

การศึกษาเบรกอากาศพลศาสตร์สำหรับการลดระยะเบรกและพลังงานเบรก
ของรถไฟความเร็วสูง



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2565

A STUDY OF AERODYNAMIC BRAKE FOR HIGH-SPEED TRAINS
BRAKING DISTANCE AND ENERGY REDUCTIONS



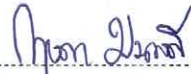
PHATTHARA SURACHON

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for
the Degree of Master of Engineering in Electrical Engineering
Suranaree University of Technology
Academic Year 2022

การศึกษาเบรกอากาศพลศาสตร์สำหรับการลดระยะเบรกและพลังงานเบรก
ของรถไฟความเร็วสูง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์




(อาจารย์ ดร. กฤษดา มงคลดี)

ประธานกรรมการ



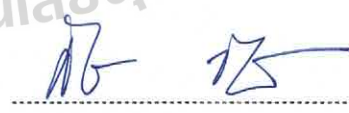
(ผศ. ดร. ทศพล รัตน์นิยมชัย)

กรรมการ (ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)




(ศ. ดร. ชันดชัย กุลวรวานิชพงษ์)

กรรมการ



(รศ. ดร. กীরติ ชยะกุลคีรี)

กรรมการ



(รศ. ดร. ชันดชัย โชติชูช่างกูร)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและประกันคุณภาพ



(รศ. ดร. พรศิริ จงกล)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

ภัทร สุระชน : การศึกษาเบรกอากาศพลศาสตร์สำหรับการลดระยะเบรกและพลังงานเบรกของรถไฟความเร็วสูง (A STUDY OF AERODYNAMIC BRAKE FOR HIGH-SPEED TRAINS BRAKING DISTANCE AND ENERGY REDUCTIONS) อาจารย์ที่ปรึกษา: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ทศพล รัตนนิมิตชัย, 166 หน้า.

คำสำคัญ : เบรกอากาศพลศาสตร์/รถไฟความเร็วสูง/ระยะทางเบรก/การลดพลังงาน

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการศึกษาเบรกอากาศพลศาสตร์สำหรับการลดระยะเบรกและพลังงานในการเบรกของรถไฟความเร็วสูง การจำลองการเคลื่อนที่ของรถไฟความเร็วสูง 3 ขบวน คือรถไฟ Tokaido Shinkansen (Series N700) ของประเทศญี่ปุ่น ได้แก่ Nozomi, Hikari และ Kodama รวมระยะทางไปทั้งหมด 515.4 กิโลเมตร มีจำนวนสถานีผู้โดยสารทั้งหมด 17 สถานี กรณีศึกษาเป็นการจำลองติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์ การจำลองโมเดลและอุปกรณ์ที่ติดตั้งบนรถไฟด้วยโปรแกรม SOLIDWORKS สามารถใช้วิเคราะห์พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ ศึกษาจำลองการไหลของอากาศที่กระทำกับผิวของโมเดลรถไฟ ความเค้น ค่าความปลอดภัย ผลการเสียบรูปของรถไฟ แผ่นเบรก และเสาไฟ การออกแบบเบรกอากาศพลศาสตร์แบ่งเป็น 3 กรณี คือ มุมการทำงาน 35, 45, และ 55 องศา โดยการออกแบบจะคำนึงถึงพิกัดเขตโครงสร้างของรถไฟ มีการนำเสนอแบบจำลองผลการเคลื่อนที่ของรถไฟและเพื่อคำนวณโดยใช้โปรแกรม MATLAB จำลองการเคลื่อนที่ของรถไฟความเร็วสูงเมื่อติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์ ในกรณีเบรกฉุกเฉินเพื่อการลดระยะทางในการเบรกสามารถลดระยะทางเบรกได้ถึง 12.513 เมตร และกรณีลดพลังงานในการเบรกของรถไฟที่ความเร็วเริ่มเบรกต่างกัน แบ่งเป็น 11 กรณี ที่ความเร็ว 100 km/h สามารถลดพลังงานในการเบรกได้มากที่สุดอยู่ที่ 1.05% การเปรียบเทียบการจำลองแรงต้านอากาศเมื่อติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์ในโปรแกรม MATLAB และ SOLIDWORKS ที่ความเร็วต่าง ๆ มีค่าใกล้เคียงกัน มีค่าความผิดพลาดมากที่สุดอยู่ที่ 3.09%

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
ปีการศึกษา 2565

ลายมือชื่อนักศึกษา ภัทร สุระชน
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ทศพล รัตนนิมิตชัย

PHATTHARA SURACHON : A STUDY OF AERODYNAMIC BRAKE FOR HIGH-SPEED TRAINS BRAKING DISTANCE AND ENERGY REDUCTIONS. THESIS ADVISOR : ASST. PROF. DR. TOSAPHOL RATNIYOMCHAI, 166 PP.

Keyword: Aerodynamic brake/High-speed trains/Braking distance/Energy reduction

This thesis presents aerodynamic brake study of reducing braking distance and braking energy of high-speed trains. The simulation of the high-speed train movement of the three train services on the Tokaido Shinkansen Line in Japan: Nozomi, Hikari, and Kodama with a total distance of 515.4 km and 17 passenger stations. The case study is an aerodynamic brake installation simulation. Simulation of models and equipment installed on trains using SOLIDWORKS program can be used to analyze computational fluid dynamics to study the air flow acting on the surface of the train model, stress, factor of safety, deformation effect of trains, aerodynamic brake and electricity post. The design of aerodynamic brakes is divided into 3 cases: working angles of 35, 45, and 55 degrees. The design takes into account the structural coordinates of the train. A simulation of the train movement results was presented and to calculate it by using MATLAB program to simulate the movement of a high-speed train when aerodynamic brakes were installed. In the case of emergency braking, reducing the braking distance can reduce the maximum braking distance of 12.513 m, and in the case of reducing the braking energy of trains at different braking speeds, divided into 11 cases at a speed of 100 km/h, can reduce energy in braking up to 1.05%. Comparison of drag force simulation when installing aerodynamic brakes in MATLAB and SOLIDWORKS programs at different speeds are similar. The highest error rate was 3.09%.

School of Electrical Engineering
Academic Year 2022

Student's Signature Phatthava Surachon
Advisor's Signature Tosaphol Ratniyomchai

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีเนื่องจากได้รับความช่วยเหลืออย่างดียิ่งทั้งทางด้านวิชาการและงานวิจัยจากบุคคล และกลุ่มบุคคลต่าง ๆ ได้แก่

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ทศพล รัตนนิมิตต์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำปรึกษาแนะนำและแนะแนวทางที่เป็นประโยชน์ยิ่งแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด รวมถึงได้ช่วยตรวจทาน และแก้ไขรายงานวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนทำให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น รวมทั้งเป็นกำลังใจ และเป็นแบบอย่างที่ดีในการดำเนินชีวิตหลาย ๆ ด้านให้กับผู้วิจัยเสมอมา

ศาสตราจารย์ ดร. ธนดชัย กุลรวรานิชพงษ์ และรองศาสตราจารย์ ดร. กิรติ ชยะกุลศิริ อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และอาจารย์ ดร. กฤษดา มงคลดี อาจารย์ประจำสาขาระบบราง คณะระบบรางและการขนส่ง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ที่กรุณาให้คำปรึกษาด้านวิชาการ แนะนำแนวทางของงานวิจัย และตรวจทานวิทยานิพนธ์เล่มนี้ให้ดีและสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณอาจารย์และบุคลากรประจำสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีทุกท่านที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ และความรู้ทางด้านวิชาการอย่างดียิ่งมาโดยตลอด และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่ได้สนับสนุนค่าใช้จ่ายในการศึกษา รวมทั้งการเผยแพร่ผลงานวิจัย

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณอาจารย์ผู้สอนทุกท่านที่ให้ความรู้ทางด้านวิชาการทั้งในอดีตและปัจจุบัน ขอขอบคุณ พี่ ๆ เพื่อน ๆ และน้อง ๆ บัณฑิตศึกษาทุกท่านที่ให้คำปรึกษาและช่วยเหลือในทุก ๆ ด้าน และเป็นกำลังใจในการทำวิจัย และขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ได้ให้ความรัก ความอบอุ่น และให้การสนับสนุนทางการศึกษาอย่างยิ่งมาโดยตลอด

ภัทร สุระชน

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย)	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ญ
บทที่	
1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
1.3 สมมติฐานของการวิจัย	3
1.4 ข้อตกลงเบื้องต้น	4
1.5 ขอบเขตของการวิจัย	4
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
1.7 การจัดรูปเล่มวิทยานิพนธ์	5
2 ปรัชญาวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 บทนำ	6
2.2 การออกแบบเบรกอากาศพลศาสตร์ในรถไฟความเร็วสูง	6
2.3 รถไฟฟ้าความเร็วสูง (Series N700 Shinkansen)	13
2.4 พิกัดเขตโครงสร้าง (Structure Gauge)	14
2.5 สรุป	16
3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	17
3.1 บทนำ	17
3.2 ระบบเบรกของรถไฟ	17
3.2.1 การเบรกผ่านแรงยึดเหนี่ยวระหว่างล้อกับราง	18

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.2.2	การเบรกไม่ผ่านแรงยึดเหนี่ยวระหว่างล้อกับราง.....	22
3.3	พิกัดเขตโครงสร้างทางรถไฟ (Structure gauge).....	24
3.3.1	พิกัดเขตการบรรทุก (Loading Gauge)	25
3.3.2	แหนบร่ำไฟ (Pantograph).....	26
3.3.3	พิกัดเขตของรถไฟชินคันเซ็น Series N700	27
3.4	การวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม SOLIDWORKS Flow Simulation	28
3.4.1	จำลองการไหลของอากาศ (SOLIDWORKS Flow Simulation).....	28
3.4.2	ค่าความเค้น (Stress).....	30
3.4.3	ค่าความปลอดภัย (Factor of Safety: FOS)	31
3.4.4	ค่าผลการเสียรูป (Displacement).....	32
3.5	เบรกอากาศพลศาสตร์สำหรับรถไฟความเร็วสูง.....	33
3.6	รถไฟความเร็วสูงชินคันเซ็น Series N700	34
3.7	สรุป	35
4	การจำลองโมเดลและอุปกรณ์ที่ติดตั้งบนรถไฟด้วยโปรแกรม SOLIDWORKS	36
4.1	บทนำ.....	36
4.2	จำลองโมเดลของรถไฟความเร็วสูงด้วยโปรแกรม SOLIDWORKS	36
4.2.1	จำลองการไหลของอากาศของรถไฟความเร็วสูง Series N700	39
4.2.2	จำลองค่าความเค้นของรถไฟความเร็วสูง Series N700.....	46
4.2.3	จำลองค่าความปลอดภัยของรถไฟความเร็วสูง Series N700	50
4.2.4	จำลองผลการเสียรูปของรถไฟความเร็วสูง Series N700.....	51
4.2.5	สรุปจำลองโมเดลของรถไฟความเร็วสูงด้วยโปรแกรม SOLIDWORKS...	53
4.3	จำลองโมเดลของเบรกอากาศพลศาสตร์ด้วยโปรแกรม SOLIDWORKS.....	53
4.3.1	การออกแบบเบรกอากาศพลศาสตร์.....	53
4.3.2	จำลองการไหลของอากาศของรถไฟความเร็วสูงเมื่อติดตั้งเบรกอากาศ พลศาสตร์ที่มุมการทำงาน 35, 45 และ 55 องศา.....	59

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.3.3	จำลองค่าความเค้นของรถไฟความเร็วสูงเมื่อติดตั้งเบรกอากาศ พลศาสตร์ที่มุมการทำงาน 35, 45 และ 55 องศา.....	61
4.3.4	จำลองค่าความปลอดภัยของรถไฟความเร็วสูงเมื่อติดตั้งเบรกอากาศ พลศาสตร์ที่มุมการทำงาน 35, 45 และ 55 องศา.....	63
4.3.5	จำลองผลการเสียรูปของรถไฟความเร็วสูงเมื่อติดตั้งเบรกอากาศ พลศาสตร์ที่มุมการทำงาน 35, 45 และ 55 องศา.....	65
4.3.6	สรุปจำลองโมเดลของรถไฟความเร็วสูงเมื่อติดตั้งเบรกอากาศ พลศาสตร์ที่มุมการทำงาน 35, 45 และ 55 องศาด้วยโปรแกรม SOLIDWORKS.....	67
4.4	จำลองโมเดลของรถไฟความเร็วสูงเมื่อติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์ เสาไฟ และ สายไฟตัวนำสัมผัส (Contact Wire) ด้วยโปรแกรม SOLIDWORKS.....	68
4.4.1	จำลองผลการเสียรูปสายไฟของรถไฟความเร็วสูงเมื่อติดตั้งเสาไฟและ เบรกอากาศพลศาสตร์ที่มุมการทำงาน 35, 45 และ 55 องศา.....	71
4.5	สรุป	74
5	จำลองการเคลื่อนที่ของรถไฟความเร็วสูงด้วยโปรแกรม MATLAB.....	75
5.1	บทนำ.....	75
5.2	จำลองการเคลื่อนที่ของรถไฟความเร็วสูง	75
5.3	จำลองการเคลื่อนที่ของรถไฟความเร็วสูงเมื่อติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์	87
5.3.1	จำลองการเคลื่อนที่ของรถไฟความเร็วสูงเมื่อติดตั้งเบรกอากาศ พลศาสตร์ที่มุมการทำงาน 35, 45 และ 55 องศา เพื่อใช้งานในกรณี เบรกฉุกเฉิน.....	88
5.3.2	จำลองการเคลื่อนที่ของรถไฟความเร็วสูงเมื่อติดตั้งเบรกอากาศ พลศาสตร์ที่มุมการทำงาน 35, 45 และ 55 องศา เพื่อใช้งานในกรณี ลดพลังงานในการเบรกของรถไฟ.....	96

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.3.3	จำลองการเคลื่อนที่ของรถไฟความเร็วสูงเมื่อติดตั้งเบรกอากาศ พลศาสตร์ เพื่อใช้ลดพลังงานในการเบรกของรถไฟในกรณีที่มีความเร็ว ต่างกัน.....	103
5.4	เปรียบเทียบการจำลองการเคลื่อนที่ของรถไฟความเร็วสูงเมื่อติดตั้งเบรกอากาศ พลศาสตร์ที่มุมการทำงาน 35, 45 และ 55 องศา กับโปรแกรม SOLIDWORKS	120
5.5	สรุป	123
6	สรุปผล และข้อเสนอแนะ	124
6.1	สรุปผลการดำเนินงาน.....	124
6.2	ข้อเสนอแนะ	125
	รายการอ้างอิง	126
	ภาคผนวก.....	130
ก	ผลจำลองพลังงานเบรกและแรงต้านอากาศของรถไฟฟ้าความเร็วสูงในกรณี ต่าง ๆ	133
ข	บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา.....	160
	ประวัติผู้เขียน.....	166

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1	ข้อมูลจำเพาะของ pantograph ของรถไฟชินคันเซ็น Series N700 27
4.1	ข้อมูลขนาดของรถไฟความเร็วสูงชินคันเซ็น Series N700 37
4.2	สรุปผลการจำลองโมเดลของรถไฟความเร็วสูงด้วยโปรแกรม SOLIDWORKS 53
4.3	แผ่นเบรกอากาศยานศาสตร์ 55
4.4	เปรียบเทียบค่าแรงต้านอากาศของแผ่นเบรกที่มุมการทำงาน 35° 57
4.5	ค่าแรงต้านอากาศรวมของโมเดลรถไฟเมื่อติดตั้งเบรกอากาศยานศาสตร์ 61
4.6	ค่าความเค้นของรถไฟความเร็วสูงเมื่อติดตั้งเบรกอากาศยานศาสตร์ 63
4.7	ค่าความปลอดภัยของรถไฟความเร็วสูงเมื่อติดตั้งเบรกอากาศยานศาสตร์ 65
4.8	ผลการเสีรूपของรถไฟความเร็วสูงเมื่อติดตั้งเบรกอากาศยานศาสตร์ 67
4.9	สรุปผลการจำลองโมเดลของรถไฟความเร็วสูงเมื่อติดตั้งเบรกอากาศยานศาสตร์ด้วยโปรแกรม SOLIDWORKS..... 68
4.10	ผลการเสีรूपของสายไฟของรถไฟความเร็วสูงเมื่อติดตั้งเบรกอากาศยานศาสตร์ 73
5.1	พารามิเตอร์ของรถไฟความเร็วสูงในระบบทดสอบ 82
5.2	ตำแหน่งของสถานีและการให้บริการของสายขบวนของรถไฟความเร็วสูง 3 ขบวน 84
5.3	พารามิเตอร์ของเบรกอากาศยานศาสตร์ในระบบทดสอบ 88
5.4	การเปรียบเทียบการลดระยะทางในการเบรกและการเพิ่มแรงต้านอากาศของรถไฟเมื่อติดตั้งเบรกอากาศยานศาสตร์แต่ละมุมการทำงาน..... 95
5.5	การเปรียบเทียบการลดพลังงานเบรกรวมแต่ละมุมการทำงานกับพลังงานเบรกที่ไม่มีการติดตั้งเบรกอากาศยานศาสตร์..... 102
5.6	เปรียบเทียบการลดพลังงานเบรกที่ติดตั้งเบรกอากาศยานศาสตร์ที่ความเร็ว 100 km/h..... 107
5.7	เปรียบเทียบการลดพลังงานเบรกที่ติดตั้งเบรกอากาศยานศาสตร์ที่ความเร็ว 90 km/h..... 111
5.8	เปรียบเทียบการลดพลังงานเบรกที่ติดตั้งเบรกอากาศยานศาสตร์ที่ความเร็ว 80 km/h..... 115

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
5.9	เปรียบเทียบการลดพลังงานเบรกที่ติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์ที่ความเร็ว 70 km/h..... 116
5.10	เปรียบเทียบการลดพลังงานเบรกที่ติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์ที่ความเร็ว 60 km/h..... 116
5.11	เปรียบเทียบการลดพลังงานเบรกที่ติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์ที่ความเร็ว 50 km/h..... 117
5.12	เปรียบเทียบการลดพลังงานเบรกที่ติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์ที่ความเร็ว 40 km/h..... 117
5.13	เปรียบเทียบการลดพลังงานเบรกที่ติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์ที่ความเร็ว 30 km/h..... 118
5.14	เปรียบเทียบการลดพลังงานเบรกที่ติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์ที่ความเร็ว 20 km/h..... 118
5.15	เปรียบเทียบการลดพลังงานเบรกที่ติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์ที่ความเร็ว 10 km/h..... 119
5.16	เปรียบเทียบการลดพลังงานเบรกที่ติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์ที่ความเร็ว 6.5 km/h..... 119
5.17	เปรียบเทียบแรงต้านอากาศเมื่อติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์ที่มุมการทำงาน 35° ในจำลองในโปรแกรม SOLIDWORK FLOW SIMULATION และโปรแกรม MATLAB 121
5.18	เปรียบเทียบแรงต้านอากาศเมื่อติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์ที่มุมการทำงาน 45° ในจำลองในโปรแกรม SOLIDWORK FLOW SIMULATION และโปรแกรม MATLAB 122
5.19	เปรียบเทียบแรงต้านอากาศเมื่อติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์ที่มุมการทำงาน 55° ในจำลองในโปรแกรม SOLIDWORK FLOW SIMULATION และโปรแกรม MATLAB 123

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	การไหลและความหนาแน่นอากาศของเบรกอากาศพลศาสตร์	7
2.2	ความหนาแน่นอากาศบริเวณแผ่นเบรกอากาศพลศาสตร์	8
2.3	ความหนาแน่นอากาศหลังเบรกอากาศพลศาสตร์ที่มุมการทำงาน 35°, 45° และ 55°	9
2.4	อุปกรณ์สำหรับเพิ่มแรงต้านอากาศ	10
2.5	แบบจำลองเบรกอากาศพลศาสตร์แบบตรง (Straight) และแบบงอ (Bent).....	11
2.6	ขนาดของแผ่นเบรกอากาศพลศาสตร์.....	12
2.7	ผลลัพธ์ของการจำลอง CFD ด้วยอุปกรณ์จำนวนมากบนรถไฟ.....	12
2.8	Tokaido Shinkansen	14
2.9	แขนรับไฟ (Pantograph).....	15
3.1	การจำแนกประเภทของระบบเบรกที่ใช้ในยานพาหนะทางรถไฟ.....	18
3.2	การเบรกแบบใช้สูญญากาศ	19
3.3	การเบรกแบบใช้ลมอัด	21
3.4	การเบรกแบบจ่ายคืนพลังงาน (Regenerative Braking).....	22
3.5	หลักการการทำงานของเบรกราง.....	23
3.6	เบรกอากาศพลศาสตร์ (Aerodynamic Brake).....	23
3.7	พิกัดเขตโครงสร้างทางรถไฟ (Structure Gauge).....	24
3.8	พิกัดเขตการบรรทุก (Loading Gauge).....	25
3.9	พิกัดเขตการบรรทุกของรถไฟชินคันเซ็น	26
3.10	แขนรับไฟของรถไฟชินคันเซ็น Series N700	26
3.11	พิกัดเขตของรถไฟชินคันเซ็น Series N700.....	28
3.12	การจำลองการไหลของอากาศของโมเดลรถไฟ.....	30
3.13	ลักษณะของแรงกระทำชนิดต่าง ๆ	31
3.14	เบรกอากาศพลศาสตร์ในรถไฟความเร็วสูง.....	33

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.15 รถไฟความเร็วสูงชินคันเซ็น Series N700	34
4.1 แบบจำลองหัวรถไฟความเร็วสูงชินคันเซ็น Series N700.....	37
4.2 แบบจำลองตู้ขบวนรถไฟความเร็วสูงชินคันเซ็น Series N700	37
4.3 แบบจำลองแหวนรับไฟของรถไฟความเร็วสูงชินคันเซ็น Series N700	38
4.4 แบบจำลองทั้งขบวนของรถไฟความเร็วสูงชินคันเซ็น Series N700.....	38
4.5 การกำหนดค่าเริ่มต้นแบบ Wizard ในแถบ Flow Simulation.....	39
4.6 การสร้างโปรเจคใหม่.....	40
4.7 การเลือกหน่วยที่ใช้.....	40
4.8 การเลือกประเภทการวิเคราะห์.....	41
4.9 การเลือกชนิดของของไหล	41
4.10 การตั้งค่าผนังและความเรียบผิว.....	42
4.11 การตั้งค่าข้อมูลเริ่มต้น.....	42
4.12 ขอบเขตของการวิเคราะห์ชิ้นงาน.....	43
4.13 การตั้งค่าขอบเขตของการวิเคราะห์ชิ้นงาน	44
4.14 การเลือกเป้าหมายที่ผิวของชิ้นงาน	45
4.15 กำหนดเลือกหาค่าเป็นแรง (Force).....	45
4.16 ผลเฉลยการไหลของอากาศของโมเดลรถไฟ.....	46
4.17 ค่าแรงต้านอากาศที่กระทำกับผิวของโมเดลรถไฟ.....	46
4.18 การเลือกจำลอง SOLIDWORKS Simulation	47
4.19 ตั้งชื่อการจำลองวิเคราะห์ค่าความเค้น (Stress Simulation).....	47
4.20 กำหนดวัสดุในการวิเคราะห์ความเค้นของโมเดลรถไฟ.....	47
4.21 กำหนดวัสดุ Aluminum Alloys ชนิด 6061 Alloy.....	48
4.22 ระบุผลเฉลยการวิเคราะห์การไหลของอากาศของโมเดลรถไฟ.....	49
4.23 กำหนดจุดจับยึดในการวิเคราะห์ค่าความเค้นของโมเดลรถไฟ.....	49
4.24 ผลเฉลยวิเคราะห์ค่าความเค้นของโมเดลรถไฟความเร็วสูงชินคันเซ็น Series N700... 50	50
4.25 เลือกจำลองค่าความปลอดภัย.....	51

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.26 ผลเฉลยวิเคราะห์ค่าความปลอดภัยของโมเดลรถไฟความเร็วสูงชินคันเซ็น Series N700	51
4.27 เลือกจำลองผลการเสียรูป	52
4.28 ผลเฉลยวิเคราะห์ผลการเสียรูปของโมเดลรถไฟความเร็วสูงชินคันเซ็น Series N700	52
4.29 พิกัดเขตการบรรทุกของรถไฟความเร็วสูงชินคันเซ็น Series N700	54
4.30 ระยะห่างในการติดตั้งแผ่นเบรกอากาศยานพลศาสตร์	55
4.31 จำลองแรงต้านอากาศที่แผ่นเบรกอากาศยานพลศาสตร์	56
4.32 แบบจำลองแผ่นเบรกอากาศยานพลศาสตร์มุมการทำงาน 35°	57
4.33 แบบจำลองแผ่นเบรกอากาศยานพลศาสตร์มุมการทำงาน 45°	57
4.34 แบบจำลองแผ่นเบรกอากาศยานพลศาสตร์มุมการทำงาน 55°	58
4.35 ระยะห่างที่ติดตั้งแผ่นเบรกอากาศยานพลศาสตร์ในการจำลอง	58
4.36 แบบจำลองรถไฟความเร็วสูงติดตั้งแผ่นเบรกอากาศยานพลศาสตร์มุมการทำงาน 35°	58
4.37 แบบจำลองรถไฟความเร็วสูงติดตั้งแผ่นเบรกอากาศยานพลศาสตร์มุมการทำงาน 45°	59
4.38 แบบจำลองรถไฟความเร็วสูงติดตั้งแผ่นเบรกอากาศยานพลศาสตร์มุมการทำงาน 55°	59
4.39 จำลองการไหลของอากาศรถไฟความเร็วสูงติดตั้งเบรกอากาศยานพลศาสตร์มุมการทำงาน 35°	60
4.40 จำลองการไหลของอากาศรถไฟความเร็วสูงติดตั้งเบรกอากาศยานพลศาสตร์มุมการทำงาน 45°	60
4.41 จำลองการไหลของอากาศรถไฟความเร็วสูงติดตั้งเบรกอากาศยานพลศาสตร์มุมการทำงาน 55°	61
4.42 จำลองค่าความเค้นเมื่อติดตั้งเบรกอากาศยานพลศาสตร์มุมการทำงาน 35°	62
4.43 จำลองค่าความเค้นเมื่อติดตั้งเบรกอากาศยานพลศาสตร์มุมการทำงาน 45°	62
4.44 จำลองค่าความเค้นเมื่อติดตั้งเบรกอากาศยานพลศาสตร์มุมการทำงาน 55°	63
4.45 การจำลองค่าความปลอดภัยเมื่อติดตั้งเบรกอากาศยานพลศาสตร์มุมการทำงาน 35°	64
4.46 การจำลองค่าความปลอดภัยเมื่อติดตั้งเบรกอากาศยานพลศาสตร์มุมการทำงาน 45°	64

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.47	การจำลองค่าความปลอดภัยเมื่อติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์มุมการทำงาน 55° 65
4.48	การจำลองผลการเสียรูปเมื่อติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์มุมการทำงาน 35° 66
4.49	การจำลองผลการเสียรูปเมื่อติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์มุมการทำงาน 45° 66
4.50	การจำลองผลการเสียรูปเมื่อติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์มุมการทำงาน 55° 67
4.51	แบบจำลองเสาไฟที่ใช้ในรถไฟความเร็วสูง..... 69
4.52	ระยะห่างของเสาไฟรถไฟความเร็วสูง Shinkansen 69
4.53	ด้านหน้าของแบบจำลองรถไฟความเร็วสูงติดตั้งเสาไฟและสายไฟ 70
4.54	แบบจำลองรถไฟความเร็วสูงติดตั้งเสาไฟและสายไฟ..... 70
4.55	แบบจำลองรถไฟความเร็วสูงติดตั้งเสาไฟ สายไฟและแผ่นเบรกมุมการทำงาน 35° 70
4.56	แบบจำลองรถไฟความเร็วสูงติดตั้งเสาไฟ สายไฟและแผ่นเบรกมุมการทำงาน 45° 71
4.57	แบบจำลองรถไฟความเร็วสูงติดตั้งเสาไฟ สายไฟและแผ่นเบรกมุมการทำงาน 55° 71
4.58	การจำลองผลการเสียรูปเมื่อติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์มุมการทำงาน 35° 72
4.59	การจำลองผลการเสียรูปเมื่อติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์มุมการทำงาน 45° 73
4.60	การจำลองผลการเสียรูปเมื่อติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์มุมการทำงาน 55° 73
5.1	โหมดการทำงานของรถไฟ..... 76
5.2	การเคลื่อนที่ของรถไฟ..... 76
5.3	ลักษณะคุณสมบัติของแรงฉุดหัวรถจักรกับความเร็วเชิงเส้น 79
5.4	แผนภาพระยะวิกฤติการเบรก 79
5.5	กำลังไฟฟ้าเทียบกับเวลาของรถไฟความเร็วสูง 80
5.6	เส้นทางการเคลื่อนที่ของรถไฟความเร็วสูงขบวน Nozomi..... 82
5.7	เส้นทางการเคลื่อนที่ของรถไฟความเร็วสูงขบวน Hikari..... 83
5.8	เส้นทางการเคลื่อนที่ของรถไฟความเร็วสูงขบวน Kodama..... 83
5.9	ความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถไฟเทียบกับระยะทาง 84
5.10	แรงฉุดของรถไฟเทียบกับระยะทาง 85
5.11	กำลังไฟฟ้าในการเคลื่อนที่ของรถไฟเทียบกับระยะทาง 85
5.12	กำลังไฟฟ้าในการเบรกของรถไฟเทียบกับระยะทาง 86

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.13	พลังงานในการเคลื่อนที่ของรถไฟเทียบกับระยะทาง 86
5.14	พลังงานในการเบรกของรถไฟเทียบกับระยะทาง 87
5.15	ความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถไฟ Nozomi ในแต่ละมุมการทำงานเทียบกับ ระยะทาง 89
5.16	ความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถไฟ Hikari ในแต่ละมุมการทำงานเทียบกับระยะทาง.. 90
5.17	ความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถไฟ Kodama ในแต่ละมุมการทำงานเทียบกับ ระยะทาง 91
5.18	แรงฉุดของรถไฟ Nozomi ในแต่ละมุมการทำงานเทียบกับระยะทาง..... 92
5.19	แรงฉุดของรถไฟ Hikari ในแต่ละมุมการทำงานเทียบกับระยะทาง..... 93
5.20	แรงฉุดของรถไฟ Kodama ในแต่ละมุมการทำงานเทียบกับระยะทาง..... 94
5.21	ความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถไฟทุกขบวนในแต่ละมุมการทำงานเทียบระยะทาง.... 97
5.22	แรงฉุดของรถไฟทุกขบวนในแต่ละมุมการทำงานเทียบระยะทาง..... 98
5.23	พลังงานเบรกของขบวนรถไฟ Nozomi ในแต่ละมุมการทำงานเทียบเวลา..... 99
5.24	พลังงานเบรกของขบวนรถไฟ Hikari ในแต่ละมุมการทำงานเทียบเวลา 100
5.25	พลังงานเบรกของขบวนรถไฟ Kodama ในแต่ละมุมการทำงานเทียบเวลา..... 101
5.26	พลังงานเบรกของรถไฟ Nozomi แต่ละมุมการทำงานเทียบเวลาที่ความเร็ว 100 km/h..... 104
5.27	พลังงานเบรกของรถไฟ Hikari แต่ละมุมการทำงานเทียบเวลาที่ความเร็ว 100 km/h 105
5.28	พลังงานเบรกของรถไฟ Kodama แต่ละมุมการทำงานเทียบเวลาที่ความเร็ว 100 km/h..... 106
5.29	พลังงานเบรกของรถไฟ Nozomi แต่ละมุมการทำงานเทียบเวลาที่ความเร็ว 90 km/h..... 108
5.30	พลังงานเบรกของรถไฟ Hikari แต่ละมุมการทำงานเทียบเวลาที่ความเร็ว 90 km/h 109

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.31 พลังงานเบรกของรถไฟ Kodama แต่ละมุมการทำงานเทียบเวลาที่ความเร็ว 90 km/h.....	110
5.32 พลังงานเบรกของรถไฟ Nozomi แต่ละมุมการทำงานเทียบเวลาที่ความเร็ว 80 km/h.....	112
5.33 พลังงานเบรกของรถไฟ Hikari แต่ละมุมการทำงานเทียบเวลาที่ความเร็ว 80 km/h	113
5.34 พลังงานเบรกของรถไฟ Kodama แต่ละมุมการทำงานเทียบเวลาที่ความเร็ว 80 km/h.....	114
5.35 แรงต้านอากาศของรถไฟเทียบกับระยะทางที่ความเร็ว 100 km/h.....	121
ก.1 พลังงานเบรกของรถไฟ Nozomi แต่ละมุมการทำงานเทียบเวลาที่ความเร็ว 70 km/h.....	131
ก.2 พลังงานเบรกของรถไฟ Hikari แต่ละมุมการทำงานเทียบเวลาที่ความเร็ว 70 km/h	132
ก.3 พลังงานเบรกของรถไฟ Kodama แต่ละมุมการทำงานเทียบเวลาที่ความเร็ว 70 km/h.....	133
ก.4 พลังงานเบรกของรถไฟ Nozomi แต่ละมุมการทำงานเทียบเวลาที่ความเร็ว 60 km/h.....	134
ก.5 พลังงานเบรกของรถไฟ Hikari แต่ละมุมการทำงานเทียบเวลาที่ความเร็ว 60 km/h	135
ก.6 พลังงานเบรกของรถไฟ Kodama แต่ละมุมการทำงานเทียบเวลาที่ความเร็ว 60 km/h.....	136
ก.7 พลังงานเบรกของรถไฟ Nozomi แต่ละมุมการทำงานเทียบเวลาที่ความเร็ว 50 km/h.....	137
ก.8 พลังงานเบรกของรถไฟ Hikari แต่ละมุมการทำงานเทียบเวลาที่ความเร็ว 50 km/h	138

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ก.9	พลังงานเบรกของรถไฟ Kodama แต่ละมุมการทำงานเทียบเวลาที่ความเร็ว 50 km/h..... 139
ก.10	พลังงานเบรกของรถไฟ Nozomi แต่ละมุมการทำงานเทียบเวลาที่ความเร็ว 40 km/h..... 140
ก.11	พลังงานเบรกของรถไฟ Hikari แต่ละมุมการทำงานเทียบเวลาที่ความเร็ว 40 km/h 141
ก.12	พลังงานเบรกของรถไฟ Kodama แต่ละมุมการทำงานเทียบเวลาที่ความเร็ว 40 km/h..... 142
ก.13	พลังงานเบรกของรถไฟ Nozomi แต่ละมุมการทำงานเทียบเวลาที่ความเร็ว 30 km/h..... 143
ก.14	พลังงานเบรกของรถไฟ Hikari แต่ละมุมการทำงานเทียบเวลาที่ความเร็ว 30 km/h 144
ก.15	พลังงานเบรกของรถไฟ Kodama แต่ละมุมการทำงานเทียบเวลาที่ความเร็ว 30 km/h..... 145
ก.16	พลังงานเบรกของรถไฟ Nozomi แต่ละมุมการทำงานเทียบเวลาที่ความเร็ว 20 km/h..... 146
ก.17	พลังงานเบรกของรถไฟ Hikari แต่ละมุมการทำงานเทียบเวลาที่ความเร็ว 20 km/h 147
ก.18	พลังงานเบรกของรถไฟ Kodama แต่ละมุมการทำงานเทียบเวลาที่ความเร็ว 20 km/h..... 148
ก.19	พลังงานเบรกของรถไฟ Nozomi แต่ละมุมการทำงานเทียบเวลาที่ความเร็ว 10 km/h..... 149
ก.20	พลังงานเบรกของรถไฟ Hikari แต่ละมุมการทำงานเทียบเวลาที่ความเร็ว 10 km/h 150
ก.21	พลังงานเบรกของรถไฟ Kodama แต่ละมุมการทำงานเทียบเวลาที่ความเร็ว 10 km/h..... 151

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ก.22	พลังงานเบรกของรถไฟ Nozomi แต่ละมุมการทำงานเทียบเวลาที่ความเร็ว 6.5 km/h..... 152
ก.23	พลังงานเบรกของรถไฟ Hikari แต่ละมุมการทำงานเทียบเวลาที่ความเร็ว 6.5 km/h 153
ก.24	พลังงานเบรกของรถไฟ Kodama แต่ละมุมการทำงานเทียบเวลาที่ความเร็ว 6.5 km/h..... 154
ก.25	แรงต้านอากาศของรถไฟเทียบกับระยะทางที่ความเร็ว 90 km/h..... 155
ก.26	แรงต้านอากาศของรถไฟเทียบกับระยะทางที่ความเร็ว 80 km/h..... 155
ก.27	แรงต้านอากาศของรถไฟเทียบกับระยะทางที่ความเร็ว 70 km/h..... 156
ก.28	แรงต้านอากาศของรถไฟเทียบกับระยะทางที่ความเร็ว 60 km/h..... 156
ก.29	แรงต้านอากาศของรถไฟเทียบกับระยะทางที่ความเร็ว 50 km/h..... 157
ก.30	แรงต้านอากาศของรถไฟเทียบกับระยะทางที่ความเร็ว 40 km/h..... 157
ก.31	แรงต้านอากาศของรถไฟเทียบกับระยะทางที่ความเร็ว 30 km/h..... 158
ก.32	แรงต้านอากาศของรถไฟเทียบกับระยะทางที่ความเร็ว 20 km/h..... 158
ก.33	แรงต้านอากาศของรถไฟเทียบกับระยะทางที่ความเร็ว 10 km/h..... 159
ก.34	แรงต้านอากาศของรถไฟเทียบกับระยะทางที่ความเร็ว 6.5 km/h..... 159

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

รถไฟความเร็วสูง (High-Speed Trains) ได้กลายเป็นรูปแบบการคมนาคมที่สำคัญสำหรับการเดินทางสาธารณะเพราะมีความสะดวกสบาย รวดเร็วในการเดินทางและมีความปลอดภัยในการเดินทางสูง (Gao et al., 2015) เทคโนโลยีรถไฟฟ้าเป็นระบบขนส่งมวลชนอย่างหนึ่งที่สำคัญในปัจจุบัน รถไฟความเร็วสูง มีความเร็วที่ใช้อยู่ในช่วง 250 km/h ถึง 400 km/h รถไฟความเร็วสูงสามารถขับเคลื่อนด้วยพลังงานไฟฟ้าผ่านสายไฟเหนือตัวตู้รถไฟ ลักษณะที่เด่นชัดของรถไฟความเร็วสูง คือ ตัวรางที่มีการเชื่อมต่อแบบไร้รอยต่อทำให้ลดแรงสั่นสะเทือนในตัวรางรวมทั้งลดค่าความแตกต่างของระดับในช่วงขบวนรถไฟเพื่อให้รถไฟเคลื่อนที่ไปด้วยความเร็วที่สูงกว่า 250 km/h การขนส่งมวลชนของรถไฟฟ้าสามารถขนส่งผู้โดยสารได้มากต่อรถไฟฟ้า 1 ขบวน และเทคโนโลยีที่ใช้ไฟฟ้าได้รับความสนใจเพิ่มขึ้น เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีสะอาด ไม่ก่อให้เกิดมลพิษจากการเผาไหม้ภายใน ดังนั้นเทคโนโลยีรถไฟฟ้าจึงได้รับความนิยมในปัจจุบัน

รถไฟความเร็วสูงนั้นได้รับการออกแบบในรูปทรงเพรียวบางเพื่อลดแรงเสียดทานทางอากาศ (Xu et al., 2017) อย่างไรก็ตามรถไฟความเร็วสูงใช้ระยะทางและเวลานานกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับรถไฟธรรมดา เบรกอากาศพลศาสตร์ (Aerodynamic Brake) เป็นแรงต้านที่เกิดจากการใช้งานบนปีกเครื่องบินพาณิชย์เกี่ยวกับปีกของเครื่องบิน (Aircraft's Spoiler) คือ เป็นส่วนประกอบที่อยู่บริเวณปลายของปีกเครื่องบิน มีหน้าที่สำคัญ 2 อย่าง คือ สร้างแรงยกเพื่อช่วยในการบินขึ้นจากพื้นดิน (Takeoff) และช่วยลดความเร็วของเครื่องบินในขณะทำการลงจอด (Landing) โดยการสร้างแรงต้าน (Drag Force) ซึ่งจะส่งผลให้ความเร็วของเครื่องบินลดลง โดยส่วนมากนักบินจะใช้ ในช่วงลงจอดเป็นส่วนใหญ่ และจะไม่สามารถสั่งให้ปีกของเครื่องบินกางได้หากความเร็วของเครื่องบินสูงเกินกำหนด พื้นที่ของเบรกอากาศพลศาสตร์ทำหน้าที่เป็นแรงลากเพิ่มเติม ทำให้มีพื้นที่หน้าสัมผัสทั้งของตัวเครื่องบินพาณิชย์และแผ่นเบรกอากาศพลศาสตร์เพิ่มขึ้น เมื่อต้องเจอกับแรงต้านอากาศที่มากจากการปะทะกับลมในรถไฟความเร็วสูง เพื่อที่จะลดระยะเบรกของรถไฟความเร็วสูง และลดการใช้พลังงานไฟฟ้า (Byun et al., 2014) ดังนั้นความปลอดภัยในการเดินทางในรถไฟความเร็วสูงจึงมีความสำคัญมาก ระยะเบรกของรถไฟจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ระยะวิ่งฟรี

ความเร็วสูงสุดและประสิทธิภาพของอุปกรณ์เบรกที่เกี่ยวข้องกับการเบรก เป็นหนึ่งในประเด็นที่สำคัญที่สุด เมื่อพูดถึงความปลอดภัยและความสะดวกสบายของผู้โดยสารและประสิทธิภาพของการจัดการทางรถไฟ เนื่องจากรถไฟความเร็วสูงทำงานด้วยความเร็วสูง (Lee & Bhandari, 2018) ดังนั้นการลดระยะเบรกให้น้อย จะช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าและประหยัดพลังงาน การจอดเมื่อถึงสถานีได้ถูกต้องตรงเวลาและความปลอดภัยของผู้โดยสาร

การออกแบบเบรกอากาศพลศาสตร์เพื่อนำมาประยุกต์ใช้กับรถไฟความเร็วสูง เบรกอากาศพลศาสตร์จะมีประสิทธิภาพที่มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความเร็วของยานพาหนะชนิดนั้น ๆ ในช่วงการเบรก ยิ่งความเร็วในการเบรกมากประสิทธิภาพของเบรกอากาศพลศาสตร์จะมากขึ้นตามและลดลงตามความเร็วที่น้อยลง ดังนั้นการนำมาใช้กับรถไฟความเร็วสูงจะทำให้ได้ประสิทธิภาพที่สูง เนื่องจากรถไฟความเร็วสูงใช้ความเร็วอยู่ในช่วง 250 km/h ถึง 400 km/h ในการศึกษาการวิเคราะห์พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamics: CFD) ความสำคัญของการศึกษานี้ คือ การตรวจสอบข้อโต้แย้งเกี่ยวกับประสิทธิภาพทางอากาศพลศาสตร์โดยการติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์บนรถไฟความเร็วสูงเพื่อค้นหาประสิทธิภาพในแง่ของการประหยัดพลังงานแบบจำลองของรถไฟความเร็วสูง ได้รับการวิเคราะห์ในการศึกษานี้โดยใช้ความเร็วที่แตกต่างกัน 200 km/h ถึง 400 km/h และมุมการทำงาน 35° ถึง 55° ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าเบรกตามหลักอากาศพลศาสตร์สามารถลดระยะเบรกได้ 2.53% และ 1.56% สำหรับเมื่อใช้เบรกเชิงพาณิชย์และเบรกฉุกเฉินตามลำดับ (Lee & Bhandari, 2018) ในการออกแบบเบรกอากาศพลศาสตร์เพื่อนำมาประยุกต์ใช้กับรถไฟความเร็วสูงนั้นต้องคำนึงถึงผลกระทบที่จะเกิดกับระบบจ่ายไฟเหนือศีรษะ (Overhead Contact System) ดังนั้นจึงต้องออกแบบเบรกอากาศพลศาสตร์ตามพิกัดเขตโครงสร้าง (Structure Gauge) ของรถไฟที่นำมาศึกษาเพื่อกำหนดพิกัดเขตในการออกแบบไม่ให้มีผลกระทบกับระบบจ่ายไฟเหนือศีรษะ ในการวิเคราะห์ความแข็งแรงของเบรกอากาศพลศาสตร์ที่นำมาใช้ในรถไฟความเร็วสูงเพื่อไม่ให้เกิดความเสียหายจากแรงดันที่มาปะทะเมื่อใช้งานแผ่นเบรกอากาศพลศาสตร์ในช่วงการเบรกของรถไฟ จะมีการวิเคราะห์ความแข็งแรง เช่น ค่าความเค้น (Stress) ค่าความปลอดภัย (Factor of Safety: FOS) และค่าผลการเสียรูป (Displacement) เป็นต้น

ในวิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการศึกษาเบรกอากาศพลศาสตร์ของการลดระยะเบรกสำหรับรถไฟความเร็วสูงโดยใช้เบรกอากาศพลศาสตร์เป็นแรงบันดาลใจจากการใช้งานบนปีกเครื่องบินพาณิชย์ ในกรณีฉุกเฉินที่ระยะเบรกและเวลาหยุดจะน้อยกว่าสถานการณ์ปกติ ดังนั้นความปลอดภัยของผู้โดยสารและการจัดการควบคุมการขับเคลื่อนด้วยรถไฟความเร็วสูงโดยการลดเวลาและระยะทางในการเบรกรถไฟในสถานการณ์ฉุกเฉิน เนื่องจากการศึกษาที่จำกัดและการใช้งานของเบรกอากาศพลศาสตร์

ในรถไฟความเร็วสูง ใช้ระบบทดสอบจากการจำลองการเคลื่อนที่ของรถไฟความเร็วสูง 3 ขบวน คือ รถไฟ Tokaido Shinkansen (Series N700) ได้แก่ Nozomi, Hikari และ Kodama เป็นกรณีศึกษา ของวิทยานิพนธ์นี้ การเพิ่มแรงต้านอากาศจากเบรกอากาศพลศาสตร์จะสามารถช่วยเป็นแรงเพิ่มเติม ในการเบรกของรถไฟ ซึ่งจะช่วยให้รถไฟความเร็วสูงใช้แรงในการเบรกลดลงส่งผลให้กำลังไฟฟ้าและ พลังงานเบรกของรถไฟใช้งานลดลงเป็นการประหยัดพลังงานเบรกของรถไฟ ลดภาระการทำงานของ ระบบเบรก เบรกทางกล เบรกทางไฟฟ้า เป็นต้น งานวิจัยนี้ศึกษาเกี่ยวกับเบรกอากาศพลศาสตร์ที่ นำมาใช้ในรถไฟความเร็วสูงเพื่อเพิ่มแรงเบรก ลดระยะทางในการเบรก ลดภาระการทำงานของระบบ เบรกและการบำรุงรักษานั้นได้รับประโยชน์อย่างมีประสิทธิภาพด้วยการยืดอายุการใช้งานให้นานขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการออกแบบเบรกอากาศพลศาสตร์ที่นำมาใช้สำหรับ รถไฟความเร็วสูง เพื่อเพิ่มแรงเบรกและลดระยะทางในการเบรก ศึกษาผลกระทบและวิเคราะห์การ จำลองโมเดลและอุปกรณ์ที่ติดตั้งบนรถไฟความเร็วสูง โดยใช้แบบจำลองการเคลื่อนที่ของรถไฟ ความเร็วสูงชินคันเซ็น 3 ขบวน คือ รถไฟ Tokaido Shinkansen (Series N700) ได้แก่ Nozomi, Hikari และ Kodama เป็นกรณีศึกษา โดยมีวัตถุประสงค์ดังนี้

1.2.1 ออกแบบเบรกอากาศพลศาสตร์และวิเคราะห์ผลกระทบการจำลองโมเดลและ อุปกรณ์ที่ติดตั้งบนรถไฟความเร็วสูงด้วยโปรแกรม SOLIDWORKS Flow Simulation

1.2.2 เพื่อจำลองการเคลื่อนที่ของรถไฟความเร็วสูงที่ติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์ด้วย โปรแกรม MATLAB

1.2.3 เพื่อลดระยะเบรกและพลังงานเบรก เมื่อติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์บนรถไฟ ความเร็วสูง

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

การออกแบบเบรกอากาศพลศาสตร์ที่ติดตั้งบนรถไฟความเร็วสูง ขนาดของแผ่นเบรกอากาศ พลศาสตร์ส่งผลต่อระบบจ่ายไฟเหนือศีรษะ ดังนั้นจึงต้องออกแบบเบรกอากาศพลศาสตร์ตามพิกัด เขตโครงสร้างของรถไฟ ขนาดของแผ่นเบรกอากาศพลศาสตร์ส่งผลต่อการลดระยะเบรกและพลังงาน เบรกของรถไฟความเร็วสูง

1.4 ข้อตกลงเบื้องต้น

1.4.1 การออกแบบเบรกอากาศพลศาสตร์ต้องคำนึงถึงขนาดและมุมการทำงานเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุดและขนาดความสูงของเบรกอากาศพลศาสตร์ต้องไม่เกินพิกัดเขตโครงสร้าง

1.4.2 ระบบทดสอบผลกระทบการจำลองโมเดลและอุปกรณ์ที่ติดตั้งบนรถไฟความเร็วสูงด้วยโปรแกรม SOLIDWORKS Flow Simulation และระบบทดสอบเป็นการจำลองการเคลื่อนที่ของรถไฟความเร็วสูงที่ติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์ด้วยโปรแกรม MATLAB

1.4.3 การจำลองผลเป็นการจำลองการเคลื่อนที่ของรถไฟ 3 ขบวนในระบบทดสอบ

1.4.4 จำลองการเคลื่อนที่ของรถไฟ ไม่คิดการทำงานในโหมดการเล่นด้วยความเฉื่อย (Coasting Mode)

1.4.5 การจำลองการเคลื่อนที่รถไฟในระบบจะไม่มีตัวกักเก็บพลังงาน แบตเตอรี่ (Battery) ตัวเก็บประจุยิ่งยวด (Super Capacitor)

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

1.5.1 การออกแบบเบรกอากาศพลศาสตร์ต้องคำนึงถึงขนาดและมุมการทำงานเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุดและขนาดความสูงของเบรกอากาศพลศาสตร์ต้องไม่เกินพิกัดเขตโครงสร้าง

1.5.2 วิเคราะห์ผลกระทบการจำลองโมเดลและอุปกรณ์ที่ติดตั้งบนรถไฟความเร็วสูง และวิเคราะห์การจำลองการเคลื่อนที่ของรถไฟความเร็วสูงที่ติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์

1.5.3 ประเมินผลการจำลองระหว่างมีและไม่มีติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์บนรถไฟความเร็วสูง

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 ได้แบบจำลองการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม SOLIDWORKS Flow Simulation ของรถไฟความเร็วสูง โมเดลและอุปกรณ์ที่ติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์

1.6.2 ได้แบบจำลองการเคลื่อนที่ของรถไฟความเร็วสูงที่ติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์ด้วยโปรแกรม MATLAB

1.6.3 สามารถลดระยะเบรกและพลังงานเบรกได้เมื่อติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์บนรถไฟความเร็วสูง

1.7 การจัดรูปเล่มวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์นี้ประกอบด้วย 6 บท 2 ภาคผนวก ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

บทที่ 1 เป็นบทนำ ซึ่งกล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ของการวิจัย สมมติฐานการวิจัย ข้อตกลงเบื้องต้น ขอบเขตของการวิจัย และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับของวิทยานิพนธ์เล่มนี้

บทที่ 2 กล่าวถึงปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เป็นการสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในอดีตที่มีการศึกษามาแล้ว เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาและนำมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัย โดยแบ่งเป็น 3 หัวข้อ ได้แก่ การออกแบบเบรกอากาศพลศาสตร์ในรถไฟความเร็วสูง รถไฟฟ้าความเร็วสูง (Series N700 Shinkansen) และพิกัดเขตโครงสร้าง (Structure Gauge)

บทที่ 3 กล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องของวิทยานิพนธ์เล่มนี้ประกอบไปด้วยการเคลื่อนที่ของรถไฟ ระบบเบรกของรถไฟต่าง ๆ พิกัดเขตโครงสร้าง การวิเคราะห์ด้วย SOLIDWORKS Flow Simulation เบรกอากาศพลศาสตร์สำหรับรถไฟความเร็วสูง แรงต้านอากาศ (Drag Force) และสุดท้ายกล่าวถึงรถไฟความเร็วสูงชินคันเซ็น Series N700

บทที่ 4 กล่าวถึงการจำลองโมเดลและอุปกรณ์ที่ติดตั้งบนรถไฟด้วยโปรแกรม SOLIDWORKS ซึ่งได้แก่ การจำลองโมเดลของรถไฟความเร็วสูง การจำลองโมเดลของเบรกอากาศพลศาสตร์ และการจำลองโมเดลของรถไฟความเร็วสูงเมื่อติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์ เส้าไฟและ สายไฟตัวนำสัมผัส (Contact Wire)

บทที่ 5 กล่าวถึงจำลองการเคลื่อนที่ของรถไฟความเร็วสูงด้วยโปรแกรม MATLAB ซึ่งได้แก่ การจำลองการเคลื่อนที่ของรถไฟความเร็วสูง การจำลองการเคลื่อนที่ของรถไฟความเร็วสูงเมื่อติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์ที่มุมการทำงาน 35, 45 และ 55 องศา และเปรียบเทียบการจำลองการเคลื่อนที่ของรถไฟความเร็วสูงเมื่อติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์ที่มุมการทำงาน 35, 45 และ 55 องศา

บทที่ 6 เป็นบทสรุปและข้อเสนอแนะของวิทยานิพนธ์เล่มนี้

ภาคผนวก ก. ผลจำลองพลังงานเบรกและแรงต้านอากาศของรถไฟไฟฟ้าความเร็วสูง

ภาคผนวก ข. บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

บทที่ 2

ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

การประยุกต์ใช้การออกแบบเบรกอากาศพลศาสตร์ในรถไฟความเร็วสูงเพื่อใช้ในการลดพลังงานจากการเบรก เพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบเบรกของรถไฟ และใช้เป็นเบรกในกรณีฉุกเฉินลดระยะทางที่ใช้ในการเบรก การออกแบบเบรกอากาศพลศาสตร์ในรถไฟความเร็วสูงจะศึกษาผลกระทบที่เกิดจากแรงลมเข้ามาปะทะกับรถไฟ โดยศึกษารถไฟฟ้าความเร็วสูง (Series N700 Shinkansen) ขนาด ลักษณะ และข้อมูลของรถไฟเพื่อใช้ในการออกแบบเบรกอากาศพลศาสตร์ พิกัดเขตโครงสร้าง (Structure Gauge) เป็นเขตพื้นที่ทางเดินรถไฟซึ่งห้ามไม่ให้วัตถุหรือส่วนของโครงสร้างใด ๆ รวมถึงส่วนของรถไฟที่วิ่งอยู่บนรางคู่ขนาน ยื่นล้ำเข้ามาในบริเวณนี้ เพื่อให้การเดินรถเป็นไปได้อย่างปลอดภัย ศึกษาระบบเบรกที่ใช้ของรถไฟมีการศึกษาและวิจัยที่หลากหลาย วัตถุประสงค์อย่างแพร่หลาย บทนี้ได้นำเสนอการศึกษาค้นคว้าปริทัศน์วรรณกรรม และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่มีการศึกษามาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน โดยทำการศึกษาปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยดังกล่าวได้นำมาใช้เป็นตัวอย่างและเป็นแนวทางในการประยุกต์ในวิทยานิพนธ์เล่มนี้

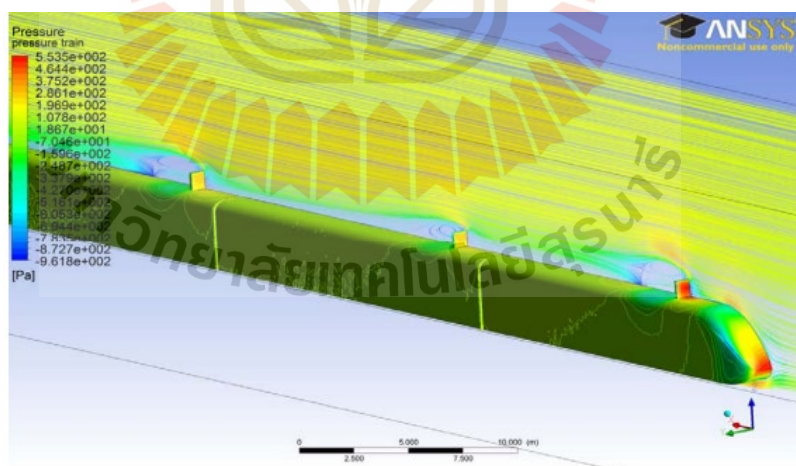
2.2 การออกแบบเบรกอากาศพลศาสตร์ในรถไฟความเร็วสูง

ในการออกแบบเบรกอากาศพลศาสตร์ในรถไฟความเร็วสูงเริ่มมีการศึกษาอย่างจริงจังในช่วงปีค.ศ. 2000 จนถึงปัจจุบัน เบรกอากาศพลศาสตร์เป็นแรงขับเคลื่อนจากการทำงานของปีกเครื่องบินพาณิชย์เกี่ยวกับปีกของเครื่องบิน (Aircraft's Spoiler) คือ เป็นส่วนประกอบที่อยู่บริเวณปลายของปีกเครื่องบิน มีหน้าที่สำคัญ 2 อย่าง คือ สร้างแรงยกเพื่อช่วยในการบินขึ้นจากพื้นดิน (Takeoff) และช่วยลดความเร็วของเครื่องบินในขณะที่ทำการลงจอด (Landing) โดยการสร้างแรงต้าน (Drag Force) ซึ่งจะส่งผลให้ความเร็วของเครื่องบินลดลง โดยส่วนมากนักบินจะใช้ ในช่วงลงจอดเป็นส่วนใหญ่ และจะไม่สามารถสั่งให้ปีกของเครื่องบินกางได้หากความเร็วของเครื่องบินสูงเกินกำหนด พื้นที่ของเบรกอากาศพลศาสตร์ทำหน้าที่เป็นแรงลากเพิ่มเติม ทำให้มีพื้นที่หน้าสัมผัสทั้งของตัวเครื่องบินพาณิชย์ และแผ่นเบรกอากาศพลศาสตร์เพิ่มขึ้น เมื่อต้องเจอกับแรงต้านอากาศที่มากจากการปะทะกับลมในรถไฟความเร็วสูง เพื่อที่จะลดระยะเบรกของรถไฟความเร็วสูง และลดการใช้พลังงานไฟฟ้า เบรกอากาศพลศาสตร์จะมีประสิทธิภาพที่มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความเร็วของพาหนะชนิดนั้น ในช่วงการ

เบรก ยิ่งความเร็วในการเบรกมากประสิทธิภาพของเบรกอากาศยานพลศาสตร์จะมากขึ้นตามและลดลงตามความเร็วที่น้อยลง ดังนั้นการนำมาใช้กับรถไฟความเร็วสูงจะทำให้ได้ประสิทธิภาพที่สูง

การศึกษาการออกแบบเบรกอากาศยานพลศาสตร์ในรถไฟความเร็วสูงจะศึกษาผลกระทบที่เกิดจากแรงลมเข้ามาปะทะกับรถไฟและแผ่นเบรกอากาศยานพลศาสตร์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method) สำหรับการวิเคราะห์ความเค้นและเสถียรของเบรกอากาศยานพลศาสตร์ในรถไฟความเร็วสูง การวิเคราะห์พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamics: CFD) ใช้เพื่อกำหนดภาระทางอากาศยานพลศาสตร์ และทดสอบในอุโมงค์ลม งานวิจัยที่มีการศึกษาและได้ตีพิมพ์เผยแพร่มาแล้วในอดีต

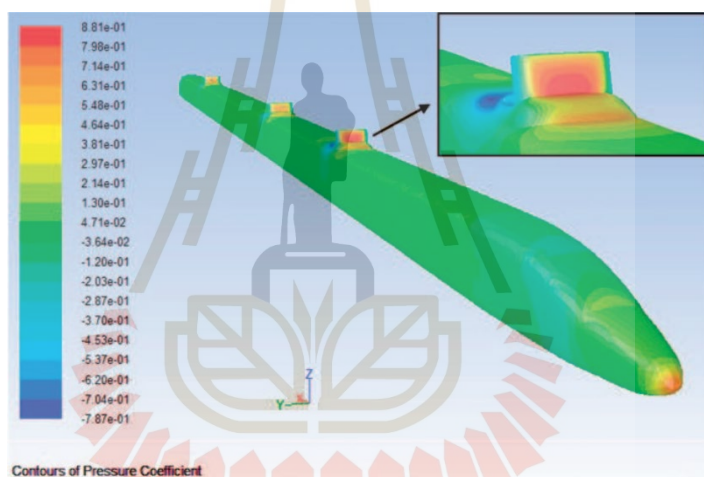
(Vasovic et al., 2011) บทความนี้นำเสนอผลลัพธ์ของวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method) สำหรับการวิเคราะห์ความเครียดและความเสถียรของแผ่นเบรกอากาศยานพลศาสตร์ในรถไฟความเร็วสูง มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบเบรกอากาศยานพลศาสตร์ให้น้ำหนักที่เบาและเป็นระดับขั้นต่ำสำหรับรถไฟความเร็วสูง การวิเคราะห์ CFD (Computational Fluid Dynamics) ใช้เพื่อกำหนดโหลดของอากาศ บทความนี้จะตรวจสอบพฤติกรรมการโก่งตัวและลักษณะความแข็งแรงสูงสุดของแผ่นอะลูมิเนียมที่นำมาใช้เป็นแผ่นเบรก ผลการวิจัยพบว่าวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์สามารถใช้ในการออกแบบแผ่นเบรกอากาศยานพลศาสตร์น้ำหนักขั้นต่ำสำหรับรถไฟความเร็วสูงได้ ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 การไหลและความหนาแน่นอากาศของเบรกอากาศยานพลศาสตร์

ที่มาภาพ: (Vasović et al., 2011)

(Jianyong et al., 2012) บทความนี้เสนอการออกแบบอุปกรณ์เบรกอากาศพลศาสตร์สำหรับรถไฟความเร็วสูงตามหลักการของปีกเครื่องบิน อุปกรณ์นี้เป็นรุ่นเปิดทิศทางเดียวที่ขับเคลื่อนด้วยไฮดรอลิกมีมุมการทำงานที่ -5 ถึง 75 องศาและสามารถปรับปรุงการชะลอการเบรกได้ $8 - 60\%$ เมื่อรถไฟวิ่งด้วยความเร็ว 500 km/h และช่วยเพิ่มอัตราการหน่วงได้ประมาณ 0.12 m/s² ข้อสรุปคือ ต้นแบบการเบรกแบบอากาศพลศาสตร์สำหรับรถไฟความเร็วสูงนั้นเป็นไปได้และรูปแบบการออกแบบก็สมเหตุสมผล ผลของการจำลองและการทดสอบในอุโมงค์ลมแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพการเบรกในเขตความเร็วสูงสามารถปรับปรุงได้อย่างมากโดยใช้ต้นแบบการเบรกแบบอากาศพลศาสตร์ที่ติดตั้งบนรถไฟ ต้นแบบของเบรกอากาศพลศาสตร์สามารถทนแรงลมปะทะของอากาศได้ประมาณ 50 kN ซึ่งเป็นไปตามความต้องการการออกแบบที่ทนทานตามหลักอากาศพลศาสตร์ด้วยความเร็วลม 550 km/h ดังรูปที่ 2.2

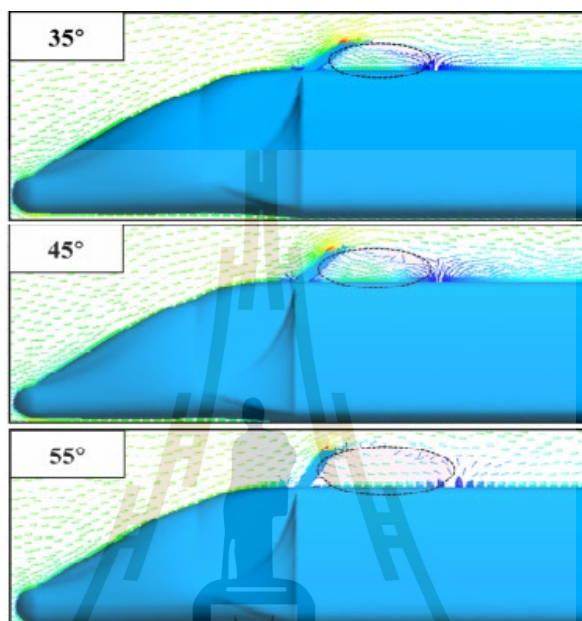


รูปที่ 2.2 ความหนาแน่นอากาศบริเวณแผ่นเบรกอากาศพลศาสตร์

ที่มาภาพ: (Jianyong et al., 2012)

(Lee & Bhandari, 2018) นำเสนอการลดเวลาและระยะทางในการเบรกสำหรับรถไฟ มีการศึกษาวิจัยจำนวนมากเพื่อพัฒนาระบบเบรกที่ดีขึ้นโดยอาศัยเทคโนโลยีทางกลหรือเครื่องกลไฟฟ้า เพื่อเอาชนะปัญหานี้ในการศึกษานี้การวิเคราะห์พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ ความสำคัญหลักของการศึกษานี้ คือ การตรวจสอบข้อโต้แย้งเกี่ยวกับประสิทธิภาพทางอากาศพลศาสตร์โดยการติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์บนรถไฟความเร็วสูง เพื่อค้นหาประสิทธิภาพในแง่ของการประหยัดพลังงานแบบจำลองเต็มขนาดของรถไฟความเร็วสูง ได้รับการวิเคราะห์ในการศึกษานี้โดยใช้ความเร็วที่แตกต่างกัน 200 ถึง 400 km/h และมุมการทำงาน 35° ถึง 55° ดังรูปที่ 2.3 ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าเบรกตามหลักอากาศพลศาสตร์สามารถลดระยะเบรกได้ 2.53% และ 1.56% สำหรับเมื่อใช้เบรก

เชิงพาณิชย์และเบรกฉุกเฉินตามลำดับ เบรกอากาศพลศาสตร์ยังสามารถช่วยลดการใช้พลังงานหรือประหยัดพลังงานได้ประมาณ 15.33 GW มุมการทำงานของเบรกอากาศพลศาสตร์เป็นปัจจัยสำคัญต่อประสิทธิภาพของเบรก และแนะนำให้ใช้งานที่มุมสูงสุดภายในขอบเขตที่ช่วยให้เบรกอากาศพลศาสตร์อยู่ในสภาพที่มั่นคงแม้จะใช้ความเร็วสูงก็ตาม

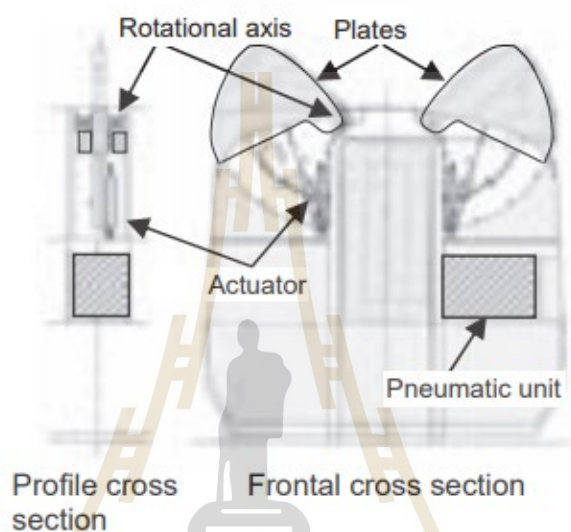


รูปที่ 2.3 ความหนาแน่นอากาศหลังเบรกอากาศพลศาสตร์ที่มุมการทำงาน 35°, 45° และ 55°
ที่มาภาพ: (Lee & Bhandari, 2018)

ในการศึกษาการออกแบบเบรกอากาศพลศาสตร์ในรถไฟความเร็วสูง จะศึกษาการเพิ่มแรงเบรกจากแรงต้านอากาศจากลมที่มาปะทะกับแผ่นเบรกอากาศพลศาสตร์ แรงต้านขณะที่รถไฟวิ่งตามหลักอากาศพลศาสตร์ เปรียบเทียบระหว่างมีการติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์และไม่มีการติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์ในรถไฟความเร็วสูง การออกแบบติดตั้งแผ่นเบรกอากาศพลศาสตร์เพื่อนำมาใช้กับรถไฟความเร็วสูงเป็นที่น่าสนใจ ยิ่งความเร็วในการเบรกมากประสิทธิภาพของเบรกอากาศพลศาสตร์จะมากขึ้นตามและลดลงตามความเร็วที่น้อยลง ดังนั้นการนำมาใช้กับรถไฟความเร็วสูงจะทำให้ได้ประสิทธิภาพที่สูง มีงานวิจัยที่มีการศึกษาและได้ตีพิมพ์เผยแพร่มาแล้วในอดีต

(Arai et al., 2008) นำเสนอระบบเบรกของรถไฟชินคันเซ็นช่วยชะลอความเร็วโดยควบคุมแรงเบรกตามลักษณะการยึดเกาะที่เปลี่ยนแปลงตามความเร็วที่เปลี่ยนไป พร้อมป้องกันล้อเลื่อนแต่เมื่อความเร็วเพิ่มขึ้น ระยะเบรกก็จะยาวขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเนื่องจากผลของความเร็วที่เพิ่มขึ้นเองรวมกับการลดลงของแรงเบรกที่ส่งเนื่องจากการลดลงของค่าสัมประสิทธิ์การยึดเกาะในช่วงความเร็วสูง ดังนั้น เพื่อลดระยะเบรกฉุกเฉินที่ความเร็ว 360 km/h ปกติระยะเบรกฉุกเฉินจะขยายออกไปนานถึง

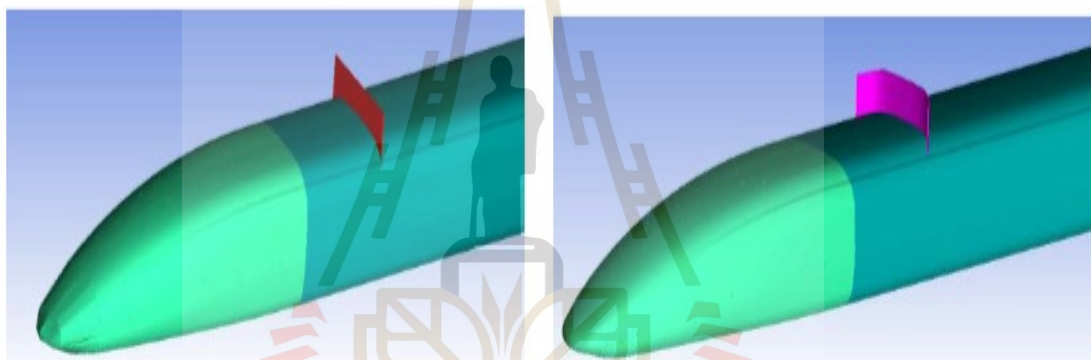
ประมาณ 7000 เมตร ให้เหลือระดับเท่ากับความเร็ว 275 km/h (Serie E2) ปกติระยะเบรกฉุกเฉินจะประมาณ 4000 เมตร ทำการปรับปรุงประสิทธิภาพของอุปกรณ์เบรกพื้นฐาน ปรับการควบคุมการเลื่อนล้อเลื่อนให้เหมาะสมและพัฒนาอุปกรณ์เพื่อเพิ่มแรงต้านอากาศเป็นมาตรการเสริม ผลจากการปรับปรุงดังกล่าว สามารถลดระยะเบรกฉุกเฉินที่ 360 กม./ชม. โดยใช้อุปกรณ์เพื่อเพิ่มแรงต้านอากาศ (Aerodynamic Braking) ให้เหลือประมาณ 4000 เมตรได้ ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 อุปกรณ์สำหรับเพิ่มแรงต้านอากาศ
ที่มาภาพ: (Arai et al., 2008)

(Puharic et al., 2014) บทความนี้กล่าวถึงอิทธิพลของเบรกอากาศพลศาสตร์ในสนามการไหลและแรงเบรกโดยรวมของรถไฟความเร็วสูง การจำลองแสดงให้เห็นว่าเบรกมีส่วนทำให้เกิดแรงเบรกรวมของรถไฟ และมีความสัมพันธ์ที่ดีกับการคำนวณแรงลากตามหลักอากาศพลศาสตร์ ทำการติดตั้งแผ่นเบรกอากาศพลศาสตร์ 3 แผ่น โดยติดตั้งแผ่นละตู้ขบวน มีส่วนช่วยเพิ่มแรงต้านอากาศจากแผ่นเบรกได้ แผ่นเบรกแรกได้ 24% แผ่นเบรกที่สองได้ 15% และแผ่นเบรกที่สามได้ 14.8% ของแรงเบรกรวม สรุปได้ว่าสามารถใช้เบรกอากาศพลศาสตร์กับรถไฟความเร็วสูงในสถานการณ์เร่งด่วนเมื่อจำเป็นต้องหยุดอย่างรวดเร็ว แรงต้านอากาศพลศาสตร์แปรผันตามกำลังสองของความเร็วรถไฟ ดังนั้นแรงเบรกที่เกิดจากเบรกจึงมีความสำคัญมากขึ้นที่ความเร็วที่สูงขึ้น การจำลองแสดงให้เห็นว่าโซนที่เกิดแรงดันอากาศต่ำเกิดขึ้นด้านหลังแผ่นและโซนแรงดันอากาศสูงด้านหน้าแผ่น ซึ่งเป็นผลมาจากการสร้างแรงต้านบนเบรก มีการวิเคราะห์ขนาดของฟองสบู่ของกระแสแรงดันอากาศเข้มข้นที่อยู่ด้านหลังแผงควบคุม และพบว่าความยาวของฟองสบู่ที่แผ่นเบรกแรกและแผ่นเบรกที่สามเท่ากัน ในขณะที่ฟองสบู่หลังแผ่นเบรกที่สองมีความยาวสั้นกว่า

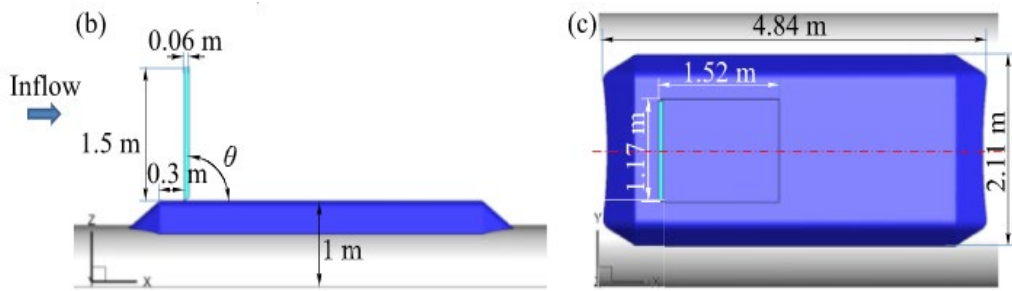
(Zhu et al., 2014) บทความนี้วิเคราะห์ประสิทธิภาพการเบรกของรถไฟความเร็วสูงที่มีแผ่นเบรกสองประเภท คือ แบบตรง (Straight) และแบบงอ (Bent) ดังรูปที่ 2.5 ประเภทของรถไฟความเร็วสูง คือ CRH3 ในบทความนี้เลือกโหมดรถไฟ 8 ขบวนสำหรับการทดลอง ผลการวิจัยพบว่ารถไฟที่มีแผ่นเบรกมีส่วนสำคัญต่อการเร่งความเร็วในกระบวนการเบรก โดยเฉพาะที่ความเร็วสูง แรงเบรก แรงต้านการวิ่ง เวลาเบรก ระยะเบรก และการชะลอตัวที่เกิดจากรถไฟได้รับการวิเคราะห์และเปรียบเทียบระหว่างรถไฟที่มีปีกเบรกและไม่มีปีกเบรก และระหว่างปีกเบรกทั้งสองประเภท สรุปได้ว่าแรงเบรกที่เกิดจากรถไฟความเร็วสูงที่มีแผ่นเบรกอากาศพลศาสตร์ เบรกนั้นมีความมากกว่าแรงเบรกที่ไม่มีแผ่นเบรก โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ความเร็วสูง รูปร่างของแผ่นเบรกมีผลเพียงเล็กน้อยต่อแรงเบรกที่ความเร็วต่ำ แรงเบรกจะสูงสุดที่จุดเริ่มต้นของกระบวนการเบรก เป็นผลให้แผ่นเบรกอากาศพลศาสตร์มีประโยชน์อย่างยิ่งในการเบรกฉุกเฉิน



