การวิเคราะห์โครงสร้างสะพานของทางหลวงหมายเลข 118 สาย เชียงใหม่ – เชียงราย ภายใต้แรงแผ่นดินไหว

Analysis of a Bridge on Chiang Mai-Chiang Rai Highway No.118 Under Earthquake Load

พงศ์นรินทร์ นัยเนตรสุวรรณ[1,*] พุทธรักษ์ จรัสพันธุ์กุล[2] ชยานนท์ หรรษภิญโญ[3] ชินพัฒน์ บัวชาติ[4] ปิยะพงษ์ วงค์เมธา[5] กิตติคุณ จิตไพโรจน์[6]

[1,2,3,4,5,6]ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่

**Corresponding author; E-mail address: pongnarin_nai@cmu.ac.th*

บทคัดย่อ

สะพานทางหลวงเป็นสาธารณูปโภคที่มีความสำคัญ เนื่องจากใช้สำหรับข้ามจากพื้นที่หนึ่งไปยังอีกพื้นที่หนึ่งหรือเชื่อมต่อระหว่าง หุบเขา แม่น้ำ ถนนหรือทางรถไฟ อย่างไรก็ตามหากสะพานไม่ได้รับการออกแบบให้เหมาะสม อาจส่งผลให้โครงสร้างสะพานทางหลวงเกิดการพังทลายและสร้างความเสียหายร้ายแรงได้ แผ่นดินไหวนับเป็นปรากฏการณ์ทางธรรมชาติที่สามารถสร้างความเสียหายให้โครงสร้างได้ จังหวัดเชียงใหม่และเชียงรายเป็นจังหวัดที่มีขนาดเศรษฐกิจใหญ่เป็นอันดับที่ 1 และ 2 ของภาคเหนือ อีกทั้งยังมีเขตพื้นที่ติดกับประเทศเพื่อนบ้านเช่น ลาว เมียนมา และจีนตอนใต้ ในการส่งเสริมผลประโยชน์ทางเศรษฐกิจเข้ามาในประเทศ ในการศึกษานี้สะพานทางหลวงหมายเลข 118 (ละติจูดที่ 18.979623, ลองติจูดที่ 99.259073) ตำบลป่าเมี่ยง อำเภอดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งเป็นสะพานที่เชื่อมต่อจังหวัดเชียงใหม่และจังหวัดเชียงรายได้รับเลือกเพื่อทำการประเมินสมรรถนะต้านทานแผ่นดินไหว ในบริเวณดังกล่าวตั้งอยู่ใกล้กับรอยเลื่อนที่มีพลัง ซึ่งเคยเกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหวขนาด 6.3 ริกเตอร์ เมื่อปี พ.ศ.2557 ดังนั้นศึกษาพฤติกรรมทางพลศาสตร์ภายใต้แรงแผ่นดินไหวของสะพานทางหลวงที่เลือกจึงมีความสำคัญ สำหรับการศึกษานี้มุ่งเน้นการศึกษาพฤติกรรมทางพลศาสตร์ภายใต้แรงแผ่นดินไหวของโครงสร้างสะพานทางหลวง ซึ่งพฤติกรรมทางพลศาสตร์ภายใต้แรงแผ่นดินไหวของโครงสร้างสะพานทางหลวงที่เลือกโดยการวิเคราะห์แบบไม่เชิงเส้นแบบประวัติเวลา จะถูกนำเสนอออกมาเป็นข้อมูลและข้อเสนอแนะจากผลลัพธ์ที่ได้

คำสำคัญ: สะพานทางหลวง, รอยเลื่อนที่มีพลัง, แผ่นดินไหว, พฤติกรรมทางพลศาสตร์, การวิเคราะห์แบบไม่เชิงเส้นแบบประวัติเวลา

Abstract

Highway bridge is an important lifelines. Because it is built for the purpose of providing passage over obstacle such as valleys, rivers, road or rail. However, if the bridge was not designed properly, it may cause severely damages owing to the bridge failure. Earthquake is a natural phenomenon that can do significant damage to structures. Chiang Mai and Chiang Rai which is ranked as the 1st and 2nd largest economy in Northern Thailand. Also, Chiang Mai and Chiang Rai share borders with other countries such as Laos, Myanmar and Southern China, resulting in higher economic growth between countries. In this study, the bridge on the highway route 118 (Latitude 18.979623, Longitude 99.259073) Pa Miang, Doi Saket, Chiang Mai, Thailand, that links Chiang Mai and Chiang Rai, is selected to assess the seismic performance. The selected bridge is located near active faults in which caused the 6.3 richter earthquake in 2014. Therefore, seismic behaviors of the selected highway bridge is very important. In this study, nonlinear time history analysis was applied to acquire and to evaluate seismic behaviors of the selected highway bridge. Seismic behaviors of the selected highway bridge using nonlinear time history analysis are presented. Moreover, information and recommendations based on the results are provided.

Keywords: Highway bridge, Active faults, Earthquake, Seismic behaviors, nonlinear time history analysis.

1. คำนำ

แผ่นดินไหว เป็นภัยพิบัติทางธรรมชาติที่ก่อให้เกิดความเสียหายอย่างมากต่อโครงสร้างอาคารทุกชนิด สาเหตุสำคัญของแผ่นดินไหวส่วนใหญ่เกิดขึ้นบนแนวรอยเลื่อน เป็นผลมาจากการเคลื่อนที่ที่แตกต่างกันหรือเฉือนกันในเขตรอยเลื่อนมีพลัง (active faults) จากการสำรวจทางธรณีวิทยาพบว่าในพื้นที่ภาคเหนือมีความเสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหวจากการมีรอยเลื่อนพลังที่สำคัญกระจายตัวอยู่ทั่วทั้งภูมิภาค ซึ่งถือเป็นพื้นที่เสี่ยงในการเกิดแผ่นดินไหวเป็นอย่างมาก แรงแผ่นดินไหวทาให้การออกแบบโครงสร้างอาคารนั้นจะต้องมีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้น จากสถิติในอดีตที่ผ่านมานั้นได้มีการเกิดแผ่นดินไหวในระดับที่ส่งผลกับบ้านหรืออาคารที่ทาให้เกิดความเสียหายหลายครั้งยกตัวอย่างเช่น แผ่นดินไหวที่จังหวัดเชียงรายวันที่ 5 พ.ค. 2557 ที่มีจุดศูนย์กลางที่ อ.พาน จ.เชียงราย โดยมีขนาด 6.3 แมกนิจูด ส่งผลทาให้สิ่งปลูกสร้างในจังหวัดเชียงรายและใกล้เคียงได้รับความเสียหายและแรงสั่นสะเทือนรับรู้ได้ถึง กรุงเทพมหานครฯ

