

การศึกษาแรงกระทำต่อชุดล้อเลื่อนรถไฟในแนวตั้ง

รัชศักดิ์ สระทองอ่อน^{1*} และ เทอดเกียรติ ลิ้มปิติปราการ²

¹แผนกวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคกาญจนาภิเษก ตำบลปากแพรก อำเภอเมือง จังหวัดกาญจนบุรี 71000

²ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110

*ratcha-m@hotmail.com

บทคัดย่อ

การจัดทำวิทยานิพนธ์ในหัวข้อการศึกษาแรงกระทำต่อชุดล้อเลื่อนรถไฟในแนวตั้ง ในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาวิธีการวัดและวิเคราะห์แรงกระทำต่อชุดล้อเลื่อนรถไฟ ประเมินค่าความปลอดภัยในการรับภาระโหลดที่กระทำต่อล้อรถไฟในสภาวะปกติ และสภาวะโหลดสูงสุด

การวัด และวิเคราะห์แรงกระทำต่อชุดล้อเลื่อนรถไฟ ได้สร้างรถไฟจำลองขึ้นมาโดยเลือกวัสดุเป็นเหล็ก AISI 1020 ซึ่งมีคุณสมบัติของวัสดุใกล้เคียงกับชุดล้อรถไฟ ในการทดลองสามารถแบ่งออกได้ 2 กรณี ในกรณีแรกจะทำการวัดขณะที่รถไฟจำลองหยุดนิ่ง จะมีวิธีการวัด 2 แบบคือวิธีการวัดความเครียดและการวัดความเร่ง โดยมีการเปรียบเทียบกับทางทฤษฎีทั้งวิธีการคำนวณและการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ ส่วนกรณีที่สองจะทำการวัดขณะที่รถไฟจำลองเคลื่อนที่จะอาศัยวิธีการวัดแรงกระทำต่อชุดเพลาล้อรถไฟแบบความเร่ง ในแนวตั้งเท่านั้น

จากผลการทดลองในขณะรถไฟจำลองหยุดนิ่งพบว่า แรงกระทำในแนวตั้งที่กระทำต่อชุดล้อรถไฟจากการวัดความเครียด จากการวัดแบบรถไฟจำลอง การวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ และการคำนวณทางทฤษฎี คือ 73.48 นิวตัน 74.98 นิวตัน และ 73.58 นิวตัน ตามลำดับ แรงในแนวตั้งที่กระทำต่อชุดล้อรถไฟจำลองจากการวัดแรงกระทำเนื่องจากความเร่งในขณะรถไฟเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเฉลี่ย 0.84 เมตรต่อวินาที จากการวัดแบบรถไฟจำลอง และการคำนวณทางทฤษฎี คือ 71.4 นิวตัน และ 73.58 นิวตัน ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบแรงกระทำในแนวตั้งที่เกิดจากการวัดมีค่าใกล้เคียงกับทางทฤษฎี และจากผลการทดลองในขณะรถไฟจำลองเคลื่อนที่พบว่า ในทางตรงรถไฟจำลองมีความเร็ว 0.84 เมตรต่อวินาที และมีแรงกระทำในแนวตั้งสูงสุดคือ 133.33 N ทั้งนี้จากการทดลองข้างต้น สามารถนำไปเป็นแนวทางและวิธีการวัดแรงกระทำของชุดล้อรถไฟ เพื่อประเมินค่าความปลอดภัยในการรับภาระโหลดเทียบกับค่ามาตรฐานในการรับภาระโหลดสูงสุดของล้อรถไฟแต่ละล้อ ทั้งในด้านการซ่อมบำรุงและการตรวจสอบล้อของผู้ผลิตได้ การวัดแรงกระทำในแนวตั้งด้วยวิธีการวัดแรงกระทำแบบ Convention method เป็นการวัดแรงกระทำในแนวตั้งโดยการติดตั้ง Strain gauge มีข้อดีคือสามารถวัดค่าการเปลี่ยนแปลงความต้านทานไฟฟ้า และนำกลับมาแปลงเป็นแรงกระทำที่เกิดขึ้นในแนวตั้งได้ความแม่นยำสูง และข้อเสียคือในการทดสอบการใช้งานจริงจะทำได้เพียงในขณะหยุดนิ่งเท่านั้น เนื่องจากข้อจำกัดของเครื่องมือวัด

คำสำคัญ: แรงกระทำในแนวตั้ง, ความสัมพันธ์ระหว่างล้อและราง, แรงกระทำต่อโบกี้และชุดล้อเลื่อนรถไฟ

