



การประยุกต์ใช้การวิเคราะห์พลวัตของยานพาหนะในการประมาณค่าเขตโครงสร้างทาง
รถไฟ



วิทยานิพนธ์เสนอบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยนเรศวร
เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
ปีการศึกษา 2564
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยนเรศวร

การประยุกต์ใช้การวิเคราะห์พลวัตของยานพาหนะในการประมาณค่าเขตโครงสร้างทาง
รถไฟ



วิทยานิพนธ์เสนอบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยนเรศวร
เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
ปีการศึกษา 2564
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยนเรศวร

วิทยานิพนธ์ เรื่อง "การประยุกต์ใช้การวิเคราะห์พลวัตของยานพาหนะในการประมาณค่าเขต
โครงสร้างทางรถไฟ"

ของ ชิตวิวัฒน์ เพชรรัตน์

ได้รับการพิจารณาให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์
(รองศาสตราจารย์ ดร.กิตติภูมิ รอดสิน)

..... ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
(ดร.ทรงศักดิ์ สุชาสุประดิษฐ์)

..... กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัฐภูมิ ปรีชาตปรีชา)

..... กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิภายใน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนันต์ชัย อยู่แก้ว)

อนุมัติ

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.กรรองกาญจน์ ชูทิพย์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อเรื่อง	การประยุกต์ใช้การวิเคราะห์พลวัตของยานพาหนะในการประมาณค่า เขตโครงสร้างทางรถไฟ
ผู้วิจัย	ฉัตรวิมล เพชรรัตน์
ประธานที่ปรึกษา	ดร.ทรงศักดิ์ สุทธาสุประดิษฐ์
กรรมการที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัฐภูมิ ปรีชาตปรีชา
ประเภทสารนิพนธ์	วิทยานิพนธ์ วศ.ม. สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา, มหาวิทยาลัยนเรศวร, 2564
คำสำคัญ	เขตโครงสร้างทางรถไฟ, พลวัตของยานพาหนะ, แบบจำลองมัลติบอดี

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้การวิเคราะห์พลวัตของยานพาหนะในการประมาณค่าการเคลื่อนตัวของรถไฟภายใต้สภาวะต่างๆ โดยผลลัพธ์ที่ได้จะสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการประมาณค่าเขตโครงสร้างทาง (Structure Gauge) ที่เหมาะสมต่อการเดินรถอย่างปลอดภัย ในการศึกษานี้ได้ทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าเขตโครงสร้างทางของโครงการรถไฟฟ้าแอร์พอร์ต เรลลิงก์ กับค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองมัลติบอดี (Multi-body Model) ซึ่งประกอบไปด้วยแบบจำลองของรถไฟรุ่น Siemens Desiro UK Class 360/2 รถไฟความเร็วสูงรุ่น CRH2C และรถไฟความเร็วสูงรุ่น Shinkansen Series 300 ทั้งนี้ ในการศึกษาได้คำนึงถึงปัจจัยต่างๆ ที่จะส่งผลต่อการเคลื่อนที่และการสั่นสะเทือนของตัวรถ เช่น ขนาดของมวล คุณสมบัติของชุดช่วงล่าง ความเร็วในการวิ่ง การสึกหรอของล้อ ลักษณะทางกายภาพของทางทั้งช่วงทางตรงและทางโค้ง รวมทั้งความไม่สม่ำเสมอของผิวทาง เป็นต้น ขนาดมิติสูงสุดของระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถที่ได้จากการคำนวณ ได้ถูกนำไปกำหนดขนาดเขตโครงสร้างทางที่ต้องการสำหรับรถไฟทั้งสามรุ่น ซึ่งจะเป็นข้อมูลสำคัญในการพิจารณาถึงขนาดของรถไฟรุ่นอื่นที่จะถูกนำมาใช้งานกับเส้นทางของโครงการรถไฟฟ้าแอร์พอร์ต เรลลิงก์ ได้ในอนาคต

Title	APPLICATION OF VEHICLE DYNAMIC ANALYSIS FOR RAILWAY STRUCTURE GAUGE APPROXIMATION
Author	THITIWUT PETCHARAT
Advisor	Songsak Suthasupradit, Ph.D.Eng.
Co-Advisor	Assistant Professor Rattapoohm Parichatprecha, D.Eng.
Academic Paper	M.Eng. Thesis in Civil Engineering, Naresuan University, 2021
Keywords	Structure Gauge, Vehicle Dynamic, Multi-body Model

ABSTRACT

The objective of this research is to apply the multi-body model of vehicle dynamics to analyze the train movement as well as the swept envelope under various running conditions. In order to approximate the railway structure gauge and ensure the safety for the mixed operation of Thailand Airport Rail Link in the future, the analysis results have been used to calculate the minimum required dimensions of structure gauge and compared with the current gauge of Airport Rail Link. Three of high speed train multi-body dynamic model consist of Siemens Desiro UK Class 360/2 EMU, the CRH2C and Shinkansen Series 300 High-Speed EMU which are the representative example of the upcoming train for Airport Rail Link. The dynamic analysis has been taken into account of several factor such as mass distribution, suspension characteristics, running speed, wheel wear, track layout (tangent and curve) as well as track irregularities. Train swept envelope and minimum required structure gauge of those three high speed train models are also approximated by results obtained from dynamic analysis, which will be useful for ensure the safety of train operation in Airport Rail Link and Eastern High speed line of Thailand.

ประกาศคุณูปการ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงในความกรุณาของ ดร.ทรงศักดิ์ สุธาสุประดิษฐ์ ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้สละเวลาอันมีค่ามาเป็นທີ່ปรึกษา พร้อมทั้งให้คำแนะนำตลอดระยะเวลาในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการวิทยานิพนธ์อันประกอบไปด้วย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัฐภูมิ ปรีชาตปรีชา กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนันต์ชัย อยู่แก้ว และรองศาสตราจารย์ ดร.กิตติภูมิ รอดสิน กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิที่ได้กรุณาให้คำแนะนำตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์ด้วยความเอาใจใส่ จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างสมบูรณ์และทรงคุณค่า

กราบขอบพระคุณ อาจารย์และเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร เป็นอย่างสูงทุกท่านที่ได้กรุณาให้ความอนุเคราะห์ให้คำปรึกษา ดูแลและอำนวยความสะดวก ในการดำเนินงานวิจัย

เหนือสิ่งอื่นใดขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ของผู้วิจัยที่ให้กำลังใจและให้การสนับสนุนในทุก ๆ ด้านอย่างดีที่สุดเสมอมา

คุณค่าและคุณประโยชน์อันพึงจะมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบและอุทิศแต่ผู้มีพระคุณทุก ๆ ท่าน ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า งานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาและปรับปรุงเขตโครงสร้างทางรถไฟในประเทศและผู้ที่สนใจบ้างไม่มากก็น้อย

ธิดิฐิ เพชรรัตน์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
ประกาศคุุณุปการ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง.....	ณ
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
ขอบเขตของการวิจัย.....	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
โครงสร้างทางรถไฟ.....	4
ส่วนประกอบที่สำคัญของทางรถไฟ.....	7
องค์ประกอบของรถไฟ.....	9
เขตบรรทุกและเขตโครงสร้างทาง (Loading Gauge and Structural Gauge).....	17
แบบจำลองมัลติบอดี (Multi-Body Dynamic Model)	18
รถไฟฟ้าเชื่อมท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ	21
โครงการรถไฟความเร็วสูงเชื่อม 3 สนามบิน.....	21

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	22
การตรวจวัดเขตโครงสร้างทางรถไฟโดยใช้อุปกรณ์เลเซอร์และการพัฒนาระบบจัดการ เขตโครงสร้างทางรถไฟ.....	24
การสร้างแบบจำลองรถไฟขนส่งสินค้าที่มีอุปกรณ์ลดการสะเทือนแบบแรงเสียดทานเพื่อ วิเคราะห์เขตบรรทุก.....	25
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	27
แบบจำลองทางพลวัตของรถไฟ.....	28
คุณสมบัติและลักษณะทางกายภาพของทางวิ่ง.....	31
การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Validation).....	34
การวิเคราะห์เขตโครงสร้างทางเชิงจลน์ (Kinematic Envelope).....	35
การวิเคราะห์พลวัตของยานพาหนะ.....	41
บทที่ 4 ผลการวิจัย.....	48
ผลการวิเคราะห์พลวัตของยานพาหนะ.....	48
ผลการประมาณค่าเขตโครงสร้างทางรถไฟ.....	145
ผลการเปรียบเทียบเขตโครงสร้างทางรถไฟจากแบบจำลองกับเขตโครงสร้างทาง รถไฟฟ้าแอร์พอร์ต เรล ลิงก์.....	147
บทที่ 5 บทสรุป.....	150
สรุปผลการวิจัย.....	150
ข้อเสนอแนะ.....	150
บรรณานุกรม.....	151
ภาคผนวก.....	155
ประวัติผู้วิจัย.....	160

สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 1 การเปรียบเทียบโหมดความถี่ธรรมชาติของแบบจำลอง.....	35
ตาราง 2 คุณสมบัติของตัวรถและรัศมีโค้งสำหรับการคำนวณระยะเพิ่มเติมแนวราบช่วงเข้าโค้ง	36
ตาราง 3 รูปแบบการวิเคราะห์ในแบบจำลอง.....	45
ตาราง 4 ระยะการเคลื่อนที่สูงสุด ของรถไฟรุ่น Siemens Desiro UK Class 360/2.....	77
ตาราง 5 ระยะการเคลื่อนที่สูงสุด ของรถไฟรุ่น CRH2C.....	109
ตาราง 6 ระยะการเคลื่อนที่สูงสุด ของรถไฟรุ่น Shinkansen Series 300.....	141
ตาราง 7 ผลการประมาณขนาดเขตโครงสร้างทางจากการวิเคราะห์พลวัตของยานพาหนะ	145
ตาราง 8 โปรไฟล์จากการประมาณค่าเขตโครงสร้างทางของรถรุ่น Siemens Desiro UK Class 360/2.....	156
ตาราง 9 โปรไฟล์จากการประมาณค่าเขตโครงสร้างทางของรถรุ่น CRH2C	157
ตาราง 10 โปรไฟล์จากการประมาณค่าเขตโครงสร้างทางของรถรุ่น Shinkansen Series 300	158

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพ 1 การกระจายน้ำหนักจากล้อรถไฟลงสู่โครงสร้างทาง	5
ภาพ 2 จุดสัมผัสระหว่างล้อและรางรถไฟ.....	6
ภาพ 3 ทางรถไฟแบบใช้หินโรยทาง.....	8
ภาพ 4 ตัวอย่างแบบโครงสร้างตัวรถ ผลิตโดย Lyudinovo Diesel Locomotive, Lyudinovo, Russia	9
ภาพ 5 ตัวอย่างแบบโครงสร้างตัวรถ ผลิตโดย Ural Locomotives, Yekaterinburg, Russia	10
ภาพ 6 ตัวอย่างโครงสร้างแบบผนังรถ ผลิตโดย CRRC Zhuzhou Electric Locomotive Co. Ltd, Zhuzhou, China	10
ภาพ 7 ตัวอย่างส่วนประกอบโบกี้ที่มี 2 เพลา ผลิตโดย Hyundai Rotem Company, Uiwang, South Korea.....	11
ภาพ 8 ตัวอย่างส่วนประกอบโบกี้ที่มี 3 เพลา ผลิตโดย Lugansk Diesel Locomotive Plant, Lugansk, Ukraine.....	12
ภาพ 9 ตัวอย่างระบบจุดลากเดี่ยว ผลิตโดย Ural Locomotives, Yekaterinburg, Russia..	13
ภาพ 10 ตัวอย่างระบบชุดจุดลากชุด ผลิตโดย Lugansk Diesel Locomotive Plant, Lugansk, Ukraine	13
ภาพ 11 ตัวอย่างการติดตั้งมอเตอร์จุดลากแบบแขวน ผลิตโดย Ural Locomotives, Yekaterinburg, Russia.....	14
ภาพ 12 ตัวอย่างการติดตั้งแบบมอเตอร์จุดลากแบบติดตั้งบนโครง ผลิตโดย CRRC Dalian Co. Ltd, Dalian, China	15
ภาพ 13 องค์ประกอบพื้นฐานของระบบเบรกลม (Air brake system)	16

ภาพ 14	เขตโครงสร้างทางเทียบกับเขตบรรทุกของทางรถไฟ.....	17
ภาพ 15	แรงที่เกิดขึ้นจากการสัมผัสกันระหว่างล้อและราง	19
ภาพ 16	แรงลัพท์ที่กระทำบนพื้นที่สัมผัสระหว่างล้อและรางด้วยซอฟต์แวร์ FASTSIM	20
ภาพ 17	การตอบสนองแบบพลวัตของตัวรถอ้างอิงตามแกนการเคลื่อนที่	20
ภาพ 18	การติดตั้งอุปกรณ์เลเซอร์.....	23
ภาพ 19 (ซ้าย)	การวิเคราะห์การสะท้อนโดยรอบจากข้อมูลเลเซอร์ (ขวา) ภาพถ่ายจากทางวิ่งจริงเพื่อใช้ประกอบการวิเคราะห์	23
ภาพ 20	ตำแหน่งติดตั้งชุดอุปกรณ์เลเซอร์	24
ภาพ 21	ผลการตรวจวัดจากอุปกรณ์เลเซอร์เทียบกับการตรวจวัดด้วยวิธีทั่วไป.....	24
ภาพ 22	ระบบจัดการข้อมูลจากการสำรวจ	25
ภาพ 23	องค์ประกอบของโบกี้ชนิด Y25	26
ภาพ 24	ผลเปรียบเทียบระยะห่างระหว่างตัวรถกับผนังของอุโมงค์ระหว่างการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองและเขตบรรทุกเชิงสถิติ.....	26
ภาพ 25	แผนผังแสดงขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย.....	27
ภาพ 26	แบบจำลองของรถไฟไฟฟ้าแอร์พอร์ต เรล ลิงก์ รุ่น Siemens Desiro Class 360/2.....	28
ภาพ 27	บริเวณจุดต่อระหว่างโครงสร้างโบกี้กับตัวรถ.....	28
ภาพ 28	ลักษณะรูปร่างของผิวสัมผัสของล้อเป็นไปตามโปรไฟล์ S1002.....	29
ภาพ 29	รถไฟไฟฟ้าความเร็วสูง CRH2C	30
ภาพ 30	รถไฟไฟฟ้าความเร็วสูง Shinkansen Series 300	31
ภาพ 31	ทางวิ่งของโครงการรถไฟฟ้าแอร์พอร์ต เรล ลิงก์.....	32
ภาพ 32	ลักษณะทางวิ่งช่วงทางตรง และช่วงโค้งที่มีการยกโค้ง.....	32
ภาพ 33	ลักษณะทางวิ่งช่วงทางตรง.....	33

ภาพ 34 ลักษณะทางวิ่งช่วงทางโค้ง.....	34
ภาพ 35 เส้นทางวิ่งของรถไฟบริเวณช่วงทางโค้ง.....	34
ภาพ 36 ระยะเพิ่มเติมแนวราบช่วงเข้าโค้ง.....	36
ภาพ 37 ขนาดมิติของรถไฟรุ่น Siemens Desiro UK Class 360/2.....	37
ภาพ 38 ระยะเพิ่มเติมแนวตั้งของรถ Siemens Desiro UK Class 360/2.....	37
ภาพ 39 ขนาดมิติของรถไฟรุ่น CRH2C.....	38
ภาพ 40 ระยะเพิ่มเติมแนวตั้งของรถ CRH2C.....	39
ภาพ 41 ขนาดมิติของรถไฟรุ่น Shinkansen Series 300.....	40
ภาพ 42 ระยะเพิ่มเติมแนวตั้งของรถ Shinkansen Series 300.....	40
ภาพ 43 โพรไฟล์ล้อ S1002 ในสภาวะล้อใหม่ จากแบบจำลอง.....	41
ภาพ 44 โพรไฟล์ล้อ S1002 ที่มีการสึกหรอจากการใช้งาน จากแบบจำลอง.....	42
ภาพ 45 โพรไฟล์ราง UIC 60 จากแบบจำลอง.....	42
ภาพ 46 ความไม่สม่ำเสมอในแนวตั้งของผิวทางในสภาวะทางสภาพดีสำหรับรางซ้าย.....	42
ภาพ 47 ความไม่สม่ำเสมอในแนวตั้งของผิวทางในสภาวะทางสภาพดีสำหรับรางขวา.....	43
ภาพ 48 ความไม่สม่ำเสมอในแนวระนาบของผิวทางในสภาวะทางสภาพดี.....	43
ภาพ 49 ความไม่สม่ำเสมอในแนวตั้งของผิวทางในสภาวะทางสภาพปานกลาง สำหรับรางซ้าย.....	43
ภาพ 50 ความไม่สม่ำเสมอในแนวตั้งของผิวทางในสภาวะทางสภาพปานกลาง สำหรับรางขวา.....	44
ภาพ 51 ความไม่สม่ำเสมอในแนวระนาบของผิวทางในสภาวะทางสภาพปานกลาง.....	44
ภาพ 52 ตำแหน่งการพิจารณาการเคลื่อนที่ของตัวรถ.....	45
ภาพ 53 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 1.....	48

ภาพ 208	ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 40	132
ภาพ 209	ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 41	133
ภาพ 210	ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 42	133
ภาพ 211	ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 43	134
ภาพ 212	ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 44	134
ภาพ 213	ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 45	135
ภาพ 214	ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 46	135
ภาพ 215	ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 47	136
ภาพ 216	ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 48	136
ภาพ 217	ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 49	137
ภาพ 218	ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 50	137
ภาพ 219	ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 51	138
ภาพ 220	ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 52	138
ภาพ 221	ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 53	139
ภาพ 222	ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 54	139
ภาพ 223	ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 55	140
ภาพ 224	ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 56	140
ภาพ 225	ระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 56.....	144
ภาพ 226	ระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 56	144
ภาพ 227	โปรไฟล์จากการประมาณค่าเขตโครงสร้างทางของรถรุ่น Siemens Desiro UK Class 360/2.....	146
ภาพ 228	โปรไฟล์จากการประมาณค่าเขตโครงสร้างทางของรถรุ่น CRH2C	146

ภาพ 229 โพรไฟล์จากการประมาณค่าเขตโครงสร้างทางของรถรุ่น Shinkansen Series 300	147
ภาพ 230 โพรไฟล์การเปรียบเทียบผลการประมาณค่าเขตโครงสร้างทางของรถรุ่น Siemens Desiro UK Class 360/2 จากแบบจำลองกับเขตโครงสร้างทางของรถไฟฟ้าแอร์พอร์ต เรล ลิงก์.....	148
ภาพ 231 โพรไฟล์การเปรียบเทียบผลการประมาณค่าเขตโครงสร้างทางของรถรุ่น CRH2C จากแบบจำลองกับเขตโครงสร้างทางของรถไฟฟ้าแอร์พอร์ต เรล ลิงก์	148
ภาพ 232 โพรไฟล์การเปรียบเทียบผลการประมาณค่าเขตโครงสร้างทางของรถรุ่น Shinkansen Series 300 จากแบบจำลองกับเขตโครงสร้างทางของรถไฟฟ้าแอร์พอร์ต เรล ลิงก์	149



บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาของปัญหา

พิกัดขนาดตัวรถ หรือเขตบรรทุก (Loading Gauge) นับเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการพิจารณาใช้งานระบบขนส่งทางราง เนื่องจากเป็นปัจจัยพื้นฐานที่จะบ่งชี้ถึงขนาดสูงสุดของตัวรถที่จะให้บริการได้บนสายทาง รวมไปถึงความเกี่ยวข้องกับขนาดของโครงสร้างพื้นฐานที่จะต้องออกแบบเพื่อให้ได้ เพื่อให้เกิดความปลอดภัย มีประสิทธิภาพในการเดินรถและสะดวกต่อการซ่อมบำรุง ในกระบวนการก่อสร้างทางรถไฟและการออกแบบตัวรถไฟนั้นจะต้องมีการกำหนดขนาดมิติที่ใหญ่ที่สุดของตัวรถซึ่งเรียกว่า เขตบรรทุก (Loading Gauge) และขนาดพิกัดขนาดโครงสร้างหรือเขตโครงสร้างทาง (Structure Gauge) ซึ่งจะมีระยะเพื่อเพิ่มเติมจากเขตบรรทุกออกไป ทั้งนี้เพื่อเป็นการป้องกันไม่ไห้ส่วนใดส่วนหนึ่งของขบวนรถไฟสัมผัสกับโครงสร้างทางรถไฟได้ในขณะเคลื่อนที่เพื่อหลีกเลี่ยงความเสียหายที่อาจเกิดขึ้น โดยระยะห่างดังกล่าวควรมีระยะที่เหมาะสม หากระยะห่างมีมากเกินไป โครงสร้างทางรถไฟจะมีขนาดใหญ่ซึ่งส่งผลกระทบต่อประมาณในการก่อสร้างในกรณีที่หากระยะแคบเกินไปจะมีความเสี่ยงสูงในการเกิดความเสียหาย การออกแบบให้ระยะห่างระหว่างเขตบรรทุกและเขตโครงสร้างทางให้มีความเหมาะสมนั้นมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งต่อความปลอดภัยและประสิทธิภาพในการเดินรถของโครงการขนส่งระบบราง

มาตรฐานของประเทศต่าง ๆ เช่น กลุ่มประเทศยุโรป สาธารณรัฐประชาชนจีน ประเทศอินเดีย ประเทศญี่ปุ่น รวมทั้งประเทศไทย ล้วนมีการออกข้อบังคับของ เขตบรรทุกและเขตโครงสร้างทาง ซึ่งในการกำหนดเขตบรรทุกจะต้องพิจารณาถึงขนาดมิติที่ใหญ่ที่สุดของรถแต่ละชนิดที่ยอมให้วิ่งบนสายทาง รวมทั้งผลจากการเคลื่อนที่ของตัวรถในทิศทางต่าง ๆ อันเป็นผลมาจากปัจจัย ได้แก่ ระยะเวลาขจัด (Throw) ที่เกิดจากรูปร่างทางกายภาพของตัวรถที่แล่นไปบนตำแหน่งต่าง ๆ การเคลื่อนที่ของตัวรถซึ่งเป็นผลมาจากการทำงานของระบบชุดช่วงล่างและพฤติกรรมทางพลศาสตร์ การสึกหรอของล้อ การสึกหรอของรางและความไม่สม่ำเสมอของผิวทาง เป็นต้น

โดยทั่วไป การตรวจสอบถึงขนาดพิกัดเขตบรรทุกจะทำการคำนวณค่าระยะเคลื่อนที่โดยรวมของตัวรถโดยรวมผลจากการขจัด การเคลื่อนตัวของชุดช่วงล่าง การสึกหรอของล้อและความไม่สม่ำเสมอของทาง โดยมีการสร้างสมการขึ้นมาเพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณ (Simplified) อย่างไรก็ตามวิธีการดังกล่าวยังมีข้อจำกัดของความถูกต้องในการประมาณผลจากพฤติกรรมทางพลศาสตร์ของรถไฟที่ระดับความเร็วต่าง ๆ ทั้งนี้ ด้วยประสิทธิภาพของระบบช่วยคำนวณในปัจจุบัน ทำให้วิศวกร

สามารถจำลองพฤติกรรมทางพลศาสตร์ของรถไฟได้อย่างแม่นยำ เช่นแบบจำลองมัลติบอดี้ (Multi-Body Dynamic Model) ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการช่วยคำนวณค่าขนาดพิกัดเขตบรรทุกทำให้มีความสอดคล้องกับสภาวะจริงได้มาก

สำหรับประเทศไทย มีประเด็นปัญหาเกี่ยวกับเขตบรรทุกและเขตโครงสร้างทางในโครงการระบบขนส่งทางรางหลายประเด็น เช่น การตรวจวัดขนาดเขตโครงสร้างทางที่มีอยู่จริงหลังจากที่ก่อสร้างเสร็จแล้ว การปรับปรุงระดับและขนาดของชานชาลาเพื่อความสะดวกต่อการเข้าออกของผู้โดยสาร การปรับเปลี่ยนรูปแบบการใช้งานของโครงการรถไฟฟ้าแอร์พอร์ต เรล ลิงก์ร่วมกับรถไฟความเร็วสูงสามสนามบิน เป็นต้น

ในอนาคตอันใกล้ รถไฟฟ้าแอร์พอร์ต เรล ลิงก์จะถูกควบรวมไปกับโครงการรถไฟความเร็วสูงสามสนามบิน โดยอาจมีการนำรถไฟรุ่นอื่น ๆ มาวิ่งให้บริการบนสายทางเดิม อย่างไรก็ตามทางวิ่งของแอร์พอร์ต เรล ลิงก์ นั้นมีช่วงทางโค้งรัศมีแคบซึ่งมีรัศมีความโค้ง 180 เมตร บริเวณก่อนถึงอุโมงค์ใต้ดินสถานีสุวรรณภูมิ โดยการศึกษาครั้งนี้มีจุดประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้การวิเคราะห์พลวัตของยานพาหนะในการประมาณค่าเขตโครงสร้างทางรถไฟในประเทศไทยด้วยการสร้างแบบจำลองจากรถไฟเพื่อจำลองพฤติกรรมทางพลศาสตร์ที่อาจเกิดขึ้นกับรถไฟเพื่อเปรียบเทียบผลการประมาณค่าเขตโครงสร้างทางรถไฟจากแบบจำลองกับเขตโครงสร้างทางรถไฟของรถไฟฟ้าแอร์พอร์ต เรล ลิงก์ ในการวิเคราะห์พฤติกรรมทางพลวัตของรถไฟโดยใช้แบบจำลองมัลติบอดี้แบบพลวัต ด้วยซอฟต์แวร์ Universal Mechanism โดยผลลัพธ์ที่ได้จะช่วยให้สามารถประเมินถึงระยะปลอดภัยที่เหลืออยู่ซึ่งจะเป็นข้อมูลสำคัญในการพิจารณาถึงขนาดของรถไฟรุ่นใหม่ที่จะนำมาใช้งานได้ต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อประยุกต์ใช้การวิเคราะห์พลวัตของยานพาหนะในการประมาณค่าเขตโครงสร้างทางรถไฟ
2. เพื่อเปรียบเทียบผลการประมาณค่าเขตโครงสร้างทางรถไฟจากแบบจำลองกับเขตโครงสร้างทางของรถไฟฟ้าแอร์พอร์ต เรล ลิงก์

ขอบเขตของการวิจัย

1. สร้างแบบจำลองมัลติบอดี้ของรถไฟฟ้าแอร์พอร์ต เรล ลิงก์ รุ่น Siemens Desiro UK Class 360/2 รถไฟความเร็วสูงรุ่น CRH2C และรุ่น Shinkansen Series 300 ด้วยซอฟต์แวร์ Universal Mechanism ในการวิเคราะห์พลศาสตร์ของยานพาหนะ

2. จำลองคุณสมบัติและลักษณะทางวิ่งบริเวณช่วงทางตรงเป็นระยะทาง 1,000 เมตร มีระยะห่างระหว่างศูนย์กลางทาง (Track Centerline) เป็นระยะ 4.0 เมตร บริเวณช่วงทางโค้งรัศมี 180 เมตร และรัศมี 1,000 ต่อเนื่องกัน ซึ่งมีระยะห่างระหว่างศูนย์กลางทาง 4.3 เมตร

3. วิเคราะห์แบบจำลองด้วยปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่อพลวัตของรถไฟ ได้แก่ ความเร็ว การสึกหรอของล้อ และความไม่สม่ำเสมอของผิวทาง โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1 ความเร็วของรถไฟบริเวณช่วงทางตรงที่ความเร็ว 20, 40, 60, 80, 100, 120 ,140 และ 160 กิโลเมตรต่อชั่วโมง บริเวณช่วงทางโค้งที่ความเร็ว 20, 40 และ 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

3.2 โปรไฟล์ล้อ S1002 ซึ่งมีสภาพของล้อในสภาวะล้อใหม่ และล้อที่เกิดการสึกหรอจากการใช้งาน (Wheel Wear)

3.3 โปรไฟล์ราง UIC 60 โดยความไม่สม่ำเสมอของผิวทางใช้ค่าที่แนะนำตามมาตรฐาน UIC ในสภาวะทางสภาพดี (Good Track) และสภาพปานกลาง (Moderate Track)

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงระเบียบวิธีการประมาณค่าเขตโครงสร้างทางรถไฟจากพลวัตของยานพาหนะ และสามารถประมาณค่าเขตโครงสร้างทางรถไฟ

2. ทราบถึงหลักพลวัตของยานพาหนะ

3. ทราบถึงกระบวนการสร้างแบบจำลองมัลติบอดีของยานพาหนะเพื่อใช้ในการวิเคราะห์พลวัต

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

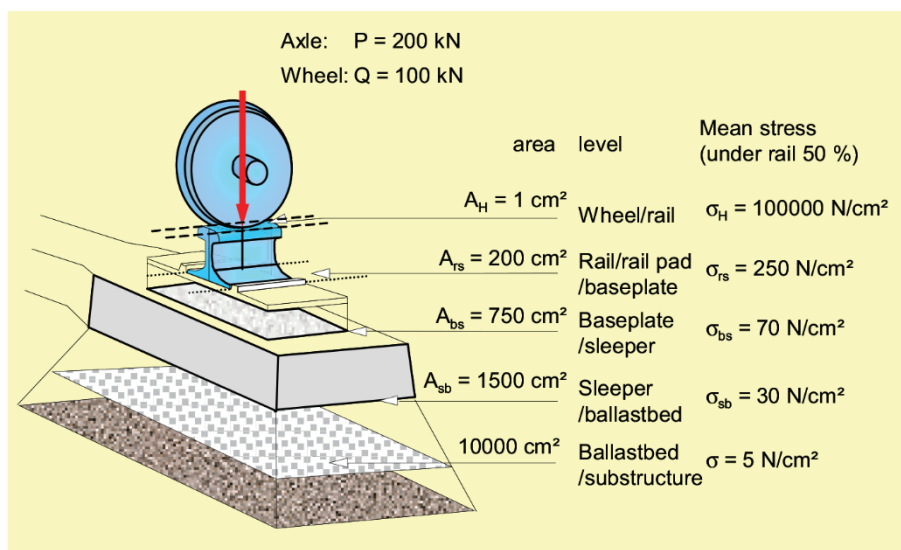
บทนี้ผู้วิจัยได้ทำศึกษารวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างทางรถไฟ องค์ประกอบที่สำคัญของรถไฟ และกลุ่มงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยมีรายละเอียดดังนี้

โครงสร้างทางรถไฟ

ทางรถไฟมีหน้าที่สำคัญ 2 ประการคือ รับน้ำหนักขบวนรถไฟ (Load Bearing) และการกำหนดทิศทางการวิ่งขบวนรถไฟ (Direction Guiding) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

การรับน้ำหนักขบวนรถไฟ (Load Bearing)

ความสามารถในการรับน้ำหนักของทางรถไฟกำหนดโดยมาตรฐานเรียกว่าน้ำหนักดเพลลา (Axle Load) และการกระจายของน้ำหนักบนทาง (Load Concentration) ดังแสดงในภาพ 1 ตัวเลขดังกล่าวจะใช้เป็นข้อกำหนดออกแบบทางรถไฟและขบวนรถไฟ ทางรถไฟที่ออกแบบโดยใช้มาตรฐานน้ำหนักดเพลลาสูงหมายถึงต้องใช้รางขนาดใหญ่วางอยู่บนโครงสร้างที่มีความมั่นคงแข็งแรง ซึ่งส่งผลต่อค่าก่อสร้างที่มากขึ้นแต่ก็จะมีขีดความสามารถในการขนส่งสูงขึ้นด้วยรวมทั้งเมื่อนำขบวนรถไฟที่มีน้ำหนักเบาวิ่งก็มีความปลอดภัยมากยิ่งขึ้น ขบวนรถไฟที่มีน้ำหนักมากจะเป็นตัวกำหนดความแข็งแรงของการออกแบบทางรถไฟน้ำหนักดเพลลาสูงสุดของทางรถไฟสำหรับการขนส่งสินค้าในยุโรปโดยทั่วไปประมาณ 25 ตัน ทางรถไฟในออสเตรเลียมีน้ำหนักดเพลลาสูงสุด 26 ตัน สำหรับรถไฟเฉพาะกิจบางเส้นทางซึ่งใช้งานอย่างเดียวก็อาจกำหนดน้ำหนักดเพลลาสูงสุดเท่ากับความต้องการใช้งานประเภทนั้น ๆ เช่น การสร้างเป็นทางรถไฟความเร็วสูงที่ใช้เฉพาะการเดินทางขบวนรถไฟโดยสารความเร็วสูงเท่านั้น ก็อาจจะออกแบบเพื่อรับน้ำหนักดเพลลาสูงสุดเพียง 17 ถึง 19 ตัน และถ้าเป็นทางรถไฟเฉพาะสำหรับระบบขนส่งมวลชนก็อาจจะกำหนดให้มีน้ำหนักดเพลลาต่ำลงอีกเพราะขบวนรถไฟวิ่งช้ากว่า นอกจากนี้ยังมีการแบ่งระดับชั้นของทางรถไฟออกเป็นรถไฟขนาดเล็กที่ใช้ตัวรถเบาซึ่งโครงสร้างทางไม่จำเป็นต้องมีความแข็งแรงมากนักเรียกว่า Light Rail เช่น ทางรถไฟสำหรับรถรางในเมือง ส่วนทางรถไฟขนาดใหญ่ซึ่งสร้างขึ้นเพื่อรองรับขบวนรถไฟที่มีน้ำหนักมากต้องประกอบด้วยโครงสร้างทางที่แข็งแรงเรียกว่า Heavy Rail ในปัจจุบันคำเรียกชื่อระดับชั้นนี้ถูกนำมาใช้แบ่งชั้นของขีดความสามารถในการขนส่งของระบบรถไฟขนส่งมวลชนโดย Heavy Rail จะหมายถึงระบบขนส่งมวลชนที่ออกแบบให้มีขีดความสามารถในการขนส่งผู้โดยสารได้มากกว่า 50,000 – 60,000 คนต่อชั่วโมงต่อทิศทาง และระบบที่ขนส่งได้น้อยกว่าเรียกว่าเป็น Light Rail



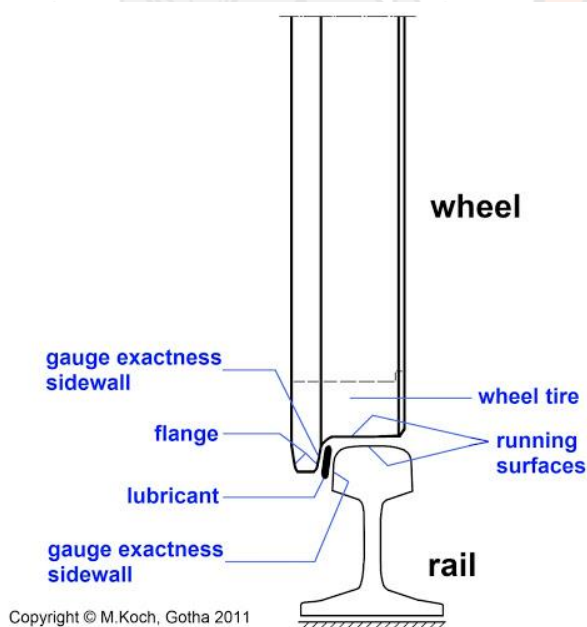
ภาพ 1 การกระจายน้ำหนักจากล้อรถไฟลงสู่โครงสร้างทาง

ที่มา: Taufan Abadi, 2015

ทางรถไฟของประเทศไทยในอดีตนั้นมียืดความสามารถในการรับน้ำหนักดเพลาสุงสุดโดยทั่วไปได้ 10.5 ตัน ในขณะที่รถไฟขณสินค้สมัยนั้นมียน้ำหนักดเพลาสุงเพียง 8 ถึง 10 ตัน ต่อมาจึงเพิ่มมาตรฐานเพื่อให้ขณส่งได้ครั้งละมากขึ้นโดยปรับปรุงทางรถไฟเดิมให้สามารถรับน้ำหนักดเพลาสุงได้ 16 ตัน ทั่วประเทศ ส่วนทางรถไฟที่สร้างใหม่รวมทั้งทางรถไฟที่ปรับปรุงขนาดหนัก (Rehabilitation) แล้วกำหนดการออกแบบให้สามารถรับน้ำหนักดเพลาสุงสุดได้ 20 ตัน ทางรถไฟตามมาตรฐานใหม่ที่ออกแบบให้มียืดความสามารถในการรับน้ำหนักดเพลาสุงจะมีความมั่นคงสามารถวิ่งรถโดยสารได้ด้วยความเร็วสูงสุดมากกว่า 130 กม./ชม. แต่ทางที่ปรับปรุงแล้วก็ยังเป็นส่วนน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับทางรถไฟที่มีอยู่เดิมทั้งหมด ทางรถไฟที่สามารถตอบสนององความต้องการใช้งานแต่ละประเภทมากที่สุดคือทางรถไฟที่ออกแบบมาเพื่อใช้เป็นการเฉพาะกิจ (Dedicated Track) เช่น ทางรถไฟของระบบขณส่งมวลขณ หรือทางรถไฟความเร็วสูงซึ่งโครงสร้างทางได้ออกแบบเพื่อรองรับขบวนรถแบบเดี่ยวและมีน้ำหนักดล้อรถที่เบากว่าทางรถไฟเหล่านี้ไม่สามารถนำรถสินค้หนักมาวิ่งได้ อย่างไรก็ตามเหตุผลในการเลือกสร้างรถไฟให้เป็นแบบทางเฉพาะกิจหรือทางรถไฟที่ใช้ประโยชน์หลายอย่างปนกันก็ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์และความต้องการใช้งาน ในกรณีที่มีปริมาณการขณส่งเฉพาะประเภทใดประเภทหนึ่งยังไม่สูงมากและไม่คุ้มค้ที่จะสร้างเป็นทางรถไฟเฉพาะกิจการใช้ทางรถไฟเดี่ยวร่วมกันเพื่อเดินรถไฟหลายประเภทปนกันก็อาจจะมีความคุ้มค้ทางเศรษฐกิจมากกว่า

การกำหนดทิศทางการวิ่งขบวนรถไฟ (Direction Guiding)

ล้อรถไฟและรางรถไฟได้พัฒนารูปแบบมาจนถึงปัจจุบันซึ่งเป็นล้อแบบมีบังใบ (Flange) ดังแสดงในภาพ 2 อยู่ด้านในของหัวรางบังใบล้อจะเป็นตัวประกอบให้ขบวนรถไฟวิ่งไปตามรางระยะห่างระหว่างหัวรางด้านในเรียกว่า เรลเกจ (Rail Gauge) ส่วนจุดที่ล้อสัมผัสหัวรางเรียกว่า เทรด (Thread) เส้นผ่าศูนย์กลางของล้อรถไฟจะวัดที่จุดสัมผัสนี้เรียกว่า เส้นผ่าศูนย์กลาง ณ จุดสัมผัส (Diameter on Thread) ระยะห่างระหว่างจุดสัมผัสด้านบนที่ล้อกดลงบนรางกับจุดสัมผัสด้านล่างของบังใบ เมื่อล้อรถไฟเคลื่อนที่ไปไกลสุดทางด้านข้าง เรียกว่า ระยะสายตัวของล้อ (Wheel Flange Play) ระยะสายตัวจะสัมพันธ์กับความลาดเอียงที่พื้นล้อและรูปร่างของหัวรางซึ่งเป็นตัวกำหนดความถี่การสายตัวแบบไซน์ (Sine Wave) ของล้อพร้อมเพลลา มาตรฐานการออกแบบของการรถไฟแห่งประเทศไทยกำหนดระยะสายตัวออกด้านข้างของล้อไว้ข้างละ 6.75 มิลลิเมตร (ขยายจากเดิมเมื่อยังใช้ล้อที่กำหนดตามมาตรฐานของต่างประเทศซึ่งกำหนดไว้ที่ 2 มิลลิเมตร) ขณะที่ขบวนรถเคลื่อนที่ไปบังใบล้อจะบังคับให้ล้อพร้อมเพลลาอยู่ระหว่างรางทั้งสองข้าง เมื่อต้องการเปลี่ยนทิศทางวิ่งของขบวนรถไฟ จะต้องอาศัยอุปกรณ์ที่เรียกว่า ประแจ (Turn out) ซึ่งทำหน้าที่ประคองบังใบล้อให้ขบวนรถไฟวิ่งไปตามทิศทางที่กำหนด



ภาพ 2 จุดสัมผัสระหว่างล้อและรางรถไฟ

ที่มา: M.Koch, Gotha, 2011

ส่วนประกอบที่สำคัญของทางรถไฟ

ทางรถไฟประกอบด้วยรางเหล็กวางอยู่บนหมอนรองราง (Sleepers) มีเครื่องยึดเหนี่ยวราง (Rail Fastening Device) ทำหน้าที่ยึดรางเหล็กไว้กับหมอนใต้หมอนลงไปคือหินโรยทาง (Ballast) ทำหน้าที่ยึดหมอนรองรางไว้กับที่และถ่ายน้ำหนักรถไฟเฉลี่ยลงบนคันทาง (Sub-structure) ซึ่งอยู่ล่างสุดซึ่งก็คือพื้นดินเดิมที่จะรับน้ำหนักของขบวนรถไฟไว้ นอกจากนี้บริเวณสะพานทางเลี้ยวประแจหรือจุดที่วิกฤตก็จะมีรางอีกคู่หนึ่งวางขนานไปกับรางรับน้ำหนักเรียกว่ารางกัน (Safety Rail) ทำหน้าที่ประคองล้อรถไฟที่อาจพลัดตกจากรางให้อยู่ในขอบเขตจำกัดเพื่อป้องกันไม่ให้ขบวนรถไฟหลุดออกไปทำความเสียหายกับโครงสร้างหรือตกลงมาจากสะพานสูง สำหรับโครงสร้างของทางรถไฟเมื่อทางรถไฟตัดผ่านเข้าไปในภูมิภาคที่แตกต่างกันก็จะมีโครงสร้างที่ต่างกัน ได้แก่ ทางรถไฟที่ผ่านแม่น้ำมีสะพาน (Bridge) ผ่านที่ราบมีน้ำไหลผ่านต้องมีช่องระบายน้ำ (Culvert) ผ่านหุบเขาตื้นมีทางถม (Embankment) ผ่านหุบเขาลึกมีสะพานห่อ (Viaduct) ผ่านเนินเขาขนาดย่อมมีทางตัด (Cutting) และผ่านภูเขาขนาดใหญ่มีอุโมงค์ (Tunnel) เป็นต้น ซึ่งส่วนประกอบของทางรถไฟตามภูมิภาคเหล่านี้ก็จะมีรายละเอียดของโครงสร้างที่แตกต่างกันออกไป

ขนาดของรางรถไฟกำหนดเป็นน้ำหนักต่อหน่วยความยาวระบบเมตริก เช่น ที่ใช้ในมาตรฐาน UIC กำหนดเป็นกิโลกรัมต่อเมตร ระบบมาตรฐานอังกฤษ (BS) กำหนดเป็นปอนด์ต่อหลา มาตรฐานของกิจการรถไฟทวีปยุโรปกำหนดขนาดของรางที่ใช้สำหรับรถไฟความเร็วสูงไว้ที่ 60 กก./ม. หรือประมาณ 121 ปอนด์/หลา รางรถไฟขนาดใหญ่ที่สุดของการรถไฟแห่งประเทศไทยคือ 100 ปอนด์/หลา ซึ่งอยู่ในทางรถไฟที่สร้างใหม่และทางที่ได้ปรับปรุงขนาดหนัก (Rehabilitated) แล้ว แต่รางส่วนใหญ่ก็ยังเป็นขนาด 80 ปอนด์/หลา นอกจากนี้ยังมีทางประธาน (Mainline) ที่ใช้รางขนาด 70 ปอนด์/หลา ส่วนทางสายแยกรวมทั้งทางหลักที่ยังใช้รางขนาด 50 ปอนด์/หลา ก็ยังมีอยู่ รางรถไฟขนาดเล็กเป็นอุปสรรคต่อการวิ่งขบวนรถไฟอยู่บ้างการหลักขบวนรถไฟล่าช้าเพราะขบวนรถไฟต้องวิ่งผ่านทางหลักช้ามาก (15 – 30 กม./ชม.)

