

การศึกษาประสิทธิภาพการต้านทานแรงทางด้านข้างของหมอนรางรถไฟ

Study on the Lateral Resistance Performance of Railway Sleepers

กิตติวุฒิ จิรภาพงพันธ์

ธิดนัย ไพบุลย์กิจ

ศุภสิทธิ์ จันทระเกตุ

อาจารย์ที่ปรึกษา : รศ. ดร. บุญชัย แสงเพชรงาม, ผศ. ดร. ชยุตม์ งามโชนง

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันระบบขนส่งทางรางในประเทศไทยมีเส้นทางรถไฟทั้งหมดที่มีความยาวมากกว่า 4000 กิโลเมตร และปัญหาทางรถไฟเสียหายส่วนใหญ่นั้นล้วนเกิดมาจากการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ หรือภาวะโลกร้อนในปัจจุบัน เช่น เหตุการณ์รางรถไฟโก่งคดที่ร้อนพิบูลย์ จ.นครศรีธรรมราช เมื่อเดือนพฤษภาคม 2567 เนื่องจากสภาพอากาศที่ร้อนจัด ซึ่งจากสาเหตุดังกล่าวจะส่งผลต่อรางรถไฟทำให้เกิดปัญหาการงอตัว (Rail Buckling) เป็นปรากฏการณ์ที่รางรถไฟเกิดการเสียรูปทรงบิดเบี้ยวไปด้านข้างอันเนื่องมาจากแรงอัดที่เกิดขึ้น ด้วยปัญหาดังกล่าว การศึกษาค่าแรงต้านทานทางด้านข้างของหมอนรองรางรถไฟโดยการทำแบบจำลองสภาพทางรถไฟแบบมีหินโรยทาง (Ballasted track) ซึ่งการศึกษานี้จะมีส่วนช่วยริเริ่มเพื่อหาวิธีที่สามารถทำให้การบำรุงรักษาโครงสร้างทางรถไฟแบบมีหินโรยทาง (Ballasted track) มีอายุการใช้งานที่เพิ่มมากขึ้นและลดจำนวนครั้งในการบำรุงรักษาโครงสร้างทางราง

คำสำคัญ : แรงต้านทานทางด้านข้าง, รางคดง

Abstract (Subject without numbering)

Currently, Thailand's railway transportation system consists of over 4,000 kilometers of track. A significant portion of damage to the railway can increasingly be attributed to climate change and global warming. For instance, in May 2024, an incident of rail deformation occurred in Ron Phibun District, Nakhon Si Thammarat Province, caused by extreme heat. This led to a phenomenon known as rail buckling, where the railway tracks undergo lateral distortion due to internal compressive forces resulting from thermal expansion. In response to this issue, this study aims to investigate the lateral resistance forces of railway sleepers by conducting model-scale tests on ballasted track systems. The findings from this research will help develop strategies to extend the service life of ballasted railway structures and reduce the frequency of maintenance needed.

Keywords : Lateral Resistance, Rail Buckling

1 บทนำ

ในปัจจุบันระบบขนส่งทางรางในประเทศไทยมีเส้นทางรถไฟทั้งหมดที่มีความยาวมากกว่า 4000 กิโลเมตร และปัญหาทางรถไฟเสียหายส่วนใหญ่นั้นล้วนเกิดมาจากการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ หรือภาวะโลกร้อนในปัจจุบัน ซึ่งจากสาเหตุดังกล่าวจะส่งผลกระทบต่อรางรถไฟทำให้เกิดปัญหาทางโค้ง (Rail Buckling) หรือที่เรียกกันทั่วไปว่า รางคดหรือ รางโก่ง เป็นปรากฏการณ์ที่รางรถไฟ เกิดการเสียรูปทรงบิดเบี้ยวไปด้านข้างอันเนื่องมาจากแรงอัดที่เกิดขึ้นภายในรางเหล็กเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น โดยปัจจัยที่ส่งผลให้เกิด Rail buckling ได้แก่ อุณหภูมิ ระบบการยึดตรึงรางที่ไม่แข็งแรงพอซึ่งจะทำให้รางเกิดการเคลื่อนตัวได้ง่ายขึ้น และสภาพของหมอนรองรางหรือหินโรยทางที่ผู้พักและไม่มีความแน่นเพียงพอจะมีส่วนช่วยในการลดความสามารถในการต้านทานการเคลื่อนตัวของรางรถไฟซึ่งปัญหานี้ส่งผลกระทบเป็นอย่างมากในด้านความอันตรายของการเดินทาง ความล่าช้า และค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา

เพื่อช่วยในการแก้ไขปัญหาข้างต้นโครงการนี้จึงมีจุดมุ่งหมายในการศึกษาประสิทธิภาพสูงสุดในการต้านทานทางแรงทางด้านข้างของหมอนรองรางรถไฟโดยมีการศึกษาจากแบบจำลองที่จะจำลองโครงสร้างทางรถไฟแบบมีหินโรยทาง (Ballasted Track) และมีการทดสอบการให้แรงทางด้านข้างต่อหมอนรองรางรถไฟในกรณีศึกษาที่แตกต่างกัน

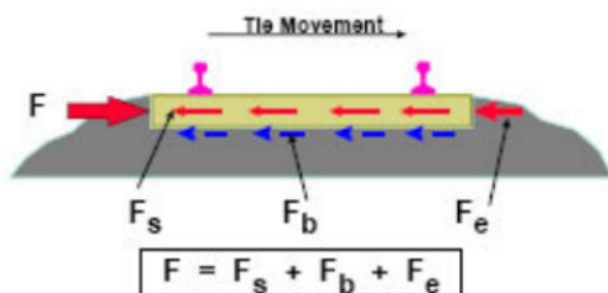
ผลของโครงการขึ้นนี้จะมามีข้อมูลประสิทธิภาพในการต้านทานแรงทางด้านข้างของหมอนรองรางรถไฟในกรณีจำลองที่แตกต่างกัน ซึ่งจะมีส่วนช่วยในการหาวิธีการที่จะช่วยยืดอายุการใช้งานของรางรถไฟและลดจำนวนครั้งและค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาให้ลดลง โดยสามารถนำข้อมูลที่ได้จากโครงการขึ้นนี้ไปต่อยอดเพื่อหาวิธีการที่ดีที่สุดต่อไป

2 การทบทวนวรรณกรรม

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 แรงต้านทานระหว่าง Simple Mono-Block กับ Ballast Bed

แรงต้านระหว่างหมอนคอนกรีตชนิด Mono-Block Concrete Sleeper กับชั้นหินรองรางประกอบด้วยสามองค์ประกอบหลัก คือ แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นทั้งสองด้านของหมอนแรงกดแบบ Passive ที่ปลายทั้งสองด้านของหมอนที่บริเวณไหล่ของหมอนและแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นด้านล่างของหมอนดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ของแรงทั้งหมดที่เกิดขึ้นระหว่าง Concrete Sleeper กับ ชั้นหินรองราง

โดยที่ F คือ แรงรวม (total force), F_s คือ แรงต้านทานจากแรงเสียดทาน (Frictional Force), F_b คือ แรงจากแรงบีบหรือแรงกด (Bearing Force or Pressure Force) และ F_e คือ แรงจากแรงดึงหรือแรงเสริม (Elastic Force or External Force) [3]

2.1.2 วิธีในการวัดความต้านทานด้านข้าง

การระบุค่าความต้านทานด้านข้างเป็นหนึ่งในปัจจัยสำคัญสำหรับความปลอดภัยและความมั่นคงของรางรถไฟ ซึ่งได้รับผลกระทบมาจาก ชนิดของหมอนรองราง น้ำหนักและขนาดของหมอนรองราง ช่องว่างระหว่างหมอนรองราง ขนาดของหินบด คุณภาพของหินบด ความลึกของหินบดในร่องและความสูงของไหล่จากด้านล่างของหมอนรองราง ความหนาแน่นของหินบด ชนิดของรางและชนิดของตัวยึดโดยความต้านทานต่อการเคลื่อนที่ด้านข้างสามารถวัดได้ด้วยวิธีการต่อไปนี้ :

1. Single Sleeper (Tie) Push Test (called STPT)
2. Panel Displacement Test
3. Mechanical Track Displacement Test
4. Continuous Dynamic Measurement of Lateral Resistance [2]

2.1.3 มาตรฐานการออกแบบทางรถไฟชนิดมีหินโรยทางทั่วไป

หินโรยทางรถไฟที่ใช้ในการก่อสร้างเนื้อหินต้องไม่ฝุ่นไม่ปนรูปพรุนไม่มีกากหินดินเศษไม้หรือเศษวัสดุอื่นๆเจือปนและต้องไม่ประกอบด้วยสารเคมีที่เป็นอันตรายและไม่มีแรงเชื่อมประสานเมื่อหินปนเป็นผงและเปียกน้ำโดยชั้นหินโรยทางรถไฟที่ได้จากการบดอัดหิน โรยทางที่ประกอบด้วยอนุภาคของแข็งโดยมีช่องว่างที่เชื่อมต่อกันระหว่างอนุภาคของแข็งดังกล่าวขึ้นเป็นชั้นมีความหนาตามที่กำหนดหิน โรยทางในชั้นหินโรยทางทำหน้าที่กระจายน้ำหนัก Static Load และ Dynamic Load จากหมอนรองรางไปยังชั้นรองหินโรยทาง (Sub Ballast) และชั้นดินคั่นทาง (Substructure) ไม่ให้เกิดกำลังรับน้ำหนักของชั้นดินเดิม (Subgrade) ช่วยดูดซับความสั่นสะเทือนจากการวิ่งของขบวนรถไฟ ช่วยด้านการขยับตัวของทางตามขวางตามยาวและในแนวตั้งจาก Dynamic Load และ Thermal Stress รวมทั้งช่วยรักษาแนวราง ระดับตามขวาง การบิดและรูปร่างหน้าตาของทาง นอกจากนี้ ยังช่วยเอื้ออำนวยต่อการบำรุงรางและเปลี่ยนหมอน [1]

2.2 การทบทวนวรรณกรรม

2.2.1 ปัจจัยที่ส่งผลต่อแรง Lateral Resistance

ปัจจัยที่ส่งผลต่อแรง Lateral Resistance เป็นไปตามแผนภาพดังแสดงในรูปที่ 2 [7]



รูปที่ 2 แผนภูมิแสดงปัจจัยที่ส่งผลต่อแรง Lateral resistance
(Guoqing Jing and Peyman Aela, 2019)

2.2.2 ปัจจัยด้านการเสื่อมสภาพของหิน

หินบดจะเสื่อมสภาพลงเรื่อยๆ ตามกาลเวลาเนื่องจากช่องว่างระหว่างอนุภาคถูกเติม ด้วยวัสดุละเอียด ชนิดของสิ่งปนเปื้อนที่สำคัญที่สุดคือเศษหินบดที่แตกหัก ซึ่งคิดเป็นประมาณ 76% ของสาเหตุทั้งหมด สาเหตุอื่นๆ ได้แก่ การรื้อซึมจากชั้นดินด้านล่าง และผิวหน้าของหินบด ซึ่งคิดเป็น 13% และ 7% ตามลำดับ ตามมาด้วยการแทรกซึมของดินฐานราก (3%) และการสึกหรบของหมอนรองราง (1%) และสังเกตว่าการเสื่อมสภาพของหินบดส่งผลกระทบต่อความมั่นคงและ ความแข็งแรงของรางรถไฟอย่างมาก

นอกจากนี้การเสื่อมสภาพของหินบดอาจทำให้เกิดปัญหาการระบายน้ำในรางรถไฟที่มีหินบด เนื่องจากช่องว่างถูกอุดตันและน้ำถูกกักไว้ทำให้น้ำสะสมในโครงสร้างของรางรถไฟในระดับที่สูงขึ้นสำหรับกลไกการเสื่อมสภาพของหินบดเนื่องจากการสะสมของเศษหินบดที่แตกหักจากการ กระจ่ายตัวของน้ำหนักจากหมอนรองราง หรือการปนเปื้อนจากภายนอก เช่น ดินฐานรากหรือฝุ่นถ่านหิน ทราบว่าอนุภาคละเอียดเหล่านี้จะเติมเต็มช่องว่างระหว่างอนุภาคได้ง่าย ส่งผลให้ความแข็งแรง และความต้านทานแรงเฉือนของชั้นหินบดลดลงเนื่องจากมีอนุภาค เคลื่อนย้ายจากด้านบนลงด้านล่าง และเติมเต็มช่องว่างจึงไม่มีการสัมผัสระหว่างอนุภาคหินบด ทำให้เกิดแรงเสียดทานระหว่างอนุภาคหินบดลดลง วัสดุละเอียดเหล่านี้สะสมจากด้านล่างและค่อย ๆ ขึ้นไปจนถึงด้านบนจนชั้นหินบดเสื่อมสภาพอย่างสมบูรณ์ หากไม่มีการบำรุงรักษาและเปลี่ยนใหม่ [8]

2.2.3 ความลึกของ Ballast

ความลึกของ Ballast หมายถึง ความสูงของชั้นหินโรยทางที่อยู่ใต้รางรถไฟโดยการ ทดสอบภาคสนามและในห้องปฏิบัติการ พบว่ายิ่งความลึกของ Ballast มากขึ้น แรงต้านด้านข้าง ของรางรถไฟก็จะ

ยิ่งน้อยลง โดยจากงานวิจัยของ Selig และ Waters กล่าวว่า ช่วงของความลึกของ Ballast ที่เหมาะสมกับการทำงานของบัลลาสต์อยู่ที่ประมาณ 150-450 มิลลิเมตร จากการสำรวจของ Zeng และคณะพบว่า การเพิ่มความลึกของรางจาก 100 เป็น 200 มิลลิเมตร ทำให้แรงต้านด้านข้างของชั้น Ballast เพิ่มขึ้นถึง 120% [6]

2.2.4 ขนาดของ Shoulder Ballast

ขนาดของ Shoulder Ballast เนื่องจากการล้อมรอบหมอนรองรางด้วย Ballast Shoulder ทำให้สามารถเพิ่มแรงต้านทานทางด้านข้างของรางได้โดยการเพิ่มน้ำหนักของ Ballast Shoulder ด้วยขนาดที่ใหญ่ขึ้น ในส่วนนี้มาตรฐานทางรถไฟของเยอรมันและรัสเซีย แนะนำให้มีความกว้างชั้นต่ำของ Shoulder Ballast อยู่ที่ 350 มิลลิเมตร ทั้งในรางตรงและรางโค้ง [4]

2.2.5 ขนาดของ Crib Ballast

ขนาดของ Crib Ballast ตามผลงานวิจัยของ Le Pen และ Powrie กล่าวว่าไว้เกี่ยวกับแรงเสียดทานระหว่าง Crib Ballast กับแรงต้านทานทางด้านข้างของหมอนรองราง Crib Ballast มีส่วนสำคัญ (37-50%) ต่อแรงต้านทานทางด้านข้างทั้งหมด การเติม Ballast ระหว่างหมอนรองรางจนถึงผิวด้านบนของหมอนรองราง ทำให้แรงต้านทานตามแนวขวางของ Ballast เพิ่มขึ้น 100% ในทางกลับกัน Crib Ballast ยังให้แรงต้านทานตามแนวยาวเพื่อต้านทานการเคลื่อนที่ของรางอีก [5]

3 วัตถุประสงค์และขอบเขตของการศึกษา

การศึกษานี้จัดทำโดยการสร้างแบบจำลองโครงสร้างทางรถไฟแบบมีหินโรยทางใน Lab Scale และทำการทดลองในกรณีที่แตกต่างกันและนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาเปรียบเทียบโดยใช้ค่าแรงกดและค่าการเคลื่อนตัวของหมอนรองรางรถไฟที่ได้จากการทดลองมาศึกษาหาตัวแปรที่มีผลต่อแรงต้านทานทางด้านข้างของหมอนรองรางรถไฟ และศึกษาประสิทธิภาพของการต้านทานแรงทางด้านข้างของหมอนรองรางรถไฟต่างชนิดกันในที่นี้คือ หมอนรองรางรถไฟคอนกรีต และหมอนรองรางรถไฟไม้ไผ่

4 ระเบียบวิธีวิจัย

4.1 การออกแบบการทดลองในห้องปฏิบัติการ และ แนวทางการในการปฏิบัติในห้องทดลอง

โครงการนี้เป็นการออกแบบหมอนรองรางรถไฟ เป็นแบบรางที่มีหินโรยทาง (Ballasted Track) เพราะการใช้งานรถไฟสายหลักในประเทศไทยในปัจจุบันส่วนมาก เป็นการใช้งานรางรถไฟที่แบบมีหินโรยทางทางผู้จัดทำจะจำลอง Railway Track Mock-Up โดยการใช้ไม้อัดยางที่มีความหนา 20 มม. ในการสร้างแบบจำลอง และมีค้ำยันด้านข้างเพื่อให้การทดลองมีความสมจริงมากที่สุด ซึ่งจะใช้ความกว้างของรางเป็นแบบ Meter Gauge (ความกว้างของรางรถไฟ 1 เมตร) ซึ่งเป็นความกว้างมาตรฐานของรางรถไฟในประเทศไทย ในหมอนรองชนิดคอนกรีตแต่ในหมอนรองชนิดไม้ไผ่ที่ใช้ในการทดลองจะใช้หมอนรองที่เป็นหมอนรองที่ใช้ในทางชนิด Standard Gauge แต่จะมีการใช้ค้ำปรับแก้จากสัดส่วนความกว้าง ความยาว และความสูงของหมอนรองชนิดไม้ไผ่เพื่อที่จะนำมาเปรียบเทียบค่าแรงต่าง ๆ กับ

หมอนรองชนิดคอนกรีต ซึ่งมีขนาดเท่ากับความกว้างของรางรถไฟไทยในปัจจุบัน และใช้ขนาดของหินในการทดลองต้องเป็นไปตามมาตรฐาน มอก. โดยมีขนาดระหว่าง 31.5 - 63.5 มม.

4.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

ในการทดลองจะใช้ การทดลองแบบ Single Sleeper Push Test โดยจะใช้อุปกรณ์ Hydraulic Jack หรือ Hand Operated Jack ใช้ในการเพื่อกดหมอนรองรางรถไฟเพื่อทดสอบแรงดันและการเคลื่อนตัวของหมอนรองรางรถไฟ (Railway Sleeper) ภายใต้แรงเฉพาะเพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติและความแข็งแรงของระบบรองรับรางรถไฟ เช่น หมอนคอนกรีต หมอนไม้ หรือหมอนวัสดุอื่น ๆ โดยจะใส่แรงไปที่ด้านข้างของหมอนรางรถไฟเพื่อทดสอบความต้านทานแรงด้านข้างของตัวหมอนรองรางรถไฟ (Lateral Resistance) ซึ่งการทดลอง Single Sleeper Push Test มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบคุณสมบัติแรงยึดเกาะของหมอนกับรางทดสอบการเคลื่อนที่ของหมอนรอง อีกทั้งยังใช้ LVDT เพื่อใช้การวัดเคลื่อนตัวของหมอนรองรางรถไฟ ซึ่ง LVDT (Linear Variable Differential Transformer) เป็นอุปกรณ์เซ็นเซอร์ที่ใช้วัดการกระจัดเชิงเส้น (linear displacement) หรือการเคลื่อนที่ในแนวตรง โดยทำงานบนหลักการของการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า

4.3 หลักการการจัดเตรียมการทดลองและการติดตั้งเครื่องมือการทดลอง

4.3.1 การจัดเตรียมการทดลอง

การทดลองในการศึกษาพฤติกรรมแรงต้านทานด้านข้างของหมอนรองรางรถไฟได้มีการจัดเตรียมกล่องทดลองเพื่อทดสอบภายใต้สภาวะควบคุม โดยกล่องดังกล่าวถูกออกแบบให้มีความแข็งแรงเพียงพอในการรับแรงกระทำจากการทดสอบได้ใกล้เคียงกับสภาพจริงกล่องทดลองถูกประกอบขึ้นจากแผ่นไม้อัดหนา 20 มิลลิเมตร ยึดกับโครงไม้เสริมกำลังเพื่อป้องกันการบิดตัวจากแรงภายนอก โดยมีโครงสร้างด้านข้างเป็นรูปสามเหลี่ยมเพื่อเพิ่มความมั่นคง ขนาดของกล่องถูกออกแบบให้มีความยาวครอบคลุมหมอนรองราง และมีความกว้างและลึกเพียงพอสำหรับใส่วัสดุรองรับตามมาตรฐานของงานทางรถไฟดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 กล่องทดลองที่ใช้ในการทดลอง

หลังจากการติดตั้งกล่องทดลองเสร็จสมบูรณ์ ขั้นตอนต่อไปคือการใส่วัสดุหินโรยทาง (Ballast) ซึ่งเป็นวัสดุหลักที่จำลองชั้นรองรับหมอนรองรางรถไฟ เพื่อสร้างสภาวะที่ใกล้เคียงกับการติดตั้งหมอน

ในสนามจริงมากที่สุด จากนั้นจึงทำการเทหินโรยทางลงในกล่องทดลองอย่างเป็นขั้น โดยแต่ละชั้นจะถูกรับระดับและอัดแน่นด้วยมือหรือเครื่องมือช่วยอัดเล็กน้อย เพื่อควบคุมความหนาแน่นให้สม่ำเสมอ

ทั่วทั้งกล่องความลึกของวัสดุหินโรยทางภายในกล่องจะถูกควบคุมให้ครอบคลุมหมอนรองรางในระดับที่กำหนดไว้ล่วงหน้า เพื่อให้สามารถศึกษาพฤติกรรมและการเคลื่อนที่ในแนวราบของหมอนได้อย่างแม่นยำในระหว่างการทดสอบแรงต้านทานด้านข้าง การเตรียมวัสดุหินโรยทางและขั้นตอนการใส่ลงในกล่องทดลองนี้มีความสำคัญเนื่องจากส่งผลโดยตรงต่อค่าความต้านทานแรงเสียดทานและแรงต้านทานที่วัดได้จากการทดลอง

ทำการการบดอัดชั้นหินโรยทาง (Ballast) ถือเป็นขั้นตอนที่สำคัญในการจำลองหรือก่อสร้างระบบรางรถไฟ เพื่อให้ชั้นวัสดุหินมีความหนาแน่นเพียงพอในการรองรับน้ำหนักจากหมอนและราง พร้อมทั้งสามารถถ่ายเทแรงกระแทกและแรงด้านข้างจากการใช้งานจริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ การบดอัดมีจุดประสงค์เพื่อลดช่องว่างระหว่างเม็ดหิน ทำให้เกิดแรงเสียดทานภายในเพิ่มขึ้น ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อความสามารถในการต้านทานการเคลื่อนที่ของหมอนราง

หินโรยถูกใช้เป็นวัสดุรองพื้นเพื่อรองรับน้ำหนัก ลดแรงกดทับและช่วยในการระบายน้ำใต้โครงสร้าง เช่น ถนน ทางเดิน หรือพื้นฐานของโครงสร้างต่าง ๆ การควบคุมระดับความสูงของหินโรยให้เหมาะสมจึงเป็นสิ่งสำคัญ เพื่อให้การรับน้ำหนักและการกระจายแรงเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ โดย ปรับระดับหินโรยให้มีความสูงมากกว่า 30 เซนติเมตร อย่างเป็นระบบ และสอดคล้องตามหลักวิศวกรรม

หมอนรองรางที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้เป็น หมอนผลิตจากไม้ไผ่ ซึ่งเป็นวัสดุทางเลือกที่มีศักยภาพในการใช้งานแทนหมอนไม้เนื้อแข็งหรือคอนกรีต ซึ่งหมอนรองไม้ไผ่มีน้ำหนักเบา แข็งแรง และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม หมอนไม้ไผ่นี้ผ่านกระบวนการแปรรูปเพื่อเพิ่มความทนทานต่อความชื้น แผลง และการเสื่อมสภาพของวัสดุ ลักษณะรูปทรงของหมอนมีลักษณะเป็นทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า และเป็นหมอนรองรางแบบ Standard Gauge เพื่อให้สามารถจำลองสภาวะจริงในการติดตั้งบนวัสดุหินโรยได้อย่างถูกต้อง ด้านปลายของหมอนทั้งสองด้านได้ติดตั้งแผ่นเหล็กและช่องยึดสำหรับติดตั้งเครื่องมือวัดแรง (Load Cell) และเซนเซอร์การเคลื่อนที่ เพื่อใช้ในการวัดค่าความต้านทานที่เกิดขึ้นขณะทดสอบ การเลือกใช้หมอนไม้ไผ่ในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมแรงต้านทานด้านข้างในสภาวะควบคุม และเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับหมอนวัสดุชนิดอื่น ๆ ที่ใช้อยู่ในระบบรางปัจจุบัน ซึ่งผลการทดลองจะนำไปใช้ประเมินความเหมาะสมของหมอนไม้ไผ่ในการใช้งานจริงในอนาคต

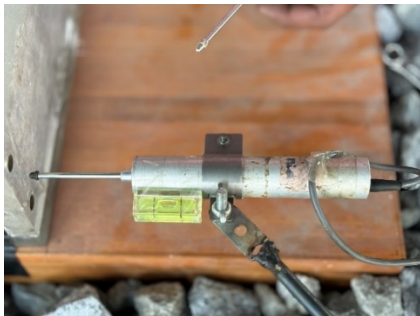
ต้องมีการปรับระยะไหล่ทาง (Shoulder) ให้มีความกว้างมากกว่า หรือเท่ากับ 30 เซนติเมตร เป็นขั้นตอนสำคัญในการก่อสร้างทางเดินหรือถนน โดยไหล่ทางมีหน้าที่รองรับน้ำหนักชั่วคราวของยานพาหนะในกรณีฉุกเฉิน และช่วยในการระบายน้ำ ดังนั้นการออกแบบและควบคุมระยะไหล่ทางจึงต้องเป็นไปตามหลักวิศวกรรมโยธา เพื่อความปลอดภัยและประสิทธิภาพของโครงสร้าง ขั้นตอนเริ่มจากการตรวจวัดระยะปัจจุบัน หากพบว่าระยะต่ำกว่า 30 เซนติเมตร ต้องทำการเติมวัสดุ เช่น หินคลุกหรือหินโรย ให้มีความ

กว้างเฉลี่ยมากกว่า 30 เซนติเมตร จากนั้นจึงปรับผิวหน้าให้เรียบสม่ำเสมอ และทำการบดอัดวัสดุให้แน่นเพื่อลดช่องว่างภายใน

4.3.2 การติดตั้งเครื่องมือการทดลอง

การติดตั้ง LVDT ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่มีความแม่นยำสูงในการวัดการเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรง และสามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของตำแหน่งได้ละเอียดในระดับไมโครเมตร การติดตั้งเริ่มจากการเลือกตำแหน่งที่เหมาะสม หลังจากนั้นจึงทำการยึดตัวเซนเซอร์ LVDT กับโครงยึดหรือโครงสร้างของแท่นทดสอบด้วย Clamp หรือ Bracket เพื่อให้มั่นคงและไม่เกิดการสั่นสะเทือนขณะทดสอบ ส่วนแกนเคลื่อนที่จะต้องสัมผัสหรือเชื่อมต่อกับชิ้นงานที่ต้องการวัด และต้องวางอยู่ในแนวตรงไม่เอียง เพื่อไม่ให้เกิดข้อผิดพลาดในการวัด หลังจากติดตั้งเสร็จแล้วจะต้องทำการปรับศูนย์ (Zero Calibration) และตรวจสอบสัญญาณจากตัวเครื่องให้แสดงผลอย่างถูกต้องก่อนเริ่มทดสอบจริง

การติดตั้งลูกน้ำหนักระดับซึ่งติดตั้งร่วมกับตัวยึดของ LVDT เพื่อให้แน่ใจว่าแกนวัดของเครื่องมืออยู่ในแนวตั้งฉากกับพื้นฐานของโครงสร้างหรือชิ้นงานที่กำลังตรวจวัด โดยในระหว่างการติดตั้งจะต้องมีการปรับระยะหรือมุมของตัวยึด LVDT จนกระทั่งฟองอากาศในลูกน้ำหนักอยู่ในตำแหน่งกึ่งกลางของท่อแก้ว ซึ่งแสดงถึงระดับที่เท่ากันและได้แนวตั้งฉากอย่างถูกต้อง การปรับตั้งดังกล่าวช่วยลดค่าคลาดเคลื่อนเชิงมุมที่อาจส่งผลต่อค่าการวัดของ LVDT และช่วยให้ค่าการเคลื่อนที่ได้สะท้อนผลการเปลี่ยนแปลงของตำแหน่งหมอนได้อย่างถูกต้อง



รูปที่ 5 LVDT ที่ใช้ในการทดลอง

ต่อมาทำการติดตั้งระบบกระบอกไฮดรอลิกเป็นขั้นตอนสำคัญในการทดสอบแรงกด แรงดึง หรือแรงดัดในงานวิศวกรรมโครงสร้าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่ต้องการสร้างแรงภายนอกเพื่อศึกษาพฤติกรรมของวัสดุหรือองค์ประกอบโครงสร้างตามเงื่อนไขของการใช้งานจริงโดยกระบอกไฮดรอลิกให้แรงได้มากที่สุดที่ 10 kN ภาพแสดงให้เห็นถึงการติดตั้งกระบอกไฮดรอลิกเข้ากับแท่นรับแรง โดยมีสายส่งแรงดันเชื่อมต่อจากปั๊มแรงดันมายังกระบอก ซึ่งถูกยึดด้วยแท่นเหล็กเพื่อให้แน่นหนาและป้องกันการเคลื่อนตัวระหว่างการทดสอบ หัวกระบอกถูกจัดวางให้อยู่ในแนวเดียวกับชิ้นงานไม่เพื่อส่งแรงโดยตรงเข้าสู่ตัวหมอนรอง และยังต้องทำการติดตั้ง Load Cell เข้ากับระบบ Datalogger เป็นกระบวนการสำคัญในการวัดและบันทึกค่าภาระแรงในงานทดสอบทางวิศวกรรม โดย Load Cell ทำหน้าที่แปลงแรงกลเป็นสัญญาณไฟฟ้า และ Datalogger ทำหน้าที่บันทึกค่าสัญญาณเหล่านี้เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ภายหลัง การติดตั้งเริ่มจากการเลือก Load Cell ซึ่งจากการทดลองต้องการวัดค่าแรง

อยู่ที่ 0 – 10 kN จากนั้นทำการติดตั้ง Load Cell ไว้ในตำแหน่งที่แรงจะส่งผ่านโดยตรง หลังจากติดตั้ง Load Cell ทางกลแล้ว ขั้นตอนถัดไปคือการเชื่อมต่อทางไฟฟ้า โดยใช้สายสัญญาณจาก Load Cell ต่อเข้ากับ Datalogger ผ่านช่องอินพุตที่กำหนด ซึ่งต้องตรวจสอบความเข้ากันได้ของระบบ เช่น ความต้านทานของเกจวัดการจ่ายไฟ Excitation Voltage และการตั้งค่าเกน (Gain) ของเครื่องอ่านสัญญาณ เมื่อเชื่อมต่อเรียบร้อยแล้ว จะต้องทำการปรับศูนย์ (Zero Calibration) และตรวจสอบค่าการตอบสนองของ Load Cell ว่าตรงกับแรงที่กระทำจริง เมื่อเริ่มการทดสอบ Datalogger จะทำหน้าที่เก็บค่าสัญญาณไฟฟ้าที่ได้จาก Load Cell แบบต่อเนื่องตามช่วงเวลาที่กำหนด) ข้อมูลที่ได้สามารถนำไปวิเคราะห์ค่าความแข็งแรง ความสามารถในการรับแรงต้านทานของหมอนรองชนิดไม้ไผ่และคอนกรีตในกรณีต่าง ๆ



รูปที่ 6 Load Cell ที่ใช้ในการทดลอง

4.4 กรณีต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลอง

จากการทดลองได้แบ่งกรณีการทดลองทั้งหมดเป็น 5 กรณี โดยแต่ละกรณีนั้นมีชนิดของหมอนรองที่แตกต่างกันรวมถึงการใส่ Crib และ Shoulder ที่แตกต่างกันออกไปดังแสดงในรูปที่ 7 และรูปที่ 8



รูปที่ 7 ทดสอบกับหมอนรองไม้ไผ่

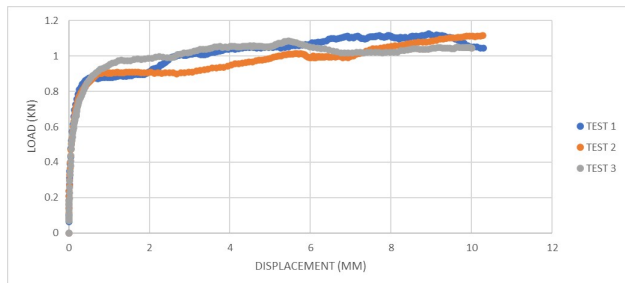


รูปที่ 8 ทดสอบกับหมอนรองคอนกรีต

5 การวิเคราะห์ข้อมูลการศึกษาแรงต้านทานทางด้านข้างของหมอนรองรางรถไฟ

ในการทำการทดลอง จะได้กราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรง Force (kN) กับระยะการเคลื่อนที่ของหมอน Displacement of Sleeper (mm)

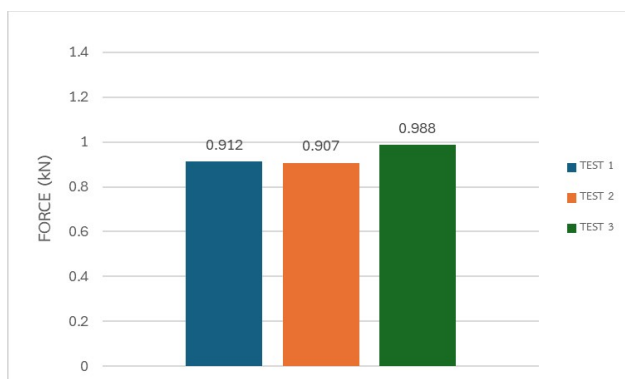
5.1 การวิเคราะห์ข้อมูลในส่วนของ Bottom



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างแรง (Force) กับระยะการเคลื่อนที่ของหมอนรองรางรถไฟ (Displacement of Sleeper) ในการทดลองทั้งหมด 3 ครั้งของหมอนรองรางรถไฟคอนกรีต (Concrete Sleeper)

จากกราฟด้านบน จะเห็นว่ากราฟจากการทดลองทั้ง 3 ครั้งเป็นไปในแนวทางเดียวกัน คือในช่วงต้นกราฟจะมีการเพิ่มขึ้นของแรงที่มาก เนื่องจากหมอนยังแทบไม่มีการเคลื่อนที่ แต่เมื่อถึงจุดหนึ่ง หรือจุดที่หมอนเริ่มเคลื่อนที่แล้ว แรงที่เกิดขึ้นจะเริ่มคงที่ไปเรื่อยๆ พร้อมกับการเคลื่อนที่ของหมอน โดยในการทดลองนี้เป็นการทดลองแบบที่ไม่มีหินอยู่ด้านข้างของหมอนรองรางรถไฟ (ไม่มี Crib และ Shoulder) ทำให้แรงต้านทานที่เกิดขึ้นนั้นมาจากหินทางด้านใต้ของหมอนรองเพียงอย่างเดียวเท่านั้น ซึ่งแรงต้านทานที่เกิดขึ้นนั้นมีผลมาจากน้ำหนักของหมอนรอง

รางรถไฟที่กดทับลงบนหิน โดยน้ำหนักของหมอนรองรางรถไฟจะส่งผลโดยตรงต่อแรงกดที่ถ่ายทอดสู่ชั้นรองรับด้านล่าง ซึ่งได้แก่ ชั้นหินรองทาง (Ballast) โดยแรงดังกล่าวจะมีลักษณะเป็นแรงกระทำในแนวตั้ง และกระจายออกในแนวกว้างตามคุณสมบัติของวัสดุที่รองรับที่แตกต่างกันไป ในที่นี้คือ หิน โดยหินที่ถูกทับด้วยหมอนรองรางไฟนั้นจะเกิดแรงต้านทานซึ่งเปรียบเสมือนแรงเสียดทานระหว่างหินกับหมอนรองรางไฟซึ่งจะต้านทานการเคลื่อนที่ของหมอนรองรางไฟไว้



รูปที่ 10 กราฟแท่งแสดงแรง (Force) จากการทดลองทั้ง 3 ครั้ง

จากกราฟด้านบน จะได้แรงเฉลี่ยจากการทดลองทั้ง 3 ครั้ง อยู่ที่ 0.936 kN ซึ่งแรงที่ได้จากการทดลองจะเปรียบเสมือนแรงต้านทานที่เกิดขึ้น โดยแรงต้านทานนี้จะสามารถนำมาคำนวณโดยอาศัยน้ำหนักของหมอนเป็นแรงปกติ (Normal Force) เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน ได้ดังสมการด้านล่างนี้

$$f = \mu N$$

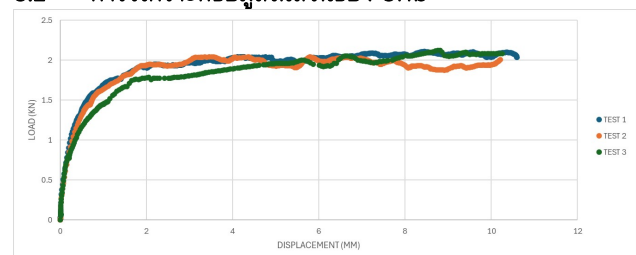
โดย f คือ แรงเสียดทานหรือแรงต้านทานที่เกิดขึ้น (1055 นิวตัน) , μ คือ ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน และ N คือ Normal force ในที่นี้คือน้ำหนักของหมอนรองรางรถไฟ ซึ่งหมอนรองคอนกรีตมีน้ำหนักอยู่ที่ 200 กิโลกรัม หรือ 1962 นิวตัน

$$936 = \mu * 1962$$

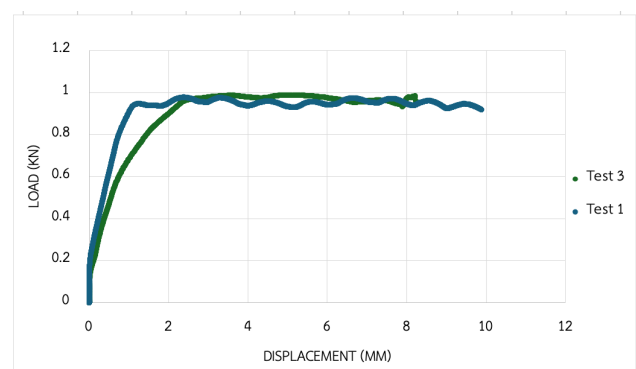
$$\mu = 0.48$$

โดยจากสมการด้านบนจะได้ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานอยู่ที่ 0.48 ซึ่งค่าที่ได้นั้นถือว่าอยู่ในช่วงของวัสดุประเภทหินคลุก - คอนกรีตที่พบทั่วไปในงานวิศวกรรมทางรถไฟ (ค่าปกติจะอยู่ในช่วง 0.4 – 0.6)

5.2 การวิเคราะห์ข้อมูลในส่วนของ Crib



รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างแรง (Force) กับระยะการเคลื่อนที่ของหมอนรองรางรถไฟ (Displacement of Sleeper) ในการทดลองทั้งหมด 3 ครั้งของหมอนรองรางรถไฟคอนกรีต (Concrete Sleeper)



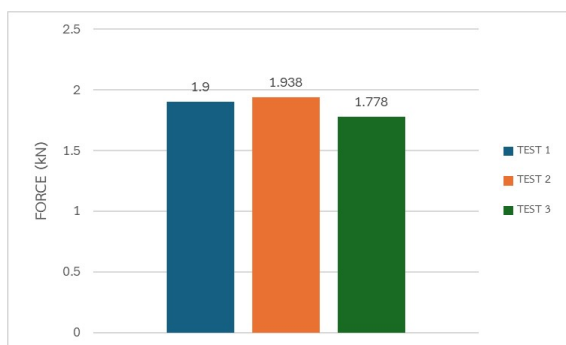
รูปที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างแรง (Force) กับระยะการเคลื่อนที่ของหมอนรองรางรถไฟ (Displacement of Sleeper) ในการทดลองทั้งหมด 3 ครั้งของหมอนรองรางรถไฟไม้ไผ่ (Bamboo Sleep)

จากกราฟดังแสดงในรูปที่ 11 และ รูปที่ 12 ทั้งหมอนรองรางรถไฟคอนกรีตและหมอนรองรางรถไฟไม้ไผ่ จะเห็นว่ากราฟทั้งสองนั้นมีลักษณะเป็นไปในแนวทางเดียวกัน คือในช่วงต้นกราฟจะมีการเพิ่มขึ้นของแรงที่มาก เนื่องจากหมอนยังแทบไม่มีการเคลื่อนที่ แต่เมื่อถึงจุดหนึ่ง หรือจุดที่หมอนเริ่มเคลื่อนที่แล้ว แรงที่เกิดขึ้นจะเริ่ม

คงที่ไปเรื่อย ๆ พร้อมกับการเคลื่อนที่ของหมอน แต่ในกราฟนี้จะมี การเคลื่อนที่ของกราฟที่มากกว่ากราฟที่ไม่มีหินด้านข้างทั้ง 2 ข้าง จนถึงแรงที่คงที่ โดยในการทดลองนี้เป็นการทดลองแบบที่มีหินอยู่ ด้านข้างของหมอนรองรางรถไฟทั้งสองข้างของหมอนรองในแนวยาว (มี Crib แต่ไม่มี Shoulder) ทำให้แรงต้านทานที่เกิดขึ้นนั้นมาจาก หินทางด้านใต้ของหมอนรองและมีแรงต้านทานจากหินที่ขนานข้าง หมอนรองในแนวยาวของหมอนรองรางรถไฟด้วย ซึ่งแรงต้านทานที่ เกิดขึ้นทางด้านข้างนั้นมีผลมาจาก Crib ที่ล้อมหมอนรองรางรถไฟไว้ โดย Crib ด้านข้างมีบทบาทสำคัญในการต้านทานแรงเฉือนและแรง เลื่อนของหมอน โดยแรงต้านนี้เกิดจากแรงเสียดทานระหว่างผิว หมอนกับหินรองทางทาง

ด้านข้างขอบหมอน และแรงต้านจากการบดอัดตัวของหิน รองทางทางด้านข้าง แรงต้านจาก crib สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนหลักคือ

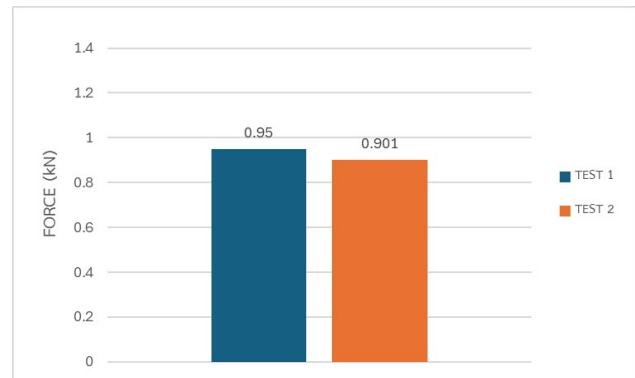
- 1.แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างผิวสัมผัส ซึ่งเป็นแรงต้านทานที่ เกิดขึ้นจากการสัมผัสกันของหินรองทางที่ล้อมหมอนกับหมอนรอง รางรถไฟ
- 2.แรงพาสซีฟ (Passive Resistance) ซึ่งเป็นแรงต้านทานที่ เกิดขึ้นจากหินรองทางรอบหมอนที่ถูกอัดแน่น



รูปที่ 13 กราฟแท่งแสดงแรง (Force) จากการทดลองทั้ง 3 ครั้ง

จากกราฟด้านบน จะได้แรงเฉลี่ยจากการทดลองทั้ง 3 ครั้ง อยู่ที่ 1.872 kN ซึ่งแรงที่ได้จากการทดลองจะเปรียบเสมือนแรงต้านทานที่ เกิดขึ้น โดยแรงต้านทานนี้จะสามารถนำมาคำนวณหาค่าแรง ต้านทานที่เกิดขึ้นจากหินรองทางทางด้านข้าง (Crib) ได้ โดยมีข้อมูล จากการทดลองก่อนหน้านี้เป็นตัวช่วยคือ แบบไม่มีหินรองทางทาง ด้านข้าง ซึ่งมีผลการทดลองที่ให้ค่าแรงต้านทานอยู่ที่ 936 นิวตัน และผลการทดลองดึงหมอนในแนวราบจากการทดลองนี้พบว่าแรง ต้านทั้งหมดอยู่ที่ 1872 นิวตัน โดยจะสามารถแยกองค์ประกอบของ แรงต้านได้ดังนี้

1. แรงจากน้ำหนักของหมอนเอง: 936 นิวตัน
2. แรงจาก Crib ด้านข้าง: 936 นิวตัน



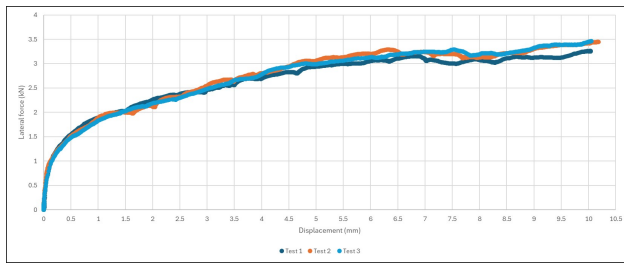
รูปที่ 14 กราฟแท่งแสดงแรง (Force) จากการทดลองทั้ง 2 ครั้ง ของหมอน รองรางรถไฟไม้ไผ่ (Bamboo Sleeper)

จากกราฟด้านบนจะได้แรงเฉลี่ยจากการทดลองทั้ง 2 ครั้ง อยู่ที่ 0.926 kN โดยแรงที่ได้นั้นมีการปรับค่าเนื่องจากหมอนรองไม้ไผ่นั้น มีความยาวอยู่ที่ 2.40 เมตร ในขณะที่หมอนรองคอนกรีตมีความยาว อยู่ที่ 2 เมตร ซึ่งผู้ทดลองได้ทำการปรับค่าโดยใช้ค่าปรับแก้คือ 0.833 ซึ่งมาจากการเทียบสัดส่วนความยาวของหมอนรองไม้ไผ่ต่อ หมอนรองคอนกรีต และแรงที่ได้จากการทดลองจะเปรียบเสมือน แรงต้านทานที่เกิดขึ้น โดยแรงต้านทานนี้เกิดจากแรงต้านทานที่มา จากหินทางด้านใต้ของหมอนรองและมีแรงต้านทานจากหินที่ขนาน ข้างหมอนรองในแนวยาวของหมอนรองรางรถไฟทั้งสองฝั่งของ หมอน โดยจากแรงที่ได้มานั้นจะพบว่ามีความใกล้เคียงกับในกรณีของ หมอนรองรางรถไฟคอนกรีตที่ไม่มีหินรองทาง และหากเปรียบเทียบกับ หมอนรองรางรถไฟคอนกรีตในกรณีเดียวกันนั้นจะพบว่าแรงใน หมอนรองรางรถไฟไม้ไผ่นั้น มีค่าอยู่เพียงครึ่งหนึ่งของหมอนรองราง รถไฟคอนกรีต ซึ่งหากเปรียบเทียบกันด้วยน้ำหนัก (หมอนรองราง รถไฟคอนกรีตหนัก 200 กิโลกรัม และหมอนรองรางรถไฟไม้ไผ่หนัก 80 กิโลกรัม) โดยน้ำหนักของหมอนรองรางรถไฟไม้ไผ่ หนักเพียง 40% ของหมอนรองรางรถไฟคอนกรีต ซึ่งอาจมีผลทำให้แรง ต้านทานที่รับได้นั้นมีค่าน้อยกว่าหมอนรองรางรถไฟคอนกรีตอยู่มาก

