

การวิเคราะห์ผลกระทบจากคลื่นการสั่นสะเทือนของรถไฟความเร็วสูงต่อ
โครงสร้างอาคารที่ซับซ้อน

ANALYSIS OF THE EFFECTS FROM VIBRATIONS OF HIGH-SPEED TRAIN
TO THE COMPLEX BUILDINGS



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2567

KMITL-2024-EN-M-097-233

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ANALYSIS OF THE EFFECTS FROM VIBRATIONS OF HIGH-SPEED TRAIN
TO THE COMPLEX BUILDINGS



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN CIVIL ENGINEERING
SCHOOL OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2024
KMITL-2024-EN-M-097-233

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2024

SCHOOL OF ENGINEERING

KING MON GKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวิเคราะห์ผลกระทบจากคลื่นการสั่นสะเทือนของรถไฟความเร็วสูงต่อโครงสร้างอาคารที่ซับซ้อน
นักศึกษา	นายสุวิสิษฐ์ บ้านแย้ม
รหัสประจำตัว	61601015
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
พ.ศ.	2567
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.อ อาณ จรัสจรุงเกียรติ

บทคัดย่อ

การคมนาคมทางรางเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการขนส่งในชีวิตประจำวันในประเทศไทย และตามนโยบายการพัฒนาประเทศมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มโครงสร้างพื้นฐานด้านการคมนาคมโดยมีแผนงานที่จะเชื่อมโยงสามสนามบินได้แก่ สนามบินดอนเมือง, สุวรรณภูมิและอุตะเถาด้วยรถไฟความเร็วสูง ซึ่งอาจมีผลกระทบกับพื้นที่โดยรอบริมทางรถไฟ งานวิจัยนี้ทาการศึกษาผลการสั่นสะเทือนของรถไฟและรถไฟความเร็วสูงที่ถูกคาดการณ์ด้วยสมการการสั่นแบบอิสระและการสั่นภายใต้แรงกระทำของโครงสร้างทางพลศาสตร์ และทาการศึกษาในพื้นที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ผลจากการสั่นสะเทือนที่วัดได้จากรถไฟ ทาการวิเคราะห์กับโครงสร้างอาคารโดยการวิเคราะห์ค่าระยะการเคลื่อนตัวในแต่ละชั้น แรงเฉือนในแต่ละชั้นและแรงเฉือนที่ฐานของโครงสร้างและโมเมนต์ดัดของโครงสร้าง พบว่า อาคารขนาดเล็กมีค่าความแข็ง (stiffness) น้อยกว่าอาคารขนาดกลาง จึงทาให้การโยกตัวของอาคารขนาดเล็ก มีแนวโน้มมากกว่าอาคารขนาดกลาง และยังพบว่าด้วยลักษณะโครงสร้างของอาคารขนาดเล็กส่วนใหญ่ มีลักษณะที่มีความสมมาตร ทาให้ลักษณะการเคลื่อนตัวของอาคารขนาดเล็ก ในทิศไป-กลับ มีความสมมาตรมากกว่าอาคารขนาดกลางที่มีโครงสร้างซับซ้อน และทาการวิเคราะห์กับโครงสร้างอาคารขนาดใหญ่หรืออาคารที่มีโครงสร้างซับซ้อนด้วยค่าความเร่งที่เกิดจากการคาดการณ์การสั่นสะเทือนของรถไฟโดยการวิเคราะห์ค่าระยะการเคลื่อนตัวในแต่ละชั้นต่อความสูงของอาคาร และแรงเฉือนที่ฐานของโครงสร้างต่อน้ำหนักโครงสร้างอาคาร เทียบกับผลการวิเคราะห์ที่เกิดจากการสั่นสะเทือนที่วัดได้จากรถไฟและความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม พบว่าค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนจากรไฟส่งผลกระทบต่ออาคารมากกว่าการสั่นสะเทือนที่คาดการณ์จากรไฟความเร็วสูงแต่ส่งผลกระทบน้อยกว่ามากเมื่อเทียบกับความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำสำคัญ: รถไฟความเร็วสูง, การสั้นสะเทือน, การสั้นสะเทือนของรถไฟ, การสั้นสะเทือนของ
โครงสร้าง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	ANALYSIS OF THE EFFECTS FROM VIBRATIONS OF HIGH-SPEED TRAIN TO THE COMPLEX BUILDINGS
Student	Mr.Suvisit Banyam
Student ID.	61601015
Degree	Master of Engineering
Program	Civil Engineering
Year	2024
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr.Amphon Jarasjarungkiat

ABSTRACT

Rail transport is crucial for everyday transportation in Thailand, and the national development policy aims to improve the transportation infrastructure by connecting three airports such as Don Mueang, Suvarnabhumi, and U-Tapao Airport with a high-speed train system. This expansion may have implications for the surrounding areas along the railway line. The present study, conducted at King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, focuses on predicting the vibration effects of both regular trains and high-speed trains using free and dynamic vibration equations within the framework of dynamic structures.

To assess the impact of vibrations, an analysis was performed on the building structure using measurements obtained from the train. Various aspects were considered, including displacement in each layer, shear stress in each layer, shear stress at the base of the structure, and the bending moment of the structure. The findings revealed that small buildings exhibited less stiffness compared to medium-sized buildings, making them more susceptible to swaying motions. Additionally, most small buildings had symmetrical structures, resulting in more symmetrical movement characteristics in the back-and-forth directions compared to medium-sized buildings with complex structures.

Furthermore, the study analyzed large or complex building structures by predicting train-induced vibrations using displacement data from each floor relative to the building's height, as well as the shear stress at the base of the structure relative to the building's weight. These analytical results were then compared to the measured

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

vibrations caused by the train and the acceleration response spectrum. The analysis indicated that the acceleration resulting from the train's vibration had a greater impact on the building compared to the predicted vibration from the high-speed train. However, the results of the predicted vibrations were significantly lower than those obtained from the acceleration response spectrum.

Keywords: High-speed train, infrastructure, vibration, train induce vibration, structure vibration



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความช่วยเหลือจากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.อ อาณ จรัสจรัสเกียรติ ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะช่วยแก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบคุณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG) ที่มอบทุนสนับสนุนงานวิจัยบางส่วน จนทำให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้สามารถสำเร็จเป็นรูปเป็นร่างได้ในที่สุด

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และ ถิ่นทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

สุวิสิษฐ์ บานแย้ม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทคัดย่อ.....	I
กิตติกรรมประกาศ.....	V
สารบัญ.....	VI
สารบัญตาราง.....	IX
สารบัญรูป.....	X
บทที่ 1 บทน า.....	1
1.1 ความเป็นมาและความส าคัญของปัญหา.....	1
1.2 ปัญหาของงานวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	4
1.4 วัตถุประสงค์.....	5
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 การสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นจากรถไฟ.....	6
2.2 การวัดการสั่นสะเทือนที่อยู่ใกล้รางรถไฟ.....	7
2.3 การวิเคราะห์สัญญาณที่เกิดจากแรงสั่นสะเทือนของรถไฟ.....	9
2.4 การวิเคราะห์โครงสร้างอาคารจากการสั่นสะเทือน.....	11
2.4.1 Eigenvalue analysis.....	11
2.4.2 วิธีวิเคราะห์การตอบสนองเชิงเส้นแบบประวัติเวลา (Time History Analysis).....	13
2.4.3 วิธีแรงสถิตเทียบเท่า.....	15
2.4.4 วิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมด (Modal Response Spectrum Analysis, RSA).....	17
2.5 แบบจ าลองในการท านายค่าการสั่นสะเทือน.....	19
2.6 คุณสมบัติของรถไฟความเร็วสูงของโครงการรถไฟความเร็วสูงในประเทศไทย.....	25
2.7 แนวความคิด และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	26
บทที่ 3 วิธีด าเนินงานวิจัย.....	28
3.1 การวิเคราะห์การสั่นสะเทือนจากรถไฟ.....	29
3.1.1 ประเภทของรถไฟและระบบขนส่งทางรางบริเวณพื้นที่ สจล.	29
3.1.2 วิธีวัดการสั่นสะเทือนที่อยู่ใกล้แนวรางรถไฟ.....	30
3.2 การรวบรวมข้อมูล วิเคราะห์ข้อมูล และประมวลผลสร้างแบบจ าลองโครงสร้างอาคาร.....	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1	แบบจ าสงอาคารขนาดเล็ก.....	32
3.2.2	แบบจ าสงอาคารขนาดกลาง	33
3.2.3	แบบจ าสงของอาคารที่ซับซ้อน.....	34
3.3	การสร้างแบบจ าสงเชิงพลศาสตร์ของทางรถไฟ.....	34
3.4	ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมที่ใช้ออกแบบ.....	41
บทที่ 4	ผลการวิจัย	43
4.1	สถานีวัดคลื่นการสั่นสะเทือนของรถไฟ.....	43
4.2	ผลจากการวัดคลื่นการสั่นสะเทือนในแต่ละสถานี	45
4.2.1	ผลการวัดคลื่นการสั่นสะเทือนจากสถานีที่ 1.....	45
4.2.2	ผลการวัดคลื่นการสั่นสะเทือนจากสถานีที่ 2.....	47
4.2.3	ผลการวัดคลื่นการสั่นสะเทือนจากสถานีที่ 3.....	49
4.2.4	ผลการวัดคลื่นการสั่นสะเทือนจากสถานีที่ 4.....	51
4.2.5	ผลการวัดคลื่นการสั่นสะเทือนจากสถานีที่ 5.....	53
4.2.6	ผลการวัดคลื่นการสั่นสะเทือนจากสถานีที่ 6.....	55
4.2.7	ผลการวัดคลื่นการสั่นสะเทือนจากสถานีที่ 7.....	57
4.3	ความเร่งจากคลื่นการสั่นสะเทือนที่คาดการณ์จากรถไฟความเร็วสูงที่ได้จากการค นวน จากแบบจ าสงทางพลศาสตร์	59
4.4	ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์เมื่อให้ความเร่งที่วัดได้จากภาคสนามของการสั่นสะเทือนของ รถไฟแก่อาคาร.....	66
4.4.1	โหมดของการสั่น ความถี่ธรรมชาติและคาบของการสั่นของโครงสร้างอาคาร ...	66
4.4.2	แรงเฉือนสูงสุดและโมเมนต์ดัดสูงสุดที่ฐานของอาคาร	67
4.4.3	ระยะการเคลื่อนตัวเกิดขึ้นในแต่ละชั้นของอาคาร.....	69
4.5	ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์เมื่อให้ความเร่งจากคลื่นการสั่นสะเทือนที่คาดการณ์จาก รถไฟความเร็วสูงที่ความเร็วต่างๆแกแบบจ าสงโครงสร้างอาคารที่ซับซ้อน	78
4.5.1	คุณสมบัติเชิงพลศาสตร์ของแบบจ าสงโครงสร้างอาคารที่ซับซ้อน	79
4.5.2	การวิเคราะห์โครงสร้างของอาคารที่ซับซ้อนโดยท าทารให้ค่าความเร่งของคลื่น การสั่นสะเทือนที่คาดการณ์จากรถไฟความเร็วสูง.....	79
4.5.3	เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ผลกระทบต่ออาคารที่ซับซ้อนจากคลื่นการ สั่นสะเทือนที่คาดการณ์จากรถไฟความเร็วสูงกับความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม	84
4.5.4	การวิเคราะห์สัญญาณที่เกิดจากคลื่นการสั่นสะเทือนที่คาดการณ์จากรถไฟ ความเร็วสูง.....	87
บทที่ 5	สรุปผลการวิจัยและอภิปรายผล.....	90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6 ผลลัพธ์และประโยชน์ที่ได้จากงานวิจัย	92
6.1 ผลที่ได้จากงานวิจัย	92
6.2 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย	93
6.3 การนำไปใช้ประโยชน์	93
6.4 แนวทางการพัฒนาต่อยอดผลงานในอนาคต	93
บทที่ 7 ข้อเสนอแนะ	94
เอกสารอ้างอิง	95
ภาคผนวก	100
ประวัติผู้เขียน	107



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 3-1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการสร้างกราฟการสิ้นสະเทือนจากสมการ.....	37
ตารางที่ 3-2 ระยะห่างระหว่างแต่ละล้อของรถไฟและระยะเวลาที่ล้อรถไฟเลื่อนผ่านจุดสนใจ.....	40
ตารางที่ 3-3 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบ.....	41
ตารางที่ 4-1 สถานีวัดคลื่นการสิ้นสະเทือนของรถไฟ.....	43
ตารางที่ 4-2 พารามิเตอร์ในการสร้างคลื่นการสิ้นสະเทือนที่คาดการณ์จากรไฟความเร็วสูงที่ ความเร็ว 150 กิโลเมตรต่อชั่วโมง.....	61
ตารางที่ 4-3 ระยะห่างระหว่างแต่ละล้อของรถไฟและระยะเวลาที่ล้อรถไฟเลื่อนผ่านจุดสนใจเมื่อ รถไฟมีความเร็ว 150 กิโลเมตรต่อชั่วโมง.....	61
ตารางที่ 4-4 พารามิเตอร์ในการสร้างคลื่นการสิ้นสະเทือนที่คาดการณ์จากรไฟความเร็วสูงที่ ความเร็ว 200 กิโลเมตรต่อชั่วโมง.....	63
ตารางที่ 4-5 ระยะห่างระหว่างแต่ละล้อของรถไฟและระยะเวลาที่ล้อรถไฟเลื่อนผ่านจุดสนใจเมื่อ รถไฟมีความเร็ว 200 กิโลเมตรต่อชั่วโมง.....	63
ตารางที่ 4-6 พารามิเตอร์ในการสร้างคลื่นการสิ้นสະเทือนที่คาดการณ์จากรไฟความเร็วสูงที่ ความเร็ว 250 กิโลเมตรต่อชั่วโมง.....	64
ตารางที่ 4-7 ระยะห่างระหว่างแต่ละล้อของรถไฟและระยะเวลาที่ล้อรถไฟเลื่อนผ่านจุดสนใจเมื่อ รถไฟมีความเร็ว 250 กิโลเมตรต่อชั่วโมง.....	65
ตารางที่ 4-8 โหมดของการสิ้น ความถี่ธรรมชาติและคาบของการสิ้นของอาคารขนาดเล็ก.....	67
ตารางที่ 4-9 โหมดของการสิ้น ความถี่ธรรมชาติและคาบของการสิ้นของอาคารขนาดกลาง.....	67
ตารางที่ 4-10 แรงเฉือนสูงสุดสัมบูรณ์และโมเมนต์ดัดสูงสุดสัมบูรณ์ที่ฐานของอาคารขนาดเล็ก.....	68
ตารางที่ 4-11 แรงเฉือนสูงสุดสัมบูรณ์และโมเมนต์ดัดสูงสุดสัมบูรณ์ที่ฐานของอาคารขนาดกลาง.....	68
ตารางที่ 4-12 โหมดของการสิ้น ความถี่ธรรมชาติและคาบของการสิ้นของอาคาร.....	79
ตารางที่ 4-13 ค่าแรงเฉือนสูงสุดสัมบูรณ์และโมเมนต์ดัดสูงสุดสัมบูรณ์ที่ฐานของอาคารจากความเร่ง	80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
รูปที่ 1-1 แสดงเส้นทางรถไฟฟ้าเชื่อม 3 สนามบิน	2
รูปที่ 1-2 แสดงแผนโครงการเชื่อมต่อเส้นทางรถไฟความเร็วสูง ไทย-จีน.....	3
รูปที่ 1-3 แนวเส้นทางรถไฟความเร็วสูงในส่วนที่ผ่านกลางสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	4
รูปที่ 2-1 ลักษณะของการสั้นสะเทือนที่เกิดจากการจราจรของรถไฟ	7
รูปที่ 2-2 ต าแหน่งของการวัดความเร่ง.....	7
รูปที่ 2-3 ลักษณะการติดตั้งตัววัดความเร่ง	8
รูปที่ 2-4 การบันทึกค่าความเร่งของตัววัดความเร่ง Acc 1 (แนวตั้งฉากกับพื้นโลก).....	8
รูปที่ 2-5 รูปคลื่นของการสั้นสะเทือนที่ถูกสร้างขึ้นจากยานพาหนะเคลื่อนที่ผ่านราง	10
รูปที่ 2-6 รูปคลื่นของการสั้นสะเทือนที่ถูกสร้างขึ้นจากยานพาหนะเคลื่อนที่ผ่านราง	10
รูปที่ 2-7 โหมดการสั้นสะเทือนและคาบธรรมชาติของคานยื่น	12
รูปที่ 2-8 ความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบด้วยวิธีแรงสถิติเทียบเท่า สำหรับโซน 5 ของพื้นที่ในแอ่งกรุงเทพ ที่มา: มยผ.1301/1302-61 [8].....	16
รูปที่ 2-9 กราฟการตอบสนองของระบบโครงสร้างที่มีระดับชั้นความเสรีเท่ากับหนึ่งต่อแรงแบบ ขั้นบันไดที่แตกต่างกัน	21
รูปที่ 2-10 กราฟการตอบสนองของระบบโครงสร้างที่มีระดับชั้นความเสรีเท่ากับหนึ่งต่อแรงแบบ ขั้นบันไดที่มีความถี่ธรรมชาติของระบบที่แตกต่างกัน	21
รูปที่ 2-11 กราฟการตอบสนองของระบบโครงสร้างที่มีระดับชั้นความเสรีเท่ากับหนึ่งต่อแรงแบบ ขั้นบันไดที่มีอัตราส่วนการหน่วงแตกต่างกัน	22
รูปที่ 2-12 กราฟของการตอบสนองของระบบต่อแรงที่มีขนาดแตกต่างกันสามขนาด	24
รูปที่ 2-13 การตอบสนองของระบบต่อพัลส์สี่เหลี่ยมที่มีความถี่ธรรมชาติที่แตกต่างกัน.....	24
รูปที่ 2-14 ผลของการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนการหน่วงต่อการตอบสนองของระบบจากพัลส์สี่เหลี่ยม	25
รูปที่ 2-15 รถไฟความเร็วสูง พูชิงหัวา	25
รูปที่ 3-1 รถไฟประเภท THN	29
รูปที่ 3-2 การติดตั้งเครื่องวัดความเร่งของการสั้นสะเทือน	30
รูปที่ 3-3 ทิศทางการติดตั้งเครื่องวัดความเร่งของการสั้นสะเทือน	31
รูปที่ 3-4 การติดตั้งเครื่องวัดความเร่งของการสั้นสะเทือนบริเวณหมอนรถไฟ.....	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3-5	แบบจ าสงอาคารขนาดเล็ก	33
รูปที่ 3-6	แบบจ าสงอาคารขนาดกลาง.....	33
รูปที่ 3-7	แบบจ าสงอาคารขนาดใหญ่หรือมีความซับซ้อน.....	34
รูปที่ 3-8	โครงสร้างทางรถไฟแบบมีหินโรยทาง.....	34
รูปที่ 3-9	การถ่ายแรงที่กระท จากลัทธิไฟฟ้ากับรางลงสู่พื้นดิน.....	35
รูปที่ 3-10	แบบจ าสงทางพลศาสตร์การกระท ระหว่างล้อกับโครงสร้างของทางรถไฟ	36
รูปที่ 3-11	แบบจ าสงทางพลศาสตร์อย่างง่าย.....	36
รูปที่ 3-12	กราฟการสั่นสะเทือนจากสมการที่ 3.1 และ 3.2.....	38
รูปที่ 3-13	กราฟการสั่นสะเทือนจากแรงที่กระท าดัชนีรถไฟหนึ่งล้อ.....	39
รูปที่ 3-14	ระยะห่างระหว่างล้อแต่ละล้อของรถไฟ.....	39
รูปที่ 3-15	กราฟการสั่นสะเทือนที่เกิดจากการรวมกันของกราฟการสั่นสะเทือนล้อเดี่ยว จ นาน 16 ล้อ (4 ขบวนรถไฟ).....	40
รูปที่ 3-16	ความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม	42
รูปที่ 4-1	ภาพแสดงสถานีทดสอบแรงสั่นสะเทือนของรถไฟทั้ง 7 สถานี	44
รูปที่ 4-2	ความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวราบ ในแกน X (ตั้งฉากกับขบวนรถไฟ).....	45
รูปที่ 4-3	ความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวราบ ในแกน Y (ขนานกับขบวนรถไฟ) สถานีที่ 1	46
รูปที่ 4-4	ความเร่งของพื้นดินในแนวราบ ในแกน Z (ตั้งฉากกับพื้นโลก) สถานีที่ 1.....	46
รูปที่ 4-5	ความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวราบ ในแกน X (ตั้งฉากกับขบวนรถไฟ).....	47
รูปที่ 4-6	ความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวราบ ในแกน Y (ขนานกับขบวนรถไฟ) สถานีที่ 2.....	48
รูปที่ 4-7	ความเร่งของพื้นดินในแนวราบ ในแกน Z (ตั้งฉากกับพื้นโลก) สถานีที่ 2.....	48
รูปที่ 4-8	ความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวราบ ในแกน X (ตั้งฉากกับขบวนรถไฟ).....	49
รูปที่ 4-9	ความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวราบ ในแกน Y (ขนานกับขบวนรถไฟ) สถานีที่ 3.....	50
รูปที่ 4-10	ความเร่งของพื้นดินในแนวราบ ในแกน Z (ตั้งฉากกับพื้นโลก) สถานีที่ 3.....	50
รูปที่ 4-11	ความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวราบ ในแกน X (ตั้งฉากกับขบวนรถไฟ)	51
รูปที่ 4-12	ความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวราบ ในแกน Y (ขนานกับขบวนรถไฟ)	52
รูปที่ 4-13	ความเร่งของพื้นดินในแนวราบ ในแกน Z (ตั้งฉากกับพื้นโลก) สถานีที่ 4.....	52
รูปที่ 4-14	ความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวราบ ในแกน X (ตั้งฉากกับขบวนรถไฟ)	53
รูปที่ 4-15	ความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวราบ ในแกน Y (ขนานกับขบวนรถไฟ).....	54
รูปที่ 4-16	ความเร่งของพื้นดินในแนวราบ ในแกน Z (ตั้งฉากกับพื้นโลก) สถานีที่ 5.....	54
รูปที่ 4-17	ความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวราบ ในแกน X (ตั้งฉากกับขบวนรถไฟ)	55
รูปที่ 4-18	ความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวราบ ในแกน Y (ขนานกับขบวนรถไฟ).....	56
รูปที่ 4-19	ความเร่งของพื้นดินในแนวราบ ในแกน Z (ตั้งฉากกับพื้นโลก) สถานีที่ 6.....	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4-20 ความแรงของการสั่นสะเทือนในแนวราบ ในแกน X (ตั้งฉากกับขบวนรถไฟ)	57
รูปที่ 4-21 ความแรงของการสั่นสะเทือนในแนวราบ ในแกน Y (ขนานกับขบวนรถไฟ)	58
รูปที่ 4-22 ความแรงของพื้นดินในแนวราบ ในแกน Z (ตั้งฉากกับพื้นโลก) สถานีที่ 7	58
รูปที่ 4-23 ความแรงของการสั่นสะเทือนจากแบบจ าสงทางพลศาสตร์	60
รูปที่ 4-24 เปรียบเทียบความแรงของการสั่นสะเทือนจากแบบจ าสงทางพลศาสตร์กับความแรงที่วัดได้จากภาคสนาม	60
รูปที่ 4-25 ความแรงของคลื่นการสั่นสะเทือนจากแบบจ าสงทางพลศาสตร์ของรถไฟที่มีความเร็ว 150 กิโลเมตรต่อชั่วโมง	62
รูปที่ 4-26 ความแรงของการสั่นสะเทือนจากแบบจ าสงทางพลศาสตร์ของรถไฟที่มีความเร็ว 200 กิโลเมตรต่อชั่วโมง	64
รูปที่ 4-27 ความแรงของการสั่นสะเทือนจากแบบจ าสงทางพลศาสตร์ของรถไฟที่มีความเร็ว 250 กิโลเมตรต่อชั่วโมง	65
รูปที่ 4-28 ระยะการเคลื่อนตัวเกิดขึ้นในแต่ละชั้นของอาคารขนาดเล็ก จากค่าความแรงที่วัดได้ บริเวณจุดวัดสถานีที่ 1	69
รูปที่ 4-29 ระยะการเคลื่อนตัวเกิดขึ้นในแต่ละชั้นของอาคารขนาดเล็ก จากค่าความแรงที่วัดได้ บริเวณจุดวัดสถานีที่ 2	70
รูปที่ 4-30 ระยะการเคลื่อนตัวเกิดขึ้นในแต่ละชั้นของอาคารขนาดเล็ก จากค่าความแรงที่วัดได้ บริเวณจุดวัดสถานีที่ 3	70
รูปที่ 4-31 ระยะการเคลื่อนตัวเกิดขึ้นในแต่ละชั้นของอาคารขนาดเล็ก จากค่าความแรงที่วัดได้ บริเวณจุดวัดสถานีที่ 4	71
รูปที่ 4-32 ระยะการเคลื่อนตัวเกิดขึ้นในแต่ละชั้นของอาคารขนาดเล็ก จากค่าความแรงที่วัดได้ บริเวณจุดวัดสถานีที่ 5	72
รูปที่ 4-33 ระยะการเคลื่อนตัวเกิดขึ้นในแต่ละชั้นของอาคารขนาดเล็ก จากค่าความแรงที่วัดได้ บริเวณจุดวัดสถานีที่ 6	72
รูปที่ 4-34 ระยะการเคลื่อนตัวเกิดขึ้นในแต่ละชั้นของอาคารขนาดเล็ก จากค่าความแรงที่วัดได้ บริเวณจุดวัดสถานีที่ 7	73
รูปที่ 4-35 ระยะการเคลื่อนตัวเกิดขึ้นในแต่ละชั้นของอาคารขนาดกลาง จากค่าความแรงที่วัดได้ บริเวณจุดวัดสถานีที่ 1	74
รูปที่ 4-36 ระยะการเคลื่อนตัวเกิดขึ้นในแต่ละชั้นของอาคารขนาดกลาง จากค่าความแรงที่วัดได้ บริเวณจุดวัดสถานีที่ 2	74
รูปที่ 4-37 ระยะการเคลื่อนตัวเกิดขึ้นในแต่ละชั้นของอาคารขนาดกลาง จากค่าความแรงที่วัดได้ บริเวณจุดวัดสถานีที่ 3	75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4-38 ระยะเวลาเคลื่อนตัวเกิดขึ้นในแต่ละชั้นของอาคารขนาดกลาง จากค่าความเร่งที่วัดได้ บริเวณจุดวัดสถานีที่ 4	76
รูปที่ 4-39 ระยะเวลาเคลื่อนตัวเกิดขึ้นในแต่ละชั้นของอาคารขนาดกลาง จากค่าความเร่งที่วัดได้ บริเวณจุดวัดสถานีที่ 5	76
รูปที่ 4-40 ระยะเวลาเคลื่อนตัวเกิดขึ้นในแต่ละชั้นของอาคารขนาดกลาง จากค่าความเร่งที่วัดได้ บริเวณจุดวัดสถานีที่ 6	77
รูปที่ 4-41 ระยะเวลาเคลื่อนตัวเกิดขึ้นในแต่ละชั้นของอาคารขนาดกลาง จากค่าความเร่งที่วัดได้ บริเวณจุดวัดสถานีที่ 7	78
รูปที่ 4-42 ระยะเวลาเคลื่อนตัวเกิดขึ้นในแต่ละชั้นของอาคารจากคลื่นการสั่นสะเทือนที่คาดการณ์ จากระดับไฟความเร็วสูงที่ความเร็ว 150 กิโลเมตรต่อชั่วโมง	81
รูปที่ 4-43 ระยะเวลาเคลื่อนตัวเกิดขึ้นในแต่ละชั้นของอาคารจากคลื่นการสั่นสะเทือนที่คาดการณ์ จากระดับไฟความเร็วสูงที่ความเร็ว 200 กิโลเมตรต่อชั่วโมง	82
รูปที่ 4-44 ระยะเวลาเคลื่อนตัวเกิดขึ้นในแต่ละชั้นของอาคารจากคลื่นการสั่นสะเทือนที่คาดการณ์ จากระดับไฟความเร็วสูงที่ความเร็ว 250 กิโลเมตรต่อชั่วโมง	83
รูปที่ 4-45 แรงเฉือนของแต่ละชั้น (Story Shear) และ แรงเฉือนที่ฐาน (Base Shear)	84
รูปที่ 4-46 ระยะเวลาเคลื่อนตัวแต่ละชั้นของโครงสร้าง (Floor Displacement)	86
รูปที่ 4-47 ความเร่งของคลื่นการสั่นสะเทือนที่คาดการณ์จากระดับไฟความเร็วสูงที่ความเร็ว 150 กิโลเมตรต่อชั่วโมงในโดเมนของความถี่	87
รูปที่ 4-48 ความเร่งของคลื่นการสั่นสะเทือนที่คาดการณ์จากระดับไฟความเร็วสูงที่ความเร็ว 200 กิโลเมตรต่อชั่วโมงในโดเมนของความถี่	87
รูปที่ 4-49 ความเร่งของคลื่นการสั่นสะเทือนที่คาดการณ์จากระดับไฟความเร็วสูงที่ความเร็ว 250 กิโลเมตรต่อชั่วโมงในโดเมนของความถี่	88
รูปที่ 4-50 เปรียบเทียบค่าความถี่ที่ท ให้เกิดแอมพลิจูดสูงสุดจากความเร่งของคลื่นการสั่นสะเทือนที่ คาดการณ์จากระดับไฟความเร็วสูงที่ความเร็ว 150, 200 และ 250 กิโลเมตรต่อชั่วโมง	88
รูปที่ 8-1 หมุดวัดแรงสั่นสะเทือน	100
รูปที่ 8-2 เครื่องรับสัญญาณ data logger	100
รูปที่ 8-3 ชุดอุปกรณ์ภาคสนาม	101
รูปที่ 8-4 การลงพื้นที่เก็บข้อมูล	101
รูปที่ 8-5 การลงพื้นที่เก็บข้อมูลในพื้นที่ตัวอย่าง	102
รูปที่ 8-6 การติดตั้งอุปกรณ์กับฐานเสาไฟฟ้าแอร์พอร์ทลิ่ง	102
รูปที่ 8-7 การเก็บค่าคลื่นตัวอย่างจากระดับไฟแอร์พอร์ทลิ่ง	103
รูปที่ 8-8 การติดตั้งห้วงวัดความเร่งเข้ากับหมุดวัดแรงสั่นสะเทือน	103

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 8-9 การติดตั้งหมุดวัดแรงสั่นสะเทือน.....	104
รูปที่ 8-10 การติดตั้งหัววัดความเร่งเข้ากับหมอนรางรถไฟ	104
รูปที่ 8-11 การติดตั้งอุปกรณ์วัดความเร่งกับเสารถไฟ BTS	105
รูปที่ 8-12 การติดตั้งอุปกรณ์กับฐานเสาไฟฟ้า.....	105
รูปที่ 8-13 การแสดงผลค่าที่วัดได้จากหัววัดความเร่ง.....	106



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันการขนส่งที่เนื่องเนื่องจากการจราจร เช่น การเคลื่อนที่ของรถบรรทุกขนาดใหญ่หรือรถไฟสามารถทำให้เกิดปัญหาเนื่องจากการขนส่งที่ต่อเนื่องต่อพื้นที่ที่อยู่ใกล้เส้นทาง โดยแรงสั่นสะเทือนจะส่งผลกระทบต่ออาคารที่พักอาศัย ระบบสาธารณูปโภค รวมถึงผู้พักอาศัยในบริเวณนั้น ถึงแม้ว่าในปัจจุบันจะมีหลายอาคารที่อยู่ในพื้นที่ใกล้กับเส้นทางของรางรถไฟจะสามารถคงอยู่ได้ แต่ถ้าหากได้รับแรงสั่นสะเทือนซ้ำหลายครั้งเป็นเวลานานก็อาจทำให้โครงสร้างของอาคารเสียหายได้ และถ้ามีการสร้างรถไฟความเร็วสูงซึ่งสามารถทำให้เกิดการสั่นสะเทือนที่มากกว่ารถไฟในปัจจุบัน ดังนั้นจึงต้องมีการตรวจสอบผลกระทบที่จะเกิดขึ้นต่อโครงสร้างอาคารเดิมที่ใกล้กับเส้นทางรถไฟความเร็วสูง หรือออกแบบโครงสร้างอาคารในอนาคตเพื่อรองรับแรงของการสั่นสะเทือนที่มาจากรถไฟความเร็วสูง เพื่อเป็นการสร้างแผนป้องกันผลกระทบที่จะเกิดขึ้นต่อตัวโครงสร้างอาคารหากเมื่อมีการใช้งานรถไฟความเร็วสูงในอนาคต

จากนโยบายการพัฒนาประเทศที่มีความมุ่งหวังจะสร้าง อันได้แก่ การก่อสร้างทางรถไฟความเร็วสูงเชื่อมสามสนามบินเป็นโครงการที่เชื่อมต่อแนวเส้นทางการเดินทางเดิมของระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแอร์พอร์ตลิงค์ (Airport Rail Link) ที่เปิดให้บริการอยู่ในปัจจุบัน โดยทำการก่อสร้างทางรถไฟขนาด 1.435 เมตร (Standard Gauge) ส่วนต่อขยาย 2 ช่วงจากสถานีพญาไท ไปยังสนามบินดอนเมือง และจากสถานีลาดกระบังไปยังสนามบินอู่ตะเภา รวมระยะทาง 220 กิโลเมตร ซึ่งรถไฟความเร็วสูงมีความเร็วสูงสุด 250 กิโลเมตร/ชั่วโมง เชื่อมกรุงเทพมหานครกับพื้นที่โครงการพัฒนาระเบียงเศรษฐกิจพิเศษภาคตะวันออก (EEC) ซึ่งจะประกอบไปด้วยสถานีรถไฟความเร็วสูงจำนวน 9 สถานี ได้แก่ สถานีดอนเมือง สถานีบางซื่อ สถานีมักกะสัน สถานีสุวรรณภูมิ สถานีฉะเชิงเทรา สถานีชลบุรี สถานีศรีราชา สถานีพัทยาและสถานีอู่ตะเภา โดยช่วงจากสถานีดอนเมืองถึงสถานีสุวรรณภูมิเป็นเส้นทางรถไฟระหว่างเมืองเป็นช่วงที่ใช้รถไฟความเร็วสูงความเร็ว 160 กิโลเมตร/ชั่วโมง และช่วงจากสถานีฉะเชิงเทราถึงสถานีอู่ตะเภาเป็นเส้นทางรถไฟระหว่างเมืองเป็นช่วงที่ใช้รถไฟความเร็วสูงความเร็ว 250 กิโลเมตร/ชั่วโมง



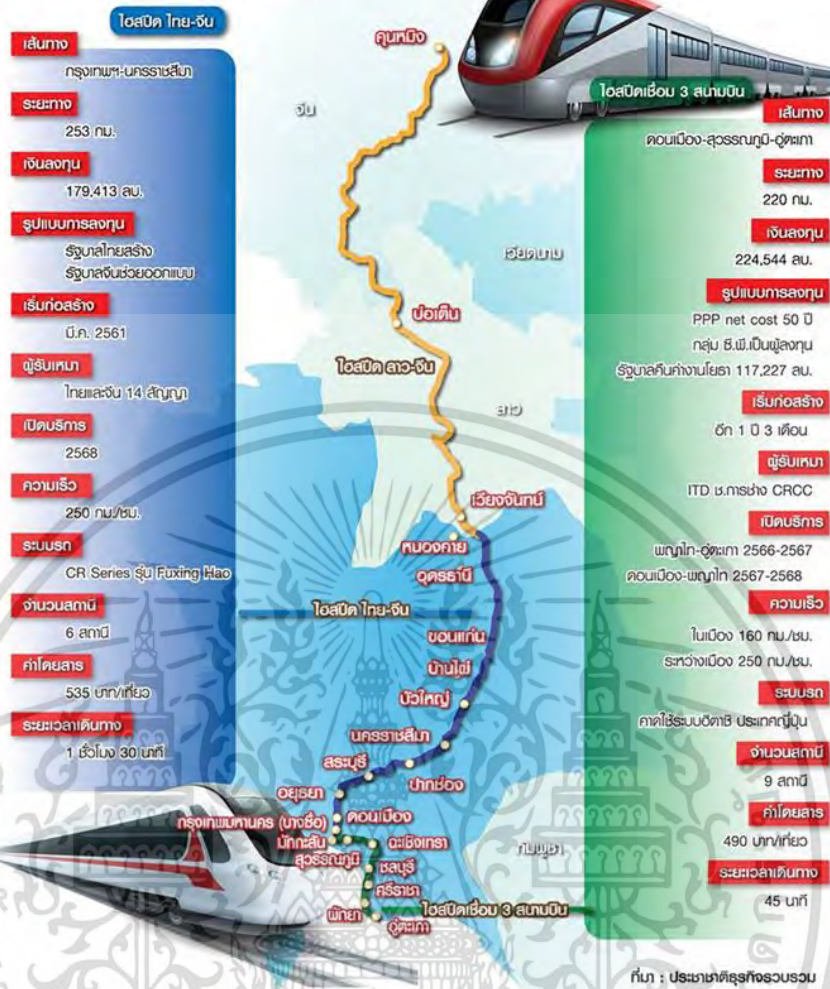
รูปที่ 1-1 แสดงเส้นทางรถไฟฟ้าเชื่อม 3 สนามบิน

ที่มา: คณะกรรมการนโยบายเขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก (สกพอ.) [1]

อีกทั้งยังมีโครงการความร่วมมือระหว่างรัฐบาลแห่งราชอาณาจักรไทย และรัฐบาลแห่งสาธารณรัฐประชาชนจีน ในการพัฒนาระบบรถไฟความเร็วสูงเพื่อเชื่อมโยงภูมิภาค ช่วงระหว่างจังหวัดกรุงเทพมหานครถึงจังหวัดหนองคาย เป็นระบบรถไฟฟ้าที่มีทั้งโครงสร้างระดับดินและยกระดับตลอดโครงการ แบ่งออกเป็น ทางรถไฟระดับพื้นดิน 185 กิโลเมตร และทางรถไฟยกระดับ 171 กิโลเมตร มีแนวเส้นทางที่รองรับการเดินทางจากชานเมืองทางทิศเหนือกรุงเทพมหานครฝั่งเหนือและจังหวัดใกล้เคียงด้านเหนือและภาคอีสาน เข้าสู่เขตใจกลางเมืองได้อย่างรวดเร็ว แนวเส้นทางเริ่มต้นจากสถานีกลางบางซื่อ วิ่งตรงไปทางทิศเหนือในเส้นทางเดียวกับรถไฟความเร็วสูงสายตะวันออกผ่านท่าอากาศยานดอนเมือง เชื่อมต่อกับรถไฟฟ้าชานเมืองสายสีแดงเข้ม รถไฟฟ้าเชื่อมท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ จากนั้นวิ่งตรงไปตามแนวทางรถไฟสายเหนือไปจนถึงชุมทางบ้านภาชี แนวเส้นทางจะเบี่ยงไปใช้แนวเส้นทางรถไฟสายอีสานไปตลอดทางจนถึงสถานีแก่งคอย ซึ่งจะเป็นสถานีชุมทางที่แยกสายไปเชื่อมต่อเข้ากับสายตะวันออกที่สถานีฉะเชิงเทรา จากนั้นมุ่งหน้าไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือและสิ้นสุดเส้นทางในระยะแยกที่สถานีนครราชสีมา ซึ่งตั้งอยู่บริเวณสถานีรถไฟนครราชสีมาเดิม รวมระยะทางในช่วงแรก 253 กิโลเมตร ใช้เวลาเดินทาง 1 ชั่วโมง 30 นาทีจากกรุงเทพมหานคร จากนั้นเส้นทางจะมุ่งขึ้นทางเหนือเพื่อไปยังประเทศลาวโดยผ่าน สถานีชุมทางบัวใหญ่ ขอนแก่น อุดรธานี สิ้นสุดที่จังหวัดหนองคาย ระยะทาง 354.5 กิโลเมตร รวมระยะทางตลอดเส้นทางกว่า 608 กิโลเมตร ใช้เวลาเดินทาง 2 ชั่วโมง 15 นาที จากนครราชสีมา และ 3 ชั่วโมง 45 นาที จากกรุงเทพมหานคร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รถไฟความเร็วสูงประเทศไทย



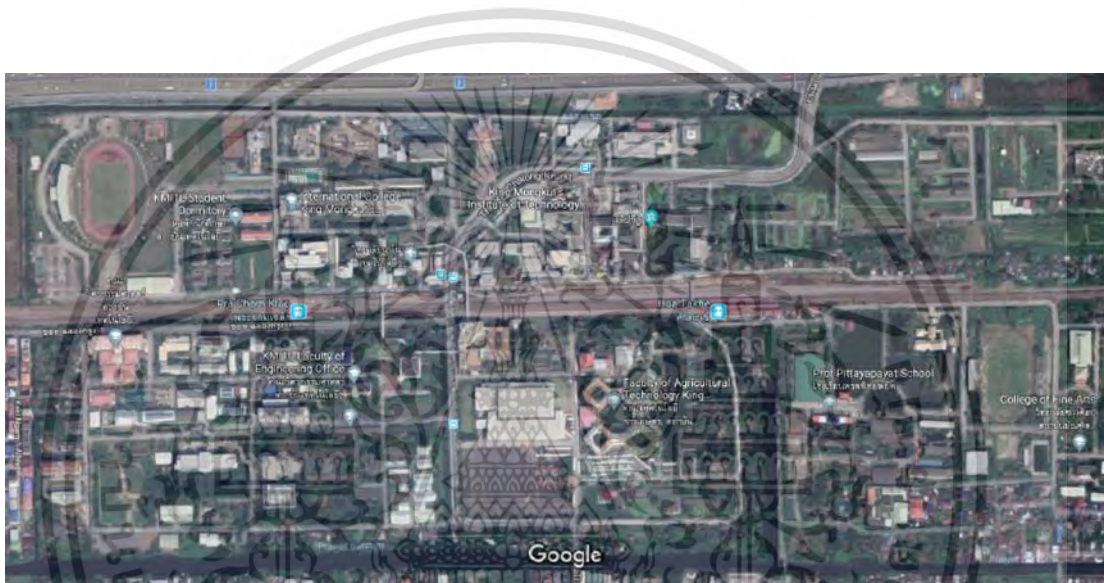
รูปที่ 1-2 แสดงแผนโครงการเชื่อมต่อเส้นทางรถไฟความเร็วสูง ไทย-จีน
ที่มา: ประชาชาติธุรกิจรวบรวม [2]

1.2 ปัญหาของงานวิจัย

แนวเส้นทางในแต่ละโครงการรถไฟความเร็วสูงผ่านพื้นที่ 5 จังหวัด ได้แก่ กรุงเทพมหานคร สมุทรปราการ ฉะเชิงเทรา ชลบุรี และระยอง ใช้แนวเส้นทางระบบขนส่งมวลชนทางรางของโครงการเดิมและมีการออกแบบใหม่ในเฉพาะบริเวณเชื่อมต่อเข้าสนามบินสุวรรณภูมิ (ขาออก) และสนามบินอู่ตะเภา (ขาเข้า) โดยแนวเส้นทางของโครงการจะประกอบไปด้วย 3 โครงการคือ โครงการรถไฟความเร็วสูง สายจังหวัดกรุงเทพมหานครถึงจังหวัดระยอง และโครงการระบบขนส่งทางรางรถไฟเชื่อมท่าอากาศยานสุวรรณภูมิและสถานีรับส่งผู้โดยสารอากาศยานในเมือง (Suvarnabhumi Airport Link and Air Terminal: ARL) โครงการระบบรถไฟเชื่อมท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ ส่วนต่อขยายช่วงดอนเมือง บางซื่อและพญาไท (ARL Extension)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วยเหตุนี้งานวิจัยนี้ทาการศึกษาผลของการสั้นสะเทือนที่มีสาเหตุจากการเคลื่อนที่ของรถไฟความเร็วสูงที่มีเส้นทางผ่านพื้นที่ศึกษาในบริเวณสถาบันพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ซึ่งมีหลายอาคารที่เป็นอาคารสำหรับปฏิบัติการเป็นอาคารที่อ่อนไหวต่อการสั้นสะเทือน ผลกระทบที่อาจจะเกิดขึ้นต่อกลุ่มอาคารดังกล่าวอาจเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้และสามารถคาดการณ์ผลกระทบที่จะเกิดขึ้นในอนาคตหากมีการใช้งานรถไฟความเร็วสูงวิ่งผ่านพื้นที่สจล.เพื่อที่สามารถวางแผนรับมือปัญหาที่อาจเกิดขึ้นได้ทัน ยังสามารถนำผลจากกรณีศึกษาในพื้นที่สจล.ไปใช้กับบริเวณพื้นที่อื่นที่มีสภาพปัจจัยแวดล้อมใกล้เคียง เช่น พื้นที่ในกรุงเทพมหานครที่มีสภาพชั้นดินเป็นดินเหนียวอ่อนใกล้เคียงกันกับบริเวณพื้นที่ สจล.