จังหวัดเชียงใหม่และเชียงราย ถือได้ว่าเป็น 2 จังหวัดที่มีขนาดเศรษฐกิจใหญ่เป็นอันดับที่ 1 และ 2 ของภาคเหนือ โดยทั้งสองจังหวัดนี้ยังมีความเชื่อมโยงกันในเชิงพื้นที่และกิจกรรมเศรษฐกิจทั้งในระดับท้องถิ่นและระดับประเทศ โดยมีทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 118 เป็นเส้นทางสายหลักที่เชื่อมระหว่างจังหวัดเชียงใหม่ไปยังจังหวัดเชียงราย โดยเส้นทางสายนี้มีแนวเส้นทางอยู่ในพื้นที่แนวรอยเลื่อนพะเยา เป็นรอยเลื่อนที่มีพลัง (active fault zone) ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดแผ่นดินไหวขนาด 6.3 แมกนิจูด ที่จังหวัดเชียงราย เมื่อปี พ.ศ.2557 ส่งผลให้ ถนนและโครงสร้างสะพานบนทางหลวง เกิดการชำรุดเสียหาย ทรุดตัวและพังทลาย ดังนั้น ในการรับมือแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว การออกแบบถนนและโครงสร้างสะพานจึงมีความสำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งโครงสร้างสะพาน

งานวิจัยของ Prakit Chomchuen และ Virote Boonyapinyo [1] ได้ศึกษาประสิทธิภาพแผ่นดินไหวของสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กเสาเดี่ยวทั่วไปในประเทศไทยภายใต้ระดับความรุนแรงของแผ่นดินไหวในกรุงเทพฯ โดยใช้ค่าเฉลี่ยของการวิเคราะห์พลศาสตร์ลำดับขั้น (IDA) โดยระบบ single-degree-of-freedom system (ESDOF) ที่เทียบเท่าถูกนำมาใช้เพื่อประเมินประสิทธิภาพแผ่นดินไหวของสะพานที่ศึกษา ยังได้ตรวจสอบผลกระทบของพารามิเตอร์สำคัญ 2 ตัวที่มีอิทธิพลต่อพฤติกรรมแผ่นดินไหวที่เกิดจาก IDA ของ ESDOF นั่นคือรูปแบบการโหลดด้านข้างและแบบจำลองฮิสเทรีซิส (Hysteretic model) ผลการวิจัยพบว่ารูปแบบการรับน้ำหนักที่แตกต่างกันส่งผลให้เกิดพฤติกรรมแผ่นดินไหวที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับสะพานที่มีอัตราส่วนมวลรวมต่ำสำหรับโหมดพื้นฐาน ในขณะที่การใช้แบบจำลองฮิสเทรีซิสที่แตกต่างกันมีนัยสำคัญน้อยกว่า ผลการวิจัยยังแสดงให้เห็นว่าสะพานที่ศึกษาสามารถต้านทานแผ่นดินไหวที่พิจารณาได้โดยไม่มีความเสียหายใดๆ หรืองานวิจัยของ A. Mahmoudi Moazam et al. [2] ได้ศึกษาการวิเคราะห์พลศาสตร์ลำดับขั้นของช่วงขนาดเล็กถึงขนาดกลางของสะพานโค้งคอนกรีตแบบธรรมดา 2 แห่งของอิหร่าน ซึ่งส่วนใหญ่สร้างขึ้นเมื่อกว่า 70 ปีที่แล้ว โดยใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์และวิธีการสร้างแบบจำลองมาโคร ซึ่งโครงสร้างเหล่านี้แม้ว่าจะแสดงประสิทธิภาพที่ดีภายใต้ผลการรับน้ำหนัก (แรงโน้มถ่วง) แต่การออกแบบของโครงสร้างเหล่านี้ไม่ได้คำนึงถึงแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว (ด้านข้าง) ดังนั้นการประเมินแผ่นดินไหวของโครงสร้างเหล่านี้ถือว่าจำเป็นสำหรับการรับการวิบัติและระดับความรุนแรงของแผ่นดินไหว ทำการวิเคราะห์วิธีพลศาสตร์ไม่เชิงเส้น (non-linear dynamic analyses) ทั้งหมด 231 ครั้ง ผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์พลศาสตร์ลำดับขั้น (IDA) บ่งชี้ว่าพฤติกรรมแผ่นดินไหวของสะพานที่มีช่วงความยาวที่ยาวกว่านั้นมีความเสี่ยงมากกว่าสะพานที่มีความยาวช่วงที่สั้นกว่า และพบว่าประสิทธิภาพการรับแรงแผ่นดินไหวของสะพานโค้งคอนกรีตธรรมดานั้นไม่เหมาะสม

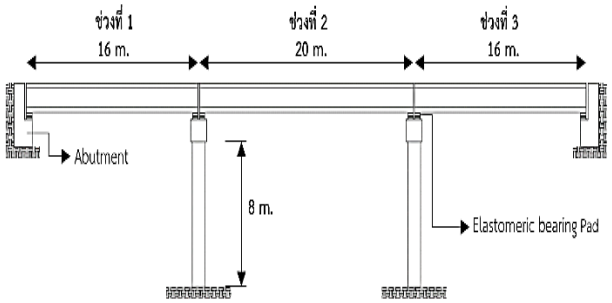
งานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาพฤติกรรมของโครงสร้างสะพานทางหลวง ซึ่งมีการใช้โปรแกรมมาช่วยในการวิเคราะห์และประเมินโครงสร้างส่วนที่เป็นช่วงสะพาน ในการศึกษาพฤติกรรมของโครงสร้างที่เกิดขึ้นจากแรงแผ่นดินไหว

2. โครงสร้างสะพานและแรงแผ่นดินไหว

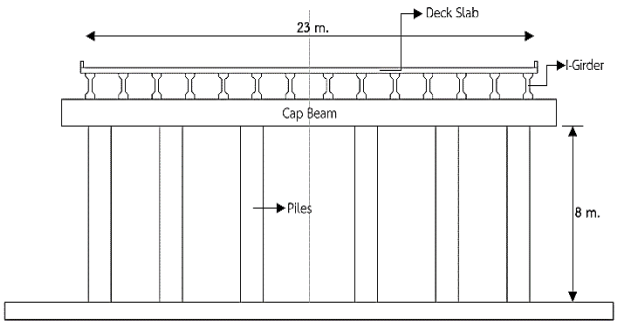
งานวิจัยนี้จะทำการจำลองโครงสร้างสะพานทางหลวงแบบ 3 มิติ โดยพิจารณาโครงสร้างสะพานด้วยโปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้าง ซึ่งมีขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย ดังนี้

