

การประยุกต์อุปกรณ์ล็อกยึดต้านแผ่นดินไหวสำหรับทางรถไฟยกระดับในประเทศไทย Application of Seismic Lock-up Devices for Railway Viaducts in Thailand

ศิริวัฒน์ บุญญาภิสมภาร^{1,*} และ ทศพล ปิ่นแก้ว²

^{1,2} ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร

*Corresponding author; E-mail address: Siriwat6666@hotmail.co.th

บทคัดย่อ

โครงสร้างพื้นฐานด้านการคมนาคมมีบทบาทสำคัญอย่างมากในการพัฒนาประเทศ ปัจจุบันประเทศไทยได้มีการพัฒนาโครงการทางคมนาคมหลายรูปแบบ โดยหนึ่งในโครงการที่น่าสนใจคือการก่อสร้างทางรถไฟยกระดับ ถึงแม้ว่าไทยจะไม่ได้ตั้งอยู่ในเขตแผ่นดินไหวโดยตรง แต่แรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหวสามารถส่งผลกระทบต่อโครงสร้างและความปลอดภัยของผู้คนได้ งานวิจัยฉบับนี้มุ่งเน้นการศึกษาอุปกรณ์ล็อกยึด (Lock-Up Device, LUD) ในโครงสร้างทางรถไฟยกระดับแบบต่อเนื่อง 3 ช่วง ช่วงละ 35 เมตร โดยมีความสูงของเสาตอม่อ 25 เมตร และถูกออกแบบให้รองรับรถไฟประเภท U20 สำหรับการทำงานของ LUD คือ การล็อกการเคลื่อนที่ของโครงสร้างเมื่อเกิดแรงกระทำที่มีความเร็วสูง เช่น แรงแผ่นดินไหว ขณะที่ปล่อยให้โครงสร้างเคลื่อนที่อย่างอิสระภายใต้แรงกระทำที่มีความเร็วต่ำ เช่น การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิหรือแรงคืบของวัสดุ โดยทำการวิเคราะห์คลื่นแผ่นดินไหวตามมาตรฐาน มยผ. (มาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานแผ่นดินไหวของประเทศไทย) ผลการศึกษาพบว่า การติดตั้งอุปกรณ์ล็อกยึด สามารถช่วยกระจายแรงแผ่นดินไหวจากเสาตอม่อแบบ Fixed ไปยังเสาตอม่อแบบ Roller ทำให้โครงสร้างมีความสามารถต้านทานแรงแผ่นดินไหวได้ดียิ่งขึ้น นอกจากนี้ LUD ยังช่วยลดการเคลื่อนที่บริเวณหัวเสาทำให้ลดผลกระทบต่อการรถไฟ และช่วยลดปริมาณเหล็กเสริมหรือขนาดของเหล็กเสริมในเสาตอม่อส่งผลให้สามารถลดต้นทุนในการก่อสร้างได้ อีกทั้งชี้ให้เห็นว่า LUD มีประสิทธิภาพในการเพิ่มความสามารถในการต้านทานแรงแผ่นดินไหวอย่างมีนัยสำคัญ

คำสำคัญ: อุปกรณ์ล็อกยึด, โครงสร้างทางรถไฟยกระดับ, แผ่นดินไหว

Abstract

Transportation infrastructure has a crucial role in a country's development. Thailand has various transportation projects, one of the interesting projects is the construction of railway viaduct. Although Thailand is not situated in a high-risk earthquake zone, seismic vibrations can still impact structures and human life. This research focuses on studying the application of Lock-Up Devices (LUD) in a continuous three-span railway viaducts structure, with

each span 35 meters and pier heights of 20 meters. The structure is designed to accommodate the U20 railway model. LUDs function by restraining structural movement under high-velocity forces, such as seismic loads, while allowing free movement under low-velocity forces, such as temperature changes or material creep. The seismic analysis is performed based on the Thailand Seismic Design Standard. The result from this study reveals that the installation of LUDs helps distribute seismic forces from fixed piers to roller piers, thereby improving the structure's seismic resistance. Additionally, LUDs effectively reduce displacements at the pier heads, minimizing impacts on railway tracks. Furthermore, LUDs help decrease the amount of reinforcement steel or the size of reinforcement steel in the pier, leading to lower construction costs. The results demonstrate that LUDs significantly enhance the seismic resistance of railway viaduct structures, making them a viable and cost-effective solution for earthquake-resistant design.