รูปที่ 1-3 แนวเส้นทางรถไฟความเร็วสูงในส่วนที่ผ่านกลางสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ที่มา: <https://www.google.com/maps>

1.3 ขอบเขตการศึกษา

- 1) วัดความเร็วรถไฟที่กำลังทาความเร็วต่างกันในประเทศ เพื่อนามาเปรียบเทียบและหาค่าตัวแปรที่จะสามารถคาดการณ์ค่าความเร่งของรถไฟความเร็วสูงในอนาคต
- 2) ศึกษาและวิเคราะห์ในพื้นที่ของ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- 3) ทาการจำลองลักษณะคลื่นที่วิ่งเข้าสู่ฐานรากของอาคาร 3 ประเภท ได้แก่ อาคารขนาดใหญ่ที่มีความซับซ้อนสูง อาคารขนาดกลาง และอาคารขนาดเล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 วัตถุประสงค์

1) ศึกษาสภาพการสั้นสะเทือนจากรถไฟที่วิ่งผ่านในพื้นที่ศึกษาในบริเวณสจล. ทั้งความถี่และขนาดของคลื่นการสั้นสะเทือน และคาดการณ์ผลกระทบที่ถูกส่งผ่านพื้นดินมาที่ฐานโครงสร้างของอาคารที่พิจารณา

2) สร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์เพื่อวิเคราะห์การสั้นสะเทือนของอาคารที่พิจารณาโดยที่มีสาเหตุจากการเคลื่อนที่ของรถไฟ

3) เปรียบเทียบผลกระทบของการสั้นสะเทือนที่ได้จากการคาดการณ์จากรถไฟความเร็วสูงที่ความเร็วต่างๆ โดยสร้างจากแบบจำลองทางพลศาสตร์ที่ถูกส่งมาที่ฐานโครงสร้างของอาคารที่พิจารณา เพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับเตรียมเผชิญความเสี่ยงภัยที่อาจเกิดขึ้นเมื่อรถไฟความเร็วสูงเปิดดำเนินการในอนาคต

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) สามารถวิเคราะห์ผลกระทบจากการสั้นสะเทือนของรถไฟต่อโครงสร้างอาคารเพื่อหาความเสี่ยงที่จะเกิดขึ้นต่อตัวอาคาร
- 2) สามารถศึกษาผลกระทบจากการสั้นสะเทือนต่อโครงสร้างอาคารที่อาจรุนแรงขึ้นจากรถไฟความเร็วสูงเพื่อที่สามารถวางแผนรับมือป้องกันในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

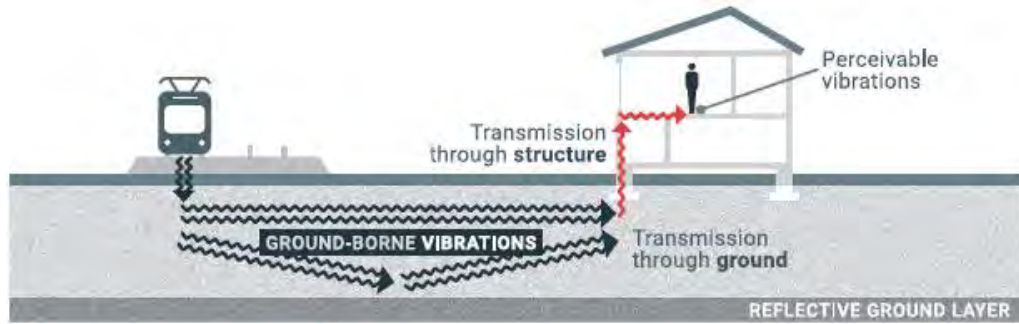
ในการท วิจัยครั้งนี้ได้อาศัยทฤษฎีแนวความคิด และเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยได้ศึกษา การสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นจากรถไฟ, การวัดการสั่นสะเทือนที่อยู่ใกล้รางรถไฟ, การวิเคราะห์สัญญาณที่เกิดจากแรงสั่นสะเทือนของรถไฟ, การวิเคราะห์โครงสร้างอาคารจากการสั่นสะเทือน, ข้อก าหนดความปลอดภัยสำหรับอาคารสั่นสะเทือนที่เกิดจากรถไฟ

2.1 การสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นจากรถไฟ

อ้างอิงจาก Paul de Vos [3] การสั่นสะเทือนสามารถรับรู้ได้หรือไม่ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ได้แก่ ระยะทางไปยังแหล่งกำเนิด ความเร็ว และประเภทของการจราจร คุณภาพของถนนหรือประเภทของเส้นทาง และการถมดินและการก่อสร้างอาคาร การที่ดำเนินการต่างๆในดิน (เช่นการวางท่อระบายน้ำเป็นต้น) หรือแม้แต่ในอาคารที่อยู่ติดกันอาจทำให้เกิดการสั่นสะเทือนหรือเสียงรบกวนจากพื้นดินเพิ่มขึ้น แต่การสั่นสะเทือนที่เกิดจากรถไฟที่แล่นผ่านนั้นอ่อนแอเกินไปที่จะก่อให้เกิดความเสียหายต่ออาคาร อย่างไรก็ตามผู้อยู่อาศัยที่ได้รับผลกระทบจากแรงสั่นสะเทือนอาจรู้สึกรำคาญและอาจแสดงถึงความกังวล ระดับความรู้สึกสั่นสะเทือนที่ถูกปิดบังด้วยเสียงรบกวนยังสามารถมีบทบาทได้เช่นเดียวกับความไวส่วนบุคคล

มีการสังเกตเห็นการสั่นสะเทือนที่เกิดจากทางรถไฟเป็นครั้งแรกและระบุว่าเป็นปัญหาที่เกี่ยวข้องกับรถไฟใต้ดิน ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมาการสั่นสะเทือนจากเส้นพื้นผิวกำลังได้รับความสนใจมากขึ้น การสั่นสะเทือนมักมาพร้อมกับเสียงรบกวนจากพื้นดิน ความส าคัญสัมพัทธ์ของปรากฏการณ์ทั้งสองนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของดินเป็นหลัก ในประเทศที่มีดินแข็งเช่น หินแข็งเสียงที่เกิดจากพื้นดินโดยทั่วไปมีความส าคัญมากกว่าการสั่นสะเทือนและความถี่ในการสั่นสะเทือนที่โดดเด่นจะสูงกว่า (เช่นประมาณ 50 เฮิร์ตซ์) ในประเทศที่มีดินอ่อนเช่นดินเหนียวหรือพีทการสั่นสะเทือนอาจมีความสาคัญมากกว่าเสียงที่เกิดจากพื้นดินและความถี่ในการสั่นสะเทือนที่โดดเด่นจะต่ำกว่า (ประมาณ 5 เฮิร์ตซ์) ความแตกต่างของชนิดของดินนี้เป็นปัจจัยสาคัญที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพและการเลือกมาตรการบรรเทาผลกระทบ

สำหรับทางรถไฟการสั่นสะเทือนมักเกิดจากการสัมผัสระหว่างล้อรถไฟกับรางรถไฟ จากนั้นการสั่นสะเทือนจะเดินทางจากรางผ่านพื้นและเข้าไปในฐานรากของอาคาร โดยทั่วไปความแรงของการสั่นสะเทือนของพื้นดินจะลดลงเมื่อเคลื่อนที่ออกจากราง อย่างไรก็ตามความแรงของการสั่นสะเทือนอาจเพิ่มขึ้นเมื่อการสั่นสะเทือนเคลื่อนตัวขึ้นสู่ภายในอาคารเนื่องจากการสั่นพ้องของโครงสร้างอาคาร



รูปที่ 2-1 ลักษณะของการสั่นสะเทือนที่เกิดจากการจราจรของรถไฟ

ที่มา: Paul de Vos [3]

2.2 การวัดการสั่นสะเทือนที่อยู่ใกล้รางรถไฟ

OANCEA [4] ศึกษาการดำเนินการทดสอบการวัดการสั่นสะเทือนจากรถไฟใน Iasi ในบริเวณสะพาน Nicolina ในระดับพื้นดินใกล้กับทางรถไฟและโรงเรียนในพื้นที่



รูปที่ 2-2 ตำแหน่งของการวัดความเร่ง

ที่มา: OANCEA [4]

จากรูป 2-2 แสดงตำแหน่งของตัววัดความเร่งและประเภทของรถไฟที่มีการบันทึก ตัววัดความเร่งหมายเลขคู่เป็นการบันทึกค่าความเร่งในแนวนานกับพื้นโลก และตัววัดความเร่งหมายเลขคี่เป็นการบันทึกค่าความเร่งในแนวตั้งฉากกับพื้นโลก โดยจุดที่ทำการติดตั้งตัววัดความเร่ง Acc 0 และ Acc 1 อยู่บริเวณใกล้กับรถไฟ จุดที่ทำการติดตั้งตัววัดความเร่ง Acc 2 และ Acc 3 อยู่บริเวณทางเข้า และจุดที่ทำการติดตั้งตัววัดความเร่ง Acc 4 และ Acc 5 อยู่บริเวณใกล้กับโรงเรียน

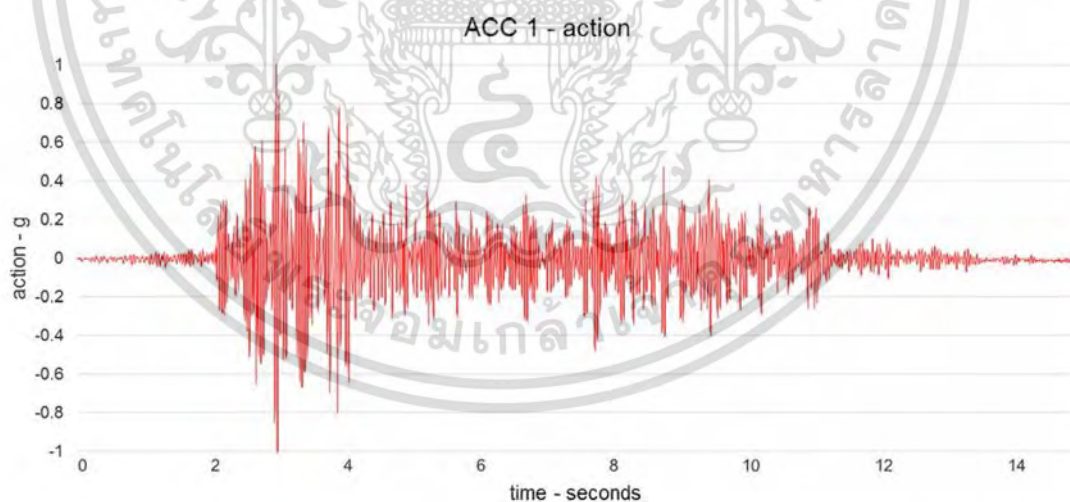
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-3 ลักษณะการติดตั้งตัววัดความเร่ง

ที่มา: OANCEA [4]

ท การใช้ซอฟต์แวร์ ESAM CF ข้อมูลที่ส่งจากตัววัดความเร่งไปยังระบบการจัดการ ESAM Traveler เพื่อน ไปประมวลผล การสั่นสะเทือนที่เกิดจากการกระทำของรถไฟเป็นสัญญาณแบบสุ่มไม่คงที่ เป็นสัญญาณที่เปลี่ยนแปลงไปตามกาลเวลา ดังรูป 2-4



รูปที่ 2-4 การบันทึกค่าความเร่งของตัววัดความเร่ง Acc 1 (แนวตั้งฉากกับพื้นโลก)

ที่มา: OANCEA [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปแสดงถึงลักษณะของค่าความเร่งของตัววัดความเร่ง Acc 1 ที่บันทึกได้ ซึ่งท การวัดค่าในแนวตั้งฉากกับพื้นโลก โดยแกนตั้งคือค่าความเร่งของรถไฟมีหน่วยเป็นความโน้มถ่วงพื้นผิว หรือ g แกนนอนคือเวลามีหน่วยเป็นวินาที

2.3 การวิเคราะห์สัญญาณที่เกิดจากแรงสั่นสะเทือนของรถไฟ

R. Burdzik [5] ทาการวิเคราะห์คุณสมบัติการแพร่กระจายของคลื่นสั่นสะเทือนในระหว่างการทดลองสัญญาณโดยจะถูกบันทึกใน 3 แกน ได้แก่ คลื่นตามยาว (Longitudinal Wave), คลื่นตามขวาง (Transverse Wave) และคลื่นแนวตั้ง ความเร็วของการแพร่กระจายโดยเฉพาะของคลื่นถูกกำหนดโดยสมการ

$$v_l = \sqrt{\frac{E(1-\nu)}{(1-\nu)(1-2\nu)\rho}} \quad (2.1)$$

$$v_t = \sqrt{\frac{E}{2(1+\nu)\rho}} \quad (2.2)$$

$$v_s = 0.96v_t \quad (2.3)$$

โดยที่ v_l คือ ความเร็วคลื่นตามยาว (Longitudinal Wave)

v_t คือ ความเร็วคลื่นตามขวาง (Transverse Wave)

v_s คือ ความเร็วคลื่นผิวดินในแนวตั้ง

E คือ โมดูลัสของยัง (Young's modulus)

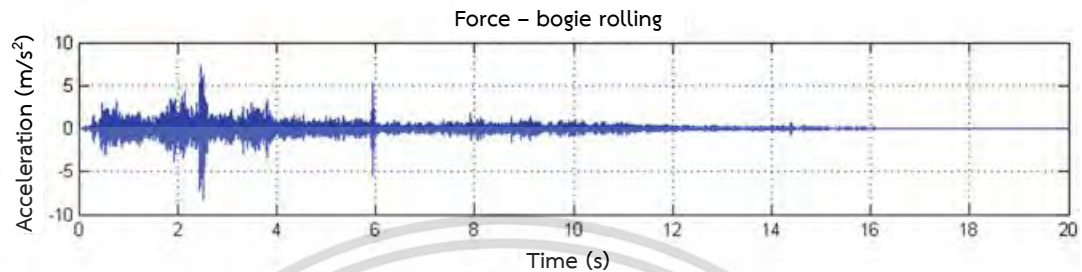
ν คือ อัตราส่วนของปัวซอง (Poisson's ratio)

ρ คือ ความหนาแน่น (density)

รูปแบบของคลื่นของการสั่นสะเทือนที่นาเสนอนั้นแตกต่างกัน แต่อาจเป็นเรื่องยากที่จะอธิบายตัวประมาณค่าโดเมนเวลาโดยพิจารณาจากค่าแอมพลิจูด ดังนั้นจึงมีการตัดสินใจที่จะทาการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับสเปกตรัมการสั่นสะเทือนซึ่งช่วยในการระบุส่วนประกอบความถี่ของการสั่นสะเทือน สัญญาณถูกแสดงในโดเมนของความถี่โดยการประยุกต์ใช้การแปลงฟูเรียร์ (Fourier transform) การแปลงฟูเรียร์สามารถแสดงเป็นสูตร

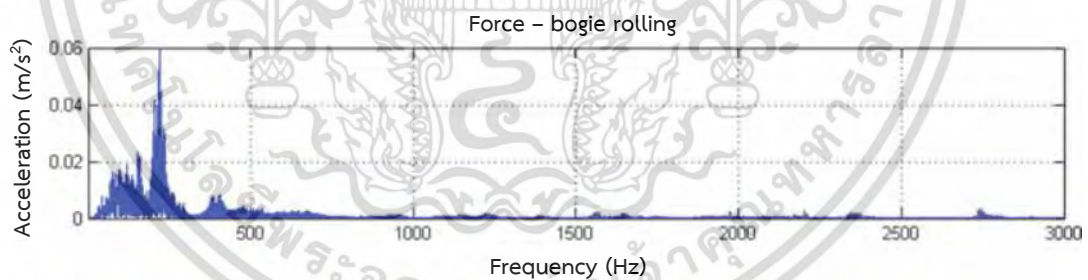
$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \cdot e^{-i2\pi\omega t} dt \quad (2.4)$$

ในขอบเขตของการประมวลผลสัญญาณส่วนใหญ่จะใช้ในการแปลงฟังก์ชัน $f(t)$ ซึ่งต่อเนื่องกันในโดเมนของเวลาเป็นฟังก์ชัน $F(\omega)$ ต่อเนื่องในโดเมนของความถี่ ดังนั้นเราจึงได้สเปกตรัมของสัญญาณ



รูปที่ 2-5 รูปคลื่นของการสั่นสะเทือนที่ถูกสร้างขึ้นจากยานพาหนะเคลื่อนที่ผ่านราง
ในโดเมนของเวลา
ที่มา: R. Burdzik [5]

จากรูป 2-5 แสดงถึงลักษณะของค่าการสั่นสะเทือนที่ถูกสร้างขึ้นจากยานพาหนะเคลื่อนที่ผ่านรางที่บันทึกได้ ซึ่งหากการวัดค่าในแนวตั้งฉากกับพื้นโลก โดยแกนตั้งคือค่าความเร่งของรถไฟมีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที กำลังสอง แกนนอนคือเวลามีหน่วยเป็นวินาที และลักษณะของคลื่นการสั่นสะเทือนที่การประยุกต์ใช้การแปลงฟูเรียร์ดังรูป 2-6



รูปที่ 2-6 รูปคลื่นของการสั่นสะเทือนที่ถูกสร้างขึ้นจากยานพาหนะเคลื่อนที่ผ่านราง
ในโดเมนของความถี่
ที่มา: R. Burdzik [5]

จากรูปแสดงถึงลักษณะของค่าการสั่นสะเทือนที่ถูกสร้างขึ้นจากยานพาหนะเคลื่อนที่ผ่านรางที่บันทึกได้ ซึ่งหากการวัดค่าในแนวตั้งฉากกับพื้นโลก โดยแกนตั้งคือค่าความเร่งของรถไฟมีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที กำลังสอง แกนนอนคือความถี่มีหน่วยเป็นเฮิรตซ์

2.4 การวิเคราะห์โครงสร้างอาคารจากการสั่นสะเทือน

ทางการศึกษาทฤษฎีหรืองานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์โครงสร้างอาคารจากการสั่นสะเทือน เช่น การศึกษาเกี่ยวกับโหมดการสั่นหรือความถี่ธรรมชาติของอาคาร, วิธีวิเคราะห์การตอบสนองเชิงเส้นแบบประวัติเวลา, วิธีแรงสถิติเทียบเท่า และวิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมด (Modal Response Spectrum Analysis, RSA)

2.4.1 Eigenvalue analysis

วิธีการอ้างอิงจาก Analysis for Civil Structures [6] โหมดการสั่นและคาบธรรมชาติของการสั่นสะเทือนของ MDOF Structure แบบไม่มีตัวหน่วงสามารถหาได้จากสมการที่ 2.5

$$[K]\{\phi_n\} = \omega_n^2[M]\{\phi_n\} \quad (2.5)$$

โดยที่ $[K]$ คือ เมทริกซ์ของความแข็ง (Stiffness matrix)

$[M]$ คือ เมทริกซ์ของมวล (Mass matrix)

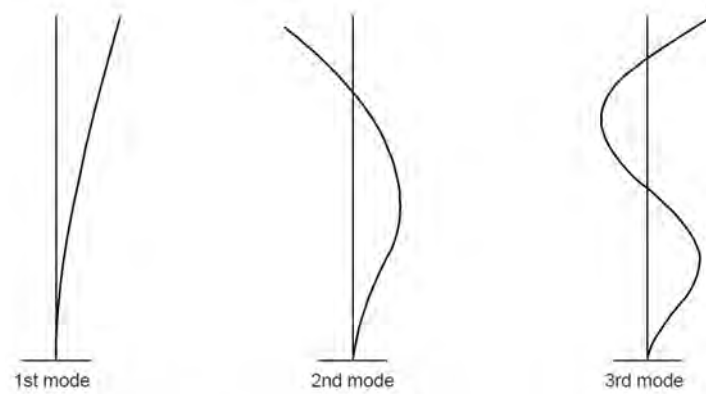
ω คือ Eigenvalue ของโหมดล าดับที่ n (n-th Mode eigenvalue)

$\{\phi_n\}$ คือ Eigenvector ของโหมดล าดับที่ n (n-th Mode shape)

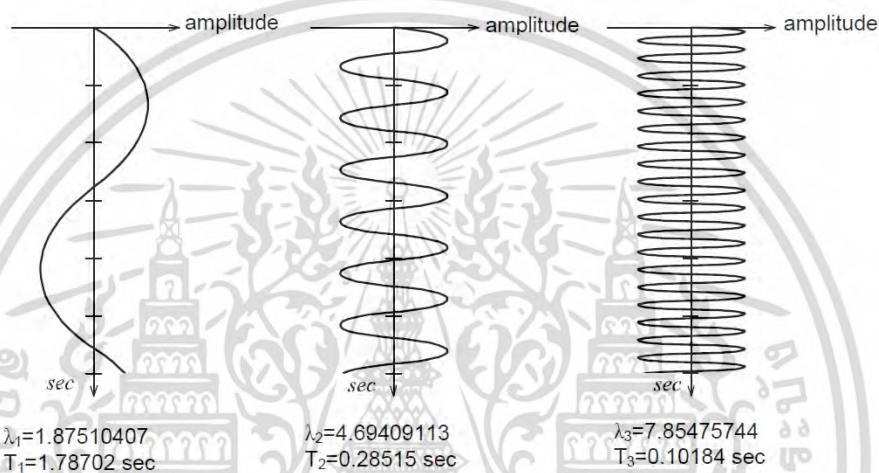
การวิเคราะห์ Eigenvalue สำหรับการสั่นสะเทือนแบบอิสระ (Free vibration analysis) และใช้ในการวิเคราะห์ลักษณะของโครงสร้างทางไดนามิก ลักษณะทางไดนามิกที่ได้จากการวิเคราะห์ Eigenvalue ได้แก่ โหมดการสั่น (Mode shapes), คาบการสั่นสะเทือนตามธรรมชาติ (ความถี่ธรรมชาติ) และปัจจัยเกี่ยวกับโหมดล จากลักษณะที่กล่าวมานี้ถูกกำหนดด้วยมวลและความแข็งของโครงสร้าง

โหมดการสั่นสะเทือนเป็นรูปแบบของรูปทรงธรรมชาติที่โครงสร้างสั่นสะเทือนหรือทำให้เสียรูปได้อย่างอิสระ โดยรูปร่างของโหมดแรกหรือรูปร่างการสั่นสะเทือนตามธรรมชาติถูกระบุด้วยรูปร่างที่สามารถเปลี่ยนรูปได้โดยใช้พลังงานหรือแรงน้อยที่สุด รูปร่างที่เกิดขึ้นจากพลังงานที่เพิ่มขึ้นจะกำหนดโหมดที่สูงขึ้นตามมา

รูปที่ 2-7 แสดงโหมดการสั่นสะเทือนของคานยี่นที่จัดเรียงตามลำดับความต้องการพลังงานสำหรับรูปร่างที่เปลี่ยนไปโดยเริ่มจากรูปร่างที่เกิดจากพลังงานน้อยที่สุด



(ก) โหมดของการสั่น



(ข) คาบธรรมชาติ

รูปที่ 2-7 โหมดการสั่นสะเทือนและคาบธรรมชาติของคานยื่น

ที่มา: Analysis for Civil Structures [6]

จากรูปที่ 2-7 พบว่าโหมดที่ 1 มีคาบธรรมชาติมากกว่าโหมดที่ 2 และโหมดที่ 2 มีค่ามากกว่าโหมดที่ 3 ตามลำดับ ทำให้ความถี่ธรรมชาติในโหมดที่ 1 มีค่าน้อยกว่าโหมดที่ 2 และโหมดที่ 2 มีค่ามากกว่าโหมดที่ 3 ตามลำดับ ดังนั้นลักษณะของการสั่นสะเทือนในโหมดที่ 1 ทำให้รูปร่างของคานยื่นเปลี่ยนแปลงไปน้อยกว่าลักษณะของการสั่นสะเทือนในโหมดที่ 2 และ 3

คาบธรรมชาติของการสั่นสะเทือนคือเวลาที่จำเป็นในการทำให้การเคลื่อนที่ของการสั่นสะเทือนอิสระครบหนึ่งรอบในโหมดธรรมชาติที่สอดคล้อง

ต่อไปนี้จะอธิบายถึงวิธีการหาคาบธรรมชาติของระบบอิสระระดับเดียว (Single Degree of Freedom : SDOF) สมมติว่าไม่มีการหน่วงและแรงในสมการการเคลื่อนที่ที่ควบคุมของระบบ SDOF เราจะได้สมการเชิงอนุพันธ์เชิงเส้น ลำดับที่ 2 (สมการ 2.6) แสดงถึงการสั่นสะเทือนแบบอิสระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = p(t) \quad (2.6)$$

$$m\ddot{u} + ku = 0 \quad (2.7)$$

โดยที่ m คือ มวลของระบบ (Mass)

\ddot{u} คือ ความเร่ง (Acceleration)

c คือ ความหน่วง (Damping)

\dot{u} คือ ความเร็ว (Velocity)

k คือ ความแข็ง (Stiffness)

เนื่องจาก u คือ ระยะเวลาการเคลื่อนที่เนื่องจากการสั่นสะเทือน ถ้าเราสมมติคำตอบทั่วไป (general solution) $u = A\cos\omega t$ โดยที่ A คือค่าคงที่ของแอมพลิจูดที่เกี่ยวข้องกับระยะเวลาการเคลื่อนที่เริ่มต้น ดังนั้น สมการ 2.7 สามารถเขียนได้ดังนี้

$$(-m\omega^2 + k)A\cos\omega t = 0 \quad (2.8)$$

เพื่อให้เป็นไปตาม (สมการ 2.8) ค่าของในวงเล็บต้องเป็นศูนย์ซึ่งนำไปสู่ (สมการ 2.9)

$$\omega^2 = \frac{k}{m}, \omega = \sqrt{\frac{k}{m}}, f = \frac{\omega}{2\pi}, T = \frac{1}{f} \quad (2.9)$$

โดยที่ ω^2 คือ Eigenvalue

ω คือ ความถี่ธรรมชาติเชิงมุม

f คือ ความถี่ธรรมชาติ (Natural Frequency)

T คือ คาบธรรมชาติ (Natural Period)

2.4.2 วิเคราะห์การตอบสนองเชิงเส้นแบบประวัติเวลา (Time History Analysis)

อ้างอิงจาก Analysis for Civil Structures [6] สมการสมดุลไดนามิกสำหรับการวิเคราะห์การตอบสนองเชิงเส้นแบบประวัติเวลาสามารถเขียนได้ดังนี้

$$[M] \ddot{u}(t) + [C] \dot{u}(t) + [K] u(t) = p(t) \quad (2.10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ $[M]$ คือ เมทริกซ์ของมวล (Mass matrix)

$[C]$ คือ เมทริกซ์ของตัวหน่วง (Damping matrix)

$[K]$ คือ เมทริกซ์ของความแข็ง (Stiffness matrix)

$p(t)$ คือ เวกเตอร์ของแรงไดนามิก (Dynamic load vector)

\ddot{u} , \dot{u} และ u คือ เวกเตอร์การเร่งความเร็ว, ความเร็วและ การกระจัด

วิเคราะห์การตอบสนองเชิงเส้นแบบประวัติเวลาสามารถหาวิธีแก้สมการสมดุลไดนามิกเมื่อโครงสร้างต้องรับภาระแบบไดนามิก จะคำนวณขนาดของการตอบสนองเชิงโครงสร้าง (ระยะการเคลื่อนตัว, แรงของชิ้นส่วน ฯลฯ) ภายในช่วงเวลาที่กำหนดโดยพิจารณาจากลักษณะไดนามิกของโครงสร้างภายใต้แรงที่ใช่ ซึ่งโปรแกรมใช้วิธี Modal Superposition สำหรับการวิเคราะห์การตอบสนองเชิงเส้นแบบประวัติเวลา

ระยะการเคลื่อนตัวของโครงสร้างได้มาจากวิธี Modal Superposition ของระยะการเคลื่อนที่ของโหมดลซึ่งรักษาลักษณะมุมฉากต่อกัน วิธีนี้ตั้งอยู่บนพื้นฐานของเมทริกซ์ของตัวหน่วง ซึ่งสมมติว่าเมทริกซ์ของตัวหน่วงประกอบด้วยการรวมกันเชิงเส้นของเมทริกซ์มวล ($[M]$) และเมทริกซ์ความแข็ง ($[K]$) ดังที่แสดงด้านล่าง

$$[C] = [\alpha M] + [BK] \quad (2.11)$$

เมทริกซ์จากเวกเตอร์

$$\Phi^T M \Phi \ddot{q}(t) + \Phi^T C \Phi \dot{q}(t) + \Phi^T K \Phi q(t) = \Phi^T F(t) \quad (2.12)$$

Indicial notation

$$m_i \ddot{q}_i(t) + c_i \dot{q}_i(t) + k_i q_i(t) = P_i(t), \quad (i = 1, 2, 3, \dots, m) \quad (2.13)$$

วิธีการแก้ปัญหา ด้วยวิธีโหมดล (Modal method)

$$u(t) = \sum_{i=1}^m \phi_i p(t) \quad (2.14)$$

Modal shape โหมดที่ i

$$q_i(t) = e^{-\xi_i \omega_i t} \left[q_i(0) \cos \omega_{Di} t + \frac{\xi_i \omega_i q_i(0) + \dot{q}_i(0)}{\omega_{Di}} \sin \omega_{Di} t \right] + \frac{1}{m_i \omega_{Di}} \int_0^t P_i(\tau) e^{-\xi_i \omega_i (t-\tau)} \sin \omega_{Di} (t-\tau) d\tau \quad (2.15)$$

โดยที่ $\omega_{Di} = \omega_i \sqrt{1 - \xi_i^2}$
 α, β คือ สัมประสิทธิ์ของ Rayleigh
 ζ_i คือ สัมประสิทธิ์ความหน่วงของโหมดที่ i
 ω_i คือ ความถี่ธรรมชาติของโหมดที่ i
 ϕ_i คือ โหมดการสั่นที่ i
 $q_i(t)$ คือ ค่าตอบสนองสำหรับสมการ SDF โหมดที่ i

เมื่อวิธีวิเคราะห์การตอบสนองเชิงเส้นแบบประวัติเวลา ระยะการเคลื่อนตัวของโครงสร้างจะถูกกำหนดโดยการรวมผลคูณของรูปร่างแต่ละโหมดและค่าตอบสนองสำหรับสมการโมดอลที่สอดคล้องกัน ดังแสดงใน (สมการ 2.14) ความแม่นยำขึ้นอยู่กับจำนวนโหมดที่ใช้ วิธีการ Modal Superposition นี้มีประสิทธิภาพมากและเป็นผลให้ใช้กันอย่างแพร่หลายในการวิเคราะห์ไดนามิกเชิงเส้นสำหรับโครงสร้างขนาดใหญ่

2.4.3 วิธีแรงสถิตเทียบเท่า

อ้างอิงจาก นิตกร แสงสว่าง [7] วิธีแรงสถิตเทียบเท่าเป็นวิธีการคำนวณอย่างง่ายสำหรับการคำนวณแรงแผ่นดินไหวเพื่อทำการหาแรงเฉือนที่ฐานของอาคาร (Seismic Base Shear, V) ซึ่งจะขึ้นอยู่กับน้ำหนักโครงสร้างประสิทธิผล (W) และ สัมประสิทธิ์การตอบสนองของแผ่นดินไหว (C_s) ดังสมการที่ 2.16

$$V = C_s W \quad (2.16)$$

โดยที่สัมประสิทธิ์การตอบสนองของแผ่นดินไหวสามารถหาได้จาก

$$C_s = S_a \left(\frac{I}{R} \right) \geq 0.01g \quad (2.17)$$

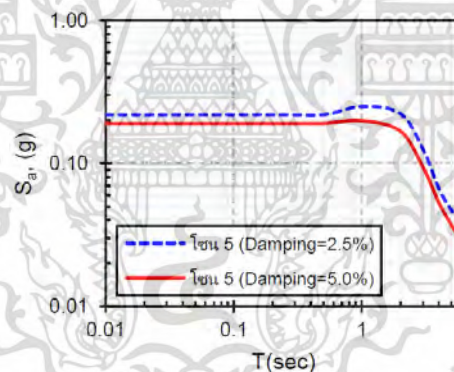
โดยที่ S_a คือ ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม
 I คือ ค่าตัวประกอบความสำคัญอาคาร
 R คือ ค่าตัวประกอบปรับผลตอบสนอง

ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม (S_a) สามารถหาได้จากการปรับแก้ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมที่คาบการสั่น 0.2 วินาที (S_s) และค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมที่คาบการสั่น 1 วินาที (S_1) ซึ่งต้องปรับแก้ค่าด้วยสัมประสิทธิ์สำหรับชั้นดินที่ตั้งของอาคาร ที่คาบการสั่น 0.2 วินาที (F_a) และที่คาบการสั่น 1 วินาที (F_v) จากนั้นจะสามารถหาค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบที่คาบการสั่น 0.2 วินาที (S_{Ds}) และที่คาบการสั่น 1 วินาที (S_{D1}) ดังสมการที่ 2.18 และสมการที่ 2.19

$$S_{Ds} = \frac{2}{3} F_a S_s \quad (2.18)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} F_v S_1 \quad (2.19)$$

ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม (S_a) สามารถหาได้จากการใช้กราฟโดยคิดผลเนื่องจากคาบการสั่นของอาคารสำหรับพื้นที่ที่มีค่า $S_{D1} < S_{Ds}$ ตามรูปที่ 2-8



รูปที่ 2-8 ความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า สำหรับโซน 5 ของพื้นที่ในแอ่งกรุงเทพฯ ที่มา: มยผ.1301/1302-61 [8]

คาบการสั่นพื้นฐาน(Fundamental Period, T) อ้างอิงจาก มยผ.1301/1302-61 [8] สามารถคำนวณได้ 2 วิธี ได้แก่ วิธีที่ 1 คาบการสั่นพื้นฐานของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก คำนวณได้จากสูตร

$$T = 0.02H \quad (2.20)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ H คือ ความสูงของอาคารวัดจากพื้นดิน มีหน่วยเป็นเมตร และวิธีที่ 2 คำนวณได้จากกระจายมวลหรือน้ำหนักอาคาร และค่าความแข็งของระบบโครงสร้างต้านแรงต้านข้าง ซึ่งค่าการสั่นพื้นฐานที่ได้จากวิธีนี้ต้องไม่เกิน 1.5 เท่าของวิธีที่ 1

การหาค่าการเคลื่อนตัวในแนวราบที่ศูนย์กลางมวลของชั้นใดๆ (δ_x) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.21

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I} \quad (2.21)$$

โดยที่ C_d คือ ตัวประกอบขยายค่าการโก่งตัว

δ_{xe} คือ ค่าการเคลื่อนตัวในแนวราบที่จุดศูนย์กลางมวลของชั้น x เนื่องจากแรงสถิตเทียบเท่าที่ได้จากวิธีวิเคราะห์โครงสร้างสำหรับระบบอีลาสติก

I คือ ค่าตัวประกอบความสาคัญของอาคาร

นอกจากนี้ยังสามารถหาค่าการเคลื่อนตัวสัมพันธ์ (Story Drift, Δ) ได้จากผลต่างของการเคลื่อนตัวในแนวราบของชั้นบนและชั้นล่าง

2.4.4 วิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมด (Modal Response Spectrum Analysis, RSA)

อ้างอิงจาก นิตกร แสงสว่าง [7] การออกแบบด้วยวิธีนี้จะต้องคำนวณค่าการสั่นและมีรูปร่างโหมดธรรมชาติของการสั่นของโครงสร้างหลายโหมด และยังต้องมีค่าอัตราส่วนความหน่วงต้องสอดคล้องกับอัตราส่วนความหน่วงของอาคาร โดยจำนวนโหมดต้องมีเพียงพอที่จะทำให้ผลรวมของน้ำหนักประสิทธิผลเชิงโหมด (Effective Model Weight) มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 90 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักประสิทธิผลทั้งหมดของอาคารสำหรับในแต่ละทิศของแรงแผ่นดินไหวในแนวราบที่ตั้งฉากกัน

แรงเฉือนรวมที่ฐาน (Total Base Shear, V_t) สามารถคำนวณได้จากผลรวมจากหลายโหมดด้วยวิธีการที่สองของผลรวมของค่ากำลังสอง (Square Root of Sum of Squares, SRSS) หรือวิธีรวมแบบค่าสัมบูรณ์ของค่ากำลังสอง (Complete Quadratic Combination, CQC) โดย $1/R$ คูณกับทุกโหมด จะได้แรงเฉือนที่ฐาน ดังสมการที่ 2.22

$$V_t = \frac{I}{R} \sqrt{V_{b,1e}^2 + V_{b,2e}^2 + V_{b,3e}^2 + \dots} \quad (2.22)$$

โดยที่ $V_{b,1e}$, $V_{b,2e}$, $V_{b,3e}$ คือ แรงเฉือนรวมที่ฐานในโหมด 1, 2, 3 ตามลำดับ ของระบบ ยืดหยุ่นเชิงเส้น (Linear Elastic), I คือ ตัวประกอบความสำคัญ (Important Factor), R คือ ตัวประกอบปรับผลตอบแทน (Response Modification Factor)

จากนั้นปรับแก้ค่าแรงภายในที่ใช้ในการออกแบบด้วยวิธีพลศาสตร์ด้วยการคูณค่าตัวประกอบปรับค่า (Scaling Factor, S_F) ดังสมการที่ 2.23

$$S_F = 0.85 \frac{V}{V_t} \quad (2.23)$$

โดยที่ V คือ ค่าแรงเฉือนที่ฐาน (Base Shear, V) ที่สามารถหาได้จากวิธีแรงสถิตเทียบเท่า กรณีการค านวนค่าแรงเฉือนสำหรับการออกแบบชิ้นส่วนโครงสร้าง (Individual Vertical Member) ส าหรับโหมดแรก สามารถค านวนได้ดังสมการที่ 2.24

$$V = I \sqrt{\left(\frac{S_F \Omega_0 V_{1e}}{R}\right)^2 + V_{2e}^2 + V_{3e}^2 + \dots} \quad (2.24)$$

โดยที่ V_{1e} , V_{2e} , V_{3e} คือ แรงเฉือนในระบบยืดหยุ่นเชิงเส้นในโหมดที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ, Ω_0 คือ ตัวประกอบกำลังส่วนเกิน สามารถเรียกรวมวิธีการนี้ว่า Modified Response Spectrum Analysis (MRSA) เป็นวิธีการปรับการค านวนแรงเฉือนที่ใช้ออกแบบโดยพิจารณาจากโหมดที่สูงที่สุด เป็นแบบยืดหยุ่นเชิงเส้น ซึ่งแต่ละแกนจะแยกการค านวนออกจากกันส าหรับแกน X และแกน Y

ค่าการเคลื่อนตัวในแนวราบที่ศูนย์กลางมวลของชั้นใดๆ (δ) สามารถค านวนได้จากสมการที่ 2.25

$$\delta = \frac{C_d}{R} \sqrt{\delta_{1e}^2 + \delta_{2e}^2 + \delta_{3e}^2 + \dots} \quad (2.25)$$

โดยที่ δ_{1e} , δ_{2e} , δ_{3e} คือการเคลื่อนตัวในระบบยืดหยุ่นเชิงเส้นในโหมดที่ 1, 2, 3 ตามลำดับ, C_d คือตัวประกอบขยายค่าการโก่งตัว และค่าการเคลื่อนตัวสัมพันธ์ (Story Drift, Δ) สามารถค านวน ได้จากสมการที่ 2.26

$$\Delta = \frac{C_d}{R} \sqrt{\Delta_{1e}^2 + \Delta_{2e}^2 + \Delta_{3e}^2 + \dots} \quad (2.26)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ Δ_{1e} , Δ_{2e} , Δ_{3e} คือการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นในระบบยึดหยุ่นเชิงเส้นในโหมดที่ 1, 2, 3 ตามลำดับ

2.5 แบบจำลองในการทำนายค่าการสั่นสะเทือน

การตอบสนองของระบบโครงสร้างที่มีระดับชั้นความถี่เท่ากับหนึ่งต่อแรงแบบขั้นบันได (Step Response of a SDOF System) เป็นการตอบสนองต่อแรงภายนอกในรูปแบบที่ไม่ใช่ฮาร์มอนิก จากการอ้างอิงจาก Stephen Kuchnicki [9] พบว่าแรงแบบขั้นบันไดกระทำต่อระบบทันทีและคงที่ตลอดไปไม่มีที่สิ้นสุด มีเงื่อนไขที่ระยะเวลาเริ่มต้นเป็นศูนย์ สมการเคลื่อนที่ของระบบคือ

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = F(t) \quad (2.27)$$

จากสมการที่ 2.27 ทหารด้วย m ตลอดทั้งสมการ ซึ่ง $\omega_n^2 = k/m$, $c = \zeta/c_r$ และ $c_r = 2m\omega_n$ โดยที่ ω_n คือ ความถี่ธรรมชาติแบบไม่มีความหน่วง (Undamped natural frequency), ζ คือ อัตราส่วนความหน่วง (damping ratio), c_r คือสัมประสิทธิ์ตัวหน่วงการสั่นสะเทือนวิกฤต (Critical damping coefficient) ดังนั้นสมการเคลื่อนที่ของระบบคือ

$$\ddot{x} + 2\zeta\omega_n\dot{x} + \omega_n^2x = F(t)/m \quad (2.28)$$

โดยที่

$$F(t) = \begin{cases} 0 & \text{ถ้า } 0 < t < t_0 \\ F_0 & \text{ถ้า } t \geq t_0 \end{cases} \quad (2.29)$$

ในการแก้สมการเชิงอนุพันธ์ ใช้วิธีการ คอนวอลูชันอินทิกรัล (convolution integral)

$$x(t) = \int_0^t F(\tau)g(t-\tau)d\tau \quad (2.30)$$

คอนวอลูชันอินทิกรัลเป็นการตอบสนองรวมของระบบในขณะที่มีอิมพัลส์ย่อยทั้งหมดกระทำ โดยการตอบสนองของระบบต่อหนึ่งหน่วยอิมพัลส์คือ

$$x(t) = \frac{F_0}{m\omega_d} e^{-\zeta\omega_n t} \sin\omega_d t = F_0 g(t) \quad (2.31)$$

หรือ

$$g(t) = \frac{1}{m\omega_d} e^{-\zeta\omega_n t} \sin\omega_d t \quad (2.32)$$

ดังนั้น

$$x(t) = \frac{1}{m\omega_d} e^{-\zeta\omega_n t} \int_0^t F(\tau) e^{\zeta\omega_n \tau} \sin\omega_d(t-\tau) d\tau \quad (2.33)$$

แทนค่า $F(t)$ ลงในสมการจะได้

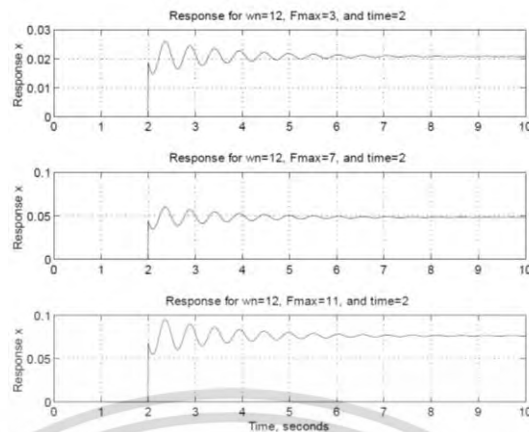
$$x(t) = \frac{1}{m\omega_d} e^{-\zeta\omega_n t} \left\{ \int_0^{t_0} (0) e^{\zeta\omega_n \tau} \sin\omega_d(t-\tau) d\tau + \int_{t_0}^t F_0 e^{\zeta\omega_n \tau} \sin\omega_d(t-\tau) d\tau \right\} \quad (2.34)$$

เทอมแรกของในวงเล็บปีกกาเป็นศูนย์ เนื่องจากช่วงเวลา $t < t_0$ การตอบสนองของระบบเป็นศูนย์ สำหรับการหาการตอบสนองของระบบในช่วงเวลาอื่นทั้งหมดได้จากการอินทิกรัลในเทอมที่สอง ซึ่งมีค่าการตอบสนองของระบบดังนี้

$$x(t) = \frac{F_0}{k} \left\{ 1 - \frac{1}{\sqrt{1-\zeta^2}} e^{-\zeta\omega_n(t-t_0)} \cos[\omega_d(t-t_0) - \phi] \right\}, t \geq t_0 \quad (2.35)$$

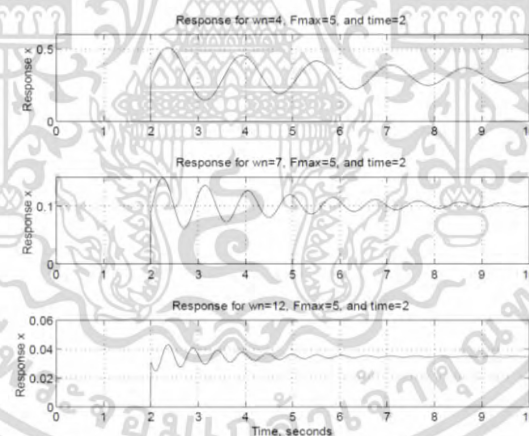
โดยที่ $\omega_d =$ ความถี่ธรรมชาติแบบมีความหน่วง (Damped natural frequency) มีค่าเท่ากับ $\omega_n \sqrt{1-\zeta^2}$, $\phi = \arctan \zeta / \sqrt{1-\zeta^2}$ สมการนี้เป็นการตอบสนองของระบบในช่วงเวลาหลังจากมีแรงมากระทำ ซึ่งการตอบสนองของระบบในช่วงเวลาก่อนมีแรงมากระทำ เป็นศูนย์

จากรูปที่ 2-9 เป็นการตอบสนองของระบบโครงสร้างที่มีระดับชั้นความเสรีเท่ากับหนึ่งต่อแรงแบบขั้นบันไดที่แตกต่างกัน พบว่าขนาดของแรงภายนอกแปลผันตรงกับขนาดของการตอบสนองของระบบ และขนาดของแรงภายนอกทำให้การตอบสนองของระบบมีจุดศูนย์กลางของการสั่นไม่อยู่ที่ศูนย์ มวลของระบบจะแกว่งรอบระยะที่มากกว่าศูนย์ ซึ่งค่าของจุดศูนย์กลางขึ้นอยู่กับแรงภายนอก เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-9 กราฟการตอบสนองของระบบโครงสร้างที่มีระดับชั้นความเสริเท่ากับหนึ่งต่อแรงแบบ
ชั้นบันไดที่แตกต่างกัน

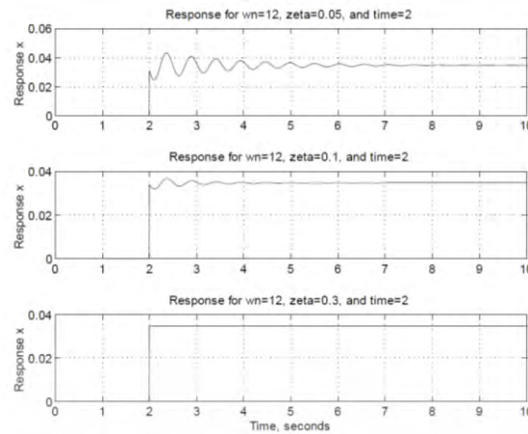
จากรูปที่ 2-10 เป็นการตอบสนองของระบบโครงสร้างที่มีระดับชั้นความเสริเท่ากับหนึ่งต่อแรงแบบชั้นบันไดที่มีความถี่ธรรมชาติของระบบที่แตกต่างกัน พบว่าความถี่ธรรมชาติที่เพิ่มขึ้นทำให้การตอบสนองของระบบคงที่เร็วขึ้นและทำให้ความถี่ของการสั่นลดลง



รูปที่ 2-10 กราฟการตอบสนองของระบบโครงสร้างที่มีระดับชั้นความเสริเท่ากับหนึ่งต่อแรงแบบ
ชั้นบันไดที่มีความถี่ธรรมชาติของระบบที่แตกต่างกัน

จากรูปที่ 2-11 เป็นการตอบสนองของระบบโครงสร้างที่มีระดับชั้นความเสริเท่ากับหนึ่งต่อแรงแบบชั้นบันไดที่มีอัตราส่วนการหน่วงแตกต่างกัน พบว่าอัตราส่วนการหน่วงเพิ่มขึ้นทำให้ระยะเวลาในการหน่วงการสั่นสะเทือนลดลง สำหรับอัตราส่วนการหน่วงที่มีค่าเท่ากับ 0.3 การหน่วงนั้นเพียงพอที่จะทำให้ไม่มีการสั่นรอบจุดศูนย์กลาง $x = 1.5$ และพบว่ามุมของเฟสของการสั่นสะเทือนเปลี่ยนแปลงไปตามอัตราส่วนการหน่วง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-11 กราฟการตอบสนองของระบบโครงสร้างที่มีระดับชั้นความเสียดทานหนึ่งต่อแรงแบบ
ขั้นบันไดที่มีอัตราส่วนการหน่วงแตกต่างกัน