รูปที่ 2.5 แบบจำลองเบรกอากาศพลศาสตร์แบบตรง (Straight) และแบบงอ (Bent)

ที่มาภาพ: (Zhu et al., 2014)

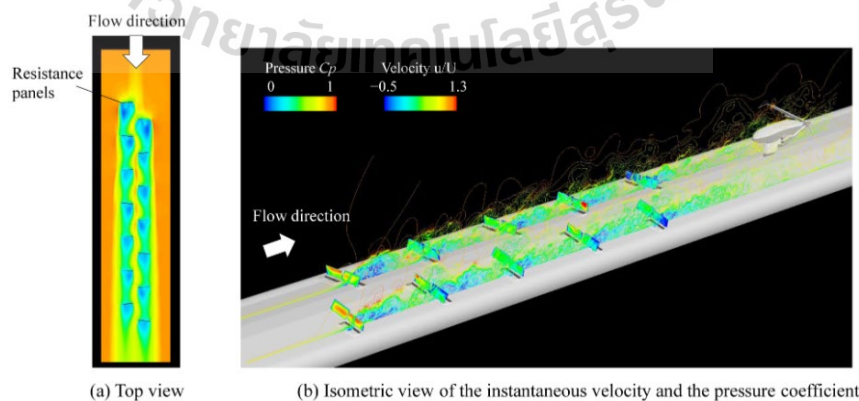
(Zhai et al., 2020) บทความนี้ศึกษาลักษณะอากาศพลศาสตร์ที่ไม่คงที่ของแผ่นเบรกในรถไฟ ทั้งที่มีและไม่มีลมขวาง โดยติดตั้งแผ่นเบรกอากาศพลศาสตร์ที่มีมุมการทำงานตั้งแต่ 45 ถึง 90 องศา ขนาดแผ่นเบรก ความกว้าง 1.17 เมตร ความสูง 1.5 เมตร และความหนา 0.06 เมตร ดังรูปที่ 2.6 แสดงให้เห็นว่าแรงต้านอากาศแบบพัลส์ปรากฏขึ้นในระหว่างกระบวนการเคลื่อนที่ของแผ่นเบรก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงที่เปิดแผ่นเบรกขึ้น และลมขวางจะเพิ่มค่าสูงสุดของแรงเหล่านี้ แรงต้านอากาศบนงานในกระบวนการเปิดมีมากกว่าแรงบนแผ่นเบรกในตำแหน่งเดียวกันในช่วงการปิดแผ่นเบรก ความแตกต่างในบริเวณการไหลหลังแผ่นเบรกในกระบวนการเหล่านี้ถูกทำให้รุนแรงขึ้นโดยลมที่พัดผ่าน ซึ่งอาจทำให้โครงสร้างตัวรถไฟเสียหายได้ ดังนั้นอุปกรณ์แผ่นเบรกอากาศพลศาสตร์ควรได้รับการออกแบบอย่างระมัดระวังเพื่อลดผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นจากการเคลื่อนที่ของสายส่ง (Catenary) และแขนบริปไฟ (Pantograph)



รูปที่ 2.6 ขนาดของแผ่นเบรกอากาศพลศาสตร์

ที่มาภาพ: (Zhai et al., 2020)

(Takami, H., 2020) บทความนี้นำเสนออุปกรณ์เบรกอากาศพลศาสตร์ขนาดเล็กน้ำหนักเบาที่สามารถใช้เพื่อลดระยะการหยุดของรถไฟความเร็วสูงในกรณีเบรกฉุกเฉิน โดยติดตั้งแผ่นเบรกอากาศพลศาสตร์ที่มีมุมการทำงาน 75 องศา ขนาดแผ่นเบรก ความกว้าง 0.5 เมตร ความสูง 0.25 เมตร น้ำหนัก 36.3 กิโลกรัมต่อแผ่น อุปกรณ์ได้รับการทดสอบในอุโมงค์ลมและพบว่าสร้างแรงต้านอากาศที่แผ่นเบรกอากาศพลศาสตร์เมื่อเปิดการทำงานได้ 2.3 kN ที่ความเร็วลม 400 km/h บทความนี้สรุปได้ว่าอุปกรณ์เบรกอากาศพลศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้เพื่อลดระยะหยุดเบรกฉุกเฉินของรถไฟความเร็วสูงได้ อุปกรณ์นี้บางและน้ำหนักเบาพอที่จะติดตั้งบนหลังคาของรถไฟได้ สามารถกระจายอุปกรณ์จำนวนมากทั่วทั้งรถไฟเพื่อรับแรงลากที่ต้องการโดยไม่ลดปริมาตรภายในของรถไฟ ผลการทดสอบในอุโมงค์ลมและการวิเคราะห์พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (CFD) แสดงให้เห็นว่าอุปกรณ์สามารถสร้างแรงต้านอากาศพลศาสตร์ที่สำคัญ และการจัดเรียงแบบ stagger ของอุปกรณ์สามารถเพิ่มแรงลากทั้งหมดได้ 10% เมื่อเทียบกับการจัดเรียงแบบขนานมาตรฐาน ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ผลลัพธ์ของการจำลอง CFD ด้วยอุปกรณ์จำนวนมากบนรถไฟ

ที่มาภาพ: (Takami, H., 2020)

2.3 รถไฟฟ้าความเร็วสูง (Series N700 Shinkansen)

รถไฟความเร็วสูงมีความเร็วที่ใช้อยู่ในช่วง 250 km/h ถึง 400 km/h รถไฟความเร็วสูงสามารถขับเคลื่อนด้วยพลังงานไฟฟ้าผ่านสายไฟเหนือตัวตู้รถไฟ ลักษณะที่เด่นชัดของรถไฟความเร็วสูง คือ ตัวรางที่มีการเชื่อมต่อแบบไร้รอยต่อทำให้ลดแรงสั่นสะเทือนในตัวรางรวมทั้งลดค่าความแตกต่างของระดับในช่วงขบวนรถไฟเพื่อให้รถไฟเคลื่อนที่ไปด้วยความเร็วที่สูงกว่า 250 km/h การขนส่งมวลขนของรถไฟฟ้าสามารถขนส่งผู้โดยสารได้มากต่อรถไฟฟ้า 1 ขบวน และเทคโนโลยีที่ใช้ไฟฟ้าได้รับความสนใจเพิ่มขึ้น เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีสะอาด ไม่ก่อให้เกิดมลพิษจากการเผาไหม้ภายใน ดังนั้นเทคโนโลยีรถไฟฟ้าจึงได้รับความนิยมในปัจจุบัน รถไฟความเร็วสูงที่ถูกกล่าวถึงในวิทยานิพนธ์นี้เป็นรถไฟของประเทศญี่ปุ่นรุ่น Shinkansen Series N700 งานวิจัยที่มีการศึกษาและได้ตีพิมพ์เผยแพร่มาแล้วในอดีต

(Usui & Furuya, 2005) อธิบายคุณลักษณะของ Series N700 ซึ่งเป็นรถไฟความเร็วสูงที่พัฒนาร่วมกันโดย Central Japan Railway Company และ West Japan Railway Company Series N700 รวมเทคโนโลยีล่าสุดเพื่อปรับปรุงคุณภาพการขับเคลื่อน ลดเสียงรบกวน ใช้พลังงานน้อยลง และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น Series N700 มีระบบเอียงซึ่งช่วยเพิ่มความเร็วในการเข้าโค้งในขณะที่ยังคงความสบายของการนั่งโดยสาร และระบบควบคุมรถไฟที่มีความแม่นยำสูง และเทคโนโลยีการส่งสัญญาณควบคุมที่ส่งข้อมูลตำแหน่งแบบดิจิทัล ระบบควบคุมรถไฟและเครือข่ายการสื่อสาร ผ่ากระโปรงแบบใหม่ที่ครอบคลุมช่องว่างระหว่างรถทั้งหมด รูปทรงจมูกที่มีประสิทธิภาพทางอากาศพลศาสตร์ที่เหนือกว่า และระบบกันสะเทือนแบบประสิทธิภาพสูง ระบบลาดเอียงช่วยให้รถไฟวิ่งผ่านโค้งด้วยความเร็วที่สูงขึ้น ในขณะที่ระบบกันสะเทือนช่วยเพิ่มความสบายในการขี่ กำลังขับทั้งหมดเพิ่มขึ้น 30% เมื่อเทียบกับ Series 700 แต่การใช้พลังงานลดลงประมาณ 19% (Ueno et al., 2008) Series N700 ได้รับการทดสอบประสิทธิภาพพื้นฐาน การเพิ่มความเร็ว และความทนทานในระยะยาว และได้รับความคิดเห็นที่ดีจากลูกค้าสำหรับความสะดวกรวดสบายในการขับขี่ระดับสูงสำหรับการใช้งานใน Tokaido Shinkansen มีความเร็วที่ใช้ในช่วง 285 km/h ระบบดังกล่าวจะต้องมีน้ำหนักเบาและมีวิธีการที่เชื่อถือได้ในการให้ข้อมูลตำแหน่งที่มีความแม่นยำสูง ระบบควบคุมรถไฟอัตโนมัติแบบใหม่ (ATC) เทคโนโลยีที่สามารถให้ความแม่นยำสูงที่เชื่อถือได้ข้อมูลตำแหน่งและเทคโนโลยีการส่งสัญญาณควบคุมที่ส่งข้อมูลตำแหน่งแบบดิจิทัลไปยังไฟร์รถไฟในขบวน 16 ตู้ขบวน (Nakakura & Hayakawa, 2009) ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 Tokaido Shinkansen
ที่มาภาพ: (Nakakura & Hayakawa, 2009)

2.4 พิกัดเขตโครงสร้าง (Structure Gauge)

พิกัดเขตโครงสร้างของรถไฟความเร็วสูง เป็นเขตพื้นที่ทางเดินรถไฟซึ่งห้ามไม่ให้วัตถุหรือส่วนของ โครงสร้างใด ๆ รวมถึงส่วนของรถไฟที่วิ่งอยู่บนรางคู่ขนาน ยื่นล้ำเข้ามาในบริเวณนี้ เพื่อให้การเดินรถเป็นไปได้อย่างปลอดภัย ในรถไฟความเร็วสูงที่มีการติดตั้งแผ่นเบรกอากาศพลศาสตร์ แผ่นเบรกอากาศพลศาสตร์จะต้องมีขนาดไม่เกินหรือยื่นล้ำพิกัดเขตโครงสร้างเด็ดขาด การออกแบบเบรกอากาศพลศาสตร์ในวิทยานิพนธ์นี้จึงออกแบบให้มีขนาดไม่เกินแขนรับไฟ (Pantograph) เพราะแขนรับไฟออกแบบตามโครงสร้างของรถไฟและไม่เกินพิกัดโครงสร้าง (สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร, 2561) นำเสนอพิกัดโครงสร้าง เป็นเขตพื้นที่ทางเดินรถไฟซึ่งห้ามไม่ให้วัตถุหรือส่วนของโครงสร้างอื่น ๆ ยื่นล้ำเข้ามาในบริเวณนี้ เพื่อให้รถไฟเดินทางไปได้อย่างปลอดภัยและไม่เกิดอุบัติเหตุ พิกัดโครงสร้างสามารถแบ่งย่อยออกได้เป็น 3 ประเภท พิกัดโครงสร้างขอบเขต (Structure limit gauge) พิกัดโครงสร้างบำรุงทาง (Structure installation limit gauge) และพิกัดโครงสร้างระบุ (Structure installation nominal gauge) พิกัดเขตโครงสร้าง และพิกัดการบรรทุก จะกำหนดความสูงและความกว้างสูงสุดสำหรับยานพาหนะทางรถไฟและน้ำหนักบรรทุกเพื่อให้แน่ใจว่าสามารถลอดผ่านอุโมงค์และใต้สะพานได้อย่างปลอดภัยและหลีกเลี่ยงอาคารและโครงสร้างข้างทาง พิกัดการบรรทุกของประเทศญี่ปุ่นในเครือข่ายของรถไฟชินคันเซ็นทำงานบนรางขนาดมาตรฐานกว้าง 1,435 mm และมีเกจโหลดที่ความกว้างสูงสุด 3,400 mm และความสูงสูงสุด 4,500 mm ใช้ในการออกแบบแผ่นเบรกอากาศพลศาสตร์ในวิทยานิพนธ์นี้ เพื่อให้ไม่เกิดพิกัดเขตโครงสร้างและพิกัดบรรทุก มีงานวิจัยที่การศึกษาและได้ตีพิมพ์เผยแพร่มาแล้วในอดีต

(Nakakura et al., 2011) นำเสนอแขนรับไฟสำหรับรถไฟความเร็วสูงของรถไฟชินคันเซ็น Series N700 แบบแขนเดี่ยว (single-arm) ซึ่งได้รับการพัฒนาเพื่อมุ่งเน้นไปที่การลดเสียงรบกวนและการปรับให้มีแรงยกพลศาสตร์ที่เพียงพอเมื่อสัมผัสกับสายไฟ ตัวแขนรับไฟถูกปิดด้วยฝาครอบป้องกันลมเพื่อลดเสียงรบกวน และวิธีการเคลื่อนที่ที่เพิ่มขึ้นของแผ่นถูกเปลี่ยนเพื่อปรับแรงยกอากาศพลศาสตร์ แรงยกของอากาศพลศาสตร์ที่มากเกินไปก่อให้เกิดความเสียหาย ชำรุด เสื่อมสภาพ หรือสึกหรอเมื่อสัมผัสกับสายไฟและแรงไม่เพียงพอยังทำให้เกิดการสูญเสียการสัมผัสซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพในการเก็บกระแสไฟฟ้าลดลง ข้อสรุปของแขนรับไฟ Series N700 สามารถลดเสียงรบกวนได้มากกว่า 1 dB เมื่อเทียบกับของ Series 700 และรักษาประสิทธิภาพการเก็บกระแสที่เพียงพอและแรงยกอากาศพลศาสตร์ที่เพียงพอในระหว่างการทดสอบการทำงาน ด้วยเหตุนี้แขนรับไฟ Series N700 จึงถูกนำมาใช้และให้บริการในเชิงพาณิชย์ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2550 โดยไม่มีปัญหาใด ๆ ในระหว่างการใช้งานทั่วไป ผู้แต่งยังระบุด้วยว่าการพัฒนาเทคโนโลยีเพิ่มเติมสำหรับระบบรถไฟความเร็วสูงกำลังดำเนินอยู่ เผยแพร่ขนาดและข้อมูลจำเพาะของแขนรับไฟของรถไฟชินคันเซ็น Series N700 ตามพิกัดเขตโครงสร้าง ในวิทยานิพนธ์นี้ศึกษาและจำลองการสร้างโมเดลขนาดความสูงของแขนรับไฟให้มีขนาดไม่เกินพิกัดเขตโครงสร้าง พิกัดการบรรทุก และตามข้อมูลแขนรับไฟของผู้เขียนบทความนี้ ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 แขนรับไฟ (Pantograph)

ที่มาภาพ: (Nakakura et al., 2011)

2.5 สรุป

บทนี้สรุปและรวบรวมผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่ได้รับการเผยแพร่ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน งานวิจัยดังกล่าวถูกใช้เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษา การนำมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยและใช้ในการ ยืนยันว่า ในปัจจุบันการนำเบรกอากาศพลศาสตร์มาใช้ในระบบรถไฟความเร็วสูงสามารถช่วยเพิ่มแรง เบรกและลดระยะทางในการเบรกในกรณีใช้ในการเบรกฉุกเฉิน หรือลดพลังงานเบรกได้จริงจากผล การจำลองเมื่อติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์บนรถไฟความเร็วสูง ศึกษาาระบบเบรกที่ใช้ในรถไฟ ในบท ถัดไปจะกล่าวถึงความรู้พื้นฐานที่สำคัญ เกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของรถไฟ ระบบเบรกของรถไฟ และการ วิเคราะห์ด้วยโปรแกรม SOLIDWORKS Flow Simulation เพื่อใช้ในการออกแบบเบรกอากาศ พลศาสตร์ เป็นต้น ซึ่งเป็นประเด็นที่สำคัญในวิทยานิพนธ์เล่มนี้



บทที่ 3

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

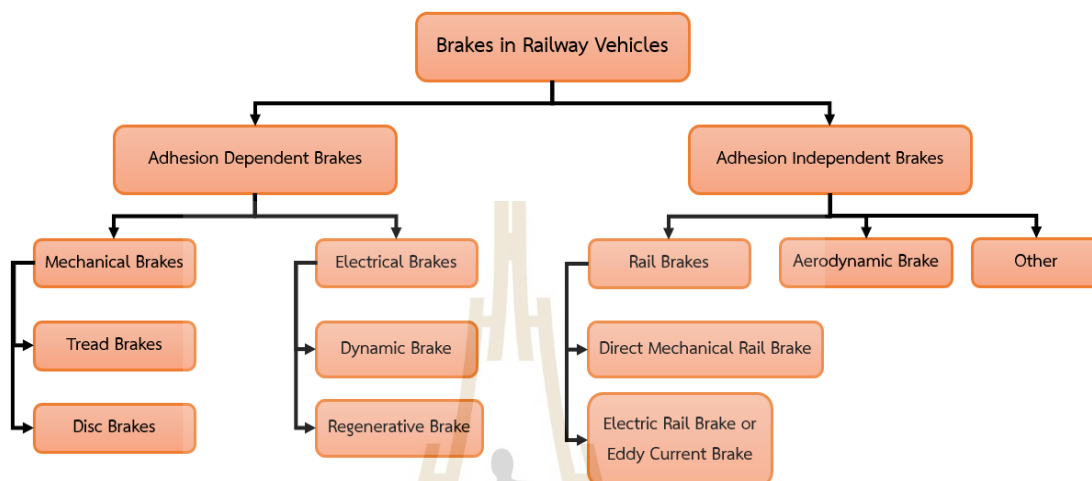
3.1 บทนำ

การออกแบบเบรกอากาศยานพลศาสตร์ในรถไฟความเร็วสูง เบรกอากาศยานพลศาสตร์จะมีประสิทธิภาพที่มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความเร็วของยานพาหนะชนิดนั้นในช่วงการเบรก ยิ่งความเร็วในการเบรกมากประสิทธิภาพของเบรกอากาศยานพลศาสตร์จะมากขึ้น ดังนั้นการนำมาใช้กับรถไฟความเร็วสูงจะทำให้ได้ประสิทธิภาพที่สูง เป็นประเด็นหลักที่ศึกษาในวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ในบทนี้จึงมีเนื้อหาที่เน้นเกี่ยวกับความหมายและรายละเอียดของการเคลื่อนที่ของรถไฟ ระบบเบรกของรถไฟรูปแบบต่าง ๆ พิกัดเขตโครงสร้าง การวิเคราะห์ด้วย SOLIDWORKS Flow Simulation แรงต้านอากาศ และสุดท้ายกล่าวถึงรถไฟความเร็วสูงจีน Series N700

3.2 ระบบเบรกของรถไฟ

ระบบเบรกมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการทำงานของรถไฟที่เชื่อถือได้และปลอดภัย รถไฟสมัยใหม่มักติดตั้งระบบเบรกที่ควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ ซึ่งสามารถกระจายกำลังเบรกได้อย่างยืดหยุ่นระหว่างระบบย่อยเบรกต่าง ๆ (Walia, 2019) ระบบเบรกของรถไฟมีวัตถุประสงค์ คือ เพื่อจะทำการชะลอความเร็ว ควบคุมการเร่งความเร็วลงเนินเขา และหยุดรถที่กำลังวิ่งด้วยความเร็ว ในการควบคุมระบบเบรกใด ๆ ปัจจัยสำคัญที่ควบคุมการเบรกในทุกกรณี ได้แก่ ความดัน พื้นที่ผิวสัมผัส ปริมาณที่ทำให้เกิดความร้อน และวัสดุเบรกที่ใช้ (Sharma et al., 2015) ซึ่งมีความคล้ายคลึงกับการใช้เบรกรถยนต์บนถนน นั่นก็จะใช้ผ้าเบรกกดลงบนจานเบรกทำให้เกิดแรงเบรกขึ้น และแรงเบรกนี้จะพยายามหยุดล้อที่กำลังหมุนซึ่งจะถูกฝืนไว้ด้วยแรงเสียดทานระหว่างหน้ายางกับผิวถนน ผลที่ได้คือทำให้รถที่กำลังวิ่งลดความเร็วลงจนหยุด การเบรกขบวนรถไฟก็อาศัยหลักการเดียวกันเพียงแต่ขบวนรถไฟประกอบด้วยรถหลายคันพ่วงต่อกัน และมีน้ำหนักมากกว่าจึงต้องทำการเบรกพร้อมกัน เพื่อไม่ให้เกิดการกระตุกกระชาก ซึ่งทำให้ผู้โดยสารรู้สึกไม่สบายและไม่ปลอดภัย (สายสนธิ และ คชพงศ์, 2556) ระบบเบรกของรถไฟในปัจจุบันจะใช้เป็นระบบหลัก ๆ คือ การเบรกผ่านแรงยึดเหนี่ยวระหว่างล้อกับราง (Adhesion Dependent Brakes) เบรกที่สร้างขึ้นไม่ว่าจะด้วยวิธีการใดก็ตาม จะทำการหยุดขบวนรถได้โดยอาศัยแรงเสียดทานระหว่างล้อกับราง และการเบรกไม่ผ่านแรงยึดเหนี่ยวระหว่างล้อกับราง (Adhesion Independent Brakes) แรงเบรกที่สร้างขึ้นไม่ว่าจะด้วยวิธีการใดก็ตาม จะทำ

การหยุดขบวนรถได้โดยไม่มีอาศัยแรงเสียดทานระหว่างล้อกับราง เบรกแบบไม่ยึดเกาะเป็นอิสระจากการยึดเกาะของล้อและราง สามารถสร้างแรงเบรกโดยตรงบนรางหรือความต้านทานต่ออากาศพลศาสตร์ ส่วนใหญ่จะใช้งานเป็นระบบเสริมเพื่อเพิ่มความปลอดภัย ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 การจำแนกประเภทของระบบเบรกที่ใช้ในยานพาหนะทางรถไฟ

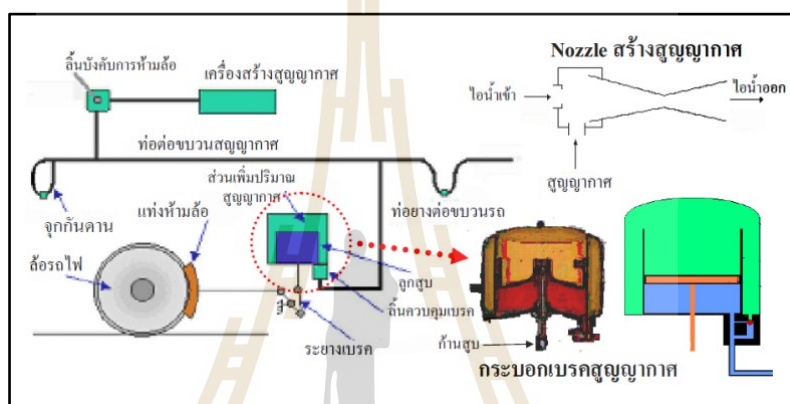
ที่มาภาพ: (Gunay et al., 2020)

3.2.1 การเบรกผ่านแรงยึดเหนี่ยวระหว่างล้อกับราง

การเบรกผ่านแรงยึดเหนี่ยวระหว่างล้อกับราง (Adhesion Dependent Brakes) คือ แรงเบรกที่สร้างขึ้นไม่ว่าจะด้วยวิธีการใดก็ตาม จะทำการหยุดขบวนรถได้โดยอาศัยแรงเสียดทานระหว่างล้อกับราง แรงเบรกจะถูกส่งจากล้อไปยังรางผ่านการยึดเกาะในหน้าสัมผัสระหว่างล้อกับราง และค่าสูงสุด แรงเบรกขึ้นอยู่กับเงื่อนไขภายในหน้าสัมผัสเหมือนกับเบรกถยนต์นั่นเอง เบรกที่อยู่ในกลุ่มนี้เป็นระบบหลักที่ใช้งานในสภาพปกติเพราะมีความนุ่มนวล เป็นระบบเบรกแบบดั้งเดิม ซึ่งมีวิวัฒนาการมาพร้อมกับการสร้างรถไฟ วิธีสร้างให้เกิดแรงเบรกสำหรับเบรกในกลุ่มนี้ก็อาจใช้แรงซึ่งเกิดจากใช้แรงคนจัด หรือใช้แรงจากกระบอบเบรกไปดึงหรือดันคานเบรกไปกดแผ่นผ้าเบรกลงบนพื้นล้อหรือจานเบรก (Gunay et al., 2020) โดยแบ่งเป็นการเบรกดังต่อไปนี้

การเบรกแบบใช้สุญญากาศ (Vacuum Brake) เกิดจากการสร้างเครื่องสร้างสุญญากาศขึ้นบนรถจักรไอน้ำ โดยใช้ไอน้ำพ่นผ่านหัวฉีด (Nozzle) ด้วยความเร็วสูงเกิดเป็นสุญญากาศขึ้น แล้วต่อท่อนำสุญญากาศไปใช้ในการควบคุมการเบรกบนรถแต่ละคันเมื่อจะทำการห้ามล้อคนขับก็ปล่อยอากาศเข้าไปในท่อโดยมีลิ้นควบคุมให้อากาศไหลเข้าเฉพาะด้านล่างของกระบอบเบรกแต่ด้านบนยังคงเป็นสุญญากาศถูกสูบในกระบอบเบรกก็จะยกตัวขึ้น Brake Linkage ที่ต่อจากก้านลูกสูบก็จะไปกดแท่งห้ามล้อลงบนพื้นล้อ วิธีการนี้ทำให้มีเบรกทำงานบนรถหลายคันในขบวน

รถไฟ ขบวนการจึงสามารถวิ่งได้เร็วกว่าเดิมอย่างปลอดภัย และต่อมาได้รับการปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีการประดิษฐ์เครื่องสร้างสุญญากาศแบบลูกสูบ (Exhauster) ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงกว่า อย่างไรก็ตามระบบสุญญากาศยังมีข้อบกพร่องอีกมาก การสร้างสุญญากาศทำได้จำกัด ทำให้สามารถสร้างแรงห้ามล้อได้จำกัด หากต้องการเพิ่มแรงห้ามล้อให้สูงขึ้น ก็จะต้องใช้ลูกสูบขนาดใหญ่ และใช้ Brake Linkage ซึ่งมีอัตรา การได้เปรียบเชิงกลสูงแต่วิธีการดังกล่าวทำให้เกิดปัญหาต่อเนื่องในการบำรุงรักษาลูกสูบขนาดใหญ่ชุดตัวในกระบอกเบรกเกิดปัญหา ลูกสูบค้างเบรกจนล้อร้อนแดง ดังรูปที่ 3.2



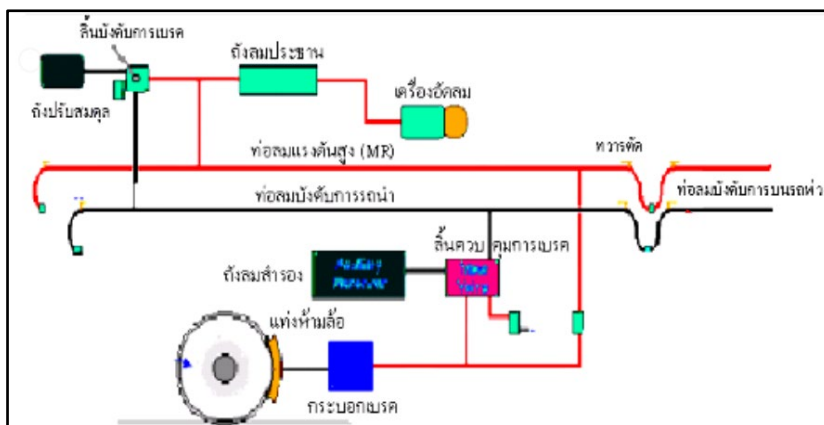
รูปที่ 3.2 การเบรกแบบใช้สุญญากาศ

ที่มาภาพ: (สายสนิท และ คชพงค์, 2556)

การเบรกแบบดิสก์เบรก (Disc brake) ดิสก์เบรกมักใช้ในรถไฟโดยสารและในรถไฟความเร็วสูงเสมอ ในดิสก์เบรก แรงเบรกเกิดจากแรงเสียดทานระหว่างผ้าเบรก (Pads) และจานเบรก ดิสก์เบรกติดเพลลาใช้กับโบกี้รถพ่วง โดยที่สามารถติดตั้งแผ่นดิสก์สองหรือสามแผ่น (หรือมากกว่านั้น) บนเพลลาเดียวได้ขึ้นอยู่กับการใช้งาน เนื่องจากแรงเสียดทานของผ้าเบรกและจานเบรกเกือบจะไม่ขึ้นกับความเร็ว จึงมักให้ความสำคัญกับการใช้ดิสก์เบรกเป็นระบบเบรกทางกลพื้นฐานสำหรับยานพาหนะที่วิ่งด้วยความเร็ว 160 km/h ขึ้นไป ดิสก์เบรกประกอบด้วยกระบอกเบรก (Brake cylinder) ตัวปรับช่องว่าง (Gap adjuster) คาลิปเปอร์เบรก (Brake caliper) ตัวยึดผ้าเบรก (Brake pad holder) ผ้าเบรก และดิสก์ การผสมผสานระหว่างจานเบรกและวัสดุผ้าเบรกได้รับการปรับให้เหมาะสมโดยคำนึงถึงความร้อนสูงสุดและความทนทานต่อการสึกหรอที่สูงขึ้น อย่างไรก็ตาม ระบบดิสก์เบรคนั้นหนักกว่าและมีราคาแพงในการติดตั้งและบำรุงรักษามากกว่าเบรกแบบ Brake blocks ภายใต้อาการเบรกที่รุนแรง จานเบรกอาจสึกหรอมากเกินไปและเกิดความเสียหายในรูปแบบอื่น ๆ

Brake blocks or tread breaks เป็นหนึ่งในเบรกที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในระบบ ยานพาหนะทางรถไฟ การเบรกในระบบนี้เป็นระบบที่ใช้ในตู้บรรทุกทุกสินค้ารถไฟตามปกติและใช้ใน รถไฟโดยสารด้วย โดยทั่วไประบบเบรกนี้จะรวมเข้ากับดีสก์เบรกและเบรกไฟฟ้า ในระบบนี้ การเบรก ทำได้โดยแรงเสียดทานที่เกิดจากการสัมผัสล้อกับพื้นผิวดอกยางล้อ ในขณะที่เดียวกัน ดอกยางล้อก็ สัมผัสกับรางรถไฟ หากออกแรงกดด้วยมือ จะเรียกว่าเบรกมือ (Parking brake) เมื่อได้รับแรงอัดจาก อากาศอัด จะเรียกว่าเบรกลมอัด (Air brake) tread breaks มีข้อดี คือ เรียบง่าย ราคาไม่แพง และ น้ำหนักเบา และยังติดตั้งบำรุงรักษา และเปลี่ยนได้ง่ายอีกด้วย ข้อเสียเบรกนี้ คือ ความขรุขระของ ดอกยางล้อที่เพิ่มขึ้นอาจเพิ่มการปล่อยเสียงรบกวนจากการหมุน (Walia., 2019)

การเบรกแบบใช้ลมอัด (Air brake) หลักการทำงานก็คล้ายคลึงกับการปล่อยไอน้ำ แรงดันสูงเข้าไปดันลูกสูบในกระบอกเบรก เพียงแต่ใช้ลมอัดแรงดันสูงแทน ระบบนี้ดีกว่าการใช้ สูญญากาศตรงที่สามารถสร้างแรงดันลม ซึ่งจะดันลูกสูบได้สูงกว่า จึงสามารถใช้กระบอกเบรก ขนาดเล็กและใช้ Brake Linkage ห้ามล้อที่มีอัตราการใช้เปรียบเชิงกลต่ำกว่า ระบบจึงสามารถ ตอบสนองคำสั่งได้ดีกว่าค่าบำรุงรักษาที่ถูกลงกว่า และมีปัญหาในการใช้งานน้อยกว่า เบรกแบบลมอัดยัง จำแนกออกได้ 2 แบบ คือ แบบสั่งการโดยตรง (Direct Brake) และแบบสั่งการอัตโนมัติ (Automatic Air Brake) แบบสั่งการโดยตรงคนขับจะเปิดลมจากถังพักลมให้ไหลผ่านท่อลมที่เชื่อมต่อระหว่างรถ แต่ละคันเรียกว่า ท่อกระบอกเบรก (Brake Cylinder Pipe) เบรกลมอัดแบบสั่งการอัตโนมัติ มีลิ้น ควบคุมการเบรกเรียกว่า ดิสทริบิวเตอร์วาล์ว (Distributor Valve: DV) และถังลมสำรองติดอยู่บนรถแต่ ละคัน จะส่งแรงดันเข้าไปในท่อซึ่งต่อไปตลอดทั้งขบวนรถเรียกว่า ท่อลมบังคับการเบรก (Brake Pipe: BP) จะไหลผ่านลิ้นควบคุมเข้าไปเก็บอยู่ในถังพักเมื่อคนขับต้องการเบรก ขบวนรถไฟก็จะปล่อย ลมในท่อบีพี (BP) ออกลิ้นควบคุมดีวี (DV) ก็จะปล่อยลมจากถังพักลมสำรองเข้าไปในกระบอกเบรก และเมื่อคนขับสั่งคลายเบรกลิ้นควบคุมดีวี (DV) ก็ปล่อยลมในกระบอกเบรกทิ้ง ขณะเดียวกันก็ปล่อย ลมเข้าถังเพื่อเตรียมไว้ใช้ในการเบรกครั้งต่อไป (สายสนิท และ คชพงศ์, 2556) ข้อเสียของระบบเบรก ลมแบบสั่งการโดยตรง ถูกกำจัดโดยการออกแบบระบบเบรกลมแบบสั่งการทางอ้อม (Indirect Brake) ข้อได้เปรียบหลักของเบรกลมแบบสั่งการทางอ้อมเพื่อความปลอดภัยในการปฏิบัติงาน คือ หลักการเบรกอัตโนมัติ แรงดันที่ลดลงอย่างมากในท่ออากาศทั่วไปจะเป็นตัวกำหนดคำสั่งเบรกฉุกเฉิน โดยไม่คำนึงถึงการควบคุมของคนขับสำหรับระบบเบรกของรถไฟทั้งหมด (Gunay et al., 2020) ดัง รูปที่ 3.3



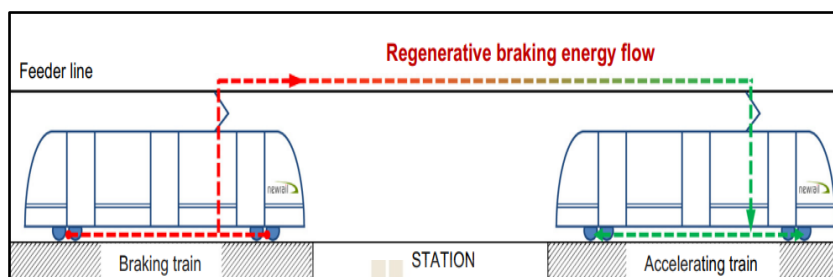
รูปที่ 3.3 การเบรกแบบใช้ลวดอัด

ที่มาภาพ: (สายสนิท และ คชพงค์, 2556)

เบรกแบบพลวัต (Dynamic Brake) ในระบบเบรกแบบพลวัต พลังงานที่จำเป็นสำหรับการเบรก คือ ได้จากพลังงานจลน์ของระบบรถไฟ แรงเบรกที่สร้างขึ้นโดยพลังงานนี้จะถูกนำไปใช้ในทิศทางตรงกันข้ามกับล้อ และสร้างแรงเบรกอื่นที่มากกว่าการเบรกด้วยลม แม้จะขึ้นอยู่กับน้ำหนักของรถไฟและความลาดเอียงของทางลาด การเบรกด้วยลมอาจไม่จำเป็นสำหรับความเร็วที่กำหนด ดังนั้นการสึกหรอของยางเบรกจึงลดลงโดยใช้ระบบเบรกแบบอัดลมน้อยลง (Gunay et al., 2020) เบรกแบบพลวัตใช้กับขบวนรถไฟที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า โดยเปลี่ยนจากมอเตอร์ที่หมุนล้อมาเป็นเจนเนอเรเตอร์ ซึ่งถูกล๊อคซ์ให้หมุนแล้วนำกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นไปผ่านชุดความต้านทาน (Resistor) ซึ่งจะทำให้เกิดความร้อนและถูกพัดลมระบายความร้อนเป่าทิ้งไปในอากาศ เบรกไฟฟ้าแบบพลวัตจะมีประสิทธิภาพสูงเฉพาะในช่วงความเร็วสูง ประกอบข้อเท็จจริงที่การเบรกขบวนรถไฟในกลุ่มนี้ต้องอาศัยแรงเสียดทานระหว่างล้อกับราง จึงต้องมีอุปกรณ์ที่ผสมแรงเบรก (Blending) ระหว่างแรงที่มาจากเบรกทางกลกับแรงจากเบรกไฟฟ้า เพื่อให้แรงเบรกที่เกิดขึ้นมีค่าไม่เกินแรงเสียดทานระหว่างล้อกับรางเมื่อ ความเร็วลดลงต่ำถึงระดับหนึ่งแล้ว อุปกรณ์ดังกล่าวก็จะตัดการเบรกแบบพลวัตออกจากการใช้งานเหลือเบรกทางกลทำหน้าที่อย่างเดียว

การเบรกแบบจ่ายคืนพลังงาน (Regenerative Braking) เป็นเทคโนโลยีขับเคลื่อนในรถไฟฟ้าสมัยใหม่ ใช้หลักการเปลี่ยนการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าขับเคลื่อนเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ในขณะที่รถไฟทำงานในโหมดเบรก และจ่ายกระแสไฟฟ้าไหลย้อนกลับเข้าสู่รางตัวนำที่สามหรือสายส่งพาดอากาศ เมื่อเกิดการเบรกแบบจ่ายคืนพลังงานของรถไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าที่จ่ายเข้าสู่ระบบไฟฟ้าสามารถจ่ายให้กับรถไฟขบวนใกล้เคียงที่ทำงานในโหมดขับเคลื่อนขณะนั้นได้ เพื่อป้องกันระบบไฟฟ้าล้มเหลวเนื่องจากกำลังไฟฟ้าส่วนเกินจากการเบรกแบบจ่ายคืนพลังงานกรณีโหดไฟฟ้ามีค่าน้อยเมื่อเกิดการเบรก โดยปกติการเบรกแบบจ่ายคืนพลังงานจะทำงานร่วมกับการเบรกแบบพลวัต

คือ การนำกำลังไฟฟ้าส่วนเกินจากการเบรกจ่ายให้กับตัวต้านทานการเบรก เพื่อจำกัดพลังงานไฟฟ้าส่วนเกินให้หายไปในรูปแบบของความร้อน (กุลวรรวานิชพงษ์, 2561) ดังรูปที่ 3.4



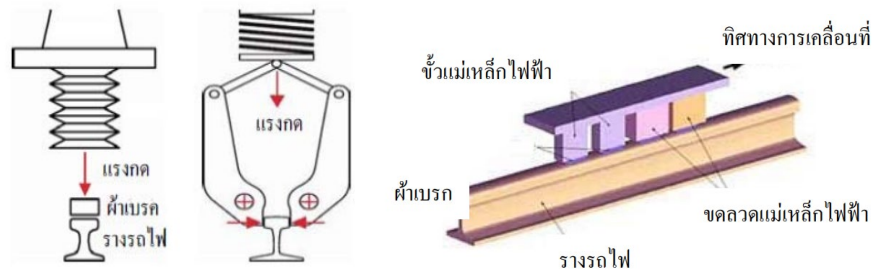
รูปที่ 3.4 การเบรกแบบจ่ายคืนพลังงาน (Regenerative Braking)

ที่มาภาพ: (González-Gil et al., 2013)

3.2.2 การเบรกไม่ผ่านแรงยึดเหนี่ยวระหว่างล้อกับราง

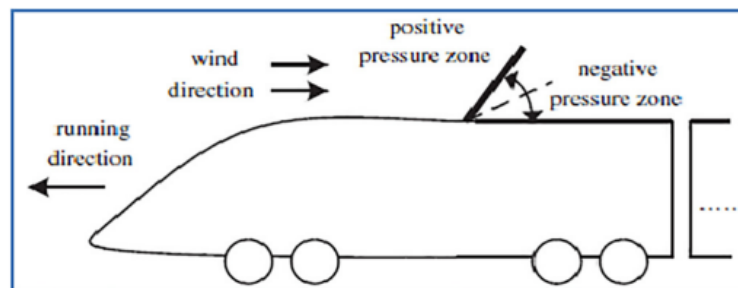
การเบรกไม่ผ่านแรงยึดเหนี่ยวระหว่างล้อกับราง (Adhesion Independent Brakes) คือ แรงเบรกที่สร้างขึ้นไม่ว่าจะด้วยวิธีการใดก็ตาม จะทำการหยุดขบวนรถได้โดยไม่อาศัยแรงเสียดทานระหว่างล้อกับราง เบรกแบบไม่ยึดเกาะเป็นอิสระจากการยึดเกาะของล้อและราง สามารถสร้างแรงเบรกโดยตรงบนรางหรือความต้านทานต่ออากาศพลศาสตร์ ส่วนใหญ่จะใช้งานเป็นระบบเสริมเพื่อเพิ่มความปลอดภัย

เบรกราง (Rail Brake) เป็นเบรกที่ไม่อาศัยแรงยึดเหนี่ยวระหว่างล้อกับราง ซึ่งยังแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ แบบเบรกรางกล (Direct Mechanical Rail Brake) ใช้ผ้าเบรกกดลงบนรางโดยตรงระบบนี้ใช้กับรถรางมาแต่ดั้งเดิมเพราะสามารถตั้งแรงเบรกได้สูงเท่าที่ต้องการ สามารถหยุดขบวนรถได้ในระยะเท่ากับระยะเบรกของรถยนต์ เบรกรางกับขบวนรถไฟโดยทั่วไปซึ่งวิ่งเร็วกว่ารถราง แต่พบว่าทำให้เกิดปัญหารางสึกมากต่อมาจึงมีความพยายามในการประดิษฐ์เบรกรางไฟฟ้า (Electric Rail Brake) หัวเบรกของเบรกรางไฟฟ้ามีขั้วแม่เหล็กไฟฟ้าติดอยู่ เมื่อต้องการใช้เบรกก็สร้างขั้วบวกและลบขึ้นที่หัวเบรกแล้วเลื่อนเข้าไปใกล้รางขั้วแม่เหล็กจะเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลวนในรางระบบเบรกนี้จึงมีอีกชื่อหนึ่งว่า เบรกด้วยกระแสไฟฟ้าวน (Eddy Current Brake) ระบบเบรกนี้นำมาใช้ในขบวนรถไฟความเร็วสูง เพราะการเบรกขบวนรถไฟโดยส่งแรงเบรกผ่านความยึดเหนี่ยวระหว่างล้อกับรางอาจต้องใช้ระยะเบรกที่มาก ถ้าใช้เบรกรางก็จะสามารถเบรกได้ในระยะทางที่สั้นลง ระบบนี้จะไม่ใช้งานเป็นระบบหลักเพียงแต่ติดตั้งไว้บนขบวนรถไฟความเร็วสูงใช้งานเมื่อเกิดเหตุฉุกเฉิน ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 หลักการทำงานของเบรกราง
ที่มาภาพ: (สายสนิท และ คชพงศ์, 2556)

เบรกอากาศพลศาสตร์ (Aerodynamic Brake) คุณสมบัติเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เบรกอากาศพลศาสตร์เป็นแรงบันดาลใจจากการใช้งานบนปีกเครื่องบินพาณิชย์เกี่ยวกับปีกของเครื่องบิน (Aircraft's Spoiler) วัตถุประสงค์ คือ พื้นที่ของเบรกอากาศพลศาสตร์ทำหน้าที่เป็นแรงต้านเพิ่มเติม ทำให้เพิ่มแรงเสียดทานให้เครื่องบินที่บินด้วยความเร็วสูงชะลอความเร็วลงแล้วทำการเบรกอย่างมีประสิทธิภาพและปลอดภัย เบรกแบบนี้จะมีประสิทธิภาพเฉพาะในย่านความเร็วสูง และเนื่องจากไม่มีค่าใช้จ่ายจากการสึกหรอ เบรกอากาศพลศาสตร์สามารถใช้ควบคู่กับการใช้ระบบเบรกแบบอื่น พื้นที่ผิวของแผ่นเบรกจะเพิ่มขึ้น เพื่อเพิ่มความทนทานต่อการทำงานของรถไฟความเร็วสูง ระหว่างการเบรก พลังงานจลน์ของรถไฟถูกแพร่กระจายไปยังบรรยากาศโดยรอบโดยแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างแผ่นเบรกและอากาศแวดล้อมโดยรอบ การเบรกทำได้โดยการปิดกั้นลมด้านหน้ารถไฟโดยใช้แผ่น ดังนั้นโซนการบีบอัดเชิงลบจึงเกิดขึ้นที่ด้านหลังแผงควบคุมแรงต้านการเบรกตามหลักอากาศพลศาสตร์ ตามสัดส่วนกำลังสองของความเร็วสัมพัทธ์ระหว่างขบวนรถไฟกับอากาศภายนอกมาจากความแปรผันของแรงดันระหว่างสองด้านของแผ่นเบรก ดังนั้นความเร็วในการทำงานของรถไฟที่สูงขึ้นในการเบรกแบบอากาศพลศาสตร์ ประสิทธิภาพก็จะยิ่งสูงขึ้น ซึ่งจะช่วยให้ประสิทธิภาพในการเบรกสูงขึ้นเพราะสามารถทำงานเสริมกับเบรกในกลุ่มที่ใช้แรงเสียดทานระหว่างล้อกับรางได้อย่างเต็มที่โดยไม่เกิดปัญหาจากล้อรถไฟ ดังรูปที่ 3.6



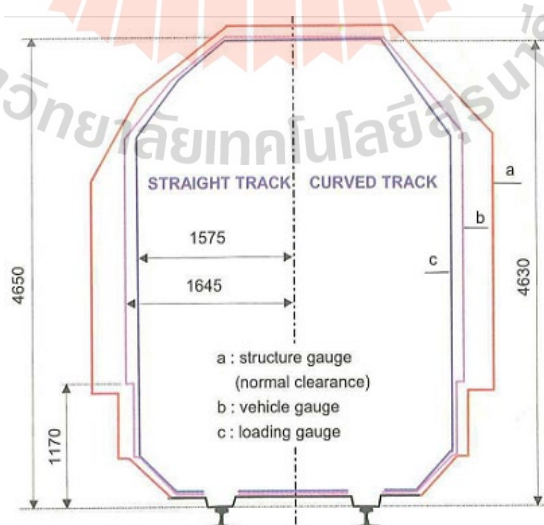
รูปที่ 3.6 เบรกอากาศพลศาสตร์ (Aerodynamic Brake)
ที่มาภาพ: (Gunay et al., 2020)

3.3 พิกัดเขตโครงสร้างทางรถไฟ (Structure gauge)

เขตโครงสร้างทางรถไฟเป็นข้อสำคัญในการออกแบบทางกายภาพของทางรถไฟ เนื่องจากเป็นตัวกำหนดถึงขนาดรถไฟที่ยอมให้ขับเคลื่อนผ่านทางได้โดยไม่มีอุปสรรค ยิ่งรวมถึงมีผลต่อการใช้จ่ายในการก่อสร้าง โดยโครงสร้างที่เกี่ยวข้อง เช่น อุโมงค์ สะพานหรือสถานี เป็นต้น เนื่องจากเขตโครงสร้างที่มีขนาดใหญ่จะต้องการขนาดของโครงสร้างที่ใหญ่ตามไปด้วย นอกจากนี้หากต้องออกแบบให้รองรับการใช้บริการของรถไฟต่างชนิดกัน ความถูกต้องของเขตโครงสร้างทางรถไฟจะยิ่งต้องมีความสำคัญเพิ่มเป็นทวีคูณ

พิกัดเขตโครงสร้างทางรถไฟ (Structure gauge) หมายถึง เขตพื้นที่ทางเดินรถไฟซึ่งห้ามไม่ให้วัตถุหรือส่วนของ โครงสร้างใด ๆ รวมถึงส่วนของรถไฟที่วิ่งอยู่บนรางคู่ขนาน ยื่นล้ำเข้ามาในบริเวณนี้ เพื่อให้การเดินรถเป็นไปได้อย่างปลอดภัย ดังรูปที่ 3.7 พิกัดโครงสร้างสามารถแบ่งย่อยออกได้เป็น 3 ประเภท (สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร, 2561) ตามค่านิยม ได้แก่

- 1) พิกัดโครงสร้างขอบเขต (Structure limit gauge) คือ บริเวณที่ห้ามมีสิ่งใดล้ำเข้าไป ไม่ว่าจะเวลาใด ๆ เพื่อให้แน่ใจว่าโครงสร้างมีระยะห่างจากรางเพียงพอต่อการเดินรถ
- 2) พิกัดโครงสร้างบำรุงทาง (Structure installation limit gauge) คือ บริเวณที่ห้ามมีสิ่งใดล้ำ เข้าไปเมื่อคำนึงถึงการเข้าไปซ่อมบำรุง ดังนั้นไม่อนุญาตให้มีการติดตั้งโครงสร้างใด ๆ ถ้าต้องการให้เดินรถได้อย่างปลอดภัยหลังจากการซ่อมบำรุงตามปกติ
- 3) พิกัดโครงสร้างระบุ (Structure installation nominal gauge) คือ บริเวณที่ห้ามมีสิ่งใดล้ำ เข้าไปเพื่อที่ทำให้รถไฟสามารถดำเนินการและซ่อมบำรุงระบบรางได้บริเวณนี้อาจรวมไปถึงการขนส่งสินค้าพิเศษและเงื่อนไขอื่น ๆ



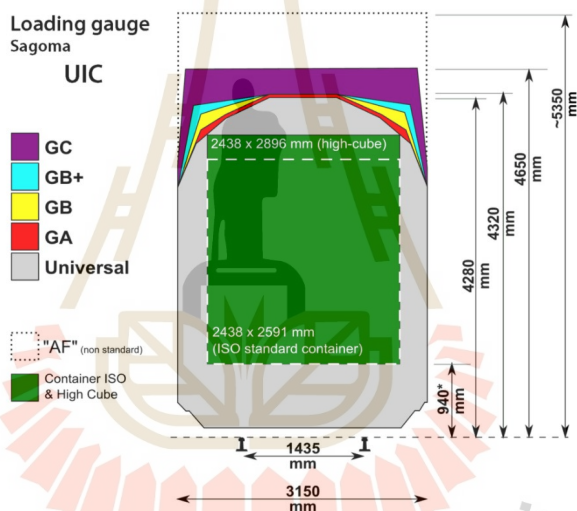
รูปที่ 3.7 พิกัดเขตโครงสร้างทางรถไฟ (Structure Gauge)

ที่มาภาพ: <https://ocw.tudelft.nl/courses/railway-engineering-integral-approach/>.

3.3.1 พิกัดเขตการบรรทุก (Loading Gauge)

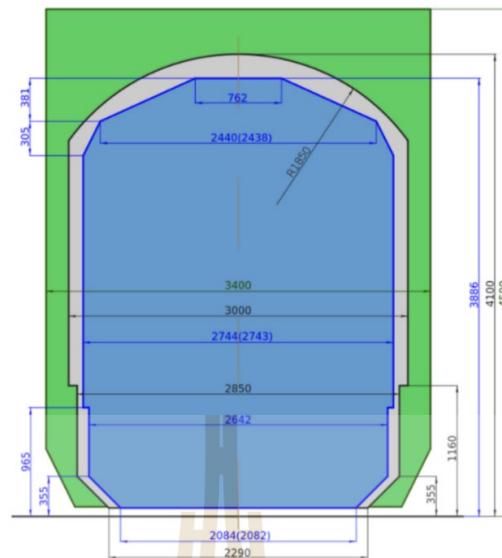
พิกัดเขตการบรรทุก คือ พิกัดขอบเขตที่ใหญ่ที่สุดของรถขนส่งทางราง ซึ่งได้รวมการเคลื่อนที่และการส่ายตัวของรถขนส่งทางรางเข้าด้วยแล้ว จะกำหนดความสูงและความกว้างสูงสุดสำหรับยานพาหนะทางรถไฟและน้ำหนักบรรทุกเพื่อให้แน่ใจว่าสามารถลอดผ่านอุโมงค์และใต้สะพานได้อย่างปลอดภัยและหลีกเลี่ยงอาคารและโครงสร้างข้างทาง ระบบการจำแนกประเภทจะแตกต่างกันไปในแต่ละประเทศและมาตรฐานอาจแตกต่างกันไปในแต่ละเครือข่าย ดังรูปที่ 3.8

พิกัดเขตการบรรทุกที่สนใจในวิทยานิพนธ์นี้ คือ ของประเทศญี่ปุ่นในเครือข่ายของรถไฟชินคันเซ็นทำงานบนรางขนาดมาตรฐานกว้าง 1,435 mm และมีเกจโหลดที่ความกว้างสูงสุด 3,400 mm และความสูงสูงสุด 4,500 mm ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.8 พิกัดเขตการบรรทุก (Loading Gauge)

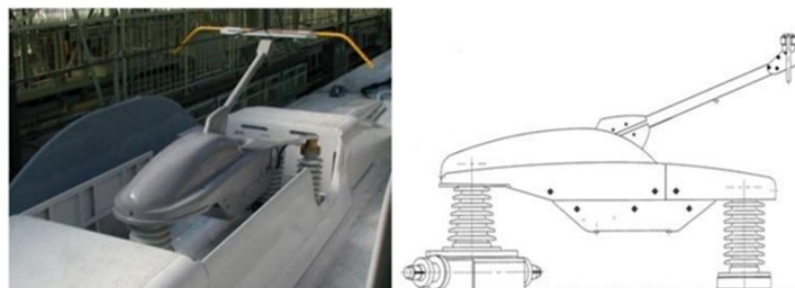
ที่มาภาพ: https://en.wikipedia.org/wiki/Loading_gauge



รูปที่ 3.9 พิกัดเขตการบรรทุกของรถไฟชินคันเซ็น
ที่มาภาพ: https://en.wikipedia.org/wiki/Loading_gauge

3.3.2 แหนบรับไฟ (Pantograph)

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้รับกระแสไฟฟ้าจากสายส่งเหนือศีรษะ (Overhead Contact Line) เนื่องจากเหมาะแก่การรับไฟฟ้าแรงสูงซึ่งเอื้อต่อการเดินรถที่ความเร็วสูง ในวิทยานิพนธ์นี้ศึกษาขนาด และความสูงของแหนบรับไฟ เพื่อใช้ในการออกแบบแผ่นเบรกอากาศพลศาสตร์ ความสูงของการทำงานของแหนบรับไฟ มีผลต่อการวิเคราะห์ค่าแรงต้านอากาศของรถไฟความเร็วสูงเมื่อติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์ ค่าความเค้น ค่าความปลอดภัย ผลของการเสียรูป และผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นกับเสาไฟและ สายไฟตัวนำสัมผัส (Contact Wire) ในบทที่ 4 โดยในที่นี้แหนบรับไฟที่ใช้ของรถไฟชินคันเซ็น Series N700 มีขนาด และความสูง ดังรูปที่ 3.10 และตารางที่ 3.1



รูปที่ 3.10 แหนบรับไฟของรถไฟชินคันเซ็น Series N700

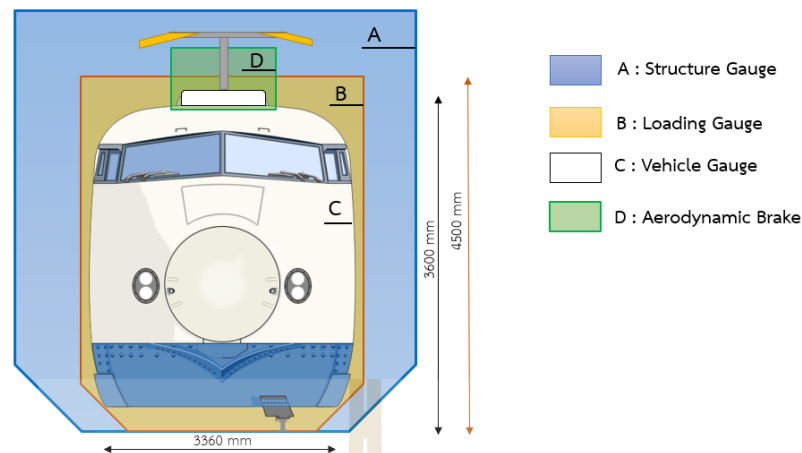
ที่มาภาพ: (Nakakura et al., 2011)

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลจำเพาะของ pantograph ของรถไฟชินคันเซ็น Series N700

Pantograph		
Type of rolling stock	N700	
Type of pantograph	TPS303A	
Frame type	Single-arm type	
Height	(Rail level)	(Insulator level)
Housed	4490 mm	325 mm
Minimum working	4800 mm	635 mm
Normal Working	5000 mm	835 mm
Maximum working	5300 mm	1135 mm
Maximum extension	5350 mm	1185 mm
Dynamic model	Dual mass model	
Operating system	Spring system (up)	
	Air pressure system (down)	

3.3.3 พิกัดเขตของรถไฟชินคันเซ็น Series N700

พิกัดเขตของรถไฟชินคันเซ็น Series N700 ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้ คือของประเทศญี่ปุ่นในเครือข่ายของรถไฟชินคันเซ็นทำงานบนรางขนาดมาตรฐานกว้าง 1,435 mm (4 ft 8 inch) และมีเกจโหลดที่ความกว้างสูงสุด 3,400 mm (11 ft 2 inch) และความสูงสูงสุด 4,500 mm (14 ft 9 inch) ในการจำลองออกแบบเบรกอากาศพลศาสตร์ในรถไฟความเร็วสูง การออกแบบเบรกอากาศพลศาสตร์ควรเลือกพื้นที่เบรกอากาศพลศาสตร์ให้เหมาะสมกับขนาดของรถไฟและไม่ไปขัดขวางสายไฟ แหล่งจ่ายไฟด้านบนของรถไฟ ดังรูปที่ 3.11 จะแสดงพิกัดเขตพาหนะ พิกัดเขตการบรรทุก พิกัดโครงสร้างของ รถไฟชินคันเซ็น Series N700 เพิ่มเบรกอากาศพลศาสตร์ติดตั้งด้านบนของรถไฟความเร็วสูง และติดตั้ง pantograph ของรถไฟชินคันเซ็น Series N700



รูปที่ 3.11 พิกัดเขตของรถไฟชินคันเซ็น Series N700

ที่มาภาพ: (Skibicki, 2018)

3.4 การวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม SOLIDWORKS Flow Simulation

การวิเคราะห์พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamic, CFD) ด้วยโปรแกรม SOLIDWORKS Flow Simulation เป็นซอฟต์แวร์ที่ได้รับความนิยมและมีการพัฒนาให้เป็นโปรแกรมสำเร็จรูปเชิงพาณิชย์ ใช้คอมพิวเตอร์ในการวิเคราะห์พฤติกรรมของของไหลในชิ้นงานต่าง ๆ โดยจะทำการสร้าง mesh หรือ cell ของชิ้นงานหรือระบบและสมการที่กำลังศึกษา ในการแก้ปัญหาไปพร้อม ๆ กัน ภายใต้เงื่อนไขเริ่มต้นและเงื่อนไขขอบเขต จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์ผลและแสดงภาพของผลเฉลยที่ได้ในรูปแบบต่าง ๆ ตามที่ต้องการ

3.4.1 จำลองการไหลของอากาศ (SOLIDWORKS Flow Simulation)

ขั้นตอนการใช้งาน SOLIDWORKS Flow Simulation เทคนิคพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ จะทำการวิเคราะห์ชิ้นงานโดยการแก้สมการมาพร้อมในการแก้ปัญหาไปพร้อม ๆ ดังรูปที่ 3.12 โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1) กำหนดรูปทรงหรือสร้างโมเดลของปัญหาที่ต้องการศึกษา โดยใช้โปรแกรม SOLIDWORKS เพราะ SOLIDWORKS Flow Simulation ทำงานในหน้าต่างเดียวกันและสามารถอัปเดตข้อมูลได้อัตโนมัติเมื่อมีการเปลี่ยนขนาดของชิ้นงาน นอกจากนี้ยังรองรับการตั้งค่า การกำหนดค่าต่าง ๆ ใน SOLIDWORKS ด้วย ทำให้ง่ายต่อการวิเคราะห์งานหลายแบบในไฟล์เดียวกัน

2) กำหนดสมการสำหรับการวิเคราะห์ เช่น สมการสำหรับการเคลื่อนที่ สมการโมเมนตัมและสมการพลังงาน เป็นต้น โดยใน SOLIDWORKS Flow Simulation จะทำโดยใช้ Wizard กำหนดรูปแบบต่าง ๆ จากนั้นโปรแกรมจะเลือกสมการมาใช้ให้อัตโนมัติ

3) การกำหนดเงื่อนไขขอบเขต (Boundary Condition) เป็นค่าที่เกี่ยวข้องกับพฤติกรรมของของไหลและสมบัติ ณ ขอบเขตนั้น ๆ ของปัญหาที่ต้องการศึกษา สำหรับปัญหาแบบเปลี่ยนไปตามเวลาจำเป็นต้องกำหนดเงื่อนไขเริ่มต้น (Initial Condition) ด้วย

4) การกำหนดรูปแบบการวิเคราะห์ การแก้สมการโดยอาศัยระเบียบวิธีทำซ้ำ (Iteration) และการกำหนดการลู่เข้าหาผลเฉลย

5) การแบ่งชิ้นส่วนย่อยหรือ mesh ของชิ้นงาน

6) ทำการวิเคราะห์ผล

7) แสดงภาพและค่าต่าง ๆ ของผลเฉลยที่ได้

ความสามารถของ SOLIDWORKS Flow Simulation ในการวิเคราะห์การไหลและการถ่ายเทความร้อนของของไหล ดังต่อไปนี้

1) สามารถจำลองการไหลแบบภายในและภายนอกได้

2) สามารถจำลองการไหลได้ทั้งแบบคงที่ (Steady State) และเปลี่ยนไปตามเวลา (Time Dependent)

3) สามารถวิเคราะห์การไหลของของเหลวและก๊าซได้

4) สามารถวิเคราะห์หาความเหมาะสมของการวางตำแหน่งของชิ้นงาน ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด

5) สามารถแสดง Contour, Iso-Surface, Surface, Section, Result Plot ได้

6) สามารถแสดงค่าของผลเฉลย เช่น ความดัน อุณหภูมิ ความเร็ว ที่จุดต่าง ๆ ได้

7) สามารถแสดงค่าของผลเฉลย เช่น ความดัน อุณหภูมิ ความเร็วที่ผิวหรือก่อนของชิ้นงาน เป็นต้น

8) สามารถแสดงการไหลของของไหล เป็นแบบต่าง ๆ เช่น แบบลูกศร แบบเส้น เป็นต้น

9) สามารถเลือกรายการค่าผลเฉลยต่าง ๆ บนชิ้นงานได้

10) สามารถแสดงการเปรียบเทียบผลเฉลยในแต่ละ Project ได้

11) สามารถแสดงภาพการเคลื่อนไหวของผลเฉลยและบันทึกเป็นไฟล์วิดีโอได้

รายละเอียดเบื้องต้นในการวิเคราะห์ด้วย SOLIDWORKS Flow Simulation โดยเริ่มตั้งแต่การเตรียมชิ้นงาน การกำหนดค่าต่าง ๆ ตลอดจนการวิเคราะห์และการดูผลเฉลย ขั้นตอนในการทำการวิเคราะห์ประกอบด้วย

1) การเตรียมชิ้นงานสามมิติ ชิ้นงานต้องเป็นสามมิติจะขึ้นรูปด้วย SOLIDWORKS หรือโปรแกรมอื่น ๆ ก็ได้ ถ้าเป็นการไหลภายในผิวต้องปิดทั้งหมด ห้ามมีรูรั่ว นอกจากนี้การสัมผัสกันของชิ้นงาน ก็มีส่วนสำคัญ

2) การกำหนดค่าเริ่มต้นแบบ Wizard เป็นขั้นตอนมาตรฐานเบื้องต้น เพื่อช่วยให้การกำหนดค่าต่าง ๆ สะดวกและรวดเร็วมากยิ่งขึ้น เช่น กำหนดหน่วย การวิเคราะห์แบบภายในหรือภายนอก ชนิดของของไหล เป็นต้น

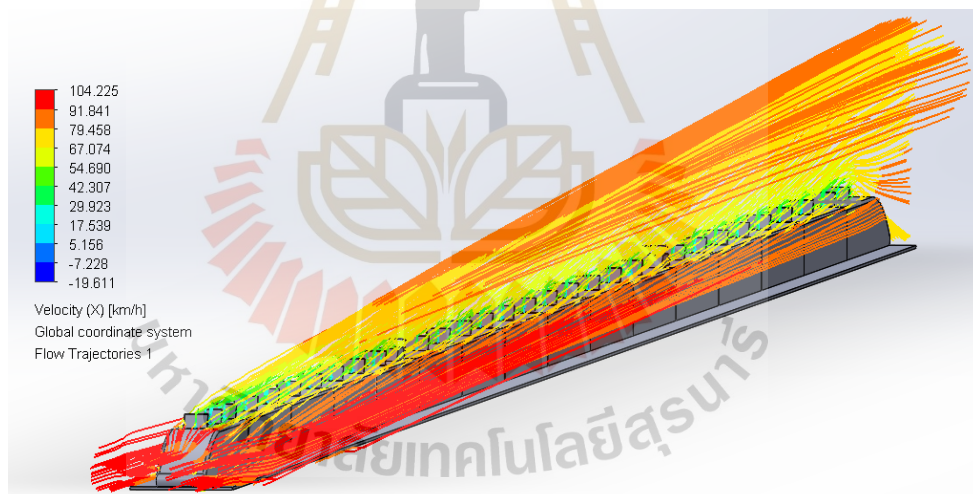
3) การกำหนดเงื่อนไขทางเข้าและทางออก เป็นการกำหนด Boundary Condition โดยเฉพาะที่บริเวณทางเข้าและทางออก

4) การกำหนดเป้าหมายหรือผลเฉลยที่ต้องการ เป็นการกำหนดเป้าหมายที่ต้องการ โดยสามารถนำค่านี้มาใช้ในการกำหนดการลู่เข้า

5) การกำหนดความละเอียดของ Mesh เป็นการกำหนดความละเอียดของ Mesh ถือว่าค่อนข้างสำคัญมากในงานวิเคราะห์

6) การวิเคราะห์ ในหน้าต่าง Solver ระหว่างการวิเคราะห์สามารถพิจารณาค่าต่าง ๆ ได้ เช่น จำนวน Mesh เวลาในการวิเคราะห์ กราฟแสดงการลู่เข้าของเป้าหมาย เป็นต้น

7) การดูผลเฉลยต่าง ๆ เป็นการเรียกดูผลเฉลยที่ต้องการ ตรวจสอบหรือเพื่อนำเสนอ รวมทั้งเช็คค่าเป้าหมายที่ต้องการ



รูปที่ 3.12 การจำลองการไหลของอากาศของโมเดลรถไฟ

3.4.2 ค่าความเค้น (Stress)

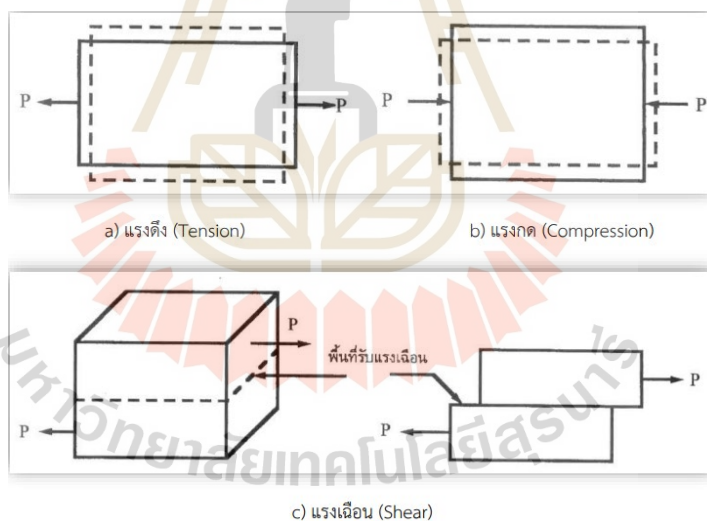
ความเค้น คือ แรงต้านทานภายในเนื้อวัสดุที่มีต่อแรงภายนอกที่มากกระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ แต่เนื่องจากความไม่เหมาะสมทางปฏิบัติและความยากในการวัดหาค่านี้ จึงมักจะพูดถึงความเค้นในรูปของแรงภายนอกที่มากกระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ ด้วยเหตุผลที่ว่า แรงกระทำภายนอกมีความสมดุลกับแรงต้านทานภายใน (พงษ์สุกิจวัฒน์, 2563) ความเค้นซึ่งมีหน่วยเป็นพาสคาล

(Pa, Pascal) หรือนิวตันต่อตารางเมตร (N/m^2) โดยทั่วไปความเค้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด ตามลักษณะของแรงที่มากกระทำ ดังรูปที่ 3.13

1) ความเค้นแรงดึง (tensile stress หรือ tensional stress) หมายถึง ความเค้นที่เกิดขึ้นเมื่อมีแรงดึงมากกระทำตั้งฉากกับผิวต่อพื้นที่ภาคตัดขวาง วัตถุประสงค์จากอัตราส่วนของแรงดึงที่ตั้งฉากกับผิวต่อพื้นที่ภาคตัดขวาง มีผลทำให้วัตถุยาวขึ้น

2) ความเค้นแรงอัด (compressive stress หรือ compressional stress) หมายถึง ความเค้นที่เกิดขึ้นเมื่อมีแรงกดมากกระทำตั้งฉากกับพื้นที่ภาคตัดขวาง เพื่อพยายามอัดให้วัสดุมีขนาดสั้นลง หาค่าได้จาก อัตราส่วนของแรงอัด (compressive force) ที่มากกระทำตั้งฉากกับผิวต่อพื้นที่ภาคตัดขวาง มีผลทำให้วัตถุหดสั้นลง

3) ความเค้นแรงเฉือน (shear stress) หมายถึง ความเค้นที่เกิดขึ้นเมื่อมีแรงเฉือนที่มากกระทำให้ทิศทางขนานกับพื้นที่ภาคตัดขวาง เพื่อให้วัสดุเคลื่อนผ่านจากกัน หาค่าได้จาก อัตราส่วนของแรงเฉือน (shear force) กับพื้นที่ภาคตัดขวาง ซึ่งขนานกับทิศทางของแรงเฉือน



รูปที่ 3.13 ลักษณะของแรงกระทำชนิดต่าง ๆ

ที่มาภาพ: (พงษ์สุกิจวัฒน์, 2563)

3.4.3 ค่าความปลอดภัย (Factor of Safety: FOS)

ในการผลิตหรือการออกแบบชิ้นงาน เครื่องจักร เครื่องก่อสร้างหรือแม้แต่การขนถ่ายวัสดุอุปกรณ์ต่าง ๆ ภายในโรงงานหรือที่หน้างานก่อสร้าง เมื่อจะดำเนินงานใด ๆ ก็ตามจะต้องมีค่าเผื่อไว้สำหรับการออกแบบ เพื่อป้องกันไม่ให้แรงหรือกำลังต่าง ๆ ที่มากกระทำกับเครื่องจักรหรือ

เครื่องมือก่อสร้างมีมากเกินไปกว่ากำลังของเครื่องจักรหรือเครื่องมือก่อสร้างจะรับได้ ค่าเผื่อดังกล่าว เรียกว่า ค่าความปลอดภัย

ค่านियามีสองค่าจำกัดความสำหรับปัจจัยด้านความปลอดภัย

1) อัตราส่วนของความแข็งแรงสมบูรณ์ของโครงสร้าง (ความสามารถของโครงสร้าง) ต่อโหลดที่ใช้จริง คือ การวัดความน่าเชื่อถือของการออกแบบเฉพาะ เป็นค่าที่คำนวณและบางครั้งจะเรียกว่าเพื่อประโยชน์ของความชัดเจนที่เป็นปัจจัยที่ตระหนักถึงความปลอดภัย

2) ค่าที่ต้องการกำหนดตามกฎหมายมาตรฐานหรือที่กำหนดเองซึ่งโครงสร้างจะต้องสอดคล้องสามารถเรียกว่าเป็นปัจจัยการออกแบบ ปัจจัยการออกแบบความปลอดภัยหรือจำเป็นต้องใช้ปัจจัยของความปลอดภัย

ในการคำนวณการออกแบบปัจจัยด้านความปลอดภัยและปัจจัยด้านความปลอดภัยในการออกแบบ มีดังนี้ ปัจจัยด้านความปลอดภัยหรือความเครียดจากผลตอบแทน คือ ชิ้นส่วนที่ออกแบบจริงจะสามารถรับน้ำหนักได้มากเพียงใด ปัจจัยการออกแบบหรือความเครียดจากการทำงาน คือ สิ่งที่เป็นเพื่อให้สามารถทนต่อ ปัจจัยการออกแบบถูกกำหนดไว้สำหรับการใช้งาน ปัจจัยด้านความปลอดภัย คือ อัตราส่วนของความแข็งแรงสูงสุดต่อน้ำหนักบรรทุกที่ตั้งใจไว้สำหรับสินค้าจริงที่ได้รับการออกแบบ ดังสมการ 3.1

$$\text{Factor of Safety} = \frac{\text{yield strength}}{\text{working stress}} \quad (3.1)$$

โดยที่ *yield strength* คือ ค่าความแข็งแรงคราก (Pa)

working stress คือ แรงที่กระทำกับวัตถุชิ้นนั้น ๆ (Pa)

3.4.4 ค่าผลการเสียรูป (Displacement)

การเสียรูปของวัสดุ คือ ขบวนการในการเปลี่ยนแปลงขนาดลักษณะต่าง ๆ ภายใต้แรงที่มากระทำต่อวัสดุชิ้น ๆ เช่น ความเค้นแรงดึง (Tensile Stress) ความเค้นแรงกดหรือความเค้นแรงอัด (Compressive Stress) ความเค้นแรงดัด (Bending Stress) ความเค้นแรงเฉือน (Shear Stress) และความเค้นแรงบิด (Torsion Stress) เป็นต้น ประเภทของการเปลี่ยนรูปโดยทั่วไปจะแบ่งประเภทของการเปลี่ยนรูปของโลหะหรือของวัสดุออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ (พงษ์สุกิจวัฒน์, 2563) ดังนี้

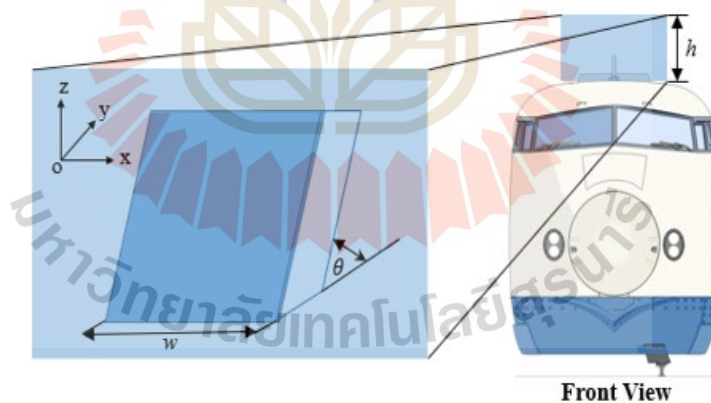
1) การเปลี่ยนรูปแบบอีลาสติกหรือแบบคืนรูป (Elastic Deformation) เป็นขบวนการเปลี่ยนรูป หรือการแปรรูป แบบยืดหยุ่น คือ วัสดุเมื่อมีแรงมากระทำในช่วง ๆ หนึ่งที่วัสดุ

นั้น ๆ สามารถทนอยู่ได้ โดยเมื่อเอาแรงหรือปลดแรงนั้นออก วัสดุนั้น ๆ ก็จะสามารถกลับคืนรูปให้อยู่ในสภาพเดิมได้

2) การเปลี่ยนรูปแบบพลาสติกหรือแบบคงรูป (Plastic Deformation) เป็นขบวนการเปลี่ยนรูป หรือการแปรรูป แบบถาวร คือ วัสดุเมื่อมีแรงมากกระทำจนถึงจุดเกินพิกัดที่จะสามารถทนอยู่ในสภาพนั้น ๆ ได้อีกจน ถึงขนาดเกิดการเปลี่ยนแปลง ขนาดและรูปร่างไปอย่างถาวร จนไม่อาจจะกลับคืนสู่สภาพเดิมได้