บทนำ

ในการผลิต การซ่อมบำรุง หรือสร้างหัวรถจักรหรือขบวนรถไฟใหม่นั้น ก่อนการนำมาใช้งานจำเป็นจะต้องได้รับการทดสอบก่อนเสมอไม่ว่าจะเป็นการทดสอบทั้งตัวรถ การทดสอบอุปกรณ์หลักหรือแม้แต่ชิ้นส่วนต่างๆก่อนการประกอบ โบกี้รถไฟก็เช่นเดียวกันสำหรับการทดสอบโบกี้รถไฟนั้นแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ การทดสอบแบบสถิตยศาสตร์ (static testing) และการทดสอบแบบพลศาสตร์ (dynamic testing) โดยการทดสอบแบบสถิตยศาสตร์เน้นใส่แรงกระทำสูงสุดที่อาจเกิดขึ้นได้กับโบกี้รถไฟ (exceptional load condition) โดยที่โบกี้จะต้องไม่โก่งตัว (deflection) จนไม่สามารถทำงานตามหน้าที่ได้ หรือวัสดุไม่เกิดการยืดตัวอย่างถาวร (permanence deformation) หลังจากปล่อยแรงกระทำออก ในขณะที่การทดสอบแบบพลศาสตร์จะเน้นใส่แรงกระทำที่เกิดขึ้นในสภาวะ

ปกติ (service load condition) โดยที่โบกี้ต้องไม่เกิดการเสียหายเนื่องจากความล้า (fatigue failure) (Railway Applications-Wheelsets and Bogies, 2011)

สำหรับโบกี้รถไฟที่พัฒนาหรือผลิตขึ้นใหม่จะต้องผ่านการทดสอบทั้งหมด 3 ขั้นตอนคือ การทดสอบแบบสถิตยศาสตร์ (static tests) การทดสอบความล้า (fatigue tests) และการทดสอบบนทางวิ่งรถไฟ (on-track tests) (Seo et al. 2017; Manea et al. 2015) แต่สำหรับกรณีโบกี้รถไฟที่ผ่านการซ่อมบำรุงตามวาระก่อนนำกลับไปติดตั้งจะทำการทดสอบแบบสถิตยศาสตร์เท่านั้นเพื่อประหยัดเวลา โดยการทดสอบมีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นจากการถอดประกอบและเปลี่ยนอุปกรณ์ต่างๆ โดยการทดสอบจะเน้นที่การตรวจสอบความสมดุลของแรงกระทำที่ชุดล้อรถไฟ การทดสอบความแข็งแรงของสปริงและรั้วซี่ของโช้คอัพของชุดรองรับน้ำหนัก ความเสียหายเหล่านี้ถ้าปล่อยให้เกิดถึงขั้นรุนแรงก็อาจส่งผลกระทบต่อโครงร่างได้

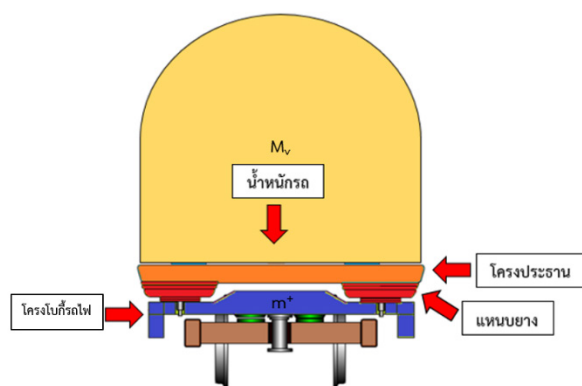
บทความนี้เน้นการนำเสนอวิธีการวัดความเครียดและการวัดความเร่ง โดยมีการเปรียบเทียบกับทางทฤษฎีทั้งวิธีการคำนวณและการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ ส่วนกรณีที่สองจะทำการวัดขณะที่รถไฟจำลองเคลื่อนที่จะอาศัยวิธีการวัดแรงกระทำต่อชุดเพลาล้อรถไฟแบบความเร่ง ในแนวตั้ง ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบเครื่องทดสอบชุดล้อรถไฟที่ผ่านการซ่อมบำรุงตามวาระ หรือผลิตขึ้นใหม่ได้

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อหาแนวทางและวิธีการวัดแรงกระทำของชุดล้อรถไฟ
2. เพื่อเปรียบเทียบวิธีการวัดแรงกระทำของเพลาล้อของชุดล้อรถไฟ

โบกี้รถไฟ

โบกี้รถไฟ (bogie) คือ ส่วนที่รองรับตัวรถไฟ (car body) ของรถจักร (locomotive) ตู้รถโดยสาร (coach) หรือตู้สินค้า (wagon) ซึ่งถูกออกแบบมาเพื่อให้ตู้รถไฟโดยจะมีแนบยางเป็นจุดรองรับน้ำหนักของตัวขบวนรถไฟ (car body) โบกี้รถไฟสามารถแบ่งตามประเภทของการผลิตได้ 2 รูปแบบ คือ โบกี้ที่หล่อขึ้นรูปทั้งชิ้นและโบกี้ที่นำชิ้นส่วนมาประกอบเข้าด้วยกัน โดยแบบหลังจะมีน้ำหนักเบากว่า



รูปที่ 1 ตำแหน่งของโบกี้รถไฟและส่วนประกอบ

นอกจากนี้ โบกี้ไฟยังแบ่งออกได้เป็น 7 ชนิด (Railway Applications-Wheelsets and Bogies, 2011) ตามมาตรฐาน EN13749 ซึ่งเป็นมาตรฐานที่กำหนดความต้องการทางโครงสร้างของโบกี้รถไฟ ซึ่งโบกี้แต่ละแบบก็สามารถรับแรงกระทำได้มากน้อยต่างกัน ดังนี้