การตอบสนองของระบบโครงสร้างที่มีระดับชั้นความเสียดทานหนึ่งต่อการพัลส์รูปสี่เหลี่ยม (Response of SDOF Systems to Square Pulse Inputs) จากการอ้างอิงจาก Stephen Kuchnicki [9] พบว่าพัลส์รูปสี่เหลี่ยม (Square Pulse) คือพัลส์ที่มีขนาดคงที่ในระยะเวลาหนึ่ง ในการวิเคราะห์การตอบสนองของระบบต่อพัลส์รูปสี่เหลี่ยม คลื่นรูปสี่เหลี่ยมจะเป็นผลรวมของสองช่วง step function โดยที่ช่วงแรกจะให้แรงขนาดคงที่ และหลังจากช่วงเวลาหนึ่งจะให้แรงที่มีขนาดตรงกันข้าม เพื่อหักล้างกับแรงในช่วงแรก ทำให้ผลลัพธ์เหมือนกับการนำแรงภายนอกที่กระทำออกจากระบบ

สมมติว่าขนาดของพัลส์รูปสี่เหลี่ยมที่มีขนาดคือ F_0 และมีระยะเวลาคือ t_1 วินาที เริ่มต้นด้วยการให้แรงขนาด F_0 จากเวลา $t = 0$ และกระทำต่อระบบด้วยขนาดคงที่จนถึงเวลา t_1 จากนั้นให้แรงที่มีขนาดเท่ากับ $-F_0$ กระทำเพื่อหักล้างกับแรงในช่วงแรกด้วยวิธี superposition

ในช่วงแรกการตอบสนองของระบบโครงสร้างที่มีระดับชั้นความเสียดทานหนึ่งต่อแรงแบบขั้นบันได ที่มีลักษณะของการสั่นสะเทือนเช่นเดียวกับสมการที่ 2.35 ของขนาด F_m ที่ใช้ในเวลา t_0 คือ:

$$x(t) = \frac{F_m}{k} \left\{ 1 - \frac{1}{\sqrt{1-\zeta^2}} e^{-\zeta\omega(t-t_0)} \cos[\omega_d(t-t_0) - \phi] \right\}, t \geq t_0 \quad (2.36)$$

โดยที่ $\phi = \arctan\zeta/\sqrt{1-\zeta^2}$ พิจารณาการตอบสนองแยกกันเป็นสองช่วง โดยการตอบสนองของระบบในเวลา $t = 0$ เป็น $x_1(t)$ พบว่า

$$x(t) = x_1(t) = \frac{F_0}{k} \left\{ 1 - \frac{1}{\sqrt{1-\zeta^2}} e^{-\zeta\omega t} \cos[\omega_d t - \phi] \right\}, 0 < t \leq t_1 \quad (2.37)$$

ซึ่งเป็นการตอบสนองของระบบในช่วงเวลา 0 ถึง t_1 จากนั้นในช่วงที่สองการสั่นสะท้อนจะ
ให้แรงทิศทางตรงข้าม $-F_0$ จะได้

$$x_2(t) = \frac{-F_0}{k} \left\{ 1 - \frac{1}{\sqrt{1-\zeta^2}} e^{-\zeta\omega(t-t_1)} \cos[\omega_d(t-t_1) - \phi] \right\}, t \geq t_1 \quad (2.38)$$

น การสั่นสะท้อน $x_1(t)$ และ $x_2(t)$ มารวมกันจะได้

$$x(t) = x_1(t) + x_2(t) \quad (2.39)$$

$$x(t) = \frac{F_0}{k} \left\{ 1 - \frac{1}{\sqrt{1-\zeta^2}} e^{-\zeta\omega t} \cos[\omega_d t - \phi] \right\} + \frac{-F_0}{k} \left\{ 1 - \frac{1}{\sqrt{1-\zeta^2}} e^{-\zeta\omega(t-t_1)} \cos[\omega_d(t-t_1) - \phi] \right\} \quad (2.40)$$

$$x(t) = \frac{F_0 e^{-\zeta\omega t}}{k\sqrt{1-\zeta^2}} \{ e^{\zeta\omega t_1} \cos[\omega_d(t-t_1) - \phi] - \cos(\omega_d t - \phi) \}, t \geq t_1 \quad (2.41)$$

ดังนั้นการตอบสนองทั้งหมดคือ:

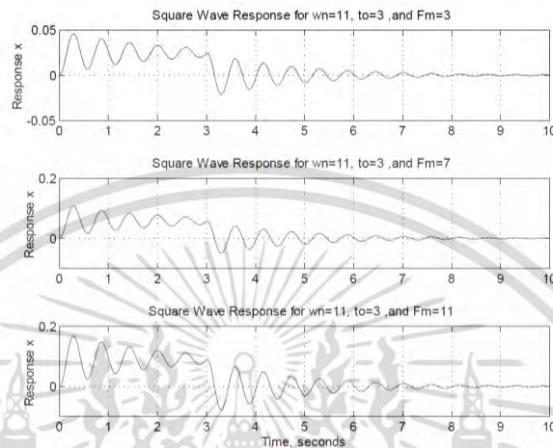
$$x(t) = \frac{F_0}{k} \left\{ 1 - \frac{1}{\sqrt{1-\zeta^2}} e^{-\zeta\omega t} \cos[\omega_d t - \phi] \right\}, 0 \leq t < t_1, \quad (2.42)$$

$$x(t) = \frac{F_0 e^{-\zeta\omega t}}{k\sqrt{1-\zeta^2}} \{ e^{\zeta\omega t_1} \cos[\omega_d(t-t_1) - \phi] - \cos(\omega_d t - \phi) \}, t \geq t_1 \quad (2.43)$$

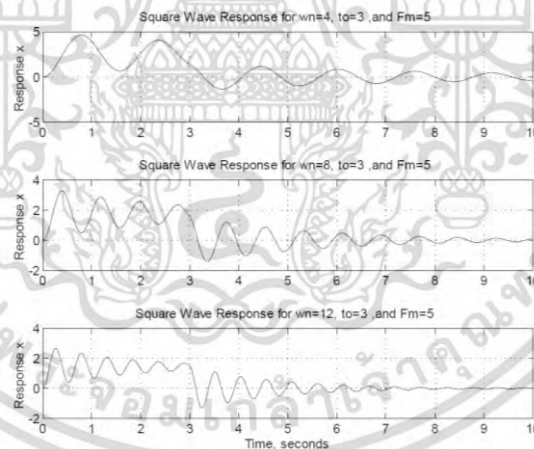
สังเกตว่าหลังจาก t_1 ไม่มีแรงมากระทำ ดังนั้นลักษณะของการสั่นสะท้อนจึงเป็นการสั่น
เช่นเดียวกับการสั่นอิสระ

การเคลื่อนที่ของจุดศูนย์กลางของการสั่นแสดงดังรูปที่ 2-12 ซึ่งเป็นการทดสอบค่า F_0 ที่
แตกต่างกันสามค่า การสั่นเริ่มต้นโดยประมาณจุดศูนย์กลางที่ $x = F_0/k$ ถ้าขนาดของแรงในช่วงแรก
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และช่วงที่สองมีขนาดเท่ากันแต่มีทิศตรงข้ามกัน จุดศูนย์กลางจะกลับเป็นศูนย์ และถ้าขนาดของแรงในช่วงที่ 2 ไม่เท่ากับช่วงแรก โดยให้แรงในช่วงที่ 2 คือ F_1 ในกรณีนี้จุดศูนย์กลางของการสั่นหลังจากช่วงเวลา t_2 จะอยู่ที่ $x = (F_0 - F_1)/k$ ผลลัพธ์อีกประการหนึ่งที่ได้ชัดคือการเปลี่ยนแปลงของ F_0 ทำให้ขนาดของการสั่นเพิ่มขึ้นตามที่คาดไว้จากสมการ 2.31

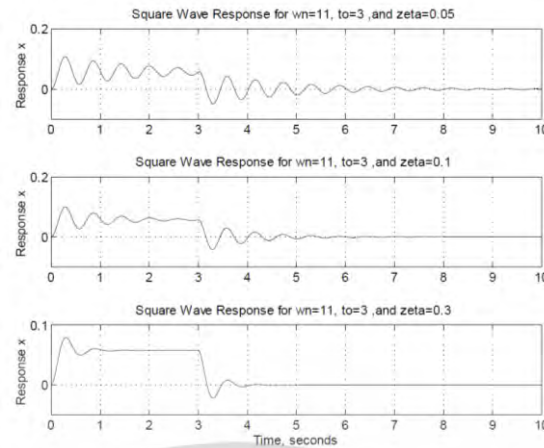


รูปที่ 2-12 กราฟของการตอบสนองของระบบต่อแรงที่มีขนาดแตกต่างกันสามขนาด
ที่มา: Stephen Kuchnicki [9]



รูปที่ 2-13 การตอบสนองของระบบต่อพัลส์สี่เหลี่ยมที่มีความถี่ธรรมชาติที่แตกต่างกัน
ที่มา: Stephen Kuchnicki [9]

รูปที่ 2-13 แสดงผลของการเปลี่ยนความถี่ธรรมชาติ สังเกตว่าจุดเปลี่ยนเกิดขึ้นเมื่อมีการให้แรงในช่วงที่ 2 ซึ่งมีการเปลี่ยนลักษณะการสั่นอย่างกะทันหัน โดยการเปลี่ยนแปลงจะเกิดขึ้นอย่างกะทันหันมากขึ้นเมื่อความถี่ธรรมชาติเพิ่มขึ้น แต่การเคลื่อนที่ของมวลยังคงต่อเนื่อง



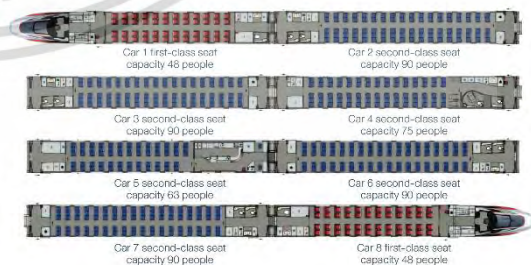
รูปที่ 2-14 ผลของการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนการหน่วงต่อการตอบสนองของระบบจากพัลส์สี่เหลี่ยม

ที่มา: Stephen Kuchnicki [9]

สุดท้ายรูปที่ 2-14 แสดงให้เห็นถึงพฤติกรรมการตอบสนองสำหรับอัตราส่วนการหน่วงที่แตกต่างกันสามแบบ สังเกตว่าอัตราส่วนความหน่วงที่สูง ($\zeta = 0.3$) ทำให้การสั่นสะเทือนทั้งหมดลดลงอย่างรวดเร็ว และเมื่อถึงช่วงเวลา 2 พบว่าช่วงในเวลากการสั่นลดลงตามอัตราส่วนความหน่วงเพิ่มขึ้น

2.6 คุณสมบัติของรถไฟความเร็วสูงของโครงการรถไฟความเร็วสูงในประเทศไทย

ประเภทของรถไฟความเร็วสูงที่วางแผนจะใช้ในประเทศไทย ได้แก่ รถไฟความเร็วสูงที่พัฒนา ร่วมกับจีน โดยรุ่นของรถไฟความเร็วสูงที่ใช้คือรถไฟความเร็วสูงที่ถูกผลิตโดยบริษัท CRRC รุ่น Fuxing Hao (CR300AF) หรือฟู่ซิงเห่าว ซึ่งสามารถใช้ในประเทศไทยด้วยความเร็วสูงสุด 250 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ขนาดรางที่จะใช้มีขนาด 1.435 เมตร (European standard guage) มีจำนวนตู้ขบวนทั้งหมด 8 ตู้ขบวน โดยจะถูกใช้ในโครงการรถไฟความเร็วสูงไทย-จีน (กรุงเทพฯ-หนองคาย)



รูปที่ 2-15 รถไฟความเร็วสูง ฟู่ซิงเห่าว

ที่มา:รถไฟความเร็วสูงไทย – จีน [10]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Railway Technology [11] กล่าวถึงการออกแบบรถไฟความเร็วสูงฟู้ซิงห่าว ซึ่งเป็น การออกแบบตามหลักอากาศพลศาสตร์ช่วยลดแรงต้านของอากาศและทำให้รถไฟสามารถเข้าถึงความเร็ว ในการปฏิบัติงานที่สูงขึ้น และลดค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานโดยการลดปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ โดย รถไฟมีให้เลือกสองแบบคือรุ่นมาตรฐานแปดตู้ขบวนและรุ่นสิบหกตู้ขบวน

รถไฟรุ่นแปดตู้ขบวนมีความยาว 209 เมตรและความกว้าง 3.36 เมตร มีน้ำหนักสูงสุดต่อ เพลาที่ 17 ตัน และสามารถรองรับผู้โดยสารได้สูงสุด 556 คน

รถไฟรุ่นสิบหกตู้ขบวนมีความยาว 414.26 เมตรและความกว้าง 3.36 เมตร และมีความจุที่ นั่งส าหรับผู้โดยสาร 1,200 คน

ซึ่งถูกออกแบบมาให้วิ่งบนรางแบบไม่มีหินโรยทางของโครงข่ายรถไฟความเร็วสูงในจีน ฟู้ซิง ห่าวมุ่งเน้นในการออกแบบที่จะให้ภายในกว้างขวางและประสบการณ์การเดินทางที่สะดวกสบาย ส าหรับผู้โดยสาร

ภายนอกของรถไฟตกแต่งด้วยโทนสีแดงหรือทอง ชั้นหนึ่งของรถไฟมีที่นั่งที่สะดวกสบายซึ่ง สามารถปรับให้ราบเป็นเตียงได้ ที่นั่งยังมีพนักพิงศีรษะที่ปรับได้และเว้นระยะห่างเพื่อให้มีพื้นที่วางขา ที่สะดวกสบาย ส าหรับผู้โดยสาร โดยผู้โดยสารสามารถชาร์จโทรศัพท์หรือแล็ปท็อปโดยใช้ปลั๊กไฟที่อยู่ บนที่นั่งและสามารถเข้าถึงการเชื่อมต่อ Wi-Fi แบบไม่จ ากัดของรถไฟได้ฟรี

ประตูที่เป็นระบบอัตโนมัติทำให้การเข้าและออกของผู้โดยสารเป็นไปอย่างราบรื่น ระบบ แสดงข้อมูลที่นั่งจะแสดงหมายเลขที่นั่งและสถานะการว่าง

รถไฟฟู้ซิงห่าวยังมีระบบตรวจสอบบนรถไฟที่ลดความเร็วอัตโนมัติในกรณีฉุกเฉิน ประสิทธิภาพของรถไฟถูกตรวจสอบโดยพอร์ตการตรวจสอบประมาณ 2,500 จุด

ปัจจุบันรถไฟความเร็วสูงฟู้ซิงห่าวดำเนินการบนเส้นทางรถไฟความเร็วสูงสายหลักในประเทศ จีน รวมถึงสายปักกิ่ง-เซี่ยงไฮ้ ปักกิ่ง-ซีอาน และปักกิ่ง-เทียนจิน คาดว่าจะให้บริการเชื่อมต่อความเร็ว สูงไปยัง 16 เมืองหลักในประเทศจีน

2.7 แนวความคิด และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Bahrekazemi [12] กล่าวว่าปัญหาของการสั้นสะเทือนที่เกิดในพื้นที่ดินเนื่องจากการจรรจร ของรถไฟมีการเชื่อมโยงสามจุดเช่น แหล่งที่มาของการสั้นสะเทือนจากรถไฟ เส้นทางกระจายการ สั้นสะเทือน (เส้นทางกระจาย) และตัวรับการสั้นสะเทือน การทำความเข้าใจว่าขั้นตอนทั้ง สามนี้มีผลต่อสถานการณ์การสั้นสะเทือนเป็นสิ่งส คัญในการท นายและบรรเทาปัญหาที่เกิดจากการ สั้นสะเทือน

Persson [13] แสดงให้เห็นว่าล้อแต่ละล้อทำหน้าที่เป็นพาหนะในการเคลื่อนที่ในขณะที่ รถไฟกำลังเคลื่อนที่ การสัมผัสระหว่างล้อรถไฟและรางทำให้เกิดแรงกระตุ้นแบบไดนามิกเนื่องจาก ความคลาดเคลื่อนประเภทต่างๆในล้อและโครงสร้างราง นอกจากนี้หากความเร็วของรถไฟสูงกว่า เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเร็ววิกฤตที่กำหนดก็จะสามารถสังเกตการสั่นสะเทือนเพิ่มเติมได้ จากนั้นแบบจำลองเชิงประจักษ์สำหรับหาค่าพารามิเตอร์การสั่นสะเทือนความถี่ต่ำจากการจราจรทางรถไฟบนดินอ่อนได้รับการพัฒนาโดย Norwegian Geotechnical Institute

Madshus [14] แสดงแบบจำลองที่มีสูตรทางสถิติทำนายทั้งค่าที่คาดหวังและขีดจำกัดความเชื่อมั่นที่เกี่ยวข้อง แบบจำลองนี้ใช้ในการวางแผน Gardemobanen (รถไฟความเร็วสูงระหว่างออสโล (Oslo) และสนามบิน) แบบจำลองคาดการณ์การสั่นสะเทือนกลางอาคารซึ่งตั้งอยู่ห่างจากแนวรถไฟ

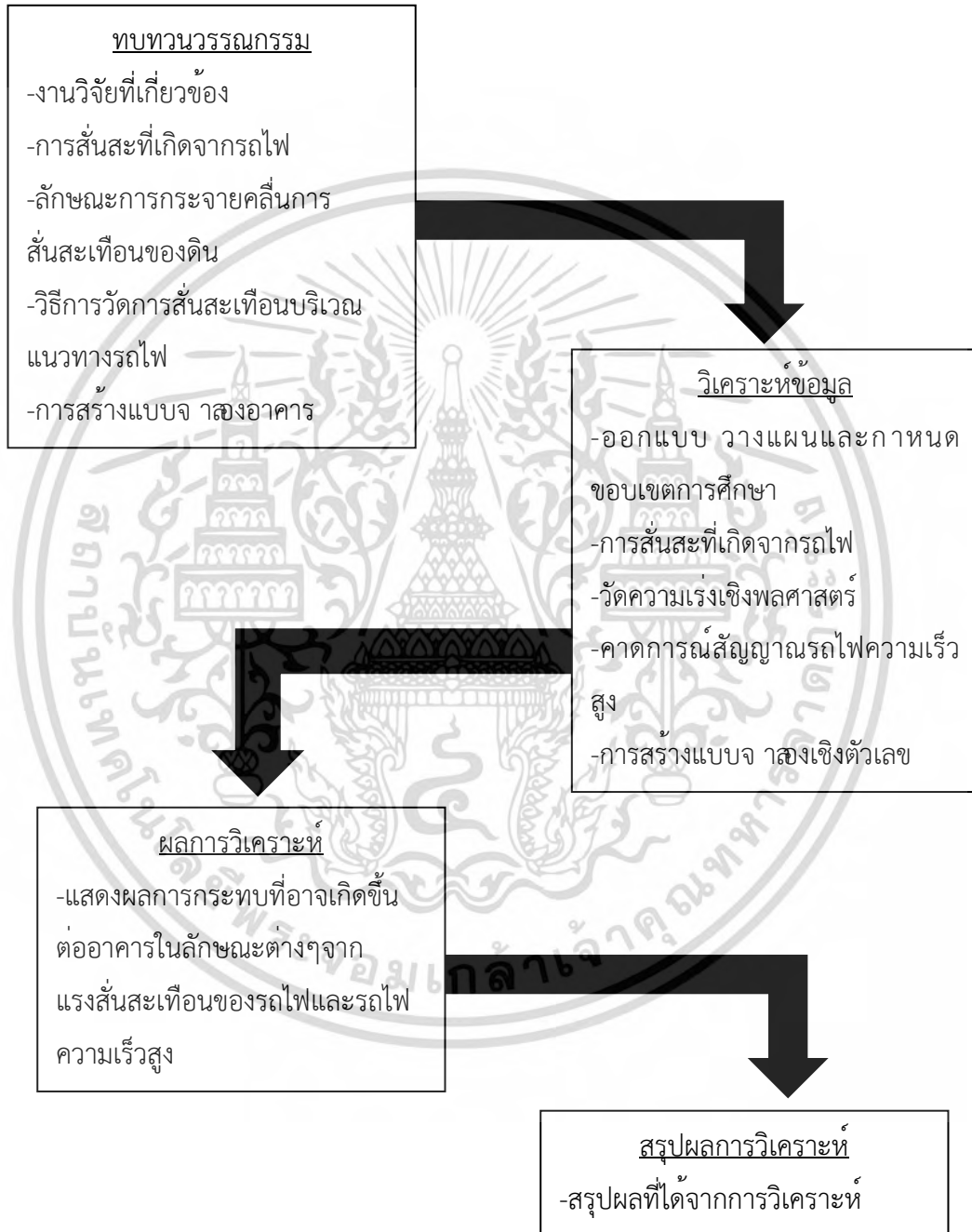
International Organization for Standardization [15] ให้แนวทางในการวัดการสั่นสะเทือนและผลกระทบต่ออาคาร ตามมาตรฐานนี้ระยะเวลาของแรงกระตุ้นแบบไดนามิกเป็นตัวแปรสำคัญสำหรับความถี่และช่วงของความถี่ของการสั่นสะเทือน ประเภทและสภาพของอาคาร ความถี่ธรรมชาติ และตัวหน่วง ขนาดของฐานและดินในพื้นที่เป็นสิ่งที่จำเป็นในการพิจารณาเป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับอาคาร

Martin et al [16] ได้ทำการศึกษาโครงสร้างของทางรถไฟ ซึ่งจากการศึกษาพบว่าโครงสร้างของทางรถไฟโดยทั่วไปสามารถแบ่งค่าความแข็งของโครงสร้างทางรถไฟเป็นสองช่วง ได้แก่โครงสร้างทางที่มีความอ่อนจะมีค่าความแข็งของโครงสร้างทางรถไฟอยู่ที่ 30-40 kN/mm และโครงสร้างทางที่มีความแข็งจะมีค่าความแข็งของโครงสร้างทางรถไฟอยู่ที่ 40-70 kN/mm

Sungil Kim [17] ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ความหน่วงของโครงสร้างทางรถไฟ (Damping ratio) ได้ทำการศึกษาสองแบบได้แก่ แบบมีหินโรยทางและแบบไม่มีหินโรยทาง โดยได้ระบุว่าโครงสร้างทางรถไฟแบบมีหินโรยทาง มักจะมีค่าสัมประสิทธิ์ความหน่วงของโครงสร้างทางรถไฟอยู่ในช่วง 1.45-2.5 เปอร์เซ็นต์

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในงานวิจัยนี้จะท การศึกษาการสำรวจภาคสนาม (Field Research) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลของการสิ้นสเทือนจากรถไฟความเร็วปกติ จากนั้นท ทาวิเคราะห์กับแบบจำลองเชิงตัวเลขของโครงสร้างอาคารขนาดต่างๆ เช่น อาคารขนาดใหญ่ที่มีความซับซ้อน อาคารขนาดกลาง และอาคารขนาดเล็ก นอกจากนี้นำตัวแปรจากคลื่นการสิ้นสเทือนคาคการณ์คลื่นการสิ้นสเทือนจากรถไฟความเร็วสูงที่จะถูกใช้งานในอนาคตด้วยวิธีพลศาสตร์เพื่อนำไปทาการวิเคราะห์กับแบบจำลองโครงสร้างอาคาร เพื่อตรวจสอบความปลอดภัยของอาคารในบริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังจะได้รับผลกระทบของการสิ้นสเทือนดังกล่าวมาน้อยเพียงใด

3.1 การวิเคราะห์การสิ้นสเทือนจากรถไฟ

ทาการสำรวจพื้นที่และสภาพแวดล้อมบริเวณเส้นทางของรถไฟที่ผ่านสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และศึกษาแหล่งก าเนิดขมคลื่นการสิ้นสเทือนจากรถไฟ

3.1.1 ประเภทของรถไฟและระบบขนส่งทางรางบริเวณพื้นที่ สจล.

รถไฟที่เคลื่อนผ่านบริเวณพื้นที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังเป็นประเภททีเอชเอ็น (THN) [18] รถไฟประเภททีเอชเอ็นเป็นรถไฟประเภทรถไฟดีเซลราง สามารถทาความเร็วได้สูงสุด 110 กิโลเมตรต่อชั่วโมง มีก ลังขับเคลื่อน 235 แรงม้า ที 2,100 รอบต่อนาที รถไฟประเภทนี้ มี น้าหนักเฉพาะตัวรถ 33.500 ตัน น้าหนักขณะทาขบวน 35.322 ตัน และน้าหนักกดเพลลา 12 ตัน ซึ่งมีลักษณะดังรูป 3-1



รูปที่ 3-1 รถไฟประเภท THN

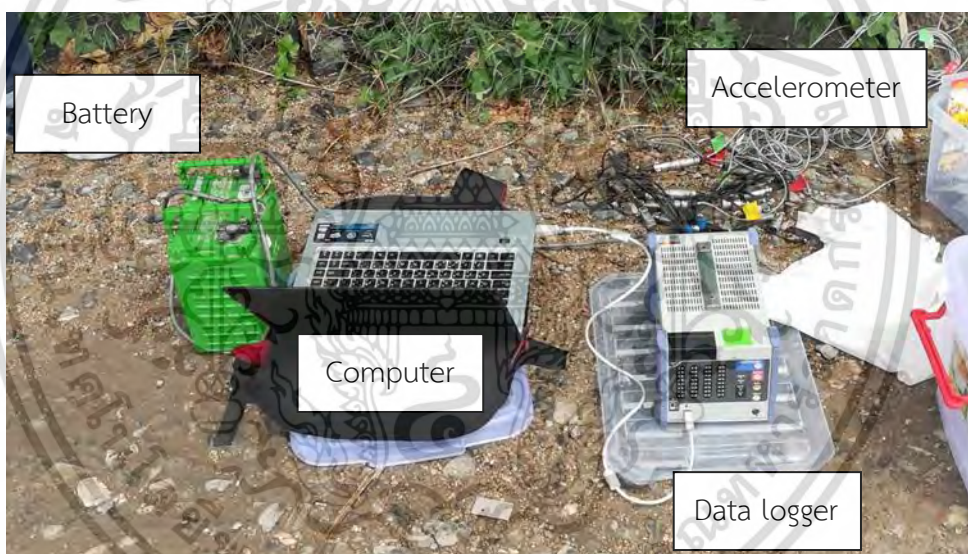
ที่มา : <https://th.wikipedia.org/wiki/ทีเอชเอ็น>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

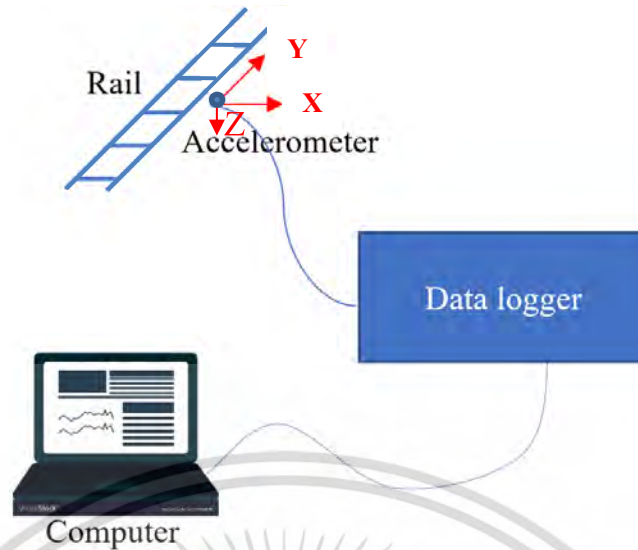
ในบริเวณพื้นที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังมีระบบขนส่งทางรางประเภทระบบขนส่งมวลชนระหว่างเมือง (Intercity Passenger Rail, IPR) [19] ระบบขนส่งทางรางประเภทระบบขนส่งมวลชนระหว่างเมืองมีความเร็วสูงสุดในการดำเนินการอยู่ที่ 100 กม/ชม น้ำหนักลงเพลาสูงสุดไม่เกิน 25 ตัน

3.1.2 วิธีการวัดการสั่นสะเทือนที่อยู่ใกล้แนวรางรถไฟ

การวัดการสั่นสะเทือนที่อยู่ใกล้แนวรางรถไฟทำการวัดโดยใช้เครื่องวัดความเร่งแกนเดียว (Accelerometer) โดยทำการแบ่งเป็นจำนวน 2 ชุดเพื่อทำการวัดสถานีละ 2 จุด และใช้เครื่องวัดความเร่งแกนเดียวจุดละ 3 เครื่อง โดยแต่ละจุดได้ติดตั้งไว้วัดความเร่งแนวราบที่ตั้งฉากกับแนวรางรถไฟ ขนานกับแนวรางรถไฟและแนวตั้ง เมื่อได้ค่าความเร่งที่วัดได้จากเครื่องวัดความเร่งจะถูกส่งเข้าคอมพิวเตอร์ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลด้วยเครื่องบันทึกข้อมูล (Data logger) และประมวลผลโดยอาศัยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ดังแสดงในรูป 3-2



รูปที่ 3-2 การติดตั้งเครื่องวัดความเร่งของการสั่นสะเทือน



รูปที่ 3-3 ทิศทางการติดตั้งเครื่องวัดความเร่งของการสั่นสะเทือน

การติดตั้งเครื่องมือวัดความเร่ง (accelerometer) ร่วมกับอุปกรณ์รวบรวมสัญญาณ (Data logger) และคอมพิวเตอร์แบบพกพา ตามตำแหน่งที่จะกำหนดไว้ โดยมีการวัดทั้งสามแกน คือ แกนตั้งฉากพื้นโลก (แกน Z) แกนตั้งฉากกับแนวรางรถไฟ (แกน X) และแกนขนานกับแนวรางรถไฟ (แกน Y) ในขั้นตอนนี้ใช้ผู้ปฏิบัติงานสองคนและใช้ระยะเวลาพอสมควร เนื่องจากต้องทำการวัดในหลายตำแหน่งและหลายช่วงเวลา ผู้วิจัยได้ทำการเดินทางไปติดตั้งเครื่องมือวัดในบริเวณสถานีของรถไฟฟ้ามหานครเพื่อศึกษาปัจจัยเรื่องความเร็วของขบวนรถ ซึ่งรถไฟฟ้ามหานครมีความเร็วเดินทางสูงกว่ารถไฟปกติที่วิ่งผ่านพื้นที่ สจล. เพื่อนำข้อมูลมาสอบเทียบเคียงกับข้อมูลที่วัดได้ที่ สจล.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3-4 การติดตั้งเครื่องวัดความเร่งของการสั่นสะเทือนบริเวณหมอนรถไฟ

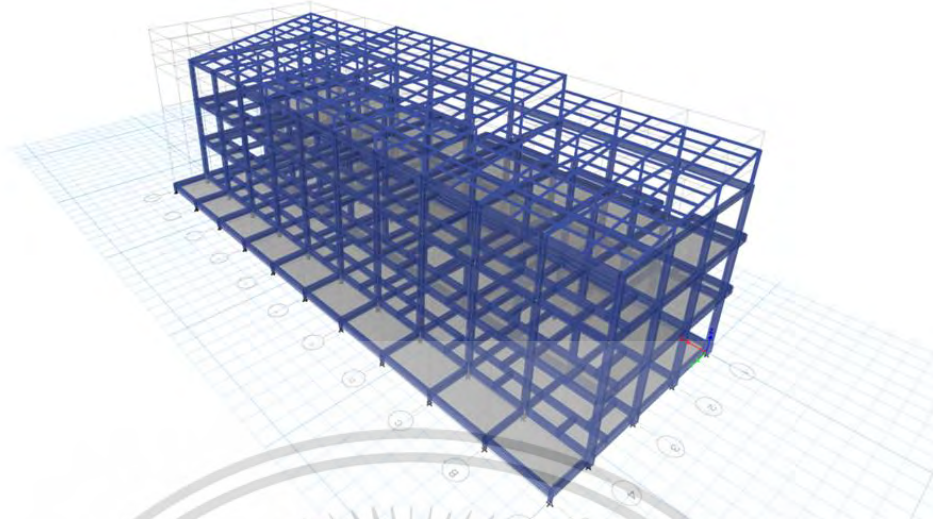
3.2 การรวบรวมข้อมูล วิเคราะห์ข้อมูล และประมวลผลสร้างแบบจำลองโครงสร้างอาคาร

การสร้างแบบจำลองสามมิติของอาคารผู้วิจัยวางแผนจะใช้งานโปรแกรมคอมพิวเตอร์ อาทิ เช่น MIDAS หรือ ETAB [20] ซึ่งมีความสามารถในการคำนวณด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยการเลือกใช้องค์ประกอบของเอลิเมนต์ให้เหมาะสมกับลักษณะอาคารที่พิจารณาและมีการกำหนดสภาพการยึดรั้งที่ฐานของอาคารให้สอดคล้องกับสภาพจริงมากที่สุด แรงกระทำต่อตัวอาคารจะประกอบไปด้วยน้ำหนักสถิตที่ประกอบขึ้นเป็นอาคารกับน้ำหนักจรที่ใช้ในการออกแบบ

การวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองโครงสร้างอาคารจะทำการวิเคราะห์โดยอยู่ในสมมุติฐานของกรณีเลวร้ายที่สุด (worst case) ที่อาจเกิดขึ้นได้ เมื่อมีการสั่นสะเทือนจากรถไฟ ทั้งนี้ ยังไม่รวมการดูดซับแรงสั่นสะเทือนในดิน ที่อาจทำให้แรงแส่นสะเทือนมีค่าน้อยลง ข้อมูลการสั่นสะเทือนที่วัดได้จากขั้นตอนก่อนหน้านี้นี้จะถูกนำมาใช้เป็นคลื่นการสั่นสะเทือนในแต่ละทิศทางที่กระทำต่อฐานรองรับของแบบจำลองอาคารที่สร้างขึ้นโดยตรงเพื่อศึกษาผลการตอบสนองของอาคารภายใต้คลื่นการสั่นสะเทือนที่มาจากรถไฟความเร็วสูง ผลตอบสนองจะประกอบไปด้วยตัวแปรทางพลศาสตร์ที่สำคัญต่อการวิเคราะห์โครงสร้าง เช่น ค่าความถี่ธรรมชาติของอาคาร โหมดของการสั่น ค่าการเคลื่อนตัวของอาคาร ค่าความเร่ง ค่าแรงเฉือนที่กระทำต่อฐานอาคาร เป็นต้น ซึ่งข้อมูลเหล่านี้สามารถนำไปใช้ในอนาคตสำหรับการเปรียบเทียบผลกับมาตรฐาน ความปลอดภัยสำหรับโครงสร้าง

3.2.1 แบบจำลองอาคารขนาดเล็ก

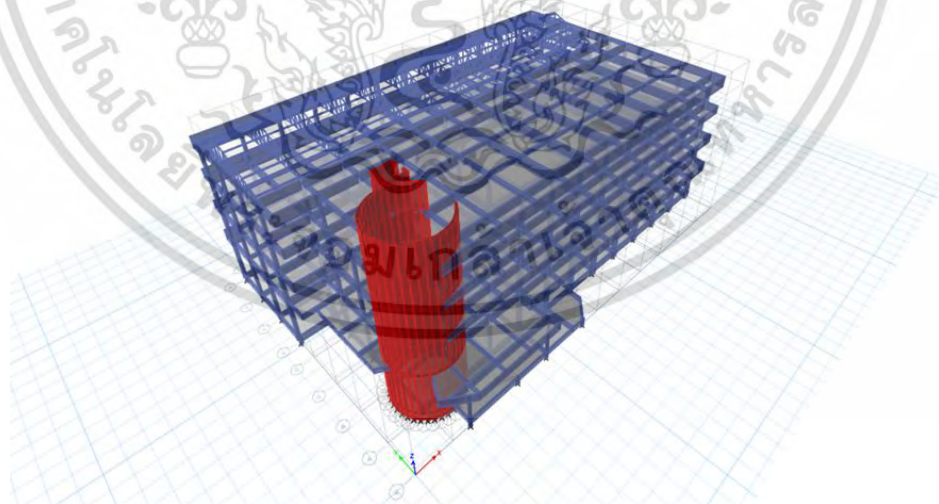
แบบจำลองอาคารขนาดเล็ก โดยกำหนดให้เป็นอาคารที่มีความสูงไม่เกิน 3 ชั้น โดยได้ทำการสร้างแบบจำลองอาคารพาณิชย์ขนาด 3 ชั้น ซึ่งเป็นอาคารไม่เกิน 3 ชั้น ดังรูปที่ 3-5 เป็นตัวแทนของอาคารขนาดเล็ก ซึ่งลักษณะของโครงสร้างจะมีความซับซ้อนน้อย เพื่อใช้สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูล ซึ่งออกแบบโดยใช้ใช้งานโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยให้รายละเอียดในการออกแบบให้คล้องกับแบบแปลนของอาคาร



รูปที่ 3-5 แบบจำลองอาคารขนาดเล็ก

3.2.2 แบบจำลองอาคารขนาดกลาง

แบบจำลองอาคารขนาดกลาง โดยกำหนดให้เป็นอาคารที่มีความสูง 4 ชั้นขึ้นไป โดยได้ทำการสร้างแบบจำลองอาคารวิศวกรรมเครื่องกล สจล. ดังรูปที่ 3-6 เป็นตัวแทนของอาคารขนาดกลาง ซึ่งเป็นอาคาร 4 ชั้นและมีลักษณะของโครงสร้างที่ซับซ้อนกว่าอาคารขนาดเล็ก เพื่อใช้สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูล ซึ่งออกแบบโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยให้รายละเอียดในการออกแบบให้คล้องคล่องกับแบบแปลนของอาคาร

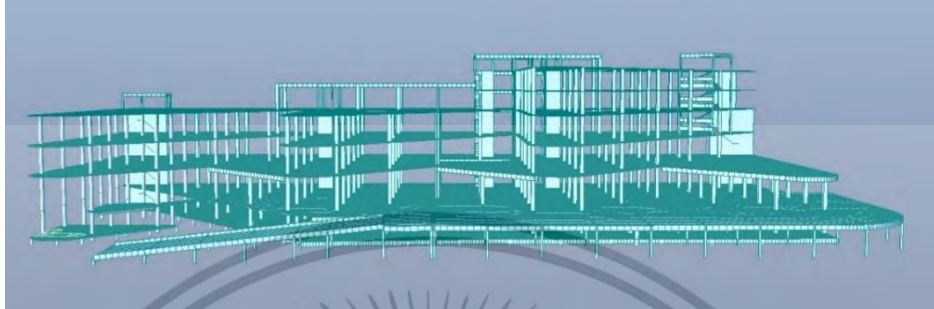


รูปที่ 3-6 แบบจำลองอาคารขนาดกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 แบบจำลองของอาคารที่ซับซ้อน

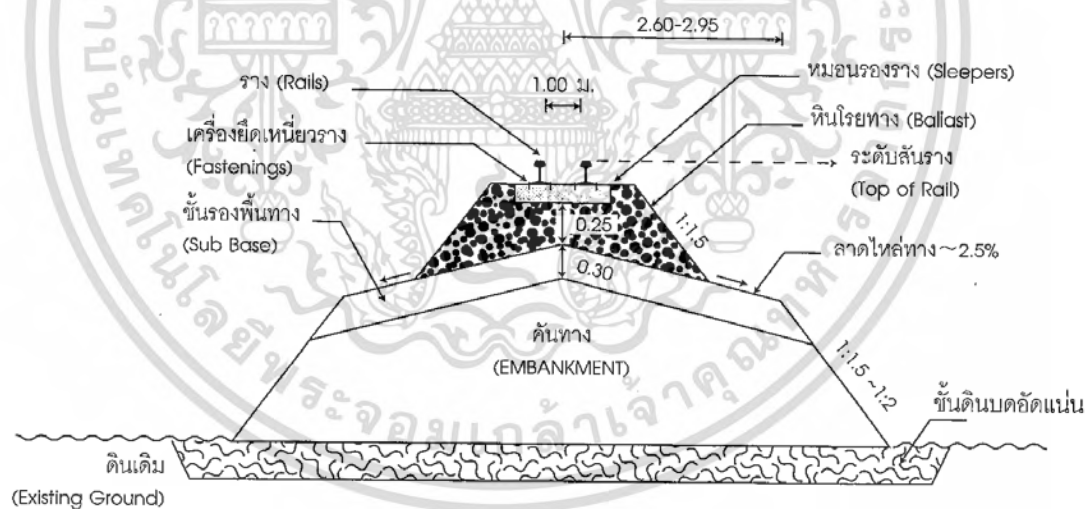
สร้างแบบจำลองของอาคารขนาดใหญ่ที่ซับซ้อน ดังรูปที่ 3-7 ซึ่งเป็นอาคาร 6 ชั้น มีโครงสร้างอาคารที่มีลักษณะซับซ้อน เพื่อใช้สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูล ซึ่งออกแบบโดยใช้ใช้งานโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยให้รายละเอียดในการออกแบบ ให้คล้องคล้องกับแบบแปลนของอาคาร



รูปที่ 3-7 แบบจำลองอาคารขนาดใหญ่หรือมีความซับซ้อน

3.3 การสร้างแบบจำลองเชิงพลศาสตร์ของทางรถไฟ

โครงสร้างทางรถไฟในพื้นที่สถาบันเทคโนโลยีเจ้าคุณทหารลาดกระบังเป็นประเภทแบบมีหินโรยทางอ้างอิงจาก เจน บุญชื่อ[21] ดังแสดงในรูป

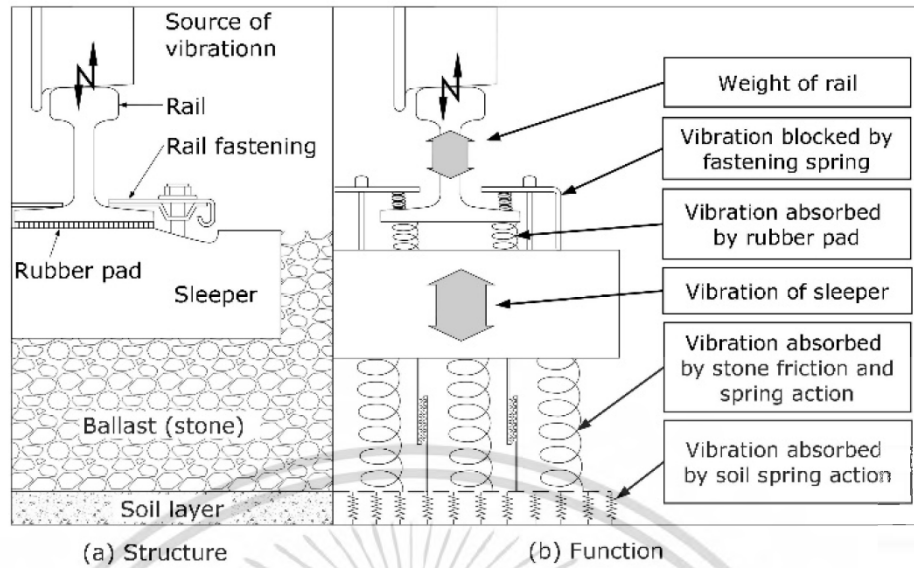


รูปที่ 3-8 โครงสร้างทางรถไฟแบบมีหินโรยทาง

ที่มา : เจน บุญชื่อ [21]

ซึ่งทางรถไฟประกอบไปด้วยองค์ประกอบหลายส่วน ซึ่งจะมีพฤติกรรมการรับน้ำหนักจากล้อของรถไฟ โดยเริ่มจากน้ำหนักของล้อรถไฟกดลงสู่รางรถไฟ จากนั้นจะเกิดแรงกระจายลงสู่หมอนรถไฟ โดยตาแหน่งของแรงที่กระทำผ่านอุปกรณ์ยึดเหนี่ยวราง และหมอนจะกระจายแรงอีกชั้นผ่านทางผิวสัมผัสใต้หมอนลงสู่ชั้นหินโรยทางและลงสู่ชั้นพื้นดิน ดังแสดงในรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3-9 การถ่ายแรงที่กระทำ จากล้อรถไฟกับรางลงสู่พื้นดิน

ที่มา : สนข. มาตรฐานโครงสร้างรถไฟไทย 2561 [22]

จากองค์ประกอบต่างๆบนทางรถไฟ สามารถจำลองให้อยู่ในรูปแบบของระบบมวลและสปริง โดยมีรายละเอียดดังนี้

- ราง (Rails) สามารถจำลองให้มีพฤติกรรมเป็นชิ้นส่วนคาน (beam) เพื่อรับแรงดัดในทางยาว แต่ในกรณีที่ต้องการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนที่มีความถี่สูง อาจจำเป็นต้องคานาถึงพฤติกรรมการเฉือนบนหน้าตัดราง
- อุปกรณ์ยึดเหนี่ยวและแผ่นรองราง (Fastener & Rail pad) สามารถจำลองให้เป็นชิ้นส่วน สปริงและแดมเปอร์
- หมอนรางรถไฟ (Sleeper) สามารถจำลองให้เป็นมวลระหว่างรางและชั้นหินโรยทางในบางกรณีอาจจำลองถึงพฤติกรรมการดัดในแนวยาว และการยืดหยุ่นตัวในแนวตั้งถ้าหมอนท จากวัสดุยืดหยุ่น
- ชั้นหินโรยทาง (Ballast) สามารถจำลองให้มีพฤติกรรมเป็นระบบสปริง และแดมเปอร์ โดยในบางกรณีอาจต้องคำนึงถึงมวลของชั้นหินโรยทางที่มีผลต่อการสั่นสะเทือนของระบบด้วยเช่นกัน
- ชั้นพื้นทาง (Formation) สามารถจำลองให้มีพฤติกรรมเป็นระบบสปริงและแดมเปอร์ โดยในบางกรณีอาจต้องคำนึงถึงมวลของดินในชั้นพื้นทางที่มีผลต่อการสั่นสะเทือนของระบบด้วยเช่นกัน

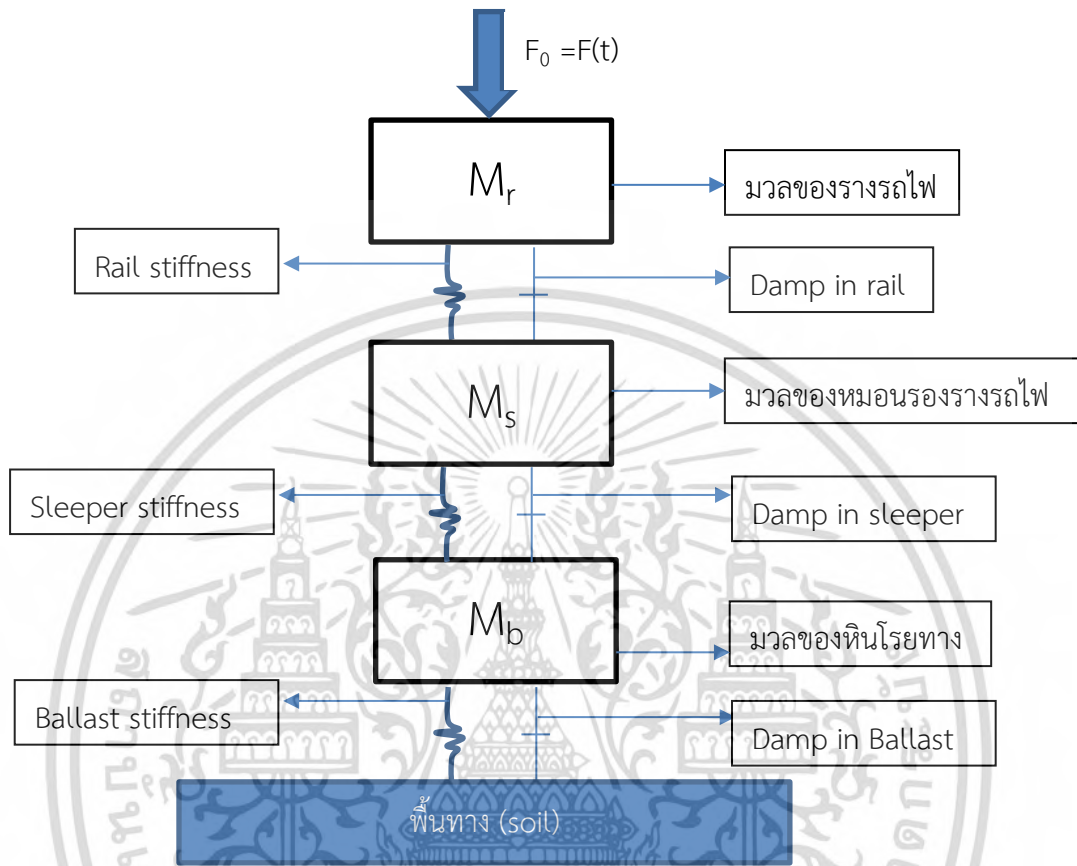
สามารถสร้างแบบจำลองทางพลศาสตร์ของทางรถไฟ ซึ่งโครงสร้างทางรถไฟในพื้นที่ สจล.

