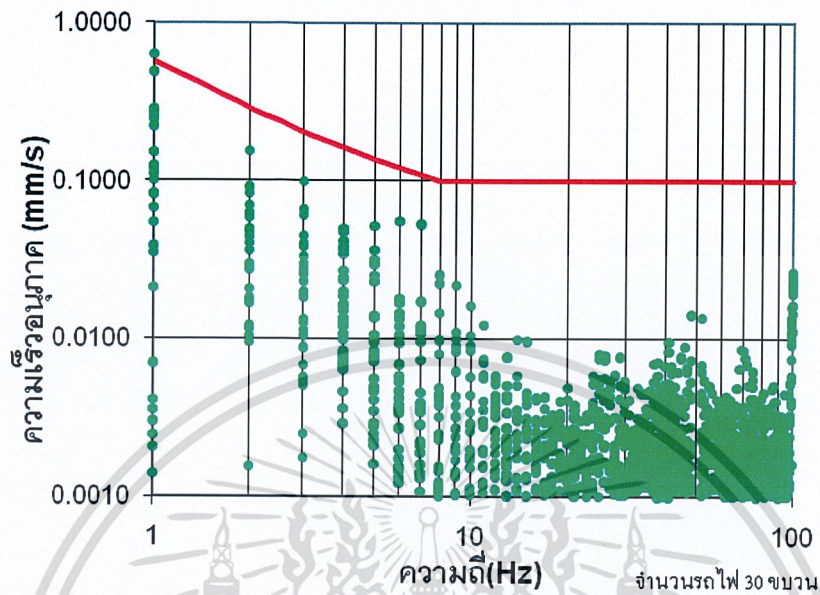


รูปที่ 4.36 กราฟแสดงค่าการเปรียบเทียบค่าความสั่นสะเทือนกับค่ามาตรฐาน ISO 2631-2  
บริเวณอาคารกิจกรรมนักศึกษา: รถไฟโดยสาร แคน Y

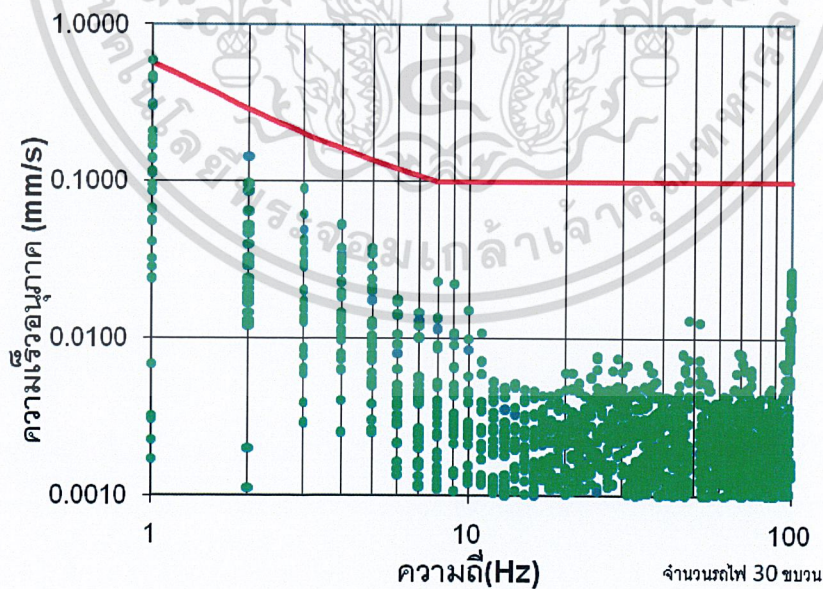


รูปที่ 4.37 กราฟแสดงค่าการเปรียบเทียบค่าความสั่นสะเทือนกับค่ามาตรฐาน ISO 2631-2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี  
บริเวณอาคารกิจกรรมนักศึกษา: รถไฟโดยสาร แคน Z ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

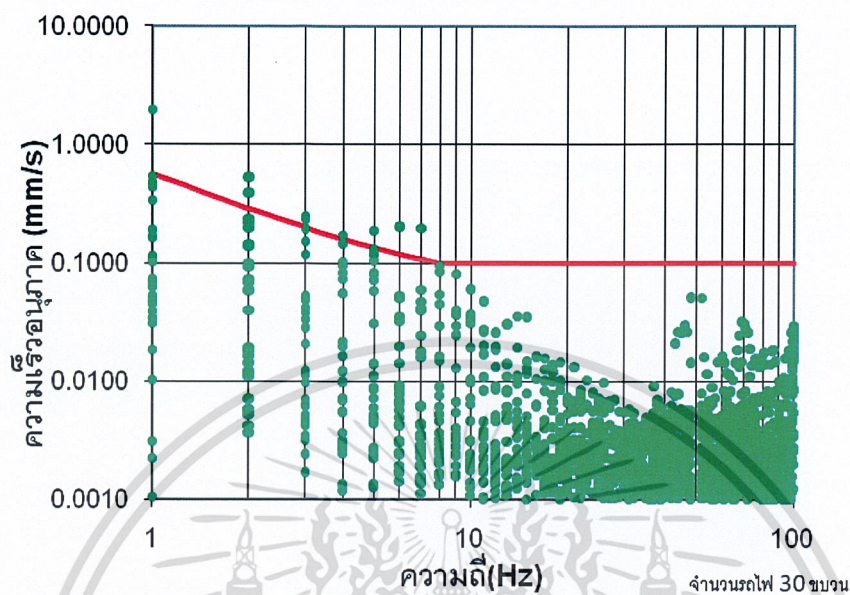


รูปที่ 4.38 กราฟแสดงค่าการเปรียบเทียบค่าความสั่นสะเทือนกับค่ามาตรฐาน ISO 2631-2  
บริเวณอาคารกิจกรรมนักศึกษา: รถไฟขนส่งสินค้า แกน X



รูปที่ 4.39 กราฟแสดงค่าการเปรียบเทียบค่าความสั่นสะเทือนกับค่ามาตรฐาน ISO 2631-2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนบริเวณอาคารกิจกรรมนักศึกษา: รถไฟขนส่งสินค้า แกน Y นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.40 กราฟแสดงค่าการเปรียบเทียบค่าความสั่นสะเทือนกับค่ามาตรฐาน ISO 2631-2  
บริเวณอาคารกิจกรรมนักศึกษา: รถไฟขนส่งสินค้า แคน Z

