

การศึกษาแรงกระทำต่อชุดล้อรถไฟในแนวตั้ง

STUDY OF VERTICAL FORCE ACTING ON TRAIN WHEELS



รัชศักดิ์ สระทองอ่อน

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2562

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การศึกษาแรงกระทำต่อชุดล้อรถไฟในแนวตั้ง

รัชศักดิ์ สระทองอ่อน

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

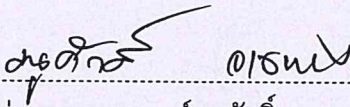
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

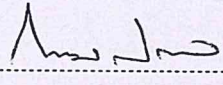
ปีการศึกษา 2562

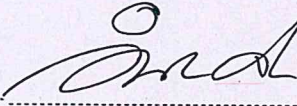
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี


หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาแรงกระทำต่อชุดล้อรถไฟในแนวตั้ง
Study of Vertical Force Acting on Train Wheels
ชื่อ - นามสกุล นายรัชศักดิ์ สระทองอ่อน
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์เทอดเกียรติ ลิมปิทีปการ, Ph.D.
ปีการศึกษา 2562

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์มนูศักดิ์ จานทอง, Dr.-Ing.)


..... กรรมการ
(นายกรธรรม สติรกุล, Ph.D.)


..... กรรมการ
(อาจารย์วินัย จันทรเพ็ง, วศ.ด.)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เทอดเกียรติ ลิมปิทีปการ, Ph.D.)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท


..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิวกร อ่างทอง, Ph.D.)
วันที่ 10 เดือน ตุลาคม พ.ศ. 2562

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาแรงกระทำต่อชุดล้อรถไฟในแนวตั้ง
ชื่อ - นามสกุล	นายรัชศักดิ์ สระทองอ่อน
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์เทอดเกียรติ ลิ้มปิที่ปรากการ, Ph.D.
ปีการศึกษา	2562

บทคัดย่อ

ในการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาแรงกระทำต่อชุดล้อรถไฟในแนวตั้ง การหาแรงกระทำต่อชุดล้อรถไฟ จะแบ่งออกได้เป็น 3 วิธี คือการคำนวณจากทฤษฎีความแข็งแรงของวัสดุ การคำนวณด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ และการทดลองหาแรงกระทำในแนวตั้งจากแคร่รถไฟจำลอง

ในการศึกษาครั้งนี้แบ่งการวิเคราะห์น้ำหนักกดเพลลาได้เป็น 2 กรณี คือ กรณีโหลดสูงสุด ซึ่งเป็นข้อมูลของผู้ผลิต และกรณีโหลดในสภาวะที่มีผู้โดยสารปกติ ซึ่งคำนวณจากจำนวนผู้โดยสาร 4 คนต่อตารางเมตร โดยไม่คิदनน้ำหนักของตัวรถไฟ

จากการศึกษาพบว่า เมื่อเปรียบเทียบค่าความเค้นที่เกิดจากน้ำหนักกดเพลลาที่ชุดล้อรถไฟในสภาวะโหลดสูงสุด ค่าที่ได้จากการคำนวณจากทฤษฎีความแข็งแรงของวัสดุ การคำนวณด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ และการทดลองหาแรงกระทำในแนวตั้งจากรถไฟจำลอง คือ 809 N/mm^2 829 N/mm^2 และ 936 N/mm^2 ตามลำดับ ส่วนในกรณีโหลดในสภาวะที่มีผู้โดยสารปกติ ค่าที่ได้จากการคำนวณจากทฤษฎีความแข็งแรงของวัสดุ การคำนวณด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ และการทดลองหาแรงกระทำในแนวตั้งจากรถไฟจำลอง คือ 191 N/mm^2 192 N/mm^2 และ 176 N/mm^2 ตามลำดับ โดยแนวทางที่ได้จากการศึกษานี้สามารถนำไปใช้ในการวัดค่าแรงกระทำต่อชุดล้อรถไฟในแนวตั้ง ตามมาตรฐานการซ่อมบำรุงแคร่รถไฟ ก่อนนำไปประกอบเข้ากับตัวรถไฟ

คำสำคัญ: แรงกระทำในแนวตั้ง ความสัมพันธ์ระหว่างล้อและราง แรงกระทำต่อแคร่และชุดล้อรถไฟ

Thesis Title Study of Vertical Force Acting on Train Wheels
Name - Surname Mr. Ratchasak Srathongon
Program Mechanical Engineering
Thesis advisor Assistant Professor Terdkiat Limpeteeprakarn, Ph.D.
Academic year 2019

ABSTRACT

This study aims to find out vertical force acting on train wheels. To find out the acting force exerted on train wheels, the researcher employed three methods: calculation of the strength of material theory, calculating by using finite element method, and experimenting to find out vertical force from the train bogie model.

In the study, the axle wheel load analysis was conducted under two cases. The first case was the maximum load gained from the manufacturer's data. The second case was the normal load of passengers calculated from four passengers per square meter excluding the weight of the train.

The findings of the study revealed that when comparing the stresses resulted from the axle wheel load of the train wheels at the maximum load condition, the values gained from the calculation of the strength of material theory, calculating by using finite element method, and experimenting to find out vertical force from the train bogie model were 809, 829 and 936 N/mm², respectively. Regarding to the normal load of passengers, the values gained from calculation of the strength of material theory, calculating by using finite element method, and experimenting to find out vertical force from the train bogie model were 191, 192 and 176 N/mm², respectively. The findings obtained from the study can be applied to measure the vertical force acting on the train wheels based on railway bogie maintenance standards prior to reassembling the components to the train.

Keywords: vertical force, wheels, train, rails, force acting

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความเมตตากรุณาอย่างสูงจาก ผศ.ดร. เทอดเกียรติ ลิ้มปิที่ปรการ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำ ตลอดจนให้ความช่วยเหลือแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่าน ที่ให้เกียรติเป็นกรรมการการสอบวิทยานิพนธ์และให้ความอนุเคราะห์ประเมินรับรอง ผลงานการวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิประสาทวิชา จนผู้วิจัยสามารถนำเอาหลักการและความรู้ มาประยุกต์ใช้และอ้างอิงในงานวิจัยครั้งนี้

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีทุกท่าน ที่อำนวยความสะดวกห้องปฏิบัติการและเครื่องมือในการทำวิจัย ขอขอบพระคุณคณะผู้บริหาร ตลอดจนบุคลากรของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีทุกท่าน ที่ให้การสนับสนุนในทุกๆเรื่องตลอดระยะเวลาที่ผู้วิจัยได้ศึกษา

ขอขอบคุณบิดา มารดา ญาติพี่น้องและเพื่อนๆทุกคนที่เป็นกำลังใจ ให้การสนับสนุนและคำแนะนำ

คุณค่าที่พึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ขอมอบเพื่อบูชาพระคุณบิดา มารดา ครู อาจารย์และผู้มีพระคุณทุกท่าน

รัชศักดิ์ สระทองอ่อน

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	(3)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	(4)
กิตติกรรมประกาศ.....	(5)
สารบัญ.....	(6)
สารบัญตาราง.....	(8)
สารบัญรูป.....	(9)
บทที่ 1 บทนำ.....	11
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	11
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	11
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย.....	12
1.4 สมมติฐานการวิจัย.....	12
1.5 ประโยชน์ที่จะได้รับ.....	12
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	13
2.1 องค์ความรู้เกี่ยวกับรถไฟฟ้าขนส่งมวลชน.....	14
2.2 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับชุดเพลาล้อรถไฟ.....	14
2.3 ราง และทางรถไฟ.....	20
2.4 ลักษณะของแรงจากล้อกระทำต่อรางรถไฟ.....	24
2.5 นิยามของ Degree of Freedom ของรถไฟ.....	25
2.6 ลักษณะภาระโหลดที่กระทำต่อล้อ.....	26
2.7 สมการประเมินความเสี่ยงการตกรางของ Nadal's	27
2.8 การวิเคราะห์แรงกระทำจากตู้โดยสารสู่ชุดล้อเลื่อน.....	28
2.9 มิติสำคัญในการทดสอบแคร่รถไฟ.....	30
2.10 การคำนวณค่าตัวแปร.....	32
2.11 ภาระโหลดของรถไฟฟ้า.....	33
2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	33

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน.....	38
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	38
3.2 แนวคิดของตำแหน่งในการวัดค่าแรงกระทำในแนวตั้ง.....	38
3.3 ขั้นตอนการหาค่าความเค้นของล้อรถไฟในแนวตั้ง.....	39
3.4 คำนวณค่าตัวแปรของแรงกระทำต่อชุดล้อรถไฟในแนวตั้ง.....	40
3.5 การคำนวณจากทฤษฎีความแข็งแรงของวัสดุ.....	44
3.6 การคำนวณด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์.....	45
3.7 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....	46
3.8 การทดลองหาแรงกระทำในแนวตั้งจากรถไฟจำลอง.....	48
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล.....	51
4.1 ผลการทดลอง.....	51
4.2 การวิเคราะห์ผล.....	53
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....	55
5.1 สรุปผล.....	55
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	55
บรรณานุกรม.....	56
ภาคผนวก.....	59
ภาคผนวก ก การสร้างชิ้นงานเพื่อวิเคราะห์แรงกระทำแนวตั้งด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์.....	60
ภาคผนวก ข แบบวาดโบกี้รถไฟจำลอง.....	65
ภาคผนวก ค การติดสเตรนเกจที่ล้อของรถไฟจำลอง.....	70
ภาคผนวก ง ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่.....	72
ประวัติผู้เขียน.....	89

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 การแบ่งประเภทของระบบขนส่งทางราง.....	14
ตารางที่ 2.2 ส่วนประกอบของล้อรถไฟ.....	17
ตารางที่ 2.3 ชื่อส่วนประกอบของล้อรถไฟ.....	18
ตารางที่ 2.4 ศัพท์เฉพาะที่ใช้ระหว่าง Euro Norm และ Classic.....	19
ตารางที่ 2.5 ค่าความคาดเคลื่อนต่ำสุด-สูงสุด ของระยะห่างของรางรถไฟ.....	19
ตารางที่ 2.6 รูปแบบการใช้งานต่างๆ ของ Track gauge ในต่างประเทศ.....	23
ตารางที่ 3.1 แรงกระทำจากแท่นอัดไฮดรอลิก.....	49
ตารางที่ 4.1 ผลการคำนวณแรงกระทำต่อชุดล้อเลื่อนรถไฟในแนวตั้งตามทฤษฎี.....	51
ตารางที่ 4.2 ผลการคำนวณแรงกระทำต่อชุดล้อเลื่อนรถไฟในแนวตั้งจากไฟไนต์เอลิเมนต์..	52
ตารางที่ 4.3 แรงกระทำจากแท่นอัดไฮดรอลิก.....	52
ตารางที่ 4.4 ผลการคำนวณแรงกระทำต่อชุดล้อเลื่อนรถไฟในแนวตั้งด้วยรถไฟจำลอง.....	52
ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองค่าความเค้นทางทฤษฎีเปรียบเทียบกับค่าจากไฟไนต์เอลิเมนต์.	53
ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองค่าความเค้นทางทฤษฎีเปรียบเทียบกับค่าจากรถไฟจำลอง.....	53
ตารางที่ 4.7 ผลการเปรียบเทียบค่าความเค้นที่กระทำต่อชุดล้อเลื่อนรถไฟในแนวตั้ง ค่าทางทฤษฎี จากไฟไนต์เอลิเมนต์ และจากรถไฟจำลอง.....	53

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 รถไฟแบบต่างๆ.....	13
รูปที่ 2.2 องค์ประกอบของชุดล้อรถไฟ.....	15
รูปที่ 2.3 ล้อรีดทีบ (Monobloc wheel).....	16
รูปที่ 2.4 ล้อมีปดอก (Tyred wheel).....	16
รูปที่ 2.5 มิติต่างๆ ของล้อ และชุดเพลาล้อรถไฟ.....	17
รูปที่ 2.6 รูปทรงของล้อรถไฟ.....	18
รูปที่ 2.7 การเปรียบเทียบระหว่างล้อรถไฟใหม่กับล้อที่ผ่านการใช้งานแล้ว.....	19
รูปที่ 2.8 เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสอบล้อรถไฟ.....	20
รูปที่ 2.9 รูปแบบการสึกหรอที่ความเร็วต่างๆ.....	21
รูปที่ 2.10 รางรถไฟขนส่งมวลชน ใช้ตามมาตรฐาน UIC 60.....	21
รูปที่ 2.11 แสดงความกว้างของรางรถไฟขนาด 1,435 มิลลิเมตร.....	22
รูปที่ 2.12 การสันสະเทือนของรถไฟมีปฐุมเหตุจากล้อ.....	24
รูปที่ 2.13 แสดงการสันสະเทือนของรถ 4 ล้อ.....	24
รูปที่ 2.14 Degree of Freedom ของรถไฟ.....	25
รูปที่ 2.15 ลักษณะภาวะโหลดที่กระทำต่อล้อ.....	26
รูปที่ 2.16 จุดสัมผัสของล้อรถไฟกับรางรถไฟ.....	27
รูปที่ 2.17 ชุดล้อเลื่อนรถไฟ ของแอร์พอตเรลลิ่ง SF 5000.....	28
รูปที่ 2.18 ส่วนประกอบชุดล้อเลื่อนรถไฟ ของแอร์พอตเรลลิ่ง SF 5000.....	28
รูปที่ 2.19 ข้อมูลชุดล้อเลื่อนรถไฟ ของแอร์พอตเรลลิ่ง SF 5000.....	29
รูปที่ 2.20 ลักษณะของแรงกระทำในแนวตั้ง.....	29
รูปที่ 2.21 ลักษณะของแรงกระทำตามทิศทางการเคลื่อนที่.....	30
รูปที่ 2.22 ลักษณะของแรงกระทำด้านข้าง.....	30
รูปที่ 2.23 ลักษณะเบื้องต้นของแควร์รถไฟ.....	31
รูปที่ 2.24 มิติสำคัญในการทดสอบแควร์.....	31
รูปที่ 2.25 รูปแบบการให้แรงกระทำของเครื่องทดสอบแควร์.....	31
รูปที่ 2.26 แสดงการใช้งานสแตนเกจร่วมกับวงจรมอเตอร์.....	32
รูปที่ 2.27 แสดงส่วนประกอบภายในของเกจ.....	33
รูปที่ 2.28 แรงต้านที่เกิดจากแรงเสียดทานต่อการเคลื่อนที่ของรถไฟ.....	34

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 2.29 แรงต้านที่เกิดจากน้ำหนัก.....	34
รูปที่ 2.30 แรงต้านที่เกิดขึ้นขณะรถไฟกำลังวิ่ง	35
รูปที่ 2.31 แรงต้านที่เกิดจากความต้านทานของอากาศ.....	35
รูปที่ 2.32 แรงต้านที่เกิดจากทางลาดชัน.....	35
รูปที่ 3.1 แนวคิดของตำแหน่งในการวัดค่าแรงกระทำในแนวดิ่ง.....	38
รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์แรงกระทำต่อชุดล้อเลื่อนรถไฟในแนวดิ่ง.....	39
รูปที่ 3.3 คุณสมบัติของวัสดุ.....	40
รูปที่ 3.4 การติดตั้งสแตนเกจ.....	40
รูปที่ 3.5 ข้อมูลแคร์ร่รถไฟ รุ่น SF 5000.....	41
รูปที่ 3.6 การกระจายแรงของเพลาล้อ กรณี Max Load.....	42
รูปที่ 3.7 ภาระโหลดผู้โดยสาร.....	43
รูปที่ 3.8 การกระจายแรงของเพลาล้อ กรณี Live Load.....	43
รูปที่ 3.9 การวิเคราะห์แรงกระทำในแนวดิ่งจากไฟไนต์เอลิเมนต์ ในกรณี Max load.....	45
รูปที่ 3.10 การวิเคราะห์แรงกระทำในแนวดิ่งจากไฟไนต์เอลิเมนต์ ในกรณี Live load....	46
รูปที่ 3.11 สเตรนเกจ (Strain gauge).....	46
รูปที่ 3.12 ชุดคอนโทรลเลอร์ EDX 200-A.....	47
รูปที่ 3.13 วงจร Bridge box.....	47
รูปที่ 3.14 ไดอัลเกจ (dial gauge).....	48
รูปที่ 3.15 ตำแหน่งการติดตั้งสแตนเกจ.....	48
รูปที่ 3.16 ติดตั้งเครื่องมือทดสอบ และทดสอบการทำงานของอุปกรณ์.....	48
รูปที่ 3.17 นำรถไฟจำลองเข้าเครื่องอัดไฮดรอลิก.....	49
รูปที่ 3.18 ผลการทดสอบกรณี Maximum Load.....	49
รูปที่ 3.19 ผลการทดสอบกรณี Live Load	50

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในการผลิต การซ่อมบำรุง หรือสร้างหัวรถจักรหรือขบวนรถไฟใหม่นั้น ก่อนการนำมาใช้งาน จำเป็นจะต้องได้รับการทดสอบก่อนเสมอไม่ว่าจะเป็นการทดสอบทั้งตัวรถ การทดสอบอุปกรณ์หลักหรือแม้แต่ชิ้นส่วนต่างๆก่อนการประกอบ แคร่รถไฟก็เช่นเดียวกัน สำหรับการทดสอบแคร่รถไฟนั้นแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ การทดสอบแบบสถิตยศาสตร์ (static testing) และการทดสอบแบบพลศาสตร์ (dynamic testing) โดยการทดสอบแบบสถิตยศาสตร์เน้นใส่แรงกระทำสูงสุดที่อาจเกิดขึ้นได้กับแคร่รถไฟ (exceptional load condition) โดยที่แคร่จะต้องไม่โก่งตัว (deflection) จนไม่สามารถทำงานตามหน้าที่ได้ หรือวัสดุไม่เกิดการยืดตัวอย่างถาวร (permanence deformation) หลังจากปล่อยแรงกระทำออก ในขณะที่การทดสอบแบบพลศาสตร์จะเน้นใส่แรงกระทำที่เกิดขึ้นในสภาวะปกติ (service load condition) โดยที่แคร่ต้องไม่เกิดการเสียหายเนื่องจากความล้า (fatigue failure) [1] สำหรับแคร่รถไฟที่พัฒนาหรือผลิตขึ้นใหม่จะต้องผ่านการทดสอบทั้งหมด 3 ขั้นตอนคือ การทดสอบแบบสถิตยศาสตร์ (static tests) การทดสอบความล้า (fatigue tests) และการทดสอบบนทางวิ่งรถไฟ (on-track tests) [2,3] แต่สำหรับกรณีแคร่รถไฟที่ผ่านการซ่อมบำรุงตามวาระก่อนนำกลับไปติดตั้งจะทำการทดสอบแบบสถิตยศาสตร์เท่านั้นเพื่อประหยัดเวลา โดยการทดสอบแคร่รถไฟมีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นจากการถอดประกอบและเปลี่ยนอุปกรณ์ต่างๆ โดยการทดสอบจะเน้นที่การตรวจสอบความสมดุลของแรงกระทำที่ชุดล้อรถไฟ การทดสอบความแข็งของสปริงและรั้วซีมของใช้ค้ำของชุดรองรับน้ำหนัก ความเสียหายเหล่านี้ถ้าปล่อยให้เกิดถึงขั้นรุนแรงก็อาจส่งผลรถไฟตกรางได้

งานวิจัยนี้เน้นการศึกษาเกี่ยวกับแรงกระทำในส่วนต่างๆของล้อรถไฟ โดยอาศัยค่าที่วัดได้กับค่าทางทฤษฎีทั้งวิธีการคำนวณและการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ในแนวตั้ง ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบเครื่องทดสอบชุดล้อรถไฟที่ผ่านการซ่อมบำรุงตามวาระ หรือผลิตขึ้นใหม่ได้ จากนั้นก็จะนำไปวิ่งทดสอบบนทางวิ่งก่อนให้บริการ

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อหาแนวทางและวิธีการวัดแรงกระทำของชุดล้อรถไฟในแนวตั้ง
- 1.2.2 เพื่อเปรียบเทียบค่าแรงกระทำของชุดล้อรถไฟในแนวตั้ง

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

- 1.3.1 แบบจำลองของแคร่ และลัทธิไฟ มีขนาด 1/5 เท่าจากของจริง
- 1.3.2 การวิเคราะห์และทดสอบเป็นแบบสถิตยศาสตร์
- 1.3.3 ภาระโหลตจะพิจารณาเฉพาะแรงกระทำจากตัวรถไฟเท่านั้นโดยไม่รวมภาระโหลตจากการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของทางรถไฟ
- 1.3.4 ข้อมูลแคร่ และลัทธิไฟใกล้เคียงกับรถไฟฟ้าแอร์พอดเรลลิ่ง
- 1.3.5 ภาระโหลตให้ใช้ข้อมูลเทียบเคียงจากรถไฟฟ้าแอร์พอดเรลลิ่ง

1.4 สมมุติฐานการวิจัย

- 1.4.1 สมมติให้การย่อแบบจำลองไม่มีผลกระทบต่อแรงกระทำต่อแคร่ และ ลัทธิไฟ
- 1.4.2 สมมติว่าวัสดุที่ใช้ทำแบบจำลองแคร่ และลัทธิไฟเป็นวัสดุแบบเดียวกันกับลัทธิไฟฟ้าของจริง

1.5 ประโยชน์ที่จะได้รับ

- 1.5.1 ได้รูปแบบของภาระโหลตในแนวตั้งที่กระทำต่อชุดลัทธิไฟฟ้า
- 1.5.2 ได้ศึกษาวิธีการตรวจวัดแรงกระทำในแนวตั้งต่อชุดลัทธิไฟฟ้า
- 1.5.3 ทราบตำแหน่งที่เหมาะสมในการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดแรงที่กระทำในแนวตั้งต่อชุดแคร่รถไฟ
- 1.5.4 ได้องค์ความรู้ที่เป็นแนวทางในการวิเคราะห์แรงกระทำต่อลัทธิไฟ เพื่อประเมินความเสี่ยงในการตกราง และการกระจายของแรงกระทำโดยเครื่องทดสอบแคร่รถไฟ

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เนื้อหาในบทนี้ประกอบด้วยข้อมูลของระบบขนส่งมวลชนในประเทศไทย ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับล้อรถไฟ การสึกหรอ และการตรวจของรถไฟ ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับล้อ และสุดท้ายจะทำการทบทวนวรรณกรรม งานวิจัย และสิทธิบัตรที่เกี่ยวข้องกับรถไฟ

2.1 องค์ความรู้เกี่ยวกับรถไฟระบบขนส่งมวลชน[1]

โดยทั่วไปรถไฟขนส่งมวลชนจะถูกแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ ระบบรถไฟในเมือง (Metro track system) และระบบรถไฟชานเมือง (Commuter/Sub-urban track system) ระบบรถไฟในเมืองจะเป็นรถไฟที่รับกระแสไฟฟ้าจากรางที่สาม (Third rail system) มีความเร็วที่ใช้ในการเดินรถอยู่ในช่วง 30 - 40 กิโลเมตรต่อชั่วโมง(km/hr) มีทั้งวิ่งบนทางวิ่งยกระดับ (Elevated track) และทางวิ่งใต้ดิน (Subway) รถไฟฟ้าที่วิ่งบนทางยกระดับนี้มีบริษัท ระบบขนส่งมวลชนกรุงเทพ จำกัด (มหาชน) เป็นผู้ดำเนินการเดินรถ และผู้ให้สัมปทานการเดินรถ คือ กรุงเทพมหานคร ดังรูปที่ 2.1 (ก) ในส่วนของรถไฟที่มีทางวิ่งใต้ดินนั้นมีบริษัททางด่วน และรถไฟฟ้ากรุงเทพ จำกัด (มหาชน) เป็นผู้ดำเนินการเดินรถ และผู้ให้สัมปทานการเดินรถ คือ การรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย ดังรูปที่ 2.1 (ข) ระบบรถไฟชานเมืองเป็นรถไฟที่วิ่งอยู่บนทางยกระดับ และรับกระแสไฟฟ้าจากด้านบน (Overhead wire system) มีความเร็วที่ใช้ในการเดินรถอยู่ในช่วง 100 - 110 กิโลเมตรต่อชั่วโมง(km/hr) ดำเนินการเดินโดยบริษัท รถไฟฟ้า ร.ฟ.ท จำกัด ซึ่งการรถไฟแห่งประเทศไทยเป็นผู้ถือหุ้นหลัก ดังรูปที่ 2.1 (ค) โดยทั่วไปการขนส่งทางรางนั้นจะมีลักษณะเฉพาะในแต่ละแบบแตกต่างกัน ซึ่งแสดงในตารางที่ 2.1



(ก) รถไฟฟ้าบีทีเอส



(ข) รถไฟฟ้าใต้ดิน



(ค) รถไฟฟ้าแอร์พอร์ตเรลลิงค์

รูปที่ 2.1 รถไฟฟ้าแบบต่างๆ [2,3]

ตารางที่ 2.1 การแบ่งประเภทของระบบขนส่งทางราง [2]

ประเภทของระบบ	รถราง (Tram/Street car)	รถไฟฟ้าขนาดเบา (Light rail)	รถเมโทร (Metro/Heavy rail)
1. ขอบเขต ของเส้นทาง	วิ่งบนถนนปะปนกับ การขนส่งชนิดอื่น	มีเขตทางของตนเอง	มีเขตทางของตนเอง
2. ความจุของเส้นทาง (คนต่อทิศทางต่อชั่วโมง)	2,000-10,000	5,000-30,000	20,000-60,000
3. ระยะเวลาระหว่าง ขบวนรถ นาที (min)			
- ชั่วโมงเร่งด่วน	5	5	2-5
- นอกชั่วโมงเร่งด่วน	5-10	5-10	5-10
4. ความเร็วสูงสุดของการ เดินรถ กิโลเมตร/ชั่วโมง (km/hr)	50-70	50-80	80-100
5. ความเร็วเฉลี่ยเชิง พาณิชย์ กิโลเมตร/ชั่วโมง (km/hr)	15-25	25-40	30-40
6. ระยะทางระหว่างสถานี เมตร (m)	400-600	600-1,200	800-1,000

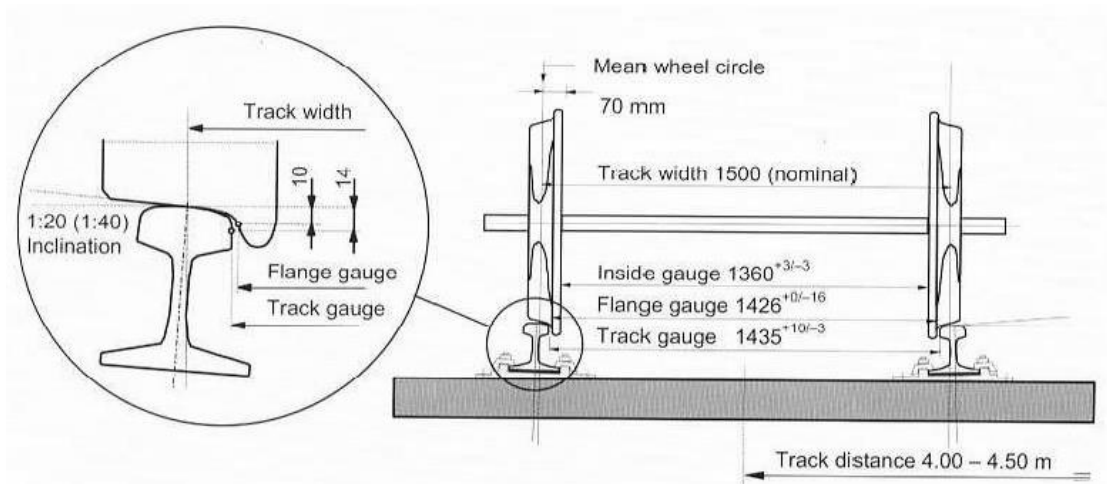
2.2 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับชุดเพลาล้อรถไฟ [2], [3]

การออกแบบล้อรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนที่ใช้ในประเทศไทยนั้น จำเป็นต้องออกแบบโดยคำนึงถึง การสันสะท้อนของล้อรถไฟโดยทั่วไป ที่เป็นผลจากการออกแบบล้อ ซึ่งแนวคิดที่วิศวกรออกแบบ สามารถสรรค์สร้าง และต่อเติมแนวคิดอื่น เพื่อให้เกิดความนุ่มนวล โดยเฉพาะอย่างยิ่งการออกแบบ ล้อและรางของขบวนรถโดยสารที่วิ่งด้วยความเร็วสูง สามารถใส่ความคิดริเริ่มใหม่ๆ เข้าไป ได้แก่ มุม เอียง ที่บังใบล้อ (Flange Slope) ความลาดเอียงที่พื้นล้อ (Wheel Conicity) การบิดเบี้ยวของตัวรถ (Twist on Vehicle) ระยะว่าง (Clearance) ระหว่างที่อุปกรณ์ในระบบรองรับน้ำหนักของขบวน รถไฟ ความสมบูรณ์ของระบบรองรับน้ำหนัก และโช้กอัพ รูปร่างของหัวราง รัศมีความโค้งของทาง