Keywords: Lock-up device, Railway viaduct, Seismic

1. บทนำ

ในปัจจุบันการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านการคมนาคมมีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งต่อการพัฒนาประเทศ โดยเฉพาะโครงการก่อสร้างรถไฟ ซึ่งเป็นหนึ่งในโครงการที่มีความสำคัญและเป็นที่คาดหวังว่าจะสามารถยกระดับระบบคมนาคมของประเทศไทยให้ทันสมัยและสามารถแข่งขันกับนานาชาติได้ โครงการนี้ไม่เพียงแต่จะเพิ่มความความสะดวกสบายในการเดินทางของประชาชน แต่ยังช่วยลดระยะเวลาในการเดินทางระหว่างภูมิภาคต่าง ๆ ของประเทศ ซึ่งจะส่งผลต่อการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมในทุกภาคส่วน อย่างไรก็ตาม การก่อสร้างโครงการดังกล่าวมีความจำเป็นต้องคำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่อาจส่งผลกระทบต่อความมั่นคงและความปลอดภัยของโครงสร้าง ซึ่งรวมถึงปัจจัยทางธรรมชาติ เช่น การเกิดแผ่นดินไหว ที่อาจมีผลกระทบต่อเสถียรภาพของโครงสร้างระบบราง ความเข้าใจและการ

เตรียมพร้อมรับมือกับปัจจัยเหล่านี้จึงเป็นสิ่งสำคัญที่จะช่วยให้การพัฒนาโครงการสามารถดำเนินไปได้อย่างปลอดภัย

ประเทศไทยแม้ว่าจะไม่ได้ตั้งอยู่ในเขตที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหว ซึ่งความถี่และความรุนแรงของแผ่นดินไหวในประเทศจะไม่สูงเท่ากับประเทศที่อยู่ในเขตวงแหวนไฟแปซิฟิก แต่เหตุการณ์แผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นก็มีศักยภาพที่จะสร้างความเสียหายอย่างรุนแรงต่อโครงสร้างพื้นฐาน เช่น อาคาร ถนน และระบบรางรถไฟ ด้วยเหตุนี้ การออกแบบและก่อสร้างโครงการดังกล่าวจึงต้องมีมาตรการป้องกันและลดผลกระทบจากแผ่นดินไหวอย่างเหมาะสม เพื่อให้มั่นใจว่าโครงสร้างจะมีความปลอดภัยและสามารถใช้งานได้อย่างยั่งยืน

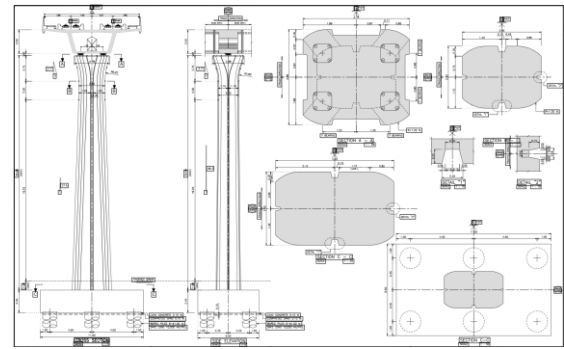
หนึ่งในเทคโนโลยีที่ถูกนำมาใช้เพื่อเสริมความปลอดภัยของโครงสร้างที่อาจได้รับผลกระทบจากแผ่นดินไหวคือ "Lock-Up Device" (LUD) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่มีบทบาทสำคัญในการควบคุมการเคลื่อนไหวของโครงสร้างเมื่อเกิดแรงสั่นสะเทือนรุนแรง เช่น แผ่นดินไหว โดย LUD ทำหน้าที่ล็อกการเคลื่อนที่ของโครงสร้างเมื่อเกิดการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง ซึ่งสามารถลดความเสียหายจากแรงแผ่นดินไหวได้อย่างมีประสิทธิภาพ ขณะเดียวกัน LUD ยังคงปล่อยให้โครงสร้างสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระภายใต้การขยายตัวหรือหดตัวที่เกิดจากปัจจัยอื่น ๆ เช่น แรงจากอุณหภูมิ (Temperature) หรือแรงคืบ (Creep) ซึ่งเป็นเรื่องปกติของโครงสร้างที่มีการใช้งานระยะยาว

สำหรับในประเทศไทย สะพานยกระดับต่อเนื่อง 3 ช่วงเป็นโครงสร้างที่ได้รับความนิยมอย่างมาก เนื่องจากมีความแข็งแรงและประหยัดต้นทุนค่าก่อสร้าง การติดตั้งอุปกรณ์ LUD ในสะพานประเภทนี้จึงถือเป็นมาตรการที่สำคัญในการเพิ่มความปลอดภัย โดยเฉพาะในกรณีที่ต้องรับมือกับแผ่นดินไหวที่ไม่สามารถคาดการณ์ได้ ทำให้โครงสร้างสามารถคงสภาพความมั่นคงได้ในระยะยาว อีกทั้งยังช่วยลดความเสี่ยงในการเกิดความเสียหายอย่างรุนแรงและรักษาการทำงานของระบบคมนาคมให้เป็นไปอย่างต่อเนื่อง