จากรูปที่ 4.35 – 4.37 พบว่า ความสั่นสะเทือนที่เกิดจากรถไฟโดยสารในแกน X และแกน Y ไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพ แต่ความสั่นสะเทือนในแกน Z มีผลกระทบต่อสุขภาพ โดยมีช่วงความถี่ คือ 1 – 6 Hz และมีค่าความสั่นสะเทือนอยู่ในช่วง 1.78 ถึง 0.138 mm/s ส่วนผลความสั่นสะเทือนที่เกิดจากรถไฟขนส่งสินค้าดังรูปที่ 4.38 – 4.40 พบว่าในแกน Y ไม่ก่อให้เกิดผลกระทบ แต่ความสั่นสะเทือนในแกน X และแกน Z ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ โดยในแกน X ก่อให้เกิดผลกระทบที่ระดับความถี่ 1 Hz มีค่าความสั่นสะเทือน 0.629 mm/s และในแกน Z มีช่วงระดับความถี่ที่ก่อให้เกิดผลกระทบ คือ 1-7 Hz ซึ่งมีช่วงของค่าความสั่นสะเทือน 1.971 ถึง 0.171 mm/s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

# สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของรถไฟสองประเภท คือ รถไฟโดยสาร และรถไฟขนส่งสินค้า โดยทำการศึกษาระดับบ้านพักเจ้าหน้าที่การรถไฟ(สถานีรถไฟหัวตะเข้) และบริเวณอาคารกิจกรรมของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในช่วงวันที่ 19 พฤศจิกายน 2553 ถึง 25 พฤศจิกายน 2553 และช่วงวันที่ 21 มกราคม 2554 ถึง 24 มกราคม 2554 รวมระยะเวลาทั้งหมดเป็น 11 วัน ซึ่งสรุปผลได้ดังนี้

1. ดินบริเวณบ้านพักเจ้าหน้าที่การรถไฟ ซึ่งมีลักษณะเป็นดินร่วนทราย มีค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงวัสดุ ที่ระดับความถี่ 1 Hz อยู่ในช่วง 0.040 ถึง 0.236
2. การเปรียบเทียบค่าความสัมพันธ์ที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของรถไฟโดยสารและรถไฟขนส่งสินค้า พบว่าไม่สามารถนำค่ามาเปรียบเทียบกันได้เนื่องจากมีปัจจัยทางด้านระยะทางที่ไม่เท่ากันโดยผลจากรถไฟโดยสารมีค่าความสัมพันธ์เฉลี่ยเท่ากับ  $3.23E-03$  mm/s มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ  $1.21E-03$  mm/s และรถไฟขนส่งสินค้ามีค่าความสัมพันธ์เฉลี่ยเท่ากับ  $8.83E-03$  mm/s มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ  $9.86E-03$  mm/s
3. ความสัมพันธ์ที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของรถไฟโดยสารและรถไฟขนส่งสินค้าไม่ส่งผลกระทบต่ออาคารกิจกรรมนักศึกษา โดยค่าความสัมพันธ์ที่ตรวจวัดได้มีค่าไม่เกินที่มาตรฐานความสัมพันธ์ ของประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 37 (พ.ศ.2553) กำหนดไว้
4. 'ความเร็วของขบวนรถไฟอยู่ในช่วง 2.9 - 56.4 km/hr ซึ่งเป็นความเร็วที่ต่ำ จึงไม่ส่งผลกระทบต่อความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นจากการเคลื่อนที่ของรถไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ค่าความสั่นสะเทือนที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของรถไฟในบริเวณบ้านพักเจ้าหน้าที่การรถไฟส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ดังนี้ คือ ความสั่นสะเทือนที่เกิดจากรถไฟโดยสารจะก่อให้เกิดผลกระทบในแกน X และ Y ส่วนรถไฟขนส่งสินค้าไม่ได้ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพเลยเพราะระยะห่างระหว่างรางรถไฟขนส่งสินค้าอยู่ห่างจากอาคาร และในบริเวณอาคารกิจกรรมนักศึกษา รถไฟโดยสารก่อให้เกิดผลกระทบเฉพาะในแกน Z เท่านั้น และผลกระทบที่เกิดจากรถไฟขนส่งสินค้าจะเกิดเนื่องจากความสั่นสะเทือนในแกน X และแกน Z โดยอ้างอิงค่ามาตรฐานจาก ISO 2631-2

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงวัสดุของดินชนิดต่างๆ ในบริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เพิ่มเติม เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการนำไปวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดจากความสั่นสะเทือนต่อไป
2. ควรศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับค่าความสั่นสะเทือนเพิ่มเติม โดยทำการศึกษาที่ความเร็วที่ต่างกัน เพื่อหาว่าความเร็วมีผลต่อค่าความสั่นสะเทือนอย่างไร
3. ควรศึกษาปัจจัยในด้านอื่นๆ ที่มีผลต่อความสั่นสะเทือน เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่างๆ กับค่าความสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้น และนำผลความสัมพันธ์ที่ได้ไปวิเคราะห์เพื่อหาแนวทางการป้องกันผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



# ภาคผนวก ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

ท้ายประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ

ฉบับที่ ๓๗ ( พ.ศ. ๒๕๕๓ )

เรื่อง กำหนดมาตรฐานความสั่นสะเทือนเพื่อป้องกันผลกระทบต่ออาคาร

ข้อ ๑ บทนิยาม “มาตรฐานความสั่นสะเทือน” หมายความว่า เครื่องวัดความสั่นสะเทือนตามมาตรฐาน DIN ๔๕๖๖๕-๑ ของประเทศเยอรมัน (Deutsches Institut für Normung) หรือเครื่องวัดความสั่นสะเทือนอื่นที่มีคุณสมบัติเทียบเท่าตามที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ

ข้อ ๒ ก่อนทำการตรวจวัดความสั่นสะเทือนทุกครั้งจะต้องเปรียบเทียบความถูกต้องของมาตรฐานความสั่นสะเทือนหรือตรวจสอบการใช้งานของมาตรฐานความสั่นสะเทือนให้เป็นไปตามคู่มือการใช้งานที่ผู้ผลิตกำหนดไว้

ข้อ ๓ การติดตั้งหัววัดความสั่นสะเทือน ให้ติดตั้งหัววัดแกน X และแกน Y ในลักษณะที่ทำมุมฉากต่อกัน โดยให้แกนใดแกนหนึ่งขนานไปกับผนังอาคารด้านที่หันหน้าไปทางแหล่งกำเนิดความสั่นสะเทือนและให้แกน Z อยู่ในแนวตั้งในลักษณะที่ทำมุมฉากกับแกน X และแกน Y โดยมีลักษณะการติดตั้งในแต่ละพื้นที่ดังนี้

(๑) การติดตั้งหัววัดบนพื้นดิน ให้ติดตั้งหัววัดบนลิ้มซึ่งคอกลงบนพื้นดิน และให้ตอกลิ้มจนมิดลงในดิน

(๒) การติดตั้งหัววัดที่พื้นอาคาร ให้ติดตั้งหัววัดโดยยึดหัววัดกับพื้นด้วยขี้ผึ้งเหนียวหรือกาว

(๓) การติดตั้งหัววัดที่ผนังอาคารหรือกำแพง ให้ติดตั้งหัววัดบนลิ้มซึ่งเจาะบนผนังอาคารหรือกำแพงหรือยึดหัววัดกับผนังอาคารหรือกำแพงด้วยวัสดุอื่นในลักษณะที่มั่นคง