ทางรถไฟแบบใช้หินโรยทางและทางรถไฟแบบไม่ใช้หินโรยทาง (Ballast Track and Non-ballasted Track)

ทางรถไฟแบบมาตรฐานทั่วไปที่พัฒนามาแต่เดิมคือใช้หินโรยทางรองรับ ไม้หมอน หินโรยทางมีหน้าที่ยึดหมอนรองรางให้อยู่กับที่และถ่ายน้ำหนักขบวนรถไฟลงสู่ดินคันทาง ตัวอย่างดังภาพ 3 หินโรยทางต้องมีขนาดและเหลี่ยมมุมตามที่กำหนดเพื่อให้สามารถจับยึดหมอนรองรางหลังจากใช้เครื่องอัดหิน (Tamper) เขย่าให้ขบติดกันแล้ว หินโรยทางต้องมีชั้นความหนาตามที่กำหนดเพื่อให้สามารถยึดจับหมอนและถ่ายน้ำหนักลงสู่ดินคันทางโดยที่ดินคันทางไม่เสียหาย ทางรถไฟที่ใช้หินโรยทางรองรับไม้หมอนมีข้อดีคือให้ความนุ่มนวลและมีเสียงดังน้อยเมื่อขบวนรถไฟวิ่งผ่าน อย่างไรก็ตามเมื่อมีการใช้งานไประยะหนึ่งแล้วหินโรยทางจะสึกและหลวมคลอน ต้องมีการอัดหินเพิ่มเติมอย่าง

สม่าเสมอ ในกรณีที่หินโรยทางเสื่อมสภาพมากแล้วก็ต้องล้างหินเพื่อคัดเลือกเศษวัสดุและหินที่สึกไม่ได้ขนาดออก หากหินโรยทางเสื่อมสภาพมากจะต้องเปลี่ยนหินโรยทางใหม่ ทางรถไฟที่ใช้หินโรยทางจึงมีค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาสูง



ภาพ 3 ทางรถไฟแบบใช้หินโรยทาง

ที่มา: Sadanandam Anupoju, 2019

เมื่อวิทยาการด้านวัสดุศาสตร์ (Material Science) และวิธีการออกแบบยึดรางรถไฟได้รับการพัฒนาขึ้นประกอบกับเริ่มมีการก่อสร้างทางรถไฟแบบพิเศษ เช่น ทางรถไฟยกระดับในเมืองและอุโมงค์ลอดใต้ภูเขาเป็นระยะทางยาวโดยเฉพาะในเส้นทางรถไฟความเร็วสูง ได้มีการพัฒนาวิธีสร้างทางรถไฟแบบไม่ใช้หินโรยทางขึ้นเรียกว่า Non-Ballast Track ที่ใช้อยู่มากคือการวางรางบนแผ่นคอนกรีตอัดแรง (Slab Track) หรือการวางบนหมอนแต่หมอนวางอยู่บนพื้นคอนกรีตที่มีช่องบังคับไม่ได้วางบนหินโรยทางอย่างทางรถไฟทั่วไป วัตถุประสงค์ของการวางรางด้วยวิธีการที่ต่างจากการใช้หินโรยทางเพื่อลดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาและเพื่อยืดอายุการใช้งานของทางรถไฟ แต่เทคนิคการวางรางด้วยวิธีการเหล่านี้จะมีเทคโนโลยีและค่าก่อสร้างสูงกว่า ดังนั้นจึงต้องนำผลประโยชน์ที่เกิดขึ้นมาประกอบการพิจารณาว่าจะเลือกใช้วิธีการวางรางแบบใดด้วย

องค์ประกอบของรถไฟ

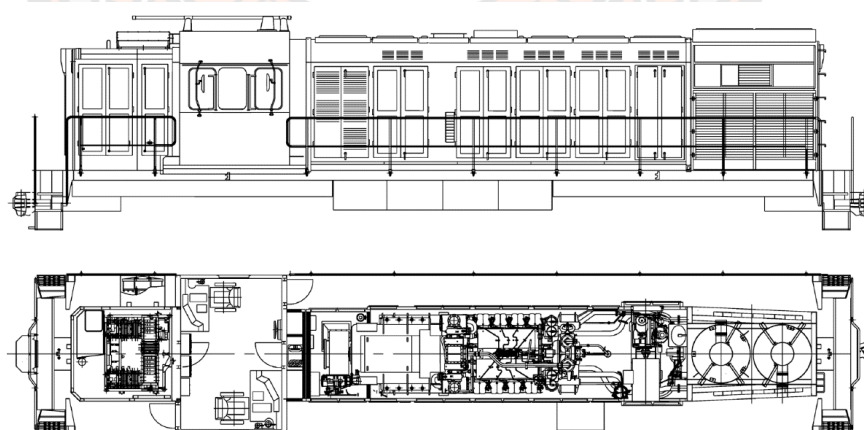
ในการศึกษาพลศาสตร์ของตัวรถไฟนั้นสิ่งสำคัญคือความเข้าใจในหลักการออกแบบองค์ประกอบและระบบต่าง ๆ ของรถไฟ เพื่อใช้ในการพัฒนาแบบจำลองทางพลศาสตร์ได้อย่างถูกต้องมากที่สุด โดยจากการศึกษาองค์ประกอบของรถไฟประกอบด้วย โครงสร้างตัวรถ โบกี้ ระบบขับเคลื่อน ระบบกันสะเทือน จุดต่อระหว่างโครงสร้างตัวรถและโบกี้ และระบบห้ามล้อ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

โครงสร้างตัวรถ (Main Frames and Bodies)

โครงสร้างตัวรถถูกออกแบบมาเพื่อรองรับอุปกรณ์ต่าง ๆ ของรถไฟ ผู้โดยสาร รวมถึงการรับแรงกระทำจากทั้งภายในและภายนอกตัวรถซึ่งขึ้นอยู่กับวิธีการออกแบบ โครงสร้างตัวรถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่

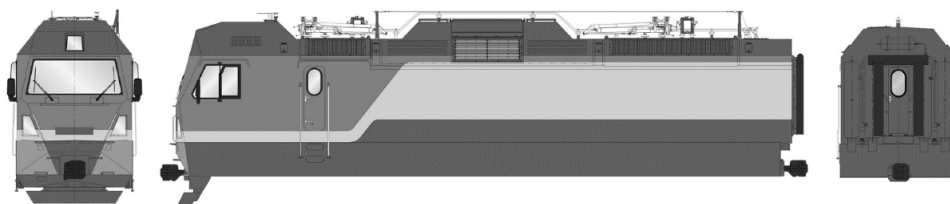
โครงประธาน (Main Frame)

โครงประธานมีหน้าที่ในการรับน้ำหนักหลักจากอุปกรณ์ที่ติดตั้งอยู่บนตัวรถ อีกทั้งยังรองรับแรงกระทำที่เกิดจากการขับเคลื่อน การเบรก แรงกระแทกจากน้ำหนักบรรทุก พนักด้านข้างรวมถึงหลังคาของตัวรถเพื่อเป็นการป้องกันอุปกรณ์และผู้โดยสารภายในจากสิ่งแวดล้อม ตัวอย่างโครงประธานดังแสดงในภาพ 4 และภาพ 5 นอกจากนี้โครงสร้างตัวรถยังมีการออกแบบโครงประธานให้สามารถถอดประกอบได้เป็นการลดความซับซ้อนของโครงสร้างเพื่อลดค่าใช้จ่ายในการเชื่อมต่อโครงสร้างและการบำรุงรักษาอีกด้วย



ภาพ 4 ตัวอย่างแบบโครงสร้างตัวรถ ผลิตโดย Lyudinovo Diesel Locomotive, Lyudinovo, Russia

ที่มา: Iwnicki, Spiragin, Cole, & Mcsweeney, 2020



ภาพ 5 ตัวอย่างแบบโครงสร้างตัวรถ ผลิตโดย Ural Locomotives, Yekaterinburg, Russia

ที่มา: Iwnicki, Spiriyagin, Cole, & Mcsweeney, 2020

โครงสร้างแบบผนังรถ (Monocoque Construction)

โครงสร้างผนังรถเป็นการเชื่อมต่อกันระหว่างส่วนประกอบของโครงสร้าง หลังคา ผนัง ด้านข้าง เข้าด้วยกันเพื่อให้ส่วนประกอบทั้งหมดสามารถทำหน้าที่รองรับน้ำหนักกระทำร่วมกันรวมถึง ชิ้นส่วนบริเวณผนังรถ เช่น แผ่นครอบผนังรถ โครงสร้างผนังรถมีข้อดีในเรื่องความแข็งแรงของ โครงสร้างและมีน้ำหนักเบา ตัวอย่างโครงสร้างดังแสดงในภาพ 6

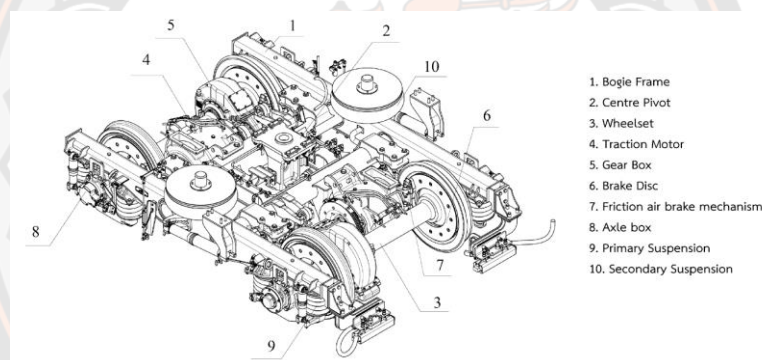


ภาพ 6 ตัวอย่างโครงสร้างแบบผนังรถ ผลิตโดย CRRC Zhuzhou Electric Locomotive Co. Ltd, Zhuzhou, China

ที่มา: Iwnicki, Spiriyagin, Cole, & Mcsweeney, 2020

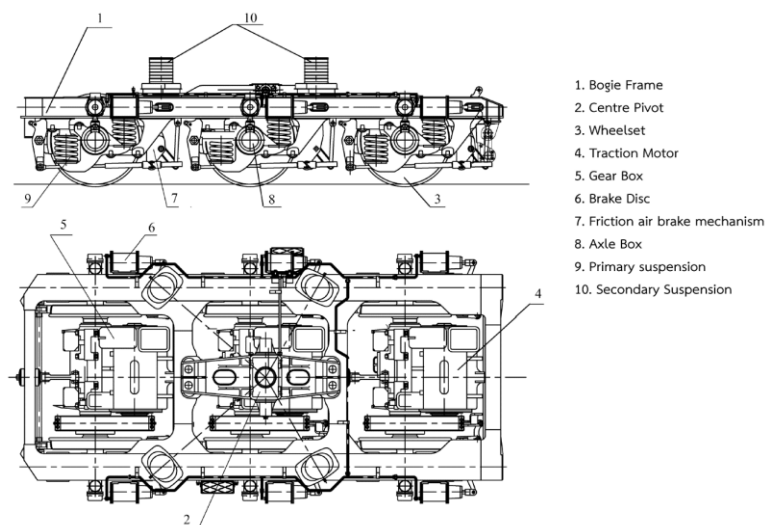
โบกี้ (Bogies)

โบกี้มีจุดประสงค์เพื่อช่วยปรับปรุงพฤติกรรมทางพลศาสตร์ที่เกิดขึ้นจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างเพ็องขับเคลื่อนและรางในส่วนทางวิ่งที่เป็นทางโค้ง นอกจากนี้โบกี้ยังทำหน้าที่เป็นจุดรองรับและลดการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นจากผลของน้ำหนักจากโครงสร้างส่วนบนที่อยู่เหนือโบกี้และยังช่วยเรื่องความยืดหยุ่นที่จุดต่อระหว่างล้อและชุดล้อ นอกจากนี้ยังช่วยส่งถ่ายแรงที่เกิดขึ้นเนื่องจากการขับเคลื่อนและการเบรกของไปยังโครงสร้างส่วนบนของรถอีกด้วย โดยทั่วไปแล้วโบกี้แบ่งเป็น 3 ประเภท ได้แก่ โบกี้ที่มี 2 เพลา โบกี้ที่มี 3 เพลา และ โบกี้ที่มี 4 เพลา ซึ่งขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ในการออกแบบ ตัวอย่างแสดงส่วนประกอบของโบกี้ที่มี 2 เพลา ดังแสดงในภาพ 7 และ โบกี้ที่มี 3 เพลาดังแสดงในภาพ 8 ส่วนประกอบหลักของโบกี้ประกอบด้วย โครงโบกี้ (Bogie Frame) ซึ่งติดตั้งอยู่บนอุปกรณ์ระบบเบรก สปริงกันสะเทือน (Spring Suspension) ชุดล้อ (Wheelsets) และส่วนที่เกี่ยวข้องกับระบบฉุดลากของรถ (Traction Drives)



ภาพ 7 ตัวอย่างส่วนประกอบโบกี้ที่มี 2 เพลา ผลิตโดย Hyundai Rotem Company, Uiwang, South Korea

ที่มา: Iwnicki, Spiryagin, Cole, & Mcsweeney, 2020

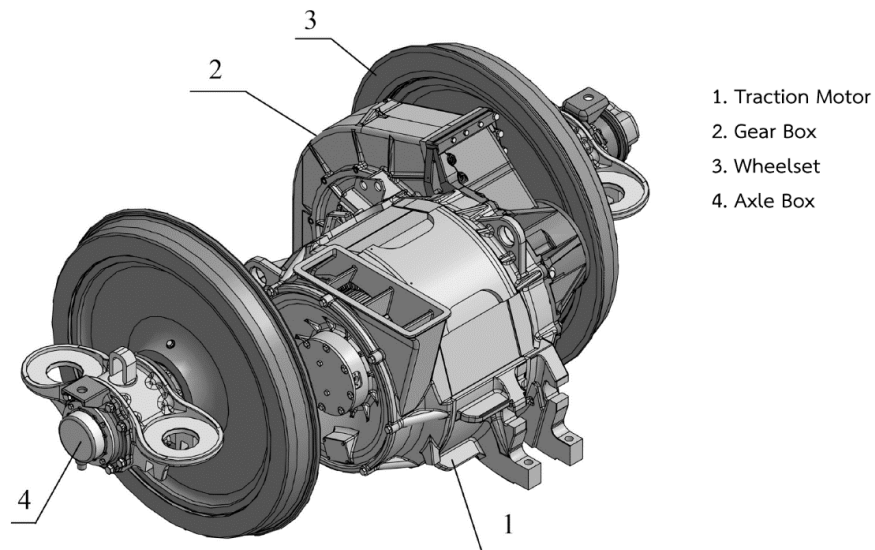


ภาพ 8 ตัวอย่างส่วนประกอบโบกี้ที่มี 3 เพลา ผลิตโดย Lugansk Diesel Locomotive Plant, Lugansk, Ukraine

ที่มา: Iwnicki, Spiriyagin, Cole, & Mcsweeney, 2020

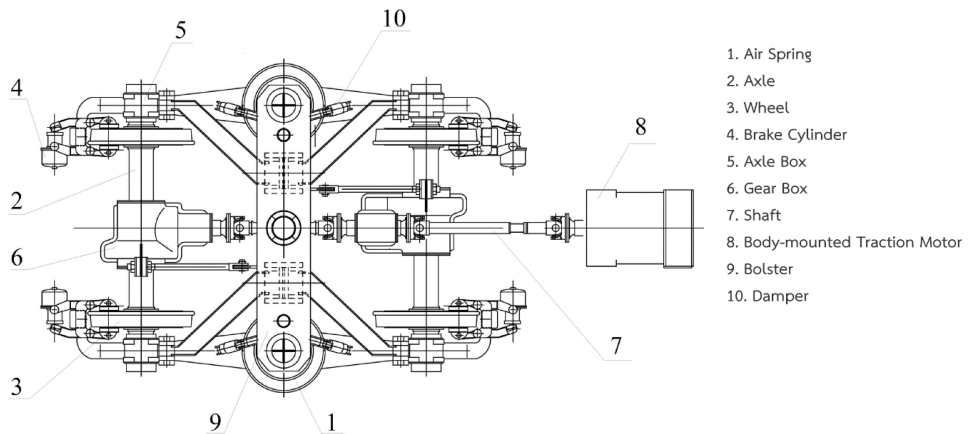
ระบบฉุดลาก (Traction System)

ระบบฉุดลากทำหน้าที่เป็นกลไกในการส่งถ่ายพลังงานจลน์จากมอเตอร์ฉุดลาก (Traction Motors) หรือการขับเคลื่อนจากเพลาส่งต่อให้กับชุดล้อและล้อสำหรับรถที่มีกำลังขับเคลื่อน ในส่วนของ การออกแบบการขับเคลื่อนนั้นมีความหลากหลายขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ของการนำไปใช้งาน การ ออกแบบของชุดล้อและล้อ โดยสามารถแบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ระบบฉุดลากเดี่ยว (Individual) ซึ่งมีการออกแบบให้ทอร์กจากมอเตอร์ฉุดลากกระทำกับหนึ่งชุดล้อหรือหนึ่งล้อเท่านั้น ตัวอย่างดัง แสดงในภาพ 9 และระบบฉุดลากชุด (Group) ซึ่งมีการออกแบบให้ทอร์กจากมอเตอร์ฉุดลากหรือการ ขับเคลื่อนจากเพลาส่งต่อให้กับหลายชุดล้อหรือหลายล้อ ตัวอย่างดังแสดงในภาพ 10



ภาพ 9 ตัวอย่างระบบจุดลากเดี่ยว ผลิตโดย Ural Locomotives, Yekaterinburg, Russia

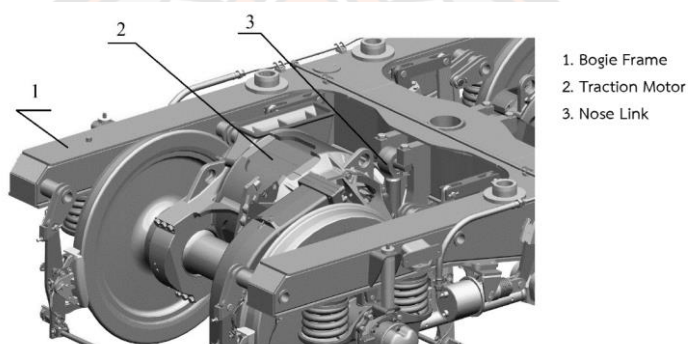
ที่มา: Iwnicki, Spiryaġin, Cole, & Mcsweeney, 2020



ภาพ 10 ตัวอย่างระบบชุดจุดลากชุด ผลิตโดย Lugansk Diesel Locomotive Plant, Lugansk, Ukraine

ที่มา: Iwnicki, Spiryaġin, Cole, & Mcsweeney, 2020

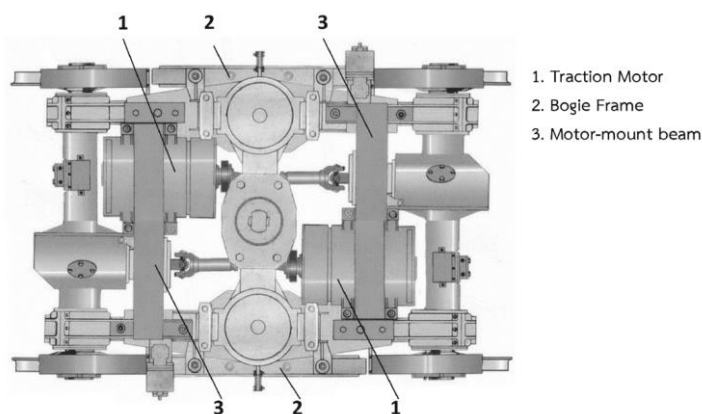
ปัจจัยที่ใช้พิจารณาในการออกแบบระบบขับเคลื่อนขึ้นอยู่กับรูปแบบการติดตั้งของมอเตอร์ฉุดลากและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องซึ่งมีการแบ่งการออกแบบเป็น 2 ประเภท คือ มอเตอร์ฉุดลากแบบแขวน (Nose-suspended traction motor) เป็นการวางชุดอุปกรณ์บนเพลลาของชุดล้อซึ่งทอร์คของมอเตอร์ฉุดลากจะถูกส่งผ่านไปยังหม้อเพลลาโดยตรงทำให้มีราคาถูกลงและการออกแบบที่เรียบง่ายอีกทั้งทำให้มีการส่งถ่ายแรงฉุดลากที่มีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตามประมาณ 60% ของมวลเครื่องยนต์และระบบฉุดลากนั้นเป็นมวลที่ไม่ได้รองรับด้วยระบบกันสะเทือน (Unsprung Mass) ทำให้พฤติกรรมทางพลศาสตร์ส่งผลต่อตัวรถการออกแบบระบบขับเคลื่อนรูปแบบนี้จึงนิยมในรถที่ใช้ความเร็วต่ำเป็นหลัก ตัวอย่างแสดงดังภาพ 11



ภาพ 11 ตัวอย่างการติดตั้งมอเตอร์ฉุดลากแบบแขวน ผลิตโดย Ural Locomotives, Yekaterinburg, Russia

ที่มา: Iwnicki, Spiragin, Cole, & Mcsweeney, 2020

มอเตอร์ฉุดลากแบบติดตั้งบนโครง (Frame-mounted traction motor) เป็นการติดตั้งมอเตอร์ฉุดลากบนโครงของโบกี้หรือโครงของรถส่งผลให้ชุดล้อได้รับทอร์คผ่านจุดต่อที่มีความยืดหยุ่นทำให้ชุดล้อและล้อสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระจากกัน ส่งผลต่อมวลในส่วนที่ไม่มีระบบกันสะเทือนถูกลดลงซึ่งเป็นประโยชน์ต่อพฤติกรรมทางพลศาสตร์ ตัวอย่างแสดงดังภาพ 12



ภาพ 12 ตัวอย่างการติดตั้งแบบมอเตอร์ชุดลากแบบติดตั้งบนโครง ผลิตโดย CRRC Dalian Co. Ltd, Dalian, China

ที่มา: Iwnicki, Spiryaagin, Cole, & Mcsweeney, 2020

ระบบกันสะเทือน (Suspension Systems)

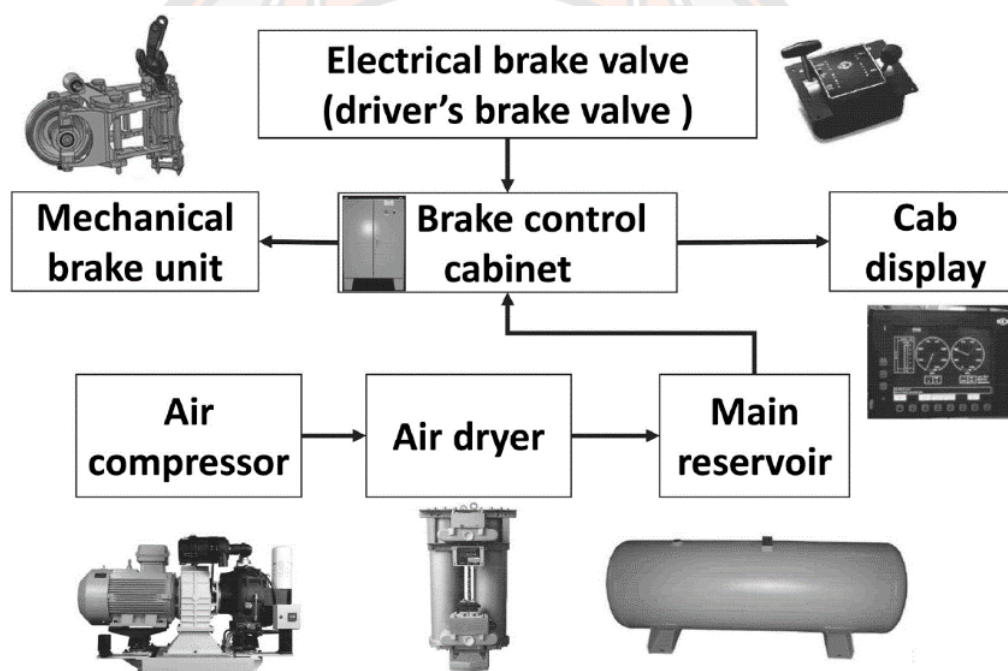
ระบบกันสะเทือนเป็นอุปกรณ์ที่มีความจำเป็นอย่างมากสำหรับรถขนส่งทางรางเพื่อลดแรงกระทำที่เกิดจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างล้อและรางที่มีความไม่สม่ำเสมอ และเพื่อเป็นการลดแรงพลวัตที่เกิดจากการสั่นสะเทือนตามธรรมชาติอันจะส่งผลต่อความไม่สะดวกสบายของผู้โดยสาร นอกจากนี้ระบบกันสะเทือนยังสามารถแบ่งออกได้เป็นหลายชุดขึ้นอยู่กับรูปแบบการใช้งาน เช่น ระบบกันสะเทือนหลัก (Primary Suspension) ทำหน้าที่กันสะเทือนในแนวดิ่งมักติดตั้งอยู่ที่จุดต่อระหว่างชุดล้อหรือหม้อเพลากับโครงของโบกี้หรือตัวรถ ระบบกันสะเทือนรอง (Secondary Suspension) มักถูกติดตั้งบริเวณจุดต่อระหว่างโครงของโบกี้กับตัวรถ

ระบบห้ามล้อ (Brake Systems)

ระบบห้ามล้อทำหน้าที่ในการสร้างแรงต้านให้กับล้อหรือรางเพื่อลดความเร็วของตัวรถโดยมีองค์ประกอบที่แยกออกจากระบบชุดลาก ระบบห้ามล้อสามารถแบ่งได้ออกเป็น 2 กลุ่มหลักขึ้นอยู่กับกลไกในการสร้างแรงต้านของระบบ ได้แก่ ระบบห้ามล้อที่ใช้หลักการยึดเกาะ (Adhesion) ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ระบบคือระบบที่ใช้หลักการเสียดสีและหลักการพลวัต โดยระบบหลักการเสียดสีเป็นการดูดซับพลังงานจากการเสียดสีกันระหว่างล้อและองค์ประกอบของระบบห้ามล้อ ระบบหลักการพลวัตใช้หลักการเปลี่ยนแปลงพลังงานจลน์ของตัวรถให้กลายเป็นพลังงานไฟฟ้า และระบบห้ามล้อที่ไม่ใช้หลักการยึดเกาะ (Non-adhesion) ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ระบบคือระบบที่ใช้แรงแม่เหล็ก (Electromagnetic Forces) กระทำกับรางเพื่อชะลอความเร็วของตัวรถ อีกระบบเป็นระบบที่เน้น

การใช้หลักการทางอากาศพลศาสตร์ในการช่วยชะลอความเร็วของตัวรถซึ่งเป็นที่นิยมในรถไฟที่ใช้ความเร็วสูง ระบบห้ามล้อที่นิยมใช้ในรถขนส่งทางรางนิยมออกแบบให้เป็นหลักการที่เกี่ยวกับลม (Pneumatic systems) ซึ่งมีองค์ประกอบพื้นฐานดังแสดงในภาพ 13 โดยทั่วไปแล้วระบบเบรกลม (Air brake system) มีส่วนประกอบหลัก ได้แก่

1. องค์ประกอบที่ใช้ในการป้อนลม เช่น เครื่องอัดอากาศ (Air compressor) และท่อเบรกลม (Air brake pipes)
2. องค์ประกอบที่ใช้เก็บพลังงาน เช่น ถังเก็บลม (Air reservoirs)
3. องค์ประกอบที่ใช้เปิดการใช้งาน
4. ระบบเชิงกลที่ใช้ในการส่งถ่ายแรงต้านจากการเบรก เช่น แผ่นเบรก (Disc Brakes)

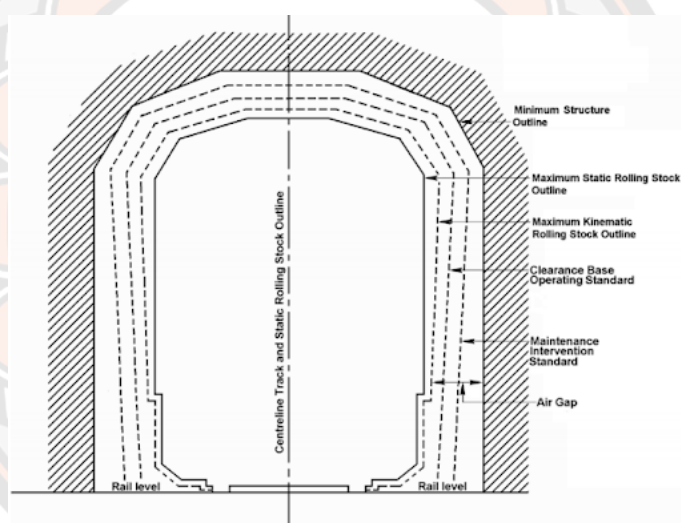


ภาพ 13 องค์ประกอบพื้นฐานของระบบเบรกลม (Air brake system)

ที่มา: Iwnicki, Spiriyagin, Cole, & Mcsweeney, 2020

เขตบรรทุกและเขตโครงสร้างทาง (Loading Gauge and Structural Gauge)

การสร้างทางรถไฟและการออกแบบตัวรถนั้นจะต้องมีการกำหนดระยะห่างระหว่างส่วนกว้างที่สุดของตัวรถกับส่วนที่แคบที่สุดของสิ่งปลูกสร้างที่ประกอบกันขึ้นเป็นทางรถไฟไว้ด้วยโดยระยะห่างดังกล่าวจะต้องมีมากพอที่จะป้องกันไม่ให้ส่วนใดส่วนหนึ่งของขบวนรถไฟสัมผัสกับโครงสร้างทางรถไฟขณะเคลื่อนที่ ส่วนกว้างที่สุดในการออกแบบขบวนรถไฟเรียกว่าเขตบรรทุก (Loading Gauge) และส่วนแคบที่สุดของทางรถไฟเรียกว่าเขตโครงสร้างทาง (Structural Gauge) ตัวอย่างแสดงดังภาพ 14 วิศวกรผู้ออกแบบทางรถไฟและขบวนรถไฟจะต้องปฏิบัติตามการออกแบบนี้โดยเคร่งครัดโดยต้องออกแบบทุกส่วนของขบวนรถไฟให้อยู่ในเขตบรรทุกและทุกส่วนของทางรถไฟอยู่ในเขตโครงสร้างจะมีส่วนที่ยื่นล้ำออกมาไม่ได้ เขตโครงสร้างกับเขตบรรทุกจะมีส่วนสัมผัสกันตรงพื้นล้อกับหัวรางและตรงจุดที่ยื่นออกมารับกระแสไฟฟ้าในกรณีรถไฟฟ้า



ภาพ 14 เขตโครงสร้างทางเทียบกับเขตบรรทุกของทางรถไฟ

ที่มา: Railsystem, 2015

พิกัดเชิงสถิต (Static Gauge)

ในกระบวนการก่อสร้างโครงสร้างทางรถไฟนั้นวิศวกรจำเป็นต้องตรวจสอบให้แน่ใจว่าโครงสร้างนั้นมีขนาดใหญ่กว่าขนาดของหน้าตัดขวางสูงสุดของรถไฟและมีระยะห่างที่เพียงพอสำหรับการเปลี่ยนแปลงของเส้นทางและการเคลื่อนไหวของระบบกันสะเทือนของตัวรถไฟโดยขอบเขตนี้เรียกว่า พิกัดเชิงสถิต (Static Gauge)

พิกัดเชิงจลน์ (Kinematic Gauge)

ขนาดมิติสูงสุดของตัวรถควรมีการพิจารณา รวมถึงผลของการเคลื่อนที่ของตัวรถด้วย เนื่องจากองค์ประกอบบางส่วนจะสามารถเคลื่อนที่มากกว่าส่วนอื่นซึ่งอาจขึ้นอยู่กับว่าส่วนตัดขวางของรถอยู่ที่ตำแหน่งใดที่สัมพันธ์กับโบกี้หรือศูนย์เพลลา และหน้าตัดบางส่วนอาจมีส่วนยื่นออกมา โดยเฉพาะอย่างยิ่งหน้าตัดขวางของรถที่ตำแหน่งโบกี้หรือเพลลาจะมีระยะเคลื่อนที่น้อยที่สุด ในขณะที่ส่วนที่อยู่ตรงกลางของรถจะมีระยะเคลื่อนที่สูงสุดเมื่ออยู่ด้านในของโค้ง และปลายของรถจะมีระยะเคลื่อนที่ออกนอกโค้งสูงสุด ซึ่งการรวมกันของขนาดมิติสูงสุดด้วยหลายปัจจัยประกอบด้วยรัศมีโค้ง การยกโค้ง และความเร็ว เรียกว่า พิกัดเชิงจลน์ จะสามารถสังเกตได้ว่าระยะห่างระหว่างตัวรถและโครงสร้างที่เหมาะสมและมีความปลอดภัยนั้นมีความเกี่ยวข้องกับปัจจัยดังกล่าว

พิกัดเชิงพลวัต (Dynamic Gauge)

ตัวรถจะมีการเคลื่อนที่สัมพันธ์กับแรงด้านข้างและแรงแนวตั้งที่กระทำกับระบบกันสะเทือน โดยขนาดของการเคลื่อนที่ดังกล่าวถูกนำมาใช้เพื่อพิจารณาระยะห่างระหว่างตัวรถกับโครงสร้างทางที่ต้องการ ในการวิเคราะห์ที่ซับซ้อนยิ่งขึ้นจะคำนึงถึงความไม่เป็นเชิงเส้นของคุณลักษณะของระบบกันสะเทือนในการพิจารณาการเคลื่อนที่ของตัวรถในสภาวะต่าง ๆ การเคลื่อนที่เชิงพลวัตของซึ่งจะถูกใช้เป็นตัวกำหนดตำแหน่งของตัวรถนั้นจึงมาจากแรงที่มากระทำ เช่น การเคลื่อนที่ด้านข้าง (Lateral) การเคลื่อนที่แนวตั้ง (Vertical) การหมุน Roll, Yaw และ Pitch โดยแรงจากโค้ง (Curving Forces) หรือผลจากทำงานของระบบกันสะเทือนภายใต้น้ำหนักบรรทุก

แบบจำลองมัลติบอดี (Multi-Body Dynamic Model)

โครงสร้างของรถไฟจะประกอบไปด้วยสามส่วนหลักคือ ตัวรถ (Car-Body) โบกี้ (Bogie) และชุดล้อ (Wheelset) ซึ่งจะถูกเชื่อมต่อกันด้วยชุดอุปกรณ์ชุดช่วงล่าง (Suspension System) ซึ่งเรียกว่า Primary และ Secondary Suspension โดยแบบจำลองมัลติบอดีแบบพลวัต (Multi-Body Dynamic Model) จะใช้สมมติฐานว่ามวลแต่ละชิ้นนั้นเป็นวัตถุแข็งเกร็ง (Rigid Body) ซึ่งจะเชื่อมต่อกันด้วยจุดต่อ (Joint) และชิ้นส่วนถ่ายแรง (Force Element) จากนั้นจะสามารถทำการสร้างสมการการเคลื่อนที่ของระบบขึ้นได้ (Equation of Motion) ดังแสดงในสมการ 1

$$[M]\ddot{q} + [C]\dot{q} + [K]q = F \quad (1)$$

เมื่อ [M] คือ เมตริกซ์ของมวล (Masses Matrix)

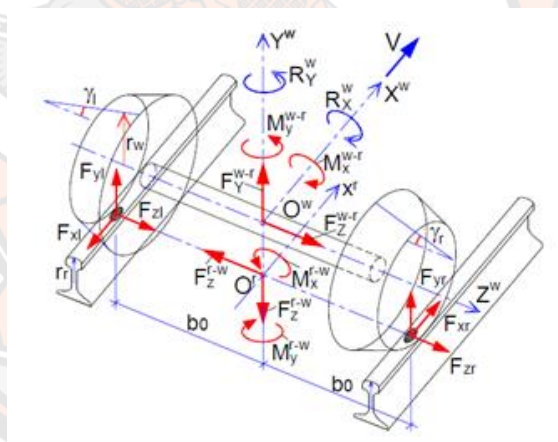
[C] คือ เมตริกซ์ความหน่วง (Damping Matrix)

[K] คือ เมตริกซ์สติฟเนส (Stiffness Matrix)

q คือ เวกเตอร์การตอบสนองของยานพาหนะ (Vehicle Motion Vector)

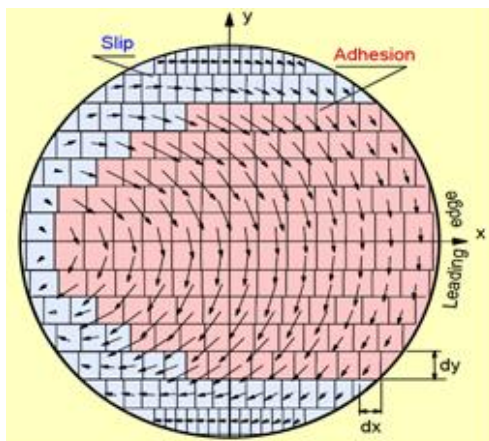
F คือ เวกเตอร์ของแรงกระทำต่อระบบ (Input Force Vector)

สำหรับระบบทางพลศาสตร์ของรถไฟนั้น แรงหลักที่กระทำต่อระบบจะเกิดจากการสัมผัสกันระหว่างล้อและราง (Wheel-Rail Contact) ซึ่งแรงที่เกิดขึ้นจะส่งผ่านจากล้อขึ้นไปสู่โบกี้และตัวรถด้านบนทำให้เกิดการสั่นสะเทือนขึ้นต่อทั้งระบบ ดังแสดงตัวอย่างในภาพ 15 อย่างไรก็ตาม พฤติกรรมปฏิสัมพันธ์ระหว่างล้อและรางนั้นมีความซับซ้อนและเกี่ยวข้องกับปัจจัยหลายชนิดเช่น รูปร่างของผิวสัมผัสระหว่างล้อและราง ตำแหน่งของการสัมผัสกัน สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน คุณสมบัติของเหล็ก มุมเอียงของราง รัศมีโค้ง ความเรียบของผิวสัมผัสและอื่น ๆ โดยในปัจจุบันได้มีการพัฒนาซอฟต์แวร์ FASTSIM ที่ทำการแบ่งพื้นที่ผิวสัมผัสออกเป็นชิ้นส่วนเล็ก ๆ และทำการหาค่าแรงลัพธ์ที่กระทำบนพื้นที่ดังกล่าว ดังแสดงในภาพ 16 วิธีนี้ได้รับความนิยมในการวิเคราะห์พฤติกรรมระหว่างล้อและรางเนื่องจากการป้อนข้อมูลที่ไม่ซับซ้อนโดยที่ยังมีความถูกต้องของผลลัพธ์ในระดับที่ดีสำหรับการวิเคราะห์พฤติกรรมสัมผัสโดยทั่วไป



ภาพ 15 แรงที่เกิดขึ้นจากการสัมผัสกันระหว่างล้อและราง

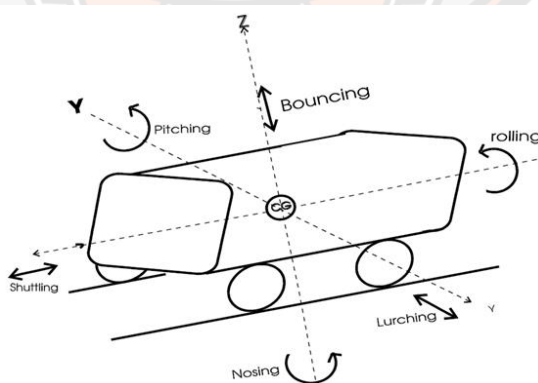
ที่มา: Iwnicki, Spiryagin, Cole, & Mcsweeney, 2020



ภาพ 16 แรงลัพท์ที่กระทำบนพื้นที่สัมผัสระหว่างล้อและรางด้วยซอฟต์แวร์ FASTSIM

ที่มา: Iwnicki, Spiryagin, Cole, & Mcsweeney, 2020

พฤติกรรมการเคลื่อนที่ของรถจะเป็นการตอบสนองแบบพลวัต (Dynamic) อันเกิดจากแรงต่างๆ ที่กระทำขณะรถไฟแล่นไปบนทางวิ่ง โดยการตอบสนองดังกล่าวจะอยู่ในรูปของการเคลื่อนที่ (Displacement) ความเร็ว (Velocity) และความเร่ง (Acceleration) ในทิศทางต่าง ๆ ซึ่งมวลในแบบจำลองมัลติบอดี้ (Multibody) ของรถไฟนั้นจะให้ผลการตอบสนองใน 6 รูปแบบหลัก คือ การเคลื่อนที่ในแนวแกน (Translation) ซึ่งประกอบไปด้วย Longitudinal, Lateral และ Vertical และการหมุนรอบแกน (Rotation) ซึ่งประกอบไปด้วย Rolling, Pitching, Yawing ดังภาพ 17



ภาพ 17 การตอบสนองแบบพลวัตของตัวรถอ้างอิงตามแกนการเคลื่อนที่

ที่มา: Centre for Advanced Maintenance Technology, 1998

รถไฟฟ้าเชื่อมท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ

รถไฟฟ้าเชื่อมท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ หรือ รถไฟฟ้าแอร์พอร์ต เรล ลิงก์ เป็นโครงการระบบขนส่งมวลชนเพื่อใช้เป็นเส้นทางในการเข้าออกท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ ดำเนินการก่อสร้างโดยการรถไฟแห่งประเทศไทย (รฟท.) และได้เปิดดำเนินการเชิงพาณิชย์เมื่อ พ.ศ. 2553 โดย บริษัท รถไฟฟ้า ร.ฟ.ท. จำกัด ซึ่งเป็นรัฐวิสาหกิจในกระทรวงคมนาคม และเป็นบริษัทลูกของการรถไฟแห่งประเทศไทย รถไฟฟ้าแอร์พอร์ต เรล ลิงก์ เป็นระบบรถไฟฟ้าประเภทรางหนัก (Heavy Rail Transit) มีทางวิ่งยกระดับที่ความสูง 20 เมตร ตลอดทั้งโครงการยกเว้นช่วงเข้าท่าอากาศยานสุวรรณภูมิที่ทางวิ่งรถไฟจะลดลงเป็นระดับดินหลังข้ามถนนสุวรรณภูมิแล้วลดระดับเป็นรถไฟใต้ดินที่มีความลึก 12 เมตร จากผิวดิน เส้นทางวิ่งออกแบบด้วยขนาดราง 1.435 เมตร (European standard gauge) มีระบบการรับไฟฟ้าจากด้านบนด้วยแพนโทกราฟโดยสายไฟฟ้าแรงสูงตีสถานอยู่เหนือราง ตัวรถเป็นรถปรับอากาศขนาดกว้าง 2.8 เมตร ยาว 20 เมตร สูง 3.7 เมตร ความจุ 250 ถึง 300 คนต่อคัน ต่อพวงได้ 3 ถึง 10 คันต่อขบวน ใช้ไฟฟ้ากระแสสลับ 25 กิโลโวลต์ 50 เฮิร์ตซ์ ส่งจากสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยบางกะปิของการไฟฟ้านครหลวงเพื่อป้อนระบบขับเคลื่อนรถ สามารถรองรับผู้โดยสารได้ 50,000 คนต่อชั่วโมงต่อทิศทาง ใช้ระบบอาณัติสัญญาณเดินรถด้วยระบบอัตโนมัติจากศูนย์ควบคุมการเดินรถ และใช้ระบบเก็บค่าโดยสารอัตโนมัติ เส้นทางรถให้บริการประกอบด้วย 8 สถานี ได้แก่ สถานีพญาไท สถานีราชปรารภ สถานีมักกะสัน สถานีรามคำแหง สถานีหัวหมาก สถานีบ้านทับช้าง สถานีลาดกระบัง และสถานีสุวรรณภูมิ ต่อมารัฐบาลได้มีการรวมรถไฟฟ้าสายนี้เข้าเป็นส่วนหนึ่งของโครงการรถไฟความเร็วสูงเชื่อม 3 สนามบิน จึงมีการเปลี่ยนผู้ดำเนินการเป็น บริษัท ทางด่วนและรถไฟฟ้ากรุงเทพ จำกัด (มหาชน) ภายใต้สัญญาว่าจ้างดำเนินงานจาก บริษัท รถไฟความเร็วสูงสายตะวันออกเชื่อมสามสนามบิน จำกัด โดยเริ่มในปี พ.ศ. 2564

โครงการรถไฟความเร็วสูงเชื่อม 3 สนามบิน

โครงการรถไฟความเร็วสูงเชื่อม 3 สนามบิน เป็นโครงการระบบขนส่งมวลชนที่ต่อยอดจากรถไฟฟ้าเชื่อมท่าอากาศยานสุวรรณภูมิขึ้นมาเป็นส่วนหนึ่งของโครงการรถไฟความเร็วสูงในประเทศไทย ดำเนินการโดย บริษัท รถไฟความเร็วสูงสายตะวันออกเชื่อมสามสนามบิน จำกัด ภายใต้การร่วมลงทุนกับ การรถไฟแห่งประเทศไทย และ สำนักงานคณะกรรมการนโยบายเขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก ถือเป็นส่วนหนึ่งของโครงข่ายระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนในกรุงเทพมหานครและพื้นที่ต่อเนื่อง และยังเป็นส่วนหนึ่งของโครงข่ายระบบขนส่งมวลชนทางราง คุณหมิง – สิงคโปร์ ปัจจุบันรัฐบาลได้อนุมัติให้การรถไฟแห่งประเทศไทยดำเนินโครงการก่อสร้างด้วยวิธีการสรรหาเอกชนเข้ามาร่วมลงทุนในโครงการและรับผลประโยชน์กับความเสี่ยงในการดำเนินการทั้งหมด โดยก่อสร้างเป็นส่วนต่อขยายจากรถไฟฟ้าเชื่อมท่าอากาศยานสุวรรณภูมิเดิมทั้งเส้นทางใต้ดินและยกระดับ โดยจาก

ปลายสายทางด้านทิศตะวันตก (สถานีพญาไท) ให้ก่อสร้างเส้นทางไปยังศูนย์คมนาคมบางซื่อและท่าอากาศยานดอนเมือง และจากทางด้านทิศตะวันออก (สถานีลาดกระบัง) ให้ก่อสร้างเส้นทางไปยังเขตจังหวัดฉะเชิงเทรา จังหวัดชลบุรี และไปจนถึงท่าอากาศยานอู่ตะเภา โดยใช้โครงสร้างทางแยกเดิมที่ทำได้เป็นจุดเริ่มต้น โดยปัจจุบันอยู่ในระหว่างการเวนคืนที่ดินเพื่อเตรียมใช้ก่อสร้างโครงการ

รถไฟความเร็วสูงเชื่อม 3 สนามบินเป็นระบบรถไฟฟ้ามหานครที่มีทั้งโครงสร้างใต้ดินและยกระดับ และมีระบบรถไฟฟ้ามหานครให้บริการสองระบบในเส้นทางเดียว มีแนวเส้นทางที่รองรับการเดินทางจากชานเมืองและจังหวัดใกล้เคียงด้านตะวันออกและชานเมืองด้านทิศเหนือ และผู้โดยสารจากท่าอากาศยานทั้งสามแห่งเข้าสู่เขตใจกลางเมืองได้อย่างรวดเร็ว แนวเส้นทางเริ่มต้นจากท่าอากาศยานดอนเมืองทางฝั่งทิศเหนือวิ่งตรงเข้าสู่สถานีกลางบางซื่อโดยไม่จอดรับผู้โดยสารรายทาง และลดระดับลงเป็นรถไฟใต้ดินผ่านพระตำหนักจิตรลดารโหฐาน เลี้ยวขวาวิ่งตามแนวทางรถไฟสายตะวันออก แล้วยกระดับกลับเป็นรถไฟฟ้ามหานครเชื่อมต่อกับรถไฟฟ้ามหานคร สายสีส้มที่สถานีราชปรารภ เชื่อมต่อกับรถไฟฟ้ามหานคร สายเฉลิมรัชมงคล ที่สถานีมักกะสัน เชื่อมต่อกับสายสีเหลือง ที่สถานีหัวหมาก จากนั้นวิ่งเลียบบางพิเศษระหว่างเมือง กรุงเทพฯ – ชลบุรี ไปจนถึงย่านลาดกระบัง เลี้ยวขวาเข้าพื้นที่ท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ แล้วลดระดับลงเป็นรถไฟฟ้ามหานคร จากนั้นวิ่งย้อนกลับ ยกยกระดับเป็นรถไฟฟ้ามหานคร แล้วเลี้ยวขวาวิ่งเลียบบางพิเศษระหว่างเมือง กรุงเทพฯ – ชลบุรี ตามแนวทางรถไฟสายตะวันออกเข้าสู่สถานีรถไฟชุมทางฉะเชิงเทรา เชื่อมต่อกับสายแยกแก่งคอย – คลอง 19 – ฉะเชิงเทรา เพื่อมุ่งหน้าไปยังสายอีสาน แนวเส้นทางจะเบี่ยงไปตามแนวทางรถไฟสายตะวันออกเลียบบางพิเศษ เข้าสู่สถานีรถไฟชลบุรี เชื่อมกับท่าเรือแหลมฉบังที่สถานีรถไฟชุมทางศรีราชา เชื่อมกับเมืองพัทยาด้วยรถไฟฟ้ามหานคร เมืองพัทยาที่สถานีรถไฟเมืองพัทยา แล้ววิ่งตามแนวทางรถไฟสายตะวันออกเลียบบางพิเศษจนถึงช่วงเขาชีจรรย์ แนวเส้นทางจะเบี่ยงออกจากแนวเส้นทางรถไฟเดิมเพื่อตัดโค้งเข้าจังหวัดระยองแล้วเลี้ยวขวาเข้าพื้นที่ท่าอากาศยานอู่ตะเภา จังหวัดระยอง จากนั้นวิ่งย้อนกลับแล้วเลี้ยวขวาวิ่งไปตามแนวทางรถไฟสายตะวันออกเลียบบางพิเศษอีกครั้ง ผ่านจังหวัดระยอง จังหวัดจันทบุรี และสิ้นสุดเส้นทางทั้งโครงการที่จังหวัดตราด รวมระยะทางทั้งโครงการ 413.2 กิโลเมตร