เป็นแบบประเภทแบบมีหินโรยทาง ลักษณะของแรงที่กระทำ จากโหลดของเพลลา F_0 กระแทก ลงบนราง

(M) จากนั้นแรงสั่นสะเทือนถูกลดทอนโดยตัวยึดยางและแผ่นยาง จากนั้นถ่ายโอนไปยังหมอนรองราง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

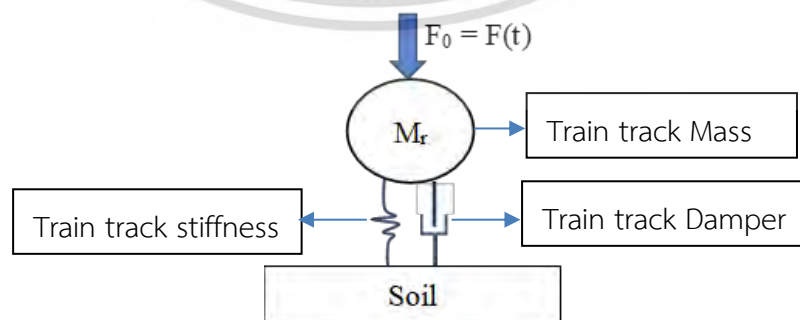
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รถไฟ โดยมีหินโรยทางช่วยลดทอนแรงสั่นสะเทือนเพิ่มก่อนที่จะถ่ายโอนแรงลงสู่ชั้นพื้นทางหรือชั้นดิน โดยสามารถสร้างเป็นแบบจำลองดังรูป 3-8



รูปที่ 3-10 แบบจำลองทางพลศาสตร์การกระเทาะ ระหว่งล้อกับโครงสร้างของทางรถไฟ

จากนั้นสร้างเป็นแบบจำลองอย่างง่าย โดยกำหนดให้โครงสร้างรางรถไฟเป็นระบบใหญ่ระบบเดียว ดังรูปที่ 3-9



รูปที่ 3-11 แบบจำลองทางพลศาสตร์อย่างง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากแบบจำลองทางพลศาสตร์อย่างง่ายดังรูปที่ สามารถใช้ทฤษฎีการตอบสนองการสั่นแบบอิสระของระบบที่มีระดับขั้นความเสรีเท่ากับหนึ่ง (Free Vibration Response of Single Degree of Freedom Systems) ดังสมการนี้

$$x(t) = \frac{F_0}{k} \left\{ 1 - \frac{1}{\sqrt{1-\xi^2}} e^{-\xi\omega(t-t_1)} \cos[\omega_d(t-t_1) - \phi] \right\}, 0 \leq t < t_1 \quad (3.1)$$

$$x(t) = \frac{F_0 e^{-\xi\omega t}}{k\sqrt{1-\xi^2}} \{ e^{\xi\omega t_1} \cos[\omega(t-t_1) - \phi] - \cos(\omega_d t - \phi) \}, t \geq t_1 \quad (3.2)$$

โดยที่ F_0 คือแรงที่กระทำทางหน้าของล้อรถไฟที่ผ่านจุดสนใจ

ω คือ ความถี่ธรรมชาติ (Natural frequency), $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$

ω_d คือ ความถี่ธรรมชาติแบบมีตัวหน่วง (Damped natural frequency)

$$\omega_d = \omega\sqrt{1-\xi^2}$$

k คือ ความแข็งของโครงสร้างทางรถไฟ (Train track stiffness)

ξ คือ สัมประสิทธิ์ความหน่วงของโครงสร้างทางรถไฟ (Damping ratio)

ϕ คือ มุมเฟส (Phase angle), $\phi = \arctan\xi/\sqrt{1-\xi^2}$

โดยทั้งสองสมการเป็นการตอบสนองของระบบโครงสร้างที่มีระดับขั้นความเสรีเท่ากับหนึ่งต่อการพัลส์รูปสี่เหลี่ยมซึ่งเป็นการตอบสนองในลักษณะมีแรงภายนอกคงที่กระทำในช่วงระยะเวลาถึง t_1 หลังจากช่วงเวลา t_1 การตอบสนองจะเป็นแบบอิสระ โดยไม่มีแรงภายนอกมากระทำ ซึ่งการตอบสนองนี้มีลักษณะการสั่นคล้ายกับการสั่นที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของล้อรถไฟหนึ่งล้อผ่านจุดที่สนใจ

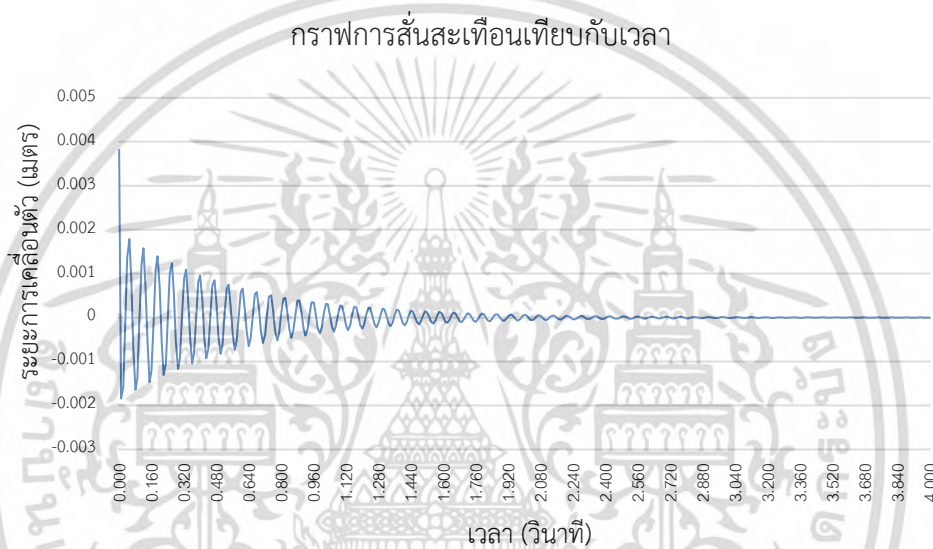
กำหนดให้ระยะเวลา t_1 เท่ากับ 0.01 วินาที ซึ่งเท่ากับช่วงเวลาในการเก็บข้อมูลคลื่นการสั่นสะเทือนจากรถไฟเท่ากับ 0.01 วินาที และใช้พารามิเตอร์ในการสร้างกราฟการสั่นสะเทือนให้ใกล้เคียงกับรถไฟที่วิ่งผ่านบริเวณพื้นที่ สจล. มากที่สุดมาการสร้างกราฟการสั่นสะเทือนโดยใช้พารามิเตอร์ดังตาราง

ตารางที่ 3-1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการสร้างกราฟการสั่นสะเทือนจากสมการ

ความเร็วรถไฟ	100 กม./ชม.	น้ำหนักของหมอน	260 กก.
น้ำหนักจากรถไฟ	4000 กก.	ความแข็งของโครงสร้าง	≈ 55 kN/mm
ประเภทของราง	60 E 1	สัมประสิทธิ์ความหน่วง	≈ 1.85 percent
น้ำหนักของราง	60.21 กก./ม.	มวลของระบบ	520 kg
ประเภทของหมอน	B 70	จำนวนตู้ขบวน	4
ระยะห่างระหว่างหมอน	0.65 ม.	ความกว้างของราง	1 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

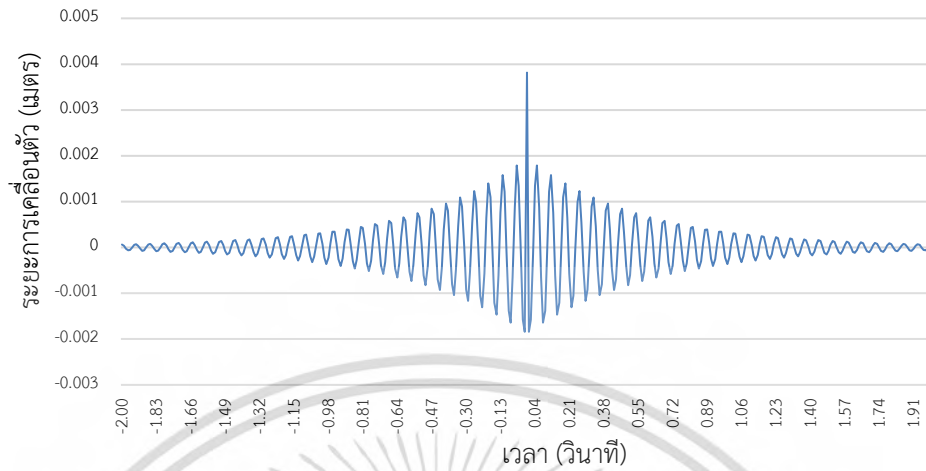
จากตารางเป็นข้อมูลของรถไฟรุ่น THN ซึ่งมีความเร็ว 100 กิโลเมตรต่อวินาที มีน้ำหนักประมาณ 33 ตัน ซึ่งจากการคำนวณพบว่าน้ำหนักที่แต่ละล้อของรถไฟกระทาต่อรางประมาณ 4000 กิโลกรัม และกำหนดให้จำนวนขบวนของรถไฟเท่ากับ 4 ตู้โดยสาร ผลจากการคำนวณตามสมการที่ 3.1 ในช่วงเวลาวินาทีที่ 0 ถึงก่อนวินาทีที่ 0.01 และจากนั้นคำนวณตามสมการที่ 3.2 ในช่วงเวลาวินาทีที่ 0.01 เป็นต้นไป จากบุญกร วรवास [23] ได้คำนวณหาค่าความแข็งของเส้นทางรถไฟและค่าสัมประสิทธิ์ความหน่วงที่เหมาะสมตามโครงสร้างทางรถไฟในพื้นที่ สจล. พบว่าค่าความแข็งของเส้นทางรถไฟที่เท่ากับ 55 kN/mm และค่าสัมประสิทธิ์ความหน่วงเท่ากับ 1.85 เปอร์เซนต์ และมีความกว้างของรางเท่ากับ 1 เมตร จะได้กราฟการสั่นสะเทือนมีลักษณะดังรูป



รูปที่ 3-12 กราฟการสั่นสะเทือนจากสมการที่ 3.1 และ 3.2

จากกราฟในรูปที่ 3-12 เป็นการสั่นสะเทือนเริ่มต้นเมื่อมีน้ำหนักกระทา จากล้อรถไฟหนึ่งล้อที่เวลาวินาทีที่ศูนย์เป็นต้นไป โดยแอมพลิจูดสูงสุดของการสั่นสะเทือนในช่วงเริ่มต้นเป็นผลมาจากสมการที่ 3.1 ซึ่งเป็นช่วงที่ยังมีแรงภายนอกกระทาต่อรางรถไฟอยู่ จากนั้นจะเข้าสู่ช่วงของการสั่นแบบอิสระตามผลของสมการที่ 3.2 โดยแอมพลิจูดของการสั่นสะเทือนจะลู่เข้าใกล้ศูนย์เมื่อเวลาผ่านไป ต่อจากนั้น ทการสมมติฐานว่า การสั่นสะเทือนก่อนหน้าที่แรงจากล้อรถไฟจะกระทา ซึ่งเป็นเวลาก่อนวินาทีที่ศูนย์จะมีลักษณะที่สมมาตรกัน ทให้กราฟการสั่นสะเทือนจะมีลักษณะรูปที่ 3-11

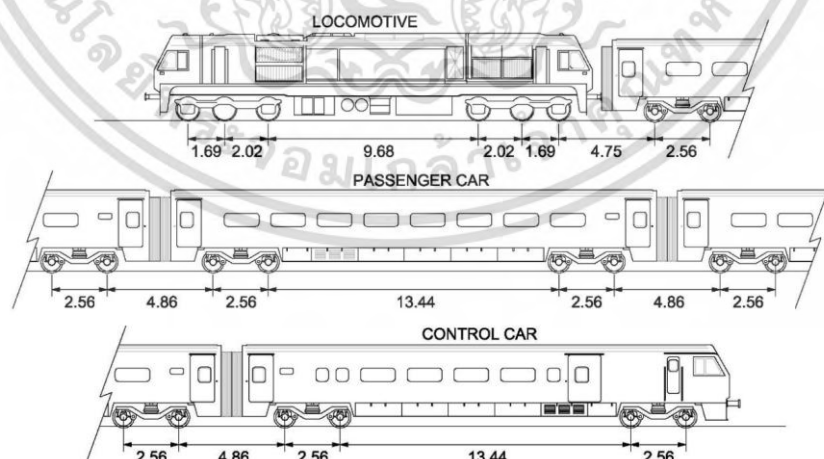
กราฟการสั่นสะเทือนเทียบกับเวลา



รูปที่ 3-13 กราฟการสั่นสะเทือนจากแรงที่กระทำด้วยล้อรถไฟหนึ่งล้อ

จากรูปที่ 3-13 เป็นการสั่นสะเทือนของโครงสร้างทางรถไฟที่เกิดขึ้นจากล้อของรถไฟวิ่งผ่านหนึ่งล้อ ซึ่งขบวนของรถไฟมีจำนวนล้อที่มากกว่าหนึ่งล้อ จึงทำการหาเวลาที่ล้อทั้งหมดที่ต่างกันของรถไฟจะวิ่งผ่านจุดที่สนใจ เพื่อทำการเป็นค่าการสั่นสะเทือนที่เกิดจากการผ่านของรถไฟทั้งขบวน ภายใต้สมมติฐานที่ว่า แรงที่กระทำในทุกล้อของรถไฟนั้นมีค่าเท่ากัน เพื่อการง่ายแก่การคำนวณ โดยความจริงแล้วน้ำหนักของขบวนรถไฟแต่ละขบวนจะมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับจำนวนผู้โดยสารและสิ่งของที่บรรทุก

โดยรถไฟรุ่น THN ที่มีความเร็ว 100 กิโลเมตรต่อชั่วโมง มีระยะห่างระหว่างล้อดังแสดงในรูป



รูปที่ 3-14 ระยะห่างระหว่างล้อแต่ละล้อของรถไฟ

ที่มา:

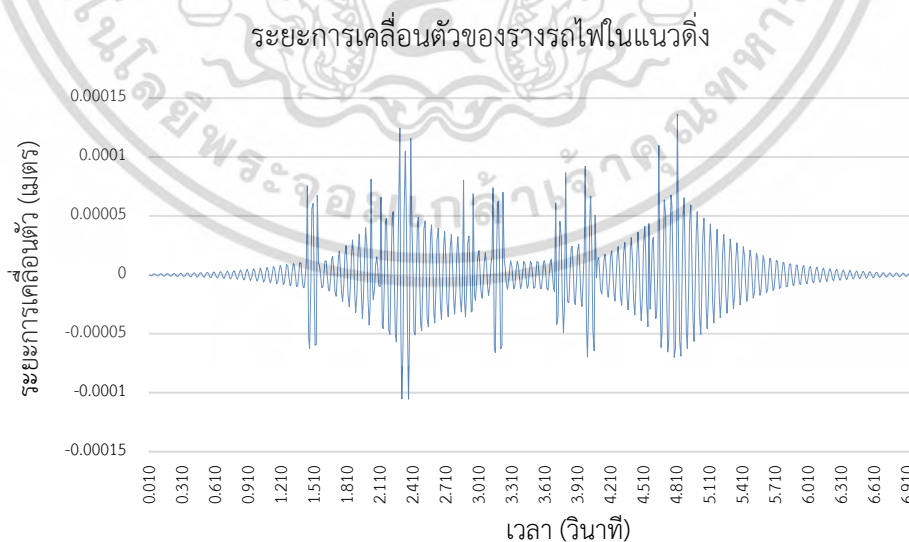
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปจะแสดงให้เห็นว่ารถไฟมีจำนวนล้อเท่ากับ 8 ล้อต่อหนึ่งขบวน แบ่งเป็นด้านละ 4 ล้อ กำหนดให้มี จำนวนขบวนรถไฟเท่ากับ 4 ขบวน จะมีล้อทั้งหมดข้างละ 16 ล้อที่วิ่งผ่านจุดที่สนใจ และใช้เวลาในการเคลื่อนผ่านจุดที่สนใจทั้งสิ้นประมาณ 6 วินาที จะสามารถจำลองระยะห่างระหว่างแต่ละล้อของรถไฟและแนวไปคานนหาระยะเวลาที่ล้อรถไฟเคลื่อนผ่านจุดสนใจ

ตารางที่ 3-2 ระยะห่างระหว่างแต่ละล้อของรถไฟและระยะเวลาที่ล้อรถไฟเคลื่อนผ่านจุดสนใจ

ล้อที่	ระยะห่าง (ม.)	ระยะเวลา (วินาที)	ล้อที่	ระยะห่าง (ม.)	ระยะเวลา (วินาที)
1	0	1.44	9	4.86	3.13
2	2.56	1.53	10	2.56	3.22
3	13.44	2.02	11	13.44	3.70
4	2.56	2.11	12	2.56	3.79
5	4.86	2.28	13	4.86	3.97
6	2.56	2.38	14	2.56	4.06
7	13.44	2.86	15	13.44	4.55
8	2.56	2.95	16	2.56	4.64

เมื่อนำผลจากการเคลื่อนผ่านของทุกๆล้อ ทั้ง 16 ล้อของรถไฟรวมกัน จะทำให้เกิดการสั่นสะเทือนที่เกิดจากการเคลื่อนผ่านของรถไฟทั้งขบวนดังรูปที่ 3-15



รูปที่ 3-15 กราฟการสั่นสะเทือนที่เกิดจากการรวมกันของกราฟการสั่นสะเทือนล้อเดี่ยว จำนวน 16 ล้อ (4 ขบวนรถไฟ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมที่ใช้ออกแบบ

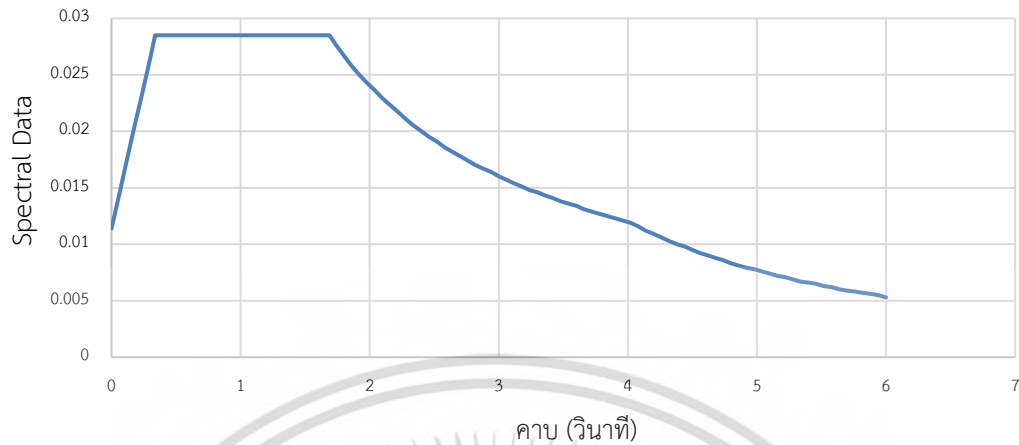
ทำการหาค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมที่ใช้ออกแบบด้วยวิธีสเปกตรัมตอบสนองแบบโหมต (Response Spectrum Analysis: RSA) โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบดังตาราง

ตารางที่ 3-3 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบ

พารามิเตอร์	รายละเอียด
ประเภทการออกแบบตามแผ่นดินไหว (Design Category)	ง
ประเภทความสําคัญอาคาร (Important Factor)	III
ประเภทชั้นดิน	D
ความหน่วงของโครงสร้าง (Damping)	2.5%
ระบบโครงสร้าง	ระบบโครงอาคาร (Building Frame System)
ระบบต้านแรงต้านข้าง	กำแพงรับแรงเฉือนแบบที่มีการให้รายละเอียดพิเศษ (Special Reinforced Concrete Shear Wall)
ตัวประกอบผลตอบสนอง R (Response Modification Factor)	6.5
ตัวประกอบกำลังเสริมเกิน Ω_0 (System Overstrength Factor)	2.5
ตัวประกอบขยายค่าการโก่งตัว C_d (Deflection Amplification Factor)	5

ซึ่งลักษณะของความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมที่ใช้ออกแบบด้วยวิธีสเปกตรัมตอบสนองแบบโหมตที่เกิดจากพารามิเตอร์ดังตารางมีลักษณะดังรูป

ความถี่การตอบสนองเชิงสเปกตรัม



รูปที่ 3-16 ความถี่การตอบสนองเชิงสเปกตรัม

จากรูปที่ 3-16 เป็นการออกแบบความถี่การตอบสนองเชิงสเปกตรัมโดยใช้พารามิเตอร์ในการออกแบบตามตารางที่ 3-3 ให้ใกล้เคียงกับลักษณะภูมิประเทศของสถาบันพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังมากที่สุด

บทที่ 4

ผลการวิจัย

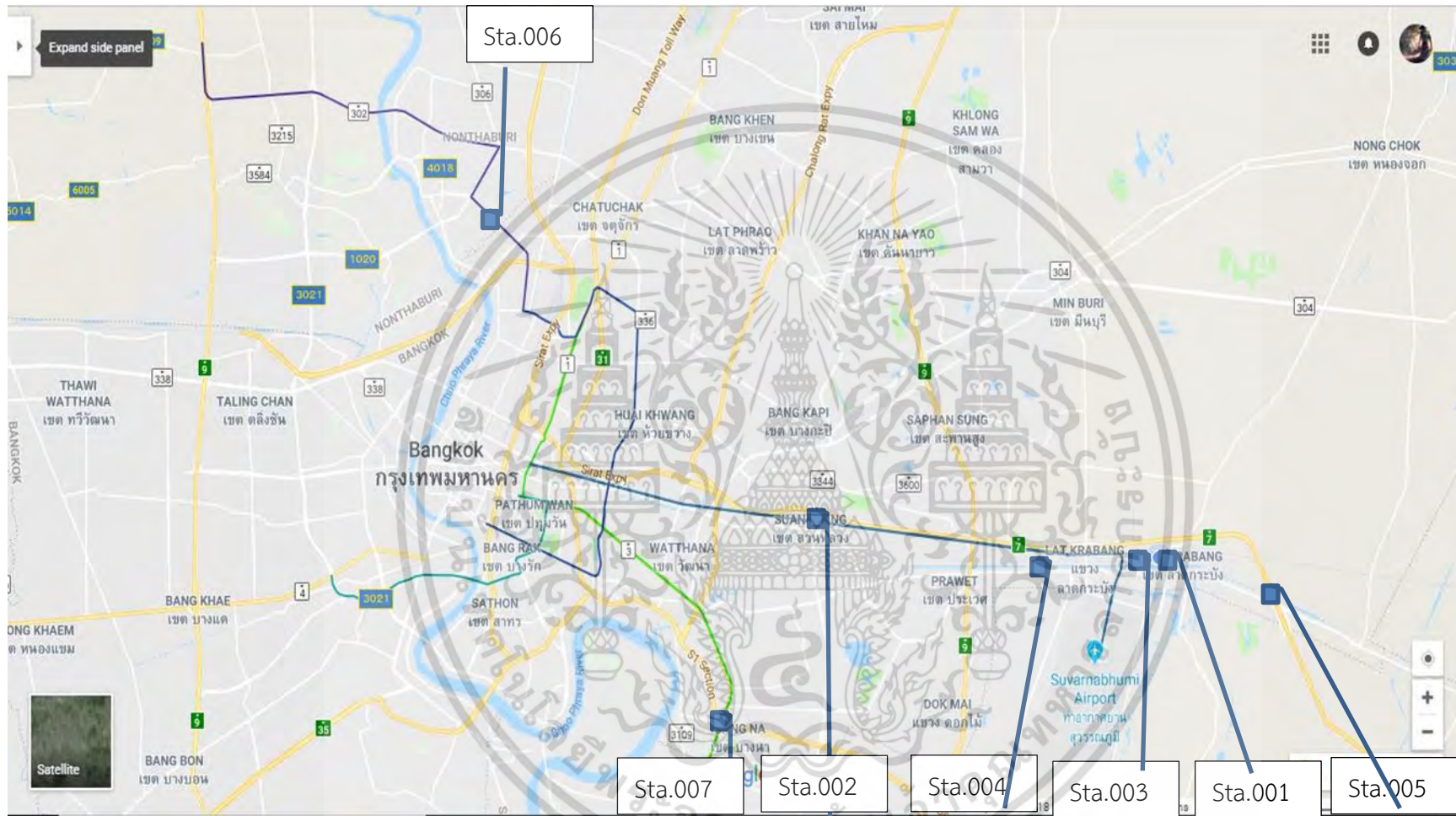
4.1 สถานีวัดคลื่นการสั่นสะเทือนของรถไฟ

จากการทำการสำรวจพื้นที่บริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และบริเวณใกล้เคียงสถาบัน ทางผู้วิจัยได้ทำการเลือกพื้นที่ทำการวัดคลื่นการสั่นสะเทือนของรถไฟ ทั้งหมด 7 สถานี ดังตาราง ซึ่งการติดตั้งตัววัดความเร่งของการสั่นสะเทือนนั้นจะทำการติดตั้งในบริเวณใกล้รางรถไฟให้มากที่สุด และได้ทำการทดลองติดตั้งตัววัดความเร่งใน 3 รูปแบบ ได้แก่ ติดตั้งบริเวณหมอนรถไฟ, ติดตั้งที่หมุดแล้วทำการปักบริเวณใกล้รางรถไฟ และติดตั้งบริเวณเสาของรางรถไฟฟ้าเพื่อทดลองเก็บค่าการสั่นสะเทือนจากรถไฟฟ้า เพื่อเป็นการศึกษาพฤติกรรมและขนาดความเร่งของคลื่นที่เกิดขึ้นในแต่ละรูปแบบ และขนาดคลื่นการสั่นสะเทือนจากการวัดที่มีความชัดของสัญญาณการสั่นสะเทือนมากที่สุดมาใช้ในการอ้างอิงในการสร้างความเร่งจากคลื่นการสั่นสะเทือนที่คาดการณ์จากรถไฟความเร็วสูงต่อไป

ตารางที่ 4-1 สถานีวัดคลื่นการสั่นสะเทือนของรถไฟ

สถานีที่	บริเวณที่ตั้งของสถานีที่ทำการวัดคลื่นการสั่นสะเทือนของรถไฟ
1	บริเวณใกล้รางรถไฟ ตรงข้ามตึกภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล ใกล้กับสถานีรถไฟพระจอมเกล้า ซึ่งเป็นบริเวณที่มีรถไฟวิ่งผ่านสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2	บริเวณใกล้รางรถไฟ สถานีที่ทำการวัดอยู่ระหว่างสถานีรถไฟบ้านทับช้างและสถานีรถไฟหัวหมาก
3	บริเวณใกล้รางรถไฟ สถานีวัดตั้งอยู่ริมใกล้กับถนนฉลองกรุง 1 หน้าโซนหอพัก RNP อยู่ระหว่างสถานีรถไฟพระจอมเกล้าและสถานีรถไฟบ้านทับช้าง
4	บริเวณเสาของรางรถไฟฟ้า Airport Rail Link ภายในสถานีงานเขตลาดกระบัง
5	บริเวณใกล้รางรถไฟ สถานีที่ทำการวัดอยู่ระหว่างสถานีรถไฟคลองหลวงเพ่งและสถานีรถไฟหัวตะเข้
6	บริเวณเสาของรางรถไฟฟ้ามหานคร สถานีที่ทำการวัดอยู่ระหว่างสถานีรถไฟฟ้าวังศ์สว่างและสถานีรถไฟฟ้าแยกติวานนท์
7	บริเวณเสาของรางรถไฟฟ้าวังศ์สว่าง สถานีที่ทำการวัดอยู่ระหว่างสถานีรถไฟฟ้าวังศ์สว่างและสถานีรถไฟฟ้าวัดมกุฏราชวิทยาลัย หน้าหอประชุม BITEC

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



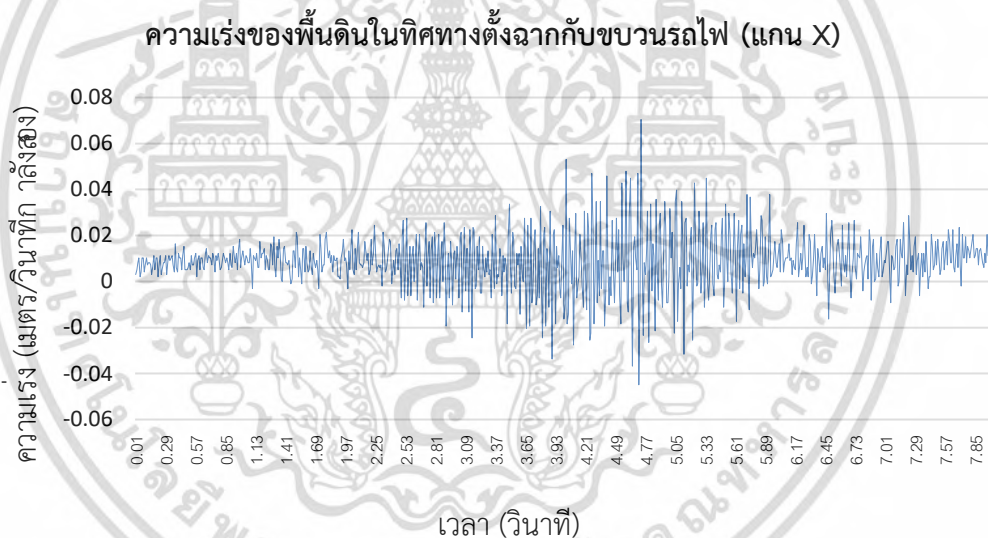
รูปที่ 4-1 ภาพแสดงสถานีทดสอบแรงสั่นสะเทือนของรถไฟทั้ง 7 สถานี

4.2 ผลจากการวัดคลื่นการสั่นสะเทือนในแต่ละสถานี

ผลที่ได้จากการวัดคลื่นการสั่นสะเทือนทั้งหมด 7 สถานี

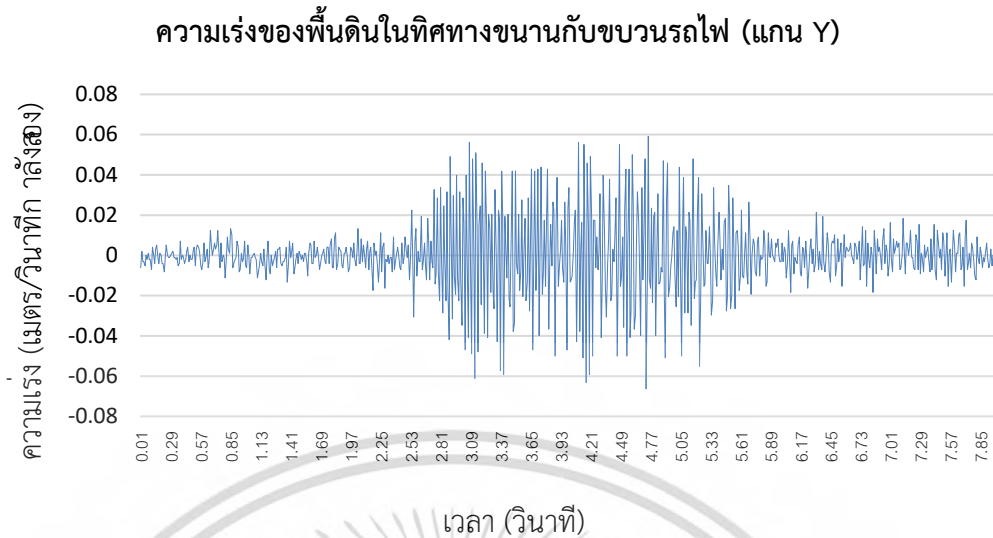
4.2.1 ผลการวัดคลื่นการสั่นสะเทือนจากสถานีที่ 1

บริเวณใกล้รางรถไฟ ตรงข้ามตึกภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล ใกล้กับสถานีรถไฟพระจอมเกล้า ซึ่งเป็นบริเวณที่มีรถไฟวิ่งผ่านสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ททำการวัดค่าโดยการตอกหมุดที่ท การติดตั้งเครื่องวัดความเร่ง 3 เครื่อง โดยแต่ละเครื่องติดตั้งทิศทางการวัดตั้งฉากกับรางรถไฟกำหนดให้เป็นทิศ X ทิศทางการวัดขนานกับรางรถไฟ กำหนดให้เป็นทิศ Y และทิศทางการวัดตั้งฉากกับพื้นโลก กำหนดให้เป็นทิศ Z จากสถานีที่ 1 ได้ทำการติดตั้งเครื่องวัดความเร่งห่างจากกึ่งกลางของรางรถไฟเป็นระยะทางประมาณ 4.841 เมตร จากนั้นทำการวัดค่าการสั่นสะเทือนขณะที่รถไฟวิ่งผ่าน ผลที่บันทึกได้ในแต่ละทิศทางเป็นค่าความเร่งเทียบกับเวลาดังแสดงในรูป



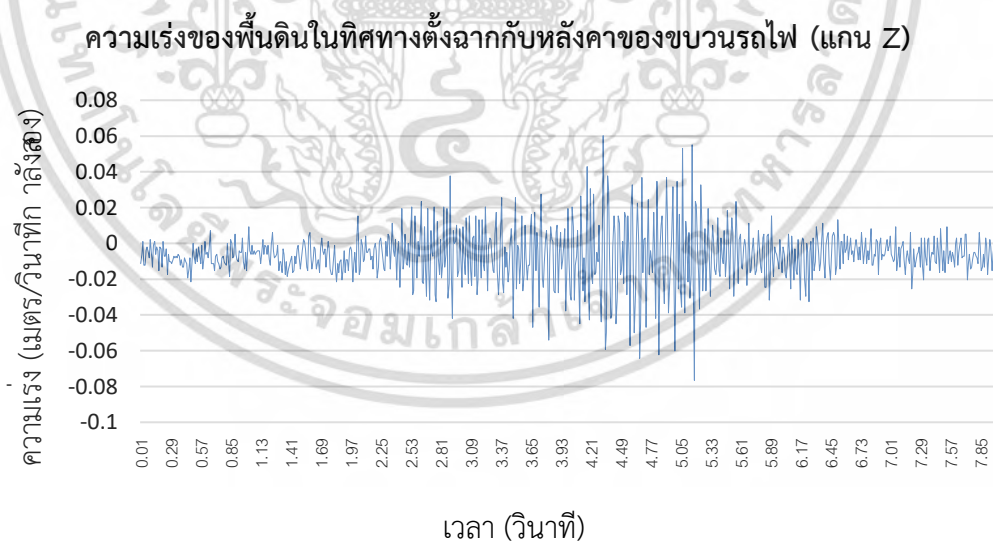
รูปที่ 4-2 ความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวราบ ในแกน X (ตั้งฉากกับขบวนรถไฟ) สถานีที่ 1

จากรูปที่ 4-2 ข้อมูลของค่าความเร่งที่วัดได้เทียบกับเวลา ในขณะที่แกนตั้งคือความเร่งของคลื่นจากพื้นดินในแนวราบ ในแกน X (ตั้งฉากกับขบวนรถไฟ) มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาทีกาลังสอง แกนนอนคือเวลา มีหน่วยเป็นวินาที จากกราฟพบว่า ค่าความเร่งสูงสุดที่วัดได้คือ 0.07 เมตรต่อวินาทีกาลังสองและค่าความเร่งต่ำสุดที่วัดได้คือ -0.045 เมตรต่อวินาทีกาลังสอง



รูปที่ 4-3 ความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวราบ ในแกน Y (ขนานกับขบวนรถไฟ) สถานีที่ 1

จากรูปที่ 4-3 ข้อมูลของค่าความเร่งที่วัดได้เทียบกับเวลา ในขณะที่แกนตั้งคือความเร่งของพื้นดินในแนวราบ ในแกน Y (ขนานกับขบวนรถไฟ) มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที กาลังสอง แกนนอนคือเวลา มีหน่วยเป็นวินาที จากกราฟพบว่า ค่าความเร่งสูงสุดที่วัดได้คือ 0.059 เมตรต่อวินาที กาลังสอง และค่าความเร่งต่ำสุดที่วัดได้คือ -0.066 เมตรต่อวินาที กาลังสอง



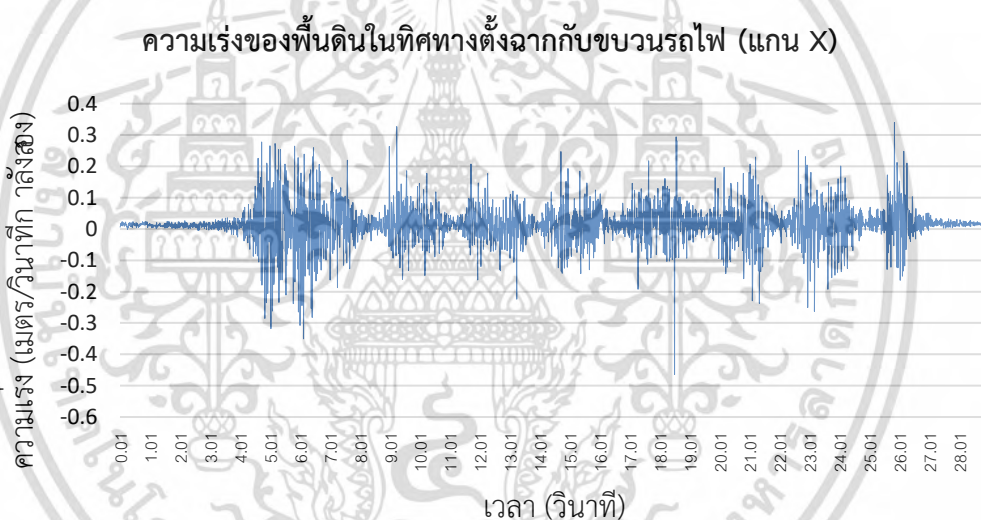
รูปที่ 4-4 ความเร่งของพื้นดินในแนวราบ ในแกน Z (ตั้งฉากกับพื้นโลก) สถานีที่ 1

จากรูปที่ 4-4 ข้อมูลของค่าความเร่งที่วัดได้เทียบกับเวลา ในขณะที่แกนตั้งคือความเร่งของพื้นดินในแนวราบ ในแกน Z (ตั้งฉากกับพื้นโลก) มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที กาลังสอง แกนนอนคือ

เวลา มีหน่วยเป็นวินาที จากกราฟพบว่า ค่าความเร่งสูงสุดที่วัดได้คือ 0.06 เมตรต่อวินาทีกำลังสอง และค่าความเร่งต่ำสุดที่วัดได้คือ -0.077 เมตรต่อวินาทีกำลังสอง

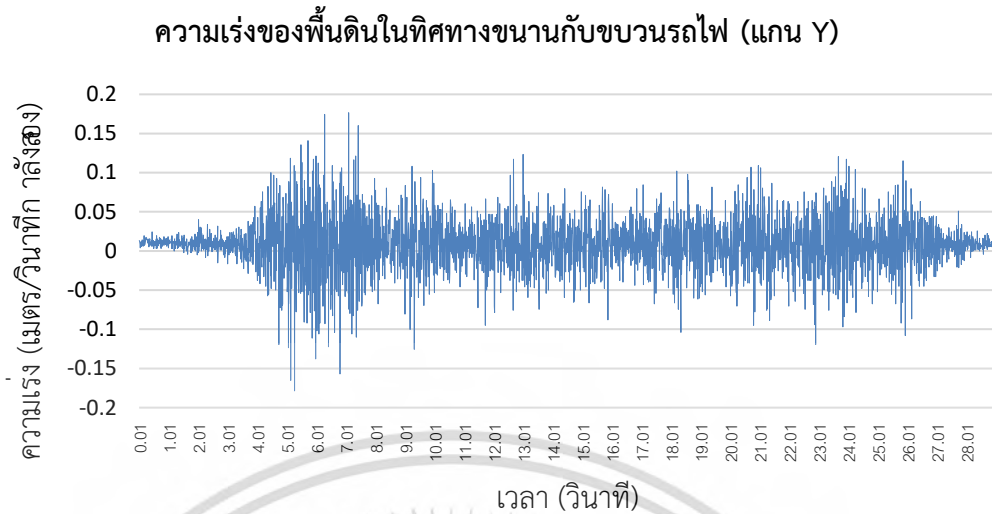
4.2.2 ผลการวัดคลื่นการสั่นสะเทือนจากสถานีที่ 2

บริเวณใกล้รางรถไฟ สถานีที่ทำการวัดอยู่ระหว่างสถานีรถไฟบ้านทับช้างและสถานีรถไฟหัวหมาก ทำการวัดค่าโดยการตอกหมุดที่ทำการติดตั้งเครื่องวัดความเร่ง 3 เครื่อง โดยแต่ละเครื่องติดตั้งทิศทางการวัดตั้งฉากกับรางรถไฟกำหนดให้เป็นทิศ X ทิศทางการวัดขนานกับรางรถไฟกำหนดให้เป็นทิศ Y และทิศทางการวัดตั้งฉากกับพื้นโลก กำหนดให้เป็นทิศ Z จากสถานีที่ 2 ได้ทำการติดตั้งเครื่องวัดความเร่งห่างจากกึ่งกลางของรางรถไฟเป็นระยะทางประมาณ 3.641 เมตร จากนั้นทำการวัดค่าการสั่นสะเทือนขณะที่รถไฟวิ่งผ่าน ผลที่บันทึกได้ในแต่ละทิศทางเป็นค่าความเร่งเทียบกับเวลาดังแสดงในรูป



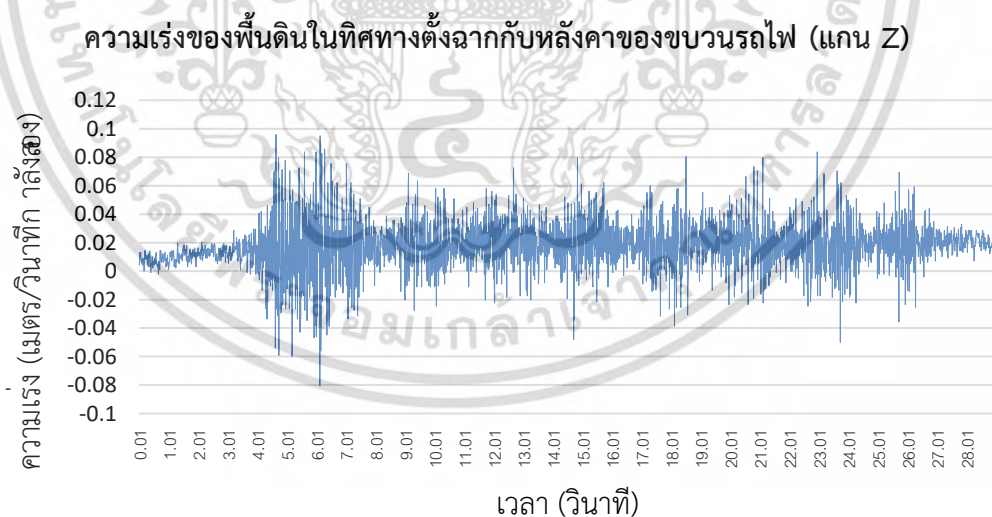
รูปที่ 4-5 ความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวราบ ในแกน X (ตั้งฉากกับขบวนรถไฟ) สถานีที่ 2

จากรูปที่ 4-5 ข้อมูลของค่าความเร่งที่วัดได้เทียบกับเวลา ในขณะที่แกนตั้งคือความเร่งของคลื่นจากพื้นดินในแนวราบ ในแกน X (ตั้งฉากกับขบวนรถไฟ) มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาทีกำลังสอง แกนนอนคือเวลา มีหน่วยเป็นวินาที จากกราฟพบว่า ค่าความเร่งสูงสุดที่วัดได้คือ 0.34 เมตรต่อวินาทีกำลังสองและค่าความเร่งต่ำสุดที่วัดได้คือ -0.464 เมตรต่อวินาทีกำลังสอง



รูปที่ 4-6 ความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวราบ ในแกน Y (ขนานกับขบวนรถไฟ) สถานีที่ 2

จากรูปที่ 4-6 ข้อมูลของค่าความเร่งที่วัดได้เทียบกับเวลา ในขณะที่แกนตั้งคือความเร่งของพื้นดินในแนวราบ ในแกน Y (ขนานกับขบวนรถไฟ) มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที² ลังสอง แกนนอนคือเวลา มีหน่วยเป็นวินาที จากกราฟพบว่า ค่าความเร่งสูงสุดที่วัดได้คือ 0.177 เมตรต่อวินาที² ลังสอง และค่าความเร่งต่ำสุดที่วัดได้คือ -0.179 เมตรต่อวินาที² ลังสอง