ข้อ ๔ การตรวจวัดความสั่นสะเทือนกรณีข้อ ๑ ให้ดำเนินการดังนี้

(๑) การติดตั้งหัววัดความสั่นสะเทือนให้ดำเนินการตามข้อ ๓ โดยมีจุดตรวจวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ความสั่นสะเทือนกรณีข้อ ๑ ดังภาพที่ ๑  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามแก้ไขเปลี่ยนแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

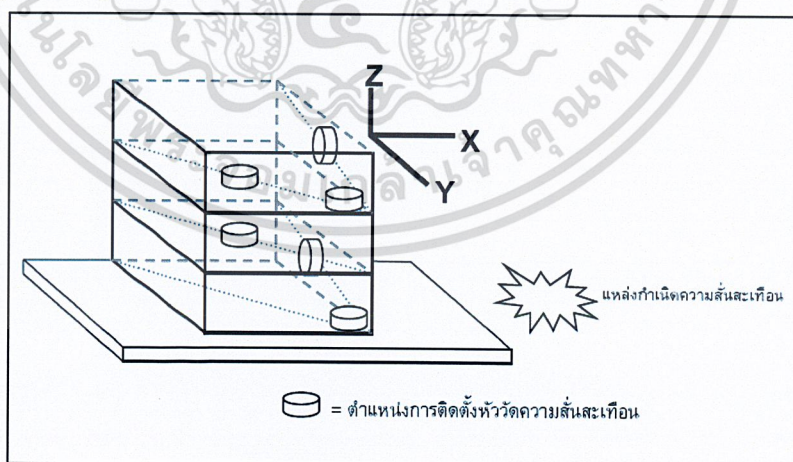
(ก) การตรวจวัดความสั่นสะเทือนบริเวณฐานรากหรือชั้นล่างของอาคาร ให้ติดตั้งหัววัดบริเวณอาคารด้านที่หันหน้าไปทางแหล่งกำเนิดความสั่นสะเทือน โดยติดตั้งหัววัดบนพื้นอาคารชั้นล่างบริเวณใกล้ฐานกำแพงนอกสุดของอาคารหรือบนผนังอาคารหรือกำแพงนอกสุดของอาคารหรือช่องเปิดบนผนังอาคารหรือกำแพงนอกสุดของอาคาร และตำแหน่งหัววัดต้องอยู่สูงจากพื้นอาคารหรือพื้นดินไม่เกิน ๐.๕ เมตร สำหรับอาคารซึ่งมีชั้นล่างเป็นบริเวณกว้าง ให้ตรวจวัดหลายๆ ตำแหน่งพร้อมๆ กัน

(ข) การตรวจวัดความสั่นสะเทือนบริเวณชั้นบนสุดของอาคาร ให้ติดตั้งหัววัดเข้ากับพื้นอาคารบริเวณที่ใกล้ผนังอาคารหรือกำแพงหรือบนผนังอาคารหรือกำแพงที่ชั้นบนสุดของอาคาร

(ค) การตรวจวัดความสั่นสะเทือนบริเวณพื้นอาคารในแต่ละชั้น ให้ติดตั้งหัววัดบริเวณกึ่งกลางพื้นอาคารในแต่ละชั้นยกเว้นฐานรากหรือชั้นล่างของอาคาร

(๑) ช่วงเวลาในการตรวจวัด ต้องครอบคลุมถึงระยะเวลาที่เกิดความสั่นสะเทือนที่ต้องการประเมินผล

(๒) การบันทึกผล ให้บันทึกค่าความเร็วอนุภาคสูงสุดในแต่ละแกน



ภาพที่ ๑

#### ตัวอย่างจุดตรวจวัดความสั่นสะเทือนกรณีที่ ๑

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อ ๕ การตรวจวัดความสั่นสะเทือนกรณีที่ ๒ ให้ดำเนินการดังนี้

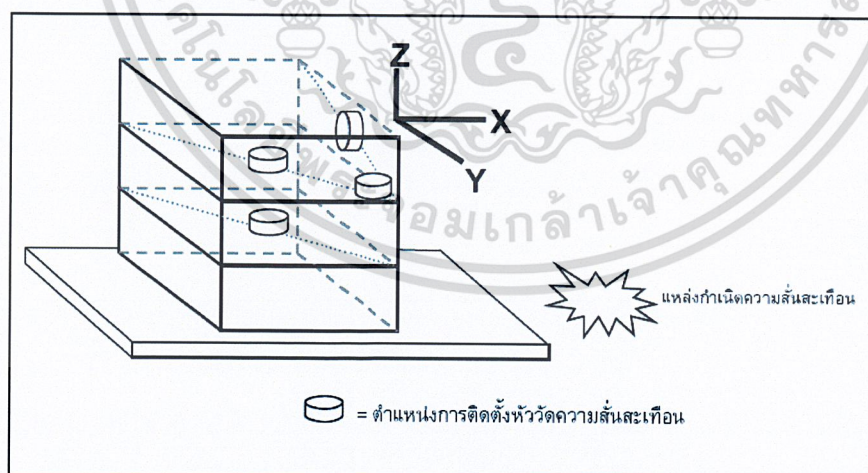
(๑) การติดตั้งหัววัดความสั่นสะเทือนให้ดำเนินการตามข้อ ๓ โดยมีจุดติดตั้งหัววัดความสั่นสะเทือนกรณีที่ ๒ ดังภาพที่ ๒

(ก) การตรวจวัดบริเวณชั้นบนสุดของอาคารหรือบริเวณชั้นที่มีค่าความสั่นสะเทือนสูงสุดให้ติดตั้งหัววัดเข้ากับพื้นอาคารบริเวณที่ใกล้ผนังอาคารหรือกำแพงหรือบนผนังอาคารหรือกำแพงที่ชั้นบนสุดของอาคารหรือบริเวณชั้นที่มีค่าความสั่นสะเทือนสูงสุด

(ข) การตรวจวัดบริเวณพื้นอาคารในแต่ละชั้น ให้ติดตั้งหัววัดบริเวณกึ่งกลางพื้นอาคารในแต่ละชั้นยกเว้นฐานรากหรือชั้นล่างของอาคาร

(๒) ช่วงเวลาในการตรวจวัด ต้องครอบคลุมถึงระยะเวลาที่เกิดความสั่นสะเทือนที่ต้องการประเมินผล

(๓) การบันทึกผล ให้บันทึกค่าความเร็วอนุภาคสูงสุดในแต่ละแกน



ภาพที่ ๒

ตัวอย่างจุดตรวจวัดความสั่นสะเทือนกรณีที่ ๒

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อ ๖ การประเมินผลของความสันตะเทือนต่ออาคารที่อาจมีขึ้นในอนาคต การติดตั้งห้ววัด ความสันตะเทือนให้ดำเนินการตามข้อ ๓ โดยติดตั้งห้ววัดที่พื้นดินบริเวณที่อาจมีอาคารในอนาคต หรือที่ฐานรากหรือชั้นล่างของอาคารใกล้เคียงโดยให้แกนใดแกนหนึ่งขนานไปกับแนวแกนหลักของอาคารที่อาจมีขึ้นในอนาคต และได้รับผลกระทบจากความสันตะเทือน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