2.1 โครงสร้างสะพานที่ใช้ในการศึกษา

โครงสร้างสะพานที่เลือกศึกษาเป็นโครงสร้างสะพานแบบคานคอนกรีตอัดแรงรูปตัวไอ เลือกใช้แบบก่อสร้างทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 118 สายเชียงใหม่-เชียงราย ลักษณะของโครงสร้างสะพานโดยรวมจะมีความยาว 52 เมตร กว้าง 23 เมตร มีช่วงสะพานทั้งหมด 3 ช่วง แบ่งเป็น 16 เมตร 20 เมตร และ 16 เมตร ตามลำดับ ชิ้นส่วนของโครงสร้างย่อย ๆ จะประกอบไปด้วย โครงสร้างสะพานส่วนบน ได้แก่ พื้นสะพาน (Deck Slab), คานสะพานรูปตัวไอ (I-Girder) โครงสร้างสะพานส่วนล่าง ได้แก่ คานรัดเสาตอม่อ (Cap Beam) และเสาตอม่อ (Piles) สูง 8 เมตร สำหรับส่วนเชื่อมต่อระหว่างโครงสร้างส่วนบนและส่วนล่าง จะมีแผ่นรองคานสะพาน โดยได้เลือกใช้เป็น Elastomeric bearing pad สำหรับส่วนปลายทั้งสองฝั่งของโครงสร้างสะพานจะมีตอม่อริม (Abutment) โดยรายละเอียดของโครงสร้างจะแสดงให้เห็นดังรูปที่ 2.1 และ 2.2



รูปที่ 2.1 โครงสร้างสะพานตามยาวที่ใช้ในการศึกษา



รูปที่ 2.2 โครงสร้างสะพานตามขวางที่ใช้ในการศึกษา

2.2 แบบจำลองโครงสร้างสะพาน

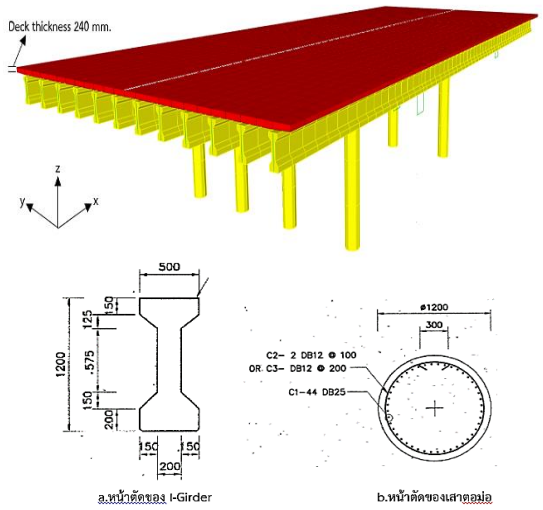
โครงสร้างสะพานส่วนบน จะประกอบไปด้วยแผ่นพื้นสะพานและคานรองรับแผ่นพื้น ซึ่งจะพิจารณาน้ำหนักแผ่นพื้นผ่านแรงกระทำแบบสม่ำเสมอกระทำต่อคานด้านล่าง โดยคานดังกล่าวจะเลือกใช้เป็นอิลิเมนต์ประเภท Linear-elastic beam-column สำหรับคานรัดเสาตอม่อ จะถูก

พิจารณาให้เป็นชิ้นส่วนที่มีพฤติกรรมแบบเชิงเส้น โดยเลือกใช้อิลิเมนต์เช่นเดียวกับคานรองรับแผ่นพื้น การจำลองเสาตอม่อจะเลือกใช้ Elastic Frame element โดยคุณสมบัติวัสดุของคอนกรีตสำหรับชิ้นส่วนใช้ตามแบบก่อสร้างทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 118 สายเชียงใหม่-เชียงราย [3] แบบจำลองของจุดรองรับ จะกำหนดให้จุดรองรับของโครงสร้างเป็น Fixed support โดยไม่มีการเคลื่อนที่ในแนวแกนตามยาว (Longitudinal translation) แนวตามแกนขวาง (Transverse translation) และแนวดิ่ง (Vertical translation)

แบบจำลองโครงสร้างสะพาน อิลิเมนต์และชิ้นส่วนแต่ละประเภทจะมีค่าความแข็งแรงของคอนกรีต fc' (Strength of Concrete) ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น E (Modulus of Elasticity) และค่าอัตราส่วนของปัวซอง (Poisson's Ratio) ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติวัสดุของคอนกรีตสำหรับชิ้นส่วน

	fc' (ksc.)	E (MPa.)	Poisson's Ratio
Deck SLAB	250	23,500	0.2
I-Girder	350	27,806	0.2
Cap Beam	250	23,500	0.2
Abutment	250	23,500	0.2
Piles	250	23,500	0.2



รูปที่ 2.3 คุณสมบัติขนาดของชิ้นส่วนที่ใช้ศึกษา (a) รูปหน้าตัดของ I-Girder (b) รูปหน้าตัดของเสาตอม่อ

2.3 แบบจำลองแผ่นรองคานสะพาน

แบบจำลองแผ่นรองคานสะพาน (Elastomeric bearing pad) จะติดตั้งตรงบริเวณตำแหน่งใต้คาน I-Girder จะเลือกพิจารณาคุณสมบัติที่สำคัญได้แก่ค่าสติฟเนสในแนวราบ Kx Ky และแนวดิ่ง Kz และค่าสติฟเนสการหมุนรอบแกน Kxx Kyy Kzz โดยค่าสติฟเนสอ้างอิงตามการศึกษาของ Parham, B. and Khosro, B. [4] ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติวัสดุแผ่นรองคานสะพาน

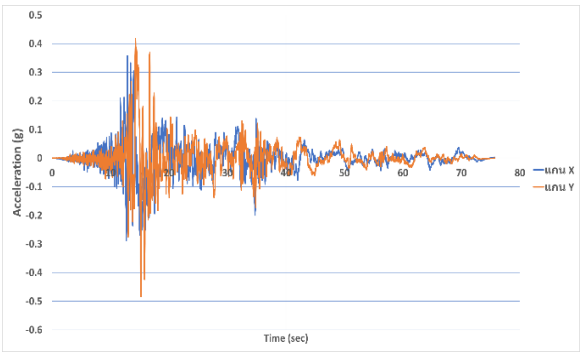
Degree of freedom	Parameter	Stiffness
Translation along x-axis	Kx	5.30×10^3 (kN/m)
Translation along y-axis	Ky	5.30×10^3 (kN/m)
Translation along z-axis	Kz	1.45×10^7 (kN/m)
Rotation about x-axis	Kxx	4.15×10^7 (kN·m/rad)
Rotation about y-axis	Kyy	8.05×10^4 (kN·m/rad)
Rotation about z-axis	Kzz	1.55×10^4 (kN·m/rad)