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การประยุกต์ใช้อุปกรณ์เลเซอร์เพื่อตรวจวัดการล่งล้ำของเขตโครงสร้างทางรถไฟ

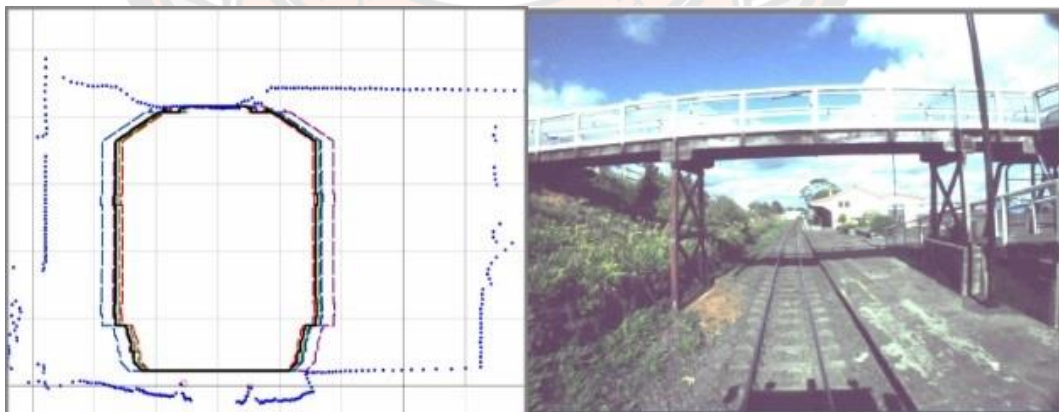
ตลอดหลายปีที่ผ่านมาเทคโนโลยีของการถ่ายภาพ ระบบการระบุตำแหน่งบนโลก (GPS) ถูกประยุกต์ใช้เพื่อการสำรวจและเก็บข้อมูลเส้นทางรถไฟโดยโครงข่ายทางรถไฟของประเทศออสเตรเลีย (Presley D., 2007) การศึกษาและประยุกต์ใช้เทคโนโลยีเลเซอร์ร่วมกับเซ็นเซอร์ตรวจจับตำแหน่งและการถ่ายภาพในการสำรวจ โดยมีจุดประสงค์เพื่อวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนของ

เส้นทางรถไฟและตรวจวัดสิ่งกีดขวางที่ล่งล้ำเข้ามาในเขตโครงสร้างทางรถไฟ โดยทำการติดตั้งอุปกรณ์ลงบนด้านหน้าของตัวรถ ดังภาพ 18 ขณะเคลื่อนที่และทำการรวบรวมข้อมูลการตรวจวัดตลอดเส้นทางวิ่งเป็นระยะทางกว่า 200 กิโลเมตร ตัวอย่างการตรวจวัดแสดงดังภาพ 19



ภาพ 18 การติดตั้งอุปกรณ์เลเซอร์

ที่มา: David Presley, 2007



ภาพ 19 (ซ้าย) การวิเคราะห์การสะท้อนโดยรอบจากข้อมูลเลเซอร์ (ขวา) ภาพถ่ายจากทางวิ่งจริงเพื่อใช้ประกอบการวิเคราะห์

ที่มา: David Presley, 2007

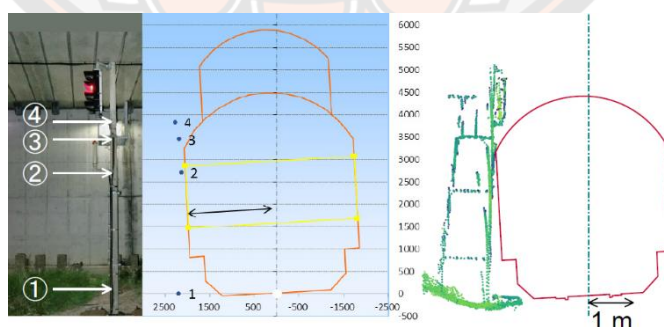
การตรวจวัดเขตโครงสร้างทางรถไฟโดยใช้อุปกรณ์เลเซอร์และการพัฒนาระบบจัดการเขตโครงสร้างทางรถไฟ

การตรวจวัดเขตโครงสร้างทางอย่างสม่ำเสมอเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อความปลอดภัยต่อการให้บริการของรถไฟ อย่างไรก็ตามการตรวจวัดดังกล่าวนั้นยังต้องใช้เวลาและแรงงานเป็นจำนวนมาก (Toyoma T., Et al., 2019) การใช้พัฒนาอุปกรณ์เลเซอร์วัดระยะที่มีประสิทธิภาพในขณะที่ราคาไม่สูง นอกจากนี้ยังพัฒนาระบบจัดการข้อมูลที่ได้ทำการสำรวจมาอีกด้วย โดยทำการติดตั้งชุดอุปกรณ์ที่ได้ทำการพัฒนา ดังแสดงในภาพ 20



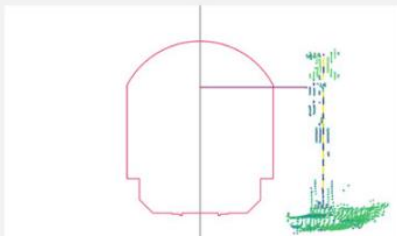
ภาพ 20 ตำแหน่งติดตั้งชุดอุปกรณ์เลเซอร์

ที่มา: Toyoma, et al, 2019



ภาพ 21 ผลการตรวจวัดจากอุปกรณ์เลเซอร์เทียบกับการตรวจวัดด้วยวิธีทั่วไป

ที่มา: Toyoma, et al, 2019

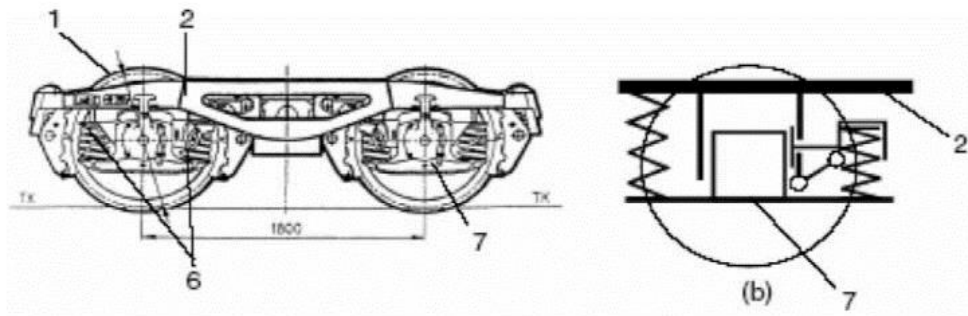
FOO Level Crossing X4					
FOOBAR Line BAZ sta. – QUX sta. 123.456 km					
Track:	Inbound				
Curve:	Straight				
Inside/Outside:	—				
Period:	** Years				
Traits:	—				
DATE	JOB NAME	TYPE	CHECK	LIMIT	DISTANCE
201Y-07-14	Summer Checkups	On-board	OK	1900	2723
201Y-06-15	Replacing Warning Lamps	Construction	OK	1900	2750
201Y-03-15	Spring Checkups	On-board	OK	1900	2915
201X-12-10	DB Migration	Other	—	1900	2900

ภาพ 22 ระบบจัดการข้อมูลจากการสำรวจ

ที่มา: Toyoma, et al, 2019

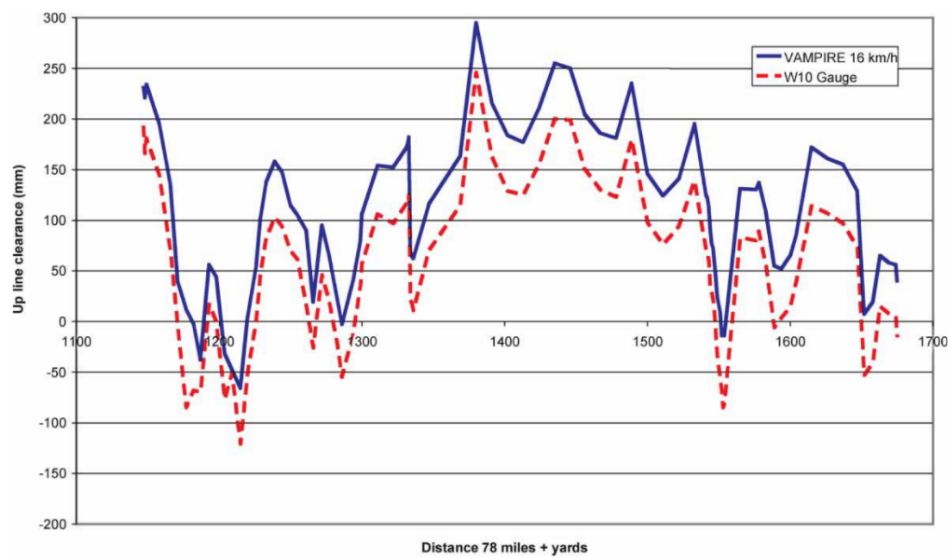
การสร้างแบบจำลองรถไฟขบวนสินค้าที่มีอุปกรณ์ลดการสะเทือนแบบแรงเสียดทานเพื่อวิเคราะห์เขตบรรทุก

อุปกรณ์ลดการสะเทือนที่มีพฤติกรรมไม่เชิงเส้นของรถไฟขบวนสินค้านั้นส่งผลทำให้การวิเคราะห์เชิงจลน์ด้วยวิธีแบบดั้งเดิมขาดความแม่นยำเป็นอย่างมาก (Perez J. Et al., 2007) การสร้างแบบจำลองคอมพิวเตอร์มีจุดประสงค์เพื่อวิเคราะห์พฤติกรรมเชิงพลศาสตร์ที่เกิดขึ้นกับตัวรถและสังเกตการส่ายตัวของรถเพื่อทำการวิเคราะห์ระยะห่างที่เหลื่อมอยู่ระหว่างตัวรถและโครงสร้างโดยรอบ ดังแสดงผลการวิเคราะห์ดังภาพ 24 อันจะเป็นประโยชน์ต่อการพิจารณาเพื่อเพิ่มขนาดของตัวรถได้



ภาพ 23 องค์ประกอบของโบกี้ชนิด Y25

ที่มา: Perez, et al, 2007



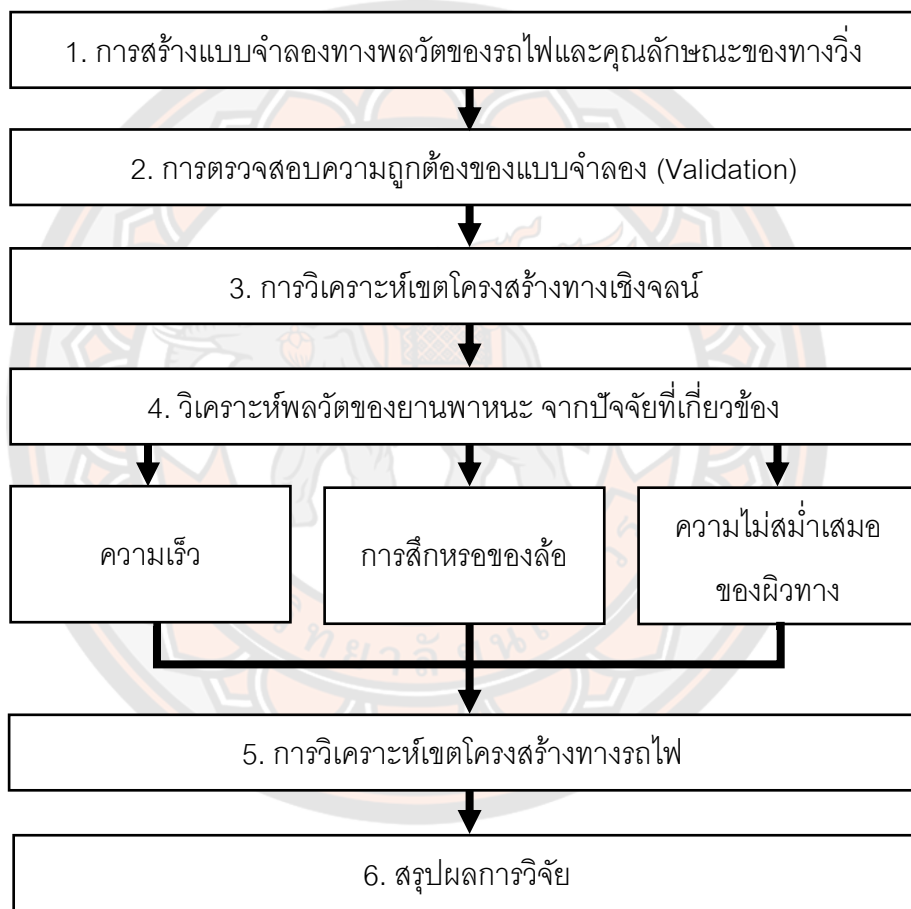
ภาพ 24 ผลเปรียบเทียบระยะห่างระหว่างตัวรถกับผนังของอุโมงค์ระหว่างการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองและเขตบรรทุกเชิงสถิติ

ที่มา: Perez, et al, 2007

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาพฤติกรรมทางพลศาสตร์ของยานพาหนะและกระบวนการสร้างแบบจำลองเพื่อประยุกต์ใช้ในการประมาณค่าเขตโครงสร้างทางรถไฟโดยมีขั้นตอนดังแสดงในภาพ 25

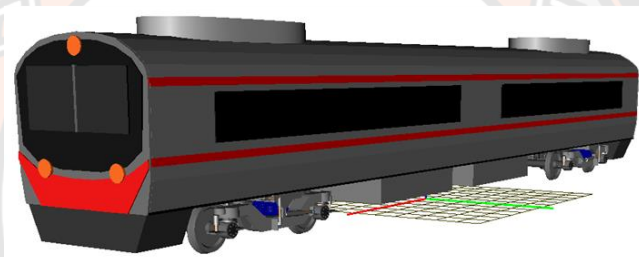


ภาพ 25 แผนผังแสดงขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย

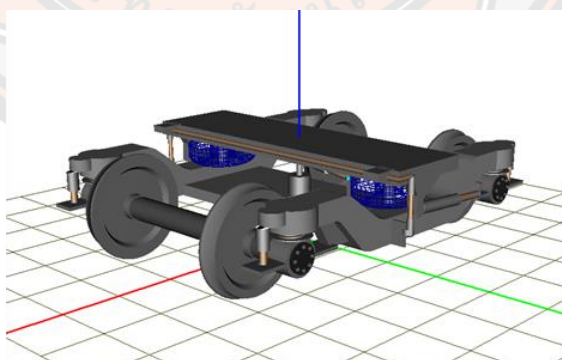
แบบจำลองทางพลวัตของรถไฟ

รถไฟรุ่น Siemens Desiro UK Class 360/2

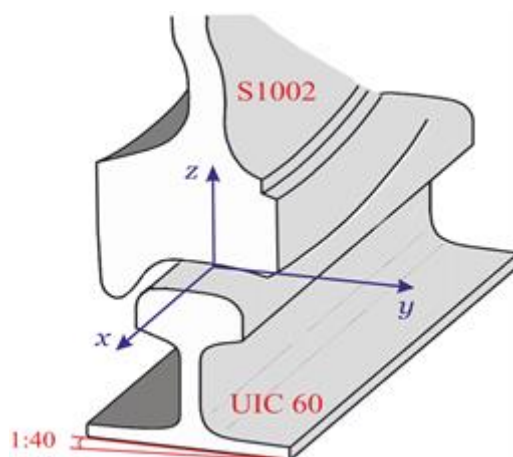
การศึกษานี้ได้สร้างแบบจำลองจากรถไฟฟ้าแอร์พอร์ต เรล ลิงก์ รุ่น Siemens Desiro Class 360/2 ดังแสดงในภาพ 26 โดยใช้ตัว DMOS ซึ่งเป็นตัวที่ติดตั้งระบบขับเคลื่อนเป็นตัวแทนของทั้งขบวน ซึ่งมีขนาดพิกัดตัวรถกว้าง 2,900 มิลลิเมตร สูง 3,910 มิลลิเมตร ความยาว 19,700 ถึง 20,000 มิลลิเมตร น้ำหนักรถ 43.4 ตัน ความเร็วในการให้บริการสูงสุด 160 กิโลเมตร/ชั่วโมง ระบบกันสะเทือน Primary Suspension เป็นแบบคอยล์สปริงติดตั้งที่จุดต่อระหว่างชุดล้อ (Wheelset) กับหม้อเพลา (Axlebox) และระบบกันสะเทือน Secondary Suspension เป็นรูปแบบถุงลม (Air Bellow) บริเวณจุดต่อระหว่างโครงสร้างโบกี้กับตัวรถ ดังแสดงในภาพ 27 ทั้งนี้ ลักษณะรูปร่างของผิวสัมผัสของล้อเป็นไปตามโปรไฟล์ S1002 ดังแสดงในภาพ 28



ภาพ 26 แบบจำลองของรถไฟฟ้าแอร์พอร์ต เรล ลิงก์ รุ่น Siemens Desiro Class 360/2



ภาพ 27 บริเวณจุดต่อระหว่างโครงสร้างโบกี้กับตัวรถ



ภาพ 28 ลักษณะรูปร่างของผิวสัมผัสของล้อเป็นไปตามโปรไฟล์ S1002

รถไฟรุ่น CRH2C

รถไฟความเร็วสูงรุ่น CRH2C เป็นหนึ่งในรถไฟความเร็วสูงของสาธารณรัฐประชาชนจีน ดังแสดงในภาพ 29 มีขนาดพิกัดตัวรถกว้าง 3,380 มิลลิเมตร ความสูง 3,700 มิลลิเมตร ความยาวทั้งขบวน 201.4 เมตร ตัวรถพัฒนามาจากรถไฟความเร็วสูง Shinkansen E2-1000 Series ซึ่งมีการออกแบบโดยประเทศญี่ปุ่น โดยมีการปรับปรุงคุณลักษณะให้มีน้ำหนักเพลาเพิ่มขึ้นจาก 14 เป็น 15 ตัน เพื่อป้องกันการสั่นสะเทือนของตัวรถไฟเมื่อความเร็วสูงขึ้น มอเตอร์อุตสาหกรรม AC ชนิด YQ-365 มีความเร็วในการทำงานสูงสุดถึง 350 กม./ชม. ด้วยกำลัง 8,760 กิโลวัตต์ เพิ่มความแข็งแกร่งของตัวรถเพื่อลดเสียงรบกวนและแรงสั่นสะเทือน ตัวรถและการออกแบบหน้าต่างที่ปรับให้เหมาะสมเพื่อความแน่นและความแข็งแรงของอากาศที่ตีขึ้น เพิ่มระบบป้องกันแรงดันเพื่อหลีกเลี่ยงความผันผวนของแรงดันในห้องเครื่องและเพิ่มความสะดวกสบายของผู้โดยสาร มีการออกแบบเสาอากาศบนหลังคา กระจกบังลมด้านนอก และหน้าต่างเพื่อลดแรงต้านของอากาศ ให้บริการบนขนาดทาง 1,435 มิลลิเมตร (Standard Gauge)



ภาพ 29 รถไฟฟ้าความเร็วสูง CRH2C

ที่มา: Wikipedia, 2008

รถไฟรุ่น Shinkansen Series 300

รถไฟความเร็วสูงรุ่น Shinkansen Series 300 เป็นรถไฟความเร็วสูงประเภท Shinkansen ของประเทศญี่ปุ่น ดังแสดงในภาพ 30 มีขนาดพิกัดตัวรถกว้าง 3,380 มิลลิเมตร ความสูง 4,440 มิลลิเมตร ความยาว 25,000 มิลลิเมตร ความเร็วการให้บริการสูงสุด 270 กม./ชม. เป็นรถไฟ Shinkansen ชุดแรกที่ใช้มอเตอร์ฉุดลาก AC สามเฟสแทนหน่วยไฟฟ้ากระแสตรง แคร่มีการออกแบบให้ปราศจากเบาะแคร่ (Bolster) เพื่อลดน้ำหนัก ให้บริการบนขนาดทาง 1,435 มิลลิเมตร (Standard Gauge)



ภาพ 30 รถไฟฟ้าความเร็วสูง Shinkansen Series 300

ที่มา: Mitsuki, 2008

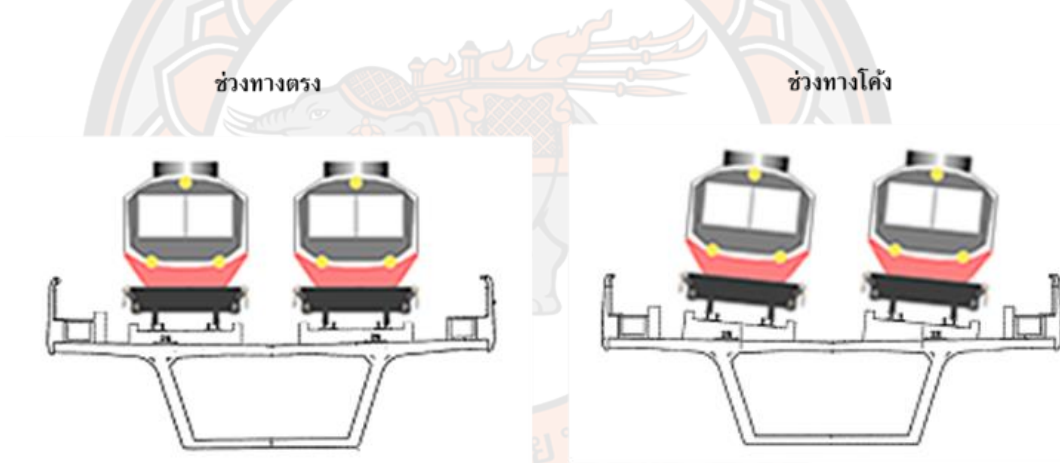
คุณสมบัติและลักษณะทางกายภาพของทางวิ่ง

ทางวิ่ง (Track) ของโครงการรถไฟฟ้าแอร์พอร์ต เรล ลิงก์ เป็นรูปแบบทางขนาดมาตรฐาน ขนาด 1.435 เมตร สองทางวิ่ง (Double Track) ซึ่งมีรางขนาด UIC 60 วางอยู่บนพื้นคอนกรีตดัง ภาพ 31 โดยทางช่วงบริเวณโค้งรัศมี 180 เมตร นั้นจะถูกรองรับด้วยสะพานแบบกล่อง (Box Girder Bridge) ลักษณะของทางโค้งบริเวณดังกล่าวประกอบไปด้วยช่วงทางตรง ช่วงโค้งเปลี่ยนผ่าน ช่วงโค้งรัศมีคงที่ 180 เมตร และช่วงโค้งรัศมี 1,000 เมตร ต่อเนื่องกันไป ดังภาพ 32 โดยมีค่าการยกโค้งสูงสุด (Superelevation) คือ 130 มิลลิเมตร และ 100 มิลลิเมตร บนโค้งรัศมี 180 และ 1,000 เมตรตามลำดับ



ภาพ 31 ทางวิ่งของโครงการรถไฟฟ้าแอร์พอร์ต เรล ลิงก์

ที่มา: Prachachat, 2562



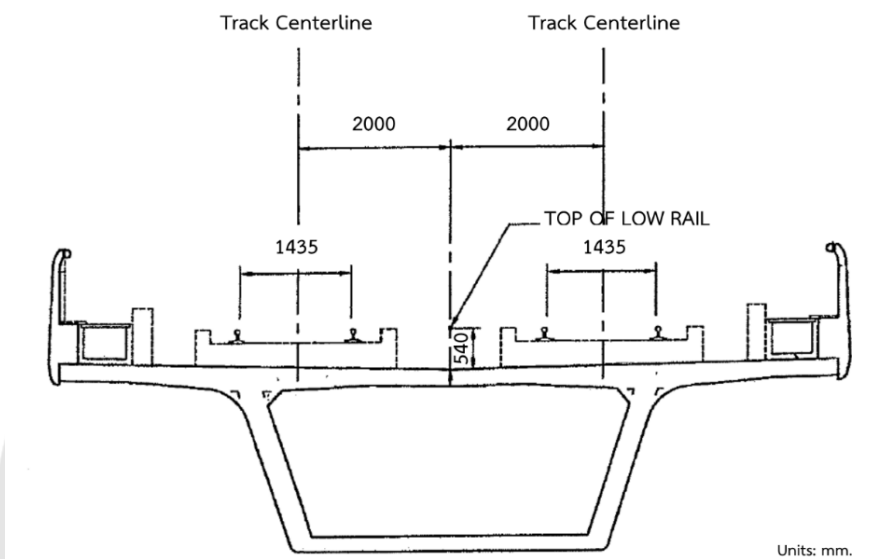
ภาพ 32 ลักษณะทางวิ่งช่วงทางตรง และช่วงโค้งที่มีการยกโค้ง

ในการศึกษานี้ได้ทำการจำลองลักษณะของทางโค้งรัศมี 180 เมตร โดยใช้สมมติฐานของทางวิ่งที่ถูกยึดแน่นโดยตัวรางจะไม่มี การเคลื่อนที่หรือเสียดรูปขณะที่ถูกแรงกระทำจากล้อรถไฟ สมมติฐานนี้จะช่วยลดความซับซ้อนของการคำนวณลงได้ ในขณะที่ยังคงสามารถพิจารณาถึงความไม่สม่ำเสมอของผิวทางได้ด้วยเช่นกัน

รูปแบบเส้นทาง

ช่วงทางตรง (Tangent Track)

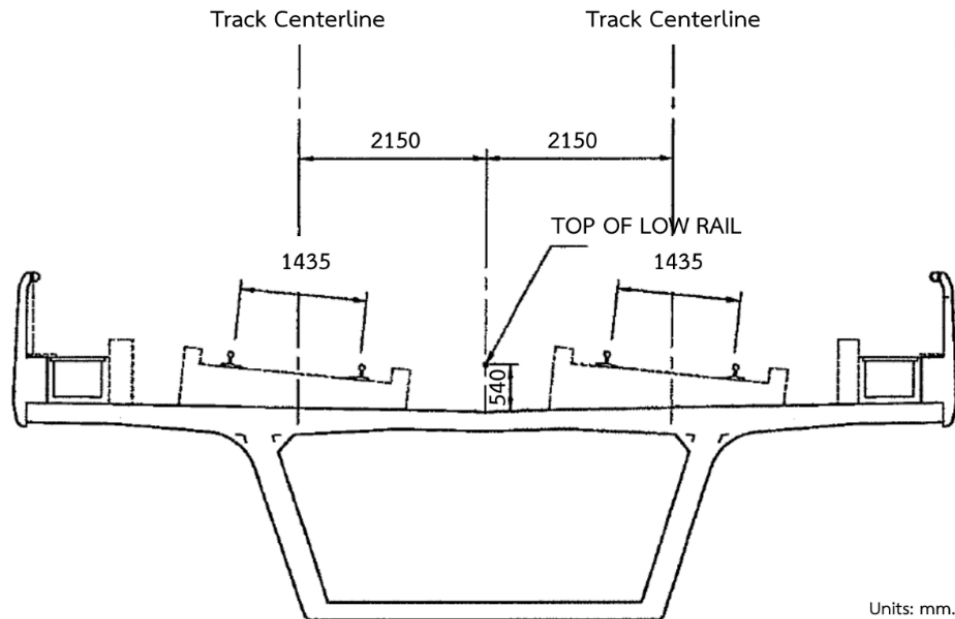
ลักษณะของทางวิ่งช่วงทางตรงจากแบบจำลองมีระยะทาง 1,000 เมตร ระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางของทางวิ่งทั้งสอง (Track Centerline) มีค่า 4,000 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 33



ภาพ 33 ลักษณะทางวิ่งช่วงทางตรง

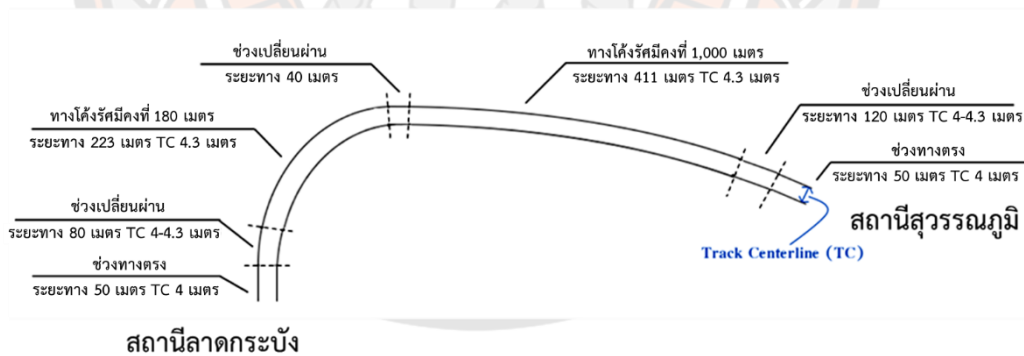
ช่วงทางโค้ง (Curve Track)

ลักษณะของทางโค้งบริเวณดังกล่าวประกอบไปด้วยช่วงทางตรง ช่วงโค้งเปลี่ยนผ่าน ช่วงโค้งรัศมีคงที่ 180 เมตร และช่วงโค้งรัศมีคงที่ 1,000 เมตร ต่อเนื่องกันไป โดยมีค่าการยกโค้งสูงสุด (Superelevation) คือ 130 มิลลิเมตร และ 100 มิลลิเมตร บนโค้งรัศมี 180 เมตร และ 1,000 เมตร ตามลำดับ ระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางของทางวิ่งทั้งสอง (Track Centerline) มีค่า 4,300 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 34 โดยมีเส้นทางการวิ่งของรถไฟดังแสดงในภาพ 35 แบ่งเป็นการเคลื่อนที่ในทิศทาง East Bound (EB) ซึ่งเป็นเส้นทางจากสถานีลาดกระบังไปยังสถานีสุวรรณภูมิ มีรัศมีความโค้ง 184.2 เมตร และรัศมีความโค้ง 1,004 เมตร และการเคลื่อนที่ในทิศทาง West Bound (WB) ซึ่งเป็นเส้นทางจากสถานีสุวรรณภูมิไปยังสถานีลาดกระบัง มีรัศมีความโค้ง 180.0 เมตร และรัศมีความโค้ง 996 เมตร



ภาพ 34 ลักษณะทางวิงช่วงทางโค้ง

เส้นทางวิงของรถไฟบริเวณช่วงทางโค้ง ระยะทางรวม 974 เมตร



ภาพ 35 เส้นทางวิงของรถไฟบริเวณช่วงทางโค้ง

การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Validation)

ผลที่ได้จากการสร้างแบบจำลองของรถไฟแต่ละรุ่นจะถูกนำมาวิเคราะห์หาค่าความถี่ธรรมชาติ (Natural Frequency) โหมดหลักของตัวรถให้มีความใกล้เคียงกับค่าเปรียบเทียบจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องของตัวรถไฟแต่ละรุ่นมีผลการเปรียบเทียบค่าความถี่ธรรมชาติโดยการปรับแก้

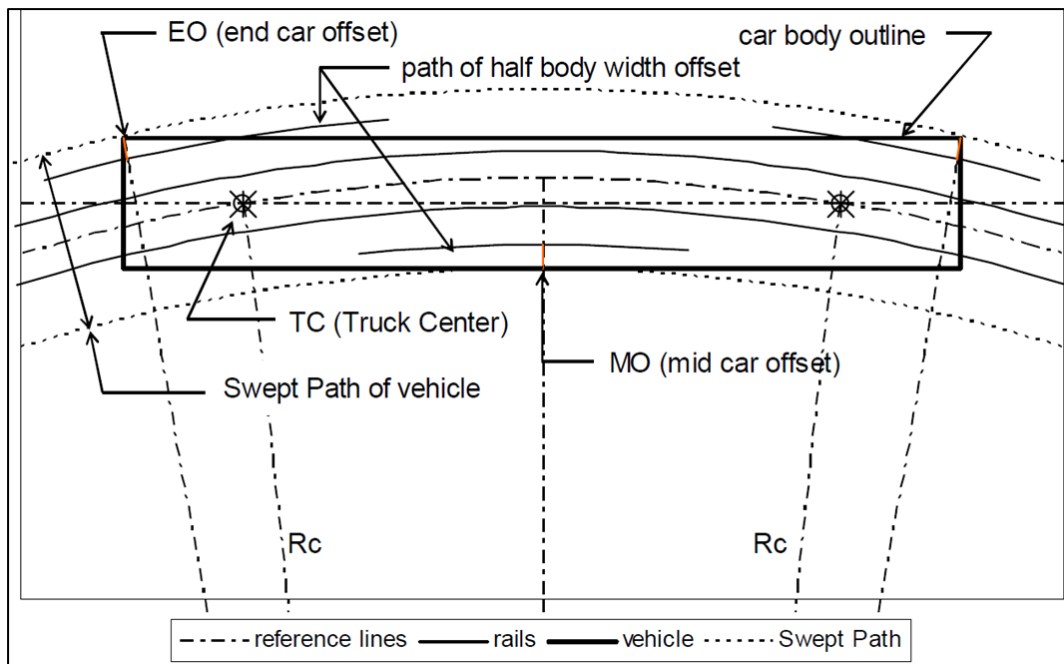
ค่าพารามิเตอร์ Stiffness ของ Primary Suspension และ Secondary Suspension โดยผลการเปรียบเทียบแสดงดังตาราง 1

ตาราง 1 การเปรียบเทียบโหมดความถี่ธรรมชาติของแบบจำลอง

รุ่นรถ	Natural Frequency (Hz)			
	ข้อมูล	Mode 1	Mode 2	Mode 3
Siemens Desiro UK Class 360/2	งานวิจัย	1.640	1.956	2.001
	แบบจำลอง	1.622	1.923	2.235
CRH2C	งานวิจัย	1.900	-	-
	แบบจำลอง	1.282	1.598	1.741
Shinkansen Series 300	งานวิจัย	0.504	0.723	0.775
	แบบจำลอง	0.597	0.721	0.742

การวิเคราะห์เขตโครงสร้างทางเชิงจลน์ (Kinematic Envelope)

เมื่อวางรูปทรงสี่เหลี่ยม (ตัวรถในมุมมอง Plan View) ไว้บนส่วนโค้ง (ส่วนโค้งในราง) จุดที่ด้านยาวของสี่เหลี่ยมพื้นผ้าจะอยู่ห่างจากส่วนโค้งที่ไม่เท่ากันทั้งหมด ดังนั้นจึงต้องมีส่วนเพื่อไว้สำหรับความกว้างเพิ่มเติมที่จำเป็นสำหรับส่วนโค้ง ความกว้างเพิ่มเติมจากมุมตัวรถด้านนอกโค้ง และความกว้างเพิ่มเติมด้านในโค้งดังแสดงในภาพ 36 โดยจากคุณลักษณะของรถแต่ละชนิดที่ใช้วิเคราะห์ในแบบจำลองประกอบการคำนวณระยะเพิ่มเติมแนวราบช่วงเข้าโค้ง แสดงดังตาราง 2



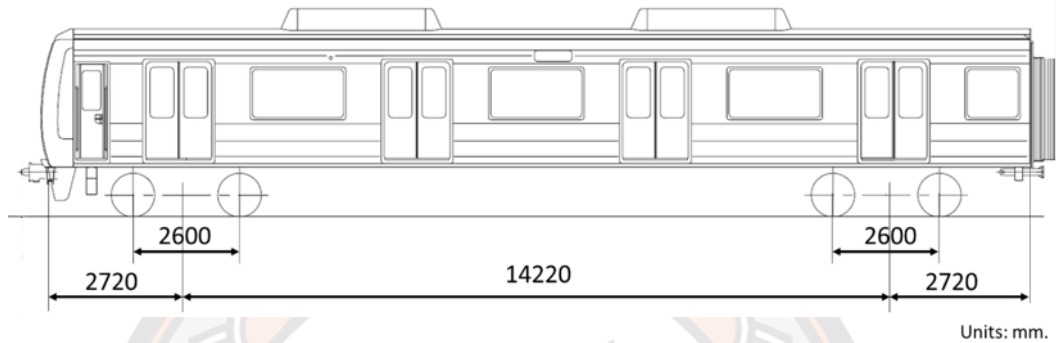
ภาพ 36 ระยะเพิ่มเติมแนวราบช่วงเข้าโค้ง

ตาราง 2 คุณสมบัติของตัวรถและรัศมีโค้งสำหรับการคำนวณระยะเพิ่มเติมแนวราบช่วงเข้าโค้ง

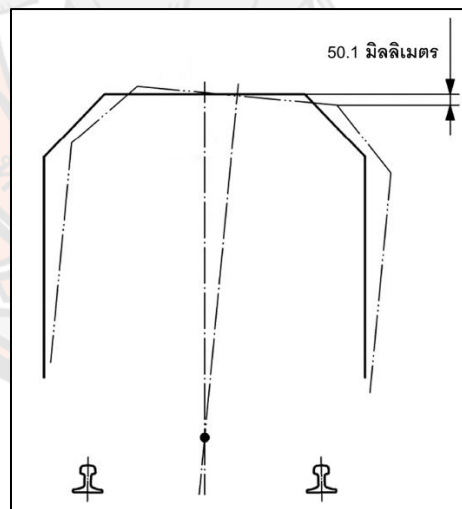
Characteristic	Siemen Desiro UK Class 360/2 (Millimeter)	CRH2C (Millimeter)	Shinkansen Series 300 (Millimeter)
Body Length (BL)	19,660	24,500	24,500
Truck Centers (TC)	14,220	17,500	17,500
Axle Spacing (AX)	2,600	2,500	2,500
Body Width	2,900	3,380	3,380
Curve Radius		180,000	

รถไฟรุ่น Siemens Desiro UK Class 360/2

คุณลักษณะของรถเพื่อใช้ประกอบการวิเคราะห์เขตโครงสร้างเชิงจลน์ของรถไฟรุ่น Siemens Desiro UK Class 360/2 ดังแสดงในภาพ 37 จากกรณีของการยกโค้งส่งผลให้มีระยะเพิ่มเติมแนวตั้งอันเนื่องมาจากผลของการยกโค้งซึ่งมีค่า 50.1 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 38



ภาพ 37 ขนาดมิติของรถไฟรุ่น Siemens Desiro UK Class 360/2



ภาพ 38 ระยะเพิ่มเติมแนวตั้งของรถ Siemens Desiro UK Class 360/2

ระยะเพิ่มเติมแนวราบช่วงเข้าโค้ง

ด้านในโค้ง

$$MO = Rc - \sqrt{Rc^2 - (TC/2)^2} + Rc - \sqrt{Rc^2 - (AX/2)^2}$$

$$MO = 180,000 - \sqrt{180,000^2 - (14,220/2)^2} + 180,000 - \sqrt{180,000^2 - (2,600/2)^2}$$

$$MO = 145.172 \text{ มิลลิเมตร}$$

ด้านนอกโค้ง

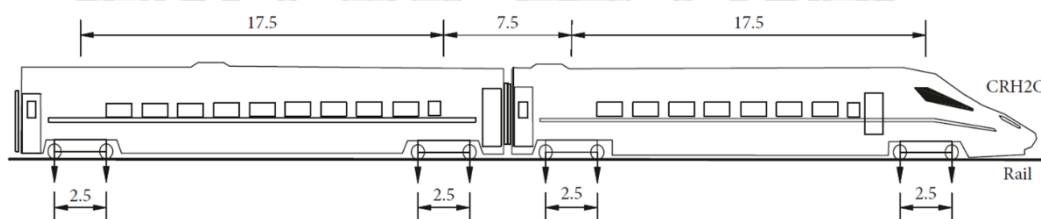
$$EO = \sqrt{Rc^2 - (TC/2)^2 + (BL/2)^2} - Rc$$

$$EO = \sqrt{180,000^2 - (14,220/2)^2 + (19,660/2)^2} - 180,000$$

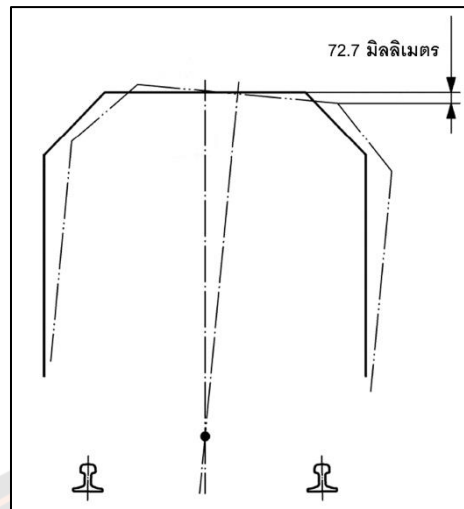
$$EO = 127.946 \text{ มิลลิเมตร}$$

รถไฟรุ่น CRH2C

คุณลักษณะของรถเพื่อใช้ประกอบการวิเคราะห์เขตโครงสร้างเชิงจลน์ของรถไฟรุ่น CRH2C ดังแสดงในภาพ 39 จากกรณีของการยกโค้งส่งผลให้มีระยะเพิ่มเติมแนวตั้งอันเนื่องมาจากผลของการยกโค้งซึ่งมีค่า 72.7 มิลลิเมตรดังแสดงในภาพ 40



ภาพ 39 ขนาดมิติของรถไฟรุ่น CRH2C



ภาพ 40 ระยะเพิ่มเติมแนวตั้งของรถ CRH2C

ระยะเพิ่มเติมแนวราบช่วงเข้าโค้ง

ด้านในโค้ง

$$MO = Rc - \sqrt{Rc^2 - (TC/2)^2} + Rc - \sqrt{Rc^2 - (AX/2)^2}$$

$$MO = 180,000 - \sqrt{180,000^2 - (17,500/2)^2} + 180,000 - \sqrt{180,000^2 - (2,500/2)^2}$$

$$MO = 217.140 \text{ มิลลิเมตร}$$

ด้านนอกโค้ง

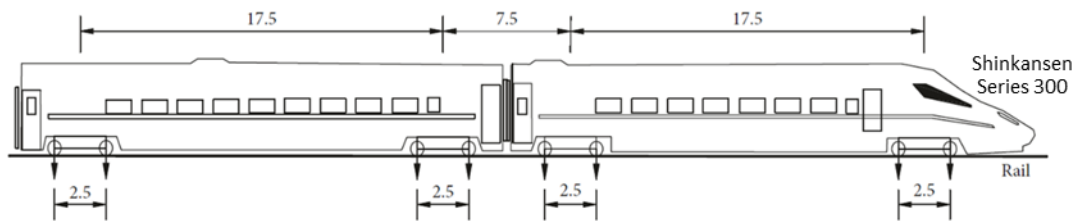
$$EO = \sqrt{Rc^2 - (TC/2)^2 + (BL/2)^2} - Rc$$

$$EO = \sqrt{180,000^2 - (17,500/2)^2 + (24,500/2)^2} - 180,000$$

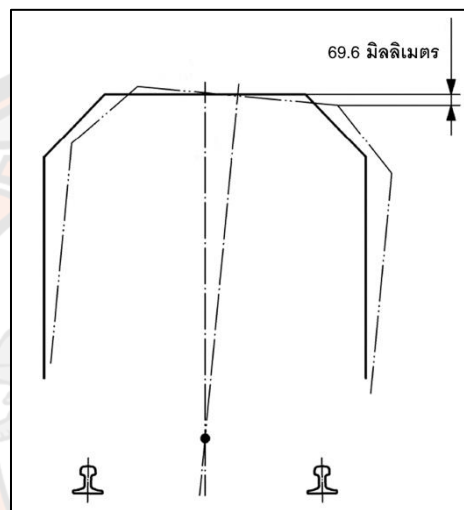
$$EO = 204.051 \text{ มิลลิเมตร}$$

รถไฟรุ่น Shinkansen Series 300

คุณลักษณะของรถเพื่อใช้ประกอบการวิเคราะห์เขตโครงสร้างเชิงจลน์ของรถไฟรุ่น Shinkansen Series 300 ดังแสดงในภาพ 41 จากกรณีของการยกโค้งส่งผลให้มีระยะเพิ่มเติมแนวตั้งอันเนื่องมาจากผลของการยกโค้งซึ่งมีค่า 69.6 มิลลิเมตรดังแสดงในภาพ 42



ภาพ 41 ขนาดมิติของรถไฟรุ่น Shinkansen Series 300



ภาพ 42 ระยะเพิ่มเติมแนวตั้งของรถไฟ Shinkansen Series 300

ระยะเพิ่มเติมแนวราบช่วงเข้าโค้ง

ด้านในโค้ง

$$MO = Rc - \sqrt{Rc^2 - (TC/2)^2} + Rc - \sqrt{Rc^2 - (AX/2)^2}$$

$$MO = 180,000 - \sqrt{180,000^2 - (17,500/2)^2} + 180,000 - \sqrt{180,000^2 - (2,500/2)^2}$$

$$MO = 217.140 \text{ มิลลิเมตร}$$

ด้านนอกโค้ง

$$EO = \sqrt{Rc^2 - (TC/2)^2 + (BL/2)^2} - Rc$$

$$EO = \sqrt{180,000^2 - (17,500/2)^2 + (24,500/2)^2} - 180,000$$

$$EO = 204.051 \text{ มิลลิเมตร}$$

การวิเคราะห์พลวัตของยานพาหนะ

การเคลื่อนที่ของรถไฟมีผลกระทบจากปัจจัยที่สำคัญหลายชนิด ดังนั้นเพื่อตรวจสอบถึงพฤติกรรมที่เปลี่ยนไปจากปัจจัยดังกล่าว ในการวิเคราะห์ทางพลวัตจึงจำเป็นต้องจะมีการปรับเปลี่ยนค่าตัวแปรต่าง ๆ ดังนี้

ความเร็ว (Speeds)

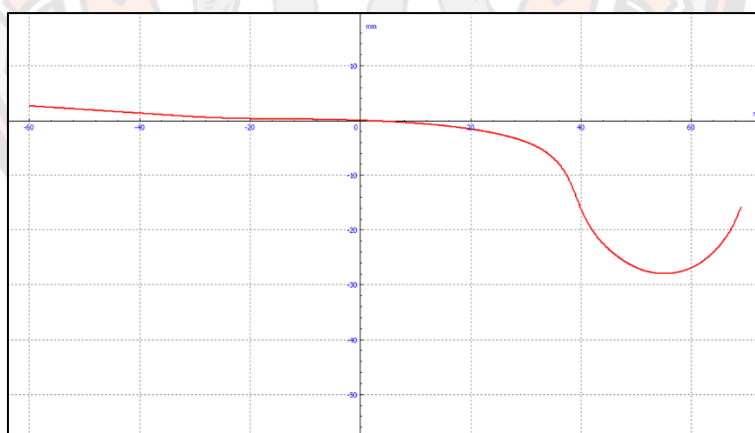
ความเร็วของรถไฟในการแล่นผ่านทางตรงที่ความเร็ว 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140 และ 160 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และความเร็วของรถไฟในการแล่นเข้าโค้งที่ความเร็ว 20, 40 และ 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

โปรไฟล์ล้อ (Wheel Profile)

