

## ผลกระทบของน้ำท่วมต่อคุณสมบัติทางพลศาสตร์ของโครงสร้างทางรถไฟแบบมีหินโรยทาง The Effects of Flooding Conditions on Dynamic Behaviour of Ballasted Railway Tracks

รศภัทร หวังทวีทรัพย์<sup>1\*</sup>, ฉัตรพันธ์ จินตนาภักดี<sup>1</sup> และ ชยุตม์ งามโขง<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จ.กรุงเทพมหานคร

\*Corresponding author; E-mail address: ratabhat.w@gmail.com

### บทคัดย่อ

โครงสร้างทางรถไฟแบบมีหินโรยทาง (Ballasted Track) เป็นโครงสร้างทางหลักที่ใช้ในประเทศไทย และมีการขยายตัวของโครงข่ายทั่วประเทศเนื่องจากมีความง่ายและสะดวกในการก่อสร้างทำให้เป็นทางเลือกที่คุ้มค่าต่อการก่อสร้างทางรถไฟ ภาวะโลกร้อนได้ส่งผลให้เกิดความผันผวนในสภาพอากาศมากขึ้นในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา ส่งผลให้มีฝนตกหนักมากขึ้นกว่าแต่ก่อน ทำให้เกิดน้ำท่วมในโครงสร้างทางรถไฟหลายแห่งในประเทศไทย ดังนั้นผลกระทบของน้ำท่วมที่มีต่อคุณสมบัติทางพลศาสตร์ของโครงสร้างทางรถไฟแบบมีหินโรยทางเป็นสิ่งที่ควรทำการศึกษาอย่างจริงจัง การศึกษาในอดีตได้มีความพยายามในการศึกษาถึงผลกระทบของน้ำท่วมที่มีต่อพฤติกรรมทางพลศาสตร์ของโครงสร้างทางรถไฟแบบมีหินโรยทางไว้มากมาย อย่างไรก็ตามปัญหาที่ยังไม่ได้มีการศึกษามากนัก นั้นคือ การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของ รูปแบบการสั่นพื้นฐาน (Fundamental Mode Shape) และ ค่าความถี่ธรรมชาติ (Natural Frequency) ของไม้หมอนทางรถไฟภายใต้การพัดพาไปของชั้นหินโรยทาง จากการศึกษาพบว่า ความเปลี่ยนแปลงของความถี่ธรรมชาติในแต่ละโหมดจะมีการเปลี่ยนแปลงที่ไม่เหมือนกัน ยิ่งโหมดของการสั่นมีค่ามากขึ้นเท่าไร ค่าร้อยละความเปลี่ยนแปลงของความถี่ธรรมชาติยิ่งจะมีค่าที่น้อยตามลงไป ความเปลี่ยนแปลงของความถี่ธรรมชาติจะมีการเพิ่มขึ้นในช่วงที่หินโรยทางหายไปเป็นบางส่วน (25%) แล้วค่อยๆลดลงจนกลับไปใกล้เคียงค่าเดิมเมื่อไม่มีผลกระทบของการพัดพาชั้นหินโรยทาง และ รูปแบบการสั่นพื้นฐาน 2 โหมดแรกของโครงสร้างนั้นไม่ได้รับผลกระทบจากการสูญเสียฐานรองรับมากนัก อย่างไรก็ตามในโหมดที่ 3 จะมีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการสั่นพื้นฐานในกรณีที่ชั้นหินโรยทางมีการรองรับแบบไม่สมมาตร

คำสำคัญ: ทางรถไฟแบบมีหินโรยทาง, น้ำท่วม, ความถี่ธรรมชาติ, รูปร่างการสั่นแบบพื้นฐาน, แบบจำลองทางพลศาสตร์

### Abstract

Ballasted track is the most used track structure in Thailand, which are expanded nationwide due to their ease and speed of construction which make them a cost-effective solution for the railway industry. However, with global warming causing more

volatile weather conditions and heavy rain, which leads to multiple occurrences of flooding in Thai railway structures. Therefore, the impact of flooding on the dynamic behaviour of the ballasted track structure should be investigated. Although the impact of flooding on the dynamic behavior of ballasted-track structure has been extensively studied, the effect of washed away conditions on sleeper mode shape and natural frequencies has not been thoroughly explored. This study found that the sensitivity of natural frequencies under loss of supporting layer varies for each fundamental mode, with lower modes being more sensitive. The natural frequency initially increases at 25% loss of support but then reduces to a similar value at a fully washed away condition prior to support loss. The first and second mode shapes are not significantly affected by the loss of support. However, for the third mode shape, if the supporting layer is asymmetrical, the mode shape will change due to the unevenness of the ballast layer.