1. โบกี้ตู้รถโดยสารสำหรับรถไฟทางไกลหรือระหว่างเมือง (bogies for main line and inter-city passenger)
2. โบกี้ตู้รถโดยสารสำหรับรถไฟชานเมือง (bogies for inner and outer suburban passenger)
3. โบกี้สำหรับรถไฟฟ้ามหานคร (bogies for metro and rapid transit)
4. โบกี้สำหรับรถไฟฟ้ามหานคร (bogies for light rail vehicles and trams)
5. โบกี้ตู้สินค้าแบบรองรับน้ำหนัก 1 ชั้น (bogies for bogies for freight rolling stock with single-stage suspensions)

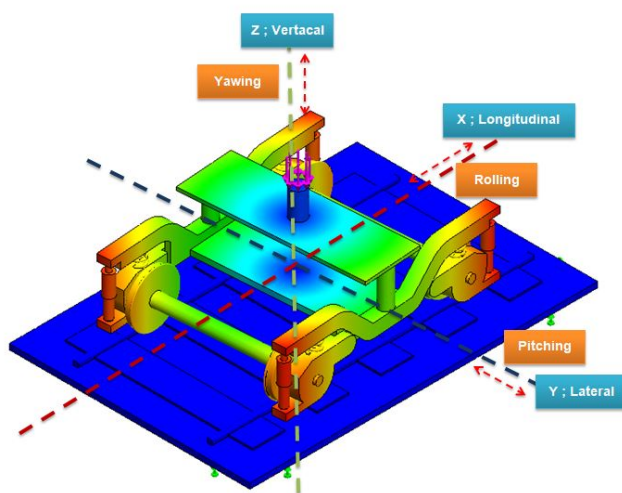
6. โบกี้สินค้าแบบรองรับน้ำหนัก 2 ชั้น (bogies for freight rolling stock with two-stage suspensions)

7. โบกี้หัวรถจักร (bogies for locomotives)

ในบทความนี้จะเน้นศึกษาเฉพาะโบกี้รถไฟในเมืองและโบกี้ตู้รถโดยสารของรถไฟชานเมืองเท่านั้น

นิยามของ Degree of Freedom ของรถไฟ

การอธิบายแรงกระทำต่อโบกี้รถไฟนั้นจำเป็นต้องเข้าใจวิธีการเรียกลักษณะการเคลื่อนตัวของโบกี้รถไฟก่อนซึ่งมีอยู่ทั้งหมด 6 ลักษณะโดยแบ่งเป็น การเคลื่อนที่เชิงเส้น 3 ตัวและการเคลื่อนที่เชิงมุม 3 ตัว ซึ่งประกอบด้วย การเคลื่อนที่เชิงเส้นตามแนวแกน X หรือในทิศทางการวิ่งของรถไฟ (longitudinal) การเคลื่อนที่เชิงเส้นตามแนวแกน Y หรือในทิศทางขวาง (lateral) การเคลื่อนที่เชิงเส้นตามแนวแกน Z หรือในทิศทางในแนวตั้ง (vertical) การเคลื่อนที่เชิงมุมรอบแกน X หรือหมุนรอบแกน X (rolling) การเคลื่อนที่เชิงมุมรอบแกน Y หรือหมุนรอบแกน Y (pitching) และการเคลื่อนที่เชิงมุมรอบแกน Z หรือหมุนรอบแกน Z (yawing) (นคร จันทรศร, 2559)



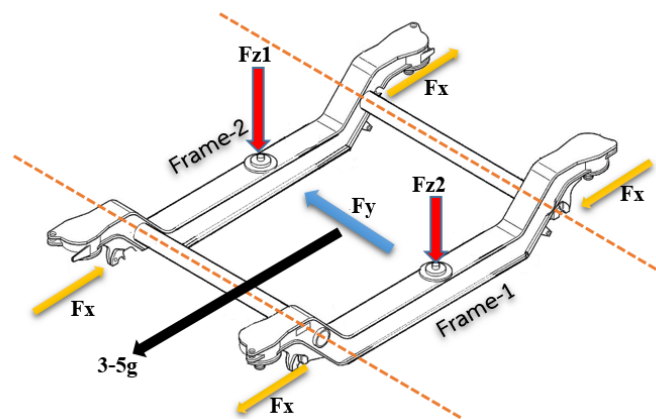
รูปที่ 2 degree of freedom ของโบกี้รถไฟ

แรงกระทำที่ใช้ในการออกแบบโบกี้รถไฟ

แรงกระทำ (load) ต่อโบกี้รถไฟมาจาก 2 ส่วนใหญ่คือ แรงกระทำจากภายนอกและแรงกระทำจากภายใน (external and internal loads) โดยแรงกระทำจากภายนอกประกอบด้วย แรงที่เกิดจากการวิ่งบนทางรถไฟ (running on track) เช่น แรงกระทำในแนวตั้งเนื่องจากน้ำหนักของตัวรถ (vehicle load) แรงกระทำด้านข้างที่เกิดขึ้นขณะวิ่งทางตรงและทางโค้งหรือขณะวิ่งผ่านประแจ (transverse forces on curves or points and crossings) แรงกระทำลักษณะบิดตัวที่เกิดจากรถไฟวิ่งไปเจอรางรถไฟที่มีการบิดตัว (twisted track) แรงกระทำจากลากจูง (shunting load) แรงกระทำตามแนวยาวเนื่องจากการออกตัวหรือหยุด (starts/stops) แรงกระทำจากการยกโบกี้ขึ้นลงในขณะซ่อมบำรุง (lifting and jacking) ส่วนแรงจากภายในนั้นเกิดจากผลของการติดตั้งหรือทำงานของอุปกรณ์ที่ติดกับโบกี้รถไฟ เช่น ชุดเบรก มอเตอร์ แรงเฉื่อยที่เกิดจากน้ำหนัก (Railway Applications-Wheelsets and Bogies, 2011)