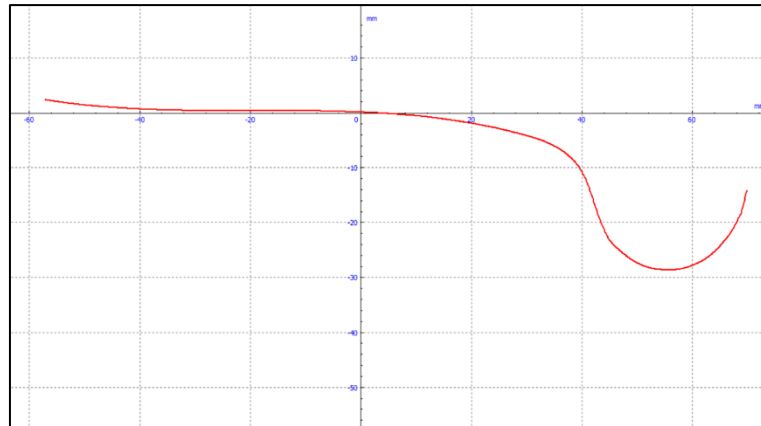
โปรไฟล์ล้อ S1002 สภาพของล้อในสภาวะล้อใหม่ ดังแสดงในภาพ 43 และล้อที่เกิดการสึกหรอจากการใช้งาน ดังแสดงในภาพ 44

ความไม่สม่ำเสมอของผิวทาง (Track Irregularity)

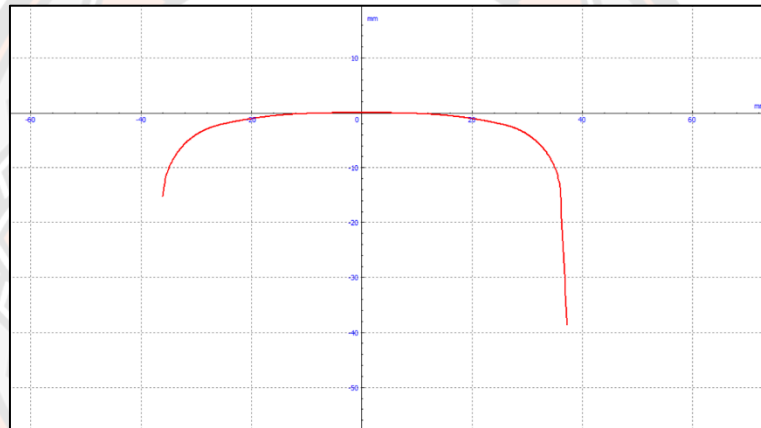
โปรไฟล์ราง UIC 60 โดยความไม่สม่ำเสมอของผิวทางใช้ค่าที่แนะนำโดย UIC ในสภาวะทางสภาพดี (Good Track) ดังแสดงในภาพ 46 ถึงภาพ 48 และสภาพปานกลาง (Moderated Track) ดังแสดงในภาพ 49 ถึงภาพ 51



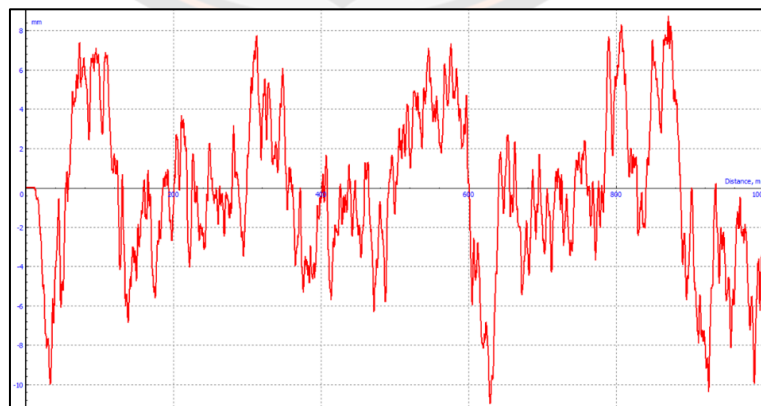
ภาพ 43 โปรไฟล์ล้อ S1002 ในสภาวะล้อใหม่ จากแบบจำลอง



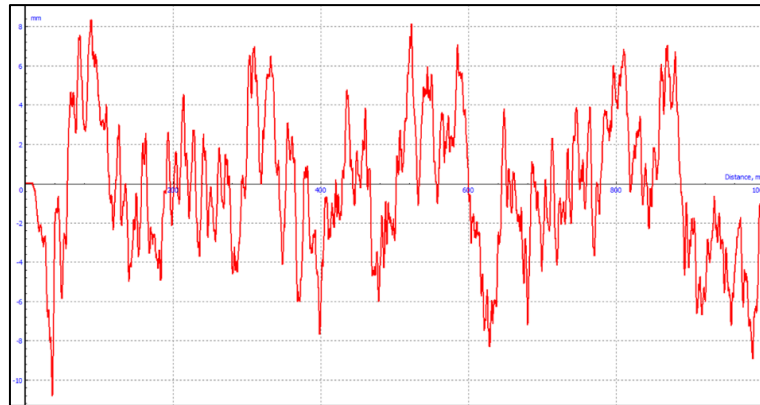
ภาพ 44 โปรไฟล์ล้อ S1002 ที่มีการสึกหรอจากการใช้งาน จากแบบจำลอง



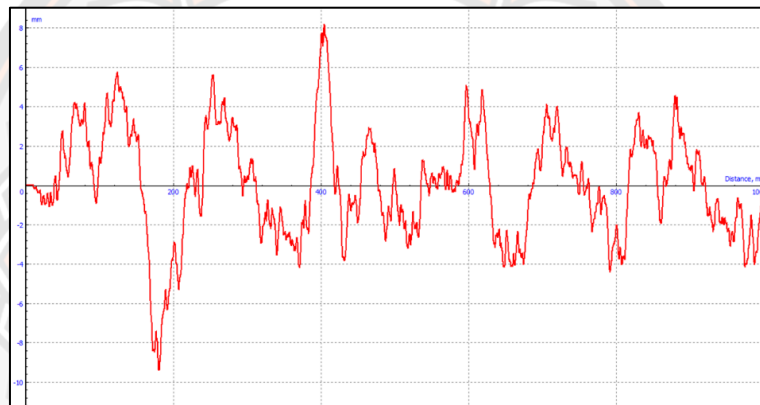
ภาพ 45 โปรไฟล์ราง UIC 60 จากแบบจำลอง



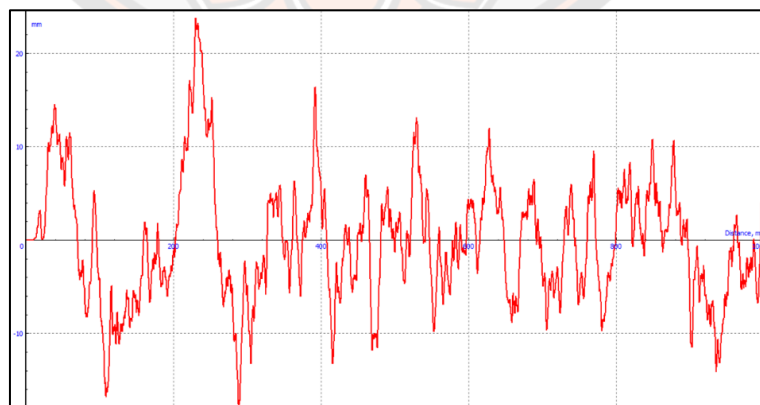
ภาพ 46 ความไม่สม่ำเสมอในแนวตั้งของผิวทางในสภาวะทางสภาพดีสำหรับรางซ้าย



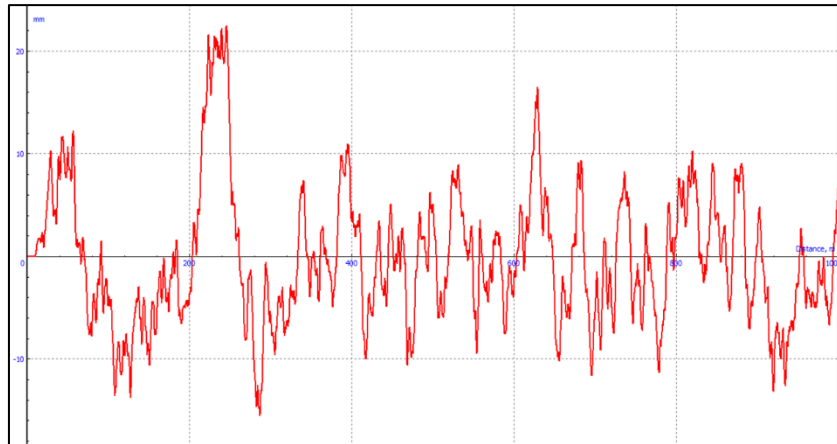
ภาพ 47 ความไม่สม่ำเสมอในแนวตั้งของผิวทางในสภาวะทางสภาพดีสำหรับนางชวา



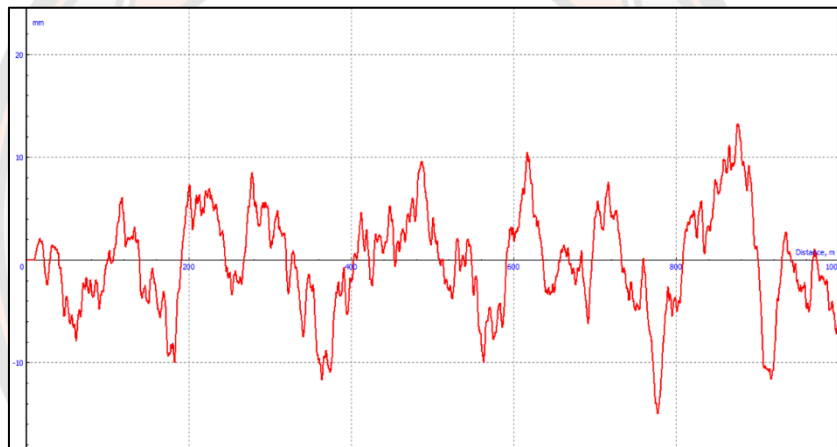
ภาพ 48 ความไม่สม่ำเสมอในแนวระนาบของผิวทางในสภาวะทางสภาพดี



ภาพ 49 ความไม่สม่ำเสมอในแนวตั้งของผิวทางในสภาวะทางสภาพปานกลาง สำหรับนางช้าย

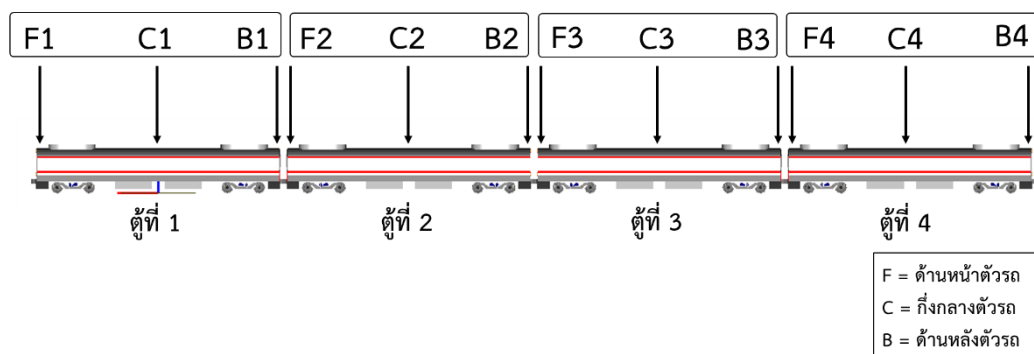


ภาพ 50 ความไม่สม่ำเสมอในแนวตั้งของพิกัดของพิกัดในสภาวะทางสภาพปานกลาง สำหรับรางขวา



ภาพ 51 ความไม่สม่ำเสมอในแนวระนาบของพิกัดของพิกัดในสภาวะทางสภาพปานกลาง

จากรูปแบบของปัจจัยดังกล่าวสามารถสรุปเป็นรูปแบบการวิเคราะห์ในแบบจำลองได้เป็น 56 รูปแบบดังแสดงในตาราง 3 โดยเมื่อได้ผลตอบสนองของรถไฟจากการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลอง มัลติบอดีแล้วการเคลื่อนที่ของตัวรถไฟตลอดเส้นทางจะถูกตรวจสอบในแต่ละกรณี การพิจารณา ตำแหน่งการเคลื่อนที่ของตัวรถไฟจะพิจารณาจากด้านหน้า กึ่งกลาง และด้านหลังของตัวรถรวมเป็น จำนวน 4 ตู๋ ดังแสดงภาพ 52



ภาพ 52 ตำแหน่งการพิจารณาการเคลื่อนที่ของตัวรถ

ตาราง 3 รูปแบบการวิเคราะห์ในแบบจำลอง

รูปแบบการวิเคราะห์ที่	เส้นทาง	ความเร็ว (กม./ชม.)	ความไม่สม่ำเสมอของผิวทาง	การสึกหรอของล้อ
1	ทางตรง	20	สภาพดี	สมบูรณ์
2	ทางตรง	20	สภาพดี	สึกหรอ
3	ทางตรง	20	สภาพปานกลาง	สมบูรณ์
4	ทางตรง	20	สภาพปานกลาง	สึกหรอ
5	ทางตรง	40	สภาพดี	สมบูรณ์
6	ทางตรง	40	สภาพดี	สึกหรอ
7	ทางตรง	40	สภาพปานกลาง	สมบูรณ์
8	ทางตรง	40	สภาพปานกลาง	สึกหรอ
9	ทางตรง	60	สภาพดี	สมบูรณ์
10	ทางตรง	60	สภาพดี	สึกหรอ
11	ทางตรง	60	สภาพปานกลาง	สมบูรณ์
12	ทางตรง	60	สภาพปานกลาง	สึกหรอ
13	ทางตรง	80	สภาพดี	สมบูรณ์
14	ทางตรง	80	สภาพดี	สึกหรอ
15	ทางตรง	80	สภาพปานกลาง	สมบูรณ์
16	ทางตรง	80	สภาพปานกลาง	สึกหรอ
17	ทางตรง	100	สภาพดี	สมบูรณ์
18	ทางตรง	100	สภาพดี	สึกหรอ
19	ทางตรง	100	สภาพปานกลาง	สมบูรณ์

รูปแบบการวิเคราะห์ที่	เส้นทาง	ความเร็ว (กม./ชม.)	ความไม่สม่ำเสมอของผิวทาง	การสึกหรอของล้อ
20	ทางตรง	100	สภาพปานกลาง	สึกหรอ
21	ทางตรง	120	สภาพดี	สมบูรณ์
22	ทางตรง	120	สภาพดี	สึกหรอ
23	ทางตรง	120	สภาพปานกลาง	สมบูรณ์
24	ทางตรง	120	สภาพปานกลาง	สึกหรอ
25	ทางตรง	140	สภาพดี	สมบูรณ์
26	ทางตรง	140	สภาพดี	สึกหรอ
27	ทางตรง	140	สภาพปานกลาง	สมบูรณ์
28	ทางตรง	140	สภาพปานกลาง	สึกหรอ
29	ทางตรง	160	สภาพดี	สมบูรณ์
30	ทางตรง	160	สภาพดี	สึกหรอ
31	ทางตรง	160	สภาพปานกลาง	สมบูรณ์
32	ทางตรง	160	สภาพปานกลาง	สึกหรอ
33	ทางโค้ง (East Bound)	20	สภาพดี	สมบูรณ์
34	ทางโค้ง (East Bound)	20	สภาพดี	สึกหรอ
35	ทางโค้ง (East Bound)	20	สภาพปานกลาง	สมบูรณ์
36	ทางโค้ง (East Bound)	20	สภาพปานกลาง	สึกหรอ
37	ทางโค้ง (East Bound)	40	สภาพดี	สมบูรณ์
38	ทางโค้ง (East Bound)	40	สภาพดี	สึกหรอ
39	ทางโค้ง (East Bound)	40	สภาพปานกลาง	สมบูรณ์
40	ทางโค้ง (East Bound)	40	สภาพปานกลาง	สึกหรอ
41	ทางโค้ง (East Bound)	60	สภาพดี	สมบูรณ์
42	ทางโค้ง	60	สภาพดี	สึกหรอ

รูปแบบการวิเคราะห์ที่	เส้นทาง	ความเร็ว (กม./ชม.)	ความไม่สม่ำเสมอของผิวทาง	การสึกหรอของล้อ
	(East Bound)			
43	ทางโค้ง (East Bound)	60	สภาพปานกลาง	สมบูรณ์
44	ทางโค้ง (East Bound)	60	สภาพปานกลาง	สึกหรอ
45	ทางโค้ง (West Bound)	20	สภาพดี	สมบูรณ์
46	ทางโค้ง (West Bound)	20	สภาพดี	สึกหรอ
47	ทางโค้ง (West Bound)	20	สภาพปานกลาง	สมบูรณ์
48	ทางโค้ง (West Bound)	20	สภาพปานกลาง	สึกหรอ
49	ทางโค้ง (West Bound)	40	สภาพดี	สมบูรณ์
50	ทางโค้ง (West Bound)	40	สภาพดี	สึกหรอ
51	ทางโค้ง (West Bound)	40	สภาพปานกลาง	สมบูรณ์
52	ทางโค้ง (West Bound)	40	สภาพปานกลาง	สึกหรอ
53	ทางโค้ง (West Bound)	60	สภาพดี	สมบูรณ์
54	ทางโค้ง (West Bound)	60	สภาพดี	สึกหรอ
55	ทางโค้ง (West Bound)	60	สภาพปานกลาง	สมบูรณ์
56	ทางโค้ง (West Bound)	60	สภาพปานกลาง	สึกหรอ

บทที่ 4

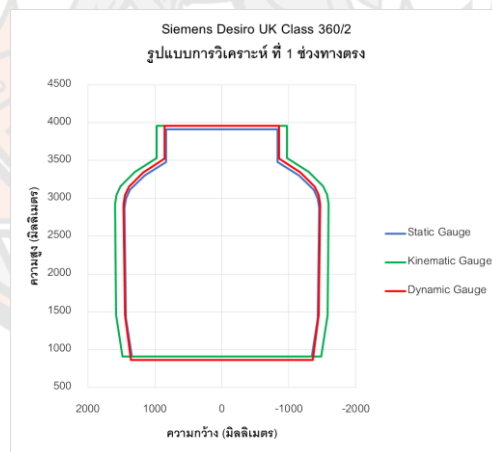
ผลการวิจัย

จากผลการวิเคราะห์แบบจำลองตามรูปแบบการวิเคราะห์ทั้งหมด 56 รูปแบบในแบบจำลองพบว่าตัวรถมีขนาดของการเคลื่อนที่แนวระนาบจากปัจจัยการควบคุมตามความเร็ว ปัจจัยด้านการสึกหรอของล้อ และความไม่สม่ำเสมอของทาง ดังนี้

ผลการวิเคราะห์พลวัตของยานพาหนะ

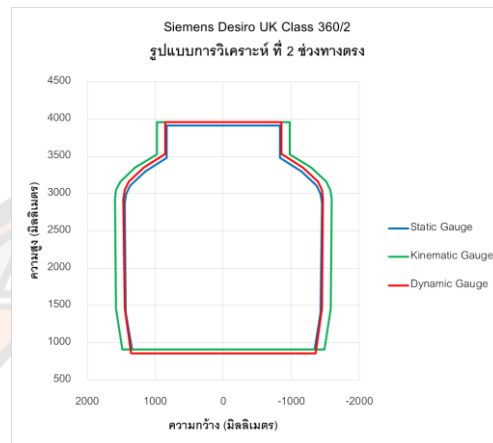
รถไฟรุ่น Siemens Desiro UK Class 360/2

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 1 ในช่วงทางตรงโดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 20 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทางอยู่ในสภาพดี และล้ออยู่ในสภาพสมบูรณ์ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 23 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 45 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 53



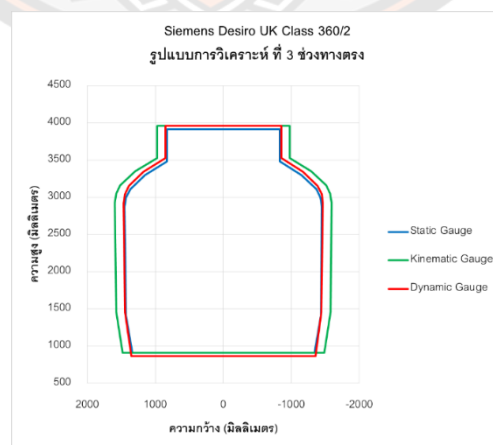
ภาพ 53 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 1

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 2 ในช่วงทางตรงโดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 20 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทางอยู่ในสภาพดี และล้อมีความสึกหรอ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 23 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 51 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 54



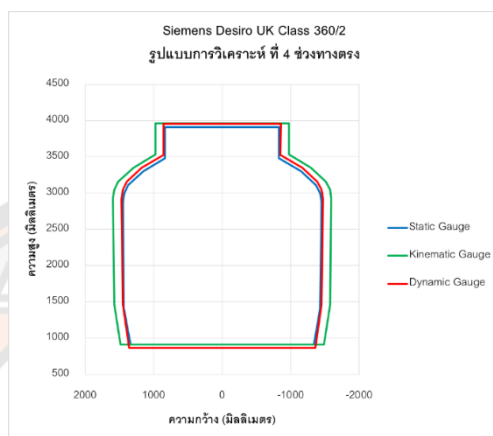
ภาพ 54 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 2

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 3 ในช่วงทางตรงโดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 20 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทางอยู่ในสภาพปานกลาง และล้ออยู่ในสภาพสมบูรณ์ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 24 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 45 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 55



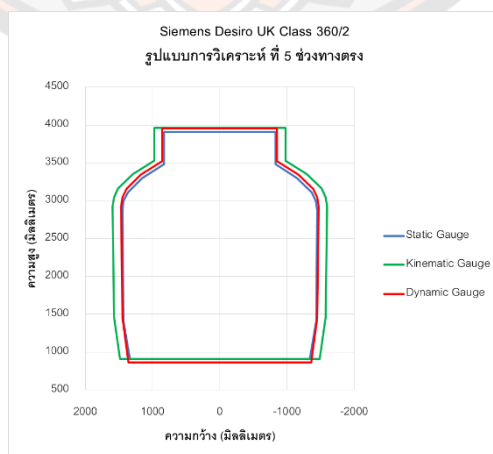
ภาพ 55 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 3

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 4 ในช่วงทางตรงโดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 20 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทางอยู่ในสภาพปานกลาง และล้อมีความสึกหรอ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 26 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 45 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 56



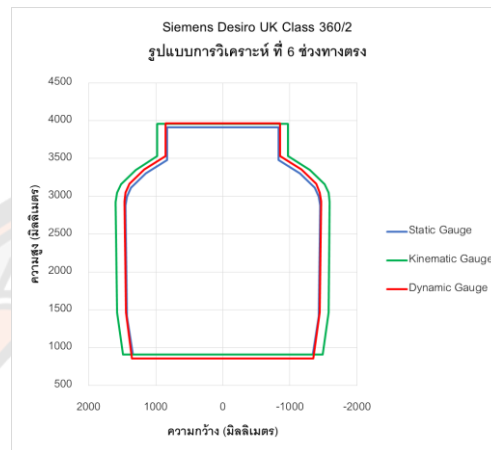
ภาพ 56 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 4

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 5 ในช่วงทางตรงโดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 40 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทางอยู่ในสภาพดี และล้ออยู่ในสภาพสมบูรณ์ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 26 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 51 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 57



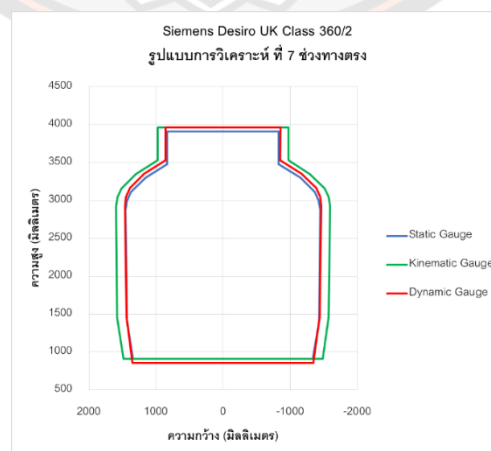
ภาพ 57 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 5

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 6 ในช่วงทางตรงโดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 40 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทางอยู่ในสภาพดี และล้อมีความสึกหรอ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 26 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 53 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 58



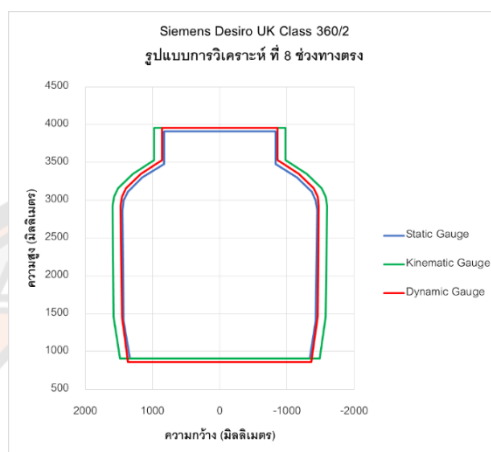
ภาพ 58 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 6

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 7 ในช่วงทางตรงโดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 40 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทางอยู่ในสภาพปานกลาง และล้ออยู่ในสภาพสมบูรณ์ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 27 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 53 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 59



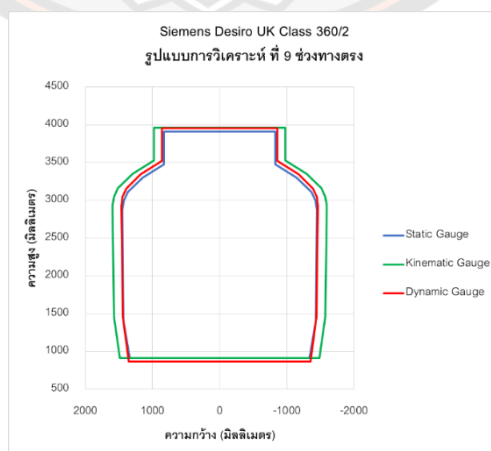
ภาพ 59 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 7

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 8 ในช่วงทางตรงโดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 40 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทางอยู่ในสภาพปานกลาง และล้อมีความสึกหรอ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 28 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 51 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 60



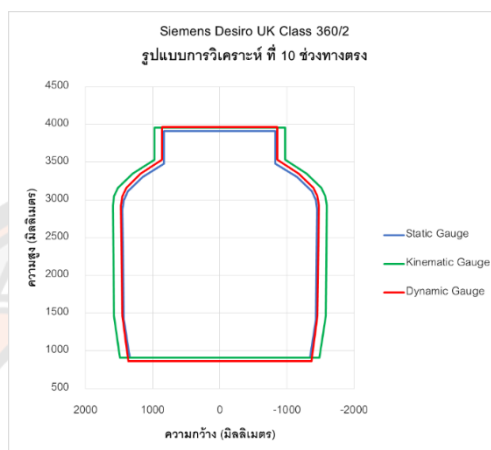
ภาพ 60 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 8

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 9 ในช่วงทางตรงโดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 60 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทางอยู่ในสภาพดี และล้ออยู่ในสภาพสมบูรณ์ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 29 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 45 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 61



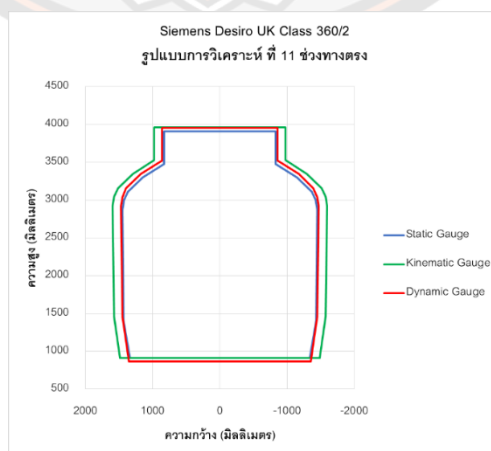
ภาพ 61 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 9

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 10 ในช่วงทางตรงโดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 60 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทางอยู่ในสภาพดี และล้อมีความสึกหรอ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 29 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 51 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 62



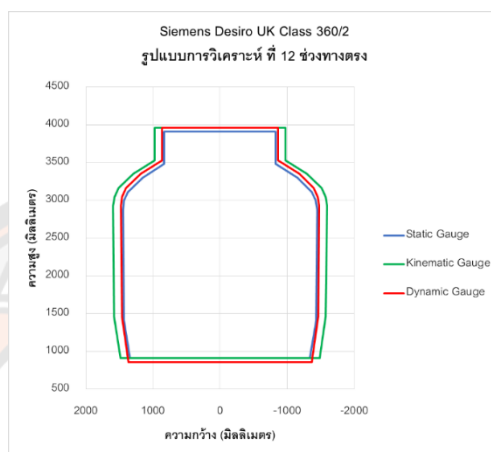
ภาพ 62 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 10

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 11 ในช่วงทางตรงโดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 60 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทางอยู่ในสภาพปานกลาง และล้ออยู่ในสภาพสมบูรณ์ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 32 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 45 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 63



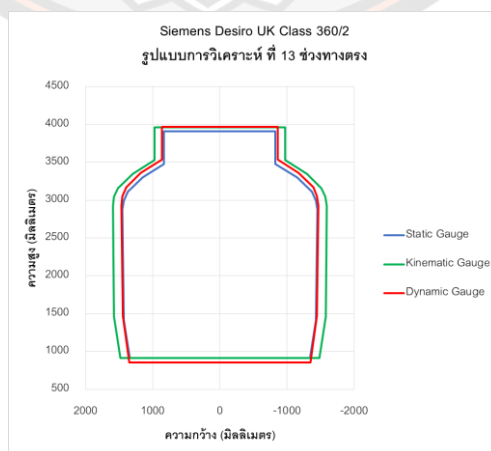
ภาพ 63 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 11

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 12 ในช่วงทางตรงโดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 60 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทางอยู่ในสภาพปานกลาง และล้อมีความสึกหรอ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 33 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 50 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 64



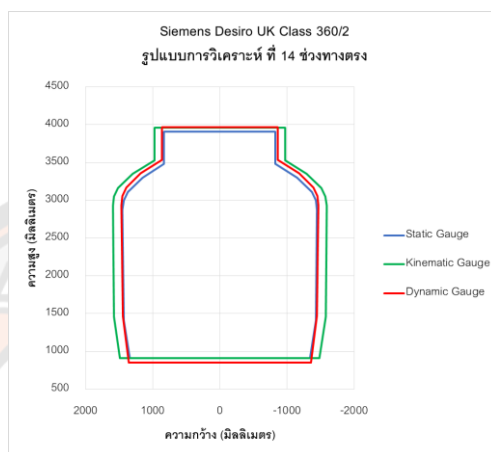
ภาพ 64 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 12

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 14 ในช่วงทางตรงโดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 80 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทางอยู่ในสภาพดี และล้ออยู่ในสภาพสมบูรณ์ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 34 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 57 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 65



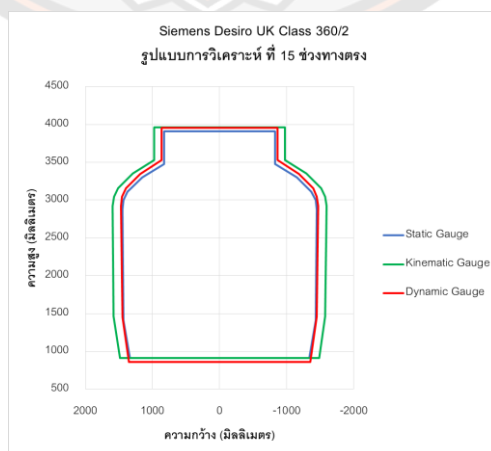
ภาพ 65 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 13

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 13 ในช่วงทางตรงโดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 80 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทางอยู่ในสภาพดี และล้อมีความสึกหรอ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 35 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 57 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 66



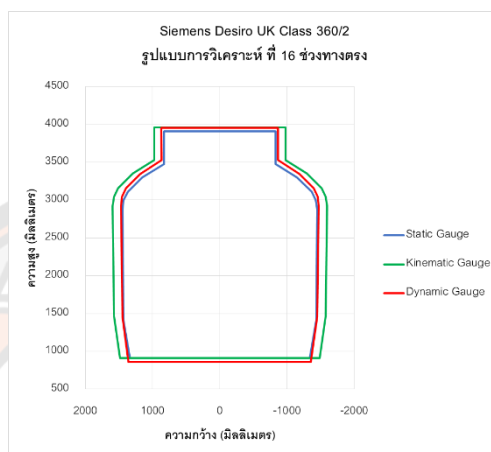
ภาพ 66 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 14

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 15 ในช่วงทางตรงโดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 80 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทางอยู่ในสภาพปานกลาง และล้ออยู่ในสภาพสมบูรณ์ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 36 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 48 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 67



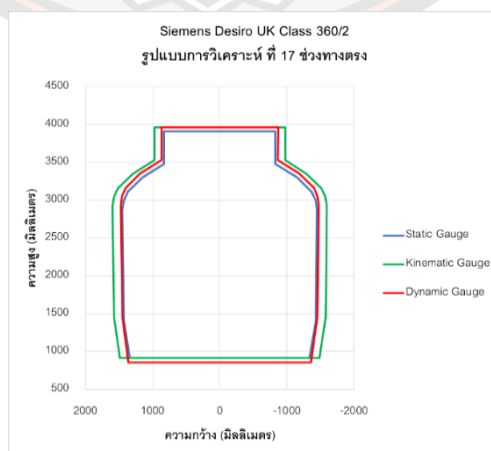
ภาพ 67 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 15

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 16 ในช่วงทางตรงโดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 80 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทางอยู่ในสภาพปานกลาง และล้อมีความสึกหรอ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 39 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 48 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 68



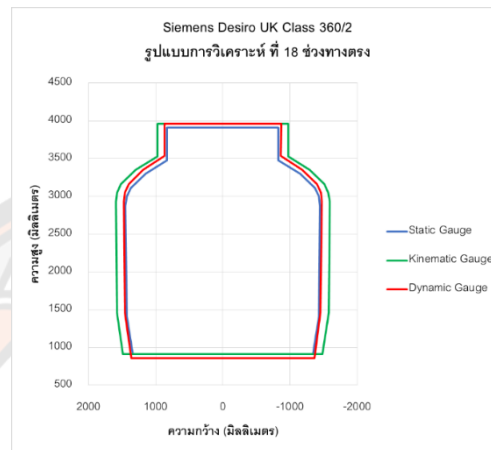
ภาพ 68 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 16

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 17 ในช่วงทางตรงโดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 100 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทางอยู่ในสภาพดี และล้ออยู่ในสภาพสมบูรณ์ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 39 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 53 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 69



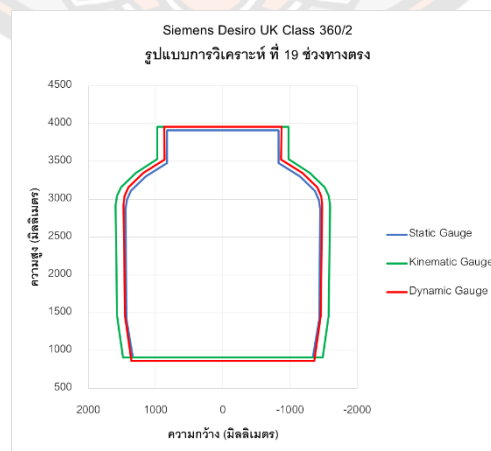
ภาพ 69 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 17

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 18 ในช่วงทางตรงโดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 100 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทางอยู่ในสภาพดี และล้อมีความสึกหรอ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 40 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 53 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 70



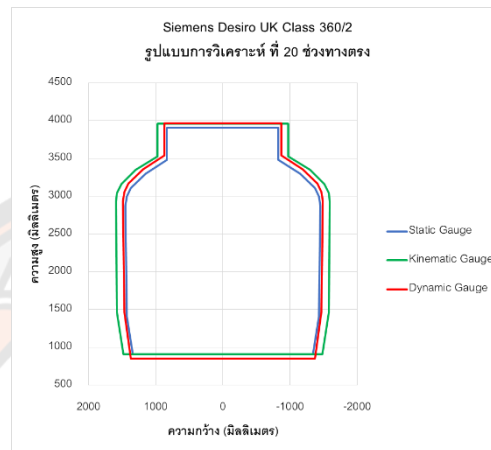
ภาพ 70 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 18

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 19 ในช่วงทางตรงโดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 100 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทางอยู่ในสภาพปานกลาง และล้ออยู่ในสภาพสมบูรณ์ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 43 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 47 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 71



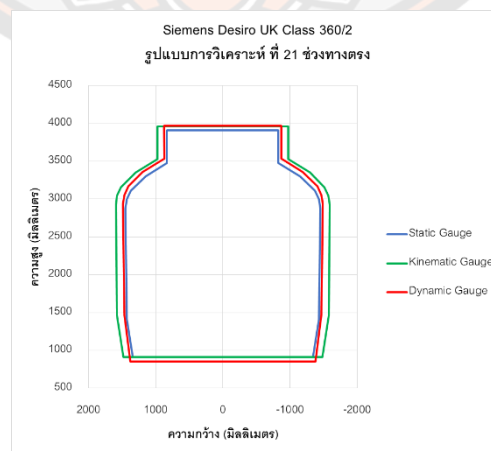
ภาพ 71 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 19

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 20 ในช่วงทางตรงโดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 100 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทางอยู่ในสภาพปานกลาง และล้อมีความสึกหรอ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 43 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 59 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 72



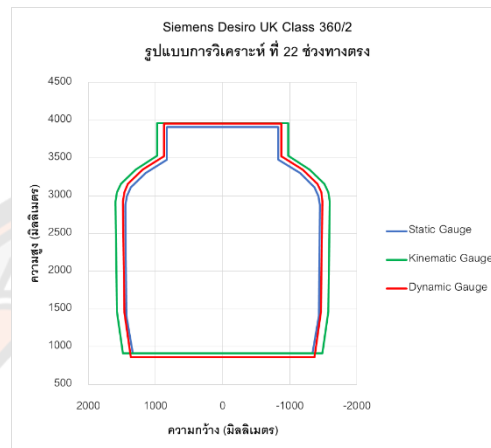
ภาพ 72 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 20

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 21 ในช่วงทางตรงโดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 120 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทางอยู่ในสภาพดี และล้ออยู่ในสภาพสมบูรณ์ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 44 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 58 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 73



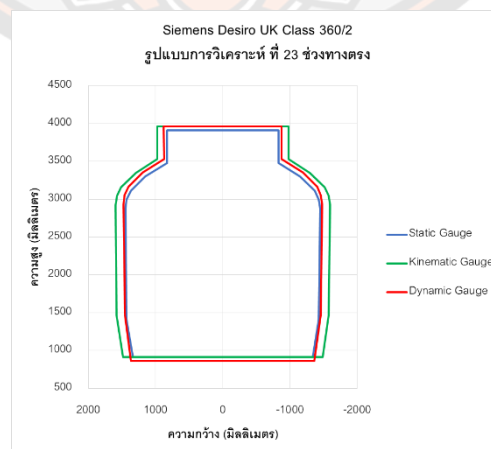
ภาพ 73 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 21

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 22 ในช่วงทางตรงโดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 120 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทางอยู่ในสภาพดี และล้อมีความสึกหรอ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 46 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 47 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 74



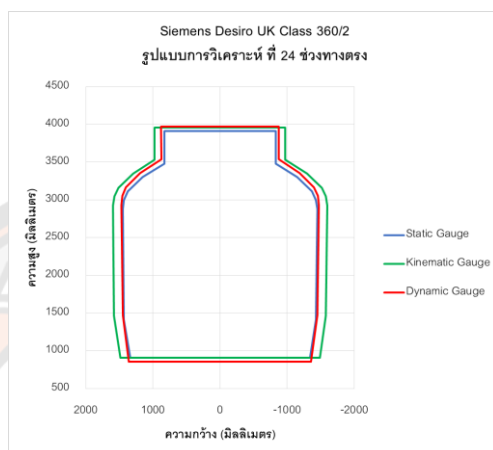
ภาพ 74 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 22

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 23 ในช่วงทางตรงโดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 120 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทางอยู่ในสภาพปานกลาง และล้ออยู่ในสภาพสมบูรณ์ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 47 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 53 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 75



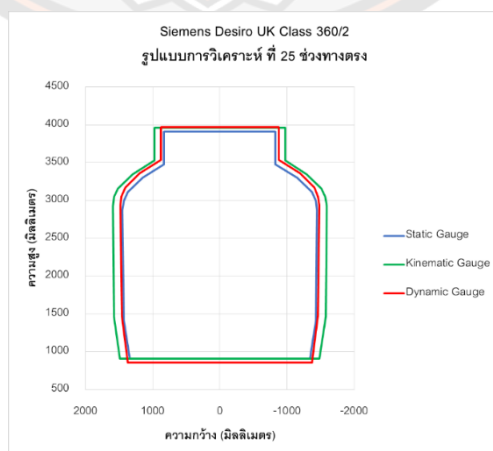
ภาพ 75 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 23

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 24 ในช่วงทางตรงโดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 120 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทางอยู่ในสภาพปานกลาง และล้อมีความสึกหรอ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 47 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 58 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 76



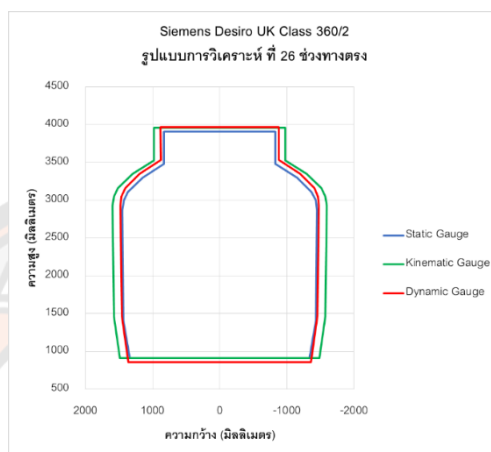
ภาพ 76 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 24

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 25 ในช่วงทางตรงโดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 140 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทางอยู่ในสภาพดี และล้ออยู่ในสภาพสมบูรณ์ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 50 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 58 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 77



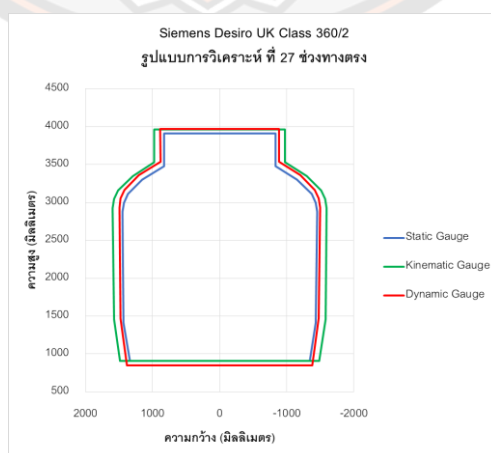
ภาพ 77 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 25

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 26 ในช่วงทางตรงโดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 140 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทางอยู่ในสภาพดี และล้อมีความสึกหรอ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 53 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 54 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 78



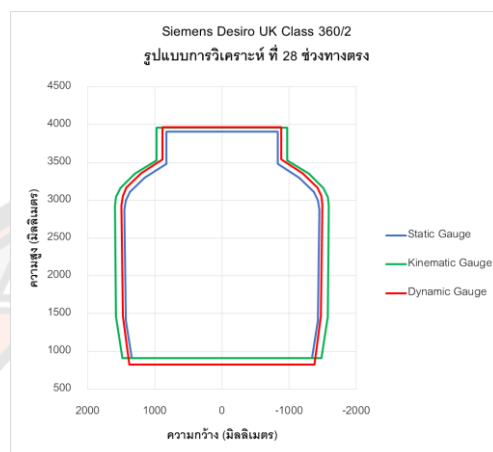
ภาพ 78 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 26

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 27 ในช่วงทางตรงโดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 140 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทางอยู่ในสภาพปานกลาง และล้ออยู่ในสภาพสมบูรณ์ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 56 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 58 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 79



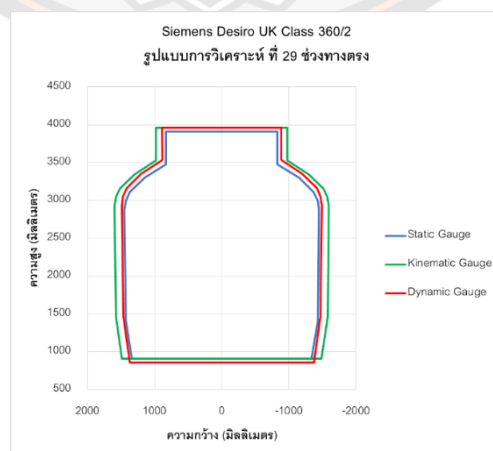
ภาพ 79 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 27

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 28 ในช่วงทางตรงโดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 140 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทางอยู่ในสภาพปานกลาง และล้อมีความสึกหรอ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 57 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 59 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 80



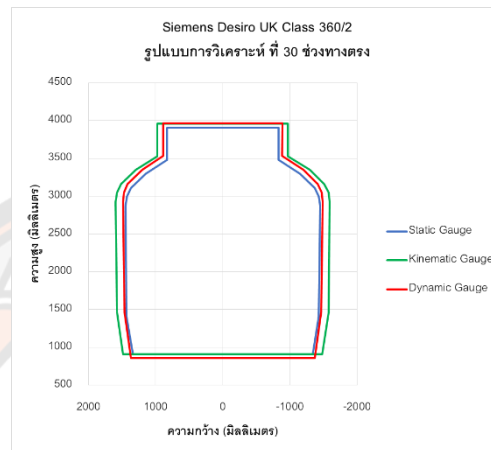
ภาพ 80 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 28

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 29 ในช่วงทางตรงโดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 160 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทางอยู่ในสภาพดี และล้ออยู่ในสภาพสมบูรณ์ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 58 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 54 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 81



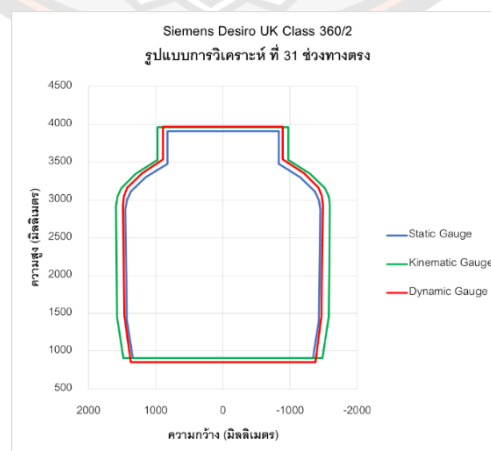
ภาพ 81 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 29

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 30 ในช่วงทางตรงโดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 160 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทางอยู่ในสภาพดี และล้อมีความสึกหรอ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 62 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 54 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 82