3. คลื่นแผ่นดินไหวที่เลือกใช้ในการศึกษา

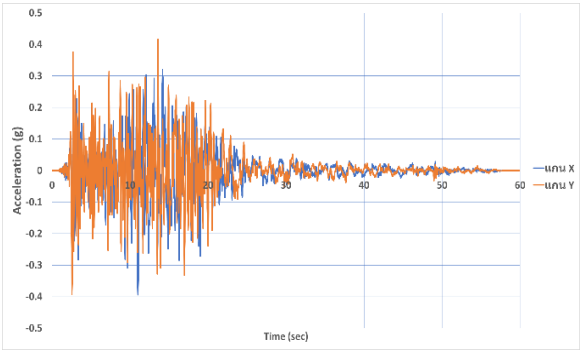
เนื่องจากปัจจุบันยังไม่มีคลื่นแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ที่ บันทึกได้ในประเทศไทย ดังนั้น งานวิจัยฉบับนี้จึงใช้คลื่นแผ่นดินไหวจากโครงการปรับปรุงและแก้ไขมาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว โดยสถาบันวิจัยและให้คำปรึกษาแห่งมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ [5] โดยใช้คลื่นแผ่นดินไหวจากเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่มีลักษณะใกล้เคียงกับเหตุการณ์แผ่นดินไหว บริเวณภาคเหนือของประเทศไทย เลือกมาใช้จำนวน 3 คลื่น ได้แก่ RSN161_Imperial Valley มีค่าความเร่งพื้นดินสูงสุดในแนวแกนx 0.358g หรือ 3.513 m/s^2 ในแนวแกน y 0.483g หรือ 4.743 m/s^2, RSN230_ Mammoth Lakes มีค่าความเร่งพื้นดินสูงสุดในแนวแกนx 0.394g หรือ 3.870 m/s^2 ในแนวแกน y 0.416g หรือ 4.082 m/s^2 , RSN1107_ Kobe Japan มีค่าความเร่งพื้นดินสูงสุดในแนวแกนx 0.323g หรือ 3.174 m/s^2 ในแนวแกน y 0.436g หรือ 4.282 m/s^2 ที่คาบการสั่นคลื่นแผ่นดินไหวที่พื้นดินของอาคารเท่ากับ 0.2 วินาที ดังแสดงใน ตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ชุดข้อมูลแผ่นดินไหวที่นำมาใช้ในการศึกษา

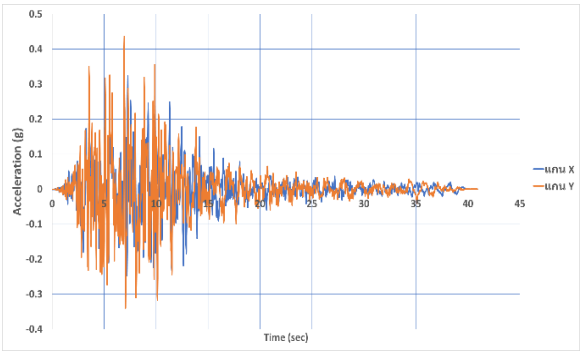
คลื่นแผ่นดินไหว	Station	Year	Mw.	Rjb (km.)	Rrup (km.)
RSN161	H-BRA	1979	6.53	8.54	10.42
RSN230	I-CVK	1980	6.06	1.1	6.63
RSN1107	KAK	1995	6.9	22.5	22.5



รูปที่ 3.1 ประวัติเวลาความเร่งของพื้นดิน ของ RSN161_Imperial Valley



รูปที่ 3.2 ประวัติเวลาความเร่งของพื้นดิน ของ RSN230_ Mammoth Lakes



รูปที่ 3.3 ประวัติเวลาความเร่งของพื้นดิน ของ RSN1107_ Kobe Japan

4. การวิเคราะห์และประเมินระดับสมรรถนะของโครงสร้างสะพาน

หลังจากดำเนินการสร้างแบบจำลองโครงสร้างสะพานในโปรแกรม SAP2000 เรียบร้อยแล้ว จะทำการวิเคราะห์โครงสร้างโดยพิจารณาวิธีการวิเคราะห์เชิงพลศาสตร์ 2 วิธีการ ดังนี้

4.1. การวิเคราะห์คาบการสั่นธรรมชาติและรูปแบบการสั่นไหวแบบโหมด (MODAL ANALYSIS)

การวิเคราะห์คาบการสั่นธรรมชาติและรูปแบบการสั่นไหว สามารถแสดงให้เห็นถึงคุณลักษณะเชิงพลวัตรของโครงสร้างสะพาน เช่นค่าคาบการสั่นธรรมชาติ และรูปร่างการสั่นไหวในแต่ละโหมด โดยรูปร่างการสั่นไหวของโครงสร้างสะพานที่นำมาพิจารณาในงานวิจัยนี้ จะเลือกพิจารณารูปร่างการสั่นไหวของโครงสร้างในทิศทางแนวตามแกนยาว (Longitudinal translation) แนวตามแกนขวาง (Transverse translation) และแนวดิ่ง (Vertical translation)

สำหรับการวิเคราะห์แบบโหมดจะเลือกใช้ระเบียบวิธีคำนวณเชิงตัวเลข (Numerical method) ด้วยวิธีการคำนวณด้วย Eigen Vector ผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์แบบโหมดโดยเฉพาะค่าคาบการสั่นธรรมชาติ จะเป็นค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์การตอบสนองของโครงสร้างแบบประวัติเวลา

4.2 การวิเคราะห์การตอบสนองไม่เชิงเส้นแบบประวัติเวลา (NONLINEAR TIME HISTORY ANALYSIS)

สำหรับการวิเคราะห์แบบประวัติเวลาจะพิจารณาเป็นวิธีการวิเคราะห์แบบไม่เชิงเส้น โดยได้เลือกใช้วิธีการคำนวณสำหรับ THA ด้วยวิธีการ Direct integration และเลือกใช้เงื่อนไขเริ่มต้นเป็นศูนย์ (Zero initial condition) คือการเริ่มจากสถานะที่ไม่มีความเครียด (Unstressed State) ค่าพารามิเตอร์เลือกใช้ค่าพารามิเตอร์ของ Hilber-Hughes-Taylor (HHT) เพื่อแก้ไขปัญหาของการคำนวณการลู่เข้าของคำตอบโดยประมาณ สำหรับความหน่วงของโครงสร้างจะเลือกพิจารณาที่ค่าความหน่วง 5% และพิจารณา เลือกค่าความหน่วงแบบ Rayleigh damping

4.3 การประเมินระดับสมรรถนะของโครงสร้างสะพาน

ตามข้อกำหนด มยผ.1303-57 [6] การประเมินระดับสมรรถนะของโครงสร้างทั้งระบบจะวัดจากค่าการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้น (Story Drift) โดยจำแนกเป็น 3 ระดับ คือระดับเข้าใช้งานได้ทันที (IO) หมายถึง โครงสร้างยังคงปลอดภัยและเข้าใช้งานได้ทันทีหลังเกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหว ค่าการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้นจะต้องมีค่าไม่เกิน 1% ระดับปลอดภัยต่อชีวิต (LS) หมายถึง หลังเกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหว โครงสร้างเกิดความเสียหายเป็นนัยสำคัญโดยไม่มีเศษวัตถุร่วงลงมา แต่ยังมีกำลังต้านทานเพียงพอแก่การป้องกันการพังทลาย ความเสี่ยงต่อการบาดเจ็บหรืออาจเสียชีวิตอันเนื่องจากความเสียหายของโครงสร้างอยู่ในระดับต่ำ ค่าการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้นจะต้องมีค่าไม่เกิน 2% และระดับป้องกันการพังทลาย (CP) หมายถึง หลังเกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหว โครงสร้างเกิดความเสียหายในชิ้นส่วนมากและมีสภาพใกล้พังทลายบางส่วนหรือทั้งหมด ทำให้ไม่ปลอดภัยที่จะใช้งาน มีความเสียงถึงชีวิตได้ ค่าการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้นจะต้องมีค่าไม่เกิน 4%