Keywords: Ballasted track, Flooding, Natural frequency, fundamental mode shape, Dynamic Models

### 1. คำนำ

ในปัจจุบัน โครงสร้างทางรถไฟที่ใช้งานอย่างแพร่หลายในโลกนั้นจะมีอยู่สองประเภทด้วยกัน ได้แก่ ทางรถไฟแบบมีหินโรยทาง (Ballasted tracks) และ ทางรถไฟแบบไม่มีหินโรยทาง (Ballastless tracks) เพื่อตอบสนองความต้องการในการใช้งานทางรถไฟที่มีมากขึ้น ทางรถไฟแบบมีหินโรยทางจะเป็นทางเลือกที่คุ้มค่าในการลงทุน และมีประสิทธิภาพเพื่อรองรับรถไฟความเร็วต่ำถึงความเร็วปานกลาง

โดยปกติแล้วโครงสร้างทางรถไฟแบบมีหินโรยทางมักจะทำหินที่ทำได้ง่ายในพื้นที่การก่อสร้าง โดยในประเทศไทยนั้นมักจะใช้หินก้อนใหญ่ในการก่อสร้างทางรถไฟแบบมีหินโรยทาง อาทิเช่น หินบะซอลต์, หินแกรนิต

โครงสร้างทางรถไฟแบบมีหินโรยทางนั้นจะประกอบด้วย รางรถไฟ, อุปกรณ์ยึดเหนี่ยวราง (Fastening systems), หมอนรถไฟ และ

หินโรยทาง โดยจะมีการจัดเรียงจากบนลงล่างตามลำดับ จากโครงสร้างทางรถไฟแบบมีหินโรยทางนั้นจะพบว่าชั้นหินโรยทางนั้นมีผลต่อพฤติกรรม การสั่นสะเทือนของโครงสร้างทางรถไฟแบบมีหินโรยทางอย่างมาก

ภาวะโลกร้อนได้ส่งผลให้เกิดความผันผวนในสภาพอากาศมากขึ้น ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา ส่งผลให้มีฝนตกหนักมากขึ้นกว่าแต่ก่อน ทำให้เกิดน้ำท่วมในโครงสร้างทางรถไฟหลายแห่งในประเทศไทย ตัวอย่างหนึ่งของผลกระทบจากการเกิดน้ำท่วมในโครงสร้างทางรถไฟก็คือการพัดพาชั้นหินโรยทางออกไป (Washed away condition) ส่งผลให้เกิดการสูญเสียฐานรองรับของไม้หมอนทางรถไฟ ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 การพัดพาชั้นหินโรยทางรถไฟในสถานการณ์น้ำท่วมใหญ่ ในปี พ.ศ. 2559 ที่ จังหวัดนครศรีธรรมราช [1]

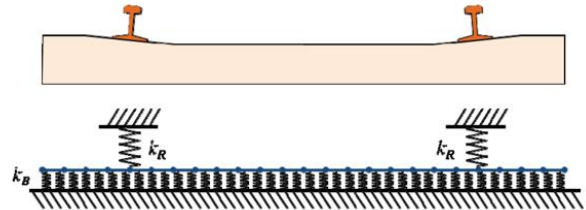
การพัดพาชั้นหินโรยทางออกไปจะส่งผลให้เกิดปัญหาต่อโครงสร้างทางรถไฟอย่างมาก อาทิเช่น การรองรับรางรถไฟที่ไม่สมดุลซึ่งจะส่งผลให้เกิดการบิดตัวของรางรถไฟ (Track Twisting) อีกทั้งยังส่งผลให้เกิดการเสีรูปร่างของแนวทางรถไฟ (Misalignment) แล้วอาจรุนแรงถึงส่งผลให้เกิดการโก่งเดาะของรางรถไฟ (Track Buckling) ในฤดูร้อน ผลเหล่านี้ไม่ใช่ผลดีต่อการเดินทางเนื่องจากจะส่งผลให้เกิดการตกรางของรถไฟขึ้นได้ [2] ดังนั้น การศึกษาทำความเข้าใจต่อผลกระทบของการพัดพาชั้นหินโรยทางจะทำให้เราสามารถป้องกันและบรรเทาผลกระทบได้

การศึกษาในอดีตได้มีความพยายามในการศึกษาถึงผลกระทบของน้ำท่วมที่มีต่อพฤติกรรมทางพลศาสตร์ของโครงสร้างทางรถไฟแบบมีหินโรยทาง อาทิเช่น การศึกษาถึงผลกระทบของน้ำท่วมที่มีต่อคุณสมบัติทางพลศาสตร์ของชั้นหินโรยทาง [3] และ การศึกษาถึงผลกระทบของลมพัดขวางรถไฟภายใต้กรณีการสูญเสียชั้นหินโรยทางจากปรากฏการณ์น้ำท่วม [4] อย่างไรก็ตามปัญหาที่ยังไม่ได้ทำการศึกษานั้นคือการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของ รูปแบบการสั่นพื้นฐาน (Fundamental Mode Shape) และ ค่าความถี่ธรรมชาติ (Natural Frequency) ตามทฤษฎีการสั่นสะเทือนของโครงสร้างคุณสมบัติเหล่านี้จะเป็นสิ่งสำคัญที่สุดในการวิเคราะห์ผลทางพลศาสตร์ของโครงสร้าง