รถไฟ ความคาดเคลื่อนของมิติสำคัญของทางรถไฟ ซึ่งการออกแบบล้อที่ใช้ในปัจจุบัน สามารถแบ่งออกได้ 2 ประเภท ได้แก่ ล้อรีดทึบ (Monobloc wheel) และ ล้อมีปลอก (Tyred wheel)

2.2.1 องค์ประกอบของชุดล้อรถไฟและจุดสัมผัสสร้าง

ชุดเพลาล้อรถไฟฟ้าขนส่งมวลชน จะประกอบด้วย ล้อ และ เพลลา ในกรณีเป็นแบบ ล้อรีดทึบ ส่วน ล้อมีปลอก จะมีส่วนประกอบมากกว่า ได้แก่ ปลอกล้อ แวนล้อ แหวนบังคับปลอก ล้อ และเพลลา

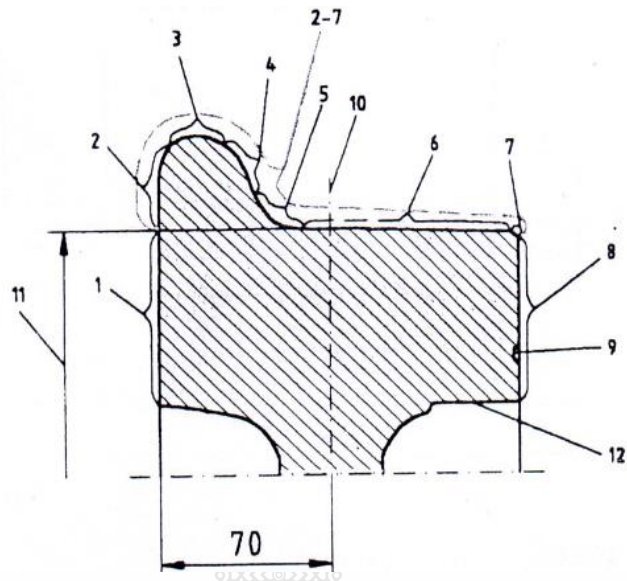


รูปที่ 2.2 องค์ประกอบของชุดล้อรถไฟ และจุดสัมผัสสร้าง [3]

2.2.2 ประเภทของล้อรถไฟ

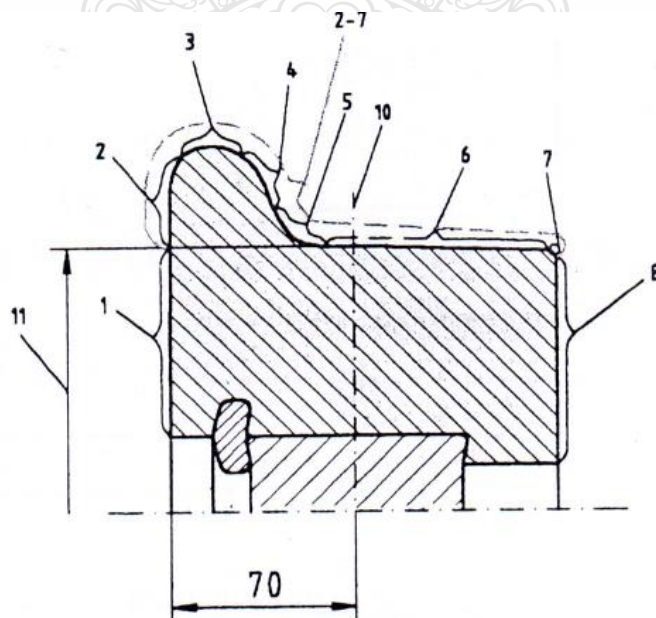
ล้อของรถไฟ เมื่อใช้งานจะเกิดการสึกหรอและเปลี่ยนรูปไปจากเดิม ในระบบการขนส่งทางรางไม่ว่าจะเป็นขนส่งผู้โดยสาร ขนส่งสินค้า เมื่อผ่านการใช้งานไปตามระยะทางตามวาระการซ่อมบำรุง ล้อที่ผ่านการใช้งานหากเกิดการสึกหรอ และเปลี่ยนรูปไปจากเดิมจะทำให้การส่ายตัวผิดแปลกไปจากที่ออกแบบไว้ ผลก็คือทำให้ค่า Ride Index เปลี่ยนไปในทางลบ โดยการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นจากล้อนั้นจะส่งผลให้ผู้โดยสารจะรู้สึกไม่ค่อยสบาย และถ้าปล่อยให้การสึกเกินพิกัดไปมากก็อาจเป็นอันตรายต่อขบวนรถได้ ซึ่งเป็นเรื่องที่สำคัญในการสร้างความปลอดภัยในการเดินทางของผู้โดยสาร เพื่อให้เกิดการสั่นสะเทือนกลับไปสู่สภาพตามที่ออกแบบไว้รถที่ผ่านการใช้งานไปแล้วระยะหนึ่งจึงต้องกลึงขึ้นรูปล้อเสียใหม่ ให้มีสภาพเหมือนก่อนที่จะสึกหรอ โดยลักษณะของล้อรถไฟจะเป็นไปตามผู้ผลิตกำหนดในแต่ละรุ่น

2.2.2.1 ล้อรีดทึบ (Monobloc wheel) มีส่วนประกอบ คือ ล้อ และ เฟลา



รูปที่ 2.3 ล้อรีดทึบ (Monobloc wheel) [3]

2.2.2.2 ล้อมีปลอก (Tyred wheel) มีส่วนประกอบ คือ ปลอกล้อ แวนล้อ แหวน บังคับปลอกล้อ และเฟลา



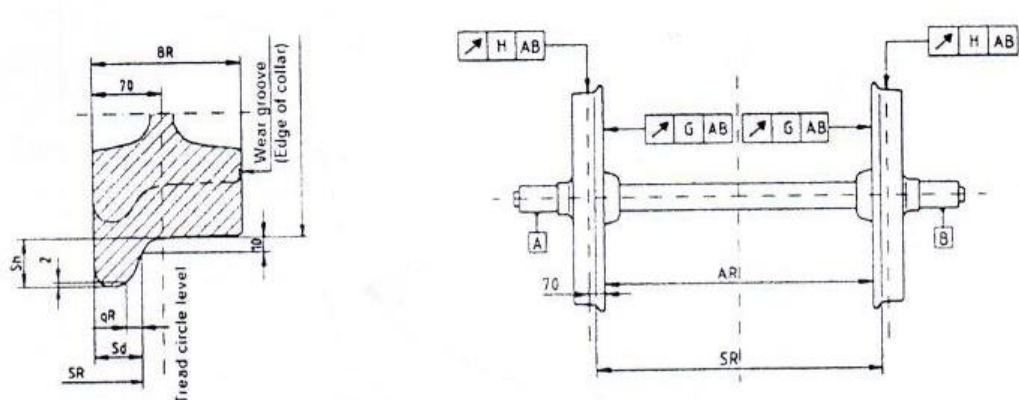
รูปที่ 2.4 ล้อมีปลอก (Tyred wheel) [3]

2.2.3 มิติของชุดเพลาล้อรถไฟ

2.2.3.1 แสดงส่วนประกอบของตัวล้อ และปลอกล้อ

ตารางที่ 2.2 แสดงส่วนประกอบของล้อรถไฟ [4]

Number	Terminology tyre/rim
1	Inside surface of tyre/rim
2	Inner cheek of flange
3	Tip of flange
4	Flange cheek
5	Flange/tread transition radius
6	Tread
7	Chamfered corner
8	Outside surface of tyre/rim
9	Wear groove/ Edge of collar
10	Tread circle level
11	Wheel diameter (measured at tread circle level)
12	Lathe chuck gripping surface
2-7	Wheel profile

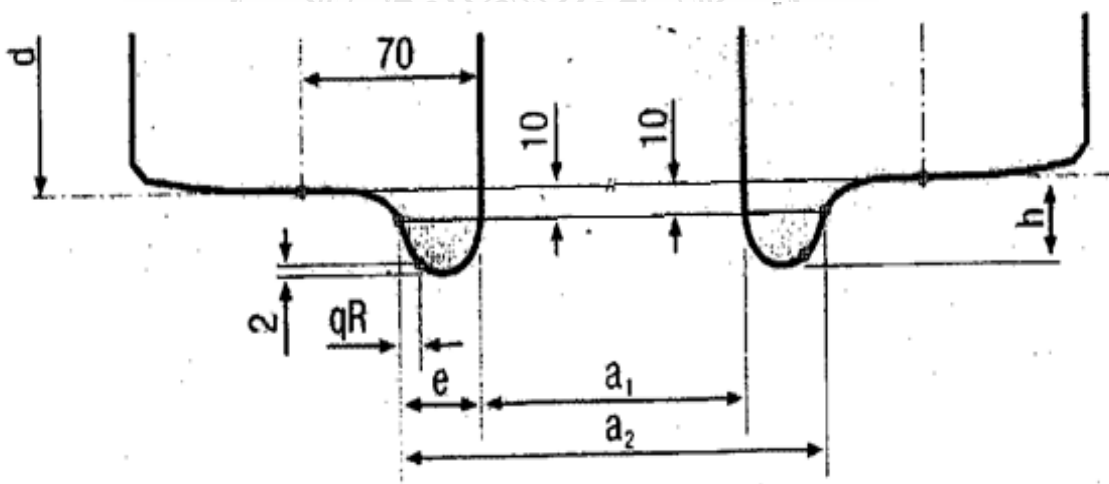


รูปที่ 2.5 มิติต่างๆ ของล้อและชุดเพลาล้อรถไฟ [4]

2.2.3.2 คำอธิบายตัวย่อในมิติต่างๆ ของล้อรถไฟ

ตารางที่ 2.3 แสดงชื่อส่วนประกอบของล้อรถไฟ [4]

Abbreviation	Designation
SR	Distance between the active faces of the flanges (flange to flange)
AR	Distance between inside surfaces (back to back)
BR	Width of rim/tyre
Sd	Thickness of flange
Sh	Height of flange
Rd	Thicknees of tyre at running cuicle of tread
dM	Wheel tread diameter (actual dimension at the running cuicle)
qR	Flange angle dimension
G	Axail wobble
H	Circularity defect (Wheelset)
S	Out of roundness (Wheel)



รูปที่ 2.6 รูปทรงของล้อรถไฟ [4]

2.2.3.3 ศัพท์เฉพาะที่ใช้ระหว่าง Euro Norm และ Classic

ตารางที่ 2.4 แสดงศัพท์เฉพาะที่ใช้ระหว่าง Euro Norm และ Classic [4]

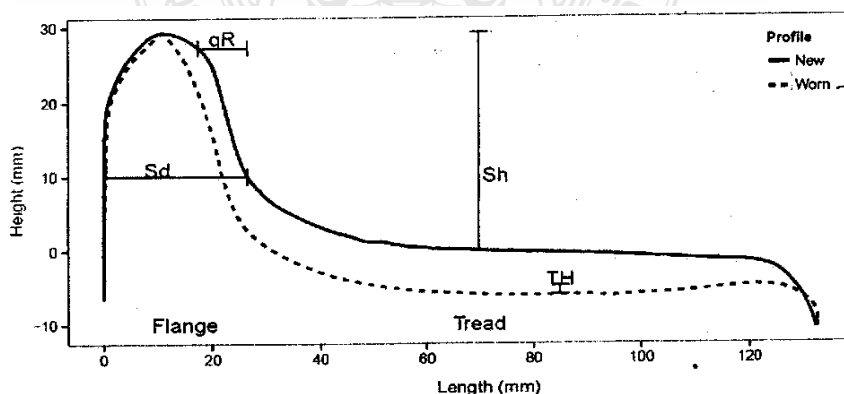
Euro Norm	Classic	Nomenclature
D	D	Diameter
a1	AR	Back-to-back
a2	SR	Front-to-front
e	S _d	Flange thickness
H	S _h	Flange height
qR	qR	Flange angle dimension

2.2.3.4 ค่าความคาดเคลื่อนต่ำสุด-สูงสุด ของระยะห่างของรางรถไฟ

ตารางที่ 2.5 แสดงค่าความคาดเคลื่อนต่ำสุด-สูงสุด ของระยะห่างของรางรถไฟ [4]

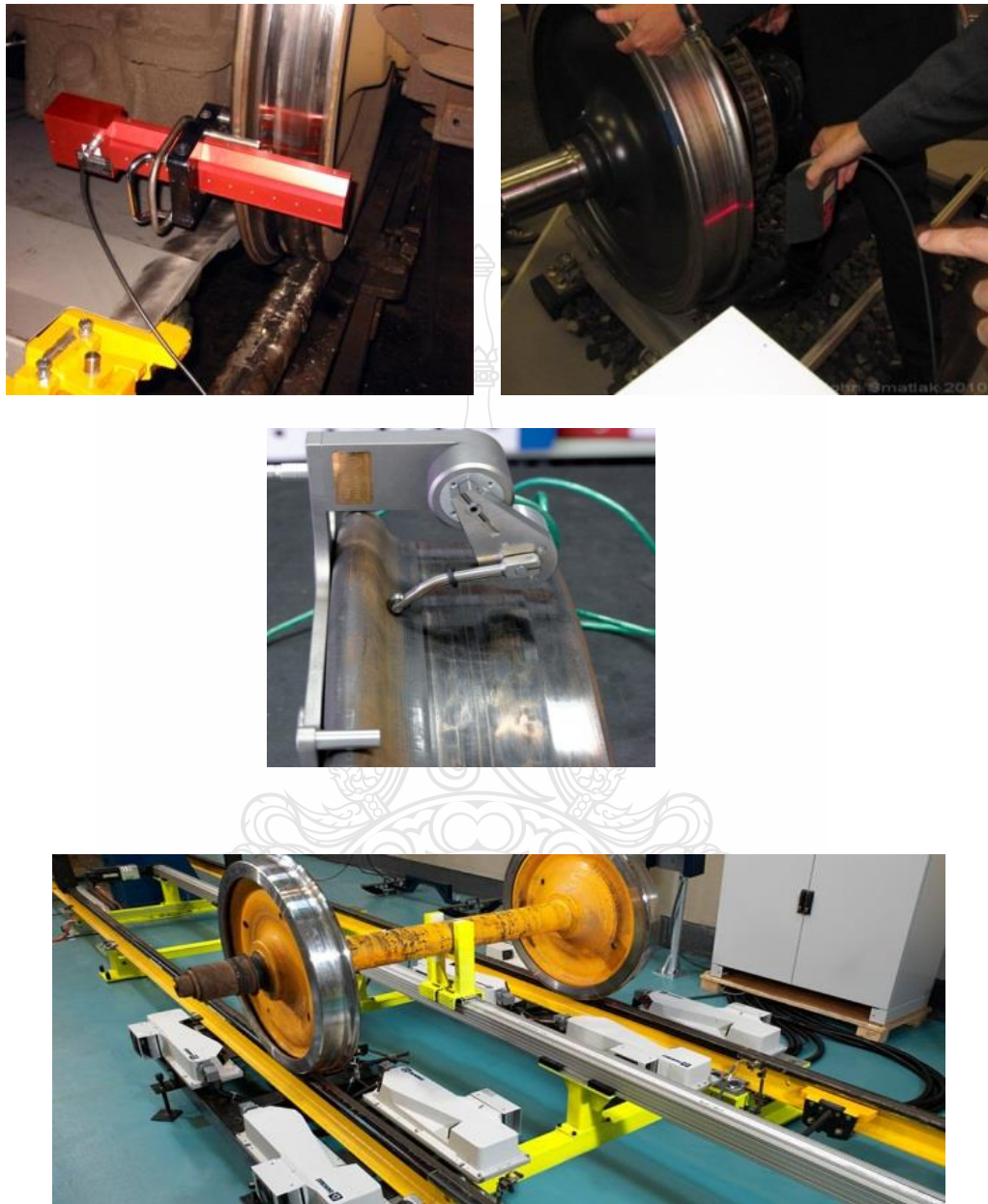
Speed (in km/h)	Nominal track gauge to mean track gauge over 100 m.(in mm)	
	Minimum	Maximum
V≤40	N/A	+32
40<V≤80	-8	+32
80<V≤120	-7	+27
120<V≤160	-5	+20
160<V≤230	-5	+20

2.2.3.5 ลักษณะการสึกหรอ



รูปที่ 2.7 การเปรียบเทียบระหว่างล้อรถไฟไฟฟ้าใหม่ กับ ล้อที่ผ่านการใช้งานแล้ว [4]

2.2.3.6 เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสอบล้อรถไฟ เพื่อหาค่าการสึกหรอที่เกิดขึ้น



รูปที่ 2.8 เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสอบล้อรถไฟ [5]

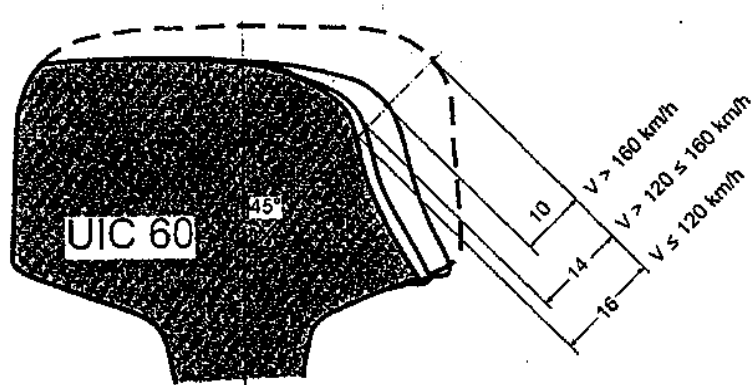
2.3 ราง และทางรถไฟ [4]

วิวัฒนาการของรถไฟ ได้ก้าวรุดหน้าไปมากขึ้น หนึ่งในสิ่งที่จะต้องคำนึงถึง ก็คือ "การกำหนดมิติ ความกว้างของรางรถไฟ" หรือเรียกว่า "Track Gauge" โดยเป็นการวัดระยะ จากหัวรางด้านในข้างซ้าย ถึงหัวรางด้านในข้างขวา ขนาดความกว้างของรางรถไฟ ที่มีใช้การอยู่ทั่วโลก ประกอบด้วยรางรถไฟแคบ

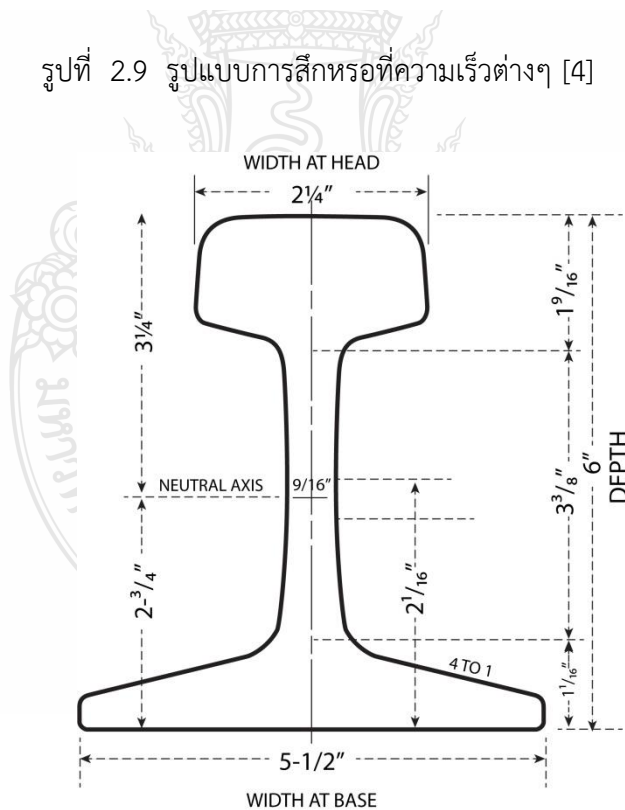
ที่สุดคือรางเดี่ยว (Mono rail) ไปจนถึงรางรถไฟกว้างที่สุด ที่มีใช้การคือขนาดความกว้าง 2.140 เมตร ในบรรดาขนาดความกว้างของรางต่าง ๆ นั้น จะมีรางรถไฟ 3 ขนาดที่มีใช้การอยู่มากที่สุดทั่วโลก และมีจำนวนประเทศที่ใช้รางขนาดนี้ใกล้เคียงกันซึ่งได้แก่

2.3.1 รูปแบบของรางรถไฟฟ้าขนส่งมวลชน

2.3.1.1 รูปแบบของรางรถไฟฟ้าขนส่งมวลชน ใช้ตามมาตรฐาน UIC 60



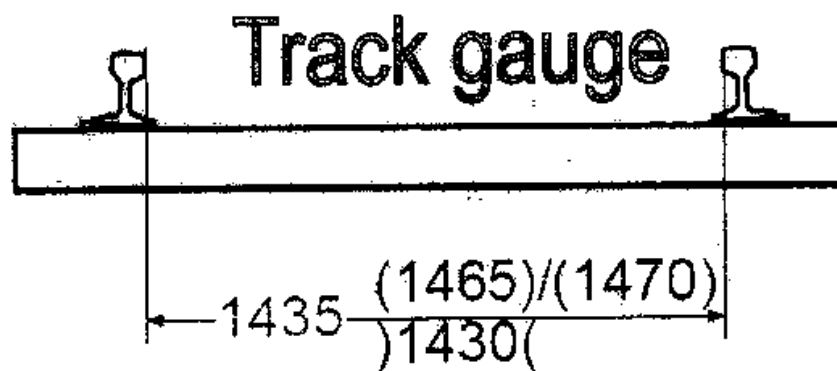
รูปที่ 2.9 รูปแบบการสึกหรอที่ความเร็วต่างๆ [4]



รูปที่ 2.10 รางรถไฟขนส่งมวลชน ใช้ตามมาตรฐาน UIC 60 [4]

2.3.2 ขนาดความกว้าง 1.435 เมตร (4 ฟุต 8-1/2 นิ้ว)

มีจำนวนประเทศที่ใช้มากที่สุด เรียกมาตรฐานรางกว้างขนาดนี้ว่า European Standard Gauge บางครั้งก็เรียกอย่างย่อว่า Standard Gauge เป็นรางรถไฟที่กำหนดเป็นมาตรฐานของกลุ่มในประเทศยุโรป เพื่อช่วยให้การดำเนินรถถึงกันกระทำได้โดยสะดวก มากกว่า 60 % ของทางรถไฟทั่วโลก จะใช้มาตรฐานนี้เป็นหลัก โดย Standard Gauge นี้ มีชื่อเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า Stephenson Gauge ซึ่งมาจากชื่อของ George Stephenson ผู้ที่สร้างรถไฟคันแรกของโลกนั่นเอง



รูปที่ 2.11 แสดงความกว้างของรางรถไฟ [4]

ขนาดความกว้างของของรางรถไฟขบวนรถที่ใช้ในประเทศไทยจะใช้รางตามมาตรฐาน UIC 60 มีขนาดความกว้าง 1,435 มิลลิเมตร

2.3.3 ขนาดความกว้าง 1.067 เมตร (3 ฟุต 6 นิ้ว)

มีจำนวนประเทศที่ใช้มากเป็นลำดับที่สอง เรียกมาตรฐานรางกว้างขนาดนี้ว่า Caps Gauge มีชื่ออยู่กระจัดกระจายทั่วโลก โดยเฉพาะประเทศที่เป็นเกาะในทวีปเอเชีย เข้าใจว่ารางกว้างขนาดนี้ได้ชื่อมาจากการนำไปใช้ในการสร้างทางรถไฟในสหภาพแอฟริกาใต้

2.3.4 ขนาดความกว้าง 1.00 เมตร (3 ฟุต 3-3/8 นิ้ว)

มีจำนวนประเทศที่ใช้มากเป็นลำดับที่สาม เรียกมาตรฐานรางกว้างนี้ว่า Meter Gauge ใช้อยู่ในกลุ่มประเทศเอเชียอาคเนย์ทั้งหมด บางประเทศในแอฟริกา อเมริกาใต้ และทางรถไฟสายแยกในยุโรปบางประเทศ ทางรถไฟที่ใช้รางกว้างบางขนาดก็ยกเลิกการใช้ไปแล้ว ส่วนมากทางรถไฟที่มีจำนวนประเทศที่ใช้น้อย แต่มีความยาวทางรถไฟค่อนข้างมาก เช่น รางกว้าง 1.676 เมตร (5 ฟุต 6 นิ้ว) รางกว้าง 1.600 เมตร (5 ฟุต 3 นิ้ว) และรางกว้าง 1.524 เมตร (5 ฟุต) ซึ่งเรียกรวมๆ กันว่ารางกว้างกว่ามาตรฐาน (Broad Gauge) ใช้อยู่มากในประเทศที่มีขนาดพื้นที่กว้างเช่น อินเดีย ออสเตรเลีย และสหภาพโซเวียต เป็นต้น

ตารางที่ 2.6 รูปแบบการใช้งานต่างๆ ของ Track gauge ในต่างประเทศ [5]

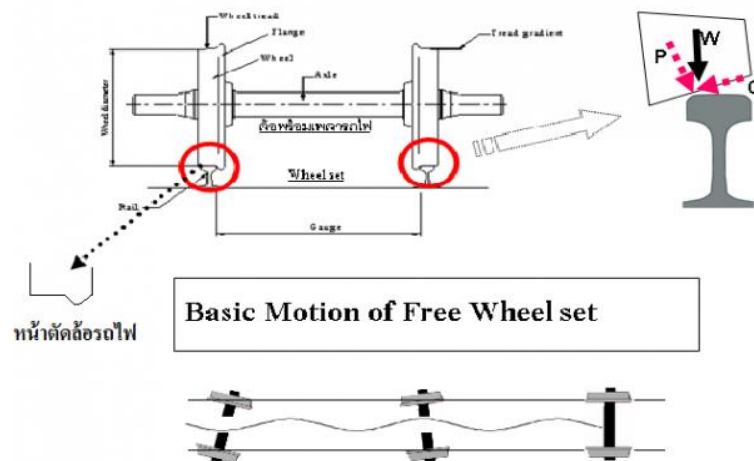
Gauge		Names and usage
Imperial	Metric	
4"-8"	1435 mm	Standard gauge
4"-10"	1473 mm	Ohio gauge
4"-10 7/8"	1495 mm	Toronto subway track gauge as well as Toronto streetcar track gauge
	1520 mm	Russian gauge
5"	1524 mm	Finland, most U.S. southern states before the American Civil War
5"-2"	1581 mm	US, Baltimore and Philadelphia streetcars
5"-2 1/2"	1588 mm	Pennsylvania Trolley gauge, see Southeastern Pennsylvania Transportation Authority subway cars and Southeastern Pennsylvania Transportation Authority streetcars
5"-3"	1600 mm	Irish broad gauge, Victorian broad gauge, South Australian broad gauge, Brazilian broad gauge
5"-5"	1668 mm	Iberic gauge, used in Portugal and Spain (Renfe)
5"-6"	1676 mm	India, U.S. (BART), Canada (Grand Trunk Railway, St. Lawrence and Atlantic Railroad and the Champlain and St. Lawrence Railroad until 1873) The Grand Trunk Railway of Canada collections
5ft -7/8"	1750 mm	France, Line originally from Paris to Limours via Saint-Rmy-ls-Chevreuse. From till 1891 when it was converted to standard gauge.
6"-4 5/8"	1945 mm	Netherlands, Dutch broad gauge, 1839-1866
7"	2140 mm	Great Western broad gauge The "gauge war"

รูปแบบของ Track gauge ในต่างประเทศนั้นจะเห็นได้ว่ามีหลายขนาดซึ่งทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ อาทิเช่น บริษัทผู้ผลิต สภาพภูมิประเทศ รูปแบบของการขนส่ง ฯลฯ

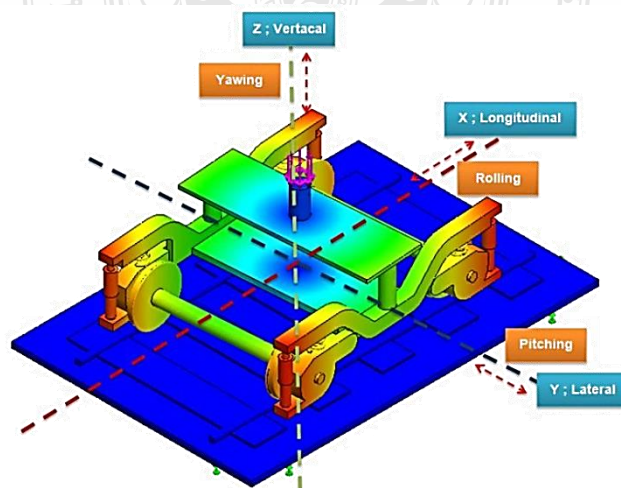
2.4 ลักษณะของแรงจากล้อกระทำต่อรางรถไฟ [4], [11]

2.4.1 การสั่นสะเทือนของรถไฟมีปฐมเหตุจากล้อ

ล้อรถไฟจะมีรูปร่างเป็นกรวยตัด พื้นล้อเป็นระนาบเอียง สันนิษฐานว่า(เพราะยังหาตำราไม่พบ)เมื่ील้อตกลงบนรางแล้วจะทำให้เกิดการแตก แรงดังแสดงในรูป กล่าวคือ น้ำหนักรถ W ที่ตกลงบนรางจะแตกออกเป็นแรง P ซึ่งจะดันรางให้เบะออกด้านข้างและแรง Q ซึ่งดึงล้อให้ไถลเข้าด้านใน แรง Q ของล้อซ้ายและขวาจะดึงให้ล้อรถไฟอยู่ในตำแหน่งตรงกลาง เป็นการสร้างให้เกิดการสมดุล ผลก็คือแรงที่บ่งไปล้อกระทบกับหัวรางของล้อที่มีพื้นล้อแบบกรวยตัดจะน้อยกว่าแรงกระทบของล้อที่มีพื้นล้อเป็นแบบทรงกระบอก



รูปที่ 2.12 การสั่นสะเทือนของรถไฟมีปฐมเหตุจากล้อ [11]

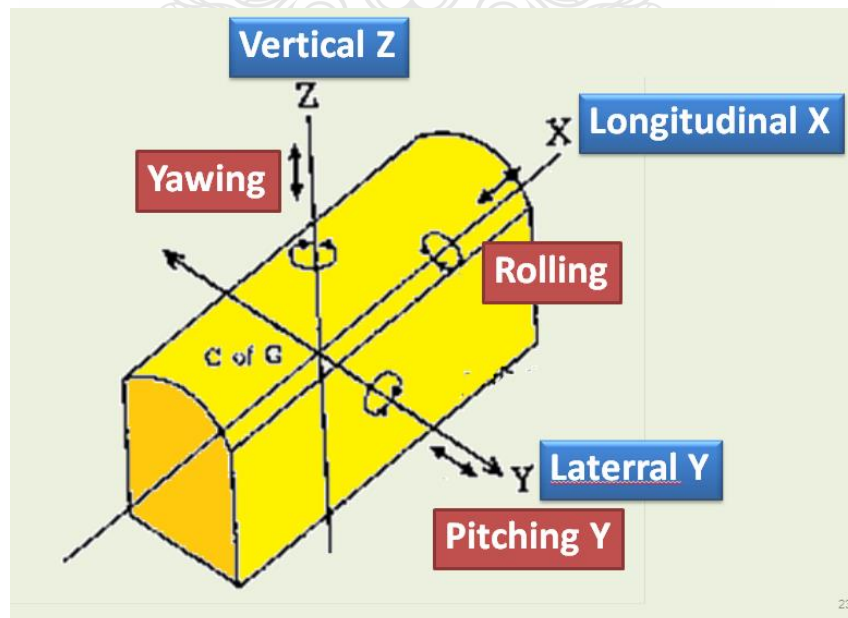


รูปที่ 2.13 การสั่นสะเทือนของรถ 4 ล้อ

2.4.2 การสั่นสะเทือนที่เกิดจากแรงภายนอก[8]

ในการออกแบบแคร่นั้น วิศวกรจะลดการสั่นสะเทือนโดยให้มีระบบ Primary suspension (อุปกรณ์รับน้ำหนักชุดแรกที่อยู่ติดกับเพลาล้อ) และระบบ Secondary suspension (อุปกรณ์รับน้ำหนักชุดที่สอง ที่การสั่นสะเทือนส่งผ่านมาจากอุปกรณ์ส่วนเคลื่อนไหวยของแคร่ และจาก Primary suspension ด้วย) เพื่อควบคุมการสั่นสะเทือนจึงต้องติดตั้งโช้คอัพ (Shock Absorber) เพื่อระงับการสั่นสะเทือนที่ผิดปกติให้จางหายไปโดยเร็ว แคร่สำหรับรถที่วิ่งด้วยความเร็วต่ำก็อาจจะเป็นโช้คอัพแบบง่ายๆ เช่นรถสินค้า 4 ล้อในสมัยแรกซึ่งใช้สปริงแบบเหล็กแผ่น (Leaf Spring) ไม่ติดตั้งโช้คอัพ แต่อาศัยแรงเสียดสีระหว่างแผ่นเหล็กสปริงช่วยระงับการสั่นสะเทือนในแนวตั้ง ทำหน้าที่เป็น Primary suspension รถเหล่านี้วิ่งได้ความเร็ว 50-70 กม/ชม.(km/hr) เท่านั้น สำหรับรถโดยสารซึ่งวิ่งเร็วกว่า และต้องการควบคุมการสั่นสะเทือนให้รัดกุม กว่า แคร่ก็จะใช้ทั้ง Coil spring และโช้คอัพที่มีคุณภาพสูงกว่า เป็น Primary suspension ส่วน Secondary suspension ก็จะมีทั้งที่ใช้ทั้ง Coil spring ถูกลม (Air spring) และแผ่นยางสลับโลหะ (Metallic) สำหรับรถไฟความเร็วสูงซึ่งวิ่งด้วยความเร็ว 200-350 กม/ชม. (km/hr) นั้น นอกจากจะติดตั้งระบบรับน้ำหนักดังกล่าวแล้ว ยังติดตั้งโช้คอัพแคร่ละนับสิบตัว เพื่อระงับการสั่นสะเทือนทุกทิศทางที่ เกิดขึ้นดังกล่าวแล้วกับ Primary และ Secondary suspension การออกแบบที่ดีจะควบคุมการสั่นสะเทือนโดยล้อจะเสียดสีกับส้นรางเท่านั้น

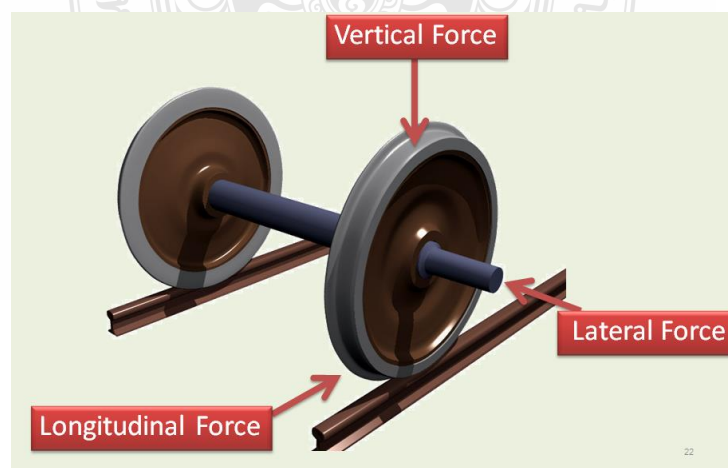
2.5 นิยามของ Degree of Freedom ของรถไฟ [9],[10]



รูปที่ 2.14 Degree of Freedom ของรถไฟ

เมื่อล้อพร้อมเพลลาเซออกไปทางด้านใด ล้อด้านนั้นก็จะวิ่งไปบนรางด้วยเส้นผ่าศูนย์กลางที่โตกว่าล้อด้านตรงข้าม เป็นผลให้ล้อด้านนั้นวิ่งล้าหน้าไป เพลาล้อจึงส่ายออกหน้าจากแนวแกนที่ตั้งฉากกับรางรถไฟ ทำให้เกิดการบังคับทิศทางให้ล้อพร้อมเพลลาเคลื่อนที่กลับ (Self Steering) ล้อด้านที่วิ่งด้วยเส้นผ่าศูนย์กลางที่โตกว่าก็จะส่ายกลับเอาแกนด้านตรงข้าม นำหน้าใหม่ สลับกันไปเช่นนี้ ผลก็คือเกิดการเคลื่อนที่ของล้อพร้อมเพลลาในลักษณะงูเลื้อยดังกล่าวดังกล่าวแล้ว ถ้าความถี่ในการส่ายแบบงูเลื้อยของล้อพร้อมเพลลาคู่หน้าและหลังไม่ทับรอย กัน (Out of phase) เท่ากับ 180° พอดี ตัวรถด้านหน้าและด้านหลังก็จะส่ายไปคนละด้าน ทำให้เกิดการส่ายของตัวรถรอบแกน Z หรือที่เรียกว่า Hunting การส่ายของเพลลาล้อคู่หน้าและหลังอาจจะไม่ทับรอยกัน 180° พอดี ซึ่งจะทำให้ศูนย์กลางของการส่าย (Center of Gravity: C of G) เคลื่อนออกทางด้านข้างในแนวแกน Y เรียกว่าการไกว หรือ Swaying และในทำนองเดียวกัน ถ้าการยุบตัวของสปริงรับน้ำหนักที่ล้อแต่ละด้านสั้นไม่ทับรอยกัน (Out phase) ก็จะทำให้ C of G ของตัวรถเดินขึ้นลงในแนวแกน Z หรือที่เรียกว่า Bouncing ส่วนการกระดกหน้ากระดกหลังรอบแกน Y ที่เรียกว่า Yawing หรือ Pitching จะเกิดจากการยุบตัวของสปริงรับน้ำหนักที่ไม่ทับรอยกัน 180° การสั่นสะเทือนประเภทสุดท้ายคือ การกระตุกในแนวแกน X หรือที่เรียกว่า Fore & Aft เกิดจากผลของ Gyroscopic อันเนื่องมาจากล้อพร้อมเพลลาที่มีน้ำหนักเป็นต้นหมุนรอบเพลลาซึ่งส่ายไปมา ในขณะที่ล้อเคลื่อนที่ไปตามแนวรางรถไฟ นอกจากนี้หากล้อรถไฟมีน้ำหนักไม่สมดุล ก็อาจจะทำให้เกิดการสั่นสะเทือนแบบนี้มากยิ่งขึ้น รถไฟที่วิ่งเร็วกว่า 160 กม/ชม. (km/hr) จึงต้องถ่วงล้อเหมือนรถยนต์เพื่อลดการกระตุกลง การสั่นสะเทือนของรถไฟในสภาพที่เป็นจริง จะเกิดจากการผสมผสานของการสั่นสะเทือนทั้ง 6 แนวแกนที่เกิดขึ้นพร้อมกัน

2.6 ลักษณะภาระโหลดที่กระทำต่อล้อ [11]

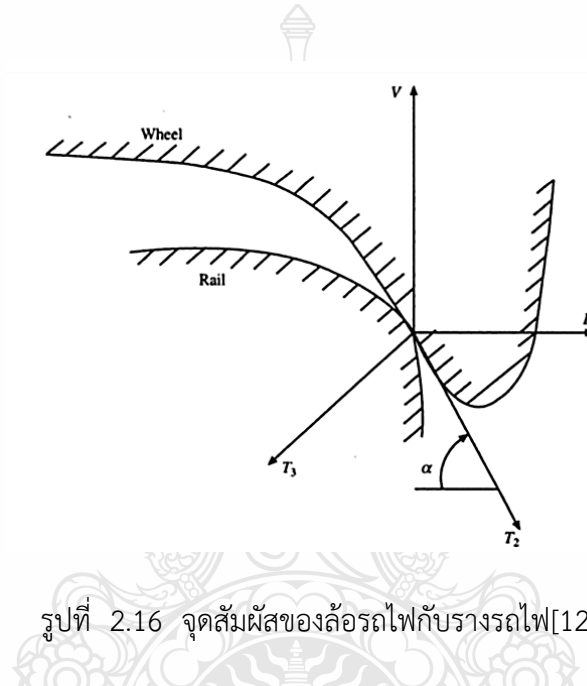


รูปที่ 2.15 ลักษณะภาระโหลดที่กระทำต่อล้อ[11]

โดยทั่วไปลักษณะภาระโพลดที่กระทำต่อล้อรถไฟ สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ลักษณะ ดังนี้

- 1) Vertical Force แรงกระทำด้านบน ตั้งฉากกับทิศของการเคลื่อนที่
- 2) Lateral Force แรงกระทำด้านข้างของล้อรถไฟ
- 3) Longitudinal Force แรงกระทำตามทิศการเคลื่อนที่

2.7 สมการประเมินความเสี่ยงการตกราง ของ Nadal's [12]



รูปที่ 2.16 จุดสัมผัสของล้อรถไฟกับรางรถไฟ[12]

สูตร ของนาดาล เป็นสมการประเมินความเสี่ยงจากการตกรางของรถไฟ ออกแบบรถไฟที่เกี่ยวข้องกับแรง กระทำต่อ ล้อและแคร่รถไฟ เมื่อรถไฟมีแรงมากกระทำกับตัวล้อและแคร่ จะส่งผลให้ตัวรถเกิดการเซ แรงต่างๆ ที่เกิดขึ้น จะพิจารณาได้ 3 ลักษณะ ได้แก่ แรงด้านข้าง แรงด้านบน และแรงตามแนวการเคลื่อนที่ ซึ่งสามารถพิจารณาจุดสัมผัสได้จากสมการ ดังต่อไปนี้

ในสมการนี้ L และ V หมายถึง แรงด้านข้าง และแรงด้านบนที่กระทำต่อล้อและราง α คือมุม ที่ทำเมื่อนำแปลนล้อที่อยู่ติดกับบังใบล้อ และ μ คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานระหว่างล้อกับรางรถไฟ [12]

$$\text{จะคำนวณได้จากสมการ} \quad L = T_2 \cos \alpha - T_3 \sin \alpha \quad (2.1)$$

$$\text{และ} \quad -V = T_2 \sin \alpha + T_3 \cos \alpha \quad (2.2)$$

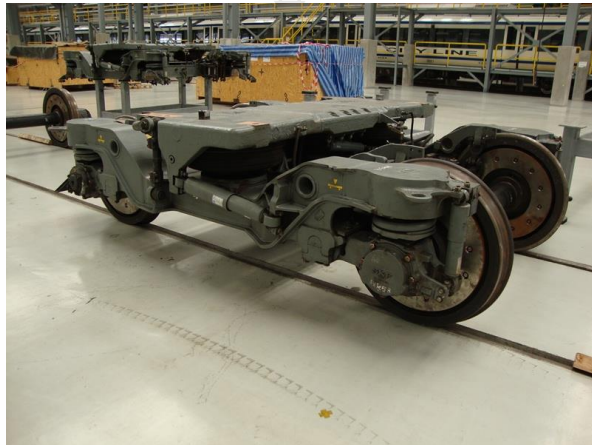
เนื่องจาก $T_2 = \mu T_3$ จะได้ (2.1) และ (2.2) ดังนี้

$$\frac{L}{V} = \frac{\tan \alpha - \mu}{1 + \mu \tan \alpha} \quad (2.3)$$

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 2.16 การประเมินความเสี่ยงต่อการตกของรถไฟเมื่อเข้าโค้งนั้นจะเห็นว่า มีแรงกระทำหลักมาจาก 2 ส่วน คือ 1) แรงกระทำในแนวตั้ง (Q) ที่เกิดขึ้นจากน้ำหนักของรถไฟและน้ำหนักบรรทุก และ 2) แรงกระทำด้านข้าง (Y) ที่เกิดขึ้นในการวิ่งของรถไฟในทางโค้ง ซึ่งตามมาตรฐาน UIC 518 ค่าความปลอดภัยในการวิ่งของรถไฟ [14] ในทางตรง Y/Q ต้องไม่เกิน 0.8

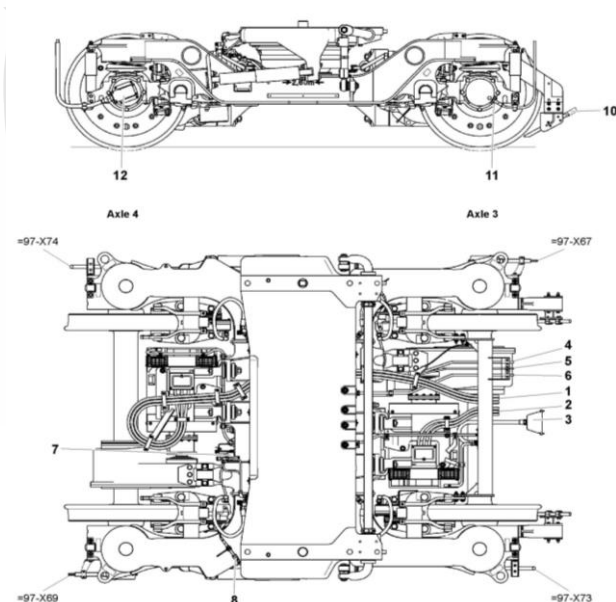
2.8 การวิเคราะห์แรงกระทำจากตู้โดยสารสู่ชุดล้อเลื่อน

2.8.1 แคร่ของรถไฟฟ้าแอร์พอดเรลลิง SF 5000



รูปที่ 2.17 แคร่ของรถไฟฟ้าแอร์พอดเรลลิง SF 5000 [4]

2.8.2 ส่วนประกอบแคร่รถไฟฟ้าแอร์พอดเรลลิง SF 5000



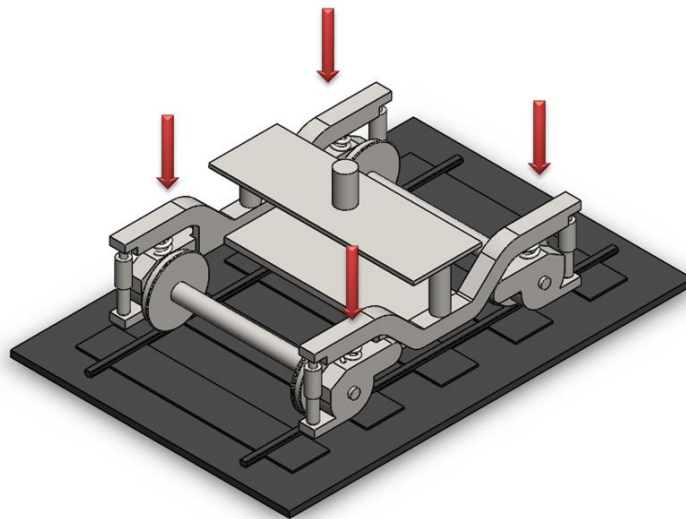
รูปที่ 2.18 ส่วนประกอบแคร่รถไฟฟ้าแอร์พอดเรลลิง SF 5000 [4]

2.8.3 ข้อมูลแครรถไฟฟ้าแอร์พอดเรลลิง SF 5000 [4]

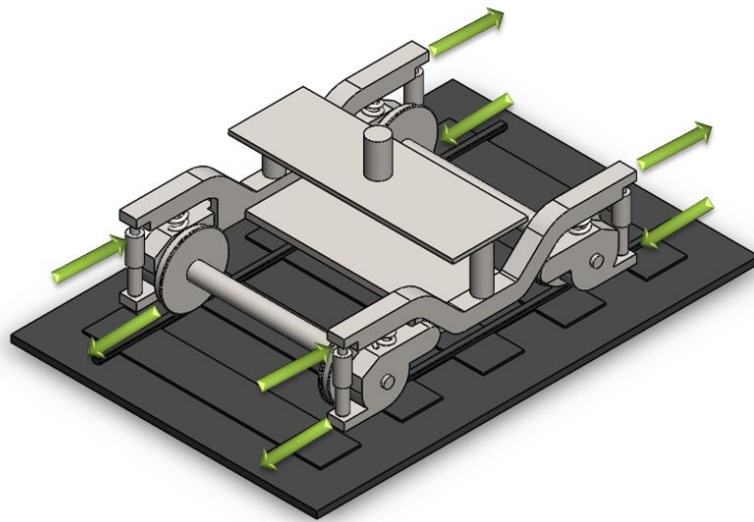
Technical Data	
Bogie	SF 5000
Types	Motor and Trailer Bogies
Running Speed	160 km/h
Axle load	16.5 t
Continuous power per wheelset	250 kW
Wheelbase	2600 mm
Track gauge	1435 mm
Wheel diameter new/worn	850 mm / 786 mm
Smallest radius of curvature In service / workshop	R120 (In service) R90 (In workshop)
Bogie height	935 mm
Mechanical brake	Wheel check disc brake

รูปที่ 2.19 ข้อมูลแครรถไฟฟ้า ของแอร์พอดเรลลิง SF 5000[4]

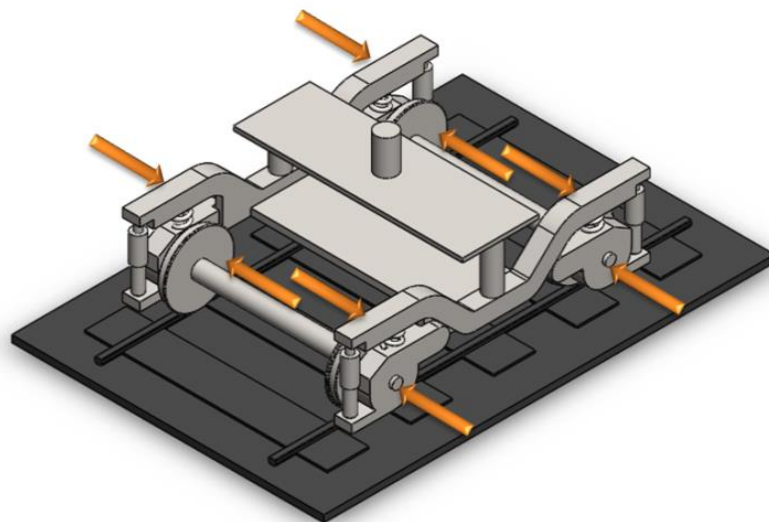
2.8.4 ตัวอย่างลักษณะของแรงกระทำต่อแครรถไฟ [7]



รูปที่ 2.20 ลักษณะของแรงกระทำในแนวตั้ง[7]



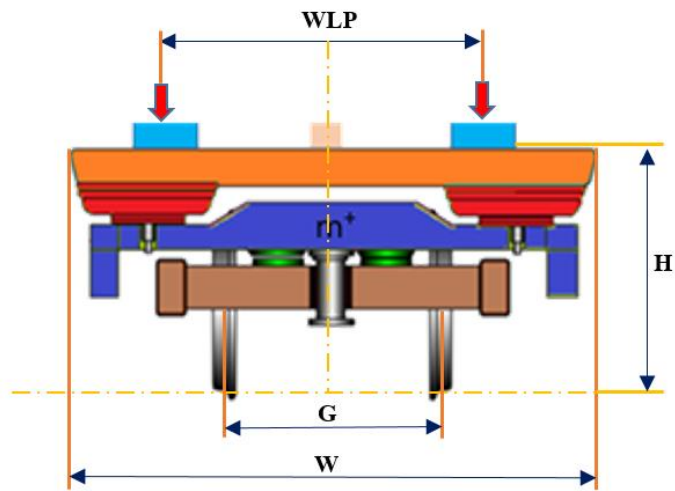
รูปที่ 2.21 ลักษณะของแรงกระทำตามทิศทางการเคลื่อนที่[7]



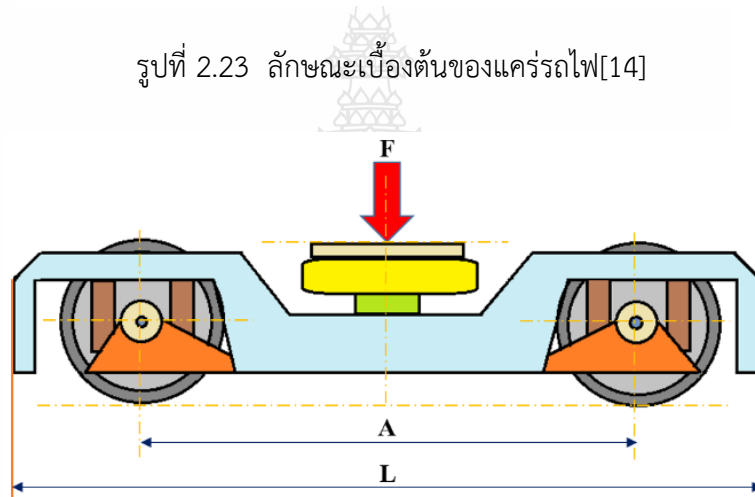
รูปที่ 2.22 ลักษณะของแรงกระทำด้านข้าง[7]

2.9 มิติสำคัญในการทดสอบแคร่รถไฟ

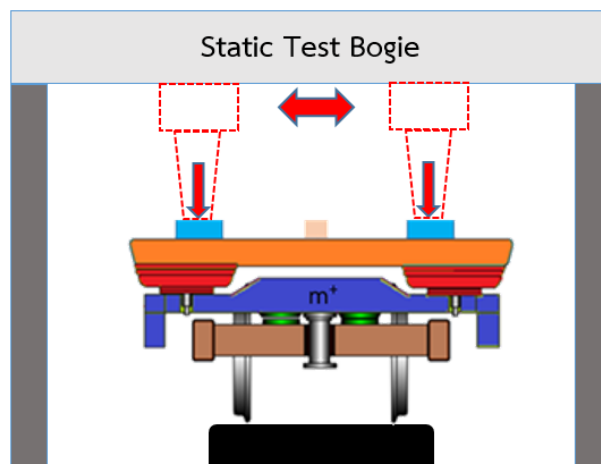
ในการออกแบบเครื่องทดสอบแคร่ที่ผ่านการซ่อมบำรุงตามวาระแล้ว นอกจากการกำหนดขนาดของแรงกระทำแล้วยังต้องพิจารณาตัวแปรหลักเพิ่มอีก 2 ส่วนคือ ตัวแปรมิติของแคร่และตำแหน่งของแรงกระทำ รูปที่ 2.23 แสดงมิติสำคัญที่ใช้ในการออกแบบเครื่องทดสอบแคร่ ในขณะที่รูปที่ 2.24 แสดงลักษณะเบื้องต้นของเครื่องทดสอบแคร่ซึ่งสามารถให้แรงกระทำได้ 2 จุดโดยสามารถปรับเลื่อนตำแหน่งของแรงกระทำได้



รูปที่ 2.23 ลักษณะเบื้องต้นของแคร่รถไฟ[14]

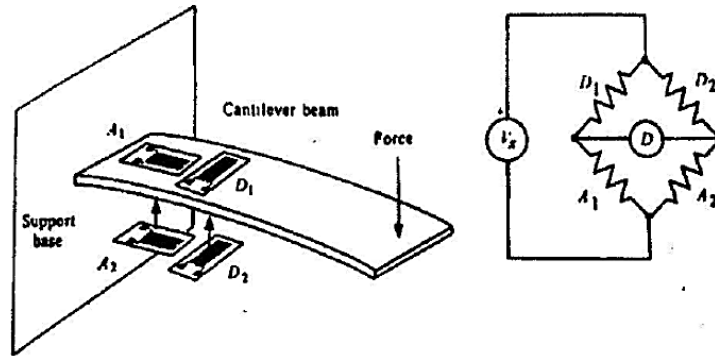


รูปที่ 2.24 มิติสำคัญในการทดสอบแคร่[14]



รูปที่ 2.25 รูปแบบการให้แรงกระทำของเครื่องทดสอบแคร่[14]

2.10 การคำนวณค่าตัวแปร[15]



รูปที่ 2.26 แสดงการใช้งานสเตรนเกจร่วมกับวงจรบริดจ์[15]

หากเราพิจารณาความไว (Sensitivity) ของวงจรบริดจ์ในการตรวจวัดความเครียดในรูปแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากวงจร สามารถพิสูจน์ได้ดังต่อไปนี้

$$\text{เมื่อกำหนด } R_1 = R_2 = R_D = R \quad (2.4)$$

ความต้านทานของสเตรนเกจที่ใช้ในการตรวจวัดเป็น R_A

$$R_A = R (1 + dR/R) \quad (2.5)$$

แรงดันไฟฟ้าที่ได้จากวงจรบริดจ์มีค่าเท่ากับ

$$dV = V_s [(R_D / (R_D + R_1)) - (R_A / (R_A + R_2))] \quad (2.6)$$

เมื่อแทน $R_1 = R_2 = R_D = R$ และ $R_A = R (1 + dR/R)$ ลงในสมการจะได้ว่า

$$dV = -V_s [(dR/R) / (4 + 2(dR/R))] \quad (2.7)$$

เนื่องจาก

$$GF = (dR/R) / (dl/l)$$

ดังนั้น

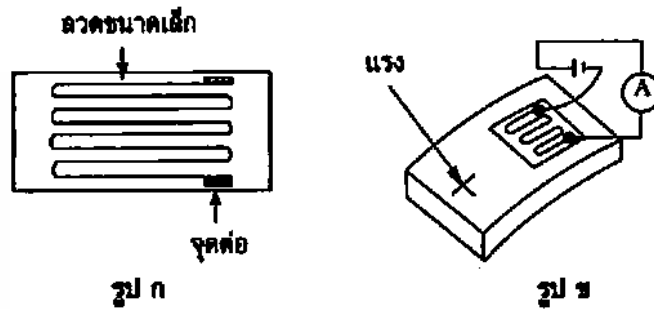
$$dR/R = GF (dl/l)$$

$$dV = (-V_s/4) GF (dl/l) \quad (2.8)$$

ในรูปแบบอื่นของการประยุกต์ใช้งานสเตรนเกจ (Strain gauge) ก็คือ การใช้สเตรนเกจติดไว้ทั้ง 2 ด้านของวงจรบริดจ์และเป็นที่แน่นอนว่าเมื่อมีการใช้สเตรนเกจ 2 ตัว ก็ย่อมที่จะมีอุปกรณ์ชดเชยอุณหภูมิ 2 ตัวด้วยเช่นกัน ข้อดีของการประยุกต์ใช้งานแบบนี้คือ ความไว (Sensitivity) ในการตรวจวัดก็จะเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า ด้วยและแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากวงจรมีค่าเท่ากับ

$$dV = - (V_s/2) GF (dl/l) \quad (2.9)$$

เมื่อ GF คือค่า Gauge factor ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นตัวชี้บอกถึงสัดส่วนการเปลี่ยนแปลงความต้านทานกับค่าความเครียดของ gauge สำหรับ Strain gauge ที่ทำจากวัสดุที่แตกต่างกัน ค่า Gauge factor ก็จะมีค่าแตกต่างกัน



รูปที่ 2.27 แสดงส่วนประกอบภายในของเกจ[15]

2.11 ภาระโหลดของรถไฟฟ้า [22]

ในการออกแบบล้อเลื่อนโดยทั่วไปจะกำหนดภาระโหลดต่อรถไฟฟ้าเป็น 5 ระดับ คือ

1. โหลดของรถไฟฟ้าตัวเปล่า (Tare Load, AW0)
2. โหลดที่เกิดขึ้นจากผู้โดยสารนั่งเท่านั้น (Seating Capacity Load, AW1)
3. โหลดที่เกิดขึ้นจากผู้โดยสารนั่ง และยืน ในอัตรา 4 คนต่อตารางเมตร (Normal Load, AW2)
4. โหลดที่เกิดขึ้นจากผู้โดยสารนั่ง และยืน ในอัตรา 6 คนต่อตารางเมตร (Peak Load, AW3)
5. โหลดที่เกิดขึ้นจากผู้โดยสารนั่ง และยืน ในอัตรา 8 คนต่อตารางเมตร (Crush Load, AW4)

2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

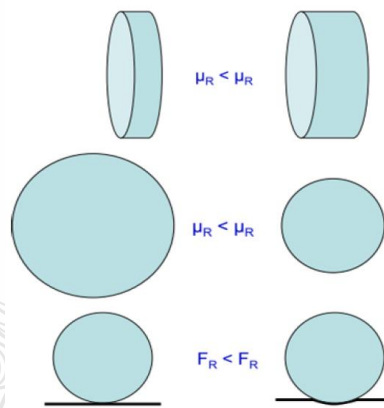
งานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงทฤษฎีพื้นฐานของการวิเคราะห์แรงที่กระทำต่อล้อรถไฟฟ้า และสร้างแบบจำลองขึ้น ซึ่งได้ศึกษาเพิ่มเติมจากงานวิจัย บทความ และตำราต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ได้นำแนวทางมาประยุกต์ใช้ เพื่อทำการศึกษาเพิ่มจากงานวิจัยต่างๆ ดังนี้

2.12.1 Jing Zeng และPingbo[12] ได้ศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการทรงตัวของรถไฟ และนิยามคำว่าโบกี้หรือแคร่ หมายถึงส่วนที่รองรับน้ำหนักตัวรถ ออกแบบเพื่อปรับปรุงสมรรถนะให้ตู้รถไฟสามารถวิ่งได้ด้วยความเร็วสูงอย่างปลอดภัย และให้ความรู้สึกที่นิ่มนวลต่อผู้โดยสาร ตู้รถไฟที่สร้างใช้งานในระยะแรกยังไม่มีแคร่ ตัวรถจะวางอยู่บนเพลาล้อพร้อมเพลลา แคร่รถไฟแบบต่างๆ รถไฟแบบมี 2

แคร่ๆละ 2 เพลาเป็นล้อเลื่อนรถไฟแบบมาตรฐานที่มีใช้งานอยู่โดยทั่วไป อย่างไรก็ตาม เนื่องจากเป็นวิธีการออกแบบที่มีราคาแพงจึงมีผู้พยายามพัฒนาระบบรับน้ำหนัก แบบอื่น ได้แก่รถไฟแบบ 4 ล้อที่สามารถวิ่งความเร็วสูงและรถแบบใช้แคร่ร่วม (Articulated Bogie) ซึ่งวิศวกรเห็นว่าหากสามารถสร้างให้มีสมรรถนะเท่ากับรถแบบใช้แคร่ ก็จะมีราคาต่ำกว่ารถเหล่านี้ในภายหลังเมื่อเครื่องมือและเทคโนโลยีทันสมัยขึ้น ก็สามารถออกแบบให้วิ่งความเร็วสูงได้ ตัวอย่างเช่น รถ 4 ล้อที่ใช้เทคโนโลยี Talgo Pendular ของประเทศสเปนซึ่งสามารถทำความเร็วในขณะทดสอบได้ถึง 359 กม/ชม. (km/hr)

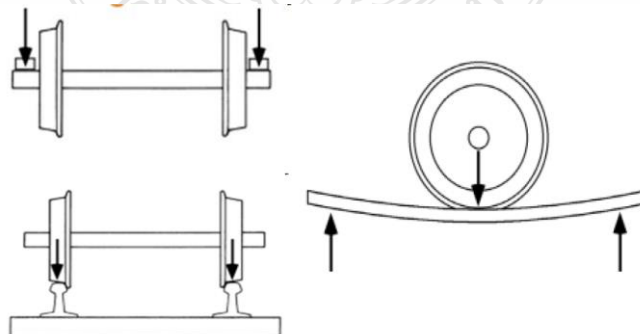
2.12.2 Ishida และ Matsuo[21] ได้ศึกษาแรงต้านที่กระทำต่อรถไฟ ซึ่งแรงต้านของรถไฟแบ่งออกเป็น 5 ส่วนดังนี้

- 1) แรงต้านที่เกิดจากแรงเสียดทานต่อการเคลื่อนที่ของรถไฟ (Rolling friction)



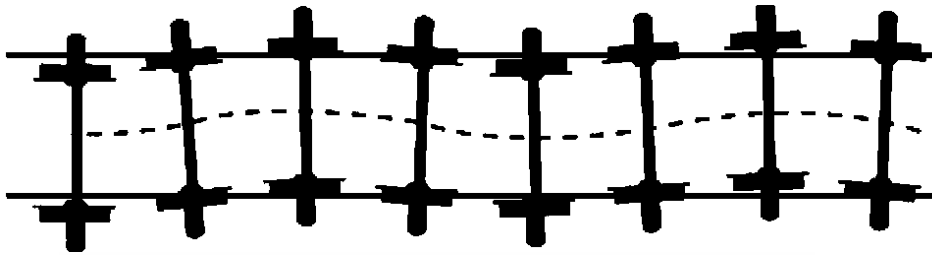
รูปที่ 2.28 แรงต้านที่เกิดจากแรงเสียดทานต่อการเคลื่อนที่ของรถไฟ[21]

- 2) แรงต้านที่เกิดจากน้ำหนัก (Resistance vary with weight)



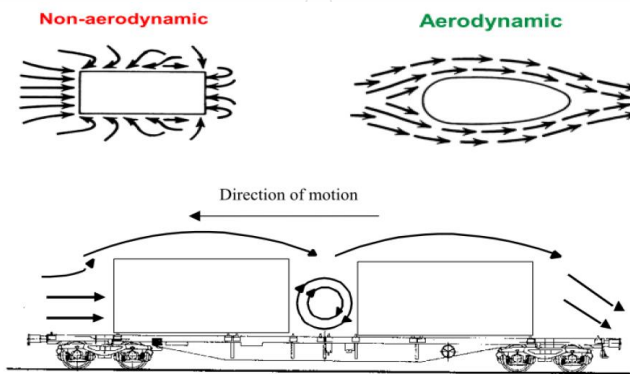
รูปที่ 2.29 แรงต้านที่เกิดจากน้ำหนัก[21]

3) แรงต้านที่เกิดขึ้นขณะรถไฟกำลังวิ่ง (Resistance vary with speed)



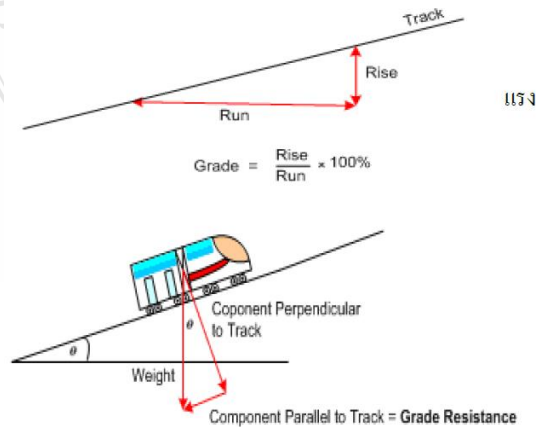
รูปที่ 2.30 แรงต้านที่เกิดขึ้นขณะรถไฟกำลังวิ่ง[21]

4) แรงต้านที่เกิดจากความต้านทานของอากาศ (Resistance vary with air)



รูปที่ 2.31 แรงต้านที่เกิดจากความต้านทานของอากาศ[21]

5) แรงต้านที่เกิดจากทางลาดชัน (Gradient resistance)



รูปที่ 2.32 แรงต้านที่เกิดจากทางลาดชัน[21]

2.12.3 Akira Matsumoto และคณะ[11] ได้ทำการศึกษาการสั่นสะเทือนของรถไฟ ล้อรถไฟจะมีรูปร่างเป็นกรวยตัด พื้นล้อเป็นระนาบเอียง สันนิษฐานว่า(เพราะยังหาตำราไม่พบ)เมื่อล้อ กดลงบนรางแล้วจะทำให้เกิดการแตกแรง ดังแสดงในรูป 2.12 กล่าวคือ น้ำหนักรถ W ที่กดลงบนรางจะ แตกออกเป็นแรง P ซึ่งจะดันรางให้แบะออกด้านข้างและแรง Q ซึ่งตั้งล้อให้ไกลเข้าด้านใน แรง Q ของ ล้อซ้ายและขวาจะดึงให้ล้อรถไฟอยู่ในตำแหน่งตรงกลาง เป็นการสร้างให้เกิดการสมดุล ผลก็คือแรงที่บัง ไขล้อกระทบกับหัวรางของล้อที่มีพื้นล้อแบบกรวยตัดจะน้อยกว่าแรงกระทบของล้อที่มีพื้นล้อเป็น แบบทรงกระบอก

2.12.4 สุเทพ แร่อ่อน และคณะ[23] ได้นำเสนอการวิเคราะห์หาการกระจายความเค้นในล้อ และรางภายใต้จุดสัมผัส ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยได้นำข้อมูลรูปร่างทางเรขาคณิตของล้อ และราง UIC60 [13] มาใช้ในการสร้างแบบจำลองสามมิติเพื่อวิเคราะห์การกระจายความเค้นสัมผัสของ ล้อและรางเมื่อจุดสัมผัสมีการเปลี่ยนตำแหน่งไปจากจุดกึ่งกลางราง เพื่อดูผลกระทบของตำแหน่งสัมผัส ต่อความเค้นเฉือนสูงสุดที่เกิดขึ้น จากผลการวิเคราะห์พบว่าความเค้นเฉือนสูงสุดในรางเกิดขึ้นที่ความลึก ประมาณ 3 มิลลิเมตรใต้จุดสัมผัส และในล้อจะเกิดขึ้นที่ความลึกประมาณ 2 มิลลิเมตร ซึ่งจุดที่ความ เค้นเฉือนสูงสุดนี้จะจุดเริ่มต้นของรอยแตกกว้างของผิวราง(surface crack)และล้อ นอกจากนี้ ตำแหน่งสัมผัสที่มีความเค้นเฉือนสูงสุดเกิดขึ้นที่บริเวณหัวรางด้านใน(gauge corner) ดังนั้นจึงพบเห็น รอยแตกกว้างจากการล้าจากการสัมผัสกลิ้ง (rolling contact fatigue) บนรางในบริเวณนี้เป็นส่วนใหญ่ ส่วนของล้อตำแหน่งที่จะเห็นรอยร้าวที่ผิวคือส่วนพื้นล้อที่สัมผัสกับหัวรางด้านนอก

2.12.5 เทอดเกียรติ ลิ้มปิที่ปรากร และสุรียา สารมาตย์[25] ได้ศึกษาความเสียหายของ ตลับลูกปืน และวิเคราะห์หาตัวแปรที่สำคัญที่มีอิทธิพลต่อการใช้งานของตลับ จากการศึกษาตลับ ลูกปืนที่ใช้งานมาเป็นระยะเวลา 6 ปี พบว่าความเสียหายของตลับลูกปืนจำแนกได้เป็น 3 ระดับตาม ลักษณะความเสียหายที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นที่รับแรง

2.12.6 นายมนตรี กุลประดิษฐ์[24] ได้ศึกษาการวัดแรงกระทำด้านข้างต่อชุดเพลาล้อรถไฟ ในการประเมินความปลอดภัยในการวิ่งของรถไฟ การวัดแรงกระทำที่เกิดขึ้นที่ชุดเพลาล้อรถไฟถือว่ามี ความสำคัญอย่างยิ่ง ในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาวิธีการวัดและวิเคราะห์แรงกระทำด้านข้างต่อชุด เพลาล้อรถไฟ และประเมินค่าความปลอดภัยในการวิ่งของรถไฟขณะเข้าโค้ง โดยปกติอัตราส่วนความ ปลอดภัยคือค่าระหว่างแรงกระทำด้านข้าง (Y) ต่อแรงกระทำในแนวตั้ง (Q) ซึ่งอัตราส่วนดังกล่าว (Y/Q) ของการวิ่งของรถไฟในทางตรงต้องไม่เกิน 0.8 และในทางโค้งต้องไม่เกิน 1.2 การวัดแรงกระทำด้านข้าง ต่อชุดเพลาล้อรถไฟ แบ่งเป็น 2 กรณี กรณีแรกจะทำการวัด ขณะที่รถไฟจำลองหยุดนิ่ง จะมีวิธีการวัด 2

แบบคือวิธีการวัดความเครียดและการวัดความเร่ง โดยมีการเปรียบเทียบกับทางทฤษฎีทั้งวิธีการคำนวณและการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ ส่วนกรณีที่สองจะทำการวัดขณะที่รถไฟจำลองเคลื่อนที่จะอาศัยวิธีการวัดแรงกระทำด้านข้างต่อชุดเพลาล้อรถไฟแบบความเร่งเท่านั้น จากผลการทดลองในขณะรถไฟจำลองหยุดนิ่งพบว่า แรงกระทำด้านข้างต่อชุดเพลาล้อรถไฟจำลองสูงสุดจากการวัดความเครียดและจากการวัดความเร่งคือ 22.2 N และ 12.4 N ตามลำดับ แรงกระทำด้านข้างสูงสุดที่เกิดจากการคำนวณและจากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์คือ 13.1 N และ 24.7 N ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบแรงกระทำด้านข้างที่เกิดจากการวัดมีค่าใกล้เคียงกับทางทฤษฎี และจากผลการทดลองในขณะรถไฟจำลองเคลื่อนที่พบว่า ในทางโค้งไม่มีการยกโค้งที่รถไฟจำลองมีความเร็ว 0.84 m/s และมีแรงกระทำด้านข้างสูงสุดคือ 220 N ทั้งนี้เมื่อวิเคราะห์หาอัตราส่วนความปลอดภัยของการวิ่งของแบบจำลองจะได้ค่าประมาณ 1.5 ซึ่งสูงกว่าค่ากำหนดตามมาตรฐาน 1.2 ทั้งนี้แบบจำลองสามารถวิ่งผ่านทางโค้งได้โดยไม่ตกรางซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากการวัดค่าแรงกระทำด้านข้างที่ได้คาดเคลื่อนสูงกว่าความเป็นจริง

2.12.7 Piers Connor[22] ได้ศึกษาลักษณะของแรงกระทำที่มีผลในการออกแบบล้อเลื่อน โดยทั่วไปจะกำหนดภาระโหลดต่อรถไฟฟ้าเป็น 5 ระดับ คือ

- 1) โหลดของรถไฟฟ้าตัวเปล่า (Tare Load, AW0)
- 2) โหลดที่เกิดขึ้นจากผู้โดยสารนั่งเท่านั้น (Seating Capacity Load, AW1)
- 3) โหลดที่เกิดขึ้นจากผู้โดยสารนั่ง และยืน ในอัตรา 4 คนต่อตารางเมตร (Normal Load, AW2)
- 4) โหลดที่เกิดขึ้นจากผู้โดยสารนั่ง และยืน ในอัตรา 6 คนต่อตารางเมตร (Peak Load, AW3)
- 5) โหลดที่เกิดขึ้นจากผู้โดยสารนั่ง และยืน ในอัตรา 8 คนต่อตารางเมตร (Crush Load, AW4)

บทที่ 3

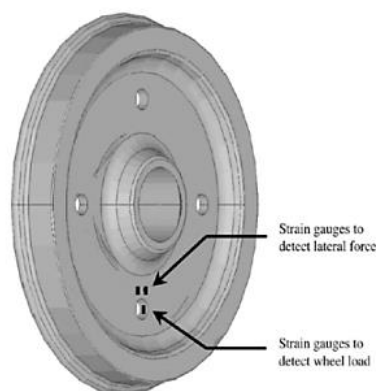
วิธีการดำเนินงาน

ในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนการดำเนินงาน ทฤษฎีที่ใช้สำหรับการหาค่าแรงกระทำในแนวตั้ง การวัด และวิเคราะห์แรงกระทำต่อชุดล้อรถไฟ ได้สร้างรถไฟจำลองขึ้นมาโดยเลือกวัสดุเป็นเหล็ก AISI 1020 ซึ่งมีคุณสมบัติของวัสดุใกล้เคียงกับชุดล้อรถไฟ ในการทดลองจะทำการวัดขณะที่รถไฟจำลองหยุดนิ่ง โดยวิธีการวัดความเครียดที่เกิดขึ้น สามารถกระทำได้ 3 วิธี คือ การคำนวณจากทฤษฎีความแข็งแรงของวัสดุ การคำนวณด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ และการทดลองหาแรงกระทำในแนวตั้งจากรถไฟจำลอง มีวิธีการดำเนินงานดังนี้

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

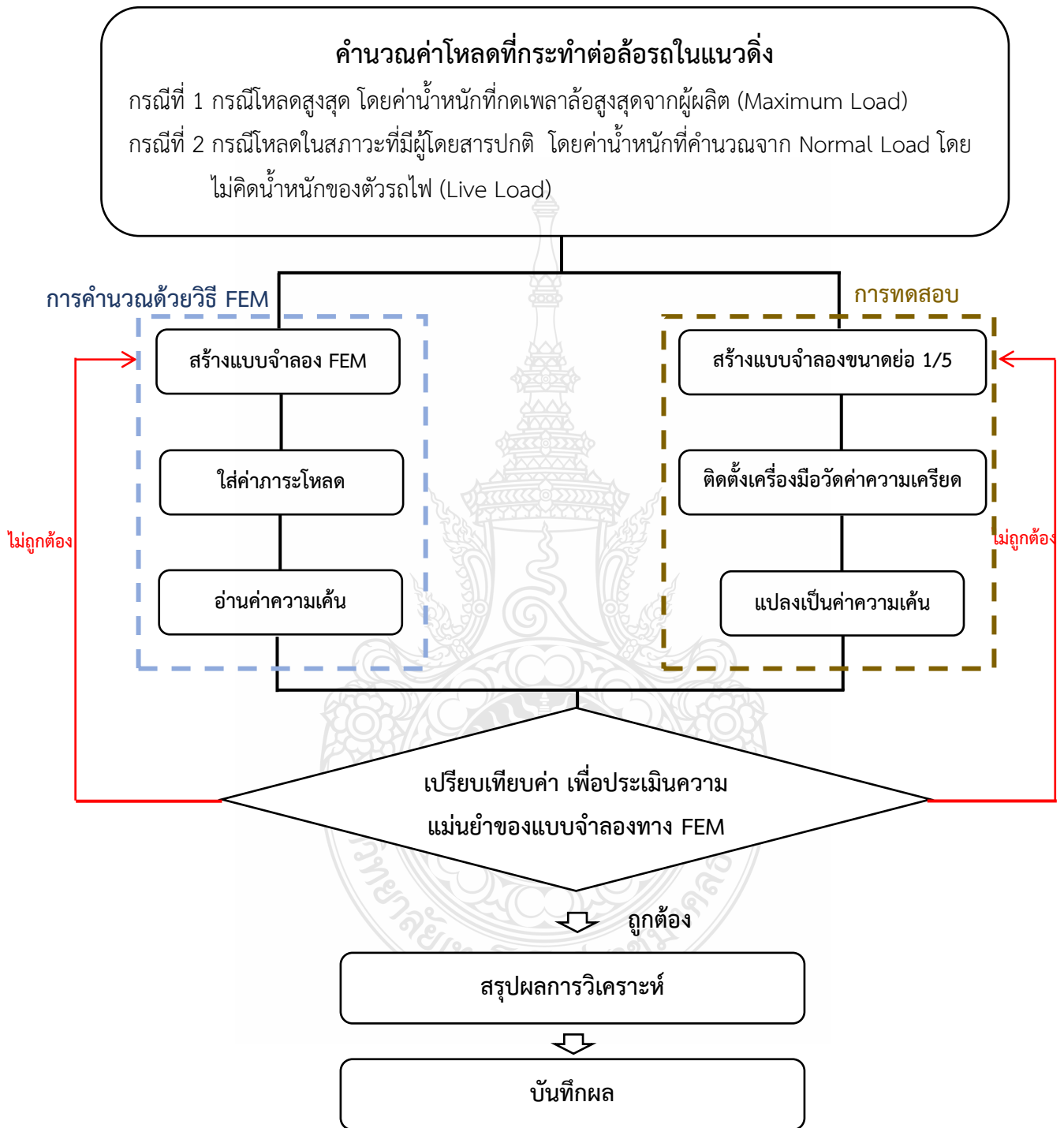
1. ศึกษาและรวบรวมข้อมูลภาระโหลดที่กระทำต่อชุดล้อรถไฟ
2. วิเคราะห์หาโหลดที่กระทำต่อชุดล้อรถไฟ
3. สร้างแบบจำลอง ไฟไนต์เอลิเมนต์ ของชุดล้อรถไฟ
4. สร้างแบบจำลองชุดล้อรถไฟ เพื่อใช้ในการจำลองหาแรงกระทำ
5. ทดสอบและวัดค่าแรงที่กระทำต่อชุดล้อรถไฟลักษณะต่างๆ
6. วิเคราะห์ และแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น
7. สรุปและจัดพิมพ์วิทยานิพนธ์

3.2 แนวคิดของตำแหน่งในการวัดค่าแรงกระทำในแนวตั้ง



รูปที่ 3.1 แนวคิดของตำแหน่งในการวัดค่าแรงกระทำในแนวตั้ง[19]

3.3 ขั้นตอนการหาค่าความเค้นของล้อรถไฟในแนวตั้ง

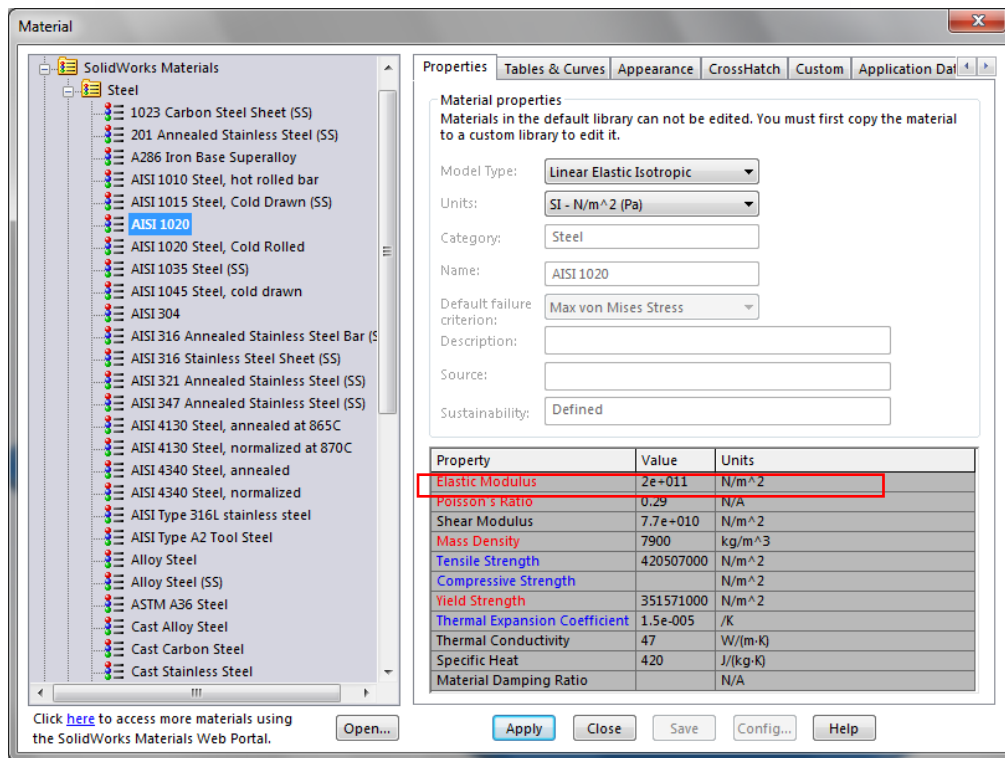


รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์แรงกระทำต่อชุดล้อเลื่อนรถไฟในแนวตั้ง

3.4 คำนวณค่าตัวแปรของแรงกระทำต่อชุดล้อรถไฟในแนวตั้ง

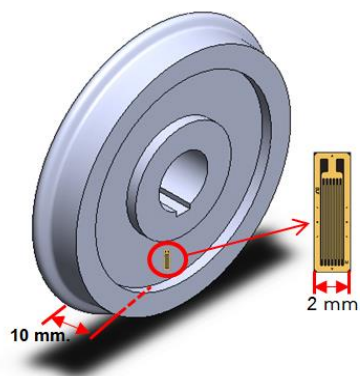
3.4.1 การคำนวณแรงกระทำต่อชุดล้อรถไฟในแนวตั้ง

3.4.1.1 การสร้างรถไฟจำลองขึ้นมาโดยเลือกวัสดุเป็นเหล็ก AISI 1020 ซึ่งมีคุณสมบัติของวัสดุใกล้เคียงกับชุดล้อรถไฟนั้น มีค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity, E มีค่า $2e+011$ N/m²)



รูปที่ 3.3 คุณสมบัติของวัสดุ

3.4.1.2 กำหนดพื้นที่ที่ใช้ในการทดสอบจากโปรไฟล์ล้อรถไฟจำลองที่ทำการติดตั้งสแตนเกจ



รูปที่ 3.4 การติดตั้งสแตนเกจ[19]

3.4.1.3 คำนวณหาพื้นที่หน้าตัดซึ่งเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าได้ดังนี้

$$A = W \times L \quad (\text{mm}^2) \quad (3.7)$$

โดยที่ $A =$ พื้นที่หน้าตัด (mm^2)

$W =$ ความกว้าง(mm.)

$L =$ ความยาว(mm.)

จากข้อมูลรถไฟจำลองสามารถคำนวณหาพื้นที่หน้าตัดได้จากความหนาของล้อ 10 mm. และความกว้างของสแตนเกจ 2 mm. ได้ดังนี้

จากสูตร $A = W \times L \quad (\text{mm}^2)$

แทนค่า $A = 2 \text{ mm.} \times 10 \text{ mm.}$

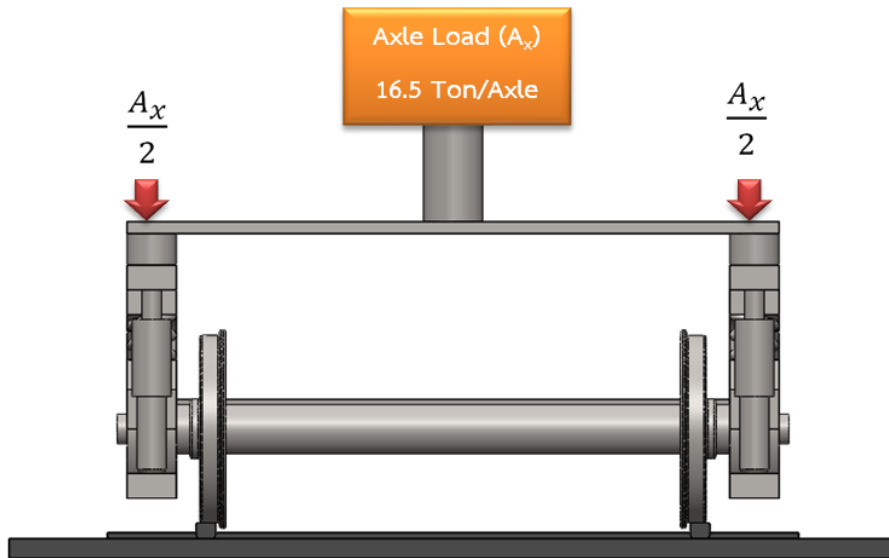
$A = 20 \text{ mm}^2$

หลังจากนั้นคำนวณค่าแรงกระทำในแนวตั้งที่กระทำต่อล้อรถไฟจำลอง โดยอ้างอิงค่า Axle load จากคร่อมรถไฟฟ้าวุ่น SF 5000

Technical Data	
Bogie	SF 5000
Types	Motor and Trailer Bogies
Running Speed	160 km/h
Axle load	16.5 t
Continuous power per wheelset	250 kW
Wheelbase	2600 mm
Track gauge	1435 mm
Wheel diameter new/worn	850 mm / 786 mm
Smallest radius of curvature In service / workshop	R120 (In service) R90 (In workshop)
Bogie height	935 mm
Mechanical brake	Wheel check disc brake

รูปที่ 3.5 ข้อมูลแคร่รถไฟ รุ่น SF 5000[4]

3.4.1.4 กรณีโหลดสูงสุด (Maximum load) นั้นพิจารณาจากค่า Axle load จากแคร่ของรถไฟฟ้ารุ่น SF 5000 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 16.5 t (16,500 Kg) เมื่อพิจารณาต่อล้อ แรงกระจายจากเพลาล้อส่งไปที่ล้อทั้งสองข้าง จะมีขนาดข้างละ 8.25 t (8,250 Kg) จะได้ค่าแรงกระทำในแนวดิ่ง ดังนี้



รูปที่ 3.6 การกระจายแรงของเพลาล้อ กรณี Maximum Load

$$F = mg \text{ (N)} \quad (3.8)$$

โดยที่ F = แรงกระทำต่อล้อรถไฟ (N)

m = มวล (kg)

g = ค่าแรงโน้มถ่วงของโลกมีค่า 9.81 m/s^2

คำนวณค่าแรงกระทำในแนวดิ่งในกรณี Maximum load

จากสูตร $F = mg \text{ (N)}$

แทนค่า $F = 8,250 \text{ kg} \times 9.81 \text{ m/s}^2$

$$F = 80,930 \text{ N}$$

เนื่องจากรถไฟจำลองที่สร้างขึ้นได้ทำการย่อขนาดให้มีอัตราส่วน 1 : 5 เพื่อให้สอดคล้องในการคำนวณจึงกำหนดค่าแรงกระทำในแนวดิ่งที่กระทำต่อชุดล้อเลื่อนรถไฟจำลองดังนี้

$$F_T = F/5 \text{ (N)}$$

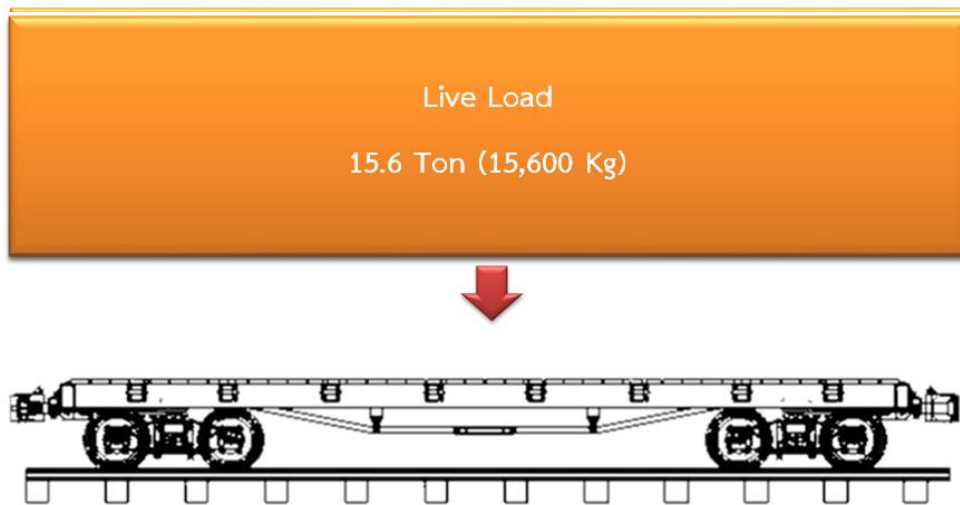
จะได้ $F_T = 80,930/5$

$$F_T = 16,186 \text{ N} \quad (3.9)$$

3.4.1.5 กรณีโหลดในสถานะที่มีผู้โดยสารปกติ (Live Load) เริ่มจากการนำเฉพาะค่า Normal Load (4 คนต่อตารางเมตร) มาพิจารณาโดยไม่คิดค่าน้ำหนักของตัวรถไฟฟ้าที่มีพื้นที่ขนาด 65 ตารางเมตร พบว่า

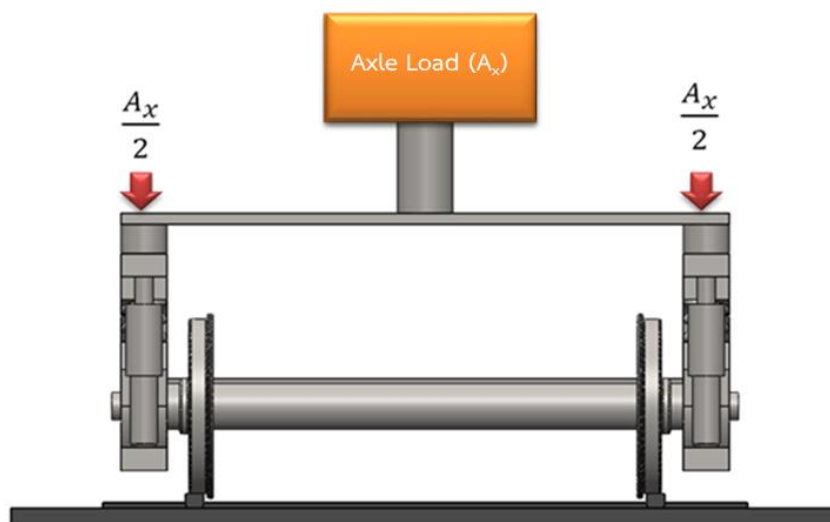
$$\begin{aligned} \text{Live Load} &= 4 \text{ คน/ตารางเมตร} \times 60 \text{ กิโลกรัม} \times 65 \text{ ตารางเมตร} \\ &= 15,600 \text{ กิโลกรัม} \end{aligned}$$

จากการคำนวณค่า Normal Load มีค่า 15,600 กิโลกรัม



รูปที่ 3.7 ภาระโหลดผู้โดยสาร

เมื่อพิจารณาต่อล้อ (Wheel Load) จะได้ $15,600/4$ เพลา/2 ล้อ = 1,950 Kg



รูปที่ 3.8 การกระจายแรงของเพลาล้อ กรณี Live Load

คำนวณหาค่าแรงกระทำ จากสูตร

$$F = mg \text{ (N)}$$

โดยที่ F = แรงกระทำต่อล้อยรถไฟ (N)

m = มวล (kg)

g = แรงโน้มถ่วงของโลกมีค่า 9.81 m/s^2

คำนวณค่าแรงกระทำในแนวตั้งในกรณี Live load

จากสูตร แทนค่า $F = 1,950 \text{ kg} \cdot 9.81 \text{ m/s}^2$

$$F = 19,130 \text{ N}$$

เนื่องจากรถไฟจำลองที่สร้างขึ้นได้ทำการย่อขนาดให้มีอัตราส่วน 1 : 5 เพื่อให้สอดคล้องในการคำนวณจึงกำหนดค่าแรงกระทำในแนวตั้งที่กระทำต่อชุดล้อเลื่อนรถไฟจำลองดังนี้

$$F_T = F/5 \text{ (N)}$$

จะได้ $F_T = 19,130/5$

$$F_T = 3,826 \text{ N} \quad (3.10)$$

3.5 การคำนวณจากทฤษฎีความแข็งแรงของวัสดุ

จากสมการที่ (3.9) นำมาหาค่าความเค้น จากสมการ

$$\sigma = F/A \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

โดยที่ σ = ค่าความเค้น (N/mm²)

F = แรงกระทำต่อล้อยรถไฟ (N)

A = พื้นที่หน้าตัด (mm²)

3.5.1 กรณีภาวะโหลดสูงสุด (Maximum Load)

จะได้ $\sigma_{\text{Maximum load}} = 16,186 / 20$

$$\sigma_{\text{Maximum load}} = 809 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

สรุปค่าความเค้นในสภาวะโหลดสูงสุดมีค่า 809 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร

3.5.2 กรณีภาวะโหลดในสภาวะที่มีผู้โดยสารปกติ (Live Load) จากสมการที่ (3.10)

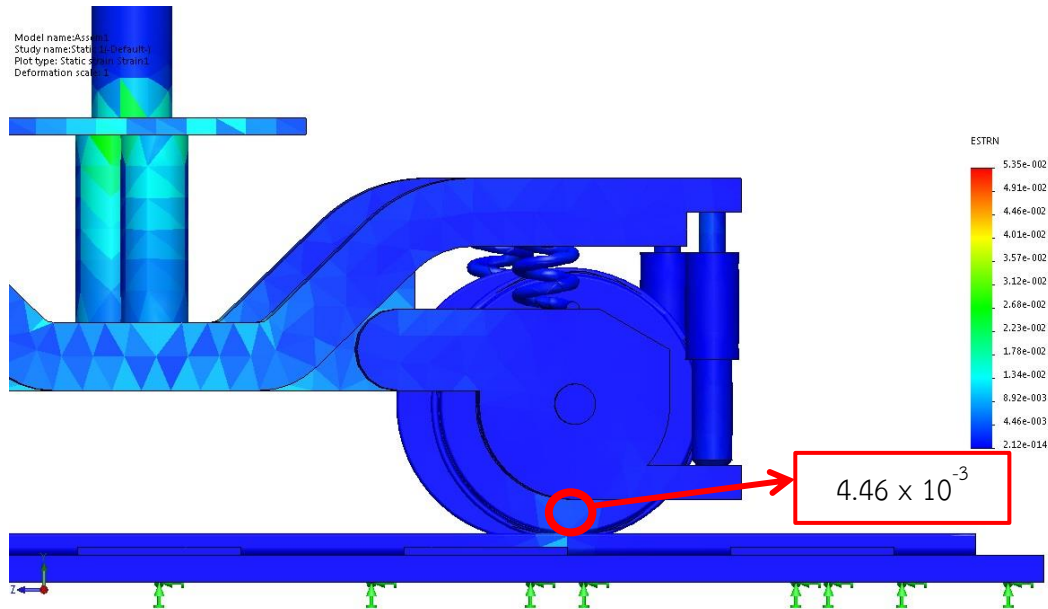
จะได้ $\sigma_{\text{normal load}} = 3,826 / 20$

$$\sigma_{\text{normal load}} = 191 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

สรุปค่าความเค้นมีค่า 191 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร

3.6 การคำนวณด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

3.6.1 การวิเคราะห์แรงกระทำในแนวตั้งจากไฟไนต์เอลิเมนต์ ในกรณี Maximum load โดยการเทียบสี



รูปที่ 3.9 การวิเคราะห์แรงกระทำในแนวตั้งจากไฟไนต์เอลิเมนต์ ในกรณี Maximum load โดยการเทียบสี

จากรูปที่ 3.13 ได้ค่า ϵ เท่ากับ 4.46×10^{-3} นำมาคำนวณเพื่อหาค่าความเค้นที่เกิดขึ้นได้จากสมการ

$$\sigma_{\text{Maximum load}} = E \times \epsilon \quad (\text{N/mm}^2) \quad (3.9)$$

โดยที่ σ = ค่าความเค้น (N/mm^2)
 E = Modulus of Elasticity (N/mm^2); AISI 1020 = $2 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$
 ϵ = ค่าความเครียด

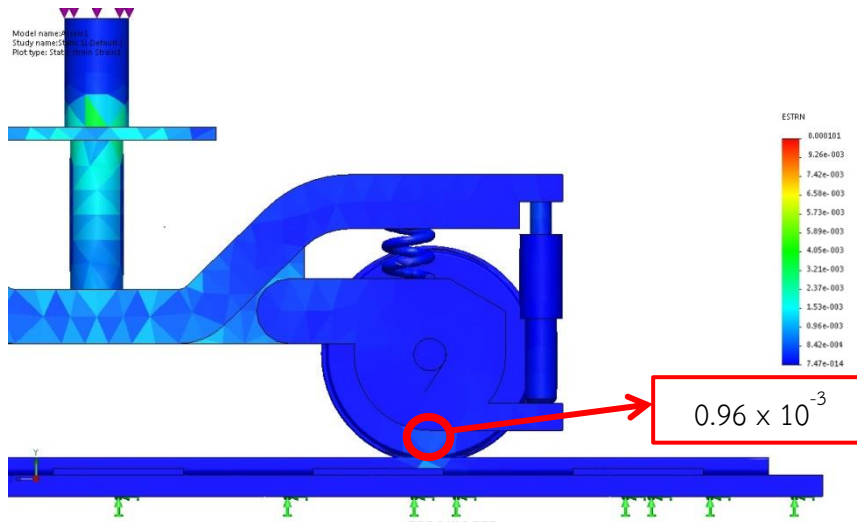
จะได้

$$\sigma_{\text{Maximum load}} = (2 \times 10^5) \times (4.46 \times 10^{-3})$$

$$\sigma_{\text{Maximum load}} = 829 \text{ (N/mm}^2)$$

สรุปค่าความเค้นมีค่า 829 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร

3.6.2 การวิเคราะห์แรงกระทำในแนวตั้งจากไฟไนต์เอลิเมนต์ ในกรณี Live load โดยการเทียบสี



รูปที่ 3.10 การวิเคราะห์แรงกระทำในแนวตั้งจากไฟไนต์เอลิเมนต์ ในกรณี Live load

จากรูปที่ 3.10 ได้ค่า ϵ เท่ากับ 0.96×10^{-3} นำมาคำนวณเพื่อหาค่าความเค้นที่เกิดขึ้นได้จากสมการ

$$\Sigma_{\text{Live load}} = E \times \epsilon \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

โดยที่ σ = ค่าความเค้น (N/mm²)

E = Modulus of Elasticity (N/mm²) ; AISI 1020 = 2×10^5 N/mm²

ϵ = ค่าความเครียด

จะได้

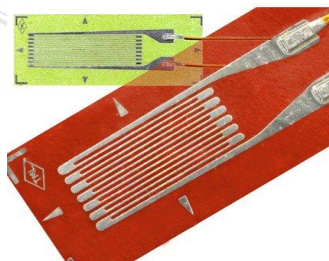
$$\sigma_{\text{Live load}} = (2 \times 10^5) \times (0.96 \times 10^{-3})$$

$$\Sigma_{\text{Live load}} = 192 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

สรุปค่าความเค้นมีค่า 192 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร

3.7 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

3.7.1 สเตรนเกจ (Strain gauge)



รูปที่ 3.11 สเตรนเกจ (Strain gauge)[15]

สเตรนเกจ (Strain gauge) จะทำจากโลหะ เช่นทองแดงจะมีค่า GF ประมาณ 2-3 หรือทำจากสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) เช่น Alloy constantan จะมีค่า GF ประมาณ 100-200 ซึ่งการวัดความเครียดเมื่อ มี Load มากระทำ กับโพลดเซลล์ซึ่งทำการติดตั้ง Strain gauge ไว้แล้ว จะทำการวัดค่าในรูปของการเปลี่ยนแปลง ของความต้านทานของเกจขณะที่มีโพลดมากระทำ โดยการต่อเป็นวงจร Wheatstone bridge โดยค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้านี้มีความสัมพันธ์กับค่าความ ต้านทานการเปลี่ยนไปของ Strain gauge ดังกล่าวนั้นด้วย และส่งค่าการเปลี่ยนแปลงนั้นจะออกมาเป็นแรงดันไฟฟ้า และต่อเข้ากับเครื่อง Strain meter ส่งค่าเอาต์พุตที่ออกมาจะมีหน่วยเป็น $\mu\epsilon$

3.7.2 ชุดคอนโทรลเลอร์ EDX-200A

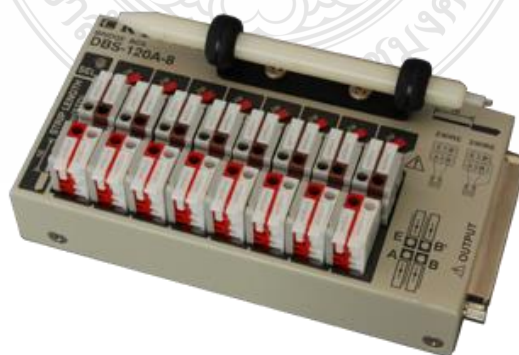


รูปที่ 3.12 ชุดคอนโทรลเลอร์ EDX 200-A[17]

ชุดคอนโทรลเลอร์ EDX 200-A เป็นชุดคอนโทรลเลอร์ที่แปลงค่าแรงดันไฟฟ้าจากสเตรนเกจ นำค่าเอาต์พุตที่ออกมาวิเคราะห์ข้อมูล

3.7.3 วงจร Bridge box

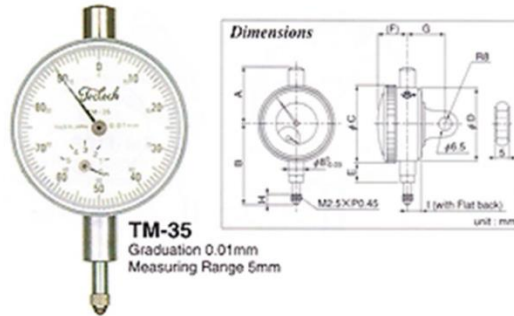
ใช้เพื่อต่อเข้ากับสเตรนเกจ เพื่อวัดหาค่าความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงไป



รูปที่ 3.13 วงจร Bridge box[17]

3.7.4 ไดอัลเกจ (dial gauge)

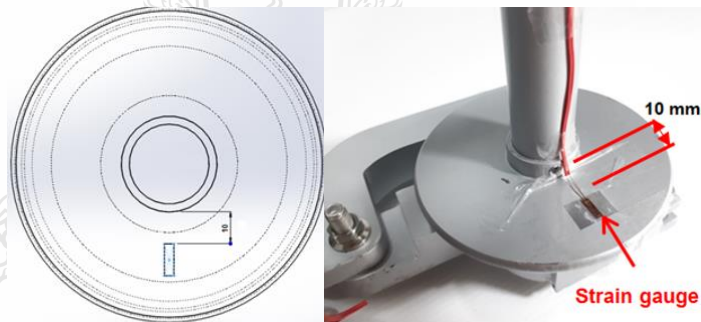
นาฬิกา วัดเป็นเครื่องมือวัดที่อ่านค่าระยะทางการเคลื่อนที่ของแกนวัดด้วยเข็มซึ่ง ติดอยู่กับหน้าปัทม์โดยอ่านค่าความแตกต่างที่ได้จากการอ้างอิงค่ามาตรฐานใด ๆ ใช้วัดระดับความ เป็นระนาบ ความขนาน ระยะเยื้องศูนย์กลาง



รูปที่ 3.14 ไดอัลเกจ (dial gauge)[17]

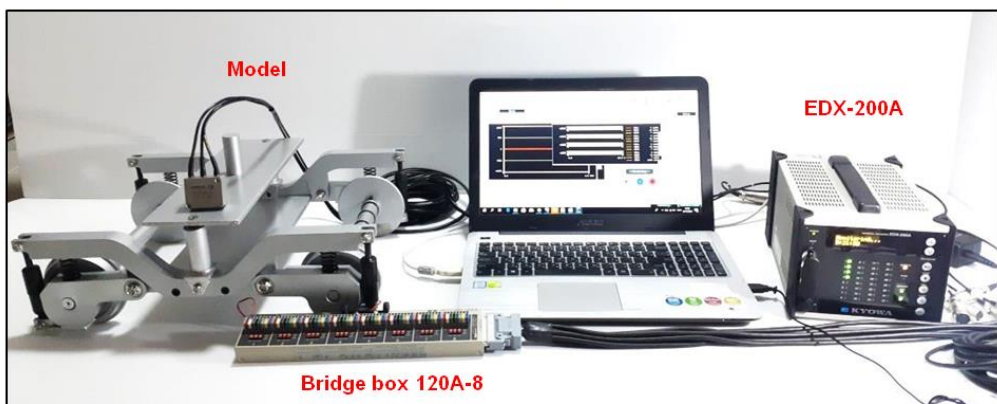
3.8 การทดลองหาแรงกระทำในแนวตั้งจากรถไฟจำลอง

3.8.1 การติดตั้งสแตนเกจที่บริเวณล้อของรถไฟจำลอง



รูปที่ 3.15 ตำแหน่งการติดตั้งสแตนเกจ

3.8.2 ติดตั้งเครื่องมือทดสอบ และทดสอบการทำงานของอุปกรณ์



รูปที่ 3.16 ติดตั้งเครื่องมือทดสอบ และทดสอบการทำงานของอุปกรณ์

3.8.3 นำรถไฟจำลองเข้าเครื่องอัดไฮดรอลิก เพื่อจำลองค่าแรงกระทำ โดยกำหนดค่าแรงดังนี้



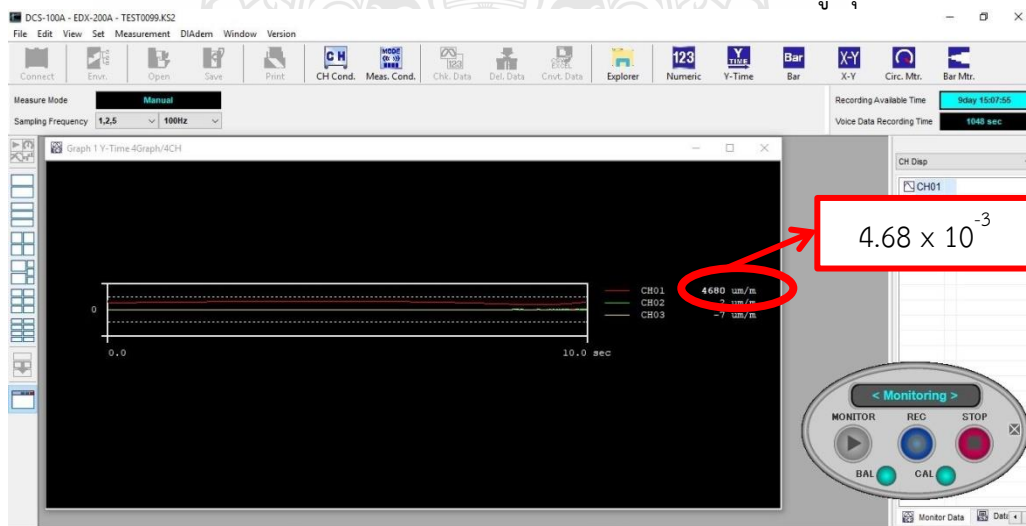
รูปที่ 3.17 นำรถไฟจำลองเข้าเครื่องอัดไฮดรอลิก

กำหนด ขนาดของกระบอกสูบแท่นอัดไฮดรอลิก มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 mm. คำนวณค่าแรงที่ใช้จากค่าแรงกระทำตามทฤษฎี ให้เป็นความดันเนื่องจากแท่นอัดไฮดรอลิกในหน่วย kPa ตารางที่ 3.1 แรงกระทำจากแท่นอัดไฮดรอลิก

Case Study Load	Force (N)	Pressure (kPa)
Maximum Load	16,186	2,062
Live Load	3,826	500

ผลจากการทดลองโดยใช้เครื่องทดสอบ EDX-200A ได้ผลดังนี้

3.8.4 ผลการทดสอบกรณี Maximum Load พบว่าค่าความเครียดสูงสุดมีค่า 4.68×10^{-3}



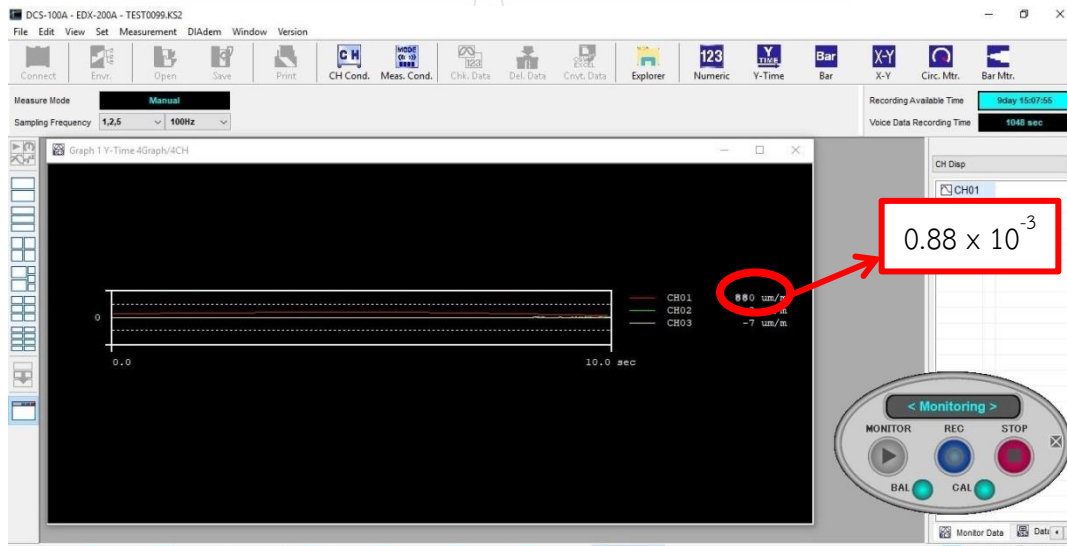
รูปที่ 3.18 ผลการทดสอบกรณี Maximum Load

จากสูตร $\sigma_{\text{Maximum load}} = E \times \epsilon$ (N/mm²)
 โดยที่ σ = ค่าความเค้น (N/mm²)
 E = Modulus of Elasticity (N/mm²) ; AISI 1020 = 2×10^5 N/mm²
 ϵ = ค่าความเครียด

จะได้ $\sigma_{\text{Maximum load}} = (2 \times 10^5) \times (4.68 \times 10^{-3})$
 $\sigma_{\text{Maximum load}} = 936$ (N/mm²)

สรุปค่าความเค้นมีค่า 936 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร

3.8.5 ผลการทดสอบกรณี Live Load พบว่าค่าความเครียดสูงสุดมีค่า 0.88×10^{-3}



รูปที่ 3.19 ผลการทดสอบกรณี Live Load

จากสูตร $\sigma_{\text{Live load}} = E \times \epsilon$ (N/mm²)
 โดยที่ σ = ค่าความเค้น (N/mm²)
 E = Modulus of Elasticity (N/mm²) ; AISI 1020 = 2×10^{11} N/m²
 $= 2 \times 10^5$ N/mm²
 ϵ = ค่าความเครียด

จะได้ $\sigma_{\text{Live load}} = (2 \times 10^5) \times (0.88 \times 10^{-3})$
 $\Sigma_{\text{Live load}} = 176$ (N/mm²)

สรุปค่าความเค้นมีค่า 176 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

การวัด และวิเคราะห์แรงกระทำต่อชุดล้อรถไฟ ได้สร้างรถไฟจำลองขึ้นมาโดยเลือกวัสดุเป็นเหล็ก AISI 1020 ซึ่งมีคุณสมบัติของวัสดุใกล้เคียงกับชุดล้อรถไฟ ในการทดลองจะทำการวัดขณะที่รถไฟจำลองหยุดนิ่ง โดยวิธีการวัดความเครียดที่เกิดขึ้น สามารถกระทำได้ 3 วิธี คือ การคำนวณจากทฤษฎี ความแข็งแรงของวัสดุ การคำนวณด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ และการทดลองหาแรงกระทำในแนวตั้งจากรถไฟจำลอง ได้ผลดังต่อไปนี้