5. ผลการวิเคราะห์

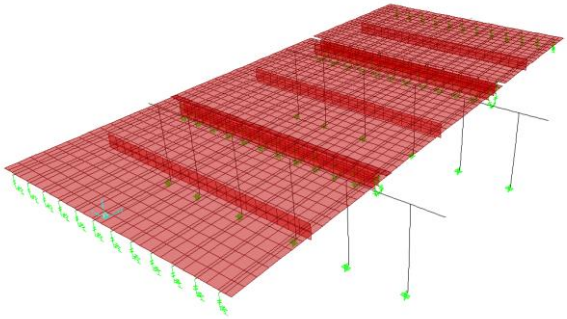
5.1 การวิเคราะห์คาบการสั่นธรรมชาติและรูปแบบการสั่นไหวแบบโหมด (MODAL ANALYSIS)

การวิเคราะห์คาบการสั่นธรรมชาติและรูปแบบการสั่นไหวแบบโหมด โดยการหาค่าความถี่ธรรมชาติ (Natural frequency) คาบการสั่นธรรมชาติ (Period) ที่เกิดขึ้นกับโครงสร้าง โดยวิเคราะห์ความถี่ 2 โหมด ดังตารางที่ 5.1 โหมดที่ 1 มีคาบการสั่นธรรมชาติ 0.605 วินาที ที่ความถี่ 1.651 Hz มีลักษณะการสั่นไหวเคลื่อนที่ตามแนวแกน x ดังรูป 5.1 โหมดที่

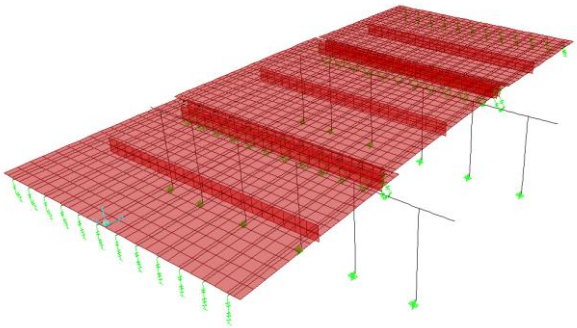
2 มีคาบการสั่นธรรมชาติ 0.533 วินาที ที่ความถี่ 1.877 Hz มีลักษณะการสั่นไหวเคลื่อนที่ตามแนวแกน y ดังรูป 5.2

ตารางที่ 5.1 รูปแบบการสั่นไหวของแบบจำลองสะพาน

รูปแบบการสั่นไหว (Mode Shape)	Period (Sec)	Frequency (Hz)	ลักษณะการสั่นไหว
1	0.605	1.651	ตามแนวแกนยาว x
2	0.533	1.877	ตามแนวแกนขวาง y



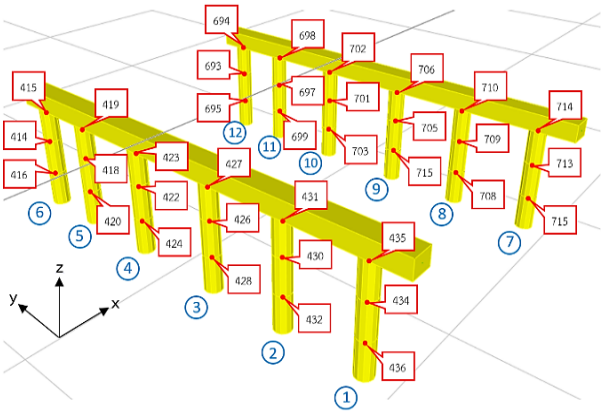
รูปที่ 5.1 Mode Shape ที่ 1



รูปที่ 5.2 Mode Shape ที่ 2

5.2 ระยะการเคลื่อนที่ของโครงสร้าง ในแนวแกน x และแนว y

จากผลการวิเคราะห์ทำให้ทราบค่าของการเคลื่อนที่ของโครงสร้างในแนวแกนตามยาว x และแนวแกนตามขวาง y โดยแบ่งเป็นเสาฝั่งซ้าย 6 ต้น ได้แก่เสาหมายเลข 4,5,6,10,11,12 และเสาฝั่งขวา 6 ต้น ได้แก่เสาหมายเลข 1,2,3,7,8,9 โดยการเคลื่อนที่ของเสาที่เกิดจากคลื่นแผ่นดินไหว RSN1107_ Kobe Japan นั้น มีการเคลื่อนที่มากที่สุด โดยระยะการเคลื่อนที่สูงสุดของเสาฝั่งขวาเกิดขึ้นบริเวณหัวเสาหมายเลข 7 ในแนวแกน x มีการเคลื่อนที่สูงสุด 6.62 เซนติเมตร แนวแกน y มีการเคลื่อนที่สูงสุด 4.55 เซนติเมตร ดังตารางที่ 5.2 และ 5.3 เสาฝั่งซ้ายเกิดขึ้นบริเวณหัวเสาหมายเลข 12 ในแนวแกน x มีการเคลื่อนที่สูงสุด 8.14 เซนติเมตร แนวแกน y มีการเคลื่อนที่สูงสุด 4.51 เซนติเมตร ดังตารางที่ 5.4 และ 5.5



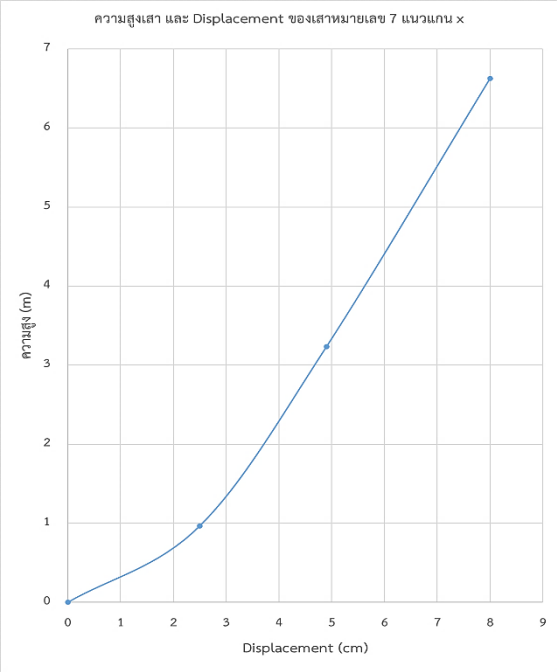
รูปที่ 5.3 รูปหมายเลขเสาและ Node ของโครงสร้างเสา