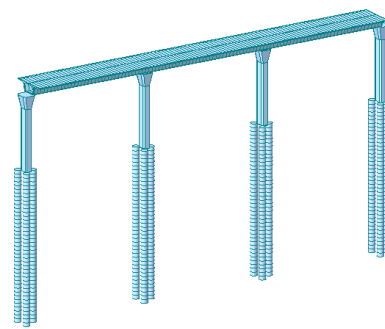
งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาพฤติกรรมของอุปกรณ์ Lock-up device สำหรับใช้ในโครงการรถไฟโดยจะพิจารณาถึงประสิทธิภาพของอุปกรณ์นี้ในการควบคุมการเคลื่อนที่ของโครงสร้างและลดผลกระทบจากแผ่นดินไหว โดยมุ่งหวังว่าจะเป็นแนวทางในการปรับปรุงการออกแบบโครงสร้างในอนาคตเพื่อใช้ในการลดต้นทุนการก่อสร้างโครงสร้างและมีประสิทธิภาพในการรับแรงจากแผ่นดินไหว

2. รูปแบบทางวิ่งยกระดับ

โครงสร้างทางรถไฟยกระดับเป็นทางรถไฟยกระดับแบบต่อเนื่อง 3 ช่วง มีความยาวช่วงละ 35 เมตร โดยมีความสูงของเสาประมาณ 25 เมตร โครงสร้างทางรถไฟยกระดับเป็นแบบคานคอนกรีตอัดแรงรูปกล่อง (Pre-stressed Concrete Box Girder) วางบนตอม่อแบบเสาเดี่ยวตามรูปที่ 1 ซึ่งจุดรองรับ (Bearing) ภายในตรงช่วงที่ 2 จะเป็นแบบยึด (Fixed bearing) ส่วนบริเวณเสาริมด้านข้างโครงสร้างทั้ง 2 ต้นจะเป็นแบบเคลื่อนที่ (Roller bearing)



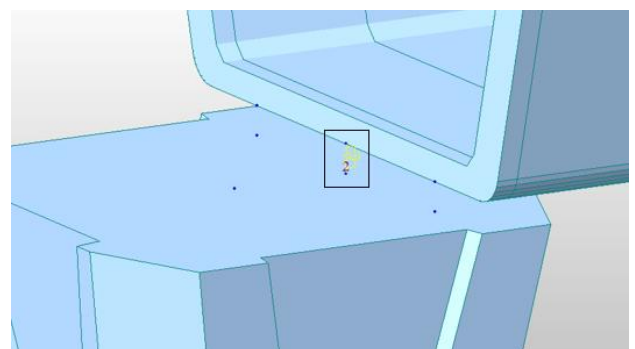
รูปที่ 1 โครงสร้างทางวิ่งยกระดับแบบคานคอนกรีตอัดแรงรูปกล่อง โดยการจำลองโครงสร้างทางรถไฟยกระดับจะใช้โปรแกรม Midas Civil สำหรับการจำลอง โดยโครงสร้างที่ทำการจำลองจะเป็นตามรูปที่ 2



รูปที่ 2 แบบจำลองโครงสร้างทางรถไฟยกระดับ

3. แบบจำลองอุปกรณ์ล็อกยึด (Lock-up device)

ในงานวิจัยนี้จะทำการจำลองอุปกรณ์ LUD โดยใช้การจำลองของอุปกรณ์ Viscoelastic damper ซึ่งประกอบด้วยส่วนของ linear spring กับ exponential damper (C, α) โดยความสัมพันธ์ของแรงและความเร็วจะเป็นไปตามสมการ $F = CV^\alpha$ โดยค่า C กับค่า α ที่ใช้จะทำการอ้างอิงจาก Kong และคณะ^[7] มีค่าดังนี้ค่า damping coefficient (C) เท่ากับ 9.2×10^6 kN และค่า damping exponent (α) เท่ากับ 1.5 โดยค่าความแข็งของอุปกรณ์ (Stiffness) อ้างอิงจาก Liang^[4] คือ 57.48 kN/mm โดยทำการใส่ค่าคุณสมบัติของอุปกรณ์ตามแกนยาวของสะพานโดยตำแหน่งที่ทำการติดตั้งอุปกรณ์ในแบบจำลองจะทำการจำลองการติดตั้งอยู่ระหว่างคานรูปกล่องและเสาตอม่อตามรูปที่ 3



รูปที่ 3 ตำแหน่งอุปกรณ์ LUD ที่ทำการจำลองในโปรแกรม

4. ขั้นตอนการดำเนินงาน

4.1 ศึกษาพฤติกรรมและแรงภายในโครงสร้างสะพานยกระดับและออกแบบโครงสร้างสะพานยกระดับ

ในงานวิจัยนี้ จะพิจารณาดำเนินการด้วยการออกแบบเหล็กเสริมโครงสร้างที่ไม่รับแรงแผ่นดินไหว ต่อมาทำการวิเคราะห์โครงสร้างโดยใช้แรงแผ่นดินไหวแบบ Response Spectrum ตามมาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว มยผ. ผลลัพธ์ที่ได้จากโครงสร้างที่รับแรงแผ่นดินไหวจะถูกนำมาวิเคราะห์ผลกระทบและพฤติกรรมและแรงภายในของโครงสร้าง จากนั้นจะทำการออกแบบโครงสร้างที่รองรับแรงแผ่นดินไหว โดยพิจารณาจำนวนและขนาดของเหล็กเสริมที่ใช้ในเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก พร้อมเปรียบเทียบปริมาณเหล็กเสริมกับโครงสร้างที่ไม่ได้รับแรงแผ่นดินไหว รวมถึงการวิเคราะห์ผลลัพธ์เพื่อสรุปข้อมูล