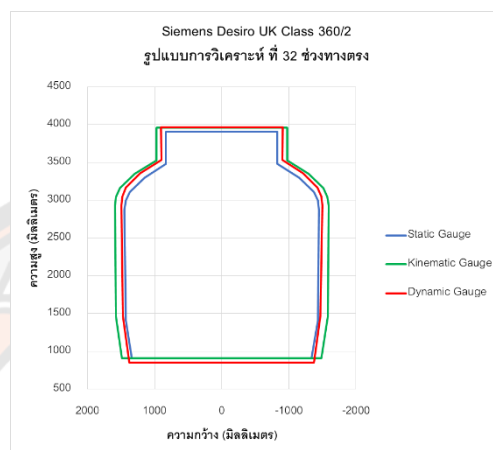
ภาพ 82 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 30

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 31 ในช่วงทางตรงโดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 160 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทางอยู่ในสภาพปานกลาง และล้ออยู่ในสภาพสมบูรณ์ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 65 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 56 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 83



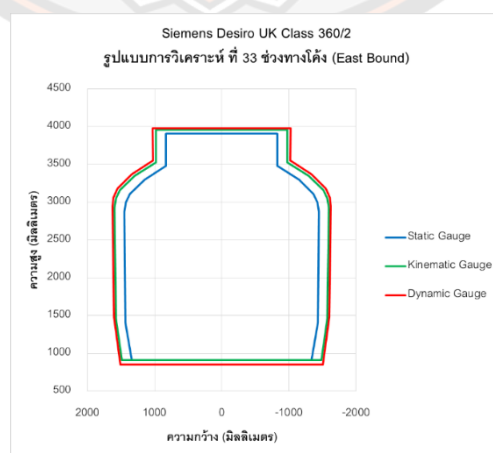
ภาพ 83 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 31

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 32 ในช่วงทางตรงโดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 160 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทางอยู่ในสภาพปานกลาง และล้อมีความสึกหรอ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 77 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 57 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 84



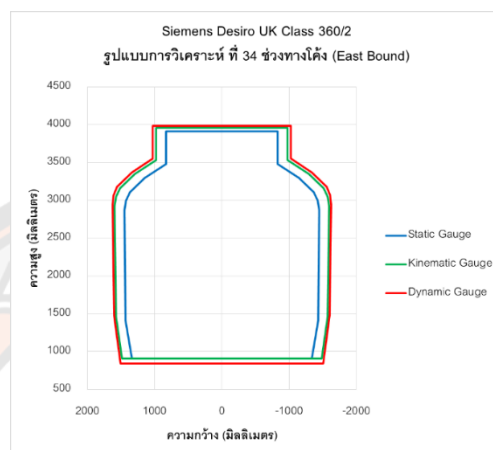
ภาพ 84 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 32

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 33 ในช่วงทางโค้งทิศทาง East Bound โดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 20 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทางอยู่ในสภาพดี และล้ออยู่ในสภาพสมบูรณ์ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 197 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 72 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 85



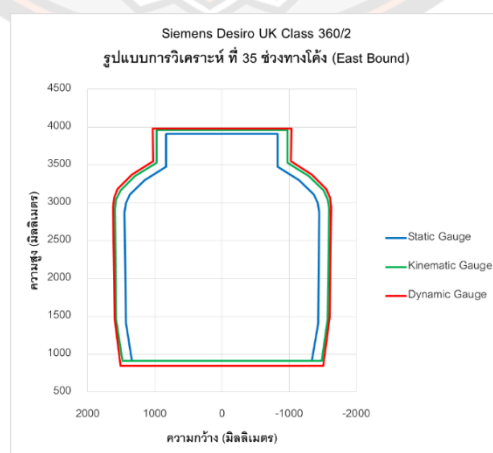
ภาพ 85 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 33

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 34 ในช่วงทางโค้งทิศทาง East Bound โดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 20 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทาง อยู่ในสภาพดี และล้อมีความสึกหรอ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 201 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 73 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 86



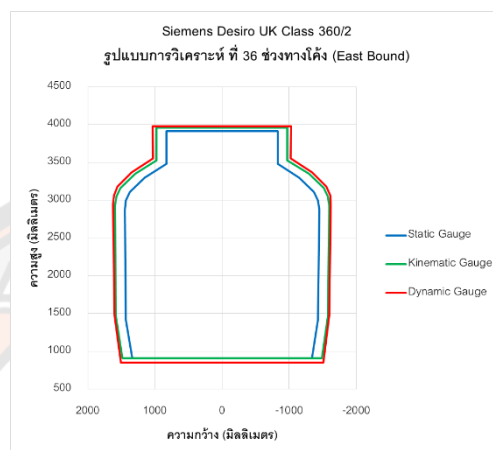
ภาพ 86 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 34

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 35 ในช่วงทางโค้งทิศทาง East Bound โดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 20 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทาง อยู่ในสภาพปานกลาง และล้ออยู่ในสภาพสมบูรณ์ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 202 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 71 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 87



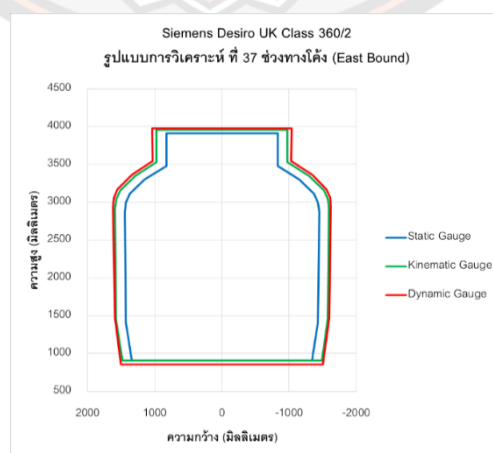
ภาพ 87 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 35

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 36 ในช่วงทางโค้งทิศทาง East Bound โดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 20 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทาง อยู่ในสภาพปานกลาง และล้อมีความสึกหรอ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 203 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 72 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 88



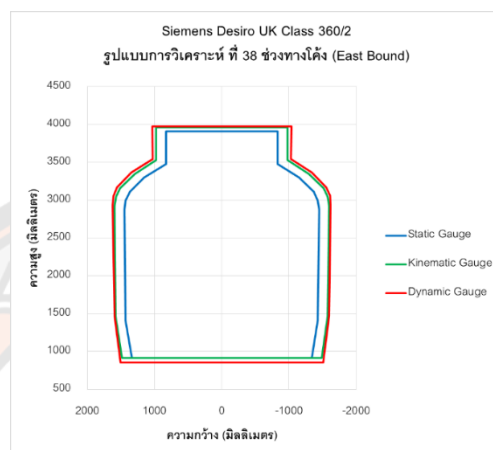
ภาพ 88 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 36

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 37 ในช่วงทางโค้งทิศทาง East Bound โดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 40 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทาง อยู่ในสภาพดี และล้ออยู่ในสภาพสมบูรณ์ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 205 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 62 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 89



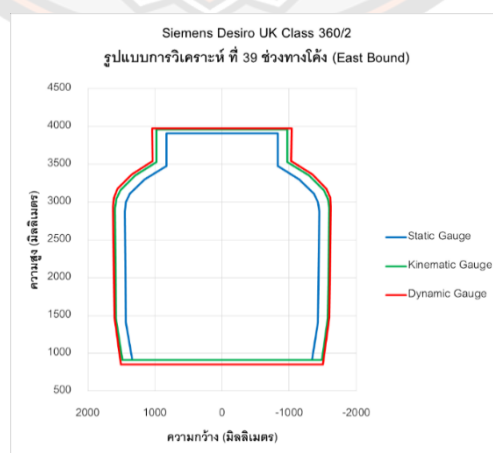
ภาพ 89 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 37

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 38 ในช่วงทางโค้งทิศทาง East Bound โดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 40 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทาง อยู่ในสภาพดี และล้อมีความสึกหรอ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 206 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 66 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 90



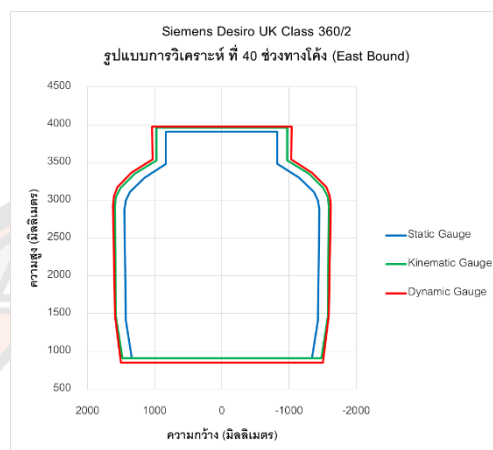
ภาพ 90 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 38

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 39 ในช่วงทางโค้งทิศทาง East Bound โดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 40 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทาง อยู่ในสภาพปานกลาง และล้ออยู่ในสภาพสมบูรณ์ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 209 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 66 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 91



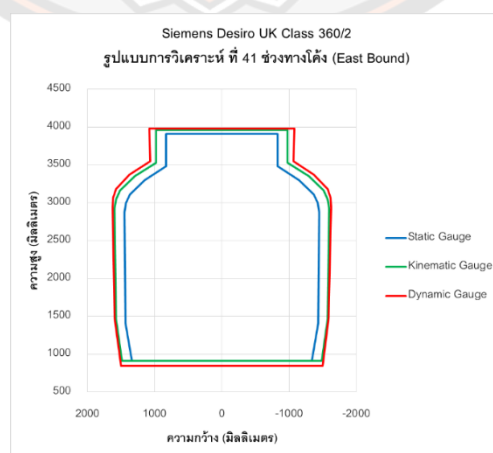
ภาพ 91 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 39

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 40 ในช่วงทางโค้งทิศทาง East Bound โดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 40 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทาง อยู่ในสภาพปานกลาง และล้อมีความสึกหรอ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 211 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 65 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 92



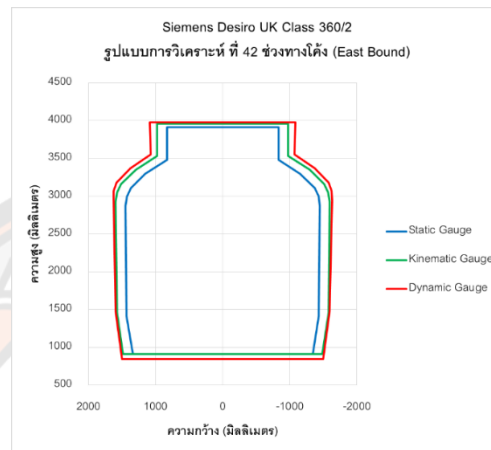
ภาพ 92 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 40

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 41 ในช่วงทางโค้งทิศทาง East Bound โดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 60 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทาง อยู่ในสภาพดี และล้ออยู่ในสภาพสมบูรณ์ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 252 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 70 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 93



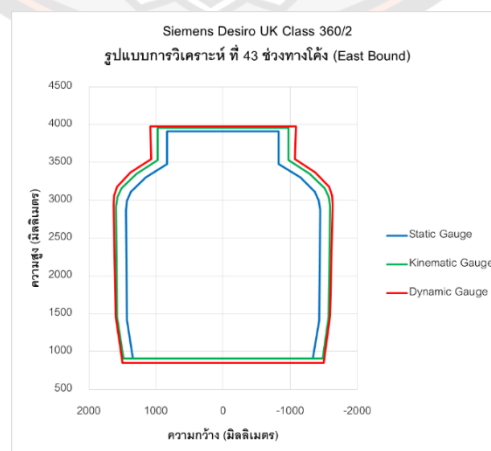
ภาพ 93 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 41

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 42 ในช่วงทางโค้งทิศทาง East Bound โดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 60 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทาง อยู่ในสภาพดี และล้อมีความสึกหรอ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 255 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 70 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 94



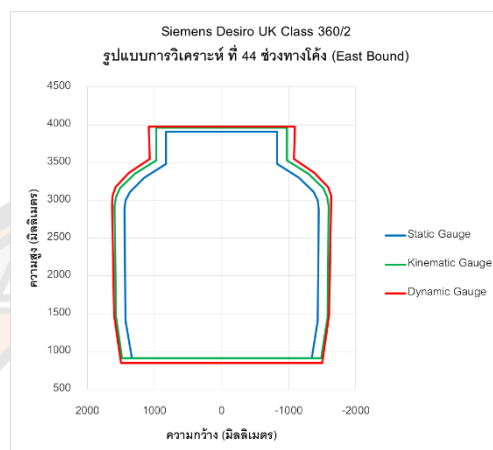
ภาพ 94 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 42

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 43 ในช่วงทางโค้งทิศทาง East Bound โดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 60 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทาง อยู่ในสภาพปานกลาง และล้ออยู่ในสภาพสมบูรณ์ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 258 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 66 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 95



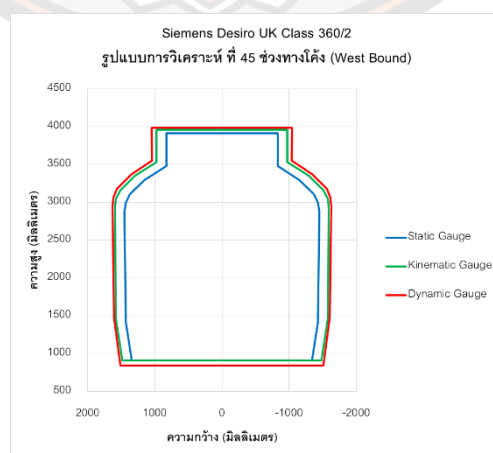
ภาพ 95 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 43

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 44 ในช่วงทางโค้งทิศทาง East Bound โดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 60 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทาง อยู่ในสภาพปานกลาง และล้อมีความสึกหรอ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 259 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 67 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 96



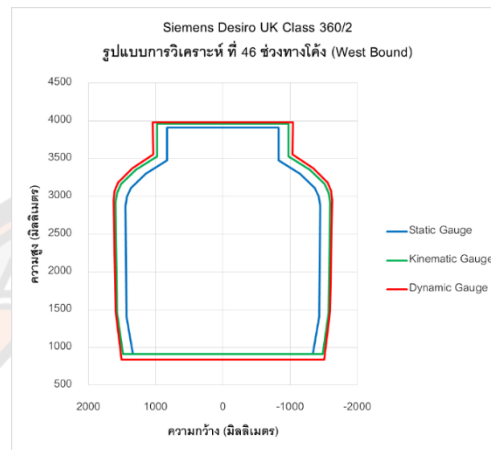
ภาพ 96 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 44

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 46 ในช่วงทางโค้งทิศทาง West Bound โดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 20 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทาง อยู่ในสภาพดี และล้ออยู่ในสภาพสมบูรณ์ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 215 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 72 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 97



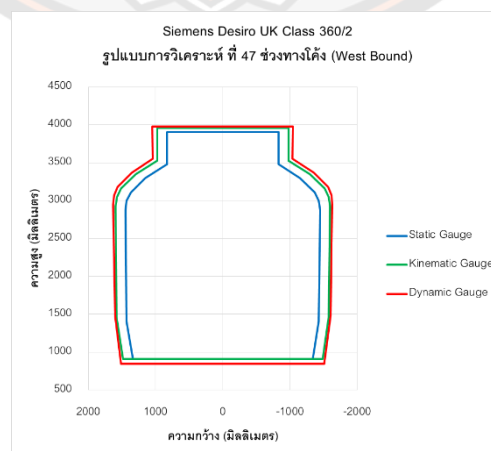
ภาพ 97 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 45

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 45 ในช่วงทางโค้งทิศทาง West Bound โดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 20 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทาง อยู่ในสภาพดี และล้อมีความสึกหรอ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 215 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 75 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 98



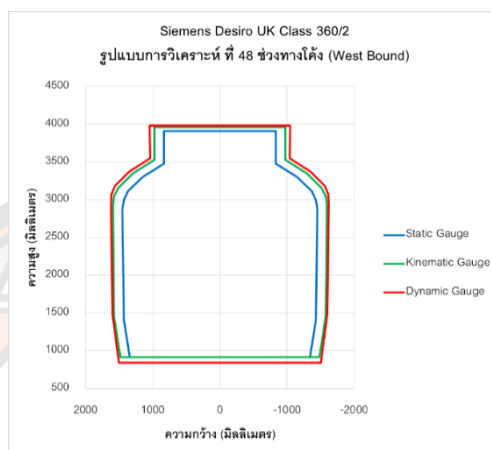
ภาพ 98 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 46

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 47 ในช่วงทางโค้งทิศทาง West Bound โดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 20 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทาง อยู่ในสภาพปานกลาง และล้ออยู่ในสภาพสมบูรณ์ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 218 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 71 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 99



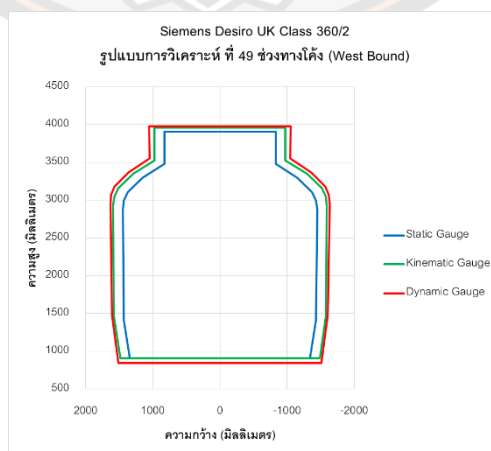
ภาพ 99 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 47

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 48 ในช่วงทางโค้งทิศทาง West Bound โดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 20 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทาง อยู่ในสภาพปานกลาง และล้อมีความสึกหรอ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 220 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 75 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 100



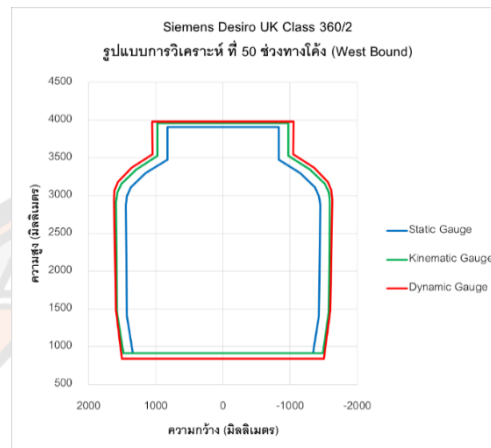
ภาพ 100 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 48

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 50 ในช่วงทางโค้งทิศทาง West Bound โดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 40 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทาง อยู่ในสภาพดี และล้ออยู่ในสภาพสมบูรณ์ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 226 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 72 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 101



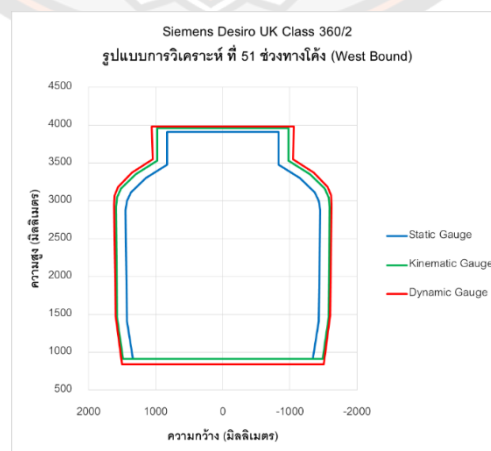
ภาพ 101 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 49

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 49 ในช่วงทางโค้งทิศทาง West Bound โดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 40 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทาง อยู่ในสภาพดี และล้อมีความสึกหรอ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 226 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 74 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 102



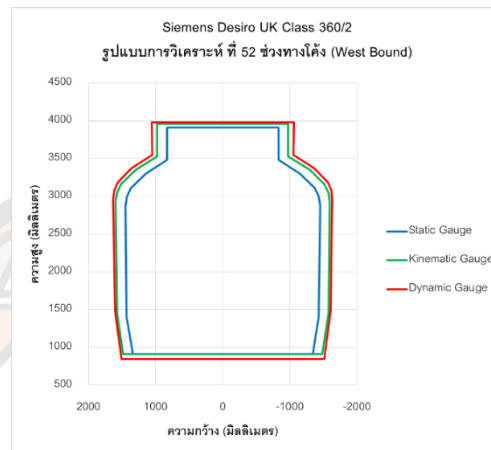
ภาพ 102 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 50

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 51 ในช่วงทางโค้งทิศทาง West Bound โดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 40 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทาง อยู่ในสภาพปานกลาง และล้ออยู่ในสภาพสมบูรณ์ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 228 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 73 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 103



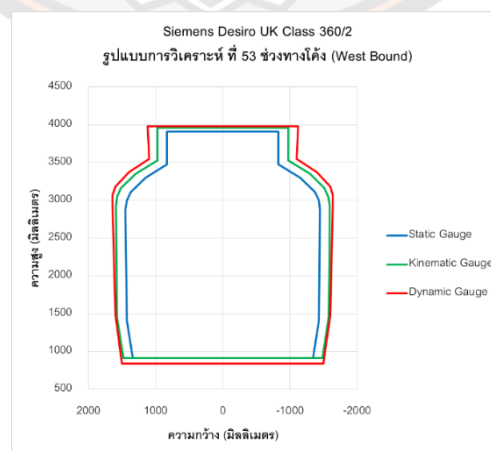
ภาพ 103 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 51

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 52 ในช่วงทางโค้งทิศทาง West Bound โดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 40 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทาง อยู่ในสภาพปานกลาง และล้อมีความสึกหรอ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 230 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 71 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 104



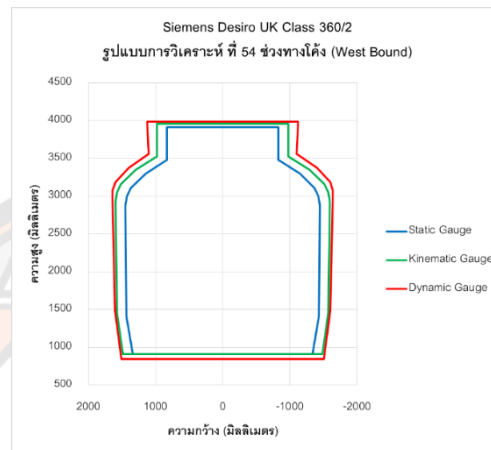
ภาพ 104 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 52

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 54 ในช่วงทางโค้งทิศทาง West Bound โดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 60 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทาง อยู่ในสภาพดี และล้ออยู่ในสภาพสมบูรณ์ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 289 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 72 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 105



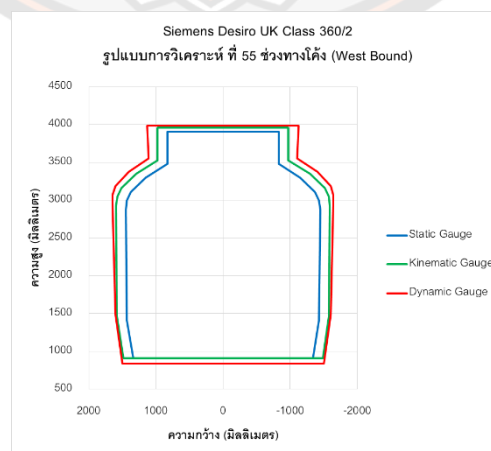
ภาพ 105 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 53

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 53 ในช่วงทางโค้งทิศทาง West Bound โดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 60 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทาง อยู่ในสภาพดี และล้อมีความสึกหรอ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 293 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 78 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 106



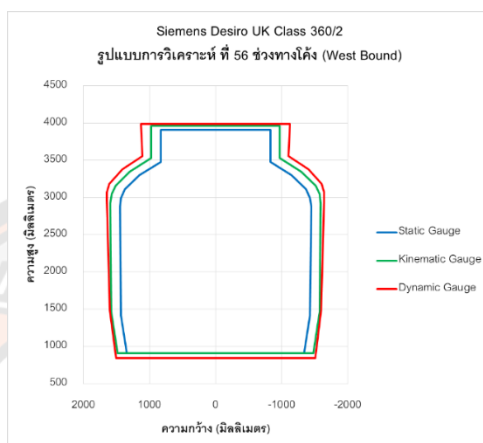
ภาพ 106 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 54

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 55 ในช่วงทางโค้งทิศทาง West Bound โดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 60 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทาง อยู่ในสภาพปานกลาง และล้ออยู่ในสภาพสมบูรณ์ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 298 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 76 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 107



ภาพ 107 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 55

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 56 ในช่วงทางโค้งทิศทาง West Bound โดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 60 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทาง อยู่ในสภาพปานกลาง และล้อมีความสึกหรอ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 300 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 78 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 108



ภาพ 108 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 56

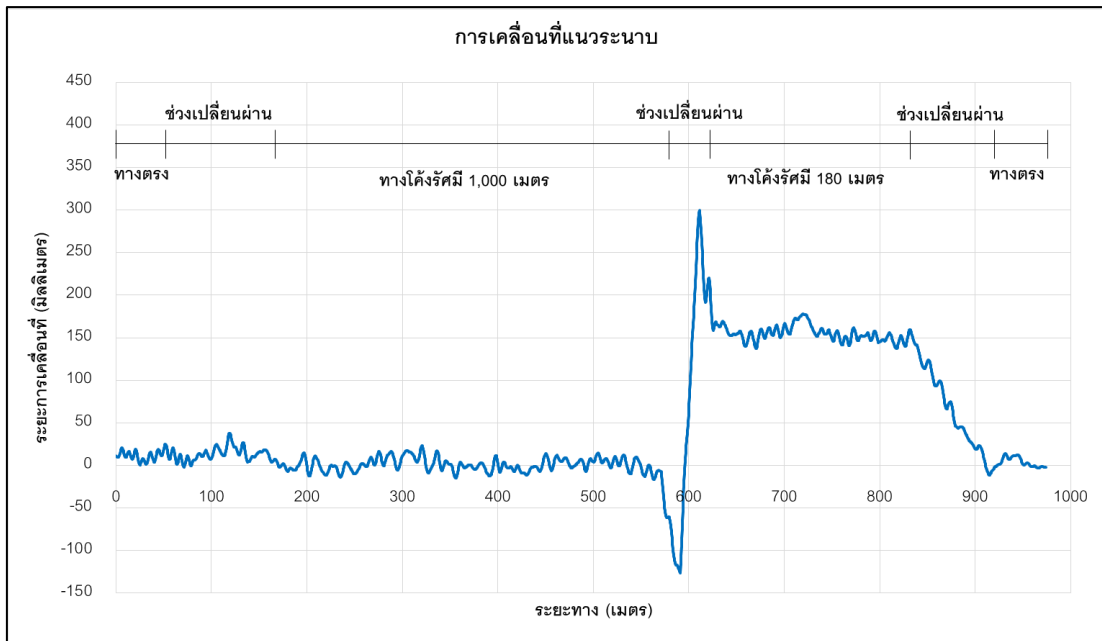
จากผลการวิเคราะห์พลวัตของรถไฟรุ่น Siemens Desiro UK Class 360/2 ทั้งหมด 56 รูปแบบการวิเคราะห์ ดังแสดงในตาราง 4 พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 300 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 109 และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 78 มิลลิเมตร จากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 56 ดังแสดงในภาพ 110

ตาราง 4 ระยะการเคลื่อนที่สูงสุด ของรถไฟรุ่น Siemens Desiro UK Class 360/2

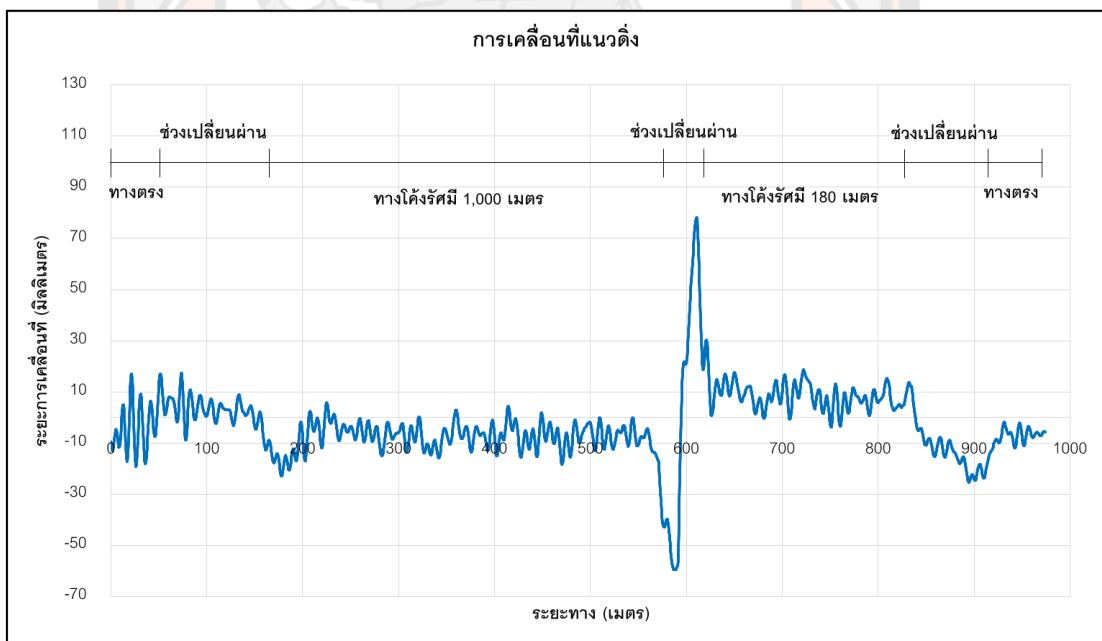
รูปแบบการวิเคราะห์	เส้นทาง	ความเร็ว (กม./ชม.)	ความไม่สม่ำเสมอของผิวทาง	การสึกหรอของล้อ	การเคลื่อนที่สูงสุด (มิลลิเมตร)	
					แนวระนาบ	แนวตั้ง
1	ทางตรง	20	สภาพดี	สมบูรณ์	23	45
2	ทางตรง	20	สภาพดี	สึกหรอ	23	51
3	ทางตรง	20	สภาพปานกลาง	สมบูรณ์	24	45
4	ทางตรง	20	สภาพปานกลาง	สึกหรอ	26	45
5	ทางตรง	40	สภาพดี	สมบูรณ์	26	51
6	ทางตรง	40	สภาพดี	สึกหรอ	26	53
7	ทางตรง	40	สภาพปานกลาง	สมบูรณ์	27	53
8	ทางตรง	40	สภาพปานกลาง	สึกหรอ	28	51
9	ทางตรง	60	สภาพดี	สมบูรณ์	29	45
10	ทางตรง	60	สภาพดี	สึกหรอ	29	51
11	ทางตรง	60	สภาพปานกลาง	สมบูรณ์	32	45
12	ทางตรง	60	สภาพปานกลาง	สึกหรอ	33	50
13	ทางตรง	80	สภาพดี	สมบูรณ์	34	57
14	ทางตรง	80	สภาพดี	สึกหรอ	35	57
15	ทางตรง	80	สภาพปานกลาง	สมบูรณ์	36	48
16	ทางตรง	80	สภาพปานกลาง	สึกหรอ	39	48
17	ทางตรง	100	สภาพดี	สมบูรณ์	39	53
18	ทางตรง	100	สภาพดี	สึกหรอ	40	53
19	ทางตรง	100	สภาพปานกลาง	สมบูรณ์	43	47
20	ทางตรง	100	สภาพปานกลาง	สึกหรอ	43	59
21	ทางตรง	120	สภาพดี	สมบูรณ์	44	58
22	ทางตรง	120	สภาพดี	สึกหรอ	46	47
23	ทางตรง	120	สภาพปานกลาง	สมบูรณ์	47	53
24	ทางตรง	120	สภาพปานกลาง	สึกหรอ	47	58
25	ทางตรง	140	สภาพดี	สมบูรณ์	50	58
26	ทางตรง	140	สภาพดี	สึกหรอ	53	54
27	ทางตรง	140	สภาพปานกลาง	สมบูรณ์	56	58
28	ทางตรง	140	สภาพปานกลาง	สึกหรอ	57	59
29	ทางตรง	160	สภาพดี	สมบูรณ์	58	54

รูปแบบการวิเคราะห์	เส้นทาง	ความเร็ว (กม./ชม.)	ความไม่สม่ำเสมอของผิวทาง	การสึกหรอของล้อ	การเคลื่อนที่สูงสุด (มิลลิเมตร)	
					แนวระนาบ	แนวตั้ง
30	ทางตรง	160	สภาพดี	สึกหรอ	62	54
31	ทางตรง	160	สภาพปานกลาง	สมบูรณ์	65	56
32	ทางตรง	160	สภาพปานกลาง	สึกหรอ	77	57
33	ทางโค้ง (EB)	20	สภาพดี	สมบูรณ์	197	72
34	ทางโค้ง (EB)	20	สภาพดี	สึกหรอ	201	73
35	ทางโค้ง (EB)	20	สภาพปานกลาง	สมบูรณ์	202	71
36	ทางโค้ง (EB)	20	สภาพปานกลาง	สึกหรอ	203	72
37	ทางโค้ง (EB)	40	สภาพดี	สมบูรณ์	205	62
38	ทางโค้ง (EB)	40	สภาพดี	สึกหรอ	206	66
39	ทางโค้ง (EB)	40	สภาพปานกลาง	สมบูรณ์	209	66
40	ทางโค้ง (EB)	40	สภาพปานกลาง	สึกหรอ	211	65
41	ทางโค้ง (EB)	60	สภาพดี	สมบูรณ์	252	70
42	ทางโค้ง (EB)	60	สภาพดี	สึกหรอ	255	70
43	ทางโค้ง (EB)	60	สภาพปานกลาง	สมบูรณ์	258	66
44	ทางโค้ง (EB)	60	สภาพปานกลาง	สึกหรอ	259	67
45	ทางโค้ง (WB)	20	สภาพดี	สมบูรณ์	215	72
46	ทางโค้ง (WB)	20	สภาพดี	สึกหรอ	215	75

รูปแบบการวิเคราะห์	เส้นทาง	ความเร็ว (กม./ชม.)	ความไม่สม่ำเสมอของผิวทาง	การสึกหรอของล้อ	การเคลื่อนที่สูงสุด (มิลลิเมตร)	
					แนวระนาบ	แนวตั้ง
47	ทางโค้ง (WB)	20	สภาพปานกลาง	สมบูรณ์	218	71
48	ทางโค้ง (WB)	20	สภาพปานกลาง	สึกหรอ	220	75
49	ทางโค้ง (WB)	40	สภาพดี	สมบูรณ์	226	72
50	ทางโค้ง (WB)	40	สภาพดี	สึกหรอ	226	74
51	ทางโค้ง (WB)	40	สภาพปานกลาง	สมบูรณ์	228	73
52	ทางโค้ง (WB)	40	สภาพปานกลาง	สึกหรอ	230	71
53	ทางโค้ง (WB)	60	สภาพดี	สมบูรณ์	289	72
54	ทางโค้ง (WB)	60	สภาพดี	สึกหรอ	293	78
55	ทางโค้ง (WB)	60	สภาพปานกลาง	สมบูรณ์	298	76
56	ทางโค้ง (WB)	60	สภาพปานกลาง	สึกหรอ	300	78



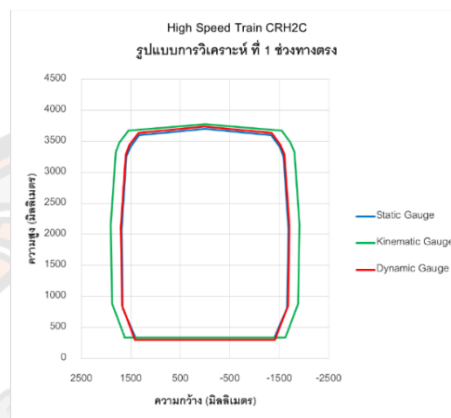
ภาพ 109 ระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 56



ภาพ 110 ระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 56

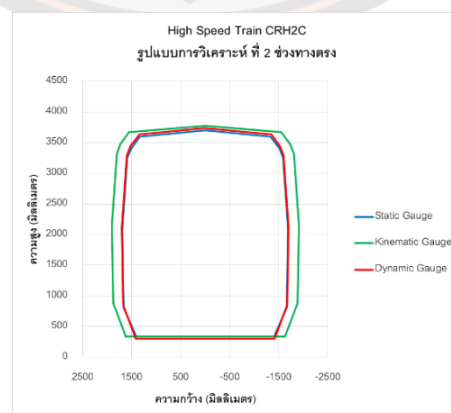
รถไฟรุ่น CRH2C

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 1 ในช่วงทางตรงโดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 20 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทางอยู่ในสภาพดี และล้ออยู่ในสภาพสมบูรณ์ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 12 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 36 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 111



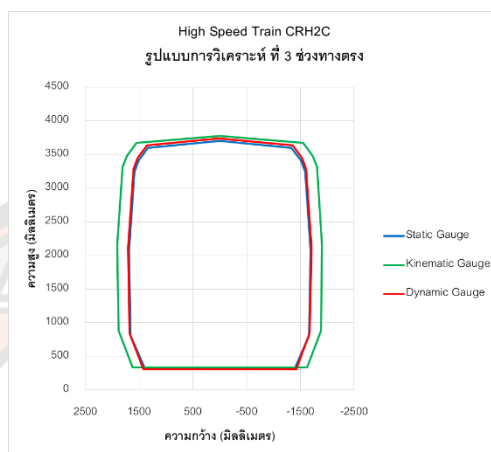
ภาพ 111 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 1

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 2 ในช่วงทางตรงโดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 20 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทางอยู่ในสภาพดี และล้อมีความสึกหรอ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 14 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 37 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 112



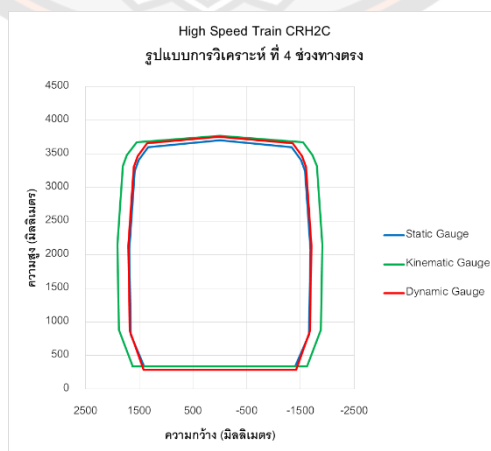
ภาพ 112 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 2

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 3 ในช่วงทางตรงโดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 20 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทางอยู่ในสภาพปานกลาง และล้ออยู่ในสภาพสมบูรณ์ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 21 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 33 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 113



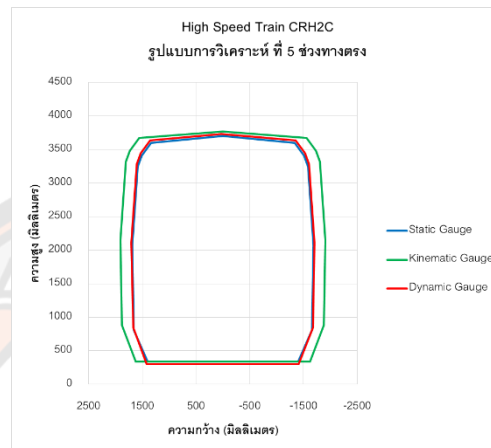
ภาพ 113 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 3

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 4 ในช่วงทางตรงโดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 20 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทางอยู่ในสภาพปานกลาง และล้อมีความสึกหรอ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 21 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 55 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 114



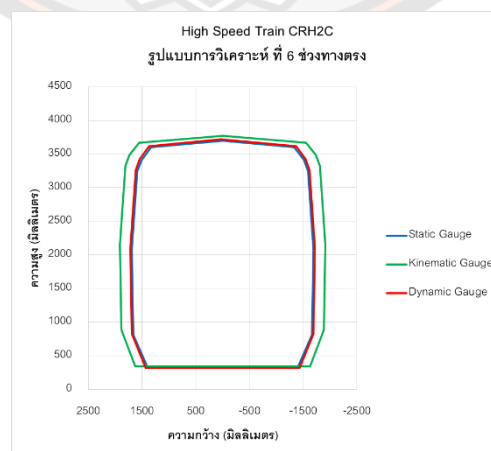
ภาพ 114 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 4

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 5 ในช่วงทางตรงโดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 40 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทางอยู่ในสภาพดี และล้ออยู่ในสภาพสมบูรณ์ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 23 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 36 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 115



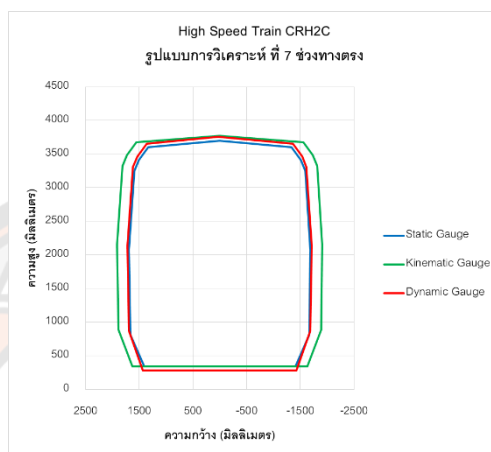
ภาพ 115 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 5

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 6 ในช่วงทางตรงโดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 40 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทางอยู่ในสภาพดี และล้อมีความสึกหรอ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 27 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 17 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 116



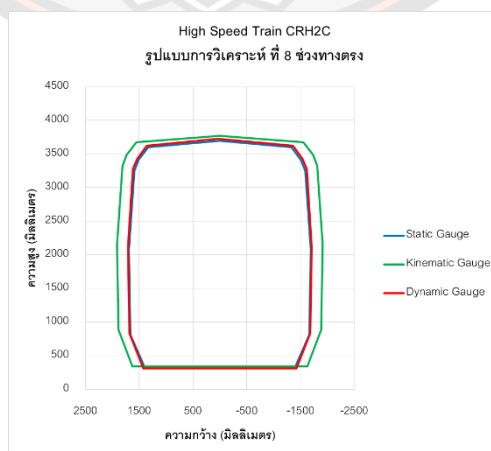
ภาพ 116 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 6

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 7 ในช่วงทางตรงโดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 40 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทางอยู่ในสภาพปานกลาง และล้ออยู่ในสภาพสมบูรณ์ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 27 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 56 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 117



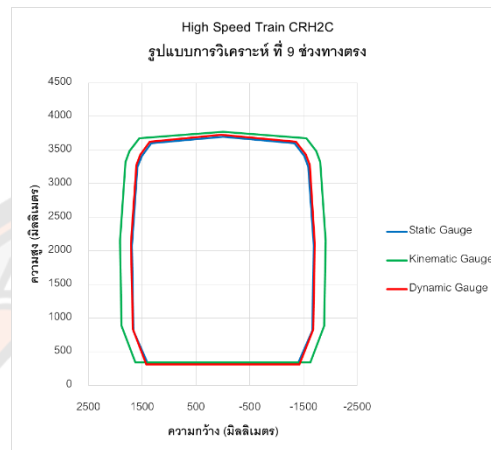
ภาพ 117 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 7

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 8 ในช่วงทางตรงโดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 40 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทางอยู่ในสภาพปานกลาง และล้อมีความสึกหรอ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 29 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 23 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 118



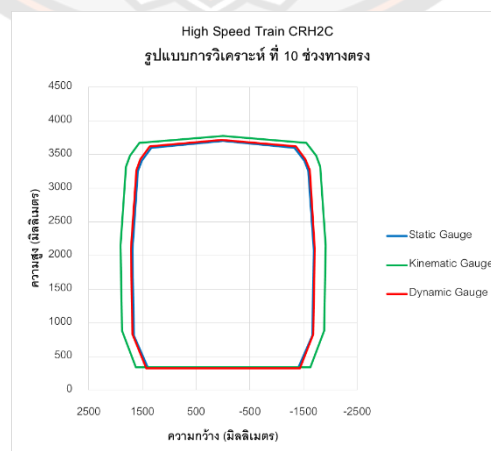
ภาพ 118 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 8

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 9 ในช่วงทางตรงโดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 60 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทางอยู่ในสภาพดี และล้ออยู่ในสภาพสมบูรณ์ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 30 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 25 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 119



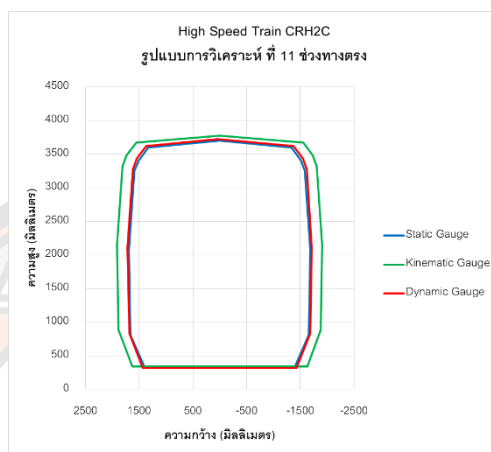
ภาพ 119 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 9

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 10 ในช่วงทางตรงโดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 60 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทางอยู่ในสภาพดี และล้อมีความสึกหรอ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 33 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 19 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 120



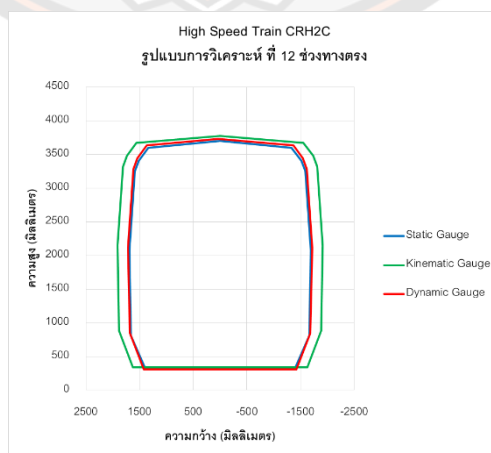
ภาพ 120 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 10

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 11 ในช่วงทางตรงโดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 60 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทางอยู่ในสภาพปานกลาง และล้ออยู่ในสภาพสมบูรณ์ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 33 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 21 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 121



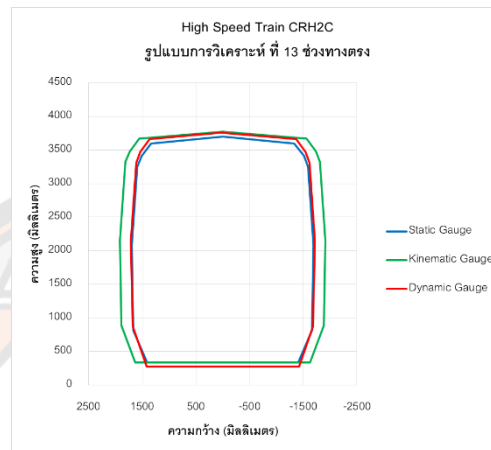
ภาพ 121 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 11

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 12 ในช่วงทางตรงโดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 60 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทางอยู่ในสภาพปานกลาง และล้อมีความสึกหรอ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 33 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 33 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 122



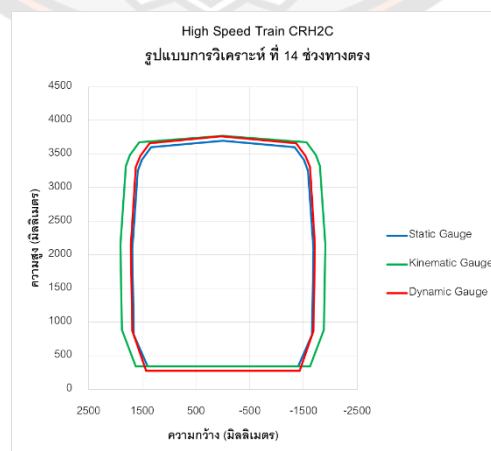
ภาพ 122 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 12