ตารางที่ 5.2 ระยะการเคลื่อนที่สูงสุดบริเวณหัวเสา ของเสาหมายเลข 7 ในแนวแกน x

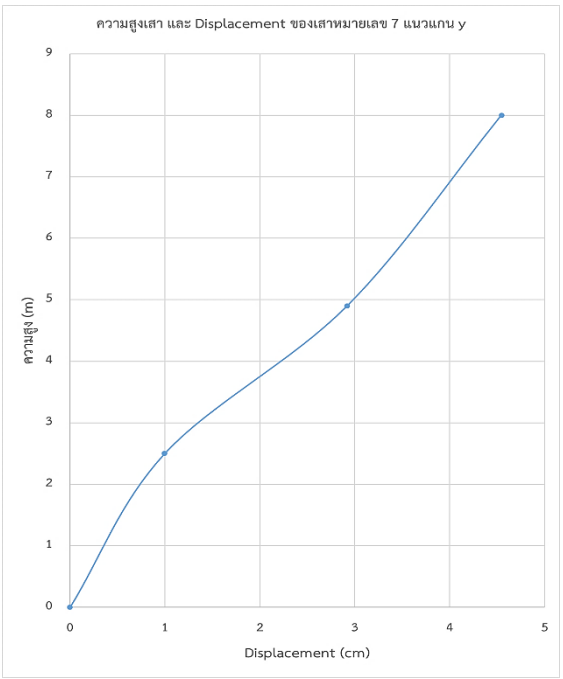
เสาหมายเลข	ความสูง (m)	Displacement (cm)
		RSN1107_ Kobe Japan
7	8	6.62
	4.9	3.23
	2.5	0.966

ตารางที่ 5.3 ระยะการเคลื่อนที่สูงสุดบริเวณหัวเสา ของเสาหมายเลข 7 ในแนวแกน y

เสาหมายเลข	ความสูง (m)	Displacement (cm)
		RSN1107_ Kobe Japan
7	8	4.55
	4.9	2.92
	2.5	0.988



รูปที่ 5.4 กราฟความสูงเสา กับ ระยะการเคลื่อนที่ (Displacement) ของเสาหมายเลข 7 แนวแกน x



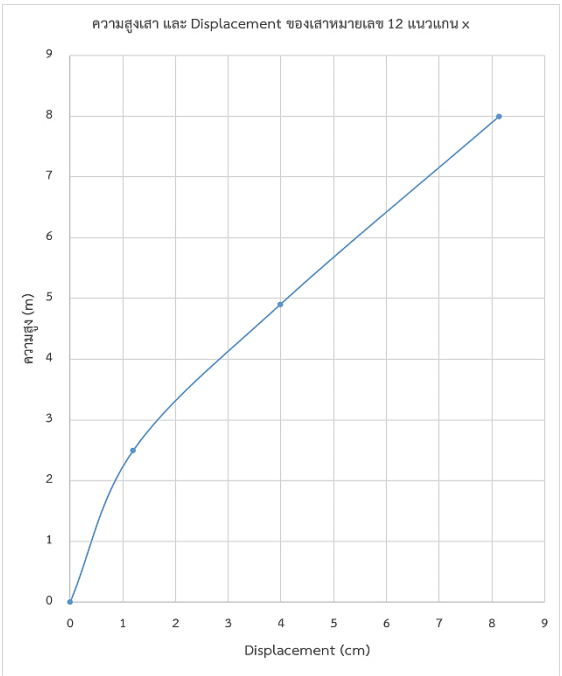
รูปที่ 5.5 กราฟความสูงเสา กับ ระยะการเคลื่อนที่ (Displacement) ของเสาหมายเลข 7 แนวแกน y

ตารางที่ 5.4 ระยะการเคลื่อนที่สูงสุดบริเวณหัวเสา ของเสาหมายเลข 12 ในแนวแกน x

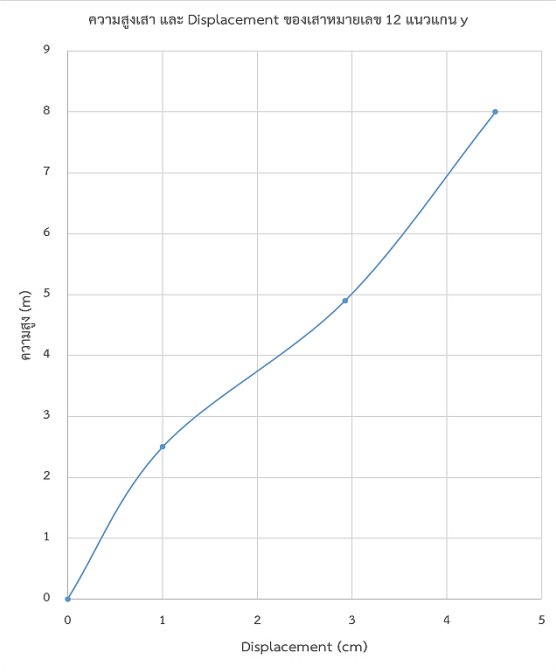
เสาหมายเลข	ความสูง (m)	Displacement (cm)
		RSN1107_ Kobe Japan
12	8	6.62
	4.9	3.23
	2.5	0.97

ตารางที่ 5.5 ระยะการเคลื่อนที่สูงสุดบริเวณหัวเสา ของเสาหมายเลข 12 ในแนวแกน y

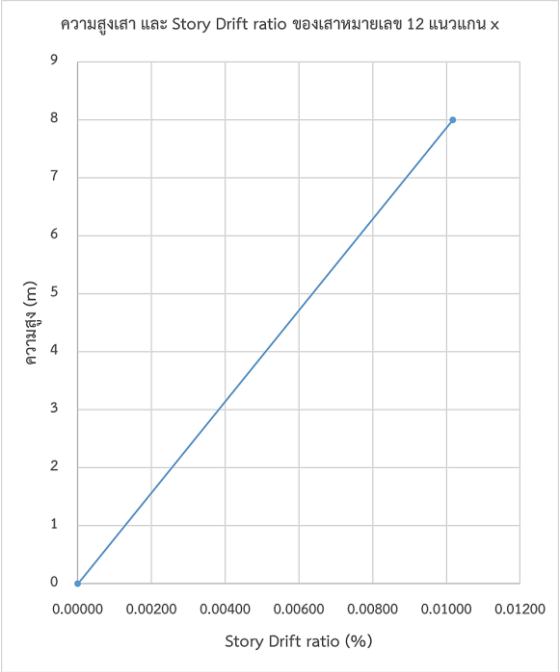
เสาหมายเลข	ความสูง (m)	Displacement (cm)
		RSN1107_ Kobe Japan
12	8	4.55
	4.9	2.92
	2.5	0.988



รูปที่ 5.6 กราฟความสูงเสา กับ ระยะการเคลื่อนที่ (Displacement) ของเสาหมายเลข 12 แนวแกน x



รูปที่ 5.7 กราฟความสูงเสา กับ ระยะการเคลื่อนที่ (Displacement) ของเสาหมายเลข 12 แนวแกน y