ดังนั้นการศึกษาคูสมบัติเหล่านี้จึงเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาพฤติกรรมการสั่นสะเทือนของหมอนรางรถไฟ และ เพิ่มความละเอียดในการวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ระหว่าง หมอน และ ชั้นหินโรยทาง ซึ่งจะส่งผลให้การวิเคราะห์เพื่อหาการสั่นสะเทือนของโครงสร้างทางรถไฟแบบมีหินโรยทางภายใต้แรงกระทำจากรถไฟให้มีความละเอียดแม่นยำขึ้นต่อไป ซึ่งจะสามารถทำประโยชน์ให้วงการรถไฟต่อไปได้ในอนาคต

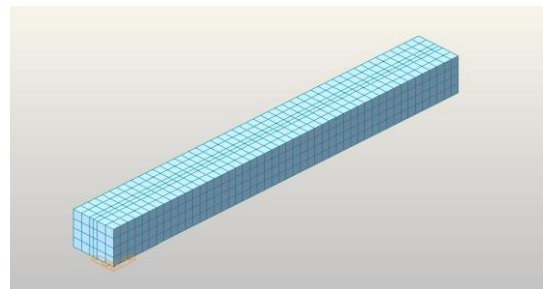
## 2. แบบจำลองปฏิสัมพันธ์ของไม้หมอนบนหินโรยทาง

เพื่อที่จะศึกษารูปแบบการสั่นพื้นฐาน และ ค่าความถี่ธรรมชาติ ของไม้หมอนทางรถไฟนั้น แบบจำลองปฏิสัมพันธ์ของไม้หมอนบนหินโรยทางรถไฟภายใต้การการสูญเสียฐานรองรับจะต้องมีค่าใกล้เคียงกับโครงสร้างทางรถไฟจริงมากที่สุด โดยจะอ้างอิงแบบจำลองจากเอกสารของ Lam และ Wong [2] โดยจะมีโครงสร้างแบบจำลองดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 แบบจำลองไม้หมอนบนชั้นหินโรยทาง [2]

โดยที่  $k_R$  และ  $k_B$  คือ ค่าความแข็งจากรางรถไฟ และ ค่าความแข็งของชั้นหินโรยทางรถไฟที่มีต่อไม้หมอนรถไฟตามลำดับ ในแบบจำลองตามการศึกษาของ Lam และ Wong [2] นั้นจะเป็นการจำลองโดยใช้ชิ้นส่วนของคานเพียงเท่านั้น อย่างไรก็ตามในการศึกษานี้จะเป็นการเลือกใช้ชิ้นส่วนของแข็งแบบสามมิติ (3D solid elements) โดยจะทำการจำลองในโปรแกรม MIDAS Civil ดังแสดงในรูปที่ 3 เพื่อทำการวิเคราะห์ผลเพื่อหาการรูปแบบการสั่นพื้นฐาน และ ค่าความถี่ธรรมชาติ ในแต่ละสถานการณ์การพัดพาของชั้นหินโรยทางที่ต่างกันไป



รูปที่ 3 แบบจำลองสามมิติของไม้หมอนรถไฟในโปรแกรม MIDAS Civil

จะเห็นได้ว่าในแบบจำลองดังกล่าวจะไม่ได้มีการจำลองแอมเปอร์เข้าไปในแบบจำลองเนื่องจากการศึกษานี้จะเป็นการศึกษาถึงความถี่ธรรมชาติและ รูปแบบการสั่นพื้นฐานดังนั้นการจำลองแอมเปอร์จึงไม่จำเป็นในการศึกษา นี้ อย่างไรก็ตาม ในการศึกษาถึงผลตอบสนองของโครงสร้างการรวมแอมเปอร์เข้าไปในแบบจำลองเป็นความจำเป็นอย่างยิ่งเนื่องจากผลตอบสนองของโครงสร้างจะขึ้นกับคุณสมบัติของแอมเปอร์อย่างมาก