3.5 เบรกอากาศพลศาสตร์สำหรับรถไฟความเร็วสูง

แรงต้านอากาศเป็นแรงที่มีทิศทางต่อต้านการเคลื่อนที่หรือทิศทางตรงข้ามกับแรงที่พยายามจะทำให้วัตถุเกิดการเคลื่อนที่ที่เกิดขึ้นขณะที่วัตถุเคลื่อนที่ผ่านกระแสอากาศ เบรกอากาศพลศาสตร์เมื่อนำมาประยุกต์ใช้กับรถไฟความเร็วสูง รถไฟความเร็วสูงนั้นได้รับการออกแบบในรูปทรงเพรีียวบางเพื่อลดแรงเสียดทานเนื่องจากยานพาหนะที่เร็วกว่าจะได้รับผลกระทบจากแรงเสียดทานทางอากาศมากขึ้น เมื่อต้องเจอกับแรงต้านอากาศที่มากจากการปะทะกับลมในรถไฟความเร็วสูง เพื่อที่จะลดระยะเบรกของรถไฟความเร็วสูง และประหยัดพลังงาน รูปแบบของเบรกอากาศพลศาสตร์ในรถไฟความเร็วสูง ดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 เบรกอากาศพลศาสตร์ในรถไฟความเร็วสูง

ที่มาภาพ: (Lee and Bhandari, 2018)

จากรูปที่ 3.14 เบรกอากาศพลศาสตร์นั้นถูกติดตั้งที่พื้นผิวด้านบนของรถไฟความเร็วสูง กลไกของเบรกอากาศพลศาสตร์มีกลไกแบบพับเก็บได้ จะเปิดขึ้นมาใช้เมื่อรถไฟทำการเบรกเมื่อจะถึงสถานี วัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มพื้นที่ให้กับพื้นที่ด้านหน้าของรถไฟความเร็วสูงให้หน้าสัมผัสกับอากาศเพื่อเพิ่มแรงลากให้กับรถไฟความเร็วสูง

3.6 รถไฟความเร็วสูงชินคันเซ็น Series N700

รถไฟความเร็วสูงได้กลายเป็นรูปแบบการคมนาคมที่สำคัญสำหรับการเดินทางสาธารณะ เพราะมีความสะดวกสบาย รวดเร็วในการเดินทางและมีความปลอดภัยในการเดินทางสูง รถไฟความเร็วสูงนั้นได้รับการออกแบบในรูปทรงเพรียวบางเพื่อลดแรงเสียดทานทางอากาศ อย่างไรก็ตามรถไฟความเร็วสูงใช้ระยะทางที่มากแต่ใช้เวลาน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับรถไฟธรรมดา รถไฟความเร็วสูงชินคันเซ็น Series N700 กำลังใช้งานบน Tokaido Shinkansen ซึ่งถือเป็นเส้นทางสำคัญของญี่ปุ่นที่เชื่อมเมืองใหญ่ของ 3 ภูมิภาค ระหว่างสถานี Tokyo ในจังหวัดโตเกียว (Tokyo) ของภูมิภาคคันโต (Kanto) และ สถานี Nagoya ในจังหวัดไอจิ (Aichi) ของภูมิภาคชูบุ (Chubu) และ สถานี Shin-Osaka ในจังหวัดโอซาก้า (Osaka) ของภูมิภาคคันไซ (Kansai) นอกจากนี้ยังวิ่งผ่านภูเขาไฟฟูจิในช่วงจังหวัดชิซึโอกะ (Shizuoka) ได้ปรับปรุงความเร็ว ความสะดวกสบาย และพลังงานอย่างมีนัยสำคัญ เพิ่มความเร็วสูงสุดจาก 270 km/h เป็น 300 km/h และลดเวลาการเดินทางตั้งแต่ต้นทางถึงปลายทาง รถไฟสามารถเดินทางระหว่างโตเกียวถึงโอซาก้าด้วยรถไฟขบวน Nozomi ระยะทางทั้งหมด 515.4 กิโลเมตร ทั้งหมด 17 สถานี ได้ในเวลาเพียง 2 ชั่วโมง 22 นาที ใน Tokaido Shinkansen มีรถไฟที่ให้บริการ 3 ขบวนได้แก่ Nozomi, Hikari และ Kodama แต่ละขบวนจะให้บริการ 16 ตู้ขบวน ตู้ขบวนขนาดกว้าง 3.36 เมตร สูง 3.6 เมตรและความยาว 25 เมตร น้ำหนักของรถไฟ 715 ตัน (รวม 16 ตู้ขบวน) ดังรูปที่ 3.15



รูป 3.15 รถไฟความเร็วสูงชินคันเซ็น Series N700

ที่มาภาพ: https://en.wikipedia.org/wiki/N700_Series_Shinkansen

3.7 สรุป

ในบทนี้ได้นำเสนอรายละเอียดเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของรถไฟ โหมตการการเคลื่อนที่ต่าง ๆ ของรถไฟ และสมการพื้นฐานการเคลื่อนที่ของรถไฟ เป็นต้น ความเป็นมาและรายละเอียดของระบบเบรกของรถไฟชนิดต่าง ๆ พิกัดเขตโครงสร้างของรถไฟใช้ในการกำหนดการออกแบบเบรกอากาศ พลศาสตร์ของรถไฟความเร็วสูง การวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม SOLIDWORKS Flow Simulation เป็นการอธิบายและการกำหนดตั้งค่าตัวแปร และออกแบบแบบจำลองรถไฟในการติดตั้งเบรกอากาศ พลศาสตร์ ซึ่งเป็นรายละเอียดที่สำคัญสำหรับทำความเข้าใจ และเป็นความรู้พื้นฐานสำหรับรายละเอียดในบทถัดไป โดยในบทถัดไปเป็นรายละเอียดเกี่ยวกับจำลองโมเดลของรถไฟความเร็วสูง จำลองโมเดลของเบรกอากาศพลศาสตร์ และจำลองโมเดลของรถไฟความเร็วสูงเมื่อติดตั้งเบรกอากาศ พลศาสตร์ เสาไฟ และสายไฟตัวนำสัมผัส (Contact Wire) ด้วยโปรแกรม SOLIDWORKS

บทที่ 4

การจำลองโมเดลและอุปกรณ์ที่ติดตั้งบนรถไฟด้วยโปรแกรม SOLIDWORKS

4.1 บทนำ

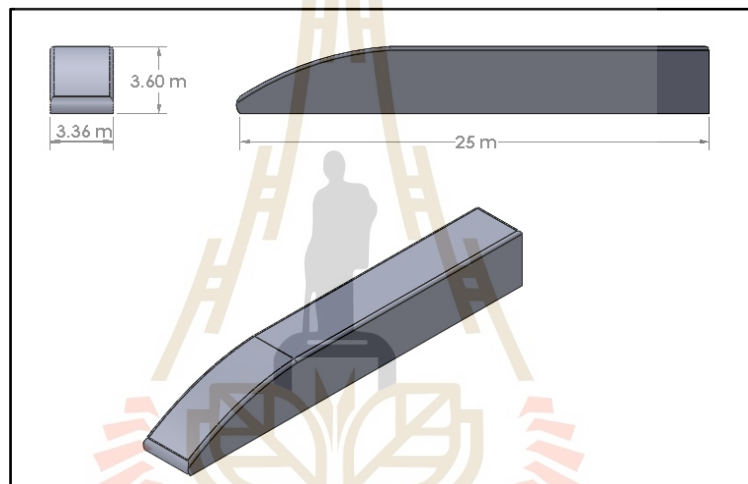
การศึกษาเกี่ยวกับการไหลของอากาศ ความเค้น ความปลอดภัย และผลการเสียรูปในรถไฟความเร็วสูงยากต่อการทดลองจริง การใช้โปรแกรม SOLIDWORKS Flow Simulation เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการจำลองที่มีประสิทธิภาพสูงและได้รับความนิยม โดยใช้คอมพิวเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูงในปัจจุบันมาเป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ผ่านการสร้างแบบจำลองของรถไฟความเร็วสูง ช่วยให้ทราบถึงพฤติกรรมของการไหลของอากาศ ผลกระทบที่อาจจะเกิดขึ้นกับแบบจำลอง และคาดการณ์สิ่งที่จะเกิดขึ้นได้โดยที่ไม่เสียค่าใช้จ่ายในการทดลองความถูกต้องของการจำลองขึ้นอยู่กับการสร้างแบบจำลองของรถไฟความเร็วสูงและอุปกรณ์ที่ติดตั้งบนรถไฟให้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงในทางปฏิบัติ ในบทนี้นำเสนอการสร้างแบบจำลองโมเดลรถไฟความเร็วสูง และเบรกอากาศพลศาสตร์ โดยแบ่งเป็นการวิเคราะห์ค่าแรงต้านอากาศของรถไฟความเร็วสูงเมื่อติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์ ค่าความเค้น ค่าความปลอดภัย ผลของการเสียรูป และผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นกับเสาไฟและ สายไฟตัวนำสัมผัส (Contact Wire) โดยใช้แบบจำลองรถไฟความเร็วสูงชินคันเซ็น Series N700 เป็นกรณีศึกษา

4.2 จำลองโมเดลของรถไฟความเร็วสูงด้วยโปรแกรม SOLIDWORKS

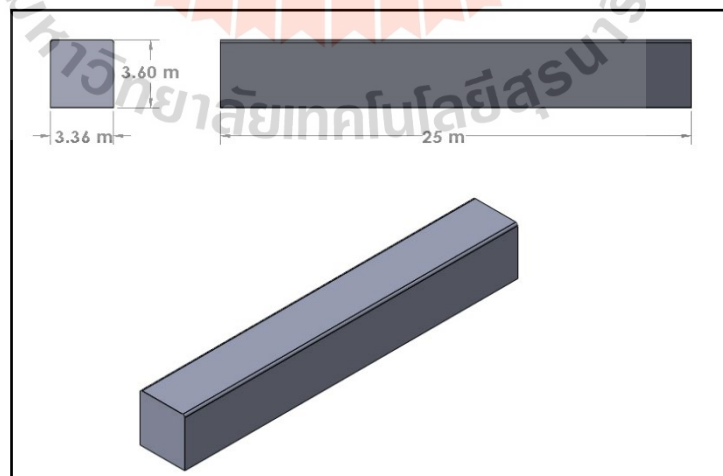
การจำลองโมเดลของรถไฟความเร็วสูงชินคันเซ็น Series N700 จะทำการออกแบบตามขนาดจริงของข้อมูลที่สามารถเผยแพร่ได้ของรถไฟความเร็วสูงชินคันเซ็นที่มีอย่างจำกัด โดยนำไปออกแบบเป็นแบบจำลองในโปรแกรม SOLIDWORKS เป็นโปรแกรมในการออกแบบโมเดล 3 มิติสำหรับงานด้านวิศวกรรม เขียนแบบจำลองโมเดลต่าง ๆ และสามารถวิเคราะห์พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ ข้อมูลขนาดของรถไฟความเร็วสูงชินคันเซ็น Series N700 ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลขนาดของรถไฟความเร็วสูงชินคันเซ็น Series N700

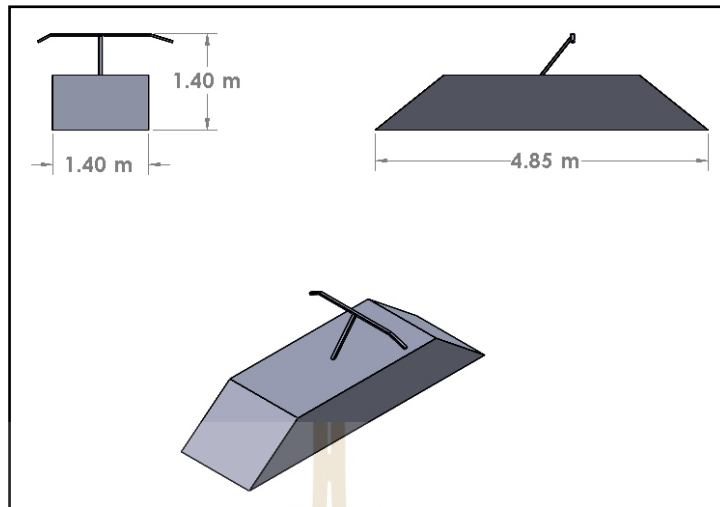
Series N700 Shinkansen	
ความกว้าง	3.36 m
ความยาวตู้ขบวน	25 m
ความสูง	3.6 m
ตู้ขบวน	16 ตู้
สายที่ใช้บริการ	Tokaido Shinkansen
ชื่อขบวนที่ให้บริการ	Nozomi, Hikari, Kodama



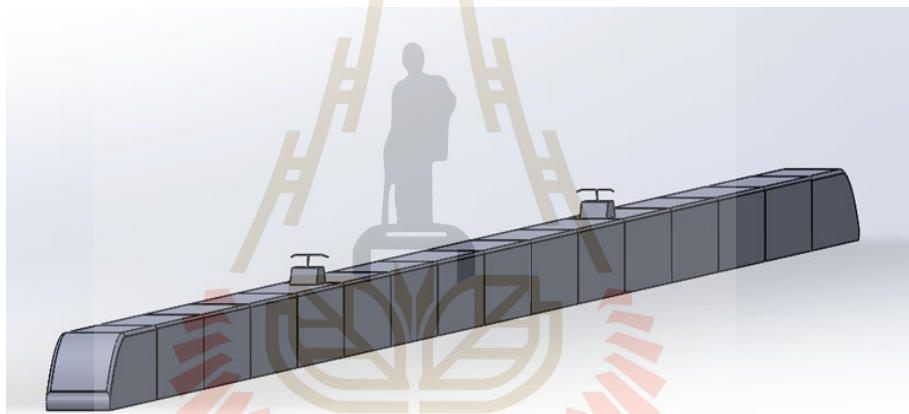
รูปที่ 4.1 แบบจำลองหัวรถไฟความเร็วสูงชินคันเซ็น Series N700



รูปที่ 4.2 แบบจำลองตู้ขบวนรถไฟความเร็วสูงชินคันเซ็น Series N700



รูปที่ 4.3 แบบจำลองแหวนรับไฟของรถไฟความเร็วสูงชินคันเซ็น Series N700



รูปที่ 4.4 แบบจำลองทั้งขบวนของรถไฟความเร็วสูงชินคันเซ็น Series N700

ตามรูปที่ 4.1 – 4.3 เป็นการจำลองแบบหัวรถไฟ ตู้ขบวนรถไฟ และแหวนรับไฟของรถไฟความเร็วสูงชินคันเซ็น Series N700 ตามลำดับ โดยการออกแบบและจำลองด้วยโปรแกรม SOLIDWORKS ตามขนาดข้อมูลของรถไฟความเร็วสูงชินคันเซ็น Series N700 ดังตารางที่ 4.1 ในการจำลองจะดำเนินการจำลองโมเดลแยกเป็นแต่ละส่วนแล้วนำมาประกอบรวมกัน เพื่อให้ง่ายต่อการออกแบบโมเดล และแก้ไขข้อมูลได้อย่างไม่ซับซ้อน รูปที่ 4.4 เป็นแบบจำลองของรถไฟความเร็วสูงชินคันเซ็น Series N700 ทั้งขบวน โดยมีทั้งหมด 16 ตู้ขบวน รถไฟความเร็วสูงชินคันเซ็น Series N700 1 ขบวนจะมีหัวรถไฟทั้งหน้าขบวนและหลังขบวน แหวนรับไฟจะถูกติดตั้งไว้ด้านบนของตู้ขบวนที่ 5 และ 12 ในส่วนของรูปร่างรถไฟที่จำลองในวิทยานิพนธ์นี้จะจำลองให้คล้ายกับรถไฟความเร็วสูงชินคันเซ็นหรือใกล้เคียงกับข้อมูลที่มีการเผยแพร่

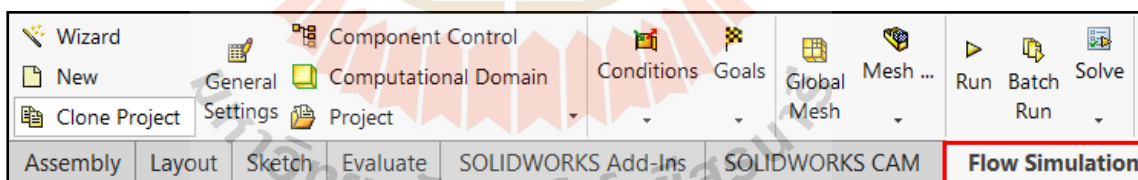
4.2.1 จำลองการไหลของอากาศของรถไฟความเร็วสูงชินคันเซ็น Series N700

การจำลองการไหลของอากาศในโมเดลรถไฟความเร็วสูงชินคันเซ็น Series N700 ด้วยโปรแกรม SOLIDWORKS Flow Simulation เป็นการจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamic: CFD) ที่จะแสดงการไหลของอากาศที่ไหลผ่านโมเดลรถไฟว่ามีผลกระทบกับรถไฟหรือลักษณะการไหลของอากาศเป็นไปในทิศทางใด ศึกษาการไหลของอากาศแรงลมที่มาปะทะกับรถไฟ และความเร็วของอากาศ ความหนาแน่นของอากาศที่ไหลผ่านรถไฟมีผลกระทบกับตัวรถไฟในลักษณะใด เป็นกรณีศึกษาในที่นี่

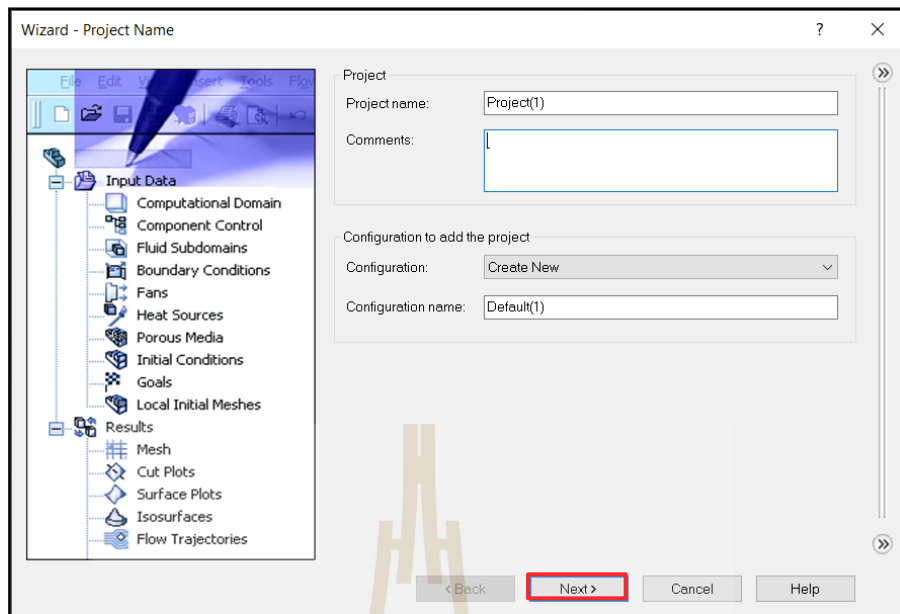
ขั้นตอนการจำลองการไหลของอากาศของรถไฟความเร็วสูงชินคันเซ็น Series N700 ดังรูปที่ 4.16 สรุปขั้นตอนและอธิบายในการทำงานได้ดังต่อไปนี้

1) สร้างแบบจำลองโมเดลรถไฟความเร็วสูงชินคันเซ็น Series N700 เช่น หัวรถไฟ ตู้ขบวนรถไฟ แหนบรับไฟ และแบบจำลองอื่น ๆ ที่จำเป็น โดยใช้โปรแกรม SOLIDWORKS เพราะ SOLIDWORKS Flow Simulation ทำงานในหน้าต่างเดียวกันและสามารถอัปเดตข้อมูลได้อัตโนมัติ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงขนาดของชิ้นงาน นอกจากนี้ยังรองรับการตั้งค่า การกำหนดค่าต่าง ๆ ใน SOLIDWORKS ด้วย ทำให้ง่ายต่อการวิเคราะห์งานหลายแบบในไฟล์เดียวกัน

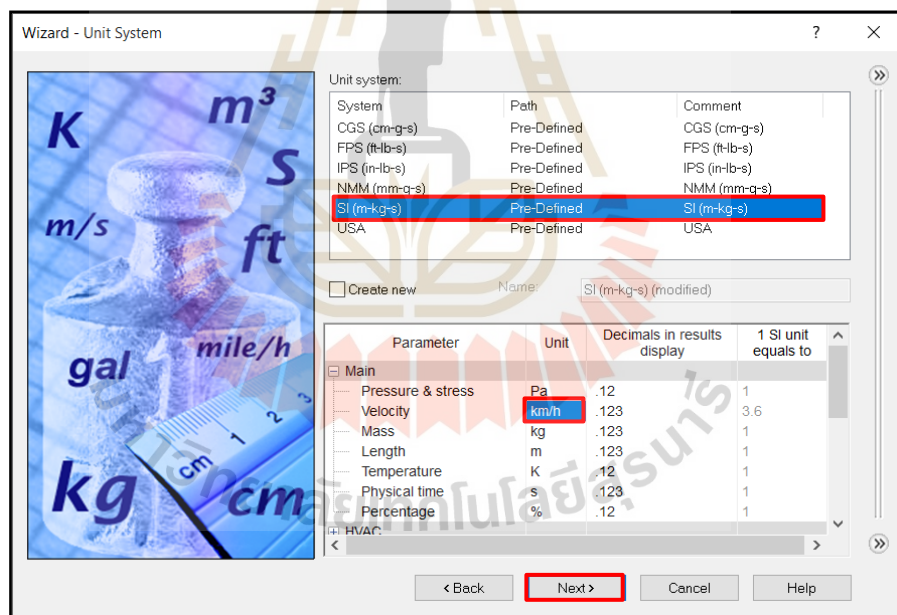
2) กำหนดค่าเริ่มต้นแบบ Wizard เป็นขั้นตอนกำหนดค่าต่าง ๆ เพื่อให้สะดวกและรวดเร็ว เช่น กำหนดหน่วย การวิเคราะห์แบบภายในหรือภายนอก ชนิดของไหล และกำหนดค่าอื่น ๆ ที่ใช้ในการจำลอง ดังรูปที่ 4.5 – 4.11 ตามลำดับ



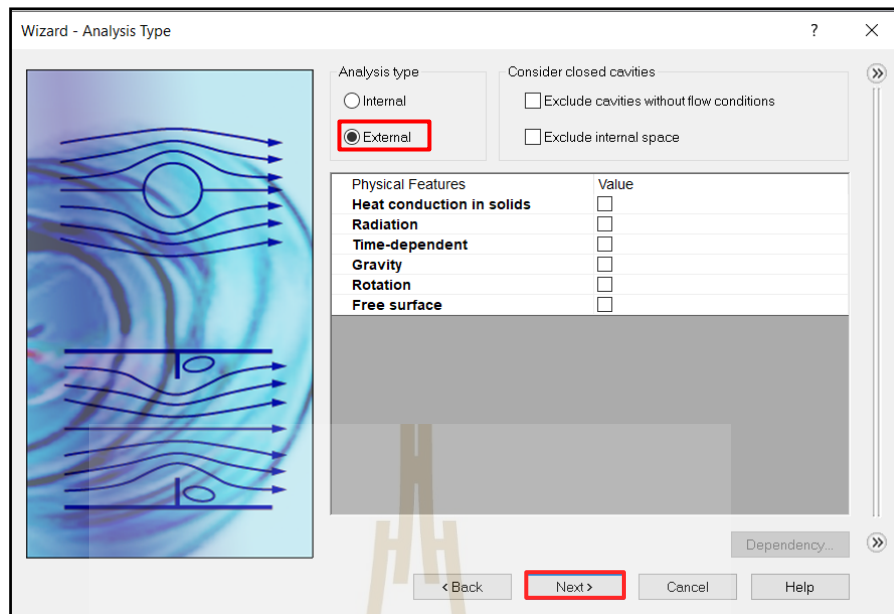
รูปที่ 4.5 การกำหนดค่าเริ่มต้นแบบ Wizard ในแถบ Flow Simulation



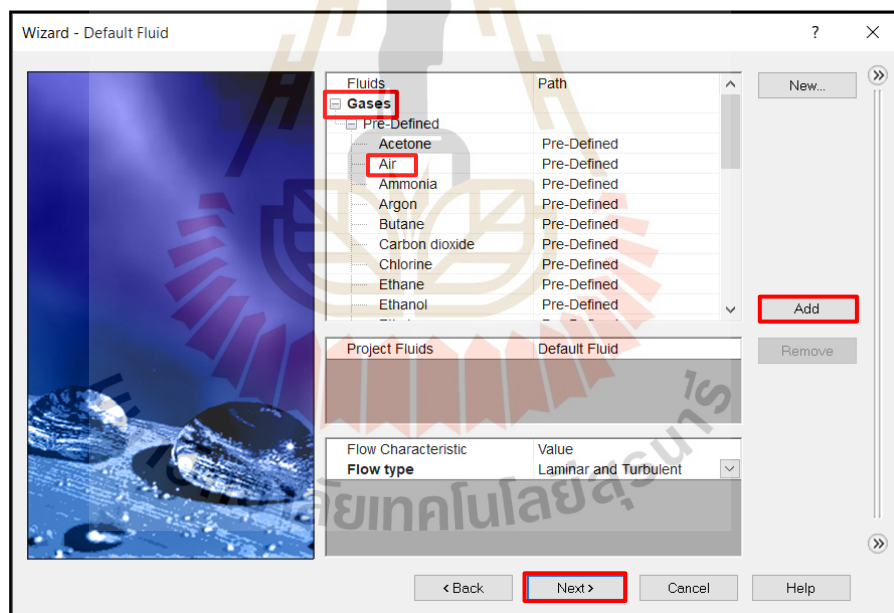
รูปที่ 4.6 การสร้างโปรเจกต์ใหม่



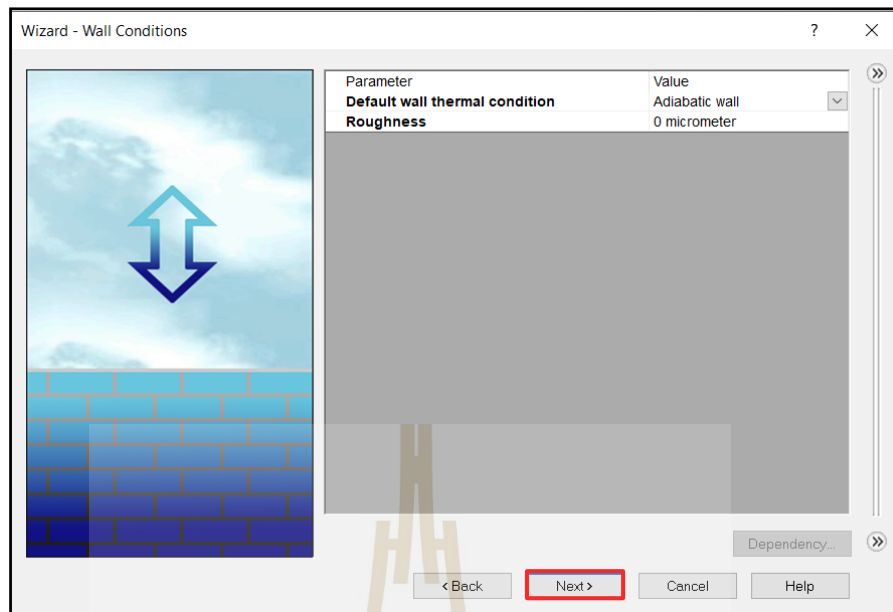
รูปที่ 4.7 การเลือกหน่วยที่ใช้



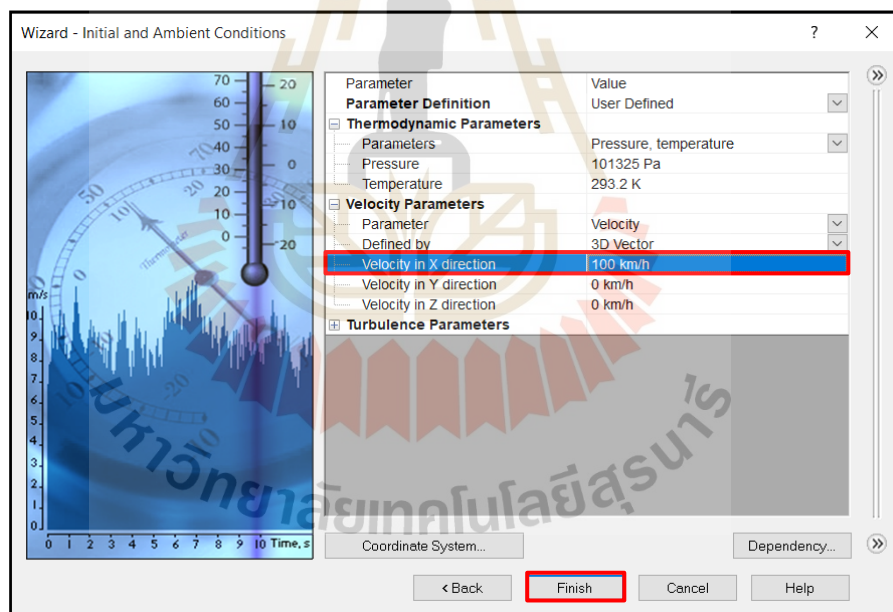
รูปที่ 4.8 การเลือกประเภทการวิเคราะห์



รูปที่ 4.9 การเลือกชนิดของของไหล



รูปที่ 4.10 การตั้งค่าผนังและความเรียบผิว

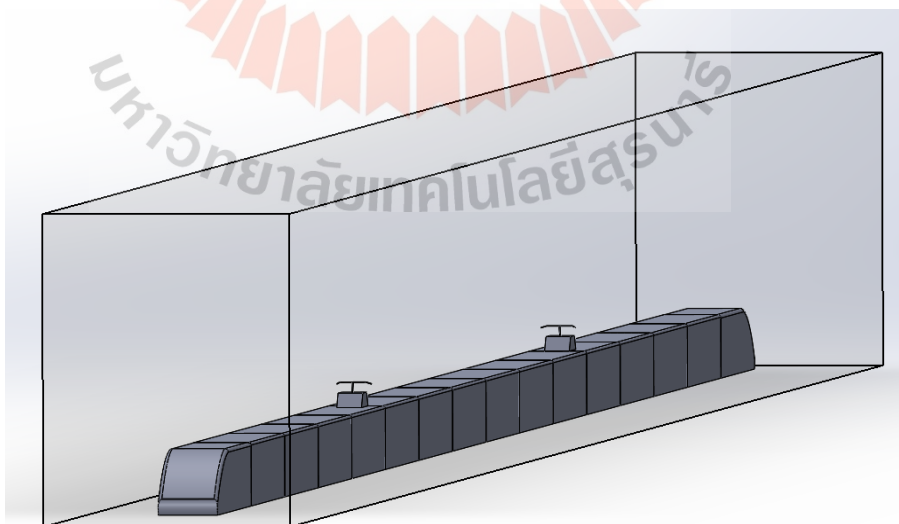


รูปที่ 4.11 การตั้งค่าข้อมูลเริ่มต้น

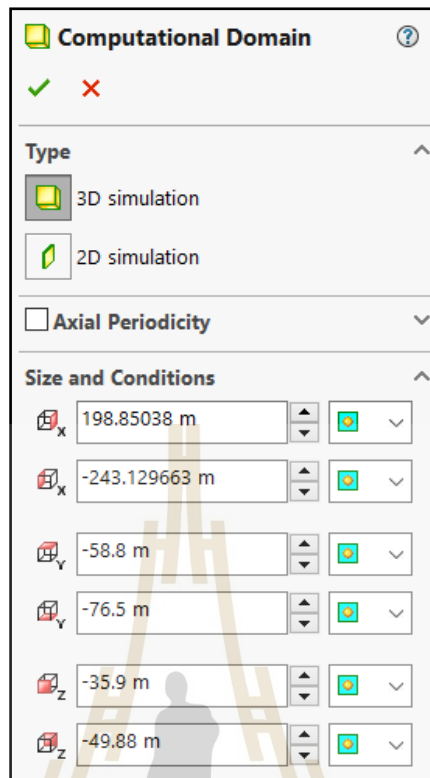
ขั้นตอนการกำหนดค่าเริ่มต้นแบบ Wizard เริ่มต้นด้วยการสร้างโปรเจกใหม่โดยใช้คำสั่ง Wizard ในแถบ Flow Simulation ดังรูปที่ 4.5 การสร้างโปรเจกใหม่ให้ตั้งชื่อในช่อง Project name ในขั้นตอนขั้นเดียวสามารถทำการวิเคราะห์ได้หลายโปรเจก ดังรูปที่ 4.6 หลักการเลือกหน่วยที่ใช้ในการวิเคราะห์ให้เลือกหน่วยตามข้อมูลในการศึกษา เพื่อให้สะดวกต่อการป้อนข้อมูลและการอ่านผลเฉลย ในศึกษานี้ให้เลือกในช่อง Unit system เลือก SI (m-kg-s) และในช่อง Velocity เลือก

km/h ดังรูปที่ 4.7 การเลือกประเภทการวิเคราะห์จะมี 2 ประเภท วิเคราะห์ภายใน (Internal) และ วิเคราะห์ภายนอก (External) ในการศึกษานี้ใช้เป็นวิเคราะห์ภายนอกเพราะการวิเคราะห์การไหลของอากาศในแบบจำลองรถไฟศึกษาการไหลของอากาศที่ผ่านผิวของตัวรถไฟด้านนอก ดังรูปที่ 4.8 การเลือกชนิดของไหลในการศึกษานี้วิเคราะห์การไหลของอากาศ ดังรูปที่ 4.9 การตั้งค่าผนังและความเรียบเลือก Adiabatic wall คือ ผนังของชิ้นงานมีการหุ้มฉนวนอย่างดี ไม่มีการถ่ายเทความร้อนระหว่างผนังของชิ้นงาน และเลือก Roughness คือ ความขรุขระผิวของชิ้นงาน กำหนดเป็น 0 แสดงว่าผนังมีผิวเรียบ ดังรูปที่ 4.10 การตั้งค่าใน Initial Conditions จะใช้ค่าเริ่มต้นโดยที่ Thermodynamics Parameter คือ การกำหนดค่าเริ่มต้นของความดันบรรยากาศและอุณหภูมิ โดยทั่วไปจะไม่ปรับเปลี่ยนค่านี้ และ Velocity Parameter ตั้งค่าเป็น 100 km/h เพราะจะศึกษาในช่วงการเบรกของรถไฟเพื่อศึกษาการไหลของอากาศ เป็นอันถือว่าจบการตั้งค่า Wizard ดังรูปที่ 4.11

3) กำหนด Computational Domain ในการคำนวณ คือ ขอบเขตของการวิเคราะห์ โดยปกติจะถูกสร้างขึ้นอัตโนมัติในการวิเคราะห์แบบภายใน (Internal) ขอบเขตของการวิเคราะห์จะถูกสร้างเป็นปริมาตรรูปสี่เหลี่ยมครอบชิ้นงาน ดังรูปที่ 4.12 แต่ในการศึกษานี้เป็นการวิเคราะห์แบบภายนอก (External) เพราะศึกษาการไหลของอากาศที่ไหลผ่านตัวผิวของรถไฟทั้งขบวน ฉะนั้นต้องกำหนดค่าเองตามชิ้นงานและโมเดลที่ต้องการศึกษา ซึ่งจะกำหนดค่าต่าง ๆ ดังรูปที่ 4.13

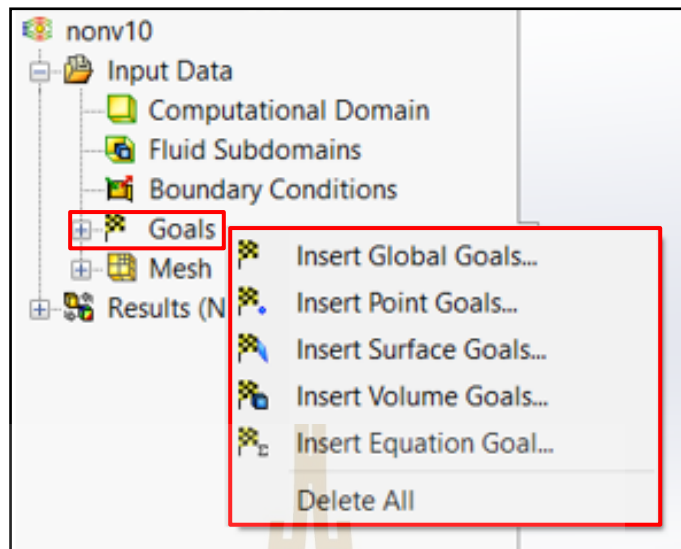


รูปที่ 4.12 ขอบเขตของการวิเคราะห์ชิ้นงาน

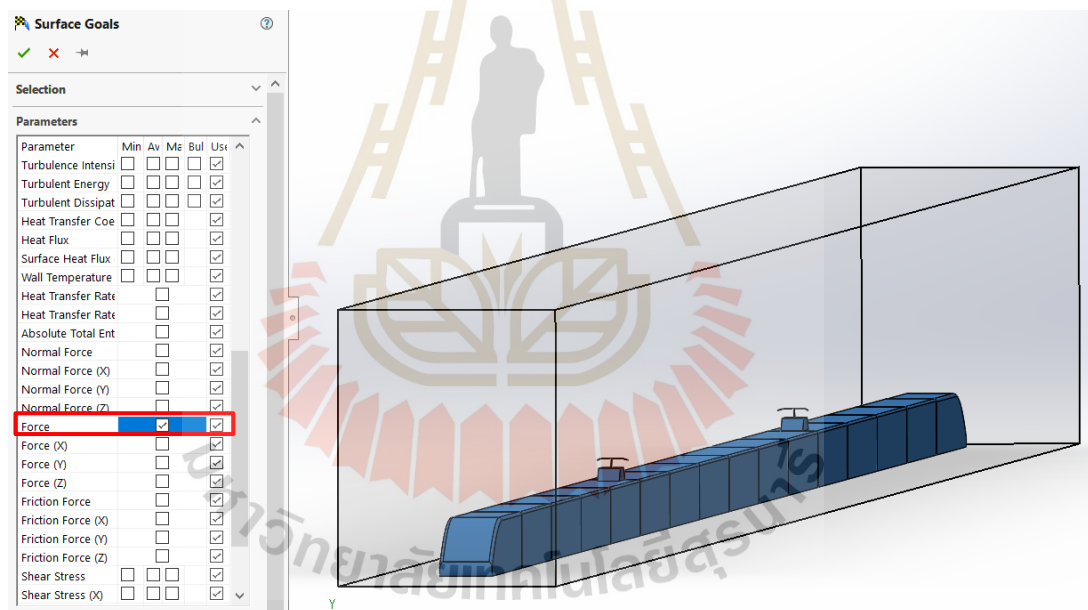


รูปที่ 4.13 การตั้งค่าขอบเขตของการวิเคราะห์ชิ้นงาน

4) กำหนดเป้าหมายหรือผลเฉลยที่ต้องการ การคำนวณด้วย SOLIDWORKS Flow Simulation จะมีลักษณะการวนลูปเพื่อหาคำตอบ จะทำการหยุดคำนวณเมื่อค่าต่าง ๆ โดยภาพรวมมีการเปลี่ยนแปลงน้อย ซึ่งสามารถกำหนดเป้าหมาย (Goal) ในการวิเคราะห์ได้ มีรูปแบบเป้าหมายต่าง ๆ ให้สามารถใช้งาน ดังนี้ Global Goal เป็นเป้าหมายโดยภาพรวมทั้งชิ้นงาน Surface Goal เป็นเป้าหมายที่ผิวของชิ้นงาน Point Goal เป็นเป้าหมายที่จุดบนผิวของชิ้นงาน Volume Goal เป็นเป้าหมายที่ก้อนของชิ้นงาน และ Equation Goal เป็นเป้าหมายในรูปแบบสมการ ดังรูปที่ 4.14 โดยในการศึกษานี้จะวิเคราะห์เป้าหมาย Surface Goal บนผิวของรถไฟทั้งขบวนและจะกำหนดเลือกหาค่าเป็นแรง (Force) ดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.14 การเลือกเป้าหมายที่ผิวของชิ้นงาน

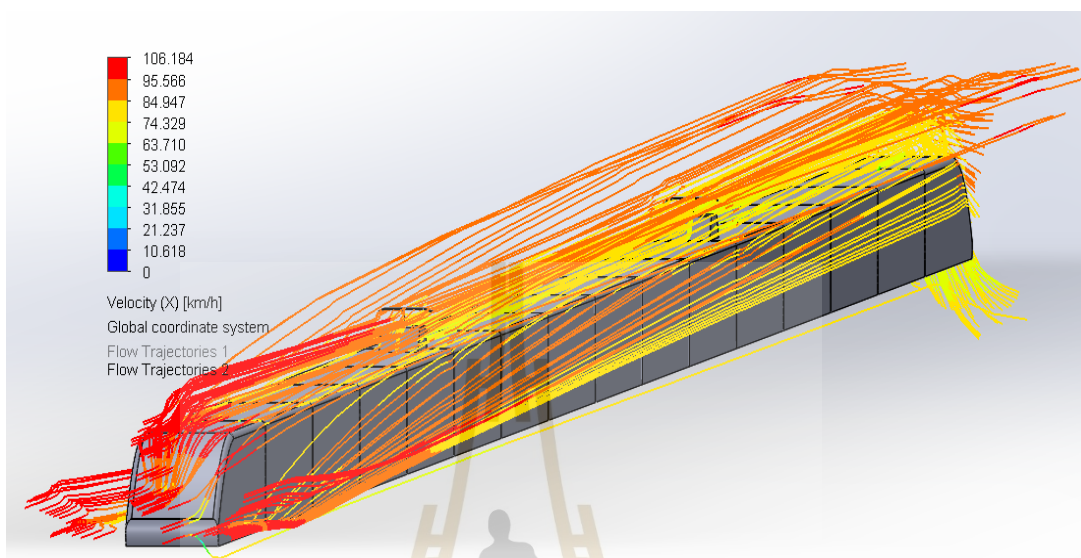


รูปที่ 4.15 กำหนดเลือกหาค่าเป็นแรง (Force)

5) ดำเนินการวิเคราะห์การไหลของอากาศของโมเดลรถไฟ โดยเลือกที่ชื่อโปรเจกต์เลือก Run จากนั้นรอให้โปรแกรมดำเนินการวิเคราะห์ เมื่อขึ้นข้อความ Solver is Finished ให้ปิดหน้าต่าง และตรวจสอบความถูกต้องของผลเฉลยในการวิเคราะห์การไหลของอากาศของโมเดลรถไฟ

6) ดูผลเฉลยการไหลของอากาศของโมเดลรถไฟ และค่าแรงต้านอากาศที่ได้ทำการเลือกในการวิเคราะห์ ดังรูปที่ 4.16 - 4.17 จะแสดงรูปโมเดลของรถไฟที่มีเส้นการไหลของอากาศไหล

ผ่านตัวผิวของรถไฟที่ความเร็ว 100 km/h แสดงเส้นสีความเร็วของอากาศที่มาปะทะกับตัวผิวของรถไฟ และแสดงค่าแรงต้านอากาศที่มาปะทะกับตัวผิวรถไฟ



รูปที่ 4.16 ผลเฉลยการไหลของอากาศของโมเดลรถไฟ

Goal Name	Unit	Value
SG Force (X) 1	[N]	5525.956

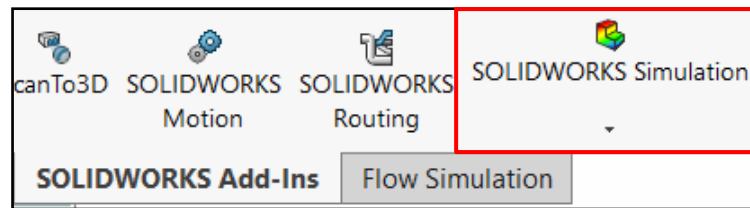
รูปที่ 4.17 ค่าแรงต้านอากาศที่กระทำกับผิวของโมเดลรถไฟ

4.2.2 จำลองค่าความเค้นของรถไฟความเร็วสูงชินคันเซ็น N700 Serie

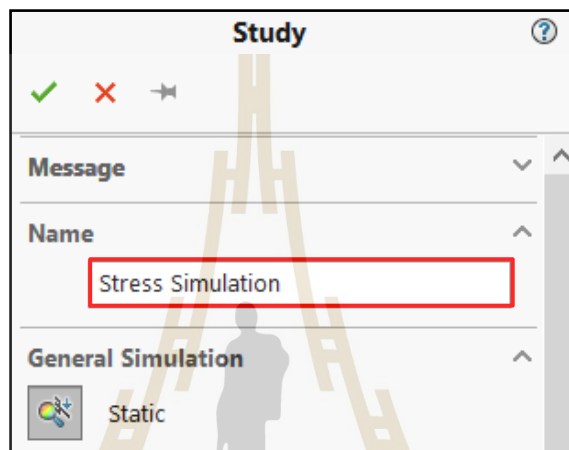
การจำลองค่าความเค้น (Stress) ของโมเดลรถไฟในโปรแกรม SOLIDWORKS เป็นการจำลองแรงต้านทานภายในเนื้อวัสดุที่มีต่อแรงภายนอกกระทำ วิเคราะห์ความแข็งแรงของตัวโมเดลรถไฟโดยที่มีแรงจากการไหลของอากาศมาปะทะกับตัวผิวของรถไฟ ในการวิเคราะห์ค่าความเค้นจะดำเนินการต่อมาจากการวิเคราะห์การไหลของอากาศจากหัวข้อที่ 4.2.1 โดยค่าความเค้นจะมีหน่วยเป็นพาสคาล (Pa, Pascal) หรือนิวตันต่อตารางเมตร (N/m^2)

ขั้นตอนการจำลองค่าความเค้นของรถไฟความเร็วสูงชินคันเซ็น N700 Serie มีขั้นตอนและอธิบายการทำงานได้ดังต่อไปนี้

1) เลือกการจำลอง SOLIDWORKS Simulation โดยนำแบบจำลองโมเดลรถไฟจากการวิเคราะห์การไหลของอากาศนำมาดำเนินการต่อ และตั้งชื่อการจำลองวิเคราะห์ค่าความเค้น (Stress Simulation) เป็นขั้นตอนต่อไป ดังรูปที่ 4.18 – 4.19 ตามลำดับ

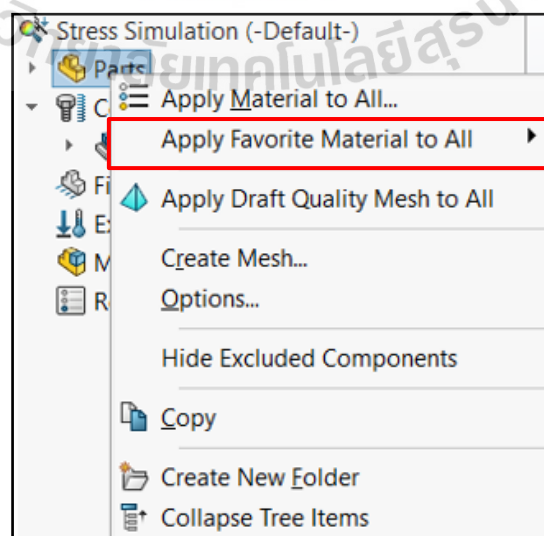


รูปที่ 4.18 การเลือกจำลอง SOLIDWORKS Simulation



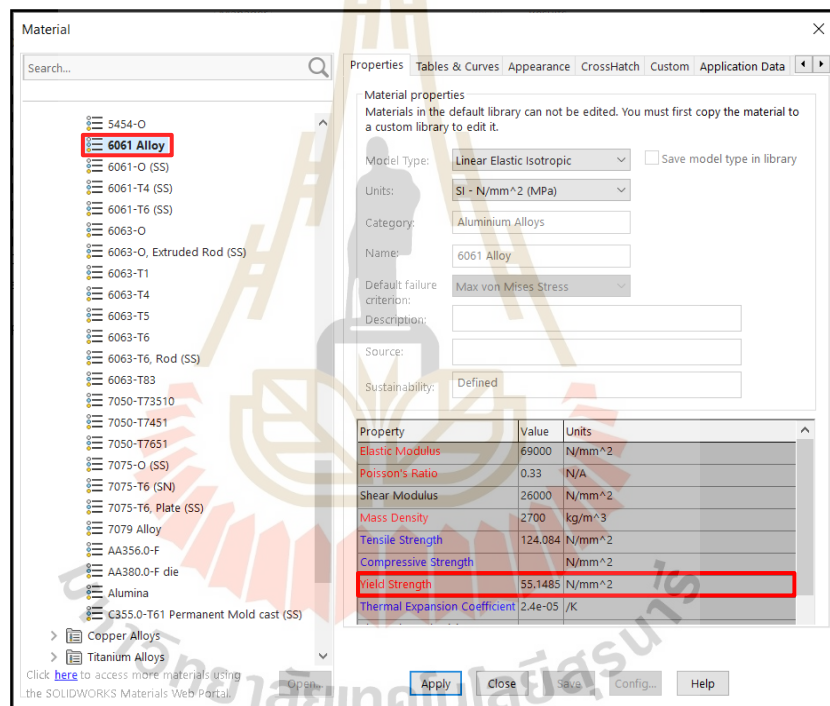
รูปที่ 4.19 ตั้งชื่อการจำลองวิเคราะห์ค่าความเค้น (Stress Simulation)

2) กำหนดวัสดุในการวิเคราะห์ความเค้นของโมเดลรถไฟ โดยเลือกวัสดุที่ใช้ในการวิเคราะห์เป็นวัสดุตัวผิวของรถไฟ ในการศึกษานี้รถไฟความเร็วสูงชินคันเซ็น N700 Serie ผิวของตัวรถไฟทำมาจากวัสดุ Aluminum Alloys ชนิด 6061 Alloy ดังรูปที่ 4.20 – 4.21 ตามลำดับ



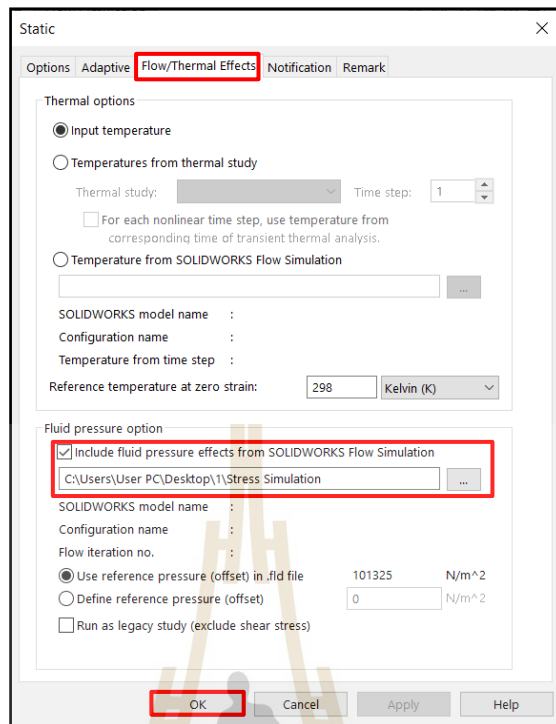
รูปที่ 4.20 กำหนดวัสดุในการวิเคราะห์ความเค้นของโมเดลรถไฟ

จากการวิเคราะห์ค่าความเค้นต้องเลือกวัสดุในการจำลองโดยนำโมเดลรถไฟจากการจำลองการไหลของอากาศในหัวข้อที่ 4.2.1 นำมาใช้ดำเนินการต่อ การเลือกวัสดุในโปรแกรม SOLIDWORKS Simulation ดังรูปที่ 4.20 วัสดุผิวของรถไฟที่ใช้ในการจำลอง คือ Aluminum Alloys ชนิด 6061 Alloy เป็นเกรดที่มีความแข็งแรงสูง ทนการกัดกร่อนได้ดี มีคุณสมบัติทางกลที่หลากหลาย และใช้งานได้หลากหลายประเภท นิยมใช้ในงานอุตสาหกรรมการบิน และชิ้นส่วนทางอุตสาหกรรมทางรถยนต์ โดยมีค่า Yield Strength เท่ากับ 55.1485 N/mm^2 (MPa) เป็นค่าความแข็งแรงของวัสดุเมื่อมีความเค้นกระทำต่อวัสดุ วัสดุจะเกิดความเครียดหรือวัสดุเปลี่ยนแปลงรูปร่างขึ้น ดังรูปที่ 4.21



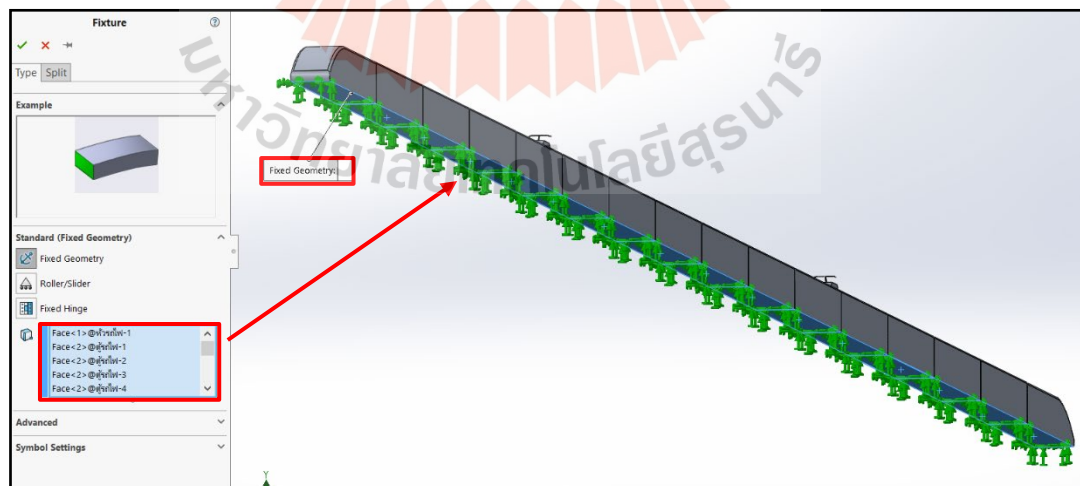
รูปที่ 4.21 กำหนดวัสดุ Aluminum Alloys ชนิด 6061 Alloy

3) ระบุผลเฉลยโดยการเลือกไฟล์จากการวิเคราะห์การไหลของอากาศของโมเดลรถไฟในหัวข้อที่ 4.2.1 นำมาใช้ดำเนินการต่อที่ตั้งชื่อว่า Stress Simulation เลือกแท็บ Flow/Thermal effects จากนั้นเลือกไฟล์การจำลองวิเคราะห์ค่าความเค้น Stress Simulation ในช่อง Fluid pressure option ดังรูปที่ 4.22



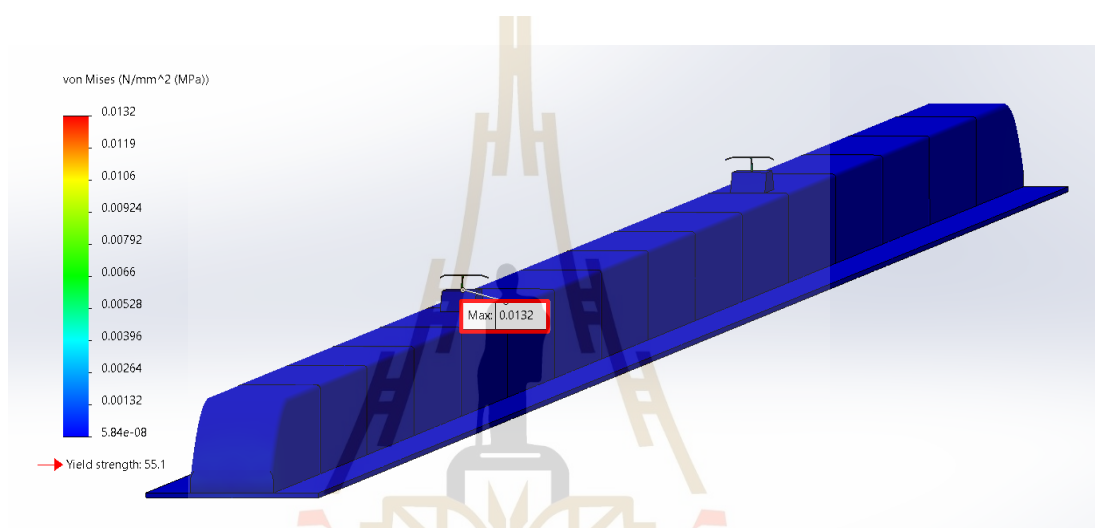
รูปที่ 4.22 ระบุผลเฉลยการวิเคราะห์การไหลของอากาศของโมเดลรถไฟ

4) กำหนดจุดจับยึดในการวิเคราะห์ค่าความเค้นของโมเดลรถไฟ โดยจุดจับยึดในการจำลองด้านใต้พื้นผิวของโมเดลของรถไฟเพื่อให้ได้การวิเคราะห์ต้องให้โมเดลรถไฟอยู่ในตำแหน่งที่อยู่นิ่งและให้อากาศไหลผ่านเพื่อวิเคราะห์ค่าความเค้นได้อย่างถูกต้อง ดังรูปที่ 4.23



รูปที่ 4.23 กำหนดจุดจับยึดในการวิเคราะห์ค่าความเค้นของโมเดลรถไฟ

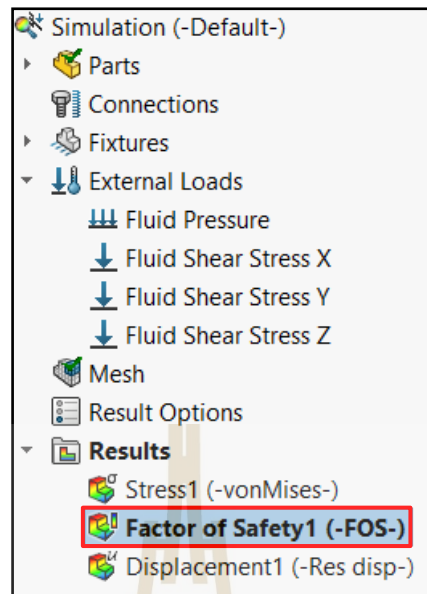
5) ผลเฉลยการวิเคราะห์ค่าความเค้นของโมเดลรถไฟความเร็วสูงชินคันเซ็น Series N700 ในการศึกษาโดยใช้ค่า Von mises ในการพิจารณาความเสียหายของตัวโมเดลรถไฟเมื่อมีอากาศมาปะทะ ดังรูปที่ 4.24 แสดงค่าความเสียหายสูงสุดที่เกิดขึ้นในบริเวณตัวแห่นรับไฟ คือ 0.0132 MPa เมื่อนำไปเทียบกับค่า Yield Strength เป็นค่าความแข็งแรงของวัสดุเมื่อมีความเค้นกระทำต่อวัสดุ วัสดุจะเกิดความเครียดหรือวัสดุเปลี่ยนแปลงรูปร่างขึ้น มีค่าเท่ากับ 55.1485 MPa แสดงว่าค่าความเสียหายสูงสุดที่เกิดขึ้นในบริเวณตัวแห่นรับไฟน้อยกว่าค่า Yield Strength ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า โมเดลรถไฟนี้สามารถใช้รับแรงลมที่มีความเร็วมาปะทะ 100 km/h ได้



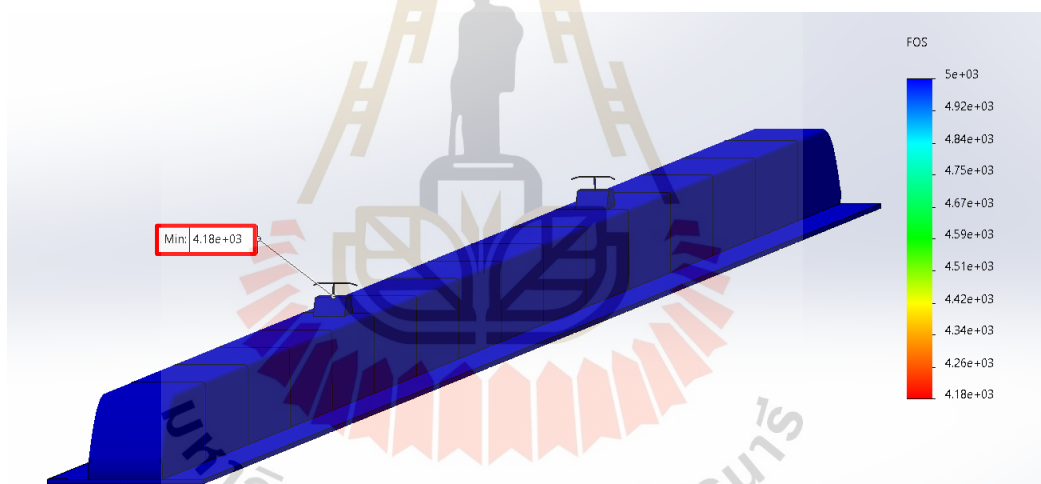
รูปที่ 4.24 ผลเฉลยวิเคราะห์ค่าความเค้นของโมเดลรถไฟความเร็วสูงชินคันเซ็น Series N700

4.2.3 จำลองค่าความปลอดภัยของรถไฟความเร็วสูงชินคันเซ็น Series N700

การจำลองค่าความปลอดภัย (Factor of Safety: FOS) ของโมเดลรถไฟในโปรแกรม SOLIDWORKS เป็นการจำลองค่าเพื่อไว้สำหรับการออกแบบ เพื่อป้องกันไม่ให้แรงหรือกำลังต่าง ๆ ที่มากระทำกับชิ้นงานโมเดลรถไฟมีมากเกินไปกว่ากำลังของชิ้นงานโมเดลรถไฟจะรับได้ โดยในการวิเคราะห์ค่าความปลอดภัยของโมเดลรถไฟในการศึกษานี้จะดำเนินการต่อมาจากการวิเคราะห์ค่าความเค้นที่เสร็จสิ้นในหัวข้อที่ 4.2.2 โดยเลือกจำลองค่าความปลอดภัย ดังรูปที่ 4.25 ตรวจสอบผลเฉลยที่ได้ พบว่า ค่าความเสียหายสูงสุดที่เกิดขึ้นในบริเวณตัวแห่นรับไฟ คือ 0.0132 MPa เมื่อนำไปเทียบกับค่า Yield Strength พบว่ามีค่าน้อยกว่าอยู่ประมาณ $55.1485/0.0132$ เท่ากับ 4,177 เท่า ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า โมเดลรถไฟนี้สามารถใช้รับแรงลมที่มีความเร็วมาปะทะ 100 km/h ได้ ดังรูปที่ 4.26 โดยจะนิยมแสดงเป็นค่าน้อยสุดที่ปลอดภัยของโมเดลรถไฟ



รูปที่ 4.25 เลือกจำลองค่าความปลอดภัย

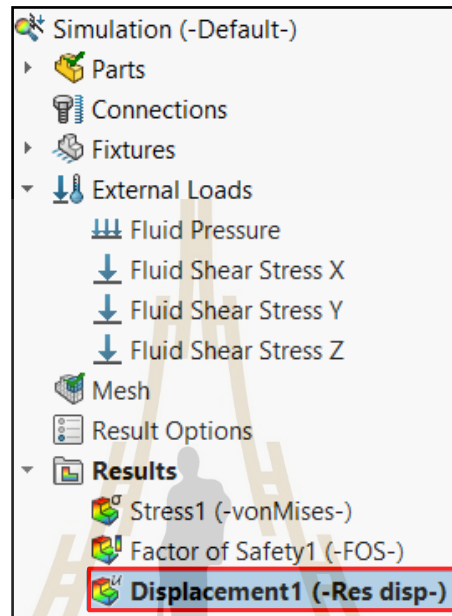


รูปที่ 4.26 ผลเฉลยวิเคราะห์ค่าความปลอดภัยของโมเดลรถไฟความเร็วสูงชินคันเซ็น Series N700

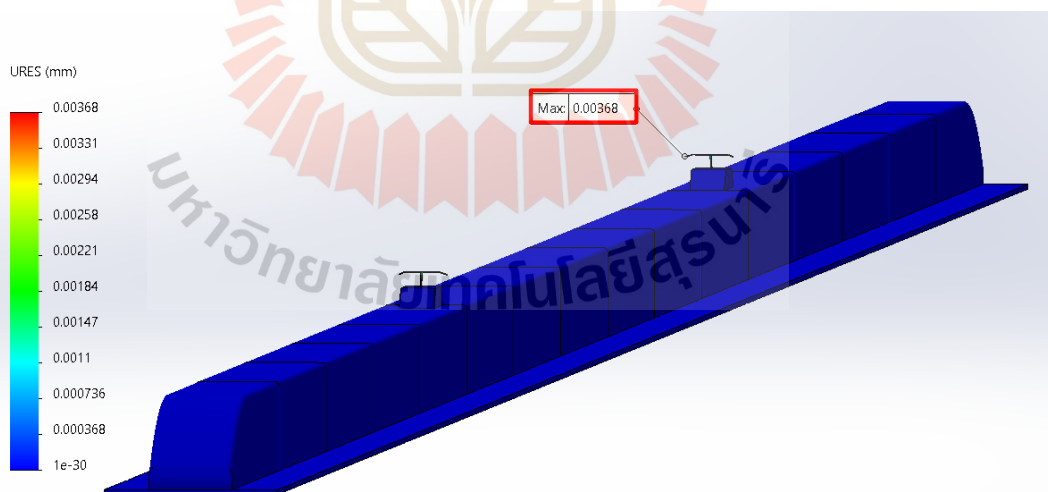
4.2.4 จำลองผลการเสียรูปของรถไฟความเร็วสูงชินคันเซ็น Series N700

การจำลองผลการเสียรูป (Displacement) ของโมเดลรถไฟในโปรแกรม SOLIDWORKS เป็นการจำลองการเสียรูปของชิ้นงาน การขยับของชิ้นงาน หรือเปลี่ยนแปลงขนาดลักษณะต่าง ๆ เมื่อมีแรงมากระทำต่อชิ้นงานนั้น ๆ โดยแบ่งประเภทของการเปลี่ยนรูปของชิ้นงานเป็น 2 ประเภท คือ การเปลี่ยนรูปแบบอีลาสติก เป็นการเปลี่ยนรูปแบบยืดหยุ่นเมื่อมีแรงมากระทำ และเมื่อนำแรงมากระทำออก ชิ้นงานจะสามารถกลับคืนรูปสภาพเดิมได้ และอีกประเภท คือ การเปลี่ยนรูปแบบพลาสติก เป็นการเปลี่ยนรูปแบบถาวร เมื่อมีแรงมากระทำเกินพิกัดที่จะทนอยู่ของชิ้นงาน ถึงขนาดเปลี่ยนแปลงรูปร่างไปอย่างถาวร ในการวิเคราะห์ผลการเสียรูปของโมเดลรถไฟ ในการศึกษานี้

จะดำเนินการต่อมาจากกรณีวิเคราะห์ค่าความเค้นที่เสร็จสิ้นในหัวข้อที่ 4.2.2 โดยเลือกจำลองผลการเสีयरูป ดังรูปที่ 4.27 และแสดงผลเฉลยว่าชิ้นงานมอเตอร์ถไฟมีความเร็วสูงชนิดซีเอ็นซี Series N700 รับไฟอยู่ที่ 0.00368 mm เป็นการเปลี่ยนรูปแบบคิณรูป ดังรูปที่ 4.28



รูปที่ 4.27 เลือกจำลองผลการเสีयरูป



รูปที่ 4.28 ผลเฉลยวิเคราะห์ผลการเสีयरูปของมอเตอร์ถไฟความเร็วสูงชนิดซีเอ็นซี Series N700

4.2.5 สรุปจำลองโมเดลของรถไฟความเร็วสูงด้วยโปรแกรม SOLIDWORKS

การจำลองการไหลของอากาศของรถไฟความเร็วสูงขึ้นคันเซ็น Series N700 มีค่าแรงต้านอากาศที่มาปะทะกับตัวผิวรถไฟเท่ากับ 5,525.956 N การวิเคราะห์ค่าความเค้นโดยใช้ค่า Von mises ในการพิจารณาความเสียหายของตัวโมเดลรถไฟเมื่อมีอากาศมาปะทะ มีค่าความเสียหายสูงสุดที่เกิดขึ้นในบริเวณตัวแห่นับรับไฟ คือ 0.0132 MPa เมื่อนำไปเทียบกับค่า Yield Strength มีค่าเท่ากับ 55.1485 MPa พบว่ามีค่าน้อยกว่าอยู่ประมาณ 55.1485/0.0132 เท่ากับ 4,177 เท่า และผลการเสียรูปชิ้นงานมีผลการเสียรูปมากที่สุดบริเวณแห่นับรับไฟอยู่ที่ 0.00368 mm ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 สรุปผลการจำลองโมเดลของรถไฟความเร็วสูงด้วยโปรแกรม SOLIDWORKS

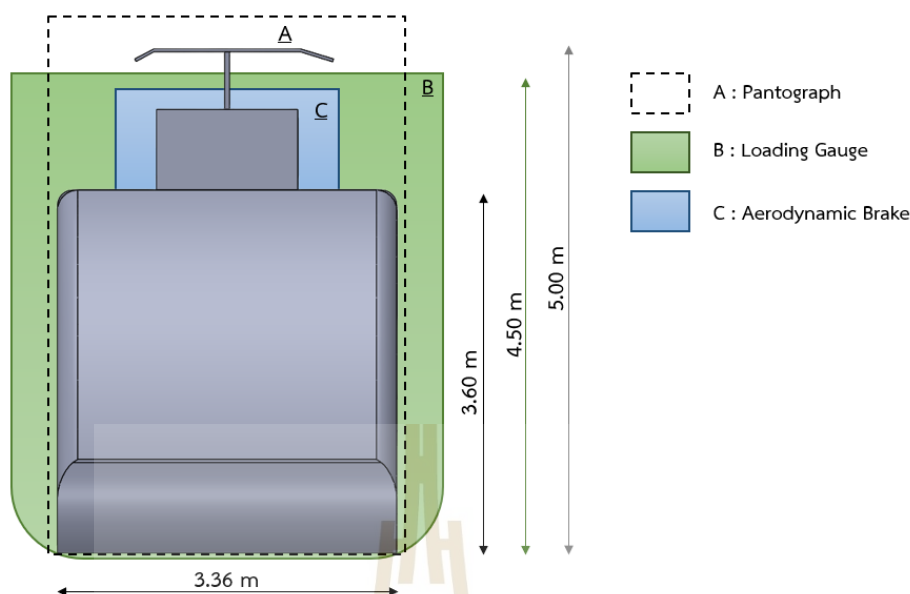
ผลการจำลองโมเดลของรถไฟความเร็วสูงด้วยโปรแกรม SOLIDWORKS	
ค่าแรงต้านอากาศ (Drag Force)	5,525.956 N
ค่าความเค้น (Stress)	0.0132 MPa
ค่าความปลอดภัย (Factor of Safety: FOS)	4,177 เท่า
ผลการเสียรูป (Displacement)	0.00368 mm

4.3 จำลองโมเดลของเบรกอากาศพลศาสตร์ด้วยโปรแกรม SOLIDWORKS

การจำลองโมเดลของเบรกอากาศพลศาสตร์เพื่อใช้ในการติดตั้งบนรถไฟความเร็วสูงขึ้นคันเซ็น Series N700 ทำการจำลองด้วยโปรแกรม SOLIDWORKS เพื่อเพิ่มพื้นที่ที่ปะทะกับแรงลมให้กับรถไฟให้ได้แรงต้านอากาศบริเวณผิวของตัวรถไฟมากขึ้น ในการออกแบบเบรกอากาศพลศาสตร์ การวิเคราะห์การไหลของอากาศ วิเคราะห์ค่าความเค้น วิเคราะห์ค่าความปลอดภัย และผลการเสียรูปของความเสียหายของพื้นผิวของตัวรถไฟ จึงมีความสำคัญ โดยในการศึกษานี้จะออกแบบเบรกอากาศพลศาสตร์เป็น 3 กรณี คือ มุมการทำงาน 35, 45, และ 55 องศา เป็นกรณีศึกษา

4.3.1 การออกแบบเบรกอากาศพลศาสตร์

ในการออกแบบเบรกอากาศพลศาสตร์เพื่อใช้ในโมเดลรถไฟความเร็วสูงขึ้นคันเซ็น Series N700 เพื่อวิเคราะห์พื้นที่ที่ปะทะกับแรงลมให้กับรถไฟให้ได้แรงต้านอากาศบริเวณผิวของตัวรถไฟมากขึ้น ในการออกแบบเบรกอากาศพลศาสตร์จึงมีความสำคัญ โดยในการศึกษานี้จะออกแบบเบรกอากาศพลศาสตร์เป็น 3 กรณี คือ มุมการทำงาน 35, 45, และ 55 องศา เป็นกรณีศึกษา โดยการออกแบบจะคำนึงถึงพิกัดเขตโครงสร้างของรถไฟ จะคำนึงถึงพิกัดเขตการบรรทุกเป็นหลักเพราะกำหนดความสูงและความกว้างสูงสุดสำหรับยานพาหนะทางรถไฟและน้ำหนักบรรทุก เพื่อให้แน่ใจว่าสามารถลอดผ่านอุโมงค์และใต้สะพานได้อย่างปลอดภัยและหลีกเลี่ยงอาคารและโครงสร้างตามข้างทาง



รูปที่ 4.29 พิกัดเขตการบรรทุกของรถไฟความเร็วสูงชินคันเซ็น Series N700

จากรูปที่ 4.29 แสดงพิกัดเขตการบรรทุกของรถไฟความเร็วสูงชินคันเซ็น Series N700 ขนาดความกว้าง สูงของตัวรถไฟ ขนาดความสูงของแขนรับไฟที่ติดตั้ง และการออกแบบเบรกอากาศพลศาสตร์จะคำนึงถึงพิกัดเขตการบรรทุก โดยที่พิกัดเขตการบรรทุกมีความสูงเท่ากับ 4.50 m ฉะนั้นแผ่นเบรกอากาศพลศาสตร์จะต้องมีความสูงไม่เกินพิกัดเขตการบรรทุก และต้องไม่เกินความสูงของแขนรับไฟเพราะบริเวณแขนรับไฟต้องสัมผัสกับสายจ่ายไฟ เมื่อนำมาวิเคราะห์จาก ความสูงของตัวรถไฟที่ 3.60 m เทียบกับความสูงของพิกัดเขตการบรรทุก สามารถทำการออกแบบ ความสูงแผ่นเบรกอากาศพลศาสตร์ได้ไม่เกิน 0.9 m (ในแนวตั้งฉากกับรถไฟ) แต่ในการศึกษานี้ แบ่งเป็น 3 กรณี คือ แผ่นเบรกมุมการทำงาน 35, 45, และ 55 องศา ดังนั้นเมื่อเทียบกับเบรกมุมการทำงานที่มากที่สุด คือ มุมการทำงาน 55 องศา จะทำให้ได้ขนาดความสูงของแผ่นเบรกเท่ากับ 1.1 m สามารถหาขนาดความสูงของแผ่นเบรกในแนวตั้งฉากกับรถไฟได้ดังสมการที่ 4.1 และความกว้างของแผ่นเบรกกำหนดให้กว้างเท่ากับ 2 m ในการศึกษานี้ ข้อมูลขนาดแผ่นเบรกอากาศพลศาสตร์ ดังตารางที่ 4.3

$$x = 1.1 \sin \theta \quad (4.1)$$

โดยที่ x คือ ความสูงของเบรกอากาศพลศาสตร์ (m)

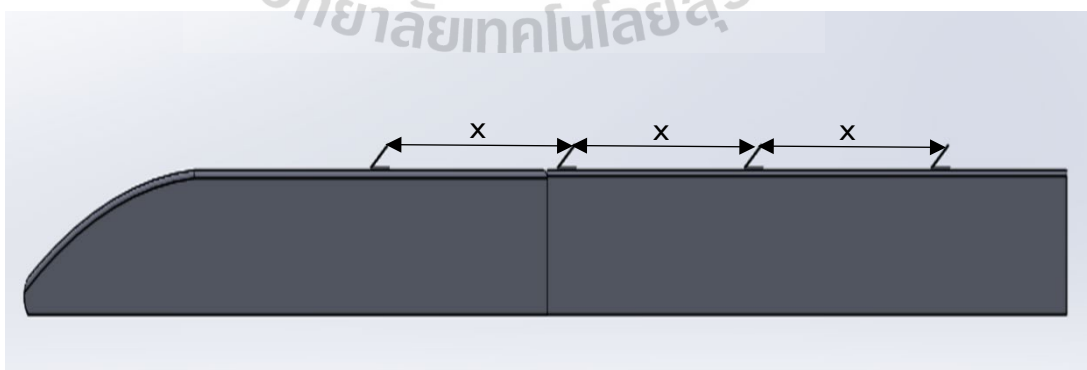
θ คือ มุมการทำงานของเบรกอากาศพลศาสตร์ (degree)