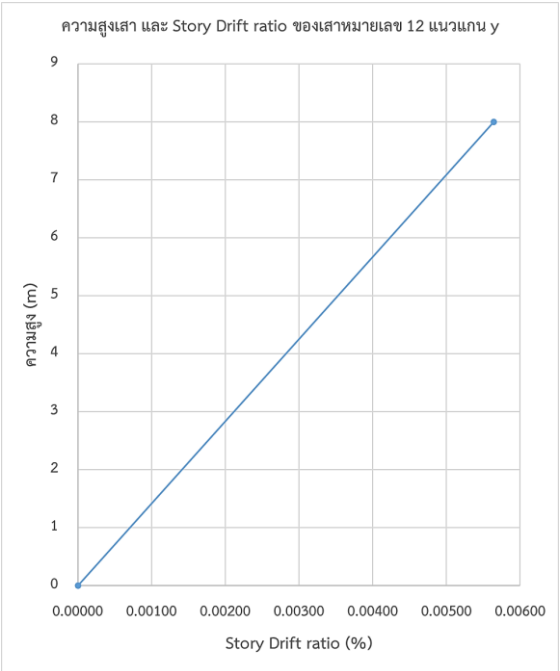


รูปที่ 5.8 กราฟความสูงเสา กับ อัตราส่วนการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ (Story drift ratio) ของเสาหมายเลข 12 แนวแกน x

จากผลการวิเคราะห์ค่าอัตราส่วนการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ (Story drift ratio) ของโครงสร้างในแนวราบ เมื่อนำมาเทียบกับการประเมินระดับสมรรถนะของโครงสร้าง ตามข้อกำหนด มยผ.1303-57 [6] จะได้ว่าอัตราส่วนการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ (Story drift ratio) ที่มากที่สุดเป็นอัตราส่วนการเคลื่อนที่สัมพัทธ์จากคลื่นแผ่นดินไหว RSN1107_ Kobe Japan ที่บริเวณหัวเสาหมายเลข 12 ในแนวแกน x มีอัตราส่วนการเคลื่อนที่สัมพัทธ์สูงสุด 1.02% สมรรถนะของโครงสร้างอยู่ระดับปลอดภัยต่อชีวิต (LS) แนวแกน y มีอัตราส่วนการเคลื่อนที่สัมพัทธ์สูงสุด 0.57% สมรรถนะของโครงสร้างอยู่ระดับเข้าใช้งานได้ทันที (IO) ดังแสดงในตารางที่ 5.6

ตารางที่ 5.6 อัตราส่วนการเคลื่อนที่สัมพัทธ์สูงสุดจากคลื่นแผ่นดินไหว Kobe Japan ของเสาหมายเลข 12 แนวแกน x และ y

เสาหมายเลข	หัวเสาสูง (m)	แกน	Story drift ratio (%)	ระดับความปลอดภัยของโครงสร้าง
12	8	x	1.02	LS
	8	y	0.57	IO



รูปที่ 5.9 กราฟความสูงเสา กับ อัตราส่วนการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ (Story drift ratio) ของเสาหมายเลข 12 แนวแกน y

5.3 ความเร่งของชิ้นส่วนของโครงสร้าง ในแนวแกน x และแนว y

จากผลการวิเคราะห์ทำให้ทราบค่าของความเร่งของโครงสร้างในแนวแกนตามยาว x และแนวแกนตามขวาง y โดยค่าความเร่งของเสาที่เกิดจากคลื่นแผ่นดินไหว RSN1107_ Kobe Japan นั้น มีค่าความเร่งมากที่สุดโดยค่าความเร่งที่สูงสุดของเสาฝั่งซ้ายเกิดขึ้นบริเวณหัวเสาต้นที่ 12 ใน

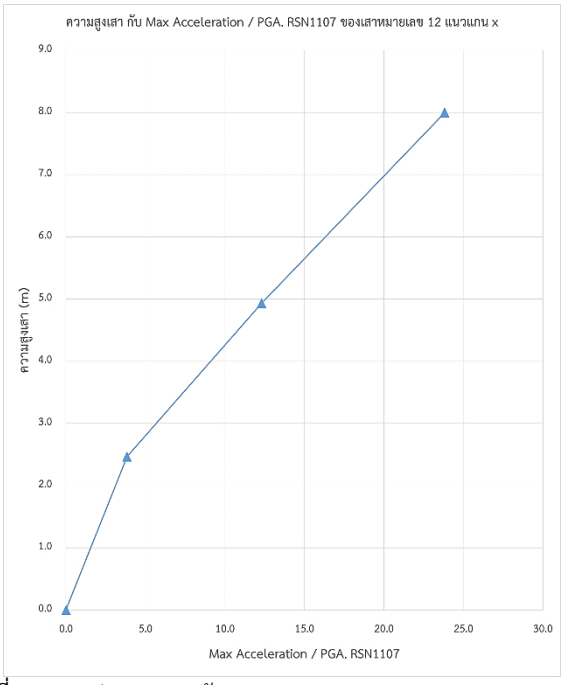
แนวแกน x มีค่าความเร่งสูงสุด 75.6 เมตร/วินาที^{2} ในแนวแกน y มีค่าความเร่งสูงสุด 58.2 เมตร/วินาที^{2} เสาฝั่งขวาเกิดขึ้นบริเวณหัวเสาต้นที่ 7 ในแนวแกน x มีการเคลื่อนที่สูงสุด 33.4 เซนติเมตร ในแนวแกน y มีค่าความเร่งสูงสุด 58.3 เมตร/วินาที^{2} ดังแสดงในตารางที่ 5.7

ตารางที่ 5.7 ค่าความเร่งสูงสุดบริเวณหัวเสา ในแกน x และ y

เสาหมายเลข	แกน	Acceleration (m/s^2)	ความสูง (m)
		RSN1107_ Kobe Japan	
7	x	33.4	8
	y	58.3	8
12	x	75.6	8
	y	58.2	8

ตารางที่ 5.8 อัตราส่วนระหว่างความเร่งสูงสุดของเสาหมายเลข 12 เทียบกับ PGA ของคลื่นแผ่นดินไหว Kobe Japan แนวแกน x

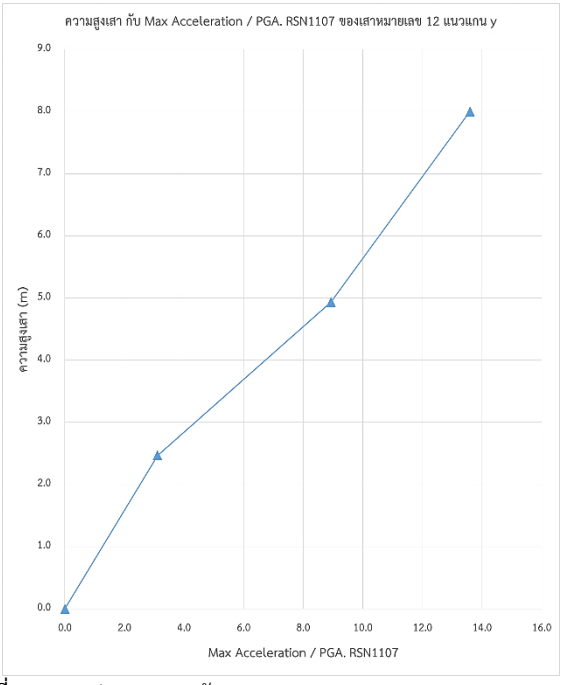
เสา หมายเลข	เสาสูง (m)	Max Acceleration (m/s^2)	Max Acceleration / PGA. RSN1107
12	8	75.6	23.8
	4.93	39.1	12.3
	2.47	12.2	3.8