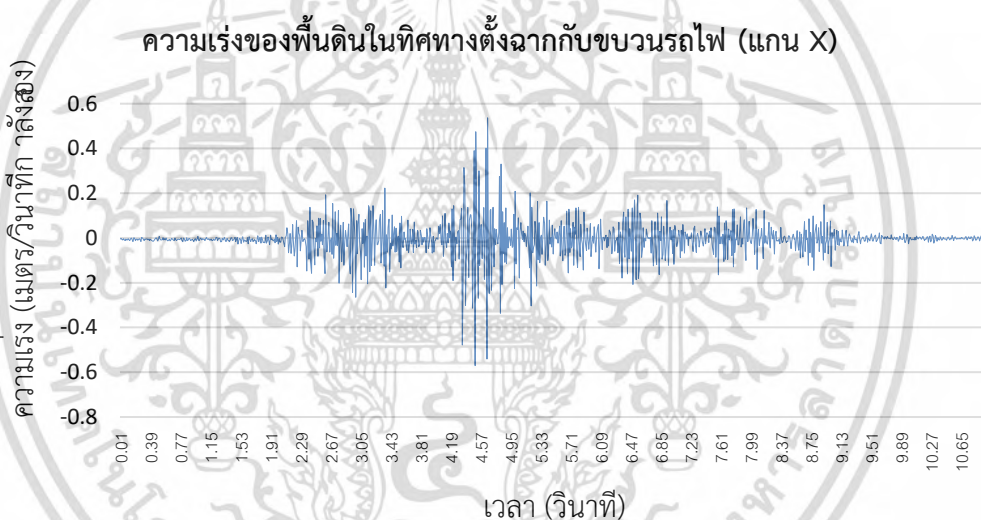
รูปที่ 4-7 ความเร่งของพื้นดินในแนวราบ ในแกน Z (ตั้งฉากกับพื้นโลก) สถานีที่ 2

จากรูปที่ 4-7 ข้อมูลของค่าความเร่งที่วัดได้เทียบกับเวลา ในขณะที่แกนตั้งคือความเร่งของพื้นดินในแนวราบ ในแกน Z (ตั้งฉากกับพื้นโลก) มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที² ลังสอง แกนนอนคือ

เวลา มีหน่วยเป็นวินาที จากกราฟพบว่า ค่าความเร่งสูงสุดที่วัดได้คือ 0.096 เมตรต่อวินาที กาลังสอง และค่าความเร่งต่ำสุดที่วัดได้คือ -0.081 เมตรต่อวินาที กาลังสอง

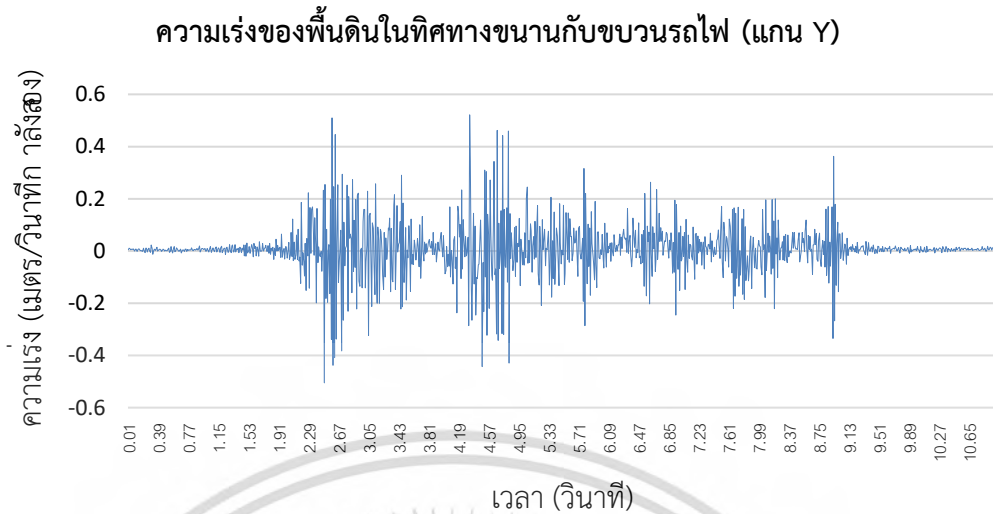
4.2.3 ผลการวัดคลื่นการสั่นสะเทือนจากสถานีที่ 3

บริเวณใกล้รางรถไฟ สถานีวัดตั้งอยู่ริมใกล้กับถนนฉลองกรุง 1 หน้าโซนหอพัก RNP อยู่ระหว่างสถานีรถไฟพระจอมเกล้าและสถานีรถไฟบ้านทับช้าง ทหาการวัดค่าโดยการตอกหมุดที่ท การติดตั้งเครื่องวัดความเร่ง 3 เครื่อง โดยแต่ละเครื่องติดตั้งทิศทางการวัดตั้งฉากกับรางรถไฟกำหนดให้เป็นทิศ X ทิศทางการวัดขนานกับรางรถไฟกำหนดให้เป็นทิศ Y และทิศทางการวัดตั้งฉากกับพื้นโลกกำหนดให้เป็นทิศ Z จากสถานีที่ 3 ได้ทำการติดตั้งเครื่องวัดความเร่งห่างจากกึ่งกลางของรางรถไฟเป็นระยะทางประมาณ 3.278 เมตร จากนั้นทำการวัดค่าการสั่นสะเทือนขณะที่รถไฟวิ่งผ่าน ผลที่บันทึกได้ในแต่ละทิศทางเป็นค่าความเร่งเทียบกับเวลาดังแสดงในรูป



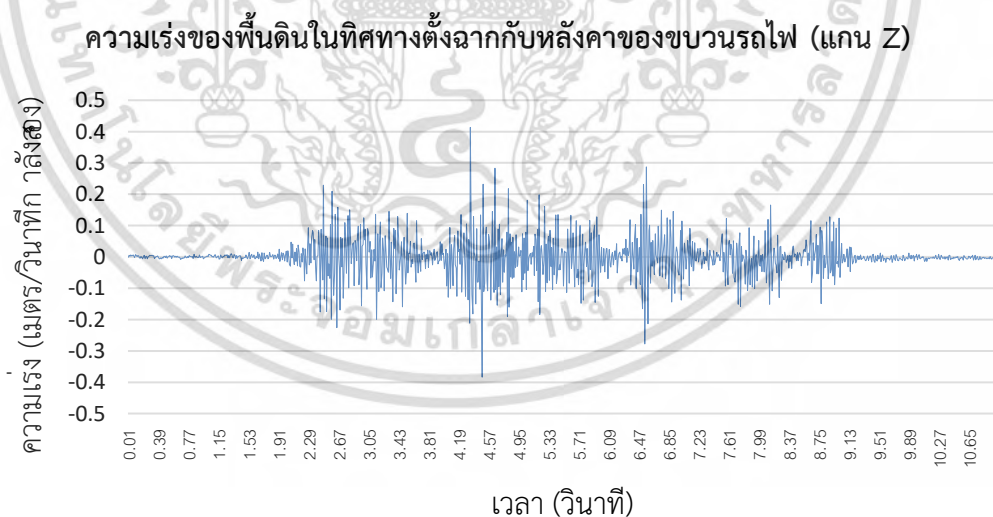
รูปที่ 4-8 ความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวราบ ในแกน X (ตั้งฉากกับขบวนรถไฟ) สถานีที่ 3

จากรูปที่ 4-8 ข้อมูลของค่าความเร่งที่วัดได้เทียบกับเวลา ในขณะที่แกนตั้งคือความเร่งของคลื่นจากพื้นดินในแนวราบ ในแกน X (ตั้งฉากกับขบวนรถไฟ) มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที กาลังสอง แกนนอนคือเวลา มีหน่วยเป็นวินาที จากกราฟพบว่า ค่าความเร่งสูงสุดที่วัดได้คือ 0.537 เมตรต่อวินาที กาลังสองและค่าความเร่งต่ำสุดที่วัดได้คือ -0.571 เมตรต่อวินาที กาลังสอง



รูปที่ 4-9 ความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวราบ ในแกน Y (ขนานกับขบวนรถไฟ) สถานีที่ 3

จากรูปที่ 4-9 ข้อมูลของค่าความเร่งที่วัดได้เทียบกับเวลา ในขณะที่แกนตั้งคือความเร่งของพื้นดินในแนวราบ ในแกน Y (ขนานกับขบวนรถไฟ) มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที กาลังสอง แกนนอนคือเวลา มีหน่วยเป็นวินาที จากกราฟพบว่า ค่าความเร่งสูงสุดที่วัดได้คือ 0.522 เมตรต่อวินาที กาลังสอง และค่าความเร่งต่ำสุดที่วัดได้คือ -0.505 เมตรต่อวินาที กาลังสอง



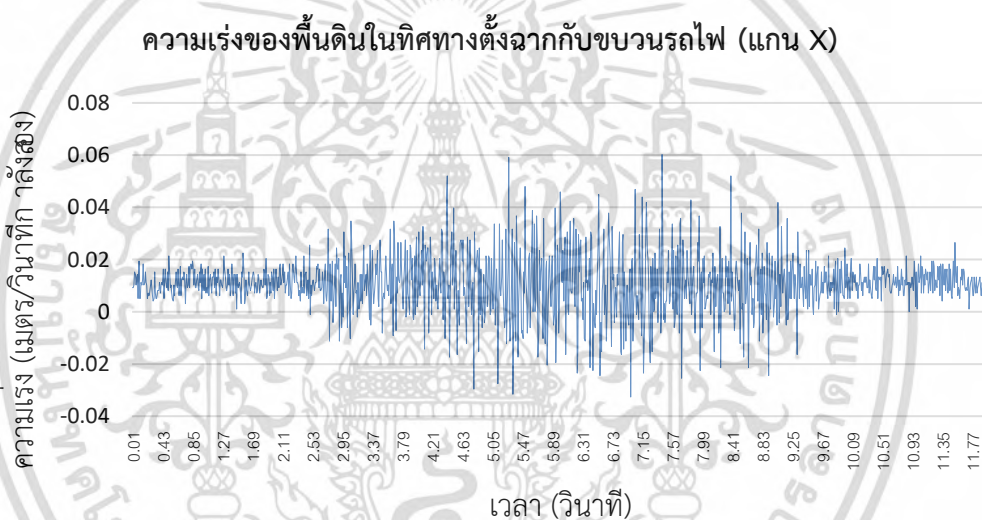
รูปที่ 4-10 ความเร่งของพื้นดินในแนวราบ ในแกน Z (ตั้งฉากกับพื้นโลก) สถานีที่ 3

จากรูปที่ 4-10 ข้อมูลของค่าความเร่งที่วัดได้เทียบกับเวลา ในขณะที่แกนตั้งคือความเร่งของพื้นดินในแนวราบ ในแกน Z (ตั้งฉากกับพื้นโลก) มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที กาลังสอง แกนนอนคือ

เวลา มีหน่วยเป็นวินาที จากกราฟพบว่า ค่าความเร่งสูงสุดที่วัดได้คือ 0.413 เมตรต่อวินาที ก ลังสอง และค่าความเร่งต่ำสุดที่วัดได้คือ -0.384 เมตรต่อวินาที ก ลังสอง

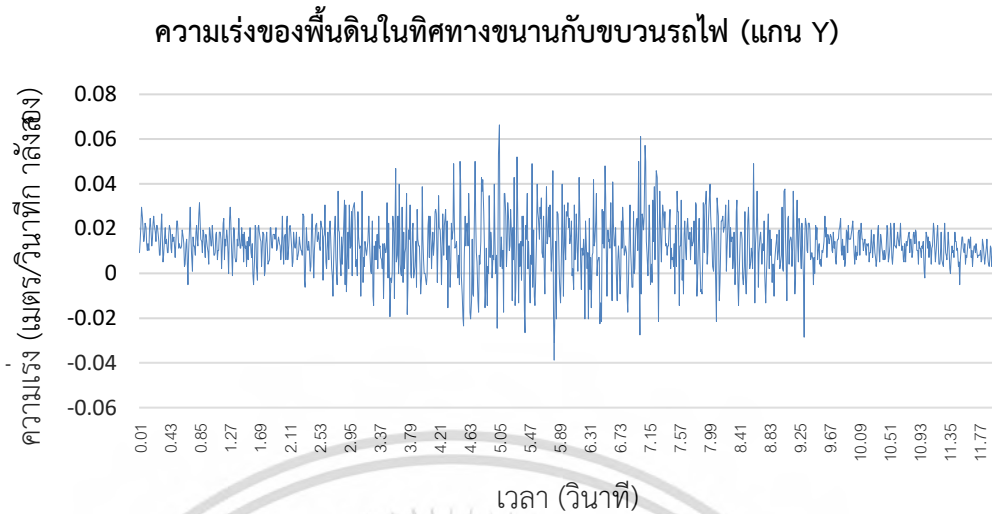
4.2.4 ผลการวัดคลื่นการสั่นสะเทือนจากสถานีที่ 4

บริเวณเสาของรางรถไฟ Airport Rail Link ภายในสถานีงานเขตลาดกระบัง ท าการวัดค่า โดยการติดตั้งเครื่องวัดความเร่ง 3 เครื่องที่ฐานเสาของรางรถไฟแอร์พอร์ตลิงค์โดยตรง โดยแต่ละเครื่องติดตั้งทิศทางการวัดตั้งฉากกับรางรถไฟกำหนดให้เป็นทิศ X ทิศทางการวัดขนานกับรางรถไฟ กำหนดให้เป็นทิศ Y และทิศทางการวัดตั้งฉากกับพื้นโลกกำหนดให้เป็นทิศ Z จากนั้น ท าการวัดค่าการสั่นสะเทือนขณะที่รถไฟวิ่งผ่าน ผลที่บันทึกได้ในแต่ละทิศทางเป็นค่าความเร่งเทียบกับเวลาดังแสดงในรูป



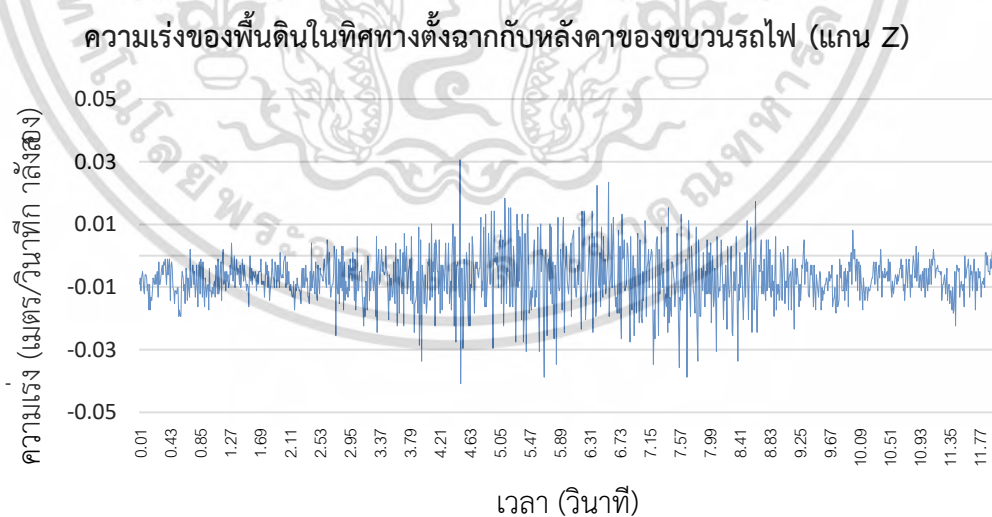
รูปที่ 4-11 ความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวราบ ในแกน X (ตั้งฉากกับขบวนรถไฟ) สถานีที่ 4

จากรูปที่ 4-11 ข้อมูลของค่าความเร่งที่วัดได้เทียบกับเวลา ในขณะที่แกนตั้งคือความเร่งของคลื่นจากพื้นดินในแนวราบ ในแกน X (ตั้งฉากกับขบวนรถไฟ) มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที ก ลังสอง แกนนอนคือเวลา มีหน่วยเป็นวินาที จากกราฟพบว่า ค่าความเร่งสูงสุดที่วัดได้คือ 0.06 เมตรต่อวินาที ก ลังสองและค่าความเร่งต่ำสุดที่วัดได้คือ -0.033 เมตรต่อวินาที ก ลังสอง



รูปที่ 4-12 ความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวราบ ในแกน Y (ขนานกับขบวนรถไฟ)
สถานีที่ 4

จากรูปที่ 4-12 ข้อมูลของค่าความเร่งที่วัดได้เทียบกับเวลา ในขณะที่แกนตั้งคือความเร่งของพื้นดินในแนวราบ ในแกน Y (ขนานกับขบวนรถไฟ) มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที กำลังสอง แกนนอนคือเวลา มีหน่วยเป็นวินาที จากกราฟพบว่า ค่าความเร่งสูงสุดที่วัดได้คือ 0.066 เมตรต่อวินาที กำลังสอง และค่าความเร่งต่ำสุดที่วัดได้คือ -0.039 เมตรต่อวินาที กำลังสอง



รูปที่ 4-13 ความเร่งของพื้นดินในแนวราบ ในแกน Z (ตั้งฉากกับพื้นโลก) สถานีที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4-13 ข้อมูลของค่าความเร่งที่วัดได้เทียบกับเวลา ในขณะที่แกนตั้งคือความเร่งของพื้นดินในแนวราบ ในแกน Z (ตั้งฉากกับพื้นโลก) มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาทีกำลังสอง แกนนอนคือเวลา มีหน่วยเป็นวินาที จากกราฟพบว่า ค่าความเร่งสูงสุดที่วัดได้คือ 0.031 เมตรต่อวินาที กำลังสอง และค่าความเร่งต่ำสุดที่วัดได้คือ -0.041 เมตรต่อวินาที กำลังสอง

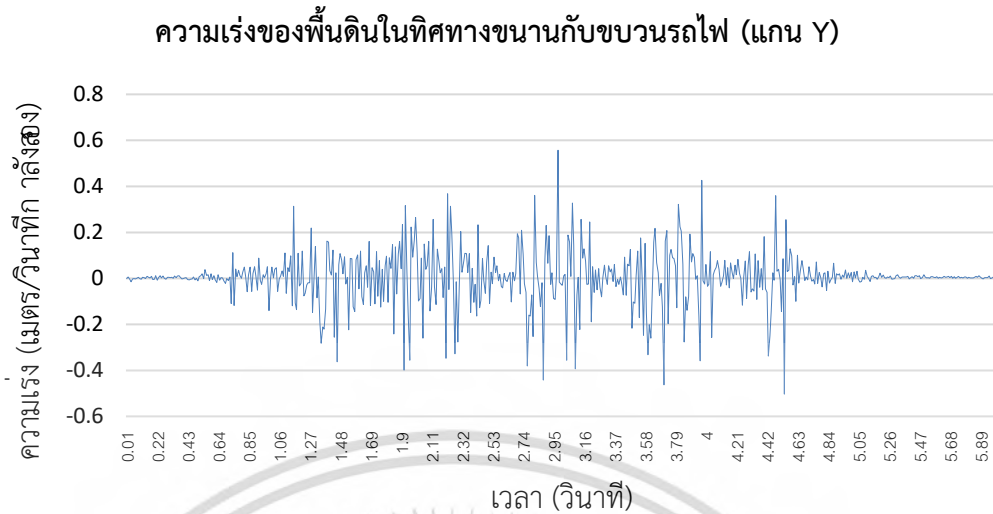
4.2.5 ผลการวัดคลื่นการสั่นสะเทือนจากสถานีที่ 5

บริเวณใกล้รางรถไฟ สถานีที่ทำการวัดอยู่ระหว่างสถานีรถไฟคลองหลวงเพ่งและสถานีรถไฟหัวตะเข้ ทำการวัดค่าโดยการติดตั้งเครื่องวัดความเร่ง 3 เครื่องที่หมอนของรางรถไฟโดยตรง ซึ่งมีระยะห่างจากกึ่งกลางของรางรถไฟเป็นระยะทางประมาณ 1 เมตร โดยแต่ละเครื่องติดตั้งทิศทางการวัดตั้งฉากกับรางรถไฟกำหนดให้เป็นทิศ X ทิศทางการวัดขนานกับรางรถไฟกำหนดให้เป็นทิศ Y และทิศทางการวัดตั้งฉากกับพื้นโลก กำหนดให้เป็นทิศ Z จากนั้นทำการวัดค่าการสั่นสะเทือนขณะที่รถไฟวิ่งผ่าน ผลที่บันทึกได้ในแต่ละทิศทางเป็นค่าความเร่งเทียบกับเวลาดังแสดงในรูป



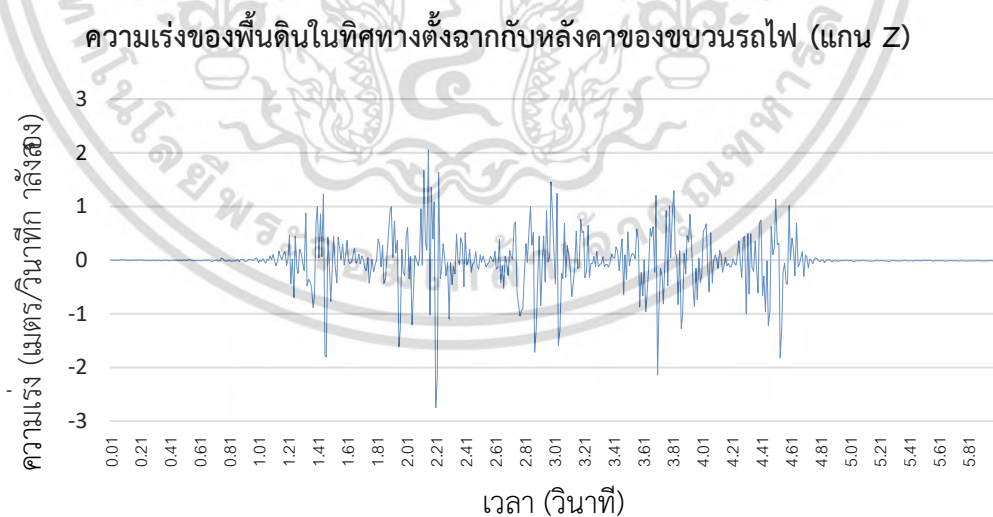
รูปที่ 4-14 ความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวราบ ในแกน X (ตั้งฉากกับขบวนรถไฟ) สถานีที่ 5

จากรูปที่ 4-14 ข้อมูลของค่าความเร่งที่วัดได้เทียบกับเวลา ในขณะที่แกนตั้งคือความเร่งของคลื่นจากพื้นดินในแนวราบ ในแกน X (ตั้งฉากกับขบวนรถไฟ) มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาทีกำลังสอง แกนนอนคือเวลา มีหน่วยเป็นวินาที จากกราฟพบว่า ค่าความเร่งสูงสุดที่วัดได้คือ 0.432 เมตรต่อวินาที กำลังสอง และค่าความเร่งต่ำสุดที่วัดได้คือ -0.568 เมตรต่อวินาที กำลังสอง



รูปที่ 4-15 ความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวราบ ในแกน Y (ขนานกับขบวนรถไฟ)
สถานที่ 5

จากรูปที่ 4-15 ข้อมูลของค่าความเร่งที่วัดได้เทียบกับเวลา ในขณะที่แกนตั้งคือความเร่งของพื้นดินในแนวราบ ในแกน Y (ขนานกับขบวนรถไฟ) มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที กาลังสอง แกนนอนคือเวลา มีหน่วยเป็นวินาที จากกราฟพบว่า ค่าความเร่งสูงสุดที่วัดได้คือ 0.557 เมตรต่อวินาที กาลังสอง และค่าความเร่งต่ำสุดที่วัดได้คือ -0.503 เมตรต่อวินาที กาลังสอง



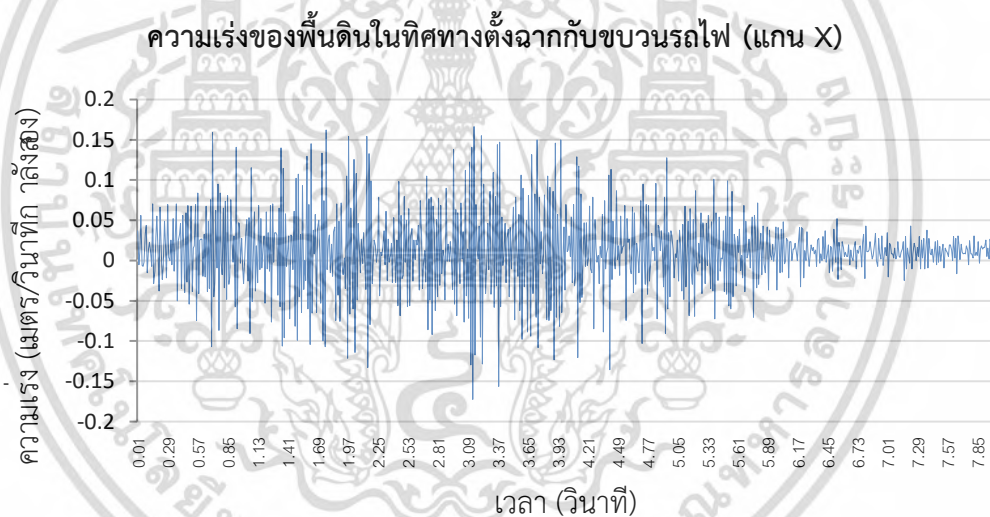
รูปที่ 4-16 ความเร่งของพื้นดินในแนวราบ ในแกน Z (ตั้งฉากกับพื้นโลก) สถานที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4-16 ข้อมูลของค่าความเร่งที่วัดได้เทียบกับเวลา ในขณะที่แกนตั้งคือความเร่งของพื้นดินในแนวราบ ในแกน Z (ตั้งฉากกับพื้นโลก) มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาทีกำลังสอง แกนนอนคือเวลา มีหน่วยเป็นวินาที จากกราฟพบว่า ค่าความเร่งสูงสุดที่วัดได้คือ 2.051 เมตรต่อวินาที กำลังสอง และค่าความเร่งต่ำสุดที่วัดได้คือ -2.751 เมตรต่อวินาที กำลังสอง

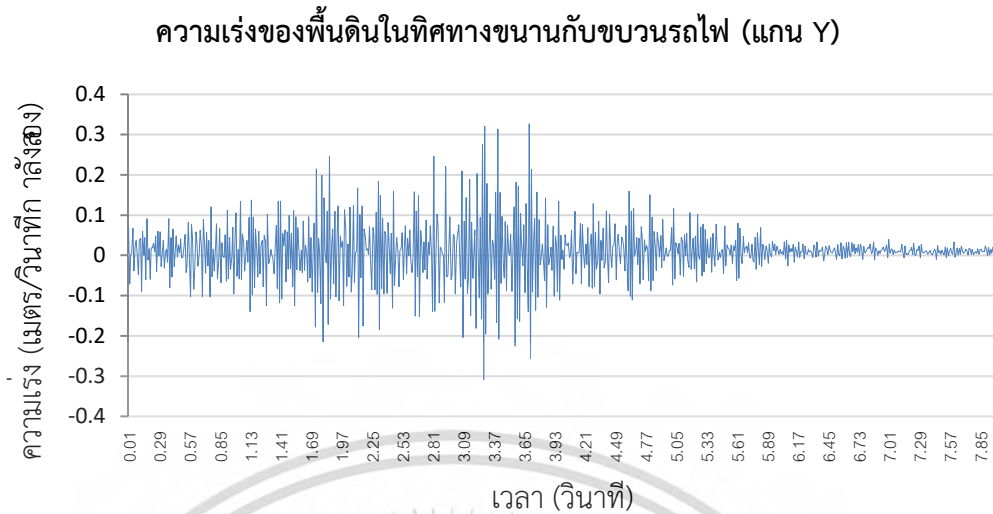
4.2.6 ผลการวัดคลื่นการสั่นสะเทือนจากสถานีที่ 6

บริเวณเสาของรางรถไฟพำมานคร สถานีที่ 6 ทาวเวอร์อยู่ระหว่างสถานีรถไฟฟ้ามหานครและสถานีรถไฟฟ้ามหานครแยกติวานนท์ ทาวเวอร์วัดค่าโดยการติดตั้งเครื่องวัดความเร่ง 3 เครื่องที่ฐานเสาของรางรถไฟพำมานครโดยตรง โดยแต่ละเครื่องติดตั้งทิศทางการวัดตั้งฉากกับรางรถไฟ กำหนดให้เป็นทิศ X ทิศทางการวัดขนานกับรางรถไฟกำหนดให้เป็นทิศ Y และทิศทางการวัดตั้งฉากกับพื้นโลกกำหนดให้เป็นทิศ Z จากนั้นทำการวัดค่าการสั่นสะเทือนขณะที่รถไฟวิ่งผ่าน ผลที่บันทึกได้ในแต่ละทิศทางเป็นค่าความเร่งเทียบกับเวลาดังแสดงในรูป



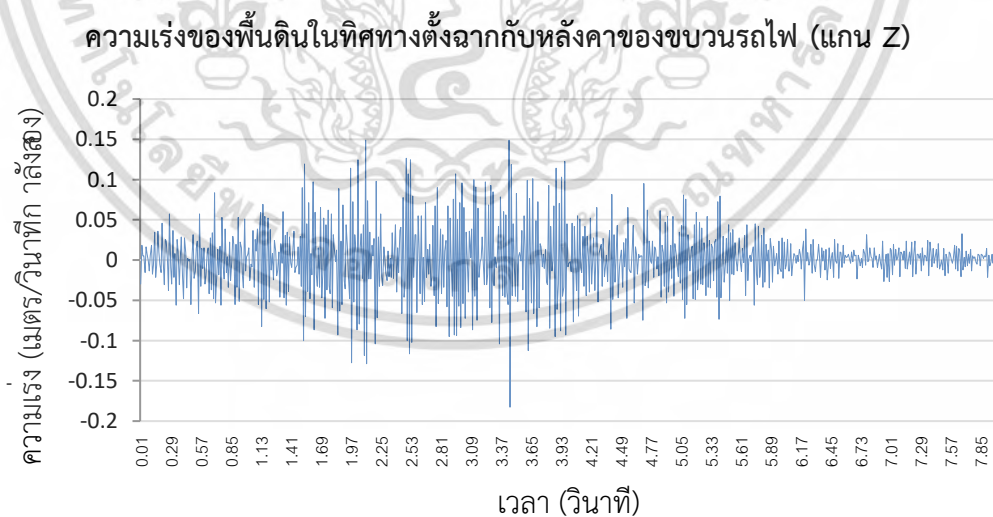
รูปที่ 4-17 ความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวราบ ในแกน X (ตั้งฉากกับขบวนรถไฟ) สถานีที่ 6

จากรูปที่ 4-17 ข้อมูลของค่าความเร่งที่วัดได้เทียบกับเวลา ในขณะที่แกนตั้งคือความเร่งของคลื่นจากพื้นดินในแนวราบ ในแกน X (ตั้งฉากกับขบวนรถไฟ) มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาทีกำลังสอง แกนนอนคือเวลา มีหน่วยเป็นวินาที จากกราฟพบว่า ค่าความเร่งสูงสุดที่วัดได้คือ 0.151 เมตรต่อวินาที กำลังสอง และค่าความเร่งต่ำสุดที่วัดได้คือ -0.152 เมตรต่อวินาที กำลังสอง



รูปที่ 4-18 ความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวราบ ในแกน Y (ขนานกับขบวนรถไฟ)
สถานที่ 6

จากรูปที่ 4-18 ข้อมูลของค่าความเร่งที่วัดได้เทียบกับเวลา ในขณะที่แกนตั้งคือความเร่งของพื้นดินในแนวราบ ในแกน Y (ขนานกับขบวนรถไฟ) มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที กำลังสอง แกนนอนคือเวลา มีหน่วยเป็นวินาที จากกราฟพบว่า ค่าความเร่งสูงสุดที่วัดได้คือ 0.360 เมตรต่อวินาที กำลังสอง และค่าความเร่งต่ำสุดที่วัดได้คือ -0.31 เมตรต่อวินาที กำลังสอง



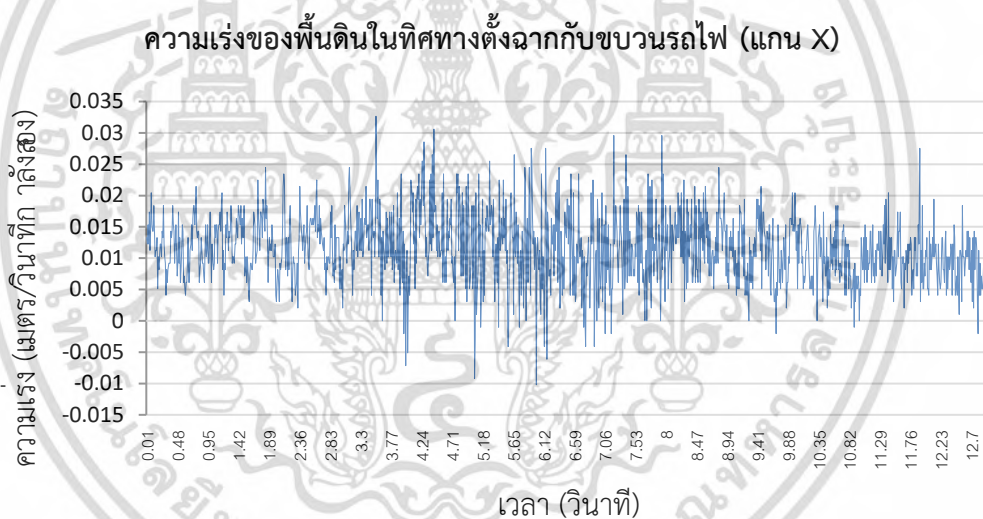
รูปที่ 4-19 ความเร่งของพื้นดินในแนวราบ ในแกน Z (ตั้งฉากกับพื้นโลก) สถานที่ 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4-19 ข้อมูลของค่าความเร่งที่วัดได้เทียบกับเวลา ในขณะที่แกนตั้งคือความเร่งของพื้นดินในแนวราบ ในแกน Z (ตั้งฉากกับพื้นโลก) มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาทีกำลังสอง แกนนอนคือเวลา มีหน่วยเป็นวินาที จากกราฟพบว่า ค่าความเร่งสูงสุดที่วัดได้คือ 0.15 เมตรต่อวินาทีกำลังสอง และค่าความเร่งต่ำสุดที่วัดได้คือ -0.18 เมตรต่อวินาทีกำลังสอง

4.2.7 ผลการวัดคลื่นการสั่นสะเทือนจากสถานีที่ 7

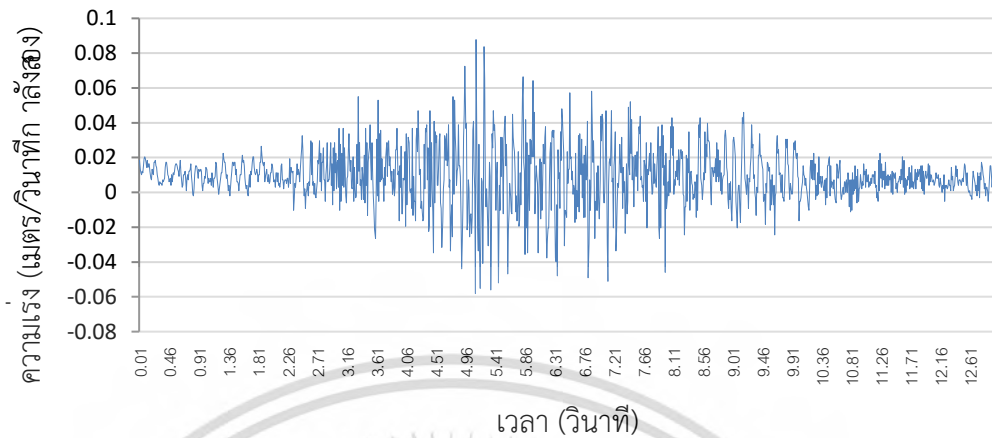
บริเวณเสาของรางรถไฟฟ้ามหานคร สายสีน้ำเงิน สถานีที่ 7 ทิศทางวัดอยู่ระหว่างสถานีรถไฟฟ้ามหานคร และสถานีรถไฟฟ้ามหานคร หน้าหอประชุม BITEC ทิศทางวัดค่าโดยการติดตั้งเครื่องวัดความเร่ง 3 เครื่องที่ฐานเสาของรางรถไฟฟ้ามหานคร โดยตรง โดยแต่ละเครื่องติดตั้งทิศทางการวัดตั้งฉากกับรางรถไฟฟ้ามหานคร ให้เป็นทิศ X ทิศทางการวัดขนานกับรางรถไฟฟ้ามหานคร ให้เป็นทิศ Y และทิศทางการวัดตั้งฉากกับพื้นโลกกำหนดให้เป็นทิศ Z จากนั้นทำการวัดค่าการสั่นสะเทือนขณะที่รถไฟวิ่งผ่าน ผลที่บันทึกได้ในแต่ละทิศทางเป็นค่าความเร่งเทียบกับเวลาดังแสดงในรูป



รูปที่ 4-20 ความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวราบ ในแกน X (ตั้งฉากกับขบวนรถไฟ) สถานีที่ 7

จากรูปที่ 4-20 ข้อมูลของค่าความเร่งที่วัดได้เทียบกับเวลา ในขณะที่แกนตั้งคือความเร่งของคลื่นจากพื้นดินในแนวราบ ในแกน X (ตั้งฉากกับขบวนรถไฟ) มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาทีกำลังสอง แกนนอนคือเวลา มีหน่วยเป็นวินาที จากกราฟพบว่า ค่าความเร่งสูงสุดที่วัดได้คือ 0.033 เมตรต่อวินาทีกำลังสอง และค่าความเร่งต่ำสุดที่วัดได้คือ -0.01 เมตรต่อวินาทีกำลังสอง

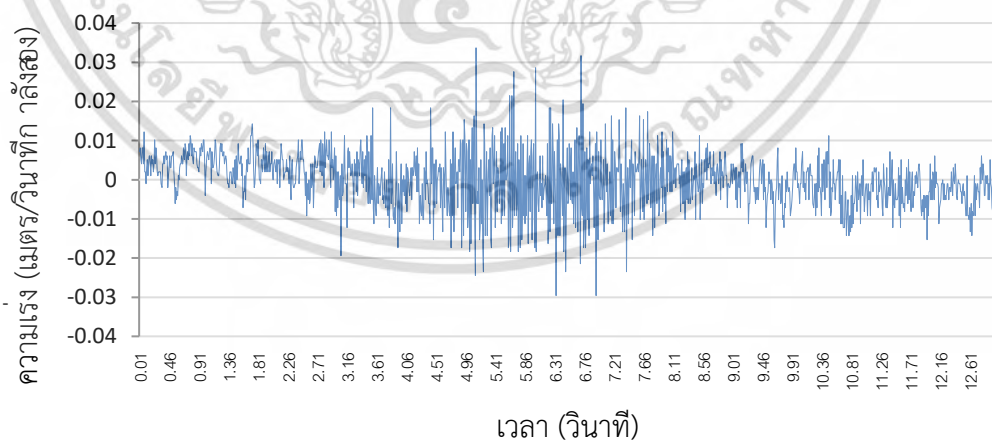
ความเร่งของพื้นดินในทิศทางขนานกับขบวนรถไฟ (แกน Y)



รูปที่ 4-21 ความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวราบ ในแกน Y (ขนานกับขบวนรถไฟ) สถานที่ 7

จากรูปที่ 4-21 ข้อมูลของค่าความเร่งที่วัดได้เทียบกับเวลา ในขณะที่แกนตั้งคือความเร่งของพื้นดินในแนวราบ ในแกน Y (ขนานกับขบวนรถไฟ) มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที กำลังสอง แกนนอนคือเวลา มีหน่วยเป็นวินาที จากกราฟพบว่า ค่าความเร่งสูงสุดที่วัดได้คือ 0.084 เมตรต่อวินาที กำลังสอง และค่าความเร่งต่ำสุดที่วัดได้คือ -0.059 เมตรต่อวินาที กำลังสอง

ความเร่งของพื้นดินในทิศทางตั้งฉากกับหลังคาของขบวนรถไฟ (แกน Z)



รูปที่ 4-22 ความเร่งของพื้นดินในแนวราบ ในแกน Z (ตั้งฉากกับพื้นโลก) สถานที่ 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4-22 ข้อมูลของค่าความเร่งที่วัดได้เทียบกับเวลา ในขณะที่แกนตั้งคือความเร่งของพื้นดินในแนวราบ ในแกน Z (ตั้งฉากกับพื้นโลก) มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาทีกำลังสอง แกนนอนคือเวลา มีหน่วยเป็นวินาที จากกราฟพบว่า ค่าความเร่งสูงสุดที่วัดได้คือ 0.034 เมตรต่อวินาทีกำลังสอง และค่าความเร่งต่ำสุดที่วัดได้คือ -0.03 เมตรต่อวินาทีกำลังสอง

4.3 ความเร่งจากคลื่นการสั่นสะเทือนที่คาดการณ์จากรถไฟความเร็วสูงที่ได้จากการคำนวณจากแบบจำลองทางพลศาสตร์

จากแบบจำลองทางพลศาสตร์อย่างง่ายดังหัวข้อที่ 3.3 สามารถใช้ทฤษฎีการสั่นแบบอิสระระบบที่มีระดับขั้นความเสรีเท่ากับหนึ่ง (Free Vibration Response of Single Degree of Freedom Systems) ดังสมการที่ 3.1 และ 3.2 โดยใช้ค่าตัวแปรต่างๆของโครงสร้างรางรถไฟรวมถึงค่าเฉพาะต่างๆของรถไฟให้มีความสอดคล้องกับรถไฟและค่าของคลื่นการสั่นสะเทือนที่วัดได้จากการสำรวจภาคสนาม โดยได้ทำการเปรียบเทียบกับคลื่นการสั่นสะเทือนจากสถานีที่ 5 เนื่องจากมีความชัดเจนของการสั่นสะเทือนมากที่สุดเมื่อเทียบกับคลื่นจากสถานีอื่น ทางผู้วิจัยได้ทำการเลือกข้อมูลของคลื่นการสั่นสะเทือนเฉพาะเฉพาะแนวตั้งฉากกับพื้นโลก (แกน Z) เนื่องจากเป็นค่าที่มีความชัดเจนของการสั่นสะเทือนมากที่สุดเมื่อเทียบกับแกนอื่น จากแบบจำลองเชิงพลศาสตร์นี้ ใช้ความเร็วของรถไฟเท่ากับความเร็วรถไฟที่ผ่านบริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ซึ่งเป็นรถไฟรุ่น THN ซึ่งมีความเร็ว 100 กิโลเมตรต่อวินาที มีน้ำหนักประมาณ 33 ตัน ซึ่งจากการคำนวณพบว่าน้ำหนักที่แต่ละล้อของรถไฟกระทาต่อรางประมาณ 4000 กิโลกรัม และกำหนดให้จำนวนขบวนของรถไฟเท่ากับ 4 ตู้โดยสาร ซึ่งเท่ากับจำนวนรถไฟที่ทำการวัดจากภาคสนามในสถานีที่ 5

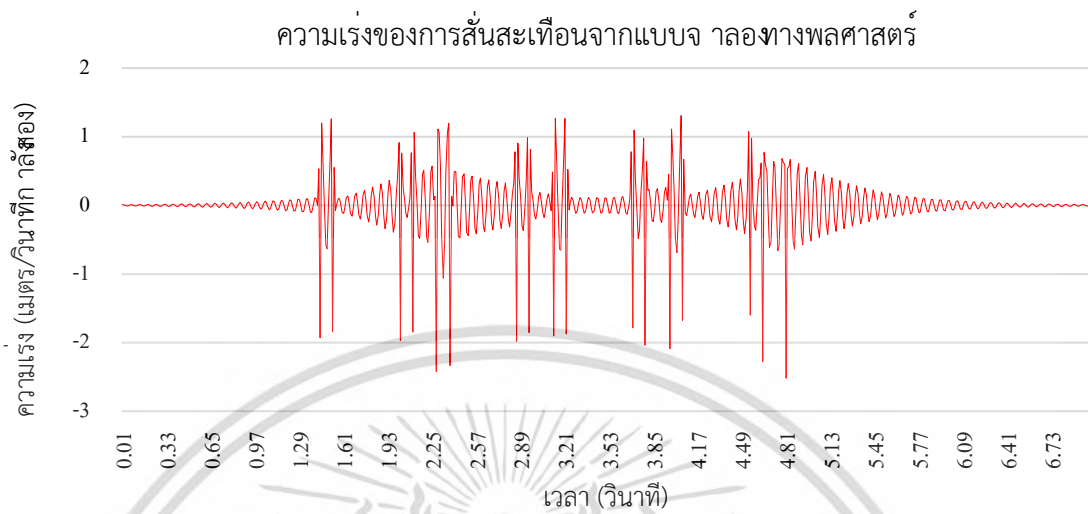
ลักษณะของเส้นทางในบริเวณพื้นที่ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังมีลักษณะเป็นโครงสร้างทางที่มีความแข็ง จาก Martin et al 2009[16] ได้ทำการศึกษาโครงสร้างของทางรถไฟ โครงสร้างทางที่มีความแข็งจะมีค่าความแข็งของโครงสร้างทางรถไฟอยู่ที่ 40-70 kN/mm และ Sungil Kim 2014[17] ได้ทำการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์ความหน่วงของโครงสร้างทางรถไฟ (Damping ratio) ลักษณะที่ตรงกันกับเส้นทางในบริเวณพื้นที่ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง มักจะมีค่าสัมประสิทธิ์ความหน่วงของโครงสร้างทางรถไฟอยู่ในช่วง 1.45-2.5 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้ ทั้งค่าความแข็งของเส้นทางรถไฟ และสัมประสิทธิ์ความหน่วง เป็นค่าที่เกิดขึ้นภายใต้ตัวแปรทางธรรมชาติหลายตัวแปร ทำให้ค่าจริงไม่สามารถระบุได้แน่ชัด เพราะว่าสภาพภูมิประเทศและตัวระบบโครงสร้างราง สามารถเปลี่ยนได้ตลอดเวลา แม้จะอยู่ในบริเวณพื้นที่เดียวกัน

จากการทดลองคำนวณหาค่าความแข็งของเส้นทางรถไฟ และสัมประสิทธิ์ความหน่วง พบว่าค่าความแข็งของเส้นทางรถไฟเท่ากับ 55 กิโลนิวตันต่อมิลลิเมตรและค่าสัมประสิทธิ์ความหน่วง

เท่ากับ 1.85 เปอร์เซ็นต์ สามารถคำนวณค่าการเคลื่อนตัวของคลื่นการสั่นสะเทือนจากแบบจำลองทาง