การวิเคราะห์ความถี่ธรรมชาติของโปรแกรม MIDAS Civil จะเป็นการวิเคราะห์ค่าความถี่ธรรมชาติจากสมการการเคลื่อนที่แบบไม่มีความหน่วงดังแสดงในสมการที่ (1)

$$(\mathbf{K} - \omega_i^2 \mathbf{M}) \phi = 0 \quad (1)$$

โดยปกติแล้วการคำนวณค่าความถี่ธรรมชาติ และ รูปแบบการสั่น พื้นฐานนั้นจะต้องทำการแก้สมการตามจำนวนการเคลื่อนที่อิสระในสมการ การเคลื่อนที่ ดังนั้นแบบจำลองสามมิติซึ่งมีจำนวนการเคลื่อนที่อิสระเป็น จำนวนมากนั้นในการคำนวณหาความถี่ธรรมชาติของโครงสร้างจึงเป็น ทางเลือกที่ไม่เหมาะสมเท่าไรนัก ดังนั้นตัวโปรแกรม MIDAS Civil จึงเลือกที่จะ ใช้วิธีการคำนวณแบบ Lanczos เพื่อที่จะวิเคราะห์หาค่าความถี่ธรรมชาติ ในโหมดต้นๆให้เพียงพอต่อการอธิบายพฤติกรรมของโครงสร้างได้

รายละเอียดการจำลองปฏิสัมพันธ์ระหว่างรางรถไฟ, ไม้หมอน และ ชั้น หินโรยทางจะเป็นการใช้ค่าพารามิเตอร์จากการศึกษาของ Lam และ Wong [2] ดังแสดงในตารางที่ 1

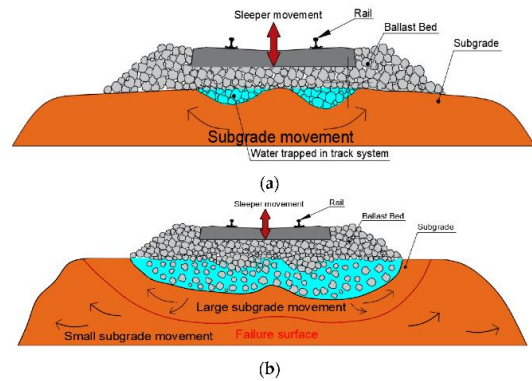
ตารางที่ 1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในแบบจำลอง [2]

พารามิเตอร์ [หน่วย]	ค่าที่ใช้
- ความยาวของไม้หมอน, $L$ [m]	2.420
- ระยะทางจากไม้หมอนถึงราง, $L_R$ [m]	0.403
- ความสูงไม้หมอน, $h$ [m]	0.210
- ความกว้างไม้หมอน, $b$ [m]	0.280
- ค่ามอดูลัสของ Young, $E$ [N/m <sup>2</sup> ]	$4.0 \times 10^{10}$
- ความหนาแน่น, $\rho$ [N/m <sup>3</sup> ]	2750
- ค่าความแข็งจากรางสู่ไม้หมอน, $k_R$ [N/m <sup>3</sup> ]	$2.059 \times 10^{11}$
- ค่าความแข็งของชั้นหินโรยทาง, $k_B$ [N/m <sup>3</sup> ]	$2.8 \times 10^8$

### 3. ผลกระทบของการพัดพาชั้นหินโรยทาง

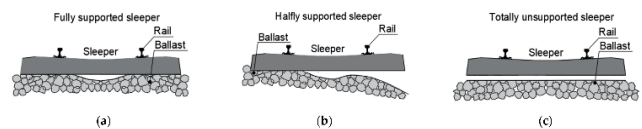
เมื่อโครงสร้างทางได้รับผลกระทบจากน้ำท่วมชั้นดินที่อยู่ภายใต้ชั้นหิน โรยทางจะเกิดการอ่อนตัว, เคลื่อนที่ หรือ ถูกพัดพาออกไปได้เมื่อมีแรงกด จาการรถไฟที่วิ่งผ่านมากระทำกับตัวราง [5] ชั้นดินที่อยู่ภายใต้หินโรยทางหาก มีน้ำคั่งค้างอยู่บวกกับมีแรงกดจากการสัญจรของรถไฟจะทำให้ชั้นดินนั้น เสื่อมสภาพลงโดยการกลายเป็นของเหลว (Liquefaction) และมีการแทรก ซึมเข้ามาบนชั้นหินโรยทาง ทำให้สัดส่วนของชั้นหินโรยทางมีค่าลดลง รวมถึงเกิดการหลุดตัวของโครงสร้างทาง ดังแสดงในรูปที่ 4a เมื่อดินเริ่ม กลายเป็นของเหลวแล้วนั้นชั้นหินโรยทางก็จะค่อยๆเคลื่อนตัวออกไป ด้านข้าง ดังแสดงในรูปที่ 4b จนเกิดเป็นการสูญเสียฐานรองรับดังที่ได้กล่าว ไว้ในช่วงต้นของงานวิจัยฉบับนี้