4.2 ศึกษาพฤติกรรมและแรงภายในโครงสร้างสะพานยกระดับและออกแบบโครงสร้างสะพานยกระดับเมื่อทำการติดตั้งอุปกรณ์ Lock-up device

ในการประยุกต์การใช้อุปกรณ์ล็อกยึด (Lock-up device) จะทำการเพิ่มอุปกรณ์ล็อกยึดบริเวณหัวเสาโดยจะแบ่งออกเป็น 2 กรณี ได้แก่

1. กรณีที่ 1 ตำแหน่งอุปกรณ์ล็อกยึดอยู่บริเวณเสาริมข้างใดข้างหนึ่ง
2. กรณีที่ 2 ตำแหน่งอุปกรณ์ล็อกยึดอยู่บริเวณเสาทั้งสองข้าง



รูปที่ 4 การติดตั้งอุปกรณ์ล็อกยึด กรณีที่ 1



รูปที่ 5 การติดตั้งอุปกรณ์ล็อกยึด กรณีที่ 2

จากนั้นจึงนำแรงแผ่นดินไหวแบบประวัติเวลา (Time History) ตามมาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว มยผ.ใส่ในโครงสร้างและทำการวิเคราะห์แบบไม่เชิงเส้น (Non-linear Analysis) ผลลัพธ์ที่นำมาวิเคราะห์ประกอบด้วย

1. โมเมนต์ที่เกิดขึ้นบริเวณฐานของเสา
2. การเคลื่อนตัวของหัวเสา

ผลการวิเคราะห์ทั้งสองกรณีจะถูกเปรียบเทียบและวิเคราะห์ผล จากนั้นทำการออกแบบโครงสร้างเสาทั้งสองกรณี พร้อมทั้งคำนวณความค้ำของโครงสร้าง โดยพิจารณาปริมาณเหล็กเสริมที่ใช้ หลังจากนั้นจะทำการเปรียบเทียบเพื่อหากรณีที่มีความค้ำค่ามากที่สุด

4.3 เปรียบเทียบโครงสร้างที่ไม่ได้ทำการติดตั้ง LUD และโครงสร้างที่ทำการติดตั้ง LUD

หลังจากพิจารณากรณีการติดตั้ง Lock-Up Device (LUD) ทั้ง 2 กรณีแล้ว จะนำโครงสร้างที่ติดตั้ง LUD ในกรณีที่มีความค้ำค่ามากที่สุดมาเปรียบเทียบกับโครงสร้างที่ไม่ได้ติดตั้ง LUD ตามที่ได้กล่าวในข้อ 4.1 การเปรียบเทียบจะดำเนินการใน 2 ด้านหลัก ได้แก่

1. การวิเคราะห์ผล ได้แก่ โมเมนต์บริเวณด้านล่างของเสา แรงเฉือนบริเวณข้างล่างเสา และการเคลื่อนตัวของหัวเสา

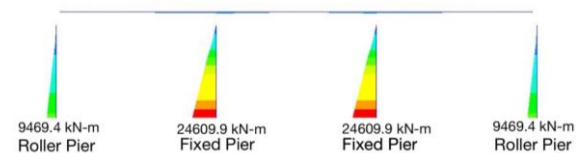
2. ปริมาณเหล็กเสริมที่ใช้ในเสาตอม่อ

ผลการวิเคราะห์ทั้งสองด้านจะช่วยให้การสรุปถึงความเป็นไปได้และความค้ำค่าในการนำอุปกรณ์ LUD ไปใช้ในการติดตั้งกับทางยกระดับ

5. ผลการวิเคราะห์ของทางยกระดับ

5.1 ผลการวิเคราะห์ทางรถไฟยกระดับเมื่อรับแรงแผ่นดินไหวในทิศทางตามยาวของสะพาน

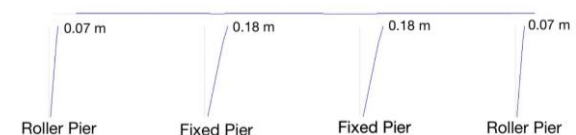
5.1.1 โมเมนต์ของแรงแผ่นดินไหวที่กระทำกับเสาตอม่อ