ตารางที่ 4.3 แผ่นเบรกอากาศพลศาสตร์

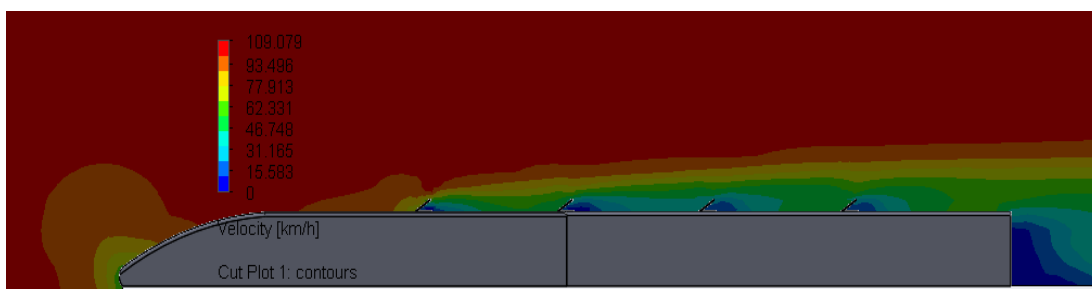
Aerodynamic Brake	
ความกว้าง	2 m
ความสูง	1.1 m
ความสูงมุมการทำงาน 35 องศา (แนวตั้งฉากกับรถไฟ)	0.63 m
ความสูงมุมการทำงาน 45 องศา (แนวตั้งฉากกับรถไฟ)	0.78 m
ความสูงมุมการทำงาน 55 องศา (แนวตั้งฉากกับรถไฟ)	0.90 m

ในการจำลองติดตั้งแผ่นเบรกอากาศพลศาสตร์บนรถไฟ ในการศึกษานี้ทำการติดตั้งแผ่นเบรกอากาศพลศาสตร์ที่ด้านหลังของรถไฟต้องศึกษาแรงต้านอากาศที่มากกระทำกับที่แผ่นเบรก โดยระยะห่างที่ติดตั้งของแผ่นเบรกแต่ละแผ่นมีผลให้แรงต้านอากาศที่มากกระทำมีค่าต่างกัน ซึ่งถ้าวางติดตั้งใกล้กันเกินไปอาจทำให้แผ่นด้านหน้ารับแรงต้านอากาศมากกว่าแผ่นที่วางด้านหลัง จึงมีการวิเคราะห์การไหลของอากาศเพื่อหาแรงต้านอากาศที่มากกระทำกับแผ่นเบรกแต่ละแผ่นที่วางห่างกันเพื่อให้ทราบระยะการวางห่างกันแต่ละแผ่นเบรก เพื่อให้ได้ค่าแรงต้านอากาศแต่ละแผ่นเบรกที่ใกล้เคียงกันและไม่บังแรงต้านอากาศของแผ่นถัด ๆ ไป

โดยในการวิเคราะห์การไหลของอากาศเพื่อหาแรงต้านอากาศที่มากกระทำกับแผ่นเบรกแต่ละแผ่น ทำการจำลองติดตั้งแผ่นเบรกอากาศพลศาสตร์ที่แผ่นโดยระยะห่างแต่ละแผ่นจะวิเคราะห์ค่าแรงต้านอากาศของแผ่นเบรกแต่ละแผ่น เพื่อหาระยะที่เหมาะสมและไม่ควรติดตั้งระยะห่างต่ำกว่าค่าใดที่จะทำให้ค่าแรงต้านอากาศของแผ่นเบรกมีค่าต่างกันมากเกินไป ดังรูปที่ 4.30-4.31



รูปที่ 4.30 ระยะห่างในการติดตั้งแผ่นเบรกอากาศพลศาสตร์



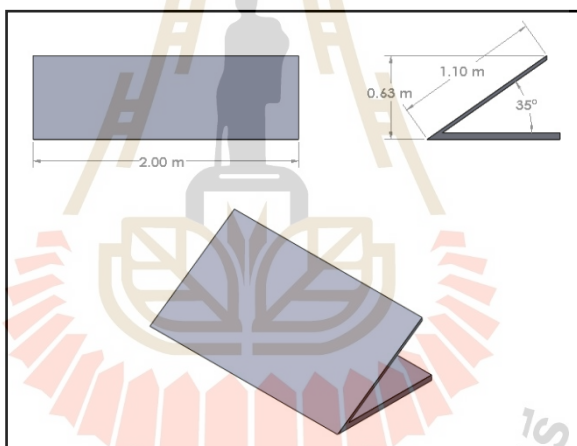
รูปที่ 4.31 จำลองแรงต้านอากาศที่แผ่นเบรกอากาศพลศาสตร์

จากการจำลองการไหลของอากาศเพื่อหาค่าแรงต้านอากาศของแผ่นเบรกอากาศพลศาสตร์โดยการหาค่าแรงต้านอากาศแผ่นเบรกที่แผ่นแรกด้านหน้าที่ปะทะกับอากาศเทียบกับแผ่นถัด ๆ ไป ซึ่งจะวางห่างกันเริ่มต้น 10 เมตรและมากขึ้นไปตามลำดับ จากผลการจำลองได้ค่าแรงต้านอากาศที่แผ่นเบรกแต่ละแผ่นที่ใกล้เคียงกัน ฉะนั้นการวางแผ่นเบรกแผ่นแรกด้านหน้าที่ปะทะกับอากาศเทียบกับแผ่นถัด ๆ ไป ไม่มีผลกระทบต่อแผ่นเบรกที่วางถัดกันไป จึงทำการจำลองปรับลดระยะห่างใกล้เข้ามาที่ 10 เมตรและลดลงไปตามลำดับ จากผลการจำลองค่าแรงต้านอากาศของแผ่นเบรกที่มุมการทำงาน 35° ดังตารางที่ 4.4 เมื่อวางแผ่นเบรกห่างกันน้อยกว่า 7 เมตรทำให้ค่าแรงต้านอากาศของแผ่นเบรกแผ่นถัดไปจากแผ่นเบรกแผ่นแรกมีค่าน้อยลงกว่าแผ่นเบรกแรก แสดงให้เห็นว่าระยะห่างระหว่างแผ่นเบรกมีผลทำให้ได้ค่าแรงต้านอากาศน้อยลงและได้ค่าที่ไม่เท่ากันหรือใกล้เคียงกันของแต่ละแผ่นเบรกที่ติดตั้ง ดังนั้นในการศึกษาและจำลองการติดตั้งแผ่นเบรกอากาศพลศาสตร์บนรถไฟฟ้าความเร็วสูงนี้ จะติดตั้งแผ่นเบรกอากาศพลศาสตร์ที่ระยะห่างระหว่างแผ่นเบรกไม่ควรต่ำกว่า 7 เมตรเพื่อไม่ให้บังการไหลของอากาศทำให้ค่าแรงต้านอากาศของแต่ละแผ่นเบรกไม่เท่ากันหรือใกล้เคียง

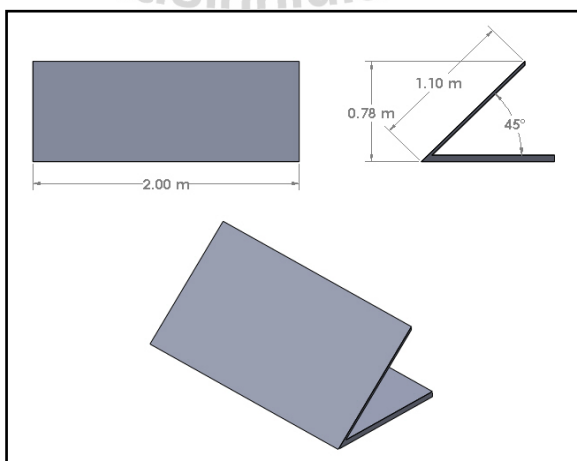
ในการจำลองโมเดลเบรกอากาศพลศาสตร์ทำการออกแบบโดยแบ่งเป็น 3 กรณี และจำลองออกมา 3 แบบ คือ แผ่นเบรกมุมการทำงาน 35° , 45° , และ 55° องศา ดังรูปที่ 4.32 – 4.34 การจำลองติดตั้งแผ่นเบรกอากาศพลศาสตร์บนรถไฟฟ้า ในการศึกษานี้ทำการติดตั้งแผ่นเบรกอากาศพลศาสตร์ที่ด้านบนหลังคาของรถไฟฟ้า โดยติดตั้งทุกตู้ขบวนบริเวณด้านหน้าของตู้ขบวนและตรงกลางขบวนโดยระยะห่างระหว่างแผ่นคือ 12.5 เมตร รถไฟมีทั้งหมด 16 ตู้ขบวน ตู้ขบวนละ 2 แผ่น โดยตู้ขบวนที่ 6 กับ 12 จะติดตั้งตู้ขบวนละ 1 แผ่นเพราะมีการติดตั้งแทนบร็ับไฟ รวมจำนวนทั้งหมด 30 แผ่น ดังรูปที่ 4.35 – 4.38

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบค่าแรงต้านอากาศของแผ่นเบรกที่มุมการทำงาน 35°

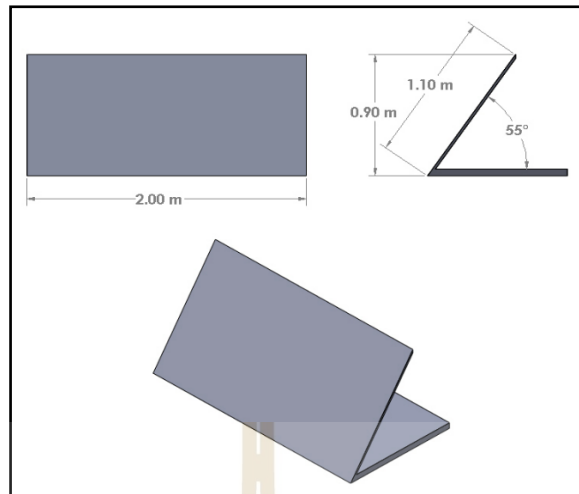
ระยะห่างระหว่างแผ่นเบรกอากาศพลศาสตร์ (เมตร)					
แผ่น	6 เมตร	แผ่น	7 เมตร	แผ่น	8 เมตร
1	153.72 N	1	154.56 N	1	157.69 N
2	119.52 N	2	149.44 N	2	151.63 N
3	121.29 N	3	150.99 N	3	145.82 N
ระยะห่างระหว่างแผ่นเบรกอากาศพลศาสตร์ (เมตร)					
แผ่น	9 เมตร	แผ่น	10 เมตร	แผ่น	20 เมตร
1	153.3 N	1	150.49 N	1	152.94 N
2	150.72 N	2	147.79 N	2	148.02 N
3	151.45 N	3	148.99 N	3	146.69 N



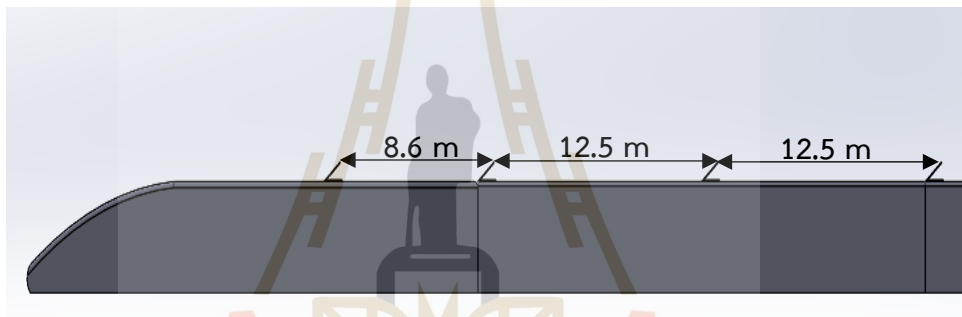
รูปที่ 4.32 แบบจำลองแผ่นเบรกอากาศพลศาสตร์มุมการทำงาน 35°



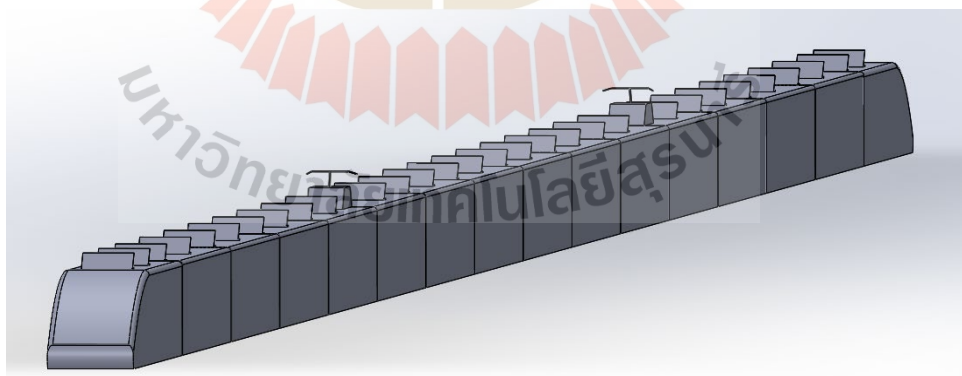
รูปที่ 4.33 แบบจำลองแผ่นเบรกอากาศพลศาสตร์มุมการทำงาน 45°



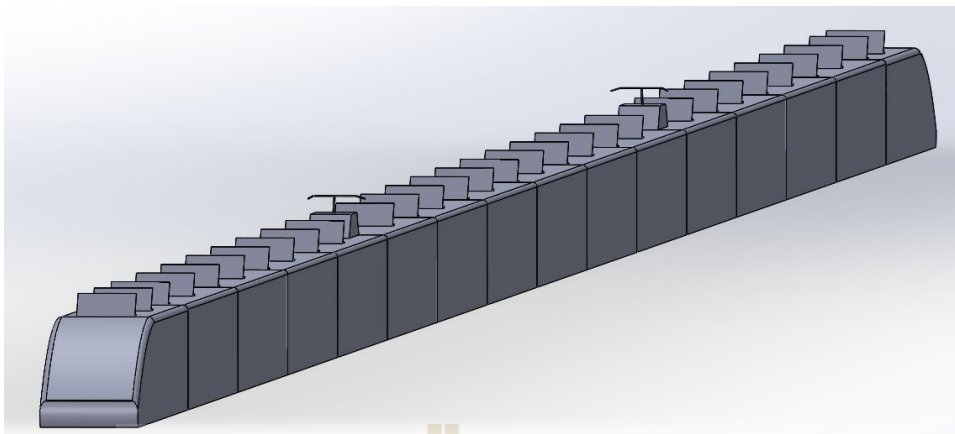
รูปที่ 4.34 แบบจำลองแผ่นเบรกอากาศพลศาสตร์มุมการทำงาน 55°



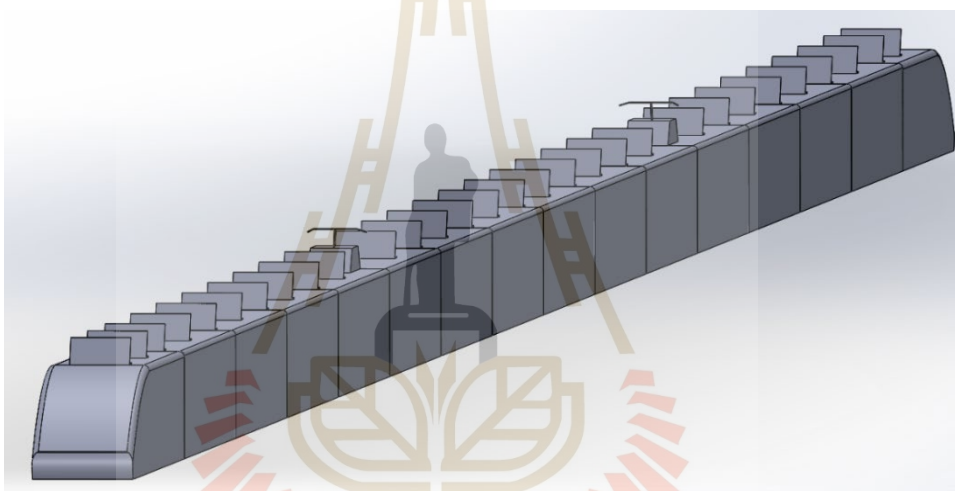
รูปที่ 4.35 ระยะห่างที่ติดตั้งแผ่นเบรกอากาศพลศาสตร์ในการจำลอง



รูปที่ 4.36 แบบจำลองรถไฟความเร็วสูงติดตั้งแผ่นเบรกอากาศพลศาสตร์มุมการทำงาน 35°



รูปที่ 4.37 แบบจำลองรถไฟความเร็วสูงติดตั้งแผ่นเบรกอากาศพลศาสตร์มุมการทำงาน 45°

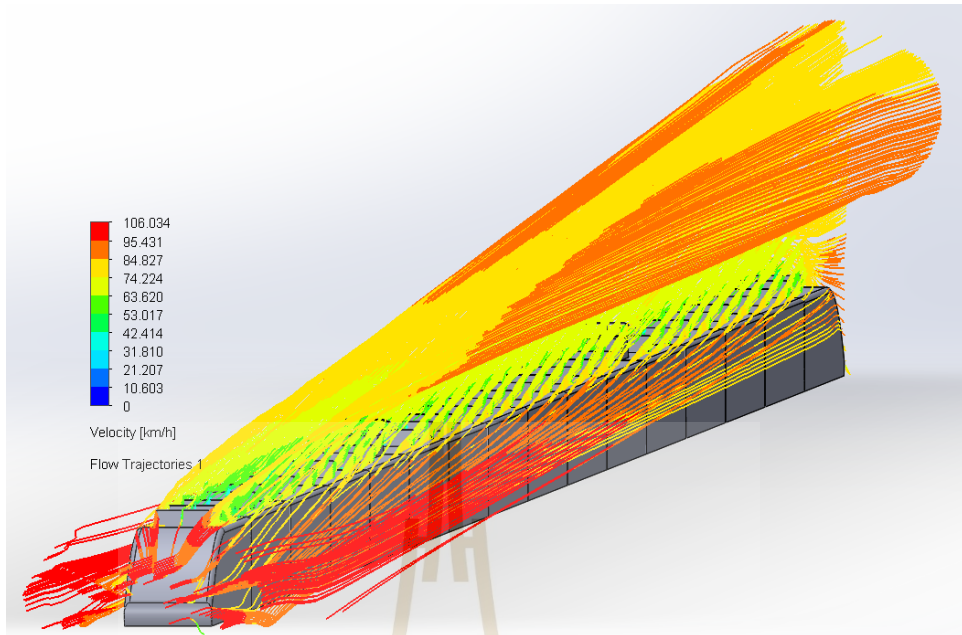


รูปที่ 4.38 แบบจำลองรถไฟความเร็วสูงติดตั้งแผ่นเบรกอากาศพลศาสตร์มุมการทำงาน 55°

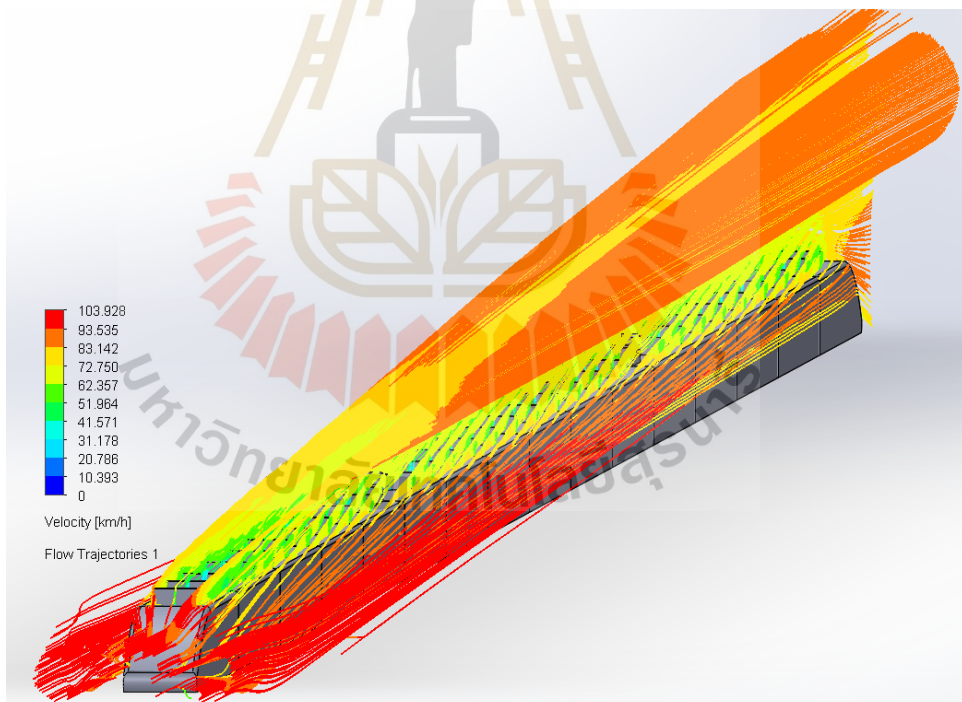
4.3.2 จำลองการไหลของอากาศของรถไฟความเร็วสูงเมื่อติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์ที่มุมการทำงาน 35, 45 และ 55 องศา

การจำลองการไหลของอากาศของรถไฟความเร็วสูงเมื่อติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์ จะทำการจำลองเหมือนกับการจำลองการไหลของอากาศของรถไฟความเร็วสูงในหัวข้อที่ 4.2.1 แต่เพิ่มการติดตั้งแผ่นเบรกอากาศพลศาสตร์ไว้ด้านบนของตู้ขบวนรถไฟทุกตู้ และขั้นตอนการจำลองจะเหมือนกัน ในหัวข้อนี้จะแสดงการจำลองการไหลของอากาศเมื่อติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์ที่มุมการทำงาน 35, 45 และ 55 องศา เส้นการไหลของอากาศไหลผ่านตัวผิวของรถไฟที่ความเร็ว 100 km/h แสดงเส้นสีความเร็วของอากาศที่มาปะทะกับตัวผิวของรถไฟ ดังรูปที่ 4.39 – 4.41 และแสดงค่าแรงต้านอากาศรวมของโมเดลรถไฟเมื่อติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์ที่มาปะทะกับตัวผิวรถไฟ ดังตารางที่

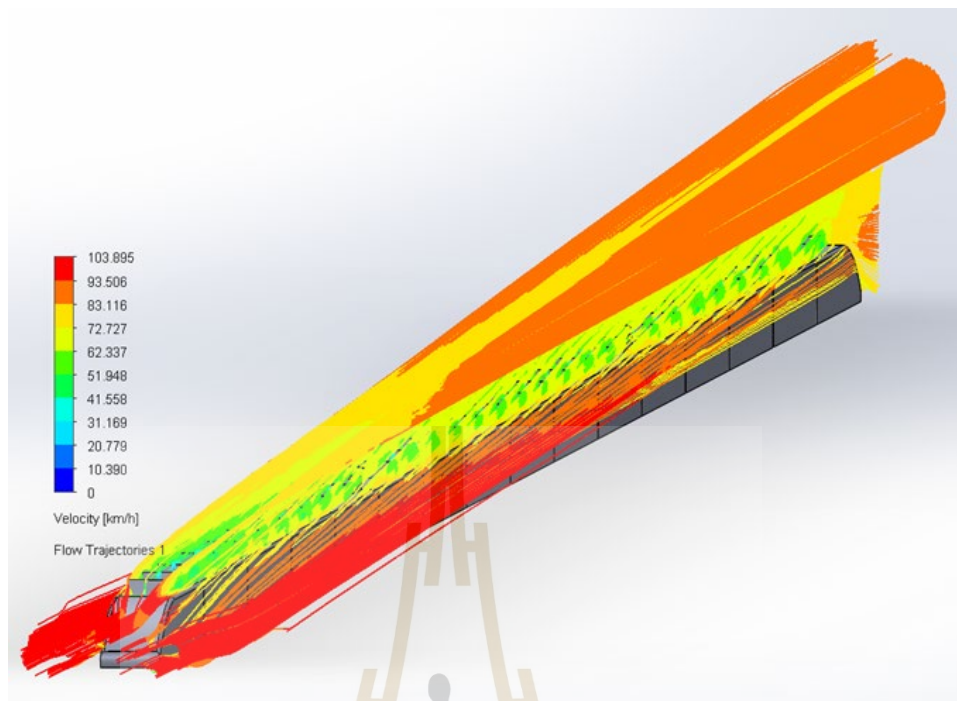
4.5



รูปที่ 4.39 จำลองการไหลของอากาศรถไฟความเร็วสูงติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์มุมการทำงาน 35°



รูปที่ 4.40 จำลองการไหลของอากาศรถไฟความเร็วสูงติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์มุมการทำงาน 45°



รูปที่ 4.41 จำลองการไหลของอากาศรถไฟความเร็วสูงติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์มุมการทำงาน 55°

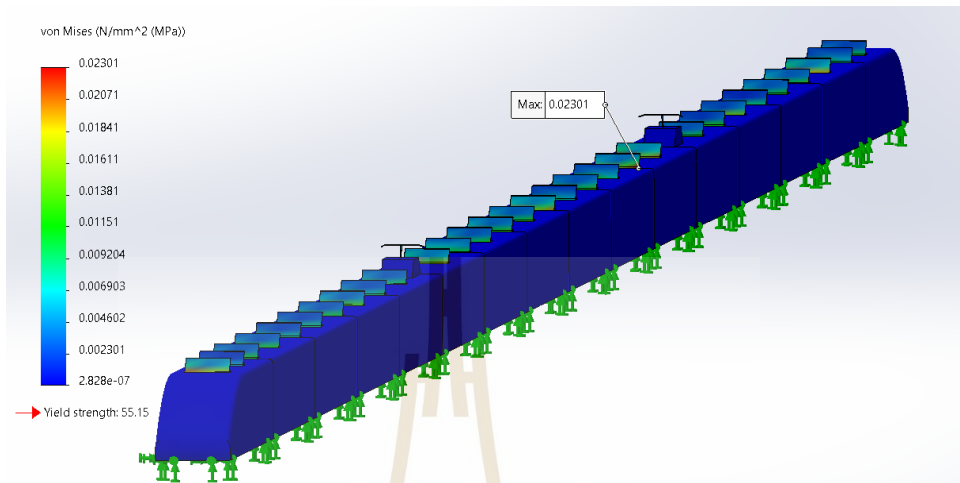
ตารางที่ 4.5 ค่าแรงต้านอากาศรวมของโมเดลรถไฟเมื่อติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์

Drag Force	
เบรกอากาศพลศาสตร์มุมการทำงาน 35 องศา	9373.98 N
เบรกอากาศพลศาสตร์มุมการทำงาน 45 องศา	10170.54 N
เบรกอากาศพลศาสตร์มุมการทำงาน 55 องศา	11157.30 N

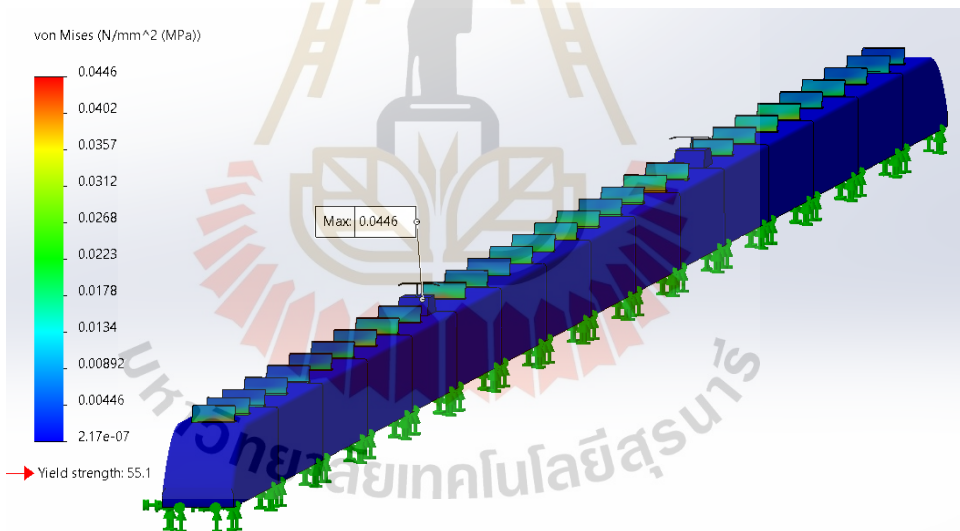
4.3.3 จำลองค่าความเค้นของรถไฟความเร็วสูงเมื่อติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์ที่มุมการทำงาน 35, 45 และ 55 องศา

การจำลองค่าความเค้นเมื่อติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์ จะทำการจำลองเหมือนกับการจำลองค่าความเค้นของรถไฟความเร็วสูงในหัวข้อที่ 4.2.2 แต่เพิ่มการติดตั้งแผ่นเบรกอากาศพลศาสตร์ไว้ด้านบนของตู้ขบวนรถไฟทุกตู้ และขั้นตอนการจำลองจะเหมือนกัน ในหัวข้อนี้จะแสดงค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นบริเวณผิวของตัวรถไฟเมื่อติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์ที่มุมการทำงาน 35, 45 และ 55 องศา ค่าความเค้นสูงสุดแต่ละมุมการทำงานจะเกิดขึ้นบริเวณที่ต่างกัน ดังรูปที่ 4.42 – 4.44 โดยที่มุมการทำงานที่ 35 องศา จะเกิดความเค้นสูงสุดบริเวณแผ่นเบรกแผ่นที่ 20 (แผ่นแรกนับจากหัวขบวนรถไฟ) มุมการทำงานที่ 45 องศา บริเวณแหวนรับไฟ มุมการทำงานที่ 55 องศา เกิดขึ้น

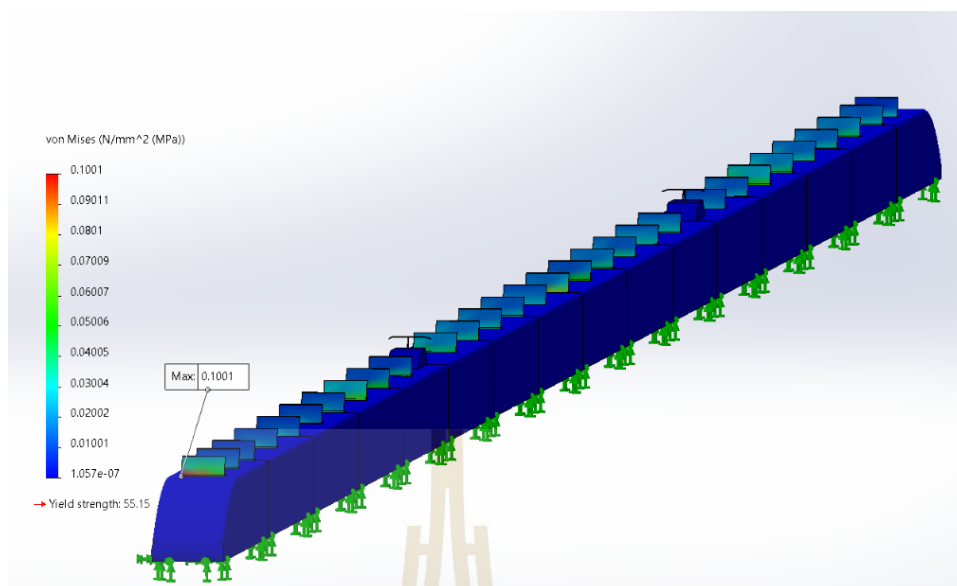
บริเวณแผ่นเบรกแรกของหัวขบวนรถไฟ และแสดงสรุปค่าความเค้นสูงสุดที่มุมการทำงานต่าง ๆ ดังตารางที่ 4.6



รูปที่ 4.42 จำลองค่าความเค้นเมื่อติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์มุมการทำงาน 35°



รูปที่ 4.43 จำลองค่าความเค้นเมื่อติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์มุมการทำงาน 45°



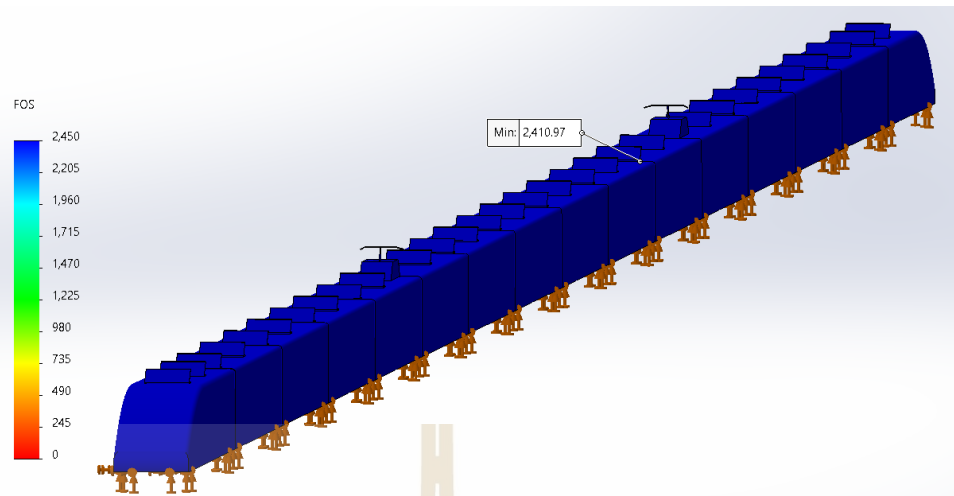
รูปที่ 4.44 จำลองค่าความเค้นเมื่อติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์มุมการทำงาน 55°

ตารางที่ 4.6 ค่าความเค้นของรถไฟความเร็วสูงเมื่อติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์

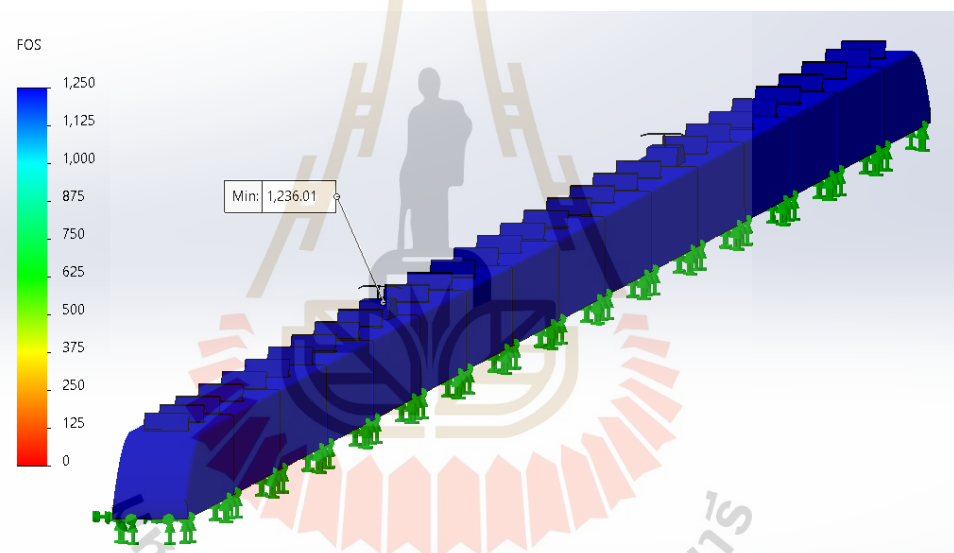
ค่าความเค้นสูงสุด (Stress)	
เบรกอากาศพลศาสตร์มุมการทำงาน 35 องศา	0.0230 MPa
เบรกอากาศพลศาสตร์มุมการทำงาน 45 องศา	0.0446 MPa
เบรกอากาศพลศาสตร์มุมการทำงาน 55 องศา	0.1001 MPa

4.3.4 จำลองค่าความปลอดภัยของรถไฟความเร็วสูงเมื่อติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์ที่มุมการทำงาน 35, 45 และ 55 องศา

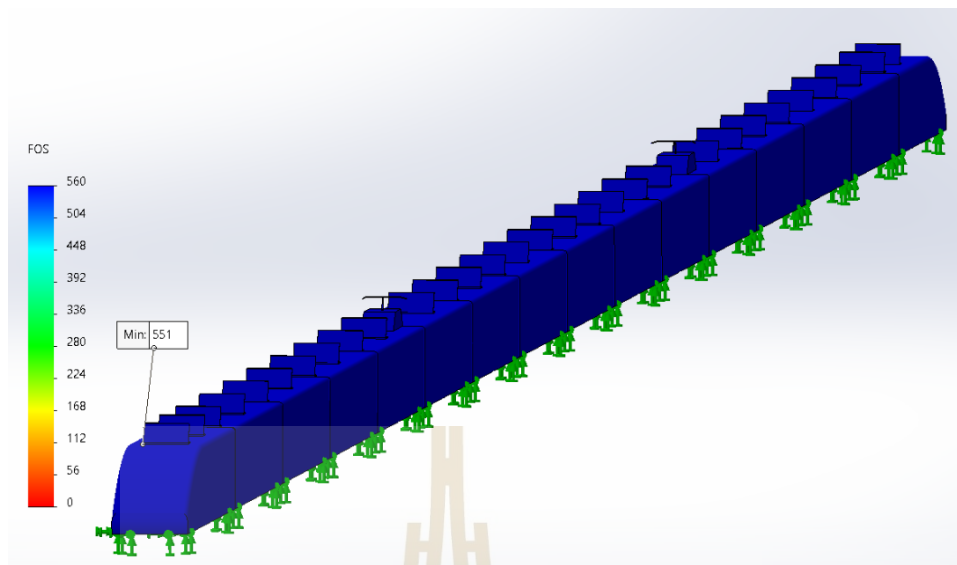
การจำลองค่าความปลอดภัยเมื่อติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์ จะทำการจำลองเหมือนกับการจำลองค่าความปลอดภัยของรถไฟความเร็วสูงในหัวข้อที่ 4.2.3 พบว่า ค่าความเสียหายสูงสุดที่เกิดขึ้นเมื่อติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์ที่มุมการทำงาน 35 องศา ที่บริเวณแผ่นเบรกแผ่นที่ 20 (แผ่นแรกนับจากหัวขบวนรถไฟ) มุมการทำงานที่ 45 องศา บริเวณแหวนรับไฟ มุมการทำงานที่ 55 องศา เกิดขึ้นบริเวณแผ่นเบรกแรกของหัวขบวนรถไฟ ดังรูปที่ 4.45 – 4.47 และแสดงสรุปค่าความปลอดภัยที่มุมการทำงานต่าง ๆ ดังตารางที่ 4.7 ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า โมเดลรถไฟนี้สามารถใช้รับแรงลมที่มีความเร็วมาปะทะ 100 km/h ได้



รูปที่ 4.45 การจำลองค่าความปลอดภัยเมื่อติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์มุมการทำงาน 35°



รูปที่ 4.46 การจำลองค่าความปลอดภัยเมื่อติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์มุมการทำงาน 45°



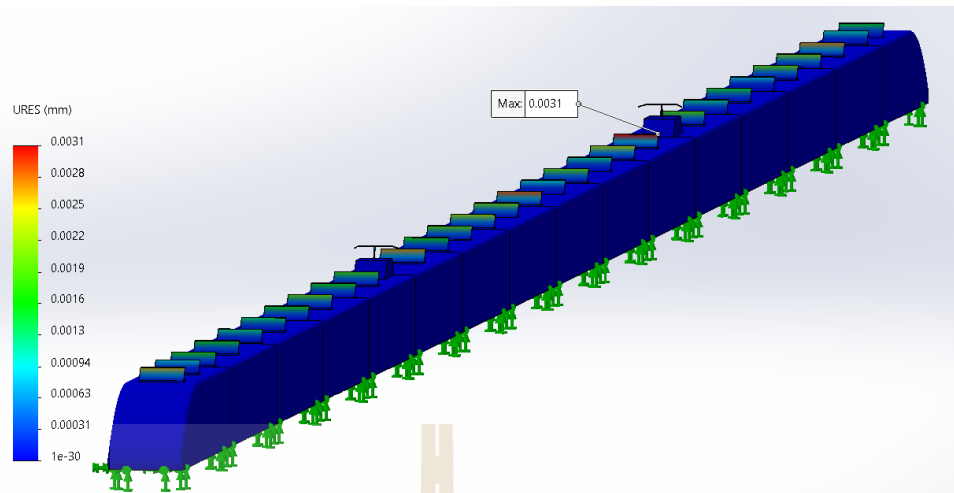
รูปที่ 4.47 การจำลองค่าความปลอดภัยเมื่อติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์มุมการทำงาน 55°

ตารางที่ 4.7 ค่าความปลอดภัยของรถไฟความเร็วสูงเมื่อติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์

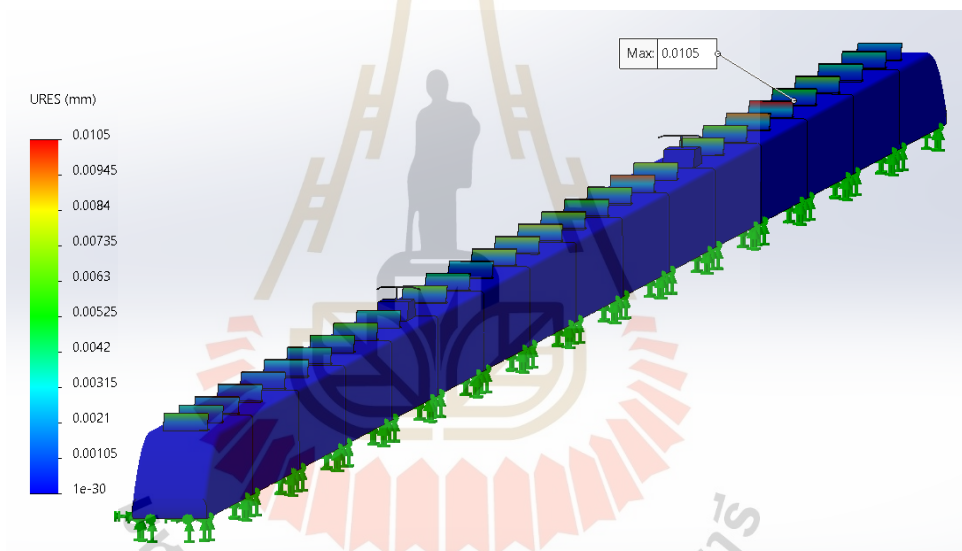
ค่าความปลอดภัย (Factor of Safety: FOS)	
เบรกอากาศพลศาสตร์มุมการทำงาน 35 องศา	2410.97 เท่า
เบรกอากาศพลศาสตร์มุมการทำงาน 45 องศา	1236.01 เท่า
เบรกอากาศพลศาสตร์มุมการทำงาน 55 องศา	551 เท่า

4.3.5 จำลองผลการเสีรूपของรถไฟความเร็วสูงเมื่อติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์ที่มุมการทำงาน 35, 45 และ 55 องศา

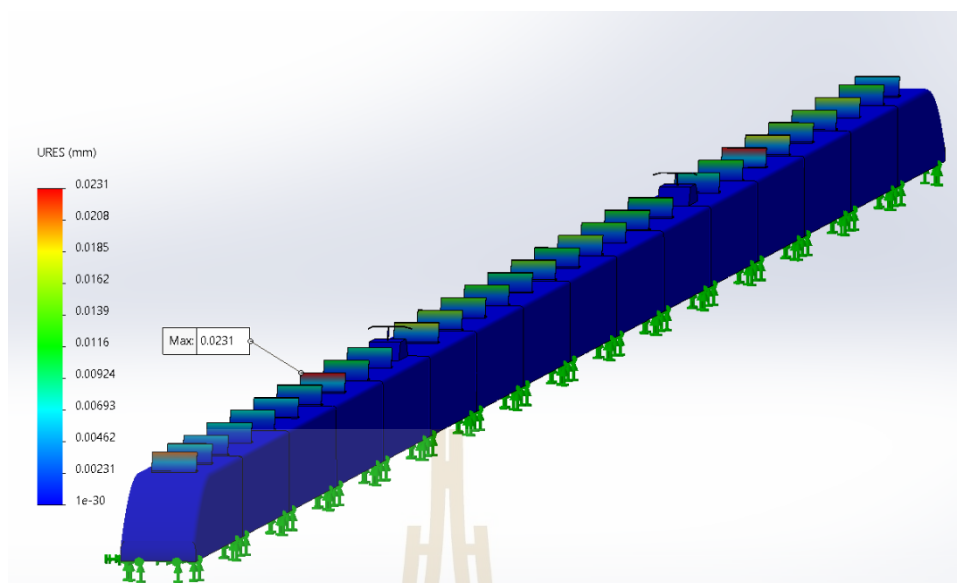
การจำลองผลการเสีรूपเมื่อติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์ จะทำการจำลองเหมือนกับการจำลองผลการเสีรूपของรถไฟความเร็วสูงในหัวข้อที่ 4.2.4 การเสีรूपสูงสุดที่เกิดขึ้นเมื่อติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์ที่มุมการทำงาน 35 องศา ที่บริเวณแผ่นเบรกแผ่นที่ 21 (แผ่นแรกนับจากหัวขบวนรถไฟ) มุมการทำงานที่ 45 องศา บริเวณแผ่นเบรกแผ่นที่ 25 มุมการทำงานที่ 55 องศา เกิดขึ้นบริเวณแผ่นเบรกแผ่นที่ 8 เป็นการเปลี่ยนรูปแบบคินรูป ดังรูปที่ 4.48 – 4.50 และแสดงสรุปผลการเสีรूपที่มุมการทำงานต่าง ๆ ดังตารางที่ 4.8



รูปที่ 4.48 การจำลองผลการเสียรูปเมื่อติดตั้งเบรกอากาศยานพลศาสตร์มุมการทำงาน 35°



รูปที่ 4.49 การจำลองผลการเสียรูปเมื่อติดตั้งเบรกอากาศยานพลศาสตร์มุมการทำงาน 45°



รูปที่ 4.50 การจำลองผลการเสียรูปเมื่อติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์มุมการทำงาน 55°

ตารางที่ 4.8 ผลการเสียรูปของรถไฟความเร็วสูงเมื่อติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์

ค่าผลการเสียรูป (Displacement)	
เบรกอากาศพลศาสตร์มุมการทำงาน 35 องศา	0.0031 mm
เบรกอากาศพลศาสตร์มุมการทำงาน 45 องศา	0.0105 mm
เบรกอากาศพลศาสตร์มุมการทำงาน 55 องศา	0.0231 mm

4.3.6 สรุปจำลองโมเดลของรถไฟความเร็วสูงเมื่อติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์ที่มุมการทำงาน 35, 45 และ 55 องศาด้วยโปรแกรม SOLIDWORKS

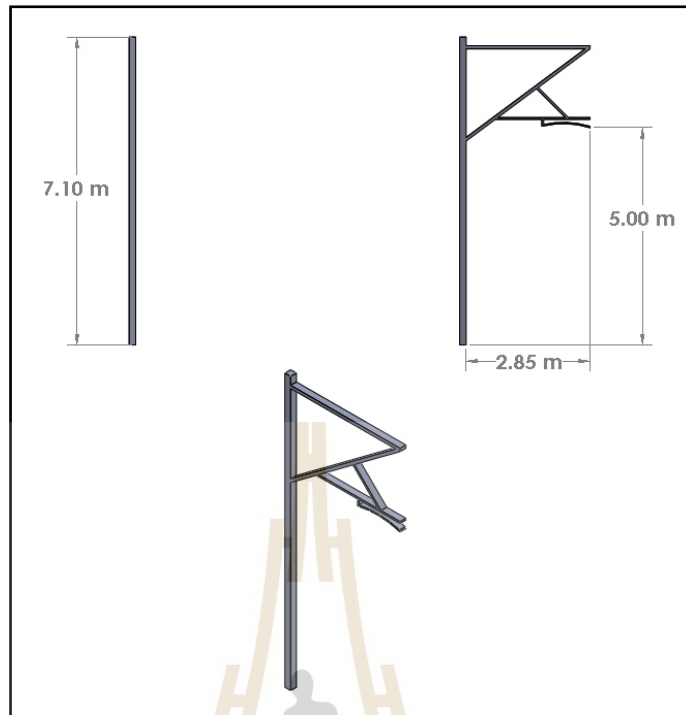
การจำลองการไหลของอากาศของรถไฟความเร็วสูงชนิดซีเอ็นซี Series N700 เมื่อติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์ที่มุมการทำงาน 35, 45 และ 55 องศา ทำให้มีค่าแรงต้านอากาศที่มากกว่ากับตัวผิวรถไฟมากขึ้นกว่าเมื่อไม่มีเบรกอากาศพลศาสตร์ การวิเคราะห์ค่าความเค้นโดยใช้ค่า Von mises ในการพิจารณาความเสียหายของตัวโมเดลรถไฟเมื่อมีอากาศมาปะทะ โดยที่มุมการทำงานที่ 35 องศา จะเกิดความเค้นสูงสุดบริเวณแผ่นเบรกแผ่นที่ 20 (แผ่นแรกนับจากหัวขบวนรถไฟ) มุมการทำงานที่ 45 องศา บริเวณแหวนบริบไฟ มุมการทำงานที่ 55 องศา เกิดขึ้นบริเวณแผ่นเบรกแรกของหัวขบวนรถไฟ เมื่อนำไปเทียบกับค่า Yield Strength มีค่าเท่ากับ 55.1485 MPa สามารถสรุปได้ว่า โมเดลรถไฟนี้สามารถใช้รับแรงลมที่มีความเร็วมาปะทะ 100 km/h ได้ และการเสียรูปสูงสุดที่เกิดขึ้นเมื่อติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์ที่มุมการทำงาน 35 องศา ที่บริเวณแผ่นเบรกแผ่นที่ 21 (แผ่นแรกนับจากหัวขบวนรถไฟ) มุมการทำงานที่ 45 องศา บริเวณแผ่นเบรกแผ่นที่ 25 มุมการทำงานที่ 55 องศา เกิดขึ้นบริเวณแผ่นเบรกแผ่นที่ 8 เป็นการเปลี่ยนรูปแบบคี่รูป ดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 สรุปผลการจำลองโมเดลของรถไฟความเร็วสูงเมื่อติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์ด้วยโปรแกรม SOLIDWORKS

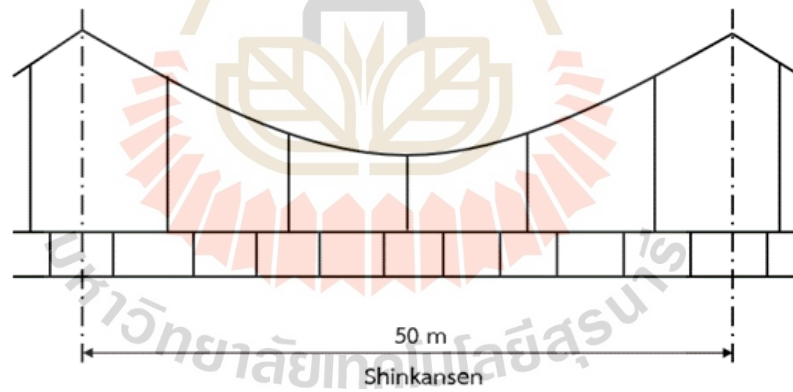
Aerodynamic Brake	Drag Force	Stress	Factor of Safety: FOS	Displacement
35 Degree	9373.98 N	0.0230 MPa	2410.97	0.0031 mm
45 Degree	10170.54 N	0.0446 MPa	1236.01	0.0105 mm
55 Degree	11157.30 N	0.1001 MPa	551	0.0231 mm

4.4 จำลองโมเดลของรถไฟความเร็วสูงเมื่อติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์ เส้าไฟ และสายไฟตัวนำสัมผัส (Contact Wire) ด้วยโปรแกรม SOLIDWORKS

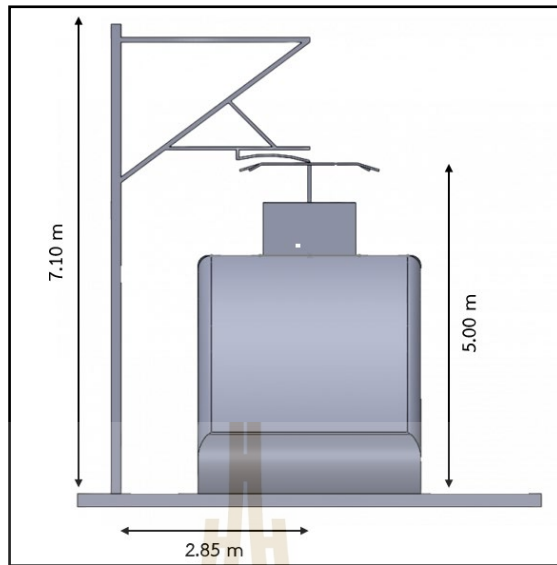
การจำลองโมเดลของรถไฟเมื่อติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์ เส้าไฟ และสายไฟ ทำการจำลองด้วยโปรแกรม SOLIDWORKS ในหัวข้อนี้จะทำการวิเคราะห์ผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นกับสายไฟ (Contact Wire) ที่สัมผัสกับแขนรับไฟ ว่ามีการขยับหรือเคลื่อนที่ออกจากแขนรับไฟมากน้อยเพียงใดเมื่อติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์ มีแรงลมมาปะทะแผ่นเบรกอากาศพลศาสตร์ทำให้ทิศทางของแรงลมไปปะทะกับสายไฟ โดยในการจำลองเพื่อวิเคราะห์ผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นกับสายไฟ จำเป็นต้องติดตั้งเส้าไฟเพื่อยึดสายไฟให้อยู่กับที่ การออกแบบเส้าไฟที่ใช้ในรถไฟความเร็วสูง ดังรูปที่ 4.51 และเส้าไฟที่ติดตั้งในการจำลองจากข้อมูลของรถไฟความเร็วสูง Shinkansen จะห่างกันต้นละ 50 เมตร ดังรูปที่ 4.52



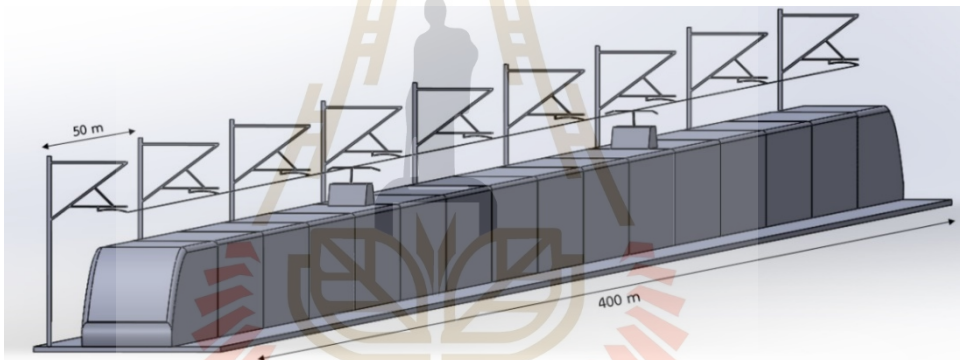
รูปที่ 4.51 แบบจำลองเสาไฟที่ใช้ในรถไฟความเร็วสูง



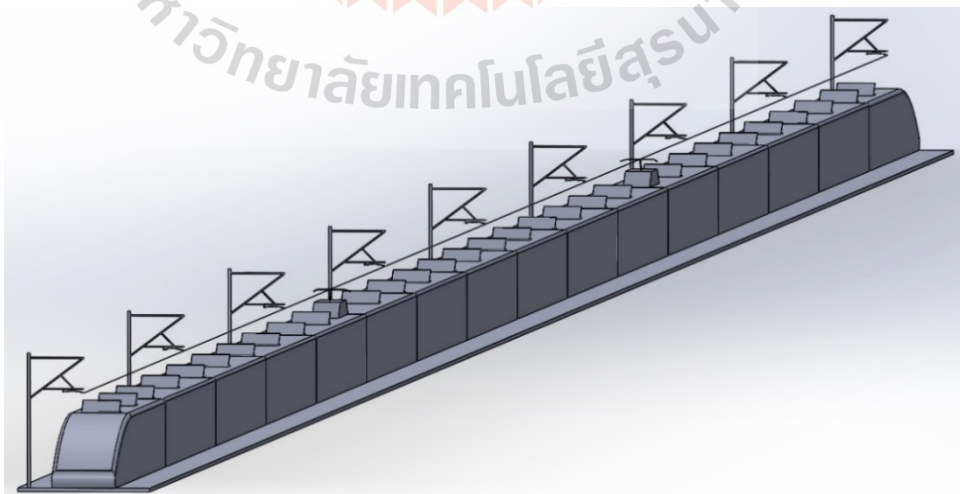
รูปที่ 4.52 ระยะห่างของเสาไฟรถไฟความเร็วสูง Shinkansen
ที่มาภาพ : (Oura et al., 1998)



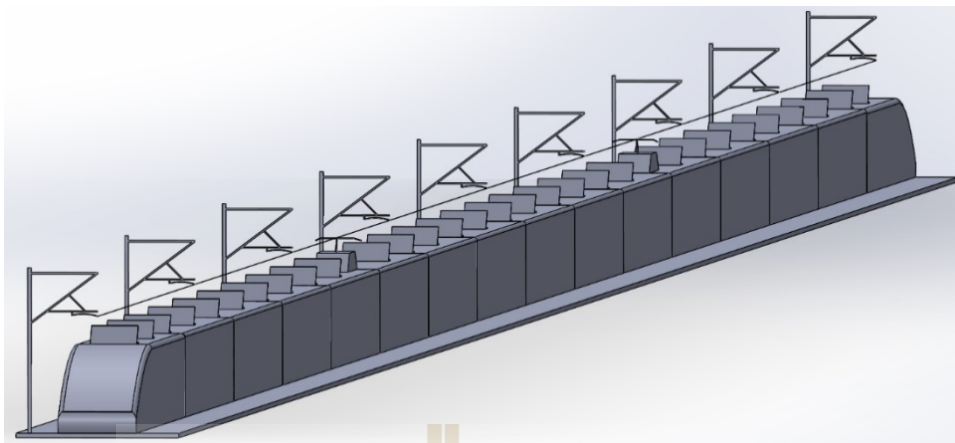
รูปที่ 4.53 ด้านหน้าของแบบจำลองรถไฟความเร็วสูงติดตั้งเสาไฟและสายไฟ



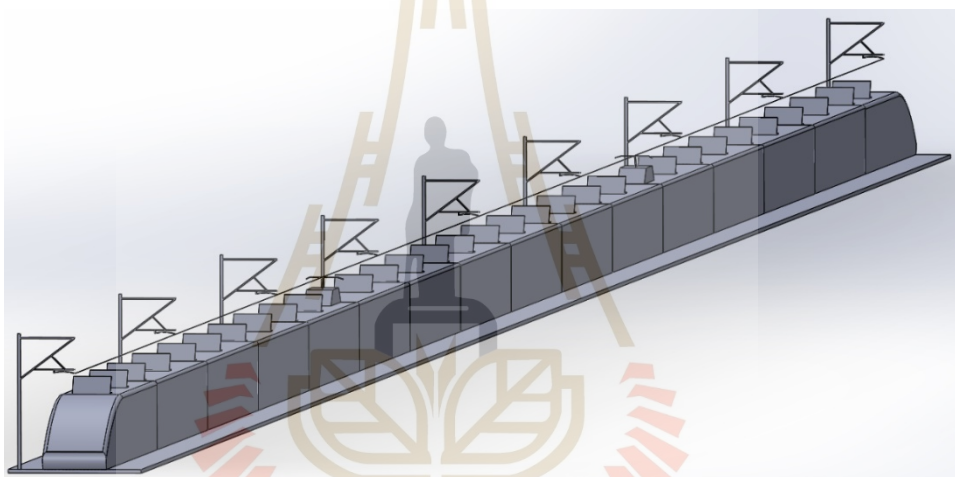
รูปที่ 4.54 แบบจำลองรถไฟความเร็วสูงติดตั้งเสาไฟและสายไฟ



รูปที่ 4.55 แบบจำลองรถไฟความเร็วสูงติดตั้งเสาไฟ สายไฟและแผ่นเบรกมุมการทำงาน 35°



รูปที่ 4.56 แบบจำลองรถไฟความเร็วสูงติดตั้งเสาไฟ สายไฟและแผ่นเบรกมุมการทำงาน 45°



รูปที่ 4.57 แบบจำลองรถไฟความเร็วสูงติดตั้งเสาไฟ สายไฟและแผ่นเบรกมุมการทำงาน 55°

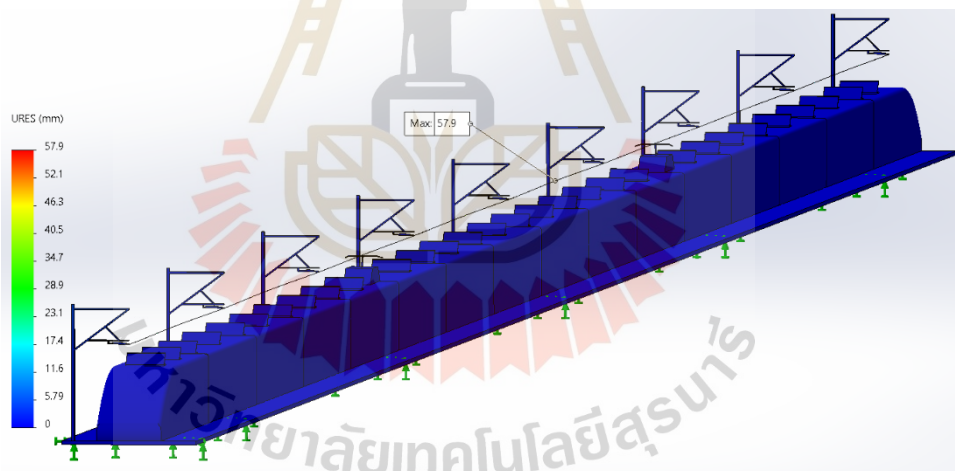
เพื่อทำการจำลองโมเดลของรถไฟที่ติดตั้งเสาไฟ สายไฟและแผ่นเบรกอากาศพลศาสตร์ จะแสดงรูปด้านหน้าของรถไฟ ขนาดความสูงของเสาไฟและความสูงของระยะการทำงานของแขนรับไฟ ดังรูปที่ 4.53 ระยะห่างระหว่างเสาไฟแต่ละต้น และความยาวทั้งหมดของขบวนรถไฟ ดังรูปที่ 4.54 เมื่อทำการติดตั้งเสาไฟและสายไฟในโมเดล จะทำการติดตั้งแผ่นเบรกอากาศพลศาสตร์มุมการทำงานที่ต่างกัน เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นกับสายไฟที่สัมผัสกับแขนรับไฟ ว่ามีการขยับหรือเคลื่อนที่ออกจากแขนรับไฟมากน้อยเพียงใด ดังรูปที่ 4.55 - 4.57

4.4.1 จำลองผลการเสีรูปสายไฟของรถไฟความเร็วสูงเมื่อติดตั้งเสาไฟและเบรกอากาศพลศาสตร์ที่มุมการทำงาน 35, 45 และ 55 องศา

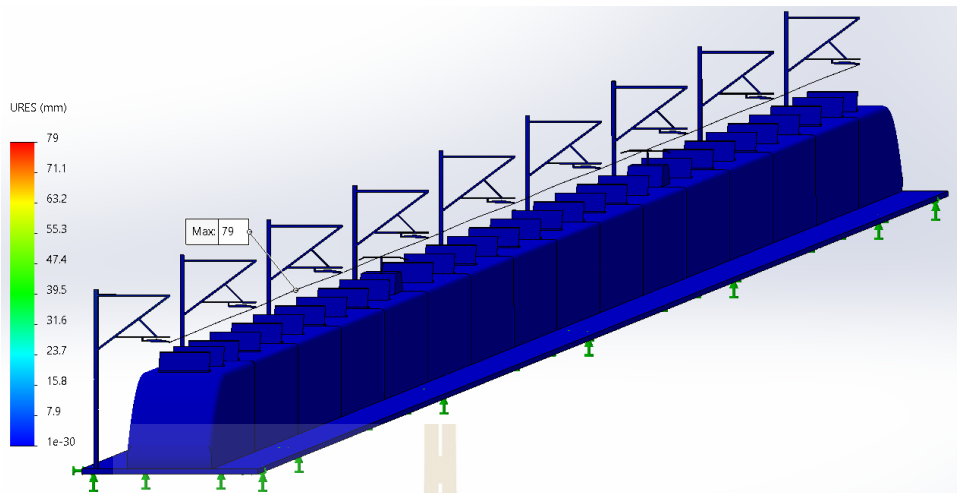
การจำลองผลการเสีรูปของสายไฟของรถไฟความเร็วสูงเมื่อติดตั้งเสาไฟและเบรกอากาศพลศาสตร์ เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นกับสายไฟที่สัมผัสกับแขนรับไฟ การขยับหรือเคลื่อนที่ออกจากแขนรับไฟเมื่อติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์เมื่อมีแรงลมมาปะทะกับแผ่นเบรก

อากาศพลศาสตร์ทำให้ทิศทางของแรงลมไปปะทะกับสายไฟ วัสดุผิวของสายไฟ คือ ทองแดง ใช้ในการวิเคราะห์ จากการจำลองผลการเสีयरูปของสายไฟ จะเห็นได้ว่า การจำลองเมื่อติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์มุมการทำงาน 35 องศา สายไฟจะขยับหรือเสีयरูป ประมาณ 57.9 mm ดังรูปที่ 4.58 การจำลองเมื่อติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์มุมการทำงาน 45 องศา สายไฟจะขยับหรือเสีयरูป ประมาณ 79 mm ดังรูปที่ 4.59 การจำลองเมื่อติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์มุมการทำงาน 55 องศา สายไฟจะขยับหรือเสีयरูป ประมาณ 93 mm ดังรูปที่ 4.60 และแสดงสรุปผลการเสีयरูปของสายไฟที่มุมการทำงานต่าง ๆ ดังตารางที่ 4.10

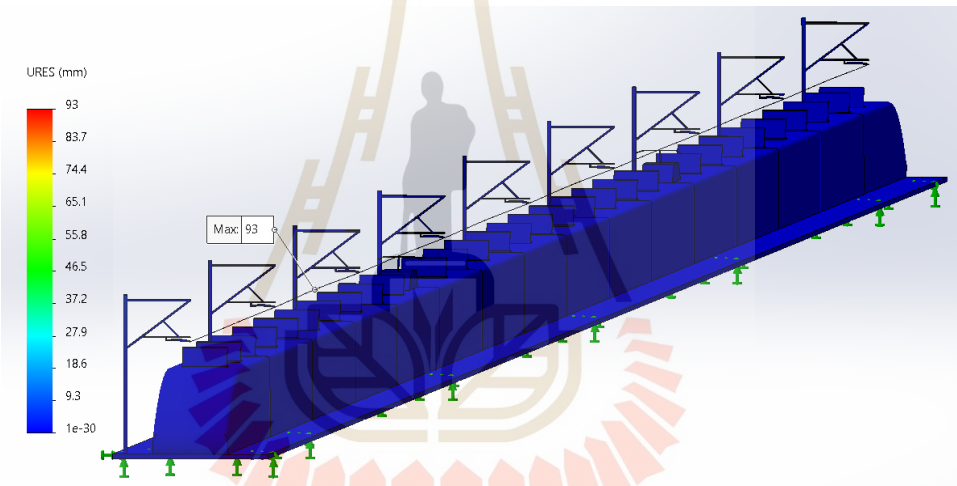
จากตารางที่ 4.10 แสดงผลการวิเคราะห์การเสีयरูปของสายไฟที่มุมการทำงาน 35, 45 และ 55 องศา จากการวิเคราะห์และค่าที่ได้แสดงให้เห็นว่า สายไฟมีการขยับเพียงเล็กน้อยจากการที่ติดตั้งแผ่นเบรกอากาศพลศาสตร์บนรถไฟที่ความเร็ว 100 km/h ซึ่งตามการทำงานจริงของรถไฟ สายไฟจะถูกติดตั้งและยึดติดกับสายที่เชื่อมต่อระหว่างเสาไฟแต่ละต้นที่ไม่ทำให้สายไฟขยับหรือเสีयरูปของสายไฟได้ การวิเคราะห์การเสีयरูปของสายไฟที่มุมการทำงานต่าง ๆ ที่ความเร็ว 100 km/h จึงไม่มีผลกระทบต่อสายไฟ และระบบจ่ายไฟของรถไฟความเร็วสูง



รูปที่ 4.58 การจำลองผลการเสีयरูปเมื่อติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์มุมการทำงาน 35°



รูปที่ 4.59 การจำลองผลการเสียรูปเมื่อติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์มุมการทำงาน 45°



รูปที่ 4.60 การจำลองผลการเสียรูปเมื่อติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์มุมการทำงาน 55°

ตารางที่ 4.10 ผลการเสียรูปของสายไฟของรถไฟความเร็วสูงเมื่อติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์

ค่าผลการเสียรูป (Displacement)	
เบรกอากาศพลศาสตร์มุมการทำงาน 35 องศา	57.9 mm
เบรกอากาศพลศาสตร์มุมการทำงาน 45 องศา	79 mm
เบรกอากาศพลศาสตร์มุมการทำงาน 55 องศา	93 mm

4.5 สรุป

ในบทนี้ได้นำเสนอรายละเอียดเกี่ยวกับการจำลองโมเดลของรถไฟความเร็วสูง จำลองโมเดลของเบรกอากาศพลศาสตร์ และจำลองโมเดลของรถไฟความเร็วสูงเมื่อติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์ เส้าไฟ และสายไฟตัวนำสัมผัส (Contact Wire) ด้วยโปรแกรม SOLIDWORKS เพื่อวิเคราะห์จำลองการไหลของอากาศของรถไฟความเร็วสูง ทำให้ทราบค่าแรงต้านอากาศที่กระทำกับผิวของโมเดลรถไฟ วิเคราะห์ค่าความเค้นของรถไฟและแผ่นเบรก ทำให้ทราบความแข็งแรงของตัวโมเดลโดยที่มีแรงจากการไหลของอากาศมาปะทะกับตัวผิวของโมเดล วิเคราะห์ค่าความปลอดภัยของรถไฟและแผ่นเบรก เพื่อป้องกันไม่ให้แรงที่มากระทำกับชิ้นงานโมเดลมีมากเกินไปกว่าชิ้นงานจะรับได้ วิเคราะห์ผลการเสียรูปของรถไฟ แผ่นเบรก และเส้าไฟ เพื่อทราบการเสียรูปของชิ้นงาน การขยับของชิ้นงาน หรือเปลี่ยนแปลงขนาดลักษณะต่าง ๆ โดยในบทถัดไปเป็นรายละเอียดเกี่ยวกับการจำลองการเคลื่อนที่ของรถไฟความเร็วสูงด้วยโปรแกรม MATLAB

บทที่ 5

จำลองการเคลื่อนที่ของรถไฟความเร็วสูงด้วยโปรแกรม MATLAB

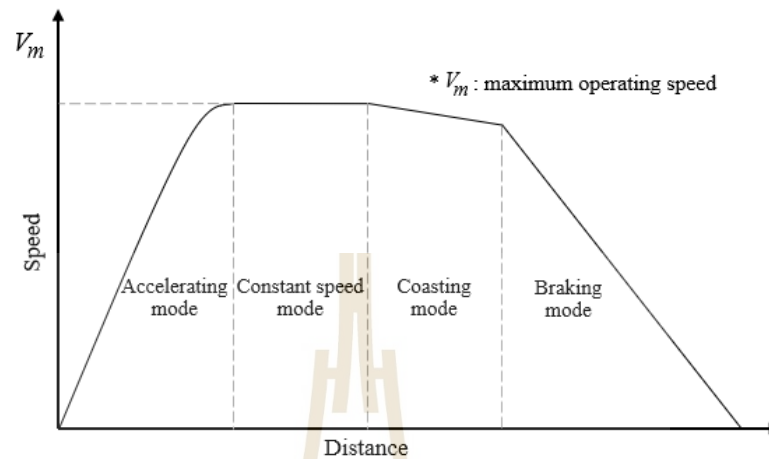
5.1 บทนำ

การศึกษาเกี่ยวกับการลดระยะเบรกและพลังงานเบรกของรถไฟความเร็วสูงยากต่อการทดลองจริง การใช้คอมพิวเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูงในปัจจุบันเข้ามาเป็นเครื่องมือการคำนวณผ่านการสร้างแบบจำลองการเคลื่อนที่ของรถไฟความเร็วสูงด้วยโปรแกรม MATLAB เป็นโปรแกรมเพื่อคำนวณและแสดงผลได้ทั้งตัวเลขและรูปภาพซึ่งมีประสิทธิภาพสูง การสร้างแบบจำลองสามารถจำลองการทำงานของรถไฟความเร็วสูงในสถานการณ์ต่าง ๆ ช่วยให้ทราบถึงพฤติกรรมของการเคลื่อนที่ของรถไฟความเร็วสูงและคาดการณ์สิ่งที่อาจจะเกิดขึ้นได้โดยไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการทดลอง ความถูกต้องของผลการจำลองขึ้นอยู่กับการสร้างแบบจำลองของรถไฟความเร็วสูงให้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงในทางปฏิบัติ ในบทนี้นำเสนอการสร้างแบบจำลองของรถไฟความเร็วสูงขึ้นคันเซ็น Series N700 3 ขบวน โดยแบ่งเป็นการคำนวณสมรรถนะการเคลื่อนที่ของรถไฟความเร็วสูงเมื่อติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์ และการคำนวณผลเฉลยลดระยะเบรกและพลังงานเบรกของรถไฟความเร็วสูง นำเสนอผลการจำลองการเคลื่อนที่ของรถไฟความเร็วสูงที่ใช้ข้อมูลของรถไฟความเร็วสูงคันเซ็น Series N700 เป็นกรณีศึกษา

5.2 จำลองการเคลื่อนที่ของรถไฟความเร็วสูง

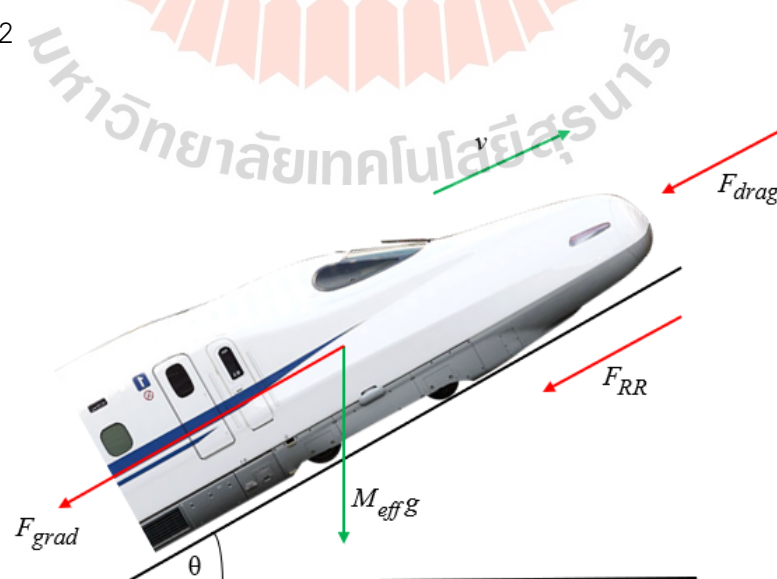
การเคลื่อนที่ของรถไฟนั้นจะมีรูปแบบการเคลื่อนที่ตามลักษณะเส้นโค้งความเร็ว-ระยะทาง (Train's Speed Distance Curve) โหมดการทำงานพื้นฐานของ รถไฟฟ้า จะเคลื่อนที่ภายใต้โหมดการทำงาน 4 โหมด ได้แก่ โหมดการเร่ง (Accelerating Mode) คือ การที่รถไฟเพิ่มความเร็วจากภาวะหยุดนิ่งด้วย ความเร่งเพื่อเพิ่มความเร็วของรถไฟให้เคลื่อนที่ตามลักษณะความเร็วของรถไฟ โดยความเร่งจะมีค่ามากกว่าศูนย์และน้อยกว่าหรือเท่ากับความเร่งสูงสุดของรถไฟ (สุตพรหม, 2562) โหมดความเร็วคงที่ (Constant Speed Mode) คือ รถไฟเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่โดยที่ความเร่งเป็นศูนย์ ดังนั้นแรงฉุดของรถไฟจะเท่ากับแรงต้านการเคลื่อนที่ โหมดการแล่นด้วยความเฉื่อย (Coasting Mode) คือ การที่รถไฟมีความเร็วลดลง เนื่องจากแรงต้านการเคลื่อนที่ของรถไฟและมีแรงฉุดของรถไฟเท่ากับศูนย์ ความเร่งมีค่าเป็นลบ และโหมดการเบรก (Braking Mode) คือ รถไฟจะลดความเร็วของรถไฟด้วยความหน่วงหรือความเร่งที่มีค่าเป็นลบเพื่อเข้าจอดที่สถานีผู้โดยสาร

หรือการลดความเร็วเพื่อไม่ให้รถไฟมีความเร็วเกินความเร็วที่กำหนดตามลักษณะความเร็วของรถไฟ และความเร่งมีค่าไม่เกินความหน่วงสูงสุด (กุลวรรวานิชพงษ์, 2561) ดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 โหมดการทำงานของรถไฟ
ที่มาภาพ: (กุลวรรวานิชพงษ์, 2561)