แบบการรองรับโดยทั่วไปของชั้นหินโรยทางที่เกิดจากการพัดพาไปนั้น จะมีอยู่ 3 แบบ ดังแสดงในรูปที่ 5 โดยปกติแล้วการเริ่มต้นของการสูญเสีย หินโรยทางบริเวณไหล่ทาง และค่อยๆเกิดการสูญเสียบริเวณฐานรองรับ จากนั้นหากมีกระแส น้ำที่ไหลเชี่ยวมากดังปรากฏการณ์น้ำท่วมการสูญเสีย ฐานรองรับมักจะสูญเสียไปทั้งหมดแล้วเหลือเพียงแต่ตัวรางคอยรับน้ำหนัก ของไม้หมอนเอาไว้เท่านั้น [4]



รูปที่ 4 การเสื่อมสภาพของทางรถไฟแบบมีหินโรยทางภายใต้สภาวะน้ำขัง

- (a) การอ่อนตัวของชั้นดินรองรับจนทำให้เกิดการเคลื่อนตัวของชั้นดิน  
(b) การเคลื่อนตัวของชั้นหินโรยทางหลังจากการกลายเป็นของเหลวของชั้นดิน [4]



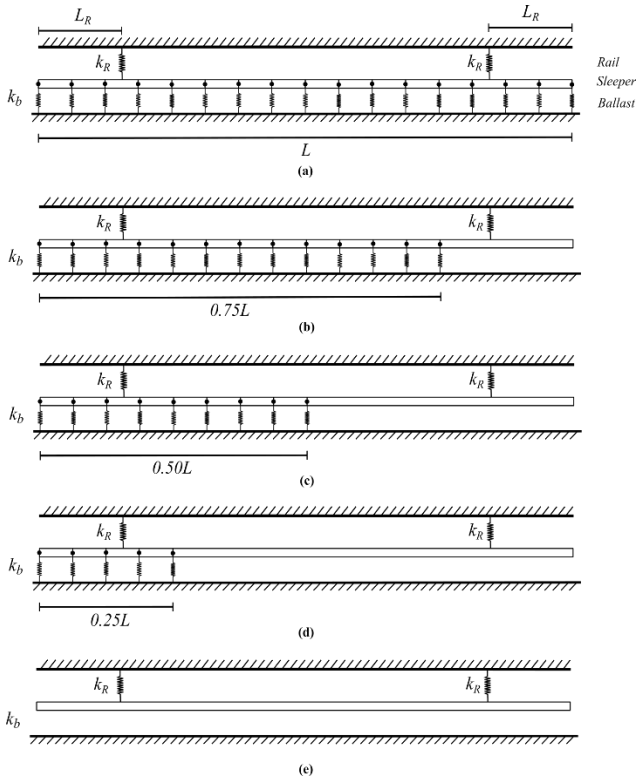
รูปที่ 5 รูปแบบการถูกพัดพาของหินโรยทางที่เกิดขึ้นบ่อย

- (a) ฐานรองรับแบบเต็ม, (b) การพัดพาไปแบบครึ่งเดียว, (c) การพัดพาไปทั้งหมด

จากรูปแบบของการพัดพาที่เกิดขึ้นบ่อยนั้น จะแบ่งกรณีการศึกษา ทั้งหมด 5 กรณีด้วยกันได้แก่ มีฐานรองรับแบบเต็ม, มีฐานรองรับ 75%, มีฐานรองรับ 50%, มีฐานรองรับ 25% และ การพัดพาไปทั้งหมดของชั้นหิน โรยทาง โดยจะมีการตัดฐานรองรับออกในแบบจำลอง ดังแสดงในรูปที่ 6a, 6b, 6c, 6d และ 6e โดยจะมีฐานรองรับตั้งแต่ 100% ไปจนถึงถูกพัดพาไป ทั้งหมดตามลำดับ โดยในกรณีที่หินถูกพัดพาไปทั้งหมดนั้น ตัวไม้หมอนจะยัง ลอยตัวอยู่ในแบบจำลองได้โดยมีสปริงของรางสู่ไม้หมอนรับอยู่ทางด้านบน ของตัวไม้หมอน การจัดเรียงฐานรองรับในแบบจำลองที่ทำการศึกษาทั้งหมด จะถูกสรุปไว้ใน ตารางที่ 2 โดยที่ช่องสี่เหลี่ยมจะเป็นจุดที่มีฐานรองรับอยู่