สำหรับการพัฒนาหรือออกแบบโบกี้ใหม่นั้น แรงกระทำที่ใช้ในการทดสอบจะจำแนกออกเป็น 5 กรณี (Railway Applications-Requirement for Bogies and Running Gears, 2011) ดังนี้

1. แรงกระทำในแนวตั้ง (vertical load, F_z)
2. แรงกระทำด้านข้าง (lateral load, F_y)
3. แรงกระทำลักษณะบิดตัว (twist load, TW)
4. แรงกระทำจากลากจูง (shunting load, 3-5g)
5. แรงกระทำตามแนวยาว (longitudinal load, F_x)



รูปที่ 3 แรงกระทำที่ใช้ในการออกแบบโบกี้รถไฟ

ตัวแปรที่ใช้ออกแบบเครื่องทดสอบโบกี้รถไฟ

ตารางที่ 1 แสดงข้อมูลของแรงกระทำบนเพลาล้อ (axle load) ระยะห่างระหว่างเพลาล้อ (wheelbase) และระยะห่างระหว่างรางรถไฟ (track gauge) ซึ่งเป็นตัวแปรที่ใช้หาแรงกระทำต่อโบกี้รถไฟ ในขณะที่ ตารางที่ 2 แสดงตัวแปรมิติซึ่งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงแรงกระทำต่อโบกี้รถไฟโดยเฉพาะโบกี้ที่ผ่านการซ่อมบำรุงตามวาระก่อนนำออกไปใช้งาน รูปที่ 4 และ 5 แสดงรูปแบบของจุดรับแรงกระทำในแนวตั้งสำหรับโบกี้ไฟฟ้าขานเมืองและรถไฟขานเมืองซึ่งถึงแม้ว่าจะมีความแตกต่างกันในส่วนประกอบแต่จุดให้แรงกระทำมี 2 จุดเหมือนกัน

ตารางที่ 1 ข้อมูลเปรียบเทียบระหว่างโบกี้ไฟฟ้าขานเมืองกับโบกี้ไฟฟ้าในเมือง (Siemen Mobility, 2011)

พารามิเตอร์	รถไฟฟ้าขานเมือง	รถไฟฟ้าในเมือง
Vehicle Speed	200 km/hr	80 km/hr
Axle load	18.5 t	16.2 t
Wheelbase	2,600 mm.	2,300 mm.
Track gauge	1,435 mm.	1,435 mm.
Wheel diameter	850 mm.	850 mm.
Bogie height	915 mm.	925 mm.



รูปที่ 4 ตำแหน่งแรงกระทำต่อโบกี้รถไฟฟ้าในเมือง (บริษัท รถไฟฟ้า ร.ฟ.ท จำกัด, 2558)



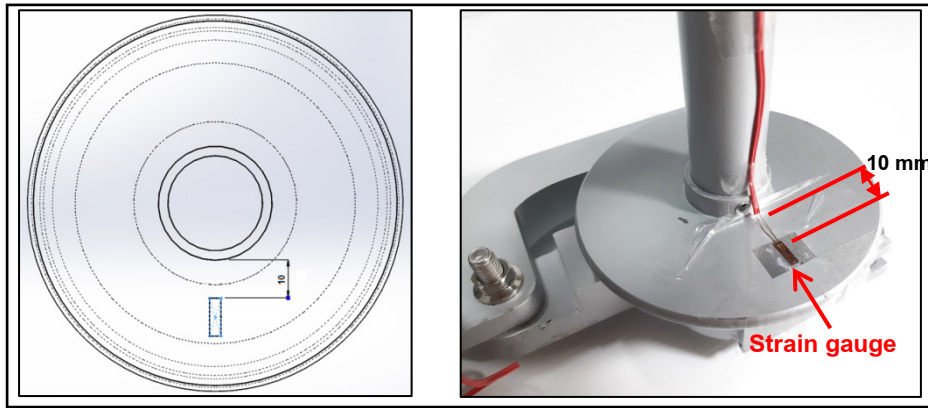
รูปที่ 5 ตำแหน่งแรงกระทำต่อโบกี้รถไฟฟ้าในเมือง (บริษัท รถไฟฟ้ากรุงเทพ จำกัด (มหาชน), 2558)

ตารางที่ 2 ตัวแปรมิติที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบโบกี้

ตัวแปร	คำอธิบาย
L	ความยาวโบกี้ (bogie length)
H	ความสูงโบกี้ (bogie height)
W	ความกว้างโบกี้ (bogie width)
A	ระยะห่างระหว่างเพลาล้อ (wheelbase)
G	ระยะห่างระหว่างรางรถไฟ (track gauge)
WLP	ระยะห่างระหว่างตำแหน่งแรงกระทำ

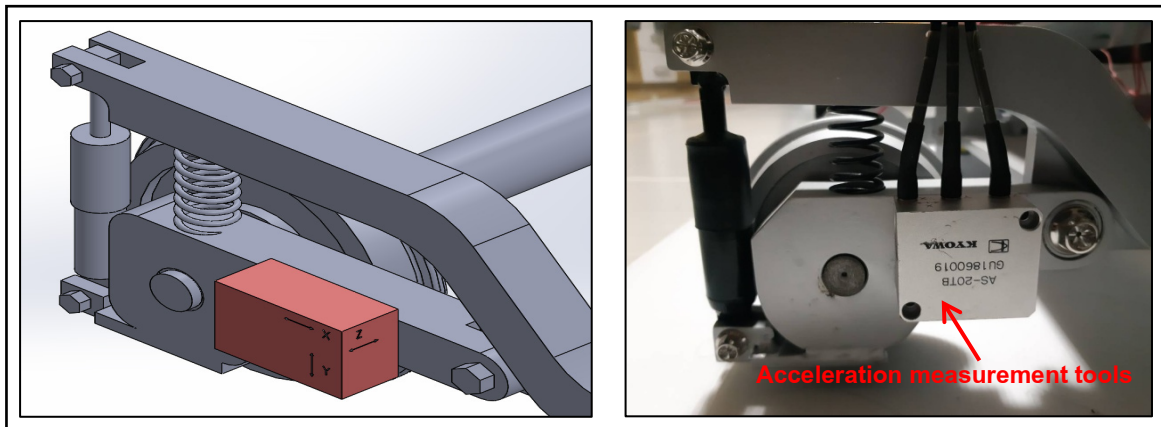
แนวทางการวัดแรงกระทำระหว่างล้อและราง

1. Convention method เป็นการวัดแรงกระทำในแนวตั้งโดยการติดตั้ง Strain gauge เพื่อทำการวัดค่าการเปลี่ยนแปลงความต้านทานไฟฟ้า และนำกลับมาแปลงเป็นแรงกระทำที่เกิดขึ้นในแนวตั้ง โดยข้อดีของวิธีการวัดนี้คือค่าของแรงกระทำที่ได้มีความแม่นยำสูง แต่ข้อเสียก็คือในการทดสอบการใช้งานจริง จะกระทำได้เพียงระยะทางสั้นๆ เนื่องจากข้อจำกัดทางด้านอุปกรณ์ในการวัด



รูปที่ 6 ตำแหน่งการติดตั้ง Strain gauge

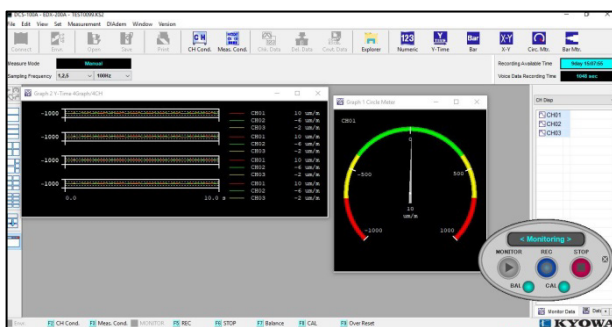
2. Acceleration measurement method เป็นการวัดแรงกระทำในแนวตั้ง ด้านข้าง และตามแนวการเคลื่อนที่ของรถไฟ โดยการติดตั้งหัววัดความเร่ง 3 แนวแกน เพื่อวัดค่าความเร่งที่เกิดขึ้นกับอุปกรณ์ที่ต้องการวัด หัววัดความเร่งจะส่งข้อมูลกลับมายังเครื่องรับสัญญาณ และใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการแสดงผล ในขณะที่ทำการทดสอบสามารถเก็บค่าความเร่งตลอดช่วงเวลาในการวัด และนำค่ากลับมาคำนวณเป็นแรงกระทำที่เกิดขึ้นในแนวแกนต่างๆ ได้



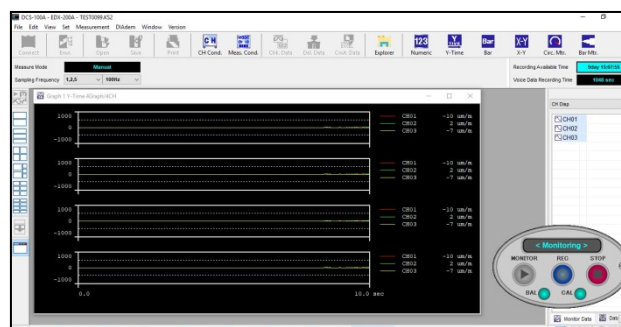
รูปที่ 7 ตำแหน่งการติดตั้งหัววัดความเร่ง



รูปที่ 8 เครื่องมือวัดที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 9 โปรแกรมบันทึกผลการทดลองค่าจาก Strain gauge

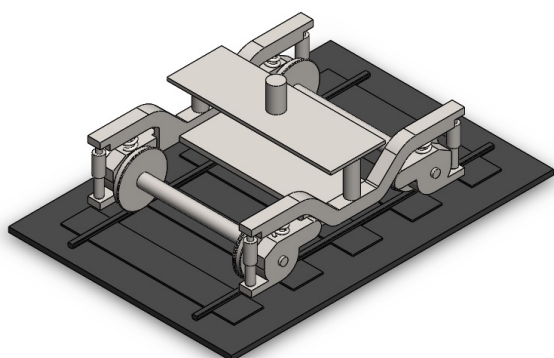


รูปที่ 10 โปรแกรมบันทึกผลการทดลองค่าจาก Acceleration

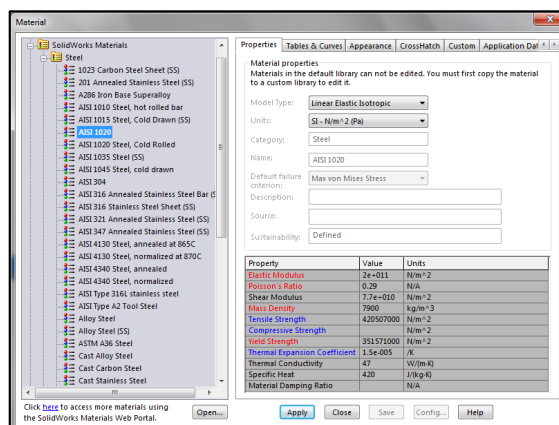
3. การวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์

การวิเคราะห์แรงกระทำในแนวดิ่งด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์เป็นวิธีการใช้ระเบียบไฟไนต์เอลิเมนต์ชนิดหนึ่งในรูปแบบของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยเป็นการเทียบสีของชิ้นงานกับแถบสีของโปรแกรม เพื่อหาแรงกระทำที่เกิดขึ้น โดยมีวิธีการ ดังนี้

- 1) สร้างชิ้นงานให้เหมือนกับโบกี้รถไฟจำลองที่ต้องการศึกษา
- 2) เลือกชนิดของชิ้นงานที่ต้องการศึกษา โดยเลือกเป็นเหล็ก AISI 1020 เพราะคุณสมบัติของวัสดุใกล้เคียงกับชุดรถไฟจำลอง



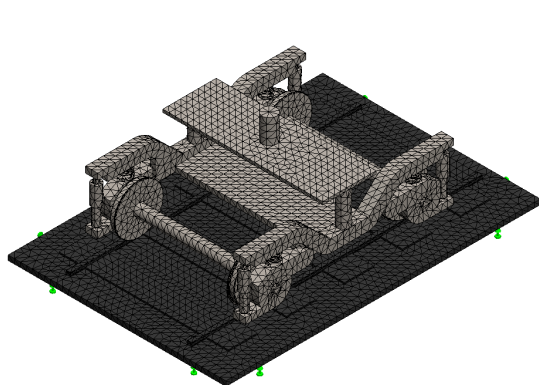
รูปที่ 11 โบกี้รถไฟจำลอง



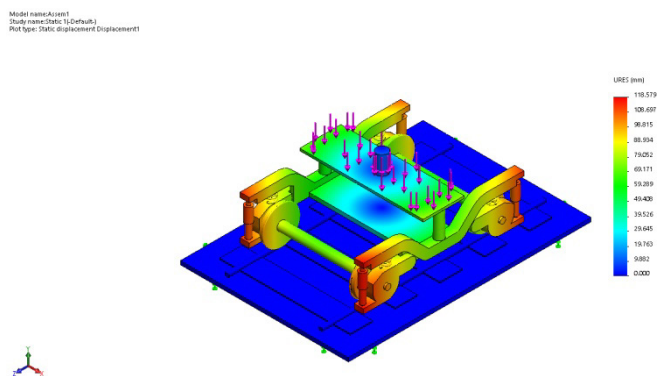
รูปที่ 12 เลือกชนิดของชิ้นงานที่ต้องการศึกษา

4) แบ่งหน่วยย่อยของชิ้นงานในโปรแกรมเป็นชิ้นเล็ก ๆ ลักษณะเป็นรูปสามเหลี่ยม ขนาดกว้างประมาณ 12.7 มิลลิเมตร และทำการคำนวณ

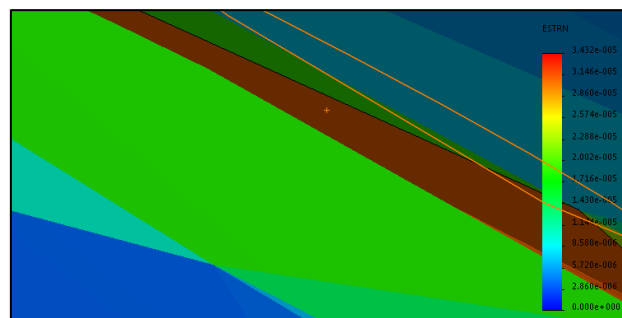
5) วิเคราะห์ผลโดยการเปรียบเทียบสับริเวนที่ต้องการศึกษาของชิ้นงานกับแถบสีของโปรแกรม