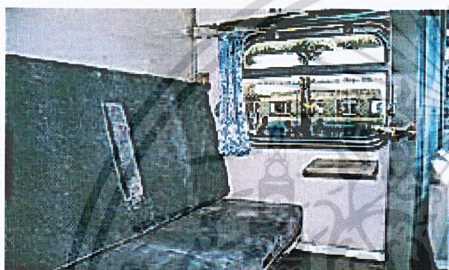
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข

### 1. รถไฟโดยสาร

#### 1.1 ชนิดรถโดยสาร

##### 1.1.1 รถโบกี้ที่นั่งและนอนชั้นที่ 1 (บนอ.ป.) Air-conditioned First Class Day & Night Coach



เวลากลางวัน (Day Time)



เวลากลางคืน (Night Time)

ชนิดรถ	รถโบกี้ที่นั่งและนอนชั้นที่ 1 ปรับอากาศ
อักษรย่อ	บนอ.ป.
จำนวนที่นั่ง	24 ที่
ลักษณะภายในรถ	แบ่งเป็นห้อง ห้องละ 2 ที่ (เตียงบน เตียงล่าง) รวม 12 ห้อง 24 ที่

##### 1.1.2 รถโบกี้ที่นั่งและนอนชั้นที่ 2 ปรับอากาศ (บนท.ป.) Air-conditioned Second Class Day & Night Coach



เอกสารนี้เป็นเอกสารกลางกลางวัน (Day Time) สำหรับการศึกษาเท่านั้น เวลากลางคืน (Night Time) ระเบียบด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดรถ	รถโบกี้ที่นั่งและนอนชั้นที่ 2 ปรับอากาศ
อักษรย่อ	บ.ท.ป.
จำนวนที่นั่ง	ชนิด 40 ที่ (เตียงนอน 20 ที่, เตียงล่าง 20 ที่) ชนิด 36 ที่ (เตียงนอน 18 ที่, เตียงล่าง 18 ที่) ชนิด 32 ที่ (เตียงนอน 16 ที่, เตียงล่าง 16 ที่)

### 1.1.3 รถโบกี้และนอนชั้นที่ 2 (บ.ท.ป.) Bogie Second Class Day & Night Coach



เวลากลางวัน (Day Time)

เวลากลางคืน (Night Time)

ชนิดรถ	รถโบกี้ที่นั่งและนอนชั้นที่ 2
อักษรย่อ	บ.ท.
จำนวนที่นั่ง	ชนิด 36 ที่ (เตียงนอน 18 ที่, เตียงล่าง 18 ที่) ชนิดที่ 26/28/32 (เตียงบน 13/14/16 ที่ ตามลำดับ)

### 1.1.4 รถโบกี้ชั้นที่ 2 ปรับอากาศ (บ.ท.ป.) Air-conditioned Bogie Second Class Carriage



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดรถ	รถโบกี้ชั้นที่ 2 ปรับอากาศ
อักษรย่อ	บชท.ป.
จำนวนที่นั่ง	48 ที่นั่ง

**1.1.5 รถกำลังดีเซลรางปรับอากาศ (กชข.ป. , กชม.ป.) Air-conditioned Power Diesel Railcar ( With Driving Cab , Non Driving Cab )**



ขบวนรถดีเซลราง รุ่น Daewoo ชั้นที่ 2 นั่งปรับอากาศ ชนิดรถ Daewoo 76/80 ที่นั่ง



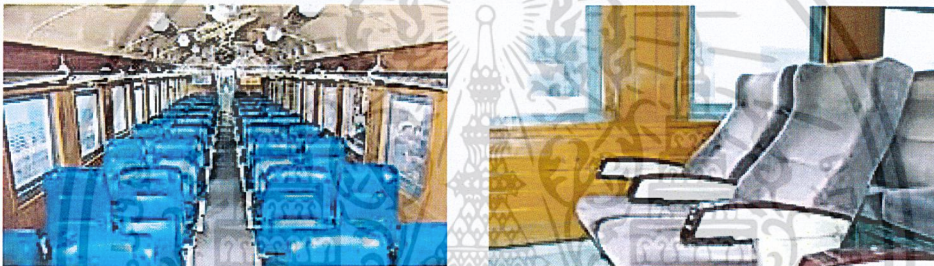
ขบวนรถดีเซลราง รุ่น Spinter ชั้นที่ 2 นั่งปรับอากาศ ชนิดรถ Spinter 76/80 ที่นั่ง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ผู้ใช้ต้องรับผิดชอบต่อข้อผิดพลาดในการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ รถดีเซลรางปรับอากาศ ATC ลงเนื้อหาและชั้นที่ 2 นั่งปรับอากาศ ATC 58 ที่นั่ง ซึ่งได้มีการนำไปใช้

การบริการ	เป็นรถนั่งปรับอากาศทั้งขบวน ยกเว้นดีเซลรางปรับอากาศ ATC.
ชนิดรถ	รถกำลังดีเซลรางปรับอากาศมีห้องขับ
อักษรย่อ	กชข.ป.
จำนวนที่นั่ง	76 ที่
ชนิดรถ	รถกำลังดีเซลรางปรับอากาศไม่มีห้องขับ
อักษรย่อ	กชม.ป.
จำนวนที่นั่ง	58 ที่, 80 ที่

### 1.1.6 รถโบกี้ชั้นที่ 2 (บขท.) Bogie Second Class Carriage



ชั้นที่ 2 นั่งพัสดม

ลักษณะที่นั่ง ชั้นที่ 2 พัดลม

ชนิดรถ	รถโบกี้ชั้นที่ 2
อักษรย่อ	บขท.
จำนวนที่นั่ง	48 ที่

### 1.1.7 รถโบกี้ชั้นที่ 2-3 ติดกัน (บสส.) Bogie Second & Third Class Carriage



ชั้นที่ 2



ชั้นที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดรถ	รถโบกี้ชั้นที่ 2-3 ติดกัน
อักษรย่อ	บสส.
จำนวนที่นั่ง	ชั้นที่ 2 จำนวน 20 ที่ ชั้นที่ 3 จำนวน 40 ที่

### 1.1.8 รถกำลังดีเซลราง(กชข. กชม.) Bogie Power Diesel Railcar( With Driving Cab , Non Driving Cab )



ขบวนรถดีเซลราง รุ่น โตคิว THN.