อย่างไรก็ตามการทำงานของรถไฟอาจจะมีการสลับโหมด การทำงานไปมาได้ตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ ในการศึกษานี้ไม่คิดการทำงานในโหมดการเล่นด้วยความเฉื่อย (Coasting mode) การคำนวณและสมการการเคลื่อนที่ของรถไฟที่มีแรงที่ต้องนำมาพิจารณาดังนี้ คือ แรงฉุดของรถไฟ (Tractive Effort) แรงต้านการเคลื่อนที่ของรถไฟ (Train Resistance) มวลและความเร่งของรถไฟ ดังนั้นสมการพื้นฐานการเคลื่อนที่ของรถไฟพิจารณาด้วยกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตัน ดังรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.2 การเคลื่อนที่ของรถไฟ
ที่มาภาพ: (สัมภาวะคุปต์, 2560)

จากรูปที่ 5.2 เพื่อให้การวิเคราะห์ที่อยู่ในรูปทั่วไปอาจถูกยกให้เอียงทำมุมกับแนวราบ ส่งผลให้แรงโน้มถ่วงมีผลต่อการเคลื่อนที่ อาจจะช่วยเสริมการเคลื่อนที่หรือต้านการเคลื่อนที่ได้ สามารถเขียนเป็นสมการ (5.1) ได้ว่า

$$F_T - F_R = M_{eff} a \quad (5.1)$$

โดยที่ F_T คือ แรงฉุดของหัวรถจักร (Tractive Effort) (N)
 F_R คือ แรงต้านการเคลื่อนที่ของรถไฟ (Train Resistance) (N)
 M_{eff} คือ มวลประสิทธิผล (Effective Vehicle Mass) (kg)
 a คือ ความเร่งของรถไฟความเร็วสูง (Train Acceleration) (m/s²)

แรงต้านการเคลื่อนที่ของรถไฟ (F_R) แบ่งออกเป็น 3 ส่วนได้แก่ แรงเสียดทานที่ต้านการเคลื่อนที่ (Train Rolling Resistance: F_{RR}) แรงโน้มถ่วง (Gravitational or Gradient Force: F_{grad}) และแรงต้านอากาศ (Aerodynamic Drag Force: F_{drag}) แรงต้านการเคลื่อนที่เนื่องจากแรงเสียดทานและแรงต้านอากาศเป็นลักษณะเฉพาะของขบวนรถที่ไม่ขึ้นกับเส้นทาง ผู้ผลิตหัวรถจักรจึงระบุค่าแรงเสียดทาน 2 อย่างนี้ในรูปของสมการเดวิส (Davis equation) (กุลวรรานิชพงษ์, 2561)

$$F_R = F_{RR} + F_{grad} + F_{drag} \quad (5.2)$$

โดยที่ Davis equation หาได้จากสมการที่ (5.3)

$$F_{RR} + F_{drag} = A + Bv + Cv^2 \quad (5.3)$$

โดยที่ A คือ สัมประสิทธิ์ของแรงต้านที่ไม่แปรผันตามความเร็ว
 B คือ สัมประสิทธิ์ของแรงต้านที่แปรผันตามความเร็วของการเคลื่อนที่
 C คือ สัมประสิทธิ์ของแรงต้านที่แปรผันตามกำลังสองของความเร็ว
 v คือ ความเร็วของรถไฟความเร็วสูง ณ ช่วงเวลานั้น ๆ (m/s)

โดยที่ F_{grad} หาได้จากสมการที่ (5.4)

$$F_{grad} = \pm M_{eff} g \sin \theta \quad (5.4)$$

โดยที่	M_{eff}	คือ มวลประสิทธิผล (Effective Vehicle Mass) (kg)
	g	คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง (m/s^2)
	θ	คือ ค่ามุมของความชันของพื้น (degree)

โดยสามารถคำนวณความเร็วในการเคลื่อนที่ ระยะทางที่รถไฟเคลื่อนที่ได้ และค่ากำลังไฟฟ้าของรถไฟความเร็วสูงที่ใช้ในการเคลื่อนที่ได้จากสมการที่ (5.5), (5.6) และ (5.7) ตามลำดับ

$$v(t + \Delta t) = v(t) + a \times \Delta t \quad (5.5)$$

$$s(t + \Delta t) = s(t) + v(t)\Delta t + 0.5 \times a \times (\Delta t)^2 \quad (5.6)$$

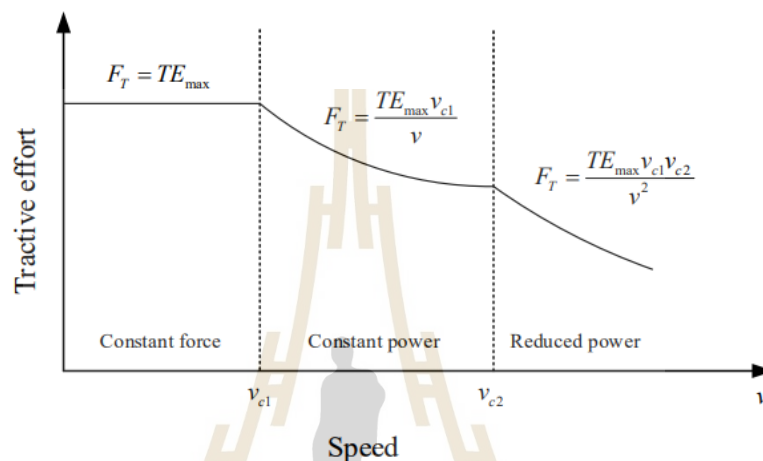
$$P_{train} = \begin{cases} \frac{F_T v(t + \Delta t)}{\eta_g \eta_m \eta_i} + P_{aux} & , F_T \geq 0 \\ \eta_g \eta_m \eta_i F_T v(t + \Delta t) + P_{aux} & , F_T < 0 \end{cases} \quad (5.7)$$

จากสมการที่ (5.5) ถึง (5.7)

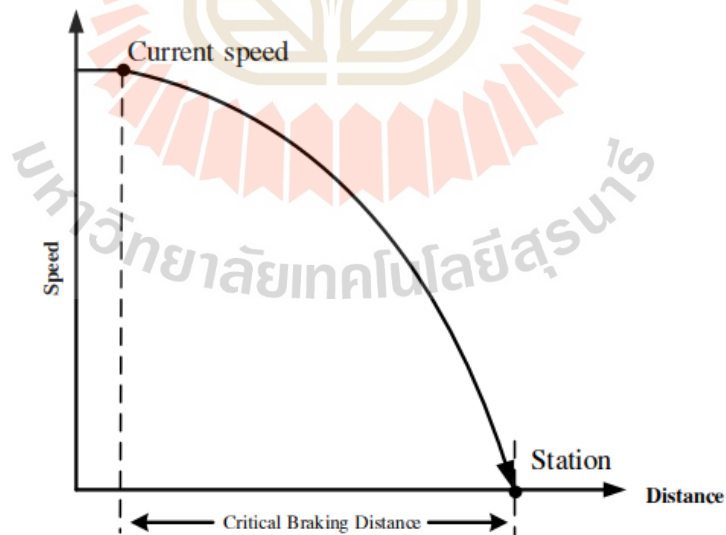
v	คือ ความเร็วของรถไฟความเร็วสูง (m/s)
s	คือ ระยะทางที่รถไฟความเร็วสูงเคลื่อนที่ได้ (m)
t	คือ เวลารวมที่รถไฟความเร็วสูงใช้เคลื่อนที่ทั้งหมด (s)
Δt	คือ เวลาที่รถไฟความเร็วสูงใช้เคลื่อนที่ (s)
P_{train}	คือ กำลังงานที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของรถไฟความเร็วสูง (kW)
η_g	คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของเกียร์
η_m	คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของมอเตอร์
η_i	คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของอินเวอร์เตอร์
P_{aux}	คือ กำลังไฟฟ้าอื่น ๆ (Auxiliary Power) (kW)

ลักษณะคุณสมบัติของหัวรถจักรไฟฟ้าจะนิยมแสดงในรูปของแรงฉุดของหัวรถจักร (Tractive force: FT) ซึ่งเกิดจากแรงบิดของมอเตอร์ไฟฟ้าขับเคลื่อนที่ส่งผ่านเฟืองทด และโดยแรงฉุดหัวรถจักรจะแปรผันตามความเร็วของการเคลื่อนที่เชิงเส้น ซึ่งสามารถแบ่งการทำงานออกเป็น 3 ช่วงการทำงาน

ได้แก่ ช่วงแรงจุดคงที่ (Constant force) ช่วงกำลังงานคงที่ (Constant power) และช่วงกำลังงานลดทอน (Reduced power) ซึ่งในช่วงกำลังงานคงที่ แรงบิดของมอเตอร์จะลดลงโดยยังสามารถจ่าย โหลดกำลังคงที่ให้ได้ และช่วงกำลังงานลดทอน คือ เป็นช่วงที่แรงบิดลดลงโดยผกผันกับความเร็วกำลังสอง ในการเปลี่ยนใช้โหมดการทำงานจะขึ้นกับความเร็วในการเคลื่อนที่เมื่อรถไฟความเร็วสูงมีความเร็วมากกว่าความเร็วฐาน (v_{c1} หรือ v_{c2}) ดังรูปที่ 5.3 (กุลวรรานิชพงษ์, 2561)



รูปที่ 5.3 ลักษณะคุณสมบัติของแรงจุดหัวรถจักรกับความเร็วจึงเส้น
ที่มาภาพ: (สุตพรหม, 2562)



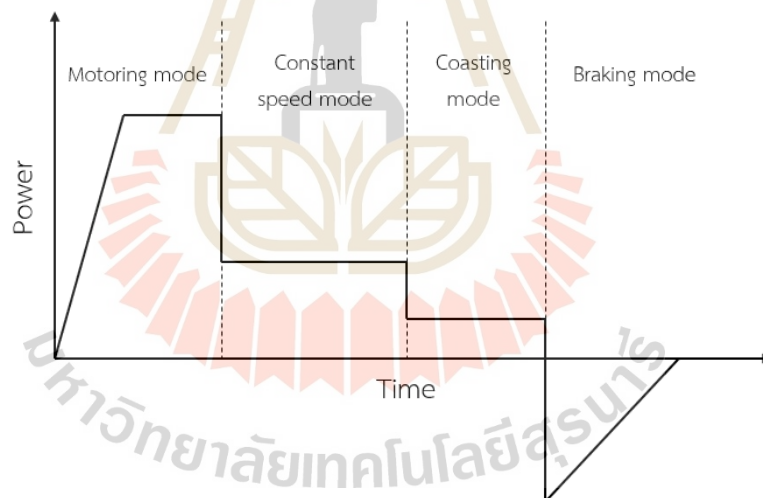
รูปที่ 5.4 แผนภาพระยะวิกฤติการเบรก
ที่มาภาพ: (สัมภาวะคุปต์, 2560)

รถไฟความเร็วสูงจะเข้าสู่การทำงานในโหมดเบรกเมื่อระยะห่างตำแหน่งของรถไฟความเร็วสูงน้อยกว่าหรือเท่ากับระยะวิกฤติการเบรก (Critical Braking Distance: CBD) เพื่อจอดรถไฟความเร็วสูงที่สถานีผู้โดยสารได้อย่างแม่นยำ แสดงแผนภาพระยะวิกฤติการเบรก ดังรูปที่ 5.4 และสามารถคำนวณระยะเริ่มเบรกได้จากสมการที่ (5.8) (สัมประสิทธิ์, 2560) รูปที่ 5.5 แสดงกำลังไฟฟ้าเทียบกับเวลาเมื่อรถไฟความเร็วสูงทำงานในโหมดต่าง ๆ

$$CBD = -0.5 \times \frac{v^2}{a_{dec}} \quad (5.8)$$

จากสมการที่ (5.8)

v คือ ความเร็วของรถไฟความเร็วสูงขณะนั้น (m/s)
 a_{dec} คือ ความเร่งมีค่าเป็นลบ (m/s^2)



รูปที่ 5.5 กำลังไฟฟ้าเทียบกับเวลาของรถไฟความเร็วสูง
 ที่มาภาพ: (Dubey, 2005)

$$E_{train} = \int_0^t P_{train} dt \quad (5.9)$$

$$E_{braking} = -\int_0^t P_{braking} dt \quad (5.10)$$

จากสมการที่ (5.9) และ (5.10)

E_{train} คือ พลังงานที่รถไฟความเร็วสูงใช้ในการเคลื่อนที่ (kWh)

$E_{braking}$ คือ พลังงานที่รถไฟความเร็วสูงใช้ในการเบรก (kWh)

$P_{braking}$ คือ กำลังงานที่ใช้ในการเบรกของรถไฟความเร็วสูง (kW)

เบรกอากาศพลศาสตร์นั้นถูกติดตั้งที่พื้นผิวด้านบนของรถไฟความเร็วสูง กลไกของเบรกอากาศพลศาสตร์มีกลไกแบบพับเก็บได้ จะเปิดขึ้นมาใช้เมื่อรถไฟทำการเบรกเมื่อจะถึงสถานีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มพื้นที่ให้กับพื้นที่ด้านหน้าของรถไฟความเร็วสูงให้หน้าสัมผัสกับอากาศเพื่อเพิ่มแรงต้านให้กับรถไฟความเร็วสูง เบรกอากาศพลศาสตร์มีสมการของแรง (F_{Aero}) จากสมการที่ 5.11 และพื้นที่ของแผ่นเบรกอากาศพลศาสตร์หาได้จากสมการที่ 5.12

$$F_{Aero} = \frac{1}{2} \rho_{air} c_d A_{Aero} v_{air}^2 \quad (5.11)$$

$$A_{Aero} = L \times H \sin \theta \times n \quad (5.12)$$

จากสมการที่ (5.11) และ (5.12)

ρ_{air} คือ ความหนาแน่นของอากาศ (kg/m^3)

c_d คือ สัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศ (N/m^2)

v_{air} คือ ความเร็วสัมพัทธ์ของการไหลของอากาศเทียบกับความเร็วของขบวนรถไฟ (m/s)

A_{Aero} คือ พื้นที่ด้านหน้าของเบรกอากาศพลศาสตร์ที่ฉายให้ตั้งฉากกับทิศทางการไหลของอากาศ (projected frontal area) (m^2)

L คือ ความกว้างของแผ่นเบรกอากาศพลศาสตร์ (m)

H คือ ความสูงของแผ่นเบรกอากาศพลศาสตร์ (m)

θ คือ ค่ามุมของแผ่นเบรกอากาศพลศาสตร์ (degree)

n คือ จำนวนของแผ่นเบรกอากาศพลศาสตร์

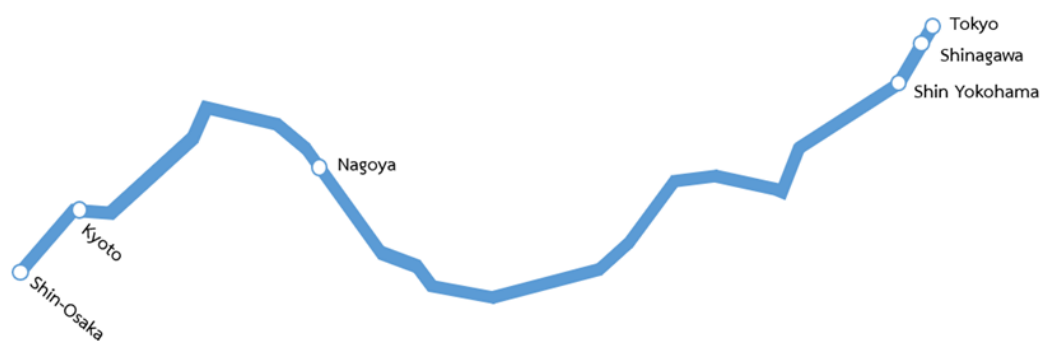
จากสมการที่ 5.11 เมื่อติดตั้งแผ่นเบรกอากาศพลศาสตร์บนรถไฟ ทำให้แรงต้านการเคลื่อนที่ของรถไฟ (F_R) นั้นต้องคิดแรงต้านของเบรกอากาศพลศาสตร์ด้วย ฉะนั้นสมการแรงต้านการเคลื่อนที่ของรถไฟสามารถหาได้จากสมการที่ 5.13

$$F_R = F_{RR} + F_{grad} + F_{drag} + F_{Aero} \quad (5.13)$$

แบบจำลองการเคลื่อนที่ของรถไฟความเร็วสูงชินคันเซ็น Series N700 3 ขบวน ได้แก่ Nozomi, Hikari และ Kodama เป็นการจำลองเพื่อศึกษาลักษณะการเคลื่อนที่ของรถไฟตามเส้นทางของรถไฟความเร็วสูงชินคันเซ็น Series N700 การจำลองการเคลื่อนที่ของรถไฟความเร็วสูงชินคันเซ็น Series N700 3 ขบวน โดยแต่ละเส้นทางจะเคลื่อนที่จากสถานีต้นทางที่สถานีโตเกียวถึงสถานีปลายทางที่สถานีโอซาก้า โดยพารามิเตอร์ของรถไฟความเร็วสูงในระบบทดสอบ ดังตารางที่ 5.1 เส้นทางเคลื่อนที่ของรถไฟความเร็วสูง 3 ขบวน ดังรูปที่ 5.6 – 5.8 เส้นทางเคลื่อนที่ของรถไฟความเร็วสูงจะใช้เส้นทางเดียวกันแต่แตกต่างกันที่การหยุดจอดแต่ละสถานีของสายขบวน รายละเอียดตำแหน่งของสถานีและการให้บริการของแต่ละสายขบวนของรถไฟความเร็วสูง ดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.1 พารามิเตอร์ของรถไฟความเร็วสูงในระบบทดสอบ

Train Parameters		
Weight	Tare weight	715 ton
	Load	200 ton
Movement Feature	Max. speed	285 km/h
	Max. acceleration	0.56 m/s ²
	Max. deceleration	0.75 m/s ²
	Maximum tractive effort	300 kN
	Maximum braking effort	-300 kN
Efficiency	Gear, Motor, Inverter	98%, 88%, 98%
Auxiliary Power	Constant Load	300 kW
Train Resistance	A = 5.85419, B = 0.06105, C = 0.00055	



รูปที่ 5.6 เส้นทางเคลื่อนที่ของรถไฟความเร็วสูงขบวน Nozomi



รูปที่ 5.7 เส้นทางเคลื่อนที่ของรถไฟความเร็วสูงขบวน Hikari



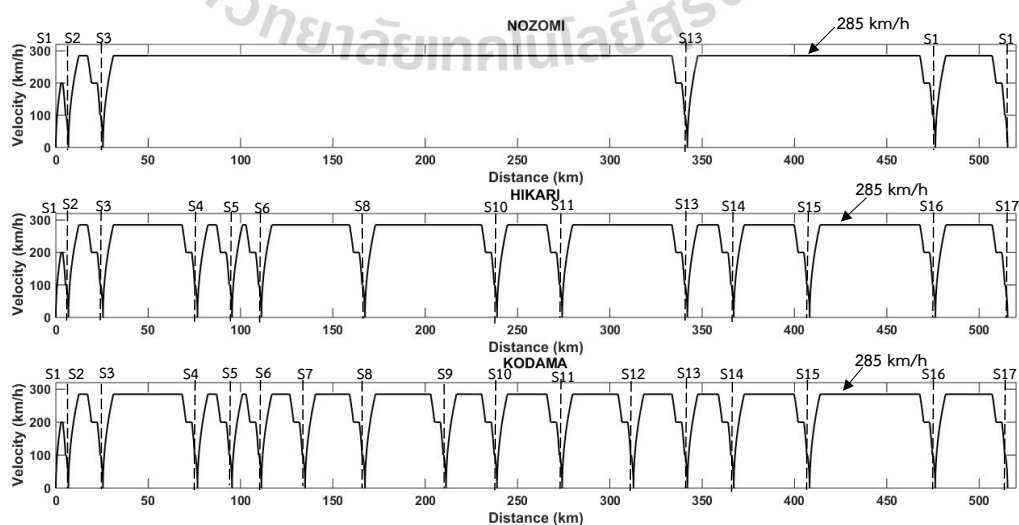
รูปที่ 5.8 เส้นทางเคลื่อนที่ของรถไฟความเร็วสูงขบวน Kodama

การจำลองการเคลื่อนที่ของรถไฟความเร็วสูงชินคันเซ็น Series N700 3 ขบวน ได้แก่ Nozomi, Hikari และ Kodama เป็นการจำลองการเคลื่อนที่ของรถไฟเทียบกับระยะทาง ดังรูปที่ 5.9 การจำลองแรงฉุดของรถไฟเทียบกับระยะทาง ดังรูปที่ 5.10 การจำลองกำลังไฟฟ้าของรถไฟเทียบกับระยะทาง ดังรูปที่ 5.11 การจำลองกำลังไฟฟ้าในการเบรกของรถไฟเทียบกับระยะทาง ดังรูปที่ 5.12 การจำลองการใช้พลังงานในการเคลื่อนที่ของรถไฟเทียบกับระยะทาง ดังรูปที่ 5.13 การจำลองการใช้พลังงานในการเบรกของรถไฟเทียบกับระยะทาง ดังรูปที่ 5.14

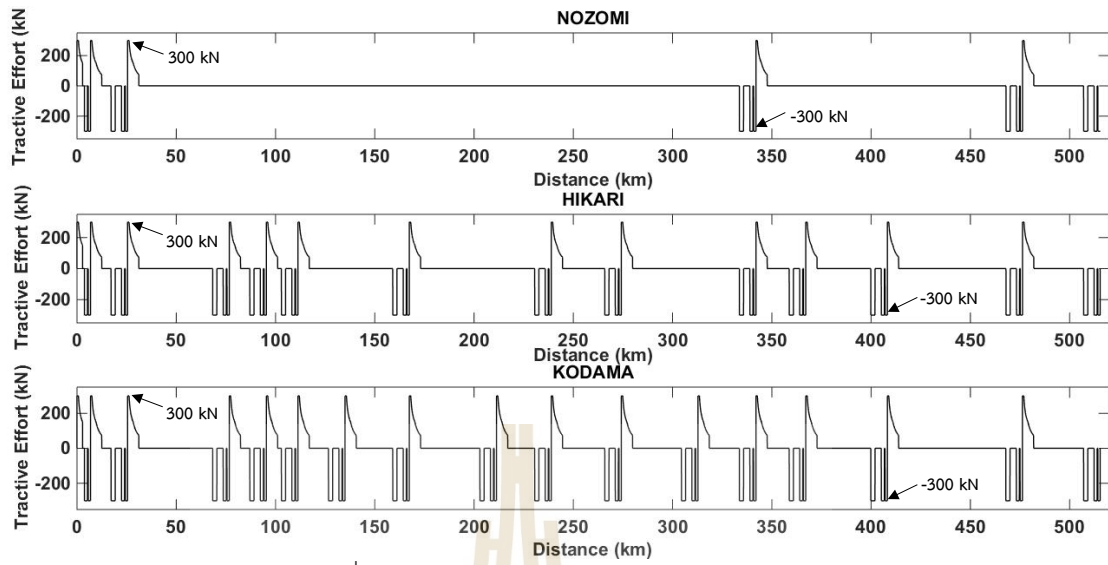
ตารางที่ 5.2 ตำแหน่งของสถานีและการให้บริการของสายขบวนของรถไฟความเร็วสูง 3 ขบวน

Station Name	Station Code	Position (km)	Nozomi	Hikari	Kodama
Tokyo	S1	0.0	•	•	•
Shinagawa	S2	6.8	•	•	•
Shin Yokohama	S3	25.5	•	•	•
Odawara	S4	76.7		•	•
Atami	S5	95.4		•	•
Mishima	S6	111.3		•	•
Shin Fuji	S7	135.0			•
Shizuoka	S8	167.4		•	•
Kakegawa	S9	211.3			•
Hamamatsu	S10	238.9		•	•
Toyohashi	S11	274.2		•	•
Mikawa Anjo	S12	312.8			•
Nagoya	S13	342.0	•	•	•
Gifu Hashima	S14	367.1		•	•
Maibara	S15	408.2		•	•
Kyoto	S16	476.3	•	•	•
Shin-Osaka	S17	515.4	•	•	•

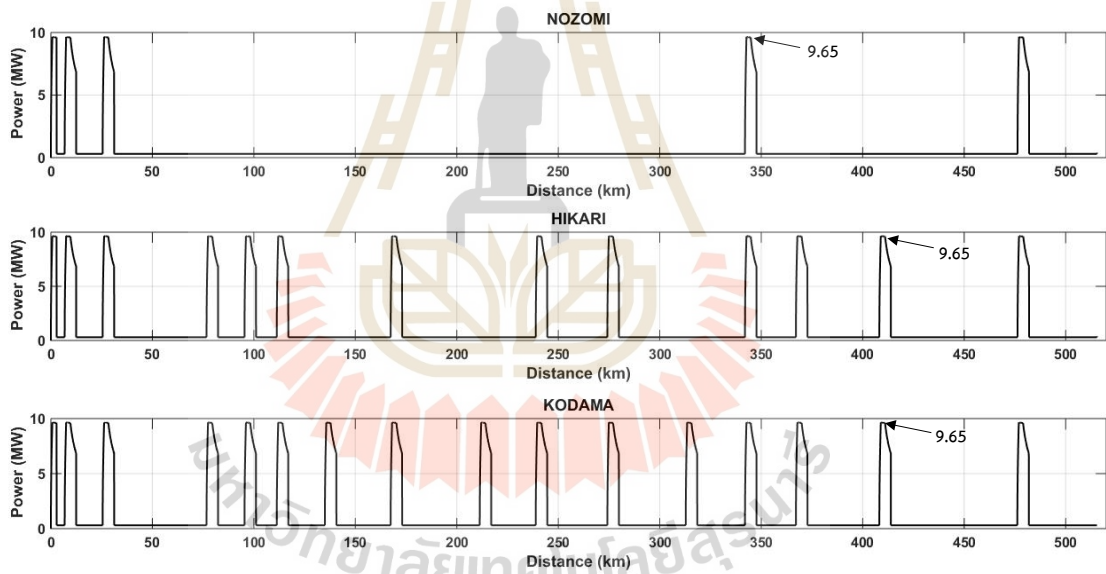
หมายเหตุ • คือ รถไฟหยุดที่สถานี และ | คือ รถไฟไม่หยุดที่สถานี



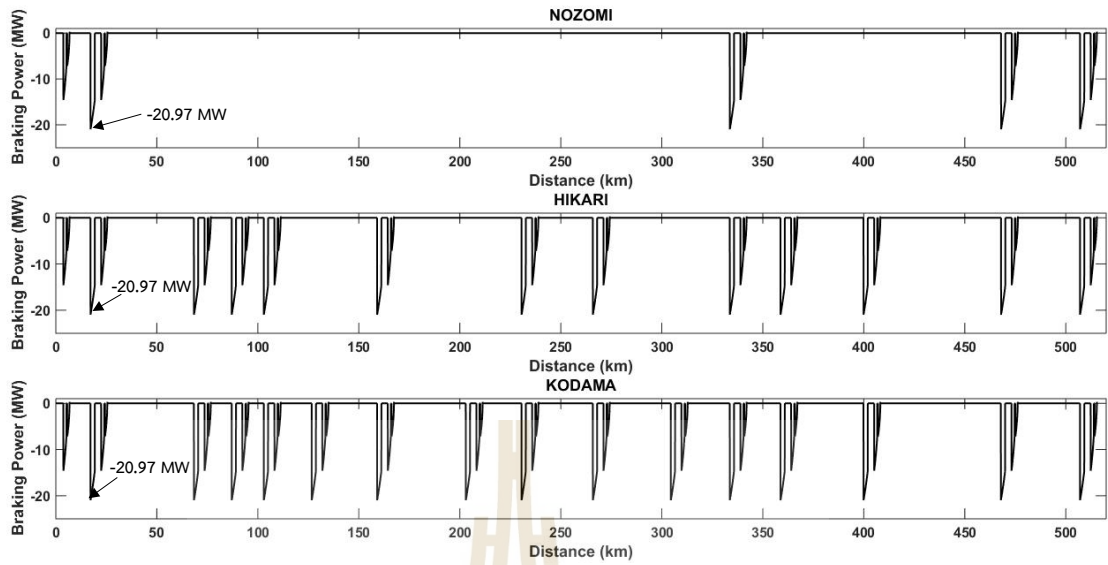
รูปที่ 5.9 ความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถไฟเทียบกับระยะทาง



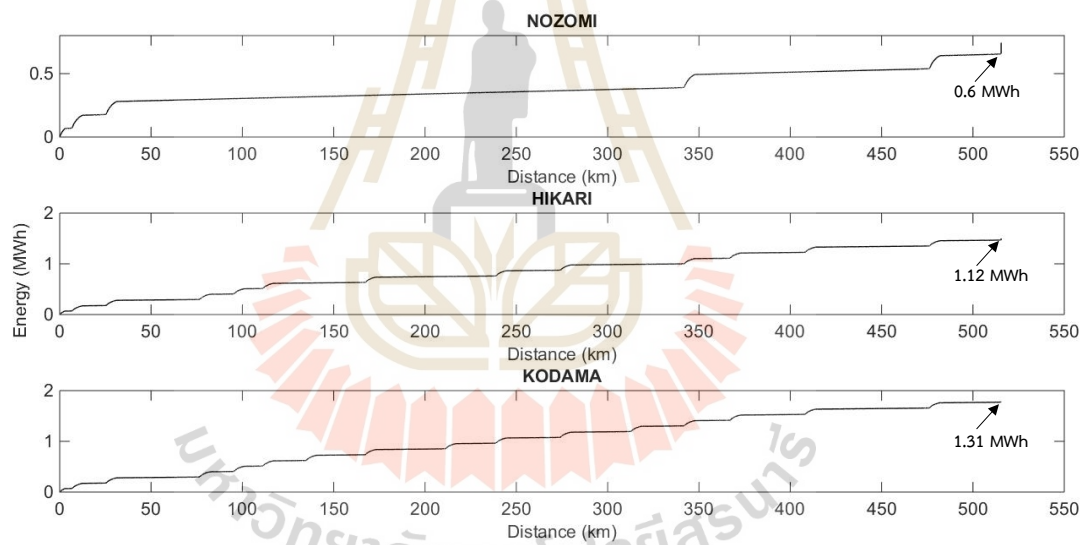
รูปที่ 5.10 แรงฉุดของรถไฟเทียบกับระยะทาง



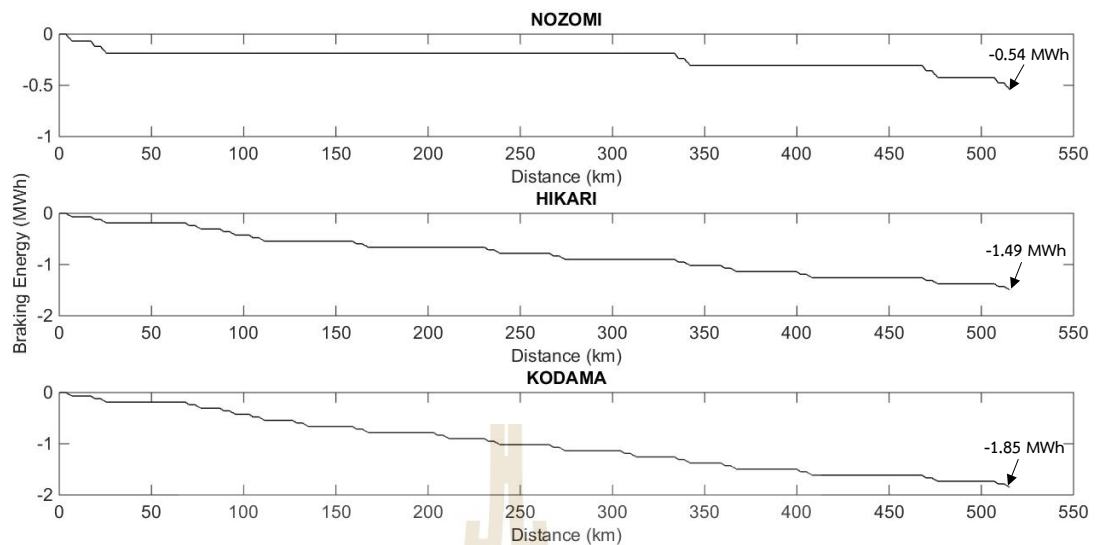
รูปที่ 5.11 กำลังไฟฟ้าในการเคลื่อนที่ของรถไฟเทียบกับระยะทาง



รูปที่ 5.12 กำลังไฟในการเบรกของรถไฟเทียบกับระยะทาง



รูปที่ 5.13 พลังงานในการเคลื่อนที่ของรถไฟเทียบกับระยะทาง



รูปที่ 5.14 พลังงานในการเบรกของรถไฟเทียบกับระยะทาง

5.3 จำลองการเคลื่อนที่ของรถไฟความเร็วสูงเมื่อติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์

แบบจำลองการเคลื่อนที่ของรถไฟความเร็วสูงชินคันเซ็น Series N700 3 ขบวน ได้แก่ Nozomi, Hikari และ Kodama ทำการติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์เพื่อเพิ่มพื้นที่ที่ปะทะกับแรงลมให้กับรถไฟให้ได้แรงต้านอากาศบริเวณผิวของตัวรถไฟมากขึ้น พื้นที่ของเบรกอากาศพลศาสตร์ทำหน้าที่เป็นแรงลากเพิ่มเติม เบรกอากาศพลศาสตร์มีสมการของแรงต้านอากาศ (F_{Aero}) ในการศึกษา นี้แบ่งเป็น 2 กรณี คือ จำลองการเคลื่อนที่ของรถไฟความเร็วสูงเมื่อติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์เพื่อใช้งานในกรณีเบรกฉุกเฉินและใช้งานในกรณีลดพลังงานในการเบรกของรถไฟ เมื่อทำการจำลองโดยติดตั้งแผ่นเบรกมุมการทำงาน 35, 45, และ 55 องศา เพื่อศึกษาการลดระยะทางที่ใช้ในการเบรกของรถไฟและศึกษาการเพิ่มแรงต้านอากาศจากแผ่นเบรกในมุมการทำงานต่าง ๆ กรณีลดพลังงานในการเบรกจะศึกษาการลดพลังงานในการเบรกโดยนำแรงต้านอากาศจากแผ่นเบรกมาช่วยลดพลังงานเบรกและกำลังไฟฟ้าในช่วงเบรกของรถไฟ ลดภาระการทำงานของระบบเบรก เบรกทางกล เบรกทางไฟฟ้า และการบำรุงรักษาด้วยการยืดอายุการใช้งานของระบบเบรกให้นานขึ้น แผ่นเบรกมุมการทำงาน 35, 45, และ 55 องศา ในการศึกษาทำการติดตั้งแผ่นเบรกอากาศพลศาสตร์ที่ด้านหลังคาของรถไฟ โดยติดตั้งทุกตู้ขบวนบริเวณด้านหน้าของตู้ขบวนและตรงกลางขบวน รถไฟมีทั้งหมด 16 ตู้ขบวน ตู้ขบวนละ 2 แผ่น รวมจำนวนทั้งหมด 30 แผ่น ขนาดของแผ่นเบรกและพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลอง ดังตารางที่ 5.3

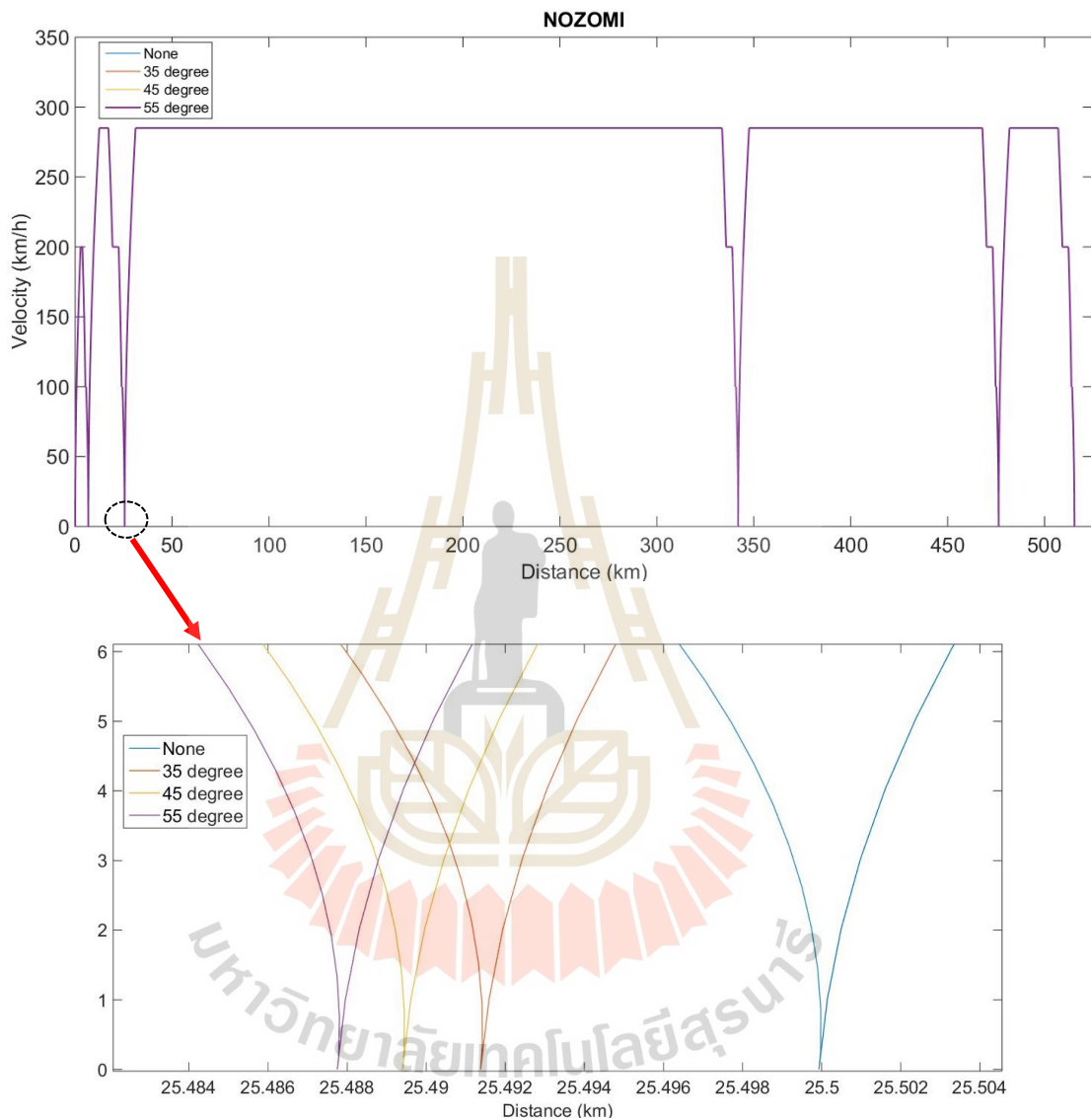
ตารางที่ 5.3 พารามิเตอร์ของเบรกอากาศพลศาสตร์ในระบบทดสอบ

Train Parameters		
Aerodynamic Brake Plate	Width	2 m
	Height	1.1 m
	Height (35 degree)	0.63 m
	Height (45 degree)	0.78 m
	Height (55 degree)	0.90 m
F_{Aero}	ρ_{air}	1.2 kg/m ³
	C_d	0.25

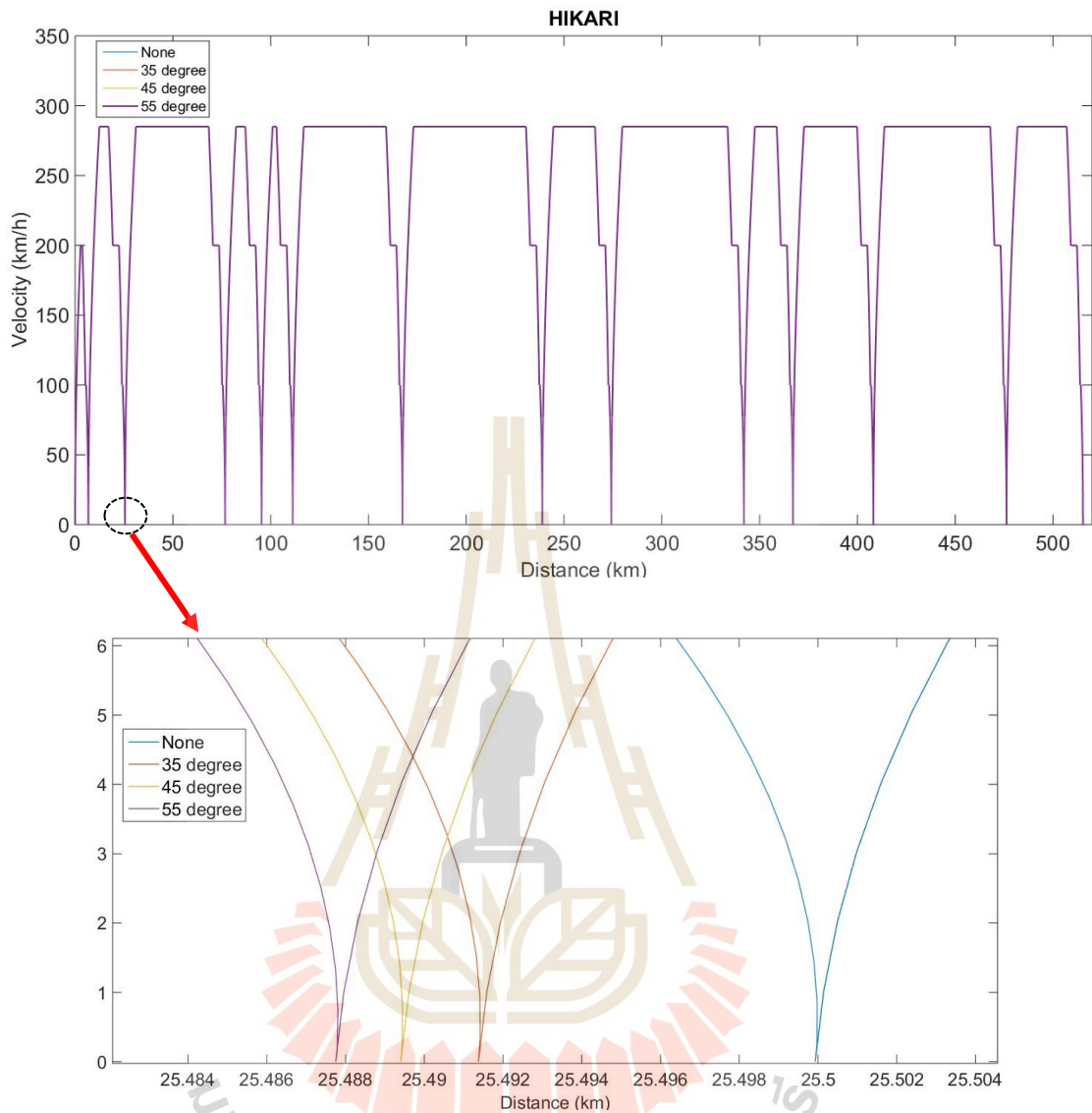
5.3.1 จำลองการเคลื่อนที่ของรถไฟความเร็วสูงเมื่อติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์ที่มุมการทำงาน 35, 45 และ 55 องศา เพื่อใช้งานในกรณีเบรกฉุกเฉิน

แบบจำลองการเคลื่อนที่ของรถไฟความเร็วสูงชินคันเซ็น Series N700 3 ขบวน ได้แก่ Nozomi, Hikari และ Kodama ทำการติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์ที่มุมการทำงาน 35, 45 และ 55 องศา ตามลำดับ เพื่อเพิ่มพื้นที่ที่ปะทะกับแรงลมให้กับรถไฟให้ได้แรงต้านอากาศบริเวณผิวของตัวแผ่นเบรกอากาศพลศาสตร์ของรถไฟมากขึ้น ในวิทยานิพนธ์นี้ทำการศึกษาการลดระยะทางที่ใช้ในการเบรกของรถไฟในกรณีที่มีการเบรกฉุกเฉิน การใช้เบรกไฟฟ้าจะประหยัดพลังงานกว่า แต่ก็มีข้อจำกัดบางประการ บางครั้งอาจทำงานผิดพลาดได้เนื่องจากวงจรที่ซับซ้อนและไม่สามารถใช้เป็นเบรกฉุกเฉินได้ (Hasegawa & Uchida, 1999) เพื่อไม่ให้เกิดอุบัติเหตุและความเสียหายกับรถไฟ การจำลองเมื่อติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์คาดการณ์ว่าจะช่วยลดระยะเบรกเมื่อเกิดกรณีฉุกเฉินได้ และศึกษาการเพิ่มแรงต้านอากาศที่ได้จากแผ่นเบรกอากาศพลศาสตร์ในมุมการทำงานต่าง ๆ โดยแรงต้านอากาศที่ได้เพิ่มมาจะใช้ในการเบรกที่ความเร็ว 100 km/h จนหยุดนิ่งของแต่ละขบวน เมื่อได้แรงเบรกเพิ่มขึ้นจากแรงต้านอากาศจากแผ่นเบรกทำให้แรงเบรกรวมของรถไฟเพิ่มขึ้น รถไฟจะทำการคำนวณอัตราหน่วงใหม่และได้ระยะเบรกใหม่ที่ลดลงจากสมการที่ 5.8 รถไฟจะหยุดก่อนถึงสถานีต่อไปใช้แค่กรณีฉุกเฉินเท่านั้น เพื่อแสดงให้เห็นว่าการนำแรงต้านอากาศมาใช้ในการเบรกของรถไฟมีประโยชน์โดยไม่มีการใช้พลังงานของรถไฟเพิ่มเติม แต่อาจมีค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นในการติดตั้งแผ่นเบรกอากาศพลศาสตร์ ในวิทยานิพนธ์ส่วนนี้เป็นแค่การจำลองที่แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มและความน่าจะเป็น ส่วนการใช้งานกับรถไฟความเร็วสูงจริงควรต้องพัฒนาและศึกษาเพิ่มเติมให้ละเอียดครบถ้วน ประเมินความเสียหายต่าง ๆ ออกแบบแผ่นเบรกอากาศพลศาสตร์ให้เหมาะสมกับรถไฟความเร็วสูงแต่ละขบวนและให้เหมาะสมกับเส้นทางในการเดินทาง ระยะทางของแต่ละเส้นทาง แสดงรูปการเคลื่อนที่ของรถไฟแต่ละขบวนในแต่ละมุมการทำงานเทียบกับระยะทาง ดังรูปที่ 5.15 -5.20 และตารางการ

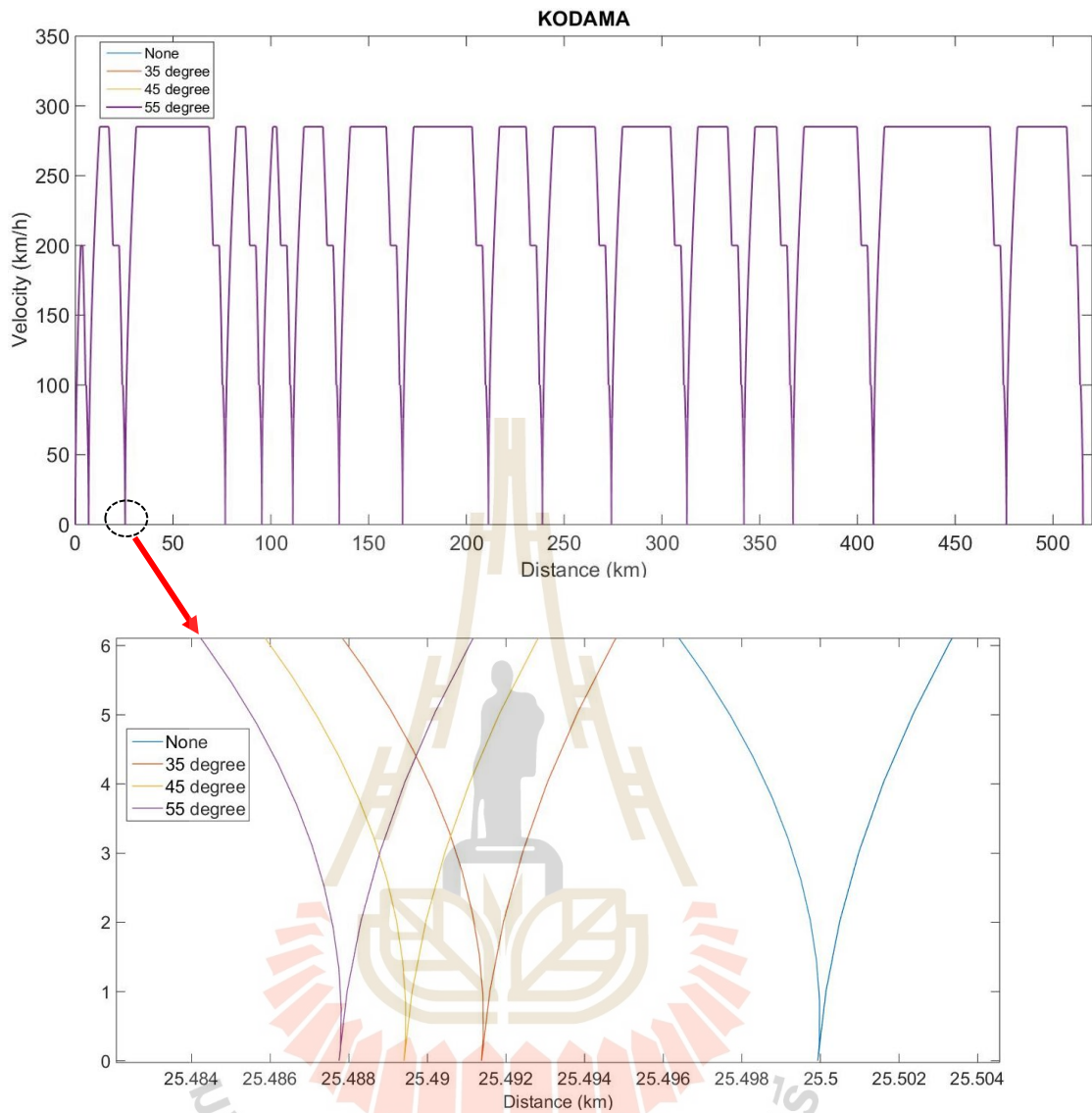
เปรียบเทียบการลดระยะทางในการเบรกและการเพิ่มแรงต้านอากาศของรถไฟเมื่อติดตั้งเบรกอากาศ พลศาสตร์แต่ละมุมการทำงาน ดังตารางที่ 5.4



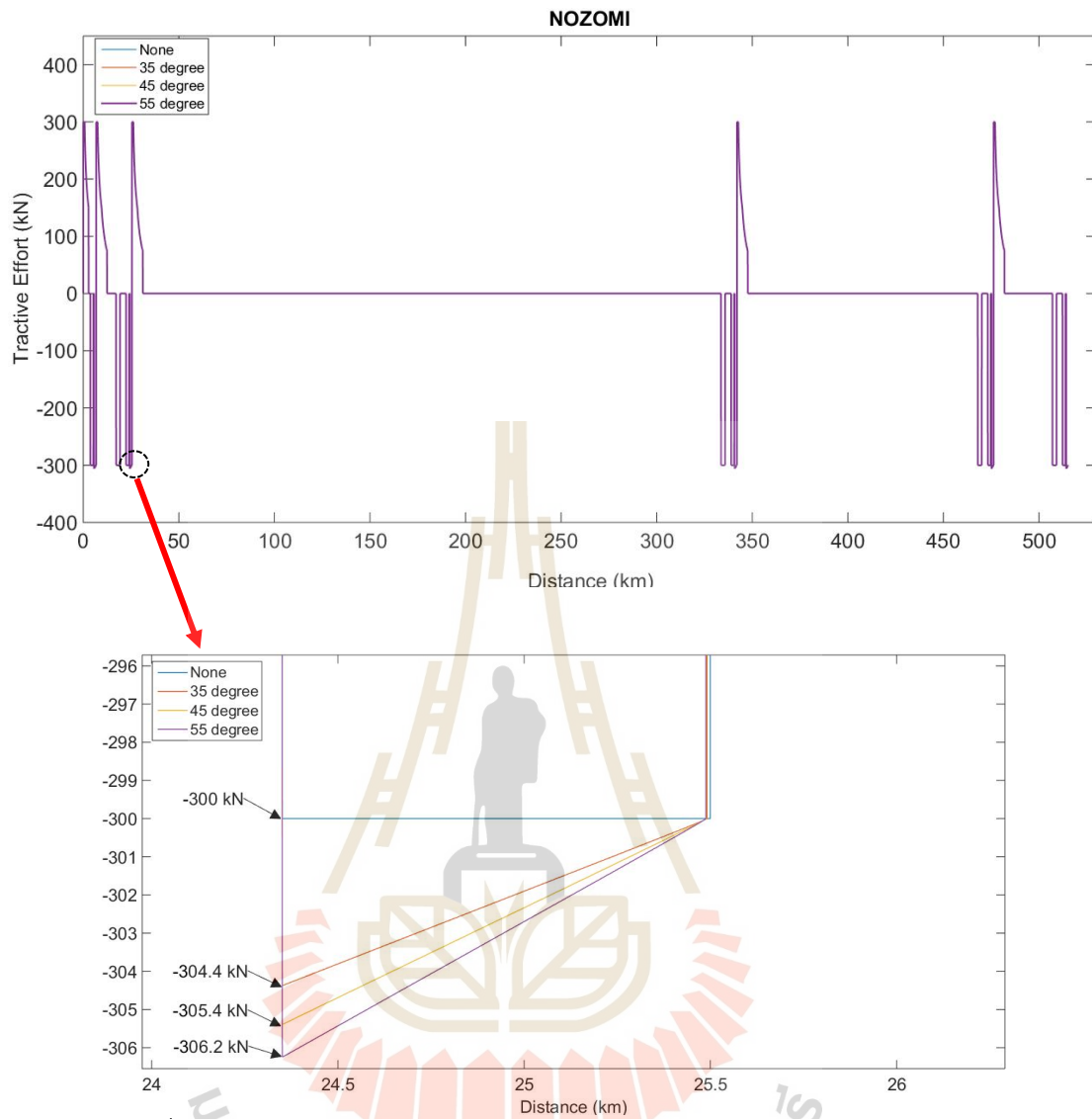
รูปที่ 5.15 ความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถไฟ Nozomi ในแต่ละมุมการทำงานเทียบกับระยะทาง



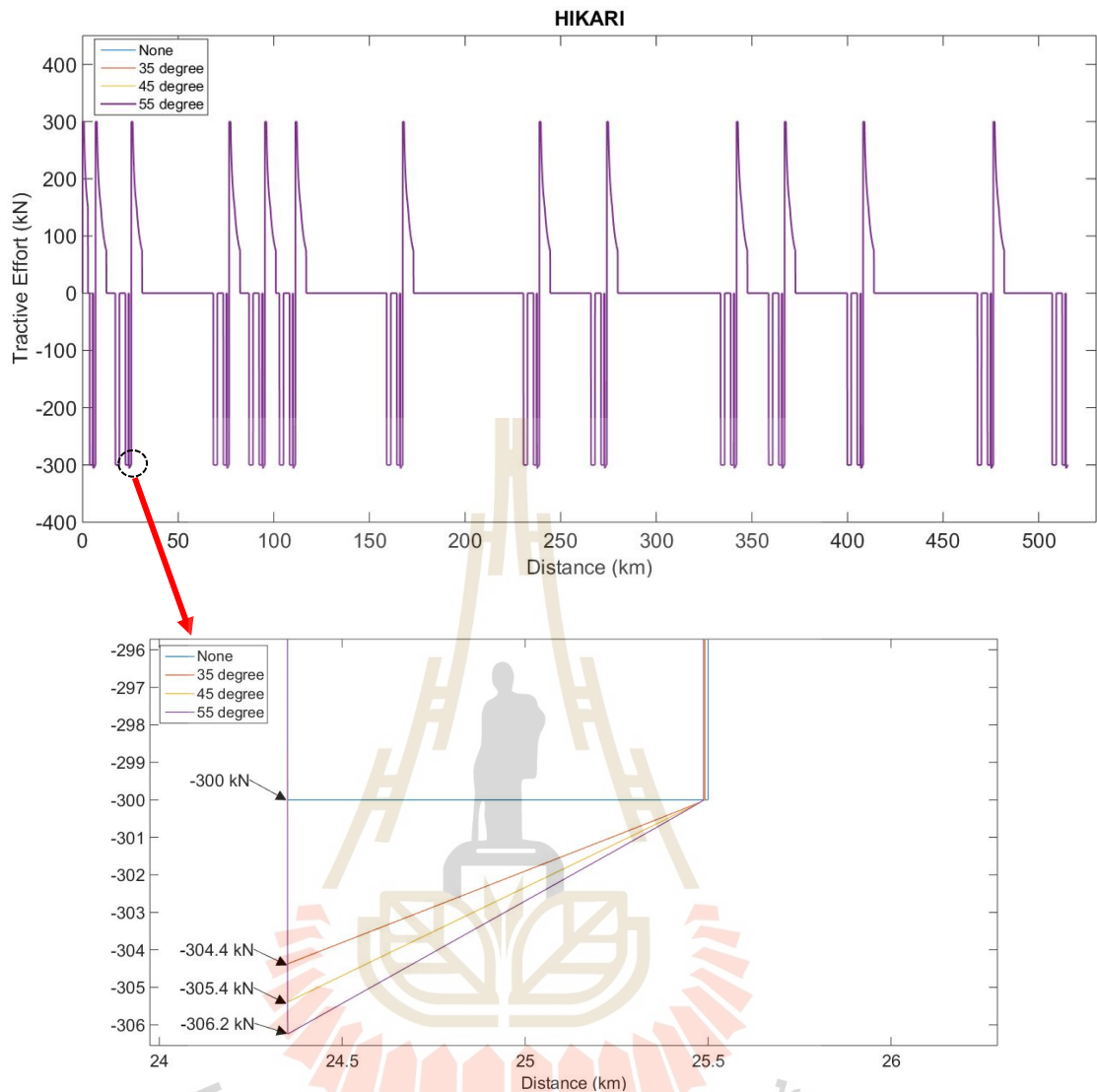
รูปที่ 5.16 ความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถไฟ Hikari ในแต่ละมุมการทำงานเทียบกับระยะทาง



รูปที่ 5.17 ความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถไฟ Kodama ในแต่ละมุมการทำงานเทียบกับระยะทาง

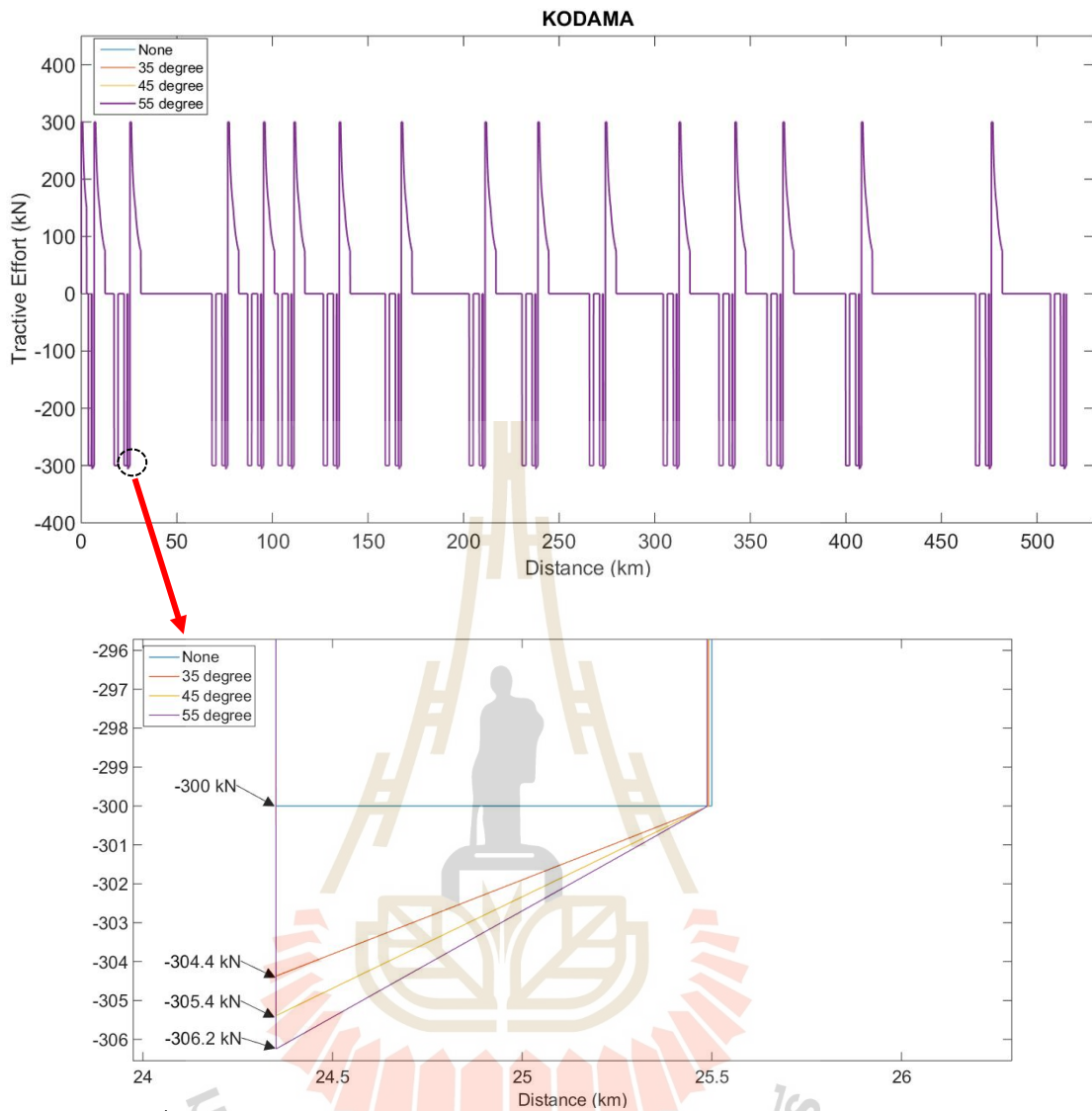


รูปที่ 5.18 แรงดูดของรถไฟ Nozomi ในแต่ละมุมการทำงานเทียบกับระยะทาง



รูปที่ 5.19 แรงจุดของรถไฟ Hikari ในแต่ละมุมการทำงานเทียบกับระยะทาง





รูปที่ 5.20 แรงฉุดของรถไฟ Kodama ในแต่ละมุมการทำงานเทียบกับระยะทาง

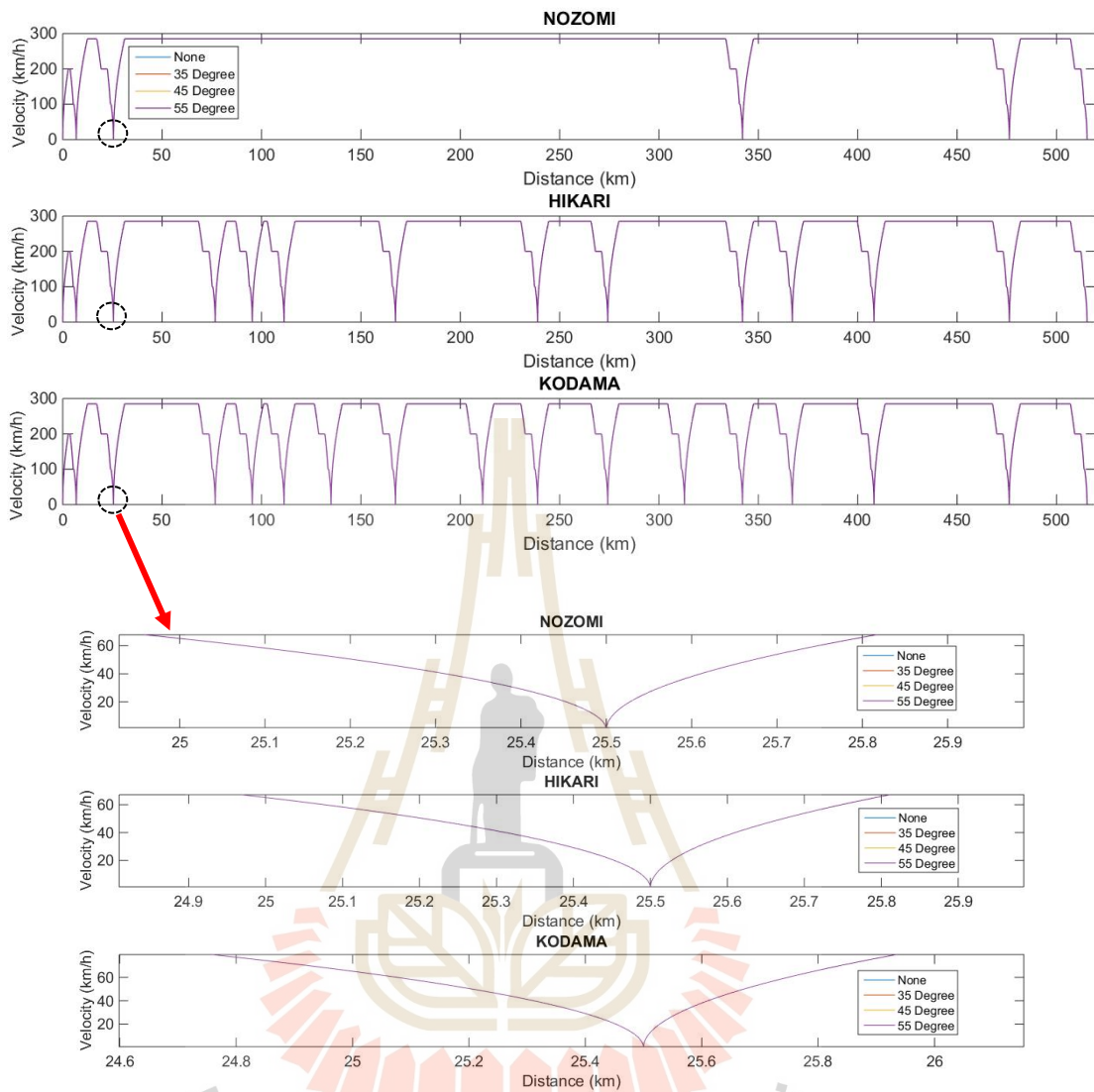
ตารางที่ 5.4 การเปรียบเทียบการลดระยะทางในการเบรกและการเพิ่มแรงต้านอากาศของรถไฟเมื่อติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์แต่ละมุมการทำงาน

Aerodynamic Brake	ระยะทางเบรก ลดลงแต่ละ สถานี (m)	ระยะทางเบรกรวมลดลง (m)			Maximum braking effort (kN)	
		Nozomi	Hikari	Kodama		
None	-	-	-	-	-300	-
35 Degree	8.4947	42.4735	110.4311	135.9152	-304.4	1.45%
45 Degree	10.823	54.115	140.699	173.168	-305.4	1.77%
55 Degree	12.513	62.565	162.669	200.208	-306.2	2.02%

จากตารางที่ 5.4 การเปรียบเทียบการลดระยะทางในการเบรกและการเพิ่มแรงต้านอากาศของรถไฟเมื่อติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์แต่ละมุมการทำงาน พบว่า มุมการทำงานของเบรกอากาศพลศาสตร์ที่ต่างกันทำให้ระยะทางในการเบรกลดลงและช่วยเพิ่มแรงต้านอากาศจะรวมอยู่ในแรงฉุดการเบรกสูงสุด ในแต่ละขบวนระยะทางเบรกรวมจะไม่เท่ากันเพราะว่าจำนวนสถานีที่จอดทำให้มีการเบรกก่อนถึงสถานีที่ไม่เท่ากัน ขบวน Nozomi จะเบรกก่อนถึงสถานีจำนวน 5 ครั้ง ขบวน Hikari จะเบรกก่อนถึงสถานีจำนวน 13 ครั้ง และขบวน Kodama จะเบรกก่อนถึงสถานีจำนวน 16 ครั้ง โดยกรณีที่ไม่มีการติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์ คือ กรณีปกติในการเคลื่อนที่ของรถไฟไว้อ้างอิงกับกรณีอื่น ๆ ซึ่งจะจอดตามสถานีที่ได้กำหนดไว้ที่ระยะทางที่กำหนด ซึ่งมีค่าแรงฉุดการเบรกสูงสุดเท่ากับ -300 kN เป็นค่าที่กำหนดไว้ในการเคลื่อนที่ของรถไฟของทั้ง 3 ขบวน Nozomi, Hikari และ Kodama กรณีติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์มุมการทำงานที่ 35° สามารถลดระยะทางเบรกลงแต่ละสถานีได้ 8.49 เมตร ระยะทางเบรกรวมลดลงของแต่ละขบวน Nozomi, Hikari และ Kodama ได้เป็น 42.47 เมตร 110.43 เมตร และ 135.92 เมตร ตามลำดับ และแรงฉุดการเบรกสูงสุดเพิ่มขึ้นเป็น -304.4 kN คิดเป็นการเพิ่มของแรงต้านอากาศได้ 1.45% กรณีติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์มุมการทำงานที่ 45° สามารถลดระยะทางเบรกลงแต่ละสถานีได้ 10.82 เมตร ระยะทางเบรกรวมลดลงของแต่ละขบวน Nozomi, Hikari และ Kodama ได้เป็น 54.12 เมตร 140.7 เมตร และ 173.17 เมตร ตามลำดับ และแรงฉุดการเบรกสูงสุดเพิ่มขึ้นเป็น -305.4 kN คิดเป็นการเพิ่มของแรงต้านอากาศได้ 1.77% และกรณีติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์มุมการทำงานที่ 55° สามารถลดระยะทางเบรกลงแต่ละสถานีได้ 12.51 เมตร ระยะทางเบรกรวมลดลงของแต่ละขบวน Nozomi, Hikari และ Kodama ได้เป็น 62.57 เมตร 162.7 เมตร และ 200.21 เมตร ตามลำดับ และแรงฉุดการเบรกสูงสุดเพิ่มขึ้นเป็น -306.2 kN คิดเป็นการเพิ่มของแรงต้านอากาศได้ 2.02%

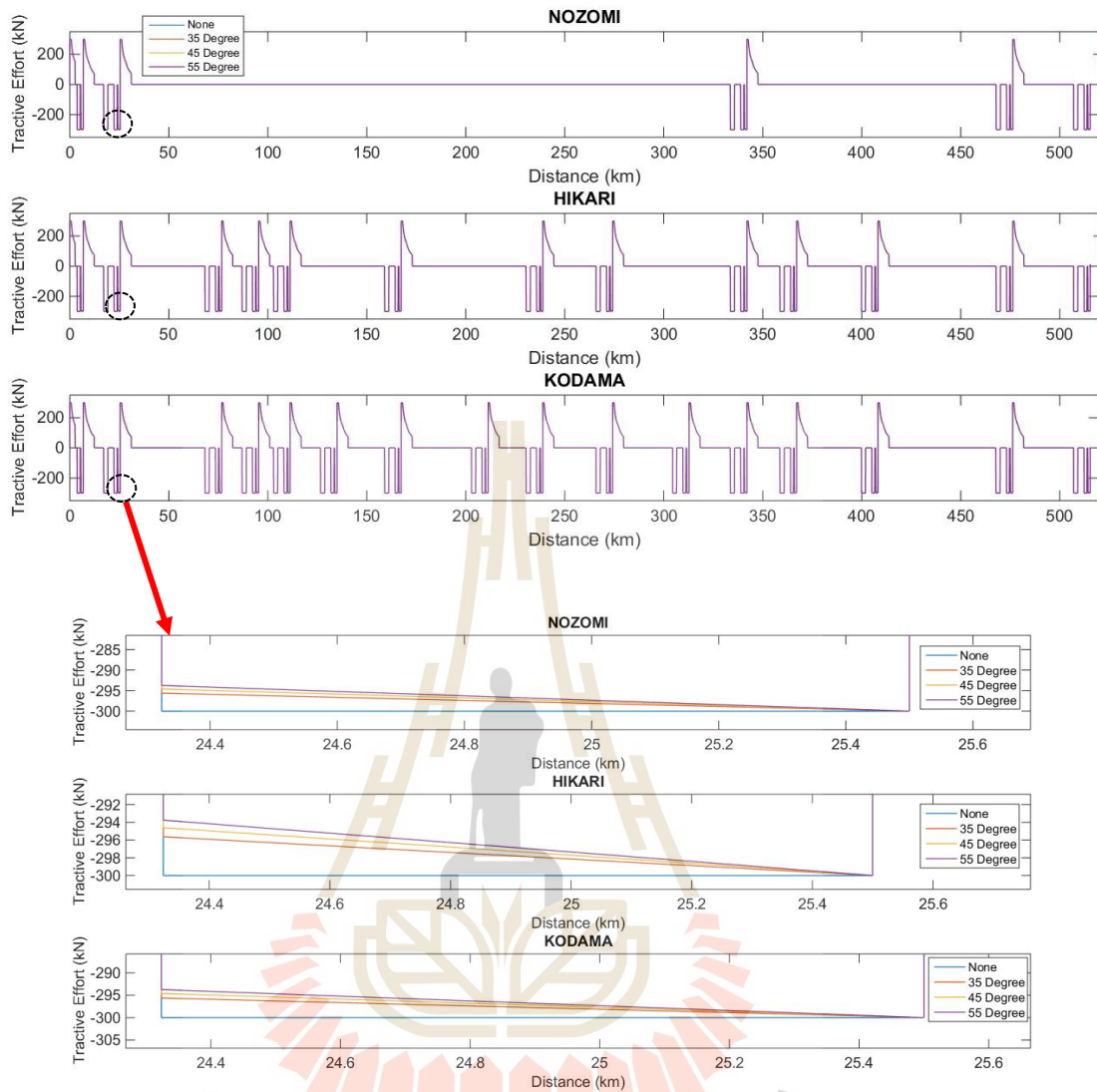
5.3.2 จำลองการเคลื่อนที่ของรถไฟความเร็วสูงเมื่อติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์ที่มุมการทำงาน 35, 45 และ 55 องศา เพื่อใช้งานในกรณีลดพลังงานในการเบรกของรถไฟ

การจำลองการเคลื่อนที่ของรถไฟความเร็วสูงเมื่อติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์ที่มุมการทำงาน 35, 45 และ 55 องศาของรถไฟชินคันเซ็น Series N700 3 ขบวน ได้แก่ Nozomi, Hikari และ Kodama เพื่อใช้ในกรณีลดพลังงานในการเบรก ในรถไฟความเร็วสูงการเบรกของรถไฟนั้นใช้พลังงานในการเบรกสูง เพื่อช่วยลดการใช้พลังงานเบรกของรถไฟจึงได้ทำการติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์เข้าไปในระบบ ซึ่งเป็นการเพิ่มแรงต้านอากาศโดยแผ่นเบรกอากาศพลศาสตร์จะเปิดการทำงานขึ้น และปะทะเข้ากับลมที่มีทิศทางตรงกันข้ามกับการเคลื่อนที่ของรถไฟเกิดเป็นแรงต้านอากาศกับตัวแผ่นเบรกอากาศพลศาสตร์ที่ทำการติดตั้ง เป็นแรงเบรกเพิ่มเติมจากแรงเบรกของรถไฟ เพื่อช่วยแบ่งเบาภาระการทำงานของระบบเบรกของรถไฟ โดยที่ทำงานควบคู่กันไปกับระบบเบรกของรถไฟซึ่งมีทั้งเบรกทางไฟฟ้า เบรกทางกล และเพิ่มระบบเบรกอากาศพลศาสตร์ ในวิทยานิพนธ์นี้ การศึกษาระบบเบรกอากาศพลศาสตร์จะเริ่มใช้เมื่อรถไฟเบรกที่ความเร็ว 100 km/h จนหยุดยั้งของแต่ละขบวน การนำระบบเบรกอากาศพลศาสตร์มาใช้ควบคู่กับระบบเบรกของรถไฟจะช่วยลดพลังงานการเบรกทางไฟฟ้าและเบรกทางกลของรถไฟ โดยการทำงานของเบรกอากาศพลศาสตร์จะเริ่มทำงานเมื่อรถไฟเบรกที่ความเร็ว 100 km/h โดยที่ระยะทางในการเบรกของรถไฟแต่ละมุมการทำงานของเบรกอากาศพลศาสตร์จะเท่ากันและสอดคล้องตามระยะทางของสถานีที่กำหนด โดยจะไม่ใช้กรณีฉุกเฉินที่ช่วยลดระยะทางในการเบรก แต่เป็นการใช้แรงเบรกและพลังงานในการเบรกจากเบรกอากาศพลศาสตร์เพิ่มเข้าไปช่วยลดแรงเบรกและพลังงานเบรกจากเบรกทางไฟฟ้ากับเบรกทางกลของรถไฟ ในการจำลองการลดพลังงานเบรกทำการจำลองเทียบระหว่างพลังงานเบรกทั้งหมดของรถไฟตอนที่ไม่มีเบรกอากาศพลศาสตร์เทียบกับมีการติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์ที่มุมการทำงาน 35, 45 และ 55 องศา ดังรูปที่ 5.21 – 5.25 และตารางการเปรียบเทียบการลดพลังงานเบรกแต่ละมุมการทำงานกับพลังงานเบรกที่ไม่มีการติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์ ดังตารางที่ 5.5