ตารางที่ 2 กรณีการศึกษาผลกระทบจากการพัดพาของชั้นหินโรยทาง

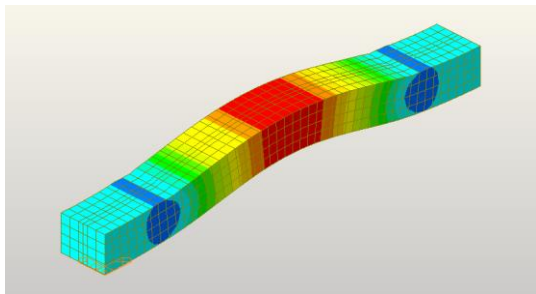
กรณี	ระยะทางจากทางซ้ายของไม้หมอน [m]							
	0	0.605	0.605	1.210	1.210	1.815	1.815	2.420
ฐานรองรับแบบเต็ม								
ฐานรองรับ 75%								
ฐานรองรับ 50%								
ฐานรองรับ 25%								
หินถูกพัดพาไปทั้งหมด								



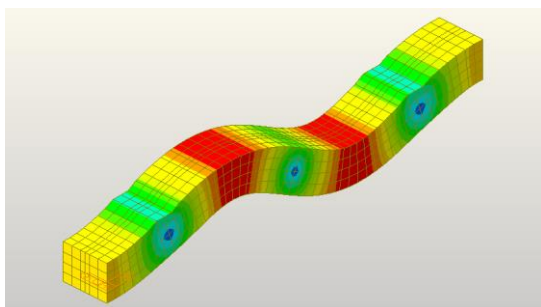
รูปที่ 6 รูปแบบการจำลองการพัดพาของชั้นหินโรยทาง  
(a) กรณีมีฐานรองรับแบบเต็ม, (b) กรณีมีฐานรองรับ 75%  
(c) กรณีมีฐานรองรับ 50%, (d) กรณีมีฐานรองรับ 25%  
และ (e) กรณีถูกพัดพาไปทั้งหมด

#### 4. ผลการศึกษา

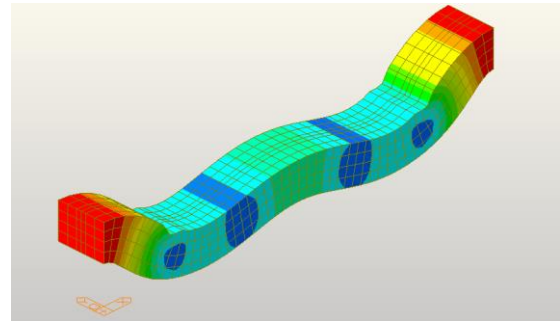
จากแบบจำลองแบบมีหินโรยทางเต็มทั้งหมดจะมี ค่าความถี่ธรรมชาติ และ รูปแบบการสั่นพื้นฐาน 3 โหมดแรกดังแสดงในรูปที่ 7, 8 และ 9



รูปที่ 7 รูปแบบการสั่นพื้นฐานโหมดที่ 1 (236.10 Hz)



รูปที่ 8 รูปแบบการสั่นพื้นฐานโหมดที่ 2 (599.31Hz)



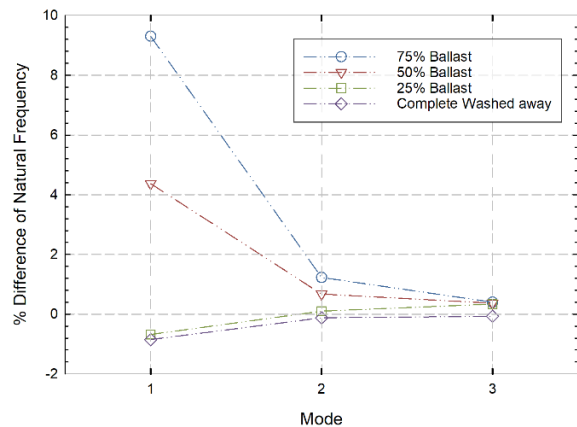
รูปที่ 9 รูปแบบการสั่นพื้นฐานโหมดที่ 3 (790.43 Hz)

โดยพบว่ารูปแบบของโหมดและค่าความถี่ธรรมชาติของหมอนรองอยู่ในช่วงที่มีความสอดคล้องใกล้เคียงกับงานวิจัยในอดีต [2]

จากแบบจำลองในโปรแกรม MIDAS Civil ความถี่ธรรมชาติ ของแต่ละกรณีจะมีค่าดังแสดงในตารางที่ 3 จะเห็นได้ว่าร้อยละของการเปลี่ยนแปลงของความถี่ธรรมชาติในแต่ละโหมดจะมีค่าการเปลี่ยนแปลงที่ไม่เหมือนกัน ยิ่งโหมดของการสั่นมีค่ามากขึ้นเท่าไรนั้น ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของความถี่ธรรมชาติยิ่งจะมีค่าที่น้อยลงลงไปด้วย แต่อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้ได้นำเสนอเฉพาะรูปแบบโหมดของแรงดัด 3 โหมดแรก อีกข้อที่น่าสนใจนั้น จะพบว่าความเปลี่ยนแปลงของความถี่ธรรมชาติจะมีการเพิ่มขึ้นในช่วงที่หินโรยทางหายไปเป็นบางส่วน แล้วค่อยๆลดลงจนกลับไปใกล้เคียงค่าเดิมเมื่อไม่มีผลกระทบของการพัดพาชั้นหินโรยทางดังแสดงในรูปที่ 10