จากด้านบนแสดงให้เห็นว่า crib ด้านข้างมีบทบาทสำคัญต่อ ความสามารถในการต้านทานแรงเลื่อนของหมอนรองรางรถไฟ เนื่องจากมีค่าแรงต้านทานที่สูงมากกว่าแรงต้านทานจากน้ำหนักของ หมอนรองรางรถไฟเพียงอย่างเดียว

และจากการศึกษาพบว่าค่าความหนาแน่นของหินรองทาง (Ballast) มีอิทธิพลโดยตรงต่อแรงต้านทานทางด้านข้างของหมอน รองรางรถไฟ โดยการบดอัดที่ดีจะช่วยเพิ่มแรงเสียดทานระหว่างผิว ของหมอนรองรางรถไฟกับหินรองทางทางด้านข้าง (Crib) รวมถึง เพิ่มแรงพาสซีฟจากการอัดตัวของหินในแนวด้านข้าง ในกรณีที่หินมี ความหนาแน่นที่ต่ำ หมอนรองรางรถไฟจะมีแนวโน้มเคลื่อนตัวได้ ง่าย ส่งผลให้โครงสร้างทางมีโอกาสที่จะเสียตำแหน่งของรางมากขึ้น โดยเฉพาะภายใต้โหลดซ้ำจากการวิ่งผ่านของขบวนรถไฟเป็น เวลานาน ๆ ดังนั้นการควบคุมคุณภาพการบดอัดและค่าความแน่น (Compaction Level) ของหิน Crib และ Shoulder ถือเป็นปัจจัย สำคัญในการเพิ่มเสถียรภาพของหมอนและระบบรางโดยรวม

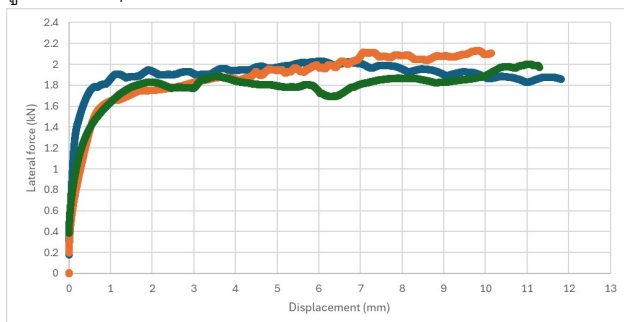
5.3 การวิเคราะห์ข้อมูลในส่วนของ Shoulder



รูปที่ 15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรง (Force) กับระยะการเคลื่อนที่ของหมอนรองรางรถไฟ (Displacement of Sleeper) ในการทดลองทั้งหมด 3 ครั้ง ของหมอนรองรางรถไฟคอนกรีต (Concrete Sleeper)

จากกราฟด้านบน จะเห็นว่ากราฟจากการทดลองทั้ง 3 ครั้ง เป็นไปในแนวทางเดียวกัน คือในช่วงต้นกราฟจะมีการเพิ่มขึ้นของแรงที่มาก และในช่วงกลางยังมีการเพิ่มขึ้นของแรงอยู่แต่มีความชันที่ลดลง จนถึงในช่วงปลายถึงจะมีแรงที่เริ่มคงที่ ซึ่งไม่เหมือนกราฟก่อนหน้านี้ เนื่องจากแรงที่เกิดขึ้นระหว่างการทดลองนั้นคงที่เข้ามา ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากการเกิด Hardening โดยการเกิด Hardening นั้นจะเกิดขึ้นเมื่อ Ballast หรือหินรองรางถูกแรงบีบอัดจากการเคลื่อนที่ของหมอนรองรางรถไฟ ซึ่งจะทำให้สามารถรองรับแรงได้มากขึ้น โดยหินรองรางจะเกิดการจัดเรียงอนุภาคหินใหม่ เนื่องจากมีการเคลื่อนที่ของหินในขณะที่เกิดการเคลื่อนที่ของหมอนไปพร้อม ๆ กัน ซึ่งทำให้วัสดุเพิ่มความหนาแน่นและความต้านทานการเคลื่อนที่มากขึ้น ทำให้แรงต้านทานมีค่าที่เพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ

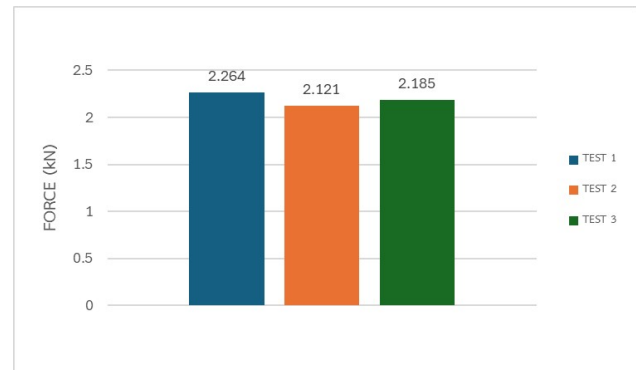
ในการทดสอบหาค่าแรงต้านทาน Lateral Resistance ของหมอนรองราง โดยใช้หินรองทาง (Ballast) เป็นวัสดุที่รองรับการเคลื่อนที่ในแนวราบนั้น ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อแรงต้านทานคือ กระบวนการ hardening ของ Ballast ซึ่งเป็นการเพิ่มความแน่นของวัสดุเมื่อได้รับแรงกระทำอย่างต่อเนื่อง และการเกิด Hardening จะส่งผลให้การทดสอบมีลักษณะการขึ้นของแรงที่ต่อเนื่อง และไม่เกิดจุดพีกหรือจุดสูงสุดของแรงต้านทานที่ชัดเจน และในการทดสอบนี้นั้นการเกิด Hardening จะเป็นแบบ Plastic Hardening เพราะหินรองทาง (Ballast) ถูกบีบอัดจนเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างอย่างถาวร ทำให้หินรองรางมีความสามารถในการต้านทานการเคลื่อนที่ได้มากขึ้นเรื่อย ๆ ซึ่งทำให้แรงต้านทานสูงขึ้นเรื่อย ๆ



รูปที่ 16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรง (Force) กับระยะการเคลื่อนที่ของหมอนรองรางรถไฟ (Displacement of Sleeper) ในการทดลองทั้งหมด 3 ครั้ง ของหมอนรองรางรถไฟไผ่ (Bamboo Sleeper)

จากกราฟด้านบน จะเห็นว่ากราฟจากการทดลองทั้ง 3 ครั้ง เป็นไปในแนวทางเดียวกัน คือในช่วงต้นกราฟจะมีการเพิ่มขึ้นของ

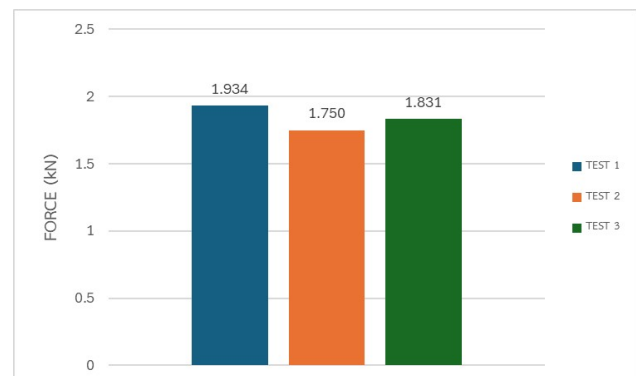
แรงที่มาก หลังจากนั้นเมื่อแรงต้านทานถึงจุดสูงสุด ค่าแรงต้านทานนั้นจะคงที่ไปเรื่อย ๆ โดยกราฟของหมอนรองรางรถไฟไผ่นั้นในกรณีนี้จะมีลักษณะไม่เหมือนกับหมอนรองรางรถไฟคอนกรีต ซึ่งอาจเกิดจากการที่หมอนรองรางรถไฟคอนกรีตมีการเกิด Hardening อย่างเห็นได้ชัดจากกราฟ ในขณะที่หมอนรองรางรถไฟไผ่นั้น อาจมีการเกิด Hardening เหมือนกัน แต่อาจเกิดน้อยกว่าหรือน้อยมากจนไม่สามารถสังเกตเห็นได้จากกราฟ



รูปที่ 17 กราฟแท่งแสดงแรง (Force) จากการทดลองทั้ง 3 ครั้ง ของหมอนรองรางรถไฟคอนกรีต (Concrete Sleeper)