รูปที่ 6 ค่าโมเมนต์ของเสาตอม่อในทิศทางตามยาว

จากรูปที่ 6 พบว่าแรงแผ่นดินไหวจะทำให้เกิดค่าโมเมนต์บริเวณโคนเสาตอม่อของ Fixed Pier โดยมีค่าโมเมนต์เท่ากับ 24609.9 kN-m ในทางกลับกันค่าโมเมนต์บริเวณโคนเสาตอม่อของ Roller Pier มีค่าโมเมนต์เท่ากับ 9469.4 kN-m ซึ่งเมื่อเทียบกับแล้วมีค่าน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับค่าโมเมนต์ของเสาตอม่อ Fixed Pier

5.1.2 ค่าการเคลื่อนตัวของหัวเสาตอม่อ

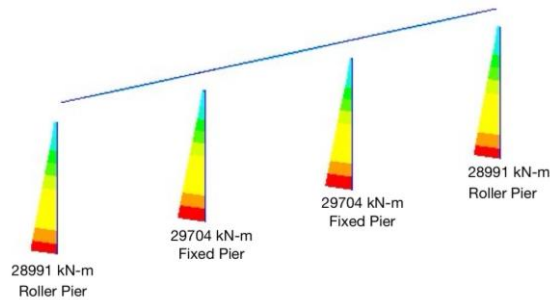


รูปที่ 7 ค่าการเคลื่อนที่ของหัวเสาตอม่อในทิศทางตามยาว

จากรูปที่ 7 พบว่าแรงแผ่นดินไหวจะทำให้เกิดค่าการเคลื่อนตัวบริเวณหัวเสาตอม่อของ Fixed Pier โดยมีค่าเท่ากับ 0.18 m แต่ค่าการเคลื่อนตัวบริเวณหัวเสาตอม่อของ Roller Pier อยู่ที่ 0.07 m

5.1 ผลการวิเคราะห์ทางรถไฟยกระดับเมื่อรับแรงแผ่นดินไหวในทิศทางตามขวางของสะพาน

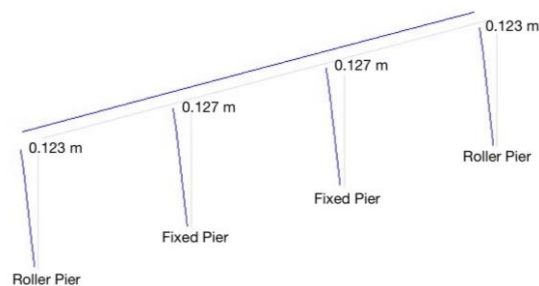
5.1.1 โมเมนต์ของแรงแผ่นดินไหวที่กระทำกับเสาตอม่อ



รูปที่ 8 ค่าโมเมนต์ของเสาตอม่อในทิศทางตามขวาง

จากรูปที่ 8 พบว่าแรงแผ่นดินไหวจะทำให้เกิดค่าโมเมนต์บริเวณโคนเสาตอม่อของ Fixed Pier และ Roller Pier พบว่ามีค่าโมเมนต์ที่ค่อนข้างใกล้เคียงกันมาก

5.1.2 ค่าการเคลื่อนตัวของหัวเสาตอม่อ



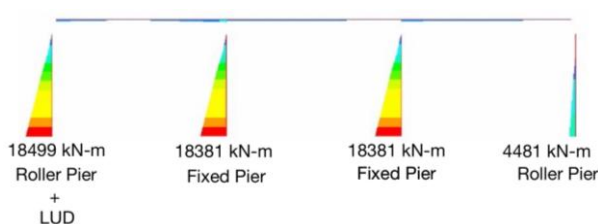
รูปที่ 9 ค่าการเคลื่อนที่ของหัวเสาตอม่อในทิศทางตามขวาง

จากรูปที่ 8 พบว่าแรงแผ่นดินไหวที่กระทำบริเวณทิศทางการตามขวางของสะพานจะทำให้ทั้งโครงสร้างจะเคลื่อนตัวไปตามทิศทางของแผ่นดินไหวเนื่องจากว่าจุดรองรับของทุกเสาตอม่อจะทำการยึดบริเวณทิศทางแกนตามขวางของสะพาน

5.2 ผลการวิเคราะห์ทางรถไฟยกระดับเมื่อมีอุปกรณ์ล็อกยึด (Lock-up device)

5.2.1 ผลการวิเคราะห์ทางรถไฟยกระดับเมื่อมีอุปกรณ์ล็อกยึด กรณีที่ 1

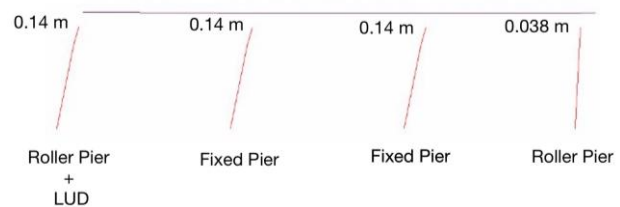
5.2.1.1 ค่าโมเมนต์ของเสาเมื่อรับแรงแผ่นดินไหวในทิศทางตามยาว