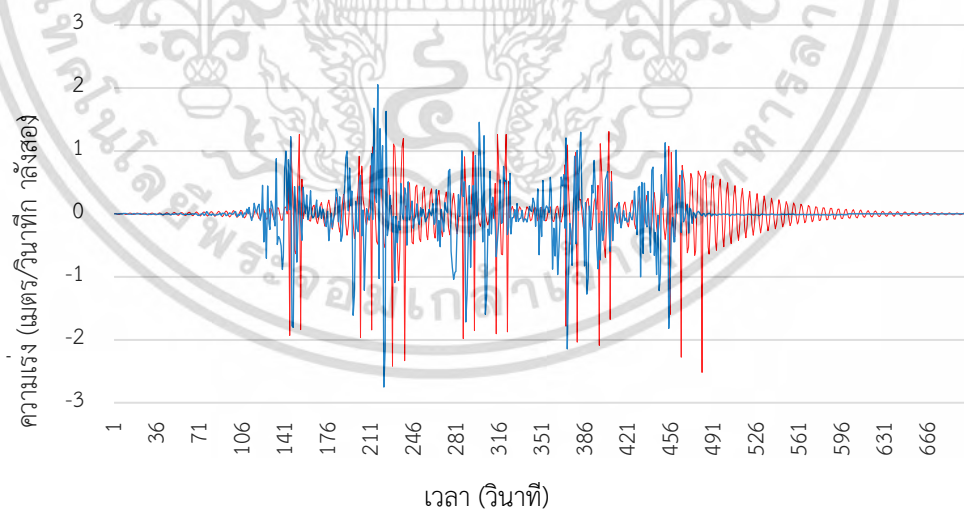
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลศาสตร์ดังรูปที่ 3-15 จากนั้นทำการแปลงค่า จาก ระยะการเคลื่อนตัว เป็นความเร็ว และเป็น ความเร่ง ตามล าดับโดยความเร่งของการสั่นสะเทือนจากแบบจ าลองทางพลศาสตร์มีค่าดังรูป



รูปที่ 4-23 ความเร่งของการสั่นสะเทือนจากแบบจ าลองทางพลศาสตร์

เมื่อทำการเปรียบเทียบพบว่าค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนจากแบบจาลองทางพลศาสตร์ใกล้เคียงกับค่าความเร่งที่วัดได้จากภาคสนามที่สถานีที่ 5 ในทิศทางตั้งฉากกับพื้นโลก (แกน Z) ซึ่งมีความต่างค่าเฉลี่ย (RMS Error) อยู่ที่ 0.935 เปอร์เซ็นต์ ดังรูปที่ 4-24



รูปที่ 4-24 เปรียบเทียบความเร่งของการสั่นสะเทือนจากแบบจ าลองทางพลศาสตร์กับความเร่งที่วัดได้จากภาคสนาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำให้เห็นว่าแบบจำลองทางพลศาสตร์ที่สร้างขึ้น มีแนวโน้มในระดับที่น่าพอใจว่าจะสามารถคาดการณ์แรงสั่นสะเทือนที่เกิดจากรถไฟได้

ด้วยเหตุนี้ จึงทำการสร้างคลื่นการสั่นสะเทือนที่คาดการณ์จากรถไฟความเร็วสูงจากแบบจำลองทางพลศาสตร์ โดยใช้สมมติฐานของรถไฟความเร็วสูงว่า พารามิเตอร์ของรถไฟและโครงสร้างทางรถไฟคงเดิม กล่าวคือ ใช้รถไฟมีน้ำหนักประมาณ 33 ตัน ซึ่งมีน้ำหนักที่แต่ละล้อของรถไฟกระท่อรางประมาณ 4000 กิโลกรัม และกำหนดให้จำนวนขบวนของรถไฟเท่ากับ 4 ตู้ โดยสาร มีค่าความแข็งของเส้นทางรถไฟที่เท่ากับ 55 กิโลนิวตันต่อมิลลิเมตร ค่าสัมประสิทธิ์ความหน่วงเท่ากับ 1.85 เปอร์เซนต์ และรางมีความกว้าง 1 เมตร จากนั้นทำการเพิ่มความเร็วของรถไฟดังกล่าวด้วยความเร็วเท่ากับ 150, 200 และ 250 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งอยู่ในขอบเขตของความเร็วของรถไฟความเร็วสูงที่จะมีการใช้งานในประเทศไทยที่มีความเร็วสูงสุดเท่ากับ 250 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โดยมีพารามิเตอร์ในการสร้างคลื่นการสั่นสะเทือนที่คาดการณ์จากรถไฟความเร็วสูงดังตาราง

ตารางที่ 4-2 พารามิเตอร์ในการสร้างคลื่นการสั่นสะเทือนที่คาดการณ์จากรถไฟความเร็วสูงที่ความเร็ว 150 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

ความเร็วรถไฟ	150 กม./ชม.	น้ำหนักของหมอน	260 กก.
น้ำหนักจากรถไฟ	4000 กก.	ความแข็งของโครงสร้าง	≈ 55 กิโลนิวตัน/มม.
ประเภทของราง	60 E 1	สัมประสิทธิ์ความหน่วง	≈ 1.85 %
น้ำหนักของราง	60.21 กก./ม.	มวลของระบบ	520 กก.
ประเภทของหมอน	B 70	จำนวนตู้ขบวน	4
ระยะห่างระหว่างหมอน	0.65 ม.	ความกว้างของราง	1 เมตร

และมีระยะห่างระหว่างแต่ละล้อของรถไฟและน ไปคานวนหารระยะเวลาที่ล้อรถไฟเคลื่อนผ่านจุดสนใจดังตาราง

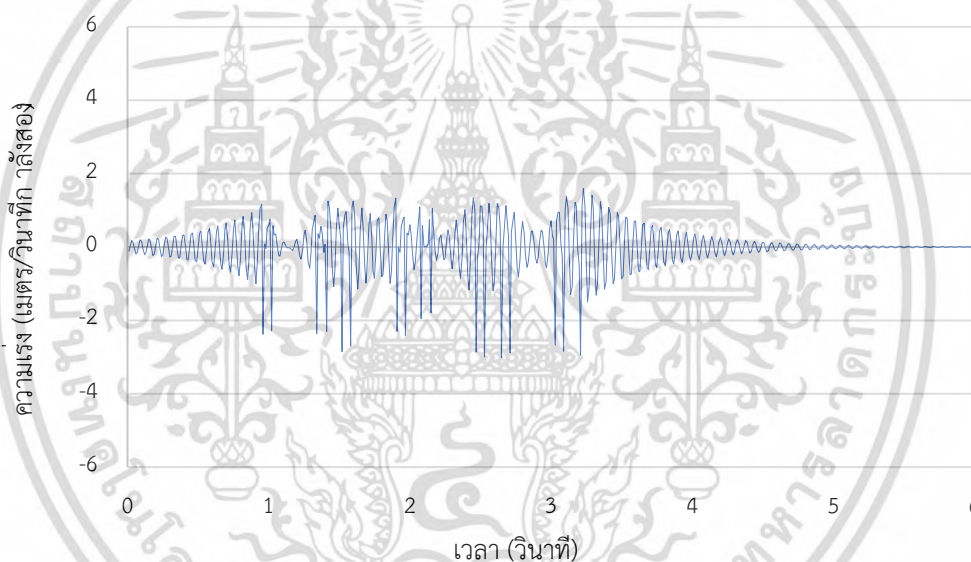
ตารางที่ 4-3 ระยะห่างระหว่างแต่ละล้อของรถไฟและระยะเวลาที่ล้อรถไฟเคลื่อนผ่านจุดสนใจเมื่อรถไฟมีความเร็ว 150 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

ล้อยี่	ระยะห่าง (ม.)	ระยะเวลา (วินาที)	ล้อยี่	ระยะห่าง (ม.)	ระยะเวลา (วินาที)
1	0	0.96	9	4.86	2.08
2	2.56	1.02	10	2.56	2.15
3	13.44	1.34	11	13.44	2.47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ล้อยี่ห้อ	ระยะห่าง (ม.)	ระยะเวลา (วินาที)	ล้อยี่ห้อ	ระยะห่าง (ม.)	ระยะเวลา (วินาที)
4	2.56	1.41	12	2.56	2.53
5	4.86	1.52	13	4.86	2.65
6	2.56	1.58	14	2.56	2.71
7	13.44	1.91	15	13.44	3.03
8	2.56	1.97	16	2.56	3.09

เมื่อนำผลจากการเคลื่อนผ่านของทุกๆ ล้อ ทั้ง 16 ล้อของรถไฟรวมกัน จะความแรงของคลื่นการสั่นสะเทือนที่คาดการณ์จากรถไฟฟ้าความเร็วสูงที่ระดับความเร็ว 150 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 4-25



รูปที่ 4-25 ความแรงของคลื่นการสั่นสะเทือนจากแบบจำลองทางพลศาสตร์ของรถไฟที่มีความเร็ว 150 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

จากรูปที่ 4-25 ข้อมูลของคลื่นการสั่นสะเทือนที่คาดการณ์จากรถไฟฟ้าความเร็วสูงที่มีความเร็ว 150 กิโลเมตรต่อชั่วโมงจากแบบจำลองทางพลศาสตร์เทียบกับเวลา ในขณะที่แกนตั้งคือความแรงของพื้นดินในแนวราบ ในแกน Z (ตั้งฉากกับพื้นโลก) มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาทีกาลังสอง แกนนอนคือเวลา มีหน่วยเป็นวินาที จากกราฟพบว่า ค่าความแรงสูงสุดที่วัดได้คือ 1.405 เมตรต่อวินาทีกาลังสอง และค่าความแรงต่ำสุดที่วัดได้คือ -3.008 เมตรต่อวินาทีกาลังสอง

ตารางที่ 4-4 พารามิเตอร์ในการสร้างคลื่นการสั่นสะเทือนที่คาดการณ์จากรถไฟความเร็วสูงที่ความเร็ว 200 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

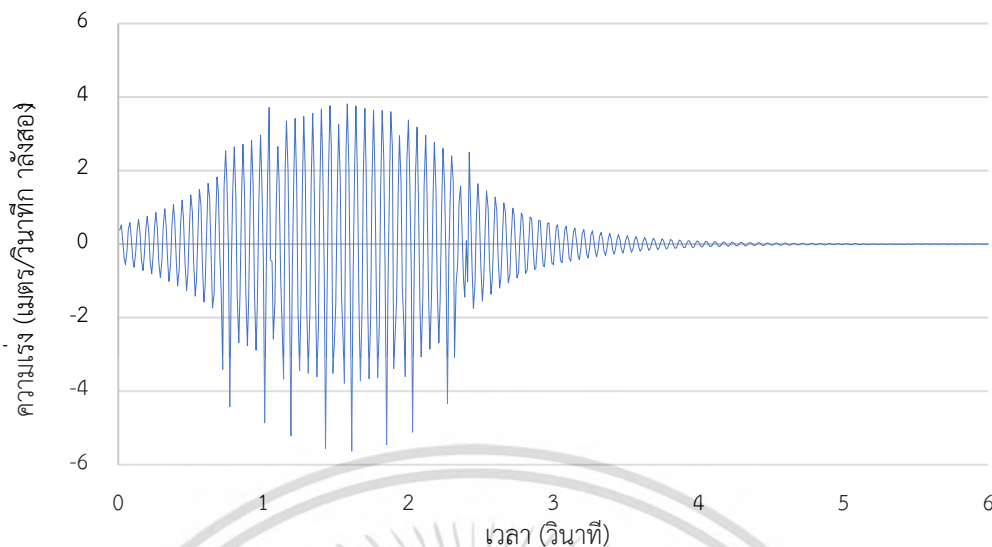
ความเร็วรถไฟ	200 กม./ชม.	น้ำหนักของหมอน	260 กก.
น้ำหนักจากรถไฟ	4000 กก.	ความแข็งของโครงสร้าง	≈ 55 กิโลนิวตัน/มม.
ประเภทของราง	60 E 1	สัมประสิทธิ์ความหน่วง	≈ 1.85 %
น้ำหนักของราง	60.21 กก./ม.	มวลของระบบ	520 กก.
ประเภทของหมอน	B 70	จำนวนตุ้บวน	4
ระยะห่างระหว่างหมอน	0.65 ม.	ความกว้างของราง	1 เมตร

และมีระยะห่างระหว่างแต่ละล้อของรถไฟและน้ไปคานวนหาระยะเวลาที่ล้อรถไฟเคลื่อนผ่านจุดสนใจดังตาราง

ตารางที่ 4-5 ระยะห่างระหว่างแต่ละล้อของรถไฟและระยะเวลาที่ล้อรถไฟเคลื่อนผ่านจุดสนใจเมื่อรถไฟมีความเร็ว 200 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

ล้อที่	ระยะห่าง (ม.)	ระยะเวลา (วินาที)	ล้อที่	ระยะห่าง (ม.)	ระยะเวลา (วินาที)
1	0	0.72	9	4.86	1.56
2	2.56	0.77	10	2.56	1.61
3	13.44	1.01	11	13.44	1.85
4	2.56	1.05	12	2.56	1.90
5	4.86	1.14	13	4.86	1.98
6	2.56	1.19	14	2.56	2.03
7	13.44	1.43	15	13.44	2.27
8	2.56	1.48	16	2.56	2.32

เมื่อนำผลจากการเคลื่อนผ่านของทุกๆล้อ ทั้ง 16 ล้อของรถไฟรวมกัน จะได้ค่าความเร่งของคลื่นการสั่นสะเทือนที่คาดการณ์จากรถไฟความเร็วสูงที่ระดับความเร็ว 200 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 4-26



รูปที่ 4-26 ความเร่งของการสิ้นสุดที่นอนจากแบบจำลองทางพลศาสตร์ของรถไฟที่มีความเร็ว 200 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

จากรูปที่ 4-26 ข้อมูลของคลื่นการสิ้นสุดที่นอนที่คาดการณ์จากรถไฟความเร็วสูงที่มีความเร็ว 200 กิโลเมตรต่อชั่วโมงจากแบบจำลองทางพลศาสตร์เทียบกับเวลา ในขณะที่แกนตั้งคือความเร่งของพื้นดินในแนวราบ ในแกน Z (ตั้งฉากกับพื้นโลก) มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาทีกำลังสอง แกนนอนคือเวลา มีหน่วยเป็นวินาที จากกราฟพบว่า ค่าความเร่งสูงสุดที่วัดได้คือ 3.761 เมตรต่อวินาทีกำลังสอง และค่าความเร่งต่ำสุดที่วัดได้คือ -5.628 เมตรต่อวินาที กำลังสอง

ตารางที่ 4-6 พารามิเตอร์ในการสร้างคลื่นการสิ้นสุดที่นอนที่คาดการณ์จากรถไฟความเร็วสูงที่มีความเร็ว 250 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

ความเร็วรถไฟ	250 กม./ชม.	น้ำหนักของหมอน	260 กก.
น้ำหนักจากล้อรถไฟ	4000 กก.	ความแข็งของโครงสร้าง	≈ 55 กิโลนิวตัน/มม.
ประเภทของราง	60 E 1	สัมประสิทธิ์ความหน่วง	≈ 1.85 %
น้ำหนักของราง	60.21 กก./ม.	มวลของระบบ	520 กก.
ประเภทของหมอน	B 70	จำนวนตู้ขบวน	4
ระยะห่างระหว่างหมอน	0.65 ม.	ความกว้างของราง	1 เมตร

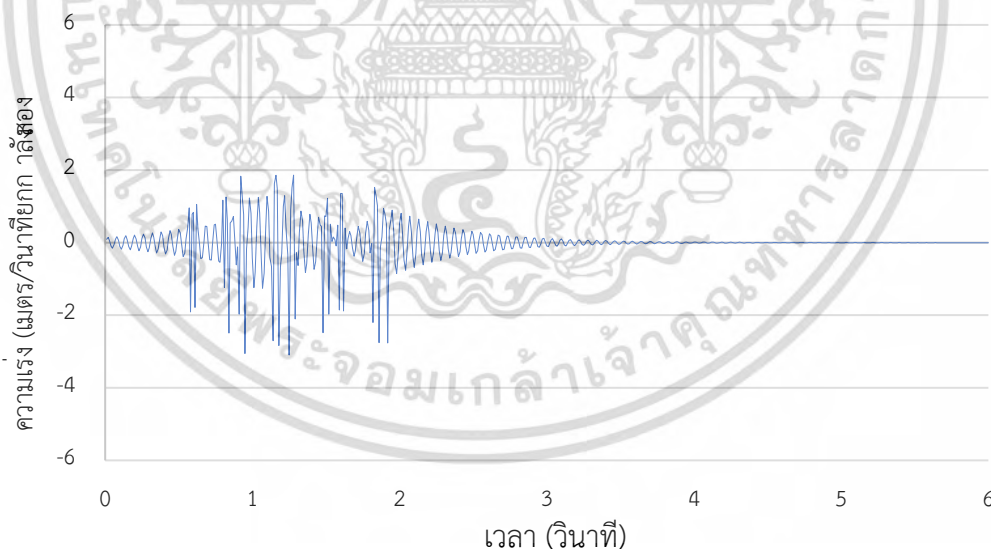
และมีระยะห่างระหว่างแต่ละล้อของรถไฟและน้ไปคานวนหาระยะเวลาที่ล้อรถไฟเลื่อนผ่านจุดสนใจดังตาราง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4-7 ระยะห่างระหว่างแต่ละล้อของรถไฟและระยะเวลาที่ล้อรถไฟเลื่อนผ่านจุดสนใจเมื่อรถไฟมีความเร็ว 250 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

ล้อที่	ระยะห่าง (ม.)	ระยะเวลา (วินาที)	ล้อที่	ระยะห่าง (ม.)	ระยะเวลา (วินาที)
1	0	0.58	9	4.86	1.25
2	2.56	0.61	10	2.56	1.29
3	13.44	0.81	11	13.44	1.48
4	2.56	0.84	12	2.56	1.52
5	4.86	0.91	13	4.86	1.59
6	2.56	0.95	14	2.56	1.62
7	13.44	1.14	15	13.44	1.82
8	2.56	1.18	16	2.56	1.86

เมื่อนาผลจากการเคลื่อนผ่านของทุกๆล้อ ทั้ง 16 ล้อของรถไฟรวมกัน จะได้ค่าความเร่งของคลื่นการสั่นสะเทือนที่คาดการณ์จากรถไฟความเร็วสูงที่ระดับความเร็ว 250 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 4-27



รูปที่ 4-27 ความเร่งของการสั่นสะเทือนจากแบบจำลองทางพลศาสตร์ของรถไฟที่มีความเร็ว 250 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

จากรูปที่ 4-27 ข้อมูลของการคลื่นการสั่นสะเทือนที่คาดการณ์จากรถไฟความเร็วสูงที่มีความเร็ว 250 กิโลเมตรต่อชั่วโมงจากแบบจำลองทางพลศาสตร์เทียบกับเวลา ในขณะที่แกนตั้งคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเร่งของพื้นดินในแนวราบ ในแกน Z (ตั้งฉากกับพื้นโลก) มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาทีกำลังสอง แกนนอนคือเวลา มีหน่วยเป็นวินาที จากกราฟพบว่า ค่าความเร่งสูงสุดที่วัดได้คือ 1.861 เมตรต่อวินาทีกำลังสอง และค่าความเร่งต่ำสุดที่วัดได้คือ -3.096 เมตรต่อวินาทีกำลังสอง

การสร้างคลื่นการสั่นสะเทือนที่คาดการณ์จากรถไฟความเร็วสูงนี้ อยู่ภายใต้สมมติฐานที่ว่า น้ำหนักจากจากรถไฟส่งผ่านลงอยู่ล้อรถไฟ ซึ่งน้ำหนักที่ตกลงที่แต่ละล้อของรถไฟนั้นจะมีค่าที่เท่ากัน ตลอดทั้งขบวน มีการเปลี่ยนแปลงเพียงแค่ความเร็ว ไม่มีการเปลี่ยนแปลงจ านวนของขบวนรถไฟ หรือ แม้แต่โครงสร้างทางรถไฟ โดยค่าแอมพลิจูดที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงเมื่อเปลี่ยนแปลงความเร็วของรถไฟนั้น เป็นผลมาจากการแทรกสอดกันของคลื่นการสั่นสะเทือนที่เกิดจากการกระแทกของแต่ละล้อรถไฟต่อราง ที่ระยะเวลาที่แตกต่างกัน

4.4 ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์เมื่อให้ความเร่งที่วัดได้จากภาคสนามของการสั่นสะเทือนของรถไฟแก่อาคาร

จากการสร้างแบบจำลองสามมิติของอาคารขนาดเล็กและอาคารขนาดกลางโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ซึ่งมีความสามารถในการคำนวณด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยการเลือกใช้อองค์ประกอบของเอลิเมนต์ให้เหมาะสมกับลักษณะอาคารที่พิจารณาและมีการกำหนดสภาพการยึดรั้งที่ฐานของอาคารให้สอดคล้องกับสภาพจริงมากที่สุด แรงกระทำต่อตัวอาคารจะประกอบไปด้วยน้ำหนักวัสดุที่ประกอบขึ้นเป็นอาคารกับน้ำหนักจรที่ใช้ในการออกแบบ จากนั้นทำการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองโครงสร้างอาคารจะทำการวิเคราะห์โดยอยู่ในสมมติฐานของกรณีเลวร้ายที่สุด (worst case) ที่อาจเกิดขึ้นได้ เมื่อมีการสั่นสะเทือนจากรถไฟ ทั้งนี้ ยังไม่รวมการดูดซับแรงสั่นสะเทือนในดิน ที่อาจทำให้แรงสั่นสะเทือนมีค่าน้อยลง ข้อมูลความเร่งของการสั่นสะเทือนที่วัดได้ในแต่ละสถานีต่างๆจากภาคสนามจะถูกนำมาใช้เป็นคลื่นการสั่นสะเทือนในแต่ละทิศทางที่กระทำ ต่อฐานรองรับของแบบจำลองอาคารที่สร้างขึ้นโดยตรงเพื่อศึกษาผลการตอบสนองของอาคารภายใต้ความเร่งของการสั่นสะเทือน

4.4.1 โหมดของการสั่น ความถี่ธรรมชาติและคาบของการสั่นของโครงสร้าง

อาคาร

การตรวจวัดคุณสมบัติเชิงพลศาสตร์ของแบบจำลองโครงสร้างอาคาร 2 ชนิดได้แก่แบบจำลองอาคารขนาดเล็ก แบบจำลองอาคารขนาดกลาง พบว่าในแต่ละแบบมีโหมดของการสั่น ความถี่ธรรมชาติและคาบของการสั่นของแต่ละโครงสร้างดังนี้

ตารางที่ 4-8 โหมดของการสั่น ความถี่ธรรมชาติและคาบของการสั่นของอาคารขนาดเล็ก

โหมดการสั่น	คาบการสั่น (วินาที)	ความถี่ (เฮิรตซ์)
1	0.545	1.835
2	0.535	1.868
3	0.502	1.993

จากตารางที่ 4-2 พบว่าคาบการสั่นที่มากที่สุดของอาคารขนาดเล็กเกิดขึ้นที่โหมดการสั่นที่ 1 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.545 วินาทีและสามารถคำนวณหาค่าความถี่ธรรมชาติของโครงสร้างอาคารได้เท่ากับ 1.835 เฮิรตซ์

ตารางที่ 4-9 โหมดของการสั่น ความถี่ธรรมชาติและคาบของการสั่นของอาคารขนาดกลาง

โหมดการสั่น	คาบการสั่น (วินาที)	ความถี่ (เฮิรตซ์)
1	0.947	1.056
2	0.458	2.184
3	0.367	2.728

จากตารางที่ 4-3 พบว่าคาบการสั่นที่มากที่สุดของอาคารขนาดกลางเกิดขึ้นที่โหมดการสั่นที่ 1 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.947 วินาทีและสามารถคำนวณหาค่าความถี่ธรรมชาติของโครงสร้างอาคารได้เท่ากับ 1.056 เฮิรตซ์

4.4.2 แรงแผ่นลมสูงสุดและโมเมนต์ดัดสูงสุดที่ฐานของอาคาร

จากการวิเคราะห์โครงสร้างของอาคารโดยทำการหาค่าความเร่งของการสั่นที่วัดได้ทั้งสามทิศทางจากภาคสนามทั้ง 7 สถานี โดยทำการวิเคราะห์ผลตอบสนองเชิงเส้นแบบประวัติเวลา (time history analysis) กับโครงสร้างอาคารขนาดเล็กและขนาดกลางเพื่อทำการศึกษาเพื่อศึกษาพฤติกรรมของโครงสร้างและผลตอบสนองของอาคาร พบว่ามีค่าแรงแผ่นลมสูงสุดและโมเมนต์ดัดสูงสุดที่ฐานของอาคารขนาดเล็ก ดังตาราง

ตารางที่ 4-10 แรงเฉือนสูงสุดสัมบูรณ์และโมเมนต์ดัดสูงสุดสัมบูรณ์ที่ฐานของอาคารขนาดเล็ก

ข้อมูลของ ความเร่ง	แรงเฉือน (นิวตัน)		โมเมนต์ดัด (นิวตัน-เมตร)	
	แกน X	แกน Y	แกน X	แกน Y
สถานีที่ 1	5,723.55	6,176.18	40,053.74	37,101.52
สถานีที่ 2	61,631.82	23,754.52	153,919.49	428,651.19
สถานีที่ 3	14,977.32	22,485.21	143,325.57	98,904.13
สถานีที่ 4	15,902.89	23,281.97	147,395.54	109,285.46
สถานีที่ 5	44,664.93	60,354.85	451,385.86	270,112.76
สถานีที่ 6	20,414.22	31,255.25	209,633.03	147,129.99
สถานีที่ 7	63,803.06	28,065.82	374,859.03	941,299.71

จากตารางที่ 4-5 แสดงถึงค่าแรงเฉือนมีหน่วยเท่ากับนิวตัน และโมเมนต์ดัดมีหน่วยเท่ากับนิวตัน-เมตรที่ฐานของแบบจำลองอาคารขนาดเล็กจากค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนที่วัดได้ในแต่ละสถานี จากตารางพบว่าค่าแรงเฉือนที่ฐานโครงสร้างในแนวแกน X มีค่าสูงสุดเกิดจากค่าความเร่งของสถานีที่ 7 มีค่าเท่ากับ 63,803.06 นิวตัน และแนวแกน Y มีค่าสูงสุดเกิดจากค่าความเร่งของสถานีที่ 5 มีค่าเท่ากับ 60,354.85 นิวตัน ค่าโมเมนต์ดัดที่ฐานโครงสร้างในแนวแกน X มีค่าสูงสุดเกิดจากค่าความเร่งของสถานีที่ 5 มีค่าเท่ากับ 451,385.86 นิวตัน-เมตร และแนวแกน Y มีค่าสูงสุดเกิดจากค่าความเร่งของสถานีที่ 7 มีค่าเท่ากับ 941,299.71 นิวตัน-เมตร และค่าแรงเฉือนสูงสุดและแรงดัดสูงสุดที่ฐานของอาคารขนาดกลางแสดงดังตาราง

ตารางที่ 4-11 แรงเฉือนสูงสุดสัมบูรณ์และโมเมนต์ดัดสูงสุดสัมบูรณ์ที่ฐานของอาคารขนาดกลาง

ข้อมูลของ ความเร่ง	แรงเฉือน (นิวตัน)		โมเมนต์ดัด (นิวตัน-เมตร)	
	แกน X	แกน Y	แกน X	แกน Y
สถานีที่ 1	63,803.06	28,065.82	374,859.03	941,299.71
สถานีที่ 2	341,546.43	149,879.83	2,115,803.73	5,133,763.02
สถานีที่ 3	83,924.84	106,429.57	1,441,633.85	1,241,505.82
สถานีที่ 4	81,016.18	100,921.16	1,362,043.45	1,211,707.46
สถานีที่ 5	318,779.09	335,272.35	4,749,533.18	4,575,098.92
สถานีที่ 6	99,479.38	119,773.72	1,646,254.75	1,452,402.48
สถานีที่ 7	318,779.09	28,065.82	374,859.03	941,299.71

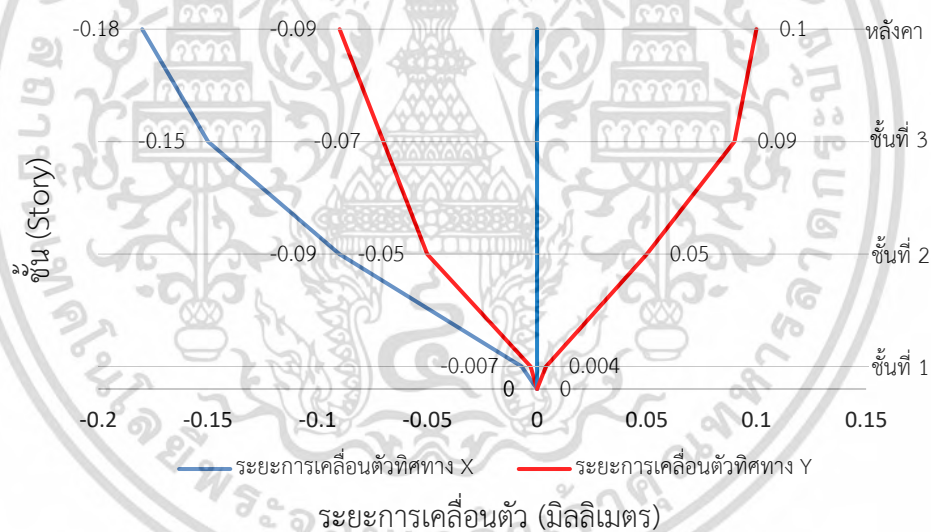
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4-6 แสดงถึงค่าแรงเฉือนมีหน่วยเท่ากับนิวตัน และโมเมนต์ดัดมีหน่วยเท่ากับนิวตัน-เมตรที่ฐานของแบบจำลองอาคารขนาดกลางจากค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนที่วัดได้ในแต่ละสถานี จากตารางพบว่าค่าแรงเฉือนที่ฐานโครงสร้างในแนวแกน X มีค่าสูงสุดเกิดจากค่าความเร่งของสถานีที่ 2 มีค่าเท่ากับ 341,546.4315 นิวตัน และแนวแกน Y มีค่าสูงสุดเกิดจากค่าความเร่งของสถานีที่ 5 มีค่าเท่ากับ 335,272.3479 นิวตัน ค่าโมเมนต์ดัดที่ฐานโครงสร้างในแนวแกน X มีค่าสูงสุดเกิดจากค่าความเร่งของสถานีที่ 5 มีค่าเท่ากับ 4,749,533.18 นิวตัน-เมตร และแนวแกน Y มีค่าสูงสุดเกิดจากค่าความเร่งของสถานีที่ 2 มีค่าเท่ากับ 5,133,763.02 นิวตัน-เมตร

4.4.3 ระยะเวลาเคลื่อนตัวเกิดขึ้นในแต่ละชั้นของอาคาร

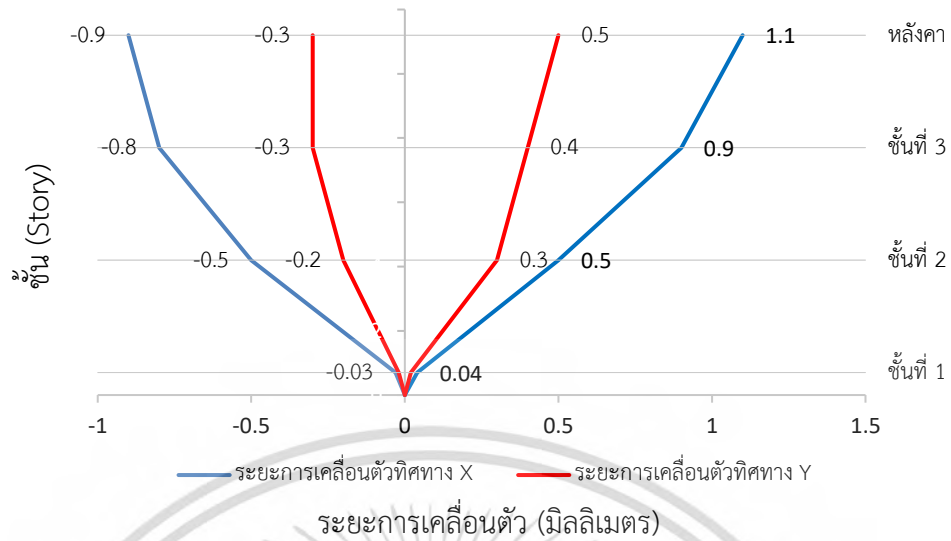
จากการวิเคราะห์โครงสร้างของอาคารโดยทำการให้ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนที่วัดได้ทั้งสามทิศทางจากภาคสนามทั้ง 7 สถานี โดยทำการวิเคราะห์กับโครงสร้างอาคารขนาดเล็กและขนาดกลางเพื่อหา การศึกษาเพื่อศึกษาพฤติกรรมของโครงสร้างและผลตอบสนองของอาคาร

4.4.3.1 ระยะเวลาเคลื่อนตัวเกิดขึ้นในแต่ละชั้นของอาคารขนาดเล็ก



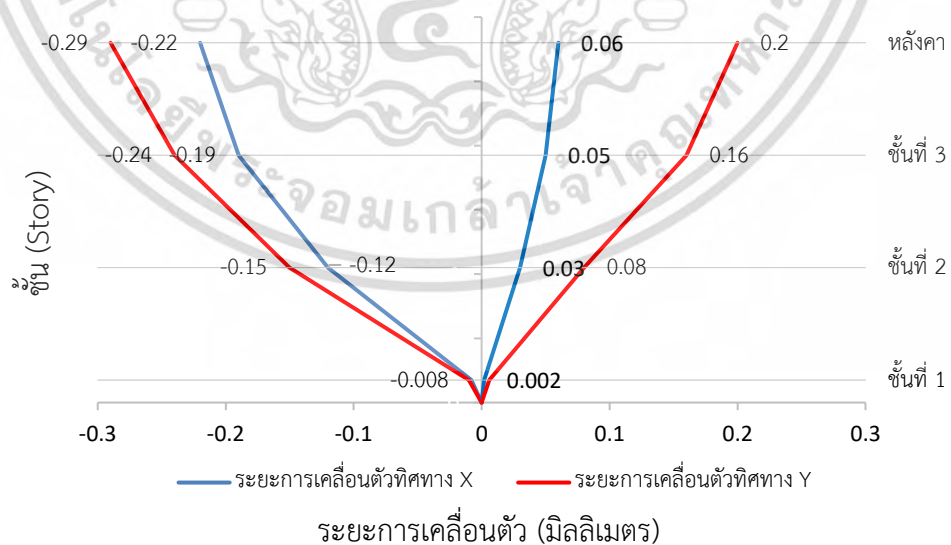
รูปที่ 4-28 ระยะเวลาเคลื่อนตัวเกิดขึ้นในแต่ละชั้นของอาคารขนาดเล็ก จากค่าความเร่งที่วัดได้บริเวณจุดวัดสถานีที่ 1

จากรูปที่ 4-28 แสดงระยะเวลาเคลื่อนตัวเกิดขึ้นในแต่ละชั้นของอาคารขนาดเล็ก จากค่าความเร่งที่วัดได้บริเวณจุดวัดสถานีที่ 1 โดยแกนตั้งแสดงชั้นของอาคาร แกนนอนแสดงระยะเวลาเคลื่อนตัวของอาคาร กราฟสีน้ำเงินแสดงการเคลื่อนที่ในแนวแกน X และกราฟสีแดงแสดงการเคลื่อนที่ในแนวแกน Y จากรูปพบว่าระยะเวลาเคลื่อนตัวสูงสุดสมบูรณ์ในแกน X เท่ากับ 0.18 มิลลิวินาที และระยะเวลาเคลื่อนตัวสูงสุดสมบูรณ์ในแกน Y เท่ากับ 0.1 มิลลิวินาที



รูปที่ 4-29 ระยะการเคลื่อนตัวเกิดขึ้นในแต่ละชั้นของอาคารขนาดเล็ก จากค่าความเร่งที่วัดได้ บริเวณจุดวัดสถานีที่ 2

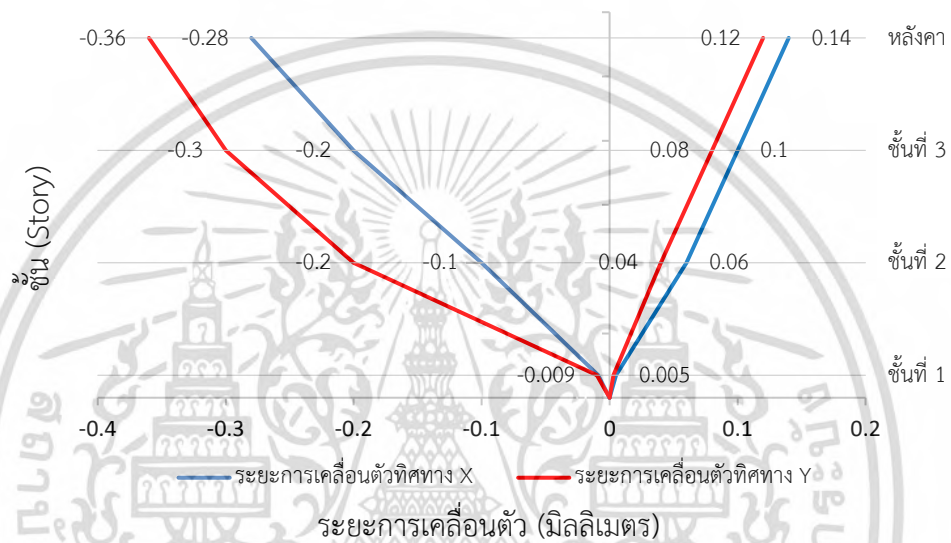
จากรูปที่ 4-29 แสดงระยะการเคลื่อนตัวเกิดขึ้นในแต่ละชั้นของอาคารขนาดเล็ก จากค่าความเร่งที่วัดได้บริเวณจุดวัดสถานีที่ 2 โดยแกนตั้งแสดงชั้นของอาคาร แกนนอนแสดงระยะการเคลื่อนตัวของอาคาร กราฟสีน้ำเงินแสดงการเคลื่อนที่ในแนวแกน X และกราฟสีแดงแสดงการเคลื่อนที่ในแนวแกน Y จากรูปพบว่าระยะการเคลื่อนตัวสูงสุดสัมบูรณ์ในแกน X เท่ากับ 1.1 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนตัวสูงสุดสัมบูรณ์ในแกน Y เท่ากับ 0.5 มิลลิเมตร



รูปที่ 4-30 ระยะการเคลื่อนตัวเกิดขึ้นในแต่ละชั้นของอาคารขนาดเล็ก จากค่าความเร่งที่วัดได้ บริเวณจุดวัดสถานีที่ 3

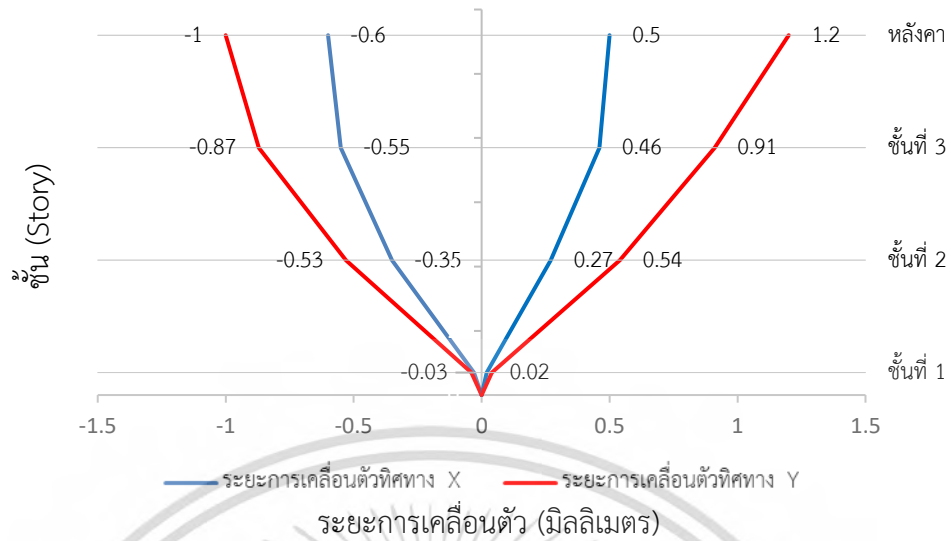
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4-30 แสดงระยะการเคลื่อนตัวเกิดขึ้นในแต่ละชั้นของอาคารขนาดเล็ก จากค่าความเร่งที่วัดได้บริเวณจุดวัดสถานีที่ 3 โดยแกนตั้งแสดงชั้นของอาคาร แกนนอนแสดงระยะการเคลื่อนตัวของอาคาร กราฟสีน้ำเงินแสดงการเคลื่อนที่ในแนวแกน X และกราฟสีแดงแสดงการเคลื่อนที่ในแนวแกน Y จากรูปพบว่าระยะการเคลื่อนตัวสูงสุดสัมบูรณ์ในแกน X เท่ากับ 0.22 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนตัวสูงสุดสัมบูรณ์ในแกน Y เท่ากับ 0.29 มิลลิเมตร



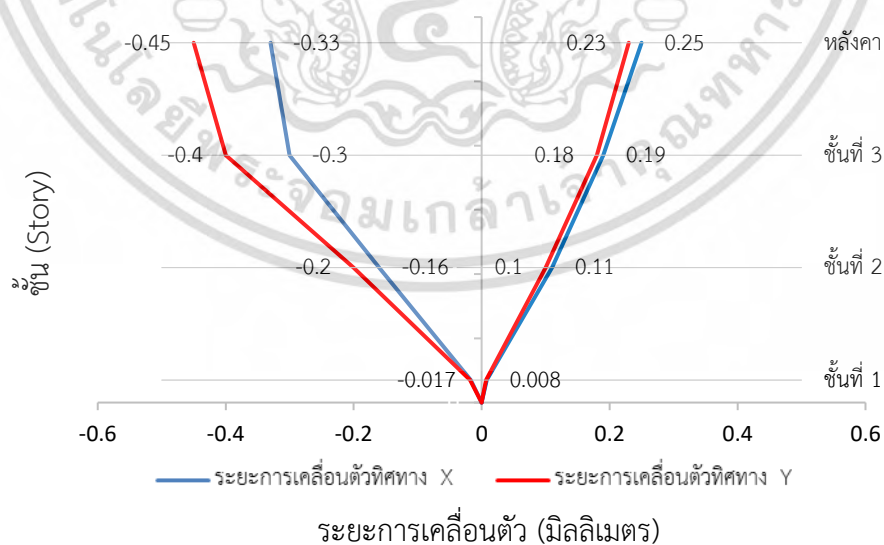
รูปที่ 4-31 ระยะการเคลื่อนตัวเกิดขึ้นในแต่ละชั้นของอาคารขนาดเล็ก จากค่าความเร่งที่วัดได้บริเวณจุดวัดสถานีที่ 4

จากรูปที่ 4-31 แสดงระยะการเคลื่อนตัวเกิดขึ้นในแต่ละชั้นของอาคารขนาดเล็ก จากค่าความเร่งที่วัดได้บริเวณจุดวัดสถานีที่ 4 โดยแกนตั้งแสดงชั้นของอาคาร แกนนอนแสดงระยะการเคลื่อนตัวของอาคาร กราฟสีน้ำเงินแสดงการเคลื่อนที่ในแนวแกน X และกราฟสีแดงแสดงการเคลื่อนที่ในแนวแกน Y จากรูปพบว่าระยะการเคลื่อนตัวสูงสุดสัมบูรณ์ในแกน X เท่ากับ 0.28 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนตัวสูงสุดสัมบูรณ์ในแกน Y เท่ากับ 0.36 มิลลิเมตร



รูปที่ 4-32 ระยะการเคลื่อนตัวเกิดขึ้นในแต่ละชั้นของอาคารขนาดเล็ก จากค่าความเร่งที่วัดได้ บริเวณจุดวัดสถานีที่ 5

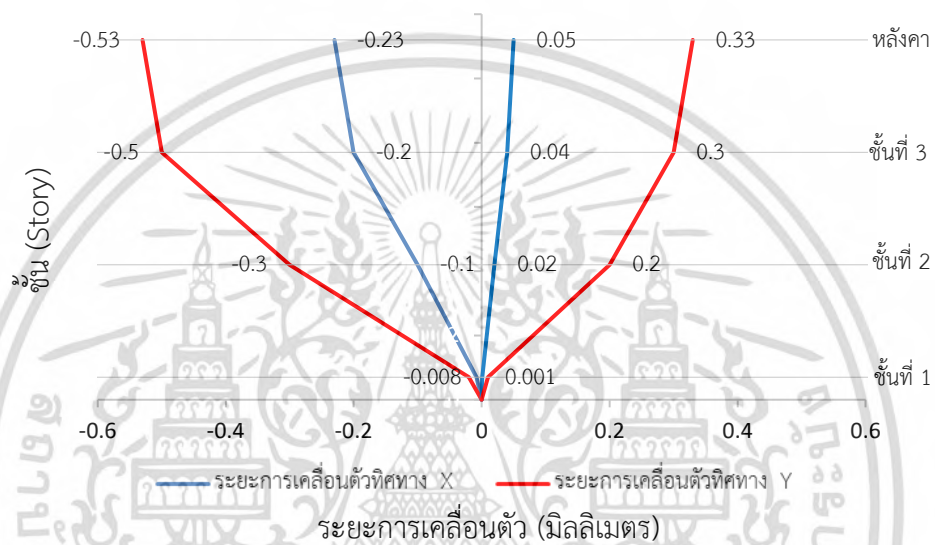
จากรูปที่ 4-32 แสดงระยะการเคลื่อนตัวที่เกิดขึ้นในแต่ละชั้นของอาคารขนาดเล็ก จากค่าความเร่งที่วัดได้บริเวณจุดวัดสถานีที่ 5 โดยแกนตั้งแสดงชั้นของอาคาร แกนนอนแสดงระยะการเคลื่อนตัวของอาคาร กราฟสีน้ำเงินแสดงการเคลื่อนที่ในแนวแกน X และกราฟสีแดงแสดงการเคลื่อนที่ในแนวแกน Y จากรูปพบว่าระยะการเคลื่อนตัวสูงสุดสัมบูรณ์ในแกน X เท่ากับ 0.6 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนตัวสูงสุดสัมบูรณ์ในแกน Y เท่ากับ 1.2 มิลลิเมตร



รูปที่ 4-33 ระยะการเคลื่อนตัวเกิดขึ้นในแต่ละชั้นของอาคารขนาดเล็ก จากค่าความเร่งที่วัดได้ บริเวณจุดวัดสถานีที่ 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

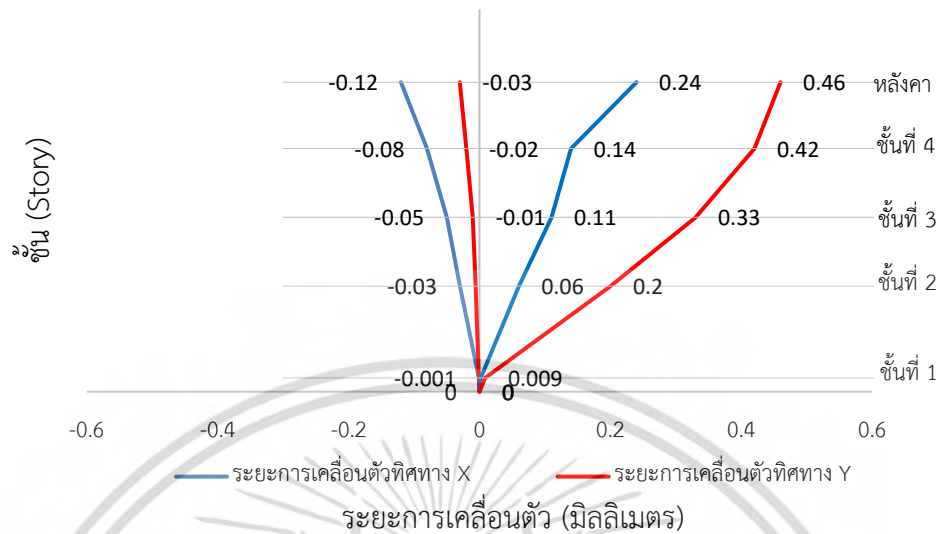
จากรูปที่ 4-33 แสดงระยะการเคลื่อนตัวเกิดขึ้นในแต่ละชั้นของอาคารขนาดเล็ก จากค่าความเร่งที่วัดได้บริเวณจุดวัดสถานีที่ 6 โดยแกนตั้งแสดงชั้นของอาคาร แกนนอนแสดงระยะการเคลื่อนตัวของอาคาร กราฟสีน้ำเงินแสดงการเคลื่อนที่ในแนวแกน X และกราฟสีแดงแสดงการเคลื่อนที่ในแนวแกน Y จากรูปพบว่าระยะการเคลื่อนตัวสูงสุดสัมบูรณ์ในแกน X เท่ากับ 0.33 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนตัวสูงสุดสัมบูรณ์ในแกน Y เท่ากับ 0.45 มิลลิเมตร