จากกราฟด้านบน จะได้แรงเฉลี่ยจากการทดลองทั้ง 3 ครั้ง อยู่ที่ 2.19 kN ซึ่งแรงที่ได้จากการทดลองจะเปรียบเสมือนแรงต้านทานที่เกิดขึ้นทั้งหมดของหมอนรองรางรถไฟ โดยแรงต้านทานนี้จะสามารถนำมาคำนวณหาค่าแรงต้านทานที่เกิดขึ้นจากหินรองทางทางด้านปลายของหมอนรองรางรถไฟ (Shoulder) ได้ โดยมีข้อมูลจากการทดลองก่อนหน้านี้เป็นตัวช่วยคือ แบบไม่มีหินรองทางทางด้านข้าง ซึ่งมีผลการทดลองที่ให้ค่าแรงต้านทานอยู่ที่ 936 นิวตัน และแบบมีหินรองทางทางด้านข้าง ซึ่งมีผลการทดลองที่ให้ค่าแรงต้านทานอยู่ที่ 936 นิวตัน และผลการทดลองทั้งหมดในแนวราบจากการทดลองนี้พบว่าแรงต้านทั้งหมดอยู่ที่ 2190 นิวตัน โดยจะสามารถแยกองค์ประกอบของแรงต้านได้ดังนี้

1. แรงจากน้ำหนักของหมอนเอง: 936 นิวตัน
2. แรงจาก Crib ด้านข้าง: 936 นิวตัน
3. แรงจาก Shoulder ด้านปลาย: 318 นิวตัน



รูปที่ 18 กราฟแท่งแสดงแรง (Force) จากการทดลองทั้ง 3 ครั้ง ของหมอนรองรางรถไฟไผ่ (Bamboo Sleeper)

จากกราฟด้านบน จะได้แรงเฉลี่ยจากการทดลองทั้ง 3 ครั้ง อยู่ที่ 1.838 kN ซึ่งแรงที่ได้จากการทดลองจะเปรียบเสมือนแรงต้านทานที่

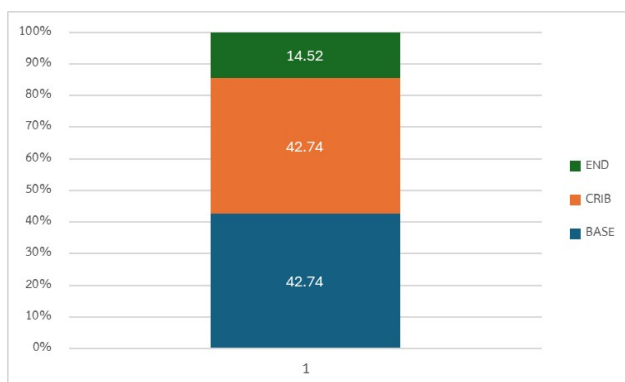
เกิดขึ้นทั้งหมดของหมอนรองรางรถไฟ โดยแรงด้านทานนี้จะสามารถนำมาคำนวณหาค่าแรงด้านทานที่เกิดขึ้นจากหินรองทางทางด้านปลายของหมอนรองรางรถไฟ (Shoulder) ได้ โดยมีข้อมูลจากการทดลองก่อนหน้านี้เป็นตัวช่วยคือ แบบมีหินรองทางทางด้านข้าง ซึ่งมีผลการทดลองที่ให้ค่าแรงด้านทานอยู่ที่ 926 นิวตัน และผลการทดลองดึงหมอนในแนวราบจากการทดลองนี้พบว่าแรงด้านข้างทั้งหมดอยู่ที่ 1838 นิวตัน โดยจะสามารถแยกองค์ประกอบของแรงด้านข้างดังนี้

1. แรงจาก Crib ด้านข้างและน้ำหนักของหมอน: 926 นิวตัน
2. แรงจาก Shoulder ด้านปลาย: 912 นิวตัน

จากกราฟที่ได้ในการทดลองกรณีมีหินรองทางล้อมรอบหมอนรองรางรถไฟทั้งแบบคอนกรีตและไม้ไผ่ นั้น ปัจจัยสำคัญของการทดลองนี้อยู่ที่การเกิด Hardening ของหินที่ทำให้กราฟของแรงด้านทานมีรูปแบบที่ไม่เหมือนกัน และไม่เหมือนกับกรณีการทดลองอื่น ๆ โดยการเกิด Hardening จะส่งผลเป็นอย่างมาก สังเกตได้จากกราฟที่ได้จากการทดลองของหมอนรองรางรถไฟคอนกรีต

5.4 การวิเคราะห์ข้อมูลภาพรวมทั้งหมด

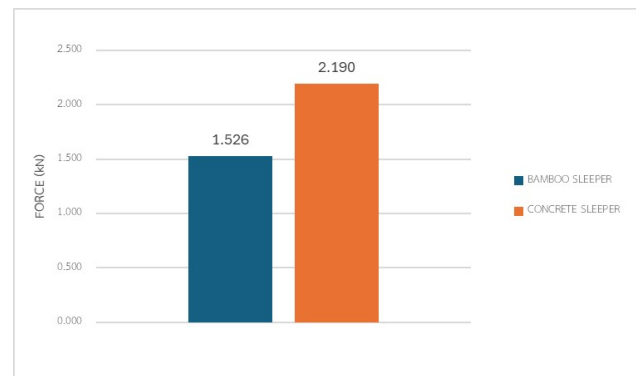
จากข้อมูลทั้งหมดข้างต้น จะเห็นว่าแรงด้านทานของหมอนรองรางรถไฟนั้น ไม่ว่าจะในหมอนรองรางรถไฟคอนกรีต (Concrete Sleeper) หรือหมอนรองรางรถไฟไม้ไผ่ (Bamboo Sleeper) จะสามารถแบ่งแรงด้านทานได้ 3 ส่วนเหมือนกัน ได้แก่ แรงด้านทานที่เกิดจากด้านใต้หมอนรองรางรถไฟ (Bottom) แรงด้านทานที่เกิดจากหินรองทางทางด้านข้างของหมอนรองรางรถไฟ (Crib) และแรงด้านทานที่เกิดจากหินรองทางทางด้านปลายของหมอนรองรางรถไฟ (Shoulder) โดยในแต่ละส่วนจะมีแรงด้านทานที่เกิดขึ้นไม่เท่ากัน และแรงด้านทานที่เกิดขึ้นในแต่ละส่วนนั้นเกิดจากสาเหตุที่ต่างกันออกไป โดยเราจะสามารถแบ่งสัดส่วนเปอร์เซ็นต์แรงด้านทานที่เกิดขึ้นจากแต่ละส่วนนั้นได้ดังกราฟด้านล่างนี้



รูปที่ 19 กราฟแท่งแสดงสัดส่วนแรงด้านทานจากส่วนต่าง ๆ ของหมอนรองรางรถไฟแบบคอนกรีต (Concrete Sleeper)

จากกราฟด้านบนนั้นจะเห็นว่าสัดส่วนของแรงด้านทานที่เกิดขึ้นจากแต่ละส่วนนั้นมีค่าไม่เท่ากัน โดยค่าแรงด้านทานที่มากที่สุดได้แก่ ในส่วนของ Crib และ Bottom คิดเป็น 42.74% และรองลงมาได้แก่ ส่วนของ Shoulder คิดเป็น 14.52% โดยค่าที่ได้นั้นถือว่ามีค่าใกล้เคียงกับค่าในทางทฤษฎี โดยปกติแล้วจะมีค่าแรงด้านทานที่เกิดจากหินรองทางทางด้านข้างมากที่สุด อยู่ที่ประมาณ 50 – 65 % รองลงมาได้แก่ แรงด้านทานที่เกิดจากหินรองทางทางด้านปลายของ

หมอนรองรางรถไฟ ประมาณ 25 – 35 % และน้อยที่สุดได้แก่ แรงด้านทานที่เกิดจากใต้หมอน ประมาณ 10 – 15 % โดยในการทดลองนั้นค่าที่ได้มากที่สุดได้แก่ แรงด้านทานที่เกิดจากหินรองทางทางด้านข้างของหมอนรองรางรถไฟ ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎี แต่แรงด้านทานที่เกิดจากใต้หมอนนั้นมีค่ามากกว่าปกติ เนื่องจากอาจเกิดหินรองทางด้านใต้หมอนมีการบดอัดที่ดีกว่า ทำให้สามารถรับแรงด้านทานได้มากขึ้น และในส่วนของแรงด้านทานจากหินรองทางทางด้านปลายของหมอนรองรางรถไฟมีค่าน้อยกว่าทฤษฎีเล็กน้อย อย่างไรก็ตามแรงด้านทานที่เกิดขึ้นนั้นมีค่ารวมทั้งหมอนประมาณ 2200 นิวตัน ซึ่งได้มาตรฐานตามการรถไฟแห่งประเทศไทย ซึ่งกำหนดไว้อยู่ที่ 1500 – 2500 นิวตัน ในหมอนรองรางรถไฟคอนกรีต



รูปที่ 20 กราฟเปรียบเทียบแรงด้านทานในหมอนรองรางรถไฟแบบคอนกรีต (Concrete Sleeper) และหมอนรองรางรถไฟแบบไม้ไผ่ (Bamboo Sleeper)