รูปที่ 10 ค่าโมเมนต์จากตัวอย่างคลื่น Time-History ในกรณีที่ 1

จากรูปที่ 10 พบว่าเมื่อทำการใส่อุปกรณ์ล็อกยึดบริเวณด้านซ้าย แรงแผ่นดินไหวจะกระจายมาลงเสาต้นที่ทำการใส่อุปกรณ์ล็อกยึด จากปกติแรงจากแผ่นดินไหวจะกระทำกับเสาที่เป็น fixed pier เป็นหลัก โดยจากรูปที่ 10 จะเห็นว่าค่าโมเมนต์ของเสาทั้ง 3 ต้นจะมีค่าเท่ากันประมาณ 18400 kN-m เสมือนว่าอุปกรณ์ล็อกยึดช่วยถ่ายแรงแผ่นดินไหวมาที่เสาที่ทำการติดตั้งอุปกรณ์ล็อกยึด

5.2.1.2 ค่าการเคลื่อนตัวของบริเวณหัวเสาเมื่อรับแรงแผ่นดินไหวในทิศทางตามยาว

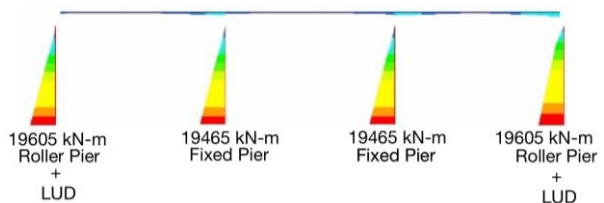


รูปที่ 11 ค่าการเคลื่อนตัวจากตัวอย่างคลื่น Time-History ในกรณีที่ 1

จากรูปที่ 11 พบว่าค่าการเคลื่อนตัวของบริเวณหัวเสาของทางรถไฟยกระดับเสาที่ทำการติดตั้งอุปกรณ์ล็อกยึดจะเคลื่อนที่ตามไปพร้อมกับเสาที่เป็นแบบ fixed pier โดยมีค่าการเคลื่อนตัวอยู่ที่ 0.14 เมตร โดยเสาทั้ง 3 ต้น จะมีค่าการเคลื่อนตัวที่เท่ากัน

5.2.2 ผลการวิเคราะห์ทางรถไฟยกระดับเมื่อมีอุปกรณ์ล็อกยึด กรณีที่ 2

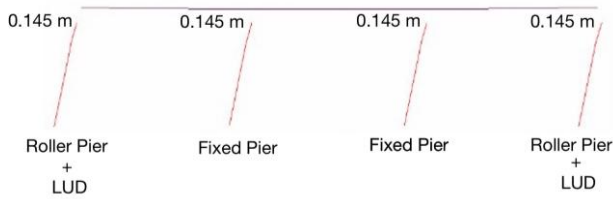
5.2.2.1 ค่าโมเมนต์ของเสาเมื่อรับแรงแผ่นดินไหวในทิศทางตามยาว



รูปที่ 12 ค่าโมเมนต์จากตัวอย่างคลื่น Time-History ในกรณีที่ 2

จากรูปที่ 12 พบว่าเมื่อทำการใส่อุปกรณ์ล็อกยึดบริเวณริมสองข้างค่าโมเมนต์ของเสาจะถูกถ่ายจากเสาที่เป็น fixed pier มายังเสาที่เป็น roller pier ที่ทำการติดตั้งอุปกรณ์ล็อกยึด โดยจากรูปที่ 12 จะเห็นว่าค่าโมเมนต์ของเสาทั้ง 4 ต้นจะมีค่าเท่ากันประมาณ 19500 kN-m ทำให้เสาที่ทำการติดตั้งอุปกรณ์ล็อกยึดทั้งสองต้นจะรับแรงแผ่นดินไหวด้วยทำให้ roller pier รับแรงแผ่นดินไหวลดลง

5.2.2.2 ค่าการเคลื่อนตัวบริเวณหัวเสาเมื่อรับแรงแผ่นดินไหวในทิศทางตามยาว

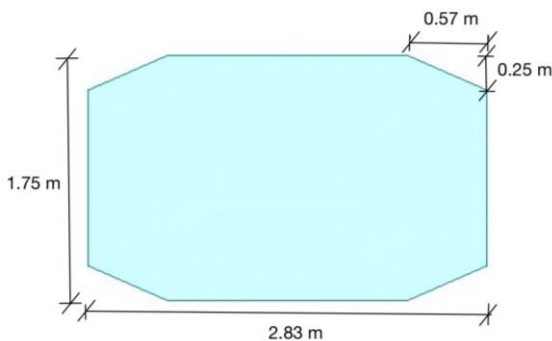


รูปที่ 13 ค่าการเคลื่อนตัวจากตัวอย่างคลื่น Time-History ในกรณีที่ 2

จากรูปที่ 13 พบว่าการเคลื่อนตัวบริเวณหัวเสาของทั้ง 4 เสาจะเคลื่อนตัวไปพร้อมกันโดยค่าการเคลื่อนตัวบริเวณหัวเสาของทางรถไฟยกระดับแบบ fixed pier มีค่าการเคลื่อนตัวอยู่ที่ 0.145 เมตร ซึ่งพบว่าเสาทั้งหมดของโครงสร้างทางยกระดับจะเคลื่อนตัวไปพร้อมกัน