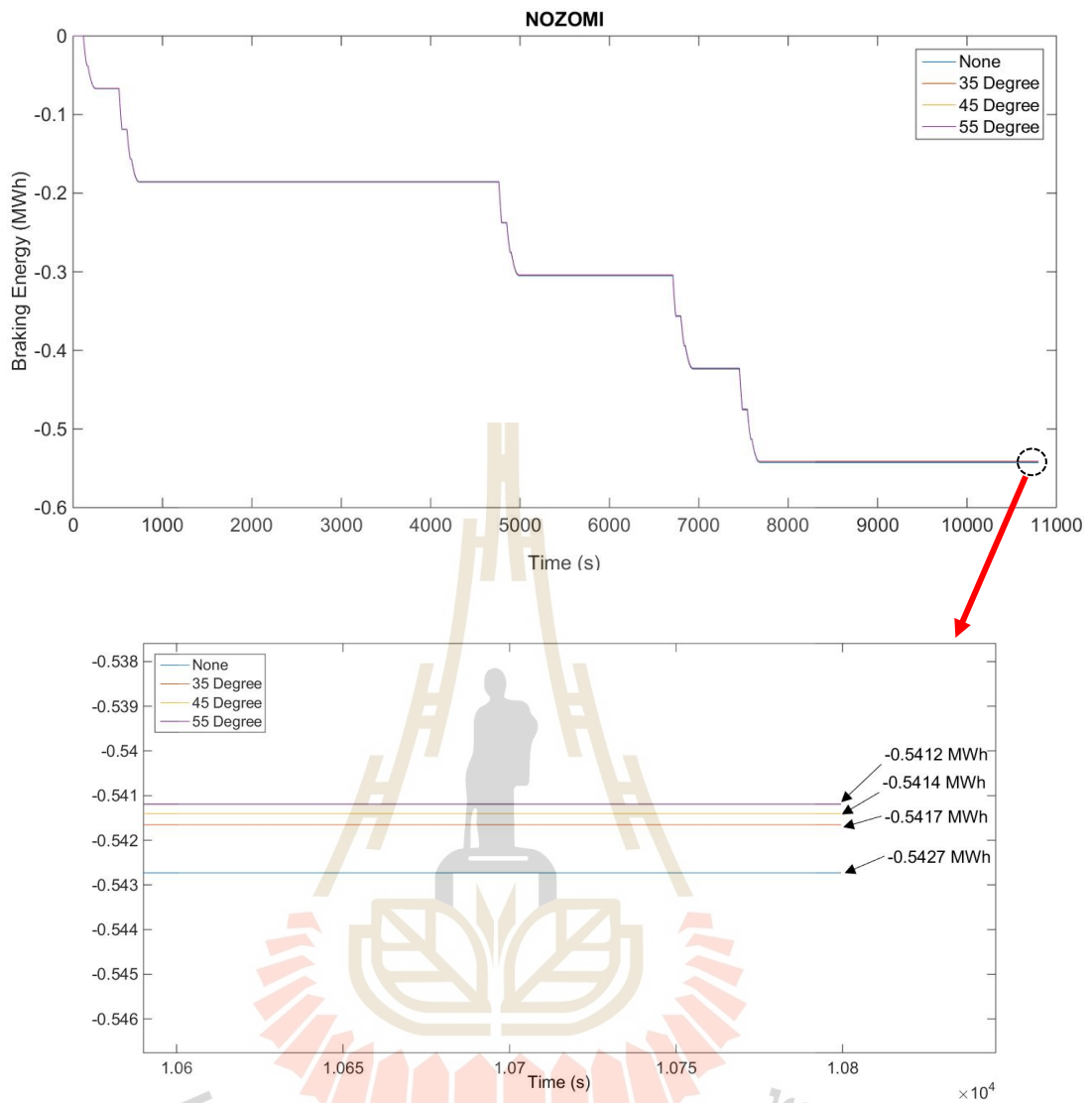
รูปที่ 5.21 ความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถไฟทุกขบวนในแต่ละมุมการทำงานเทียบระยะทาง



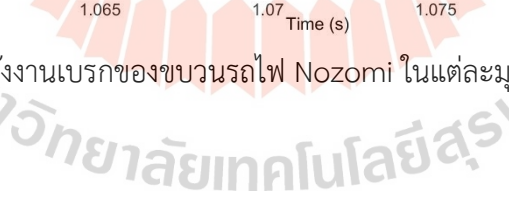


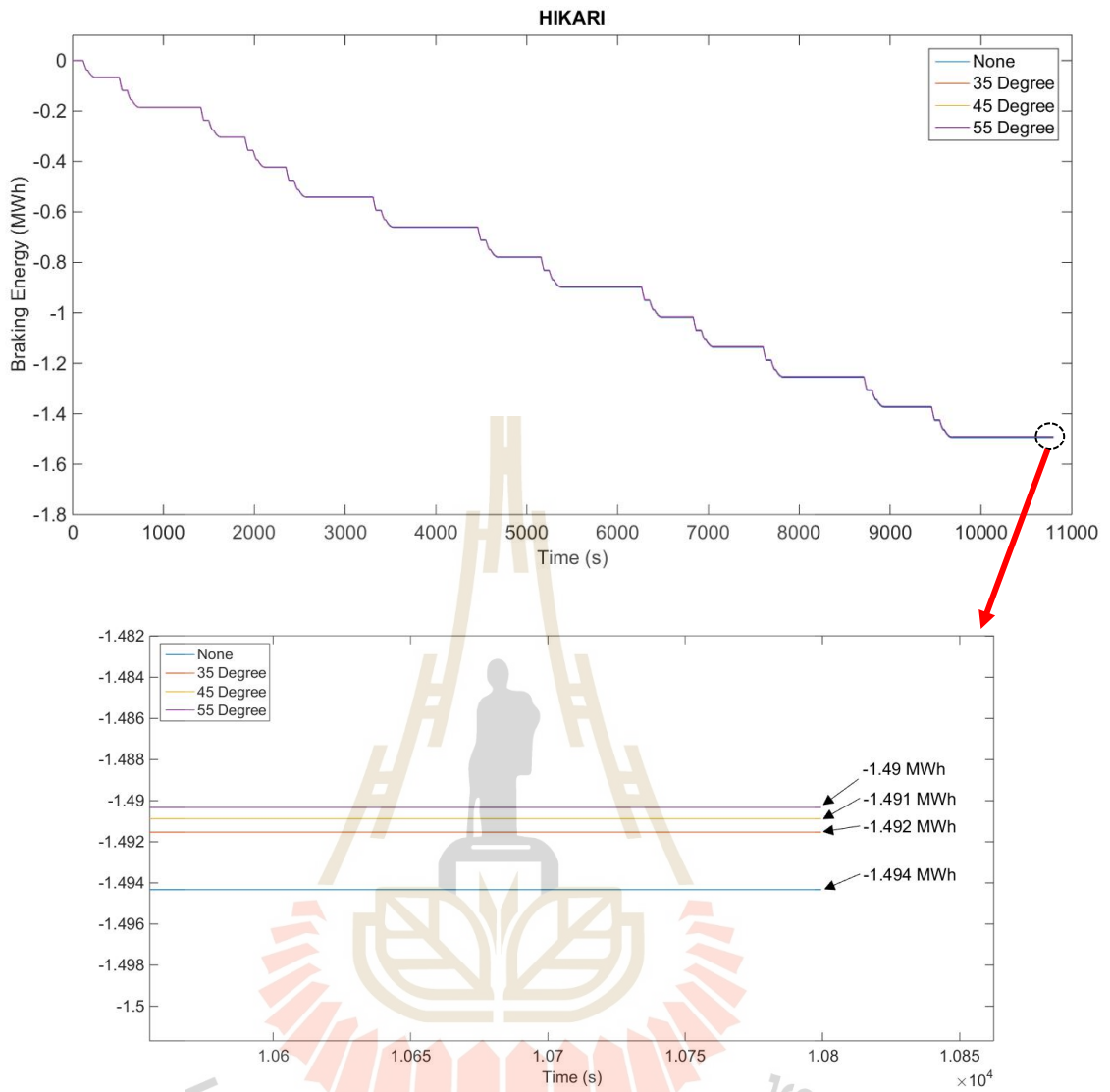
รูปที่ 5.22 แรงฉุดของรถไฟทุกขบวนในแต่ละมุมการทำงานเทียบระยะทาง



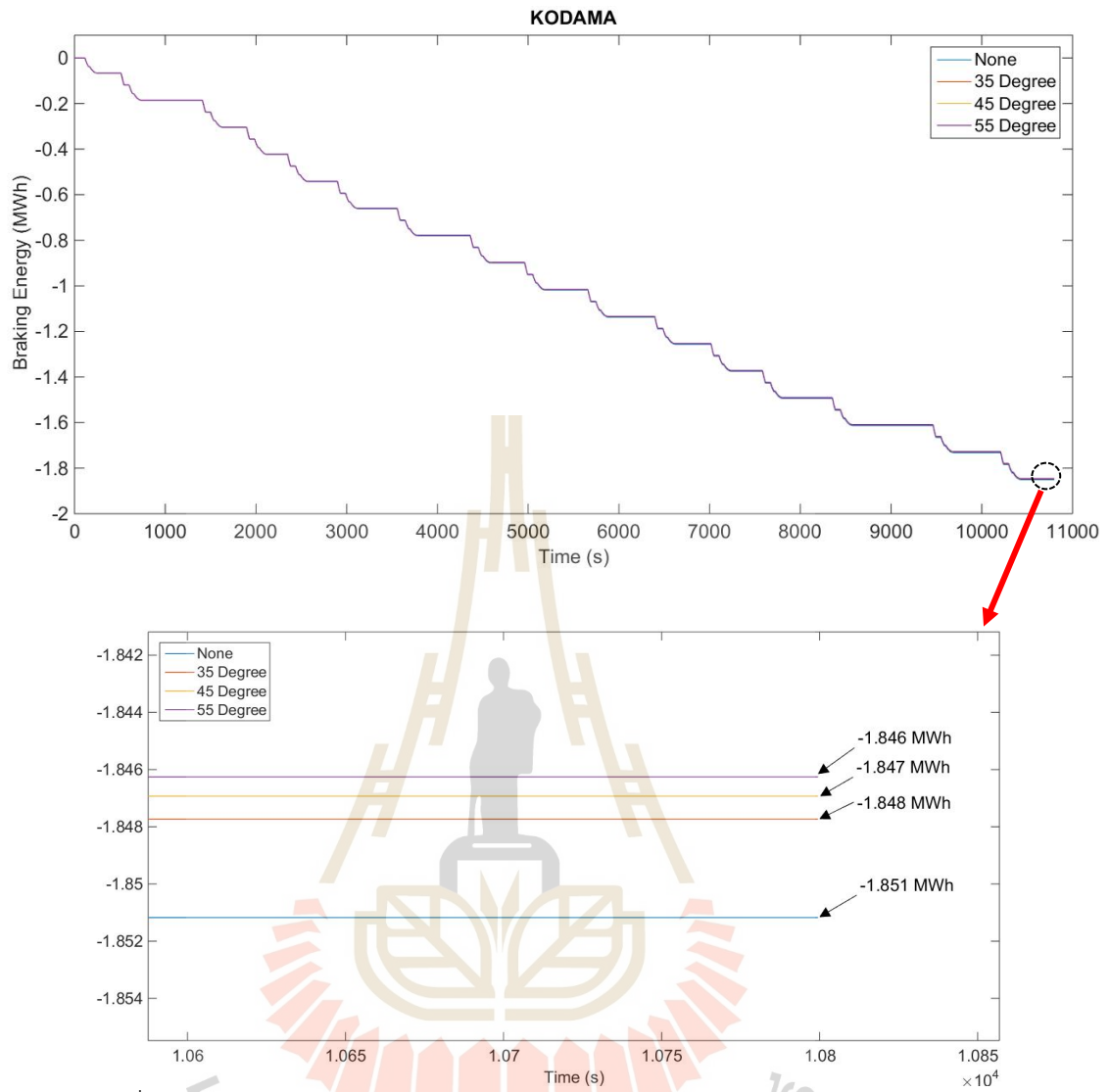


รูปที่ 5.23 พลังงานเบรกของขบวนรถไฟ Nozomi ในแต่ละมุมการทำงานเทียบเวลา





รูปที่ 5.24 พลังงานเบรกของขบวนรถไฟ Hikari ในแต่ละมุมการทำงานเทียบเวลา



รูปที่ 5.25 พลังงานเบรกของขบวนรถไฟ Kodama ในแต่ละมุมการทำงานเทียบเวลา

ตารางที่ 5.5 การเปรียบเทียบการลดพลังงานเบรกรวมแต่ละมุมการทำงานกับพลังงานเบรกที่ไม่มีการติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์

Aerodynamic Brake		Nozomi	Hikari	Kodama
None	Braking energy (MWh)	-0.5427	-1.494	-1.851
35 Degree	Braking energy (MWh)	-0.5417	-1.492	-1.848
	ลดลง (kWh)	-1.1	-2.8	-3.4
	%	0.18	0.13	0.16
45 Degree	Braking energy (MWh)	-0.5414	-1.491	-1.847
	ลดลง (kWh)	-1.3	-3.5	-4.2
	%	0.24	0.2	0.22
55 Degree	Braking energy (MWh)	-0.5412	-1.49	-1.846
	ลดลง (kWh)	-1.5	-4	-5
	%	0.28	0.27	0.27

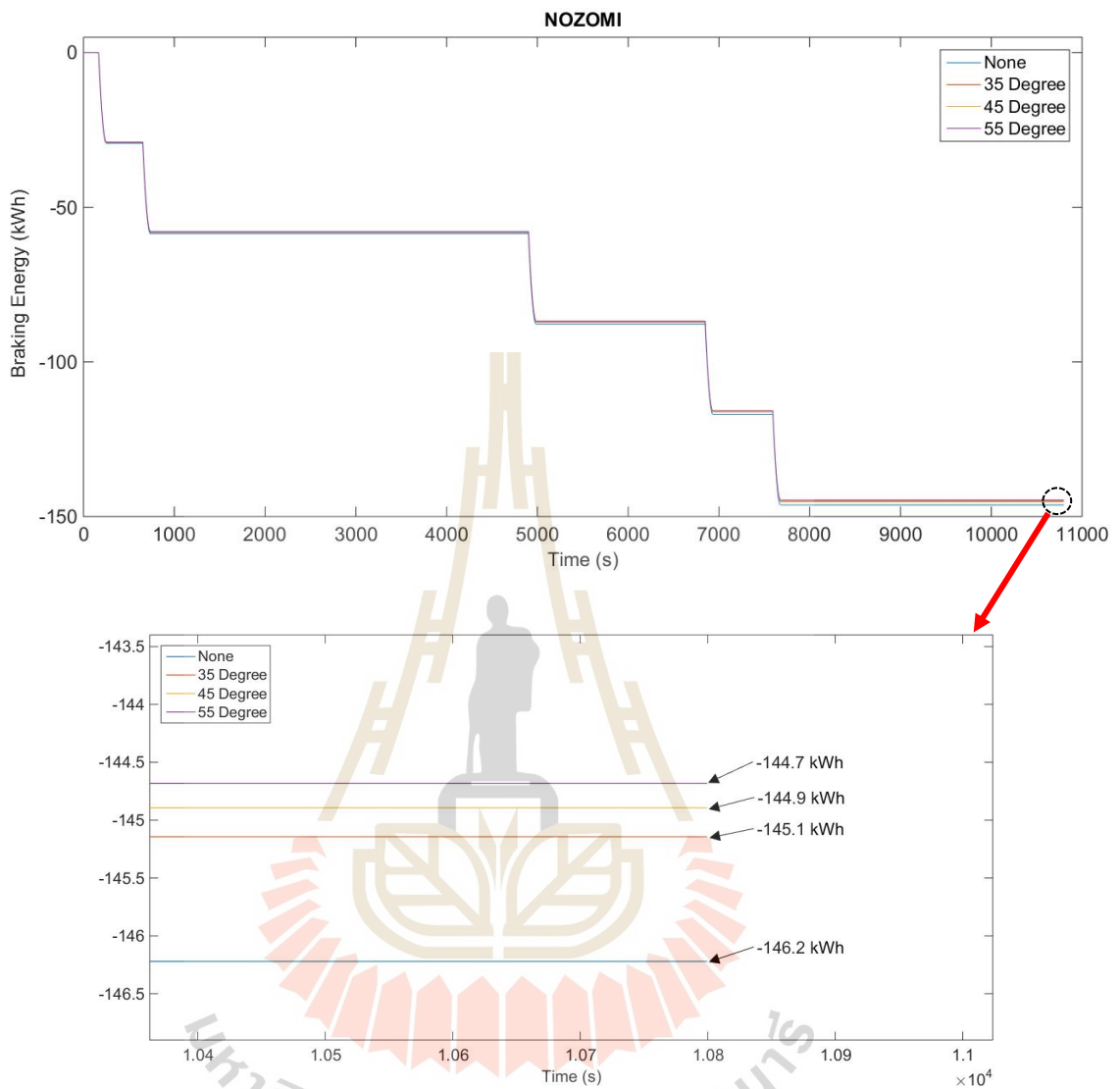
จากตารางที่ 5.5 การเปรียบเทียบการลดพลังงานเบรกรวมแต่ละมุมการทำงานกับพลังงานเบรกที่ไม่มีการติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์ พบว่า มุมการทำงานของเบรกอากาศพลศาสตร์ 35, 45 และ 55 องศาที่แตกต่างกันทำให้พลังงานในการเบรกลดลง ในแต่ละขบวนของรถไฟ Nozomi, Hikari และ Kodama จะใช้พลังงานในการเบรกไม่เท่ากันเนื่องจากแต่ละขบวนมีสถานีที่จอดแตกต่างกัน ขบวนที่จอดหลายสถานีจะใช้พลังงานในการเบรกมาก ขบวนที่จอดน้อยจะใช้พลังงานในการเบรกลดลงตามลำดับ โดยขบวนรถไฟ Nozomi จะมี 6 สถานี ขบวนรถไฟ Hikari จะมี 14 สถานี และขบวนรถไฟ Kodama จะมี 17 สถานี การจำลองเทียบระหว่างพลังงานเบรกทั้งหมดของรถไฟตอนที่ไม่มีเบรกอากาศพลศาสตร์เทียบกับมีการติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์ที่มุมการทำงาน 35, 45 และ 55 องศา กรณีที่ไม่มีการติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์ คือ กรณีปกติในการเคลื่อนที่ของรถไฟไว้อ้างอิงกับกรณีอื่น ๆ ซึ่งแต่ละขบวนจะใช้พลังงานในการเบรกไม่เท่ากัน โดยรถไฟ Nozomi จะใช้พลังงานในการเบรก -0.5427 MWh รถไฟ Hikari จะใช้พลังงานในการเบรก -1.494 MWh และรถไฟ Kodama จะใช้พลังงานในการเบรก -1.851 MWh กรณีติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์มุมการทำงานที่ 35° รถไฟ Nozomi จะใช้พลังงานในการเบรก -0.5417 MWh สามารถลดพลังงานเบรกได้ -1 kWh คิดเป็นการลดพลังงานเบรกได้ 0.18% รถไฟ Hikari จะใช้พลังงานในการเบรก -1.492 MWh สามารถลดพลังงานเบรกได้ -2.8 kWh คิดเป็นการลดพลังงานเบรกได้ 0.13% และรถไฟ Kodama จะใช้พลังงานในการเบรก -1.848 MWh สามารถลดพลังงานเบรกได้ -3.4 kWh คิดเป็นการลดพลังงานเบรกได้ 0.16% กรณีติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์มุมการทำงานที่ 45° รถไฟ Nozomi

จะใช้พลังงานในการเบรก -0.5414 MWh สามารถลดพลังงานเบรกได้ -1.3 kWh คิดเป็นการลดพลังงานเบรกได้ 0.24% รถไฟ Hikari จะใช้พลังงานในการเบรก -1.491 MWh สามารถลดพลังงานเบรกได้ -3.5 kWh คิดเป็นการลดพลังงานเบรกได้ 0.2% และรถไฟ Kodama จะใช้พลังงานในการเบรก -1.847 MWh สามารถลดพลังงานเบรกได้ -4.2 kWh คิดเป็นการลดพลังงานเบรกได้ 0.22% กรณีติดตั้งเบรกอากาศยานศาสตร์มุมการทำงานที่ 55° รถไฟ Nozomi จะใช้พลังงานในการเบรก -0.5412 MWh สามารถลดพลังงานเบรกได้ -1.5 kWh คิดเป็นการลดพลังงานเบรกได้ 0.28% รถไฟ Hikari จะใช้พลังงานในการเบรก -1.49 MWh สามารถลดพลังงานเบรกได้ -4 kWh คิดเป็นการลดพลังงานเบรกได้ 0.27% และรถไฟ Kodama จะใช้พลังงานในการเบรก -1.846 MWh สามารถลดพลังงานเบรกได้ -5 kWh คิดเป็นการลดพลังงานเบรกได้ 0.27%

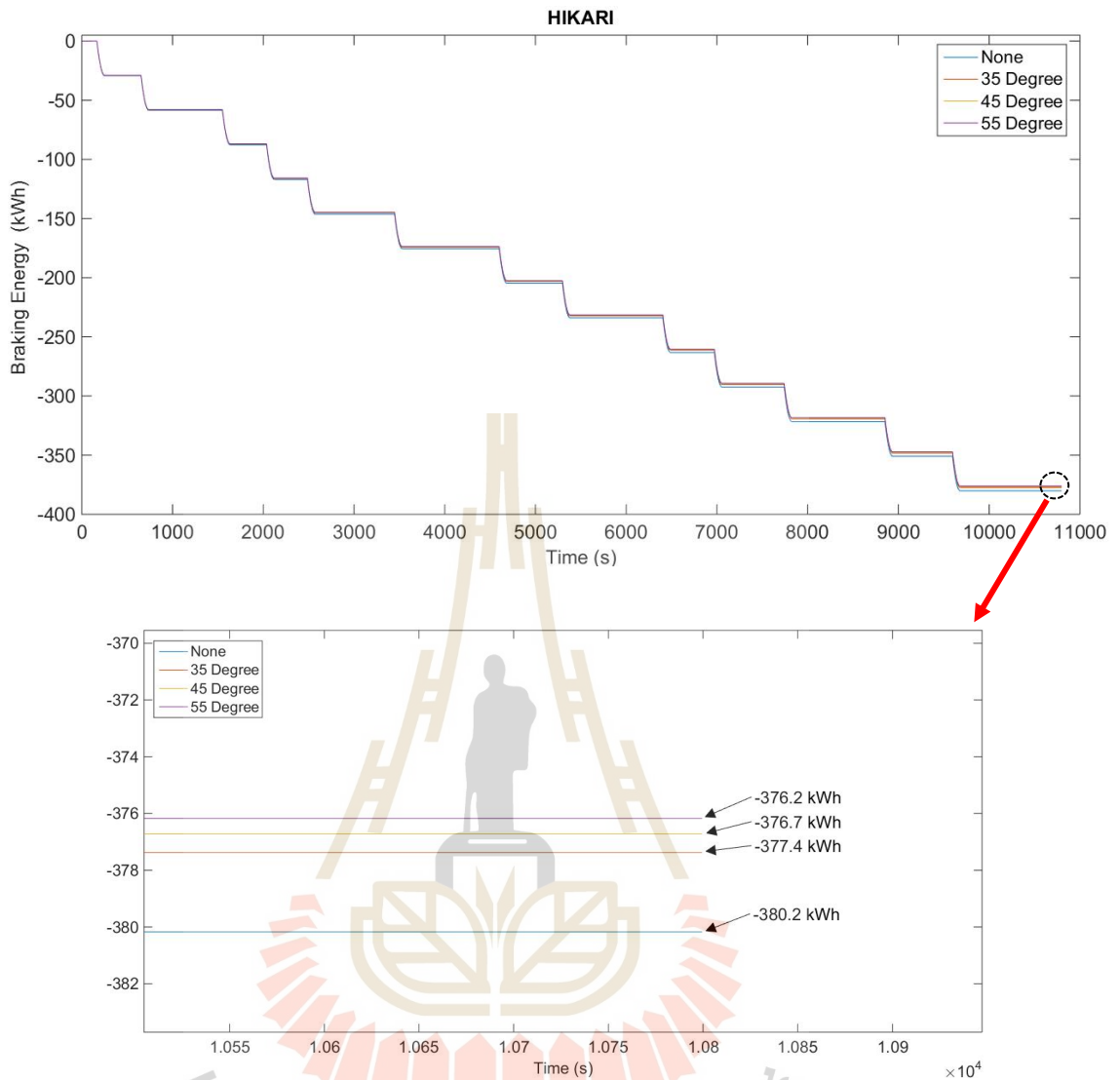
5.3.3 จำลองการเคลื่อนที่ของรถไฟความเร็วสูงเมื่อติดตั้งเบรกอากาศยานศาสตร์ เพื่อใช้ลดพลังงานในการเบรกของรถไฟในกรณีที่ความเร็วต่างกัน

จำลองการเคลื่อนที่ของรถไฟความเร็วสูงเมื่อติดตั้งเบรกอากาศยานศาสตร์มุมการทำงาน 35, 45 และ 55 องศาเพื่อใช้งานลดพลังงานในการเบรกของรถไฟในกรณีที่ความเร็วต่างกัน ทำการจำลองการใช้พลังงานในการเบรกของรถไฟโดยจะคิดเฉพาะการเบรกที่เริ่มเบรกความเร็วสุดท้ายก่อนถึงสถานีจนหยุดนิ่งของแต่ละขบวน เทียบระหว่างไม่มีการติดตั้งเบรกอากาศยานศาสตร์ และมีการติดตั้งเบรกอากาศยานศาสตร์ในมุมการทำงานต่าง ๆ เพื่อให้เห็นถึงความแตกต่างในการลดการใช้พลังงานเบรกของรถไฟเมื่อนำระบบเบรกอากาศยานศาสตร์มาใช้ควบคู่กับระบบเบรกของไฟมากขึ้นซึ่งมีทั้งเบรกทางไฟฟ้าและเบรกทางกล โดยที่ระยะทางในการเบรกของรถไฟแต่ละมุมการทำงานของเบรกอากาศยานศาสตร์จะเท่ากันและสอดคล้องตามระยะทางของสถานีที่กำหนด โดยการจำลองนี้ทำการจำลองมีกรณีในการเปรียบเทียบโดยจะเริ่มเบรกที่ความเร็ว 100 km/h ถึง 6.5 km/h มี 11 กรณี คือ ที่ความเร็ว 100, 90, 80, 70, 60, 50, 40, 30, 20, 10 และ 6.5 km/h เน้นศึกษาเฉพาะพลังงานเบรกในช่วงความเร็วสุดท้ายก่อนถึงสถานีจนหยุดนิ่งของแต่ละสถานีเนื่องจากเป็นช่วงที่ใช้เบรกอากาศยานศาสตร์ในมุมการทำงานต่าง ๆ เพื่อเปรียบเทียบพลังงานเบรกในมุมการทำงานต่าง ๆ ของเบรกอากาศยานศาสตร์ ซึ่งคาดการณ์ว่าจะเห็นค่าที่ได้ชัดเจนกว่าในการเปรียบเทียบกับพลังงานเบรกรวมของรถไฟ ดังรูปที่ 5.26 – 5.34 แสดงในกรณีความเร็ว 100, 90 และ 80 km/h ส่วนในกรณีความเร็ว 70 ถึง 6.5 km/h จะแสดงอยู่ในภาคผนวก ก ดังรูปที่ ก.1 - ก.24 และตารางการเปรียบเทียบการลดพลังงานเบรกที่ความเร็วต่างกันในแต่ละกรณี แต่ละมุมการทำงานกับพลังงานเบรกที่ไม่มีการติดตั้งเบรกอากาศยานศาสตร์

- กรณีที่ 1 ที่ความเร็ว 100 km/h

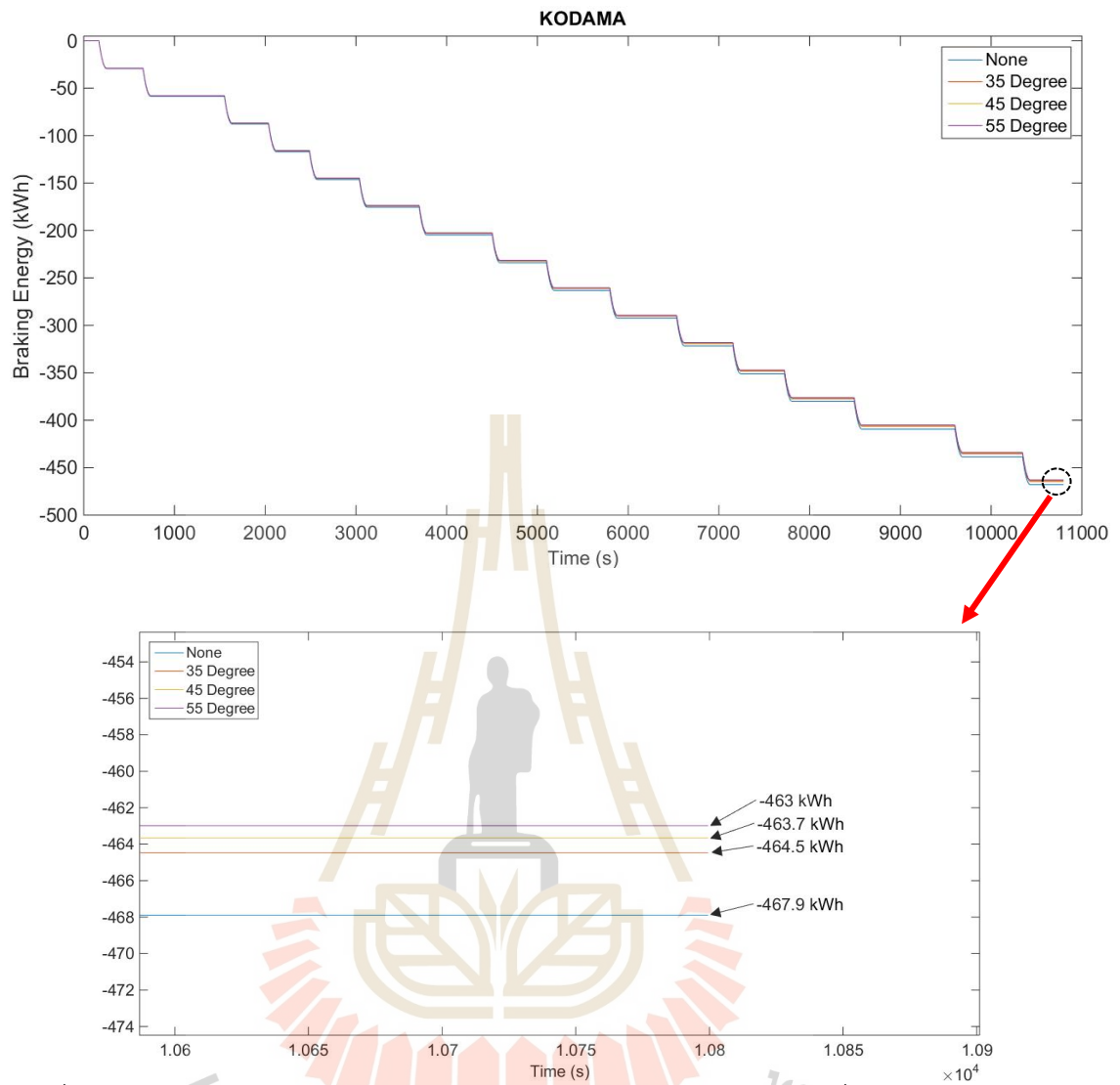


รูปที่ 5.26 พลังงานเบรกของรถไฟ Nozomi แต่ละมุมการทำงานเทียบเวลาที่ความเร็ว 100 km/h



รูปที่ 5.27 พลังงานเบรกของรถไฟ Hikari แต่ละมุมการทำงานเทียบเวลาที่ความเร็ว 100 km/h





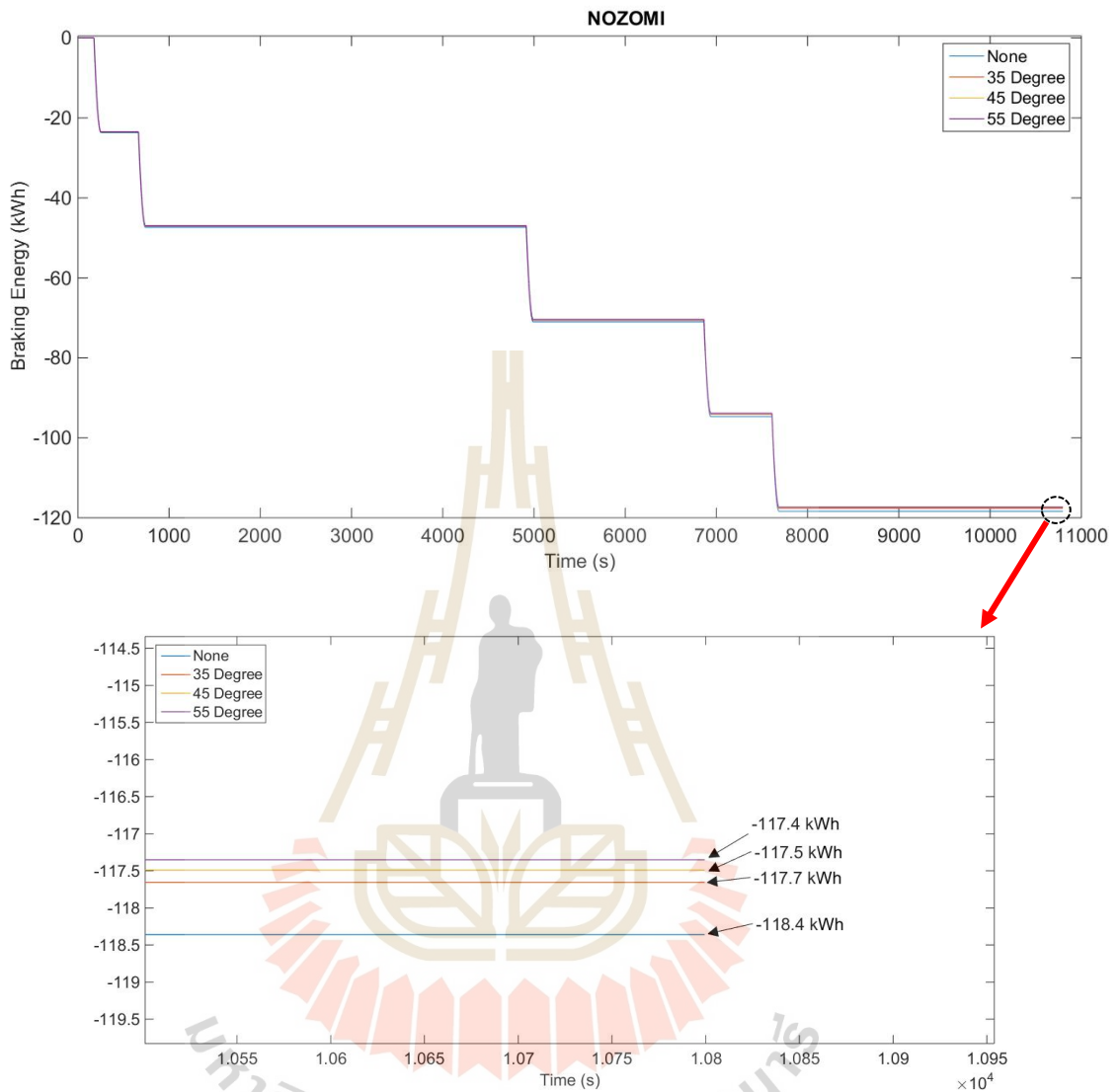
รูปที่ 5.28 พลังงานเบรกของรถไฟ Kodama แต่ละมุมการทำงานเทียบเวลาที่ความเร็ว 100 km/h

ตารางที่ 5.6 เปรียบเทียบการลดพลังงานเบรกเมื่อติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์ที่ความเร็ว 100 km/h

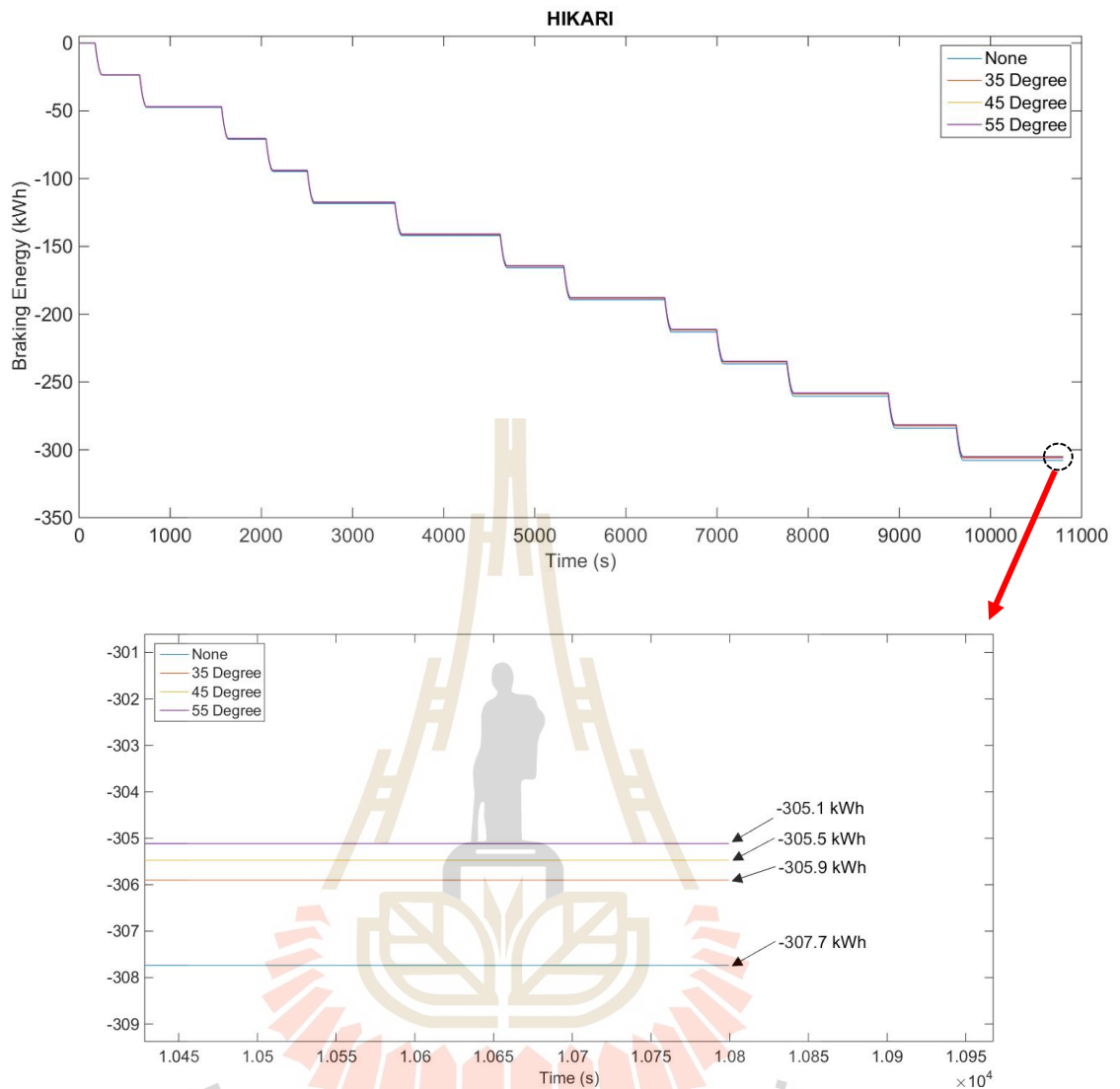
Aerodynamic Brake		Nozomi	Hikari	Kodama
None	Braking energy (kWh)	-146.2	-380.2	-467.9
35 Degree	Braking energy (kWh)	-145.1	-377.4	-464.5
	ลดลง (kWh)	-1.1	-2.8	-3.4
	%	0.75	0.74	0.73
45 Degree	Braking energy (kWh)	-144.9	-376.7	-463.3
	ลดลง (kWh)	-1.3	-3.5	-4.2
	%	0.89	0.92	0.9
55 Degree	Braking energy (kWh)	-144.7	-376.2	-463
	ลดลง (kWh)	-1.5	-4	-5
	%	1.03	1.05	1.05

จากตารางที่ 5.6 รถไฟ Nozomi จะใช้พลังงานในการเบรก -146.2 kWh รถไฟ Hikari จะใช้พลังงานในการเบรก -380 kWh และรถไฟ Kodama จะใช้พลังงานในการเบรก -467.9 kWh กรณีติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์มุมการทำงานที่ 35° รถไฟ Nozomi จะใช้พลังงานในการเบรก -145.1 kWh สามารถลดพลังงานเบรกได้ -1.1 kWh คิดเป็นการลดพลังงานเบรกได้ 0.75% รถไฟ Hikari จะใช้พลังงานในการเบรก -377.4 kWh สามารถลดพลังงานเบรกได้ -2.8 kWh คิดเป็นการลดพลังงานเบรกได้ 0.74% และรถไฟ Kodama จะใช้พลังงานในการเบรก -464.5 kWh สามารถลดพลังงานเบรกได้ -3.4 kWh คิดเป็นการลดพลังงานเบรกได้ 0.73% กรณีติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์มุมการทำงานที่ 45° รถไฟ Nozomi จะใช้พลังงานในการเบรก -144.9 kWh สามารถลดพลังงานเบรกได้ -1.3 kWh คิดเป็นการลดพลังงานเบรกได้ 0.89% รถไฟ Hikari จะใช้พลังงานในการเบรก -376.7 kWh สามารถลดพลังงานเบรกได้ -3.5 kWh คิดเป็นการลดพลังงานเบรกได้ 0.92% และรถไฟ Kodama จะใช้พลังงานในการเบรก -463.3 kWh สามารถลดพลังงานเบรกได้ -4.2 kWh คิดเป็นการลดพลังงานเบรกได้ 0.9% กรณีติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์มุมการทำงานที่ 55° รถไฟ Nozomi จะใช้พลังงานในการเบรก -144.7 kWh สามารถลดพลังงานเบรกได้ -1.5 kWh คิดเป็นการลดพลังงานเบรกได้ 1.03% รถไฟ Hikari จะใช้พลังงานในการเบรก -376.2 kWh สามารถลดพลังงานเบรกได้ -4 kWh คิดเป็นการลดพลังงานเบรกได้ 1.05% และรถไฟ Kodama จะใช้พลังงานในการเบรก -463 kWh สามารถลดพลังงานเบรกได้ -5 kWh คิดเป็นการลดพลังงานเบรกได้ 1.05%

- กรณีที่ 2 ที่ความเร็ว 90 km/h

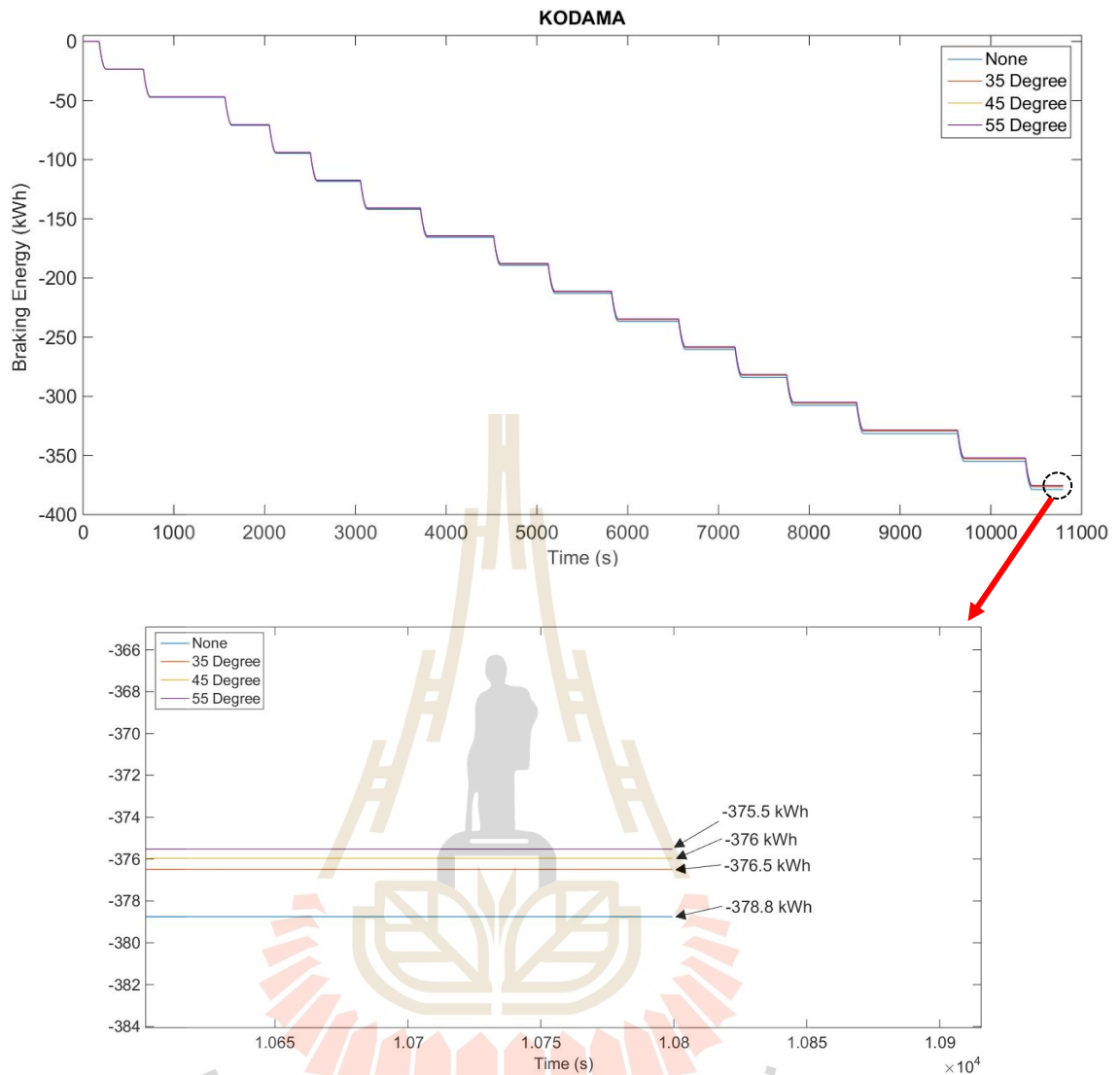


รูปที่ 5.29 พลังงานเบรกของรถไฟ Nozomi แต่ละมุมการทำงานเทียบเวลาที่ความเร็ว 90 km/h

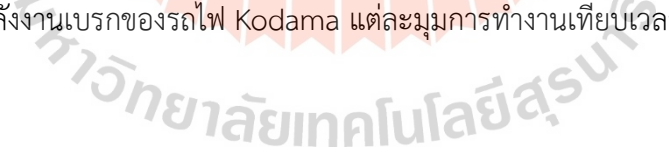


รูปที่ 5.30 พลังงานเบรกของรถไฟ Hikari แต่ละมุมการทำงานเทียบเวลาที่ความเร็ว 90 km/h





รูปที่ 5.31 พลังงานเบรกของรถไฟ Kodama แต่ละมุมการทำงานเทียบเวลาที่ความเร็ว 90 km/h

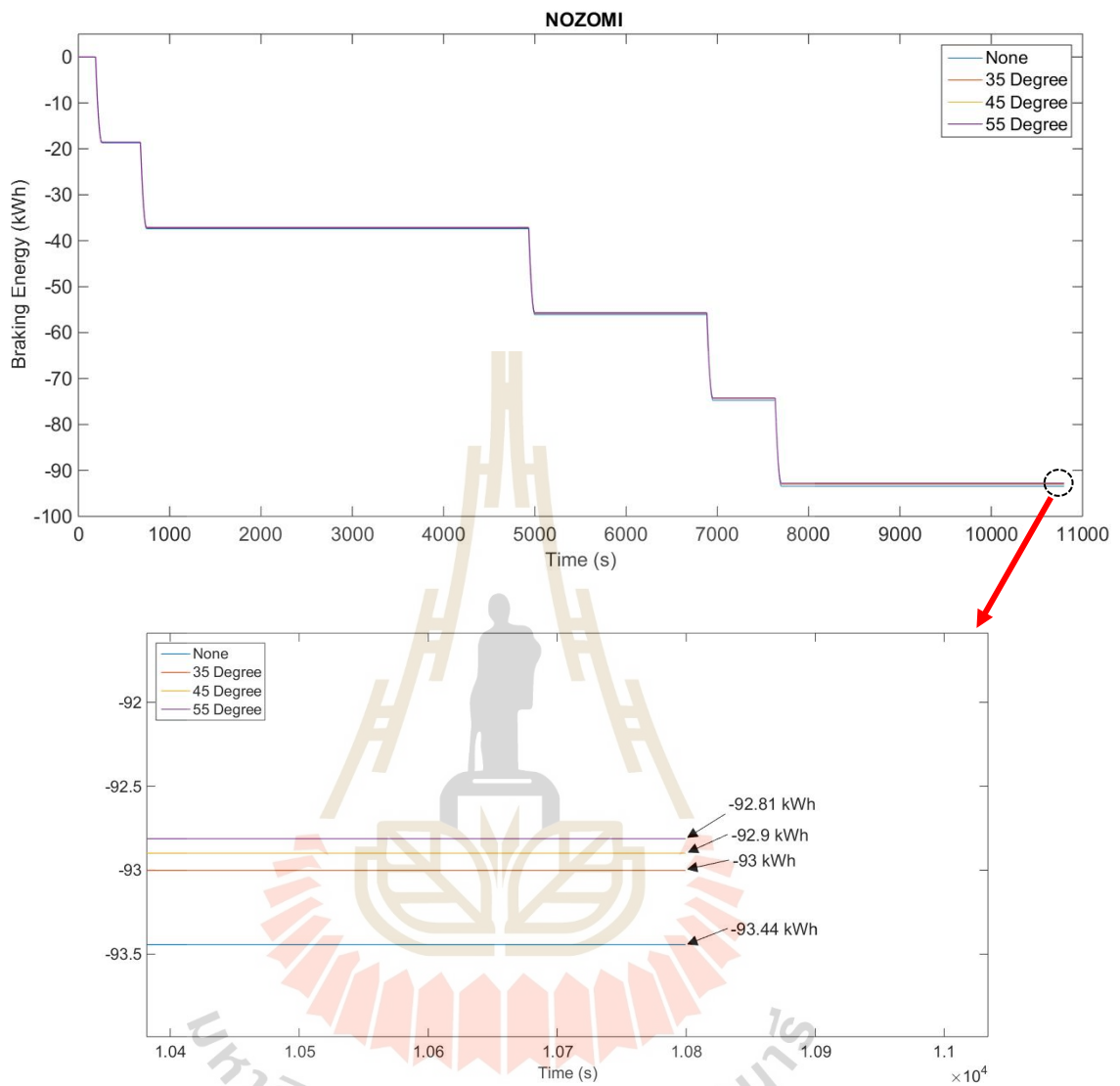


ตารางที่ 5.7 เปรียบเทียบการลดพลังงานเบรกที่ติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์ที่ความเร็ว 90 km/h

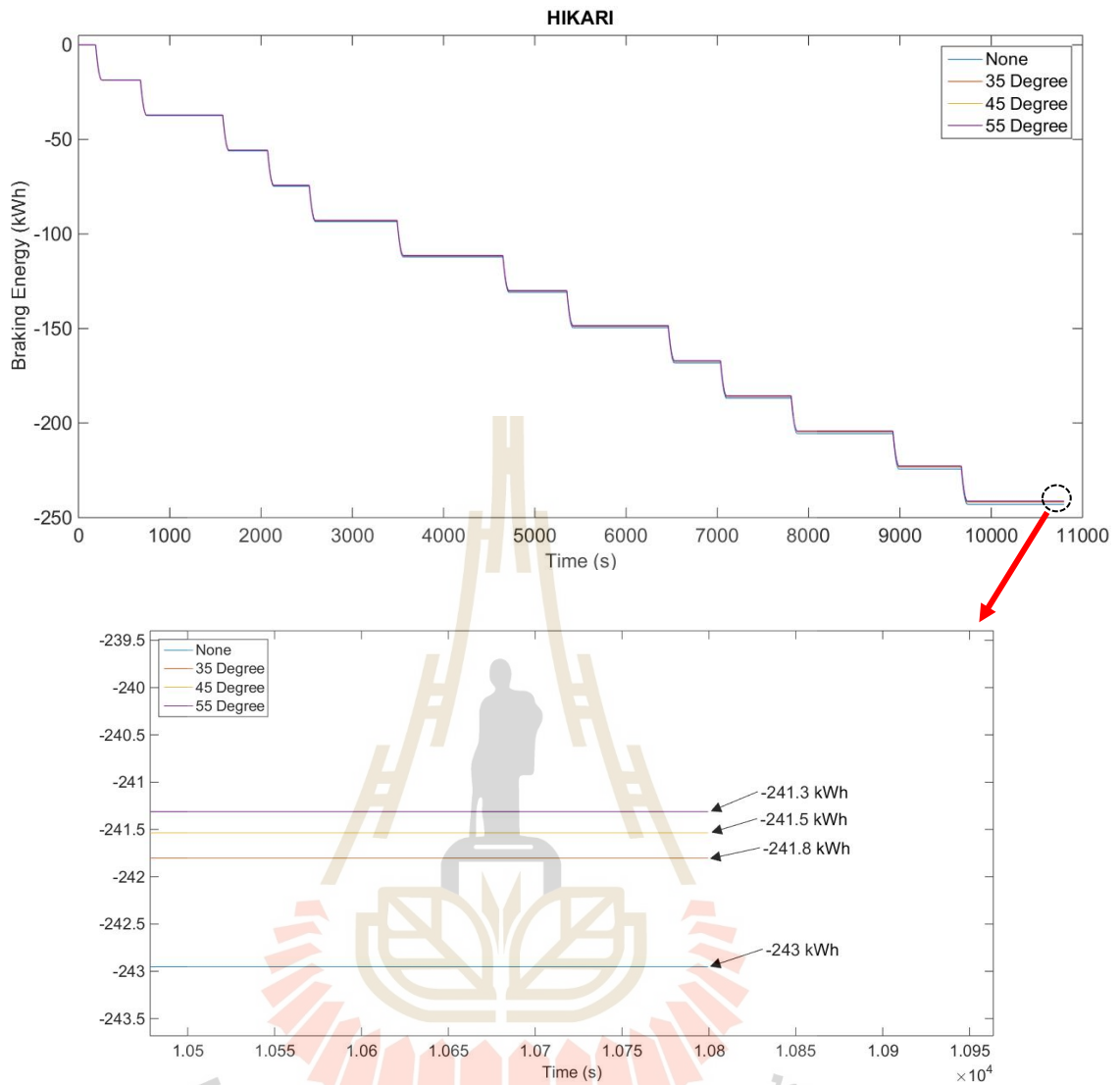
Aerodynamic Brake		Nozomi	Hikari	Kodama
None	Braking energy (kWh)	-118.4	-307.7	-378.8
35 Degree	Braking energy (kWh)	-117.7	-305.9	-376.5
	ลดลง (kWh)	-0.7	-1.8	-2.3
	%	0.6	0.58	0.61
45 Degree	Braking energy (kWh)	-117.5	-305.5	-376
	ลดลง (kWh)	-0.9	-2.2	-2.8
	%	0.76	0.71	0.74
55 Degree	Braking energy (kWh)	-117.4	-305.1	-375.5
	ลดลง (kWh)	-1	-2.6	-3.3
	%	0.84	0.85	0.87

จากตารางที่ 5.7 รถไฟ Nozomi จะใช้พลังงานในการเบรก -118.4 kWh รถไฟ Hikari จะใช้พลังงานในการเบรก -307.7 kWh และรถไฟ Kodama จะใช้พลังงานในการเบรก -378.8 kWh กรณีติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์มุมการทำงานที่ 35° รถไฟ Nozomi จะใช้พลังงานในการเบรก -117.7 kWh สามารถลดพลังงานเบรกได้ -0.7 kWh คิดเป็นการลดพลังงานเบรกได้ 0.6% รถไฟ Hikari จะใช้พลังงานในการเบรก -305.9 kWh สามารถลดพลังงานเบรกได้ -1.8 kWh คิดเป็นการลดพลังงานเบรกได้ 0.58% และรถไฟ Kodama จะใช้พลังงานในการเบรก -376.5 kWh สามารถลดพลังงานเบรกได้ -2.3 kWh คิดเป็นการลดพลังงานเบรกได้ 0.61% กรณีติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์มุมการทำงานที่ 45° รถไฟ Nozomi จะใช้พลังงานในการเบรก -117.5 kWh สามารถลดพลังงานเบรกได้ -0.9 kWh คิดเป็นการลดพลังงานเบรกได้ 0.76% รถไฟ Hikari จะใช้พลังงานในการเบรก -305.5 kWh สามารถลดพลังงานเบรกได้ -2.2 kWh คิดเป็นการลดพลังงานเบรกได้ 0.71% และรถไฟ Kodama จะใช้พลังงานในการเบรก -376 kWh สามารถลดพลังงานเบรกได้ -2.8 kWh คิดเป็นการลดพลังงานเบรกได้ 0.74% กรณีติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์มุมการทำงานที่ 55° รถไฟ Nozomi จะใช้พลังงานในการเบรก -117.4 kWh สามารถลดพลังงานเบรกได้ -1 kWh คิดเป็นการลดพลังงานเบรกได้ 0.84% รถไฟ Hikari จะใช้พลังงานในการเบรก -305.1 kWh สามารถลดพลังงานเบรกได้ -2.6 kWh คิดเป็นการลดพลังงานเบรกได้ 0.85% และรถไฟ Kodama จะใช้พลังงานในการเบรก -375.5 kWh สามารถลดพลังงานเบรกได้ -3.3 kWh คิดเป็นการลดพลังงานเบรกได้ 0.87%

- กรณีที่ 3 ที่ความเร็ว 80 km/h

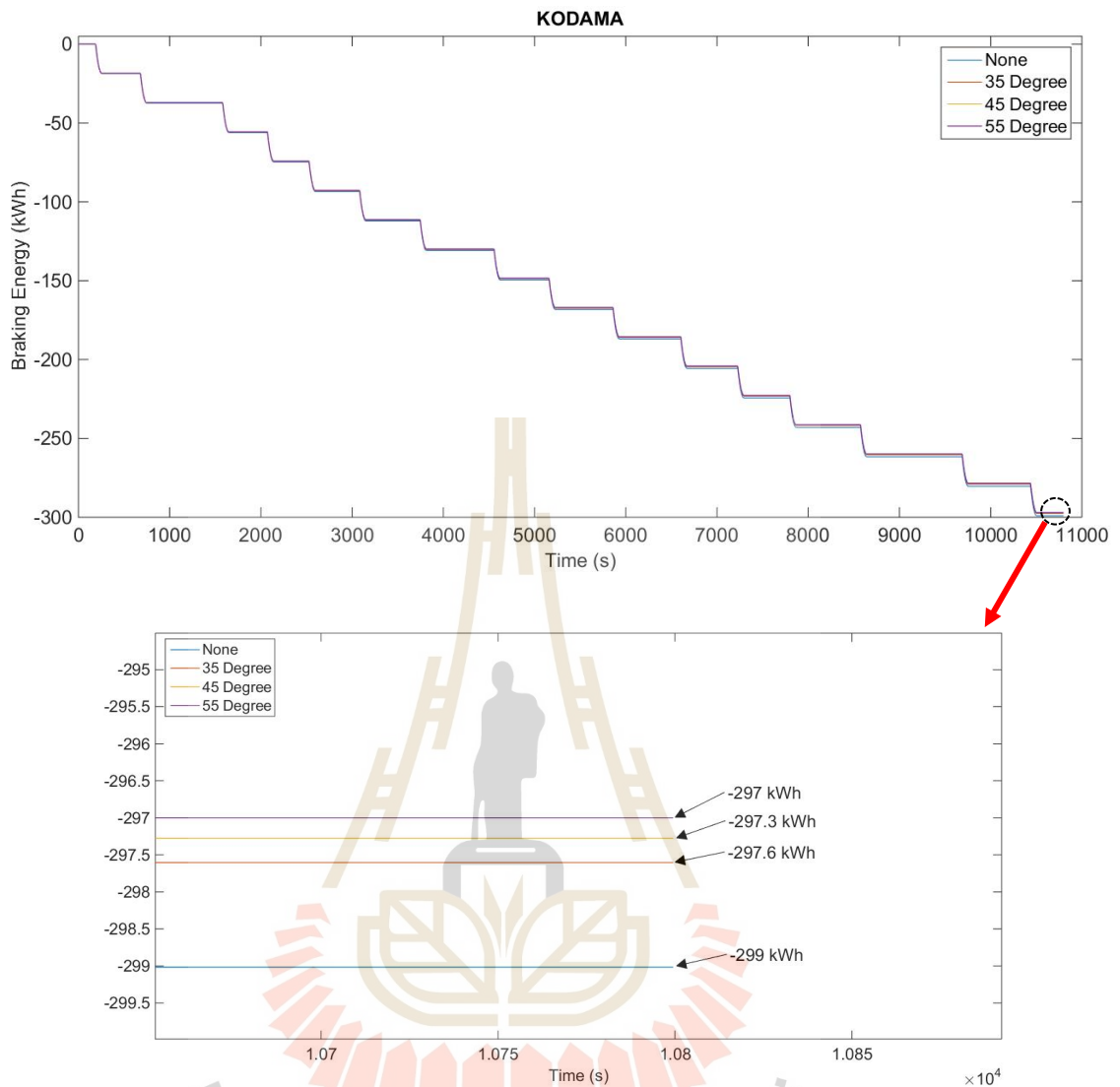


รูปที่ 5.32 พลังงานเบรกของรถไฟ Nozomi แต่ละมุมการทำงานเทียบเวลาที่ความเร็ว 80 km/h

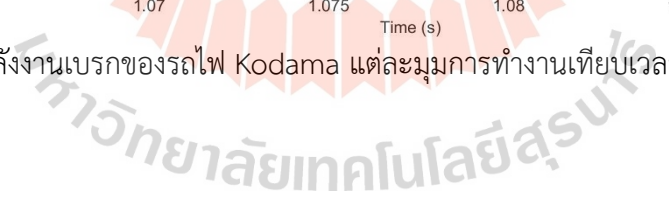


รูปที่ 5.33 พลังงานเบรกของรถไฟ Hikari แต่ละมุมการทำงานเทียบเวลาที่ความเร็ว 80 km/h





รูปที่ 5.34 พลังงานเบรกของรถไฟ Kodama แต่ละมุมการทำงานเทียบเวลาที่ความเร็ว 80 km/h



ตารางที่ 5.8 เปรียบเทียบการลดพลังงานเบรกที่ติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์ที่ความเร็ว 80 km/h

Aerodynamic Brake		Nozomi	Hikari	Kodama
None	Braking energy (kWh)	-93.44	-243	-299
35 Degree	Braking energy (kWh)	-93	-241.8	-297.6
	ลดลง (kWh)	-0.44	-1.2	-1.4
	%	0.47	0.5	0.47
45 Degree	Braking energy (kWh)	-92.9	-241.5	-297.3
	ลดลง (kWh)	-0.54	-1.5	-1.7
	%	0.58	0.62	0.57
55 Degree	Braking energy (kWh)	-92.81	-241.3	-297
	ลดลง (kWh)	-0.63	-1.7	-2
	%	0.67	0.7	0.67

จากตารางที่ 5.8 รถไฟ Nozomi จะใช้พลังงานในการเบรก -93.44 kWh รถไฟ Hikari จะใช้พลังงานในการเบรก -243 kWh และรถไฟ Kodama จะใช้พลังงานในการเบรก -299 kWh กรณีติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์มุมการทำงานที่ 35° รถไฟ Nozomi จะใช้พลังงานในการเบรก -93 kWh สามารถลดพลังงานเบรกได้ -0.44 kWh คิดเป็นการลดพลังงานเบรกได้ 0.47% รถไฟ Hikari จะใช้พลังงานในการเบรก -241.8 kWh สามารถลดพลังงานเบรกได้ -1.2 kWh คิดเป็นการลดพลังงานเบรกได้ 0.5% และรถไฟ Kodama จะใช้พลังงานในการเบรก -297.6 kWh สามารถลดพลังงานเบรกได้ -1.4 kWh คิดเป็นการลดพลังงานเบรกได้ 0.47% กรณีติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์มุมการทำงานที่ 45° รถไฟ Nozomi จะใช้พลังงานในการเบรก -92.9 kWh สามารถลดพลังงานเบรกได้ -0.54 kWh คิดเป็นการลดพลังงานเบรกได้ 0.54% รถไฟ Hikari จะใช้พลังงานในการเบรก -241.5 kWh สามารถลดพลังงานเบรกได้ -1.5 kWh คิดเป็นการลดพลังงานเบรกได้ 0.62% และรถไฟ Kodama จะใช้พลังงานในการเบรก -297.3 kWh สามารถลดพลังงานเบรกได้ -1.7 kWh คิดเป็นการลดพลังงานเบรกได้ 0.57% กรณีติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์มุมการทำงานที่ 55° รถไฟ Nozomi จะใช้พลังงานในการเบรก -92.81 kWh สามารถลดพลังงานเบรกได้ -0.63 kWh คิดเป็นการลดพลังงานเบรกได้ 0.67% รถไฟ Hikari จะใช้พลังงานในการเบรก -241.3 kWh สามารถลดพลังงานเบรกได้ -1.7 kWh คิดเป็นการลดพลังงานเบรกได้ 0.7% และรถไฟ Kodama จะใช้พลังงานในการเบรก -297 kWh สามารถลดพลังงานเบรกได้ -2 kWh คิดเป็นการลดพลังงานเบรกได้ 0.67%

- กรณีที่ 4 ที่ความเร็ว 70 km/h

ตารางที่ 5.9 เปรียบเทียบการลดพลังงานเบรกที่ติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์ที่ความเร็ว 70 km/h

Aerodynamic Brake		Nozomi	Hikari	Kodama
None	Braking energy (kWh)	-71.47	-185.8	-228.7
35 Degree	Braking energy (kWh)	-71.21	-185.1	-227.9
	ลดลง (kWh)	-0.26	-0.7	-0.8
	%	0.36	0.38	0.35
45 Degree	Braking energy (kWh)	-71.15	-185	-227.7
	ลดลง (kWh)	-0.32	-0.8	-1
	%	0.45	0.43	0.44
55 Degree	Braking energy (kWh)	-71.1	-184.9	-227.5
	ลดลง (kWh)	-0.37	-0.9	-1.2
	%	0.52	0.48	0.52

- กรณีที่ 5 ที่ความเร็ว 60 km/h

ตารางที่ 5.10 เปรียบเทียบการลดพลังงานเบรกที่ติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์ที่ความเร็ว 60 km/h

Aerodynamic Brake		Nozomi	Hikari	Kodama
None	Braking energy (kWh)	-52.43	-136.3	-167.8
35 Degree	Braking energy (kWh)	-52.29	-136	-167.3
	ลดลง (kWh)	-0.14	-0.3	-0.5
	%	0.27	0.22	0.3
45 Degree	Braking energy (kWh)	-52.26	-135.9	-167.2
	ลดลง (kWh)	-0.17	-0.4	-0.6
	%	0.32	0.3	0.36
55 Degree	Braking energy (kWh)	-52.23	-135.8	-167.1
	ลดลง (kWh)	-0.2	-0.5	-0.7
	%	0.38	0.37	0.42

- กรณีที่ 6 ที่ความเร็ว 50 km/h

ตารางที่ 5.11 เปรียบเทียบการลดพลังงานเบรกที่ติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์ที่ความเร็ว 50 km/h

Aerodynamic Brake		Nozomi	Hikari	Kodama
None	Braking energy (kWh)	-34.07	-88.58	-109.01
35 Degree	Braking energy (kWh)	-34	-88.41	-108.81
	ลดลง (kWh)	-0.07	-0.17	-0.2
	%	0.21	0.19	0.18
45 Degree	Braking energy (kWh)	-33.99	-88.37	-108.77
	ลดลง (kWh)	-0.08	-0.21	-0.24
	%	0.23	0.24	0.22
55 Degree	Braking energy (kWh)	-33.98	-88.34	-108.72
	ลดลง (kWh)	-0.09	-0.24	-0.29
	%	0.26	0.27	0.27

- กรณีที่ 7 ที่ความเร็ว 40 km/h

ตารางที่ 5.12 เปรียบเทียบการลดพลังงานเบรกที่ติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์ที่ความเร็ว 40 km/h

Aerodynamic Brake		Nozomi	Hikari	Kodama
None	Braking energy (kWh)	-21.74	-56.52	-69.56
35 Degree	Braking energy (kWh)	-21.71	-56.45	-69.48
	ลดลง (kWh)	-0.03	-0.07	-0.08
	%	0.14	0.12	0.12
45 Degree	Braking energy (kWh)	-21.706	-56.44	-69.46
	ลดลง (kWh)	-0.034	-0.08	-0.1
	%	0.16	0.14	0.14
55 Degree	Braking energy (kWh)	-21.7	-56.42	-69.44
	ลดลง (kWh)	-0.04	-0.1	-0.12
	%	0.18	0.18	0.17

- กรณีที่ 8 ที่ความเร็ว 30 km/h

ตารางที่ 5.13 เปรียบเทียบการลดพลังงานเบรกที่ติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์ที่ความเร็ว 30 km/h

Aerodynamic Brake		Nozomi	Hikari	Kodama
None	Braking energy (kWh)	-11.8	-30.68	-37.75
35 Degree	Braking energy (kWh)	-11.79	-30.655	-37.73
	ลดลง (kWh)	-0.01	-0.025	-0.02
	%	0.08	0.08	0.05
45 Degree	Braking energy (kWh)	-11.789	-30.65	-37.723
	ลดลง (kWh)	-0.011	-0.03	-0.027
	%	0.09	0.1	0.07
55 Degree	Braking energy (kWh)	-11.787	-30.647	-37.718
	ลดลง (kWh)	-0.013	-0.033	-0.032
	%	0.11	0.1	0.08

- กรณีที่ 9 ที่ความเร็ว 20 km/h

ตารางที่ 5.14 เปรียบเทียบการลดพลังงานเบรกที่ติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์ที่ความเร็ว 20 km/h

Aerodynamic Brake		Nozomi	Hikari	Kodama
None	Braking energy (kWh)	-4.759	-12.372	-15.228
35 Degree	Braking energy (kWh)	-4.757	-12.368	-15.224
	ลดลง (kWh)	-0.002	-0.004	-0.004
	%	0.04	0.03	0.03
45 Degree	Braking energy (kWh)	-4.7568	-12.367	-15.222
	ลดลง (kWh)	-0.0022	-0.005	-0.006
	%	0.05	0.04	0.04
55 Degree	Braking energy (kWh)	-4.7565	-12.366	-15.221
	ลดลง (kWh)	-0.0025	-0.006	-0.007
	%	0.05	0.05	0.05

- กรณีที่ 10 ที่ความเร็ว 10 km/h

ตารางที่ 5.15 เปรียบเทียบการลดพลังงานเบรกที่ติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์ที่ความเร็ว 10 km/h

Aerodynamic Brake		Nozomi	Hikari	Kodama
None	Braking energy (Wh)	-922.9	-2454.06	-3020.38
35 Degree	Braking energy (Wh)	-922.82	-2453.85	-3020.12
	ลดลง (Wh)	-0.08	-0.21	-0.26
	%	0.01	0.01	0.01
45 Degree	Braking energy (Wh)	-922.79	-2453.8	-3020.08
	ลดลง (Wh)	-0.11	-0.26	-0.3
	%	0.01	0.01	0.01
55 Degree	Braking energy (Wh)	-922.77	-2453.77	-3020.02
	ลดลง (Wh)	-0.13	-0.29	-0.36
	%	0.01	0.01	0.01

- กรณีที่ 11 ที่ความเร็ว 6.5 km/h

ตารางที่ 5.16 เปรียบเทียบการลดพลังงานเบรกที่ติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์ที่ความเร็ว 6.5 km/h

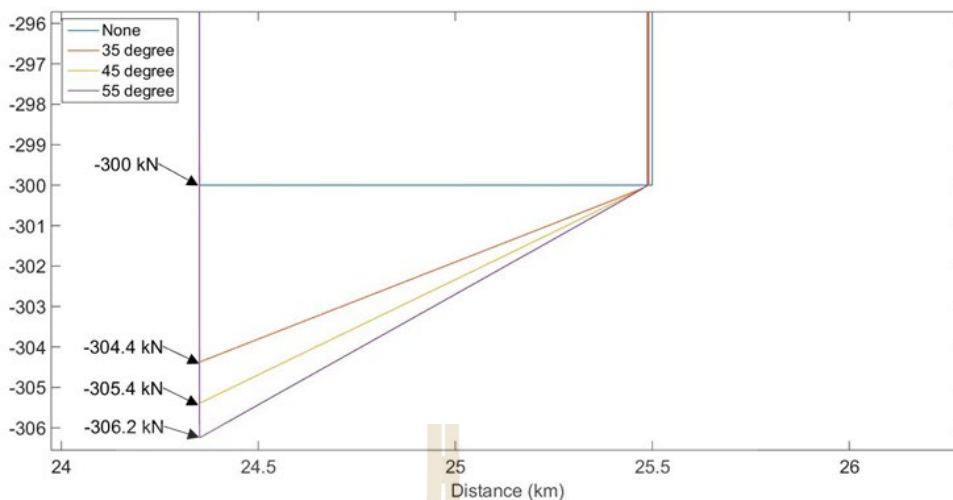
Aerodynamic Brake		Nozomi	Hikari	Kodama
None	Braking energy (Wh)	-319.86	-831.64	-1023.56
35 Degree	Braking energy (Wh)	-319.85	-831.62	-1023.52
	ลดลง (Wh)	-0.01	-0.02	-0.04
	%	0.003	0.002	0.004
45 Degree	Braking energy (Wh)	-319.846	-831.61	-1023.51
	ลดลง (Wh)	-0.014	-0.03	-0.05
	%	0.004	0.004	0.005
55 Degree	Braking energy (Wh)	-319.845	-831.6	-1023.5
	ลดลง (Wh)	-0.015	-0.04	-0.06
	%	0.005	0.005	0.006

จากตารางที่ 5.9 - 5.16 จะแสดงค่าพลังงานในการเบรกของรถไฟแต่ละขบวนที่ติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์แต่ละมุมการทำงาน ว่าสามารถลดพลังงานในการเบรกได้และคิดเป็นกี่

เปอร์เซ็นต์ในการลดพลังงานในการเบรก โดยจะคิดเฉพาะการเบรกที่เริ่มเบรกความเร็วสุดท้ายก่อนถึงสถานีจนหยุดนิ่งของแต่ละขบวน ตั้งแต่ความเร็ว 100 ถึง 6.5 km/h ซึ่งคาดการณ์ว่าจะเห็นค่าที่ได้ชัดเจนกว่าในการเปรียบเทียบกับพลังงานเบรกของรถไฟ โดยผลที่ได้จากการจำลองแสดงให้เห็นว่าความเร็วของรถไฟในการเบรกมีผลอย่างมากกับพลังงานในการเบรกที่ลดลง ซึ่งเริ่มจากกรณีแรกที่มีความเร็ว 100 km/h จะเห็นว่าใช้พลังงานในการเบรกมากที่สุด และเมื่อติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์ที่มุมการทำงานต่าง ๆ สามารถลดพลังงานในการเบรกได้มากที่สุดที่ -4.9 kWh คิดเป็นการลดพลังงานเบรกได้ 1.05% และความเร็วต่าง ๆ ที่ลดลงมาจะแสดงค่าลดพลังงานในการเบรก ดังตารางที่ 5.7 – 5.16 ซึ่งจากการจำลองเมื่อความเร็วสูงขึ้นจะได้ค่าพลังงานการเบรกมากขึ้น ลดพลังงานการเบรกมากขึ้น และเมื่อความเร็วลดลงตามกรณีอื่น ๆ จะเห็นว่าจะได้พลังงานในการเบรกลดลง ลดพลังงานในการเบรกลดลงตามความเร็วที่ลดลง แสดงให้เห็นว่าความเร็วในการเบรกของรถไฟมีผลแปรผันตรงกับค่าพลังงานในการเบรก และการลดพลังงานในการเบรกของรถไฟที่ความเร็วสูง

5.4 เปรียบเทียบการจำลองการเคลื่อนที่ของรถไฟความเร็วสูงเมื่อติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์ที่มุมการทำงาน 35, 45 และ 55 องศา กับโปรแกรม SOLIDWORKS