จากกราฟด้านบน การเปรียบเทียบค่าแรงด้านทานในหมอนรองรางรถไฟแบบคอนกรีต (Concrete Sleeper) และหมอนรองรางรถไฟแบบไม้ไผ่ (Bamboo Sleeper) จะเห็นว่าค่าแรงด้านทานในหมอนรองรางรถไฟแบบไม้ไผ่คิดเป็นประมาณ 70 % ของค่าแรงด้านทานในหมอนรองรางรถไฟแบบคอนกรีต ซึ่งถือว่าไม่ได้น้อยกว่ากันมากหากดูจากคุณสมบัติซึ่งสิ่งที่แตกต่างอย่างมากของหมอนรองรางรถไฟทั้ง 2 แบบนี้คือในเรื่องน้ำหนักของหมอน ซึ่งหมอนรองรางรถไฟแบบไม้ไผ่น้ำหนักเพียง 80 กิโลกรัม ในขณะที่หมอนรองรางรถไฟแบบคอนกรีตมีน้ำหนักมากถึง 200 กิโลกรัม ซึ่งหมอนรองรางรถไฟแบบไม้ไผ่น้ำหนักเพียง 40 % ของหมอนรองรางรถไฟแบบคอนกรีต แต่ยังสามารถให้ค่าแรงด้านทานที่สูงถึง 70 % เทียบกับหมอนรองรางรถไฟแบบคอนกรีต และค่าแรงด้านทานที่ได้นั้นยังถือว่าอยู่ในมาตรฐานของการรถไฟแห่งประเทศไทย ซึ่งสามารถนำไปใช้งานได้

6 สรุปผลการศึกษา

6.1 สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาค่าแรงด้านทานที่เกิดขึ้นในหมอนรองรางรถไฟ 2 แบบ ระหว่างหมอนรองรางรถไฟแบบคอนกรีต (Concrete Sleeper) และหมอนรองรางรถไฟแบบไม้ไผ่ (Bamboo Sleeper) โดยจากการทดลองจะพบว่าค่าแรงด้านทานที่แตกต่างกัน ซึ่งค่าแรงด้านทานที่แตกต่างกันนั้น มีมาจากหลากหลายสาเหตุ ทั้งคุณสมบัติของหมอนรองรางรถไฟที่แตกต่างกัน ไม่ว่าจะเป็นในเรื่องของน้ำหนักของหมอนรองรางรถไฟ หรือขนาดความกว้าง ยาว สูง

ของหมอนรองรางรถไฟ และอีกหลากหลายคุณสมบัติ โดยในการทดลองนี้จะเน้นไปที่ค่าแรงต้านทานทางด้านข้างของหมอนรองรางรถไฟ (Lateral Resistance) โดยจากการทดลองจะได้ค่าแรงต้านทานของหมอนรองรางรถไฟคอนกรีตอยู่ที่ 2200 นิวตัน และค่าแรงต้านทานของหมอนรองรางรถไฟแบบไม้ไผ่อยู่ที่ 1500 นิวตัน ซึ่งแรงต้านทานที่ต่างกันเป็นผลมาจากหลากหลายอย่าง และค่าแรงต้านทานที่เกิดขึ้นนั้นจะประกอบไปด้วยแรงต้านทานจาก 3 ส่วน ได้แก่ แรงต้านทานจากใต้หมอน แรงต้านทานจากหินรองรางทางด้านข้าง และแรงต้านทานจากหินรองรางทางด้านปลาย ซึ่งในแต่ละส่วนนั้นมีค่าแรงต้านทานที่แตกต่างกันออกไป โดยในการทดลองนี้มุ่งเน้นไปที่การเปรียบเทียบค่าแรงต้านทานของหมอนรองรางรถไฟทั้ง 2 แบบ โดยมุ่งการศึกษาไปที่ค่าแรงต้านทานของหมอนรองรางรถไฟทั้ง 2 แบบ โดยมุ่งการศึกษาไปที่ค่าแรงต้านทานของหมอนรองรางรถไฟแบบไม้ไผ่มีค่าเทียบเท่าหรือใกล้เคียงหมอนรองรางรถไฟแบบคอนกรีตหรือไม่ ซึ่งจากการทดลองนั้น จะเห็นว่าค่าแรงต้านทานที่ได้จากหมอนรองรางรถไฟแบบไม้ไผ่มีค่าประมาณ 70 % ของหมอนรองรางรถไฟแบบคอนกรีต ซึ่งหากเทียบกันค่ามาตรฐานของแรงต้านทานทางด้านข้างของการรถไฟแห่งประเทศไทยนั้น จะพบว่าค่าแรงต้านทานที่ได้จากการทดลองนั้นนั้น ผ่านมาตรฐานของการรถไฟแห่งประเทศไทย ซึ่งสามารถนำไปใช้ทดแทนได้ในอนาคต แต่อย่างไรก็ตาม ยังต้องมีการศึกษาถึงข้อดีข้อเสียของหมอนรองรางรถไฟไม้ไผ่ อีกมาก ไม่ว่าจะเป็นในเรื่องของอายุการใช้งาน ความทนทานของวัสดุ ราคา และอีกมากมาย ซึ่งจะต้องมีการศึกษาอย่างละเอียดเพิ่มเติม ในการศึกษาครั้งนี้เพียงจะลึกไปที่การศึกษาค่าแรงต้านทานทางด้านข้างของหมอนรองรางรถไฟเท่านั้น

6.2 ข้อเสนอแนะ

ในงานทางรถไฟแบบหินโรย (Ballasted track) แรงต้านทานด้านข้างเป็นสิ่งที่สำคัญเนื่องจากส่งผลต่อความมั่นคงของโครงสร้างทางรถไฟเมื่อรถไฟวิ่งด้วยความเร็วที่สูง หรือจังหวะที่รถไฟกำลังเข้าโค้ง จะทำให้เกิดแรงเหวี่ยงจากการเข้าโค้ง หรือ แรงเบรคที่มาจากตัวรถไฟ ซึ่งถ้าหากแรงต้านทานด้านข้างมีไม่มากพออาจจะทำให้ส่งผลต่อโครงสร้างทางรถไฟ ซึ่งจะนำไปสู่การเคลื่อนตัวของแนวราง หรือ อาจจะทำให้เกิดการเสียรูปของโครงสร้างทางรถไฟ ดังนั้นในงานทางรถไฟแบบหินโรยการเสริมแรงต้านข้างนั้นเป็นสิ่งจำเป็น หากมีการออกแบบที่ดีจะทำให้โครงสร้างนั้นปลอดภัย รวมถึงสามารถยืดอายุการใช้งานได้อีกด้วย

โดยแรงต้านทานด้านข้างนั้นเกิดขึ้นจากหลายปัจจัยไม่ว่าจะเป็นน้ำหนักของหมอนรองราง ชนิดของหินโรยที่นำมาใช้งาน อุณหภูมิ และที่สำคัญเป็นอย่างยิ่งคือแรงเสียดทาน ซึ่งการเพิ่มระยะ crib หรือ shoulder อาจจะไม่ใช่วิธีเดียวที่จะเพิ่มแรงต้านทานด้านข้าง แต่ถ้ามองมิติอื่นๆ ไม่ว่าจะเป็นการเพิ่มผิวสัมผัสระหว่างหินโรยและหมอนรองรางรถไฟจะทำให้ผิวสัมผัสมากขึ้นซึ่งจะส่งผลต่อแรงเสียดทานระหว่างหินโรยและหมอนรองรางที่มากขึ้น หรือจะเป็นการปนเปื้อนของหินโรยซึ่งหินโรยที่มีการปนเปื้อนของเศษฝุ่น หรือ ยี่ไส้ผงต่าง ๆ จะทำให้ประสิทธิภาพของการต้านทานแรงต้านข้างลดลง รวมถึงวิธีพืชต่าง ๆ ที่ขึ้นมาตามทางรถไฟก็จะส่งผลต่อแรงเสียดทาน และจะนำไปสู่การลดประสิทธิภาพของการต้านทานแรงต้านข้างด้วย

เช่นกัน ชนิดของหมอนรองรางไฟก็ส่งผลต่อแรงต้านทานด้านข้างด้วยเช่นกันเพราะวัสดุแต่ละชนิดมีน้ำหนักไม่เท่ากัน

การเพิ่มแรงต้านทานด้านข้างของหมอนรองในทางรถไฟแบบหินโรยสามารถทำได้ผ่านการเลือกใช้หมอนที่มีประสิทธิภาพสูง การเพิ่มความแน่นของชั้นหินโดยรอบหมอน และการบำรุงรักษาอย่างต่อเนื่อง ซึ่งจะช่วยเพิ่มเสถียรภาพของแนวทาง และส่งเสริมความปลอดภัยในการเดินรถ

7 เอกสารอ้างอิง

- [1] Kaewunruen S, Remennikov AM. Non-destructive testing (NDT): A tool for dynamic health monitoring of railway track structures. Mater Aust 2006;39(6).
- [2] Remennikov AM, Kaewunruen S. A review on loading conditions for railway track structures due to train and track vertical interaction. Struct Control Health Monit 2008;15:207–34.
- [3] Indraratna B, Rujikiatkamjorn C, Salim W. advanced rail geotechnology – ballasted track. London, UK: CRC Press; 2011.
- [4] Johansson A, Nielsen JCO, Bolmsvik R, Karlström A. Under sleeper pads – influence on dynamic train-track interaction. Wear 2008;265:1479–687.
- [5] International Union of Railway, USP Report, Under sleeper pads, Project no. I/05/U/440, Summarizing report; 2009.
- [6] Charoenwong, C., Connolly, D. P., Colcao, A., Alvea Costa, P., Woodward, P. K., Romero, A., & Galvin, P. (2023). Railway slab vs ballasted track: A comparison of track geometry degradation. Construction and Building Materials, 378, 131121. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.131121>
- [7] Zakeri, J.-A., Mirfattahi, B., & Fakhari, M. (2012). Lateral resistance of railway track with frictional sleepers. Proceedings of the institution of Civil Engineers – Transport, 165(2), 151155. <https://doi.org/10.1680/tran.2012.165.2.151>
- [8] Ngamkhanong, C., Kaewunruen, S., & Baniotopoulos, C. (2021). Influences of ballast degradation on railway track buckling. Engineering Failure Analysis, 122, 105252. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2021.105252>