รูปที่ 4-34 ระยะการเคลื่อนตัวเกิดขึ้นในแต่ละชั้นของอาคารขนาดเล็ก จากค่าความเร่งที่วัดได้บริเวณจุดวัดสถานีที่ 7

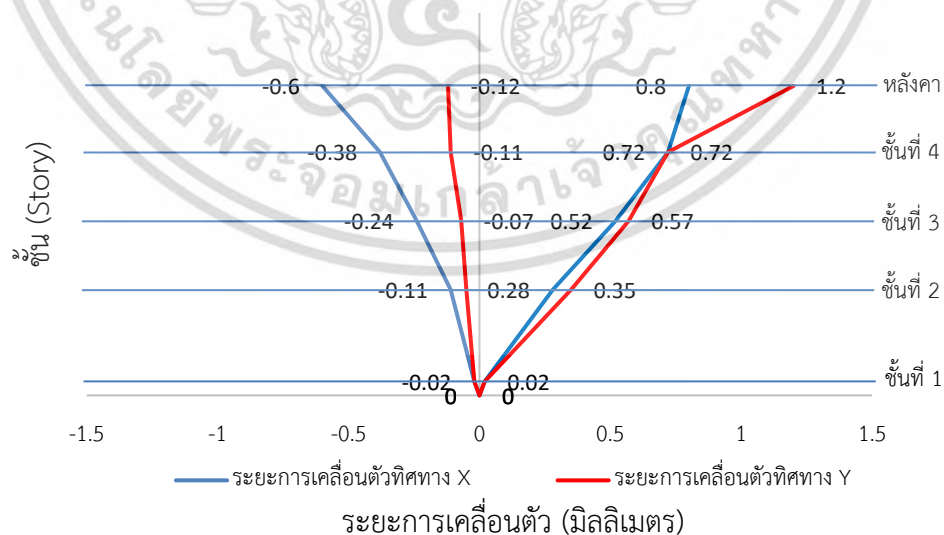
จากรูปที่ 4-34 แสดงระยะการเคลื่อนตัวเกิดขึ้นในแต่ละชั้นของอาคารขนาดเล็ก จากค่าความเร่งที่วัดได้บริเวณจุดวัดสถานีที่ 7 โดยแกนตั้งแสดงชั้นของอาคาร แกนนอนแสดงระยะการเคลื่อนตัวของอาคาร กราฟสีน้ำเงินแสดงการเคลื่อนที่ในแนวแกน X และกราฟสีแดงแสดงการเคลื่อนที่ในแนวแกน Y จากรูปพบว่าระยะการเคลื่อนตัวสูงสุดสัมบูรณ์ในแกน X เท่ากับ 0.23 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนตัวสูงสุดสัมบูรณ์ในแกน Y เท่ากับ 0.53 มิลลิเมตร

4.4.3.2 ระยะเวลาเคลื่อนตัวเกิดขึ้นในแต่ละชั้นของอาคารขนาดกลาง



รูปที่ 4-35 ระยะเวลาเคลื่อนตัวเกิดขึ้นในแต่ละชั้นของอาคารขนาดกลาง จากค่าความเร่งที่วัดได้ บริเวณจุดวัดสถานีที่ 1

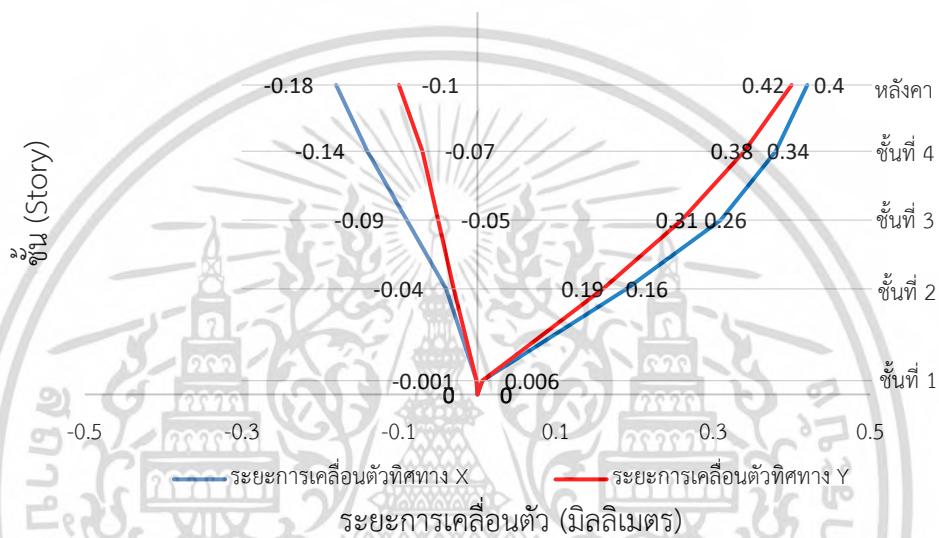
จากรูปที่ 4-35 แสดงระยะเวลาเคลื่อนตัวเกิดขึ้นในแต่ละชั้นของอาคารขนาดกลาง จากค่าความเร่งที่วัดได้บริเวณจุดวัดสถานีที่ 1 โดยแกนตั้งแสดงชั้นของอาคาร แกนนอนแสดงระยะเวลาเคลื่อนตัวของอาคาร กราฟสีน้ำเงินแสดงการเคลื่อนที่ในแนวแกน X และกราฟสีแดงแสดงการเคลื่อนที่ในแนวแกน Y จากรูปพบว่าระยะเวลาเคลื่อนตัวสูงสุดสัมบูรณ์ในแกน X เท่ากับ 0.24 มิลลิเมตร และระยะเวลาเคลื่อนตัวสูงสุดสัมบูรณ์ในแกน Y เท่ากับ 0.46 มิลลิเมตร



รูปที่ 4-36 ระยะเวลาเคลื่อนตัวเกิดขึ้นในแต่ละชั้นของอาคารขนาดกลาง จากค่าความเร่งที่วัดได้ บริเวณจุดวัดสถานีที่ 2

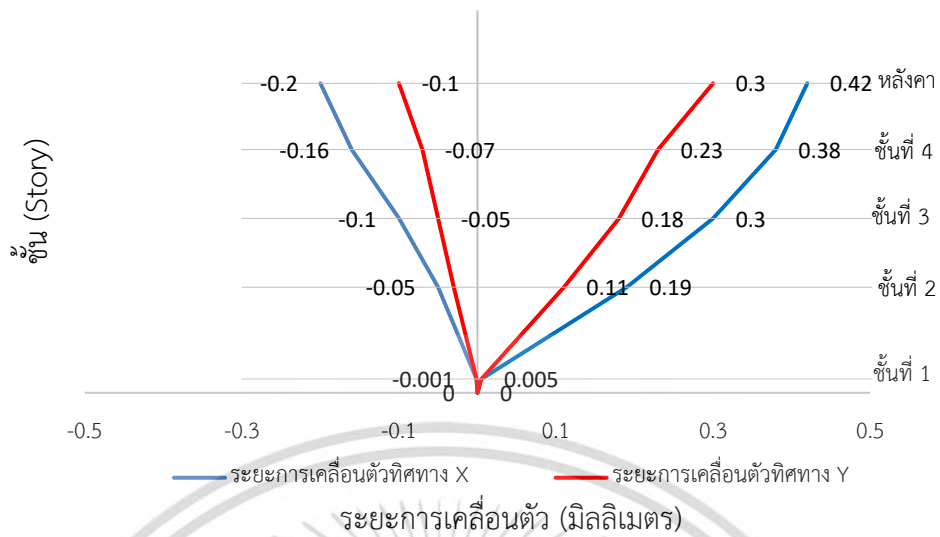
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4-36 แสดงระยะการเคลื่อนตัวเกิดขึ้นในแต่ละชั้นของอาคารขนาดกลาง จากค่าความเร่งที่วัดได้บริเวณจุดวัดสถานีที่ 2 โดยแกนตั้งแสดงชั้นของอาคาร แกนนอนแสดงระยะการเคลื่อนตัวของอาคาร กราฟสีน้ำเงินแสดงการเคลื่อนที่ในแนวแกน X และกราฟสีแดงแสดงการเคลื่อนที่ในแนวแกน Y จากรูปพบว่าระยะการเคลื่อนตัวสูงสุดสัมบูรณ์ในแกน X เท่ากับ 0.8 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนตัวสูงสุดสัมบูรณ์ในแกน Y เท่ากับ 1.2 มิลลิเมตร



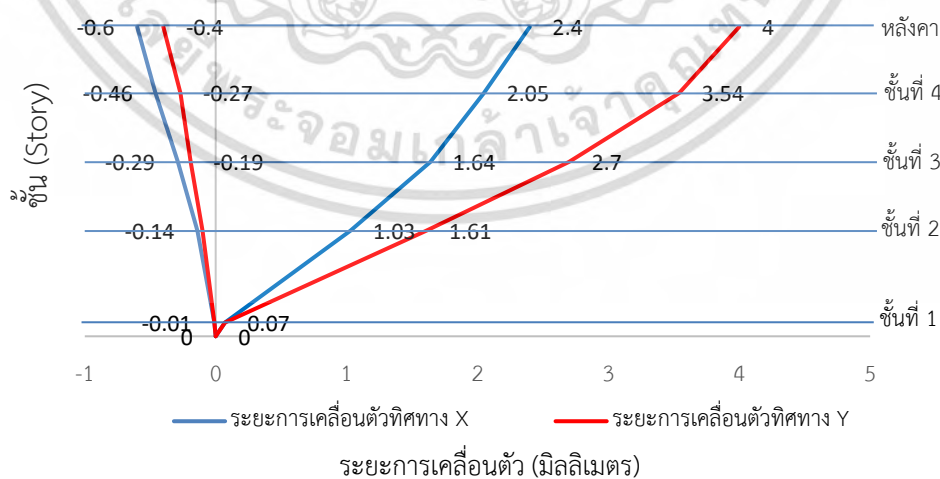
รูปที่ 4-37 ระยะการเคลื่อนตัวเกิดขึ้นในแต่ละชั้นของอาคารขนาดกลาง จากค่าความเร่งที่วัดได้บริเวณจุดวัดสถานีที่ 3

จากรูปที่ 4-37 แสดงระยะการเคลื่อนตัวเกิดขึ้นในแต่ละชั้นของอาคารขนาดกลาง จากค่าความเร่งที่วัดได้บริเวณจุดวัดสถานีที่ 3 โดยแกนตั้งแสดงชั้นของอาคาร แกนนอนแสดงระยะการเคลื่อนตัวของอาคาร กราฟสีน้ำเงินแสดงการเคลื่อนที่ในแนวแกน X และกราฟสีแดงแสดงการเคลื่อนที่ในแนวแกน Y จากรูปพบว่าระยะการเคลื่อนตัวสูงสุดสัมบูรณ์ในแกน X เท่ากับ 0.4 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนตัวสูงสุดสัมบูรณ์ในแกน Y เท่ากับ 0.42 มิลลิเมตร



รูปที่ 4-38 ระยะการเคลื่อนตัวเกิดขึ้นในแต่ละชั้นของอาคารขนาดกลาง จากค่าความเร่งที่วัดได้ บริเวณจุดวัดสถานีที่ 4

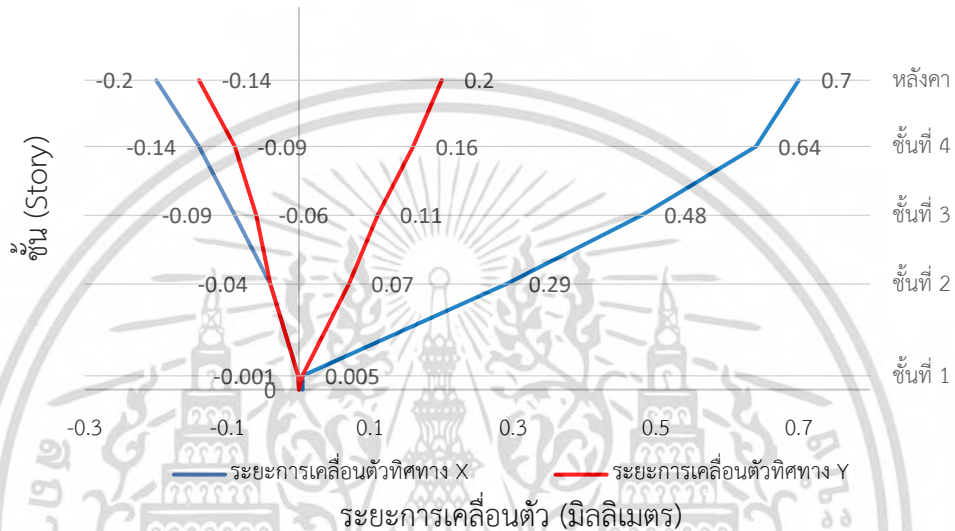
จากรูปที่ 4-38 แสดงระยะการเคลื่อนตัวที่เกิดขึ้นในแต่ละชั้นของอาคารขนาดกลาง จากค่าความเร่งที่วัดได้บริเวณจุดวัดสถานีที่ 4 โดยแกนตั้งแสดงชั้นของอาคาร แกนนอนแสดงระยะการเคลื่อนตัวของอาคาร กราฟสีน้ำเงินแสดงการเคลื่อนที่ในแนวแกน X และกราฟสีแดงแสดงการเคลื่อนที่ในแนวแกน Y จากรูปพบว่าระยะการเคลื่อนตัวสูงสุดสัมบูรณ์ในแกน X เท่ากับ 0.42 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนตัวสูงสุดสัมบูรณ์ในแกน Y เท่ากับ 0.3 มิลลิเมตร



รูปที่ 4-39 ระยะการเคลื่อนตัวเกิดขึ้นในแต่ละชั้นของอาคารขนาดกลาง จากค่าความเร่งที่วัดได้ บริเวณจุดวัดสถานีที่ 5

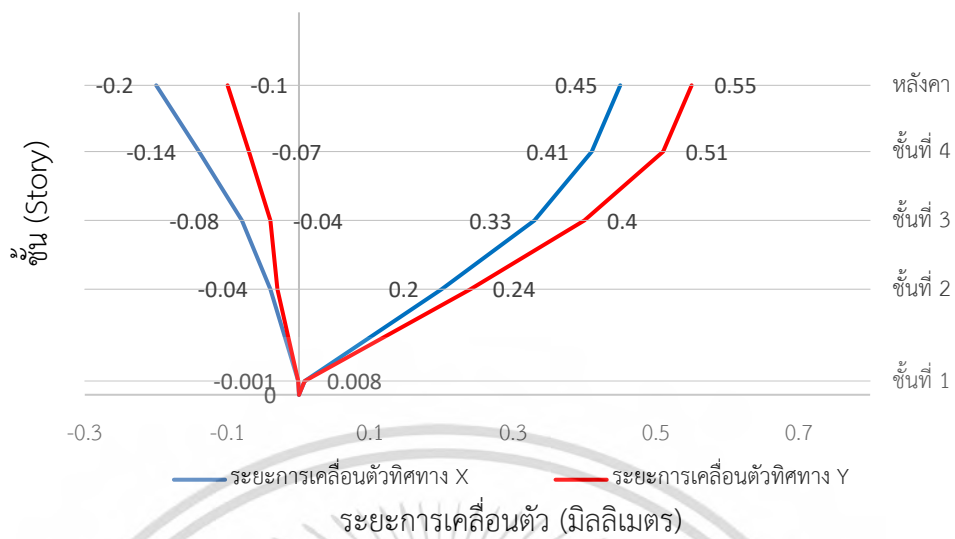
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4-39 แสดงระยะเวลาการเคลื่อนตัวเกิดขึ้นในแต่ละชั้นของอาคารขนาดกลาง จากค่าความเร่งที่วัดได้บริเวณจุดวัดสถานีที่ 5 โดยแกนตั้งแสดงชั้นของอาคาร แกนนอนแสดงระยะเวลาเคลื่อนตัวของอาคาร กราฟสีน้ำเงินแสดงการเคลื่อนที่ในแนวแกน X และกราฟสีแดงแสดงการเคลื่อนที่ในแนวแกน Y จากรูปพบว่าระยะเวลาการเคลื่อนตัวสูงสุดสมบูรณ์ในแกน X เท่ากับ 2.4 มิลลิเมตร และระยะเวลาการเคลื่อนตัวสูงสุดสมบูรณ์ในแกน Y เท่ากับ 4 มิลลิเมตร



รูปที่ 4-40 ระยะเวลาการเคลื่อนตัวเกิดขึ้นในแต่ละชั้นของอาคารขนาดกลาง จากค่าความเร่งที่วัดได้บริเวณจุดวัดสถานีที่ 6

จากรูปที่ 4-40 แสดงระยะเวลาการเคลื่อนตัวเกิดขึ้นในแต่ละชั้นของอาคารขนาดกลาง จากค่าความเร่งที่วัดได้บริเวณจุดวัดสถานีที่ 6 โดยแกนตั้งแสดงชั้นของอาคาร แกนนอนแสดงระยะเวลาการเคลื่อนตัวของอาคาร กราฟสีน้ำเงินแสดงการเคลื่อนที่ในแนวแกน X และกราฟสีแดงแสดงการเคลื่อนที่ในแนวแกน Y จากรูปพบว่าระยะเวลาการเคลื่อนตัวสูงสุดสมบูรณ์ในแกน X เท่ากับ 0.7 มิลลิเมตร และระยะเวลาการเคลื่อนตัวสูงสุดสมบูรณ์ ในแกน Y เท่ากับ 0.2 มิลลิเมตร



รูปที่ 4-41 ระยะการเคลื่อนตัวเกิดขึ้นในแต่ละชั้นของอาคารขนาดกลาง จากค่าความเร่งที่วัดได้ บริเวณจุดวัดสถานีที่ 7

จากรูปที่ 4-41 แสดงระยะการเคลื่อนตัวที่เกิดขึ้นในแต่ละชั้นของอาคารขนาดกลาง จากค่าความเร่งที่วัดได้บริเวณจุดวัดสถานีที่ 7 โดยแกนตั้งแสดงชั้นของอาคาร แกนนอนแสดงระยะการเคลื่อนตัวของอาคาร กราฟสีน้ำเงินแสดงการเคลื่อนที่ในแนวแกน X และกราฟสีแดงแสดงการเคลื่อนที่ในแนวแกน Y จากรูปพบว่าระยะการเคลื่อนตัวสูงสุดสัมบูรณ์ในแกน X เท่ากับ 0.45 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนตัวสูงสุดสัมบูรณ์ในแกน Y เท่ากับ 0.55 มิลลิเมตร

จากผลการวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของโครงสร้างอาคารขนาดเล็กที่มีลักษณะของโครงสร้างอาคารที่มีความซับซ้อนน้อย และอาคารขนาดกลางที่มีลักษณะของโครงสร้างอาคารที่มีความซับซ้อนมากขึ้น เนื่องจากลักษณะโครงสร้างของอาคารขนาดเล็ก มีลักษณะที่มีความสมมาตรมากกว่าอาคารขนาดกลาง ทำให้ลักษณะการเคลื่อนตัวของอาคารขนาดเล็ก ในทิศไป-กลับ มีความสมมาตรมากกว่าอาคารขนาดกลาง

4.5 ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์เมื่อให้ความเร่งจากคลื่นการสั่นสะเทือนที่คาดการณ์จากรถไฟความเร็วสูงที่ความเร็วต่างๆแก่แบบจำลองโครงสร้างอาคารที่ซับซ้อน

ทางการสร้างแบบจำลองสามมิติของอาคารที่ซับซ้อน โดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ซึ่งมีความสามารถในการคำนวณด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยการเลือกใช้องค์ประกอบของเอลิเมนต์ให้เหมาะสมกับลักษณะอาคารที่พิจารณาและมีการกำหนดสภาพการยึดรั้งที่ฐานของอาคารให้สอดคล้องกับสภาพจริงมากที่สุด แรงกระทำ ต่อตัวอาคารจะประกอบไปด้วยน้ำหนักวัสดุที่ประกอบขึ้นเป็นอาคารกับน้ำหนักจรที่ใช้ในการออกแบบ จากนั้นทำการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองโครงสร้าง

อาคารจะทำการวิเคราะห์โดยอยู่ในสมมุติฐานของกรณีเลวร้ายที่สุด (worst case) ที่อาจเกิดขึ้นได้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อมีการสั้นสะเทือนจากรถไฟ ทั้งนี้ ยังไม่รวมการดูดซับแรงสั้นสะเทือนในดิน ที่อาจทำให้แรงสั้นสะเทือนมีค่าลดน้อยลง ข้อมูลความเร่งของการสั้นสะเทือนที่วัดได้ในแต่ละสถานีต่างๆจากภาคสนามจะถูกนำมาใช้เป็นคลื่นการสั้นสะเทือนในแต่ละทิศทางที่กระทำต่อฐานรองรับของแบบจำลองอาคารที่สร้างขึ้นโดยตรงเพื่อศึกษาผลการตอบสนองของอาคารภายใต้ความเร่งของการสั้นสะเทือน

4.5.1 คุณสมบัติเชิงพลศาสตร์ของแบบจำลองโครงสร้างอาคารที่ซับซ้อน

จากการตรวจวัดคุณสมบัติเชิงพลศาสตร์ของแบบจำลองโครงสร้างอาคารที่ซับซ้อน พบว่าในแต่ละแบบมีโหมดของการสั้น ความถี่ธรรมชาติและคาบของการสั้นของอาคารดังนี้

ตารางที่ 4-12 โหมดของการสั้น ความถี่ธรรมชาติและคาบของการสั้นของอาคาร

โหมดการสั้น	คาบการสั้น (วินาที)	ความถี่ (เฮิรตซ์)
1	0.545	1.835
2	0.535	1.868
3	0.502	1.993

จากตารางพบว่าคาบการสั้นที่มากที่สุดของอาคารที่ซับซ้อนเกิดขึ้นที่โหมดการสั้นที่ 1 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.545 วินาทีและสามารถคำนวณหาค่าความถี่ธรรมชาติของโครงสร้างอาคารได้เท่ากับ 1.835 เฮิรตซ์

4.5.2 การวิเคราะห์โครงสร้างของอาคารที่ซับซ้อนโดยทำการให้ค่าความเร่งของคลื่นการสั้นสะเทือนที่คาดการณ์จากรถไฟความเร็วสูง

จากการวิเคราะห์โครงสร้างของอาคารโดยทำการให้ค่าความเร่งของคลื่นการสั้นสะเทือนที่คาดการณ์จากรถไฟความเร็วสูงที่ความเร็ว 150, 200, 250 กิโลเมตรต่อชั่วโมงตามลำดับ กับโครงสร้างอาคารที่ซับซ้อน เพื่อท าการศึกษาเพื่อศึกษาพฤติกรรมของโครงสร้างและผลตอบสนองของอาคาร พบว่ามีค่าแรงเฉือนสูงสุดสัมบูรณ์และโมเมนต์ดัดสูงสุดสัมบูรณ์ที่ฐานของอาคารดังกล่าว ดังตาราง

ตารางที่ 4-13 ค่าแรงเฉือนสูงสุดสัมบูรณ์และโมเมนต์ดัดสูงสุดสัมบูรณ์ที่ฐานของอาคารจากความเร่งของคลื่นการสั่นสะเทือนที่คาดการณ์จากรถไฟความเร็วสูง

ความเร่งของรถไฟความเร็วสูงที่ความเร็ว	แรงเฉือน (นิวตัน)		โมเมนต์ดัด (นิวตัน-เมตร)	
	แกน X	แกน Y	แกน X	แกน Y
150 กม./ชม.	1,439.58	9,384.88	40,607.76	6,214.45
200 กม./ชม.	10,514.48	33,365.31	145,624.20	45,078.68
250 กม./ชม.	3,007.09	10,585.91	45,794.31	12,864.82

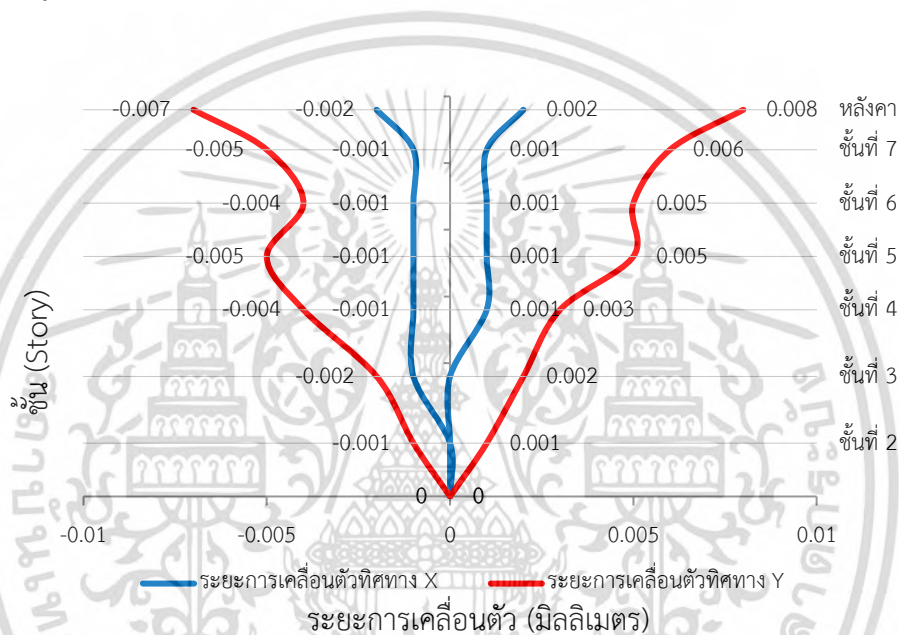
จากตารางแสดงถึงค่าแรงเฉือนมีหน่วยเท่ากับกิโลกรัม และโมเมนต์ดัดมีหน่วยเท่ากับกิโลกรัม-เมตรที่ฐานของแบบจำลองอาคารที่ความซับซ้อนจากค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนของรถไฟความเร็วสูง ซึ่งน้ำหนักโครงสร้างอาคารมีค่าเท่ากับ 29,541.7 ตัน หรือเท่ากับ 289,705,115.1 นิวตัน จากตารางพบว่าค่าแรงเฉือนสูงสุดสัมบูรณ์ที่ฐานโครงสร้าง ในแนวแกน X จากค่าความเร่งที่เกิดจากรถไฟความเร็วสูงที่ความเร็ว 150 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เท่ากับ 1,439.58 นิวตัน ทาการคำนวณเป็นแรงเฉือนที่ฐานต่อน้ำหนักโครงสร้างอาคารมีค่าเท่ากับ 5×10^{-4} เพอร์เซ็นต์, ค่าแรงเฉือนสูงสุดสัมบูรณ์ที่ฐานโครงสร้างจากค่าความเร่งที่เกิดจากรถไฟความเร็วสูงที่ความเร็ว 200 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เท่ากับ 10,514.48 นิวตัน ทาการคำนวณเป็นแรงเฉือนที่ฐานต่อน้ำหนักโครงสร้างอาคารมีค่าเท่ากับ 3.6×10^{-3} เพอร์เซ็นต์, ค่าแรงเฉือนสูงสุดสัมบูรณ์ที่ฐานโครงสร้างจากค่าความเร่งที่เกิดจากรถไฟความเร็วสูงที่ความเร็ว 250 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เท่ากับ 3,007.09 นิวตัน ทาการคำนวณเป็นแรงเฉือนที่ฐานต่อน้ำหนักโครงสร้างอาคารมีค่าเท่ากับ 1×10^{-3} เพอร์เซ็นต์ และค่าแรงเฉือนสูงสุดสัมบูรณ์ที่ฐานโครงสร้าง ในแนวแกน Y จากค่าความเร่งที่เกิดจากรถไฟความเร็วสูงที่ความเร็ว 150 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เท่ากับ 9,384.88 นิวตัน ทาการคำนวณเป็นแรงเฉือนที่ฐานต่อน้ำหนักโครงสร้างอาคารมีค่าเท่ากับ 3.2×10^{-3} เพอร์เซ็นต์, ค่าแรงเฉือนสูงสุดสัมบูรณ์ที่ฐานโครงสร้างจากค่าความเร่งที่เกิดจากรถไฟความเร็วสูงที่ความเร็ว 200 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เท่ากับ 33,365.31 นิวตัน ทาการคำนวณเป็นแรงเฉือนที่ฐานต่อน้ำหนักโครงสร้างอาคารมีค่าเท่ากับ 1.2×10^{-2} เพอร์เซ็นต์, ค่าแรงเฉือนสูงสุดสัมบูรณ์ที่ฐานโครงสร้างจากค่าความเร่งที่เกิดจากรถไฟความเร็วสูงที่ความเร็ว 250 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เท่ากับ 10,585.91 นิวตัน ทาการคำนวณเป็นแรงเฉือนที่ฐานต่อน้ำหนักโครงสร้างอาคารมีค่าเท่ากับ 3.7×10^{-3} เพอร์เซ็นต์

ค่าโมเมนต์ดัดสูงสุดสัมบูรณ์ที่ฐานโครงสร้างในแนวแกน X จากค่าความเร่งที่เกิดจากรถไฟความเร็วสูงที่ความเร็ว 150 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เท่ากับ 40,607.76 นิวตัน-เมตร, ค่าโมเมนต์ดัดสูงสุดสัมบูรณ์ที่ฐานโครงสร้างจากค่าความเร่งที่เกิดจากรถไฟความเร็วสูงที่ความเร็ว 200 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เท่ากับ 145,624.2 นิวตัน-เมตร, ค่าโมเมนต์ดัดสูงสุดสัมบูรณ์ที่ฐานโครงสร้างจากค่าความเร่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

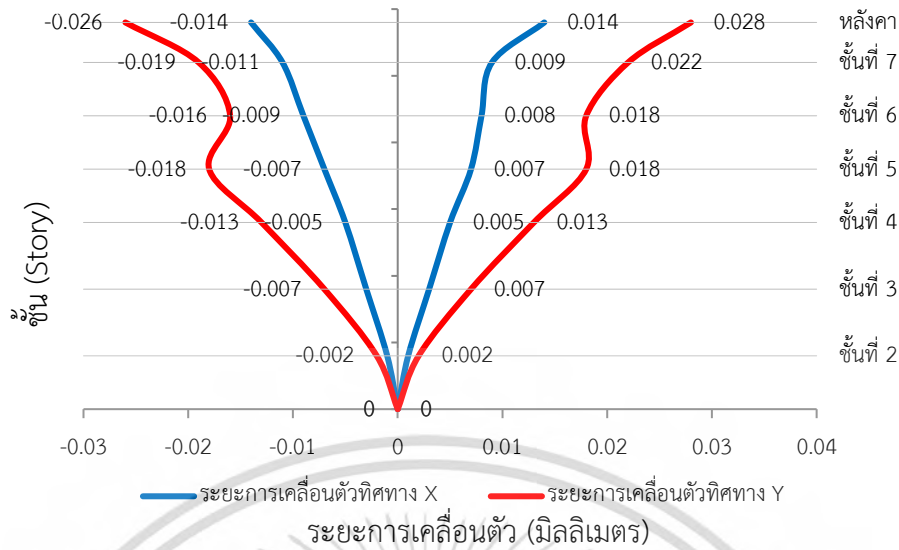
ที่เกิดจากรถไฟความเร็วสูงที่ความเร็ว 250 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เท่ากับ 45,794.31 นิวตัน-เมตร และค่าโมเมนต์ดัดสูงสุดสัมบูรณ์ที่ฐานโครงสร้างในแนวแกน Y จากค่าความเร่งที่เกิดจากรถไฟความเร็วสูงที่ความเร็ว 150 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เท่ากับ 6,214.45 นิวตัน-เมตร, ค่าโมเมนต์ดัดสูงสุดสัมบูรณ์ที่ฐานโครงสร้างจากค่าความเร่งที่เกิดจากรถไฟความเร็วสูงที่ความเร็ว 200 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เท่ากับ 45,078.68 นิวตัน-เมตร, ค่าโมเมนต์ดัดสูงสุดสัมบูรณ์ที่ฐานโครงสร้างจากค่าความเร่งที่เกิดจากรถไฟความเร็วสูงที่ความเร็ว 250 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เท่ากับ 12,864.82 นิวตัน-เมตร

และผลตอบสนองของอาคาร พบว่ามีระยะการเคลื่อนตัวเกิดขึ้นในแต่ละชั้นของอาคารที่ซับซ้อนดังนี้



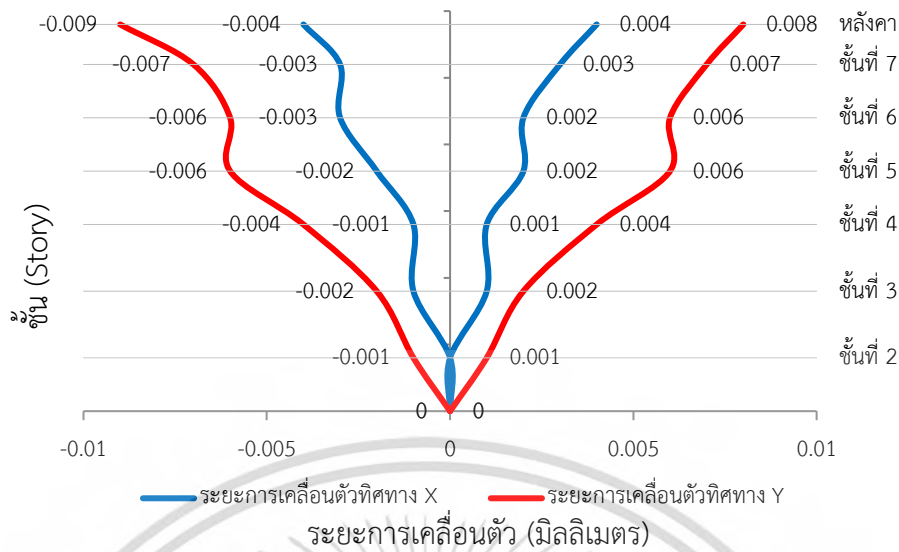
รูปที่ 4-42 ระยะการเคลื่อนตัวเกิดขึ้นในแต่ละชั้นของอาคารจากคลื่นการสั่นสะเทือนที่คาดการณ์จากรถไฟความเร็วสูงที่ความเร็ว 150 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

จากรูปที่ 4-42 แสดงระยะการเคลื่อนตัวที่เกิดขึ้นในแต่ละชั้นของอาคารที่ซับซ้อนจากคลื่นการสั่นสะเทือนที่คาดการณ์จากรถไฟความเร็วสูงที่ความเร็ว 150 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โดยแกนตั้งแสดงชั้นของอาคาร แกนนอนแสดงระยะการเคลื่อนตัวของอาคาร กราฟสีน้ำเงินแสดงการเคลื่อนที่ในแนวแกน X และกราฟสีแดงแสดงการเคลื่อนที่ในแนวแกน Y โดยอาคารมีความสูงเท่ากับ 29 เมตร หรือเท่ากับ 29,000 มิลลิเมตร จากรูปพบว่าระยะการเคลื่อนตัวสูงสุดสัมบูรณ์ในแกน X เท่ากับ 0.002 มิลลิเมตร ทหารคำนวณเป็นระยะการเคลื่อนตัวต่อความสูงอาคารมีค่าเท่ากับ 6.897×10^{-6} เปอร์เซ็นต์ และระยะการเคลื่อนตัวสูงสุดสัมบูรณ์ในแกน Y เท่ากับ 0.008 มิลลิเมตร ทหารคำนวณเป็นระยะการเคลื่อนตัวต่อความสูงอาคารมีค่าเท่ากับ 2.759×10^{-5} เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 4-43 ระยะการเคลื่อนตัวเกิดขึ้นในแต่ละชั้นของอาคารจากคลื่นการสั่นสะเทือนที่คาดการณ์จากกรณไฟความเร็วสูงที่ความเร็ว 200 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

จากรูปที่ 4-43 แสดงระยะการเคลื่อนตัวที่เกิดขึ้นในแต่ละชั้นของอาคารที่ซับซ้อนจากคลื่นการสั่นสะเทือนที่คาดการณ์จากกรณไฟความเร็วสูงที่ความเร็ว 200 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โดยแกนตั้งแสดงชั้นของอาคาร แกนนอนแสดงระยะการเคลื่อนตัวของอาคาร กราฟสีน้ำเงินแสดงการเคลื่อนที่ในแนวแกน X และกราฟสีแดงแสดงการเคลื่อนที่ในแนวแกน Y จากรูปพบว่าพบวาระยะการเคลื่อนตัวสูงสุดสมบูรณ์ในแกน X เท่ากับ 0.014 มิลลิเมตร ทว่าการคำนวณเป็นระยะการเคลื่อนตัวต่อความสูงอาคารมีค่าเท่ากับ 4.828×10^{-5} เปอร์เซ็นต์ และระยะการเคลื่อนตัวสูงสุดสมบูรณ์ในแกน Y เท่ากับ 0.028 มิลลิเมตร ทว่าการคำนวณเป็นระยะการเคลื่อนตัวต่อความสูงอาคารมีค่าเท่ากับ 9.655×10^{-5} เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 4-44 ระยะการเคลื่อนตัวเกิดขึ้นในแต่ละชั้นของอาคารจากคลื่นการสั่นสะเทือนที่คาดการณ์จากกรณไฟความเร็วสูงที่ความเร็ว 250 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

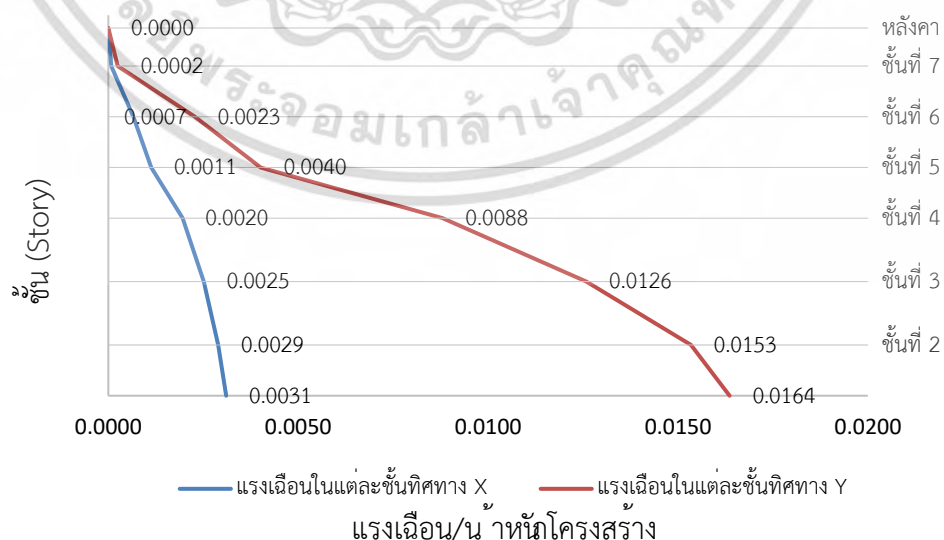
จากรูปที่ 4-44 แสดงระยะการเคลื่อนตัวที่เกิดขึ้นในแต่ละชั้นของอาคารที่ซับซ้อนจากคลื่นการสั่นสะเทือนที่คาดการณ์จากกรณไฟความเร็วสูงที่ความเร็ว 250 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โดยแกนตั้งแสดงชั้นของอาคาร แกนนอนแสดงระยะการเคลื่อนตัวของอาคาร กราฟสีน้ำเงินแสดงการเคลื่อนที่ในแนวแกน X และกราฟสีแดงแสดงการเคลื่อนที่ในแนวแกน Y จากรูปพบว่าพบว่าการเคลื่อนตัวสูงสุดสมบูรณ์ในแกน X เท่ากับ 0.004 มิลลิเมตร ทว่าการคานวนเป็นระยะการเคลื่อนตัวต่อความสูงอาคารมีค่าเท่ากับ 1.379×10^{-5} เปอร์เซ็นต์ และระยะการเคลื่อนตัวสูงสุดสมบูรณ์ในแกน Y เท่ากับ 0.009 มิลลิเมตร ทว่าการคานวนเป็นระยะการเคลื่อนตัวต่อความสูงอาคารมีค่าเท่ากับ 3.103×10^{-5} เปอร์เซ็นต์

เมื่อเปรียบเทียบแรงเฉือนที่ฐานต่อน้ำหนักโครงสร้างอาคารพบว่าค่าแรงเฉือนที่ฐานต่อน้ำหนักโครงสร้างอาคารของคลื่นการสั่นสะเทือนที่คาดการณ์จากกรณไฟความเร็วสูงที่ความเร็ว 200 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ในแนวแกน X และแกน Y มีค่ามากที่สุด โดยค่าแรงเฉือนที่ฐานต่อน้ำหนักโครงสร้างอาคารของคลื่นการสั่นสะเทือนที่คาดการณ์จากกรณไฟความเร็วสูงที่ความเร็ว 150 และ 250 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ในแนว X มีค่าเท่ากับ 13.89% และ 27.78% ของคลื่นการสั่นสะเทือนที่คาดการณ์จากกรณไฟความเร็วสูงที่ความเร็ว 200 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ และแกน Y มีค่าเท่ากับ 26.67% และ 30.83% ของคลื่นการสั่นสะเทือนที่คาดการณ์จากกรณไฟความเร็วสูงที่ความเร็ว 200 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ จากนั้นเปรียบเทียบโมเมนต์ดัดที่ฐานโครงสร้างพบว่าค่าโมเมนต์ดัดที่ฐานโครงสร้างของคลื่นการสั่นสะเทือนที่คาดการณ์จากกรณไฟความเร็วสูงที่ความเร็ว 200 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ในแนวแกน X และแกน Y มีค่ามากที่สุด โดยค่าโมเมนต์ดัดที่ฐานโครงสร้างของคลื่นการสั่นสะเทือนที่คาดการณ์จากกรณไฟความเร็วสูงที่ความเร็ว 150 และ 250 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในแนว X มีค่าเท่ากับ 27.89% และ 31.45% ของคลื่นการสั่นสะเทือนที่คาดการณ์จากรถไฟความเร็วสูงความเร็ว 200 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับและแกน Y มีค่าเท่ากับ 13.79% และ 28.54% ของคลื่นการสั่นสะเทือนที่คาดการณ์จากรถไฟความเร็วสูงที่ความเร็ว 200 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ และเปรียบเทียบระยะเวลาการเคลื่อนตัวต่อความสูงอาคารพบว่าค่าระยะเวลาการเคลื่อนตัวต่อความสูงอาคารของคลื่นการสั่นสะเทือนที่คาดการณ์จากรถไฟความเร็วสูงที่ความเร็ว 200 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ในแนวแกน X และแกน Y มีค่ามากที่สุด โดยค่าระยะเวลาการเคลื่อนตัวต่อความสูงอาคารของคลื่นการสั่นสะเทือนที่คาดการณ์จากรถไฟความเร็วสูงที่ความเร็ว 150 และ 250 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ในแนว X มีค่าเท่ากับ 14.29% และ 28.56% ของคลื่นการสั่นสะเทือนที่คาดการณ์จากรถไฟความเร็วสูงที่ความเร็ว 200 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ และแกน Y มีค่าเท่ากับ 28.58% และ 32.14% ของคลื่นการสั่นสะเทือนที่คาดการณ์จากรถไฟความเร็วสูงที่ความเร็ว 200 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ ดังนั้นคลื่นการสั่นสะเทือนที่คาดการณ์จากรถไฟความเร็วสูง 200 กิโลเมตรส่งผลกระทบต่ออาคารมากที่สุด เนื่องจากแอมพลิจูดของค่าความเร่งของคลื่นการสั่นสะเทือนที่คาดการณ์จากรถไฟความเร็วสูงที่ความเร็ว 200 กิโลเมตรต่อชั่วโมงมากกว่าที่ความเร็ว 150 และ 250 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

4.5.3 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ผลกระทบต่ออาคารที่ซับซ้อนจากคลื่นการสั่นสะเทือนที่คาดการณ์จากรถไฟความเร็วสูงกับความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม

ผลจากการวิเคราะห์ด้วยวิธีสเปกตรัมตอบสนองแบบโหมดซึ่งค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมที่ใช้ออกแบบให้มีความใกล้เคียงกับพื้นที่ของสถาบันพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ซึ่งเป็นพื้นที่ที่ทำการทดสอบภาคสนาม หลังจากการวิเคราะห์พบว่าแรงเฉือนของแต่ละชั้นและแรงเฉือนที่ฐานมีลักษณะดังรูป



รูปที่ 4-45 แรงเฉือนของแต่ละชั้น (Story Shear) และ แรงเฉือนที่ฐาน (Base Shear)

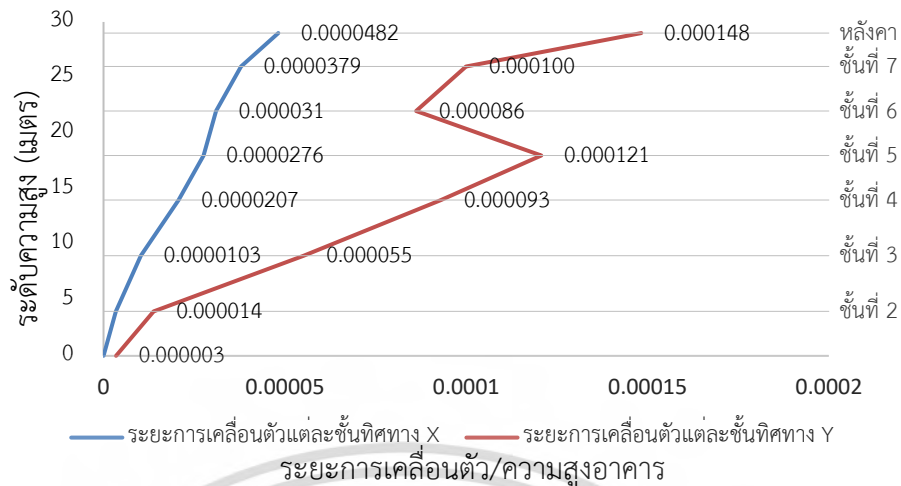
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4-45 แสดงค่าแรงเฉือนพื้นฐานและแรงเฉือนของแต่ละชั้นของโครงสร้างอาคารที่ซับซ้อนด้วยวิธีสเปกตรัมตอบสนองแบบโหมต แรงเฉือนพื้นฐานทางทิศทาง X และ Y มีค่าเท่ากับ 0.31 เพอร์เซ็นต์ และ 1.64 เพอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักประสิทธิผลของโครงสร้างตามลำดับ โดยน้ำหนักโครงสร้างอาคารมีค่าเท่ากับ 29,541.7 ตัน หรือเท่ากับ 289,705,115.1 นิวตัน