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 13 ในช่วงทางตรงโดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 80 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทางอยู่ในสภาพดี และล้ออยู่ในสภาพสมบูรณ์ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 33 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 60 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 123



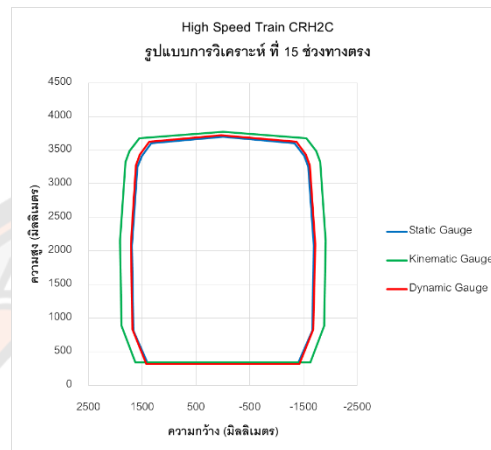
ภาพ 123 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 13

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 14 ในช่วงทางตรงโดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 80 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทางอยู่ในสภาพดี และล้อมีความสึกหรอ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 34 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 62 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 124



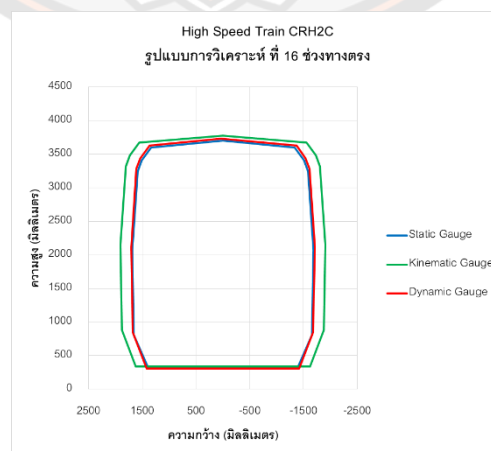
ภาพ 124 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 14

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 15 ในช่วงทางตรงโดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 80 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทางอยู่ในสภาพปานกลาง และล้ออยู่ในสภาพสมบูรณ์ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 35 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 24 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 125



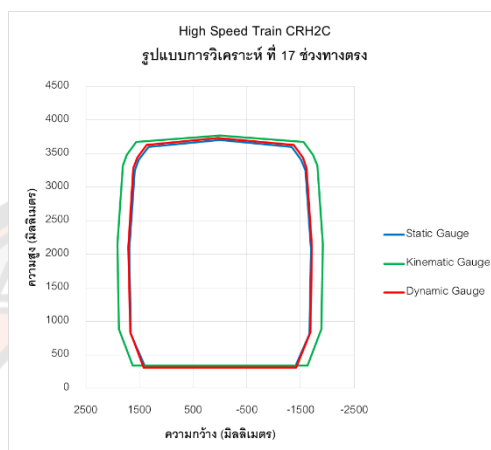
ภาพ 125 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 15

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 16 ในช่วงทางตรงโดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 80 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทางอยู่ในสภาพปานกลาง และล้อมีความสึกหรอ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 35 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 30 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 126



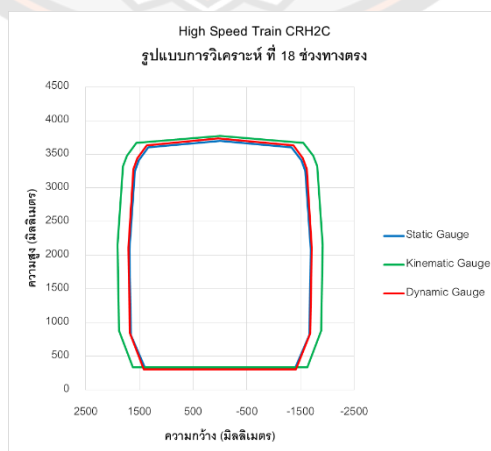
ภาพ 126 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 16

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 17 ในช่วงทางตรงโดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 100 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทางอยู่ในสภาพดี และล้ออยู่ในสภาพสมบูรณ์ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 37 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 31 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 127



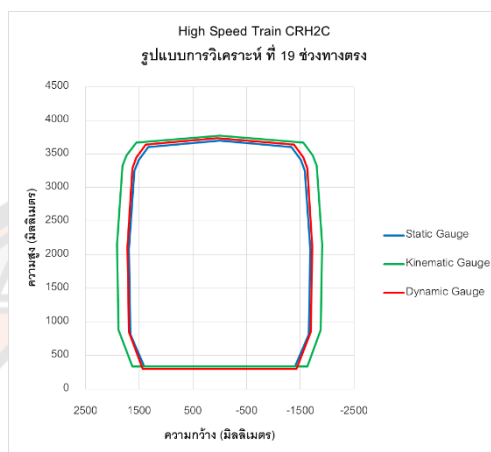
ภาพ 127 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 17

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 18 ในช่วงทางตรงโดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 100 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทางอยู่ในสภาพดี และล้อมีความสึกหรอ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 37 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 34 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 128



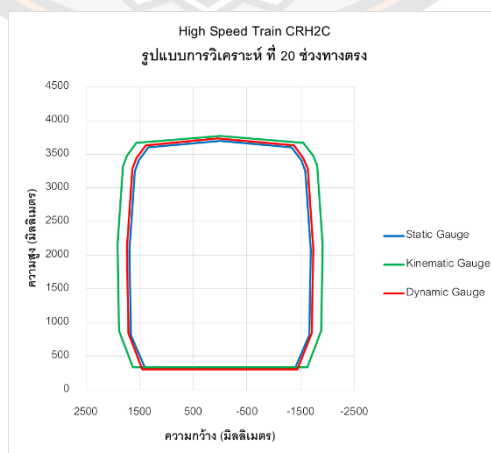
ภาพ 128 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 18

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 19 ในช่วงทางตรงโดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 100 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทางอยู่ในสภาพปานกลาง และล้ออยู่ในสภาพสมบูรณ์ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 41 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 38 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 129



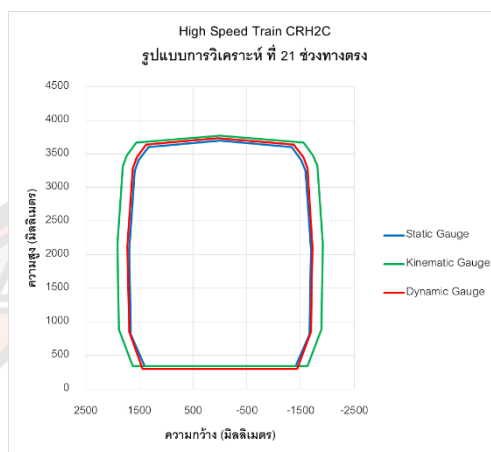
ภาพ 129 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 19

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 20 ในช่วงทางตรงโดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 100 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทางอยู่ในสภาพปานกลาง และล้อมีความสึกหรอ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 45 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 32 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 130



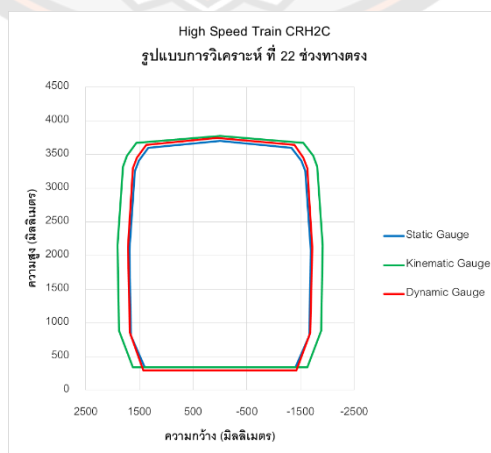
ภาพ 130 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 20

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 21 ในช่วงทางตรงโดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 120 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทางอยู่ในสภาพดี และล้ออยู่ในสภาพสมบูรณ์ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 45 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 39 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 131



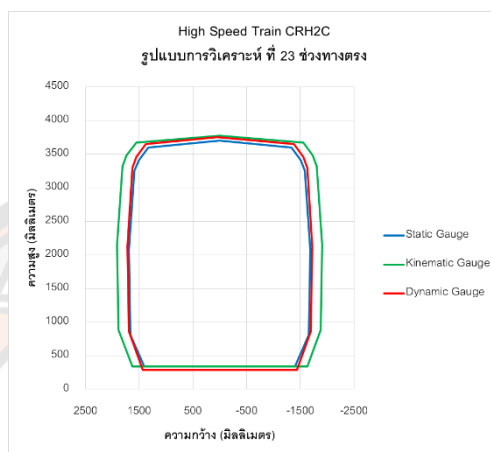
ภาพ 131 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 21

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 22 ในช่วงทางตรงโดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 120 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทางอยู่ในสภาพดี และล้อมีความสึกหรอ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 45 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 41 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 132



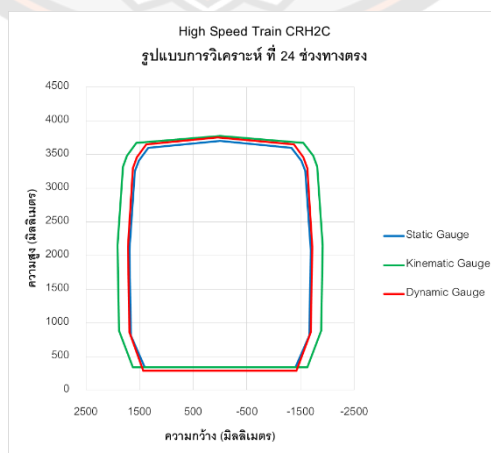
ภาพ 132 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 22

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 23 ในช่วงทางตรงโดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 120 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทางอยู่ในสภาพปานกลาง และล้ออยู่ในสภาพสมบูรณ์ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 47 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 49 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 133



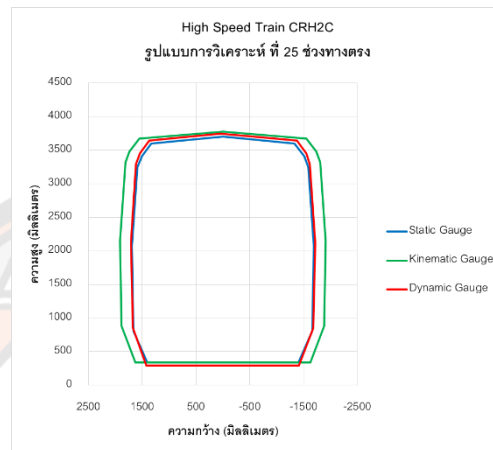
ภาพ 133 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 23

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 24 ในช่วงทางตรงโดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 120 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทางอยู่ในสภาพปานกลาง และล้อมีความสึกหรอ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 48 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 51 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 134



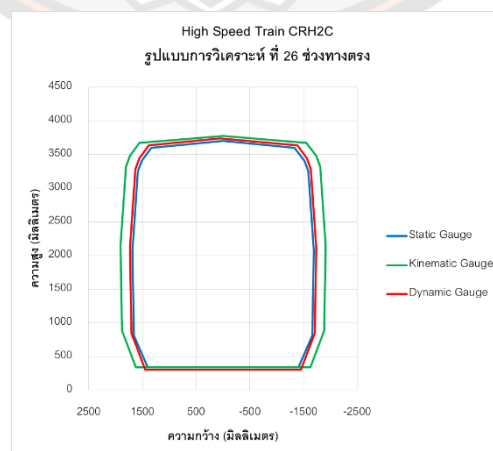
ภาพ 134 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 24

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 25 ในช่วงทางตรงโดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 140 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทางอยู่ในสภาพดี และล้ออยู่ในสภาพสมบูรณ์ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 49 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 44 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 135



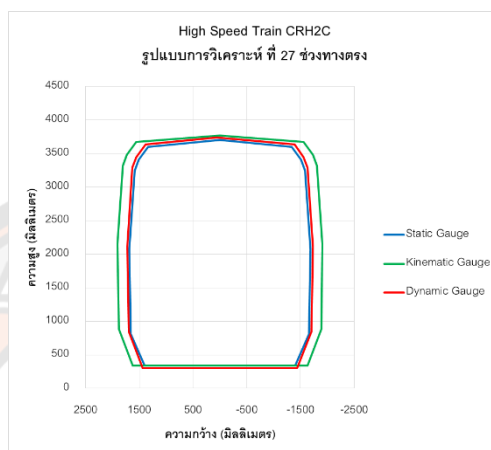
ภาพ 135 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 25

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 26 ในช่วงทางตรงโดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 140 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทางอยู่ในสภาพดี และล้อมีความสึกหรอ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 50 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 35 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 136



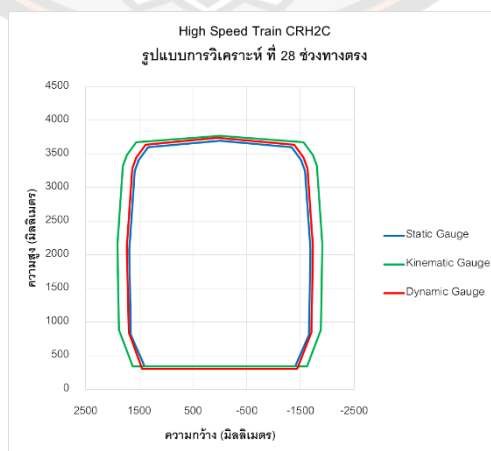
ภาพ 136 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 26

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 27 ในช่วงทางตรงโดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 140 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทางอยู่ในสภาพปานกลาง และล้ออยู่ในสภาพสมบูรณ์ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 50 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 37 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 137



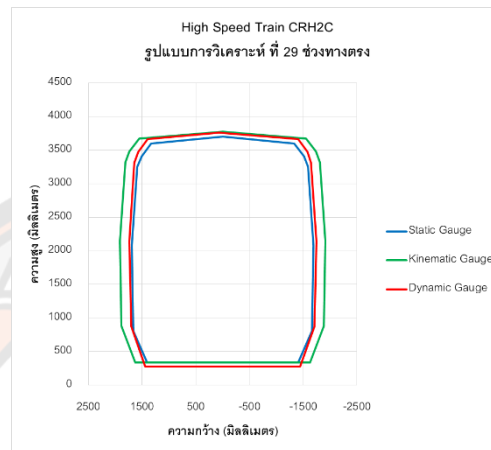
ภาพ 137 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 27

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 28 ในช่วงทางตรงโดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 140 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทางอยู่ในสภาพปานกลาง และล้อมีความสึกหรอ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 54 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 38 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 138



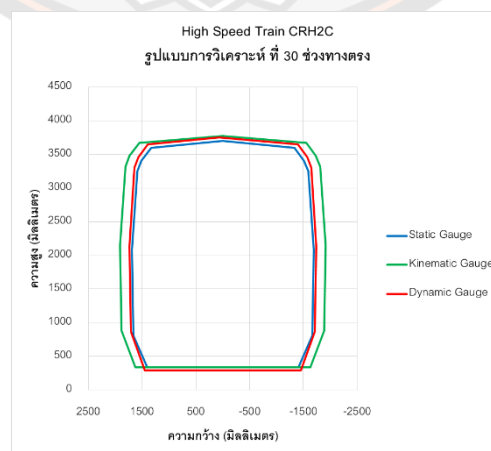
ภาพ 138 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 28

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 29 ในช่วงทางตรงโดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 160 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทางอยู่ในสภาพดี และล้ออยู่ในสภาพสมบูรณ์ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 60 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 59 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 139



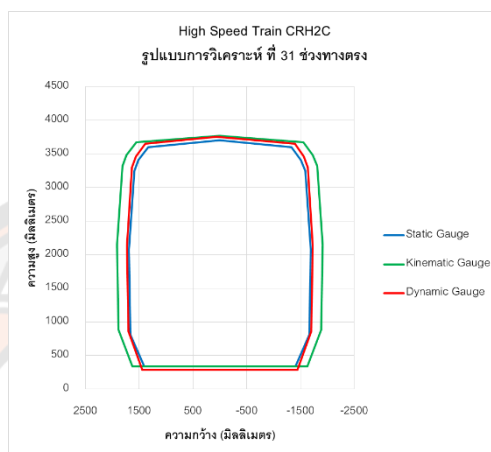
ภาพ 139 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 29

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 30 ในช่วงทางตรงโดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 160 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทางอยู่ในสภาพดี และล้อมีความสึกหรอ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 62 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 50 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 140



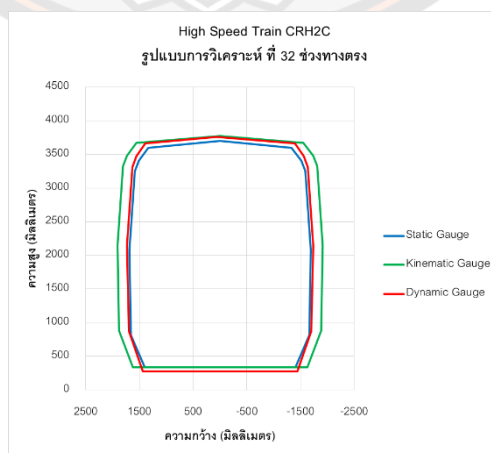
ภาพ 140 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 30

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 31 ในช่วงทางตรงโดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 160 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทางอยู่ในสภาพปานกลาง และล้ออยู่ในสภาพสมบูรณ์ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 69 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 52 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 141



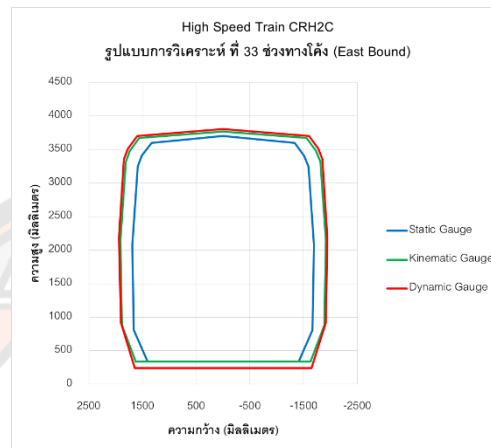
ภาพ 141 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 31

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 32 ในช่วงทางตรงโดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 160 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทางอยู่ในสภาพปานกลาง และล้อมีความสึกหรอ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 71 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 61 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 142



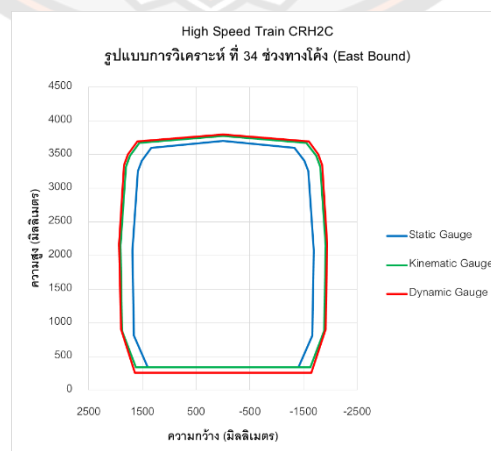
ภาพ 142 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 32

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 33 ในช่วงทางโค้งทิศทาง East Bound โดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 20 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทาง อยู่ในสภาพดี และล้ออยู่ในสภาพสมบูรณ์ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 250 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 85 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 143



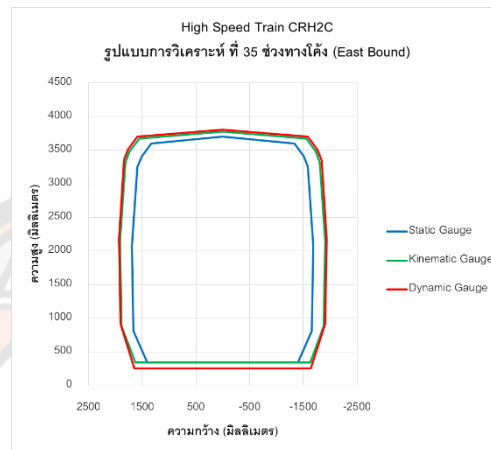
ภาพ 143 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 33

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 34 ในช่วงทางโค้งทิศทาง East Bound โดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 20 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทาง อยู่ในสภาพดี และล้อมีความสึกหรอ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 254 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 90 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 144



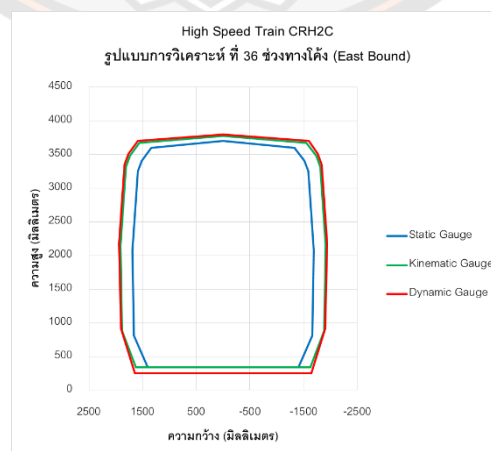
ภาพ 144 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 34

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 35 ในช่วงทางโค้งทิศทาง East Bound โดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 20 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทาง อยู่ในสภาพปานกลาง และล้ออยู่ในสภาพสมบูรณ์ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 255 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 105 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 145



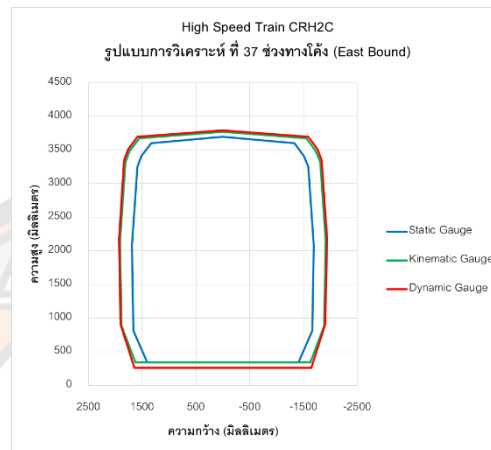
ภาพ 145 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 35

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 36 ในช่วงทางโค้งทิศทาง East Bound โดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 20 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทาง อยู่ในสภาพปานกลาง และล้อมีความสึกหรอ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 261 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 104 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 146



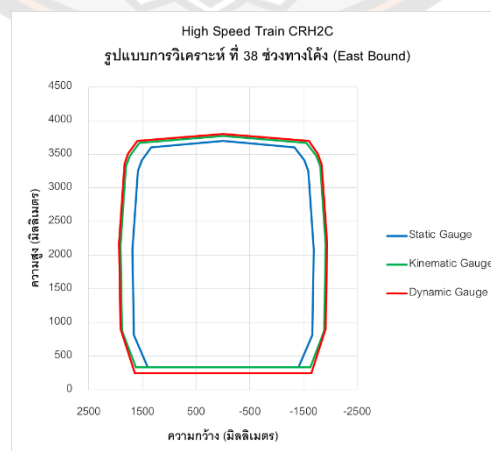
ภาพ 146 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 36

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 37 ในช่วงทางโค้งทิศทาง East Bound โดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 40 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทาง อยู่ในสภาพดี และล้ออยู่ในสภาพสมบูรณ์ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 262 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 96 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 147



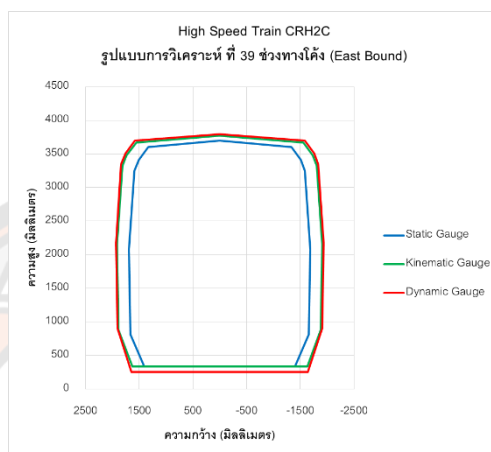
ภาพ 147 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 37

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 38 ในช่วงทางโค้งทิศทาง East Bound โดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 40 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทาง อยู่ในสภาพดี และล้อมีความสึกหรอ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 262 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 102 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 148



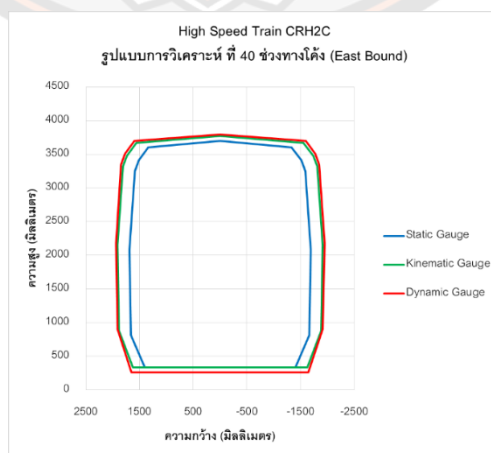
ภาพ 148 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 38

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 39 ในช่วงทางโค้งทิศทาง East Bound โดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 40 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทาง อยู่ในสภาพปานกลาง และล้ออยู่ในสภาพสมบูรณ์ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 267 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 108 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 149



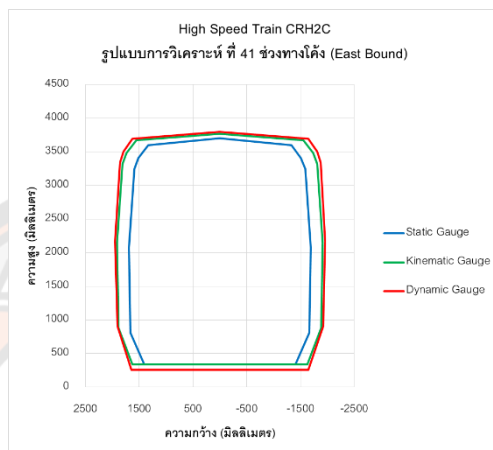
ภาพ 149 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 39

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 40 ในช่วงทางโค้งทิศทาง East Bound โดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 40 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทาง อยู่ในสภาพปานกลาง และล้อมีความสึกหรอ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 269 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 97 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 150



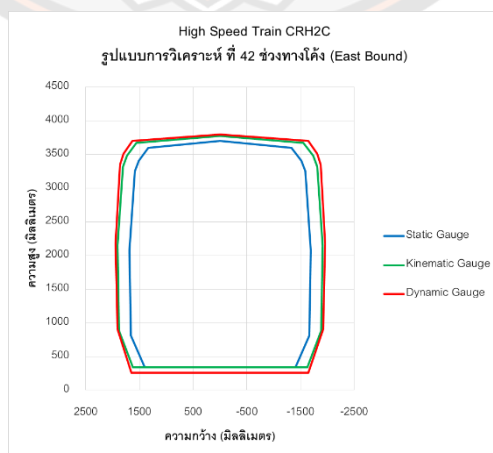
ภาพ 150 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 40

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 41 ในช่วงทางโค้งทิศทาง East Bound โดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 60 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทาง อยู่ในสภาพดี และล้ออยู่ในสภาพสมบูรณ์ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 310 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 95 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 151



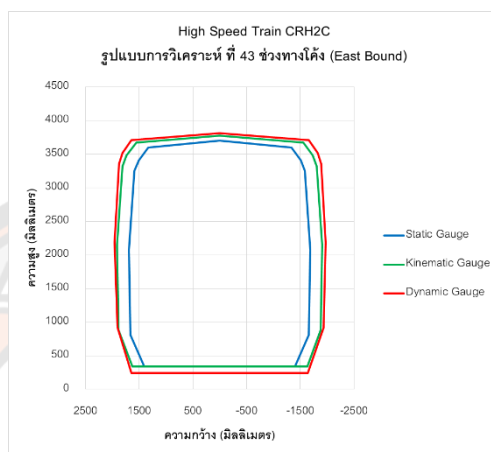
ภาพ 151 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 41

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 42 ในช่วงทางโค้งทิศทาง East Bound โดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 60 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทาง อยู่ในสภาพดี และล้อมีความสึกหรอ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 312 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 99 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 152



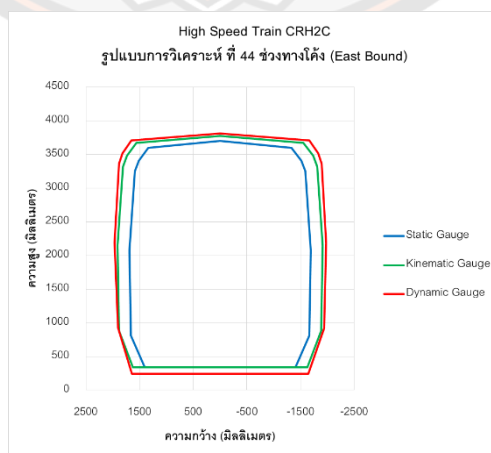
ภาพ 152 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 42

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 43 ในช่วงทางโค้งทิศทาง East Bound โดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 60 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทาง อยู่ในสภาพปานกลาง และล้ออยู่ในสภาพสมบูรณ์ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 330 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 111 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 153



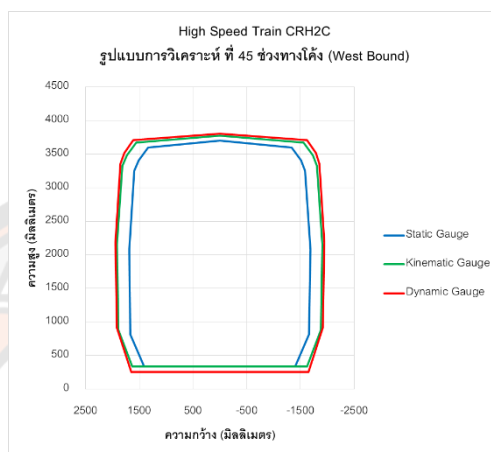
ภาพ 153 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 43

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 44 ในช่วงทางโค้งทิศทาง East Bound โดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 60 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทาง อยู่ในสภาพปานกลาง และล้อมีความสึกหรอ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 330 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 112 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 154



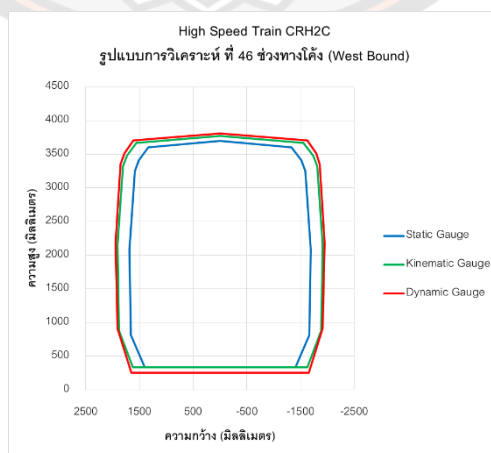
ภาพ 154 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 44

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 45 ในช่วงทางโค้งทิศทาง West Bound โดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 20 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทาง อยู่ในสภาพดี และล้ออยู่ในสภาพสมบูรณ์ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 288 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 106 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 155



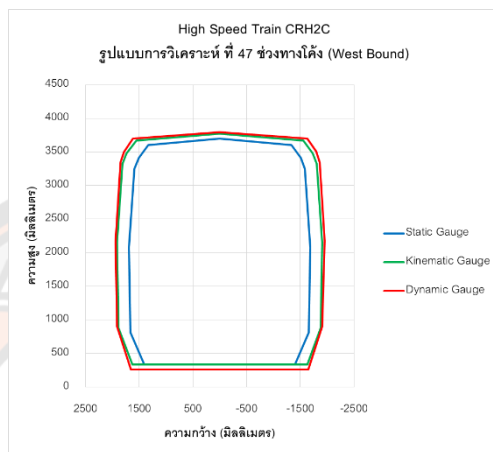
ภาพ 155 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 45

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 46 ในช่วงทางโค้งทิศทาง West Bound โดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 20 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทาง อยู่ในสภาพดี และล้อมีความสึกหรอ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 292 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 106 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 156



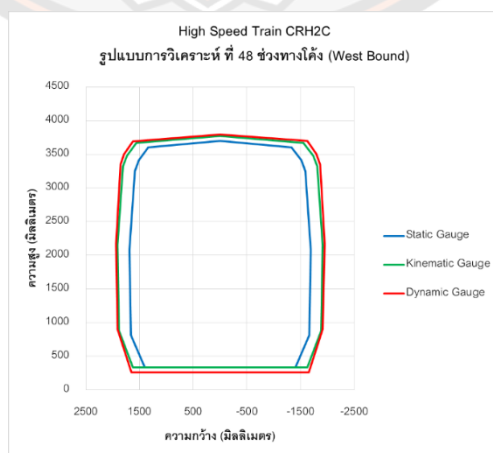
ภาพ 156 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 46

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 47 ในช่วงทางโค้งทิศทาง West Bound โดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 20 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทาง อยู่ในสภาพปานกลาง และล้ออยู่ในสภาพสมบูรณ์ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 295 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 96 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 157



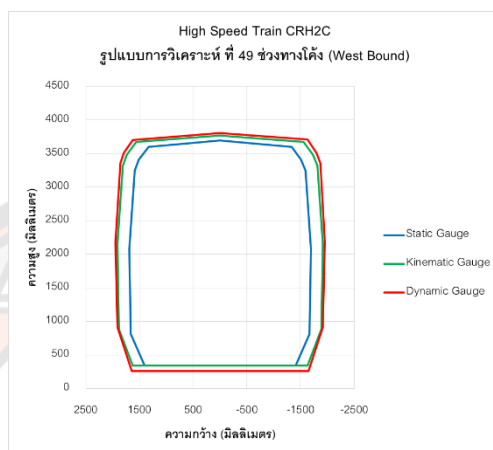
ภาพ 157 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 47

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 48 ในช่วงทางโค้งทิศทาง West Bound โดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 20 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทาง อยู่ในสภาพปานกลาง และล้อมีความสึกหรอ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 297 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 96 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 158



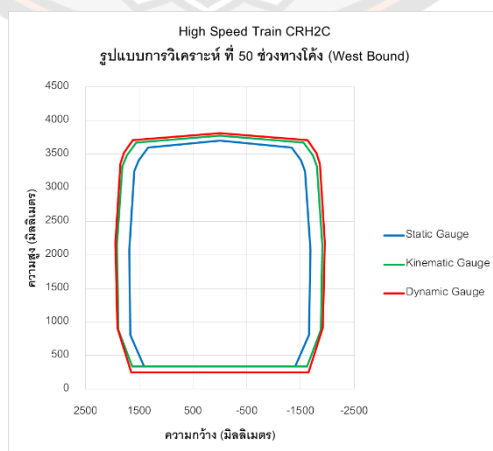
ภาพ 158 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 48

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 49 ในช่วงทางโค้งทิศทาง West Bound โดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 40 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทาง อยู่ในสภาพดี และล้ออยู่ในสภาพสมบูรณ์ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 299 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 108 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 159



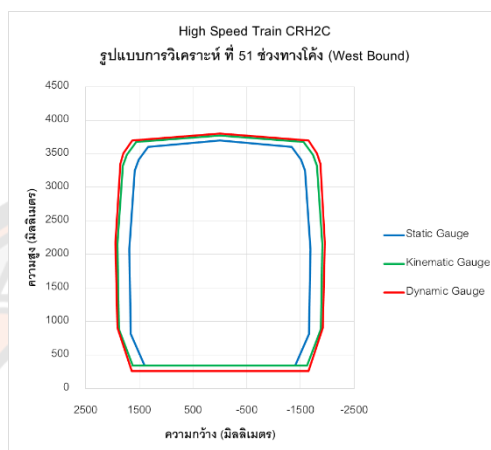
ภาพ 159 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 49

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 50 ในช่วงทางโค้งทิศทาง West Bound โดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 40 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทาง อยู่ในสภาพดี และล้อมีความสึกหรอ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 300 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 110 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 160



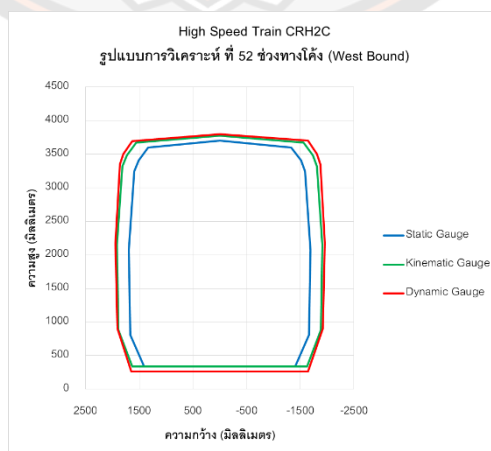
ภาพ 160 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 50

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 51 ในช่วงทางโค้งทิศทาง West Bound โดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 40 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทาง อยู่ในสภาพปานกลาง และล้ออยู่ในสภาพสมบูรณ์ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 312 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 102 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 161



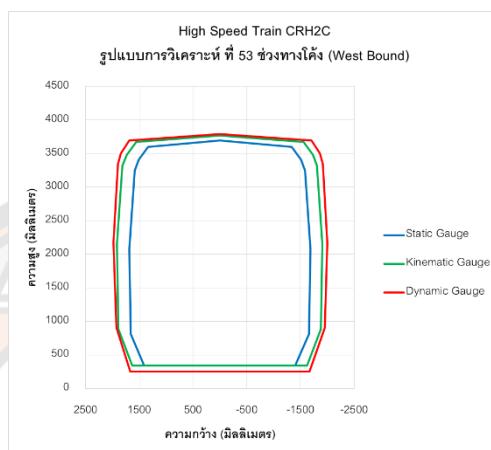
ภาพ 161 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 51

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 52 ในช่วงทางโค้งทิศทาง West Bound โดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 40 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทาง อยู่ในสภาพปานกลาง และล้อมีความสึกหรอ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 313 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 99 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 162



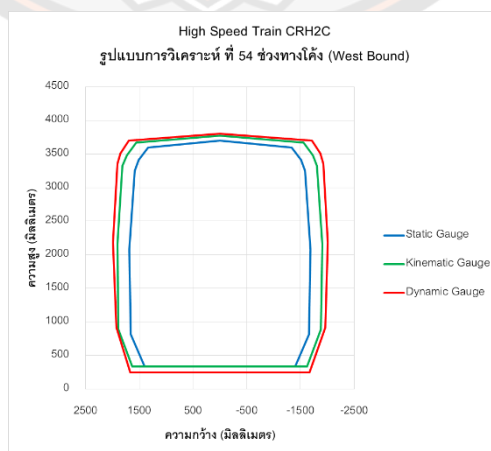
ภาพ 162 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 52

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 53 ในช่วงทางโค้งทิศทาง West Bound โดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 60 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทาง อยู่ในสภาพดี และล้ออยู่ในสภาพสมบูรณ์ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 373 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 98 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 163



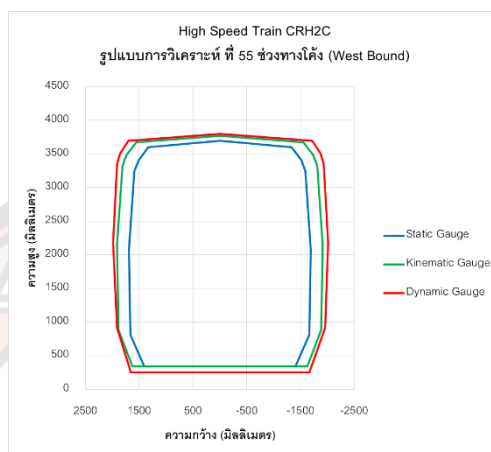
ภาพ 163 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 53

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 54 ในช่วงทางโค้งทิศทาง West Bound โดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 60 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทาง อยู่ในสภาพดี และล้อมีความสึกหรอ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 385 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 104 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 164



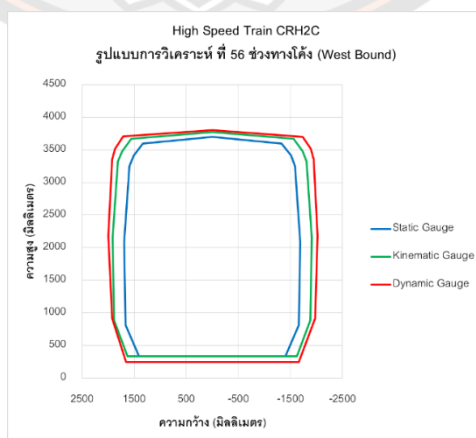
ภาพ 164 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 54

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 55 ในช่วงทางโค้งทิศทาง West Bound โดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 60 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทาง อยู่ในสภาพปานกลาง และล้ออยู่ในสภาพสมบูรณ์ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 389 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 100 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 165



ภาพ 165 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 55

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 56 ในช่วงทางโค้งทิศทาง West Bound โดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 60 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทาง อยู่ในสภาพปานกลาง และล้อมีความสึกหรอ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 403 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 106 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 166



ภาพ 166 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 56

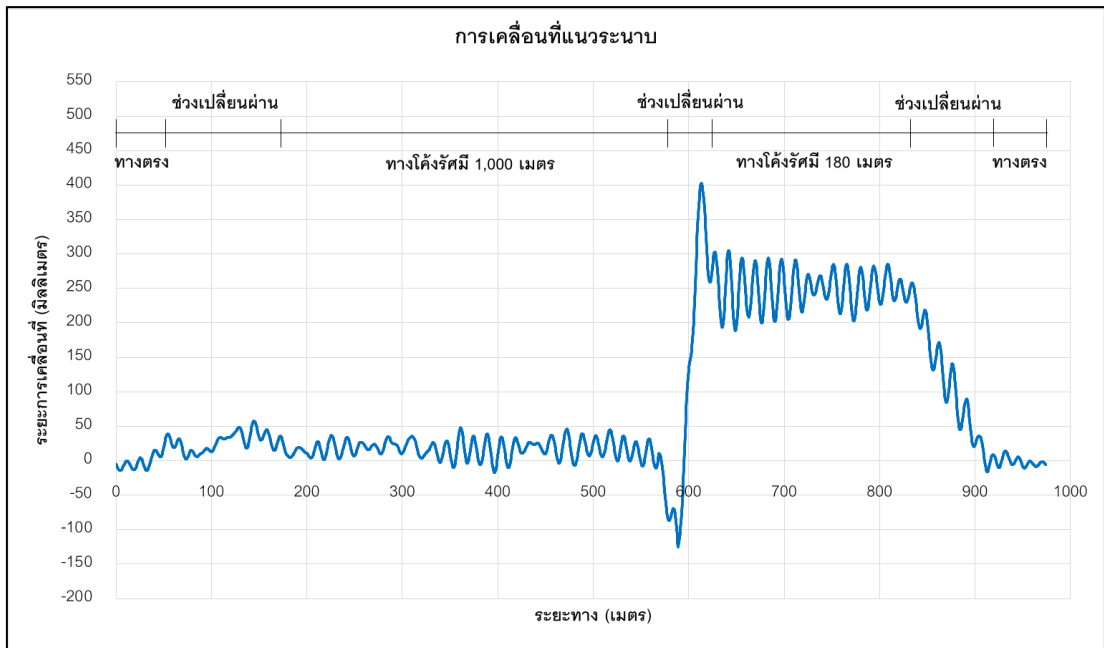
จากผลการวิเคราะห์พลวัตของรถไฟรุ่น CRH2C ทั้งหมด 56 รูปแบบการวิเคราะห์ ดังแสดงในตาราง 5 พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 403 มิลลิเมตร จากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 56 ดังแสดงในภาพ 167 และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 112 มิลลิเมตร จากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 44 ดังแสดงในภาพ 168

ตาราง 5 ระยะการเคลื่อนที่สูงสุด ของรถไฟรุ่น CRH2C

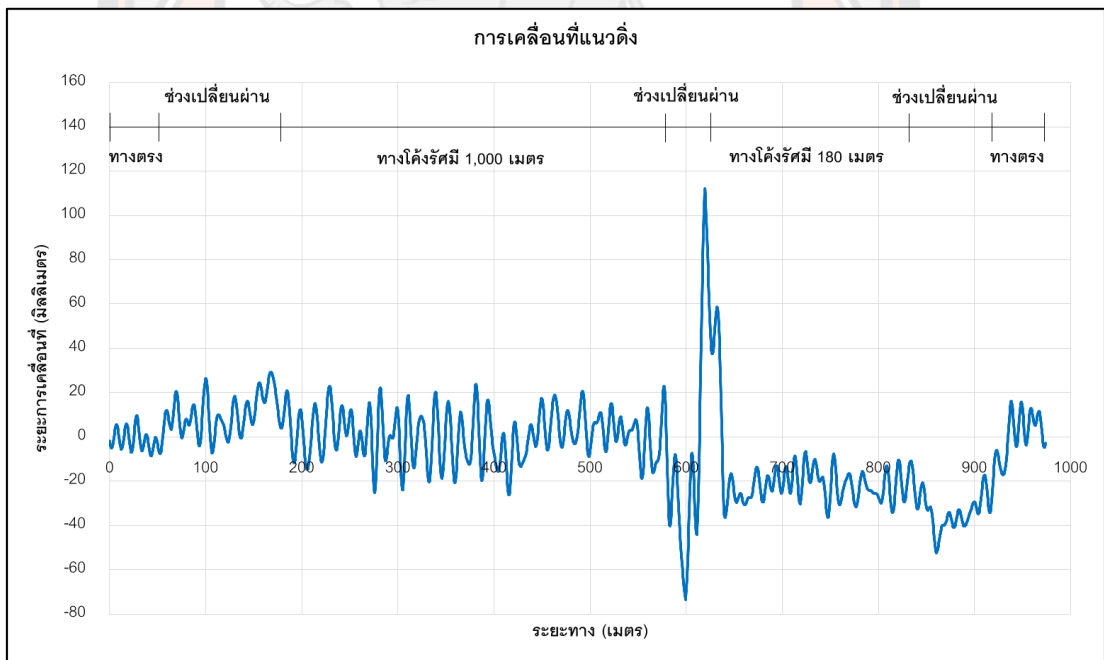
รูปแบบการวิเคราะห์	เส้นทาง	ความเร็ว (กม./ชม.)	ความไม่สม่ำเสมอของผิวทาง	การสึกหรอของล้อ	การเคลื่อนที่สูงสุด (มิลลิเมตร)	
					แนวระนาบ	แนวตั้ง
1	ทางตรง	20	สภาพดี	สมบูรณ์	12	36
2	ทางตรง	20	สภาพดี	สึกหรอ	14	37
3	ทางตรง	20	สภาพปานกลาง	สมบูรณ์	21	33
4	ทางตรง	20	สภาพปานกลาง	สึกหรอ	21	55
5	ทางตรง	40	สภาพดี	สมบูรณ์	23	36
6	ทางตรง	40	สภาพดี	สึกหรอ	27	17
7	ทางตรง	40	สภาพปานกลาง	สมบูรณ์	27	56
8	ทางตรง	40	สภาพปานกลาง	สึกหรอ	29	23
9	ทางตรง	60	สภาพดี	สมบูรณ์	30	25
10	ทางตรง	60	สภาพดี	สึกหรอ	33	19
11	ทางตรง	60	สภาพปานกลาง	สมบูรณ์	33	21
12	ทางตรง	60	สภาพปานกลาง	สึกหรอ	33	33
13	ทางตรง	80	สภาพดี	สมบูรณ์	33	60
14	ทางตรง	80	สภาพดี	สึกหรอ	34	62
15	ทางตรง	80	สภาพปานกลาง	สมบูรณ์	35	24
16	ทางตรง	80	สภาพปานกลาง	สึกหรอ	35	30
17	ทางตรง	100	สภาพดี	สมบูรณ์	37	31
18	ทางตรง	100	สภาพดี	สึกหรอ	37	34
19	ทางตรง	100	สภาพปานกลาง	สมบูรณ์	41	38
20	ทางตรง	100	สภาพปานกลาง	สึกหรอ	45	32
21	ทางตรง	120	สภาพดี	สมบูรณ์	45	39
22	ทางตรง	120	สภาพดี	สึกหรอ	45	41
23	ทางตรง	120	สภาพปานกลาง	สมบูรณ์	47	49