รูปที่ 13 แบ่งหน่วยย่อยของชิ้นงาน



รูปที่ 14 วิเคราะห์แรงกระทำที่เกิดขึ้น



รูปที่ 15 วิเคราะห์ผลโดยการเปรียบเทียบสี

ผลการทดสอบ และอภิปรายผล

การวัด และวิเคราะห์แรงกระทำต่อชุดล้อเลื่อนรถไฟ ได้สร้างรถไฟจำลองขึ้นมาโดยเลือกวัสดุเป็นเหล็ก AISI 1020 ซึ่งมีคุณสมบัติของวัสดุใกล้เคียงกับชุดล้อรถไฟ ในการทดลองสามารถแบ่งออกได้ 2 กรณี ในกรณีแรกจะทำการวัดขณะที่รถไฟจำลองหยุดนิ่ง จะมีวิธีการวัด 2 แบบคือวิธีการวัดความเครียดและการวัดความเร่ง โดยมีการเปรียบเทียบกับทางทฤษฎีทั้งวิธีการคำนวณและการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ ส่วนกรณีที่สองจะทำการวัดขณะที่รถไฟจำลองเคลื่อนที่จะอาศัยวิธีการวัดแรงกระทำต่อชุดเพลาล้อรถไฟแบบความเร่ง ในแนวตั้ง สามารถทำการทดลองได้ดังนี้

1. การวัดแรงกระทำแนวตั้งในขณะที่รถไฟจำลองหยุดนิ่ง

Convention method เป็นการวัดแรงกระทำในแนวตั้งโดยการติดตั้ง Strain gauge เพื่อทำการวัดค่าการเปลี่ยนแปลงความต้านทานไฟฟ้า และนำกลับมาแปลงเป็นแรงกระทำที่เกิดขึ้นในแนวตั้ง ในการทดลองจะแบ่งออกได้ 3 กรณี คือ สภาวะโหลดปกติ (Static Load) สภาวะโหลดกรณีมีผู้โดยสาร 1 คน/ตร.ม. (Normal Load) และสภาวะโหลดสูงสุด (Max Load) ได้ผลการทดลอง ดังนี้

ตารางที่ 3 แสดงผลการทดลองวัดแรงกระทำแนวดิ่งในขณะที่รถไฟจำลองหยุดนิ่ง

Case Study Load	Theory (Newton)	FEM (Newton)	Model (Newton)
Static Load	73.58	74.98	73.48
Normal Load	85.84	86.62	82.29
Max Load	134.89	146.97	133.33

ผลการทดลองวัดแรงกระทำแนวดิ่งในขณะที่รถไฟจำลองหยุดนิ่ง พบว่า ในสภาวะโหลดปกติ(Static Load) ค่าที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎี ไฟไนต์เอลิเมนต์ และจากการวัดแบบรถไฟจำลอง คือ 73.58 นิวตัน 74.98 นิวตัน และ 73.48 นิวตัน ตามลำดับ ในสภาวะโหลดกรณีมีผู้โดยสาร 1 คน/ตร.ม.(Normal Load) ค่าที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎี ไฟไนต์เอลิเมนต์ และจากการวัดแบบรถไฟจำลอง คือ 85.84 นิวตัน 86.62 นิวตัน และ 82.29 นิวตัน ตามลำดับ ในสภาวะโหลดสูงสุด (Max Load) ค่าที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎี ไฟไนต์เอลิเมนต์ และจากการวัดแบบรถไฟจำลอง คือ 134.89 นิวตัน 146.97 นิวตัน และ 133.33 นิวตัน ตามลำดับ

2. การวัดแรงกระทำแนวดิ่งในขณะที่รถไฟจำลองเคลื่อนที่

Acceleration measurement method เป็นการวัดแรงกระทำในแนวดิ่ง ด้านข้าง และตามแนวการเคลื่อนที่ของรถไฟ โดยการติดตั้งหัววัดความเร่ง 3 แนวแกน เพื่อวัดค่าความเร่งที่เกิดขึ้นกับอุปกรณ์ที่ต้องการวัด หัววัดความเร่งจะส่งข้อมูลกลับมายังเครื่องรับสัญญาณ และใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการแสดงผล ในการทดลองนี้จะวัดค่าแรงกระทำเนื่องจากความเร่งในแนวดิ่งเท่านั้น ได้ผลการทดลอง ดังนี้

ตารางที่ 4 แสดงผลการทดลองวัดแรงกระทำแนวดิ่งในขณะที่รถไฟจำลองเคลื่อนที่

Case Study Load	gravity (m/s ²)	Theory (Newton)	Acceleration test (m/s ²)	Acceleration Model (Newton)
Static Load	9.81	73.58	9.52	73.48
Normal Load	9.81	85.84	9.61	82.29
Max Load	9.81	134.89	9.56	133.33

ผลการทดลองวัดแรงกระทำแนวดิ่งในขณะที่รถไฟจำลองเคลื่อนที่ พบว่า ในสภาวะโหลดปกติ(Static Load) ค่าที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎี และจากการวัดแบบรถไฟจำลอง คือ 73.58 นิวตัน และ 73.48 นิวตัน ตามลำดับ ในสภาวะโหลดกรณีมีผู้โดยสาร 1 คน/ตร.ม. (Normal Load) ค่าที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎี และจากการวัดแบบรถไฟจำลอง คือ 85.84 นิวตัน และ 82.29 นิวตัน ตามลำดับ ในสภาวะโหลดสูงสุด (Max Load) ค่าที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎี และจากการวัดแบบรถไฟจำลอง คือ 134.89 นิวตัน และ 133.33 นิวตัน ตามลำดับ