ชั้นที่ 3 นั่งพัสดม ( กชข. )

### 1.1.9 รถปรับอากาศชั้นที่ 3 (บขส.ป.) Air-Conditioned Third Class Carriage



ชั้นที่ 3 นั่งปรับอากาศ



ลักษณะที่นั่ง ชั้นที่ 3 ปรับอากาศ

ชนิดรถ	รถปรับอากาศชั้นที่ 3
อักษรย่อ	บขส.ป.
จำนวนที่นั่ง	76, 80 ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.1.10 รถโบกี้ชั้นที่ 3 (บชส.) Bogie Third Class Carriage



ชนิดที่นั่งเบาะ สีน้ำเงิน



ชนิดที่นั่งเบาะ สีเขียว



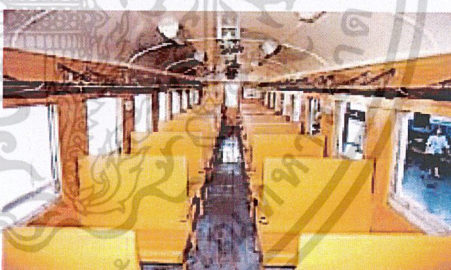
ชนิดที่นั่งเบาะกำมะหยี่



ชนิดที่นั่งเบาะกำมะหยี่



ชนิดที่นั่งเบาะ แบบห้องโถง



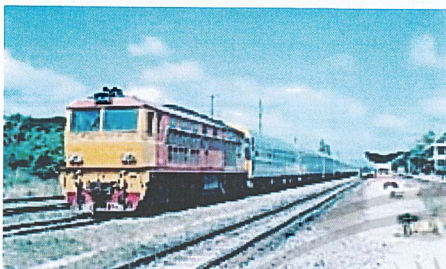
ชนิดที่นั่งไม้สัก

ชนิดรถ	รถโบกี้ชั้นที่ 3
อักษรย่อ	บชส.
จำนวนที่นั่ง	76, 80 ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.2 ประเภทขบวนรถโดยสาร

### 1.2.1 ขบวนรถด่วนพิเศษ (Special Express)



ขบวนรถด่วนพิเศษ

ขบวนรถดีเซลรางปรับอากาศ Daewoo

ขบวนรถด่วนพิเศษ

เป็นขบวนรถที่จัดเดินระยะทางไกล หยุคสถานีที่สำคัญๆ เท่านั้น

ชนิดรถให้บริการ

รถโบกี้ที่นั่งและนอนชั้นที่ 1 ปรับอากาศ (บนอ.ป.)

รถโบกี้ที่นั่งและนอนชั้นที่ 2 ปรับอากาศ (บนท.ป.)

รถโบกี้ที่นั่งและนอนชั้นที่ 2 (บนท.)

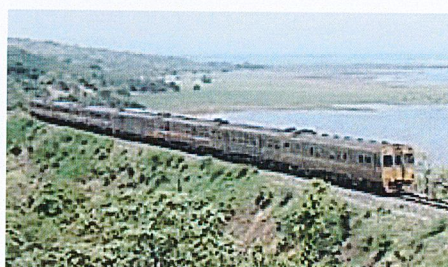
รถกำลังดีเซลรางปรับอากาศไม่มีห้องขับ (กชข.ป.)

รถกำลังดีเซลรางปรับอากาศมีห้องขับ (กชม.ป.)

ปัจจุบันมีบริการจำนวน

11 ขบวน

### 1.2.2. ขบวนรถด่วน (Express)



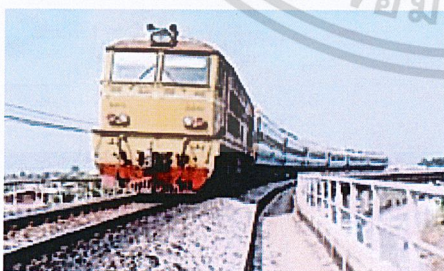
ขบวนรถด่วน

ขบวนรถด่วนดีเซลราง รุ่น โตคิว THN., ATC

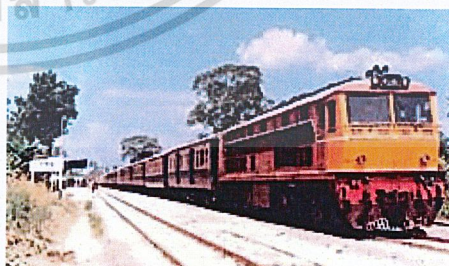
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>ขบวนรถด่วน</b>	เป็นขบวนรถที่จัดเดินระยะทางไกล หยุดสถานีที่สำคัญๆ เท่านั้น แต่มีการให้บริการของชนิดให้บริการของชนิดรถฟ่วงมากกว่าขบวนรถด่วนพิเศษ
<b>ชนิดรถให้บริการ</b>	รถโบกี้หนึ่งและนอนชั้นที่ 1 ปรับอากาศ รถ โบกี้หนึ่งและนอนชั้นที่ 2 ปรับอากาศ (บนท.ป.) รถ โบกี้หนึ่งและนอนชั้นที่ 2 (บนท.) รถ โบกี้ชั้นที่ 2 ปรับอากาศ (บขท.ป.) รถ โบกี้ชั้นที่ 2 (บขท.) รถ โบกี้ชั้นที่ 2-3 (บสส.) รถ โบกี้ชั้นที่ 3 (บขส.ป.) รถ โบกี้ชั้นที่ 3 (บขส.) รถกำลังดีเซลรางปรับอากาศไม่มีห้องขับ (กขข.ป.) รถกำลังดีเซลรางมีห้องขับ (กขม.)
<b>ปัจจุบันมีบริการจำนวน</b>	9 ขบวน

**1.2.3.ขบวนรถเร็ว (Rapid)**



**ขบวนรถเร็ว**



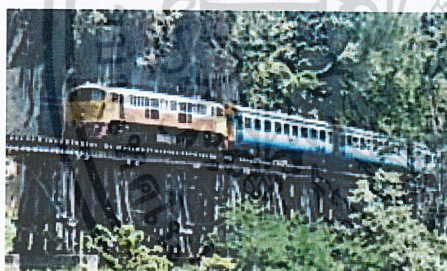
**ขบวนรถเร็ว**

**ขบวนรถเร็ว** เป็นขบวนรถที่จัดเดินระยะทางไกล แต่หยุดรับ – ส่ง ผู้โดยสาร เอกสารเป็นเอกสารที่ส่งวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้เช่าเหมาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า มากกว่าขบวนรถด่วน ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดรถให้บริการ	รถโบกี้ที่นั่งและนอนชั้นที่ 2 ปรับอากาศ (บนท.ป.)
	รถโบกี้ที่นั่งและนอนชั้นที่ 2 (บนท.)
	รถโบกี้ชั้นที่ 2 ปรับอากาศ (บขท.ป.)
	รถโบกี้ชั้นที่ 2 (บขท.)
	รถโบกี้ชั้นที่ 2-3 (บสส.)
	รถโบกี้ชั้นที่ 3 (บขส.ป.)
	รถโบกี้ชั้นที่ 3 (บขส.)

ปัจจุบันมีบริการจำนวน 18 ขบวน

#### 1.2.4. ขบวนรถธรรมดา (Ordinary)



ขบวนรถธรรมดา เลขที่ 257



ขบวนรถดีเซลราง รุ่น โตคิว THN.