รูปที่ 5.10 กราฟความสูงเสา กับ Max Acceleration / PGA. RSN1107 ของเสาหมายเลข 12 แนวแกน x

ตารางที่ 5.9 อัตราส่วนระหว่างความเร่งสูงสุดของเสาหมายเลข 12 เทียบกับ PGA ของคลื่นแผ่นดินไหว Kobe Japan แนวแกน y

เสา หมายเลข	เสาสูง (m)	Max Acceleration (m/s^2)	Max Acceleration / PGA. RSN1107
12	8	58.2	13.6
	4.93	38.2	8.9
	2.47	13.3	3.1



รูปที่ 5.11 กราฟความสูงเสา กับ Max Acceleration / PGA. RSN1107 ของเสาหมายเลข 12 แนวแกน y

6. สรุปผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์โครงสร้างสะพานของทางหลวงหมายเลข 118 สายเชียงใหม่ – เชียงราย ภายใต้แรงแผ่นดินไหว โดยคัดเลือกโครงสร้างสะพานทางหลวง (ละติจูดที่ 18.979623, ลองติจูดที่ 99.259073) ตำบลป่าเมี่ยง อำเภอดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่ ได้ผลการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

6.1. คาบการสั่นธรรมชาติและรูปแบบการสั่นของโครงสร้าง

คาบการสั่นธรรมชาติของโครงสร้างสะพาน โหมดที่ 1 มีคาบการสั่นธรรมชาติเท่ากับ 0.605 วินาที ที่ความถี่ 1.651 Hz มีลักษณะการสั่นไหวเคลื่อนที่ตามยาวหรือตามแนวแกน x โหมดที่ 2 มีคาบการสั่นธรรมชาติ 0.533 วินาที ที่ความถี่ 1.877 Hz มีลักษณะการสั่นไหวเคลื่อนที่ตามขวางหรือตามแนวแกน y

6.2. การเคลื่อนที่และความเร่งของโครงสร้างในแนวแกน x และ y สูงสุดบริเวณหัวเสา

โครงสร้างสะพาน เมื่อพิจารณาการเคลื่อนที่สูงสุดบริเวณหัวเสาของแกน x และ y ของคลื่นแผ่นดินไหวทั้ง 3 เหตุการณ์พบว่าคลื่นแผ่นดินไหว Kobe Japan ทำให้เกิดการเคลื่อนที่มากสุดในแนวแกน x ที่บริเวณหัวเสาหมายเลข 12 เท่ากับ 6.62 เซนติเมตร ค่าอัตราส่วนการเคลื่อนที่สัมพัทธ์สูงสุด 1.02% เกิดค่าความเร่งสูงสุด เท่ากับ 75.6 เมตร/วินาที^{2} ค่าอัตราส่วนระหว่างความเร่งสูงสุดบริเวณหัวเสาหมายเลข 12 เทียบกับค่าความเร่งพื้นดินสูงสุด (Peak Ground Acceleration, PGA) ของคลื่นแผ่นดินไหว Kobe Japan มีค่าเท่ากับ 23.8

6.3 อัตราส่วนการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ (Story drift ratio) และระดับสมรรถนะของโครงสร้าง

จากการวิเคราะห์โครงสร้างสะพาน ค่าอัตราส่วนการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ (Story drift ratio) ที่เกิดขึ้นมากที่สุดของโครงสร้าง อยู่ที่บริเวณหัวเสาหมายเลข 12 ในแนวแกน x มีค่า 1.02 % สมรรถนะของโครงสร้างอยู่ระดับปลอดภัยต่อชีวิต (ค่าต้องไม่เกิน 2%) และมีค่ามากกว่าระดับเข้าใช้งานได้ทันที (ค่าต้องไม่เกิน 1%) มาเพียง 0.02%

จึงสรุปว่า จากการวิเคราะห์โครงสร้างสะพาน อยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัย สมรรถนะของโครงสร้างอยู่ระดับปลอดภัยต่อชีวิต โครงสร้างอาจเกิดความเสียหายเป็นนัยสำคัญเล็กน้อยแต่ไม่มีเศษวัตถุร่วงหล่นลงมา แต่ยังคงกำลังต้านทานเพียงพอต่อการป้องกันการพังทลาย โดยไม่เกิดความเสียหายภายในชิ้นส่วนถึงขั้นเกิดการพังทลาย

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดี ต้องขอขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.พุทธรักษ์ จรัสพันธุ์กุล ที่ให้คำแนะนำและคำปรึกษาในทุกด้านของงานวิจัย และขอบคุณคณะอาจารย์ สาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ช่วยให้คำปรึกษาและแนะนำข้อมูลต่างๆที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย

ขอขอบคุณผู้อำนวยการแขวงทางหลวงเชียงใหม่ที่ 1และ2 และเจ้าหน้าที่ที่มีส่วนเกี่ยวข้อง ที่ให้ความช่วยเหลือและให้คำปรึกษาในเรื่องแบบโครงสร้างสะพานทางหลวง

ขอขอบคุณพี่ๆและน้องๆ สาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ให้ความช่วยเหลือและให้คำปรึกษาในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] Prakit, C. and Virote, B. (2017). Incremental dynamic analysis with multi-modes for seismic performance evaluation of RC bridges. *Engineer Structures*, 132, pp.29-43.

[2] A.Mahmoudi Moazam. N.Hasani. and M.Yazdani. (2018). Incremental dynamic analysis of small to medium spans plain concrete arch bridges. *Engineering Failure Analysis*, 91, pp.12-27.

[3] สำนักก่อสร้างสะพาน กรมทางหลวง. (2008). Highway construction Project Route NO.118 : Chiang mai – Chiang Rai.

[4] Parham, B. and Khosro, B. (2020). Seismic vulnerability assessment of high-speed railway bridges using fragility curves and considering soil-structure interaction. *Civil and Environmental Engineering Vol. 0*, Issue 0, DOI: 10.2478/cee-2020-0005.

[5] สถาบันวิจัยและให้คำปรึกษาแห่งมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. (2562). Acceleration time history สำหรับพื้นที่นอกแอ่งกรุงเทพฯ. โครงการปรับปรุงและแก้ไขมาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว. [https://sites.google.com/view/dpt1302/download]

[6] กรมโยธาธิการและผังเมือง. (2557). มยผ 1303-57, มาตรฐานการประเมินและการเสริมความมั่นคงแข็งแรงของโครงสร้างอาคารในเขตที่อาจได้รับแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว.