เปรียบเทียบการทดสอบความต้องการพลังงานของยานยนต์ไฟฟ้าโดย CHASSIS DYNAMOMETER ระหว่างมาตรฐาน WLTP และมาตรฐาน EPA

COMPARISON OF ENERGY CONSUMPTION ELECTRIC VEHICLE BY CHASSIS DYNAMOMETER BETWEEN WLTP AND EPA STANDARDS

โดย

นายกรุณา ธนากิจ

นายจักรพงษ์ จงทัน

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COMPARISON OF ENERGY CONSUMPTION ELECTRIC VEHICLE BY CHASSIS DYNAMOMETER BETWEEN WLTP AND EPA STANDARDS

KARUNA TANAKIT
JAKKAPHONG JONGTAN

THIS PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT
FOR THE BACHELOR DEGREE IN ELECTRICAL ENGINEERING
DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING SCHOOL OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2022

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2565

เปรียบเทียบการทดสอบความต้องการพลังงานของยานยนต์ไฟฟ้าโดย CHASSIS DYNAMOMETER ระหว่างมาตรฐาน WLTP และมาตรฐาน EPA

COMPARISON OF ENERGY CONSUMPTION ELECTRIC VEHICLE BY CHASSIS DYNAMOMETER BETWEEN WLTP AND EPA STANDARDS

โดย

นายกรุณา ธนากิจ

นายจักรพงษ์ จงทัน

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.ธีรพล โพธิ์พงศ์วิวัฒน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2565

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การเปรียบเทียบการทดสอบความต้องการพลังงานของยานยนต์ไฟฟ้า โดย CHASSIS DYNAMOMETER ระหว่างมาตรฐาน WLTP และมาตรฐาน EPA

ผู้จัดทำ

1. นายกรุณา ธนากิจ
2. นายจักรพงษ์ จงทัน

ธีรพล โพธิ์พงศ์วิวัฒน์ อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธีรพล โพธิ์พงศ์วิวัฒน์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปรียบเทียบการทดสอบความต้องการพลังงานของยานยนต์ไฟฟ้าโดย CHASSIS DYNAMOMETER ระหว่างมาตรฐาน WLTP และมาตรฐาน EPA

นาย กรุณา ธนากิจ
นาย จักรพงษ์ จงทัน
ผศ.ดร. ธีรพล โพธิ์พงศ์วิวัฒน์ อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2565

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการเปรียบเทียบการทดสอบอัตราการใช้พลังงานของยานยนต์ไฟฟ้า ระหว่างมาตรฐาน WLTP (Worldwide Harmonised Light Vehicle Test Procedure) และมาตรฐาน EPA (Environmental Protection Agency) การทดสอบใช้ Chassis Dynamometer เป็นเครื่องมือในการทดสอบ ยานยนต์ไฟฟ้าทดสอบเป็นรุ่น Volkswagen ID4 pure plus มาตรฐาน ก่อนการทดสอบด้วย Chassis Dynamometer ได้นำยานยนต์ไฟฟ้าทดสอบบนถนนสภาพแวดล้อมจริง เพื่อเก็บค่า Coast Down time และนำข้อมูลมาวิเคราะห์หา ค่าสัมประสิทธิ ABC ของสมการ Road load ซึ่งเป็นค่าเฉพาะของยานยนต์แต่ละคัน เพื่อจำลองสถานการณ์การขับขี่ให้ใกล้เคียงกับถนนจริงมากที่สุด โดยใช้ Chassis Dynamometer เพื่อหาอัตราการใช้พลังงานของยานยนต์ไฟฟ้าจากทั้งสองมาตรฐาน โดยเปรียบเทียบพลังงานที่ใช้ในการทดสอบระหว่างสองมาตรฐานในลักษณะการขับขี่ที่ใกล้เคียงกัน คือการขับขี่บนทางด่วนและการขับขี่ในเมือง ผลการทดสอบพบว่า ผลการทดสอบตามมาตรฐาน EPA มีการใช้พลังงานต่อกิโลเมตรน้อยกว่า WLTP เนื่องจาก WLTP ได้รับการออกแบบลักษณะรูปแบบการขับขี่ที่ใกล้เคียงความจริงมากกว่า EPA เพราะ WLTP มีการแบ่งลักษณะการขับขี่ครอบคลุม 4 ลักษณะ ได้แก่ ความเร็วต่ำ ความเร็วปานกลาง ความเร็วสูงและความเร็วสูงพิเศษ ซึ่ง EPA แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ ได้แก่ การขับขี่ในเมืองและทางหลวง รวมถึงค่าปัจจัยต่าง ๆ เช่น อุณหภูมิ ความเร็ว ลักษณะการขับขี่ การเบรก การหยุดรถ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ENERGY CONSUMPTION TESTING FOR ELECTRIC VEHICLE BY CHASSIS DYNAMOMETER BASED ON WLTP AND EPA STANDARD.

Mr. Karuna Tanakit
Mr. Jakkaphong Jongtan
Assistant.Prof.Dr. Teeraphon Phophongviwat
Advisor
Year 2022

ABSTRACT

This project presents a comparison of the energy consumption of an electric vehicle between the WLTP (Worldwide Harmonized Light Vehicle Test Procedure) and EPA (Environmental Protection Agency) electric vehicle distance standards. The Chassis Dynamometer was used as a tool for testing. The tested electric vehicle model is the Volkswagen ID4 pure plus, and the testing was carried out at the Electric Vehicle Testing Laboratory in Department of Electrical Engineering, School of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang. To prepare the characteristic of the EV for Chassis Dynamometer, The EV was tested for determining Coast Down time and Road load coefficient, (a, b, and c) The energy consumption was analyzed, and a comparison was made between the two standards, for driving conditions that were similar, in both urban and highway environments. The test results show that the energy consumption under the EPA standard is lower than that under the WLTP standard, in terms of energy consumption per kilometers.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยการช่วยเหลือจากหลายท่าน โดยเฉพาะอย่ายิ่งขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธีรพล โพธิ์พงศ์วิวัฒน์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน ที่ได้กรุณาเสียสละเวลาแนะนำแนวทาง ให้ข้อแนะนำและข้อคิดคิดเห็นต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อโครงงานมาด้วยดีตลอด รวมทั้งให้ความอนุเคราะห์ในการจัดหาอุปกรณ์ต่าง ๆ ในการทำโครงงานครั้งนี้จนสำเร็จได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ คุณณัฐพล มฤคทัต และคุณนครศักดิ์ แสงศรี ที่ช่วยจัดหาอุปกรณ์ที่จำเป็นต่าง ๆ ในโครงงานอย่างครบถ้วน

ขอขอบคุณพนักงานบริษัท MEIDEN ทุกท่าน ที่ช่วยแนะนำการใช้งาน และตอบคำถามปัญหาทางเทคนิคของ Chassis Dynamometer

ขอขอบคุณพี่ๆนักศึกษาปริญญาโทห้องปฏิบัติการ Chassis Dynamometer ทุกคน ที่คอยให้คำปรึกษาและความช่วยเหลือจนจบโครงงาน

นอกจากนั้นคณะผู้จัดทำต้องขอขอบคุณ ดร.ปุณยวีร์ ฉายศิริ ที่ได้กรุณาตรวจแก้ไขปริญญานิพนธ์จนสำเร็จเรียบร้อยเป็นอย่างดี และคุณกมลวรรณ ถาวร เจ้าหน้าที่ห้องธุรการประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการเบิกเงินภายในโครงงาน

ท้ายนี้คณะผู้จัดทำ ขอกราบขอบคุณ บิดามารดา และครอบครัวซึ่งให้การสนับสนุนในด้านการเงินและให้กำลังใจ อีกทั้งเพื่อน ๆ พี่ ๆ น้อง ๆ ที่เป็นกำลังใจและให้ความช่วยเหลือด้วยดีตลอดมา

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VIII
สารบัญตาราง	X
บทที่ 1 บทนำ	**1**
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน	3
1.3 ขอบเขตของโครงงาน	3
1.4 ขั้นตอนและวิธีดำเนินงาน	3
1.5 แผนการดำเนินโครงงาน	4
1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	5
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	**6**
2.1 ยานยนต์ไฟฟ้า (Electric Vehicle)	6
2.2 โครงสร้างของยานยนต์ไฟฟ้า	7
2.2.1 มอเตอร์ (Motor)	8
2.2.2 รีดิวซ์เซอร์ (Reducer)	8
2.2.3 แบตเตอรี่ (Battery)	8
2.2.4 On-board Charger (OBC)	8
2.2.5 Electric Power Control Unit (EPCU)	9
2.3ระบบ Chassis Dynamometer	10
2.3.1 องค์ประกอบของ Chassis Dynamometer	12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 หลักการดูดกลืนพลังงานจากยานยนต์ 13

2.3.3 หลักการทำงานของ Chassis Dynamometer 14

2.4 มาตรฐานระยะทางของยานยนต์ไฟฟ้า 15

2.4.1 มาตรฐาน The Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedure (WLTP) 16

2.4.2 มาตรฐาน Environmental Protection Agency (EPA) 20

2.5 เวลาไหลเลื่อน (Coast down time) 22

2.6 การจำลองการใช้งานขับขี่บนถนน (Target Road Load) 23

2.7 OBD-II (On-Board Diagnostics) 24

บทที่ 3 การออกแบบการทดลองความต้องการของพลังงานของยานยนต์ไฟฟ้า โดย Chasssis Dynamometer 26

3.1 การเตรียมความพร้อมและข้อมูลยานยนต์ไฟฟ้าสำหรับการทดสอบความต้องการพลังงาน 26

3.1.1 คุณสมบัติของยานยนต์ไฟฟ้า 26

3.1.2 การตรวจสอบสภาพยานยนต์ไฟฟ้าก่อนการทดสอบความต้องการพลังงาน 28

3.2 การเตรียมการทดสอบของระบบ Chassis Dynamometer 28

3.2.1 การเก็บข้อมูล Coast Down Time เพื่อหาสมการ Target road load 29

3.2.2 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาสัมประสิทธิ์ ABC ของสมการ Target road load 30

3.3 การตั้งค่าสภาวะการทดสอบยานยนต์ไฟฟ้า บน Chassis Dynamometer 37

3.4 การตั้งค่ารูปแบบความเร็วของการจำลองพื้นถนนในการขับขี่ของยานยนต์ไฟฟ้ากับระบบ Chassis Dynamometer โดยใช้งานร่วมกับแอปพลิเคชัน DriverAid 41

3.5 การออกแบบการทดสอบของระบบ Chassis Dynamometer กับยานยนต์ไฟฟ้า 42

3.5.1 การทดสอบความต้องการพลังงานยานยนต์ไฟฟ้าตามมาตรฐาน WLTP Class 3b ช่วงความเร็วสำหรับ 4 วัฏจักรการขับขี่ตามมาตรฐาน 42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.2 การทดสอบความต้องการพลังงานยานยนต์ไฟฟ้าตามมาตรฐาน EPA ช่วงความเร็วสำหรับ 2 วัฏจักรการขับขี่ตามมาตรฐาน 43

3.5.3 เปรียบเทียบอัตราความต้องการพลังงานที่ได้จากการวิเคราะห์บน Chassis Dynamometer และ OBD-II จากการจำลองการขับขี่ในเมือง (City Driving) และการขับขี่ทางหลวง (High way driving) ระหว่างมาตรฐาน WLTP และมาตรฐาน EPA 43

3.5.4 เปรียบเทียบอัตราความต้องการพลังงานระหว่างข้อมูลจาก Chassis Dynamometer และ OBD-II เพื่อหาประสิทธิภาพของยานยนต์ไฟฟ้าตามมาตรฐาน WLTP และมาตรฐาน EPA 43

บทที่ 4 ผลการทดลอง 44

4.1 การทดสอบตามมาตรฐาน WLTP class 3b บน Chassis Dynamometer แต่ละช่วงความเร็วสำหรับ 4 วัฏจักร 44

4.1.1 การทดสอบตามมาตรฐาน WLTP class 3b บน Chassis Dynamometer ในวัฏจักรการขับขี่แบบความเร็วต่ำ (low driving cycle) 46

4.1.2 การทดสอบตามมาตรฐาน WLTP class 3b บน Chassis Dynamometer ในวัฏจักรการขับขี่แบบความเร็วสูง (high driving cycle) 47

4.2 การทดสอบหาพลังงานสะสมตามมาตรฐาน EPA บน Chassis Dynamometer ของวัฏจักรการขับขี่แบบในเมือง (city driving cycle) และทางหลวง (highway driving cycle) 50

4.2.1 การทดสอบตามมาตรฐาน EPA บน Chassis Dynamometer ของ วัฏจักรการขับขี่แบบเขตในเมือง (city driving cycle) 50

4.2.2 การทดสอบตามมาตรฐาน EPA บน Chassis Dynamometer ของวัฏจักรการขับขี่แบบเขตทางหลวง (highway driving cycle) 50

4.3 เปรียบเทียบอัตราความต้องการพลังงานที่ได้จากการวิเคราะห์บน Chassis Dynamometer ที่ได้จากมาตรฐานการทดสอบแบบ WLTP เทียบกับมาตรฐานการทดสอบ EPA 53

4.3.1 การทดสอบการขับขี่แบบความเร็วต่ำหรือเทียบเท่าการขับขี่แบบเขตในเมือง (city driving cycle) 53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 รอบการทดสอบการขับขี่แบบความเร็วสูงหรือเทียบเท่าการขับขี่แบบเขตทางหลวง (highway driving cycle) 53

4.4 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพและอัตราการใช้พลังงาน (energy Consumption) ต่อกิโลเมตร ของยานยนต์ภายใต้มาตรฐาน WLTP Class 3b และมาตรฐาน EPA 56

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและอภิปรายผล **58**

5.1 ผลการทดลองแต่ละข้อแบบย่อ 58

5.1.1 การทดสอบการใช้พลังงานเพื่อการเลือกช่วงความเร็วที่จะนำไปใช้เป็นต้นแบบสำหรับการทดสอบเชิงเปรียบเทียบระหว่าง WLTP Class 3b และ EPA 58

5.1.2 เปรียบเทียบผลของการขับขี่ของรูปแบบการขับขี่ในความเร็วต่ำเพื่อสรุปผลระหว่างโหมดการขับขี่ตามมาตรฐาน WLTP และ EPA 58

5.1.3 เปรียบเทียบผลของการขับขี่ของรูปแบบการขับขี่ในความเร็วสูงเพื่อสรุปผลระหว่างโหมดการขับขี่ตามมาตรฐาน WLTP และ EPA 59

5.2 อภิปรายสรุปผล 59

5.3 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงงาน 60

5.4 ปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้น 60

5.5 แนวทางการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น 61

ภาคผนวก **55**

ภาคผนวก ก บทความทางวิชาการ **56**

ภาคผนวก ข ข้อมูลยานยนต์ทดสอบความต้องการพลังงาน **65**

ประวัติผู้เขียน **67**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

1.1 สถานีบริการชาร์จไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (PEA VOLTA) 1

1.2 ห้องปฏิบัติการ CHASSIS DYNAMOMETER ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สจล. 2

2.1 ยานยนต์ไฟฟ้าประเภทต่าง ๆ จาก EVAT 6

2.2 ON-BOARD CHARGER 9

2.3 ELECTRIC POWER CONTROL UNIT (EPCU) 10

2.4 ห้องควบคุมสั่งการระบบ CHASSIS DYNAMOMETER ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สจล. 11

2.5 อุปกรณ์ภายนอกระบบ CHASSIS DYNAMOMETER 12

2.6 หน้าจอโปรแกรม MEIDACS-DY 13

2.7 แอปพลิเคชัน DAD- DRIVER AID 13

2.8 โครงสร้างหลักของ DYNAMOMETER 15

2.9 วัฏจักรทดสอบการขับขี่ WLTP สำหรับยานยนต์ในคลาส CLASS 3A 18

2.10 วัฏจักรทดสอบการขับขี่ WLTP สำหรับยานยนต์ในคลาส CLASS 3B 18

2.11 วัฏจักรทดสอบการขับขี่ WLTP สำหรับยานยนต์ในคลาส CLASS 2 19

2.12 วัฏจักรทดสอบการขับขี่ WLTP สำหรับยานพาหนะในคลาส CLASS 1 19

2.13 วัฏจักรการขับขี่แบบ CITY 21

2.14 วัฏจักรการขับขี่แบบ HIGH WAY 21

2.15 เวลาไหลเลื่อน (COAST DOWN TIME) 23

3.1 เส้นทางในการทดสอบ ถนนสุวรรณภูมิ 3 29

3.2 EC TARGET ROAD LOAD – MEIDACS-DY 31

3.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง ROAD LOAD และ SPEED ทั้งหมด 32

3.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง ROAD LOAD และ SPEED ข้อมูลชุดที่ 2 33

3.5 WLTP TARGET ROAD LOAD 34

3.6 EPA TARGET ROAD LOAD CREATE 35

3.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง ROAD LOAD และ SPEED สำหรับมาตรฐาน EPA 36

3.8 EPA ROAD LOAD CORRECTION AND VERIFICATION 36

3.9 การตั้งค่า TEST CONDITION 37

3.10 การตั้งค่าน้ำหนักยานยนต์ เกียร์และตำแหน่งพวงมาลัย 38

3.11 การตั้งค่าขนาดรัศมีล้อยานยนต์ 38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.12 การทดสอบ MECHANICAL LOSS 40
3.13 การตั้งค่ารูปแบบการขับขี่ภายใต้มาตรฐานบนแอปพลิเคชัน DRIVERAID 42
4.1 การใช้พลังงานไฟฟ้าสะสมที่แบตเตอรี่และพลังงานทางกลสะสมที่ล้อใน 1 วัฏจักรทดสอบการขับขี่คลาส 3B 45
4.2 การใช้พลังงานไฟฟ้าสะสมที่แบตเตอรี่และพลังงานทางกลที่ล้อสะสมใน 1 วัฏจักรทดสอบการขับขี่คลาส 3B รูปแบบการขับขี่ความเร็วต่ำ (LOW DRIVING CYCLE) 48
4.3 การใช้พลังงานไฟฟ้าสะสมที่แบตเตอรี่และพลังงานทางกลสะสมที่ล้อใน 1 วัฏจักรทดสอบการขับขี่คลาส 3B รูปแบบการขับขี่ความเร็วสูง (HIGH DRIVING CYCLE) 49
4.4 การใช้พลังงานไฟฟ้าสะสมที่แบตเตอรี่และพลังงานทางกลสะสมที่ล้อในวัฏจักรทดสอบการขับขี่ EPA ของช่วงความเร็วต่ำหรือเขตในเมือง (CITY DRIVING CYCLE) 51
4.5 การใช้พลังงานไฟฟ้าสะสมที่แบตเตอรี่และพลังงานทางกลสะสมที่ล้อในวัฏจักรทดสอบการขับขี่ EPA ของช่วงความเร็วสูงหรือเขตทางหลวง (HIGHWAY DRIVING CYCLE) 52
4.6 การใช้พลังงานไฟฟ้าสะสมที่แบตเตอรี่และพลังงานทางกลสะสมที่ล้อโดยเปรียบเทียบระหว่างวัฏจักรทดสอบการขับขี่ WLTP และ EPA ของช่วงความเร็วต่ำ 54
4.7 การใช้พลังงานไฟฟ้าสะสมที่แบตเตอรี่และพลังงานทางกลสะสมที่ล้อโดยเปรียบเทียบระหว่างวัฏจักรทดสอบการขับขี่ WLTP และ EPA ของช่วงความเร็วสูง 55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

1.1 แผนการดำเนินโครงงาน 4

2.1 วัฏจักรการทดสอบการขับขี่ตามมาตรฐาน WLTP 17

2.2 ความแตกต่างระหว่างการขับขี่แบบ CITY และแบบ HIGH WAY ของ EPA 22

3.1 คุณสมบัติของยานยนต์ไฟฟ้า 27

3.2 พารามิเตอร์ของแบตเตอรี่ของยานยนต์ทดสอบ 27

4.1 การใช้พลังงานไฟฟ้าสะสมที่แบตเตอรี่และพลังงานทางกลที่ล้อเพื่อหาประสิทธิภาพของยานยนต์ไฟฟ้า 56

4.2 อัตราการใช้พลังงาน (ENERGY CONSUMPTION) ต่อกิโลเมตร 57

ข.1 ข้อมูลจำเพาะยานยนต์ทดสอบ VOLKSWAGEN ID4 PURE PLUS 65

ข.2 พารามิเตอร์ของแบตเตอรี่ของยานยนต์ทดสอบ 66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบัน การใช้งานยานยนต์ไฟฟ้ามีอัตราการแพร่ขยายเป็นอย่างมากในหมู่ผู้ใช้งานยานยนต์และเทคโนโลยีเกี่ยวกับยานยนต์ไฟฟ้ากำลังเป็นที่นิยมไปทั่วโลก จากการรณรงค์เรื่องการอนุรักษ์พลังงานและลดมลพิษแก่โลก ส่งผลให้เทคโนโลยีเกี่ยวกับยานยนต์ไฟฟ้าเข้ามามีบทบาทอย่างมากในโลกาภิวัตน์ไม่ว่าจะเป็นองค์ความรู้เกี่ยวกับแบตเตอรี่ ยานยนต์ไฟฟ้า หรือสถานีชาร์จแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้า ดังรูปที่ 1.1 แสดงถึงความนำสมัยและนำเทคโนโลยีของการไฟฟ้าฝ่ายส่วนภูมิภาคของประเทศไทยที่เล็งเห็นความสำคัญของยานยนต์ไฟฟ้า ทั้งนี้ เนื่องจากเทคโนโลยีเกี่ยวกับยานยนต์ไฟฟ้ากำลังมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องและมีความก้าวหน้าสูง รวมถึงการที่หลายๆ บริษัทพยายามเข้ามาทำตลาดยานยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทย ทำให้ยานยนต์ไฟฟ้ามีมากมายหลากหลายรุ่นมากขึ้น มีจุดชาร์จยานยนต์ไฟฟ้าหลายแห่ง สะดวกสบายต่อการใช้งานมากยิ่งขึ้น

รูปที่ 1.1 สถานีบริการชาร์จไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (PEA Volta)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งในการใช้งานยานยนต์ไฟฟ้า หากผู้ใช้มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับยานยนต์ไฟฟ้าจะช่วยให้สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพและเกิดประโยชน์สูงสุด ซึ่งทางผู้ศึกษาโครงงานเล็งเห็นว่า สิ่งสำคัญที่ผู้ใช้งานยานยนต์ไฟฟ้าควรจะเรียนรู้และเข้าใจเกี่ยวกับยานยนต์ไฟฟ้า คือ ความต้องการพลังงานของยานยนต์ไฟฟ้า เพื่อที่จะสามารถประมาณการณ์ระยะทางที่วิ่งได้ไกลที่สุดต่อการอัดประจุหนึ่งครั้งได้ ในสถานการณ์ใช้งานที่แตกต่างกัน ทำให้คาดการณ์ได้ว่าในการเดินทางควรจะต้องมีการอัดประจุให้กับยานยนต์ไฟฟ้ากี่ครั้ง ระยะทางเท่าใด นอกจากนี้ การทราบความต้องการพลังงานของยานยนต์ไฟฟ้า จะสามารถนำไปใช้ในการเลือกขนาดพิกัดแบตเตอรี่ใช้งานได้อย่างเหมาะสม

อย่างไรก็ตาม ผู้ขับขี่ยานยนต์แต่ละคนมีพฤติกรรมการขับขี่แตกต่างกัน ทำให้ลักษณะการใช้งานในการขับขี่ยานยนต์ไฟฟ้าออกมาแตกต่างกัน ดังนั้น ความต้องการพลังงานของยานยนต์ไฟฟ้าจึงจะแตกต่างกันไปในยานยนต์ไฟฟ้าแต่ละคันหรือแต่ละรุ่น และขึ้นอยู่กับลักษณะการขับขี่ของผู้ใช้งาน นอกจากนี้ยังคาดว่าจะมีปัจจัยอื่นๆ หลายปัจจัยที่ส่งผลต่อความต้องการพลังงาน ดังนั้น การจะทราบค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าของยานยนต์ไฟฟ้า จำเป็นต้องมีการทดสอบด้วยเครื่องมือทดสอบที่สามารถวัดค่ากำลังไฟฟ้าได้และสามารถปรับเปลี่ยนค่าเพื่อจำลองเงื่อนไขในการขับขี่รูปแบบลักษณะต่างๆให้สอดคล้องกับลักษณะการใช้งานของผู้ขับขี่ ซึ่งหนึ่งในเครื่องมือทดสอบที่มีความสามารถในการใช้งานตามจุดประสงค์ดังกล่าว คือ Chassis Dynamometer ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง แสดงดังรูปที่ 1.2

รูปที่ 1.2 ห้องปฏิบัติการ Chassis Dynamometer ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สจล.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1. เพื่อศึกษาพฤติกรรมความต้องการพลังงานของยานยนต์ไฟฟ้าทดสอบ โดยใช้ Chassis Dynamometer
2. เพื่อให้เข้าใจหลักการทำงานและวิธีการใช้งาน Chassis Dynamometer
3. เพื่อศึกษาการตอบสนองทางไฟฟ้าของยานยนต์ไฟฟ้า เมื่อจำลองการขับขี่บน Chassis Dynamometer ภายใต้มาตรฐาน WLTP Class 3b และ EPA
4. เพื่อศึกษาความเหมาะสมสำหรับการเลือกรูปแบบการขับขี่ (driving cycle) สำหรับเปรียบเทียบอัตราการใช้พลังงานระหว่างการทสอบภายใต้มาตรฐาน WLTP และ EPA
5. เพื่อศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อความต้องการพลังงานของยานยนต์ไฟฟ้า

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

ทดสอบความต้องการพลังงานของยานยนต์ไฟฟ้า Volkswagen ID4 pure plus ซึ่งนำยานยนต์ทดสอบหาค่า Coast Down Time ผ่าน OBD-II โดยใช้แอปพลิเคชัน Car scanner สำหรับเก็บข้อมูล เพื่อนำข้อมูลวิเคราะห์ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการขับขี่บนถนนคือค่า Target road load ซึ่งเป็นค่าเฉพาะของยานยนต์ทดสอบ ด้วยแอปพลิเคชัน MEIDACS-DY จากนั้นใช้สมการ Target road load จำลองการขับขี่จริงบนถนนด้วยเครื่องมือ Chassis Dynamometer ที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กำหนดการทดสอบโดยใช้มาตรฐานระยะทางของยานยนต์ไฟฟ้า WLTP และมาตรฐานระยะทางของยานยนต์ไฟฟ้า EPA แล้วเก็บข้อมูลการขับยานยนต์ไฟฟ้าบน Chassis Dynamometer ตามเงื่อนไขต่าง ๆ ที่ตั้งค่าเพื่อทดสอบความต้องการพลังงานของยานยนต์ไฟฟ้าภายใต้สองมาตรฐาน ที่เลือกศึกษาวิจัย

1.4 ขั้นตอนและวิธีดำเนินงาน

1. ศึกษาข้อมูล ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. ศึกษาขั้นตอนการใช้งาน Chassis Dynamometer จากคู่มือการใช้งาน
3. ทดลองใช้งาน Chassis Dynamometer
4. เก็บข้อมูลยานยนต์ไฟฟ้าจากการขับบนถนนจริง
5. วิเคราะห์หาสมการการจำลองการใช้งานขับขี่บนถนน (Target road load) จากข้อมูลการขับบนถนนจริง วิเคราะห์ Coast Down Time ด้วยแอปพลิเคชัน MEIDACS-DY
6. ตั้งค่าเริ่มต้นในแอปพลิเคชันควบคุม Chassis Dynamometer โดยใช้สมการการจำลองการใช้งานขับขี่บนถนน (Target road load) เพื่อให้ Chassis Dynamometer สามารถจำลองสถานการณ์การชับขี่บนถนน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ทดสอบยานยนต์ไฟฟ้าตามเงื่อนไขจำลองรูปแบบการขับขี่ต่าง ๆ โดยใช้ Chassis Dynamometer และทำการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์จนครบทุกเงื่อนไข
8. เก็บข้อมูลยานยนต์ไฟฟ้าที่ขับบน Chassis Dynamometer ในแบบต่าง ๆ
9. วิเคราะห์และสังเคราะห์ข้อมูล
10. สรุปผลการศึกษา

1.5 แผนการดำเนินโครงงาน

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินโครงงาน

หัวข้อ	ภาคเรียนที่ 1					ภาคเรียนที่ 2				
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พค.
1.การศึกษาข้อมูลและทฤษฎี										
2.การศึกษาขั้นตอนการใช้งาน Chassis Dynamometer										
3.การทดลองใช้งาน Chassis Dynamometer										
4.การเก็บข้อมูลยานยนต์ไฟฟ้าบนถนน										
5. การเก็บข้อมูลยานยนต์ไฟฟ้าในระบบ Chassis Dynamometer										
6.การวิเคราะห์และสังเคราะห์ข้อมูล										
7.สรุปผลการศึกษา										

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. เกิดความรู้ความเข้าใจพฤติกรรมความต้องการพลังงานของยานยนต์ไฟฟ้าที่นำมาทดสอบ ผ่านการใช้เครื่องมือ Chassis Dynamometer
2. เข้าใจหลักการทำงานและวิธีการใช้งาน Chassis Dynamometer
3. เกิดความรู้ความเข้าใจลักษณะการตอบสนองทางไฟฟ้าของยานยนต์ไฟฟ้า เมื่อจำลองการขับขี่ยานยนต์สำหรับความแตกต่างระหว่างการทดสอบภายใต้มาตรฐาน WLTP และมาตรฐาน EPA
4. เกิดความเข้าใจอัตราการใช้พลังงานที่นำช่วงความเร็วที่เหมือนกันแต่มีมาตรฐานการทดสอบที่แตกต่างกัน ซึ่งจะนำไปสู่การสร้างรูปแบบการขับขี่ (driving cycle) ที่เฉพาะประเทศไทยได้ในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

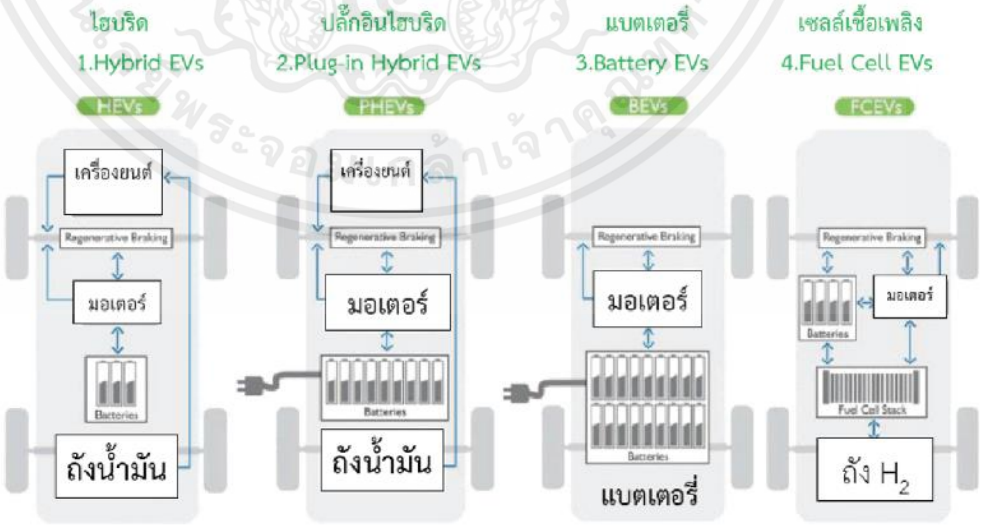
บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ยานยนต์ไฟฟ้า (Electric Vehicle)

ยานยนต์ไฟฟ้า (Electric Vehicle) หมายถึง ยานพาหนะที่ขับเคลื่อนโดยมอเตอร์ไฟฟ้าซึ่งใช้แหล่งพลังงานกักเก็บภายใน เช่น แบตเตอรี่ หรืออาศัยเครื่องยนต์เผาไหม้ภายในร่วมด้วยในการขับเคลื่อน และสำหรับแบตเตอรี่สามารถอัดประจุพลังงานจากแหล่งกักเก็บพลังงานภายนอก เช่น ตู้อัดประจุภายในที่อยู่อาศัยหรือตู้อัดประจุที่ติดตั้งบริเวณให้บริการสาธารณะ ซึ่งเป็นยานยนต์ไฟฟ้าที่ผลิตขึ้นสำหรับใช้บนถนนสาธารณะ ถนนทั่วไป และทางหลวงเป็นหลัก ยานยนต์ไฟฟ้าไม่จำเป็นต้องมีกลไกในการขับเคลื่อนมากมายเฉกเช่นยานยนต์ที่ใช้น้ำมัน ซึ่งต้องใช้การจุดระเบิดเผาไหม้ในการขับเคลื่อน ทำให้เครื่องยนต์เงียบ และไม่มีไอเสียจากการเผาผลาญพลังงาน [1]

2.1.1 ประเภทยานยนต์ไฟฟ้า

ยานยนต์ไฟฟ้าปัจจุบันมีทั้งแบบอาศัยเครื่องยนต์เผาไหม้ภายในหรือสันดาปมาใช้ร่วมกับมอเตอร์ไฟฟ้าทั้งในส่วนการขับเคลื่อนและผลิตพลังงานไฟฟ้าเพื่อเก็บสะสมในแบตเตอรี่ หรือเป็นแบบที่ใช้เชื้อเพลิงชนิดอื่น เช่น แก๊สไฮโดรเจนมาผลิตพลังงานไฟฟ้าโดยใช้เทคโนโลยีเซลล์เชื้อเพลิง เป็นต้น ดังนั้น จึงแบ่งยานยนต์ไฟฟ้าออกเป็น 4 ประเภท [2] ดังแสดงรูปที่ 2.1 ได้แก่



รูปที่ 2.1 ยานยนต์ไฟฟ้าประเภทต่าง ๆ จาก EVAT [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1.1 ยานยนต์ไฟฟ้าไฮบริด (Hybrid electric vehicle, HEV)

ประกอบด้วยเครื่องยนต์ลูกสูบเป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อนหลัก ซึ่งใช้เชื้อเพลิงที่บรรจุในยานยนต์และทำงานร่วมกับมอเตอร์ไฟฟ้าเพื่อเพิ่มกำลังของยานยนต์ให้เคลื่อนที่ ซึ่งทำให้เครื่องยนต์มีประสิทธิภาพสูงขึ้นรวมทั้งยังสามารถนำพลังงานกลที่เหลือหรือไม่ใช้ประโยชน์เปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าเก็บในแบตเตอรี่เพื่อจ่ายให้กับมอเตอร์ไฟฟ้าต่อไป จึงมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงต่ำกว่ายานยนต์ปกติ กำลังที่ผลิตจากเครื่องยนต์และมอเตอร์ไฟฟ้า ทำให้อัตราเร่งของยานยนต์สูงกว่ายานยนต์ที่มีเครื่องยนต์ลูกสูบขนาดเดียวกั

2.1.1.2 ยานยนต์ไฟฟ้าไฮบริดปลั๊กอิน (Plug-in hybrid electric vehicle, PHEV)

เป็นยานยนต์ไฟฟ้าที่พัฒนาต่อมาจากยานยนต์ไฟฟ้าไฮบริด โดยสามารถประจุพลังงานไฟฟ้าได้จากแหล่งภายนอก (Plug-in) ทำให้ยานยนต์สามารถใช้พลังงานพร้อมกันจาก 2 แหล่ง จึงสามารถวิ่งในระยะทางและความเร็วที่เพิ่มขึ้นด้วยพลังงานจากไฟฟ้าโดยตรง ยานยนต์ไฟฟ้าแบบ PHEV มีการออกแบบอยู่ 2 ประเภท ได้แก่ แบบ Extended range EV (EREV) และแบบ Blended PHEV โดยแบบ EREV จะเน้นการทำงานโดยใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นหลักก่อน แต่แบบ Blended PHEV มีการทำงานผสมผสานระหว่างเครื่องยนต์และไฟฟ้า ดังนั้น ยานยนต์ไฟฟ้าแบบ EREV สามารถวิ่งด้วยพลังงานไฟฟ้าอย่างเดียวมากกว่าแบบ Blended PHEV

2.1.1.3 ยานยนต์ไฟฟ้าแบตเตอรี่ (Battery electric vehicle, BEV)

เป็นยานยนต์ไฟฟ้าที่มีเฉพาะมอเตอร์ไฟฟ้าเป็นต้นกำลังให้ยานยนต์เคลื่อนที่ และใช้พลังงานไฟฟ้าที่อยู่ในแบตเตอรี่เท่านั้น ไม่มีเครื่องยนต์อื่นในยานยนต์ ดังนั้นระยะทางการวิ่งของยานยนต์จึงขึ้นอยู่กับการออกแบบขนาดและชนิดของแบตเตอรี่ รวมทั้งน้ำหนักบรรทุก

2.1.1.4 ยานยนต์ไฟฟ้าเซลล์เชื้อเพลิง (Fuel cell electric vehicle, FCEV)

เป็นยานยนต์ไฟฟ้าที่มีเซลล์เชื้อเพลิง (Fuel Cell) ที่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรงจากไฮโดรเจน ซึ่งเซลล์เชื้อเพลิงมีค่าความจุพลังงานจำเพาะที่สูงกว่าแบตเตอรี่ที่มีอยู่ในปัจจุบัน ยานยนต์ไฟฟ้าเซลล์เชื้อเพลิงจึงเป็นเทคโนโลยีที่บริษัทรถยนต์เชื่อว่าเป็นคำตอบที่แท้จริงของพลังงานสะอาดในอนาคต อย่างไรก็ดียังมีข้อจำกัดในเรื่องการผลิตไฮโดรเจนและโครงสร้างพื้นฐาน

2.2 โครงสร้างของยานยนต์ไฟฟ้า

โครงสร้างของยานยนต์ไฟฟ้าประกอบด้วยส่วนสำคัญ 5 ส่วนประกอบ [3] ได้แก่ มอเตอร์รีดิวซ์เซอร์ แบตเตอรี่ ที่ชาร์จแบบออนบอร์ด (OBC) และแผงควบคุมกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ภายในตัวรถยนต์ไฟฟ้า โดยอธิบายรายละเอียดดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 มอเตอร์ (Motor)

ส่วนประกอบแรกคือ มอเตอร์ไฟฟ้าทำหน้าที่ในการแปลงพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานจลน์เพื่อใช้ในการขับเคลื่อน เมื่อทำการเปรียบเทียบการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากับเครื่องยนต์จะพบว่ามอเตอร์ไฟฟ้านั้นมีความเงียบมากกว่าเครื่องยนต์ในระหว่างการทำงาน อีกทั้งในเรื่องของการสั่นสะเทือนก็มีระดับที่น้อยกว่ามากเมื่อเทียบกับเครื่องยนต์ จึงทำให้ผู้ที่มาขับรถยนต์ไฟฟ้าเป็นครั้งแรกมักจะมีความแปลกใจกับเสียงที่เงียบมากในระหว่างการขับขี่ นอกจากนี้ในขณะที่รถยนต์ไฟฟ้ามีการเบรคหรือลงจากเขา มอเตอร์ไฟฟ้ายังมีความสามารถในการแปลงพลังงานจลน์กลับเป็นไปเป็นพลังงานไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่ เราเรียกระบบการทำงานแบบนี้ว่า "Regenerative Braking System" ซึ่งจะทำให้รถยนต์ไฟฟ้ามีความประหยัดพลังงานขึ้นไปอีก

2.2.2 รีดิวซ์เซอร์ (Reducer)

ทำหน้าที่เสมือนเป็นระบบชุดเกียร์ในรถยนต์เครื่องยนต์สันดาป โดยจะทำการส่งผ่านกำลังจากมอเตอร์ไฟฟ้าไปสู่ระบบเพลาขับเคลื่อนให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ สาเหตุที่ชื่อว่า Reducer นั้นมาจากรอบการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้านั้นสูงมากกว่ารอบการทำงานของเครื่องยนต์สันดาปภายในนั่นเอง

2.2.3 แบตเตอรี่ (Battery)

แบตเตอรี่ทำหน้าที่เสมือนเป็นถังน้ำมันในรถยนต์เครื่องยนต์สันดาป โดยขนาดของแบตเตอรี่ก็จะส่งผลโดยตรงกับระยะทางที่รถยนต์ไฟฟ้าจะสามารถวิ่งได้ การออกแบบที่ดีควรออกแบบแบตเตอรี่ไม่ให้มีขนาดที่ใหญ่จนเกินไปเพราะจะส่งผลต่อประสิทธิภาพของตัวรถเนื่องจากขนาดและน้ำหนักของแบตเตอรี่ที่สูง ด้วยเทคโนโลยีของแบตเตอรี่ที่มีการเติบโตอย่างรวดเร็วเราก็อาจได้เห็นรถยนต์ไฟฟ้าที่มีระยะทางวิ่งได้ไกลขึ้นถึง 800 กม. และมีระยะเวลาในการชาร์จที่สั้นลง เช่น แบตเตอรี่แบบ Solid State เป็นต้น นอกจากนี้ในสภาวะอากาศเย็นมากๆ ประสิทธิภาพในด้านความจุและความเร็วในการชาร์จของแบตเตอรี่จะลดลง ทำให้จำเป็นต้องมี "Battery Heating System" เข้ามาช่วยรักษาอุณหภูมิให้แบตเตอรี่สามารถทำงานได้ในช่วงปกติได้

2.2.4 On-board Charger (OBC)

ทำหน้าที่ในการแปลงไฟฟ้ากระแสสลับจากที่ชาร์จระบบ AC เช่น Home Charger หรือสายชาร์จที่แถมมากับตัวรถ ให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ในกรณีที่เรามีการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าผ่านเครื่องชาร์จแบบ DC เช่น EV Station เป็นต้น On-board Charger ก็จะไม่จำเป็นต่อการชาร์จ OBC จึงจะไม่ทำงาน ก็สามารถชาร์จไฟเข้าแบตเตอรี่โดยตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.2 On-board Charger

2.2.5 Electric Power Control Unit (EPCU)

เป็นส่วนสำคัญในการควบคุมกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ภายในตัวรถยนต์ไฟฟ้าทั้งหมด โดยประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก ดังนี้

2.2.5.1 Inverter

ถูกใช้ในการแปลงกระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ซึ่งเป็นไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) เพื่อจ่ายกำลังให้กับมอเตอร์ไฟฟ้า รวมถึงมีความสามารถในการควบคุมความเร็วในการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าในขณะที่รถมีอัตราเร่งหรือหน่วงจากผู้ขับขี่

2.2.5.2 Low voltage DC-DC Converter (LDC)

ถูกใช้ในการแปลงความต่างศักย์ที่สูงจากแบตเตอรี่ ให้ลดลงเหลือ 12 Volt เพื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆภายในตัวรถ

2.2.5.3 Vehicle Control Unit (VCU)

เป็นส่วนที่มีความสำคัญในระบบ EPCU เป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากทำหน้าที่ในการควบคุมและตรวจสอบการทำงานของหน่วยควบคุมส่วนอื่นๆ ทั้งหมดของตัวรถ เช่น หน่วยควบคุมของมอเตอร์ไฟฟ้า, ระบบ Regenerative Braking และระบบ Power Supply ของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่ง VCU เสหือนกับ ECU ในรถยนต์เครื่องยนต์สันดาป

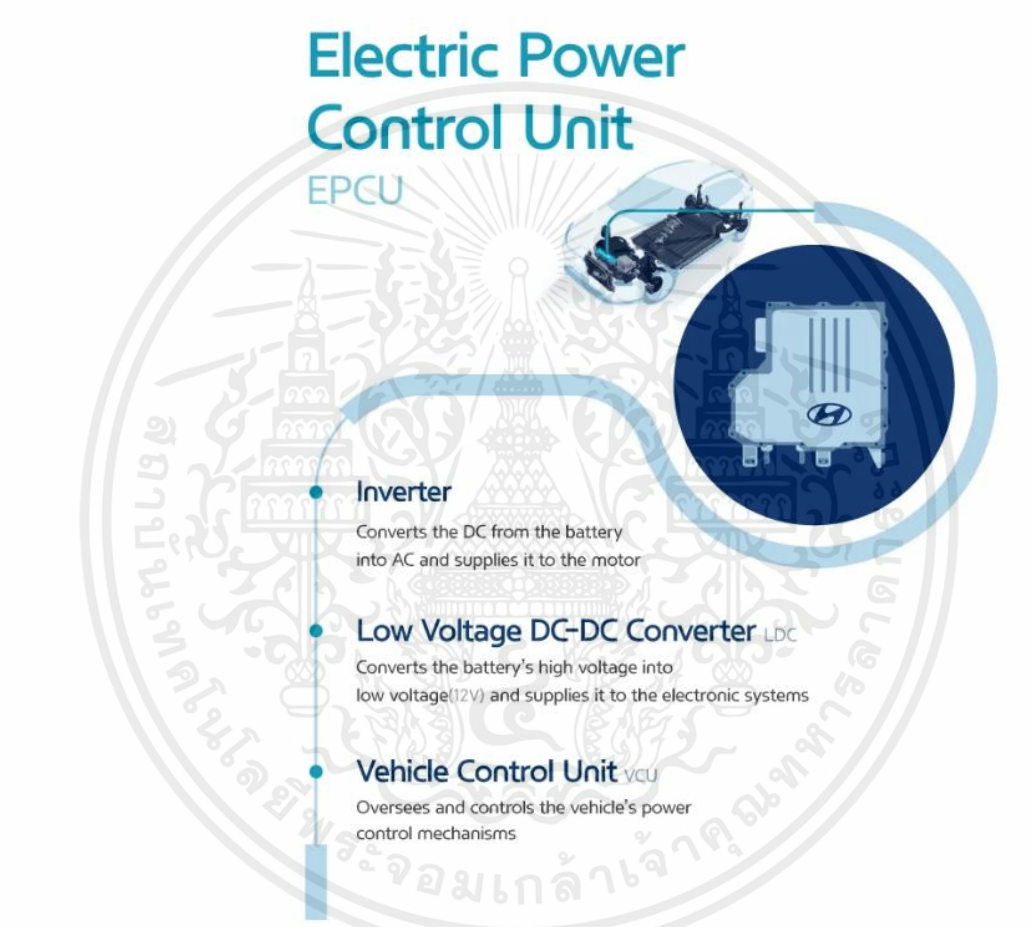
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.5.4 ระบบการจัดการแบตเตอรี่ (Battery Management System)

ทำหน้าที่ดูแลการทำงานของแบตเตอรี่ทุก ๆ ก้อนในระบบ ส่งข้อมูลสำคัญไปยังระบบอื่น ๆ และปรับเปลี่ยนระบบไฟฟ้าต่างๆ ของแบตเตอรี่ให้ทำหน้าที่ตามที่ได้กำหนดไว้

2.2.5.5 ระบบควบคุมอุณหภูมิแบตเตอรี่ (Battery Heating System)

ทำหน้าที่รักษาอุณหภูมิของแบตเตอรี่ไม่ให้สูงหรือต่ำเกินไป เพื่อรักษาประสิทธิภาพในด้านความจุและความเร็วในการชาร์จของแบตเตอรี่



รูปที่ 2.3 Electric Power Control Unit (EPCU)

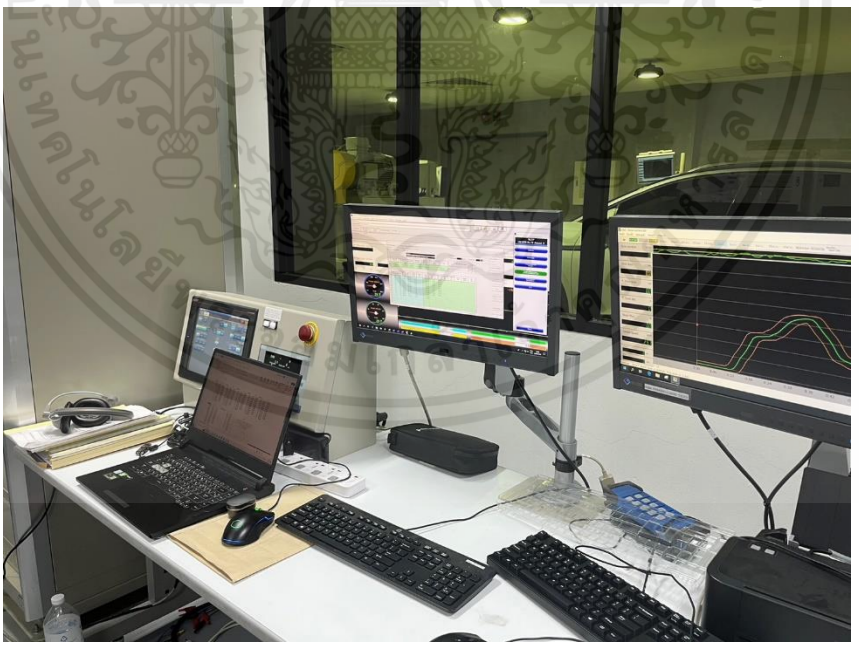
2.3 ระบบ Chassis Dynamometer

การศึกษาและวิจัยเกี่ยวกับความต้องการการใช้พลังงานของยานยนต์ไฟฟ้า จะใช้เครื่องมือสำคัญในการศึกษา นั่นคือ Chassis Dynamometer โดย Chassis Dynamometer [4] เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการจำลองภาระของยานยนต์ สามารถใช้เป็นเครื่องมือทดสอบได้ทั้งยานยนต์ที่ใช้ระบบเครื่องยนต์สันดาปและยานยนต์ไฟฟ้า ใช้วัดประสิทธิภาพของยานยนต์ผ่านการจำลองการใช้งานจริง โดยกำหนดว่าในขณะทำการทดสอบ ต้องมีระบบขับเคลื่อนและภาระติดตั้งอยู่ในตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยานยนต์เพื่อความสมจริงในการจำลองการใช้งานจริง [5] โดยภาระต่าง ๆ ของยานยนต์ไฟฟ้า เช่น อัตราทดของเกียร์และเฟืองท้าย, น้ำหนักของภาระภายในยานยนต์ เป็นต้น จะส่งผลให้เกิดการสูญเสียของแรงม้า ดังนั้นจึงมักนิยมนำมาใช้ในการวัดแรงม้าเปรียบเทียบกับที่โรงงานระบุพิกัดไว้

นอกจากนี้ยังนิยมใช้วัดทดสอบกำลัง (Power), แรงบิด (Torque), ความเร็วรอบ (Rotational speed) ของยานยนต์ที่มีการถ่ายทอดกำลังงานผ่านเกียร์และเพลาขับหรือเฟืองท้าย นอกจากนี้ ยังสามารถใช้วัดค่าแก๊สของเสียที่ได้จากการเผาไหม้เมื่อมีจำลองการขับขี่จริงบนท้องถนนของยานยนต์ที่ใช้ระบบเครื่องยนต์สันดาปอีกด้วย [7] อันจะนำไปสู่การพัฒนาและปรับปรุงสมรรถนะและประสิทธิภาพของยานยนต์ โดย Chassis Dynamometer จะมีลูกกลิ้ง (Roller) สองตัวหมุนอยู่กับล้อยานยนต์ที่ทำการทดสอบ และมีการจำลองว่าลูกกลิ้งนี้เปรียบเสมือนภาระ (Load) บนพื้นถนนเวลาที่ทำการขับขี่ในสภาวะต่าง ๆ ซึ่งสามารถตั้งค่าการจำลองภาระได้หลายรูปแบบ โดยจะทำการวัดในส่วนของล้อที่ทำการขับเคลื่อน เช่น หากยานยนต์เป็นแบบขับเคลื่อนล้อหน้า ก็จะทำการวัดที่ล้อหน้า เป็นต้น ซึ่ง Chassis Dynamometer สามารถทำการวัดได้ทุกรูปแบบทั้งการขับเคลื่อนล้อหน้า ขับเคลื่อนล้อหลัง หรือขับเคลื่อนสี่ล้อ จะเห็นได้ว่า Dynamometer ประเภทนี้มีข้อดีในเรื่องของความปลอดภัย และสามารถจำลองโหลดในสภาวะต่าง ๆ ได้ โดยรูปที่ 2.4 แสดงห้องควบคุมสั่งการระบบ Chassis Dynamometer ของภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



รูปที่ 2.4 ห้องควบคุมสั่งการระบบ Chassis Dynamometer ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สจล.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1 องค์ประกอบของ Chassis Dynamometer

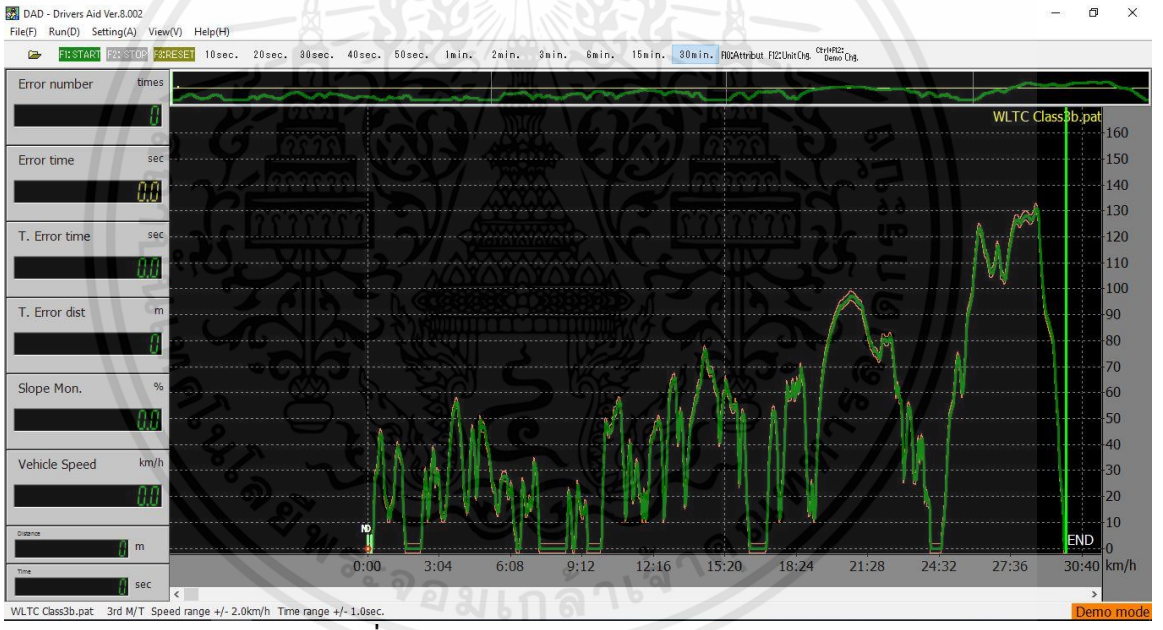
1. อุปกรณ์ภายนอก ประกอบไปด้วย ลูกกลิ้งซึ่งเป็นส่วนสัมผัสกับยานยนต์ไฟฟ้า ดังรูป 2.5 เพื่อรับค่าและตอบสนองต่อยานยนต์ไฟฟ้า และระบบภายในพื้นที่ทดสอบ ได้แก่ โหลดเซลล์, เครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสสลับซึ่งเป็นมอเตอร์ชนิดเหนี่ยวนำ, ระบบระบายความร้อนให้แก่ยานยนต์ไฟฟ้าขณะทำการทดสอบ, ระบบปั๊มลมเพื่อจ่ายลมเพื่อใช้ในการทดสอบยานยนต์ไฟฟ้า, ระบบปรับอากาศเพื่อควบคุมอุณหภูมิขณะทำการทดสอบ Chassis Dynamometer

รูปที่ 2.5 อุปกรณ์ภายนอกระบบ Chassis Dynamometer

2. ส่วนควบคุมและแสดงผล ประกอบไปด้วยแอปพลิเคชันควบคุมการทำงานและแสดงผลของ Chassis Dynamometer ได้แก่ MEIDACS-DY และ DriverAid แสดงภาพแอปพลิเคชันดังรูปที่ 2.6 และ 2.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.6 หน้าจอโปรแกรม MEIDACS-DY



รูปที่ 2.7 แอปพลิเคชัน DAD- Driver Aid

2.3.2 หลักการดูดกลืนพลังงานจากยานยนต์

ขณะทำการทดสอบ ความเร็วของยานยนต์จะถูกหน่วงให้ช้าลงผ่านส่วนที่สัมผัสกับระบบ Chassis Dynamometer โดยลูกกลิ้ง (Roller) เพราะว่าระบบ Chassis Dynamometer มีการทำงานในการลดความเร็วของยานยนต์โดยการดูดกลืนพลังงานจากยานยนต์ หากพิจารณาวิธีดูดกลืนพลังงานจากยานยนต์ หนึ่งในวิธีการที่นิยมบน Chassis Dynamometer คือวิธี Eddy Current Brake หลักการของ Eddy Current จะเหนี่ยวนำกระแสขึ้นในแผ่นโลหะหมุน โดยใช้หลักการสนามแม่เหล็ก [6] จะทำให้แผ่นโลหะนี้เกิดปรากฏการณ์การสูญเสียแบบ Eddy Current ทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้แผ่นโลหะไม่สามารถหมุนได้อย่างอิสระ นั่นคือจะถูกหน่วงหรือเบรกให้หมุนช้าลง แรงบิดที่เบรกจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความเข้มสนามแม่เหล็ก โดยความเข้มสนามแม่เหล็กจะแปรผันตรงกับกระแสกระตุ้นที่จ่ายให้กับขดลวดสร้างสนามแม่เหล็ก (Field Winding) ดังนั้น เราสามารถควบคุมแรงบิดที่ใช้ในการเบรกได้จากกระแสที่จ่ายให้กับขดลวดสนาม กระแสเหนี่ยวนำที่สร้างขึ้นมาเพื่อใช้ในการดูดกลืนพลังงานหรือเบรกการเคลื่อนที่ของยานยนต์นี้สามารถปรับเปลี่ยนได้อย่างรวดเร็วตามรอบการทำงานของยานยนต์ที่เปลี่ยนแปลงไป [7]

2.3.3 หลักการทำงานของ Chassis Dynamometer

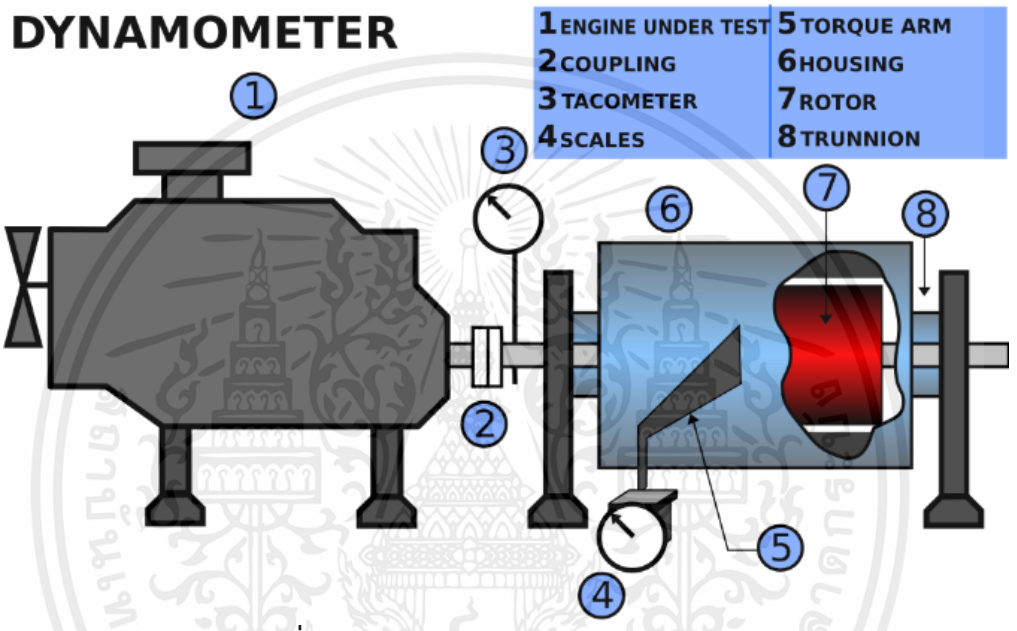
1. ก่อนทำการทดสอบเพื่อหาความต้องการพลังงานของยานยนต์ไฟฟ้า ต้องพิจารณาเลือกใช้มาตรฐานการทดสอบระยะทางของยานยนต์ไฟฟ้าที่เหมาะสม ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบหาระยะทางสูงสุดเมื่อทำการชาร์จไฟจนเต็ม 1 ครั้ง ซึ่งในแอปพลิเคชันควบคุม MEIDACS-DY สามารถเลือกใช้ได้ 3 มาตรฐาน ได้แก่ EPA, NEDC, และ WLTP ถัดไป ต้องทำการป้อนค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของยานยนต์ไฟฟ้าซึ่งมีผลต่อการจำลองการขับขี่บนถนน ที่นำมาทดสอบเข้าไปในแอปพลิเคชัน MEIDACS-DY ตัวอย่างพารามิเตอร์ที่สำคัญ ได้แก่ มวลของยานยนต์, มวลของผู้ขับขี่และภาระในยานยนต์, ระบบขับเคลื่อนของยานยนต์ (ขับเคลื่อนล้อหน้า/ล้อหลัง, ขับเคลื่อนสองล้อ/สี่ล้อ), ขนาดล้อ, ขนาดยาง, รัศมีของล้อ, ขนาดหน้ายาง เป็นต้น

2. ตั้งค่าเงื่อนไขต่าง ๆ ในการทดสอบ ได้แก่ ค่าความสูญเสียทางกล (Mechanical loss) ของระบบ, ค่า Target Road Load ซึ่งได้จากการคำนวณหรือหาค่า Coast Down time, คุณลักษณะแรงที่ใช้ในการขับเคลื่อน, รูปแบบในการทดสอบ และรูปแบบการบันทึกข้อมูลผลการทดสอบ สำหรับแอปพลิเคชัน DriverAid สามารถใช้ในการสร้างรูปแบบการขับขี่เพื่อให้ผู้ขับขี่ทำการขับตามรูปแบบความเร็วที่กำหนด โดยส่วนมากจะนิยมใช้รูปแบบการขับขี่ตามมาตรฐาน EPA, NEDC และ WLTP ซึ่งทั้งแอปพลิเคชัน MEIDACS-DY และ DriverAid เป็นทั้งส่วนควบคุมและแสดงผลรูปแบบการขับขี่ ต้องใช้งานควบคู่กัน

3. ขณะทำการทดสอบ ความเร็วในการขับขี่ยานยนต์ไฟฟ้าที่แตกต่างกันแต่ละช่วงเวลาขณะทดสอบจะส่งผลให้แรงที่ยานยนต์ไฟฟ้ากระทำต่อ Chassis Dynamometer แตกต่างกันไปด้วย โหลดเซลล์จะทำหน้าที่ในการวัดค่าแรงที่ยานยนต์ไฟฟ้ากระทำต่อ Chassis Dynamometer โดยโหลดเซลล์จะมีลักษณะเป็นแขนโลหะที่มีความยาวค่า ๆ หนึ่ง เมื่อมีแรงจากยานยนต์ไฟฟ้ากระทำต่อเครื่องมือทดสอบที่บริเวณลูกกลิ้ง โหลดเซลล์จะนำไปคำนวณโดยหาผลคูณของค่าแรงกับค่าระยะจากจุดอ้างอิงถึงจุดที่มีแรงกระทำ จะได้เป็นผลลัพธ์เป็นค่าแรงบิด จากนั้นจะแปลงค่าออกมาเป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้าซึ่งเป็นสัดส่วนกับค่าของแรงที่ยานยนต์ไฟฟ้ากระทำต่อ Chassis Dynamometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เครื่องจักรกลไฟฟ้าชนิดมอเตอร์เหนี่ยวนำจะควบคุมการสร้างแรงบิดทางกลขาออกเพื่อต้านแรงที่ยานยนต์ไฟฟ้ากระทำต่อ Chassis Dynamometer โดยเครื่องจักรกลไฟฟ้าจะมีการเหนี่ยวนำสร้างกระแสกระตุ้นจ่ายให้กับขดลวดสนามของเครื่องจักรกล ทำให้เกิดความเข้มสนามแม่เหล็กแปรผันตามค่ากระแสที่จ่ายให้กับขดลวด ความเข้มสนามแม่เหล็กนี้จะทำให้เกิดแรงบิดทางกลขาออกที่จะไปขับภาระทางกลซึ่งก็คือยานยนต์ไฟฟ้า จึงอาจกล่าวได้ว่า เครื่องจักรกลไฟฟ้าชนิดมอเตอร์เหนี่ยวนำจะสร้างแรงบิดตามแรงต้านที่ต้องการไปตอบสนองต่อความเร็วของยานยนต์ไฟฟ้าแต่ละจุดเวลาขณะทดสอบ แสดงโครงสร้างหลักของ Dynamometer ได้ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 โครงสร้างหลักของ Dynamometer

2.4 มาตรฐานระยะทางของยานยนต์ไฟฟ้า

มาตรฐานระยะทางของยานยนต์ไฟฟ้า เป็นมาตรฐานที่ใช้ในการหาระยะทางสูงสุดเมื่อทำการชาร์จไฟเต็ม 1 ครั้ง ซึ่งในปัจจุบันมีมาตรฐานที่ใช้งานอยู่ 3 มาตรฐาน ได้แก่ EPA, NEDC และ WLTP แต่ละมาตรฐานมีรายละเอียด[8] ดังนี้

1. EPA เป็นมาตรฐานซึ่งใช้ในการแจ้งข้อมูลการใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวมถึงก๊าซเรือนกระจก ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ใช้ในสหรัฐอเมริกา

2. NEDC เป็นมาตรฐานที่ใช้ทั่วไปในยุโรป ใช้ในการตรวจสอบอัตราการปล่อยไอเสียและอัตราการใช้พลังงานของยานยนต์ที่วางจำหน่ายในยุโรปทุกคัน ซึ่งปัจจุบันเปลี่ยนไปใช้ WLTP แทน NEDC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. WLTP เหมือนกับ NEDC ตรงที่เป็นมาตรฐานที่ใช้ทั่วไปในยุโรป แต่ใช้ในการตรวจสอบระดับของมลพิษ, คาร์บอนไดออกไซด์ และอัตราประหยัดของยานยนต์เครื่องยนต์ปกติและแบบ Hybrid และใช้ทดสอบระยะทางวิ่งของยานยนต์ไฟฟ้าด้วยอย่างแน่นอน

ปัจจุบันทางฝั่งยุโรปต้องการเปลี่ยนจากมาตรฐาน NEDC มาใช้มาตรฐาน WLTP แทน เพราะว่าการทดสอบรูปแบบ WLTP จะใช้รูปแบบการทดสอบจากสถานการณ์จริงบนท้องถนนเข้ามาเป็นส่วนประกอบในการทดสอบด้วย เพื่อให้ได้ค่าออกมาตรงกับความเป็นจริงให้ได้มากที่สุด

ดังนั้น จะกล่าวถึงแค่รายละเอียดของมาตรฐานระยะทางของยานยนต์ไฟฟ้า WLTP และมาตรฐาน EPA เพียงสองมาตรฐาน เพราะเป็นมาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบความต้องการพลังงานของยานยนต์ไฟฟ้าในงานศึกษาวิจัยนี้

2.4.1 มาตรฐาน The Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedure (WLTP)

The Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedure (WLTP) เป็นมาตรฐานวัฏจักรทดสอบการขับขี่ที่ใช้เครื่องมือ คือ Chassis Dynamometer โดยทั่วไปจะใช้ในการหาปริมาณก๊าซมลพิษที่ปล่อยออกมาและหาอัตราการใช้เชื้อเพลิงในยานยนต์ขนาดเล็ก ในปัจจุบันมาตรฐานการทดสอบ WLTP ถูกนำมาใช้แทนที่มาตรฐาน NEDC ของยุโรปเพื่อใช้ในการทดสอบยานยนต์ขนาดเล็กก่อนจะอนุมัติการใช้งานยานยนต์ ยานยนต์ทุกคันที่จำหน่ายภายในสหภาพยุโรปจำเป็นที่ได้จะรับการทดสอบว่าผ่านมาตรฐาน [10] โดยได้นำมาใช้เป็นมาตรฐานทดสอบในการศึกษาวิจัยนี้

วัฏจักรทดสอบการขับขี่เป็นวิธีการสำคัญในการวัดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงและการปล่อยมลพิษของยานยนต์ขนาดเล็ก [10] วัฏจักรทดสอบการขับขี่ที่มีรูปแบบการทดสอบที่แตกต่างกันสามรูปแบบ เรียกว่า “Class” ซึ่งถูกคิดค้นขึ้นมาเพื่อใช้เป็นตัวแทนแสดงถึงคุณลักษณะของยานยนต์สามประเภท โดยการพิจารณาว่ายานยนต์ประเภทไหนใช้กับวัฏจักรทดสอบใด จะต้องจำแนกยานยนต์ขนาดเล็กออกเป็นสามประเภทก่อน โดยจำแนกจากอัตราส่วนของกำลังไฟฟ้าต่อมวล (PMR) ของยานยนต์นั้น ๆ และความเร็วสูงสุดของยานยนต์ ซึ่งพารามิเตอร์ PMR (power-to-mass) จะหาได้จากอัตราส่วนของพิกัดกำลังไฟฟ้า (วัตต์)/มวลของยานยนต์ (กิโลกรัม) โดยที่มวลของยานยนต์หมายถึง “มวลไร้น้ำหนักโหลด” ตามที่กำหนดไว้ใน ECE R83 จากนั้น การพิจารณาว่าจะใช้ยานยนต์กับวัฏจักรทดสอบคลาสใดจะขึ้นอยู่กับความเร็วสูงสุด (v_{max}) ของยานยนต์ที่ผู้ผลิตได้แจ้งไว้ในคุณสมบัติของยานยนต์ (ECE R68) โดยมีความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนกำลังไฟฟ้าต่อมวลของยานยนต์ไฟฟ้ากับการเลือกใช้วัฏจักรทดสอบการขับขี่แสดงดังตาราง 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

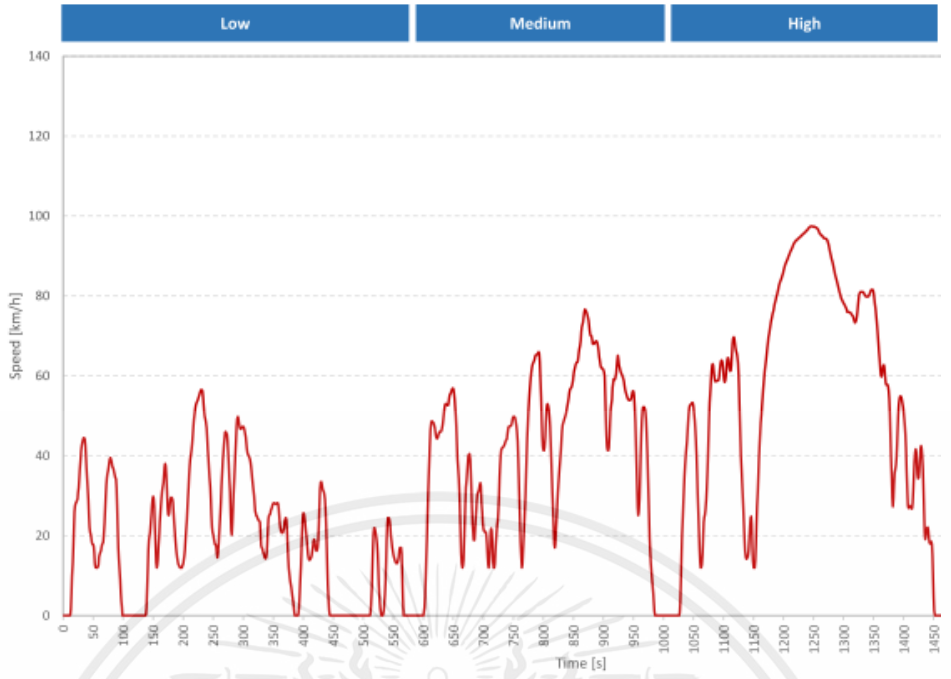
ตารางที่ 2.1 วัฏจักรการทดสอบการขับขี่ตามมาตรฐาน WLTP

การจำแนกคลาส	อัตราส่วนกำลังไฟฟ้าสูงสุดต่อมวล	เฟสความเร็ว	คำอธิบาย
Class 3	PMR > 34	Low, Middle, High, Extra-High	ถ้าความเร็วสูงสุด < 135 กิโลเมตรต่อชั่วโมง, เฟส ‘extra-high’ จะถูกแทนที่โดยการทำซ้ำเฟส ‘low’
Class 2	34 ≥ PMR > 22	Low, Middle, High	ถ้าความเร็วสูงสุด < 90 กิโลเมตรต่อชั่วโมง, เฟส ‘high’ จะถูกแทนที่โดยการทำซ้ำเฟส ‘low’
Class 1	PMR ≤ 22	Low, Middle	ถ้าความเร็วสูงสุด ≥ 70 กิโลเมตรต่อชั่วโมง, เฟส ‘low’จะถูกแทนที่โดยการทำซ้ำเฟส ‘middle.’ ถ้าความเร็วสูงสุด < 70 กิโลเมตรต่อชั่วโมง, เฟส ‘middle’ จะถูกแทนที่โดยการทำซ้ำเฟส ‘low’

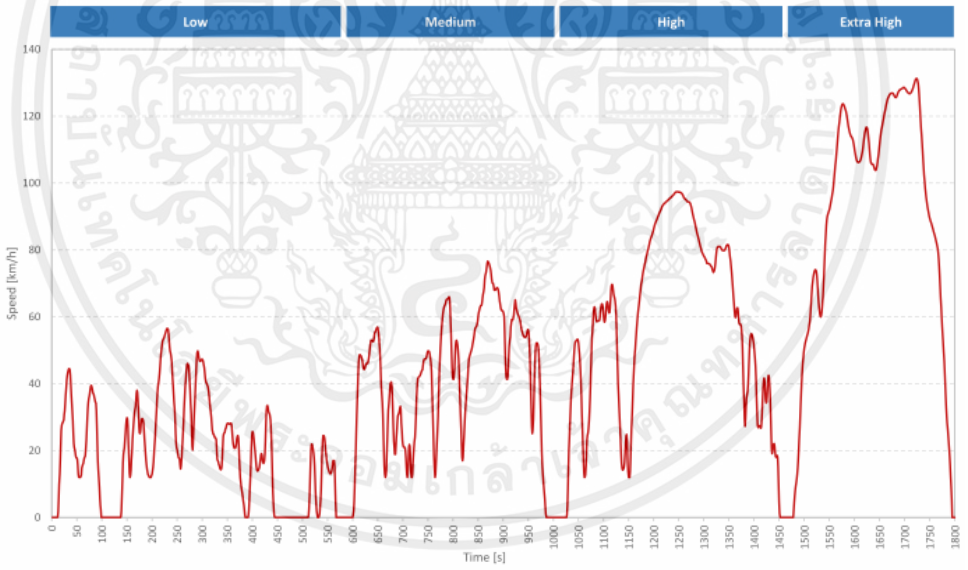
แสดงรายละเอียดของวัฏจักรทดสอบการขับขี่ทั้ง 3 รูปแบบได้ดังนี้

1. Class 3 ด้วยอัตราส่วนกำลังไฟฟ้าสูงสุดต่อมวล คลาสนี้จึงเป็นตัวแทนประเภทของยานยนต์ในยุโรปและในญี่ปุ่น โดยมีความเร็วและความเร่งสำหรับยานยนต์ในคลาส 3a (สำหรับยานยนต์ความเร็วสูงสุด < 120 กิโลเมตรต่อชั่วโมง) แสดงไว้ในรูปที่ 2.9 สำหรับคลาส 3b (สำหรับยานยนต์ที่มีความเร็วสูงสุด ≥ 120 กิโลเมตรต่อชั่วโมง) แสดงไว้ในรูปที่ 2.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 วัฏจักรทดสอบการขับขี่ WLTP สำหรับยานยนต์ในคลาส Class 3a

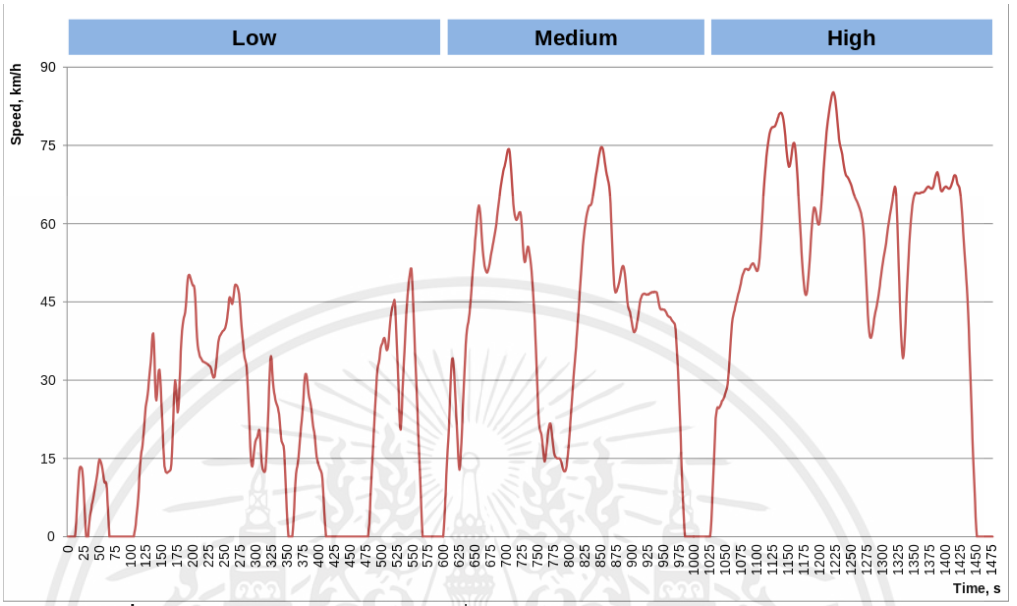


รูปที่ 2.10 วัฏจักรทดสอบการขับขี่ WLTP สำหรับยานยนต์ในคลาส Class 3b

พิจารณาจากรูปที่ 2.9 และ 2.10 การทดสอบแต่ละครั้งในคลาส Class 3 จะสะท้อนถึงรูปแบบการขับขี่ถึง 4 แบบ ได้แก่ ช่วงความเร็ว Low แสดงถึงการขับขี่ในเมือง, ช่วงความเร็ว Medium แสดงถึงการขับขี่ทางหลวง, ช่วงความเร็ว High แสดงถึงการขับขี่ในชนบท และช่วงความเร็ว Extra High แสดงถึงการขับขี่ในถนนเส้นหลักนอกเมือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

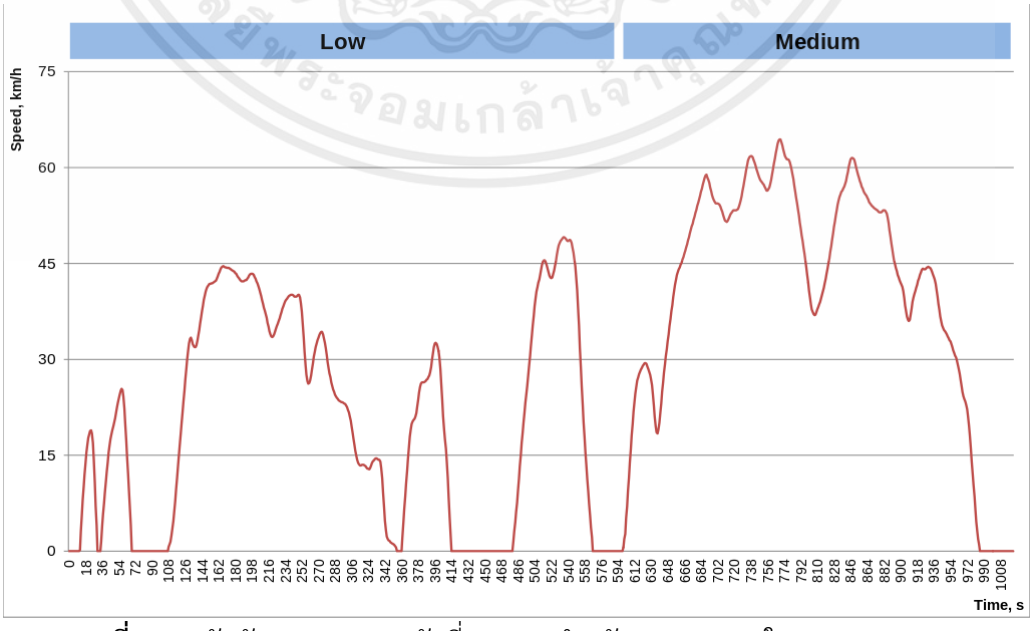
2. Class 2 เป็นตัวแทนประเภทของยานยนต์ในอินเดีย และยานยนต์ที่ใช้พลังงานต่ำที่ขับเคลื่อนในญี่ปุ่นและยุโรป ความเร็วและความเร่งสำหรับยานยนต์ในคลาส 2 แสดงไว้ในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 วัฏจักรทดสอบการขับขี่ WLTP สำหรับยานยนต์ในคลาส Class 2

3. Class 1

ด้วยอัตราส่วนกำลังไฟฟ้าต่อมวลต่ำที่สุด Class 1 เป็นตัวแทนประเภทของยานยนต์ที่ขับเคลื่อนในอินเดีย ความเร็วและความเร่งสำหรับยานยนต์ในคลาส 1 แสดงไว้ในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 วัฏจักรทดสอบการขับขี่ WLTP สำหรับยานพาหนะในคลาส Class 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจาก WLTP มีจุดมุ่งหมายเพื่อให้ขั้นตอนการทดสอบมีความสอดคล้องกันทั่วโลก GRPE จึงได้พัฒนาวัฏจักรทดสอบการขับขี่ที่แสดงถึงลักษณะการขับขี่ทั่วไปที่เป็นสากลทั่วโลก เรียกว่า “World Harmonized Light-duty Vehicle Test Cycle” หรือ WLTC ใช้เพื่อหาปริมาณมลพิษและค่าการปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

2.4.2 มาตรฐาน Environmental Protection Agency (EPA)

มาตรฐาน EPA ในเรื่องของการทดสอบยานยนต์ไฟฟ้า เป็นการกำหนดวิธีการทดสอบที่ใช้ในการวัดและประเมินปริมาณการปล่อยสารเสียจากยานยนต์ไฟฟ้า ซึ่งสารเสียที่สร้างจากการใช้งานยานยนต์ไฟฟ้าส่วนใหญ่เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ที่มีผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมและเป็นตัวเปรียบเทียบความสมราคาของยานยนต์ไฟฟ้าในตลาด

มาตรฐาน EPA ได้กำหนดวิธีการทดสอบยานยนต์ไฟฟ้าโดยใช้วิธีการทดสอบแบบชนิดที่ชื่อว่า วิธีการทดสอบ EPA-DOE ซึ่งใช้วิธีการทดสอบการขับขี่แบบฟ้าผ่า เพื่อวัดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าและอินเตอร์เน็ตของรถยนต์ในสถานการณ์ต่าง ๆ รวมถึงการทดสอบประสิทธิภาพการเคลื่อนที่ การเบรก และการใช้พลังงานอื่น ๆ

วัฏจักรทดสอบการขับขี่ EPA มีวัตถุประสงค์เพื่อการวิเคราะห์วัตถุประสงค์การขับขี่ (driving cycle) คือ เพื่อประเมินปริมาณการปล่อยสารเสียของยานยนต์ไฟฟ้า โดย EPA ได้จัดทำวัตถุประสงค์การขับขี่ (driving cycle) ที่ใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพของยานยนต์ไฟฟ้า [10] วัตถุประสงค์การขับขี่ของ EPA จะแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

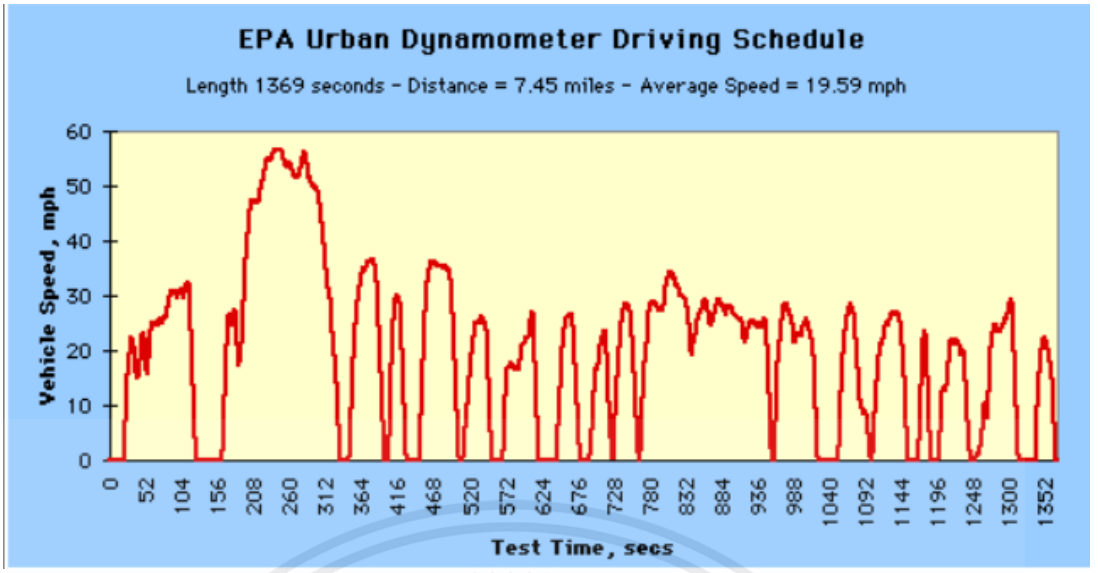
1.วัตถุประสงค์การขับขี่ที่ใช้สำหรับการทดสอบประสิทธิภาพเชิงพลังงาน (Fuel Efficiency Driving Cycles) ซึ่งใช้สำหรับการวัดประสิทธิภาพของการใช้พลังงานเชิงพลังงาน

2.วัตถุประสงค์การขับขี่ที่ใช้สำหรับการทดสอบปริมาณการปล่อยสารเสีย (Emission Driving Cycles) ซึ่งใช้สำหรับการวัดปริมาณการปล่อยสารเสีย

โดยการทดสอบประสิทธิภาพเชิงพลังงาน แบ่งการทดสอบเป็น 2 วัฏจักรดังนี้

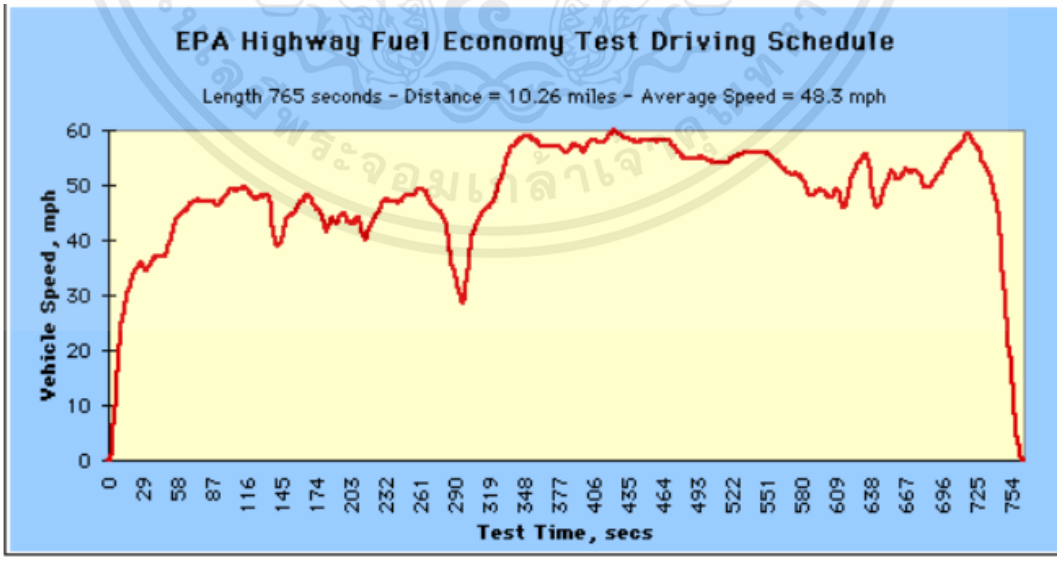
1. City Driving Cycle คือ ขั้นตอนการทดสอบสมมติฐานที่ใช้ในการวัดประสิทธิภาพของรถยนต์ในเขตเมือง โดยมีการจำลองเส้นทางขับขี่แบบสมมติฐานที่สมบูรณ์แบบเพื่อทดสอบความสมบูรณ์ของระบบขับเคลื่อน ระยะเวลาที่ใช้ในการขับขี่แบบ City Driving Cycle แบ่งเป็นสองส่วน คือ 11 ไมล์ที่เป็นการขับขี่ในพื้นที่เมืองและ 20 ไมล์ที่เป็นการขับขี่ในทางหลวง ดังแสดงรูปที่ 2.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 วัฏจักรการขับขี่แบบ City [10]

2. Highway Driving Cycle คือ ขั้นตอนการทดสอบสมมติฐานที่ใช้ในการวัดประสิทธิภาพของรถยนต์ในทางหลวง โดยมีการจำลองเส้นทางขับขี่แบบสมมติฐานที่สมบูรณ์แบบเพื่อทดสอบความสมบูรณ์ของระบบขับเคลื่อน ระยะเวลาที่ใช้ในการขับขี่แบบ Highway Driving Cycle คือ 13 นาที โดยมีระยะทางในการขับขี่ทั้งสิ้น 10 ไมล์ที่อยู่บนทางหลวงเท่านั้น โดยความเร็วเฉลี่ยในการขับขี่แบบ Highway Driving Cycle จะสูงกว่า City Driving Cycle ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 วัฏจักรการขับขี่แบบ High Way [10]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 ความแตกต่างระหว่างการขับขี่แบบ City และแบบ High Way ของ EPA

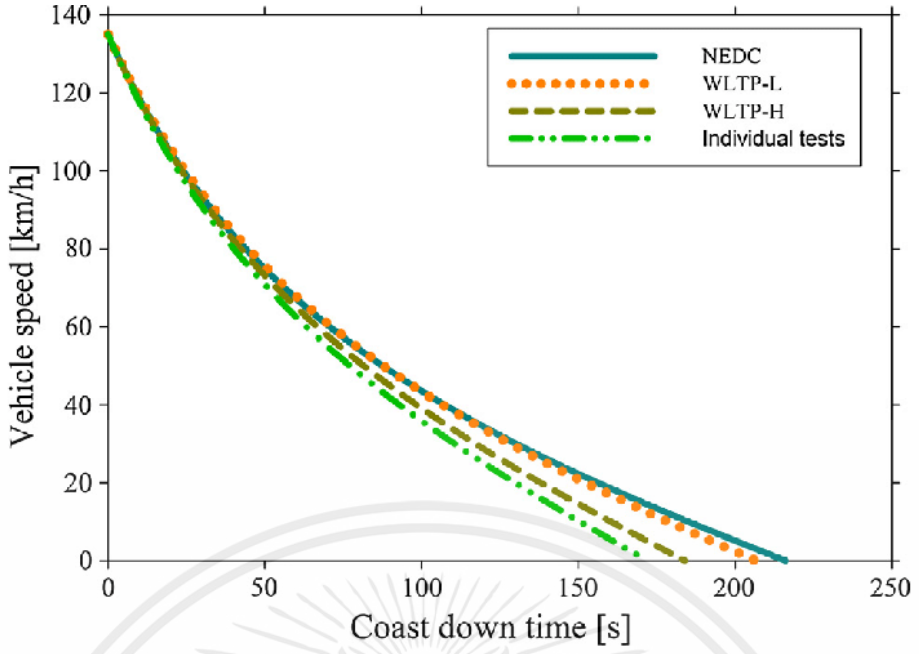
การขับขี่	City Driving Cycle	Highway Driving Cycle
ระยะทาง (กิโลเมตร)	17.7	16.1
ความเร็วเฉลี่ย (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)	34.1	77.8
เวลาเบรก (วินาที)	23	13
ระยะเวลาที่ไม่ขับขี่ (วินาที)	31	6
เวลาที่ใช้เร่ง (วินาที)	18	32
เวลาที่ใช้ควบคุม (วินาที)	19	12
ระยะเวลาการเติมเชื้อเพลิง (วินาที)	18	0
ระยะเวลาทั้งหมด (วินาที)	1066	885

จากตารางที่ 2.2 สรุปการขับขี่แบบ City กับ High Way ของ EPA จะพบว่า การขับขี่แบบ City มีความเร็วเฉลี่ยต่ำกว่า Highway ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้ระยะเวลาที่ไม่ขับขี่ยาวขึ้น และระยะเวลาที่ใช้เร่งสั้นลง ในขณะที่ระยะเวลาที่ใช้ควบคุมยาวขึ้น สำหรับ Highway จะไม่มีเวลาที่ใช้เติมเชื้อเพลิงในการขับขี่ในขณะที่ City จะมีระยะเวลาเติมเชื้อเพลิง 18 วินาทีในแต่ละรอบการขับขี่

2.5 เวลาไหลเลื่อน (Coast down time)

เวลาไหลเลื่อน (Coast down time) หมายถึง เวลาที่ยานยนต์ไฟฟ้าใช้ในการลดความเร็วจากความเร็วที่กำหนดจนถึงความเร็วค่าต่ำ ๆ เช่น เวลาที่ใช้ในการลดความเร็วจาก 120 กิโลเมตรต่อชั่วโมงจนถึง 15 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ต้องทำการทดสอบหาค่าที่พื้นถนนเรียบที่สามารถขับเคลื่อนให้ยานยนต์ลื่นไถลและลดความเร็วลงได้อย่างต่อเนื่อง และไม่มีผลของสภาพแวดล้อมภายนอก เช่น สิ่งกีดขวาง เป็นต้น เวลาที่ได้จะเรียกว่า “เวลาไหลเลื่อน” ใช้ในการหาค่าสมการ Target Road load ได้ [11] แสดงตัวอย่างเวลาไหลเลื่อนได้ดังรูปที่ 2.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 เวลาไหลเลื่อน (Coast Down Time)

2.6 การจำลองการใช้งานขับขี่บนถนน (Target Road Load)

การทดสอบ Chassis Dynamometer ต้องมีการตั้งค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญบนโปรแกรม MEIDACS-DY ในหน้าต่าง Test Conditions ซึ่งค่าที่มีความสำคัญ ได้แก่ ค่าเป้าหมายการจำลองการใช้งานขับขี่บนถนน (Target Road Load)

Target Road Load เป็นคุณลักษณะเฉพาะของยานยนต์ไฟฟ้าแต่ละคัน กล่าวได้ว่าเป็นเงื่อนไขของภาระที่แตกต่างกันในขณะทำการทดสอบ ซึ่ง Target Road Load แสดงถึงค่าแรงต่าง ๆ ที่ภาระยานยนต์ไฟฟ้ากระทำต่อ Chassis Dynamometer ได้แก่ แรงต้านอากาศพลศาสตร์, ค่าแรงสูญเสียอันเนื่องมาจาก Chassis Dynamometer, ค่าแรงเนื่องจากความต้านทานบนลูกกลิ้ง [13] [14] โดยมีสมการแสดงค่า Target Road Load ดังนี้

$$F = a + bV + cV^2 \quad (2.1)$$

โดย F คือ Tractive Force (N)

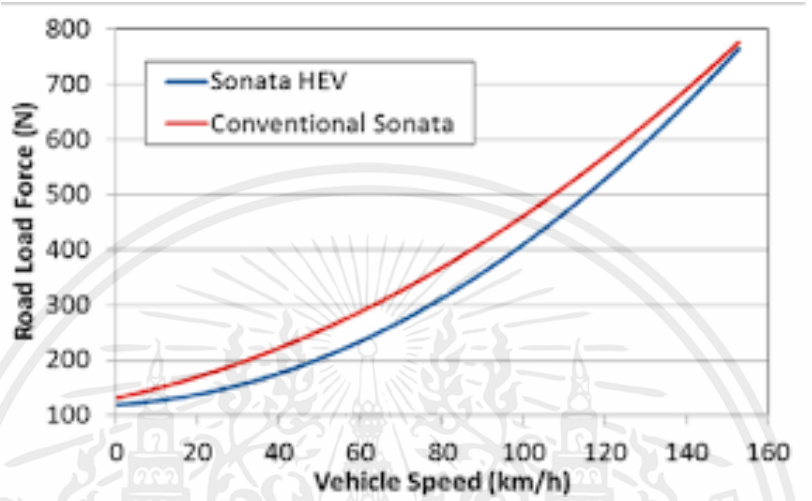
V คือ ความเร็วของยานยนต์ไฟฟ้า (km/h)

a, b และ c คือ ค่าคงที่สัมประสิทธิ์ [12]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ยานยนต์ไฟฟ้าแต่ละคันจะมีสัมประสิทธิ์ a, b และ c ที่แตกต่างกัน เมื่อแสดงคุณลักษณะแรง Target Road Load ให้เป็นตัวแทนภาระยานยนต์ไฟฟ้า จากนั้น ขณะทำการทดสอบ Chassis Dynamometer จะสร้างความเร็วของลูกกลิ้งให้เป็นสัดส่วนตามค่าแรงดังกล่าว

สามารถแสดงความสัมพันธ์ของแรง Target Road Load และความเร็วด้วยกราฟ “Road Load Curve” แสดงภาพตัวอย่างได้ดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 Road Load Curve ของยานยนต์ไฟฟ้า

จากรูป 2.16 แสดงถึงค่า Tractive Force ที่จุดความเร็วต่าง ๆ ของยานยนต์ไฟฟ้า เมื่อพิจารณาจากสมการ Tractive Force จะพบว่า องค์ประกอบของแรงที่ยานยนต์ไฟฟ้ากระทำต่อระบบ Chassis Dynamometer จะขึ้นอยู่กับความเร็วทั้งในเชิงเส้นและแปรผันตามแบบยกกำลังสอง อาจกล่าวได้ว่าระบบ Chassis Dynamometer สร้างความเร็วของลูกกลิ้งมาเพื่อตอบสนองความเร็วของยานยนต์ไฟฟ้า โดยระบบ Chassis Dynamometer จะทราบค่าความเร็วของลูกกลิ้งที่ต้องสร้างได้จากกราฟ “Road Load Curve”

ดังที่ได้กล่าวข้างต้นว่ายานยนต์ไฟฟ้าแต่ละคันจะมี Road Load Curve ที่แตกต่างกัน ดังนั้น การระบุค่า Target Road Load ก่อนการทดสอบจึงมีความสำคัญมาก เพื่อควบคุมให้ผลการทดสอบให้มีความถูกต้องและแม่นยำตรงตามคุณลักษณะของยานยนต์ไฟฟ้ามากที่สุด

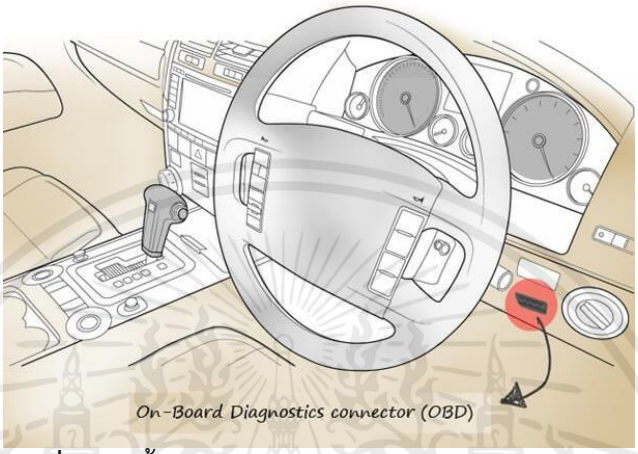
2.7 OBD-II (On-Board Diagnostics)

ในการเก็บข้อมูลจากยานยนต์ไฟฟ้าขณะทำการทดสอบ สามารถใช้อุปกรณ์เสริมเพิ่มเติมในการเก็บข้อมูลได้ ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บค่าข้อมูลในโครงงานศึกษาวิจัยนี้ คือ OBD

OBD ย่อมาจาก On-Board Diagnostics (ปัจจุบันใช้เป็นรุ่นที่ 2 หรือ OBD-II) คือ แผงวงจรคอมพิวเตอร์ที่จะแสดงอาการผิดปกติของยานยนต์ทุก ๆ อย่างไว้อย่างละเอียดแม่นยำ โดย

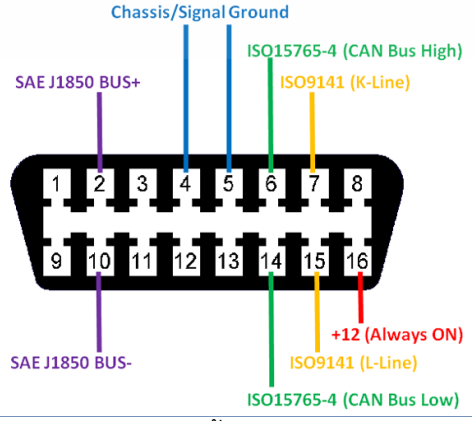
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะทำหน้าที่เป็นตัวรวบรวมการเก็บข้อมูลของเซ็นเซอร์ทุกจุด เช่น ความสมบูรณ์ในการเผาไหม้ของยานยนต์ (ส่วนผสมของอากาศกับเชื้อเพลิง), กำลังไฟไม่เพียงพอ และน้ำในหม้อน้ำแห้ง เป็นต้น ซึ่ง OBD นี้เป็นมาตรฐานที่กำหนดขึ้นร่วมกันโดย SAE และ ISO โดยกำหนดมาตรฐานวิธีการแลกเปลี่ยนข้อมูลทางดิจิตอลระหว่างระบบคอมพิวเตอร์ที่ติดตั้งบนยานยนต์ ดังรูป 2.17 มีผลบังคับใช้สำหรับยานยนต์ที่จำหน่ายในอเมริกาตั้งแต่รุ่นปี 1996 เป็นต้นมา [15]



รูปที่ 2.17 ขั้วต่อตัวเมียของ OBD-II บริเวณใต้พวงมาลัย

ประโยชน์ทั่วไปในการ OBD คือ การอ่านรหัสผิดพลาดที่ ECU (Electronic Control Unit) บันทึกไว้ ซึ่งจะเตือนให้ผู้ขับขี่ทราบผ่านทางไฟ Check Engine หรือ ใช้สำหรับอ่านค่าอินพุตจากเซ็นเซอร์หรือสถานะต่าง ๆ แบบสถานะเรียลไทม์ที่ ECU มองเห็นและใช้เป็นข้อมูลในการตัดสินใจและใช้ควบคุมยานยนต์ เช่น ความเร็วรอบ, ความเร็วของยานยนต์, โหลดของยานยนต์, อุณหภูมิยานยนต์, อุณหภูมิอากาศ, Fuel Trim, สถานะของระบบควบคุม, Open/Closed loop และ ออกซิเจนเซ็นเซอร์ เป็นต้น เพื่อใช้ในการตรวจวิเคราะห์อาการผิดปกติของยานยนต์ [16] โดยตำแหน่งการเชื่อมต่อกับยานยนต์ไฟฟ้าดังรูป 2.17 และแต่ละขาแสดงดังรูป 2.18



รูปที่ 2.18 เต้าเสียบขั้วต่อตัวเมียของ OBD-II

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การออกแบบการทดลองความต้องการของพลังงานของยานยนต์ไฟฟ้า โดย Chasssis Dynamometer

การออกแบบการทดสอบอัตราความต้องการพลังงานของยานยนต์ไฟฟ้า มีองค์ประกอบที่สำคัญหลัก ๆ อยู่ 3 ส่วน ได้แก่ การเตรียมการทดสอบของระบบ Chassis Dynamometer การเตรียมความพร้อมในการทดสอบของยานยนต์ไฟฟ้า และการออกแบบการทดสอบของระบบ Chassis Dynamometer กับ ยานยนต์ไฟฟ้า เพื่อนำไปสู่การวิเคราะห์ผลเพื่อหาความต้องการพลังงานของยานยนต์ไฟฟ้า ซึ่งมีขั้นตอนการออกแบบการทดลองดังนี้

3.1 การเตรียมความพร้อมและข้อมูลยานยนต์ไฟฟ้าสำหรับการทดสอบความต้องการพลังงาน

ในการทดสอบความต้องการพลังงานของยานยนต์ไฟฟ้า กับระบบ Chassis Dynamometer มีความจำเป็นที่จะศึกษาข้อมูลพื้นฐานของยานยนต์ไฟฟ้า และคุณสมบัติของยานยนต์ไฟฟ้า รวมไปถึงการตรวจสอบสภาพยานยนต์ไฟฟ้าให้อยู่ในสภาพที่สมบูรณ์ เพื่อให้การทดสอบมีความถูกต้องและแม่นยำที่สุด

3.1.1 คุณสมบัติของยานยนต์ไฟฟ้า

ยานยนต์ที่ใช้สำหรับการทดสอบ Volkswagen ID4 Pure plus รหัสรุ่น SVW6461BEV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติของยานยนต์ไฟฟ้า

มิติ และน้ำหนัก	
ความยาว (มิลลิเมตร)	4,612
ความกว้าง (มิลลิเมตร)	1,852
ความสูง (มิลลิเมตร)	1,640
ระยะห่างระหว่างล้อคู่หน้า/หลัง (มิลลิเมตร)	2,765
น้ำหนักยานพาหนะ (กิโลกรัม)	2,120
ขนาดล้อ และยาง	ล้ออัลลอยด์ 20 นิ้ว 235/50R20 ล้อหลัง 255/50R20
สมรรถนะ	
ประเภทมอเตอร์ไฟฟ้า	Permanent magnet synchronous motor
ประเภทแบตเตอรี่	Lithium-ion battery
กำลังสูงสุด (แรงม้า (กิโลวัตต์))	201 (150)
แรงบิดสูงสุด (นิวตันเมตร)	310
ความจุแบตเตอรี่ (กิโลวัตต์ชั่วโมง)	83.4
ระยะทางวิ่งสูงสุด (NEDC Mode) (กิโลเมตร)	555
โหมดการขับขี่ 3 โหมด	Sport / Normal / Eco / Comfort

ตารางที่ 3.2 พารามิเตอร์ของแบตเตอรี่ของยานยนต์

รายการ		**ค่าพารามิเตอร์**
เซลล์แบตเตอรี่	ประเภท	แบตเตอรี่ลิเธียมเหล็กฟอสเฟต
	พิกัดแรงดัน (โวลต์)	3.2
	พิกัดความจุ (แอมป์ชั่วโมง)	131
แบตเตอรี่	จำนวนแบตเตอรี่	1
	ขนาดแบตเตอรี่ (มิลลิเมตร)	1853*1129*183.5
	ช่วงแรงดันไฟฟ้ารวม	300-438
	พิกัดความจุ (แอมป์ชั่วโมง)	131
	พิกัดแรงดัน	384
	น้ำหนัก (กิโลกรัม)	396
	ระดับการป้องกันน้ำ	IP67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 การตรวจสอบสภาพยานยนต์ไฟฟ้าก่อนการทดสอบความต้องการพลังงาน

1. ทำการตรวจสอบความผิดปกติของยานยนต์ไฟฟ้าให้อยู่ในสภาพปกติ เมื่ออุปกรณ์ใดหรือชิ้นส่วนใดในยานยนต์ไม่อยู่ในสภาพเดิม และสัมภาระใดที่ไม่เกี่ยวข้องกับยานยนต์ไฟฟ้าในการทดสอบ

2. ทำการตรวจสอบลมยางของยานยนต์ไฟฟ้าทั้ง 4 ล้อ เพื่อให้ได้ค่าลมยางตามที่กำหนดเพื่อใช้ในการขับขี่และทดสอบ

3. ทำการตรวจสอบยางของยานยนต์ไฟฟ้าทั้ง 4 ล้อ เพื่อไม่ให้มีเศษหินหรือสิ่งแปลกปลอมใด ๆ เข้าไปในบริเวณดอกยาง เพื่อลดการขีดข่วนของลูกกลิ้งและผลกระทบในระหว่างการทดสอบกับระบบ Chassis Dynamometer

4. ทำการตรวจสอบการทำงานของยานยนต์ไฟฟ้า เมื่อเปิดระบบแล้วสามารถขับขี่ได้ไม่มีความปกติใด ๆ เพื่อพร้อมในการทดสอบยานยนต์ไฟฟ้า

5. เมื่อตรวจสอบองค์ประกอบต่าง ๆ เรียบร้อย ในการทดสอบยานยนต์ไฟฟ้ากับระบบ Chassis Dynamometer จะต้องทำการยึดยานยนต์ไฟฟ้าให้พร้อมเพื่อความปลอดภัย และมีความแข็งแรงในการยึดกับระบบขณะขับขี่ เพื่อนำไปสู่การทดสอบความต้องการพลังงานของยานยนต์ไฟฟ้า

3.2 การเตรียมการทดสอบของระบบ Chassis Dynamometer

ในการทดสอบความต้องการพลังงานของยานยนต์ไฟฟ้า จำเป็นต้องหาค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญ ซึ่งได้มาจากการนำยานยนต์ไฟฟ้าวิ่งทดสอบบนถนนจริง เพื่อหาค่าเวลาไหลเลื่อน (Coast Down time) นำไปสู่การหาสมการ Target Road Load ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ ABC ซึ่งใช้ในตั้งค่าการการจำลองสถานการณ์การขับขี่ รวมไปถึงการตั้งค่ารูปแบบความเร็วเพื่อเป็นการจำลองพื้นถนนในการขับขี่ยานยนต์ไฟฟ้า ซึ่งในการตั้งค่าต่างๆจะใช้งานแอปพลิเคชัน MEIDACS-DY และแอปพลิเคชัน DriversAid ที่จะทำงานร่วมกับระบบ Chassis Dynamometer เป็นส่วนสำคัญในการทดสอบความต้องการพลังงานของยานยนต์ไฟฟ้าเป็นอย่างมาก เพราะว่าในการตั้งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ มีความจำเพาะเจาะจงกับยานยนต์ไฟฟ้าแต่ละคัน เพื่อนำไปสู่การทดสอบยานยนต์ไฟฟ้ากับระบบ Chassis Dynamometer มีขั้นตอนในการเตรียมการสำหรับการทดสอบของระบบ Chassis Dynamometer ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1 การเก็บข้อมูล Coast Down Time เพื่อหาสมการ Target road load

1. การขับขี่ยานยนต์ไฟฟ้าเพื่อหา Coast down time

2. เลือกถนนสำหรับการเก็บข้อมูลโดยต้องใช้ถนนเส้นตรงยาว ไม่ลาดชัน และไม่มีสิ่งกีดขวาง เช่น สะพาน ทางโค้ง เป็นต้น รวมถึงอุปกรณ์ลดความเร็วบนถนน โดยในการเก็บข้อมูลนี้จะเลือกใช้เส้นทางเลียบท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ 3 ดังรูป 3.1 ซึ่งระยะทางทั้งหมด 5.3 กิโลเมตร

3. เก็บข้อมูลสภาพแวดล้อม ได้แก่ อุณหภูมิ และความหนาแน่นของอากาศ ในวันเวลาและบริเวณที่ทดสอบ

4. นำสัมภาระหรือสิ่งของที่ไม่เกี่ยวข้องบนยานยนต์ไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบออก (เหลือไว้เพียงอุปกรณ์ที่มากับตัวยานยนต์ไฟฟ้า)

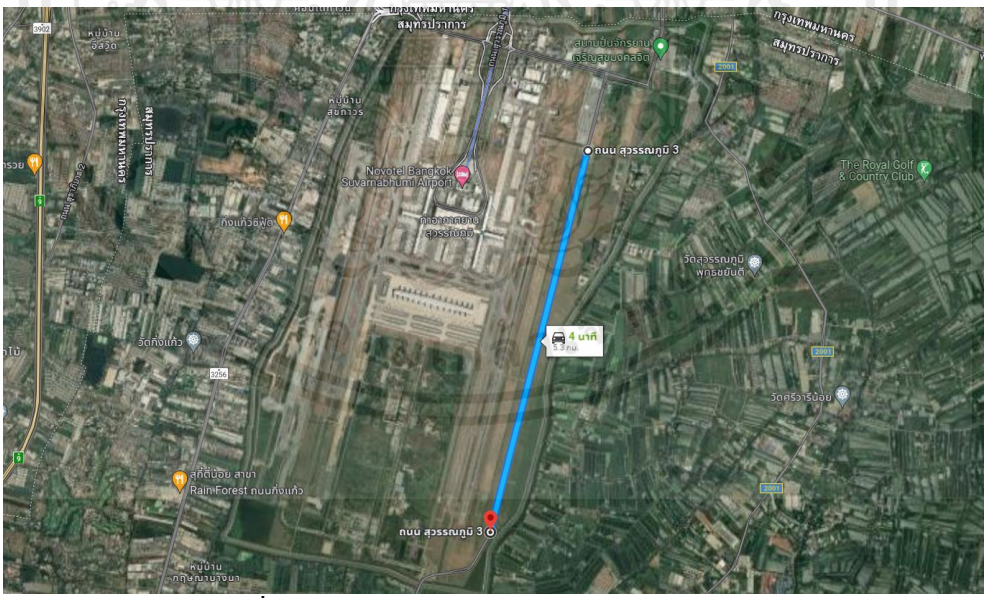
5. เติมลมยางให้เป็นไปตามคู่มือยานยนต์ไฟฟ้า

6. ติดตั้ง OBD-II ในช่องตำแหน่งที่กำหนดไว้ โดยตำแหน่งขึ้นอยู่กับยานยนต์แต่ละคัน

7. เชื่อมต่อ OBD-II กับแอปพลิเคชันบันทึกข้อมูลซึ่งในการทดสอบครั้งนี้ใช้โปรแกรม Car Scanner

8. เร่งความเร็วยานยนต์ทดสอบจนมีความเร็ว 130 กิโลเมตรต่อชั่วโมงจากนั้นเข้าเกียร์ว่าง (N Gear) แล้วปล่อยให้ความเร็วยานยนต์ทดสอบลดลงจนถึงความเร็ว 15 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

9. โปรแกรม Car Scanner บันทึกค่าความเร็วและระยะเวลาไหลเลื่อน



รูปที่ 3.1 เส้นทางในการทดสอบ ถนนสุวรรณภูมิ 3

10. กลับไปจุดเริ่มต้นเดิมแล้วทำซ้ำในข้อ 7. จนครบ 5 ครั้ง

11. นำข้อมูลความเร็วและเวลาที่เก็บได้จาก OBD-II ไปใช้วิเคราะห์ Coast Down time สำหรับการหาค่าสัมประสิทธิ์ Target road load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาสัมประสิทธิ์ ABC ของสมการ Target road load

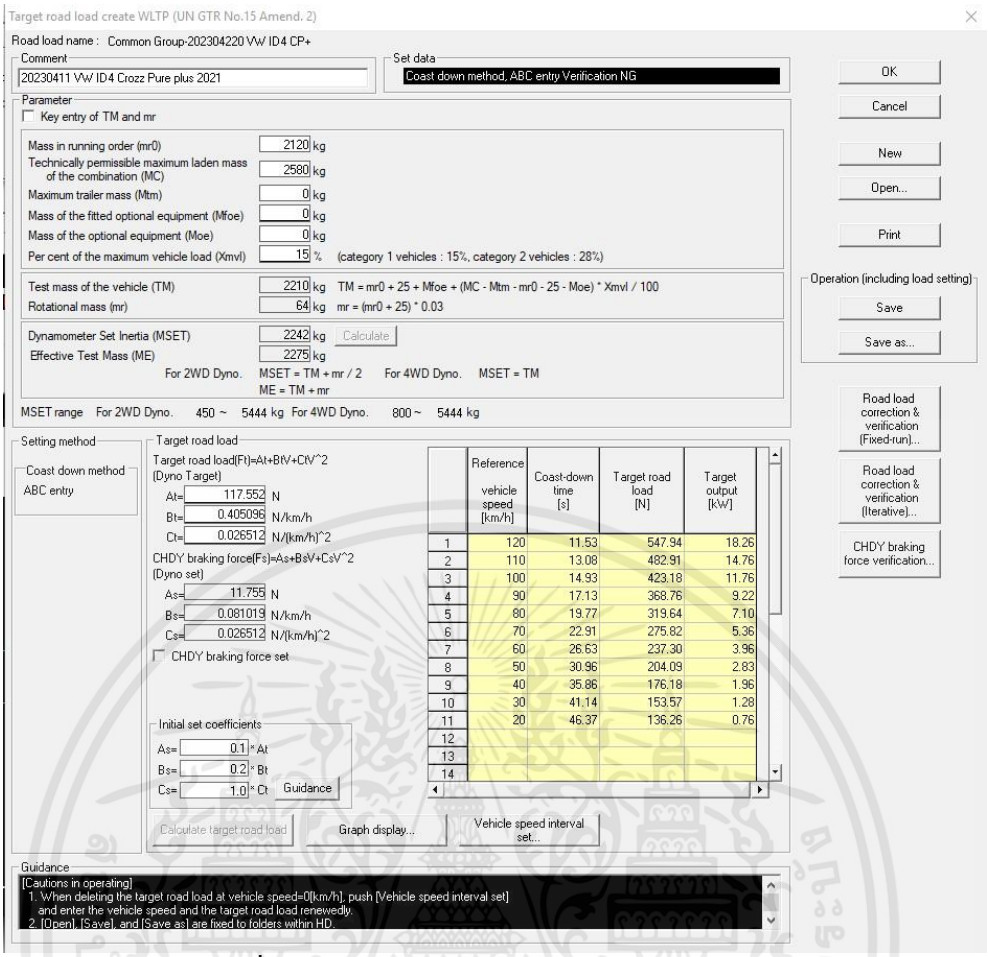
เมื่อได้ค่า Coast Down time จำเป็นต้องมีการนำค่าเวลาไหลเลื่อน Coast Down Time มาวิเคราะห์เพื่อหาความพารามิเตอร์ที่สำคัญต่อการจำลองการขับขี่บนถนนของ Chassis Dynamometer ซึ่งคือค่าสัมประสิทธิ์ ABC ของสมการ Target Road Load เป็นค่าเฉพาะของแต่ละยานยนต์ โดยค่า Target Road Load จะตั้งค่าให้ Chassis Dynamometer จำลองโหลดสถานการณ์การขับขี่ แรงต้านการเคลื่อนที่ของล้อ รวมถึงแรงลมปะทะขณะวิ่ง ให้มีความใกล้เคียงกับสถานการณ์จริงมากที่สุด

ดังนั้นเพื่อให้การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ ABC ของสมการ Target Road Load ใกล้เคียงกับสถานการณ์จริงมากที่สุด จะต้องใช้กระบวนการและค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณแตกต่างกันตามแต่ละมาตรฐาน เพื่อให้สอดคล้องตามมาตรฐานที่ต่างกัน โดยในงานนี้จะอธิบายในส่วนการหาค่าสัมประสิทธิ์โดยใช้โปรแกรม MEIDANCS-DY ของสองมาตรฐาน ได้แก่ WLTP และ EPA ตามลำดับ

3.2.2.1 การวิเคราะห์หาสมการ Target Road Load มาตรฐาน WLTP

1. หาเวลาไหลเลื่อน (Coast Down Time) จากข้อมูลความเร็วและเวลา ในช่วงความเร็ว 125-115, 115-105, 105-95, 95-85, 85-75, 75-65, 65-55, 55-45, 45-35, 35-25 และ 25-15 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งได้จาก OBD-II
2. เปิดแอปพลิเคชัน MEIDACS-DY โหมด EC Target road load create
3. นำเข้าข้อมูลของยานยนต์ไฟฟ้า ข้อมูลน้ำหนักและสภาพแวดล้อมในช่อง Parameter
4. ตัวเลือกในช่อง Select of RR/RT ratio setting, Setting method และ Coast-down time recording method ให้เลือกตามรูปที่ 3.2
5. นำข้อมูลเวลาไหลเลื่อน จากข้อ 1. มาป้อนในตารางในช่อง Target road load ดังรูป 3.2

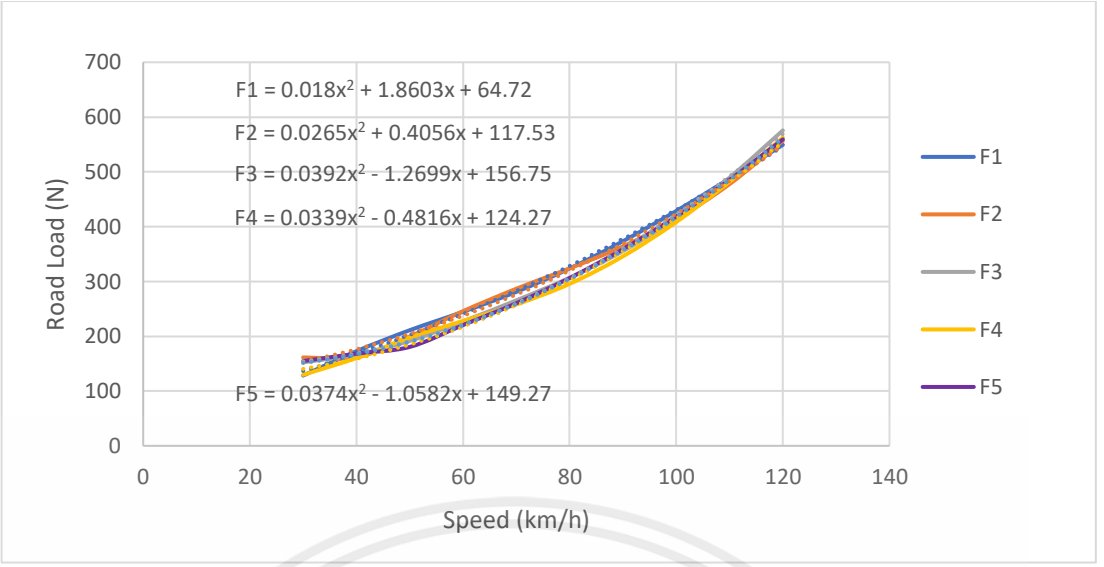
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 EC Target Road Load – MEIDACS-DY

6. นำข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่าง Road load (N) และ Vehicle speed (ที่ความเร็ว 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110 และ 120 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ) มาแสดงความสัมพันธ์เพื่อหาสมการ Target road load และสัมประสิทธิ ABC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง Road Load และ Speed ทั้งหมด

7. จากรูปที่ 3.3 แสดงความสัมพันธ์ระหวาง Road Load และ Speed ได้สมการ Road ทั้งหมด 5 สมการ ดังนี้

$$F_1 = 64.72+1.8603\boldsymbol{v}+0.018\boldsymbol{v}^2,$$

$$F_2 = 117.53+0.4056\boldsymbol{v}+0.0265\boldsymbol{v}^2,$$

$$F_3 = 156.75-1.2699\boldsymbol{v}+0.0392\boldsymbol{v}^2,$$

$$F_4 = 124.27+-0.4816\boldsymbol{v}+0.0339\boldsymbol{v}^2,$$

$$F_5 = 149.27-1.0582\boldsymbol{v}+0.0374\boldsymbol{v}^2$$

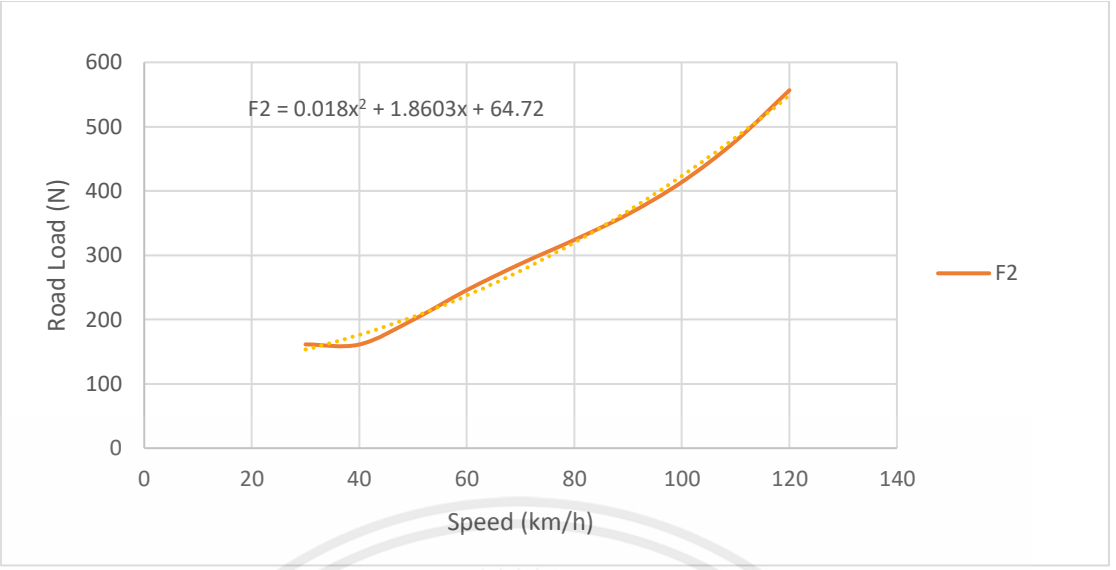
3.2.2.2 การเลือกใช้ค่าสัมประสิทธิ ABC และสมการ WLTP Target Road Load

1. จากการขับขี่บนพื้นถนนของยานยนต์ไฟฟ้าเพื่อหาสมการ Target road load จะได้สมการ $F = A+B\boldsymbol{v}+C\boldsymbol{v}^2$ โดยที่มีค่าสัมประสิทธิ์ A, B และ C ทั้งหมด

2. เลือกค่าสัมประสิทธิ์ A, B และ C จากชุดข้อมูลที่มีการเปรียบเทียบแรงกระทำของยานยนต์ไฟฟ้าที่มีผลต่อพื้นถนน หากมีแรงกระทำจากยานยนต์ไฟฟ้ากับพื้นถนนน้อย ค่าสัมประสิทธิ์ที่ใช้เทียบจะมีค่าน้อยตามไปด้วย ซึ่งในที่นี้จะทำการเลือกค่าสัมประสิทธิ์ที่มีลักษณะเหมาะสม ในสมการ Target road load ทั้งหมด 5 สมการ โดยค่าสัมประสิทธิ์ A, B และ C ชุดข้อมูลที่เลือก คือ

$$F_2 = 117.53+0.4056\boldsymbol{v}+0.0265\boldsymbol{v}^2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง Road Load และ Speed ข้อมูลชุดที่ 2

3. นำรถขึ้นบนเครื่อง Chassis Dynamometer และตรวจสอบ Road Load correction and verification สอบเทียบความแม่นยำของ Target Load Road โดยค่า error ที่ยอมรับไม่เกิน 10 N

4. เมื่อได้ค่าสัมประสิทธิ์ A, B และ C จึงทำการทดสอบการขับขี่ยานยนต์ไฟฟ้ากับระบบ Chassis Dynamometer โดยการทดสอบมาตรฐานการขับขี่ยานยนต์ไฟฟ้าด้วยอัตราเร็วคงที่ 90 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เวลา 30 นาที ซึ่งทดสอบด้วยการปรับพารามิเตอร์ค่าสัมประสิทธิ์ A, B และ C จากการเลือกข้างต้น เพื่อทำการทดสอบมาตรฐานการขับขี่ยานยนต์ไฟฟ้าตามมาตรฐานการขับขี่ยานยนต์ไฟฟ้า

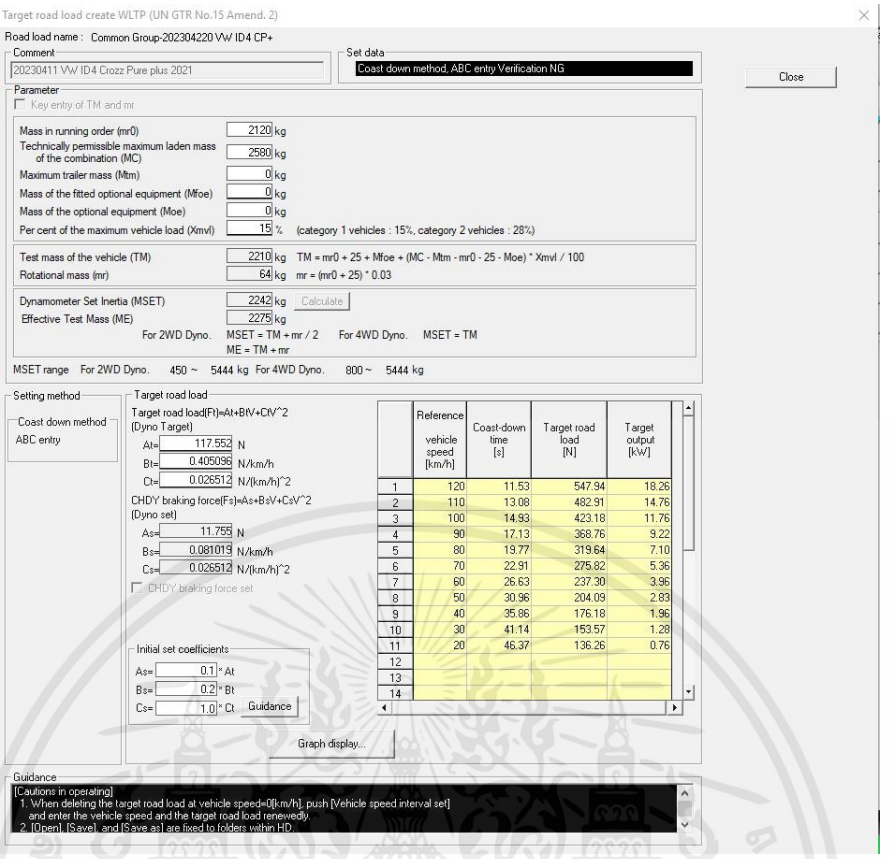
5. ได้ค่าสัมประสิทธิ์ A, B และ C ที่ใช้ในการทดสอบยานยนต์ไฟฟ้าที่เหมาะสมที่สุดจากสมการ Target road load ทั้งหมด 5 สมการจากการขับขี่ยานยนต์ไฟฟ้าในสภาวะข้างต้น คือ $F_2 = 117.53+0.4056\mathcal{V}+0.0265\mathcal{V}^2$

6. ทำการบันทึก Target Road Load ที่ได้เพื่อใช้สำหรับการตั้งค่าสถานการณ์ในการทดสอบถัดไป

3.2.2.3 การตั้งค่า Target Load Road โปรแกรม MEIDACS-DY สำหรับมาตรฐาน WLTP

1. ตั้งค่าน้ำหนักยานยนต์ไฟฟ้าและน้ำหนักของสิ่งของอื่น ๆ ขณะทดสอบ ใส่ข้อมูล Target Road Load สัมประสิทธิ ABC ดังแสดงในรูปที่ 3.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



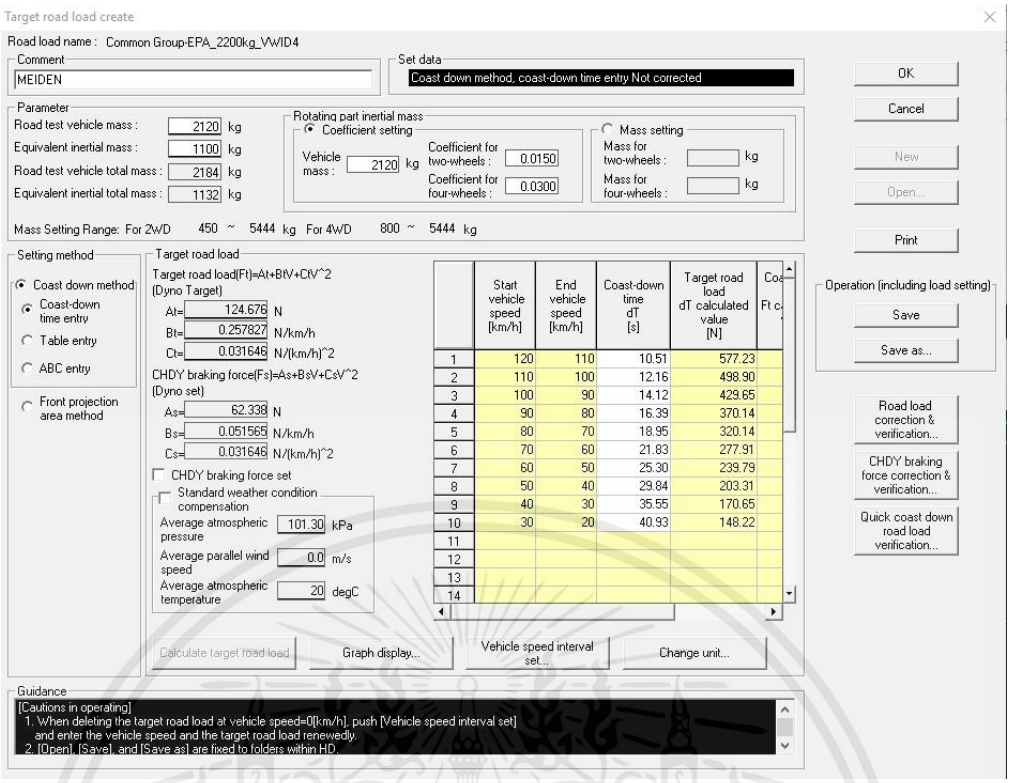
รูปที่ 3.5 WLTP Target Road Load

7. ใส่ข้อมูลสัมประสิทธิ์ ABC
8. บันทึก WLTP Target Road Load เก็บไว้เพื่อใช้ในการจำลองสถานการณ์ทดสอบ

3.2.2.4 การวิเคราะห์หาสัมประสิทธิ ABC และสมการ Target Road Load มาตรฐาน EPA

1. เปิดแอปพลิเคชัน MEIDACS-DY โหมด EPA Target road load create ใส่ข้อมูลเวลาไหลเลื่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 EPA Target Road Load Create

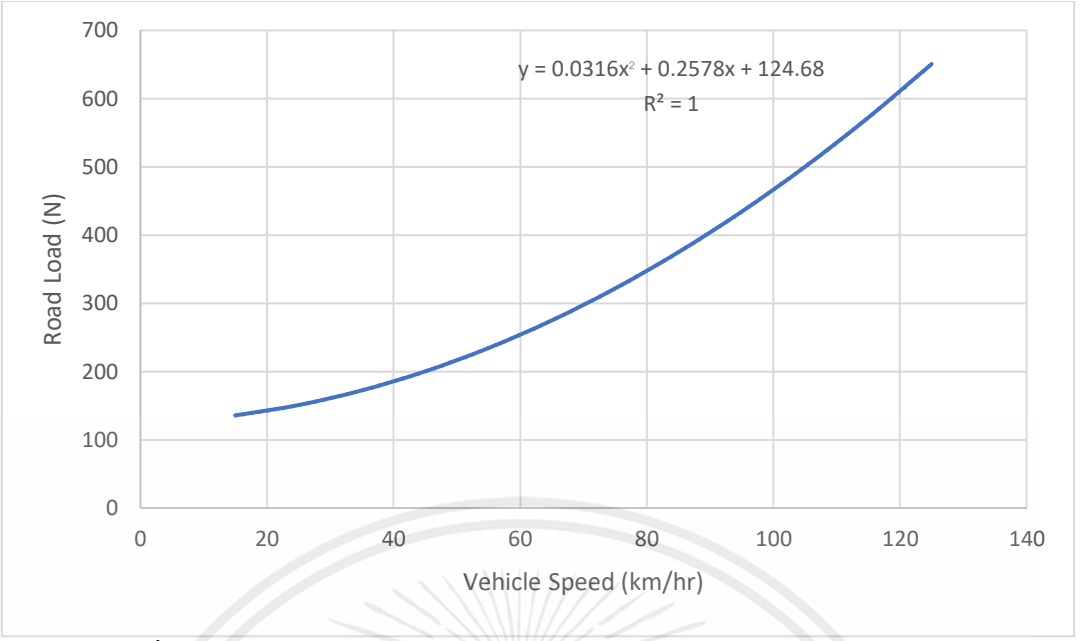
2. เนื่องจากมาตรฐาน WLTP ใช้สมการ $F_2 = 117.53+0.4056\boldsymbol{v}+0.0265\boldsymbol{v}^2$ ดังนั้น การหาค่าสัมประสิทธิ์ ABC จึงใช้เวลาไหลเลื่อนไหนของสมการข้างต้น มาใช้ในการหา ABC ของ EPA Target Road Load Create ดังรูปที่ 3.6