ในหัวข้อนี้ทำการเปรียบเทียบการจำลองแรงต้านอากาศที่เพิ่มขึ้นในการเคลื่อนที่ของรถไฟความเร็วสูงเมื่อติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์ที่มุมการทำงาน 35, 45 และ 55 องศา ที่จำลองในโปรแกรม MATLAB และโปรแกรม SOLIDWORKS เพื่อเปรียบเทียบค่าแรงต้านอากาศว่ามีค่าความใกล้เคียงกัน สามารถนำมาใช้วิเคราะห์ผล และเปรียบเทียบค่ากันได้ของทั้งสองโปรแกรม ค่าแตกต่างระหว่างโปรแกรมทั้งสองว่ามีค่าความผิดพลาด (% Error) ที่ใกล้เคียงกัน และเป็นค่าที่สามารถยอมรับได้ ในการจำลองในโปรแกรม MATLAB เป็นการจำลองที่ทำการจำลองในบทที่ 5 โดยทำการจำลองดูค่าแรงต้านอากาศที่เพิ่มขึ้นเมื่อติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์ที่มุมการทำงานต่าง ๆ โดยจะนำแค่ค่าแรงต้านอากาศที่เพิ่มขึ้นจากแผ่นเบรกมุมการทำงานต่าง ๆ มาใช้เปรียบเทียบ ดังรูปที่ 5.35 มีกรณีในการเปรียบเทียบโดยจะเริ่มที่ความเร็ว 100 km/h ถึง 6.5 km/h มี 11 กรณี คือ ที่ความเร็ว 100, 90, 80, 70, 60, 50, 40, 30, 20, 10 และ 6.5 km/h ส่วนในกรณีความเร็ว 90 ถึง 6.5 km/h จะแสดงอยู่ในภาคผนวก ก ดังรูปที่ ก.25 - ก.34 ในการจำลองในโปรแกรม SOLIDWORKS เป็นการจำลองที่ทำการจำลองในบทที่ 4 ของวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ใช้โปรแกรม SOLIDWORKS ในการจำลองและวิเคราะห์การไหลของอากาศ ซึ่งสามารถหาค่าแรงต้านอากาศเมื่อติดตั้งแผ่นเบรกอากาศพลศาสตร์ของการจำลองรถไฟความเร็วสูงที่ความเร็วต่าง ๆ ได้ นำมาเปรียบเทียบกับโปรแกรม MATLAB โดยตารางเปรียบเทียบที่จำลองในโปรแกรม MATLAB และโปรแกรม SOLIDWORKS จะแบ่งเป็นมุมการทำงาน 35, 45 และ 55 องศา ตามลำดับ ดังตารางที่ 5.17 – 5.19



รูปที่ 5.35 แรงต้านอากาศของรถไฟเทียบกับระยะทางที่ความเร็ว 100 km/h

ตารางที่ 5.17 เปรียบเทียบแรงต้านอากาศเมื่อติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์ที่มุมการทำงาน 35 ในจำลองในโปรแกรม SOLIDWORKS FLOW SIMULATION และโปรแกรม MATLAB

ความเร็ว (km/h)	แรงต้านอากาศของแผ่นเบรกอากาศพลศาสตร์ (N)		
	SOLIDWORKS	MATLAB	% Error
6.5	17.93	18.48	3.09
10	42.49	43.74	2.93
20	170.56	174.94	2.57
30	384.74	393.62	2.31
40	683.94	699.76	2.31
50	1070.25	1093.38	2.16
60	1539.46	1574.47	2.27
70	2097.13	2143.02	2.19
80	2745.82	2799.05	1.94
90	3487.04	3542.55	1.59
100	4310.41	4373.52	1.46

ตารางที่ 5.18 เปรียบเทียบแรงต้านอากาศเมื่อติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์ที่มุมการทำงาน 45 ใน
จำลองในโปรแกรม SOLIDWORK FLOW SIMULATION และโปรแกรม MATLAB

ความเร็ว (km/h)	แรงต้านอากาศของแผ่นเบรกอากาศพลศาสตร์ (N)		
	SOLIDWORKS	MATLAB	% Error
6.5	22.14	22.78	2.87
10	52.50	53.92	2.69
20	210.99	215.67	2.22
30	476.31	485.25	1.88
40	849.33	862.67	1.57
50	1330.3	1347.92	1.32
60	1921.54	1941.01	1.01
70	2614.94	2641.93	0.91
80	3437.40	3450.68	0.39
90	4351.44	4367.27	0.36
100	5387.03	5391.69	0.09

จากตารางที่ 5.17 – 5.19 แสดงค่าแรงต้านอากาศเมื่อติดตั้งแผ่นเบรกอากาศพลศาสตร์ของการจำลองรถไฟความเร็วสูงที่ความเร็วต่าง ๆ โดยตารางเปรียบเทียบที่จำลองในโปรแกรม MATLAB และโปรแกรม SOLIDWORKS จะแบ่งเป็นมุมการทำงาน 35, 45 และ 55 องศา ตามลำดับ จะแสดงค่าความผิดพลาด (% Error) โดยใช้โปรแกรม SOLIDWORKS เป็นตัวตั้งในการคิดค่าความผิดพลาด เพราะเป็นโปรแกรมที่ได้รับการพัฒนาให้เป็นโปรแกรมสำเร็จรูปเชิงพาณิชย์ ใช้อย่างแพร่หลายและมีความน่าเชื่อถือสูง ใช้คอมพิวเตอร์ในการวิเคราะห์และแสดงผลของผลเฉลยที่ได้ในรูปแบบต่าง ๆ ตามต้องการ ในส่วนของโปรแกรม MATLAB ในการจำลองค่าแรงต้านอากาศจะมาจากสูตรการคำนวณที่ได้วิเคราะห์จากสมการการเคลื่อนที่ของรถไฟความเร็วสูง นำค่าที่ได้จากทั้งสองโปรแกรมมาเปรียบเทียบหาค่าความผิดพลาด โดยเห็นว่าค่าแรงต้านอากาศทั้งสองโปรแกรมมีค่าใกล้เคียงกัน มีค่าความผิดพลาดมากที่สุด 3.09% ที่ความเร็ว 6.5 km/h ซึ่งจากการวิเคราะห์จะเห็นว่าที่ความเร็วต่ำจะมีค่าความผิดพลาดมากเนื่องจากค่าแรงต้านอากาศที่น้อยลงทำให้มีค่าความผิดพลาดที่เปรียบเทียบจากทั้งสองโปรแกรมมากขึ้น เมื่อสรุปแล้วค่าแรงต้านอากาศ ค่าความผิดพลาดที่ความเร็วต่าง ๆ ของมุมการทำงาน 35, 45 และ 55 องศา ตามลำดับ ทั้งสองโปรแกรมมีค่าใกล้เคียงกันและสามารถใช้ในการวิเคราะห์แรงต้านอากาศของแผ่นเบรกอากาศพลศาสตร์ร่วมกันได้

ตารางที่ 5.19 เปรียบเทียบแรงต้านอากาศเมื่อติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์ที่มุมการทำงาน 55 ในจำลองในโปรแกรม SOLIDWORKS FLOW SIMULATION และโปรแกรม MATLAB

ความเร็ว (km/h)	แรงต้านอากาศของแผ่นเบรกอากาศพลศาสตร์ (N)		
	SOLIDWORKS	MATLAB	% Error
6.5	25.6	26.39	3.09
10	60.62	62.46	3.04
20	243.07	249.84	2.79
30	554.13	562.14	1.45
40	975.29	999.37	2.47
50	1524.87	1561.51	2.4
60	2200.07	2248.57	2.2
70	2990.85	3060.56	2.33
80	3907.63	3997.46	2.3
90	4953.73	5059.29	2.13
100	6179.75	6246.03	1.07

5.5 สรุป

การจำลองการเคลื่อนที่ของรถไฟความเร็วสูงเมื่อติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์ที่มุมการทำงาน 35, 45 และ 55 องศา ในกรณีเบรกฉุกเฉิน คือ การลดระยะทางในการเบรกโดยติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์สามารถลดระยะทางเบรกมากที่สุดได้ 12.513 เมตร ในกรณีลดพลังงานในการเบรกของรถไฟที่ความเร็วเริ่มเบรกต่างกันโดยนำแรงต้านอากาศที่ได้เพิ่มจากการติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์ไปลดพลังงานในการเบรก แบ่งเป็น 11 กรณี คือ 100, 90, 80, 70, 60, 50, 40, 30, 20, 10 และ 6.5 km/h ที่ความเร็ว 100 km/h สามารถลดพลังงานในการเบรกได้มากที่สุดที่ 1.05% และการเปรียบเทียบการจำลองแรงต้านอากาศเมื่อติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์ในโปรแกรม MATLAB และโปรแกรม SOLIDWORKS ที่ความเร็วต่าง ๆ มีค่าใกล้เคียงกัน มีค่าความผิดพลาดมากที่สุดอยู่ที่ 3.09%

บทที่ 6

สรุปผล และข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการดำเนินงาน

วิทยานิพนธ์เล่มนี้นำเสนอการลดระยะเบรกและพลังงานในการเบรกของรถไฟความเร็วสูง 3 ขบวน คือ รถไฟ Tokaido Shinkansen (Series N700) ได้แก่ Nozomi, Hikari และ Kodama เป็นกรณีศึกษา ด้วยการทำการจำลองติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์ การจำลองโมเดลและอุปกรณ์ที่ติดตั้งบนรถไฟด้วยโปรแกรม SOLIDWORKS สามารถใช้วิเคราะห์พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ ได้เริ่มต้นด้วยการออกแบบโมเดลของรถไฟความเร็วสูงชินคันเซ็น Series N700 คือ หัวรถไฟ ตู้ขบวน แหนบรับไฟ เสาไฟ และการออกแบบเบรกอากาศพลศาสตร์เป็น 3 กรณี คือ มุมการทำงาน 35, 45, และ 55 องศา โดยการออกแบบจะคำนึงถึงพิกัดเขตโครงสร้างของรถไฟ เพื่อให้แน่ใจว่าสามารถลอดผ่านอุโมงค์และใต้สะพานได้อย่างปลอดภัยและหลีกเลี่ยงอาคารและโครงสร้างตามข้างทาง ซึ่งได้ศึกษาจำลองการไหลของอากาศ วิเคราะห์การไหลของอากาศ ทำให้ทราบค่าแรงต้านอากาศที่กระทำกับผิวของโมเดลรถไฟ วิเคราะห์ค่าความเค้นของรถไฟและแผ่นเบรก ทำให้ทราบความแข็งแรงของตัวโมเดลโดยที่มีแรงจากการไหลของอากาศมาปะทะกับตัวผิวของโมเดล วิเคราะห์ค่าความปลอดภัยของรถไฟและแผ่นเบรก เพื่อป้องกันไม่ให้แรงหรือกำลังต่าง ๆ ที่มากระทำกับชิ้นงานโมเดลมีมากเกินไป กำลังของชิ้นงานจะรับได้ วิเคราะห์ผลการเสียรูปของรถไฟ แผ่นเบรก และเสาไฟ เพื่อทราบการเสียรูปของชิ้นงาน การขยับของชิ้นงาน

จำลองผลการเคลื่อนที่ของรถไฟและคำนวณค่าต่าง ๆ โดยใช้โปรแกรม MATLAB การจำลองการเคลื่อนที่ของรถไฟความเร็วสูงเมื่อติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์ที่มุมการทำงาน 35, 45 และ 55 องศา ในกรณีเบรกฉุกเฉิน คือ การลดระยะทางในการเบรกโดยติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์สามารถลดระยะทางเบรกมากที่สุดได้ 12.513 เมตร ในกรณีลดพลังงานในการเบรกของรถไฟที่ความเร็วเริ่มเบรกต่างกันโดยนำแรงต้านอากาศที่ได้เพิ่มจากการติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์ ไปลดพลังงานในการเบรก แบ่งเป็น 11 กรณี คือ 100, 90, 80, 70, 60, 50, 40, 30, 20, 10 และ 6.5 km/h ที่ความเร็ว 100 km/h สามารถลดพลังงานในการเบรกได้มากที่สุดที่ 1.05% และการเปรียบเทียบการจำลองแรงต้านอากาศเมื่อติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์ในโปรแกรม MATLAB และโปรแกรม SOLIDWORKS ที่ความเร็วต่าง ๆ มีค่าใกล้เคียงกัน มีค่าความผิดพลาดมากที่สุดอยู่ที่ 3.09%

6.2 ข้อเสนอแนะ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้มีการจำลองโมเดลของรถไฟความเร็วสูงชินคันเซ็น Series N700 เพื่อออกแบบเบรกอากาศพลศาสตร์โดยต้องคำนึงถึงขนาดและมุมการทำงานเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุดเหมาะสม และขนาดความสูงของเบรกอากาศพลศาสตร์ต้องไม่เกินพิกัดเขตโครงสร้าง ซึ่งแต่ละประเภทรุ่นของรถไฟจะมีพิกัดโครงสร้างที่แตกต่างกัน การจำลองการเคลื่อนที่ของรถไฟความเร็วสูงในการเบรกของรถไฟมีหลายค่าความเร็ว ซึ่งจะให้ผลลัพธ์ที่ต่างกัน ตามจุดประสงค์ของการศึกษา การเลือกความเร็วในการเบรกให้เหมาะสมของแต่ละชนิดของรถไฟความเร็วสูงเพื่อหาผลลัพธ์ที่ดีมากขึ้น เพราะความเร็วในการเบรกของรถไฟมีผลอย่างมากในการศึกษาเกี่ยวกับการติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์บนรถไฟความเร็วสูง



รายการอ้างอิง

- ชัยยุทธ์ สัมภาวะคุปต์. (2560). กลยุทธ์การตัดค่ายอดสำหรับการจัดการพลังงานคืนกลับร่วมกับตัวเก็บประจุ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต. สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. นครราชสีมา.
- ชลิตา จบสูงเนิน. (2564). การใช้พลังงานในการเคลื่อนที่ที่น้อยที่สุดของระบบขนส่งรางเบาที่มีแบตเตอรี่ บนขบวนรถด้วยลักษณะความเร็วที่เหมาะสมโดยใช้วิธีกำหนดการพลวัต. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. นครราชสีมา.
- ธนัดชัย กุลรวรานิชพงษ์. (2561). ระบบจ่ายไฟฟ้าสำหรับรถไฟ (Railway Electrification). ตีพิมพ์ครั้งที่ 3. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- นันทพร สุตพรหม. (2562). การหาตำแหน่งและขนาดเหมาะสมที่สุดของระบบเก็บสะสมพลังงานแบบริมทาง สำหรับรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนสายสีลม. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. นครราชสีมา.
- วสันต์ จันทร์ หยวก. (2559). SOLIDWORKS FLOW SIMULATION CFD Analysis by SOLIDWORKS. ตีพิมพ์ครั้งที่ 1. บริษัท แอปพลิเคชัน จำกัด (สำนักงานใหญ่).
- วิชชัย สายสนิท และ วิริยะ คชพงษ์. (2556). กรณีศึกษาระบบการเบรกรถไฟฟ้ายานที่เอสของ บริษัท ระบบขนส่งมวลชน กรุงเทพฯ จำกัด (มหาชน). วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรม สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม. กรุงเทพมหานคร.
- สุวันชัย พงษ์สุกิจวัฒน์ และคณะ. (2563). เอกสารประกอบการสอนวิชา Engineering Materials. ภาควิชา วิศวกรรมโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพมหานคร.
- สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร (สนข.). (2561). มาตรฐานโครงสร้างทางรถไฟ.
- สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร (สนข.). (2561). คู่มือการออกแบบและก่อสร้างโครงสร้างทางรถไฟ
- Arai, H., Kanno, S., & Yanase, N. (2008). Brake System for Shinkansen Speed Increase. JR EAST Technical Review-No.12 (Special edition paper).

- Arai, H., Kanno, S., & Yanase, N. (2010). Development of a Brake System for Shinkansen Speed Increase. **JR EAST Technical Review-No.16 (Special edition paper)**.
- Byun, S., Cry, S., & Kim, S. (2014). Numerical simulation of aerodynamic drag for high-speed train using LBM. **2014 Journal of the Korean Society for Railway**, 1660-1665.
- Dubey, G. K. (2005). **Fundamentals of Electrical Drives**. Kanpur: Alpha Science International Ltd.
- Gunay, M., Korkmaz, E. M., & Ozmen, R. (2020). An investigation on braking systems used in railway vehicles. **Engineering Science and Technology, 2020 International Journal 23**, 421-431.
- Gonzalez-Gil, A., Palacin, R., & Batty, P. (2013). Sustainable urban rail systems: Strategies and technologies for optimal management of regenerative braking energy. **2013 Energy Conversion and Management 75**, 374-388.
- Gao, Z., Fang, J., Zhang, Y., Jiang, L., Sun, D., & Guo, W. (2015). Control of urban rail transit equipped with ground-based supercapacitor for energy saving and reduction of power peak demand. **2015 International Journal of Electrical Power & Energy Systems**, 439-447.
- Hasegawa, I., & Uchida, S. (1999). Braking Systems. **Japan Railway & Transport Review 20**, 52-59.
- Jianyong, Z., Mengling, W., Chun, T., Ying, X., Zhuojun, L., & Zhongkai, C. (2012). Aerodynamic braking device for high-speed trains: Design, simulation and experiment. **2014 Journal of Rail and Rapid Transit**. Institution of Mechanical Engineers (IMechE), 260-270.
- Kanbayashi, K., Sakanoue, K., Otsuka, T., Ueno, M., Usui, S., & Furuya, M. (2007). The Body Inclining System of the Series N700 Shinkansen Utilizing the New ATC System. **J-Rail**.
- Lee, M., & Bhandari, B. (2018). The application of aerodynamic brake for high-speed trains. **2018 Journal of Mechanical Science and Technology**, 5749-5754.
- Nakakura, Y., & Hayakawa, K. (2009). THE BODY INCLINING SYSTEM OF THE SERIES N700 SHINKANSEN. **2009 International Symposium on Speed-up, Safety and**

- Service Technology for Railway and Maglev Systems (STECH'09)**. Niigata, Japan.
- Nakakura, Y., Sakanoue, K., Minami, Y., & Okada, Y. (2011). Development of pantograph for the Series N700 Shinkansen. **2011 World Congress on Railway Research (WCRR)**.
- Oura, Y., Mochinaga, Y., & Nagasawa, H. (1998). Railway Electric Power Feeding Systems. **Japan Railway & Transport Review 16**, 48-58.
- Puharic, M., Matic D., Linic, S., Ristic, S., & Lucanin, V. (2014). Determination of Braking Force on the Aerodynamic Brake by Numerical Simulations. **2014 FME Transactions**, 106-111.
- Skibicki D. J. (2018). The issue of uncertainty of visual measurement techniques for long distance measurements based on the example of applying electric traction elements in diagnostics and monitoring. **2018 Measurement 113**, 10–21.
- Sharma, C. R., Dhingra, M., & Pathak, K. R. (2015). Braking Systems in Railway Vehicles. **International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)**, 206-211.
- Takami, H. (2020). Development of Aerodynamic Brake Device for High-speed Railway. **QR of RTRI**.
- Usui, S., & Furuya, M. (2005). Overview of Series N700 Shinkansen cars Body inclining system First introduction of body inclining system on the Japanese Shinkansen. **JREA 9**.
- Ueno, M., Usui, S., Tanaka, H., & Watanabe, A. (2008). Technological overview of the next generation Shinkansen high-speed train Series N700. **SEMANTIC SCHOLAR**.
- Vasovic, I., Maksimovic, M., Puharic, M., Matic, D., & Linic, S. (2011). Structural Analysis of Aerodynamic Brakes in High-Speed Trains. **2011 Scientific Technical Review**, 10-15.
- Walia, S. M. (2019). Mechanical braking systems for trains A study of temperatures, fatigue and wear by experiments and simulations. **THESIS FOR THE DEGREE OF DOCTOR OF PHILOSOPHY IN SOLID AND STRUCTURAL MECHANICS**.

Department of Mechanics and Maritime Sciences. Chalmers University of Technology. Sweden.

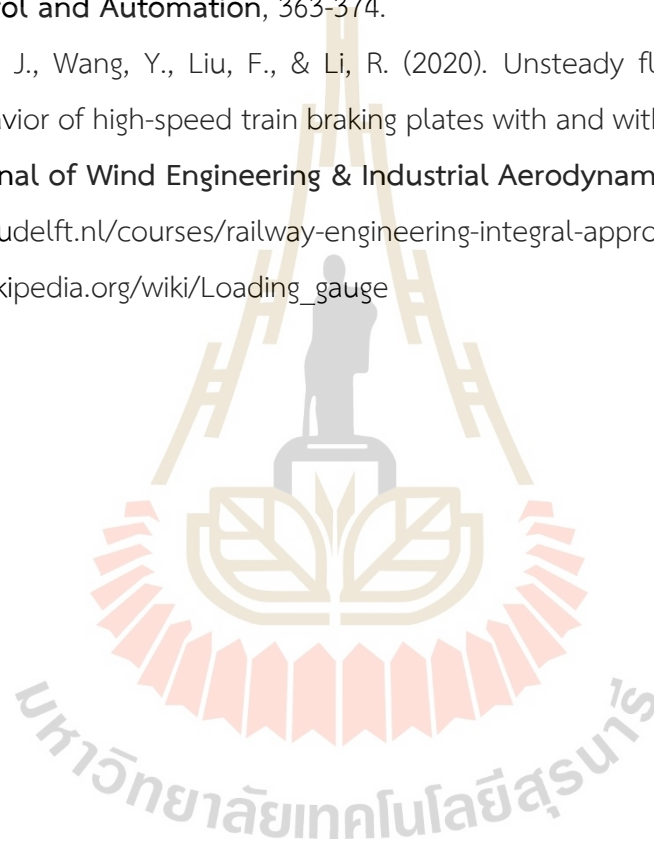
Xu, G., Liang, X., Yao, S., Chen, D., & Li, Z. (2017). Multi-objective aerodynamic optimization of the streamlined shape of high-speed trains based on the Kriging model. **PLoS ONE**.

Zhu, Y., Shang, W., Zhang, X., Yan, H., & Wu, P. (2014). Research on Braking Process of High-speed Train with Aerodynamic Brake. **2014 International Journal of Control and Automation**, 363-374.

Zhai, Y., Niu, J., Wang, Y., Liu, F., & Li, R. (2020). Unsteady flow and aerodynamic behavior of high-speed train braking plates with and without crosswinds. **2020 Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics** 206.

<https://ocw.tudelft.nl/courses/railway-engineering-integral-approach/>.

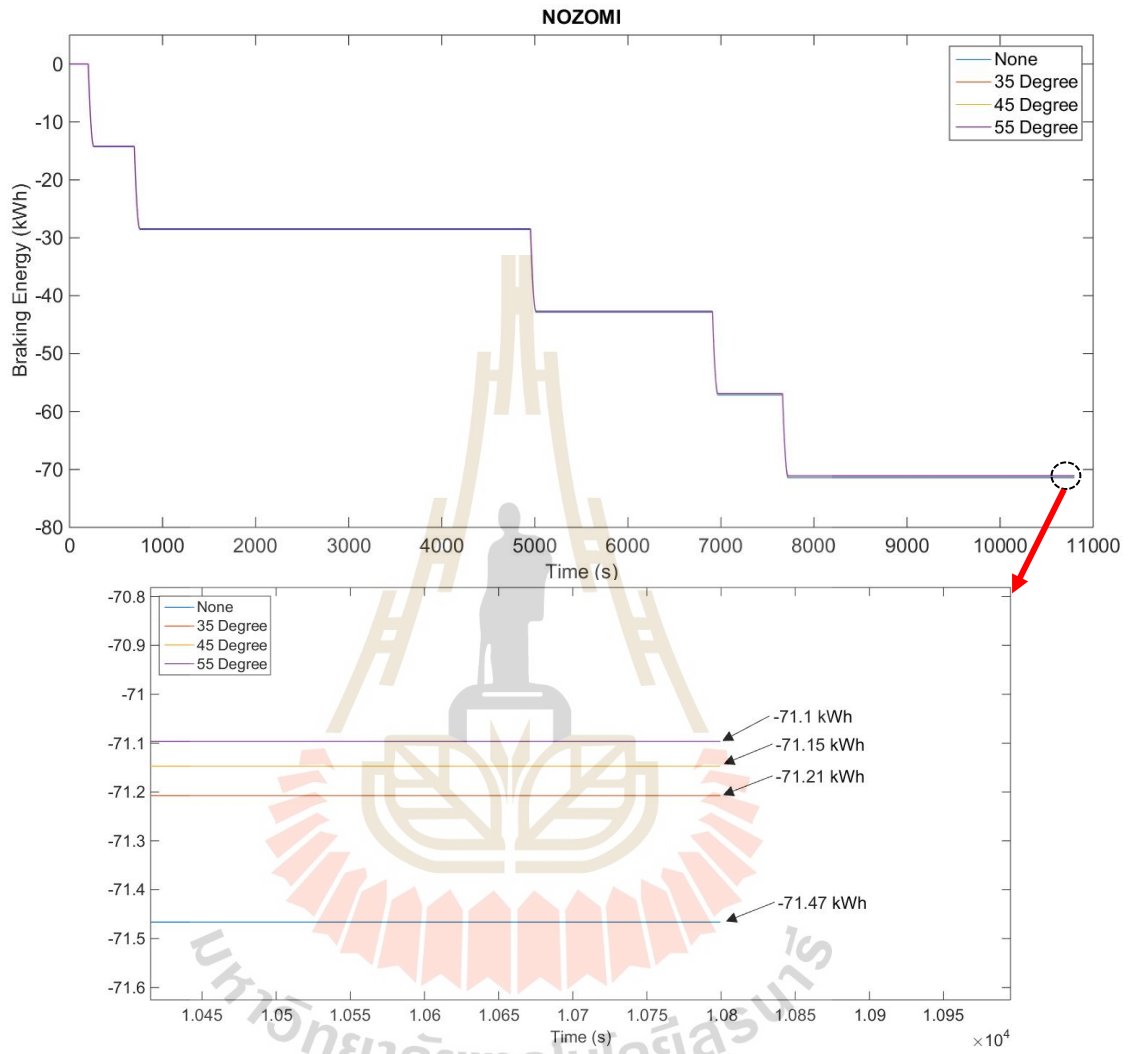
https://en.wikipedia.org/wiki>Loading_gauge



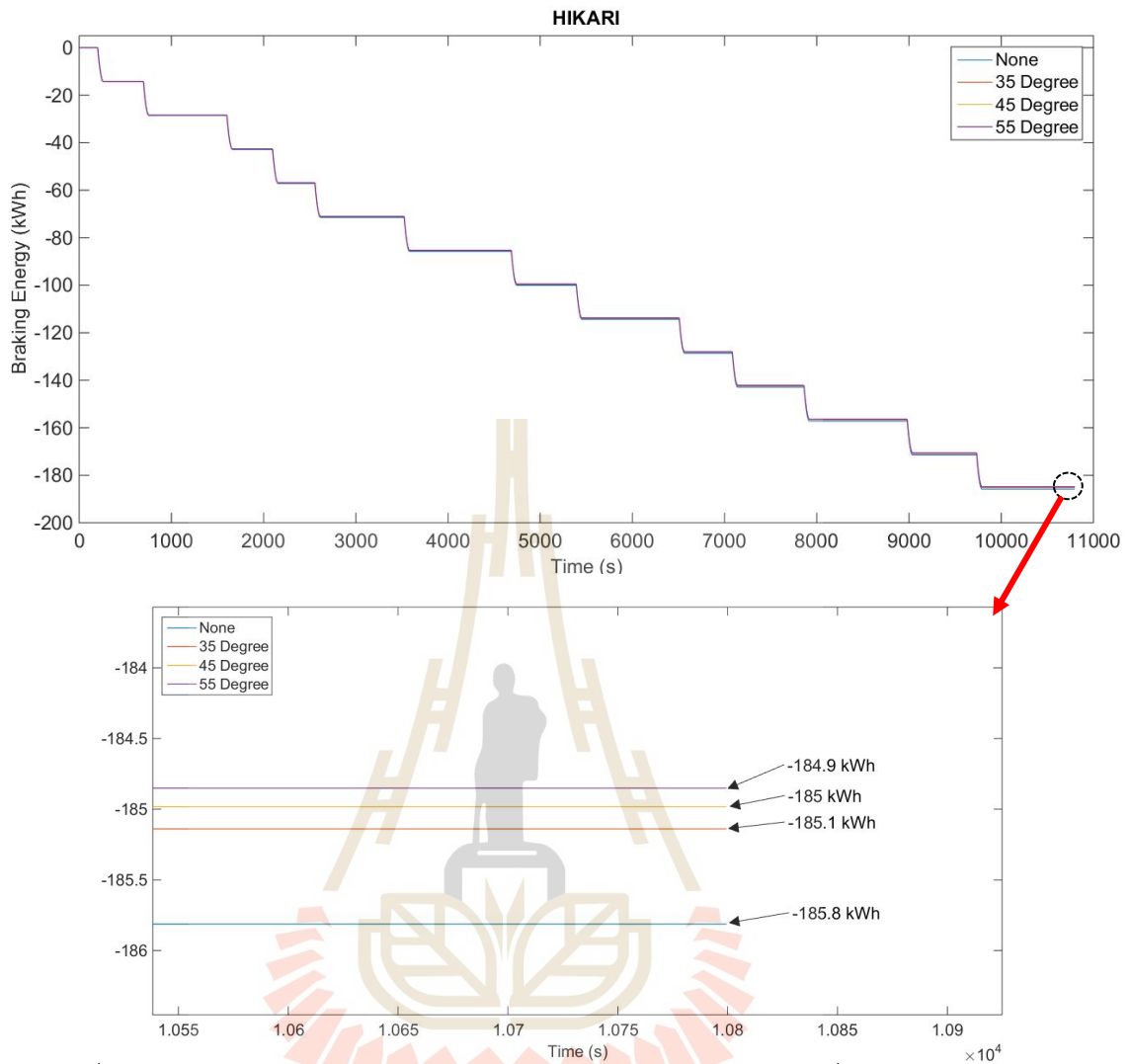
ภาคผนวก ก
ผลการจำลองพลังงานเบรกและแรงต้านอากาศของรถไฟฟ้าความเร็วสูงใน
กรณีต่าง ๆ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

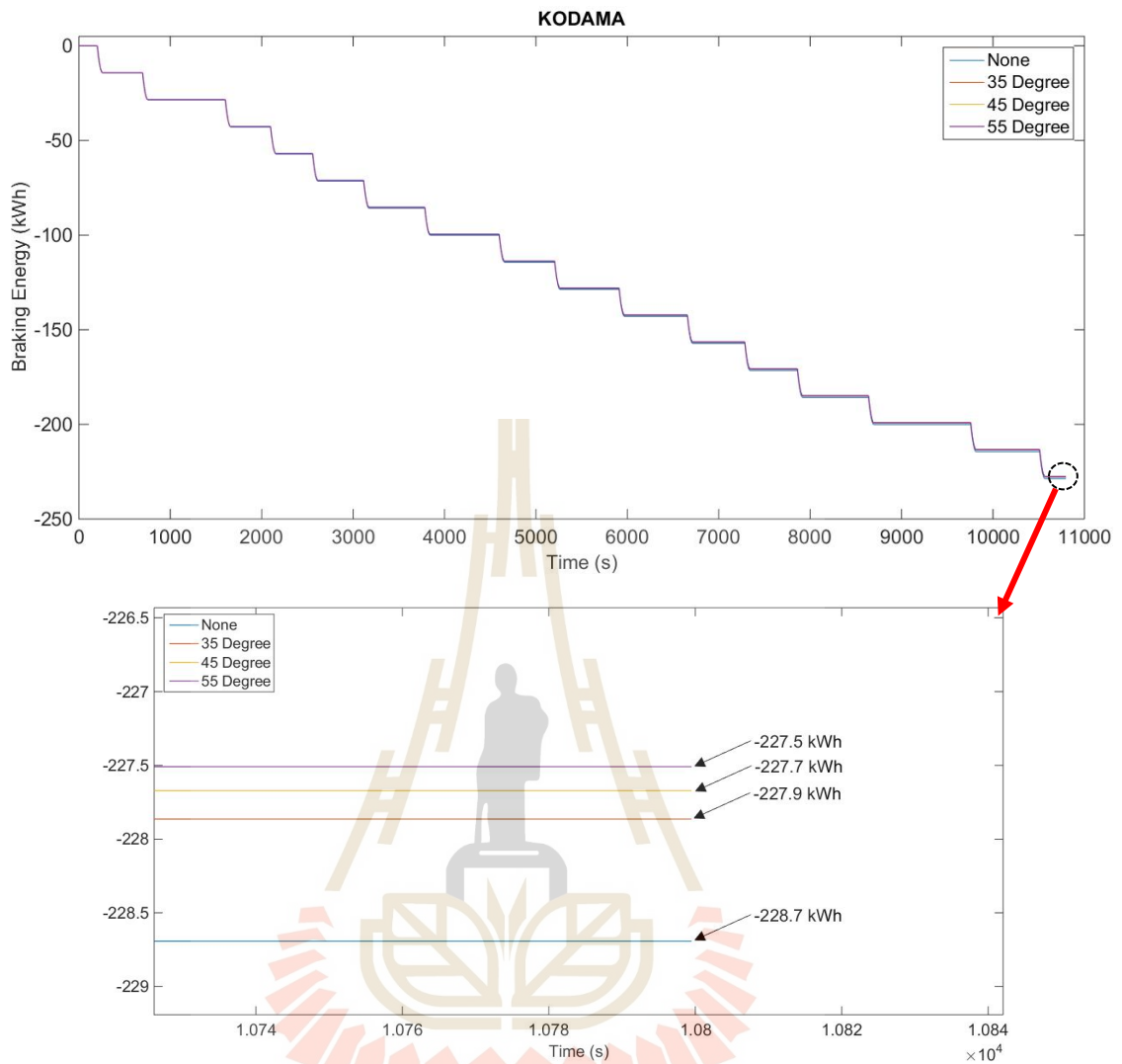
ก.1 ผลการจำลองการเคลื่อนที่ของรถไฟความเร็วสูงเมื่อติดตั้งเบรกอากาศพลศาสตร์ เพื่อใช้ลดพลังงานในการเบรกของรถไฟในกรณีที่มีความเร็วต่างกัน



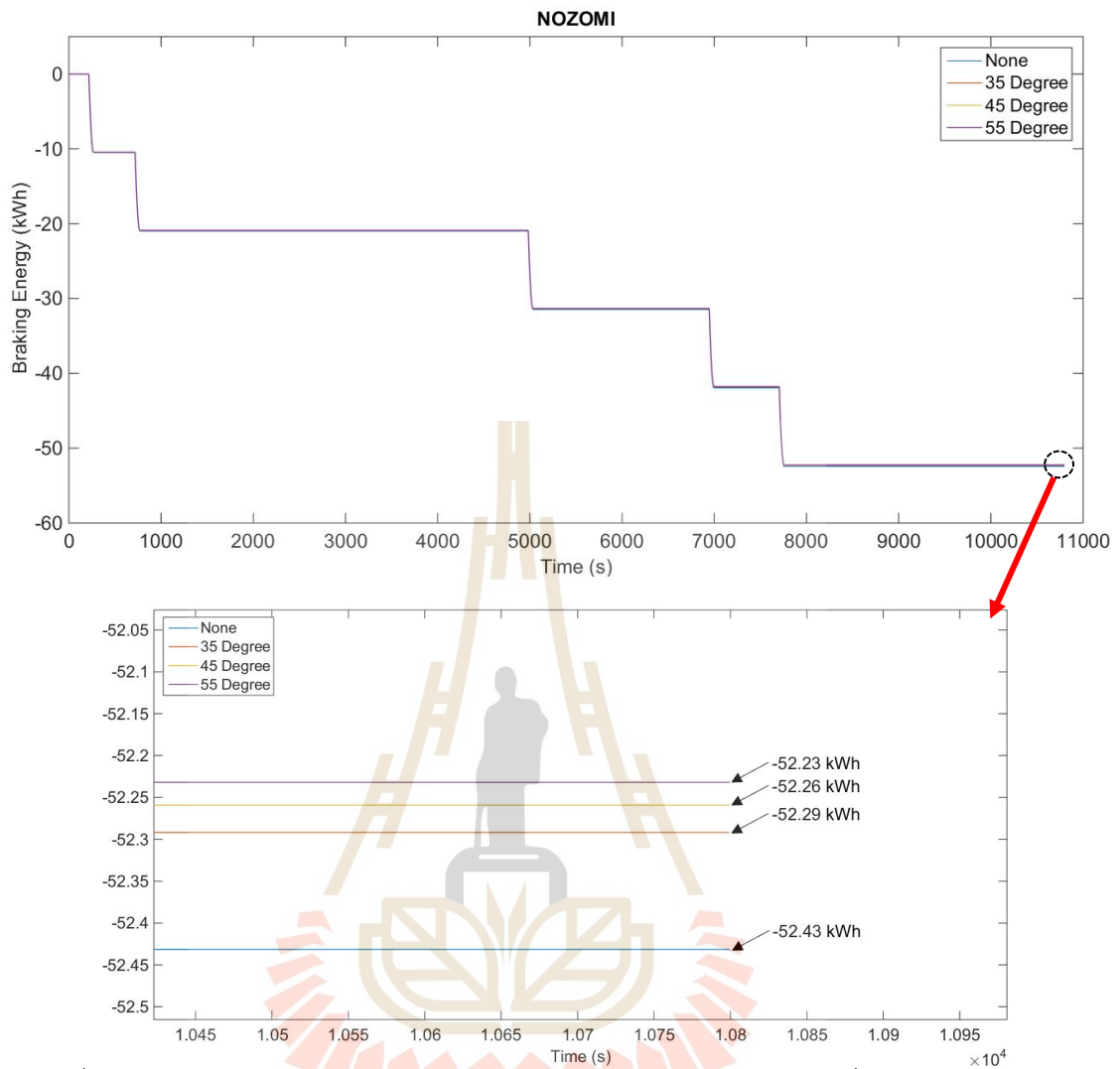
รูปที่ ก.1 พลังงานเบรกของรถไฟ Nozomi แต่ละมุมการทำงานเทียบเวลาที่ความเร็ว 70 km/h



รูปที่ ก.2 พลังงานเบรกของรถไฟ Hikari แต่ละมุมการทำงานเทียบเวลาที่ความเร็ว 70 km/h

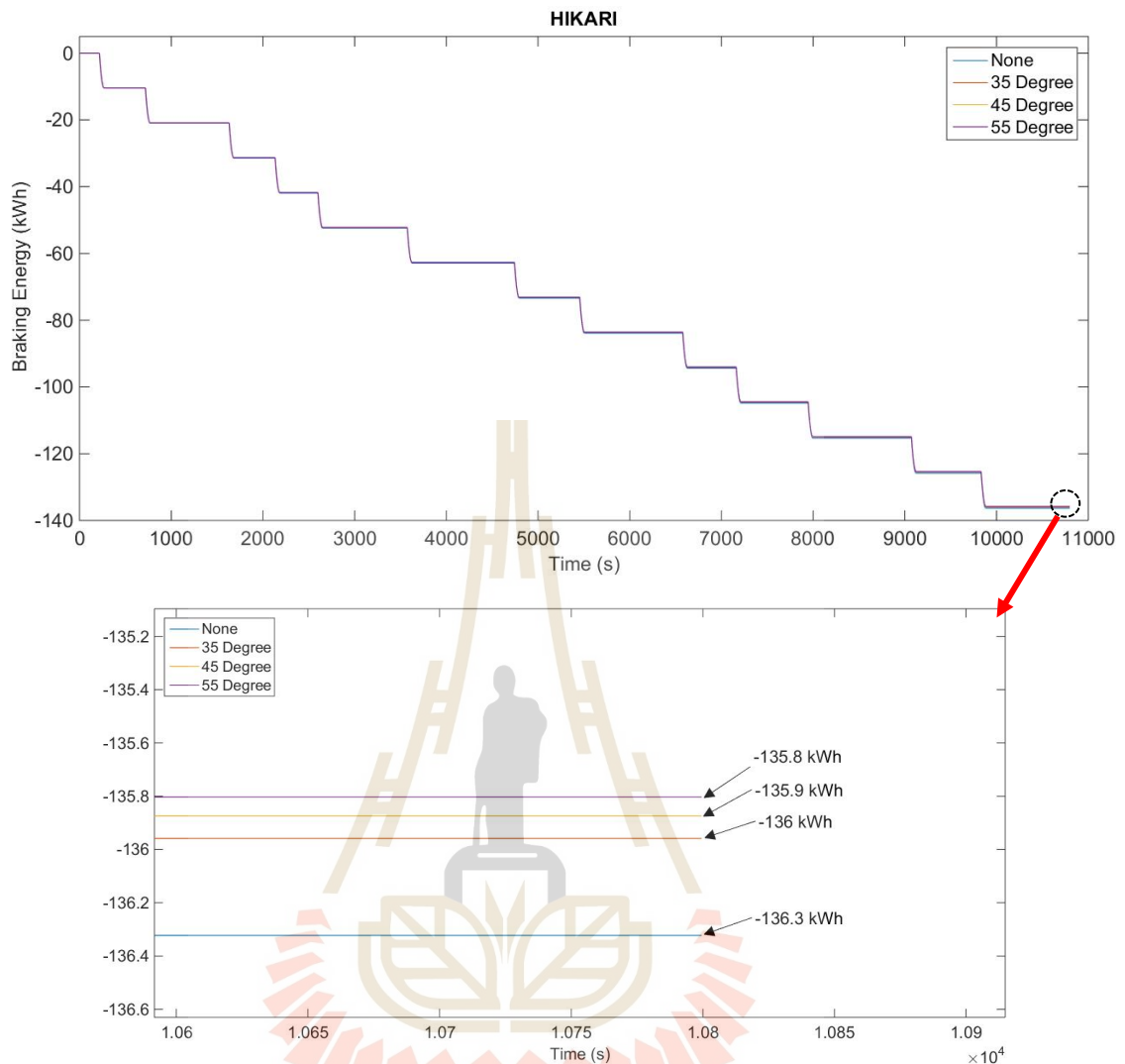


รูปที่ ก.3 พลังงานเบรกของรถไฟ Kodama แต่ละมุมการทำงานเทียบเวลาที่ความเร็ว 70 km/h



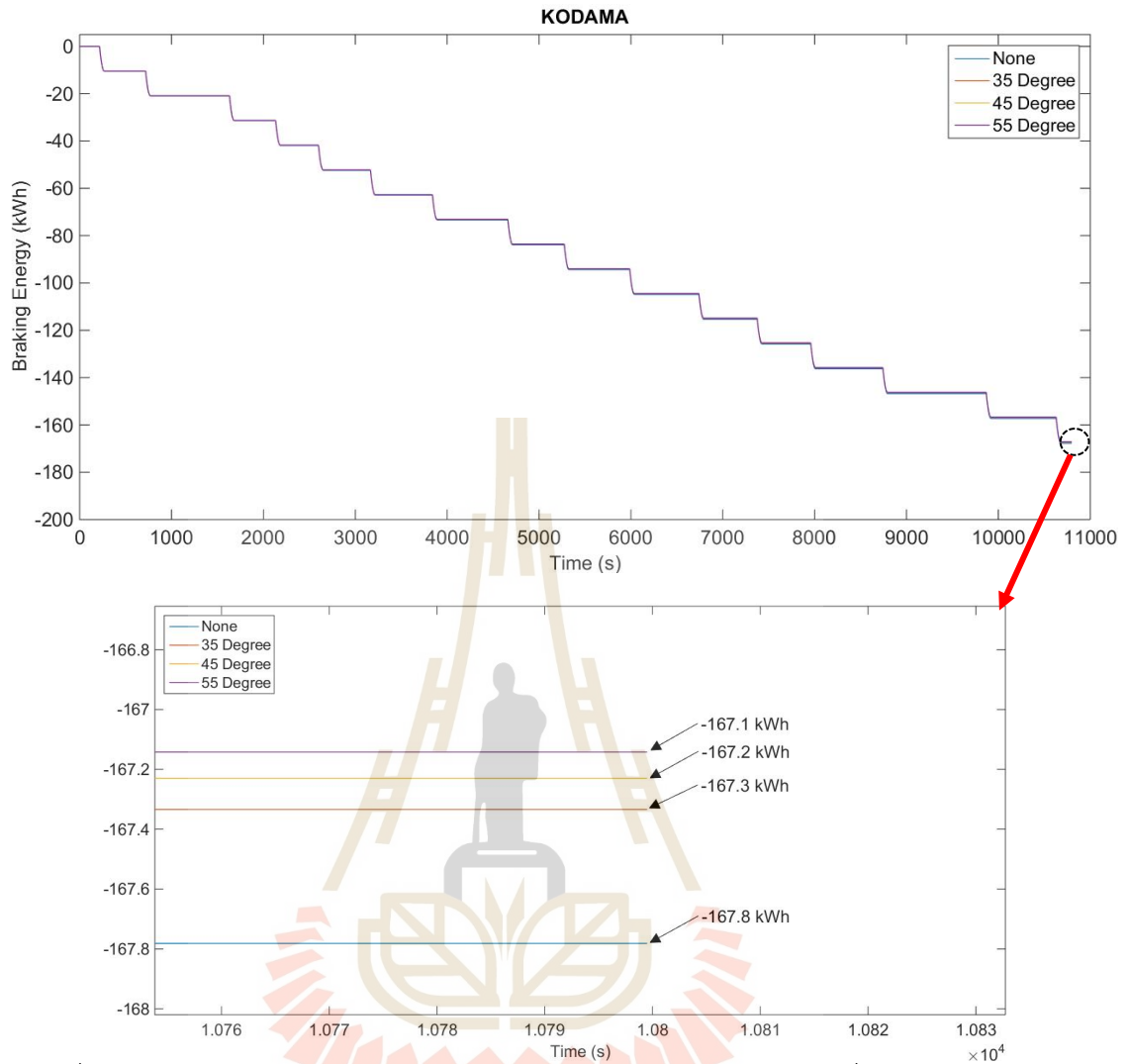
รูปที่ ก.4 พลังงานเบรกของรถไฟ Nozomi แต่ละมุมการทำงานเทียบเวลาที่ความเร็ว 60 km/h



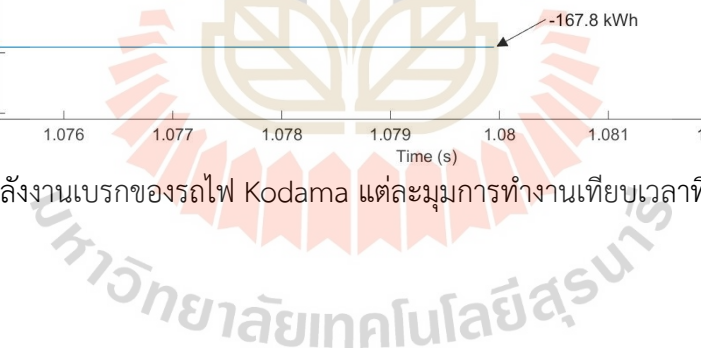


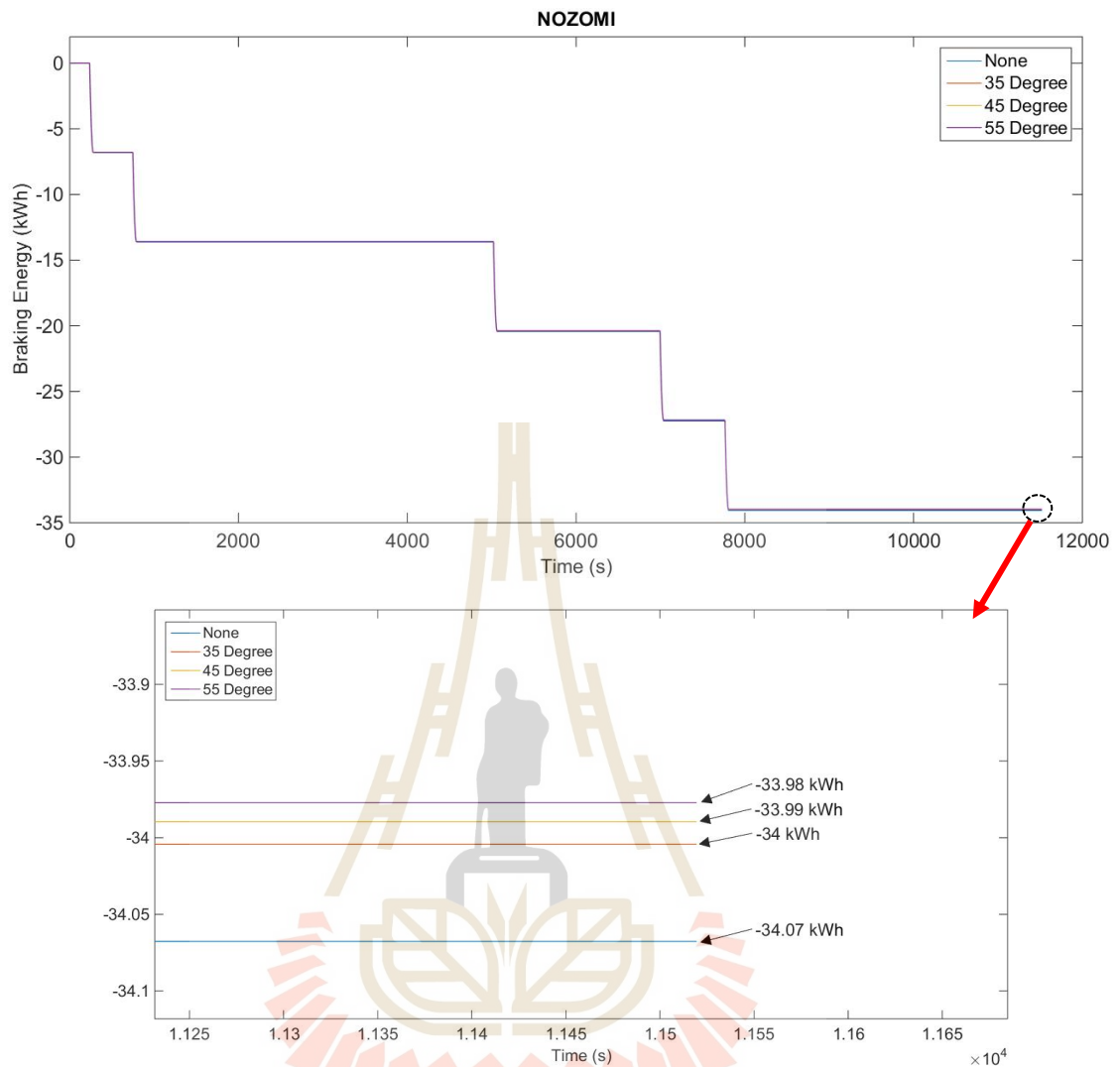
รูปที่ ก.5 พลังงานเบรกของรถไฟ Hikari แต่ละมุมการทำงานเทียบเวลาที่ความเร็ว 60 km/h



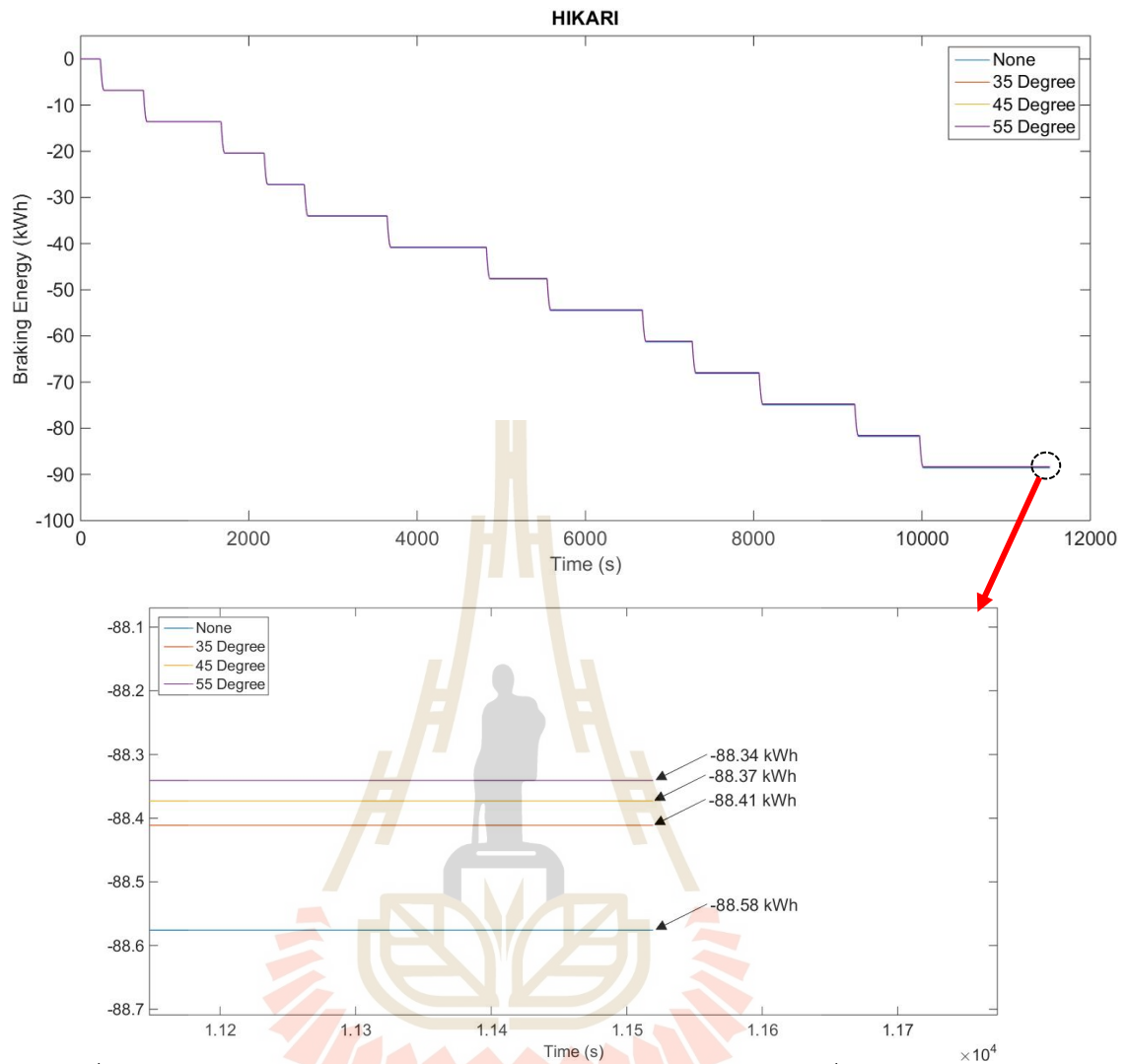


รูปที่ ก.6 พลังงานเบรกของรถไฟ Kodama แต่ละมุมการทำงานเทียบเวลาที่ความเร็ว 60 km/h

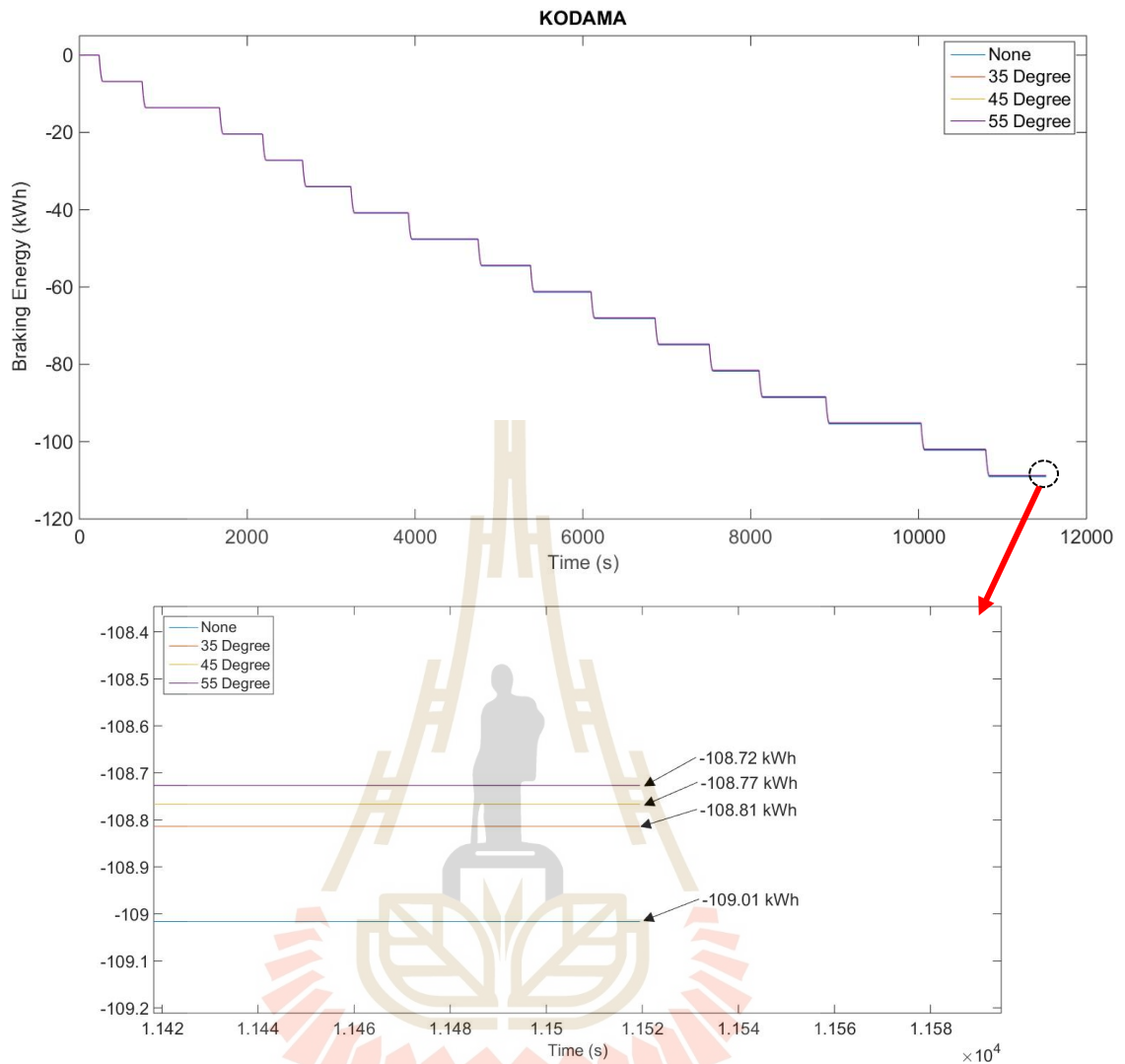




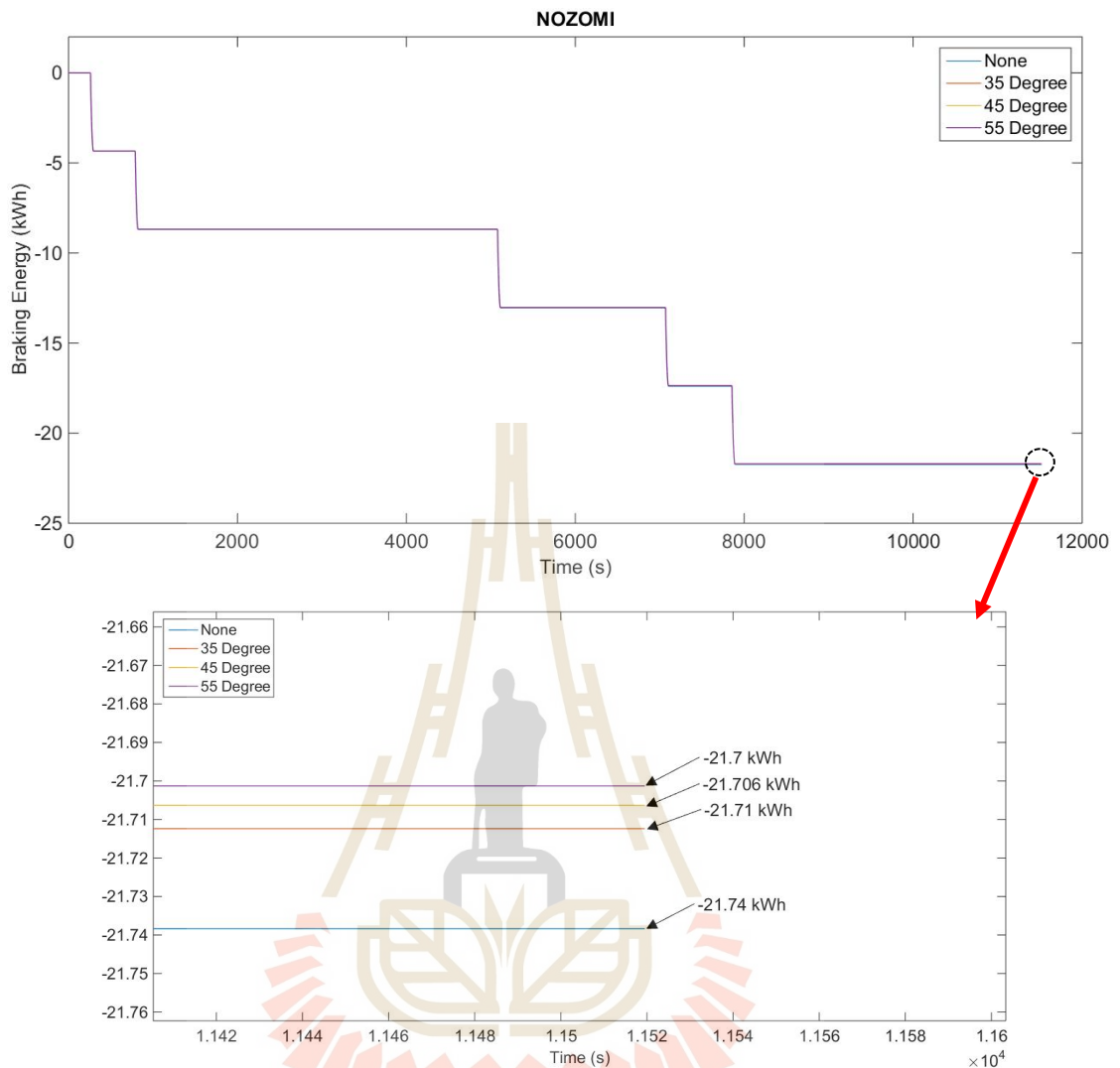
รูปที่ ก.7 พลังงานเบรกของรถไฟ Nozomi แต่ละมุมการทำงานเทียบเวลาที่ความเร็ว 50 km/h



รูปที่ ก.8 พลังงานเบรกของรถไฟ Hikari แต่ละมุมการทำงานเทียบเวลาที่ความเร็ว 50 km/h

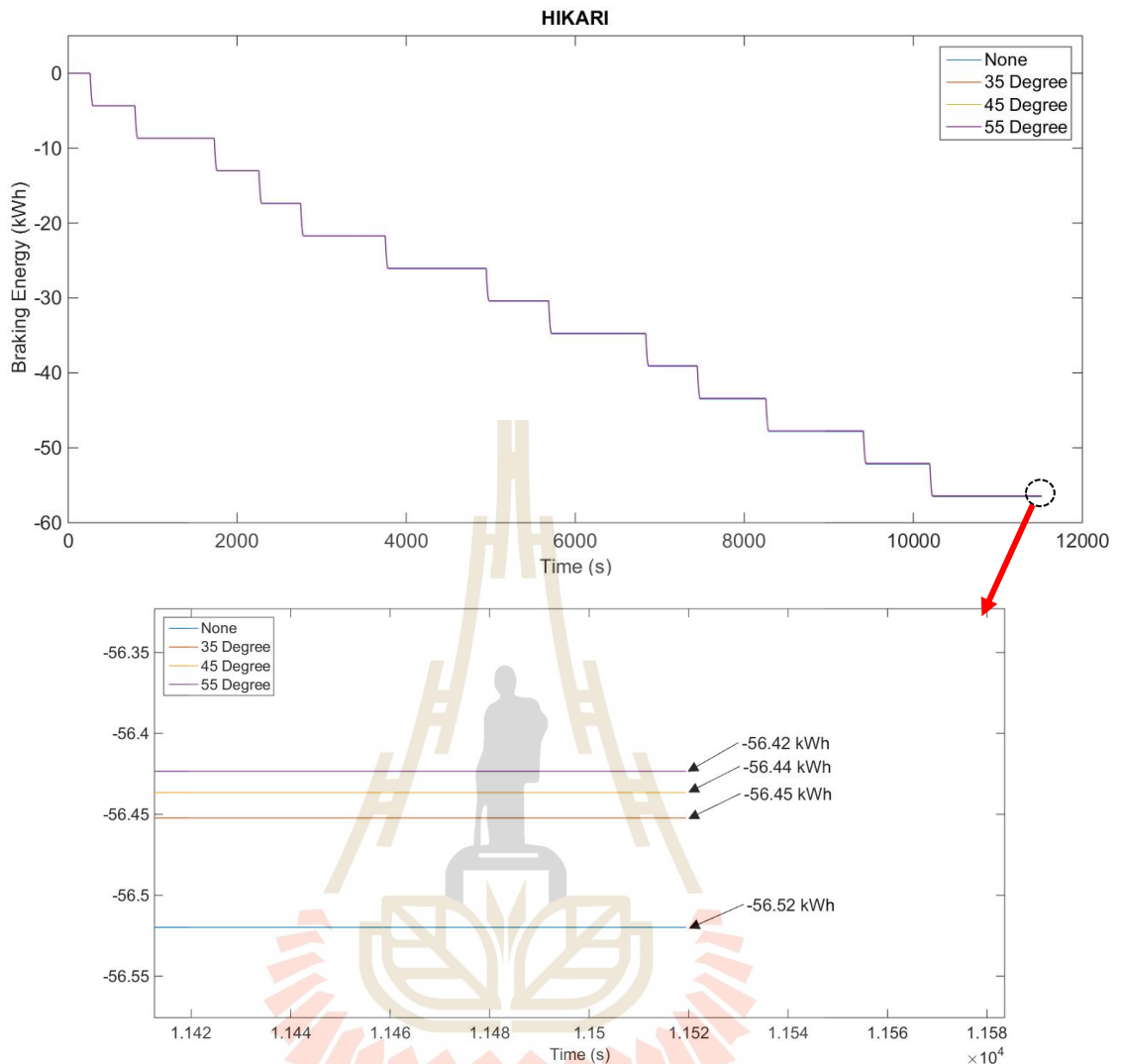


รูปที่ ก.9 พลังงานเบรกของรถไฟ Kodama แต่ละมุมการทำงานเทียบเวลาที่ความเร็ว 50 km/h



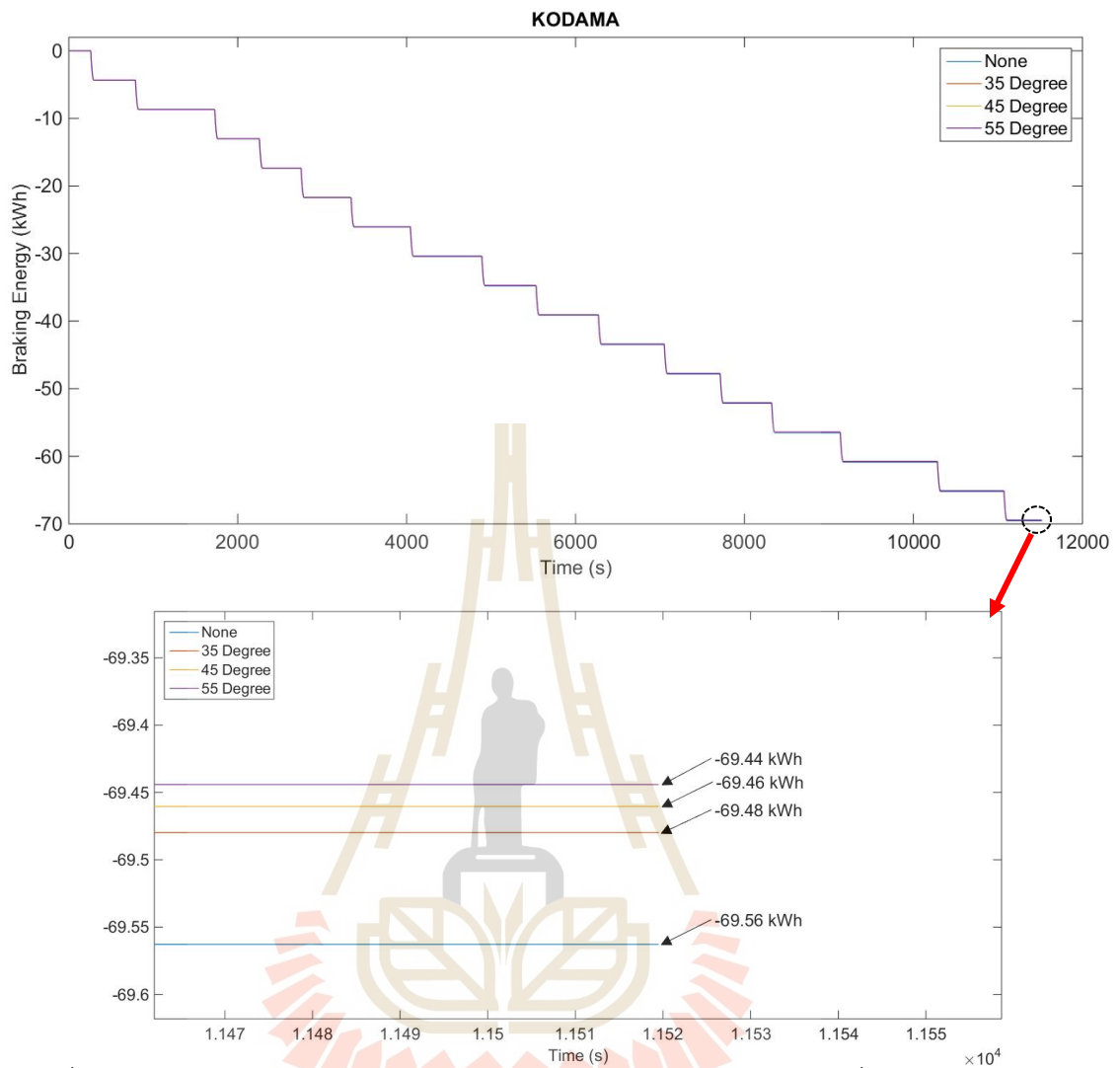
รูปที่ ก.10 พลังงานเบรกของรถไฟ Nozomi แต่ละมุมการทำงานเทียบเวลาที่ความเร็ว 40 km/h



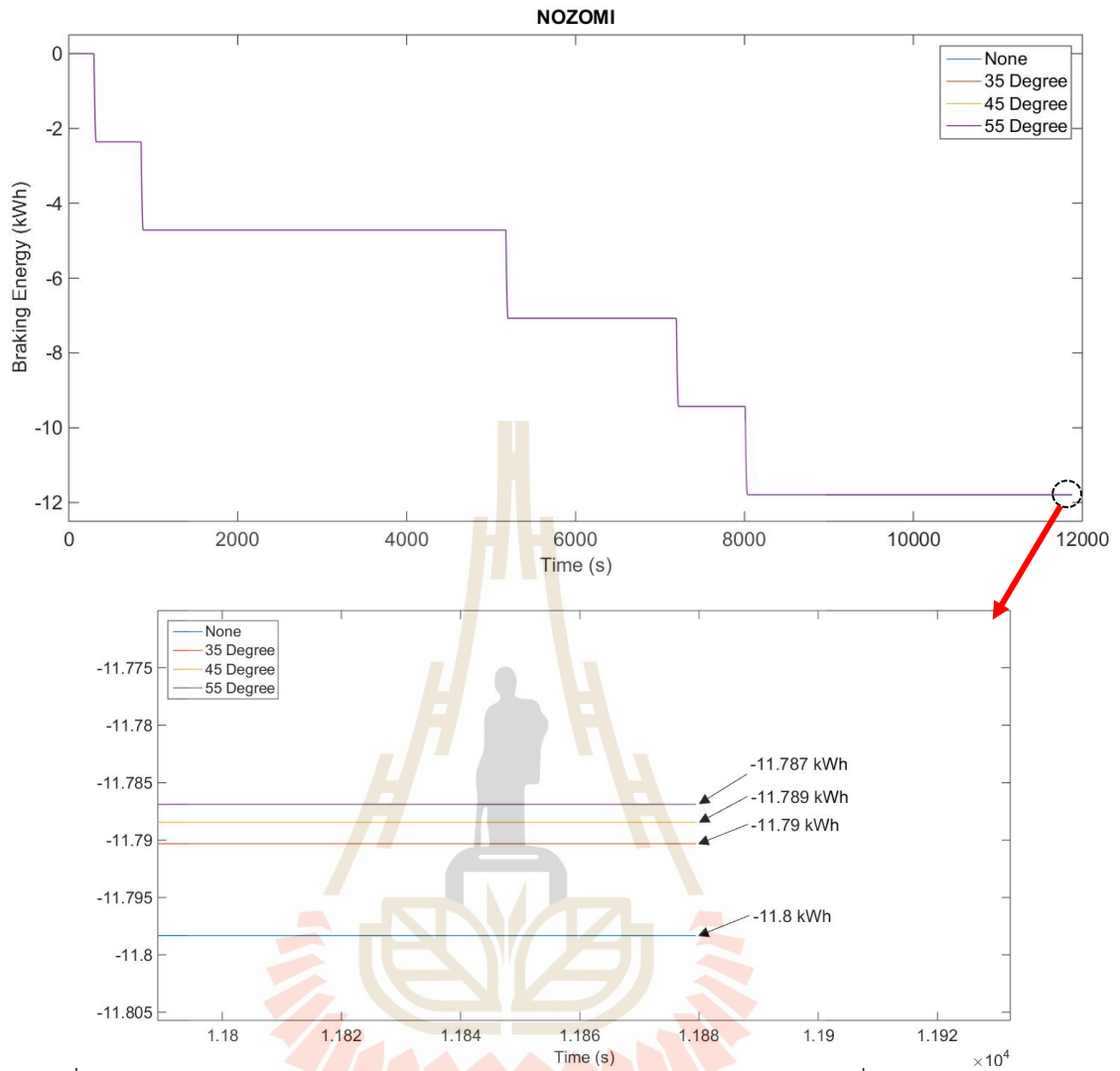


รูปที่ ก.11 พลังงานเบรกของรถไฟ Hikari แต่ละมุมการทำงานเทียบเวลาที่ความเร็ว 40 km/h



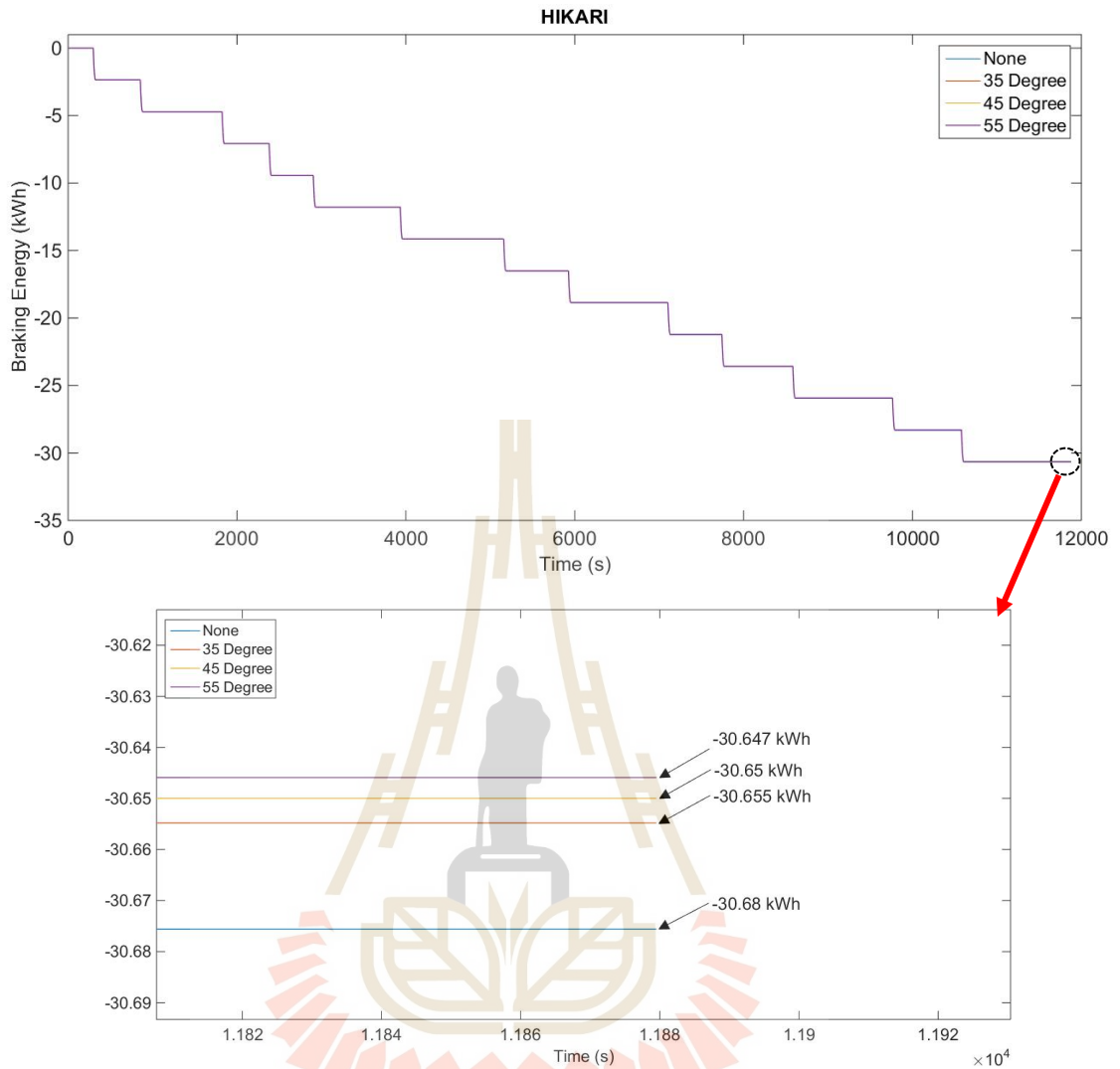


รูปที่ ก.12 พลังงานเบรกของรถไฟ Kodama แต่ละมุมการทำงานเทียบเวลาที่ความเร็ว 40 km/h