ขบวนรถธรรมดา	เป็นขบวนรถที่จัดเดินเพื่อให้บริการแก่ผู้โดยสารเดินทางไปยังส่วนภูมิภาคต่างๆ ทั่วประเทศไทย หาดูทุกๆ สถานี
ชนิดรถให้บริการ	รถโบกี้ชั้นที่ 2-3 (บสส.)
	รถโบกี้ชั้นที่ 3 (บขส.)
	รถกำลังดีเซลรางมีห้องขับ (กชม.)

ปัจจุบันมีบริการจำนวน 28 ขบวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.2.5. ขบวนรถชานเมือง (Bangkok Commuter)



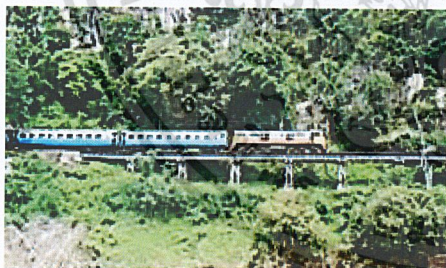
ขบวนรถชานเมือง

ชั้นที่ 3 นั่งพักลม

#### ขบวนรถชานเมือง

เป็นขบวนรถที่จัดเดินเพื่อให้บริการแก่ผู้โดยสารในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล รัศมีไม่เกิน 150 กม. เพื่อใช้เดินทางไปทำงาน ศึกษาเล่าเรียน และติดต่อค้าขาย หยุตทุกๆ สถานี และป้ายหยุดรถ

### 1.2.6. ขบวนรถท้องถิ่น (Rural Commuter)



ขบวนรถท้องถิ่น เลขที่ 485

ขบวนรถท้องถิ่น เลขที่ 407 ใช้รถดีเซลราง  
รุ่น โตคิว THN.

#### ขบวนรถท้องถิ่น

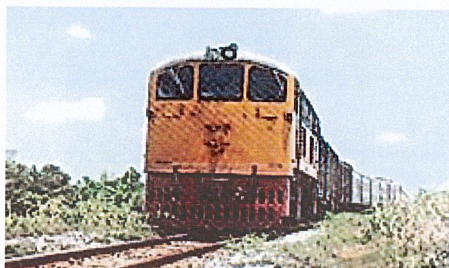
เป็นขบวนรถที่จัดเดินเพื่อให้บริการแก่ผู้โดยสารระหว่างจังหวัด หยุตทุกๆ สถานี และป้ายหยุดรถ

#### ชนิดรถให้บริการ

รถ โบกี้ชั้นที่ 3 (บขส.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในของกรมการขนส่งทางบก (กขบ.) นั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.2.7. ขบวนรถรวม (Mixed)



ขบวนรถรวม



ชนิดรถสินค้าที่พ่วงในขบวน

ขบวนรถรวม

เป็นขบวนรถที่จัดเดินเพื่อให้บริการแก่ผู้โดยสารระหว่างจังหวัด หยุดทุกสถานีและป้ายหยุดรถ และมีรถสินค้าพ่วงในขบวนด้วยเพื่อรับ-ส่งสินค้า

ชนิดรถให้บริการ

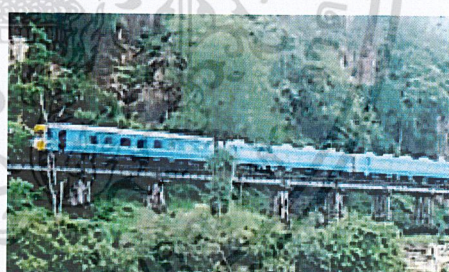
รถ โบกี้ชั้นที่ 3 (บขส.)

ปัจจุบันมีขบวนรถรวมให้บริการรวม 8 ขบวนต่อวัน

### 1.2.8. ขบวนรถท่องเที่ยว (Excursion)



ขบวนรถดีเซลราง รุ่น โตคิว THN.



ขบวนรถพิเศษท่องเที่ยว จ.กาญจนบุรี

ขบวนรถท่องเที่ยว

เป็นขบวนรถที่จัดเดินเพื่อให้บริการนักท่องเที่ยวในช่วงวันหยุดเสาร์-อาทิตย์ และวันหยุดราชการ จะหยุดรับ-ส่งผู้โดยสารเฉพาะสถานีที่มีแหล่งท่องเที่ยวเท่านั้น

ชนิดรถให้บริการ

รถ โบกี้ชั้นที่ 3 (บขส.)

รถกำลังดีเซลรางปรับอากาศมีห้องขับ (กชม.ป.)

รถกำลังดีเซลรางปรับอากาศไม่มีห้องขับ (กชข.ป.)

รถกำลังดีเซลรางมีห้องขับ (กชม.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



# ภาคผนวก ค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

กำหนดเวลาเดินรถไฟโดยสาร สายตะวันออก  
เที่ยวไป

ลำดับ	เลข ขบวน	ประเภท	สถานีต้น ทาง	เวลาออก	สถานีปลายทาง	เวลาถึง	
1	379	ธรรมดา	มักกะสัน	04:28	หัวตะเข้	05:10	
2	376	ธรรมดา	รังสิต	05:35	หัวตะเข้	07:40	
3	275	ธรรมดา	กรุงเทพ	05:55	อรัญประเทศ	11:35	
4	283	ธรรมดา	กรุงเทพ	06:55	บ้านพลูด่าง	11:20	
5	285	ธรรมดา	กรุงเทพ	06:55	ชุมทางฉะเชิงเทรา	08:56	
6	281	ธรรมดา	กรุงเทพ	08:00	กบินทร์บุรี	11:35	
7	367	ธรรมดา	กรุงเทพ	10:10	ชุมทางฉะเชิงเทรา	11:30	
8	389	พิเศษขาน เมือง	กรุงเทพ	12:10	ชุมทางฉะเชิงเทรา	13:30	
9	279	ธรรมดา	กรุงเทพ	13:05	อรัญประเทศ	17:35	
10	277	ธรรมดา	กรุงเทพ	15:25	กบินทร์บุรี	18:20	
11	391	พิเศษขาน เมือง	กรุงเทพ	16:35	ชุมทางฉะเชิงเทรา	17:55	
12	383	ธรรมดา	กรุงเทพ	17:00	ชุมทางฉะเชิงเทรา	18:50	
13	371	ธรรมดา	กรุงเทพ	17:40	ปราจีนบุรี	20:55	
14	381	ธรรมดา	กรุงเทพ	18:25	ชุมทางฉะเชิงเทรา	19:55	
15	385	ธรรมดา	กรุงเทพ	18:25	ชุมทางฉะเชิงเทรา	19:40	
หมายเหตุ :	ข.283 เดินเฉพาะวันจันทร์ - สุกร์				ข.285 เดินเฉพาะวันเสาร์ - อาทิตย์		
เอกสารนี้				ข.379/376/383 งคเดิน วันเสาร์ อาทิตย์ และวันหยุดราชการ		ข.381 เดินวันหยุดราชการ ซึ่ง	
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึง				วันรุ่งขึ้นเป็นวันทำงาน		ที่มีการนำไปใช้	



## กำหนดเวลาเดินรถไฟขนส่งสินค้า ที่สถานีรถไฟพระจอมเกล้าลาดกระบัง

ขบวน	เวลาถึงสถานี	ขบวน	เวลาถึงสถานี	ขบวน	เวลาถึงสถานี
861	00.15	871	07.20	881	15.15
886	00.42	864	08.22	893	15.15
897	01.05	873	09.10	874	15.57
895	01.30	866	10.17	883	16.45
863	01.45	891	10.20	898	17.24
801	01.55	875	10.55	876	17.51
888	02.17	868	11.46	885	18.15
865	03.15	877	12.00	894	18.25
896	03.45	892	12.45	878	19.08
890	03.46	728	12.50	887	19.45
802	04.15	870	13.16	880	20.14
867	04.35	879	13.40	889	21.15
869	06.05	728	14.25	882	21.59
862	06.51	872	14.31	884	23.26

หมายเหตุ -กำหนดเวลาอาจมีการเปลี่ยนแปลงได้ตามเวลาการขนส่งของขึ้น-ลง จากต้นทางหรือปลายทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



# ภาคผนวก ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ง

ตารางที่ 1-ง แสดงข้อมูลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวน โบกี้กับความผันผวนที่  
เกิดขึ้นรถไฟ ในแกน x

จำนวน โบกี้	N	ความผันผวน	Mean	SD
35	2	3.39E-03, 5.95E-03	4.67E-03	1.81E-03
32	1	5.82E-03	5.82E-03	0
31	16	2.05E-03, 2.39E-03, 2.45E-03, 2.79E-03, 2.80E-03, 2.93E-03, 3.00E-03, 3.03E-03, 3.10E-03, 3.38E-03, 3.34E-03, 3.59E-03, 3.66E-03, 3.73E-03, 4.58E-03, 5.40E-03	3.26E-03	8.33E-04
30	6	2.40E-03, 2.56E-03, 2.64E-03, 2.97E-03, 3.10E-03, 3.89E-03	2.93E-03	5.39E-04
29	1	3.10E-03	3.10E-03	0
28	3	2.65E-03, 3.51E-03, 6.15E-03	2.05E-03	1.82E-03
23	1	6.45E-03	6.45E-03	0
11	1	6.12E-03	6.12E-03	0
10	2	8.87E-03, 5.25E-03	7.06E-03	2.56E-03
8	2	7.66E-03, 4.77E-03	6.22E-03	2.04E-03
7	3	4.40E-03, 6.07E-03, 4.62E-03	5.03E-03	9.07E-04
6	9	4.07E-03, 1.01E-02, 4.57E-03, 1.40E-02, 8.11E-03, 1.09E-02, 6.88E-03, 6.60E-03, 5.06E-02	1.29E-02	1.45E-02
5	5	5.12E-03, 6.30E-03, 4.29E-03, 4.64E-03, 7.76E-03	5.62E-03	1.42E-03
4	6	2.01E-02, 5.34E-02, 6.51E-03, 9.64E-03, 6.64E-03, 4.20E-03	1.67E-02	1.88E-02
1	2	8.04E-03, 3.76E-03	5.90E-03	3.03E-03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำหรือเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรณีนำไปใช้

ตารางที่ 2-ง แสดงข้อมูลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวน โบกี้กับความผันผวนที่  
เกิดขึ้นรถไฟ ในแกน y

จำนวน โบกี้	N	ความผันผวน	Mean	SD
35	2	1.85E-03, 8.32E-03	5.09E-03	4.57E-03
32	1	4.87E-03	4.87E-03	0
31	16	8.93E-04, 6.79E-04, 1.05E-03, 1.24E-03, 2.50E-03, 4.19E-03, 7.21E-03, 1.79E-03, 2.16E-03, 3.06E-03, 2.99E-03, 1.75E-03, 2.63E-03, 3.53E-03, 2.09E-03, 3.08E-03	2.55E-03	1.59E-03
30	6	2.51E-03, 3.31E-03, 3.52E-03, 2.29E-03, 2.16E-03, 2.30E-03	2.68E-03	5.83E-04
29	1	2.87E-03	2.87E-03	0
28	3	2.37E-03, 1.88E-03, 6.51E-03	2.17E-03	2.54E-03
23	1	5.89E-03	5.89E-03	0
11	1	2.82E-03	2.82E-03	0
10	2	4.29E-03, 3.19E-03	3.74E-03	7.78E-04
8	2	3.05E-03, 2.08E-03	2.57E-03	6.86E-04
7	3	7.05E-03, 5.39E-03, 1.86E-03	4.77E-03	2.65E-03
6	9	4.19E-03, 1.42E-02, 5.41E-03, 4.51E-03, 7.64E-03, 1.03E-02, 4.39E-03, 6.36E-03, 5.99E-02	1.30E-02	1.79E-02
5	5	5.66E-02, 4.56E-03, 3.10E-03, 4.06E-03, 5.64E-03	1.48E-02	2.34E-02
4	6	1.52E-02, 2.99E-02, 6.10E-03, 9.72E-03, 5.12E-03, 4.39E-03	1.17E-02	9.75E-03
1	2	7.57E-03, 3.53E-03	5.55E-03	2.86E-03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3-ง แสดงข้อมูลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวน โบกี้กับความสั้นสะเทือนที่เกิดขึ้นรถไฟในแกน z

จำนวน โบกี้	N	ความสั้นสะเทือน	Mean	SD
35	2	3.39E-03, 5.95E-03	4.67E-03	1.81E-03
32	1	5.82E-03	5.82E-03	0
31	16	2.05E-03, 2.39E-03, 2.45E-03, 2.79E-03, 2.80E-03, 2.93E-03, 3.00E-03, 3.03E-03, 3.10E-03, 3.38E-03, 3.34E-03, 3.59E-03, 3.66E-03, 3.73E-03, 4.58E-03, 5.40E-03	3.26E-03	8.33E-04
30	6	2.40E-03, 2.56E-03, 2.64E-03, 2.97E-03, 3.10E-03, 3.89E-03	2.93E-03	5.39E-04
29	1	3.10E-03	3.10E-03	0
28	3	2.65E-03, 3.51E-03, 6.15E-03	2.05E-03	1.82E-03
23	1	6.45E-03	6.45E-03	0
11	1	6.12E-03	6.12E-03	0
10	2	8.87E-03, 5.25E-03	7.06E-03	2.56E-03
8	2	7.66E-03, 4.77E-03	6.22E-03	2.04E-03
7	3	4.40E-03, 6.07E-03, 4.62E-03	5.03E-03	9.07E-04
6	9	4.07E-03, 1.01E-02, 4.57E-03, 1.40E-02, 8.11E-03, 1.09E-02, 6.88E-03, 6.60E-03, 5.06E-02	1.29E-02	1.45E-02
5	5	5.12E-03, 6.30E-03, 4.29E-03, 4.64E-03, 7.76E-03	5.62E-03	1.42E-03
4	6	2.01E-02, 5.34E-02, 6.51E-03, 9.64E-03, 6.64E-03, 4.20E-03	1.67E-02	1.88E-02
1	2	8.04E-03, 3.76E-03	5.90E-03	3.03E-03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก จ

### การหาปริมาณอนุภาค ทราย ซิลต์ และเคลย์

นำดินที่บริเวณบ้านพักเจ้าหน้าที่การรถไฟมาหาปริมาณอนุภาคต่างๆ โดยนำตัวอย่างดินที่ผึ่งแห้ง มาร่อนผ่านตะแกรงขนาด 10 เมช มาจำนวนโดยมีน้ำหนักแห้ง 40 กรัม นำมาผสมกับสารละลายคัลคอนและน้ำ ตั้งทิ้งไว้ 1 คืน แล้วนำสรแขวนลอยดินมาหาปริมาณโดยใช้ไฮโดรมิเตอร์ เมื่อตั้งทิ้งไว้ที่ 40 วินาที และ 2 ชั่วโมง ได้ค่า 14 และ 8 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ

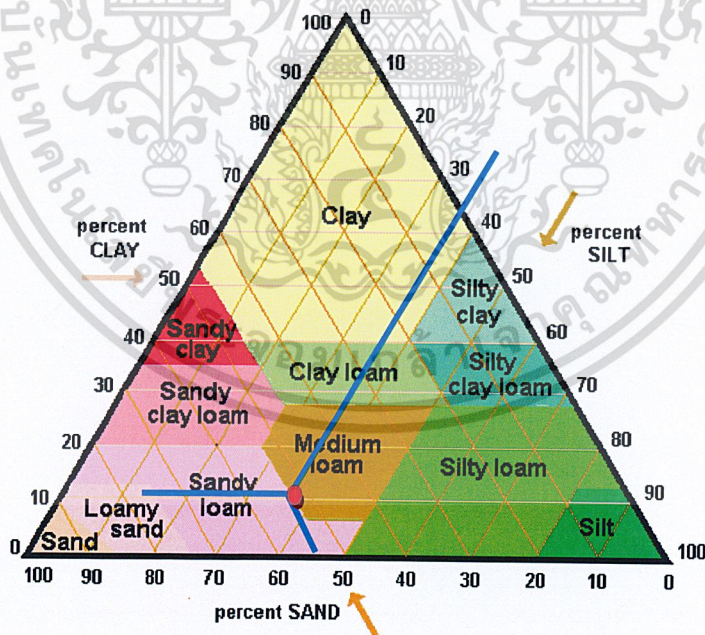
และเมื่อนำมาหาค่า ปริมาณของอนุภาคต่างๆ จะได้

% sand = 66

% clay = 10

% silt = 24

และนำมาพล็อตในสามเหลี่ยมจำแนกเนื้อสัมผัสของดิน จะพบว่าเป็นดินชนิด ดินร่วนทราย



รูปที่ 1-จ รูปสามเหลี่ยมแสดงชนิดของดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

INTERNATIONAL  
STANDARDISO  
2631-2First edition  
1989-02-15**Evaluation of human exposure to whole-body  
vibration —****Part 2 :  
Continuous and shock-induced vibration in buildings  
(1 to 80 Hz)***Estimation de l'exposition des individus à des vibrations globales du corps —  
Partie 2: Vibrations continues et induites par les chocs dans les bâtiments  
(1 à 80 Hz)*Copia effettuata dall'UNI  
con l'autorizzazione dell'ISO  
— Riproduzione vietata —

เอกสารนี้เป็นงานไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่หรือจำหน่าย  
 Reference number ISO 2631-2 : 1989 (E) มาตรฐานด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Evaluation of human exposure to whole-body vibration —

## Part 2 :

### Continuous and shock-induced vibration in buildings (1 to 80 Hz)

#### 0 Introduction

Structural vibration in buildings can be detected by and affect the occupants in many ways. The quality of life can be reduced just as can the working efficiency.

This part of ISO 2631 offers guidance on the application of ISO 2631-1 to human response to building vibration. This part of ISO 2631 is also intended to encourage the uniform collection of data on human response to building vibration.

No guidance is given on complaint levels from occupants of buildings subject to vibration or to any acceptable magnitudes or limits of building vibration, but this part of ISO 2631 does contain weighting curves for human response to vibration of buildings.

#### 1 Scope and field of application

Primarily with respect to annoyance of human beings subject to building vibration, this part of ISO 2631 is limited to the following considerations :

- a) continuous vibration;
- b) intermittent vibration.

The state of the art on transient (impulsive) vibration is presented in annexes A and B.

General guidance is given on human response to building vibrations and weighting curves of frequency response for equal annoyance of humans are included together with measurement methods to be used.

Consideration is given to the time of the day and the use made of the occupied space in the building, whether workshop, office, residential, hospital operating-theatre or other critical area.

Acceptable magnitudes of vibration are not stated in this part of ISO 2631 since these cannot be specified rigidly and depend upon specific circumstances. Tentative guidance is given in annex A on the magnitude of vibration at which adverse comment may begin to arise. In cases where sensitive equipment or delicate operations impose more stringent criteria than human comfort, the corresponding more stringent values should be applied.

Adjustments and variances may be allowed for short-term engineering works (for example foundation excavation and tunnelling) where good public relation practices are followed and prior warning is given.

This part of ISO 2631 is not intended to provide guidance as to the likelihood of structural damage to buildings or injury to occupants of buildings subject to vibration, as defined in ISO 2631-1.

This part of ISO 2631 is concerned only with tactile perception and does not take into account auditory perception of re-radiated sound.

#### 2 References

- ISO 2041, *Vibration and shock — Vocabulary.*
- ISO 2631-1, *Evaluation of human exposure to whole-body vibration — Part 1 : General requirements.*
- ISO 5805, *Mechanical vibration and shock affecting man — Vocabulary.*

#### 3 Characteristics of building vibration

##### 3.1 Direction of vibration

As a building may be used for many different human activities, for example standing, sitting, lying or a combination of all three, vertical vibration of the building may enter the body as either z-axis, x-axis or y-axis vibration, as shown in figure 1.

The measured vibration should normally be referred to the appropriate axis. If it is not clear which direction is appropriate, it may be more convenient to consider the combined curve as explained in 4.2.3.

##### 3.2 Multi-frequency vibration

There is evidence from research concerning the building environment to suggest that there are summation effects for vibration at different frequencies. Therefore for the evaluation of building vibration with respect to the annoyance and comfort effects on occupants, overall weighted vibration values are preferred, as described in ISO 2631-1. A suitable weighting curve for investigation is described in 3.5.