3. ในขั้นตอนนี้ทางโปรแกรม MEIDACS-DY จะทำการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ ABC ของสมการ Target Road Load ดังรูป 3.6 โดยไม่จำเป็นต้องสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Road Load และความเร็วแบบขั้นตอนของ WLTP

สมการที่ใช้สำหรับมาตรฐาน EPA

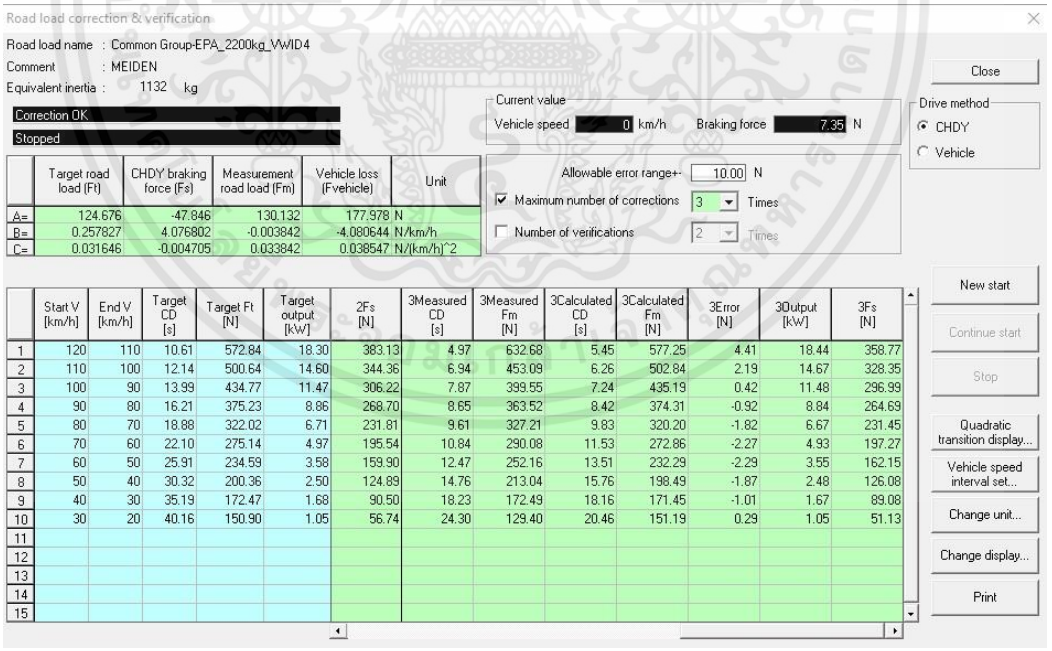
$$F = 124.676+0.2578\boldsymbol{v}+0.0316\boldsymbol{v}^2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง Road Load และ Speed สำหรับมาตรฐาน EPA

4. เมื่อได้ค่าสัปประสิทธิ์ ABC ทำการตรวจสอบ Road Load correction and verification โดยกำหนด Error ไม่ให้เกิน 10 N ดังรูป 3.8



รูปที่ 3.8 EPA Road Load Correction and Verification

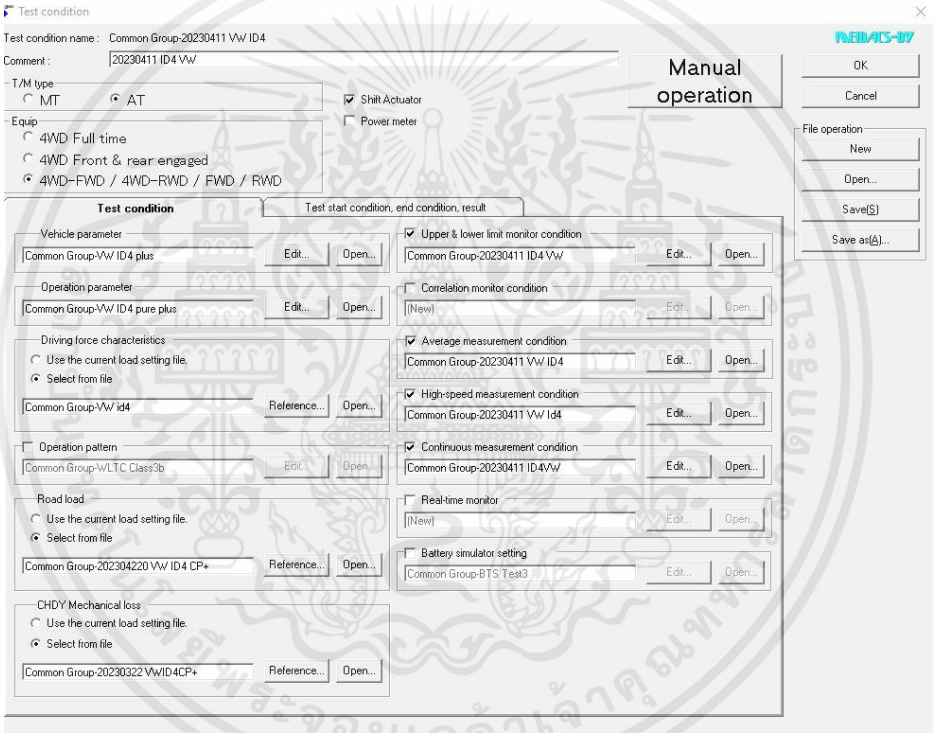
5. ทำการบันทึก Target Road Load ที่ได้เพื่อใช้สำหรับการตั้งค่าสถานการณ์ในการทดสอบถัดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การตั้งค่าสภาวะการทดสอบยานยนต์ไฟฟ้า บน Chassis Dynamometer

ในการทดสอบหาความต้องการพลังงานของยานยนต์ไฟฟ้าของยานยนต์ไฟฟ้าจำเป็นต้องมีการตั้งค่า Chassis Dynamometer เพื่อให้สามารถจำลองสถานการณ์การขับขี่เสมือนจริงมากที่สุด โดยค่าพารามิเตอร์ในการตั้งค่าทั้งมาตรฐาน WLTP และ EPA จะมีการตั้งค่าเหมือนกัน โดยจะแตกต่างกันในส่วนสมการ Target Road Load ซึ่งหามาใน 3.1 และรูปแบบลักษณะการขับขี่ รวมถึงปัจจัยภายนอก เช่น อุณหภูมิขณะการทดสอบ เป็นต้น การตั้งค่าจะตั้งค่าผ่านโปรแกรม MEIDACS-DY

การตั้งค่าสถานการณ์จะตั้งค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังรูป 3.9



รูปที่ 3.9 การตั้งค่า Test Condition

1. Equip

ตั้งค่าในส่วนการขับเคลื่อนของยานยนต์ เช่น ขับเคลื่อน 4 ล้อ (4WD) FWD (ขับเคลื่อนล้อหน้า) เป็นต้น

2. Vehicle Parameter

การตั้งค่าเกี่ยวกับยานยนต์ทดสอบ ได้แก่ น้ำหนักรถ เกียร์ยานยนต์ ตำแหน่งพวงมาลัย ดังรูปที่ 3.10 และขนาดล้อรถ ดังรูปที่ 3.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.10 การตั้งค่าน้ำหนักยานยนต์ เกียร์และตำแหน่งพวงมาลัย

รูปที่ 3.11 การตั้งค่าขนาดรัศมีล้อยานยนต์

3. Operation Parameter

อธิบายเกี่ยวกับรูปแบบการขับขี่บน Chassis Dynamometer เพื่อทำการสื่อสารในการตั้งค่าหุ่นยนต์ช่วยขับ ซึ่งในการทดลองไม่ได้ใช้หุ่นยนต์ช่วยขับ ดังนั้นจึงข้ามการตั้งค่าในส่วนนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. Driving Force

ใช้ในกรณีตั้งค่าหุ่นยนต์ช่วยขับ เพื่อกำหนดความแรงในการเหยียบคันเร่งและเบรกให้แก่หุ่นยนต์ช่วยขับ ซึ่งในการทดลองไม่ได้ใช้หุ่นยนต์ช่วยขับ ดังนั้นจึงข้ามการตั้งค่าในส่วนนี้

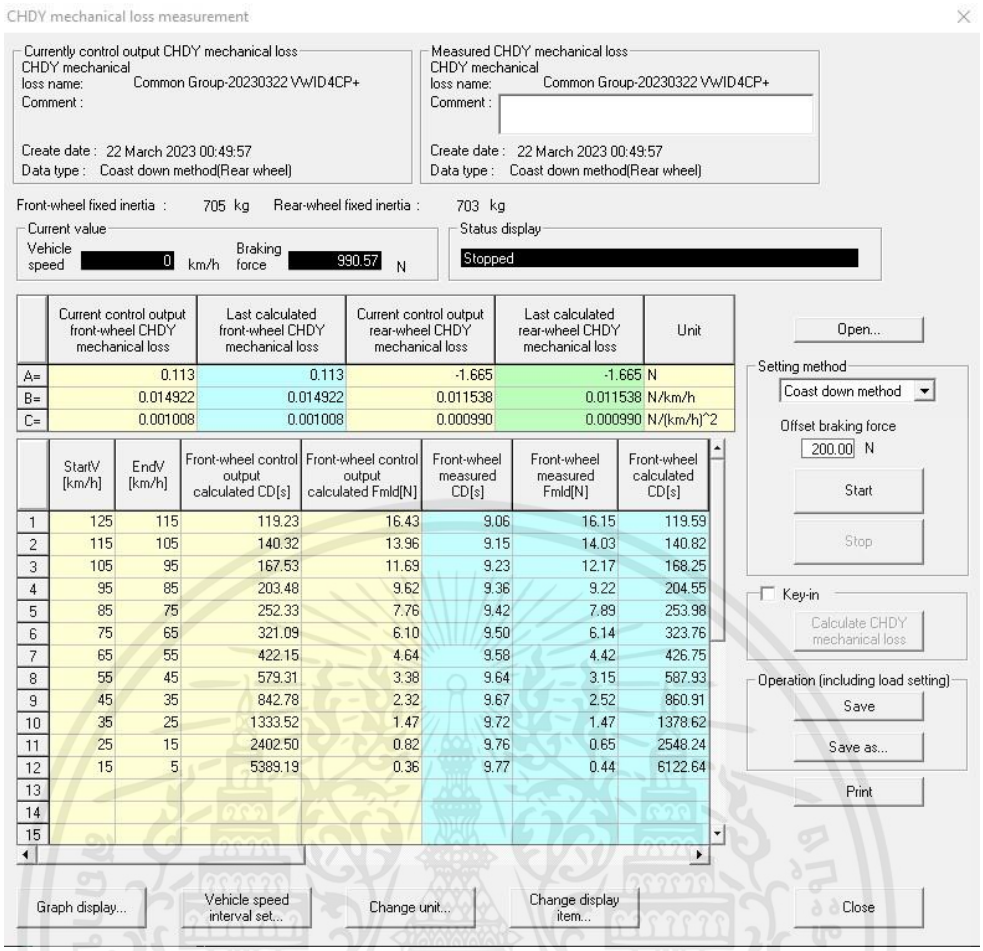
5. Road Load

นำค่า Target Road Load ของแต่ละมาตรฐานที่ได้เลือกใช้ในข้างต้น มาตั้งค่าตามมาตรฐานที่ทดสอบ หากทดสอบตามมาตรฐาน WLTP ใช้ข้อมูลของ WLTP หากทดสอบตามมาตรฐาน EPA ใช้ข้อมูลของ EPA

6. CHDY Mechanical Loss

เป็นการทดสอบเพื่อหาค่าความสูญเสียก่อนทดสอบของเครื่อง Chassis Dynamometer ทราบถึงปริมาณการสูญเสียที่เกิดขึ้นของเครื่อง ดังรูป 3.12 เมื่อทดสอบเครื่องจะทำการทดแทนในส่วนของการสูญเสียออกจากพลังงานที่ได้จากเพลา เพื่อให้ค่ามีความแม่นยำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 การทดสอบ Mechanical Loss

7. Upper and Lower limit monitor Condition

เป็นการตั้งค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดที่เครื่องวัดแสดงออกทางจอมอนิเตอร์ สำหรับดูค่าแบบ Real time

8. Condition monitor Condition

สำหรับอ่านค่าสภาพแวดล้อมขณะทดสอบ อาทิ อุณหภูมิ ความดันบรรยากาศ ความหนาแน่นของอากาศ เป็นต้น

9. Average measurement condition

สำหรับเลือกค่าที่ต้องการวัดขณะทำการทดสอบยานยนต์ไฟฟ้า แบบเฉลี่ย

10. High-Speed measurement condition

สำหรับเลือกค่าที่ต้องการวัดขณะทำการทดสอบยานยนต์ไฟฟ้า แบบความเร็วสูง เก็บค่าทุก 0.1 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. Continuous speed measurement condition

สำหรับเลือกค่าที่ต้องการวัดขณะทำการทดสอบยานยนต์ไฟฟ้า แบบต่อเนื่องเก็บค่าทุก 1 วินาที

3.4 การตั้งค่ารูปแบบความเร็วของการจำลองพื้นถนนในการขับขี่ของยานยนต์ไฟฟ้ากับระบบ Chassis Dynamometer โดยใช้งานร่วมกับแอปพลิเคชัน DriverAid

1. แอปพลิเคชัน DriversAid เพื่อจำลองการสร้างรูปแบบความเร็วของการจำลองพื้นถนนในการขับขี่ของยานยนต์ไฟฟ้า

2. สร้างค่าข้อมูลความเร็วตามวัฏจักรการทดสอบภายใต้มาตรฐาน Worldwide Harmonized Light Vehicle Test Procedure (WLTP) Class 3b cycle และข้อมูลความเร็วตามวัฏจักรการทดสอบภายใต้มาตรฐาน Environmental Protection Agency (EPA) City และ High Way ในรูปแบบของไฟล์ WLTP Class3b.pat และ EPA.pat

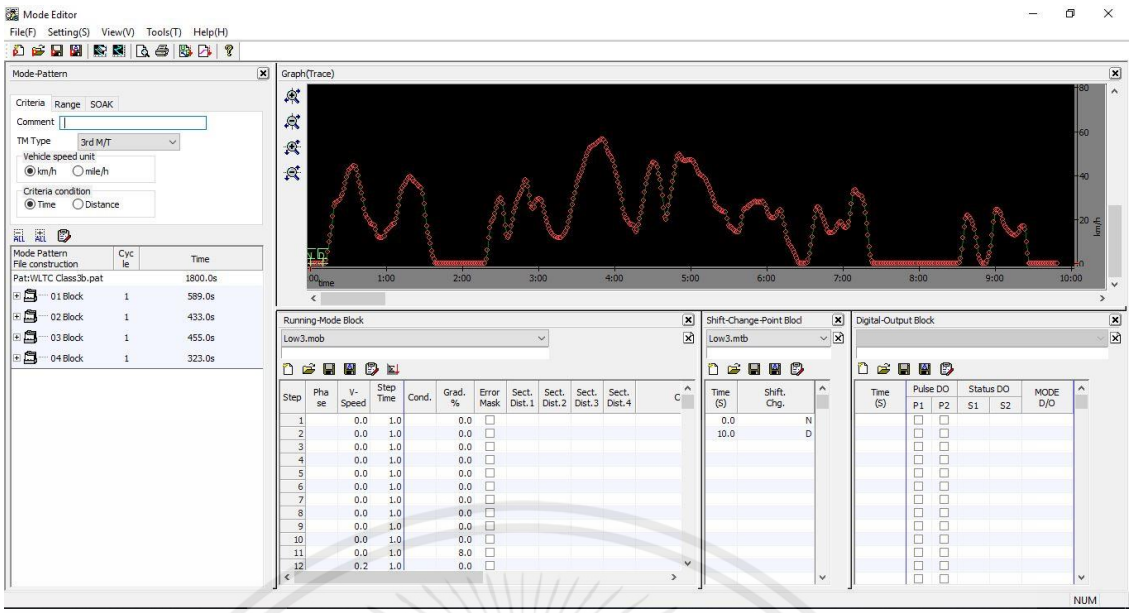
3. ตั้งค่าข้อมูลความเร็วตามวัฏจักรการทดสอบภายใต้มาตรฐาน Worldwide Harmonized Light Vehicle Test Procedure (WLTP) Class 3b cycle และข้อมูลความเร็วตามวัฏจักรการทดสอบภายใต้มาตรฐาน Environmental Protection Agency (EPA) City และ High Way

4. รูปแบบในการขับขี่แบ่งเป็น 2 ส่วน

ส่วนที่ 1 เป็นข้อมูลความเร็วและเวลา (ไฟล์ .mob) โดยป้อนความเร็วและช่วงเวลาที่ใช้ความเร็วนั้น ส่วนที่ 2 ระยะเวลาและเกียร์ที่ต้องการแสดงให้ผู้ขับขี่ปฏิบัติตาม

5. ในส่วนของแถบ Block ที่เป็นช่วงของการขับขี่ โดยจะใช้ข้อมูลจากรูปแบบความเร็วตามวัฏจักรการทดสอบภายใต้มาตรฐาน (WLTP) Class 3b cycle ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานของ WLTP class 3b จะมี 4 Block คือ Low, Medium, High และ Extra High ดังรูปที่ 3.13 และข้อมูล cycle ข้อมูลความเร็วตามวัฏจักรการทดสอบภายใต้มาตรฐาน Environmental Protection Agency (EPA) โดยแบ่งเป็น การขับขี่ในเมือง City driving) และการขับขี่บนทางหลวง (High Way driving)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 การตั้งค่ารูปแบบการขับขี่ภายใต้มาตรฐานบนแอปพลิเคชัน DriverAid

3.5 การออกแบบการทดสอบของระบบ Chassis Dynamometer กับยานยนต์ไฟฟ้า

ในการออกแบบการทดสอบความต้องการพลังงานของยานยนต์ไฟฟ้า มีการทดสอบในแง่ของการทดสอบภายใต้การเปรียบเทียบระหว่างสองมาตรฐาน คือ WLTP และ EPA รวมถึงการทดสอบตามประกาศกรมขนส่งทางบก รวมถึงวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ได้จากการทดสอบตามมาตรฐาน ดังนี้

3.5.1 การทดสอบความต้องการพลังงานยานยนต์ไฟฟ้าตามมาตรฐาน WLTP Class 3b ช่วงความเร็วสำหรับ 4 วัฏจักรการขับขี่ตามมาตรฐาน

เพื่อทดสอบหาอัตราการใช้พลังงานของการขับขี่และของยานยนต์สำหรับการทดสอบที่ได้จากพลังงานไฟฟ้าที่แบตเตอรี่ (OBD-II) ซึ่งเปรียบเทียบกับพลังงานทางกลที่ล้อ (DYNO)

การทดสอบอัตราการใช้พลังงานของยานยนต์ไฟฟ้า ทดสอบภายใต้มาตรฐาน WLTP Class 3b โดยการขับขี่ตามลักษณะการขับขี่ที่กำหนดและวิเคราะห์จำแนกออกเป็น 4 ช่วงวัฏจักร ได้แก่ การขับขี่ภายในเมือง การขับขี่ทางหลวง การขับขี่บนทางหลวงชนบท และการขับขี่บนทางด่วนพิเศษ โดยโหมดที่ใช้ในการทดสอบของยานยนต์ คือ โหมด Comfort

โดยการทดสอบจะทดสอบตามมาตรฐาน WLTP class 3b ดังรูปที่ 2.10 โดยจะทำการทดสอบขับขี่ตามลักษณะการขับขี่ทั้งหมดเพื่อหาอัตราการต้องการพลังงาน และการขับขี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพิ่มเติมวัฏจักร 2 วัฏจักร ได้แก่ การขับขี่แบบในเมือง (City-Driving) และการขับขี่แบบทางหลวง (Highway driving) เพื่อใช้เปรียบเทียบกับมาตรฐาน EPA

3.5.2 การทดสอบความต้องการพลังงานยานยนต์ไฟฟ้าตามมาตรฐาน EPA ช่วงความเร็วสำหรับ 2 วัฏจักรการขับขี่ตามมาตรฐาน

เพื่อทดสอบหาอัตราการใช้พลังงานของการขับขี่และของยานยนต์สำหรับการทดสอบที่ได้จากพลังงานไฟฟ้าที่แบตเตอรี่ (OBD-II) ซึ่งเปรียบเทียบกับพลังงานทางกลที่ล้อ (DYNO)

การทดสอบอัตราการใช้พลังงานของยานยนต์ไฟฟ้า ทดสอบภายใต้มาตรฐาน EPA โดยแบ่งช่วงความเร็วการขับขี่เป็น 2 ลักษณะ ได้แก่ การขับขี่ภายในเมือง (City Driving Cycle) และการขับขี่บนทางหลวง (High Way Cycle) โดยโหมดที่ใช้ในการทดสอบของยานยนต์ไฟฟ้า คือ โหมด Comfort

3.5.3 เปรียบเทียบอัตราความต้องการพลังงานที่ได้จากการวิเคราะห์บน Chassis Dynamometer และ OBD-II จากการจำลองการขับขี่ในเมือง (City Driving) และการขับขี่ทางหลวง (High way driving) ระหว่างมาตรฐาน WLTP และมาตรฐาน EPA

เปรียบเทียบอัตราความต้องการพลังงานและผลรวมการใช้พลังงานไฟฟ้าที่แบตเตอรี่รวบรวมข้อมูลจาก OBD-II และพลังงานทางกลที่ล้อจาก Chassis Dynamometer ในวัฏจักรการขับขี่ EPA และ WLTP class 3b โดยเปรียบเทียบพลังงานการขับขี่ในช่วงขับขี่ภายในเมือง (City Driving) และช่วงขับขี่บนทางหลวง (High way driving) จากการจำลองการขับขี่บน Chassis Dynamometer

3.5.4 เปรียบเทียบอัตราความต้องการพลังงานระหว่างข้อมูลจาก Chassis Dynamometer และ OBD-II เพื่อหาประสิทธิภาพของยานยนต์ไฟฟ้าตามมาตรฐาน WLTP และมาตรฐาน EPA

เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์อัตราความต้องการพลังงาน (Energy Consumption) เพื่อหาประสิทธิภาพของยานยนต์ที่ใช้ทดสอบซึ่งตามมาตรฐาน WLTP Class 3b และมาตรฐาน EPA ของช่วงความเร็วที่ใช้ในการทดสอบคือ ช่วงการขับขี่ภายในเมือง (City Driving) และช่วงการขับขี่บนทางหลวง (High way driving) โดยเปรียบเทียบระหว่างข้อมูลจากแบตเตอรี่ซึ่งได้จาก OBD-II และข้อมูลที่ได้จาก Chassis Dynamometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลอง

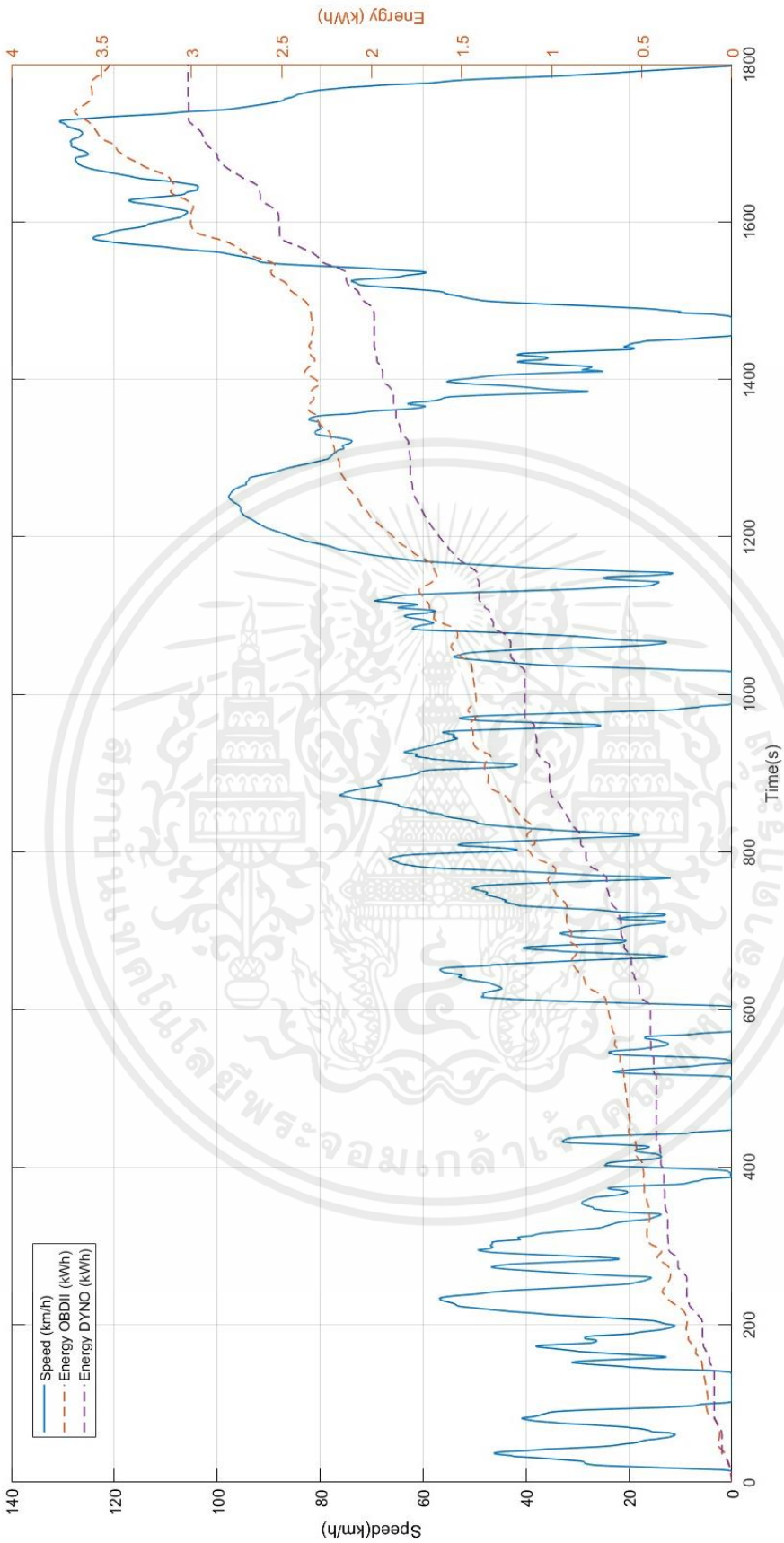
จากการบันทึกผลข้อมูลจาก Chassis Dynamometer เป็นค่าที่แทนสำหรับกำลังไฟฟ้าที่ล้อ และอุปกรณ์บันทึกข้อมูล OBD-II เป็นค่าที่แทนสำหรับกำลังไฟฟ้าที่แบตเตอรี่, ความเร็วของยานยนต์ไฟฟ้าแต่ละช่วงเวลา ข้อมูลเวลาความละเอียดทุก ๆ 0.6 วินาที แต่ละช่วงเวลาที่ความละเอียดทศนิยม 1 ตำแหน่ง จึงได้นำค่าข้อมูลและค่าเวลามาดำเนินการโดยใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลข (Numerical method) ด้วยการประมาณค่า (interpolation) ตามกฎสี่เหลี่ยมคางหมู (Trapezoidal Rule) เพื่อให้ได้ค่าของข้อมูลที่มีความละเอียดมากพอสำหรับนำไปวิเคราะห์การใช้พลังงานของยานยนต์ที่ใช้ทดสอบ จากนั้นนำไปเปรียบเทียบกับข้อมูลหน่วยความจุของแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้าทดสอบ เพื่อให้ได้ข้อมูลอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าแต่ละช่วงเวลาและได้ผลรวมของอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าของยานยนต์ไฟฟ้าตลอดช่วงเวลาที่ทำการทดสอบ [17]

นอกจากนี้ ยังได้ใช้วิธีการประมาณค่าในช่วง (interpolation) เพื่อหาค่าระยะทางการขับ ขี่ของยานยนต์ไฟฟ้าแต่ละจุดเวลา แล้ววิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้า กับระยะทางที่แต่ละจุดความเร็ว โดยเปรียบเทียบผลพลังงานไฟฟ้าที่แบตเตอรี่ (OBD-II) และพลังงานทางกลที่ล้อ (DYNO) เมื่อเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขการทดสอบตามมาตรฐานการทดสอบทั้งสองมาตรฐานระหว่าง WLTP (Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedure) และ EPA (Environmental Protection Agency) และนำอัตราการใช้พลังงานมาคำนวณความแตกต่างเมื่อทดสอบมาตรฐานที่แตกต่างกันของแต่ละปัจจัยที่สร้างความสอดคล้องในการใช้พลลังงานของยานยนต์ของทั้งสองมาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบ

4.1 การทดสอบตามมาตรฐาน WLTP class 3b บน Chassis Dynamometer แต่ละช่วงความเร็วสำหรับ 4 วัฏจักร

เพื่อทดสอบหาประสิทธิภาพของการขับขี่และของยานยนต์สำหรับการทดสอบที่ได้จากพลังงานไฟฟ้าที่แบตเตอรี่ (OBD-II) ซึ่งเปรียบเทียบกับพลังงานทางกลที่ล้อ (DYNO) ก่อนจะทำการทดสอบเชิงเปรียบเทียบระหว่างมาตรฐาน WLTP และ EPA ในช่วงความเร็วต่ำและความเร็วสูงของแต่ละมาตรฐานที่ใช้ทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 การใช้พลังงานไฟฟ้าสะสมที่แบตเตอรี่และพลังงานทางกลสะสมที่ล้อใน 1 วัฏจักรทดสอบการขับขี่คลาส 3b

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.1 จะเห็นได้ว่า ในการทดสอบการขับขี่ตามวัฏจักรทดสอบ ไม่ว่าจะเป็นที่ช่วงความเร็วใดก็ตาม จะได้ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าที่แบตเตอรี่ซึ่งเป็นกำลังไฟฟ้าขาเข้าสูงกว่าพลังงานทางกลที่ล้อซึ่งเป็นกำลังขาออก ซึ่งผลต่างของกำลังขาเข้าและขาออกจะเป็นสิ่งที่บ่งบอกถึงประสิทธิภาพของระบบขับเคลื่อน เมื่อนำไปพิจารณาประสิทธิภาพของยานยนต์ไฟฟ้า จะพบว่าได้ผลที่มีแนวโน้มเหมือนกันทั้งต่อค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าที่แบตเตอรี่และค่าการใช้พลังงานทางกลที่ล้อ เนื่องจากข้อมูลยานยนต์ไฟฟ้าสำหรับการทดสอบที่ได้ผลจากการทดสอบบน DYNO ซึ่งเปรียบเทียบพลังงานที่ได้จาก OBD-II เพื่อหาช่วงที่เหมาะสมสำหรับนำไปทดสอบหาค่าพลังงานที่ยานยนต์ไฟฟ้าใช้งาน โดยผู้ทดสอบจะเลือกช่วงความเร็วต่าง ๆ กันของแต่ละมาตรฐานที่นำมาใช้ทดสอบเชิงเปรียบเทียบเพื่อให้สอดคล้องกับการใช้งานจริงบนถนน

จากรูปที่ 4.1 วิเคราะห์ได้ว่า พลังงานที่ได้ตามมาตรฐาน WLTP Class 3b กิโลเมตรต่อชั่วโมงตามลำดับ โดย Chassis Dynamometer มีแรงกระทำสูงขึ้น (Tractive Force) และเมื่อมีแรงกระทำสูงขึ้น ทำให้กำลังไฟฟ้าสูงขึ้นตาม อ้างอิงจากสมการ P = Fv ; เมื่อ P เป็นกำลังขาออก (กิโลวัตต์) v เป็นความเร็วเชิงเส้น (เมตรต่อวินาที) ซึ่งค่าการใช้พลังงานจะแปรผันตามค่าแรงกระทำ [18] และค่าการใช้พลังงานทั้งหมดที่ยานยนต์ไฟฟ้าได้จากการทดสอบบน Chassis Dynamometer ที่จำลองสภาพแวดล้อมการขับขี่แล้ว ซึ่งเป็นพลังงานทางกลที่ล้อ (DYNO) มีค่าเท่ากับ 3.019 กิโลวัตต์ชั่วโมง และพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากแบตเตอรี่ (OBD-II) เท่ากับ 3.459 กิโลวัตต์ชั่วโมง ซึ่งจะสะท้อนถึงความต้องการใช้พลังงานของยานยนต์ไฟฟ้าที่จะทำการทดสอบเชิงเปรียบเทียบกับมาตรฐาน EPA ในลำดับถัดไป

4.1.1 การทดสอบตามมาตรฐาน WLTP class 3b บน Chassis Dynamometer ในวัฏจักรการขับขี่แบบความเร็วต่ำ (low driving cycle)

จากรูปที่ 4.2 หลังจากที่ทดสอบเพื่อหาอัตราการใช้พลังงานของยานยนต์ที่ใช้ทดสอบและเลือกช่วงความเร็วจะนำไปทดสอบเปรียบเทียบมาตรฐานสำหรับมาตรฐาน WLTP Class 3b ที่เป็นช่วงความเร็วต่ำ (low driving cycle) เพื่อความละเอียดของข้อมูลและนำไปวิเคราะห์หาอัตราการใช้พลังงานเฉพาะช่วงความเร็วต่ำจึงได้ทดสอบยานยนต์ในช่วงความเร็วต่ำอีกครั้ง จากการทดสอบได้ผลการทดสอบซึ่งได้จากพลังงานทางกลที่ล้อ (DYNO) และพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากแบตเตอรี่ (OBD-II) เท่ากับ 0.432 กิโลวัตต์ชั่วโมง และ 0.692 กิโลวัตต์ชั่วโมงตามลำดับ ซึ่งแนวโน้มการใช้พลังงานที่ความเร็วมีค่าความชันติดลบเส้นกราฟพลังงานทั้งสองแบบมีค่าค่าความชันของกราฟติดลบหรือคงที่ตามเส้นกราฟความเร็วของการทดสอบ

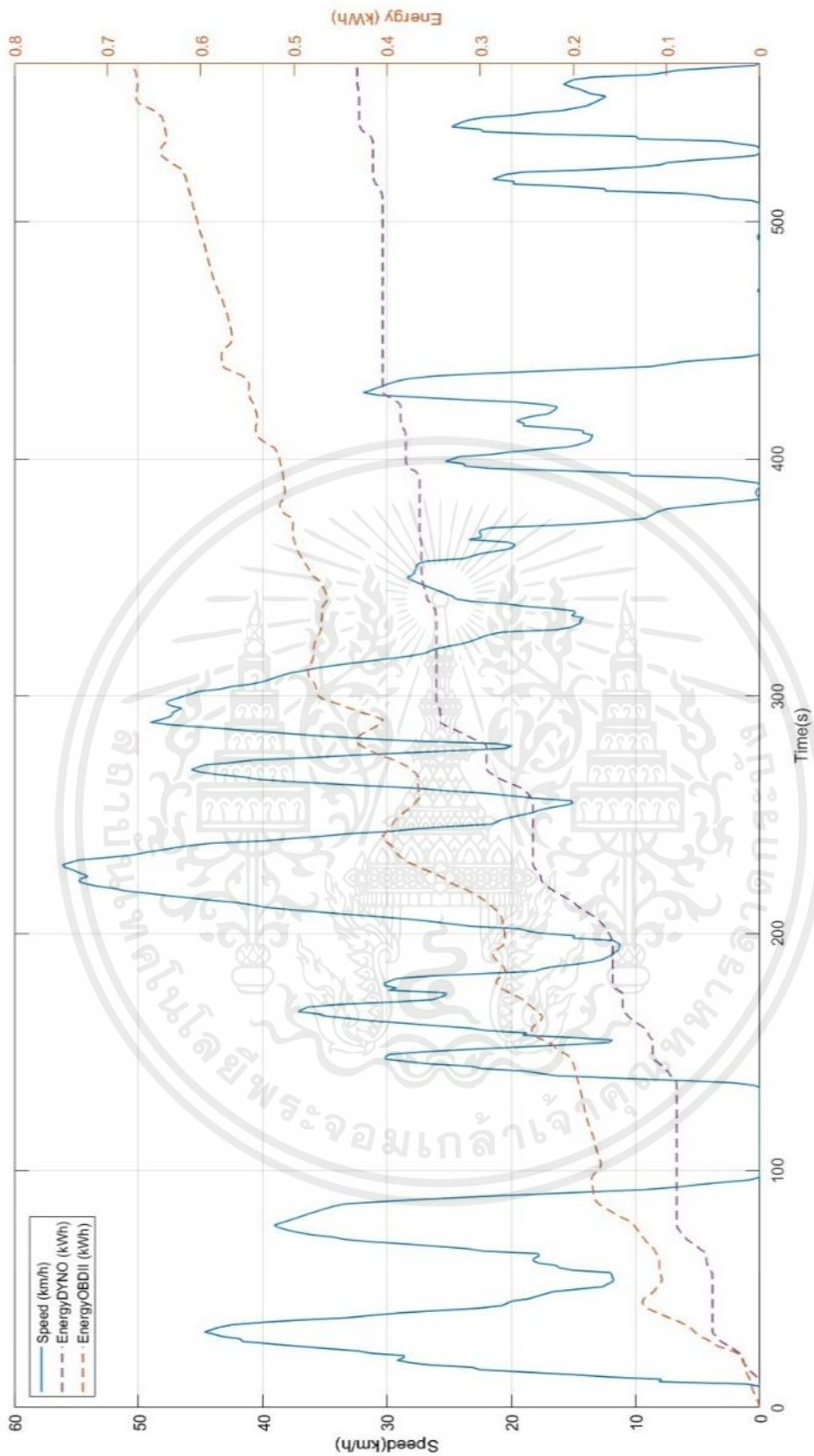
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 การทดสอบตามมาตรฐาน WLTP class 3b บน Chassis Dynamometer ในวัฏจักรการขับขี่แบบความเร็วสูง (high driving cycle)

จากรูปที่ 4.3 หลังจากที่ทดสอบเพื่อหาอัตราการใช้พลังงานของยานยนต์ที่ใช้ทดสอบและเลือกช่วงความเร็วจะนำไปทดสอบเปรียบเทียบมาตรฐานสำหรับมาตรฐาน WLTP Class 3b ที่เป็นช่วงความเร็วสูง (high driving cycle) เพื่อความละเอียดของข้อมูลและนำไปวิเคราะห์หาอัตราการใช้พลังงานเฉพาะช่วงความเร็วสูงจึงได้ทดสอบยานยนต์ในช่วงความเร็วนี้อีกครั้ง จากการทดสอบได้ผลการทดสอบเส้นกราฟพลังงานมีการตัดกันที่ความเร็วที่ไม่ต่อเนื่องที่ความเร็ว 8 18 22 และ 59 กิโลเมตรต่อชั่วโมงตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการตอบสนองการใช้พลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ (OBD-II) มีการตอบสนองที่เร็วกว่าพลังงานทางกลที่ล้อ (DYNO) โดยพลังงานทางกลที่ล้อ (DYNO) และพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากแบตเตอรี่ (OBD-II) เท่ากับ 0.835 และ 0.898 กิโลวัตต์ชั่วโมงตามลำดับ

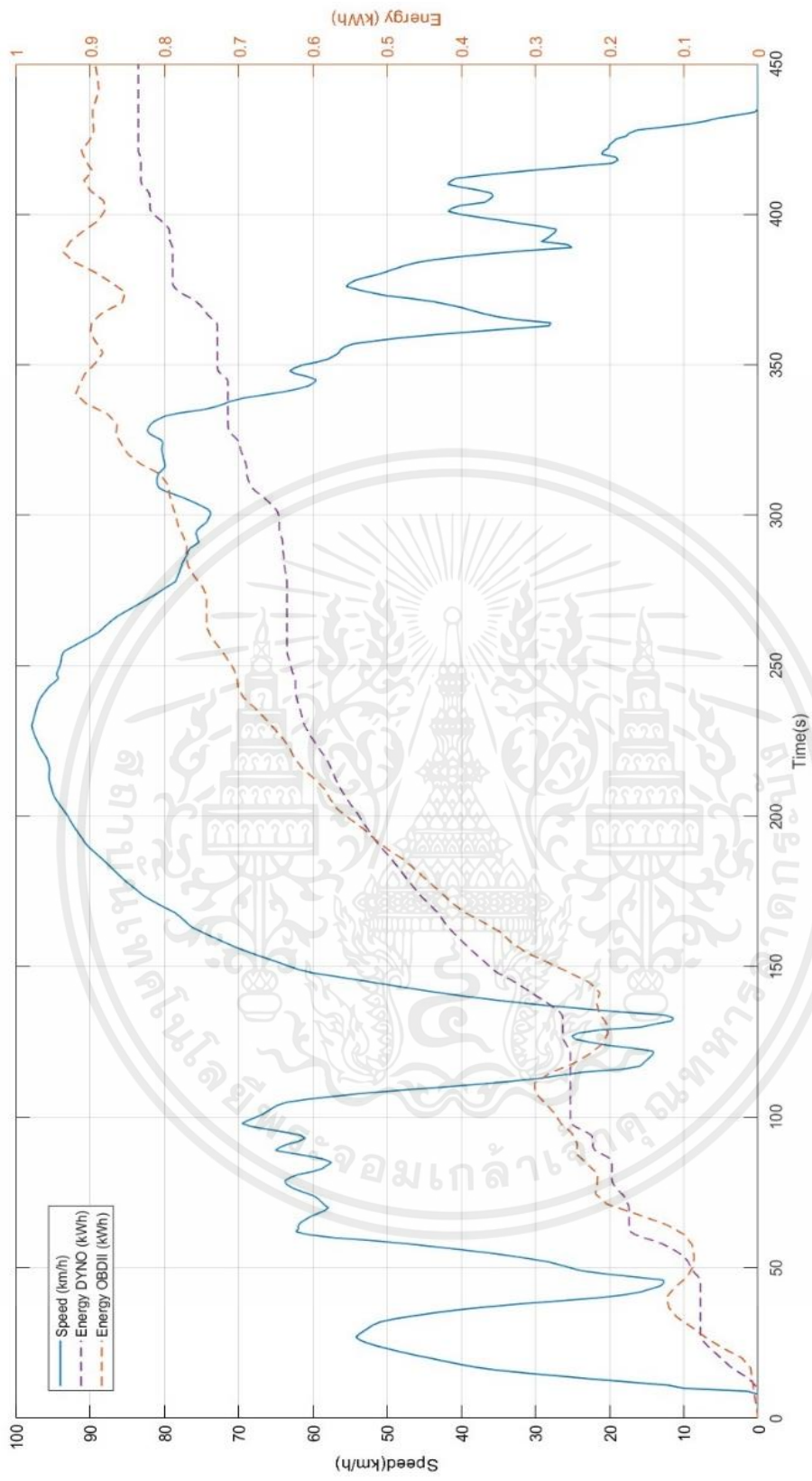
นอกจากนี้ ช่วงความเร็วที่จะนำไปทดสอบในเชิงเปรียบเทียบในลำดับต่อไปตามมาตรฐาน WLTP Class 3b ในช่วงความเร็วต่ำ (low driving cycle) และความเร็วสูง (high driving cycle) เนื่องจากมีความเร็วเฉลี่ยคือ 18.9 และ 56.7 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ และทั้งสองช่วงความเร็วมีความเหมาะสมสำหรับการใช้งานสำหรับในเมืองที่มีเป็นเขตความบคุมความเร็วต่ำ และช่วงความเร็วสูงเหมาะสำหรับการขับขี่ในเขตทางหลวง โดยลำดับถัดไปจะทำการทดสอบเชิงเปรียบเทียบกับมาตรฐาน EPA ในช่วงความเร็วในเมือง (city driving cycle) และช่วงความเร็วแบบเขตทางหลวง (highway driving cycle)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 การใช้พลังงานไฟฟ้าสะสมที่แบตเตอรี่และพลังงานทางกลที่ล้อสะสมใน 1 วัฏจักรทดสอบการขับขี่คลาส 3b รูปแบบการขับขี่ความเร็วต่ำ (low driving cycle)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 การใช้พลังงานไฟฟ้าสะสมที่แบตเตอรี่และพลังงานทางกลสะสมที่ล้อใน 1 วัฏจักรทดสอบการขับขี่คลาส 3b รูปแบบการขับขี่แบบเขตทาง หลวง (high driving cycle)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การทดสอบหาพลังงานสะสมตามมาตรฐาน EPA บน Chassis Dynamometer ของวัฏจักรการขับขี่แบบในเมือง (city driving cycle) และทางหลวง (highway driving cycle)

ผลการทดสอบช่วงความเร็วการทดสอบภายใต้มาตรฐาน WLTP Class 3b ซึ่งเป็นช่วงความเร็วต่ำและความเร็วสูงสำหรับเป็นมาตรฐานเพื่อนำไปทดสอบในขั้นตอนต่อไป ดังนั้นสำหรับมาตรฐาน EPA จะต้องหาช่วงความเร็วที่เหมาะสมและมีลักษณะของรูปแบบการขับขี่ใกล้เคียงกับมาตรฐาน WLTP Class 3b ที่เลือกมาเพื่อที่จะนำไปสู่การทดสอบเชิงเปรียบเทียบในลำดับถัดไป

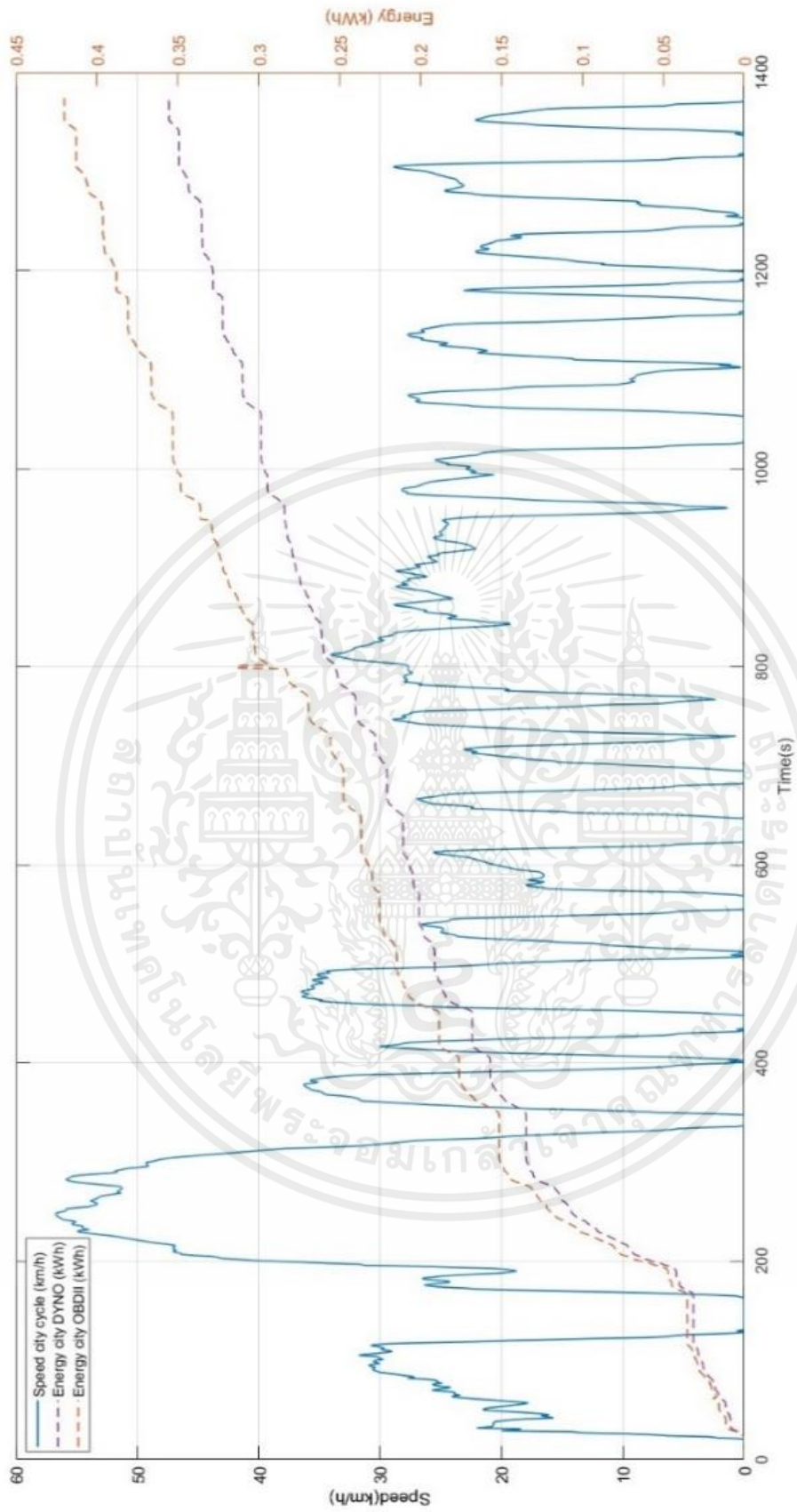
4.2.1 การทดสอบตามมาตรฐาน EPA บน Chassis Dynamometer ของวัฏจักรการขับขี่แบบเขตในเมือง (city driving cycle)

จากรูปที่ 4.4 การทดสอบการขับขี่ตามมาตรฐาน EPA ในช่วงความเร็วต่ำหรือการขับขี่แบบในเมือง (city driving cycle) ซึ่งเป็นการจำลองการขับขี่แบบมีความเร็วเฉลี่ยที่รวมการหยุดรถแล้ว 21.2 กิโลเมตรต่อชั่วโมง การขับขี่ในลักษณะนี้มีการใช้พลังงานจากล้อ (DYNO) เท่ากับ 0.355 กิโลวัตต์ชั่วโมง และจากแบตเตอรี่เท่ากับ 0.421 กิโลวัตต์ชั่วโมง ที่เส้นความเร็วในการขับขี่ที่เป็นตัวแทนการขับขี่แบบในเมือง จะมีช่วงที่เร่งความเร็วและเบรกบ่อยครั้ง แต่มีความต้องการใช้พลังงานที่มาก เนื่องจากใช้พลังงานในการเร่งบ่อยครั้ง จึงส่งผลให้เส้นผลรวมพลังงานที่จะสูงขึ้นทุกครั้งที่มีการเร่งยานยนต์ไฟฟ้า และในช่วงความเร็วต่ำนี้จะมีความแตกต่างของกำลังไฟฟ้าขาเข้าที่แบตเตอรี่กับกำลังทางกลขาออกที่ล้อมาก เนื่องจากเป็นช่วงออกตัวของยานยนต์ไฟฟ้ากำลังทางกลที่ล้อจึงน้อย

4.2.2 การทดสอบตามมาตรฐาน EPA บน Chassis Dynamometer ของวัฏจักรการขับขี่แบบเขตทางหลวง (highway driving cycle)