4.1 ผลการทดลอง

4.1.1 ผลการคำนวณแรงกระทำต่อชุดล้อรถไฟในแนวตั้งจากทฤษฎีความแข็งแรงของวัสดุ (Theory)

- การคำนวณค่า Maximum load นั้นพิจารณาจากค่า Axle load จากแคร่ของรถไฟฟาร์ม SF 5000 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 16.5 t เมื่อพิจารณาต่อล้อ แรงกระจายจากเพลาล้อส่งไปที่ล้อทั้งสองข้าง จะมีขนาดข้างละ 8.25 t

- การคำนวณค่า Live load นั้นพิจารณาจากค่า Axle load จากแคร่ของรถไฟฟาร์ม SF 5000 ซึ่งในกรณีนี้พิจารณาสถานะโหลดกรณีมีผู้โดยสาร 4 คน/ตร.ม. ได้ผลการทดลองดังนี้

ตารางที่ 4.1 ผลการคำนวณแรงกระทำต่อชุดล้อเลื่อนรถไฟในแนวตั้ง

Case Study Load	Force (N)	σ Theory (N/mm ²)
Maximum Load	16,186	809
Live Load	3,826	191

4.1.2 ผลของแรงกระทำต่อชุดล้อรถไฟในแนวตั้งจากการคำนวณด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (FEM) โดยเลือกวัสดุเป็นเหล็ก AISI 1020 ซึ่งมีคุณสมบัติของวัสดุใกล้เคียงกับชุดล้อรถไฟนั้น มีค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity, E มีค่า 2×10^5 N/mm²)

- ผลการวิเคราะห์แรงกระทำในแนวตั้งด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ในกรณี Maximum load โดยการเทียบสี ได้ค่า ϵ เท่ากับ 4.46×10^{-3}

- ผลการวิเคราะห์แรงกระทำในแนวตั้งด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ในกรณี Live load โดยการเทียบสี ได้ค่า ϵ เท่ากับ 0.96×10^{-3} ได้ผลการทดลองดังนี้

ตารางที่ 4.2 ผลของแรงกระทำต่อชุดล้อรถไฟในแนวตั้งจากการคำนวณด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

Case Study Load	ϵ	σ_{FEM} (N/mm ²)
Maximum Load	4.46×10^{-3}	829
Live Load	0.96×10^{-3}	192

4.1.3 ผลการทดลองแรงกระทำต่อชุดล้อรถไฟในแนวตั้งจากรถไฟจำลอง (Model) โดยการติดตั้งสแตนด์เกจที่บริเวณล้อของรถไฟจำลอง รถไฟจำลองเข้าเครื่องอัดไฮดรอลิก เพื่อจำลองค่าแรงกระทำ โดยกำหนดค่าดังนี้

ตารางที่ 4.3 แรงกระทำจากแท่นอัดไฮดรอลิก

Case Study Load	Force (N)	Pressure (kPa)
Maximum Load	16,186	2,061
Live Load	3,826	500

เมื่อได้ค่าแรงกระทำจากแท่นอัด บันทึกผลการทดลองโดยใช้เครื่องทดสอบ EDX-200A พบว่า

- ผลการทดสอบกรณี Maximum Load พบว่าค่าความเครียดสูงสุดมีค่า 4.68×10^{-3}
- ผลการทดสอบกรณี Live Load พบว่าค่าความเครียดสูงสุดมีค่า 0.88×10^{-3}

สามารถสรุปผลได้ดังนี้

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองแรงกระทำต่อชุดล้อรถไฟในแนวตั้งจากรถไฟจำลอง

Case Study Load	ϵ	σ_{Model} (N/mm ²)
Maximum Load	4.68×10^{-3}	936
Live Load	0.88×10^{-3}	176

4.1.4 ผลการเปรียบเทียบค่าความเค้นที่กระทำต่อชุดล้อรถไฟในแนวตั้ง จากการคำนวณทางทฤษฎีความแข็งแรงของวัสดุ การคำนวณด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ และการทดลองหาแรงกระทำในแนวตั้งจากรถไฟจำลอง

- เมื่อพิจารณาค่าความเค้นจากการคำนวณทางทฤษฎีความแข็งแรงของวัสดุ เปรียบเทียบกับค่าความเค้นจากการทดลองหาแรงกระทำในแนวตั้งจากรถไฟจำลอง ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองค่าความเค้นจากการคำนวณทางทฤษฎีความแข็งแรงของวัสดุ เปรียบเทียบกับค่าความเค้นจากการทดลองหาแรงกระทำในแนวตั้งจากรถไฟจำลอง

Case Study Load	σ_{Theory} (N/mm ²)	σ_{Model} (N/mm ²)	Relative error %
Maximum Load	809	936	15.6
Live Load	191	176	7.9

- เมื่อพิจารณาค่าความเค้นจากการคำนวณด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เปรียบเทียบกับค่าความเค้นจากการทดลองหาแรงกระทำในแนวตั้งจากรถไฟจำลอง ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 4.6 ผลการคำนวณด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เปรียบเทียบกับค่าความเค้นจากการทดลองหาแรงกระทำในแนวตั้งจากรถไฟจำลอง

Case Study Load	σ_{FEM} (N/mm ²)	σ_{Model} (N/mm ²)	Relative error %
Maximum Load	829	936	12.9
Live Load	192	176	8.3

ตารางที่ 4.7 ผลการเปรียบเทียบค่าความเค้นจากการคำนวณทางทฤษฎีความแข็งแรงของวัสดุการคำนวณด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ และการทดลองหาแรงกระทำในแนวตั้งจากรถไฟจำลอง

Case Study Load	σ_{Theory} (N/mm ²)	σ_{FEM} (N/mm ²)	σ_{Model} (N/mm ²)
Maximum Load	809	829	936
Live Load	191	192	176

4.2 การวิเคราะห์ผล

จากการทดลองการวัด และวิเคราะห์แรงกระทำต่อชุดล้อเลื่อนรถไฟ ได้สร้างรถไฟจำลองขึ้นมา โดยเลือกวัสดุเป็นเหล็ก AISI 1020 ซึ่งมีคุณสมบัติของวัสดุใกล้เคียงกับชุดล้อรถไฟ ในการทดลองจะทำการวัดขณะที่รถไฟจำลองหยุดนิ่ง โดยวิธีการวัดความเครียดที่เกิดขึ้น สามารถกระทำได้ 3 วิธี คือ การคำนวณจากทฤษฎีความแข็งแรงของวัสดุ การคำนวณด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ และการทดลองหาแรงกระทำในแนวตั้งจากรถไฟจำลอง สามารถวิเคราะห์ผลได้ดังนี้

ผลการการคำนวณจากทฤษฎีความแข็งแรงของวัสดุเปรียบเทียบกับค่าจากการทดลองหาแรงกระทำในแนวดิ่งจากรถไฟจำลอง พบว่า ในภาวะโหลดสูงสุด(Maximum Load) มีค่าความคาดเคลื่อนร้อยละ 15.6 และภาวะโหลดในสภาวะผู้โดยสารปกติ (Live Load) มีค่าความคาดเคลื่อน ร้อยละ 10.3

ผลการการคำนวณด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เปรียบเทียบกับค่าจากการทดลองหาแรงกระทำในแนวดิ่งจากรถไฟจำลอง พบว่า ในภาวะโหลดสูงสุด(Maximum Load) มีค่าความคาดเคลื่อนร้อยละ 12.9 และภาวะโหลดในสภาวะผู้โดยสารปกติ (Live Load) มีค่าความคาดเคลื่อนร้อยละ 8.3

นอกจากนี้เมื่อพิจารณาความเค้นที่เกิดขึ้นจากภาระโหลดของผู้โดยสารจำนวน 4 คนต่อตารางเมตร (Normal Load) โดยไม่คิณน้ำหนักของตัวรถไฟฟ้า ซึ่งในงานวิจัยนี้นิยามว่า Live Load พบว่าค่าความเค้นทางทฤษฎี (Theory) ของ Live Load คิดเป็นร้อยละ 23.6 ของค่า Maximum Load



บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

ในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาแรงกระทำต่อชุดล้อรถไฟในแนวตั้ง การหาแรงกระทำต่อชุดล้อรถไฟ จะแบ่งออกได้เป็น 3 วิธี คือการคำนวณจากทฤษฎีความแข็งแรงของวัสดุ การคำนวณด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ และการทดลองหาแรงกระทำในแนวตั้งจากแคร่รถไฟจำลอง

ในการศึกษาครั้งนี้แบ่งการวิเคราะห์น้ำหนักกดเพลลาได้เป็น 2 กรณี คือ กรณีโหลดสูงสุด ซึ่งเป็นข้อมูลของผู้ผลิต และกรณีโหลดในสภาวะที่มีผู้โดยสารปกติ ซึ่งคำนวณจากจำนวนผู้โดยสาร 4 คนต่อตารางเมตร โดยไม่คิมน้ำหนักของตัวรถไฟ จากการศึกษาพบว่า เมื่อเปรียบเทียบค่าความเค้นที่เกิดจากน้ำหนักกดเพลลาที่ชุดล้อรถไฟ ในสภาวะโหลดสูงสุด ค่าที่ได้จากการคำนวณจากทฤษฎีความแข็งแรงของวัสดุ การคำนวณด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ และการทดลองหาแรงกระทำในแนวตั้งจากรถไฟจำลอง คือ 809 N/mm^2 829 N/mm^2 และ 936 N/mm^2 ตามลำดับ ส่วนในกรณีโหลดในสภาวะที่มีผู้โดยสารปกติ ค่าที่ได้จากการคำนวณจากทฤษฎีความแข็งแรงของวัสดุ การคำนวณด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ และการทดลองหาแรงกระทำในแนวตั้งจากรถไฟจำลอง คือ 191 N/mm^2 192 N/mm^2 และ 176 N/mm^2 ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบค่าความเค้นจากการคำนวณทฤษฎีความแข็งแรงของวัสดุ กับการทดลองหาแรงกระทำในแนวตั้งจากรถไฟจำลอง พบว่าในสภาวะโหลดสูงสุดมีค่าความคาดเคลื่อนร้อยละ 15.6 และสภาวะโหลดในสภาวะผู้โดยสารปกติ มีค่าความคาดเคลื่อนร้อยละ 7.9

เมื่อเปรียบเทียบค่าความเค้นจากการคำนวณด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ กับการทดลองหาแรงกระทำในแนวตั้งจากรถไฟจำลอง พบว่าในสภาวะโหลดสูงสุดมีค่าความคาดเคลื่อนร้อยละ 12.9 และสภาวะโหลดในสภาวะผู้โดยสารปกติ มีค่าความคาดเคลื่อนร้อยละ 8.3

โดยแนวทางที่ได้จากการศึกษานี้สามารถนำไปใช้ในการวัดค่าแรงกระทำต่อชุดล้อรถไฟในแนวตั้ง ตามมาตรฐานการซ่อมบำรุงแคร่รถไฟ ก่อนนำไปประกอบเข้ากับตัวรถไฟ

5.2 ข้อเสนอแนะ

การวัดแรงกระทำในแนวตั้งของชุดล้อรถไฟจำลอง ด้วยวิธีการวัดแรงกระทำแบบ Convention method เป็นการวัดแรงกระทำโดยการติดตั้ง Strain gauge มีข้อดีคือสามารถวัดค่าการเปลี่ยนแปลงความต้านทานไฟฟ้า และนำกลับมาแปลงเป็นแรงกระทำในแนวตั้งได้ความแม่นยำสูง และข้อเสียคือในการทดสอบการใช้งานจริงจะทำได้เพียงในขณะหยุดนิ่ง เนื่องจากข้อจำกัดของเครื่องมือวัด

บรรณานุกรม

- [1] Italian-Thai Development Public co.ltd, (2012-2016) MRT Purple Line Project Bang Yai to Rat Burana Bang Yai to Bang Sue Section, Contact 4, Annex 5, Part 2, Section 1-Part A, “Detailed Particular Specifications: Section 1 Rolling Stock” pp. 4-5.
- [2] นคร จันทรร (2554). Cant and Gauge widening, ช่างรถไฟ ความรู้ทั่วไปด้านวิศวกรรมรถไฟ, กรุงเทพฯ: โครงการพัฒนาระบบขนส่งทางรางและอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องของประเทศไทย สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
- [3] มานะชัย วัฒนหัตถกรรม (2556). ระบบควบคุมรถไฟและการอาณัติสัญญาณเบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ : บริษัท จรัสสินทวงศ์การพิมพ์ จำกัด, 2556.
- [4] บริษัท รถไฟฟ้า ร.ฟ.ท จำกัด (2558). ประวัติรถไฟฟ้า ARL. สืบค้นจาก <http://www.srtet.co.th/th/index.html>
- [5] Roland Muller, Eckhard Scheunemann (2015). Rolling Stock Engineering 1, Intensive course in rolling stock engineering 1, July 2015.
- [6] Myung Su Kim, Geo Young Kim, Hyun Tae Kim and Jeong Seo Koo (2018). Theoretical cross-wind speed against rail vehicle derailment considering the cross-running wind of trains and the dynamic wheel-rail effects. Journal of Mechanical Science and Technology, April 2016, pp. 3487~3498.
- [8] อรรถพล เก่าประเสริฐ (2559). โครงสร้างและส่วนประกอบทางรถไฟแบบใช้หินโรยทาง, งานโยธาและทางรถไฟ (Civil and Track Works), โครงการพัฒนาบุคลากรเพื่อรองรับการถ่ายทอดเทคโนโลยีและอุตสาหกรรมระบบขนส่งทางราง 4 ภูมิภาค.
- [9] Joseph Kalousek (2005). Wheel/rail damage and its relationship to track curvature, Journal of science direct, November 2004, Wear 258, pp. 1330-1335.
- [10] Wichai Siwakosit. Curving Behavior of a Simple Wheelset, Rolling Stock Technology: Introduction to Vehicle Dynamics 1

บรรณานุกรม (ต่อ)


- [11] Akira Matsumoto, Yasuhiro Sato, Hiroyuki Ohno, Makoto Shimizu, Jun Kurihara, Takuya Saitou, Yohei Michitsuji, Ryo Matsui, Masuhisa Tanimoto, Masa-aki Mizuno (2014). Actual states of wheel/rail contact forces and friction on sharp curves - Continuous monitoring from in-service trains and numerical simulations, Journal of science direct, December 2013, Wear 314, pp. 189-197.
- [12] Jing Zeng, Pingbo Wu (2008). Study on the wheel/rail interaction and derailment Safety, Journal of science direct, June 2008, Wear 265, pp. 1452-2459.
- [13] J. Snatamaria, E.G. Vadillo, J. Gomez (2009), Influence of creep forces on the risk of derailment of railway vehicles, Vehicle System Dynamics, Vol. 47, June 2009, pp. 721-752.
- [14] UIC 518 (2005). Testing and approval of railway vehicles from the point of view of their dynamic behavior-Safety-Track fatigue-Ride quality, 3st edition, International union of railway.
- [15] รศ.ดร. ชาวสวน กาญจน์มัย. อุปกรณ์วัดความเครียด (strain gage), ME 301 Mechanical Engineering Laboratory I.
- [16] Akira Matsumoto, Yasuhiro Sato, Hiroyuki Ohno, Masao Tomeoka, Kosuke Matsumoto, Jun Kurihara, Tomohisa Ogino, Masuhisa Tanimoto, Yasushi Kishimoto, Yoshi Sato, Takuji Nakaid (2008). A new measuring method of wheel-rail contact forces and related considerations, Journal of science direct, June 2008, Wear 265, pp. 1518-1525.
- [17] Akira Matsumoto, Yasuhiro Sato, Hiroyuki Ohno, Masao Tomeoka, Kosuke Matsumoto, Jun Kurihara, Tomohisa Ogino, Masuhisa Tanimot, Yasushi Kishimoto, Yoshi Sato\$, Takuji Nakai (2006). A New Monitoring Method of Train Derailment Coefficient, IEEE Xplore, December 2006.
- [18] A.Pieringer (2014). A numerical investigation of curve squeal in the case of constant wheel/rail friction, Journal of science direct, May 2014, Sound and Vibration 333, pp. 4295-4313.

บรรณานุกรม (ต่อ)

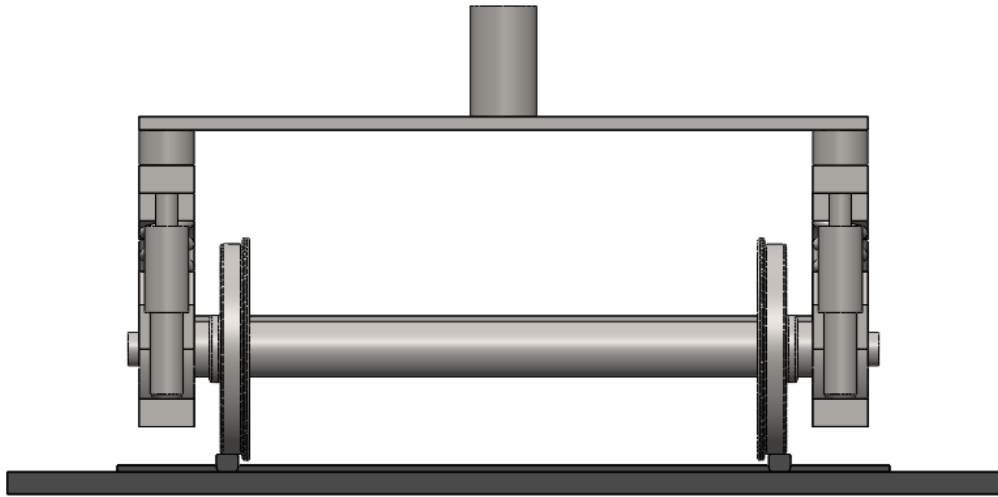
- [19] Bikiron Hazarika and Monsak Pimsarn (2016). A simple contact point finding algorithm for determination of contact parameters, The 3rd Thailand Rail Academic Symposium, September 2016.
- [20] Silvia Magheri, Monica Malvezzi, Enrico Meli, Andrea Rindi (2011). An innovative wheel-rail contact model for multibody applications, Journal of science direct, October 2010, Wear 271, pp. 462-471.
- [21] Hiroaki Ishida, Masaki Mutsuo, Kazuhiko Tezuka, Kenji Ueki: (1997). Method of measuring wheel and rail contact force and derailment quotients continuously
- [22] Piers Connor. Railway Passenger Vehicle Capacity An overview of the way railway vehicle capacity has evolved. Railway Technical web page,2011
- [23] สุเทพ แร่อ่อน, มนต์ศักดิ์ พิมสาร (2016). ผลของมุมเอียงรางต่อความเค้นสัมผัสกึ่งระหว่างล้อและราง, The 3rd Thailand Rail Academic Symposium, September 2016
- [24] มন্ত্রী กุลประดิษฐ์ ได้ศึกษาการวัดแรงกระทำด้านข้างต่อชุดเพลาล้อรถไฟ ในการประเมินความปลอดภัยในการวิ่งของรถไฟ, การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 14 , 2561
- [25] เทอดเกียรติ ลิ้มปิที่ปรากฏ (2553). การวิเคราะห์ความเสียหายเพื่อที่จะหาอายุการใช้งานของตลับลูกปืนในล้อรถไฟฟ้านขบวน,การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 48: สาขาสถาปัตยกรรมศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์, หน้า 83-90



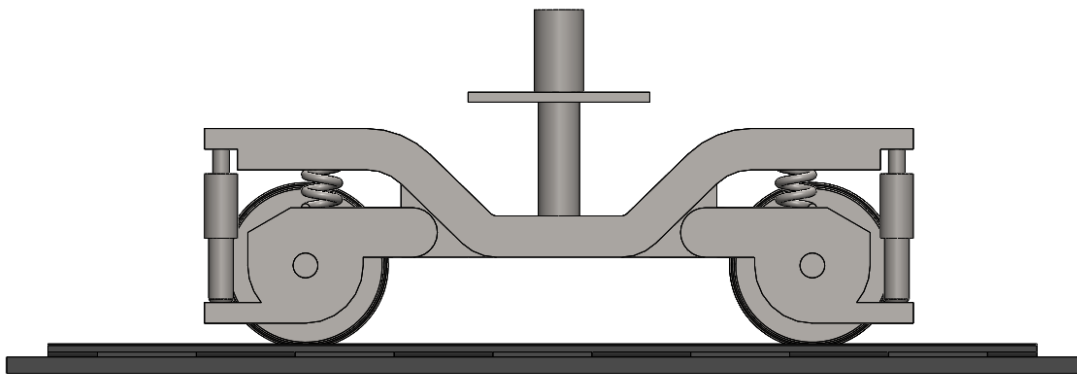
ภาคผนวก



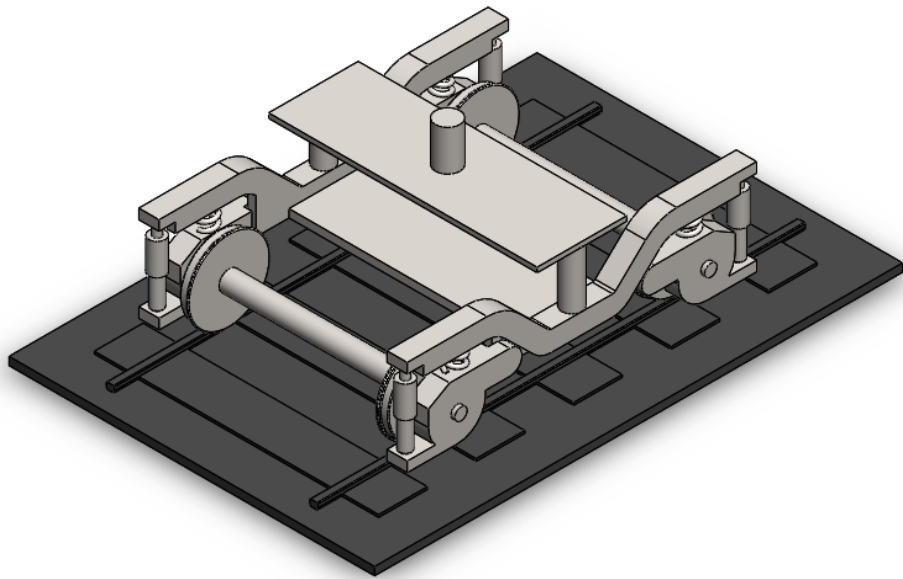
ภาคผนวก ก
การสร้างชิ้นงานเพื่อวิเคราะห์แรงกระทำแนวตั้ง
ด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์



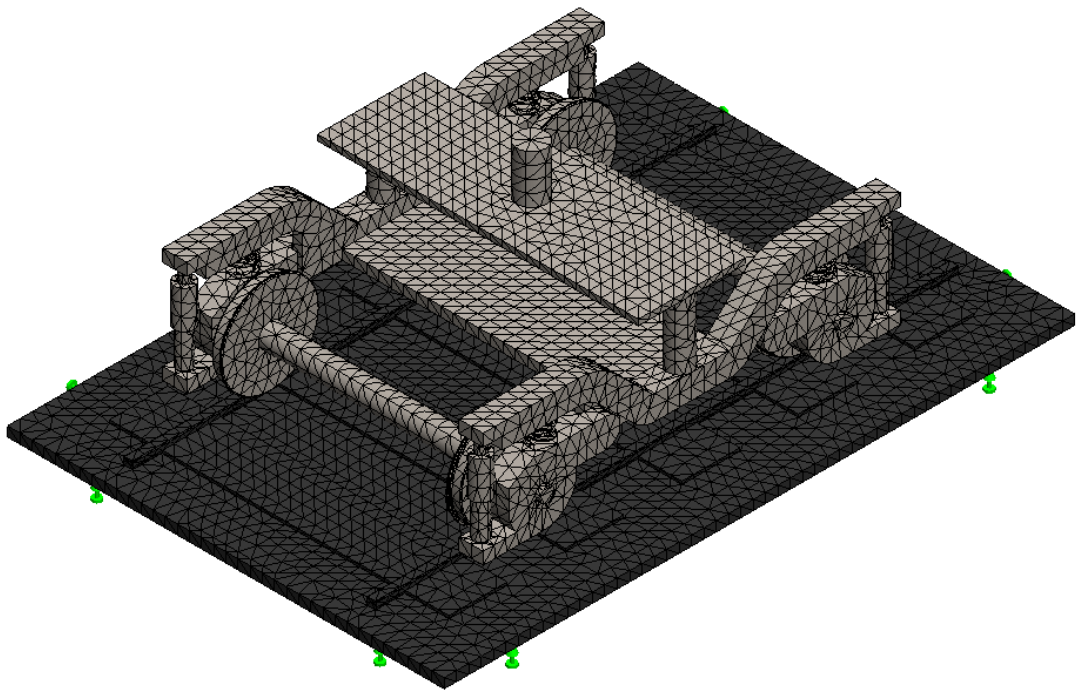
รูปที่ ก.1 ด้านหน้าของแบบจำลองแคร่รถไฟ



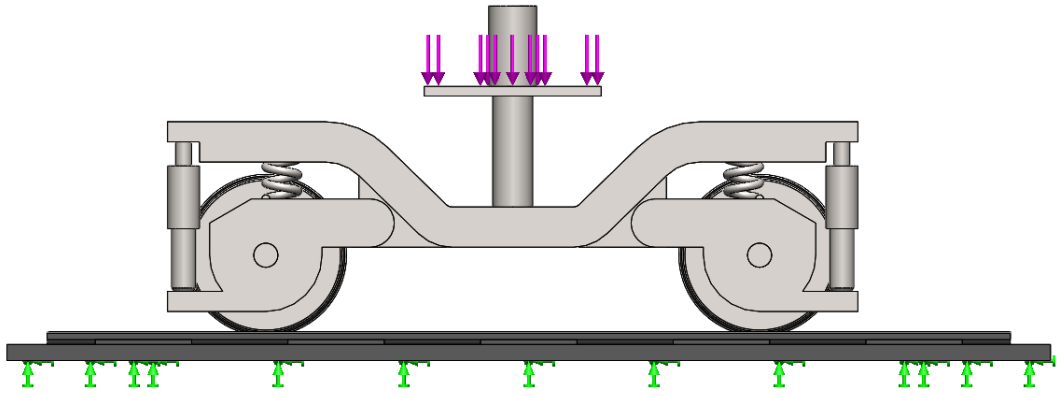
รูปที่ ก.2 ด้านข้างของแบบจำลองแคร่รถไฟ



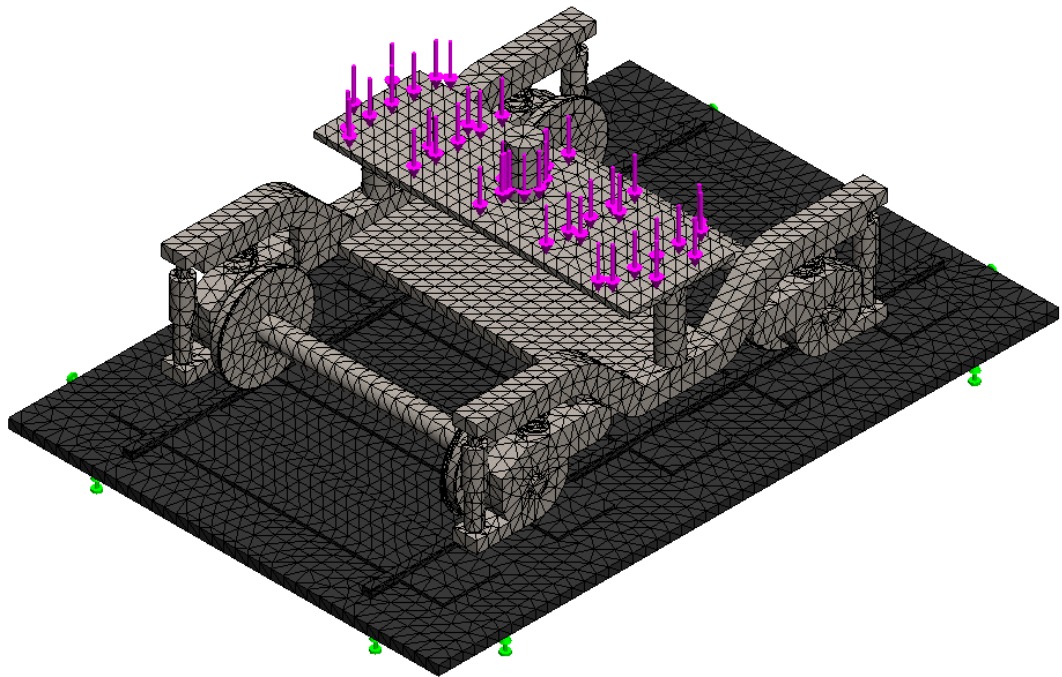
รูปที่ ก.3 แบบจำลองแคร่รถไฟที่ใช้ทดสอบระหว่างล้อกับรางรถไฟ