ตารางที่ 3 ความถี่ธรรมชาติ และ ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของความถี่ธรรมชาติ ในแต่ละกรณีการศึกษา

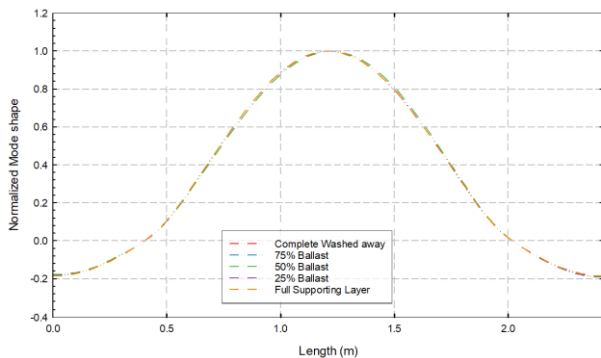
กรณี	ความถี่ธรรมชาติ [Hz]		
	โหมดที่ 1	โหมดที่ 2	โหมดที่ 3
ฐานรองรับแบบเต็ม	236.10	599.31	790.43
ฐานรองรับ 75%	258.07 (+9.30%)	606.66 (+1.23%)	793.60 (+0.40%)
ฐานรองรับ 50%	246.42 (+4.37%)	603.34 (+0.67%)	793.34 (+0.36%)
ฐานรองรับ 25%	234.50 (-0.68%)	599.90 (+0.098%)	793.10 (+0.34%)
หินถูกพัดพาไปทั้งหมด	234.09 (-0.85%)	598.57 (-0.12%)	789.86 (-0.072%)



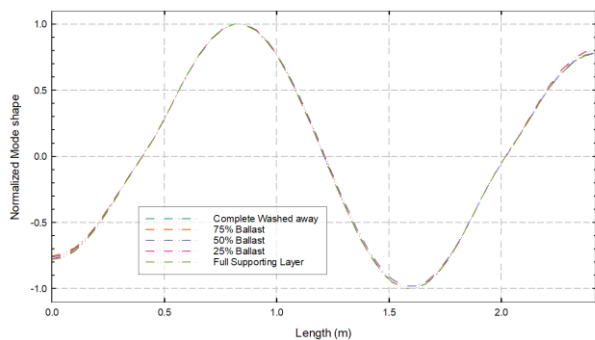
รูปที่ 10 ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของความถี่ธรรมชาติ 3 โหมดแรก ภายใต้กรณีการศึกษาที่แตกต่างกัน



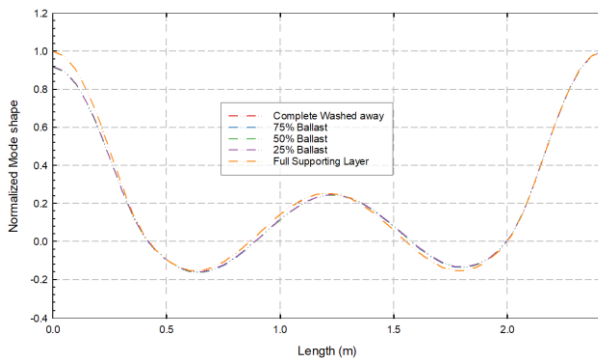
รูปแบบการสั่นพื้นฐานของแต่ละกรณีจะมีรูปร่างดังแสดงในรูปที่ 11 จะเห็นว่า การสูญเสียชั้นหินโรยทางไม่ได้ส่งผลต่อรูปร่างการสั่นพื้นฐานในโหมดที่ 1 และ 2 มากนัก ดังรูปที่ 11a และ 11b อย่างไรก็ตามในโหมดที่ 3 การสูญเสียชั้นหินโรยทางแบบไม่สมมาตรจะส่งผลต่อรูปร่างการสั่นพื้นฐานอย่างมีนัยสำคัญ โดยพบว่าค่าการโก่งตัวของรูปแบบการสั่นพื้นฐานที่ระยะ 0 เมตร จากทางซ้ายสุดนั้น ในกรณีการสูญเสียชั้นหินโรยทางแบบไม่สมดูลกัน (25%, 50%, 75%) จะทำให้การโก่งตัวมีค่าที่ลดลงจากกรณีที่มีชั้นหินโรยทางรองรับแบบสมดูล หรือ ไม่มีชั้นหินโรยทางเลย แต่อย่างไรก็ตามค่าแบบจำลองความแข็งของชั้นหินโรยทางถูกสมมติให้มีค่าเท่ากับกรณีที่ไม่เกิดน้ำท่วม ซึ่งในความเป็นจริงความแข็งของชั้นหินโรยทางจะมีค่าน้อยลง ดังนั้นการทดสอบหาความแข็งของชั้นหินโรยทางภายใต้สภาวะน้ำท่วมในห้องปฏิบัติการหรือภาคสนามจึงมีความจำเป็นเพื่อให้ผลการศึกษามีความใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด



(a)



(b)



(c)

รูปที่ 11 รูปแบบการสั่นพื้นฐานของแต่ละกรณี  
(a) โหมดที่ 1, (b) โหมดที่ 2, (c) โหมดที่ 3

## 5. บทสรุป

รายงานฉบับนี้เป็นการศึกษาถึงผลกระทบของการพัดพาสูญเสียชั้นหินโรยทางจากการพัดพาโดยน้ำท่วมที่มีต่อ ความถี่ธรรมชาติ และ รูปแบบการสั่นพื้นฐานของไม้หมอนทางรถไฟโดยใช้โปรแกรม MIDAS Civil ในการจำลองสถานการณ์ดังกล่าว จากการศึกษาพบว่า ความเปลี่ยนแปลงของความถี่ธรรมชาติในแต่ละโหมดจะมีการเปลี่ยนแปลงที่ไม่เหมือนกัน ยิ่งโหมดของการสั่นมีค่ามากขึ้นเท่าไร ค่าร้อยละความเปลี่ยนแปลงของความถี่ธรรมชาติยิ่งจะมีค่าน้อยตามลงไป ความเปลี่ยนแปลงของความถี่ธรรมชาติจะมีการเพิ่มขึ้นในช่วงที่หินโรยทางหายไปเป็นบางส่วน แล้วค่อยๆลดลงจนกลับไปใกล้เคียงเดิมเมื่อไม่มีผลกระทบของการพัดพาชั้นหินโรยทาง และรูปแบบการสั่นพื้นฐาน 2 โหมดแรกๆของโครงสร้างนั้นไม่ได้รับผลกระทบจากการสูญเสียฐานรองรับมากนัก อย่างไรก็ตามในโหมดที่ 3 จะมีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการสั่นพื้นฐานในกรณีที่มีชั้นหินโรยทางมีการรองรับแบบไม่สมมาตร อย่างไรก็ตามการศึกษานี้เป็นเพียงแค่จุดเริ่มต้นในการทำความเข้าใจถึงผลกระทบของน้ำท่วมที่ส่งผลต่อทางรถไฟ เนื่องจากการทราบถึงค่าความถี่ธรรมชาติ และ รูปแบบการสั่นพื้นฐานนั้นเป็นเพียงแค่การศึกษาเพียงแค่ว่าไม้หมอนทางรถไฟแต่เพียงอย่างเดียว การทดสอบภายใต้สภาวะน้ำท่วมจริงจึงมีความจำเป็นเพื่อหาค่าความแข็งของชั้นหินโรยทางที่เปลี่ยนไป นอกจากนี้การศึกษผลกระทบของน้ำท่วมที่มีต่อโครงสร้างองค์รวมของทางรถไฟก็ยังจำเป็นต้องทำต่อไปเพื่อเพิ่มความเข้าใจในปรากฏการณ์นี้มากยิ่งขึ้นไปอีก ทางผู้เขียนหวังว่าการศึกษานี้จะเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาดูกันต่อไปในภายภาคหน้า

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้ได้รับการสนับสนุนจากภาควิชา วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ผู้เขียนแรกขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับทุนการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา งานวิจัยฉบับนี้ได้รับการสนับสนุนจากทุนการศึกษาวิศวกรรมโยธา 100 ปี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Bangkok Post (2016). Floods paralyse southbound trains from Bangkok, 5 December 2016, pp.1.
- [2] Lam, H.F., Wong, M.T. (2011). Railway Ballast Diagnose through Impact Hammer Test. *Procedia Engineering*, 14, pp.185-194.
- [3] Kaewunruen, S., Tang, T. (2019). Idealisations of Dynamic Modelling for Railway Ballast in Flood Conditions. *Applied Sciences*, 9, pp.1785.
- [4] Fu, H., Yang, Y., Kaewunruen, S. (2023). Multi-Hazard Effects of Crosswinds on Cascading Failures of Conventional and Interspersed Railway Tracks Exposed to Ballast Washaway and Moving Train Loads. *Sensors*, 23, pp.1786.

- [5] Ridho, B.K.A.M.A., Kaewunruen, S. (2021). Failure investigations into interspersed railway tracks exposed to flood and washaway conditions under moving train loads. *Engineering Failure Analysis*, 129, 105726.