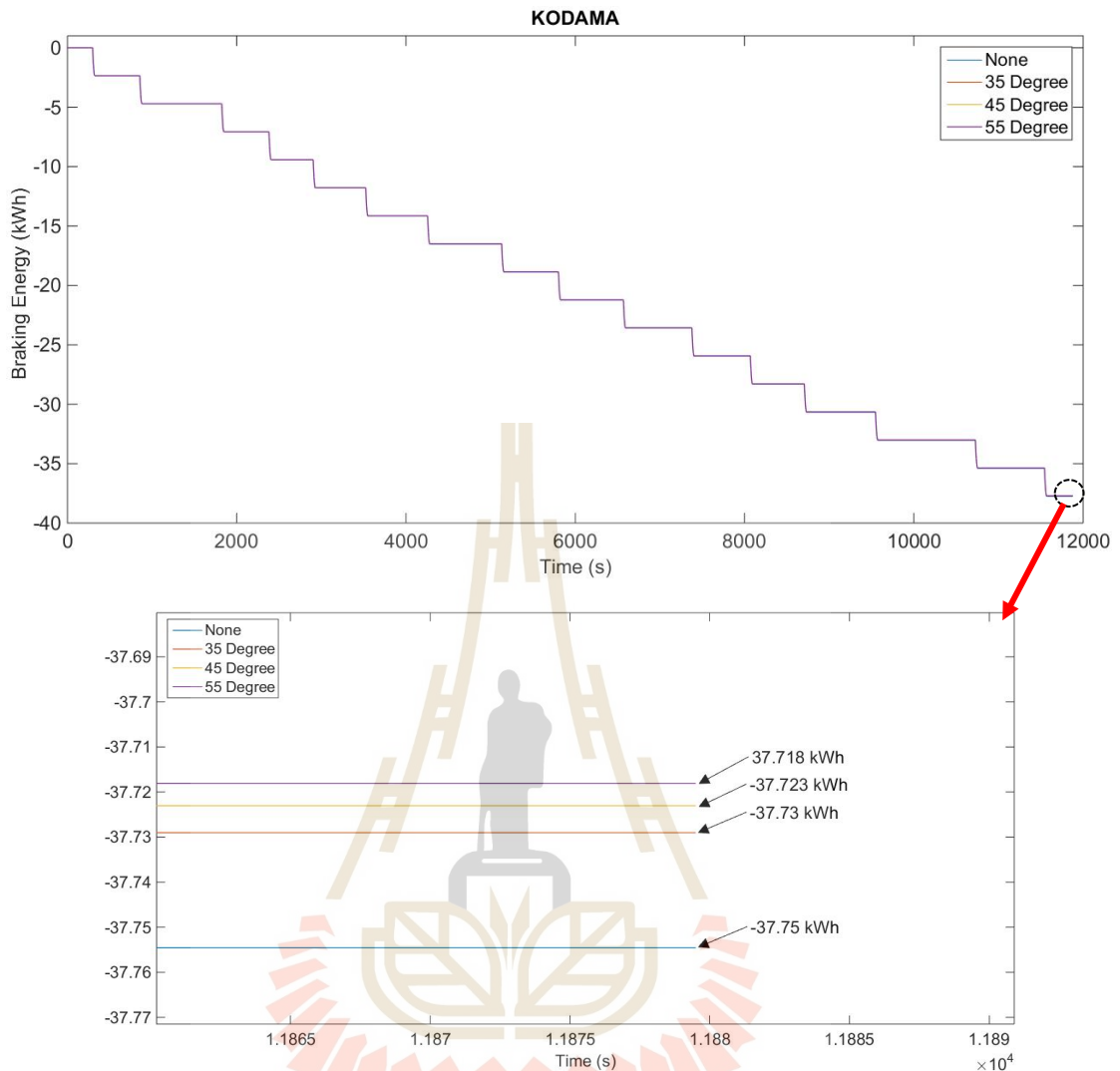
รูปที่ ก.13 พลังงานเบรกของรถไฟ Nozomi แต่ละมุมการทำงานเทียบเวลาที่ความเร็ว 30 km/h





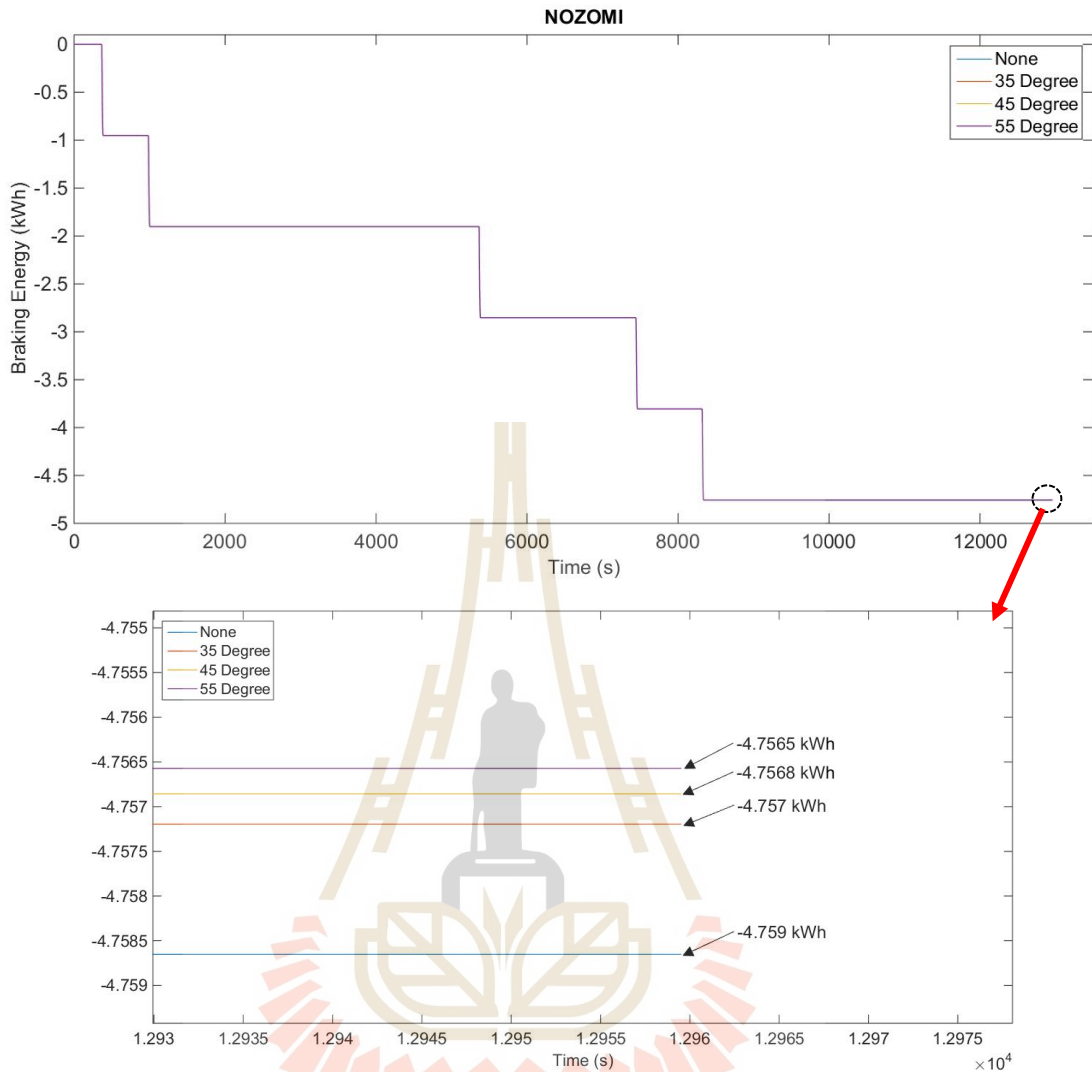
รูปที่ ก.14 พลังงานเบรกของรถไฟ Hikari แต่ละมุมการทำงานเทียบเวลาที่ความเร็ว 30 km/h





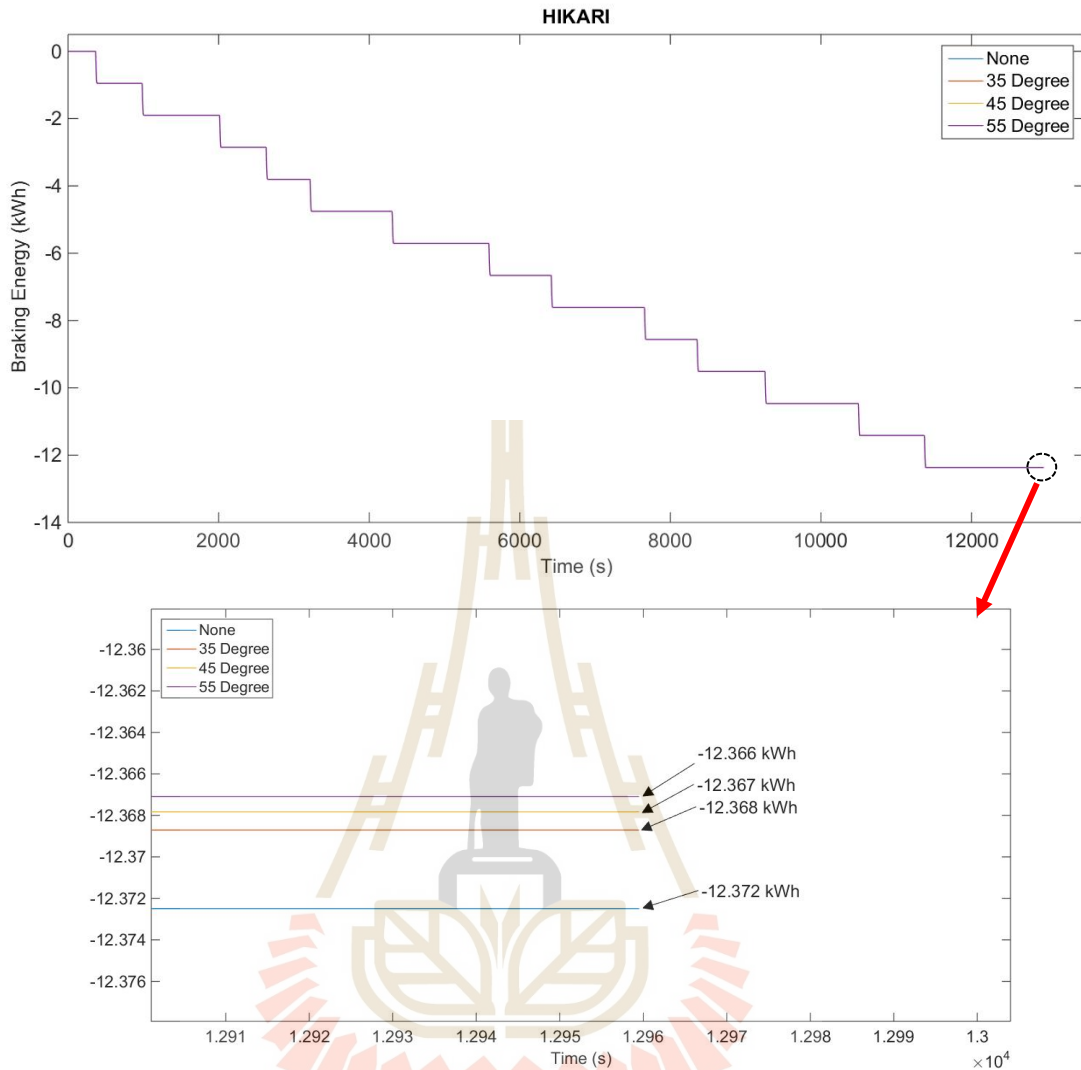
รูปที่ ก.15 พลังงานเบรกของรถไฟ Kodama แต่ละมุมการทำงานเทียบเวลาที่ความเร็ว 30 km/h





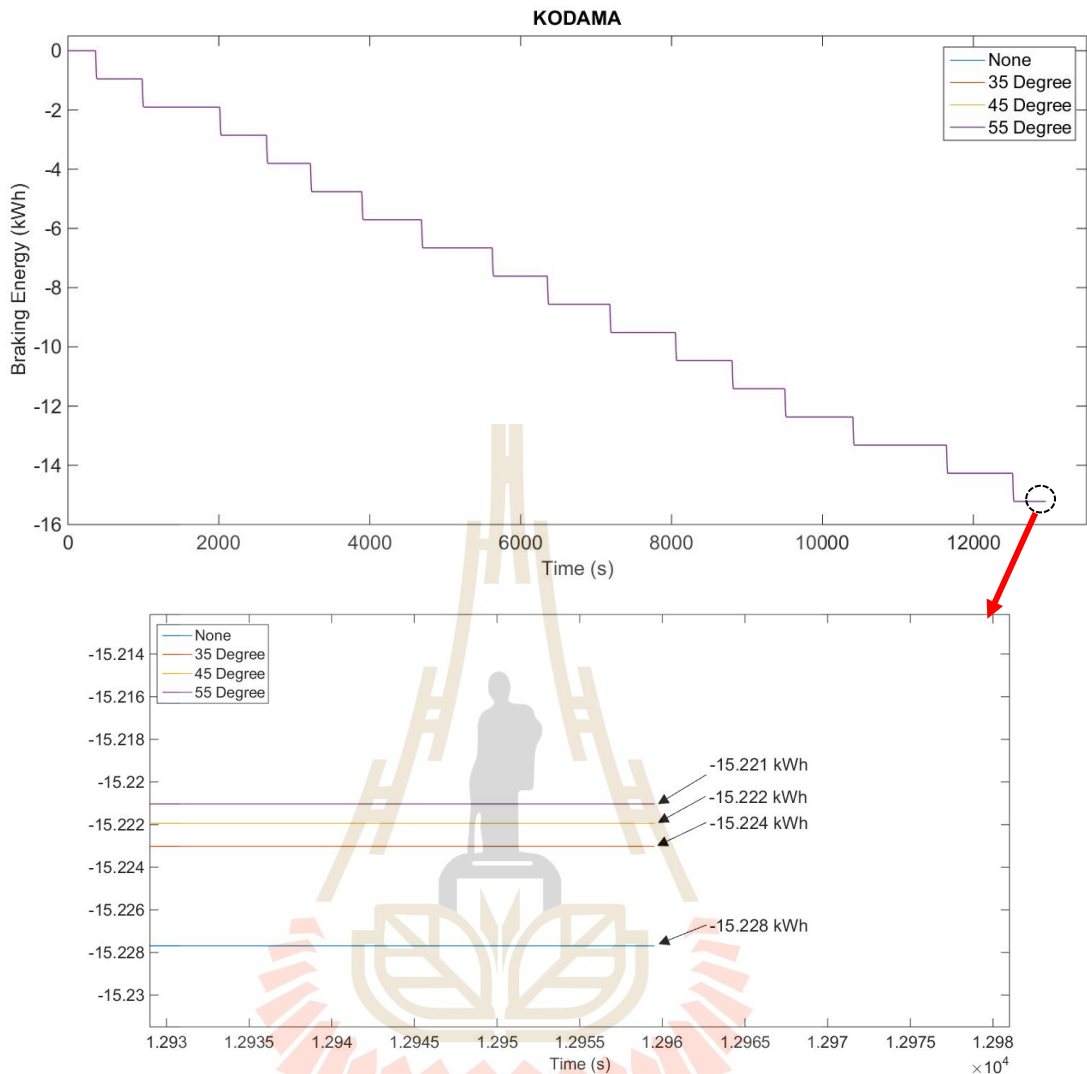
รูปที่ ก.16 พลังงานเบรกของรถไฟ Nozomi แต่ละมุมการทำงานเทียบเวลาที่ความเร็ว 20 km/h





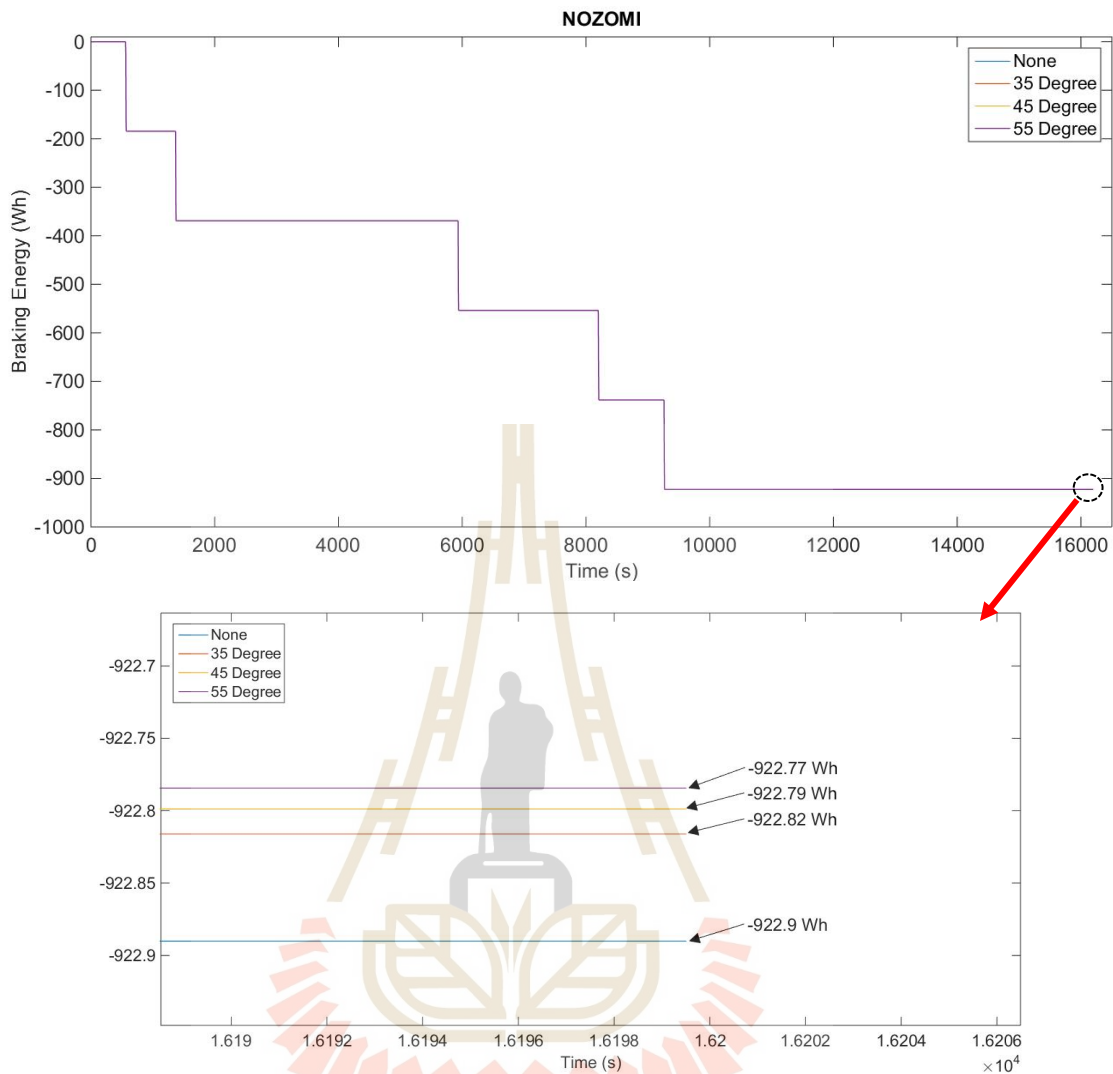
รูปที่ ก.17 พลังงานเบรกของรถไฟ Hikari แต่ละมุมการทำงานเทียบเวลาที่ความเร็ว 20 km/h





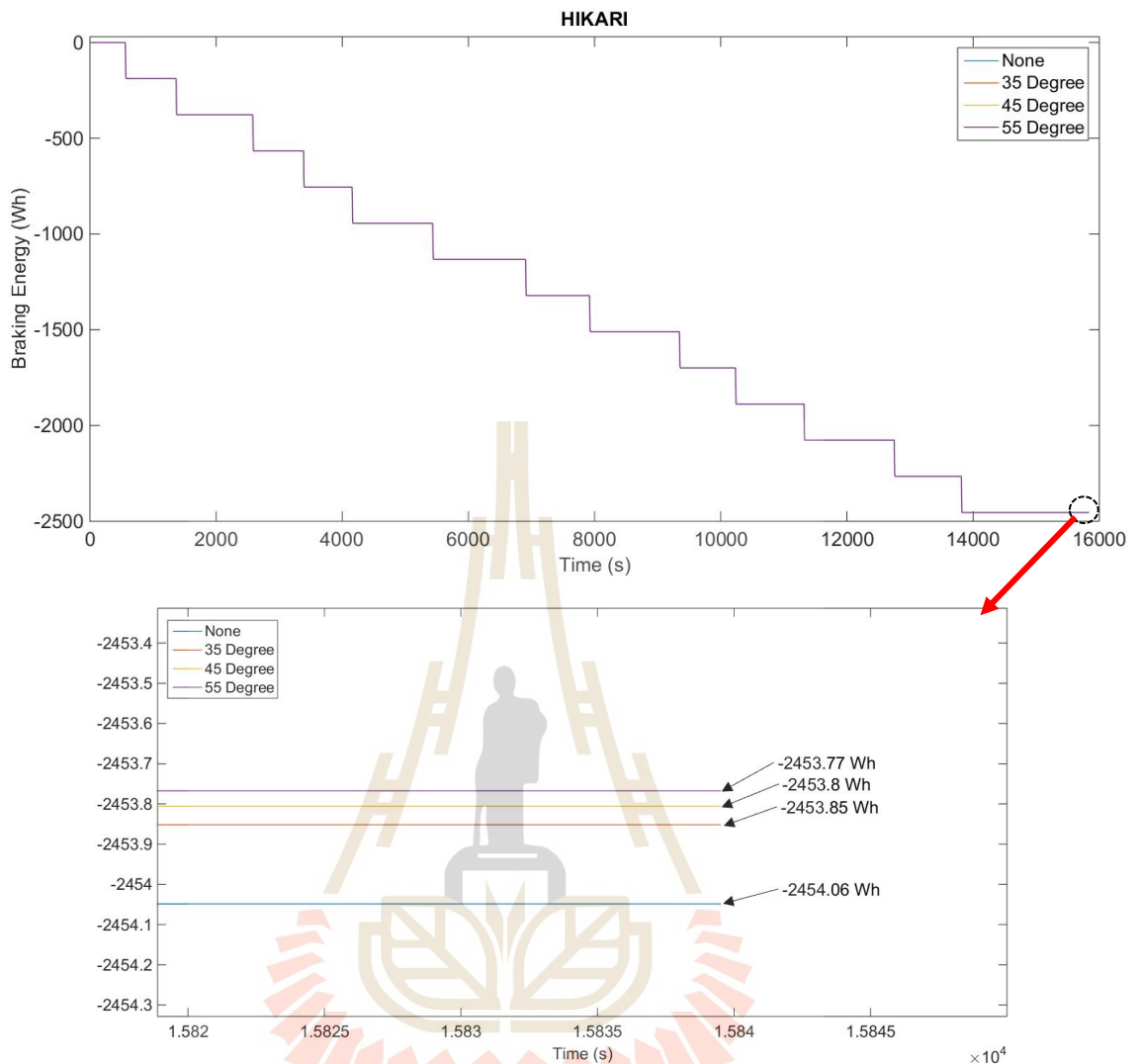
รูปที่ ก.18 พลังงานเบรกของรถไฟ Kodama แต่ละมุมการทำงานเทียบเวลาที่ความเร็ว 20 km/h





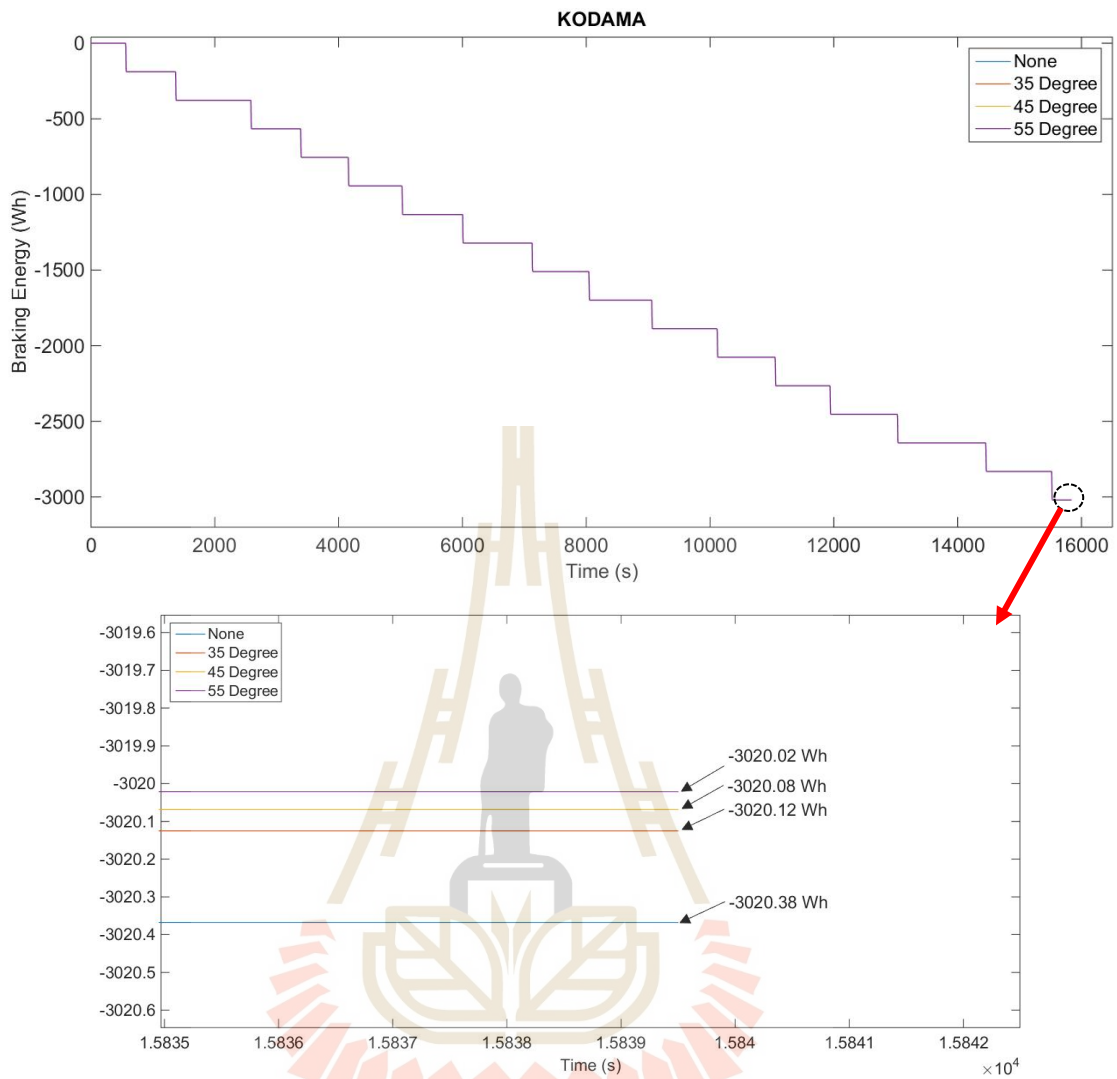
รูปที่ ก.19 พลังงานเบรกของรถไฟ Nozomi แต่ละมุมการทำงานเทียบเวลาที่ความเร็ว 10 km/h



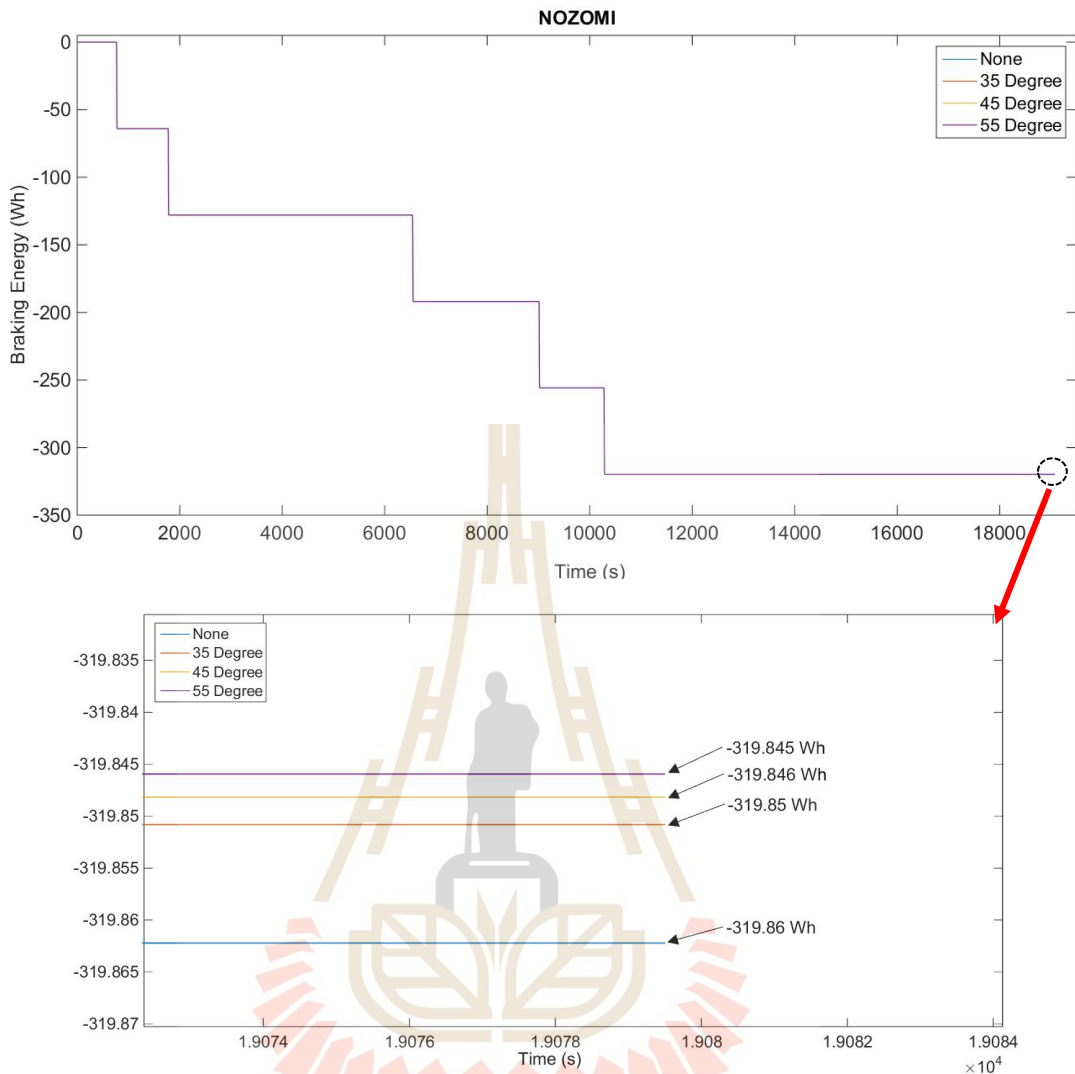


รูปที่ ก.20 พลังงานเบรกของรถไฟ Hikari แต่ละมุมการทำงานเทียบเวลาที่ความเร็ว 10 km/h

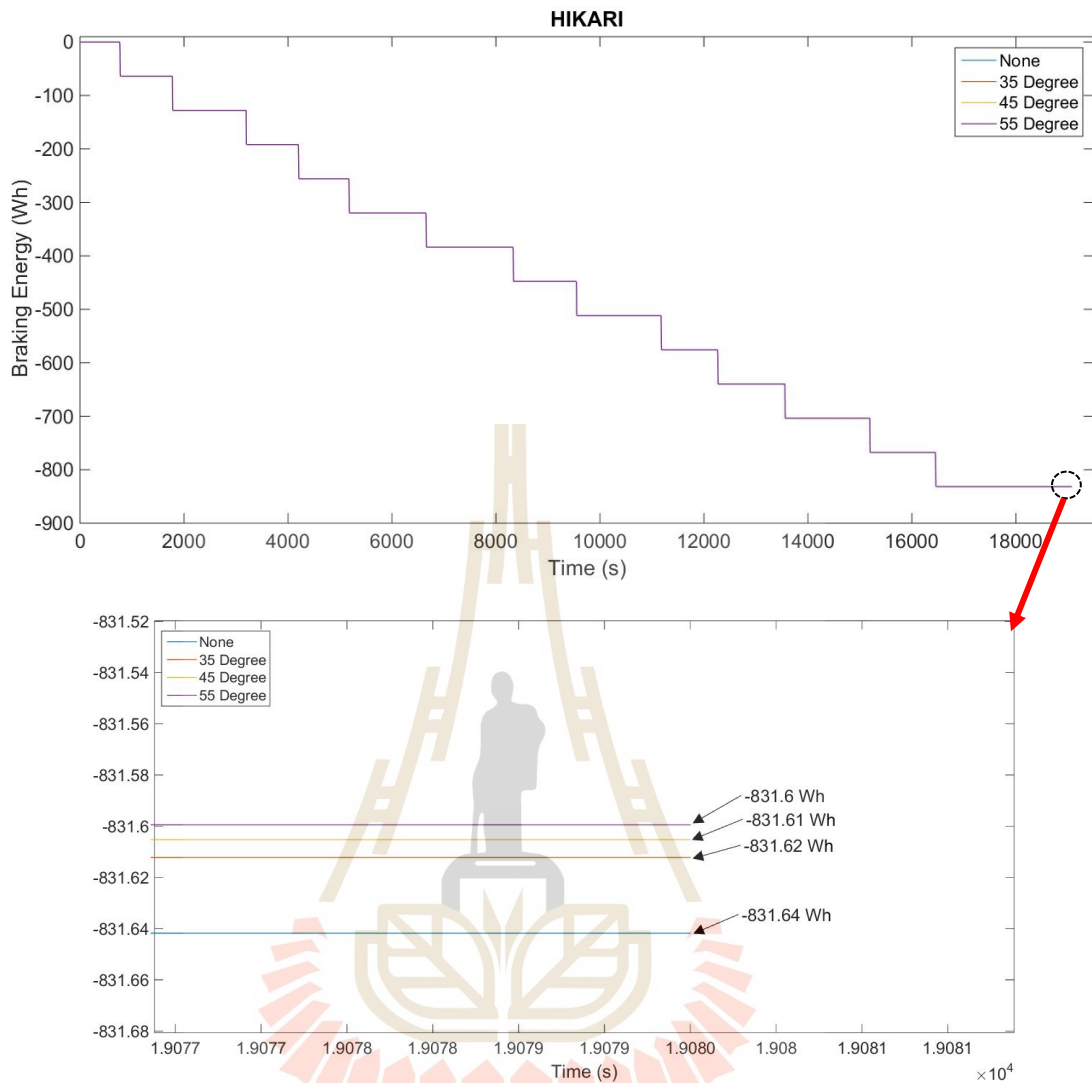




รูปที่ ก.21 พลังงานเบรกของรถไฟ Kodama แต่ละมุมการทำงานเทียบเวลาที่ความเร็ว 10 km/h

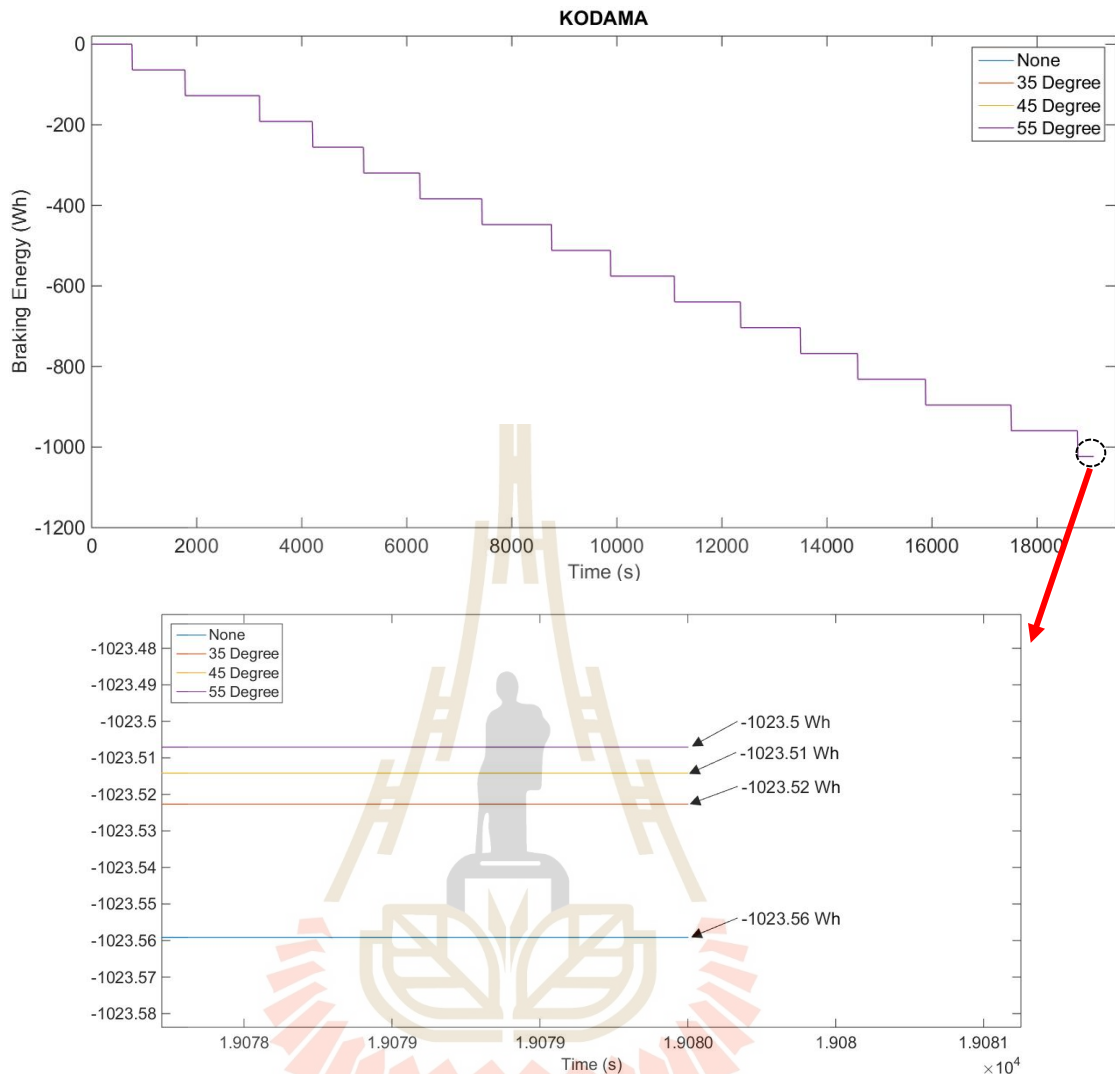


รูปที่ ก.22 พลังงานเบรกของรถไฟ Nozomi แต่ละมุมการทำงานเทียบเวลาที่ความเร็ว 6.5 km/h



รูปที่ ก.23 พลังงานเบรกของรถไฟ Hikari แต่ละมุมการทำงานเทียบเวลาที่ความเร็ว 6.5 km/h

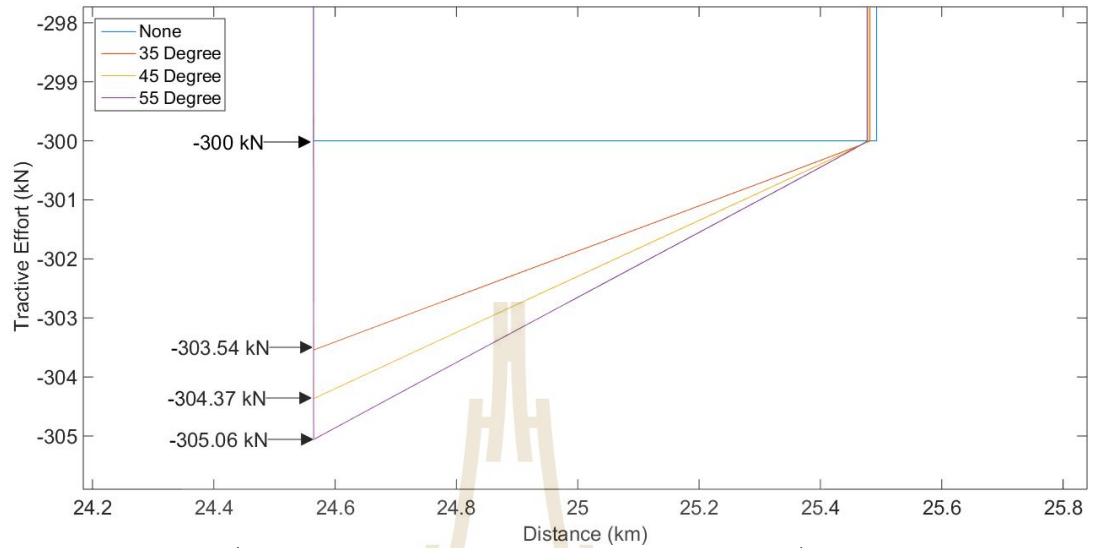




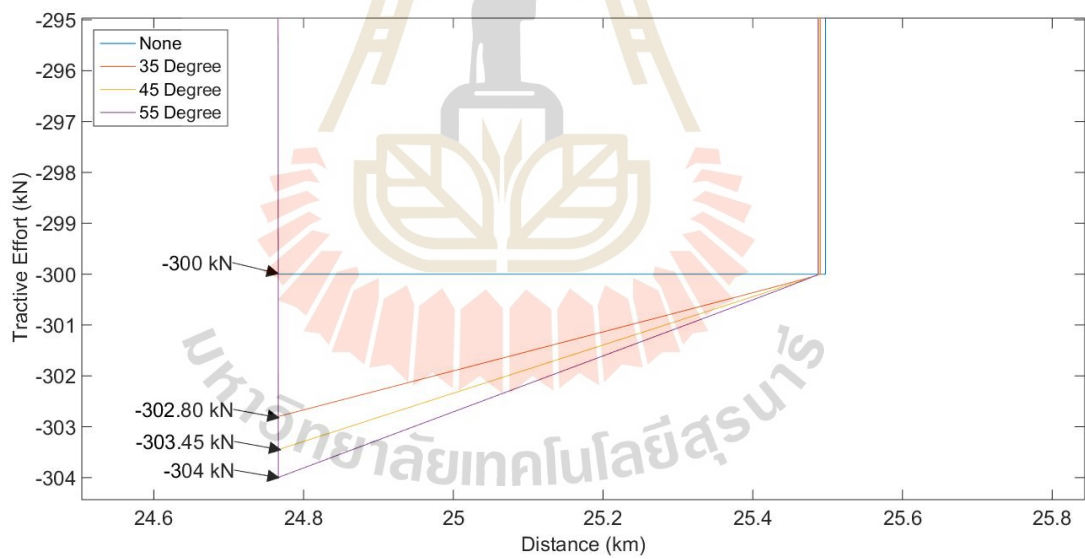
รูปที่ ก.24 พลังงานเบรกของรถไฟ Kodama แต่ละมุมการทำงานเทียบเวลาที่ความเร็ว 6.5 km/h



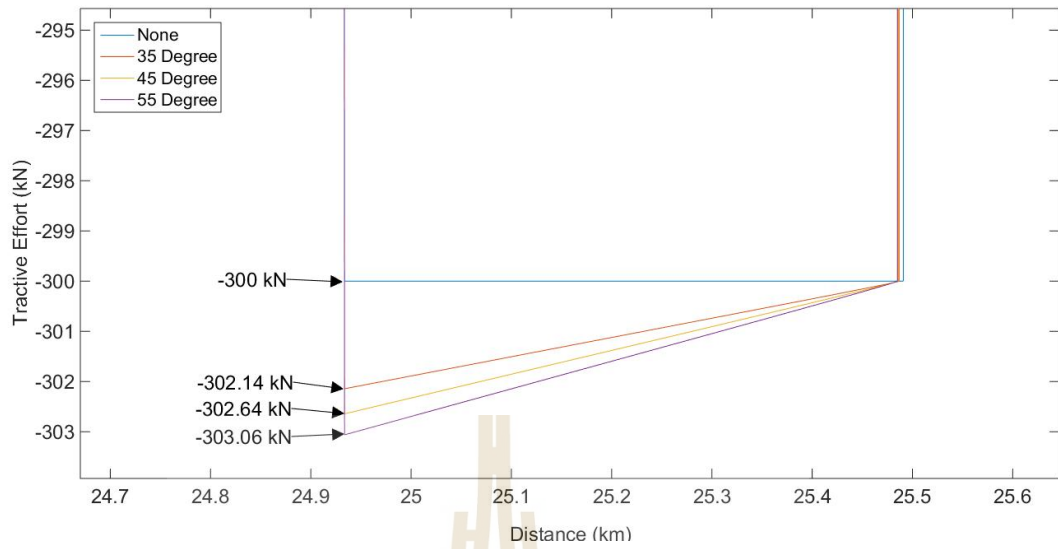
ก.2 ผลการจำลองแรงต้านอากาศเทียบกับระยะทางที่ความเร็วต่างกัน



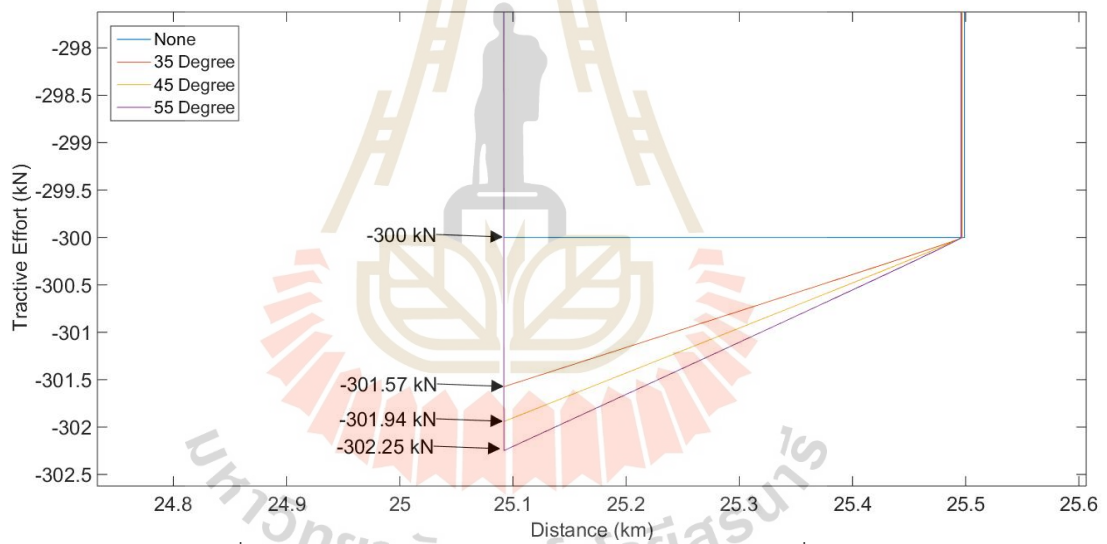
รูปที่ ก.25 แรงต้านอากาศของรถไฟเทียบกับระยะทางที่ความเร็ว 90 km/h



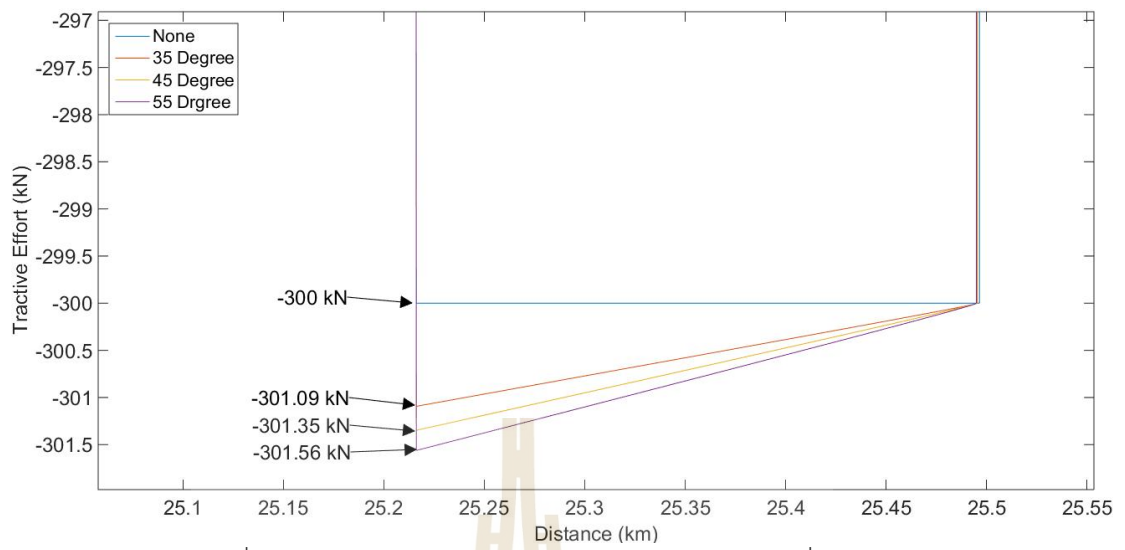
รูปที่ ก.26 แรงต้านอากาศของรถไฟเทียบกับระยะทางที่ความเร็ว 80 km/h



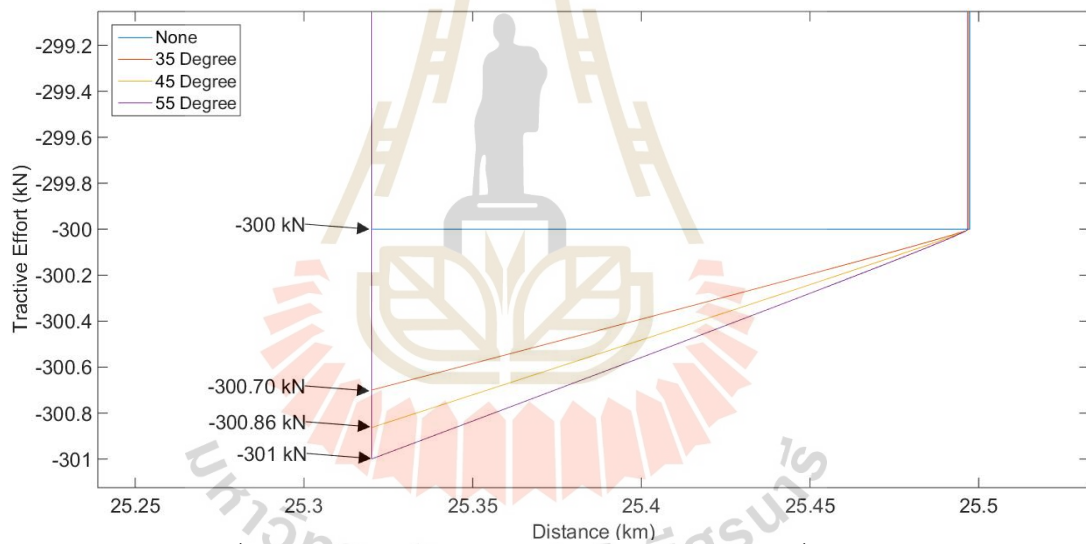
รูปที่ ก.27 แรงต้านอากาศของรถไฟเทียบกับระยะทางที่ความเร็ว 70 km/h



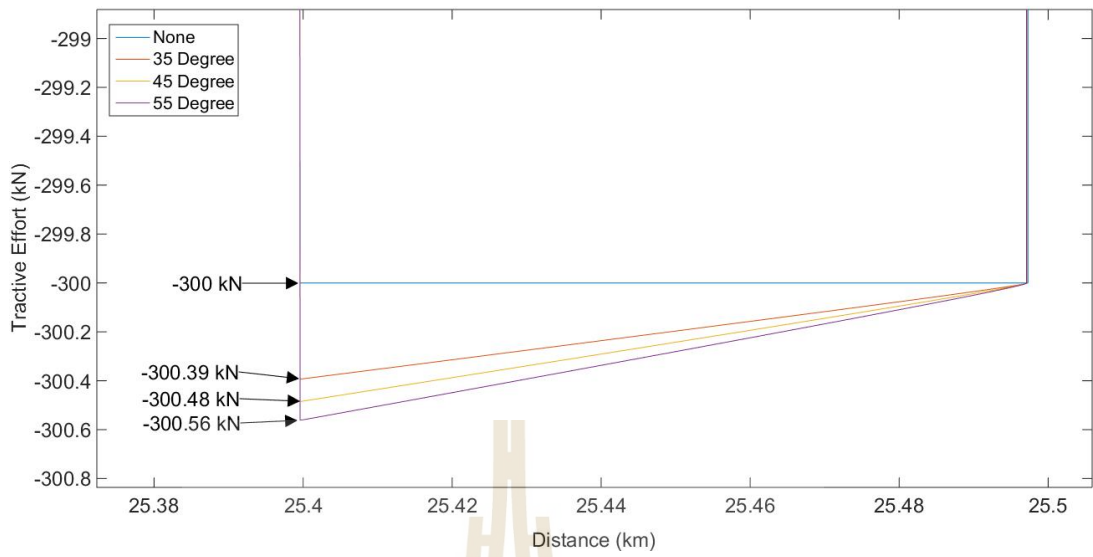
รูปที่ ก.28 แรงต้านอากาศของรถไฟเทียบกับระยะทางที่ความเร็ว 60 km/h



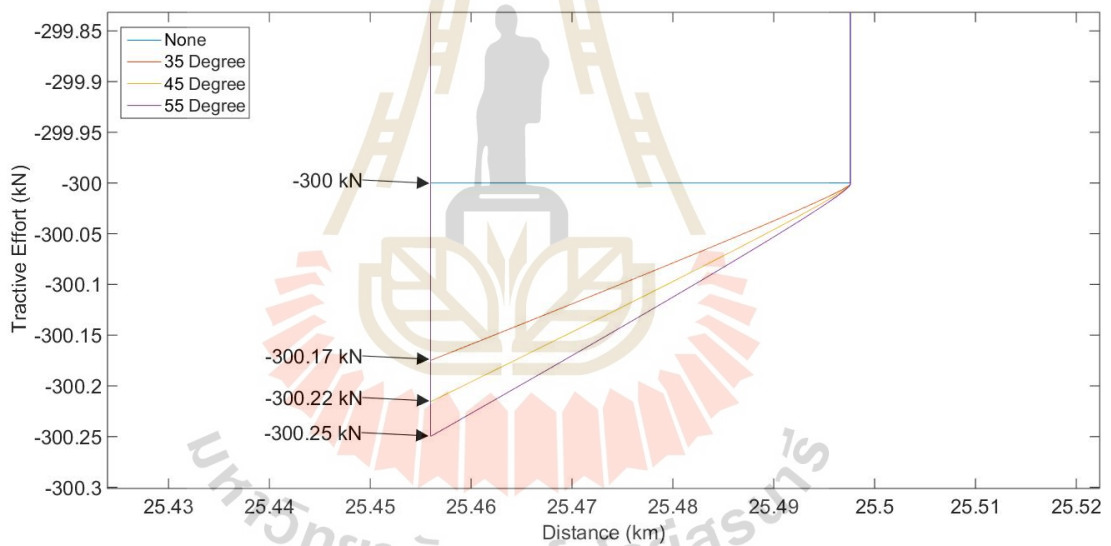
รูปที่ ก.29 แรงต้านอากาศของรถไฟเทียบกับระยะทางที่ความเร็ว 50 km/h



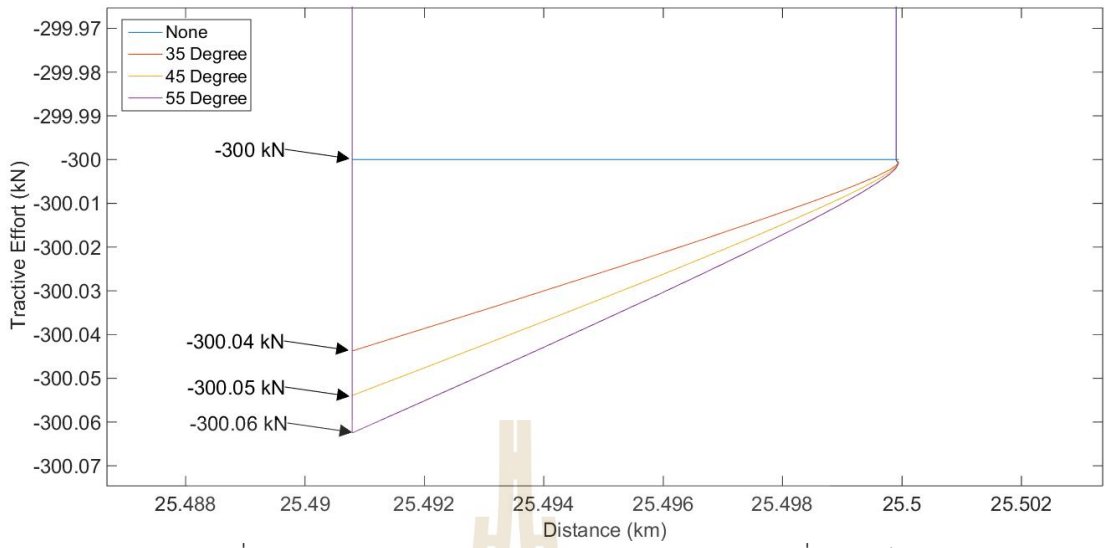
รูปที่ ก.30 แรงต้านอากาศของรถไฟเทียบกับระยะทางที่ความเร็ว 40 km/h



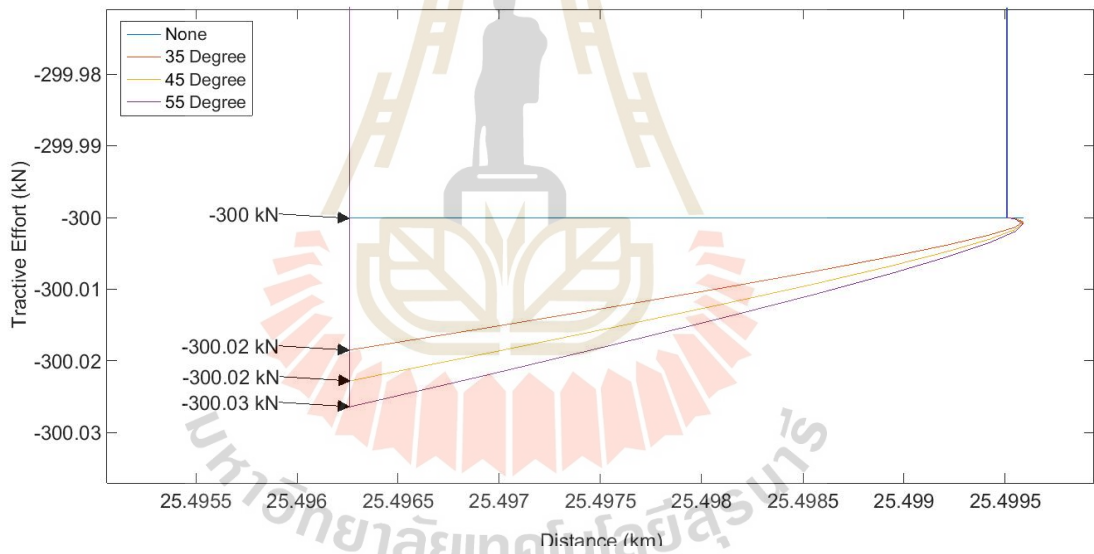
รูปที่ ก.31 แรงต้านอากาศของรถไฟเทียบกับระยะทางที่ความเร็ว 30 km/h



รูปที่ ก.32 แรงต้านอากาศของรถไฟเทียบกับระยะทางที่ความเร็ว 20 km/h



รูปที่ ก.33 แรงต้านอากาศของรถไฟเทียบกับระยะทางที่ความเร็ว 10 km/h



รูปที่ ก.34 แรงต้านอากาศของรถไฟเทียบกับระยะทางที่ความเร็ว 6.5 km/h



ภาคผนวก ข
บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รายชื่อบทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

P. Surachon, T. Ratniyomchai, and T. Kulworawanichpong. (2020). Aerodynamic Brake Study of Reducing Braking Distance and Decreasing Using The Energy of Braking of High-Speed Trains. **2020 International Conference on Power, Energy, and Innovations (ICPEI 2020)**. 14-16 October 2020, Chiangmai, Thailand.



Aerodynamic Brake Study of Reducing Braking Distance and Decreasing Using The Energy of Braking of High-Speed Trains

Phattara Surachon
School of Electrical Engineering
Suranaree University of Technology
Nakhon Ratchasima, Thailand
e-mail:tamsurachon@gmail.com

Tosaphol Ratniyomchai
School of Electrical Engineering
Suranaree University of Technology
Nakhon Ratchasima, Thailand
e-mail:tosaphol@sut.ac.th

Thanatchai Kulworawanichpong
School of Electrical Engineering
Suranaree University of Technology
Nakhon Ratchasima, Thailand
e-mail:thanatch@sut.ac.th

Abstract— This article presents a novel research on aerodynamic brake by reducing brake distance and braking energy of the high-speed trains (HST), which is inspirational from the aerodynamic brake on a commercial aircraft's wings. In emergency case, both brake distance and braking time of HST will be longer than normal situation, therefore, safety for passengers and management about controlling the driving of HST are very important. The aerodynamic brake effected on the dynamic motion of trains during braking are analyzed and considered as the aircraft's flaps that is applied in HST. The area of aerodynamic brake functions as the additional drag force during braking. The HST with the speed from 200 km/h to 350 km/h is a case study of this article. As the results, it is found that the braking time and brake distance can be reduced in comparison with the system without aerodynamic brake. The braking distance is reduced by 394 m or 0.13% when the area of aerodynamic brake increases to 100%. However, when aerodynamic brake is used in real situation, it should be chosen the area of aerodynamic brake that is suitable to the dimension of train body, and it should not block electricity cable, energy resource in the train, tunnel and so on. Moreover, it can reduce the energy of braking, and energy saving is reduced by 3.23 kWh or 0.692%, therefore, the mechanical brake and its maintenance have efficient advantages by extending its service life.

Keywords— High-speed Train, Aerodynamic brake, Brake distance, Drag force

I. INTRODUCTION

In the present, high-speed train (HST) becomes the type of important transportation for public traveling because of its comfortable [1], energy saving, fast transportation, natural conservation, and high performance. Therefore, the safety for traveling by high-speed train is very important. Braking distance of a train is different and depends on many factors such as free running distance, highest speed, and efficiency of braking equipment that is related to braking operations and systems. All of these are the most important points when it is mentioned safety, comfort and convenience for passengers and efficiency about train management and control because HST works with high speed [2]. Therefore, reducing braking

distance can save energy and increase safety margin that is capable to stop trains during emergency accidents. Moreover, reducing braking distance can make arrival and stop of train have correctly punctuality and safety for passengers.

HST is the system of rail transport running with the higher speed than the other rail transports, such as mass rapid transit and light rail transit and so on. A train running with high speed that has velocity from 200 km/h to 400 km/h is designed with streamlined shape [3-5] for reducing the air friction force. However, HST uses distance and time that are longer than the other service trains, therefore, the braking system of HST is definitely more efficient if aerodynamic brake is applied to HST. Regarding to the commercial air plane, the aerodynamic brake is created with flexible shape like aircraft and high-speed train that is designed with streamlined shape for reducing the friction force. Vehicles with higher speed will have more effective from air friction force.

Aerodynamic brake is an inspiration from using commercial aircraft's wings and aircraft's flaps. The area of aerodynamic brake has a function as an additional drag force. Therefore, it is able to increase the friction force on the train during traveling with high speed and slowing down speed for braking efficiently and safely when it confronts with air resistance that hits the air in HST. As a result, aerodynamic brake could decrease braking distance of HST and also saving energy [6].

This paper presents the study of aerodynamic brake for reducing the braking distance and braking energy of HST. The analysis of the vehicles dynamic movement with the types of the train motion and related to the traction and resistance forces and types of the aerodynamic brake in aircraft and HST are proposed in section II. The simulation results and discussions of the HST motion with the aerodynamic brake application is analyzed in section III. Finally, the summary of the study in this paper is concluded in section IV.

II. MOTION, TRAIN'S EQUATIONS AND TYPES OF AERODYNAMIC BRAKE

A. Motion of train

Motion of train for transporting passengers between 2 stations has the type of motion with train's distance-speed curve. A train normally operates under 4 basic modes of motion including accelerating mode, constant speed mode, coasting mode and braking mode [7] as shown in Fig. 1.

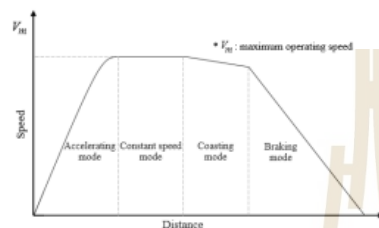


Fig. 1. Train's motion

However, the operations of train motion are used with switching mode based on the driver control for manual mode. This article is not included costing mode for the train motion.

B. Train's equations

Calculating motion of train is shown in Fig. 2. The motion force that is considered includes tractive effort, train resistance and train's acceleration, therefore equation of train is considered by Newton's law of motion as the direction presented in Fig. 2.

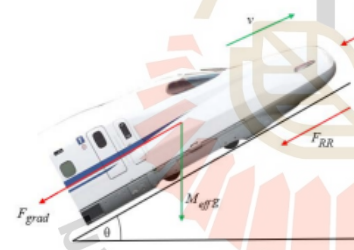


Fig. 2. Motion of high-speed train

From general analysis in Fig. 2, railway is stand at angle θ of horizontal surface, so it has impact between gravitation and motion. Moreover, it can either support motion or resist motion as written in (1).

$$F_t - F_R = M_{eff} \alpha \quad (1)$$

Where F_t is the tractive effort, F_R is the train resistance forces, M_{eff} is the effective vehicle mass, and α is the train acceleration. The train resistance forces (F_R) is divided into 3 forces including the train

rolling resistance force (F_{RR}), the gravitational or the gradient force (F_{grad}), and the aerodynamic drag force (F_{drag}).

Where F_{RR} is calculated by (2)

$$F_{RR} = A + Bv + Cv^2 \quad (2)$$

Where A is the resistance with no speed, B is the resistance with speed, C is the resistance with 2 times of speed, and v is speed at that time. F_{grad} is calculated by (3), where g is the gravitational acceleration.

$$F_{grad} = \pm M_{eff} g \sin \theta \quad (3)$$

Air resistance force (F_{drag}) is the motion that depends on the structure of electric locomotive. The front-side of the locomotive supports the flow of the air through the whole of its car body. And, F_{drag} is calculated by (4)

$$F_{drag} = \frac{1}{2} \rho_{air} c_d A_F v_{air}^2 \quad (4)$$

Where ρ_{air} is the air density, c_d is the coefficient of the air resistance, v_{air} is the relative velocity of the air flow compared to the speed of a train, and A_F is projected frontal area.

C. Aerodynamic brake

Aerodynamic brake is an inspiration by using the commercial airliner's wings and aircraft's flaps. The objective of its aerodynamic brake is that the area of aerodynamic brake would act as an additional drag force which could increase the friction force for high-speed aircraft to slow down the speed and stop efficiently and safely. Aircraft's flaps are shown in Fig. 3 [8].



Fig. 3. Aircraft's flaps

Aerodynamic brake is applied to HST. The car body of HST is designed in streamlined shape for reducing the friction force because of faster vehicles would have worse effect from the more friction force. The aerodynamic brake would confront with drag force which hits air force to the HST for reducing

braking distance and also saving train's power during braking operation. The type of aerodynamic brake for HST is shown in Fig. 4 [2].

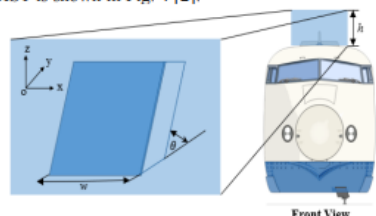


Fig. 4. Aerodynamic brake of high-speed train

In Fig. 4, the aerodynamic brake is installed at upper surface of HST. Aerodynamic brake's mechanism is folded wing system during the stopping at station and would be extended when train is starting braking. The purpose of this application is that to increase front area of high-speed train hits the air for increasing the drag force of HST during braking operation.

III. SIMULATION RESULTS OF HIGH-SPEED TRAIN'S MOTION

This simulation is calculated by applying the parameters of HST, N700 Shinkansen, with speed of 300 km/h [9] as a case study. A train's moving between 2 passenger stations with distance of 300 km is divided into 2 scenario of the simulations. Firstly, a train moves without aerodynamic brake during braking mode. Secondly, train runs with aerodynamic brake in braking mode which has increased the area by specified the percentage of the train front surface. The parameters of the HST and the parameters of train rolling resistance are presented in TABLE I and II, respectively.

TABLE I. PARAMETERS OF HIGH-SPEED TRAIN

Parameter	Specifications
Speed of train	300 km/h
Distance of train	300 km
Acceleration	0.56 m/s ²
Deceleration	0.75 m/s ²
ρ_{air}	1.2 kg/m ³
c_d	0.25

TABLE II. PARAMETERS OF TRAIN ROLLING RESISTANCE (F_{RR})

Coefficient A	5.85419
Coefficient B	0.06105
Coefficient C	0.00055

The HST has the maximum speed of 300 km/h with no coasting mode, the train speed reduces to 200 km/h and 100 km/h during braking mode as shown in Fig. 5. For the simulation, the aerodynamic brake is applied in the HST during the braking operation with the speed of 100 km/h before the train arrives at station by increasing the front area of the HST with

the aerodynamic brake by the increment of 10% until 100% of the front area as shown in Fig. 6.

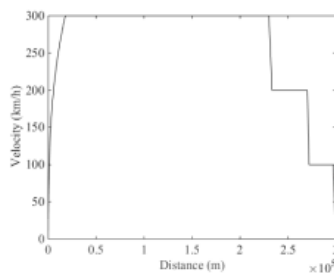


Fig. 5. high-speed train's motion

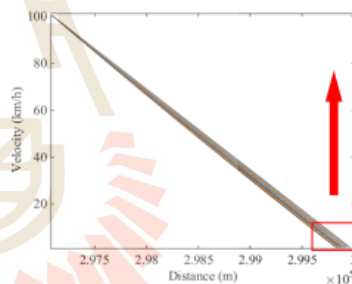
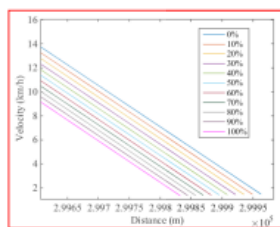


Fig. 6. aerodynamic brake during speed of 100 km/h before train arriving at next station

Fig 5. is a distance-speed curve of the HST motion with the maximum speed of 300 km/h with the total distance of 300 km. A train is stopped 3 times during 3 levels of speeds including 300 km/h, 200 km/h, and 100 km/h. The aerodynamic brake of a train is applied at the speed of 100 km/h until the train arriving at station 2 as shown in Fig 6. When the aerodynamic brake is used on the train, it could reduce the braking distance of the HST, which is maximum of 394 m or 0.13%, in comparison with the system without the aerodynamic brake, by reaching 100% of the area of aerodynamic brake. Actually, the area of the aerodynamic brake should be matched with the size of car body of the HST, and it should not obstruct to the overhead wires and power resource of train. In

additions, an applying the aerodynamic brake could increase drag force and friction force which also could reduce velocity of the HST.

In terms of the braking energy, the hypothesis of the aerodynamic brake application, it would save the braking energy from both mechanical and electrical braking systems. The simulation results for comparing the braking energy applied on the HST with and without the aerodynamic brake system are shown in Fig. 7. and 8., respectively.

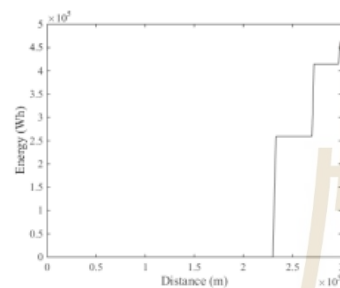


Fig. 7. Energy of braking

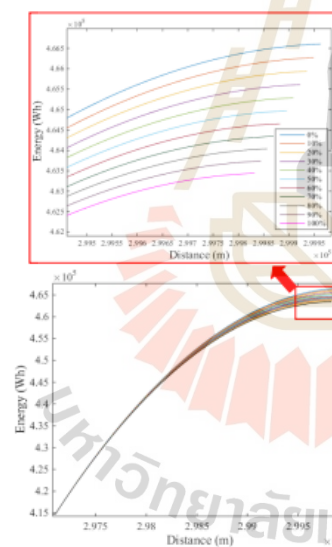


Fig. 8. Energy of braking with aerodynamic brake

From Fig 7., the cumulative braking energy of HST taken into account during the train braking without the aerodynamic brake, when the speed reduces from 300 km/h until stopping at the next station, obtains by 466.67 kWh. On the other hand, in Fig 8., The HST with aerodynamic brake at the speed

of 100 km/h until stop at the next station and with the 100% of area of aerodynamic brake, the cumulative braking energy of the HST is 463.44 kWh. Therefore, the train with aerodynamic could reduce braking energy of 3.23 kWh or 0.692%. However, when aerodynamic brake is actually used, it should possibly match with the dimension of car body of the HST.

IV. CONCLUSIONS

The study in this paper focuses on the application of the aerodynamic brake to the HST for reducing the braking distance and braking energy. As the results, it is found that the aerodynamic brake could reduce the braking distance with the maximum of 394 m or 0.13% when the area of the aerodynamic brake is increased to 100% of the front area of the car body of the HST. However, the area of the aerodynamic brake should really be suitable for dimension of the car body of the train, and it should not obstruct the overhead wires and power resource installed on the train. In additions, the braking energy of the HST with applying the 100% area of the aerodynamic brake is capable of reducing by 3.23 kWh or 0.692%. Moreover, it can efficiently extend the life time and maintenance the brake system.

REFERENCES

- [1] Z. Gao, J. Fang, Y. Zhang, L. Jiang, D. Sun, and W. Guo, "Control of urban rail transit equipped with ground-based supercapacitor for energy saving and reduction of power peak demand," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 67, pp. 439-447, 2015.
- [2] M. Lee and B. Bhandari, "The application of aerodynamic brake for high-speed trains," *Journal of Mechanical Science and Technology* 32(12), pp. 5749-5754, 2018.
- [3] G. Xu, X. Liang, S. Yao, D. Chen and Z. Li, "Multi-objective aerodynamic optimization of the streamlined shape of high-speed trains based on the Kriging model," *PLoS ONE*, 2017.
- [4] M. H. Kwak, S. W. Yun and C. S. Park, "Nose shape optimization of high-speed train for the consideration of crosswind stability," *Journal of the Korean Society for Railway*, pp. 1341-1345, 2015.
- [5] X. Yang, J. Jin and G. Shi, "Preliminary study on streamlined design of longitudinal profile of high-speed train head shape," *13th COTA International Conference of Transportation Professionals*, pp. 1469-1476, 2013.
- [6] S. J. Byun, S. Cry and S. W. Kim, "Numerical simulation of aerodynamic drag for high-speed train using LBM," *Journal of the Korean Society for Railway*, pp. 1660-1665, 2014.
- [7] Federal Railroad Administration, "Best Practices and Strategies for Improving Rail Energy Efficiency," final report, available on-line, 2014.
- [8] [https://en.wikipedia.org/wiki/Elap_\(aeronautics\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Elap_(aeronautics))
- [9] https://en.wikipedia.org/wiki/700_Series_Shinkansen

ประวัติผู้เขียน

นายภัทร สุระชน เกิดเมื่อวันที่ 27 มีนาคม พ.ศ. 2540 ที่อำเภอเมืองนครราชสีมา จังหวัดนครราชสีมา สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า) จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา เมื่อ พ.ศ. 2561 และได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโทวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เมื่อปี พ.ศ. 2562 โดยขณะกำลังศึกษาระดับปริญญาโทได้เป็นผู้สอนในรายวิชาปฏิบัติการต่าง ๆ ของสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และมีผลงานตีพิมพ์ดังปรากฏรายละเอียดในภาคผนวก ข