6. การออกแบบหน้าตัดเสาตอม่อ

6.1 หน้าตัดเสาที่ทำการพิจารณา



รูปที่ 14 หน้าตัดเสาตอม่อ

หน้าตัดเสาตอม่อมีความยาว 2.83 เมตร ความกว้าง 1.75 เมตร และมีการตัดขอบบริเวณมุมทั้ง 4 มุมของหน้าตัดโดยมีความกว้าง 0.25 เมตรและความยาว 0.57 เมตร

6.2 การออกแบบหน้าตัดเสาตอม่อ

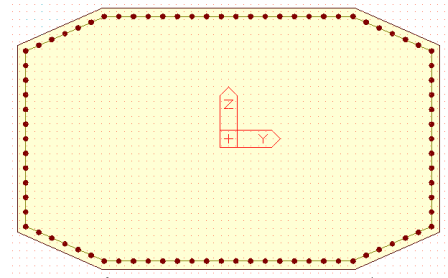
การออกแบบหน้าตัดเสาจะใช้ตามการออกแบบและการรวมแรงของ AREMA (American Railway Engineering and Maintenance of Way Association) โดยการรวมแรงจะเป็นตามรูปที่ 14

Group	Item
I	$1.4 (D + 5/3 (L + I) + CF + E + B + SF)$
IA	$1.8 (D + L + I + CF + E + B + SF)$
II	$1.4 (D + E + B + SF + W)$
III	$1.4 (D + L + I + CF + E + B + SF + 0.5W + WL + LF + F)$
IV	$1.4 (D + L + I + CF + E + B + SF + OF)$
V	Group II + 1.4 (OF)
VI	Group III + 1.4 (OF)
VII	$1.0 (D + E + B + EQ)$
VIII	$1.4 (D + L + I + E + B + SF + ICE)$
IX	$1.2 (D + E + B + SF + W + ICE)$

รูปที่ 15 การรวมแรงแบบ AREMA

6.2.1 ปริมาณเหล็กเสริมของหน้าตัดโคนเสาตอม่อในกรณีต่างๆ

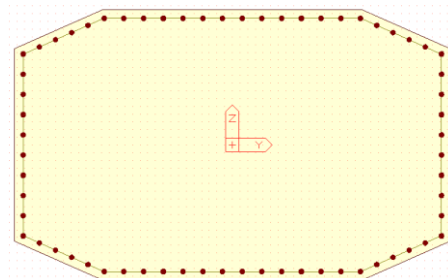
กรณี 1 กรณีที่แผ่นดินไหวกระทำกับโครงสร้างสะพานรถไฟยกระดับ



รูปที่ 16 ปริมาณเหล็กเสริมในกรณีที่ 1

กรณีที่ 1 หลังทำการออกแบบจะได้เหล็กเสริม DB32 ค่ากำลังแรงดึงที่จุดครากไม่น้อยกว่า 500 MPa จำนวน 82 เส้น

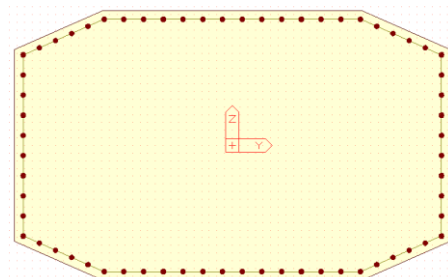
กรณี 2 กรณีที่ทำการติดตั้งอุปกรณ์ล็อกยึด 1 ตำแหน่ง



รูปที่ 17 ปริมาณเหล็กเสริมในกรณีที่ 2

กรณีที่ 2 หลังทำการออกแบบจะได้เหล็กเสริม DB32 ค่ากำลังแรงดึงที่จุดครากไม่น้อยกว่า 500 MPa จำนวน 64 เส้น

กรณี 3 กรณีที่ทำการติดตั้งอุปกรณ์ล็อกยึด 2 ตำแหน่ง



รูปที่ 18 ปริมาณเหล็กเสริมในกรณีที่ 2

กรณีที่ 3 หลังทำการออกแบบจะได้เหล็กเสริม DB32 ค่ากำลังแรงดึงที่จุดครากไม่น้อยกว่า 500 MPa จำนวน 64 เส้น