และเมื่อเปรียบเทียบกับแรงเฉือนพื้นฐานต่อน้ำหนักโครงสร้างอาคารทิศทาง X และ Y กับแรงเฉือนพื้นฐานต่อน้ำหนักโครงสร้างอาคารที่เกิดจากการวิเคราะห์ด้วยคลื่นการสั่นสะเทือนที่คาดการณ์จากรถไฟความเร็วสูงที่ความเร็ว 150, 200 และ 250 กิโลเมตรต่อชั่วโมงพบว่า แรงเฉือนพื้นฐานต่อน้ำหนักโครงสร้างอาคารด้วยวิธีสเปกตรัมตอบสนองแบบโหมตทิศทาง X ที่เท่ากับ 0.31 เพอร์เซ็นต์ มีค่ามากกว่าแรงเฉือนพื้นฐานต่อน้ำหนักโครงสร้างอาคารของคลื่นการสั่นสะเทือนที่คาดการณ์จากรถไฟความเร็วสูงที่ความเร็ว 150 กิโลเมตรต่อชั่วโมงที่เท่ากับ 5×10^{-4} เพอร์เซ็นต์ อยู่ 624 เท่า, มีค่ามากกว่าแรงเฉือนพื้นฐานต่อน้ำหนักโครงสร้างอาคารของคลื่นการสั่นสะเทือนที่คาดการณ์จากรถไฟความเร็วสูงที่ความเร็ว 200 กิโลเมตรต่อชั่วโมงที่เท่ากับ 3.6×10^{-3} เพอร์เซ็นต์ อยู่ 85 เท่า, มีค่ามากกว่าแรงเฉือนพื้นฐานต่อน้ำหนักโครงสร้างอาคารของคลื่นการสั่นสะเทือนที่คาดการณ์จากรถไฟความเร็วสูงที่ความเร็ว 250 กิโลเมตรต่อชั่วโมงที่เท่ากับ 1×10^{-3} เพอร์เซ็นต์ อยู่ 299 เท่าตามลำดับ

และเมื่อเปรียบเทียบกับแรงเฉือนพื้นฐานต่อน้ำหนักโครงสร้างอาคารทิศทาง Y กับแรงเฉือนพื้นฐานต่อน้ำหนักโครงสร้างอาคารที่เกิดจากการวิเคราะห์ด้วยคลื่นการสั่นสะเทือนที่คาดการณ์จากรถไฟความเร็วสูงที่ความเร็ว 150, 200 และ 250 กิโลเมตรต่อชั่วโมงพบว่า แรงเฉือนพื้นฐานต่อน้ำหนักโครงสร้างอาคารด้วยวิธีสเปกตรัมตอบสนองแบบโหมตทิศทาง Y ที่เท่ากับ 1.64 เพอร์เซ็นต์ มีค่ามากกว่าแรงเฉือนพื้นฐานต่อน้ำหนักโครงสร้างอาคารของคลื่นการสั่นสะเทือนที่คาดการณ์จากรถไฟความเร็วสูงที่ความเร็ว 150 กิโลเมตรต่อชั่วโมงที่เท่ากับ 3.2×10^{-3} เพอร์เซ็นต์ อยู่ 506 เท่า, มีค่ามากกว่าแรงเฉือนพื้นฐานต่อน้ำหนักโครงสร้างอาคารของคลื่นการสั่นสะเทือนที่คาดการณ์จากรถไฟความเร็วสูงที่ความเร็ว 200 กิโลเมตรต่อชั่วโมงที่เท่ากับ 1.2×10^{-2} เพอร์เซ็นต์ อยู่ 142 เท่า, มีค่ามากกว่าแรงเฉือนพื้นฐานต่อน้ำหนักโครงสร้างอาคารของคลื่นการสั่นสะเทือนที่คาดการณ์จากรถไฟความเร็วสูงที่ความเร็ว 250 กิโลเมตรต่อชั่วโมงที่เท่ากับ 3.7×10^{-3} เพอร์เซ็นต์ อยู่ 449 เท่าตามลำดับ

ระยะการเคลื่อนตัวแต่ละชั้นของโครงสร้าง (Floor Displacement) ด้วยวิธีสเปกตรัมตอบสนองแบบโหมตมีลักษณะดังรูป



รูปที่ 4-46 ระยะเวลาเคลื่อนตัวแต่ละชั้นของโครงสร้าง (Floor Displacement)

รูปที่ 4-46 แสดงการเคลื่อนตัวแต่ละชั้นของโครงสร้างอาคารที่ซับซ้อน ด้วยวิธีสเปกตรัมตอบสนองแบบโหมต ระยะเวลาเคลื่อนตัวสูงสุดทางทิศทาง X และ Y มีค่าเท่ากับ 4.82×10^{-3} เพอร์เซ็นต์ และ 1.48×10^{-2} เพอร์เซ็นต์ของความสูงของโครงสร้างทั้งหมดตามลำดับ โดยอาคารมีความสูงเท่ากับ 29 เมตร หรือเท่ากับ 29,000 มิลลิเมตร

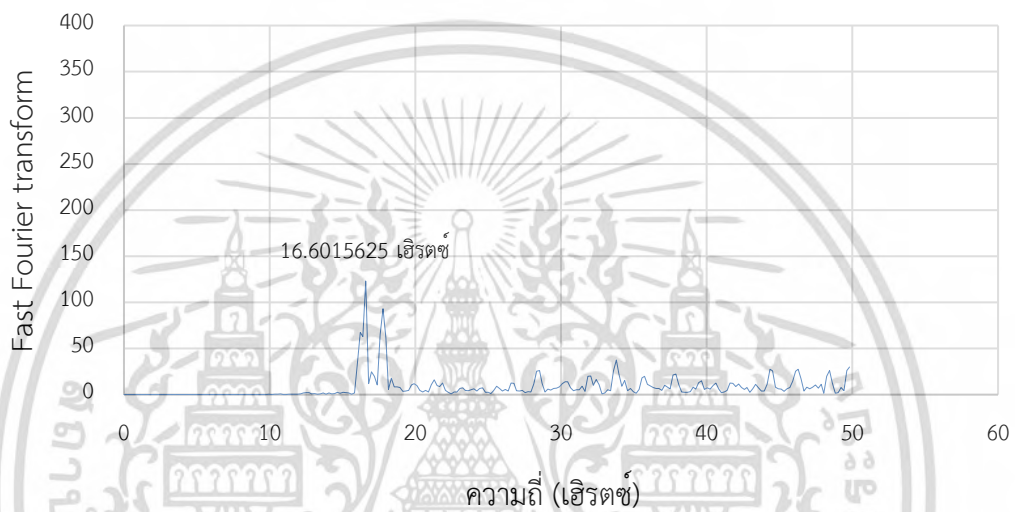
และเมื่อเปรียบเทียบกับระยะเวลาเคลื่อนตัวสูงสุดทิศทาง X และ Y ที่เกิดจากการวิเคราะห์ด้วยคลื่นการสั่นสะเทือนที่คาดการณ์จากรถไฟความเร็วสูงที่ความเร็ว 150, 200 และ 250 กิโลเมตรต่อชั่วโมงพบว่าระยะเวลาเคลื่อนตัวสูงสุดต่อความสูงอาคารด้วยวิธีสเปกตรัมตอบสนองแบบโหมต ทิศทาง X ที่เท่ากับ 4.82×10^{-3} เพอร์เซ็นต์ มีค่ามากกว่าการเคลื่อนตัวสูงสุดต่อความสูงอาคารของคลื่นการสั่นสะเทือนที่คาดการณ์จากรถไฟความเร็วสูงที่ความเร็ว 150 กิโลเมตรต่อชั่วโมงที่เท่ากับ 6.897×10^{-6} เพอร์เซ็นต์ อยู่ 699 เท่า, มีค่ามากกว่าการเคลื่อนตัวสูงสุดต่อความสูงอาคารของคลื่นการสั่นสะเทือนที่คาดการณ์จากรถไฟความเร็วสูงที่ความเร็ว 200 กิโลเมตรต่อชั่วโมงที่เท่ากับ 4.828×10^{-5} เพอร์เซ็นต์ อยู่ 100 เท่า, มีค่ามากกว่าการเคลื่อนตัวสูงสุดต่อความสูงอาคารของคลื่นการสั่นสะเทือนที่คาดการณ์จากรถไฟความเร็วสูงที่ความเร็ว 250 กิโลเมตรต่อชั่วโมงที่เท่ากับ 1.379×10^{-5} เพอร์เซ็นต์ อยู่ 349 เท่าตามลำดับ

และระยะเวลาเคลื่อนตัวสูงสุดต่อความสูงอาคารด้วยวิธีสเปกตรัมตอบสนองแบบโหมตทิศทาง Y ที่เท่ากับ 1.48×10^{-2} เพอร์เซ็นต์ มีค่ามากกว่าการเคลื่อนตัวสูงสุดต่อความสูงอาคารของคลื่นการสั่นสะเทือนที่คาดการณ์จากรถไฟความเร็วสูงที่ความเร็ว 150 กิโลเมตรต่อชั่วโมงที่เท่ากับ 2.759×10^{-5} เพอร์เซ็นต์ อยู่ 536 เท่า, มีค่ามากกว่าการเคลื่อนตัวสูงสุดต่อความสูงอาคารของคลื่นการสั่นสะเทือนที่คาดการณ์จากรถไฟความเร็วสูงที่ความเร็ว 200 กิโลเมตรต่อชั่วโมงที่เท่ากับ 9.655×10^{-5} เพอร์เซ็นต์ อยู่ 153 เท่า, มีค่ามากกว่าการเคลื่อนตัวสูงสุดต่อความสูงอาคารของคลื่นการสั่นสะเทือนที่คาดการณ์จากรถไฟความเร็วสูงที่ความเร็ว 250 กิโลเมตรต่อชั่วโมงที่เท่ากับ 3.103×10^{-5} เพอร์เซ็นต์ อยู่ 477 เท่าตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

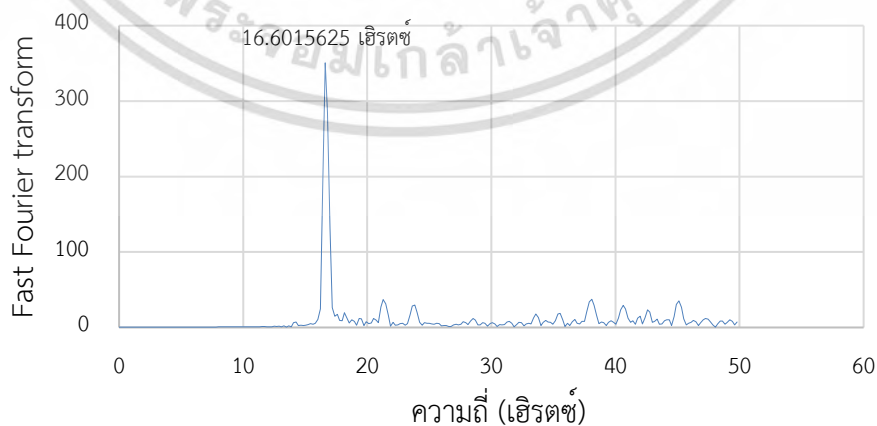
4.5.4 การวิเคราะห์สัญญาณที่เกิดจากคลื่นการสั่นสะเทือนที่คาดการณ์จากรถไฟความเร็วสูง

ทำการแปลงกราฟของค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนจากข้อมูลของคลื่นการสั่นสะเทือนที่คาดการณ์จากรถไฟความเร็วสูงที่ความเร็ว 150, 200 และ 250 กิโลเมตรต่อชั่วโมงตามล ำดับ เทียบกับเวลาเป็นค่าความเร่งเทียบกับความถี่ด้วยวิธีการประยุกต์ใช้การแปลงฟูเรียร์ (Fourier transform) จะมีลักษณะดังรูป



รูปที่ 4-47 ความเร่งของคลื่นการสั่นสะเทือนที่คาดการณ์จากรถไฟความเร็วสูงที่ความเร็ว 150 กิโลเมตรต่อชั่วโมงในโดเมนของความถี่

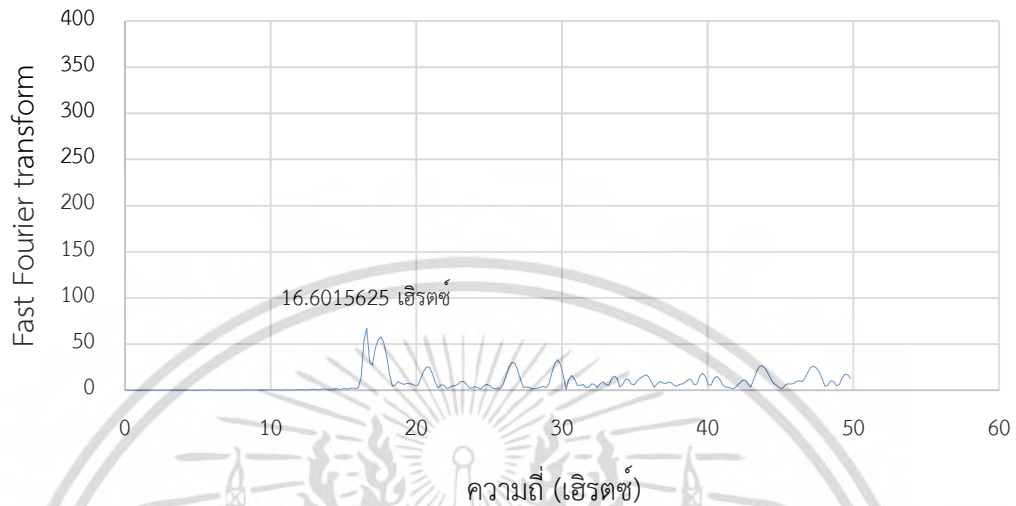
รูปที่ 4-47 แสดงคลื่นการสั่นสะเทือนที่คาดการณ์จากรถไฟความเร็วสูงที่ความเร็ว 150 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ในรูปของความเร่งเทียบกับความถี่ พบว่าค่าความถี่ที่ทำให้เกิดแอมพลิจูดสูงสุดเท่ากับ 16.60 เฮิรตซ์



รูปที่ 4-48 ความเร่งของคลื่นการสั่นสะเทือนที่คาดการณ์จากรถไฟความเร็วสูงที่ความเร็ว 200 กิโลเมตรต่อชั่วโมงในโดเมนของความถี่

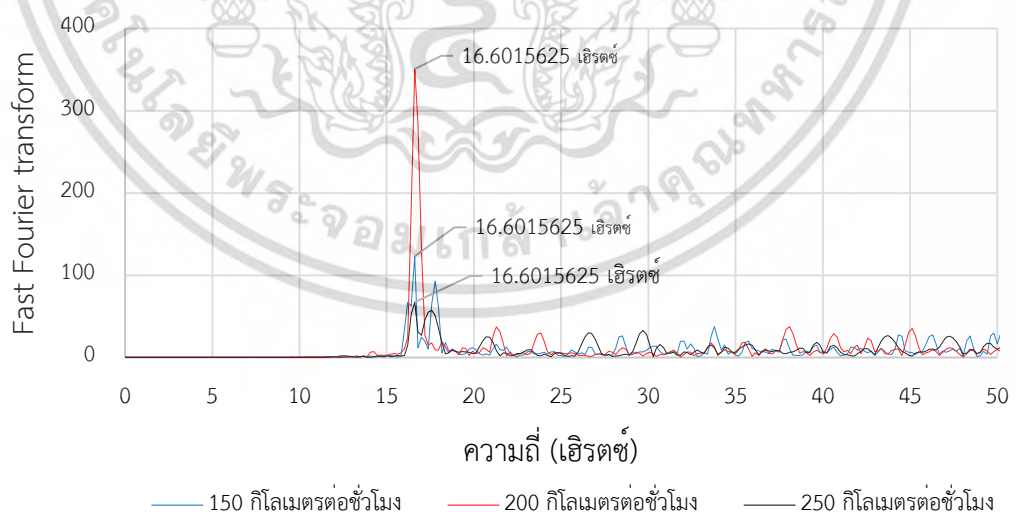
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4-48 แสดงคลื่นการสั่นสะเทือนที่คาดการณ์จากรถไฟความเร็วสูงที่ความเร็ว 200 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ในรูปของความเร่งเทียบกับความถี่ พบว่าค่าความถี่ที่ทำให้เกิดแอมพลิจูดสูงสุดเท่ากับ 16.60 เฮิร์ตซ์



รูปที่ 4-49 ความเร่งของคลื่นการสั่นสะเทือนที่คาดการณ์จากรถไฟความเร็วสูงที่ความเร็ว 250 กิโลเมตรต่อชั่วโมงในโดเมนของความถี่

รูปที่ 4-49 แสดงคลื่นการสั่นสะเทือนที่คาดการณ์จากรถไฟความเร็วสูงที่ความเร็ว 250 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ในรูปของความเร่งเทียบกับความถี่ พบว่าค่าความถี่ที่ทำให้เกิดแอมพลิจูดสูงสุดเท่ากับ 16.60 เฮิร์ตซ์



รูปที่ 4-50 เปรียบเทียบค่าความถี่ที่ทำให้เกิดแอมพลิจูดสูงสุดจากความเร่งของคลื่นการสั่นสะเทือนที่คาดการณ์จากรถไฟความเร็วสูงที่ความเร็ว 150, 200 และ 250 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4-50 เปรียบเทียบค่าความถี่ที่ทำให้เกิดแอมพลิจูดสูงสุดจากคลื่นการสั่นสะเทือนที่ คาคการณ์จากรถไฟความเร็วสูงที่ความเร็ว 150, 200 และ 250 กิโลเมตรต่อชั่วโมง พบว่าค่าความถี่ที่ ทำให้เกิดแอมพลิจูดสูงสุดจากความเร่งของคลื่นการสั่นสะเทือนที่คาคการณ์จากรถไฟความเร็วสูงทั้ง สามความเร็วมีค่าเท่ากันเนื่องจากเนื่องจากความเร่งของคลื่นการสั่นสะเทือนที่คาคการณ์จากรถไฟ ความเร็วสูงทั้งสามความเร็วมีการค านวณด้วยสมการทางพลศาสตร์ โดยใช้เงื่อนไขว่า พารามิเตอร์ของ ของรถไฟ ขบวนรถไฟ และโครงสร้างทางรถไฟไม่มีการเปลี่ยนแปลง แต่ความเร็วของรถไฟที่ต่างกัน ทำให้คลื่นการสั่นสะเทือนที่เกิดจากการกระทำของแต่ละล้อของรถไฟต่อรางมีระยะเวลาในการแทรก สอดกันที่แตกต่างกัน

เมื่อเปรียบเทียบความถี่ธรรมชาติของโครงสร้างอาคารที่มีค่าเท่ากับ 1.835 เฮิร์ตซ์ พบว่ามีค่า ไม่ใกล้เคียงกับค่าความถี่ที่ทำให้เกิดแอมพลิจูดสูงสุดจากความเร่งของการคาคการณ์จากรถไฟ ความเร็วสูงทั้งสามความเร็วที่มีค่าเท่ากับ 16.60 เฮิร์ตซ์ ทำให้ผลกระทบที่เกิดขึ้นกับอาคารไม่รุนแรง โดยจากการวิเคราะห์ผลกระทบต่อโครงสร้างอาคาร



บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. อาคารขนาดเล็กที่มีความสูงไม่เกิน 3 ชั้นและมีลักษณะโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อน มีค่าความแข็ง (stiffness) น้อยกว่าอาคารขนาดกลางที่มีความสูง 4 ชั้นขึ้นไปและมีลักษณะโครงสร้างที่ซับซ้อนมากขึ้น จึงทำให้ทรโยกตัวของอาคารขนาดเล็ก มีแนวโน้มมากกว่าอาคารขนาดกลาง
2. ด้วยลักษณะโครงสร้างของอาคารขนาดเล็ก มีลักษณะโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อนและมีความสมมาตร ทำให้ลักษณะการเคลื่อนตัวของอาคารขนาดเล็ก ในทิศทางไป-กลับ มีความสมมาตรมากกว่าอาคารขนาดกลางที่มีลักษณะโครงสร้างที่ซับซ้อนมากกว่า
3. ผลการวิจัยข้างต้น อยู่ในสมมุติฐานของกรณีเลวร้ายที่สุด (worst case) ที่อาจเกิดขึ้นได้ เมื่อมีการสั่นสะเทือนจากรถไฟ ทั้งนี้ ยังไม่รวมการดูดซับแรงสั่นสะเทือนในดิน ที่อาจทำให้แรงสั่นสะเทือนมีค่าน้อยลง
4. จากการวิเคราะห์ผลกระทบต่อโครงสร้างอาคารที่ซับซ้อนจากคลื่นการสั่นสะเทือนที่คาดการณ์จากรถไฟความเร็วสูงที่ความเร็ว 150, 200 และ 250 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เมื่อทำการเปรียบเทียบแรงเฉือนที่ฐานต่อน้ำหนักโครงสร้างอาคาร, โมเมนต์ดัดที่ฐานโครงสร้างอาคาร และระยะการเคลื่อนตัวต่อความสูงอาคาร พบว่าค่าแรงเฉือนที่ฐานต่อน้ำหนักโครงสร้างอาคาร, โมเมนต์ดัดที่ฐานโครงสร้างอาคาร และระยะการเคลื่อนตัวต่อความสูงอาคาร ของคลื่นการสั่นสะเทือนที่คาดการณ์จากรถไฟความเร็วสูงที่ความเร็ว 200 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ในแนวแกน X และแกน Y มีค่ามากที่สุด ดังนั้นคลื่นการสั่นสะเทือนที่คาดการณ์จากรถไฟความเร็วสูง 200 กิโลเมตรส่งผลกระทบต่ออาคารมากที่สุด เนื่องจากแอมพลิจูดของค่าความเร่งของคลื่นการสั่นสะเทือนที่คาดการณ์จากรถไฟความเร็วสูงที่ความเร็ว 200 กิโลเมตรต่อชั่วโมงมากกว่าที่ความเร็ว 150 และ 250 กิโลเมตรต่อชั่วโมง
5. จากการเปรียบเทียบค่าความถี่ที่ทำให้เกิดแอมพลิจูดสูงสุดจากความเร่งของคลื่นการสั่นสะเทือนที่คาดการณ์จากรถไฟความเร็วสูงที่ความเร็ว 150, 200 และ 250 กิโลเมตรต่อชั่วโมง พบว่าค่าความถี่ธรรมชาติจากความเร่งของคลื่นการสั่นสะเทือนที่คาดการณ์จากรถไฟความเร็วสูงทั้งสามความเร็วมีค่าเท่ากันเนื่องจากความเร่งถูกคานวนภายใต้เงื่อนไขพารามิเตอร์ของของรถไฟ ขบวนรถไฟ และโครงสร้างทางรถไฟไม่มีการเปลี่ยนแปลง แต่การ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปลี่ยนแปลงความเร็วเพิ่มขึ้น ทำให้คลื่นการสั่นสะเทือนที่เกิดจากการกระแทก ของแต่ละล้อของ รถไฟต่อรางมีระยะเวลาในการแทรกสอดกันที่แตกต่างกัน

6. จากการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์โครงสร้างอาคารที่ซับซ้อนด้วยคลื่นการสั่นสะเทือนที่ คาดการณ์จากรถไฟความเร็วสูงกับวิธีการวิเคราะห์แรงสั่นสะเทือนเนื่องจากวิธีสเปกตรัม ตอบสนองแบบโหมด พบว่าการสั่นสะเทือนจากคลื่นที่คาดการณ์จากรถไฟความเร็วสูงส่ง ผลกระทบต่อตัวอาคารเล็กน้อยมากเมื่อเทียบกับการสั่นสะเทือนเนื่องจากวิธีสเปกตรัม ตอบสนองแบบโหมด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

ผลลัพธ์และประโยชน์ที่ได้จากงานวิจัย

6.1 ผลที่ได้จากงานวิจัย

ผลจากการสั่นสะเทือนที่วัดได้จากรถไฟ ณ สถานีต่างๆ ทั้งหมด 7 สถานี นามาทำการวิเคราะห์กับโครงสร้างอาคารสองชนิด ได้แก่ อาคารขนาดเล็กและอาคารขนาดกลาง ซึ่งได้ทำการวิเคราะห์ที่าระยะการเคลื่อนตัวในแต่ละชั้น แรงเฉือนในแต่ละชั้นและแรงเฉือนที่ฐานของโครงสร้าง และโมเมนต์ดัดของโครงสร้าง พบว่า อาคารขนาดเล็กมีค่าความแข็ง (stiffness) น้อยกว่าอาคารขนาดกลาง จึงทำให้การโยกตัวของอาคารขนาดเล็ก มีแนวโน้มมากกว่าอาคารขนาดกลาง และยังพบว่าด้วยลักษณะโครงสร้างของอาคารขนาดเล็กส่วนใหญ่ มีลักษณะที่มีความสมมาตร ทำให้ลักษณะการเคลื่อนตัวของอาคารขนาดเล็ก ในทิศทางไป-กลับ มีความสมมาตรมากกว่าอาคารขนาดกลาง ที่มีโครงสร้างซับซ้อน ซึ่งผลการวิจัยข้างต้น อยู่ในสมมุติฐานของกรณีเลวร้ายที่สุด (worst case) ที่อาจเกิดขึ้นได้ เมื่อมีการสั่นสะเทือนจากรถไฟ ทั้งนี้ ยังไม่รวมการดูดซับแรงสั่นสะเทือนในดิน ที่อาจทำให้แรงสั่นสะเทือนมีค่าน้อยลง โดยการให้การสั่นสะเทือนแก่โครงสร้างของอาคารที่ฐานของอาคารโดยตรง

จากการใช้แบบจำลองเชิงพลศาสตร์ในการคำนวณหาค่าการสั่นสะเทือนที่อาจเกิดขึ้นจากรถไฟความเร็วสูง ภายใต้เงื่อนไขที่ว่า เป็นการเพิ่มเพียงความเร็วอย่างเดียว ไม่มีการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ของรถไฟและโครงสร้างทางรถไฟ โดยค่าแอมพลิจูดที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงเมื่อเพิ่มความเร็วของรถไฟนั้น เป็นผลมาจากการแทรกสอดกันของคลื่นการสั่นสะเทือนที่เกิดจากการกระชากของแต่ละล้อรถไฟต่อราง ที่ระยะเวลาที่แตกต่างกัน ซึ่งได้ทำการคาดการณ์การสั่นสะเทือนของรถไฟไว้ที่ความเร็ว 150, 200 และ 250 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

ทำการวิเคราะห์กับโครงสร้างอาคารขนาดใหญ่หรืออาคารที่มีโครงสร้างซับซ้อนด้วยค่าความเร่งที่เกิดจากการคาดการณ์การสั่นสะเทือนของรถไฟไว้ที่ความเร็ว 150, 200 และ 250 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งได้ทำการวิเคราะห์ที่าระยะการเคลื่อนตัวในแต่ละชั้น แรงเฉือนในแต่ละชั้นและแรงเฉือนที่ฐานของโครงสร้าง พบว่าค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนจากรถไฟความเร็วสูง 200 กิโลเมตรส่งผลกระทบต่ออาคารมากกว่าที่ความเร็ว 150 และ 250 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และเมื่อเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์โครงสร้างอาคารด้วยคลื่นการสั่นสะเทือนจากการคาดการณ์ค่าความเร่งของรถไฟความเร็วสูงกับวิธีการวิเคราะห์แรงสั่นสะเทือนเนื่องจากวิธีสเปกตรัมตอบสนองแบบโหมด พบว่าการสั่นสะเทือนจากการคาดการณ์ค่าความเร่งของรถไฟความเร็วสูงส่งผลกระทบต่อตัวอาคารเล็กน้อยมากเมื่อเทียบกับการสั่นสะเทือนเนื่องจากวิธีสเปกตรัมตอบสนองแบบโหมด

6.2 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย

สามารถทราบถึงพฤติกรรมการสั่นสะเทือนของของรถไฟที่วิ่งผ่านอาคารได้ โดยสามารถรับรู้ผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นต่ออาคาร และยังสามารถคาดการณ์ผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นต่ออาคารที่จะก่อสร้างในอนาคต

สามารถคาดการณ์ผลกระทบจากการเคลื่อนผ่านของรถไฟความเร็วสูงขึ้นต่อโครงสร้างของอาคารที่จะถูกใช้ในอนาคต โดยสามารถวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดขึ้นต่ออาคารเพื่อวางแผนรับมือกับปัญหาที่อาจเกิดขึ้นต่อตัวอาคาร

6.3 การนำไปใช้ประโยชน์

มีเขตที่อยู่อาศัยส่วนมากเป็นพื้นที่ที่มีรถไฟที่วิ่งผ่าน แต่ในอนาคตเมื่อโครงการรถไฟความเร็วสูงมีการก่อสร้างเสร็จ ซึ่งรถไฟความเร็วสูงมีรูปแบบการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นจากการเคลื่อนผ่านของรางรถไฟนั้นต่างจากรถไฟที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน สามารถใช้ผลจากงานวิจัยนี้ ในการนำไปใช้ในการศึกษาเบื้องต้นถึงผลกระทบจากการสั่นสะเทือนของรถไฟความเร็วสูงที่อาจเกิดขึ้นต่อตัวโครงสร้างอาคารกับบริเวณดังกล่าว

6.4 แนวทางการพัฒนาต่อยอดผลงานในอนาคต

งานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์โครงสร้างอยู่ในสมมติฐานของกรณีเลวร้ายที่สุด (worst case) ที่อาจเกิดขึ้นได้ เมื่อมีการสั่นสะเทือนจากรถไฟ ทั้งนี้ ยังไม่รวมการดูดซับแรงสั่นสะเทือนในดิน ที่อาจทำให้แรงสั่นสะเทือนมีค่าน้อยลง โดยการให้การสั่นสะเทือนแก่โครงสร้างของอาคารที่ฐานของอาคารโดยตรง อาจงานวิจัยนี้ไปศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับ กรณีที่มีการดูดซับแรงสั่นสะเทือนในดิน

วิธีการเก็บข้อมูลคลื่นการสั่นสะเทือนที่วัดจากรถไฟ สำหรับการศึกษาต่อในอนาคตควรจะกำหนดระยะในการติดตั้งตัววัดความแรงของการสั่นสะเทือนที่มีระยะห่างจากกึ่งกลางของรางรถไฟที่เท่ากันตลอดทุกสถานีที่ทำการวัดเพื่อง่ายต่อการเปรียบเทียบสัญญาณของความแรงการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้น โดยจะต้องบันทึกระยะห่างจากกึ่งกลางของรางรถไฟ

การสร้างแบบจำลองทางพลศาสตร์ของคลื่นการสั่นสะเทือนที่คาดการณ์จากรถไฟความเร็วสูงควรจะศึกษาต่อโดยใช้พารามิเตอร์ต่างๆ ให้ใกล้เคียงกับสภาพของรถไฟความเร็วสูงที่จะถูกใช้ในประเทศไทยในอนาคต เช่น รถไฟความเร็วสูงฟู้จิงหัว มีความเร็วสูงสุด 250 กิโลเมตรต่อชั่วโมง มีจำนวนตู้ขบวนทั้งหมด 8 ตู้ขบวน มีน้ำหนักลงเพลาสุงสุด 17 ตัน เป็นต้น และควรใช้ข้อมูลของรางรถไฟที่มีขนาดราง 1.435 เมตร (European standard gauge) เพื่อให้ได้ผลการจำลองคลื่นการสั่นสะเทือนที่ใกล้เคียงกับสภาพของรถไฟความเร็วสูงที่จะถูกใช้ในประเทศไทยในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

ข้อเสนอแนะ

ในการวิจัยครั้งนี้ยังไม่ได้คำนึงถึงผลกระทบต่อโครงสร้างอาคารที่อาจเปลี่ยนไป เนื่องจากการดูดซับแรงสั่นสะเทือนในดิน ที่อาจทำให้แรงสั่นสะเทือนมีค่าลดน้อยลง อีกทั้งลักษณะของดินในแต่ละพื้นที่ก็มีความแตกต่างกัน ทั้งนี้งานวิจัยสามารถหาการศึกษาเพิ่มเติมในกรณีอื่นๆ เช่นการศึกษาผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นต่อผู้อยู่อาศัยภายในอาคาร หรืออาจการศึกษาผลกระทบลักษณะอื่น เช่นผลกระทบจากเสียงที่เกิดจากรถไฟ

นอกจากนั้นการศึกษาวิเคราะห์และคาดการณ์แรงผลกระทบจากสั่นสะเทือนของรถไฟความเร็วสูงที่อาจส่งต่ออาคารสูงในอนาคต ก็หรือควรมีการจัดหาแผนที่ความเสี่ยงภัยรอบบริเวณเส้นทาง เพื่อเป็นการรับมือและวางแผนให้แก่ผู้อยู่อาศัยโดยรอบ หรือให้แก่ผู้ประกอบการที่ต้องการจะก่อสร้างอาคารในรูปแบบต่างๆในอนาคต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักงานคณะกรรมการนโยบายเขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก (สกพอ.) ภาพรวมโครงสร้างพื้นฐาน (2561) Retrieved July 19, 2018, from <https://www.eeco.or.th/โครงสร้างพื้นฐาน/ภาพรวมโครงสร้างพื้นฐาน>
- [2] BangkokCitiSmart “รถไฟความเร็วสูงสายอีสาน-ไฮสปีด 3 สนามบิน เชื่อมอุไทย-ลาว-จีน” (2562) Retrieved November 1, 2019, from <https://www.bkkcitis mart.com/ข่าว/01-นอ-2019/รถไฟความเร็วสูงสายอีสาน-ไฮสปีด-3-สนามบิน-เชื่อมไทย-ลาว-จีน>
- [3] Paul de Vos, Satis, Railway Induced Vibration State of the art report, International Union of Railways (UIC), November 2017
- [4] OANCEA I. Ş., BUDESCU M., MOVILĂ M., VIBRATION PROPAGATION IN ADJACENT AREAS OF RAILWAYS, Bulletin of the Polytechnic Institute of Iasi - Construction & Architecture Section. 2017, Vol. 67 Issue 4, p129-142. 14p.
- [5] R. Burdzik, Analysis of Rail Vibration Signal Time and Frequency Structures Generated by Different Mechanisms, Springer Proceedings in Mathematics and Statistics. 2018, Vol. 249, p25-34.
- [6] Midas Bridge, Analysis for Civil Structures, from [https://www.midasbridge.com/EN_MIDAS BRIDGE](https://www.midasbridge.com/EN_MIDAS_BRIDGE)
- [7] นิติกร แสงสว่าง. “ผลวิเคราะห์โครงสร้างอาคารตึกข้างตึ้นทานแรงแผ่นดินไหวตามมาตรฐาน มยผ.1301/1302-61” การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 26, มิถุนายน 2564
- [8] มาตรฐานการออกแบบอาคารต้านการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว มยผ. 1301/1302-61. กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย, กรุงเทพฯ, ประเทศไทย
- [9] Stephen Kuchnicki, Simple Vibration Problems with MATLAB (and Some Help from MAPLE), December 7, 2009
- [10]รถไฟความเร็วสูงไทย-จีน พัฒนาระบบรางไทย เชื่อมโยงเครือข่ายสู่สากล (2567) Retrieved June 16, 2024, from <https://www.highspeedrail-thai-china.com>
- [11]Railway Technology “Fuxing Hao Series Bullet Trains” (2564) Retrieved October 7, 2021, from <https://www.railway-technology.com/projects/fuxing-hao-series-bullet-trains>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [12] Mehdi Bahrekazemi, Train-induced ground vibration and its prediction, Division of Soil and Rock Mechanics Dept. of Civil and Architectural Engineering Royal Institute of Technology, Stockholm 2006
- [13] P. Persson, L.V. Andersen, K. Persson, P. Bucinskas, Effect of structural design on traffic-induced building vibrations, *Procedia Engineering*, Volume 199, 2017, Pages 2711-2716.
- [14] C. Madshus, B. Bessason and L. Hårvik, Prediction model for low frequency vibration from high speed railways on soft ground. *Journal of Sound and Vibration* 193, 195-203. doi: 10.1006/jsvi.1996.0259 (1996).
- [15] International Organization for Standardization, ISO 4866. Mechanical vibration and shock-Guidelines for the measurement of vibrations and evaluation of their effects on buildings (1990).
- [16] Martin X. D. Li and Eric G. Berggren (2009), A Study of the Effect of Global Track Stiffness and its Variations on Track Performance: Simulation and Measurement, Banverket, Operations Division, Infrastructure, Track & Civil Engineering SE-781 85 Borlange, Sweden, 9th International Heavy Haul Conference
- [17] Sungil Kim (2011), Experimental evaluations of track structure effects on dynamic properties of railway bridges, *Journal of Vibration and Control*, October 2011
- [18] รถไฟรุ่น ทีเอชเอ็น (THN) “ข้อมูลหัวรถจักรดีเซลและรถดีเซลราง ของการรถไฟฯ” from <http://www.geocities.ws/railsthai/train01.htm>
- [19] สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร (สนข.), มาตรฐานโครงสร้างทางรถไฟ, มกราคม 2561
- [20] Computer and Structures, Structural and earthquake engineering software SAP2000 (2016)
- [21] เจน บุญชื้อ, ความรู้เบื้องต้นวิศวกรรมรถไฟ, การรถไฟแห่งประเทศไทย, กระทรวงคมนาคม, กรุงเทพฯ, ประเทศไทย
- [22] สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร (สนข.), มาตรฐานโครงสร้างทางรถไฟ, มกราคม 2561
- [23] บุญยกร วรवास (2561) “การคาดการณ์ผลกระทบของคลื่นการสั่นสะเทือนที่เกิดจากรถไฟความเร็วสูง ในพื้นที่ สจล”

Publication

Suvisit Banyam, Amphon Jarasjarungkiat and Boonyakorn Warawas, “Investigation the Behaviors of Vibrations Waves from High-Speed Train Modelling”, The International Conference on Engineering, Applied Sciences and Technology (ICEAST2021), AIP Conference Proceedings 2397, 030002 (2021).



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Investigation the Behaviors of Vibrations Waves from High-Speed Train Modelling

Suvisit Banyam¹, Amphon Jarasjarungkiat^{2*} and Boonyakorn Warawas³

^{1,2,3}*Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology, Ladkrabang, Bangkok, Thailand*

**corresponding author, E-mail: amphon.ja@kmitl.ac.th*

Abstract

Railway transportation is important for public transportation in Thailand like Bangkok Mass Transit System (BTS) and Mass Rapid Transit (MRT). Therefore, the organization of national development has objective to develop in railway transportation. Moreover, they are planning to build railway in Thailand to connect between ASEAN and China. There are many researchers who studied about the railway transportation infrastructure by using various methods. However, in this studies, waves of high-speed train were investigated by using different velocities into force and free vibration equations from structural dynamic. Then the results showed that shorter tidal range was happened due to the vibration waves of high-speed trains than waves of low-speed ones. Finally, finite element software was used to get characteristics of the waves. The results proved that the vibrations waves were strong at first 1-5meter, however, at the distances of 5-15meter waves were decreased significantly in intensity. It was reduced to the end or there was no effect at the distance 18meter waves.

Keywords: High-speed train, Amplitudes, Finite element software, Vibrations.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Investigation the Behaviors of Vibrations Waves from High-Speed Train Modelling

Suvisit Banyam^{1, b)}, Amphon Jarasjarungkiat^{2, a)} and Boonyakorn Warawas^{3, c)}

Author Affiliations

^{1,2,3}Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology, Ladkrabang, Bangkok, Thailand

Author Emails

^{a)}amphon.ja@kmitl.ac.th

^{b)}surveysuvisit@gmail.com

^{c)}globerecall@gmail.com

^{a)} Corresponding author: ^{a)}amphon.ja@kmitl.ac.th

Abstract. Railway transportation is important for public transportation in Thailand like Bangkok Mass Transit System (BTS) and Mass Rapid Transit (MRT). Therefore, the organization of national development has objective to develop in railway transportation. Moreover, they are planning to build railway in Thailand to connect between ASEAN and China. There are many researchers who studied about the railway transportation infrastructure by using various methods. However, in this studies, waves of high-speed train were investigated by using different velocities into force and free vibration equations from structural dynamic. Then the results showed that shorter range was happened due to the vibration waves of high-speed trains than waves of low-speed ones. Finally, finite element software was used to get characteristics of the waves. The results proved that the vibrations waves were strong at first 1-5meter, however, at the distances of 5-15meter waves were decreased significantly in intensity. It was reduced to the end or there was no effect at the distance more than 18meter waves from the wave source.

INTRODUCTION

Transportation is gaining more and more important in every country, as a result, traffic vibrations problem is happened due to the heavy trucks passing on the route. Vibrations from the train are produced to the ground and it can be a nuisance to people living near the railroad. The tremors will be affected not only to the residential buildings but also to the railway structures. Therefore, high maintenance costs are necessary due to excessive vibrations. According to the national development organization, the aim is to create Eastern Economic Corridor (EEC) to develop transportation infrastructure by the operation to link with air, land, and water transportations for reduction the travelling time and transportation costs. Bahrekazemi,2004 [1] said that the problem of ground-induced vibrations due to train traffic has three links such as the source of vibration from the train, the vibration distribution path (propagation path) and the receiver. Understanding how these three steps influence vibration situations is critical in predicting and mitigating problems caused by vibration. Moreover, Persson,2016 [2] shown that each wheel was acting as a vehicle for its movement while the train was moving. The contact between the train wheels and the rail produces dynamic excitation due to the various types of faults in the wheels and rail construction. In addition, if the train speed is higher than a certain critical speed it will be able to observe additional vibrations. Then an empirical model for predicting low-frequency vibrations from the rail traffic on soft soils was developed by the Norwegian Geotechnical Institute, NGI,1996 [3]. The model with a statistical formula predicted both expected values and associated confidence limits. This model was used in the planning of the Gardemobanen (the high-speed rail between Oslo and the airport). The model predicted vibrations in the middle of the building, located further from the train line. International Organization for Standardization,1990 [4] provides guidelines for measuring vibration and impacts on buildings. In accordance with

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก



รูปที่ 8-1 หมุดวัดแรงสั่นสะเทือน



รูปที่ 8-2 เครื่องรับสัญญาณ data logger

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8-3 ชุดอุปกรณ์ภาคสนาม



รูปที่ 8-4 การลงพื้นที่เก็บข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8-5 การลงพื้นที่เก็บข้อมูลในพื้นที่ตัวอย่าง



รูปที่ 8-6 การติดตั้งอุปกรณ์กับฐานเสาไฟฟ้าแอร์พอร์ตลิงค์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8-7 การเก็บค่าคลื่นตัวอย่างจากรถไฟฟ้าแอร์พอร์ตลิงค์



รูปที่ 8-8 การติดตั้งหัววัดความแรงเข้ากับหมุดวัดแรงสั่นสะเทือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8-9 การติดตั้งหมุดวัดแรงสั่นสะเทือน



รูปที่ 8-10 การติดตั้งหัววัดความเร่งเข้ากับหมอนรางรถไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

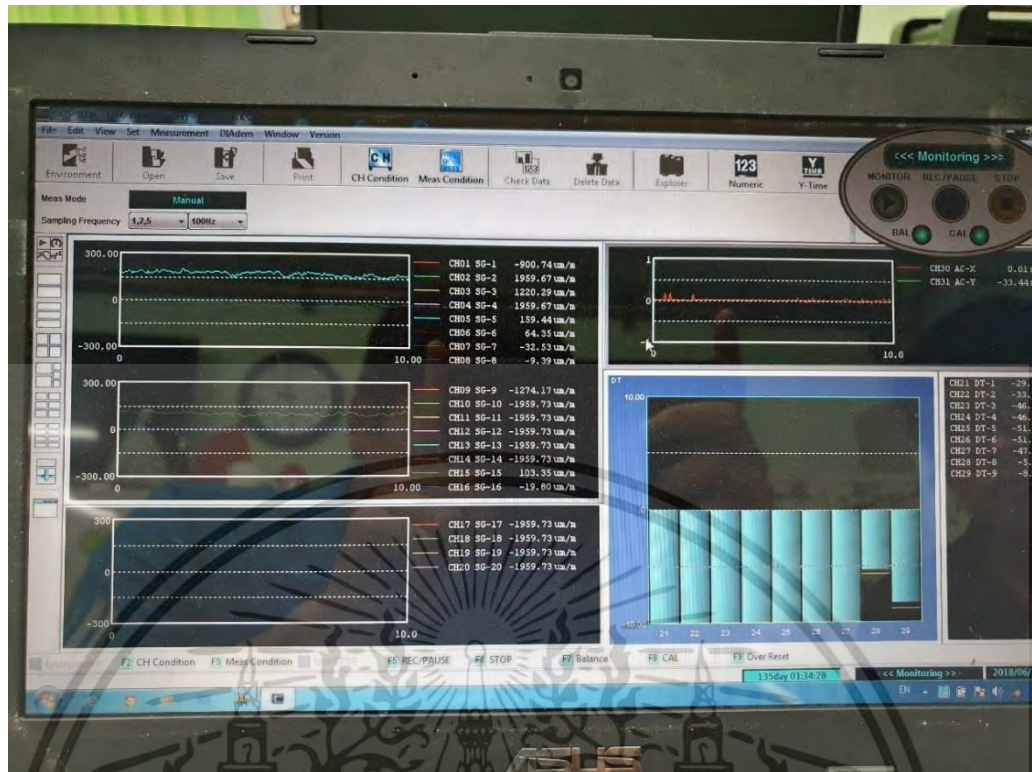


รูปที่ 8-11 การติดตั้งอุปกรณ์วัดความแรงกับเสาไฟฟ้า BTS



รูปที่ 8-12 การติดตั้งอุปกรณ์กับฐานเสาไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8-13 การแสดงผลค่าที่วัดได้จากหัววัดความเร่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นาย สุวิสิษฐ์ บานแย้ม
วัน เดือน ปีเกิด 21 ธันวาคม 2538 ที่ กาฬสินธุ์
ที่อยู่ 999/602 หมู่บ้านปาล์มเพลส3 หมู่3 ต.บลดรณัญญี อ.ภอเมือง
จังหวัดพิษณุโลก 65000 โทร.098-748-6736
ประวัติการศึกษา 2561 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ประสบการณ์การทำงาน งานและผลงานวิจัย
พ.ศ.2562 งานวิจัยเรื่อง Investigation the Behaviors of Vibrations Waves from
High-Speed Train Modelling (The International Conference on
Engineering, Applied Sciences and Technology (ICEAST) ครั้งที่ 7)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รองปกหลัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้