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาแนวทางการวัด และวิเคราะห์แรงกระทำต่อชุดล้อเลื่อนรถไฟ ได้สร้างรถไฟจำลองขึ้นมาโดยเลือกวัสดุเป็นเหล็ก AISI 1020 ซึ่งมีคุณสมบัติของวัสดุใกล้เคียงกับชุดล้อรถไฟ ในการทดลองสามารถแบ่งออกได้ 2 กรณี ในกรณีแรกจะทำการวัดขณะที่รถไฟจำลองหยุดนิ่ง จะมีวิธีการวัด 2 แบบคือวิธีการวัดความเครียดและการวัดความเร่ง โดยมีการเปรียบเทียบกับทางทฤษฎีทั้งวิธีการคำนวณและการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ ส่วนกรณีที่สองจะทำการวัดขณะที่รถไฟจำลองเคลื่อนที่ จะอาศัยวิธีการวัดแรงกระทำต่อชุดเพลาล้อรถไฟแบบความเร่งในแนวดิ่ง มีวิธีการวัด ดังนี้

1. การวัดแรงกระทำแบบ Convention method เป็นการวัดแรงกระทำในแนวตั้งโดยการติดตั้ง Strain gauge เพื่อทำการวัดค่าการเปลี่ยนแปลงความต้านทานไฟฟ้า และนำกลับมาแปลงเป็นแรงกระทำที่เกิดขึ้นในแนวตั้ง ผลจากการวัดพบว่าค่าของแรงกระทำที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับค่าของแรงกระทำจากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ และจากการคำนวณทางทฤษฎี

2. แนวคิดการวัดแรงกระทำแบบ Acceleration measurement method เป็นการวัดแรงกระทำในแนวตั้ง ด้านข้าง และตามแนวการเคลื่อนที่ของรถไฟ โดยการติดหัววัดความเร่ง 3 แนวแกน เพื่อวัดค่าความเร่งที่เกิดขึ้นกับอุปกรณ์ที่ต้องการวัด หัววัดความเร่งจะส่งข้อมูลกลับมายังเครื่องรับสัญญาณ และใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการแสดงผล ในขณะที่ทำการทดสอบสามารถเก็บค่าความเร่งตลอดช่วงเวลาในการวัด และนำค่ากลับมาคำนวณเป็นแรงกระทำที่เกิดขึ้นในแนวตั้ง ผลจากการวัดพบว่าผลจากการวัดค่าของแรงกระทำในแนวตั้งที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับค่าของแรงกระทำจากการคำนวณทางทฤษฎี Force-Mass-Acceleration Method

ข้อเสนอแนะ

การวัดแรงกระทำในแนวตั้งของชุดล้อรถไฟจำลอง ด้วยวิธีการวัดแรงกระทำแบบ Convention method เป็นการวัดแรงกระทำในแนวตั้งโดยการติดตั้ง Strain gauge มีข้อดีคือสามารถวัดค่าการเปลี่ยนแปลงความต้านทานไฟฟ้า และนำกลับมาแปลงเป็นแรงกระทำที่เกิดขึ้นในแนวตั้งได้ความแม่นยำสูง และข้อเสียคือในการทดสอบการใช้งานจริงจะทำได้เพียงในขณะหยุดนิ่งเท่านั้น เนื่องจากข้อจำกัดของเครื่องมือวัด

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2560 งานวิจัยนี้ได้รับการช่วยเหลือและดำเนินงานจากศูนย์นวัตกรรมระบบราง คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

บรรณานุกรม

- EN 13749. (2011). Railway applications-Wheelsets and bogies: Method of specifying the structural requirements of bogie frames.
- EN 15827. (2011). Railway applications-Requirement for bogies and running gears.
- Manea, I., Popa, G., Girnita, I., & Prenta, G. (2015). Design and structural verification of locomotive bogies using combined analytical and experimental methods. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 95, 012034
- Seo, J.W., Hur, H.M., Jun, H.K., Kwon, S.J., & Lee, D.H. (2017). Fatigue design evaluation of railway bogie with full-scale fatigue test. Advances in Materials Science and Engineering 2017, 5656497.
- Siemen Mobility. (2011). First Class Bogie. สืบค้น 2 ตุลาคม 2560. จาก <https://www.mobility.siemens.com>
- นคร จันทรร. (2558). ช่างรถไฟ ความรู้ทั่วไปด้านวิศวกรรมรถไฟ. สืบค้น 15 กันยายน 2560. จาก <http://www.thairailtech.or.th>
- บริษัท รถไฟฟ้า ร.ฟ.ท จำกัด. (2558). ประวัติรถไฟ ARL. สืบค้น 25 ตุลาคม 2560. จาก <http://www.srtet.co.th>
- บริษัท รถไฟฟ้ากรุงเทพ จำกัด (มหาชน). (2558). รถไฟฟ้าใต้ดิน. สืบค้น 25 ตุลาคม 2560. จาก <http://www.bangkokmetro.co.th>