รูปแบบการวิเคราะห์	เส้นทาง	ความเร็ว (กม./ชม.)	ความไม่สม่ำเสมอของผิวทาง	การสึกหรอของล้อ	การเคลื่อนที่สูงสุด (มิลลิเมตร)	
					แนวระนาบ	แนวตั้ง
24	ทางตรง	120	สภาพปานกลาง	สึกหรอ	48	51
25	ทางตรง	140	สภาพดี	สมบูรณ์	49	44
26	ทางตรง	140	สภาพดี	สึกหรอ	50	35
27	ทางตรง	140	สภาพปานกลาง	สมบูรณ์	50	37
28	ทางตรง	140	สภาพปานกลาง	สึกหรอ	54	38
29	ทางตรง	160	สภาพดี	สมบูรณ์	60	59
30	ทางตรง	160	สภาพดี	สึกหรอ	62	50
31	ทางตรง	160	สภาพปานกลาง	สมบูรณ์	69	52
32	ทางตรง	160	สภาพปานกลาง	สึกหรอ	71	61
33	ทางโค้ง (EB)	20	สภาพดี	สมบูรณ์	250	85
34	ทางโค้ง (EB)	20	สภาพดี	สึกหรอ	254	90
35	ทางโค้ง (EB)	20	สภาพปานกลาง	สมบูรณ์	255	105
36	ทางโค้ง (EB)	20	สภาพปานกลาง	สึกหรอ	261	104
37	ทางโค้ง (EB)	40	สภาพดี	สมบูรณ์	262	96
38	ทางโค้ง (EB)	40	สภาพดี	สึกหรอ	262	102
39	ทางโค้ง (EB)	40	สภาพปานกลาง	สมบูรณ์	267	108
40	ทางโค้ง (EB)	40	สภาพปานกลาง	สึกหรอ	269	97
41	ทางโค้ง (EB)	60	สภาพดี	สมบูรณ์	310	95
42	ทางโค้ง (EB)	60	สภาพดี	สึกหรอ	312	99
43	ทางโค้ง (EB)	60	สภาพปานกลาง	สมบูรณ์	330	111

รูปแบบการวิเคราะห์	เส้นทาง	ความเร็ว (กม./ชม.)	ความไม่สม่ำเสมอของผิวทาง	การสึกหรอของล้อ	การเคลื่อนที่สูงสุด (มิลลิเมตร)	
					แนวระนาบ	แนวตั้ง
44	ทางโค้ง (EB)	60	สภาพปานกลาง	สึกหรอ	330	112
45	ทางโค้ง (WB)	20	สภาพดี	สมบูรณ์	288	106
46	ทางโค้ง (WB)	20	สภาพดี	สึกหรอ	292	106
47	ทางโค้ง (WB)	20	สภาพปานกลาง	สมบูรณ์	295	96
48	ทางโค้ง (WB)	20	สภาพปานกลาง	สึกหรอ	297	96
49	ทางโค้ง (WB)	40	สภาพดี	สมบูรณ์	299	108
50	ทางโค้ง (WB)	40	สภาพดี	สึกหรอ	300	110
51	ทางโค้ง (WB)	40	สภาพปานกลาง	สมบูรณ์	312	102
52	ทางโค้ง (WB)	40	สภาพปานกลาง	สึกหรอ	313	99
53	ทางโค้ง (WB)	60	สภาพดี	สมบูรณ์	373	98
54	ทางโค้ง (WB)	60	สภาพดี	สึกหรอ	385	104
55	ทางโค้ง (WB)	60	สภาพปานกลาง	สมบูรณ์	389	100
56	ทางโค้ง (WB)	60	สภาพปานกลาง	สึกหรอ	403	106



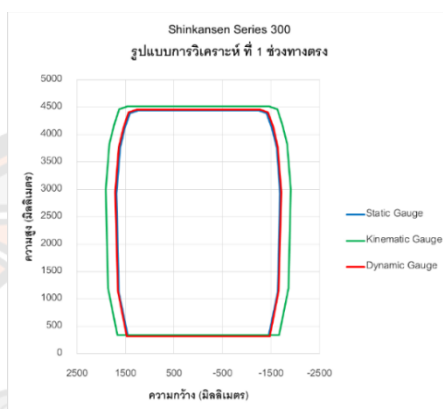
ภาพ 167 ระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 56



ภาพ 168 ระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 44

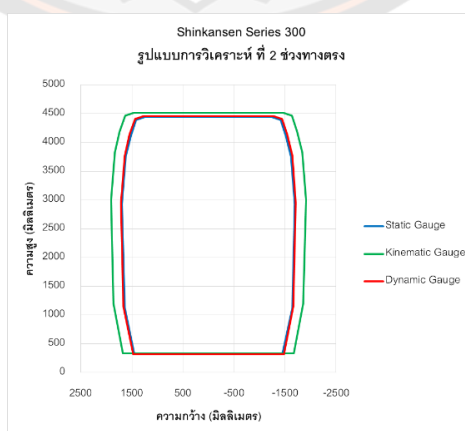
รถไฟรุ่น Shinkansen Series 300

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 1 ในช่วงทางตรงโดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 20 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทางอยู่ในสภาพดี และล้ออยู่ในสภาพสมบูรณ์ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 25 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 17 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 169



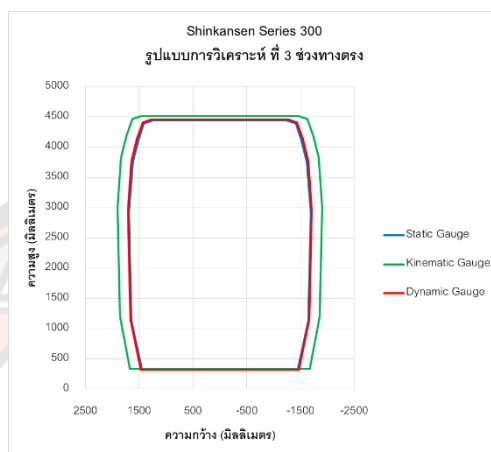
ภาพ 169 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 1

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 2 ในช่วงทางตรงโดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 20 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทางอยู่ในสภาพดี และล้อมีความสึกหรอ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 25 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 18 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 170



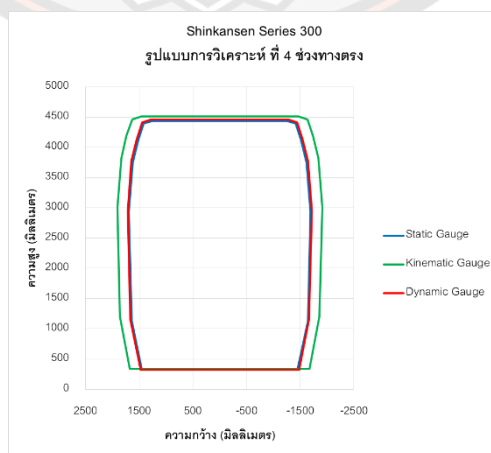
ภาพ 170 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 2

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 3 ในช่วงทางตรงโดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 20 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทางอยู่ในสภาพปานกลาง และล้ออยู่ในสภาพสมบูรณ์ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 26 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 20 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 171



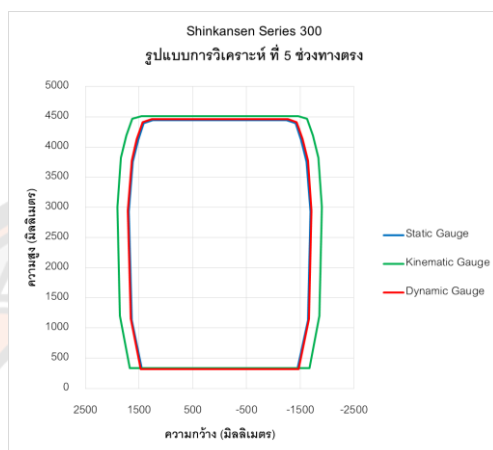
ภาพ 171 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 3

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 4 ในช่วงทางตรงโดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 20 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทางอยู่ในสภาพปานกลาง และล้อมีความสึกหรอ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 28 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 19 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 172



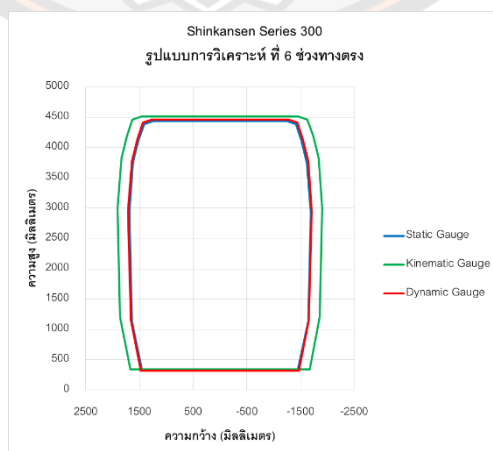
ภาพ 172 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 4

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 5 ในช่วงทางตรงโดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 40 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทางอยู่ในสภาพดี และล้ออยู่ในสภาพสมบูรณ์ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 28 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 20 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 173



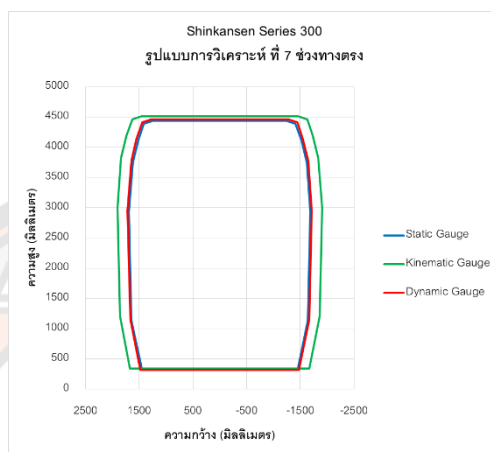
ภาพ 173 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 5

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 6 ในช่วงทางตรงโดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 40 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทางอยู่ในสภาพดี และล้อมีความสึกหรอ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 29 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 21 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 174



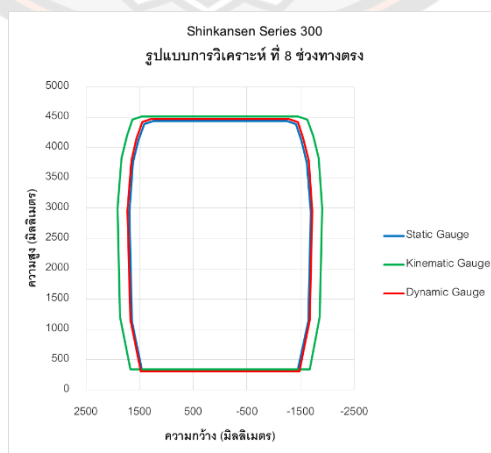
ภาพ 174 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 6

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 7 ในช่วงทางตรงโดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 40 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทางอยู่ในสภาพปานกลาง และล้ออยู่ในสภาพสมบูรณ์ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 30 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 21 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 175



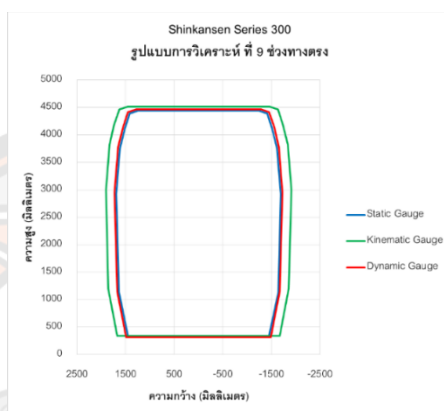
ภาพ 175 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 7

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 8 ในช่วงทางตรงโดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 40 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทางอยู่ในสภาพปานกลาง และล้อมีความสึกหรอ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 30 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 27 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 176



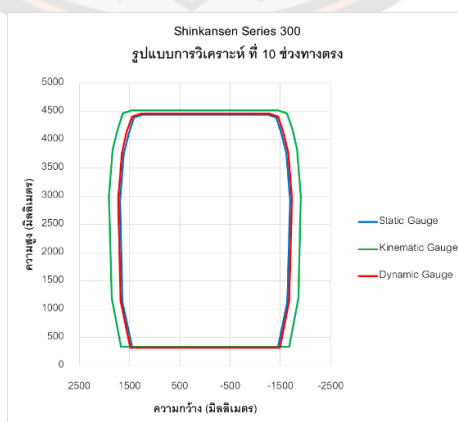
ภาพ 176 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 8

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 9 ในช่วงทางตรงโดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 60 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทางอยู่ในสภาพดี และล้ออยู่ในสภาพสมบูรณ์ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 31 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 23 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 177



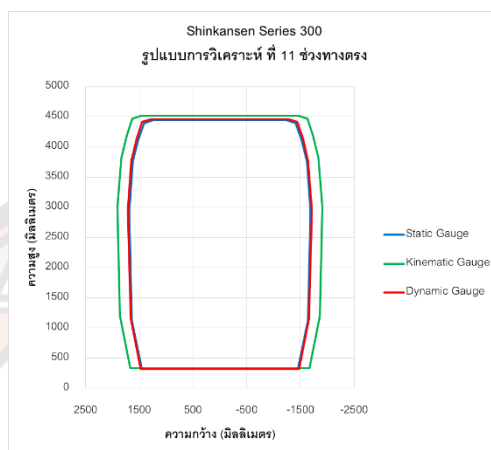
ภาพ 177 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 9

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 10 ในช่วงทางตรงโดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 60 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทางอยู่ในสภาพดี และล้อมีความสึกหรอ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 33 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 20 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 178



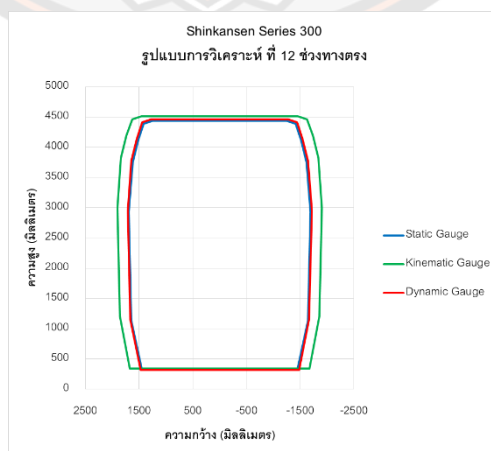
ภาพ 178 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 10

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 11 ในช่วงทางตรงโดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 60 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทางอยู่ในสภาพปานกลาง และล้ออยู่ในสภาพสมบูรณ์ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 33 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 23 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 179



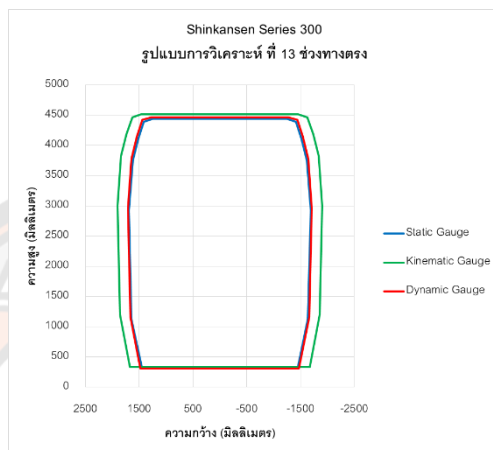
ภาพ 179 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 11

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 12 ในช่วงทางตรงโดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 60 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทางอยู่ในสภาพปานกลาง และล้อมีความสึกหรอ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 40 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 21 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 180



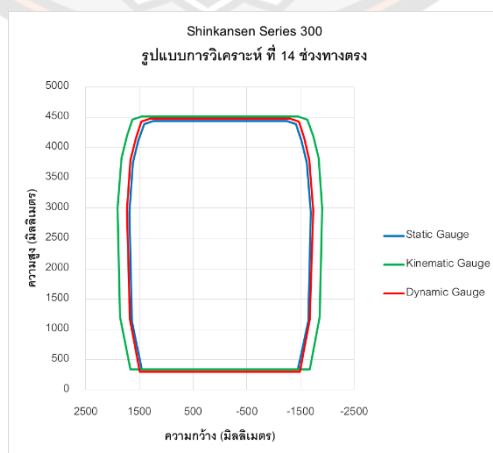
ภาพ 180 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 12

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 13 ในช่วงทางตรงโดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 80 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทางอยู่ในสภาพดี และล้ออยู่ในสภาพสมบูรณ์ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 40 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 30 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 181



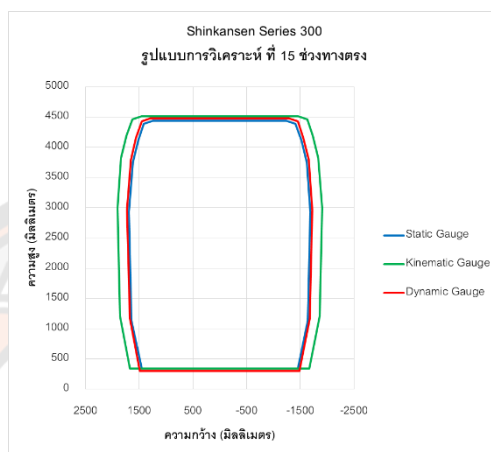
ภาพ 181 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 13

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 14 ในช่วงทางตรงโดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 80 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทางอยู่ในสภาพดี และล้อมีความสึกหรอ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 40 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 31 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 182



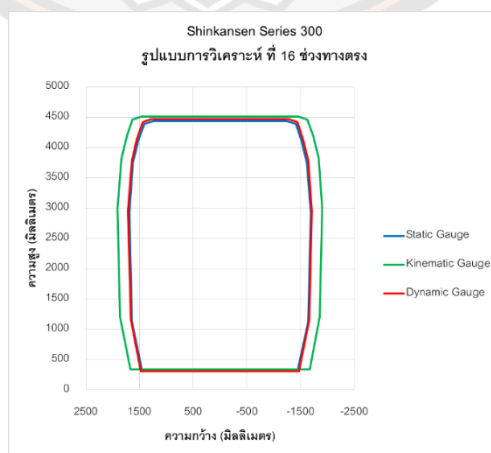
ภาพ 182 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 14

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 15 ในช่วงทางตรงโดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 80 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทางอยู่ในสภาพปานกลาง และล้ออยู่ในสภาพสมบูรณ์ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 41 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 32 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 183



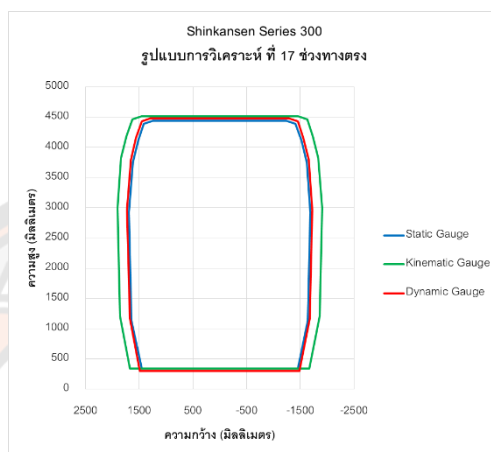
ภาพ 183 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 15

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 16 ในช่วงทางตรงโดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 80 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทางอยู่ในสภาพปานกลาง และล้อมีความสึกหรอ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 43 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 28 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 184



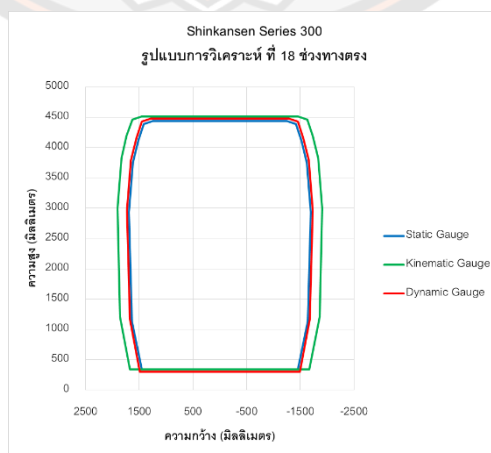
ภาพ 184 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 16

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 17 ในช่วงทางตรงโดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 100 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทางอยู่ในสภาพดี และล้ออยู่ในสภาพสมบูรณ์ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 43 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 35 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 185



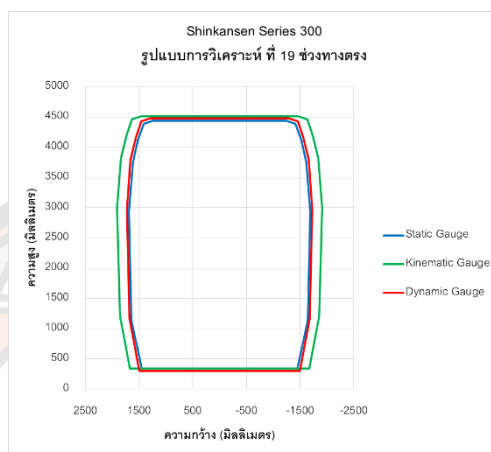
ภาพ 185 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 17

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 18 ในช่วงทางตรงโดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 100 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทางอยู่ในสภาพดี และล้อมีความสึกหรอ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 44 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 37 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 186



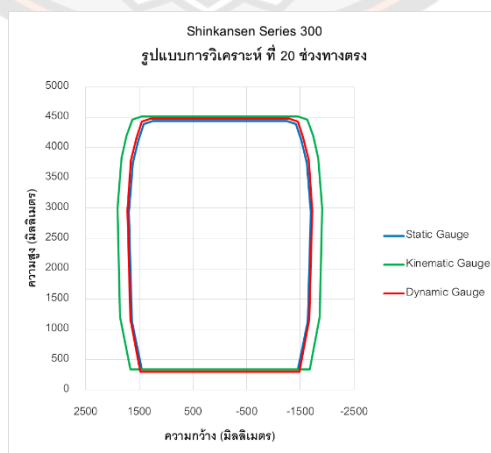
ภาพ 186 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 18

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 19 ในช่วงทางตรงโดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 100 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทางอยู่ในสภาพปานกลาง และล้ออยู่ในสภาพสมบูรณ์ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 45 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 35 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 187



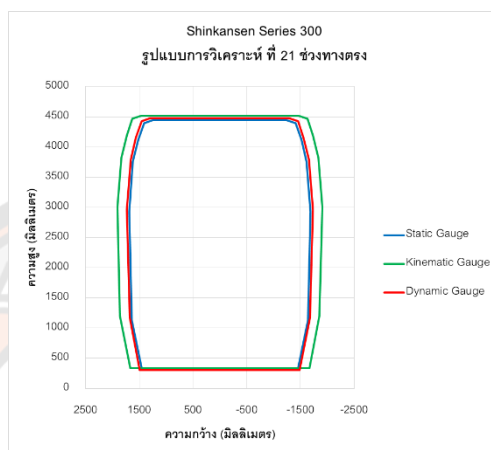
ภาพ 187 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 19

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 20 ในช่วงทางตรงโดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 100 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทางอยู่ในสภาพปานกลาง และล้อมีความสึกหรอ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 45 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 38 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 188



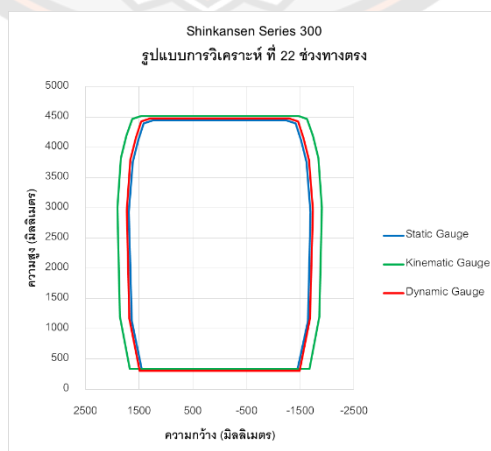
ภาพ 188 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 20

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 21 ในช่วงทางตรงโดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 120 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทางอยู่ในสภาพดี และล้ออยู่ในสภาพสมบูรณ์ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 46 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 32 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 189



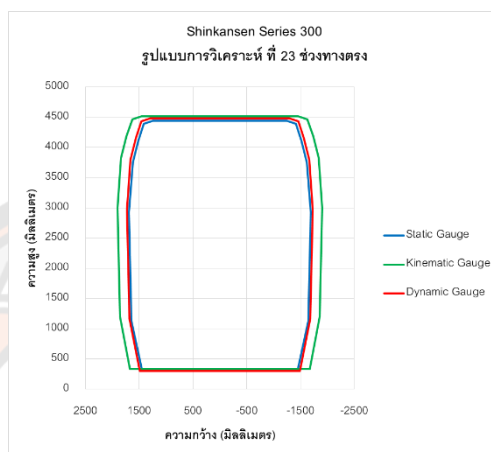
ภาพ 189 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 21

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 22 ในช่วงทางตรงโดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 120 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทางอยู่ในสภาพดี และล้อมีความสึกหรอ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 47 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 36 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 190



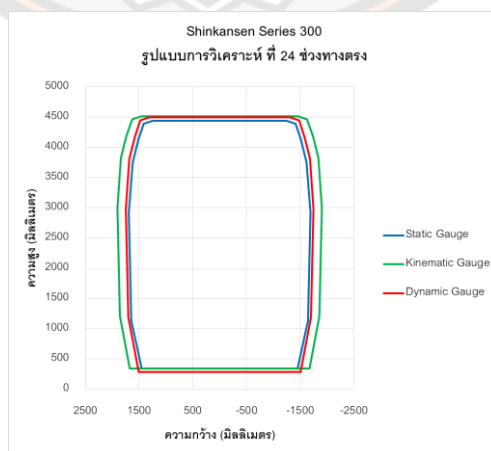
ภาพ 190 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 22

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 23 ในช่วงทางตรงโดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 120 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทางอยู่ในสภาพปานกลาง และล้ออยู่ในสภาพสมบูรณ์ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 48 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 41 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 191



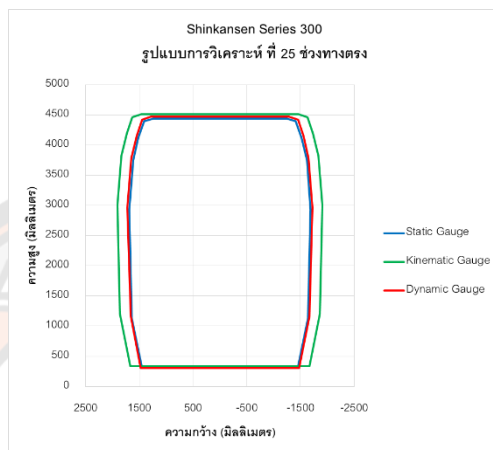
ภาพ 191 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 23

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 24 ในช่วงทางตรงโดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 120 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทางอยู่ในสภาพปานกลาง และล้อมีความสึกหรอ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 53 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 52 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 192



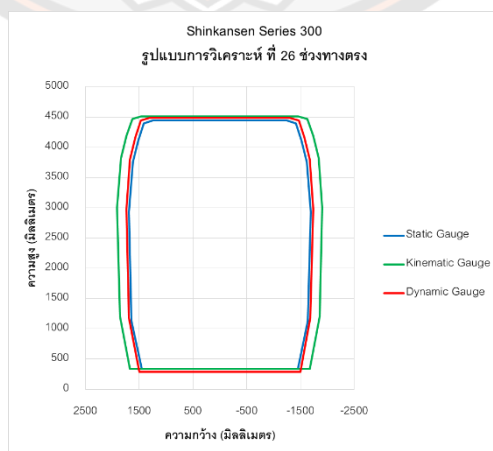
ภาพ 192 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 24

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 25 ในช่วงทางตรงโดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 140 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทางอยู่ในสภาพดี และล้ออยู่ในสภาพสมบูรณ์ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 56 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 35 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 193



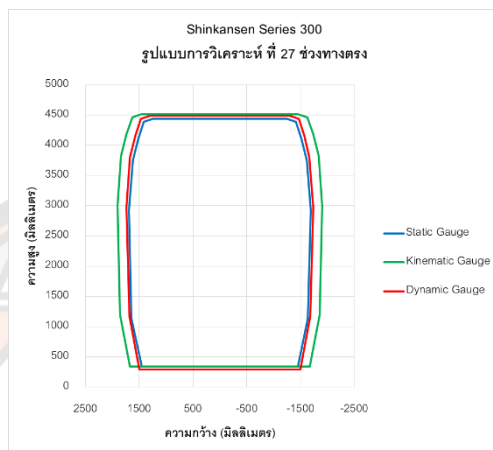
ภาพ 193 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 25

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 26 ในช่วงทางตรงโดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 140 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทางอยู่ในสภาพดี และล้อมีความสึกหรอ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 57 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 45 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 194



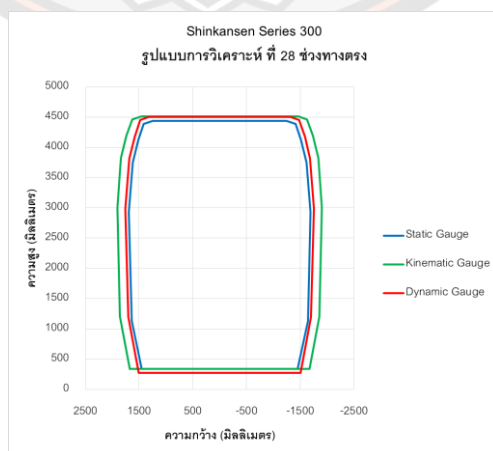
ภาพ 194 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 26

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 27 ในช่วงทางตรงโดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 140 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทางอยู่ในสภาพปานกลาง และล้ออยู่ในสภาพสมบูรณ์ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 61 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 49 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 195



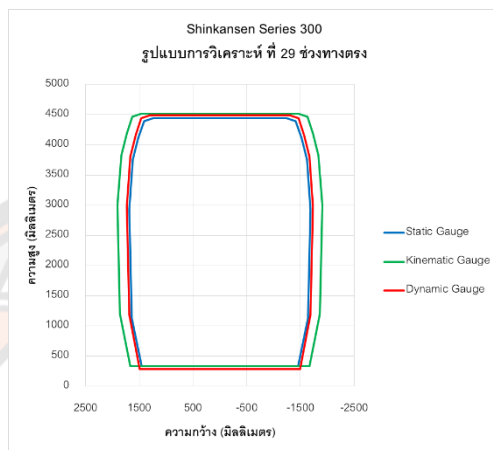
ภาพ 195 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 27

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 28 ในช่วงทางตรงโดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 140 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทางอยู่ในสภาพปานกลาง และล้อมีความสึกหรอ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 62 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 62 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 196



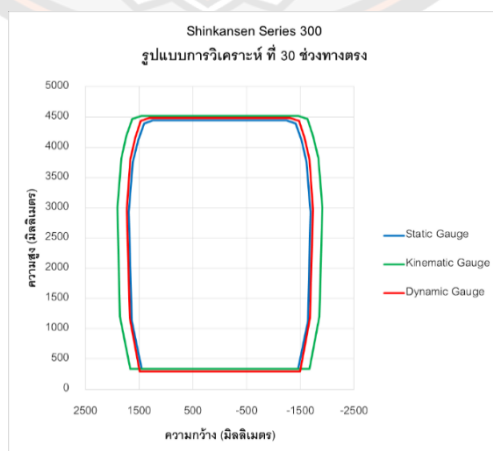
ภาพ 196 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 28

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 29 ในช่วงทางตรงโดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 160 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทางอยู่ในสภาพดี และล้ออยู่ในสภาพสมบูรณ์ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 65 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 56 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 197



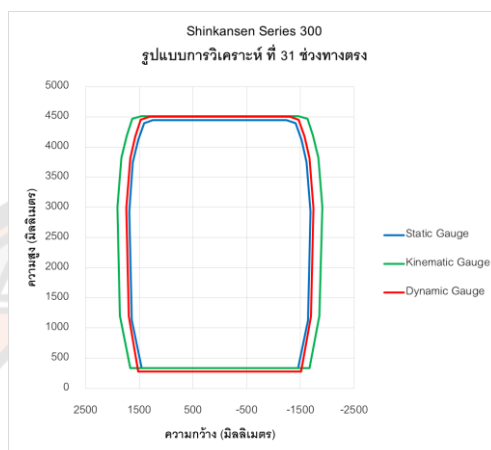
ภาพ 197 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 29

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 30 ในช่วงทางตรงโดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 160 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทางอยู่ในสภาพดี และล้อมีความสึกหรอ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 67 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 45 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 198



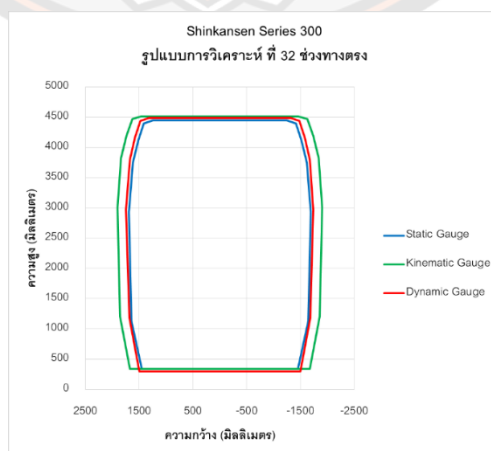
ภาพ 198 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 30

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 31 ในช่วงทางตรงโดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 160 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทางอยู่ในสภาพปานกลาง และล้ออยู่ในสภาพสมบูรณ์ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 72 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 46 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 199



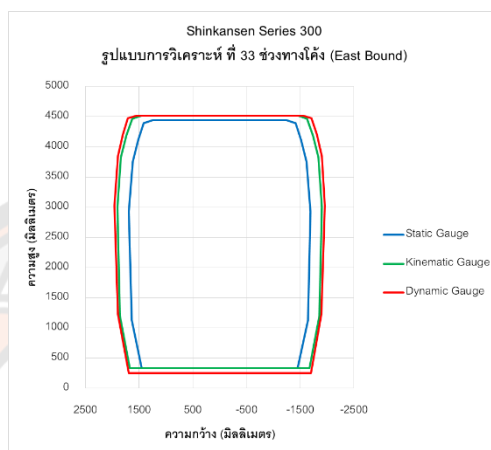
ภาพ 199 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 31

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 32 ในช่วงทางตรงโดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 160 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทางอยู่ในสภาพปานกลาง และล้อมีความสึกหรอ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 73 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 63 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 200



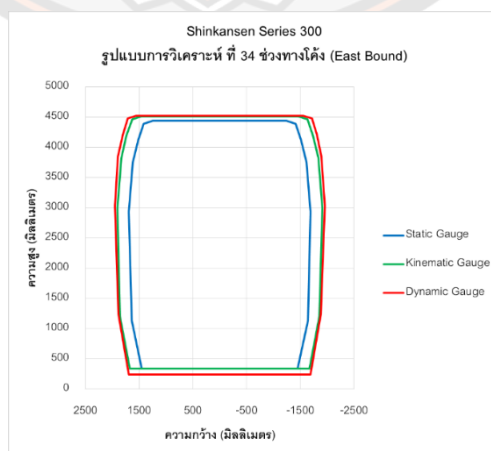
ภาพ 200 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 32

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 33 ในช่วงทางโค้งทิศทาง East Bound โดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 20 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทาง อยู่ในสภาพดี และล้ออยู่ในสภาพสมบูรณ์ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 305 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 96 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 201



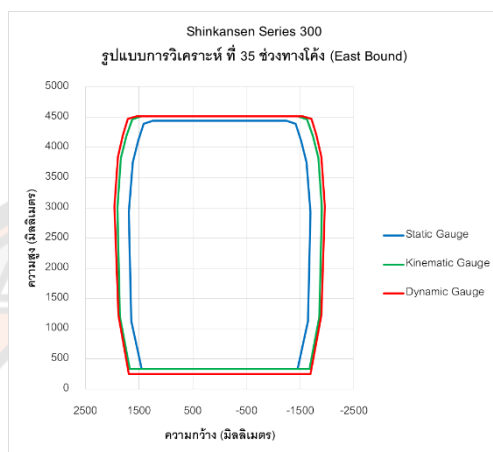
ภาพ 201 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 33

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 34 ในช่วงทางโค้งทิศทาง East Bound โดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 20 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทาง อยู่ในสภาพดี และล้อมีความสึกหรอ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 309 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 105 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 202



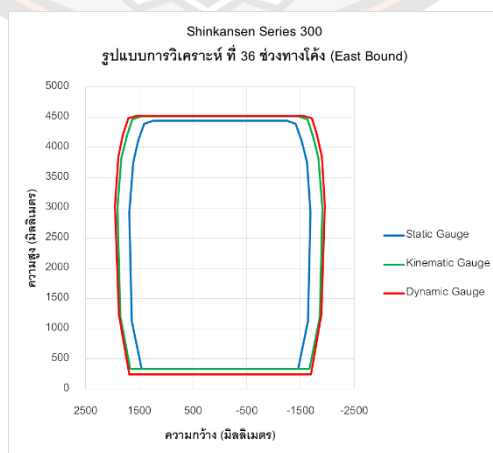
ภาพ 202 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 34

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 35 ในช่วงทางโค้งทิศทาง East Bound โดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 20 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทาง อยู่ในสภาพปานกลาง และล้ออยู่ในสภาพสมบูรณ์ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 309 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 97 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 203



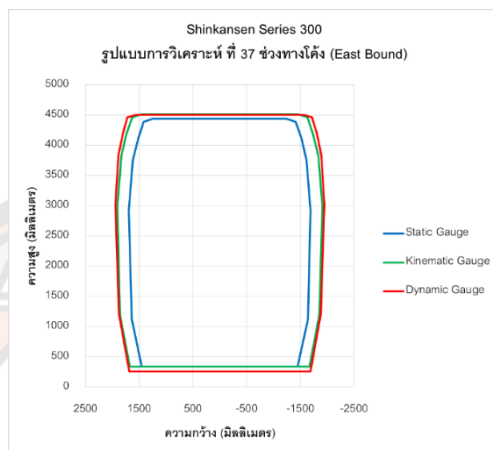
ภาพ 203 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 35

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 36 ในช่วงทางโค้งทิศทาง East Bound โดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 20 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทาง อยู่ในสภาพปานกลาง และล้อมีความสึกหรอ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 312 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 105 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 204



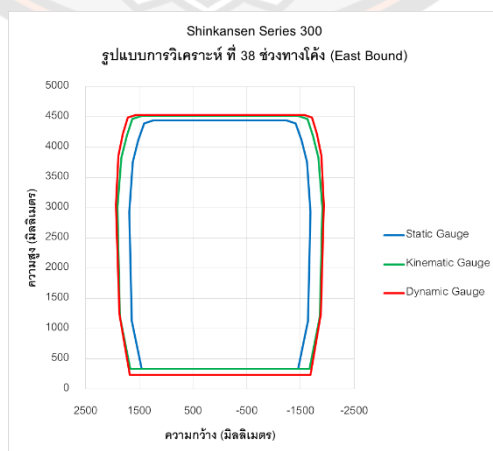
ภาพ 204 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 36

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 37 ในช่วงทางโค้งทิศทาง East Bound โดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 40 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทาง อยู่ในสภาพดี และล้ออยู่ในสภาพสมบูรณ์ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 317 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 87 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 205



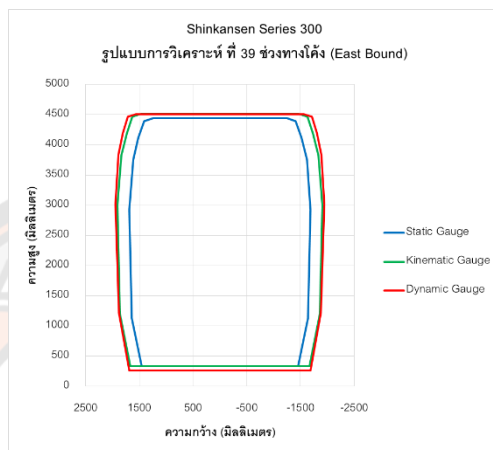
ภาพ 205 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 37

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 38 ในช่วงทางโค้งทิศทาง East Bound โดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 40 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทาง อยู่ในสภาพดี และล้อมีความสึกหรอ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 321 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 114 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 206



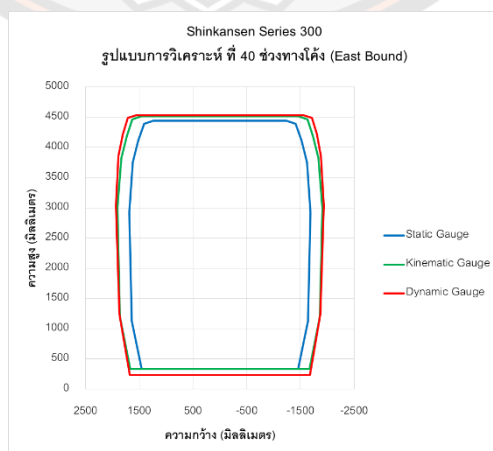
ภาพ 206 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 38

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 39 ในช่วงทางโค้งทิศทาง East Bound โดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 40 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทาง อยู่ในสภาพปานกลาง และล้ออยู่ในสภาพสมบูรณ์ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 321 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 88 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 207



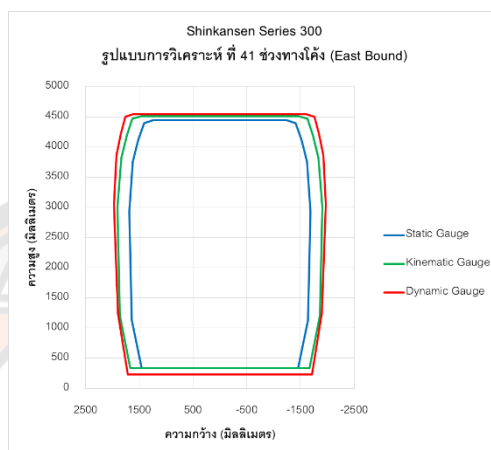
ภาพ 207 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 39

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 40 ในช่วงทางโค้งทิศทาง East Bound โดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 40 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทาง อยู่ในสภาพปานกลาง และล้อมีความสึกหรอ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 324 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 114 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 208



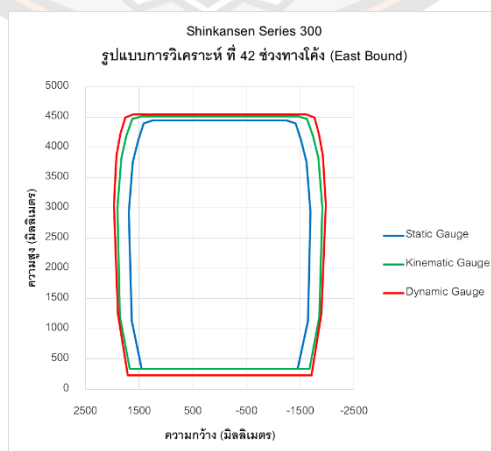
ภาพ 208 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 40

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 41 ในช่วงทางโค้งทิศทาง East Bound โดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 60 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทาง อยู่ในสภาพดี และล้ออยู่ในสภาพสมบูรณ์ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 367 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 113 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 209



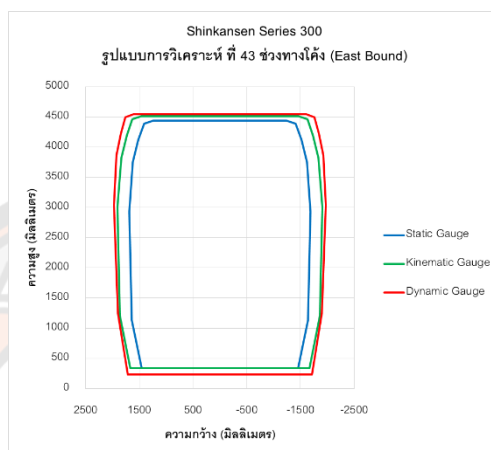
ภาพ 209 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 41

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 42 ในช่วงทางโค้งทิศทาง East Bound โดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 60 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทาง อยู่ในสภาพดี และล้อมีความสึกหรอ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 371 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 114 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 210



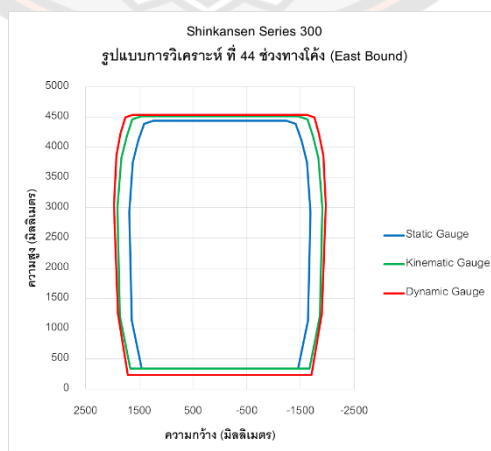
ภาพ 210 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 42

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 43 ในช่วงทางโค้งทิศทาง East Bound โดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 60 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทาง อยู่ในสภาพปานกลาง และล้ออยู่ในสภาพสมบูรณ์ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 371 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 115 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 211



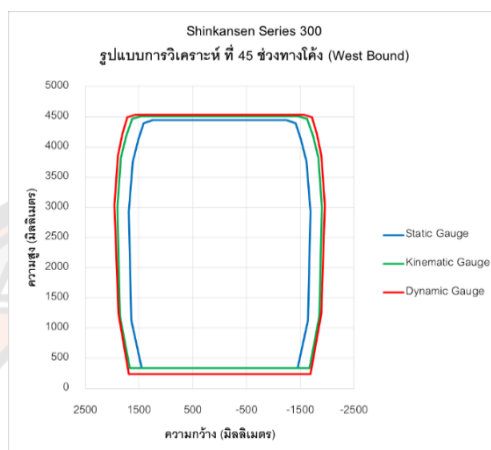
ภาพ 211 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 43

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 44 ในช่วงทางโค้งทิศทาง East Bound โดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 60 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทาง อยู่ในสภาพปานกลาง และล้อมีความสึกหรอ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 374 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 116 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 212



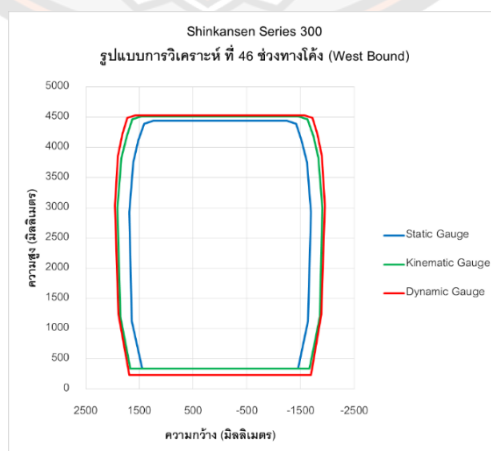
ภาพ 212 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 44