เมื่อพิจารณาจากทั้ง 3 กรณีจะพบว่าเมื่อทำการใส่อุปกรณ์ล็อกยึดเข้าไปในโครงสร้างไม่ว่าจะ 1 ตำแหน่งหรือ 2 ตำแหน่ง ปริมาณเหล็กเสริมที่ใส่เข้าไปในเสาตอม่อจะลดลงอย่างเห็นได้ชัดประมาณ 20 เส้น ซึ่งกรณีที่ 2 และกรณีที่ 3 หลังจากการออกแบบแล้วได้ปริมาณเหล็กเสริมเท่ากันเพราะว่า

การรวมแรง (Load combination) ที่วิกฤติที่สุดไม่ใช้การรวมแรงแบบสุษิต (Extreme event) หรือการรวมแรงที่คิดผลของแรงแผ่นดินไหว

7. บทสรุป

บทความนี้มีวัตถุประสงค์ 3 ข้อคือ

1. เพื่อศึกษาพฤติกรรมและแรงภายในของโครงสร้างสะพานรถไฟยกระดับเมื่อรับแรงแผ่นดินไหว

2. เพื่อศึกษาหาความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ล็อกยึด

3. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพและความคุ้มค่าในการต้านทานแผ่นดินไหวของระบบอุปกรณ์ล็อกยึด

โดยจะพบว่าเมื่อโครงสร้างสะพานรถไฟยกระดับได้รับแรงแผ่นดินไหวในทิศทางตามยาวของสะพานแรงแผ่นดินไหวส่วนใหญ่จะไปกระทำกับเสาตอม่อแบบ fixed pier โดยพิจารณาจากค่าโมเมนต์บริเวณโคนเสาตอม่อซึ่งแรงแผ่นดินไหวที่ใช้พิจารณาเป็นแบบ Response spectrum พบว่าค่าโมเมนต์บริเวณโคนเสาของ fixed pier จะมีค่าประมาณ 24609.9 kN-m แต่ค่าโมเมนต์บริเวณโคนเสาแบบ Roller pier จะมีค่าประมาณ 9469 kN-m ซึ่งมีค่าน้อยกว่าประมาณ 2.5 เท่า ต่อมาจะพิจารณาค่าการเคลื่อนตัวบริเวณหัวเสาของ fixed pier พบว่ามีการเคลื่อนตัวอยู่ประมาณ 0.18 เมตรแต่ค่าการเคลื่อนตัวบริเวณหัวเสาของ roller pier จะอยู่ที่ประมาณแค่ 0.07 เมตร งานวิจัยนี้จึงนำอุปกรณ์ล็อกยึด (Lock-up device) เพื่อมาช่วยลดค่าโมเมนต์ในโคนเสาตอม่อของ fixed pier และลดการเคลื่อนที่บริเวณหัวเสาตอม่อของ fixed pier โดยพบว่าการติดตั้งอุปกรณ์ล็อกยึด (Lock-up device) ในโครงสร้างสะพานรถไฟยกระดับทุกกรณีจะช่วยลดค่าโมเมนต์บริเวณโคนเสาตอม่อรวมถึงค่าการเคลื่อนตัวบริเวณหัวเสาของเสาตอม่อ และหลังจากการออกแบบเหล็กเสริมบริเวณโคนเสาตอม่อด้วยวิธี Non-linear Time History พบว่าการติดตั้งอุปกรณ์ล็อกยึดช่วยลดปริมาณเหล็กเสริมในเสาตอม่ออีกด้วย ดังนั้นอุปกรณ์ล็อกยึด (Lock-up device) มีประสิทธิภาพในการเพิ่มความสามารถในการต้านทานแรงแผ่นดินไหวอย่างมีนัยสำคัญ

เอกสารอ้างอิง

- [1] Brown, S., 1996. Bridge Strengthening with shock transmission units.
- [2] Patel D.J. 2004. Value of shock transmission units for Mumbai Bridge. Proceedings of the ICE – Bridge Engineering 157(BE4): 203–212.
- [3] Zhang, Y., Chen, X., Hou, W. and Lv, G. 2011. Comparative Study on Schemes of Seismic Response Reduction for the Railway Extradosed Cable-Stayed Bridge. Advanced Materials Research Vols 383-390 (2012) p. 6103-6109.
- [4] Liang, J. 2013. Design and testing of Shock Transmission Device for Bridge Protection. Applied Mechanics and Materials Vols. 405-408 (2013) p 1517-1520.
- [5] Quan, W., Yu, H.M., Zhao, S.C., Wang, D.S. 2016. Research on Seismic Mitigation System of The Yellow River Road-cum-Railway Bridge of Shijiazhuang-Jinan Passenger-Dedicated Line.
- [6] Quan, W., Yu, H.M., Bai, S.J., Wang, D.S. 2020. Seismic Mitigation and Isolation Control of High-Speed Railway Extradosed Cable-Stayed Bridge under Multi-Point Ground Motion.
- [7] Kong, L. J., et al. 2011. The Anti-Seismic Analysis of the Lock-up Device on the Arch Bridge. Advance Materials Research 368-373: 1517-1520.