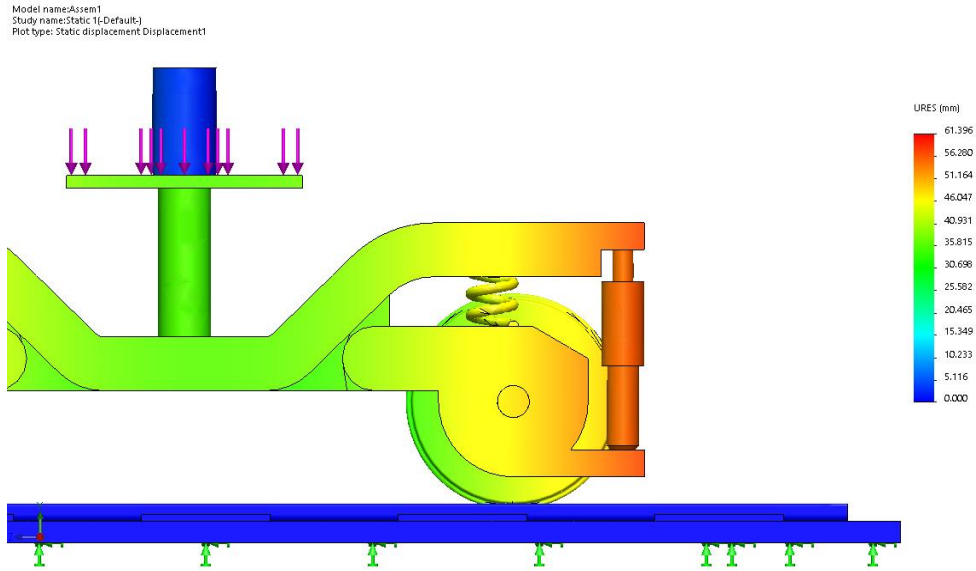
รูปที่ ก.4 การแบ่งเอลิเมนต์แบบจำลองแคร่รถไฟ



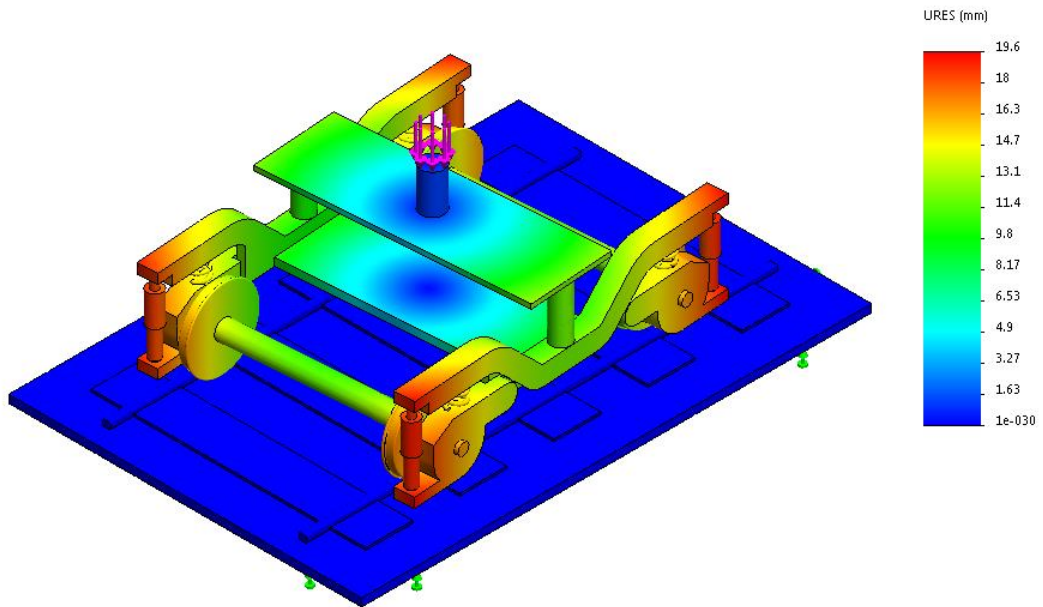
รูปที่ ก.5 แรงกระทำต่อแคร่รถไฟในแนวตั้ง



รูปที่ ก.6 การกระจายแรงกระทำต่อแคร่รถไฟในแนวตั้ง



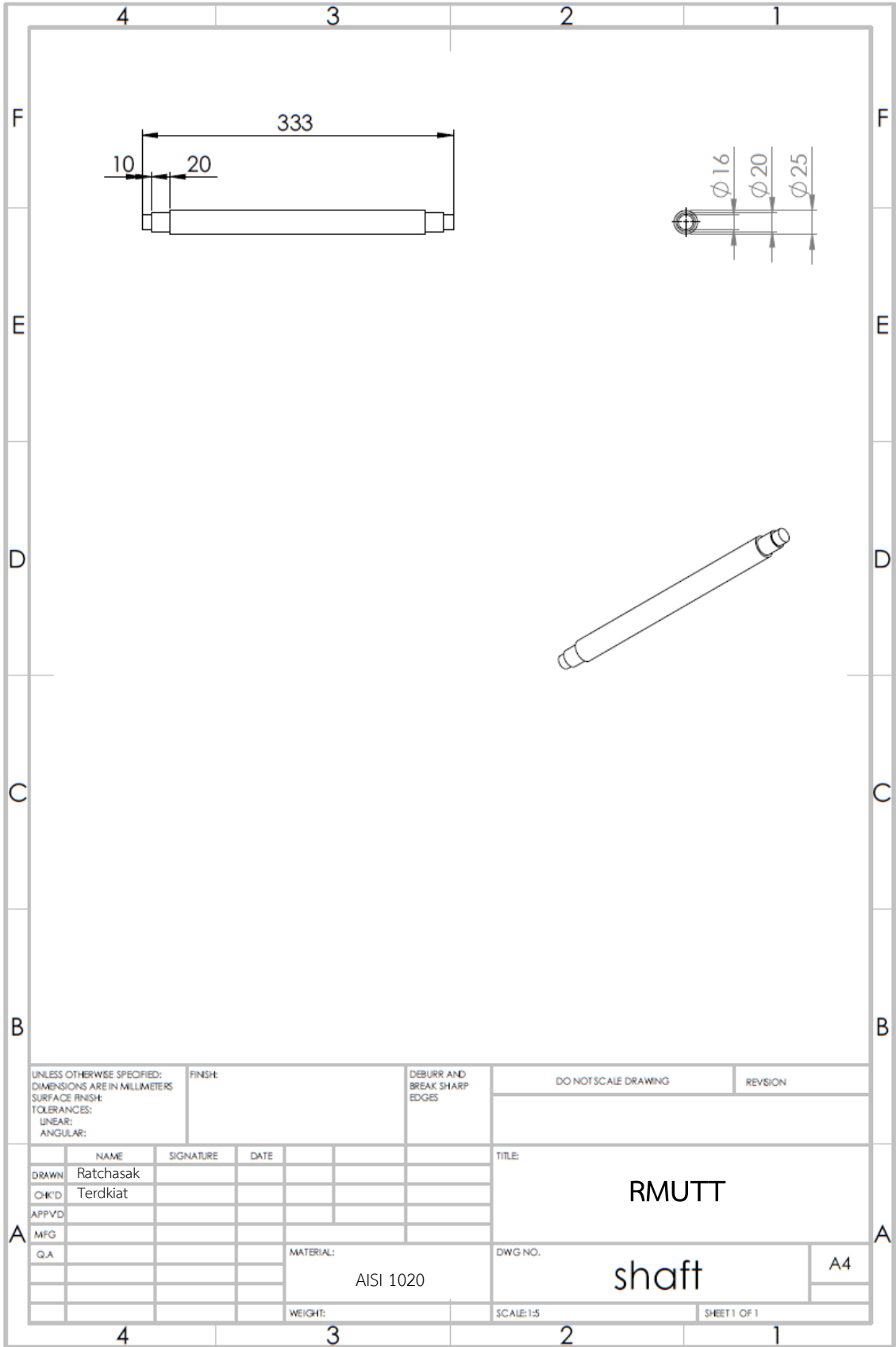
รูปที่ ก.7 การวิเคราะห์แรงกระทำต่อชุดล้อในแนวตั้งจากไฟไนต์เอลิเมนต์

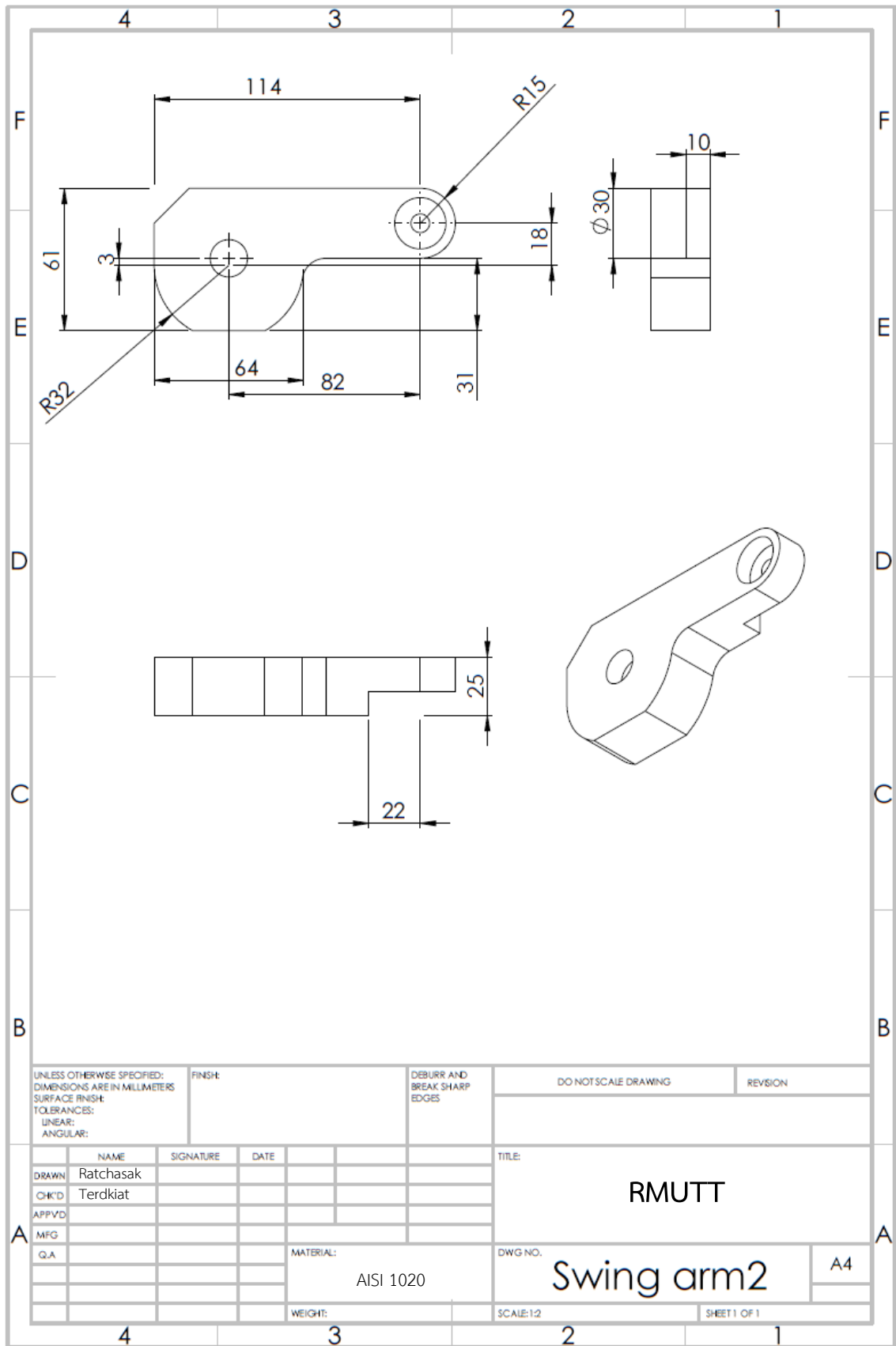


รูปที่ ก.8 การวิเคราะห์แรงกระทำต่อชุดแคร่รถไฟในแนวตั้งจากไฟไนต์เอลิเมนต์

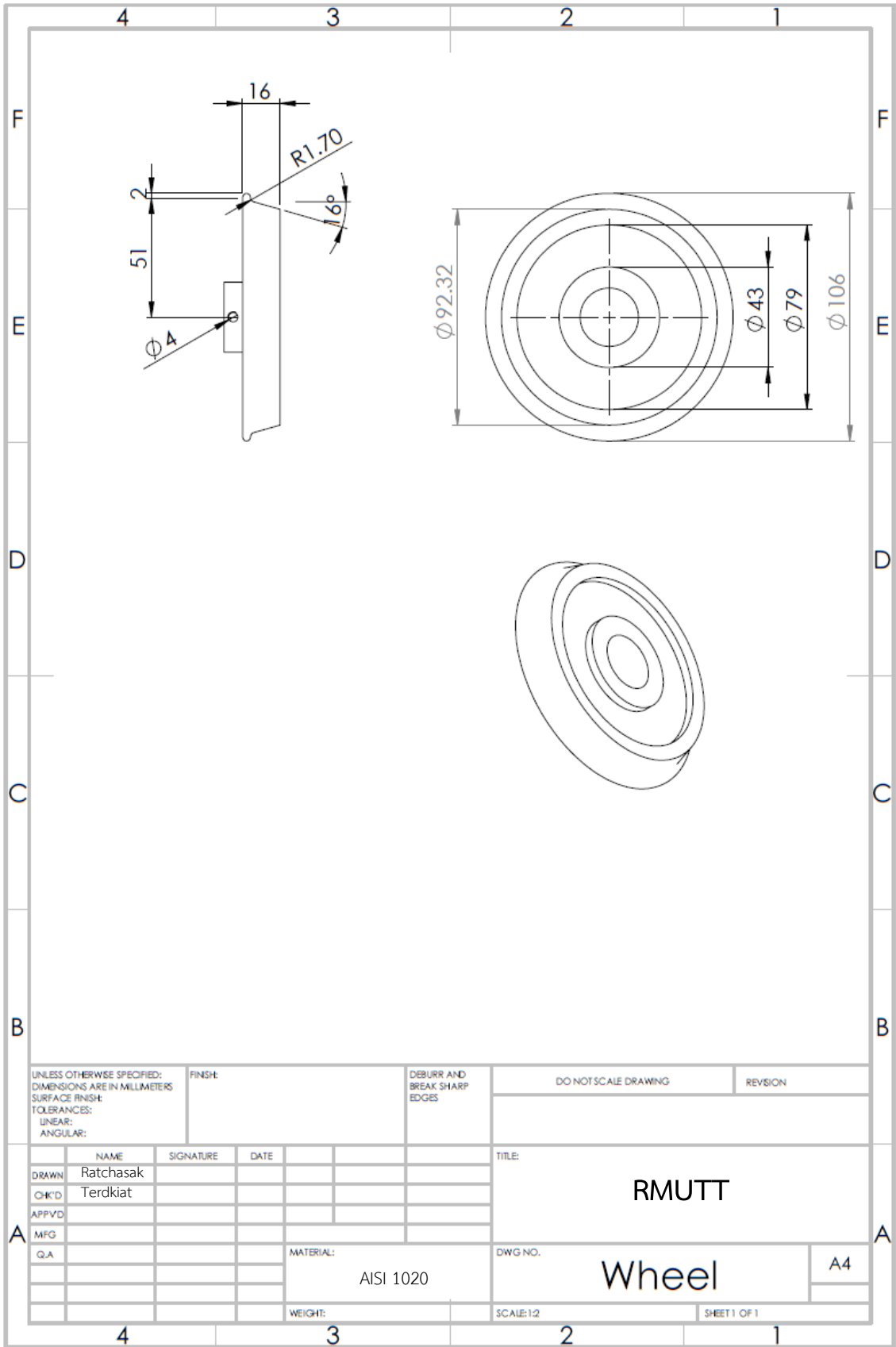


ภาคผนวก ข
แบบวาดโบกี้รถไฟจำลอง

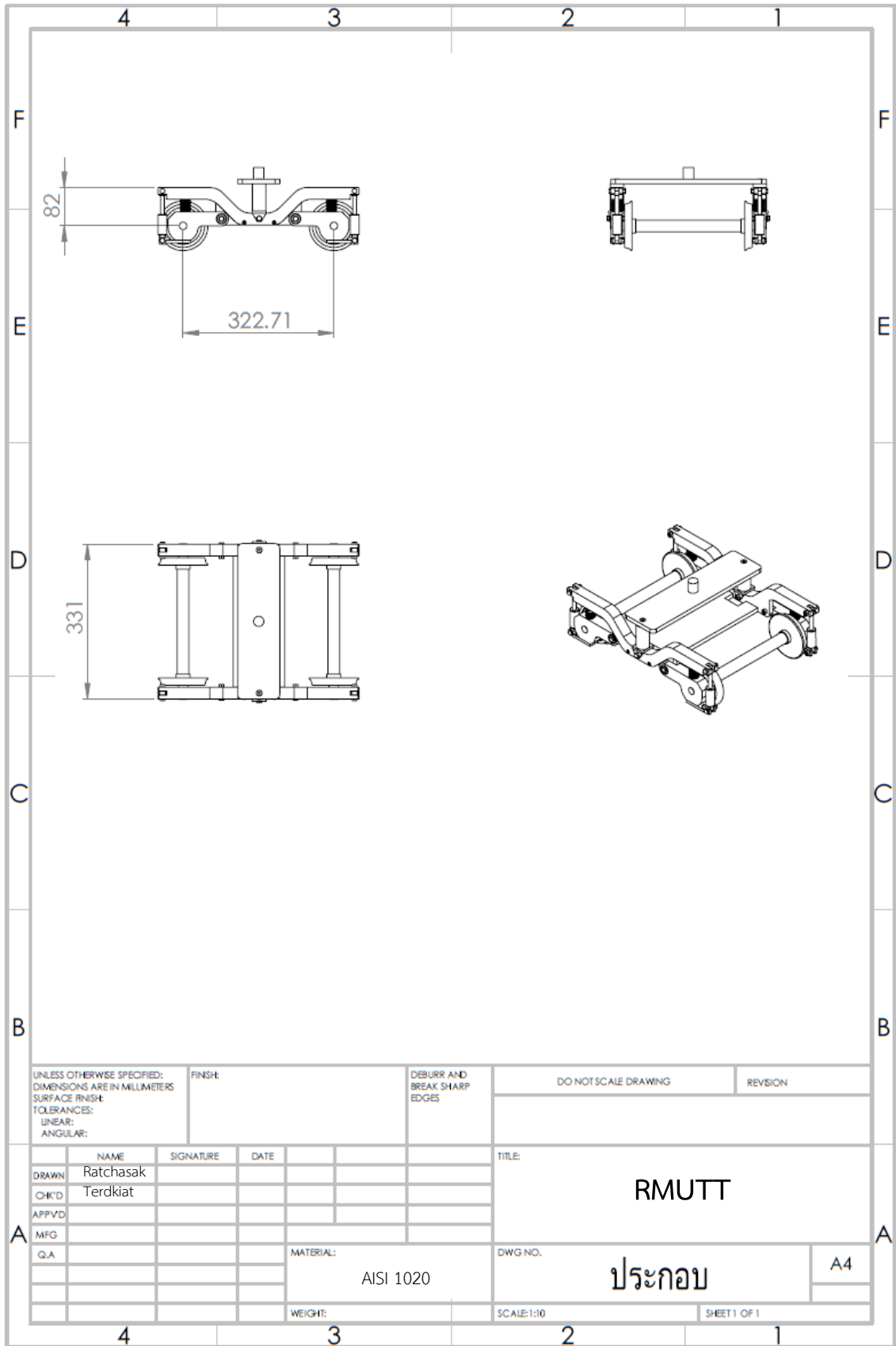




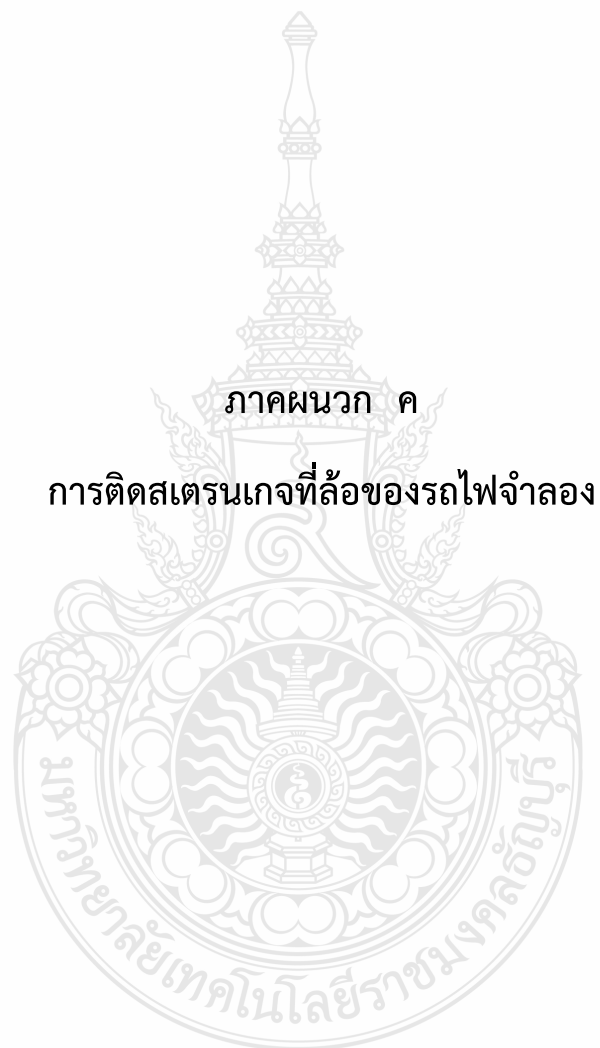
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS		FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
SURFACE FINISH:									
TOLERANCES:									
LINEAR:									
ANGULAR:									
DRAWN: Ratchasak		SIGNATURE:		DATE:		TITLE:			
CHK'D: Terdkiat						RMUTT			
APPVD:									
MFG:									
Q.A:				MATERIAL:		DWG NO.		A4	
				AISI 1020		Swing arm2			
				WEIGHT:		SCALE: 1:2		SHEET 1 OF 1	



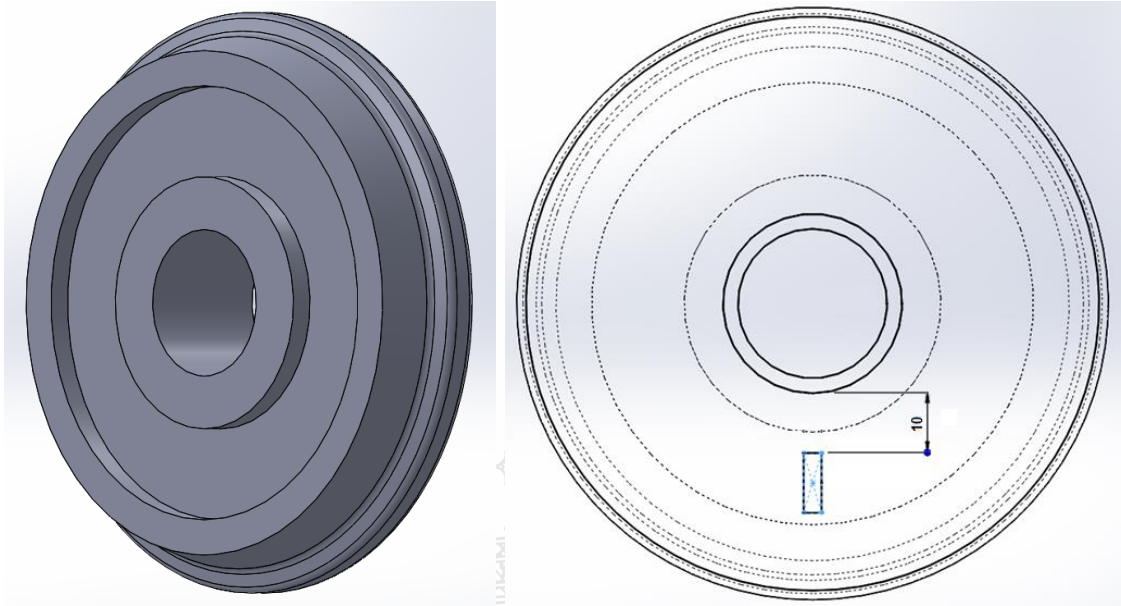
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:		FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
DRAWN: Ratchasak		SIGNATURE:		DATE:		TITLE: RMUTT			
CHK'D: Terdkiat						DWG NO.:		A4	
APP'VD:						MATERIAL: AISI 1020		SCALE: 1:2	
MFG:						WEIGHT:		SHEET 1 OF 1	
Q.A:									



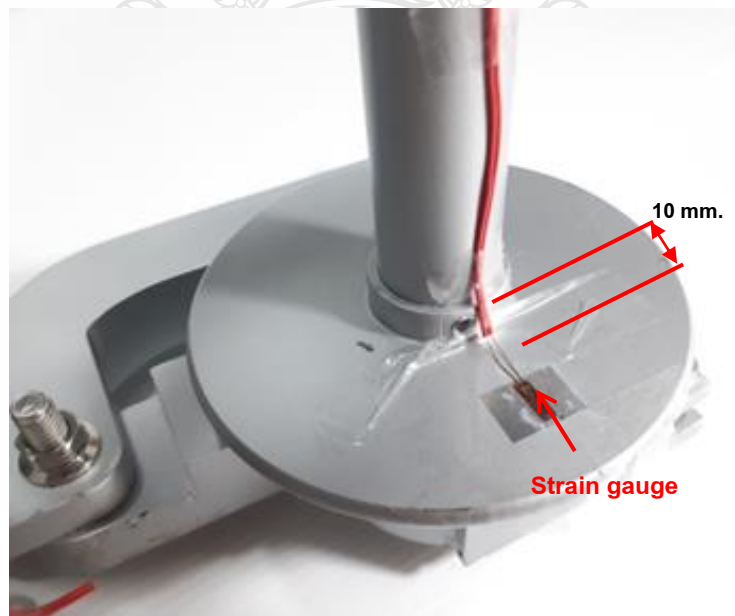
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:		FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
DRAWN: Ratchasak		SIGNATURE:		DATE:		TITLE: RMUTT			
CHK'D: Terdkiat									
APP'VD:									
MFG:						DWG NO. ประกอบ		A4	
Q.A:				MATERIAL: AISI 1020		SCALE: 1:10		SHEET 1 OF 1	
				WEIGHT:					



ค.1 การติดสเตรนเกจที่ล้อของรถไฟจำลอง



รูปที่ ค.1 ลักษณะล้อรถไฟจำลองและแผนการวางตำแหน่งการติดตั้งสเตรนเกจ



รูปที่ ค.2 ตำแหน่งการติดตั้งสเตรนเกจที่ล้อรถไฟจำลอง



ภาคผนวก ง

ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่



ABSTRACTS BOOK

การประชุมวิชาการระดับชาติ “วลัยลักษณ์วิจัย” ครั้งที่ 11
Walailak Research National Conference 2019





The 11th Walailak Research National Conference
การประชุมวิชาการระดับชาติ “วลัยลักษณ์วิจัย” ครั้งที่ ๑๑

ที่ ศธ ๕๗๒๑๐๐/ว๒๐๖๓

๕ มีนาคม ๒๕๖๒

เรื่อง ตอบรับการเข้าร่วมนำเสนอผลงานการประชุมวิชาการระดับชาติ “วลัยลักษณ์วิจัย” ครั้งที่ ๑๑
เรียน Ratchasak Srathongon and Terdkiat Limpeteeprakam
หมายเลขบทความ ๑๗๐
ชื่อบทความ การศึกษาแรงกระทำต่อชุดล้อเลื่อนรถไฟในแนวตั้ง

มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ โดยสถาบันวิจัยและนวัตกรรมกำหนดจัดงานประชุมวิชาการระดับชาติ “วลัยลักษณ์วิจัย” ครั้งที่ ๑๑ ขึ้น หัวข้อ “Smart Research and Innovation to Thailand ๔.๐” ในวันที่ ๒๗-๒๘ มีนาคม ๒๕๖๒ ณ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ เพื่อส่งเสริมและสนับสนุนการสร้างงานวิจัยของคณาจารย์ และบุคลากรของมหาวิทยาลัยให้ผลิตผลงานวิจัยงานสร้างสรรค์และนวัตกรรมที่มีคุณค่าต่อสังคม รวมทั้งยังส่งเสริมให้เกิดการเผยแพร่ผลงานวิจัยที่มีประโยชน์สู่สาธารณะ อันจะนำไปสู่การสร้างเครือข่ายความร่วมมือทางวิชาการ การพัฒนาต่อยอดงานวิจัยต่อไป โดยงาน “วลัยลักษณ์วิจัย” ได้กำหนดให้มีการบรรยายพิเศษของผู้ทรงคุณวุฒิจากภายนอก การเสนอผลงานวิชาการแบบบรรยาย (Oral Presentation) และแบบโปสเตอร์ (Poster Presentation) การประชุมหัวข้อพิเศษ การจัดนิทรรศการ การออกร้านแสดงและจำหน่ายผลิตภัณฑ์จากชุมชน อันเนื่องมาจากงานวิจัยและตลาดนัดบริการวิชาการถ่ายทอดเทคโนโลยี

สถาบันวิจัยและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ ตอบรับผลงานของท่านเพื่อเข้าร่วมการนำเสนอในการประชุมวิชาการระดับชาติ “วลัยลักษณ์วิจัย” ครั้งที่ ๑๑ เรียบร้อยแล้ว โดยท่านสามารถดูรายละเอียดเพิ่มเติมได้ที่ website : <http://research.wu.ac.th>

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยุวดี วิทยพันธ์)
ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและนวัตกรรม
ปฏิบัติหน้าที่แทนอธิการบดีมหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

สถาบันวิจัยและนวัตกรรม (ติดต่อนางลัดดาวัลย์ มนต์แก้ว)

โทร. ๐-๗๕๖๗-๓๕๖๖, ๐-๗๕๖๗-๓๕๕๗

โทรสาร ๐-๗๕๖๗-๓๕๕๓



แนะนำการประชุมวิชาการระดับชาติ “วลัยลักษณ์วิจัย” ครั้งที่ 11

มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ โดยสถาบันวิจัยและนวัตกรรม จัดการประชุมวิชาการระดับชาติ “วลัยลักษณ์วิจัย” ครั้งที่ 11 เนื่องในโอกาสครบรอบปีที่ 27 แห่งการสถาปนามหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ หัวข้อ “Smart Research and Innovation to Thailand 4.0” ในวันที่ 27-28 มีนาคม 2562 ณ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

การประชุมวิชาการระดับชาติ “วลัยลักษณ์วิจัย” ในครั้งนี้ มีการนำเสนอผลงานแบ่งออกเป็น 5 กลุ่ม คือ 1) กลุ่มมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ 2) กลุ่มวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 3) กลุ่มวิทยาศาสตร์สุขภาพ 4) กลุ่มงานวิจัยเชิงพื้นที่ และ 5) กลุ่มการจัดการ มีผู้ส่งผลงานแบบบรรยายและโปสเตอร์เข้าร่วมมากกว่า 200 บทความ จากหน่วยงานและสถาบันการศึกษาทั่วประเทศ และมีกิจกรรมการนำเสนอผลความก้าวหน้าโครงการวิจัยของนักศึกษบัณฑิตศึกษา

นอกจากนี้ กิจกรรมการประชุมยังได้รับเกียรติจากวิทยากรทั้งภายในและภายนอกเพื่อบรรยายพิเศษในกลุ่มต่าง ๆ ดังนี้ อาจารย์ ดร.นพพร ชรรมงคลรัตน์ อาจารย์ประจำสำนักวิชาสำนักวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ บรรยายในหัวข้อ “คณิตศาสตร์การเงินสำหรับวางแผนชีวิต” รองศาสตราจารย์ ดร.คุษฎี อายุวัฒน์ คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น บรรยายในหัวข้อ “การวิจัยเพื่อบริการสังคม: การศึกษาและให้ความรู้ผู้หญิงไทยกับการแต่งงานกับชาวต่างชาติ” อาจารย์ เกสัชกรหญิง ดร.ศิริณี ยงประเดิม สำนักวิชาเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ บรรยายในหัวข้อ “Smart qualitative research in the era of Thailand 4.0” คุณเทอดศักดิ์ ลักษณะหุด ผู้อำนวยการสำนักงานจัดรูปที่ดินและจัดระบบน้ำที่ 15 จังหวัดอุบลราชธานี บรรยายในหัวข้อ “การใช้ข้อมูลวางแผนและบริหารจัดการในการพัฒนาเชิงพื้นที่” คุณจิมมี ชวลา ผู้บริหารห้างหุ้นส่วนจำกัด จิมมีเนคร บรรยายในหัวข้อ “คอคอดกระ” และ รองศาสตราจารย์ ดร.สมพร กันทรคุษฎี คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล และคุณมันทนา เข้าตระกูล สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดนครศรีธรรมราช ผักอบรมในหัวข้อ “สมาธิบำบัดแบบ SKT”

สถาบันวิจัยและนวัตกรรม ใคร่ขอขอบพระคุณคณะกรรมการพิจารณาผลงาน คณะกรรมการจัดการประชุม ผู้ให้การสนับสนุน ผู้เข้าร่วมประชุมทุกท่าน ตลอดจนคณะทำงานทุกท่านทุกฝ่าย มา ณ โอกาสนี้

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยุดี วิทย์พันธ์
ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและนวัตกรรม
มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์



สารบัญ

	หน้า
แนะนำ การประชุมวิชาการระดับชาติ “วลัยลักษณ์วิจัย” ครั้งที่ 11	
กำหนดการ การประชุมวิชาการระดับชาติ “วลัยลักษณ์วิจัย” ครั้งที่ 11	
กลุ่มมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์	1
กลุ่มวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี	67
กลุ่มวิทยาศาสตร์สุขภาพ	147
กลุ่มงานวิจัยเชิงพื้นที่	185
กลุ่มการจัดการ	195
รายนามวิทยากร	



กำหนดการ

การประชุมวิชาการระดับชาติ “วลัยลักษณ์วิจัย” ครั้งที่ 11
หัวข้อ “Smart Research and Innovation to Thailand 4.0”
วันที่ 27-28 มีนาคม 2562 ณ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

วันที่ 27 เดือนมีนาคม พ.ศ. 2562

- 07.30-08.30 Registration at Thaiburi building (snack box will be provided)
- 08.30-08.40 Welcome speech by Prof. Dr. Sombat Thamrongthanyawong,
President of Walailak University
- 08.40 – 08.50 Reporting Speech by Prof. Dr. Apinun Suprasert, D.V.M.,
Vice President for Research and Community Services
- 08.50 - 09.00 Opening ceremony by Mr. Jamroen Tippayapongtda,
Governor of Nakhon Si Thammarat
- 09.00 – 09.10 Thai classical performances
Keynote speech by Dr. Pailin Chuchottaworn, Deputy Minister of Transport, Thailand
- 09.10 09.50 Topic: “The Impact of the 4th Industrial Revolution on Human Capital Development”
- 09.50 -10.00 Group photo
- 10.00– 12.00 Panel Discussion
Moderator: Assoc. Prof. Dr. Surin Maisirikrod, Vice President for Global
Engagement and Faculty Development
1. Prof. Peter P. Yuen, Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong, China
Topic: The Impact of the 4th Industrial Revolution on Education and Public Policy
 2. Prof. Yonghong Liu, Chinese Academy of Sciences, China
Topic: The Impact of the 4th Industrial Revolution on Environment
 3. Prof. Ramesh K. Goyal, Delhi Pharmaceutical Sciences and Research University, India
Topic: The Impact of the 4th Industrial Revolution on Health Science
 4. Dr. Ittaya Sirivasukarn, Advisory Board, Zygen Group, Thailand
Topic: The Impact of the 4th Industrial Revolution on Digital Technology and Business
- 12.00-13.00 น. รับประทานอาหารกลางวัน และชมนิทรรศการ/โปสเตอร์ ณ โถงชั้น 1 อาคารเรียนรวม 7

วันที่ 28 มีนาคม 2562 เวลา 08.30-15.45 น. ณ ห้อง 7211 อาคารเรียนรวม 7 (23 เรื่อง)

ประธาน (Chair Person) อาจารย์ ดร.นภกิจพิ์ สุทธิเดช
 ประธานร่วม (Co-Chair) อาจารย์ ดร.พรรณศิริ คำโอ
 เลขานุการ: นายชูศักดิ์ ฤทธิเพชร

เวลา	หมายเลข บทความ	ชื่อผลงาน	ผู้เสนอ/นักวิจัย	หน่วยงาน	หน้า
08.30-08.45	15	การวิเคราะห์โครงสร้างการเชื่อมด้านทานแบบจุดต่อสมบัดทิศทางกลของรอยต่อ เกลียวระหว่างอะลูมิเนียม AA 5052 กับทองแดง C 11000	เพ็ญขวัญ ก็นหาภัย นันทพันธ์ กนกศิริจิษยา	มหาวิทยาลัยธนบุรี	79
08.45-09.00	239	อิทธิพลของตัวแปรการกัดที่มีต่อการสึกหรอและการเกิดเศษในการกัดสำหรับ ผิวเชื่อมพอกเหล็กหล่อเทา	ทวี นนดีละ วิชัย พุ่มจันทร์ กิตติพงษ์ กิมะพงศ์ นิวัฒน์ มูแกม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล รัตนโกสินทร์	80
09.00-09.15	225	การประเมินกำลังรับแรงเฉือนของลาดวิบัติด้วยวิธีคำนวณย้อนกลับ	สร้างสิทธิ์ อยู่สุขสำราญ กวางดา ศรีทวีชัย ฐิติพร พันธุ์ท่าช้าง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ล้านนา	81
09.15-09.30	170	การศึกษาแรงกระทำต่อชุดล้อเลื่อนรถไฟในแนวตั้ง	รังศักดิ์ สระทองอ่อน เทอดเกียรติ ลิ้มปีติปราการ	วิทยาลัยเทคนิคกาญจนาบุรี	82
09.30-09.45	120	การทดสอบเดินรถโดยสายไฟฟ้าในเส้นทางจริงเพื่อวิเคราะห์ความเหมาะสม ของเส้นทาง การศึกษาเมืองพญา	นงศ์ ชุตตกุล ภาวิณี เอี่ยมตระกูล จิรวรรณ คล้ายลี	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์	83
09.45-10.00	121	การวิเคราะห์เชิงพื้นที่เพื่อพิจารณาการกำหนดจุดจอดรถ และเส้นทาง ให้บริการรถไฟฟ้าโทรลล์ลอย การศึกษาเมืองพญา	ไศศุรีย์ เรืองรัตนอมพร ภาวิณี เอี่ยมตระกูล จิรวรรณ คล้ายลี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี	85
10.00-10.15	118	การประเมินความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ในการพัฒนาระบบการเดินรถ โดยสายไฟฟ้าโทรลล์ลอย การศึกษาเมืองพญา จังหวัดชลบุรี	ภาวิณี เอี่ยมตระกูล สิทธา เจริญศักดิ์ จิรวรรณ คล้ายลี	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์	87
10.15-10.30	246	การจำแนกความหมายภาพด้วยความสัมพันธ์เชิงค่านายในเพื่อช่วยเหลือผู้สูญเสีย	นิตย์ชานันท์ ชินปัญฑิระ	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี	88

การศึกษาแรงกระทำต่อชุดล้อเลื่อนรถไฟในแนวตั้ง

รัชศักดิ์ สระทองอ่อน¹ และ เทอดเกียรติ ลิ้มปิที่ปราการ²¹แผนกวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคกาญจนาภิเษก ตำบลปากแพรก อำเภอเมือง จังหวัดกาญจนบุรี 71000²ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล 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 ส่วนกรณีที่สองจะทำการวัดขณะที่รถไฟจำลองเคลื่อนที่ จะอาศัยวิธีการวัดแรงกระทำต่อชุดเพลาล้อรถไฟแบบความเร่ง ในแนวตั้งเท่านั้น

จากผลการทดลองในขณะรถไฟจำลองหยุดนิ่งพบว่า แรงกระทำในแนวตั้งที่กระทำต่อชุดล้อรถไฟจากการวัดความเครียด จากการวัดแบบรถไฟจำลอง การวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ และการคำนวณทางทฤษฎี คือ 73.48 นิวตัน 74.98 นิวตัน และ 73.58 นิวตัน ตามลำดับ แรงในแนวตั้งที่กระทำต่อชุดล้อรถไฟจำลองจากการวัดแรงกระทำเนื่องจากความเร่งในขณะที่รถไฟเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเฉลี่ย 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 และข้อเสียคือในการทดสอบการใช้งานจริงจะทำให้ได้เพียงในขณะหยุดนิ่งเท่านั้น เนื่องจากข้อจำกัดของเครื่องมือวัด

คำสำคัญ: แรงกระทำในแนวตั้ง, ความสัมพันธ์ระหว่างล้อและราง, แรงกระทำต่อโบกี้และชุดล้อเลื่อนรถไฟ

บทนำ

ในการผลิต การซ่อมบำรุง หรือสร้างหัวรถจักรหรือขบวนรถไฟใหม่นั้น ก่อนการนำมาใช้งานจำเป็นต้องได้รับการทดสอบก่อนเสมอไม่ว่าจะเป็นการทดสอบทั้งตัวรถ การทดสอบอุปกรณ์หลักหรือแม้แต่ชิ้นส่วนต่างๆก่อนการประกอบ โบกี้รถไฟก็เช่นเดียวกัน สำหรับการทดสอบโบกี้รถไฟนั้นแบ่งออกเป็น 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 การทดสอบความแข็งของสปริงและรั้วซีมของโช้คอัพของชุดรองรับน้ำหนัก ความเสียหายเหล่านี้ถ้าปล่อยให้เกิดถึงขั้นรุนแรงก็อาจส่งผลกระทบต่อ

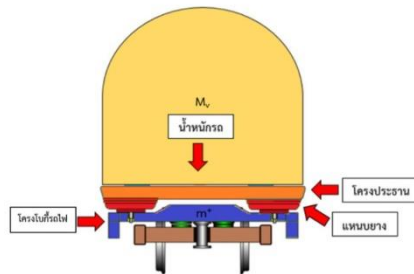
บทความนี้เน้นการนำเสนอวิธีการวัดความเครียดและการวัดความเร่ง โดยมีการเปรียบเทียบกับทางทฤษฎีทั้งวิธีการคำนวณและการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ ส่วนกรณีที่สองจะทำการวัดขณะที่รถไฟจำลองเคลื่อนที่จะอาศัยวิธีการวัดแรงกระทำต่อชุดเพลาล้อรถไฟแบบความเร่ง ในแนวดิ่ง ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบเครื่องทดสอบชุดล้อรถไฟที่ผ่านการซ่อมบำรุงตามวาระ หรือผลิตขึ้นใหม่ได้

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อหาแนวทางและวิธีการวัดแรงกระทำของชุดล้อรถไฟ
2. เพื่อเปรียบเทียบวิธีการวัดแรงกระทำของเพลาล้อของชุดล้อรถไฟ

โบกี้รถไฟ

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



รูปที่ 1 ตำแหน่งของโบกี้รถไฟและส่วนประกอบ

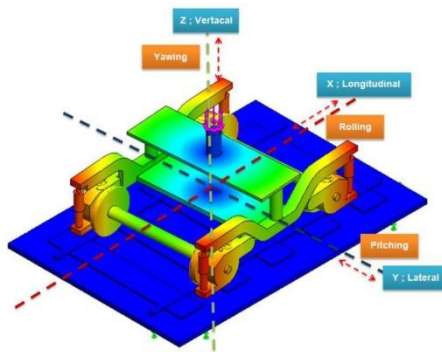
นอกจากนี้ โบกี้ไฟยังแบ่งออกได้เป็น 7 ชนิด (Railway Applications-Wheelsets and Bogies, 2011) ตามมาตรฐาน EN13749 ซึ่งเป็นมาตรฐานที่กำหนดความต้องการทางโครงสร้างของโบกี้รถไฟ ซึ่งโบกี้แต่ละแบบก็สามารถรับแรงกระทำได้มากน้อยต่างกัน ดังนี้

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. โบกี้สำหรับรถไฟฟ้างเบา (bogies for light rail vehicles and trams)
5. โบกี้ตู้สินค้าแบบรองรับน้ำหนัก 1 ชั้น (bogies for bogies for freight rolling stock with single-stage suspensions)

6. โบกี้ตู้สินค้าแบบรองรับน้ำหนัก 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 หรือทิศทางในแนวตั้ง (vertical) การเคลื่อนที่เชิงมุมรอบแกน X หรือหมุนรอบแกน X (rolling) การเคลื่อนที่เชิงมุมรอบแกน Y หรือหมุนรอบแกน Y (pitching) และการเคลื่อนที่เชิงมุมรอบแกน Z หรือหมุนรอบแกน Z (yawing) (นคร จันทรร, 2559)



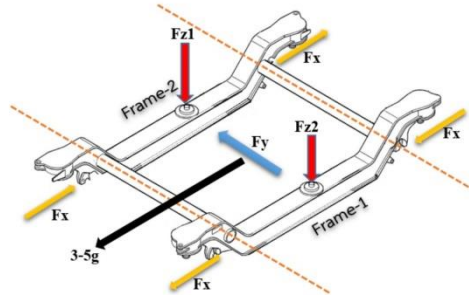
รูปที่ 2 degree of freedom ของโบกี้รถไฟ

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) ส่วนแรงจากภายในนั้นเกิดจากผลของการติดตั้งหรือการทำงานของอุปกรณ์ที่ติดกับโบกี้รถไฟ 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 ในขณะที่ยานพาหนะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงแรงกระทำต่อโบกี้รถไฟโดยเฉพาะโบกี้ที่ผ่านการซ่อมบำรุงตามวาระก่อนนำออกไปใช้งาน รูปที่ 4 และ 5 แสดงรูปแบบของจุดรับแรงกระทำในแนวตั้งสำหรับโบกี้รถไฟฟ้ายานเมืองและรถไฟฟ้ายานเมืองซึ่งถึงแม้ว่าจะมีความแตกต่างกันในส่วนประกอบแต่จุดให้แรงกระทำมี 2 จุดเหมือนกัน

ตารางที่ 1 ข้อมูลเปรียบเทียบระหว่างโบกี้รถไฟฟ้ายานเมืองกับโบกี้รถไฟฟ้ายานเมือง (Siemen Mobility, 2011)

พารามิเตอร์	รถไฟฟ้ายานเมือง	รถไฟฟ้ายานเมือง
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 ตำแหน่งแรงกระทำต่อโบกี้รถไฟฟ้านเมือง (บริษัท รถไฟฟ้า ร.ฟ.ท จำกัด, 2558)



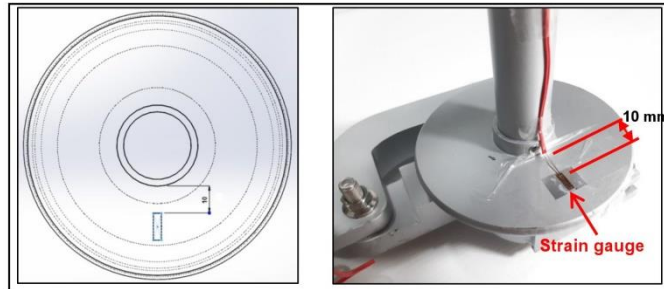
รูปที่ 5 ตำแหน่งแรงกระทำต่อโบกี้รถไฟฟ้านเมือง (บริษัท รถไฟฟ้ากรุงเทพ จำกัด (มหาชน), 2558)

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

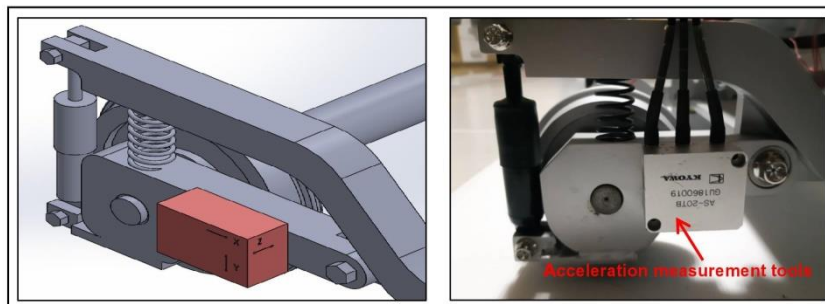
แนวทางการวัดแรงกระทำระหว่างล้อและราง

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

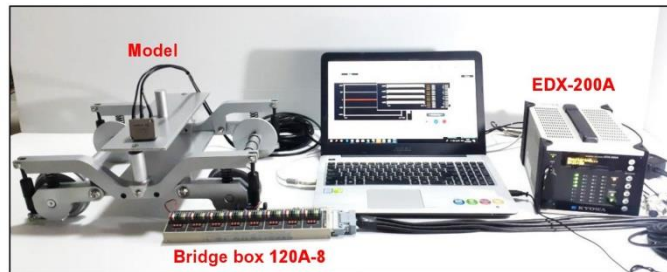


รูปที่ 6 ตำแหน่งการติดตั้ง Strain gauge

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



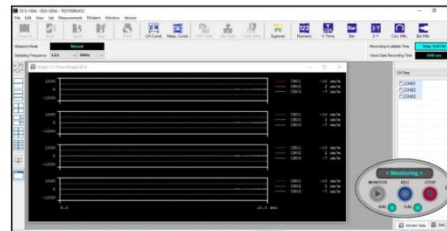
รูปที่ 7 ตำแหน่งการติดตั้งหัววัดความเร่ง



รูปที่ 8 เครื่องมือวัดที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 9 โปรแกรมบันทึกผลการทดลองค่าจาก Strain gauge

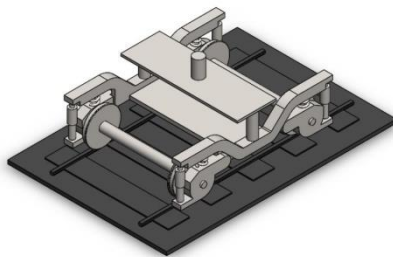


รูปที่ 10 โปรแกรมบันทึกผลการทดลองค่าจาก Acceleration

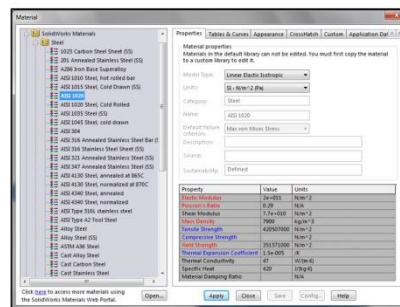
3. การวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์

การวิเคราะห์แรงกระทำในแนวตั้งด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์เป็นวิธีการใช้ระเบียบไฟไนต์เอลิเมนต์ชนิดหนึ่งในรูปแบบของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยเป็นการเทียบสีของชิ้นงานกับแถบสีของโปรแกรม เพื่อหาแรงกระทำที่เกิดขึ้น โดยมีวิธีการ ดังนี้

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

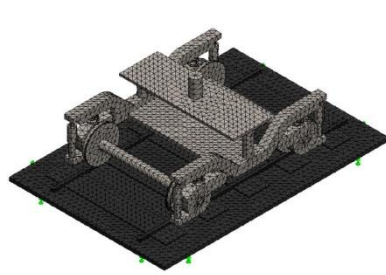


รูปที่ 11 โบกี้รถไฟจำลอง

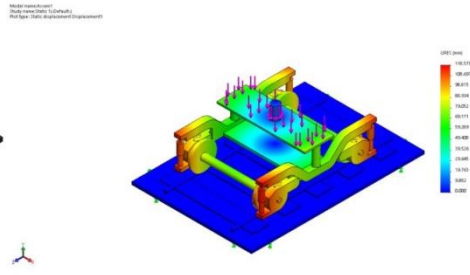


รูปที่ 12 เลือกชนิดของชิ้นงานที่ต้องการศึกษา

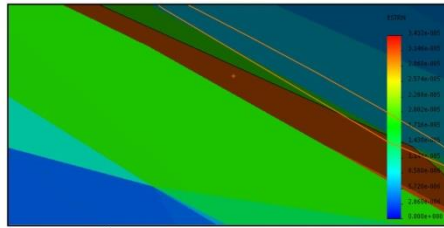
- 4) แบ่งหน่วยย่อยของชิ้นงานในโปรแกรมเป็นชิ้นเล็ก ๆ ลักษณะเป็นรูปสามเหลี่ยม ขนาดกว้างประมาณ 12.7 มิลลิเมตร และทำการคำนวณ
- 5) วิเคราะห์ผลโดยการเปรียบเทียบสัณฐานที่ต้องการศึกษาของชิ้นงานกับแถบสีของโปรแกรม



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 แสดงผลการทดลองวัดแรงกระทำแนวตั้งในขณะที่ยานไฟจำลองหยุดนิ่ง

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

ผลการทดลองวัดแรงกระทำแนวตั้งในขณะที่ยานไฟจำลองหยุดนิ่ง พบว่า ในสภาวะโหลดปกติ(Static Load) ค่าที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎี ไฟไนต์เอลิเมนต์ และจากการวัดแบบรถไฟจำลอง คือ 73.58 นิวตัน 74.98 นิวตัน และ 73.48 นิวตัน ตามลำดับ ในสภาวะโหลดกรณีที่มีผู้โดยสาร 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. การวัดแรงกระทำแนวตั้งในขณะที่ยานไฟจำลองเคลื่อนที่

Acceleration measurement method เป็นการวัดแรงกระทำในแนวตั้ง ด้านข้าง และตามแนวการเคลื่อนที่ของรถไฟ โดยการติดตั้งหัววัดความเร่ง 3 แนวแกน เพื่อวัดค่าความเร่งที่เกิดขึ้นกับอุปกรณ์ที่ต้องการวัด หัววัดความเร่งจะส่งข้อมูลกลับมายังเครื่องรับสัญญาณ และใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการแสดงผล ในการทดลองนี้จะวัดค่าแรงกระทำเนื่องจากความเร่งในแนวตั้งเท่านั้น ได้ผลการทดลอง ดังนี้

ตารางที่ 4 แสดงผลการทดลองวัดแรงกระทำแนวตั้งในขณะที่ยานไฟจำลองเคลื่อนที่

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

ผลการทดลองวัดแรงกระทำแนวตั้งในขณะที่ยานไฟจำลองเคลื่อนที่ พบว่า ในสภาวะโหลดปกติ(Static Load) ค่าที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎี และจากการวัดแบบรถไฟจำลอง คือ 73.58 นิวตัน และ 73.48 นิวตัน ตามลำดับ ในสภาวะโหลดกรณีที่มีผู้โดยสาร 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 ได้สร้างรถไฟจำลองขึ้นมาโดยเลือกวัสดุเป็นหลัก AISI 1020 ซึ่งมีคุณสมบัติของวัสดุใกล้เคียงกับชุดล้อรถไฟ ในการทดลองสามารถแบ่งออกได้ 2 กรณี ในกรณีแรกจะทำการวัดขณะที่รถไฟจำลองหยุดนิ่ง จะมีวิธีการวัด 2 แบบคือวิธีการวัดความเครียดและการวัดความเร่ง โดยมีการเปรียบเทียบกับทางทฤษฎีทั้งวิธีการคำนวณและการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ ส่วนกรณีที่สองจะทำการวัดขณะที่รถไฟจำลองเคลื่อนที่ จะอาศัยวิธีการวัดแรงกระทำต่อชุดเพลาล้อรถไฟแบบความเร่งในแนวตั้ง มีวิธีการวัด ดังนี้

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

2. แนวคิดการวัดแรงกระทำแบบ Acceleration measurement method เป็นการวัดแรงกระทำในแนวตั้ง ด้านข้าง และตามแนวการเคลื่อนที่ของรถไฟ โดยการติดตั้งหัววัดความเร่ง 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., Gimita, 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). ประวัติรถไฟฟ้า 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>

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายรัชศักดิ์ สระทองอ่อน
วัน เดือน ปีเกิด	24 กันยายน 2533
ที่อยู่	22 หมู่ 4 ตำบลจรเข้เผือก อำเภอด่านมะขามเตี้ย จังหวัดกาญจนบุรี
การศึกษา	ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี(2555)
ประสบการณ์ทำงาน	
พ.ศ. 2556 - 2557	รับราชการครู ตำแหน่ง ครูผู้ช่วย วิทยาลัยเทคนิคสุพรรณบุรี ,สุพรรณบุรี
พ.ศ. 2558 - 2560	รับราชการครู ตำแหน่ง ครู (ค.ศ.1) วิทยาลัยเทคนิคสุพรรณบุรี ,สุพรรณบุรี
พ.ศ. 2561 – ปัจจุบัน	รับราชการครู ตำแหน่ง ครู (ค.ศ.1) วิทยาลัยเทคนิคกาญจนบุรี
เบอร์โทรศัพท์	083 615 0582
E-mail	Ratcha-m@hotmail.com