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 45 ในช่วงทางโค้งทิศทาง West Bound โดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 20 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทาง อยู่ในสภาพดี และล้ออยู่ในสภาพสมบูรณ์ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 321 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 110 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 213



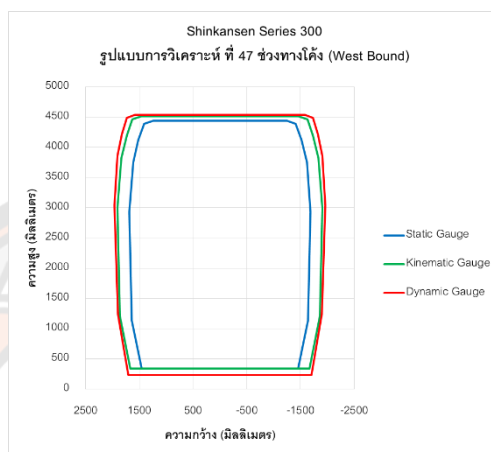
ภาพ 213 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 45

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 46 ในช่วงทางโค้งทิศทาง West Bound โดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 20 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทาง อยู่ในสภาพดี และล้อมีความสึกหรอ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 327 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 111 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 214



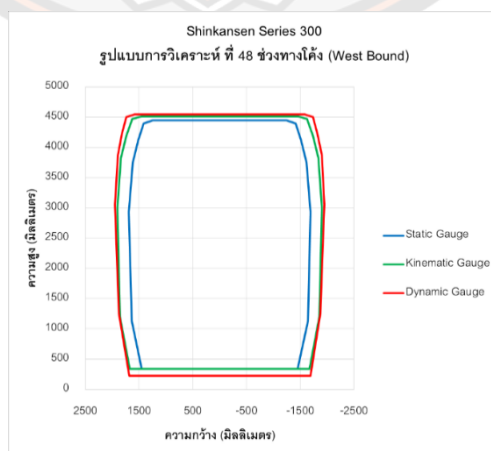
ภาพ 214 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 46

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 47 ในช่วงทางโค้งทิศทาง West Bound โดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 20 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทาง อยู่ในสภาพปานกลาง และล้ออยู่ในสภาพสมบูรณ์ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 334 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 113 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 215



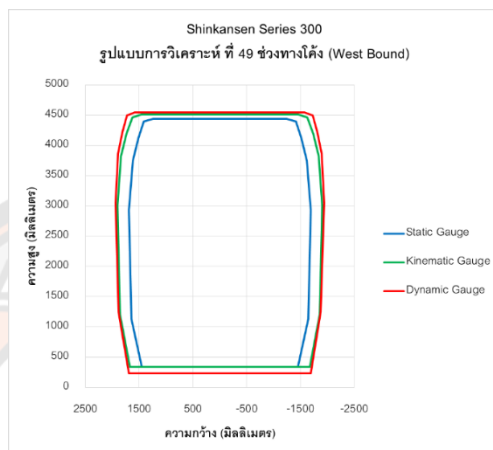
ภาพ 215 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 47

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 48 ในช่วงทางโค้งทิศทาง West Bound โดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 20 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทาง อยู่ในสภาพปานกลาง และล้อมีความสึกหรอ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 334 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 120 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 216



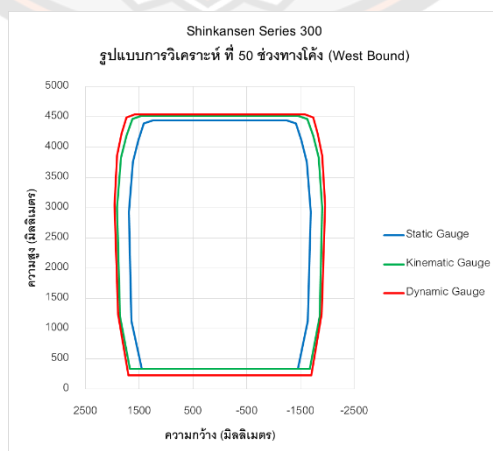
ภาพ 216 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 48

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 49 ในช่วงทางโค้งทิศทาง West Bound โดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 40 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทาง อยู่ในสภาพดี และล้ออยู่ในสภาพสมบูรณ์ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 338 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 118 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 217



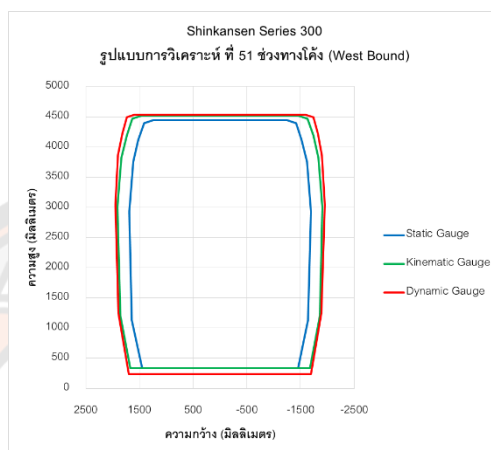
ภาพ 217 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 49

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 50 ในช่วงทางโค้งทิศทาง West Bound โดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 40 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทาง อยู่ในสภาพดี และล้อมีความสึกหรอ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 339 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 115 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 218



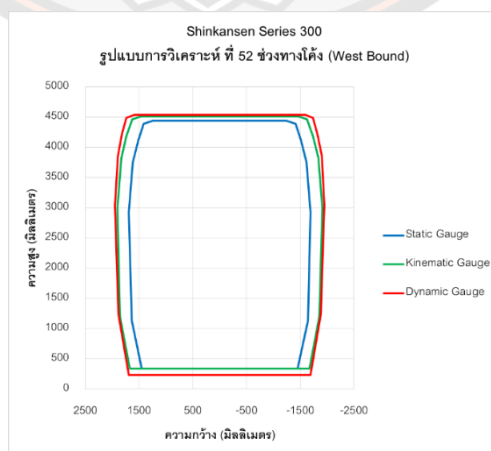
ภาพ 218 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 50

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 51 ในช่วงทางโค้งทิศทาง West Bound โดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 40 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทาง อยู่ในสภาพปานกลาง และล้ออยู่ในสภาพสมบูรณ์ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 347 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 112 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 219



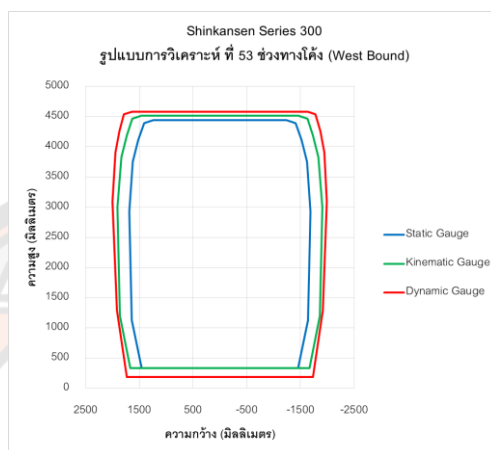
ภาพ 219 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 51

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 52 ในช่วงทางโค้งทิศทาง West Bound โดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 40 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทาง อยู่ในสภาพปานกลาง และล้อมีความสึกหรอ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 348 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 112 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 220



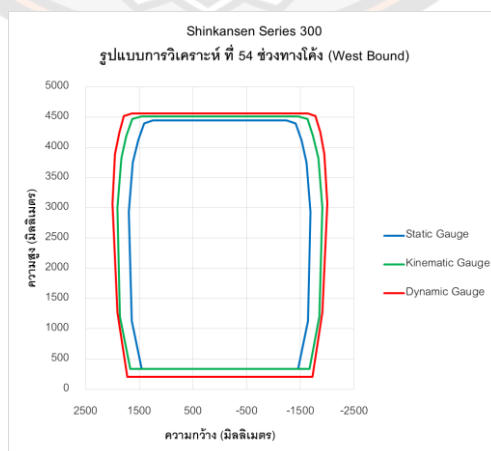
ภาพ 220 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 52

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 53 ในช่วงทางโค้งทิศทาง West Bound โดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 60 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทาง อยู่ในสภาพดี และล้ออยู่ในสภาพสมบูรณ์ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 392 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 141 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 221



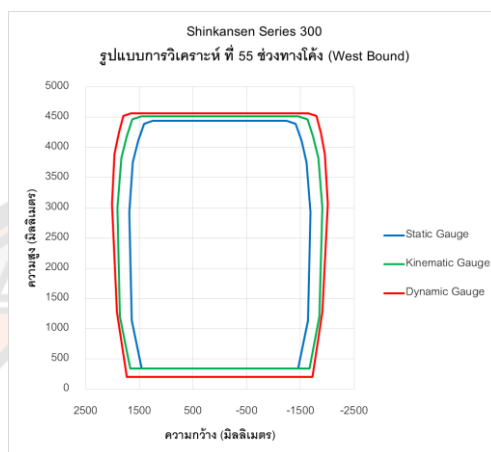
ภาพ 221 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 53

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 54 ในช่วงทางโค้งทิศทาง West Bound โดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 60 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทาง อยู่ในสภาพดี และล้อมีความสึกหรอ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 393 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 138 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 222



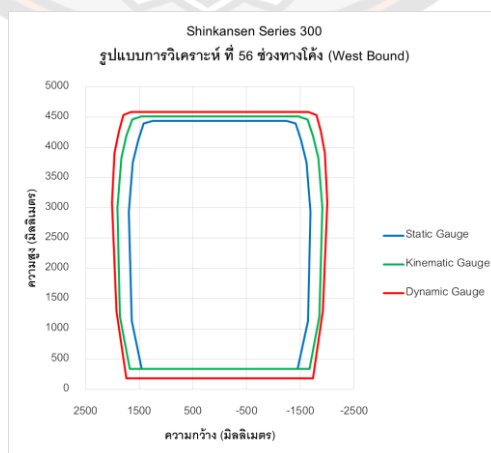
ภาพ 222 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 54

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 55 ในช่วงทางโค้งทิศทาง West Bound โดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 60 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทาง อยู่ในสภาพปานกลาง และล้ออยู่ในสภาพสมบูรณ์ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 405 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 159 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 223



ภาพ 223 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 55

ผลการวิเคราะห์พลวัตจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 56 ในช่วงทางโค้งทิศทาง West Bound โดยควบคุมความเร็วเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยความเร็ว 60 กม./ชม. ความไม่สม่ำเสมอของผิวทาง อยู่ในสภาพปานกลาง และล้อมีความสึกหรอ พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 405 มิลลิเมตร และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 161 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 224



ภาพ 224 ระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 56

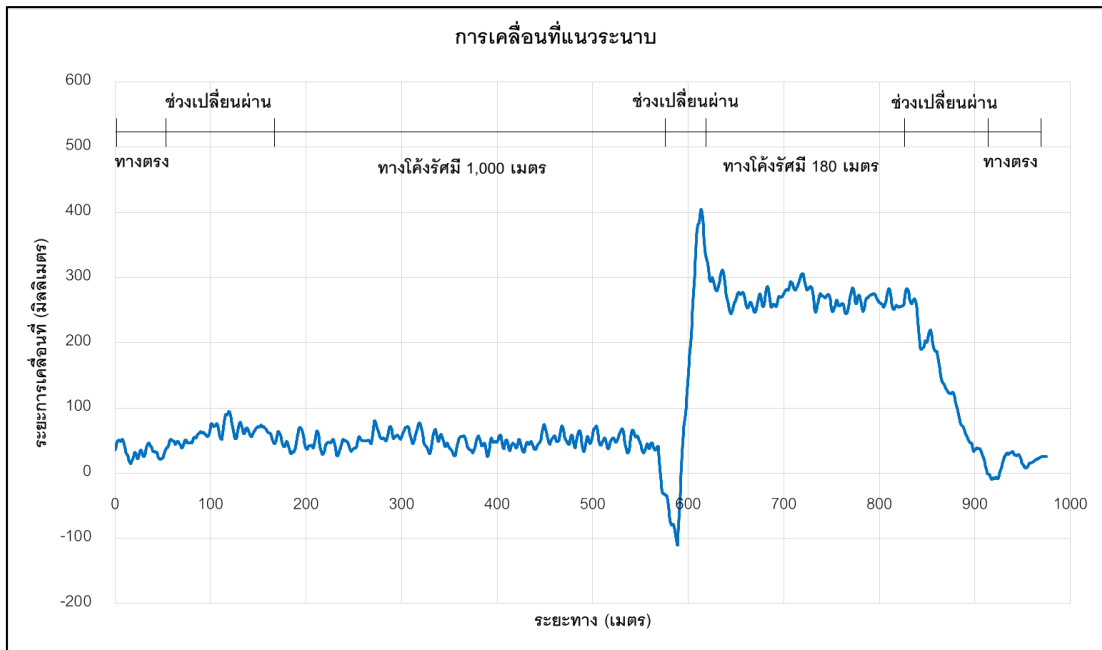
จากผลการวิเคราะห์พลวัตของรถไฟรุ่น Shinkansen Series 300 ทั้งหมด 56 รูปแบบการวิเคราะห์ ดังแสดงในตาราง 6 พบว่ามีระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบสูงสุด 405 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 225 และระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งสูงสุด 161 มิลลิเมตร จากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 56 ดังแสดงในภาพ 226

ตาราง 6 ระยะการเคลื่อนที่สูงสุด ของรถไฟรุ่น Shinkansen Series 300

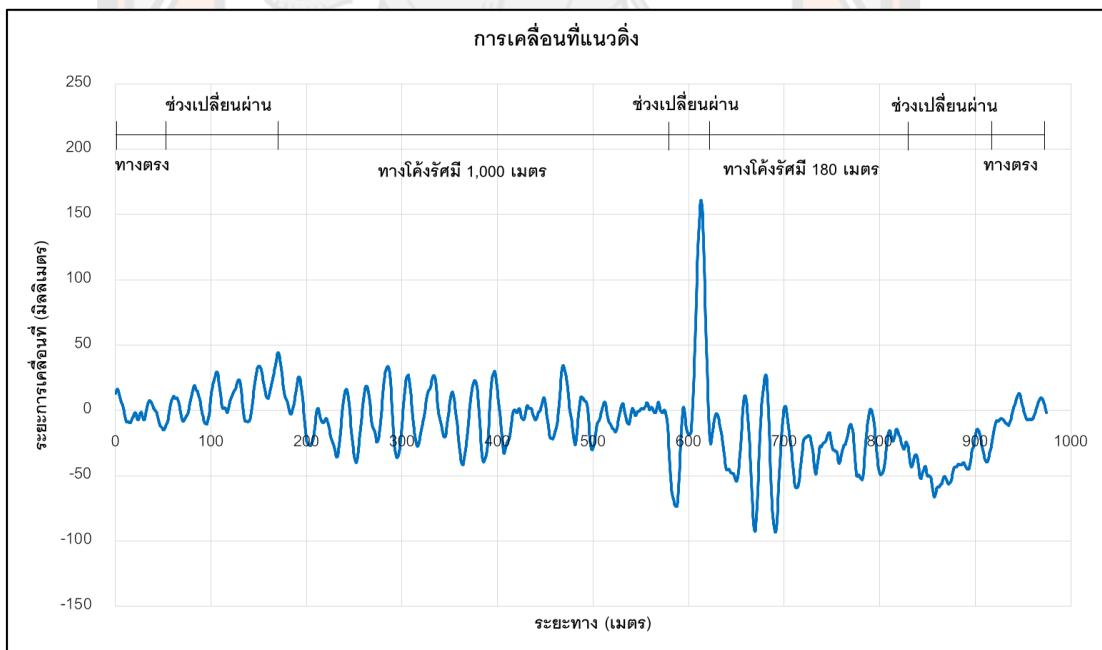
รูปแบบการวิเคราะห์	เส้นทาง	ความเร็ว (กม./ชม.)	ความไม่สม่ำเสมอของผิวทาง	การสีกหรือของล้อ	การเคลื่อนที่สูงสุด (มิลลิเมตร)	
					แนวระนาบ	แนวตั้ง
1	ทางตรง	20	สภาพดี	สมบูรณ์	25	17
2	ทางตรง	20	สภาพดี	สึกหรือ	25	18
3	ทางตรง	20	สภาพปานกลาง	สมบูรณ์	26	20
4	ทางตรง	20	สภาพปานกลาง	สึกหรือ	28	19
5	ทางตรง	40	สภาพดี	สมบูรณ์	28	20
6	ทางตรง	40	สภาพดี	สึกหรือ	29	21
7	ทางตรง	40	สภาพปานกลาง	สมบูรณ์	30	21
8	ทางตรง	40	สภาพปานกลาง	สึกหรือ	30	27
9	ทางตรง	60	สภาพดี	สมบูรณ์	31	23
10	ทางตรง	60	สภาพดี	สึกหรือ	33	20
11	ทางตรง	60	สภาพปานกลาง	สมบูรณ์	33	23
12	ทางตรง	60	สภาพปานกลาง	สึกหรือ	40	21
13	ทางตรง	80	สภาพดี	สมบูรณ์	40	30
14	ทางตรง	80	สภาพดี	สึกหรือ	40	31
15	ทางตรง	80	สภาพปานกลาง	สมบูรณ์	41	32
16	ทางตรง	80	สภาพปานกลาง	สึกหรือ	43	28
17	ทางตรง	100	สภาพดี	สมบูรณ์	43	35
18	ทางตรง	100	สภาพดี	สึกหรือ	44	37
19	ทางตรง	100	สภาพปานกลาง	สมบูรณ์	45	35
20	ทางตรง	100	สภาพปานกลาง	สึกหรือ	45	38
21	ทางตรง	120	สภาพดี	สมบูรณ์	46	32
22	ทางตรง	120	สภาพดี	สึกหรือ	47	36
23	ทางตรง	120	สภาพปานกลาง	สมบูรณ์	48	41

รูปแบบการวิเคราะห์	เส้นทาง	ความเร็ว (กม./ชม.)	ความไม่สม่ำเสมอของผิวทาง	การสึกหรอของล้อ	การเคลื่อนที่สูงสุด (มิลลิเมตร)	
					แนวระนาบ	แนวตั้ง
24	ทางตรง	120	สภาพปานกลาง	สึกหรอ	53	52
25	ทางตรง	140	สภาพดี	สมบูรณ์	56	35
26	ทางตรง	140	สภาพดี	สึกหรอ	57	45
27	ทางตรง	140	สภาพปานกลาง	สมบูรณ์	61	49
28	ทางตรง	140	สภาพปานกลาง	สึกหรอ	62	62
29	ทางตรง	160	สภาพดี	สมบูรณ์	65	56
30	ทางตรง	160	สภาพดี	สึกหรอ	67	45
31	ทางตรง	160	สภาพปานกลาง	สมบูรณ์	72	46
32	ทางตรง	160	สภาพปานกลาง	สึกหรอ	73	63
33	ทางโค้ง (EB)	20	สภาพดี	สมบูรณ์	305	96
34	ทางโค้ง (EB)	20	สภาพดี	สึกหรอ	309	105
35	ทางโค้ง (EB)	20	สภาพปานกลาง	สมบูรณ์	309	97
36	ทางโค้ง (EB)	20	สภาพปานกลาง	สึกหรอ	312	105
37	ทางโค้ง (EB)	40	สภาพดี	สมบูรณ์	317	87
38	ทางโค้ง (EB)	40	สภาพดี	สึกหรอ	321	114
39	ทางโค้ง (EB)	40	สภาพปานกลาง	สมบูรณ์	321	88
40	ทางโค้ง (EB)	40	สภาพปานกลาง	สึกหรอ	324	114
41	ทางโค้ง (EB)	60	สภาพดี	สมบูรณ์	367	113
42	ทางโค้ง (EB)	60	สภาพดี	สึกหรอ	371	114
43	ทางโค้ง (EB)	60	สภาพปานกลาง	สมบูรณ์	371	115

รูปแบบการ วิเคราะห์	เส้นทาง	ความเร็ว (กม./ชม.)	ความไม่สม่ำเสมอ ของผิวทาง	การสึกหรอ ของล้อ	การเคลื่อนที่สูงสุด (มิลลิเมตร)	
					แนวระนาบ	แนวตั้ง
44	ทางโค้ง (EB)	60	สภาพปานกลาง	สึกหรอ	374	116
45	ทางโค้ง (WB)	20	สภาพดี	สมบูรณ์	321	110
46	ทางโค้ง (WB)	20	สภาพดี	สึกหรอ	327	111
47	ทางโค้ง (WB)	20	สภาพปานกลาง	สมบูรณ์	334	113
48	ทางโค้ง (WB)	20	สภาพปานกลาง	สึกหรอ	334	120
49	ทางโค้ง (WB)	40	สภาพดี	สมบูรณ์	338	118
50	ทางโค้ง (WB)	40	สภาพดี	สึกหรอ	339	115
51	ทางโค้ง (WB)	40	สภาพปานกลาง	สมบูรณ์	347	112
52	ทางโค้ง (WB)	40	สภาพปานกลาง	สึกหรอ	348	112
ตาราง 53	ทางโค้ง (WB)	60	สภาพดี	สมบูรณ์	392	141
54	ทางโค้ง (WB)	60	สภาพดี	สึกหรอ	393	138
55	ทางโค้ง (WB)	60	สภาพปานกลาง	สมบูรณ์	405	159
56	ทางโค้ง (WB)	60	สภาพปานกลาง	สึกหรอ	405	161



ภาพ 225 ระยะการเคลื่อนที่แนวระนาบจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 56



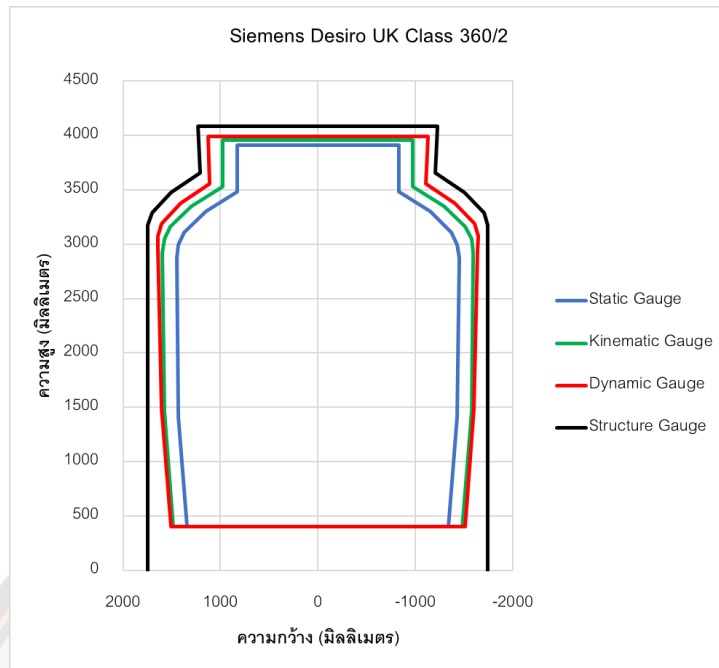
ภาพ 226 ระยะการเคลื่อนที่แนวตั้งจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 56

ผลการประมาณค่าเขตโครงสร้างทางรถไฟ

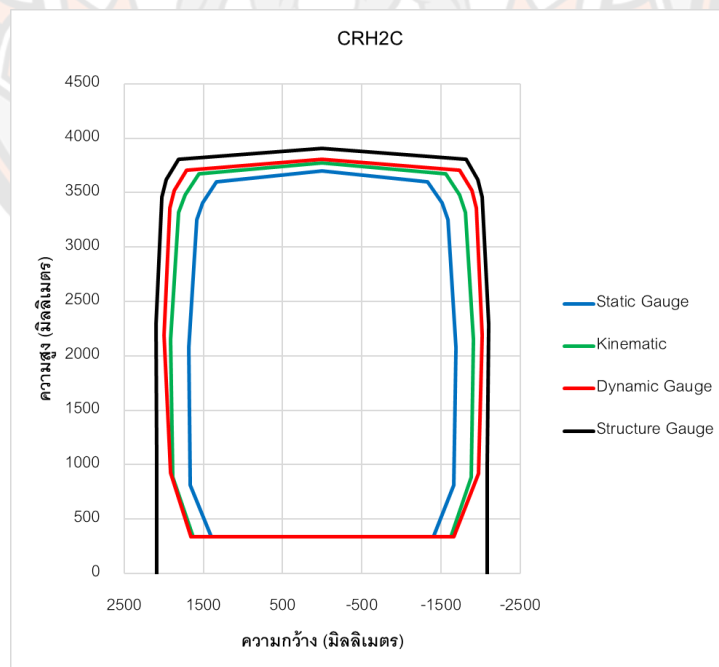
จากรูปแบบการวิเคราะห์ทั้งหมด 56 รูปแบบ สามารถคำนวณขนาดมิติสูงสุดจากค่าระยะการเคลื่อนที่ในแนวระนาบและแนวตั้งสูงสุดของตัวรถเพื่อใช้กำหนดขนาดเขตโครงสร้างทางซึ่งจะถูกนำไปกำหนดขนาดเขตโครงสร้างทางโดยบวกระยะเพิ่มเติม 100 มิลลิเมตร ตามมาตรฐาน Railway Group Standard จะสามารถประมาณขนาดเขตโครงสร้างทางของรถไฟรุ่น Siemens Desiro UK Class 360/2 มีขนาดความกว้าง 3,487 มิลลิเมตร ขนาดความสูง 4,089 มิลลิเมตร รถไฟรุ่น CRH2C มีขนาดความกว้าง 4,201 มิลลิเมตร ขนาดความสูง 3,912 มิลลิเมตร และรถไฟรุ่น Shinkansen Series 300 มีขนาดความกว้าง 4,216 มิลลิเมตร ขนาดความสูง 4,682 มิลลิเมตร ดังแสดงในตาราง 7 และสามารถแสดงโปรไฟล์จากการประมาณค่าเขตโครงสร้างทางดังภาพ 227 ถึงภาพ 229

ตาราง 7 ผลการประมาณขนาดเขตโครงสร้างทางจากการวิเคราะห์พลวัตของยานพาหนะ

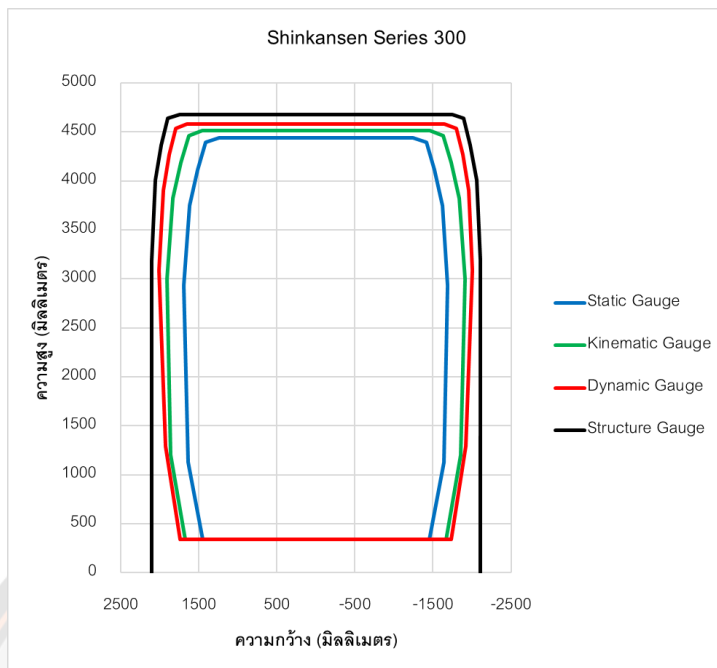
รุ่นรถ	ระยะการเคลื่อนที่สูงสุด (มิลลิเมตร)		ขนาดมิติสูงสุด (มิลลิเมตร)		ขนาดเขตโครงสร้างทาง	
	แนวระนาบ	แนวตั้ง	ความกว้าง	ความสูง	ความกว้าง	ความสูง
Siemens Desiro UK Class 360/2	600	78	3,287	3,989	3,487	4,089
CRH2C	806	112	4,001	3,812	4,201	3,912
Shinkansen Series 300	810	161	4,016	4,582	4,216	4,682



ภาพ 227 โปรไฟล์จากการประมาณค่าเขตโครงสร้างทางของรถรุ่น Siemens Desiro UK Class 360/2



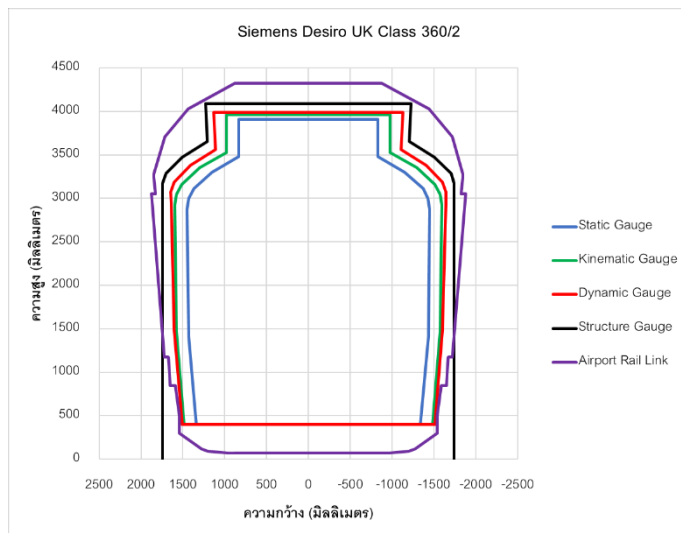
ภาพ 228 โปรไฟล์จากการประมาณค่าเขตโครงสร้างทางของรถรุ่น CRH2C



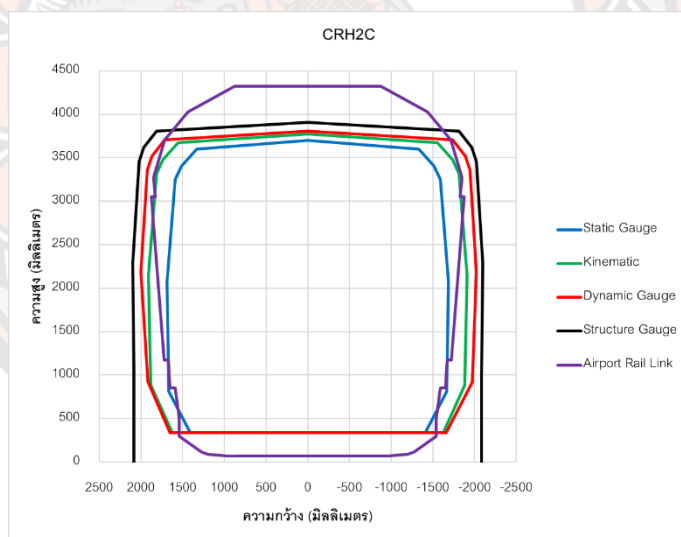
ภาพ 229 โพรไฟล์จากการประมาณค่าเขตโครงสร้างทางของรถรุ่น Shinkansen Series 300

ผลการเปรียบเทียบเขตโครงสร้างทางรถไฟจากแบบจำลองกับเขตโครงสร้างทางรถไฟฟ้าแอร์พอร์ต เรล ลิงก์

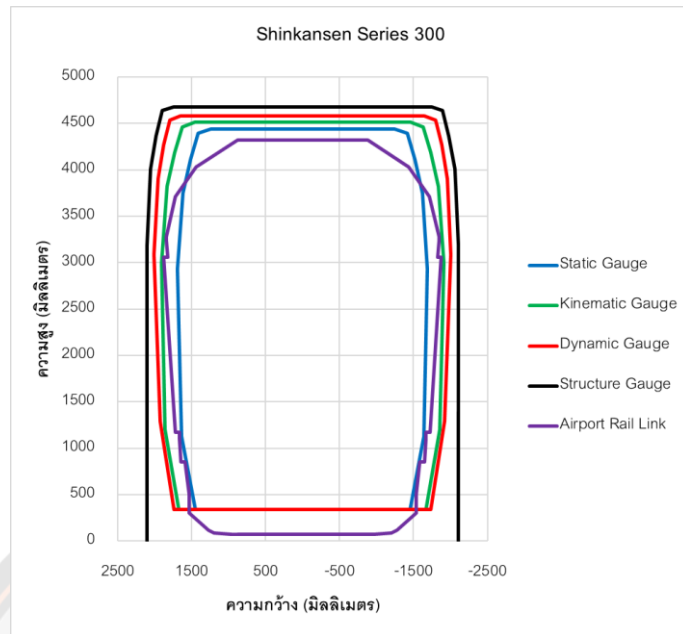
ผลลัพธ์จากการประมาณค่าเขตโครงสร้างทางรถไฟจากแบบจำลองจะสามารถเปรียบเทียบกับเขตโครงสร้างทางของรถไฟฟ้าแอร์พอร์ต เรล ลิงก์ ซึ่งมีขนาดความกว้าง 3,756 มิลลิเมตร และความสูง 4,320 มิลลิเมตร โดยรถไฟรุ่น Siemens Desiro UK Class 360/2 มีขนาดความกว้างน้อยกว่า 269 มิลลิเมตร ขนาดความสูงน้อยกว่า 231 มิลลิเมตร รถไฟรุ่น CRH2C มีขนาดความกว้างมากกว่า 445 มิลลิเมตร ขนาดความสูงน้อยกว่า 408 มิลลิเมตร และรถไฟรุ่น Shinkansen Series 300 มีขนาดความกว้างมากกว่า 460 มิลลิเมตร ขนาดความสูงมากกว่า 362 มิลลิเมตร โดยสามารถแสดงโปรไฟล์การประมาณค่าเขตโครงสร้างทางเปรียบเทียบกับขนาดเขตโครงสร้างทางของรถไฟฟ้าแอร์พอร์ต เรล ลิงก์ ดังภาพ 230 ถึงภาพ 232



ภาพ 230 โปรไฟล์การเปรียบเทียบผลการประมาณค่าเขตโครงสร้างทางของรถรุ่น Siemens Desiro UK Class 360/2 จากแบบจำลองกับเขตโครงสร้างทางของรถไฟฟ้าแอร์พอร์ต เรล ลิงก์



ภาพ 231 โปรไฟล์การเปรียบเทียบผลการประมาณค่าเขตโครงสร้างทางของรถรุ่น CRH2C จากแบบจำลองกับเขตโครงสร้างทางของรถไฟฟ้าแอร์พอร์ต เรล ลิงก์



ภาพ 232 โปรไฟล์การเปรียบเทียบผลการประมาณค่าเขตโครงสร้างทางของรถรุ่น Shinkansen Series 300 จากแบบจำลองกับเขตโครงสร้างทางของรถไฟฟ้าแอร์พอร์ต เรล ลิงก์

บทที่ 5

บทสรุป

สรุปผลการวิจัย

จากผลการประยุกต์ใช้การวิเคราะห์พลวัตของยานพาหนะในการประมาณค่าเขตโครงสร้างทางรถไฟ ด้วยแบบจำลองมัลติบอดี้ของรถไฟบนเส้นทางวิ่งของโครงการรถไฟฟ้าแอร์พอร์ต เรล ลิงก์ โดยคำนึงถึงปัจจัยด้านความเร็วรถ การสั่นไหวของล้อ และความไม่สม่ำเสมอของผิวทาง บนเส้นทางวิ่งในช่วงทางตรงและช่วงทางโค้งรัศมีแคบ และเปรียบเทียบเขตโครงสร้างทางรถไฟจากแบบจำลองกับเขตโครงสร้างทางรถไฟฟ้าแอร์พอร์ต เรล ลิงก์ สามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

1. การประมาณค่าเขตโครงสร้างทางรถไฟจากการวิเคราะห์พลวัตของรถไฟรุ่น Siemens Desiro UK Class 360/2 มีขนาดความกว้างและความสูงน้อยกว่าเขตโครงสร้างทางรถไฟฟ้าแอร์พอร์ต เรล ลิงก์ โดยมีระยะน้อยกว่าในด้านกว้าง 269 มิลลิเมตร และความสูง 231 มิลลิเมตร

2. การประมาณค่าเขตโครงสร้างทางรถไฟจากการวิเคราะห์พลวัตของรถไฟรุ่น CRH2C และรถไฟรุ่น Shinkansen Series 300 มีขนาดความสูงน้อยกว่าเขตโครงสร้างทางรถไฟฟ้าแอร์พอร์ต เรล ลิงก์ โดยมีระยะน้อยกว่า 408 มิลลิเมตร ในขณะที่ความกว้างมีขนาดมากกว่าเขตโครงสร้างทางรถไฟฟ้าแอร์พอร์ต เรล ลิงก์

3. การประมาณค่าเขตโครงสร้างทางรถไฟจากการวิเคราะห์พลวัตของรถไฟรุ่น Shinkansen Series 300 มีขนาดความกว้างและความสูงมากกว่าเขตโครงสร้างทางรถไฟฟ้าแอร์พอร์ต เรล ลิงก์

ข้อเสนอแนะ

การศึกษานี้ได้ทำการจำลองลักษณะของช่วงทางตรงและทางโค้ง โดยใช้สมมติฐานของทางวิ่งที่ถูกยึดแน่นโดยตัวรางจะไม่มี การเคลื่อนที่หรือเสียรูปขณะที่ถูกแรงกระทำจากล้อรถไฟ สมมติฐานนี้จะช่วยลดความซับซ้อนของการคำนวณลงได้ ในขณะที่ยังคงสามารถพิจารณาถึงความความไม่สม่ำเสมอของผิวทางได้ด้วยเช่นกัน



บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

- สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร. (2561). *มาตรฐาน มขร S-T-001-256x มาตรฐานการแบ่งประเภททางรถไฟ*. กรุงเทพฯ: สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร.
- Álvarez J., & Industrial I. (2008). *A Dynamic-Based Methodology to Obtain the Rolling Stock Maximum Construction Gauge*, Carlos III University, Research Institute of Vehicle Safety (ISVA). N.P.: n.p.
- Asmussen, B. (2013). *Overview of Methods for Measurement of Track Irregularities Important for Ground-Borne Vibration*. RIVAS, SCP0-GA-2010-265754.
- BS EN 15273-1. (2009). *Railway applications – Gauges Part 1: General-Common rules for infrastructure and rolling stock*. British Standard.
- BS EN 15273-3. (2009). *Railway applications – Gauges Part 3: Structure gauges*. British Standard.
- Hubbard, P. (2018). *Feasibility study of kneeling train*, Research and Development, RSSB. N.P.: n.p.
- Iwnicki, S., Spiryagin M., Cole, C., & Mcsweeney, T. (2020). *Handbook of Railway Vehicle Dynamics Second Edition*. Taylor Francis: CRC Press.
- Kaewunruen, S., & Remennikov, A. (2008). *Dynamic properties of railway track and its components: A state-of-The-art review*, ResearchGate. N.P.: n.p.
- Kurhan D., & Kurhan M. (2019). *Modeling the Dynamic Response of Railway Track*, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. N.P.: n.p.
- Mikrut, S., Kohut, P., Pyka, K., Tokarczyk, R., Barszcz, T., & Uhl, T. (2016). Mobile laser scanning systems for measuring the clearance gauge of railways: State of play, testing and outlook. *Sensors*, 16(5), 683.
- Moghadasnejad F., & Fathali M. (2011). *Development of Optimum Assessment Technique for Railway Infrastructure Clearances*, World Congress on Railway Research 9th. N.P.: n.p.

- Panunzio, A. M., Puel, G., Cottureau, R., Simon, S., & Quost, X. (2017). Construction of a stochastic model of track geometry irregularities and validation through experimental measurements of dynamic loading. *Vehicle System Dynamics*, 55(3), 399-426.
- Perez, J., Allen, P. D., & Hatt, D. J. (2008). Making maximum use of restrictive loading gauge as applied to friction damped freight vehicles. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of rail and rapid transit*, 222(3), 255-265.
- Petrenko, V. (2016). Simulation of Railway Vehicle Dynamics in Universal Mechanism Software. *ScienceDirect, Procedia Engineering*, 134(2016) 23 – 29.
- Podworna, M. (2015). Modelling of random vertical irregularities of railway tracks. *International Journal of Applied Mechanics and Engineering*, 20(3). 647-655. DOI: 10.1515/ijame-2015-0043.
- Pogorelov, D. Y. (2005). Simulation of rail vehicle dynamics with universal mechanism software. *Rail vehicle dynamics and associated problems. Gliwice: Silesian University of Technology*, 13-58.
- Polach O., & Chollet H. (2014). Validation of simulation models in the context of railway vehicle acceptance, Article in Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part F. *Journal of Rail and Rapid Transit*. October 2014, DOI: 10.1177/0954409714554275.
- Presley D. (2007). *The Application of Lasers to Determine Structure Gauge Encroachments, AusRail PLUS 2007 December 2007*. Sydney: n.p.
- Toyama T., Nagamine N., Omori T., Kitao K., & Nakasone R. (2019). Structure Gauge Measuring Equipment Using Laser Range Scanners and Structure Gauge Management System. *QR of RTRI*, 60, 1.
- UIC 505-1. (2003). "Rolling stock construction gauge", *Railway transport stock*. N.P.: n.p.
- Yang Y.B., Yau J.D. and Wu Y.s. (2004). *Vehicle-Bridge Interaction Dynamics With Applications to High-Speed Railways*. N.P.: World Scientific.

Zhai, W., Liu, P., Lin, J., & Wang, K. (2015). Experimental investigation on vibration behaviour of a CRH train at speed of 350 km/h. *International Journal of Rail Transportation*, 3(1), 1-16. DOI: 10.1080/23248378.2014.992819.





ภาคผนวก

มหาวิทยาลัยนเรศวร

ตาราง 8 โพรไฟล์จากการประมาณค่าเขตโครงสร้างทางของรถรุ่น Siemens Desiro UK Class
360/2

Static Gauge		Kinematic Gauge		Dynamic Gauge		Structure Gauge	
Width (mm.)	Height (mm.)	Width (mm.)	Height (mm.)	Width (mm.)	Height (mm.)	Width (mm.)	Height (mm.)
1,340	400	1,485	400	1,509	400	1,743	0
1,432	1,410	1,577	1,460	1,602	1,484	1,743	939
1,450	2,874	1,595	2,924	1,642	2,949	1,743	1,584
1,430	2,997	1,575	3,047	1,643	3,073	1,743	3,049
1,370	3,110	1,515	3,160	1,605	3,186	1,743	3,173
1,150	3,300	1,295	3,350	1,406	3,377	1,705	3,286
830	3,480	975	3,530	1,108	3,558	1,506	3,477
830	3,910	975	3,960	1,130	3,988	1,208	3,658
-830	3,910	-975	3,960	-1,130	3,988	1,230	4,088
-830	3,480	-975	3,530	-1,108	3,558	-1,230	4,088
-1,150	3,300	-1,295	3,350	-1,406	3,377	-1,208	3,658
-1,370	3,110	-1,515	3,160	-1,605	3,186	-1,506	3,477
-1,430	2,997	-1,575	3,047	-1,643	3,073	-1,705	3,286
-1,450	2,874	-1,595	2,924	-1,642	2,949	-1,743	3,173
-1,432	1,410	-1,577	1,460	-1,602	1,484	-1,743	3,049
-1,340	400	-1,485	400	-1,509	400	-1,743	1,584
1,340	400	1,485	400	1,509	400	-1,743	939

ตาราง 9 โปรไฟล์จากการประมาณค่าเขตโครงสร้างทางของรถรุ่น CRH2C

Static Gauge		Kinematic Gauge		Dynamic Gauge		Structure Gauge	
Width (mm.)	Height (mm.)	Width (mm.)	Height (mm.)	Width (mm.)	Height (mm.)	Width (mm.)	Height (mm.)
1,405	338	1,627	338	1,655	338	2,087	0
1,663	811	1,885	884	1,920	923	2,087	1,023
1,690	2,078	1,912	2,151	2,000	2,189	2,100	2,289
1,589	3,249	1,811	3,322	1,922	3,360	2,022	3,460
1,512	3,409	1,734	3,482	1,868	3,519	1,968	3,619
1,334	3,600	1,556	3,673	1,714	3,710	1,814	3,810
0	3,700	0	3,773	0	3,809	0	3,909
-1,334	3,600	-1,556	3,673	-1,737	3,709	-1,814	3,810
-1,512	3,409	-1,734	3,482	-1,892	3,519	-1,968	3,619
-1,589	3,249	-1,811	3,322	-1,945	3,359	-2,022	3,460
-1,690	2,078	-1,912	2,151	-2,023	2,189	-2,100	2,289
-1,663	811	-1,885	884	-1,973	922	-2,087	1,023
-1,405	338	-1,627	338	-1,662	338	-2,087	0
1,405	338	1,627	338	1,655	338	-	-

ตาราง 10 โพรไฟล์จากการประมาณค่าเขตโครงสร้างทางของรถรุ่น Shinkansen Series 300

Static Gauge		Kinematic Gauge		Dynamic Gauge		Structure Gauge	
Width (mm.)	Height (mm.)	Width (mm.)	Height (mm.)	Width (mm.)	Height (mm.)	Width (mm.)	Height (mm.)
1,454	338	1,671	338	1,738	338	2,108	0
1,642	1,131	1,859	1,204	1,923	1,292	2,108	1,392
1,690	2,929	1,907	3,002	2,008	3,090	2,108	3,190
1,619	3,752	1,836	3,825	1,958	3,908	2,058	4,008
1,519	4,116	1,736	4,189	1,880	4,267	1,980	4,367
1,413	4,392	1,630	4,465	1,796	4,538	1,896	4,638
1,248	4,440	1,465	4,513	1,653	4,581	1,753	4,681
-1,248	4,440	-1,465	4,513	-1,653	4,581	-1,753	4,681
-1,413	4,392	-1,630	4,465	-1,796	4,538	-1,896	4,638
-1,519	4,116	-1,736	4,189	-1,880	4,267	-1,980	4,367
-1,619	3,752	-1,836	3,825	-1,958	3,908	-2,058	4,008
-1,690	2,929	-1,907	3,002	-2,008	3,090	-2,108	3,190
-1,642	1,131	-1,859	1,204	-1,923	1,292	-2,108	1,392
-1,454	338	-1,671	338	-1,738	338	-2,108	0
1,454	338	1,671	338	1,738	338	-	-



ประวัติผู้วิจัย

มหาวิทยาลัยพระนคร

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-นามสกุล	ธิดิวุฒิ เพชรรัตน์
วัน เดือน ปี เกิด	2 ธันวาคม 2538
ที่อยู่ปัจจุบัน	65/1 หมู่ 5 ถนนสิงห์วัฒน์ ตำบลพลาญชุมพล อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก 65000
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2561 วศ.บ. (วิศวกรรมโยธา) มหาวิทยาลัยนเรศวร
ผลงานตีพิมพ์	ธิดิวุฒิ เพชรรัตน์, ทรงศักดิ์ สุธาสุประดิษฐ์ และรัฐภูมิ ปรีชาตปรีชา. (2564). การประยุกต์ใช้การวิเคราะห์พลวัตของยานพาหนะในการประมาณค่าเขต โครงสร้างทางรถไฟ. ใน การประชุมวิชาการระดับชาตินเรศวรวิจัยและ นวัตกรรม ครั้งที่ 17. พิษณุโลก: มหาวิทยาลัยนเรศวร.