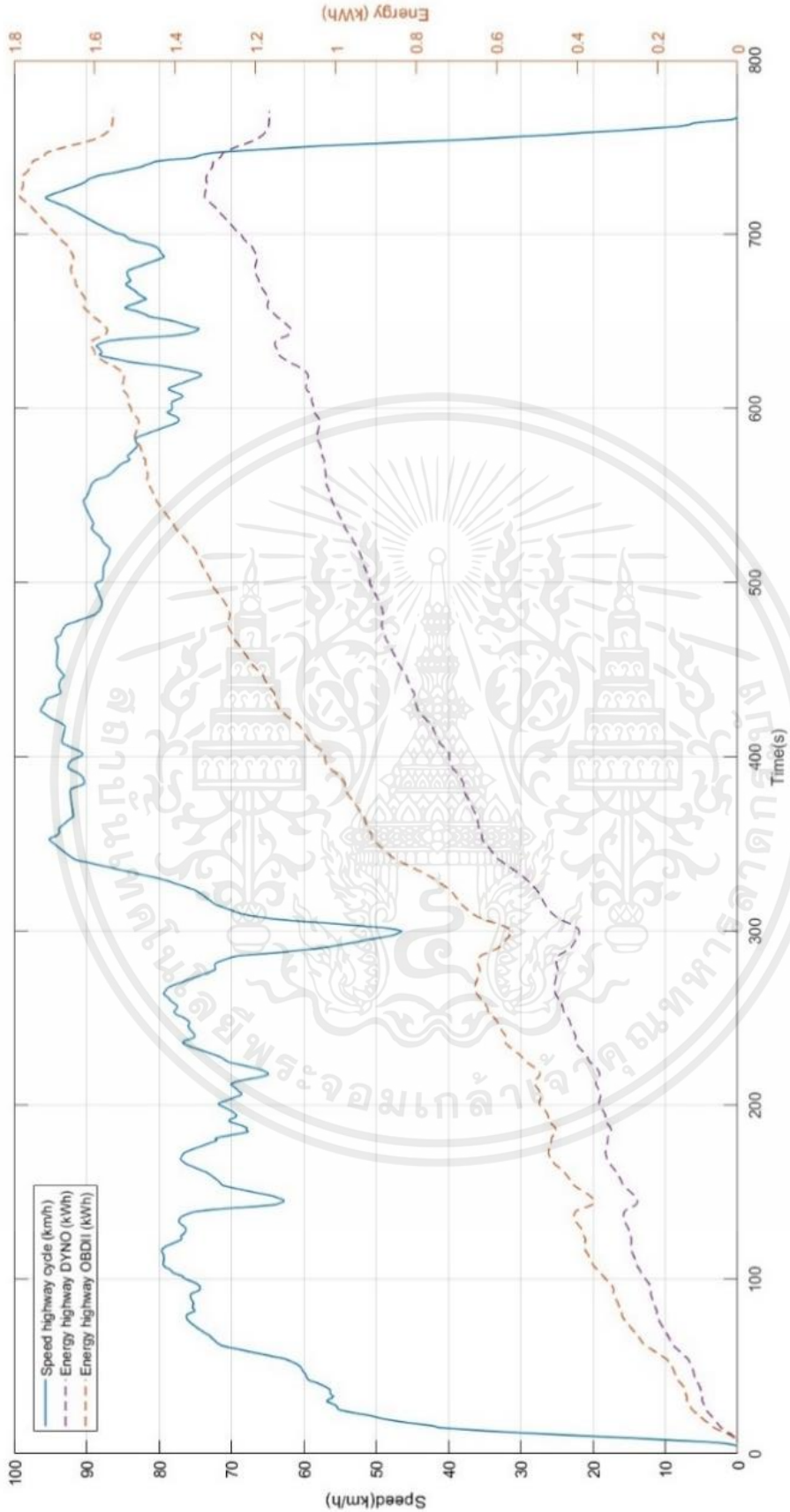
จากรูปที่ 4.5 ในช่วงการขับขี่ความเร็วสูงแบบความเร็วสำหรับทางหลวง (highway driving cycle) ซึ่งทดสอบภายใต้มาตรฐาน EPA เป็นการขับขี่ที่มีการเร่งยานยนต์ที่ใช้ความเร็วที่ต่อเนื่องและมีระยะทางมี 16.51 กิโลเมตร ซึ่งการใช้พลังงานไฟฟ้า (OBD-II) และพลังงานจากล้อ (DYNO) จึงมีผลรวมการใช้พลังงานที่มากขึ้นเมื่อเทียบกับความเร็วต่ำภายใต้มาตาฐานเดียวกันในการทดสอบ และในช่วงความเร็วสูง (highway) นี้ จะมีความแตกต่างของกำลังไฟฟ้าขาเข้าที่แบตเตอรี่กับกำลังทางกลขาออกที่ล้อน้อยลงจากช่วงความเร็วก่อนหน้านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 การใช้พลังงานไฟฟ้าสะสมที่แบตเตอรี่และพลังงานทางกลสะสมที่ล้อในวัฏจักรทดสอบการขับขี่ EPA ของช่วงความเร็วต่ำหรือเขตในเมือง (city driving cycle)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 การใช้พลังงานไฟฟ้าสะสมที่แบตเตอรี่และพลังงานทางกลสะสมที่ล้อในรูปจักรทดสอบการขับขี่ EPA ของช่วงความเร็วสูง หรือเขตทางหลวง (highway driving cycle)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 เปรียบเทียบอัตราการใช้พลังงานจากการวิเคราะห์บน Chassis Dynamometer ที่ได้จากมาตรฐานการทดสอบแบบ WLTP เทียบกับมาตรฐานการทดสอบ EPA

สำหรับการทดลองเชิงเปรียบเทียบระหว่างภายใต้มาตรฐาน WLTP และ EPA ซึ่งการทดสอบได้เลือกช่วงความเร็วที่เหมาะสมกับสภาวะการใช้งานบนท้องถนนคือเป็นช่วงความเร็วต่ำและความเร็วสูง โดยการทดสอบจะหาประสิทธิภาพของยานยนต์ที่ได้พลังงานจากล้อ (DYNO) และพลังงานที่ได้จากแบตเตอรี่ (OBD-II) ซึ่งนอกจากประสิทธิภาพระหว่างสองมาตรฐานนี้แล้ว ได้มีการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบอัตราสิ้นเปลืองพลังงานของยานยนต์เพื่อนำผลลัพธ์ที่ได้ไปวิเคราะห์และอภิปรายในลำดับถัดไป

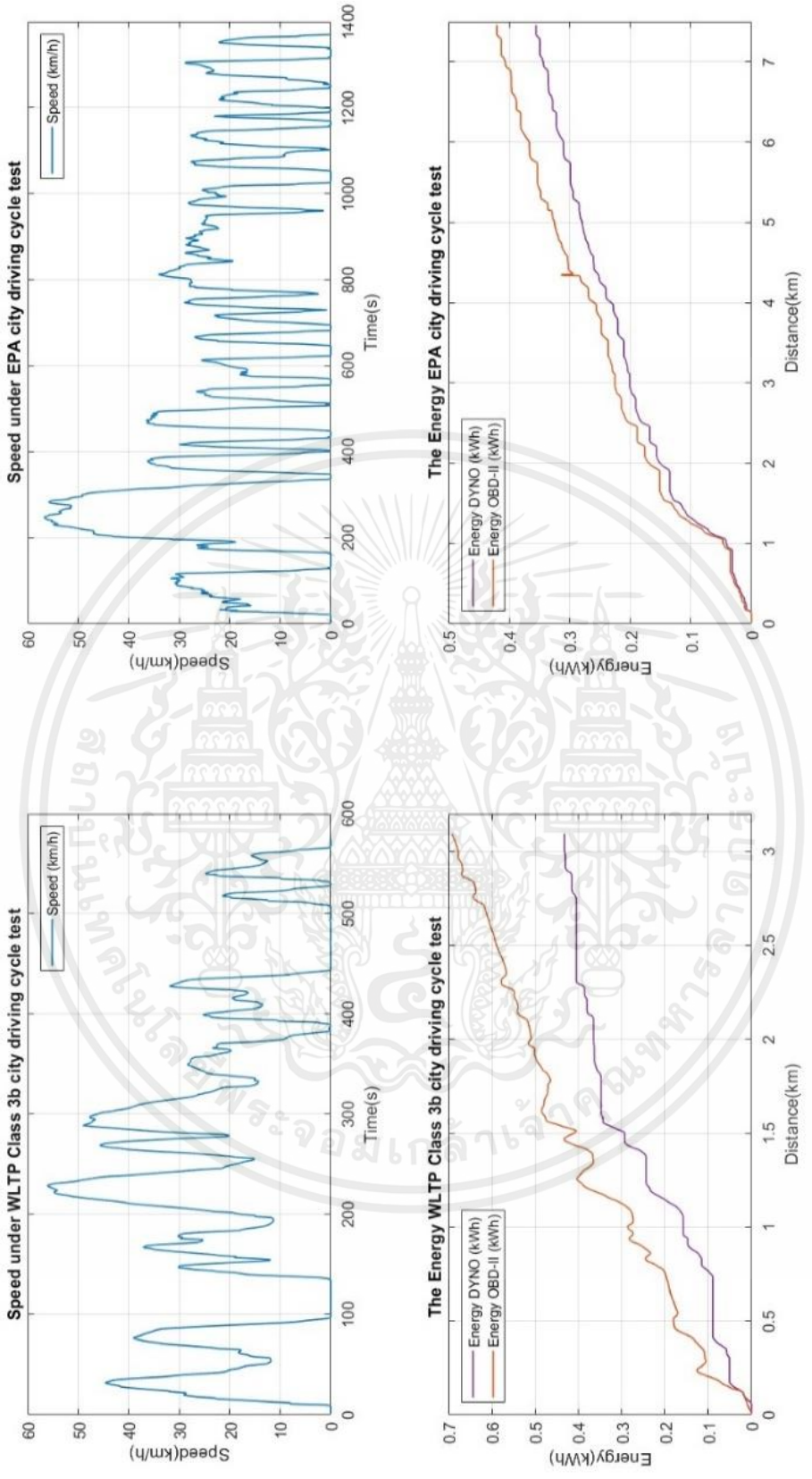
4.3.1 การทดสอบการขับขี่แบบความเร็วต่ำหรือเทียบเท่าการขับขี่แบบในเมือง (city driving cycle)

จากรูปที่ 4.6 ในการเปรียบเทียบของความเร็วต่ำ (low driving cycle) ตามมาตรฐาน WLTP และแบบการขับขี่แบบในเมือง (city driving cycle) ตามมาตรฐาน EPA จะสังเกตได้ว่าจากกราฟพลังงานที่ยานยนต์ทดสอบมีอัตราการใช้พลังงานจากล้อ (DYNO) และพลังงานจากแบตเตอรี่ (OBD-II) มีค่าที่แตกต่างกัน โดยกราฟการใช้พลังงานภายใต้มาตรฐาน WLTP มีความเร็วที่รวมการหยุดรถมีความเร็วเฉลี่ยคือ 18.9 กิโลเมตรต่อชั่วโมง มีพลังงานที่ใช้สะสมจากล้อและจากแบตเตอรี่ที่ 0.432 กิโลวัตต์ชั่วโมง และ 0.692 กิโลวัตต์ชั่วโมง ตามลำดับ ส่วนกราฟการทดสอบการใช้พลังงานภายใต้มาตรฐาน EPA มีความเร็วที่รวมการหยุดรถมีความเร็วเฉลี่ยคือ 21.2 กิโลเมตรต่อชั่วโมง มีพลังงานที่ใช้สะสมจากล้อและจากแบตเตอรี่ที่ 0.355 กิโลวัตต์ชั่วโมง และ 0.421 กิโลวัตต์ชั่วโมง ตามลำดับ อัตราการใช้พลังงานที่จะแปรผันไปตามความเร็ว ระยะทางและเวลาที่ใช้สำหรับการขับขี่ทดสอบ

4.3.2 รอบการทดสอบการขับขี่แบบความเร็วสูงหรือเทียบเท่าการขับขี่แบบเขตทางหลวง (highway driving cycle)

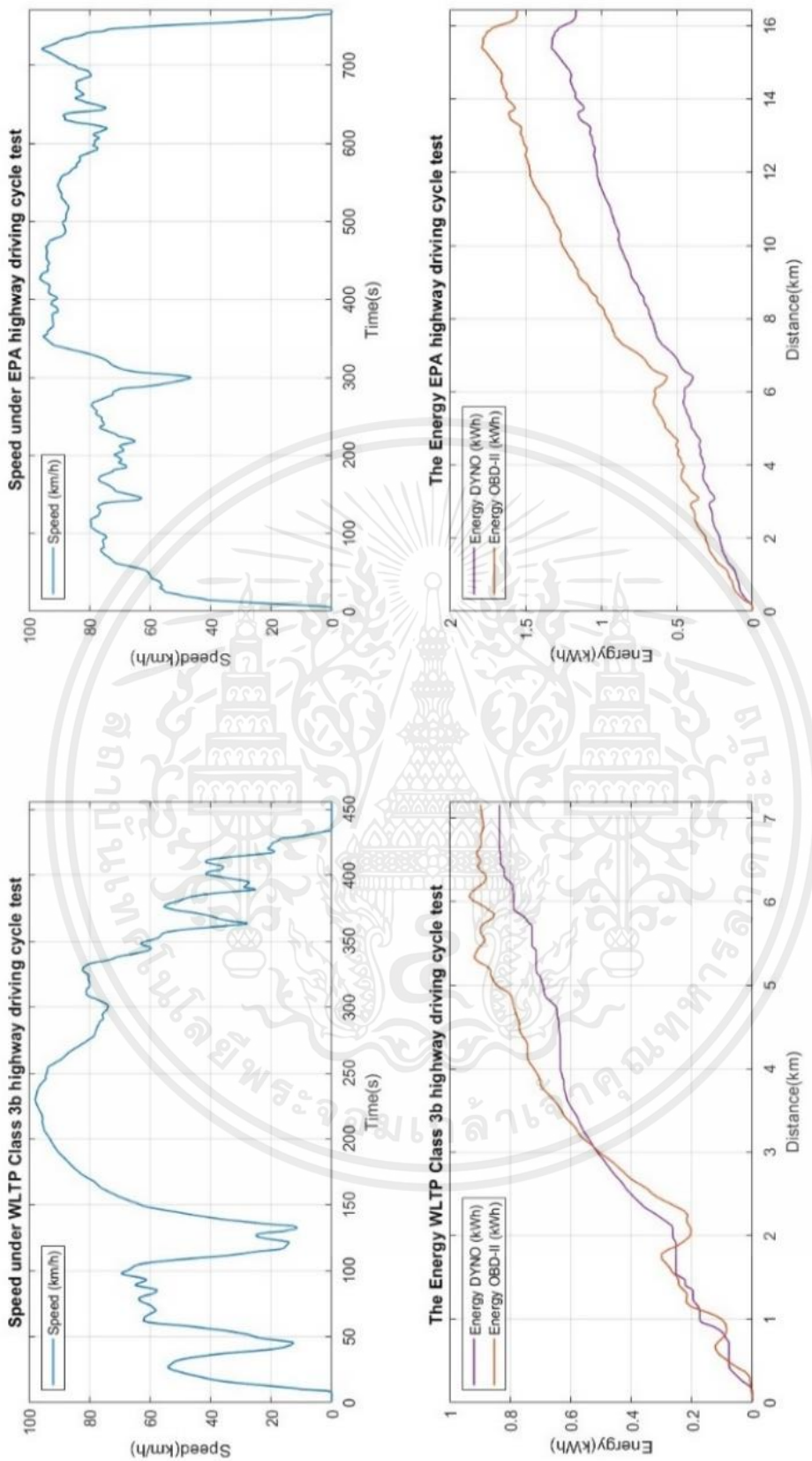
จากรูปที่ 4.7 การเปรียบเทียบระหว่างความเร็วสูง (high driving cycle) ตามมาตรฐาน WLTP และแบบการขับขี่แบบความเร็วบนทางหลวง (highway driving cycle) ตามมาตรฐาน EPA ซึ่งผลที่ได้จากกราฟการใช้พลังงานของยายนต์ที่ได้จากล้อ (DYNO) และพลังงานจากแบตเตอรี่ (OBD-II) ค่าที่แตกต่างกัน โดยกราฟการใช้พลังงานภายใต้มาตรฐาน WLTP มีความเร็วที่รวมการหยุดรถมีความเร็วเฉลี่ยคือ 56.7 กิโลเมตรต่อชั่วโมง มีพลังงานที่ใช้สะสมจากล้อและจากแบตเตอรี่ที่ 0.835 และ 0.898 กิโลวัตต์ชั่วโมง ตามลำดับ ส่วนกราฟผลการทดสอบการใช้พลังงานภายใต้มาตรฐาน EPA มีความเร็วที่รวมการหยุดรถมีความเร็วเฉลี่ยคือ 77.7 กิโลเมตรต่อชั่วโมง มีพลังงานที่ใช้สะสมจากล้อและจากแบตเตอรี่ที่ 1.397 และ 1.502 กิโลวัตต์ชั่วโมง ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 การใช้พลังงานไฟฟ้าสะสมที่แบตเตอรี่และพลังงานทางกลสะสมที่ล้อโดยเปรียบเทียบระหว่างรูปจักรทดสอบการขับขี่ WLTP และ EPA ช่วงความเร็วต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 การใช้พลังงานไฟฟ้าสะสมที่แบตเตอรี่และพลังงานทางกลสะสมที่ล้อโดยเปรียบเทียบระหว่างรูปจักรยานยนต์ไฟฟ้าทดสอบการขับขี่ WLTP และ EPA ของช่วงความเร็วสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพและอัตราการใช้พลังงาน (energy Consumption) ต่อกิโลเมตรของยานยนต์ภายใต้มาตรฐาน WLTP Class 3b และมาตรฐาน EPA

เมื่อพิจารณาเชิงเปรียบเทียบระหว่างมาตรฐาน WLTP และมาตรฐาน EPA ในช่วงความเร็วต่ำ (low driving cycle) และความเร็วแบบในเมือง (city driving cycle) สำหรับการใช้พลังงานมาตรฐานในช่วงความเร็วต่ำมาตรฐาน WLTP มีอัตราการใช้พลังงานมากกว่ามาตรฐาน EPA เนื่องจากมีรูปแบบการขับขี่ที่มีความไม่ต่อเนื่องและมีการเร่งความเร็วในหลายจุดขอกราฟความเร็วส่งผลให้ในการขับขี่แบบความเร็วต่ำมาตรฐาน EPA [19] จึงสอดคล้องการขับขี่ในสภาวะจริงสำหรับยานยนต์ที่ออกแบบการจำลองผ่าน Chassis Dynamometer มากกว่ามาตรฐาน EPA ดังแสดงในตารางที่ 4.2

เมื่อพิจารณาเชิงเปรียบเทียบระหว่างมาตรฐาน WLTP และมาตรฐาน EPA ในช่วงความเร็วสูง (high driving cycle) และความเร็วแบบทางหลวง (highway driving cycle) สำหรับการใช้พลังงานในช่วงความเร็วสูงตามมาตรฐาน WLTP [20] มีอัตราการใช้พลังงานน้อยกว่ามาตรฐาน EPA ดังแสดงในตารางที่ 4.1 เนื่องจากมีรูปแบบการขับขี่ที่มีความไม่ต่อเนื่องในช่วง 150 วินาทีแรกที่ทำการทดสอบ และมีการเร่งความเร็วส่งผลให้ในการขับขี่แบบความเร็วสูงมาตรฐาน WLTP จึงเหมาะสมกว่าเมื่อจะพิจารณาอัตราการใช้พลังงานที่มีความเร็วเฉลี่ยมากกว่า 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และค่าประสิทธิภาพอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานที่แสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.1 การใช้พลังงานไฟฟ้าสะสมที่แบตเตอรี่และพลังงานทางกลที่ล้อเพื่อหาประสิทธิภาพของยานยนต์ไฟฟ้า

มาตรฐานทดสอบ	ช่วงความเร็วที่ใช้ทดสอบ	พลังงานทั้งหมดที่แบตเตอรี่ (kWh)	พลังงานทั้งหมดที่ล้อ (kWh)	ประสิทธิภาพของระบบ (%)
WLTP Class 3b	low + medium + high + extra high	3.459	3.019	87.28
	low	0.692	0.432	62.42
	high	0.898	0.835	92.98
EPA	city	0.421	0.355	84.52
	highway	1.502	1.397	93.00

*ตารางที่ 4.1 เป็นผลการทดสอบจากการขับขี่ในโหมด Comfort

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 อัตราการใช้พลังงาน (energy consumption) ต่อกิโลเมตร

มาตรฐานทดสอบ	ช่วงความเร็วที่ใช้ทดสอบ	ระยะทางสำหรับการทดสอบ (km)	ความเร็วเฉลี่ยสำหรับทดสอบ (km/h)	พลังงานทั้งหมดที่แบตเตอรี่ (kWh/km)	พลังงานทั้งหมดที่ล้อ (kWh/km)
WLTP Class 3b	low	3.09	18.9	0.224	0.140
	high	7.16	56.7	0.125	0.116
EPA	city	11.98	21.2	0.168	0.134
	highway	16.51	77.7	0.210	0.189

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและอภิปรายผล

5.1 ผลการทดลองแต่ละข้อแบบย่อ

โครงงานการทดสอบความต้องการพลังงานของยานยนต์ไฟฟ้าโดย Chassis Dynamometer ภายใต้มาตรฐาน WLTP และมาตรฐาน EPA ภายใต้เงื่อนไขต่างๆ ที่คาดว่าจะเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อความต้องการพลังงานของยานยนต์ไฟฟ้า จากผลการทดลอง ได้ข้อสรุปดังนี้

5.1.1 การทดสอบการใช้พลังงานเพื่อการเลือกช่วงความเร็วที่จะนำไปใช้เป็นต้นแบบสำหรับการทดสอบเชิงเปรียบเทียบระหว่าง WLTP Class 3b และ EPA

การสอบสอบความต้องการพลังงานของยานยนต์ไฟฟ้าตามมาตรฐานก่อนที่จะทำการออกแบบการทดลองเชิงเปรียบเทียบจากการใช้พลังงานเพื่อเลือกช่วงความเร็วที่สอดคล้องการขับขี่ในชีวิตประจำวันจากผลการทดลองมาตรฐาน WLTP Class 3b จึงสรุปได้ว่า ควรจะต้องเลือกช่วงความเร็วต่ำและช่วงความเร็วสูงเนื่องจากทั้งสองช่วงความเร็วสอดคล้องถึงการขับขี่ที่ใช้เป็นส่วนใหญ่สำหรับถนนในประเทศไทยและมีผลการตอบสนองการใช้พลังงานจากทั้งแบตเตอรี่และจากล้อยานยนต์มีค่าความคลาดเคลื่อนที่สามารถนำไปใช้เป็นตัวเปรียบเทียบกับมาตรฐาน EPA ได้อย่างเหมาะสม ดังนั้นช่วงความเร็วที่นำมาเปรียบเทียบสำหรับมาตรฐาน EPA จึงเป็นช่วงความเร็วแบบในเมืองและช่วงความเร็วแบบนทางหลวงเพื่อให้ความเร็วที่จะนำไปทดสอบเชิงเปรียบเทียบในขั้นต่อไปสอดคล้องกัน ร่วมไปถึงอัตราการใช้พลังงานของยานยนต์ทดสอบด้วย

5.1.2 เปรียบเทียบผลของการขับขี่ของรูปแบบการขับขี่ในความเร็วต่ำเพื่อสรุปผลระหว่างโหมดการขับขี่ตามมาตรฐาน WLTP และ EPA

การทดสอบความต้องการพลังงานของยานยนต์ไฟฟ้าซึ่งเปรียบเทียบระหว่างมาตรฐาน WLTP และ EPA สำหรับการใช้งานความเร็วต่ำ สรุปผลได้ว่าการขับขี่ในช่วงความเร็วต่ำซึ่งแสดงถึงการใช้พลังงานที่ไม่มีความต่อเนื่อง โดยสาเหตุเกิดจากการขับขี่ในช่วงความเร็วต่ำจะมีการเบรกและเร่งความเร็วบ่อยครั้งจึงส่งผลทำให้อัตราการใช้พลังงานสำหรับมาตรฐาน EPA มีการใช้พลังงานที่มากกว่ามาตรฐาน WLTP และสะท้อนการใช้พลังงานที่ผ่านการจำลองสภาวะการขับขี่บน Chassis dynamometer ที่สอดคล้องกับการทำงานจริงมากกว่ามาตรฐาน WLTP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.3 เปรียบเทียบผลของการขับขี่ของรูปแบบการขับขี่ในความเร็วสูงเพื่อสรุปผลระหว่างโหมดการขับขี่ตามมาตรฐาน WLTP และ EPA

การขับขี่ช่วงความเร็วสูงซึ่งแสดงถึงการขับขี่ในถนนทางหลวงจะมีความต้องการใช้พลังงานต่อระยะทางสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบระหว่างการขับขี่ตามมาตรฐาน WLTP และ EPA กาใช้งานยานยนต์ที่ใช้ความเร็วสูงการทดสอบตามมาตรฐาน WLTP จะมีความเหมาะสมกว่า เนื่องจากการใช้พลังงานสะท้อนความเป็นจริงจากกว่าใช้งานมากกว่าและระยะทางการขับขี่มีความต่อเนื่องรวมถึงระยะเวลาที่ใช้ในการขับขี่ซึ่งจะตอบสนองต่อการใช้พลังงานที่สมจริงมากกว่าการขับขี่ตามมาตรฐาน EPA

ผลของช่วงความเร็วในการขับขี่ที่มีผลต่อประสิทธิภาพและอัตราการใช้พลังงานของยานยนต์ไฟฟ้า สรุปได้ว่าประสิทธิภาพของยานยนต์ไฟฟ้าจะสูงขึ้นตามระดับความเร็วในการขับขี่ที่เพิ่มขึ้น จะสังเกตุได้ว่าการขับขี่ที่ความเร็วสูงทั้งสองมาตรฐานพลังงานที่ได้จากล้อและแบตเตอรี่มีประสิทธิภามากกว่าความเร็วต่ำ

5.2 อภิปรายสรุปผล

การทดลองเชิงเปรียบเทียบอัตราการใช้พลังงานระหว่างทั้งสองมาตรฐานได้แก่ WLTP และมาตรฐาน EPA สำหรับช่วงความเร็วต่ำและความเร็วสูงเพื่อสามารถทดสอบและวัดค่าที่ยานยนต์ที่สอดคล้องกับสภาวะการใช้งานที่สมจริงโดยการจำลองสภาพแวดล้อมการขับขี่และมีผลที่เป็นองค์ประกอบสำหรับอัตราการใช้พลังงานผ่านการทดสอบบน Chassis Dynamometer การใช้ความเร็วต่ำในการทดสอบควรใช้มาตรฐาน EPA มากกว่ามาตรฐาน WLTP เนื่องจากอัตราการใช้พลังงานสอดตล้องความเป็นจริงมากกว่าด้วยรูปแบบการขับขี่ที่มีทั้งระยะทาง และเวลาที่ตอบสนองต่อการใช้งานในเมืองมากกว่า ส่วนการทดสอบอัตราการใช้พลังงานในช่วงความเร็วสูงได้ผลสรุปว่าการใช้พลังงานของทั้งสองมาตรฐานมีค่าอัตราการใช้พลังงานของมาตรฐาน WLTP มีความสอดคล้องทั้งรูปแบบการขับขี่และระยะทางการทดสอบที่มีการใช้ความเร็วที่ต่อเนื่องกว่ามาตรฐาน EPA ดังนั้นสำหรับการทดสอบเชิงเปรียบเทียบสามารถนำทั้งสองมาตรฐานไปสร้างรูปแบบการขับขี่ที่เหมาะสมกว่านี่สำหรับการใช้งานที่เฉพาะได้และอัตราการใช้พลังงานที่ได้ออกมาจะเป็นส่วนที่จะบ่งบอกอัตราการใช้พลังงานสำหรับยานยนต์นั้นที่มีความเฉพาะและเหมาะสมมากกว่าที่นำมาตรฐานใดมาตรฐานหนึ่งมาเป็นมาตรฐานที่ใช้ทดสอบยานยนต์ แล้วในส่วนความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นผู้ทดสอบสามารถตั้งสมมติฐานได้ดังนนี้ ประการแรกการทดสอบได้มาซึ่งค่าเวลาไหลเลื่อนมีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่ไม่อยู่ในกรอบความคลาดเคลื่อนที่มีการกำหนดเป็นตัวแปรต้นที่ใช้ในการทดสอบซึ่งเป็นไปตาม Economic Commission for Europe [21] ดังนั้นแล้วการทดสอบผู้ทดสอบได้พยายามลดค่าความคลาดเคลื่อนแล้ว แต่เป็นไปได้ยากเนื่องจากการทดสอบหาค่าเวลาไหลเลื่อนมีความจำเป็นต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทดสอบในสถานที่ที่เอื้ออำนวยต่อการทดสอบและใช้เวลาในการทดสอบแล้วต้องควบคุมอัตราความเร็วลม ปริมาณค่าความชื้น อุณหภูมิ ด้วยการทดสอบอยู่บนถนนจริงจึงเป็นไปได้ยากที่จะควบคุมปัจจัยเหล่านี้ได้ตามมาตรฐาน และการได้มาซึ่งอัตราการใช้พลังงานที่จำลองสภาวะการขับขี่ของทั้งสองมาตรฐานเครื่องมือวัดที่ได้จากแบตเตอรี่เป็นข้อมูลที่ได้จาก OBD-II ที่เชื่อมต่อกับตัวยานยนต์และเครื่องมือวัดนี้จะนำเอาข้อมูลมาจากอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ประกอบอยู่ในยานยนต์เช่น BMS เครื่องยนต์ ซึ่งจะนำข้อมูลที่วัดได้จาก OBD-II ไปดำเนินการทางคณิตศาสตร์ด้วยวิธีการประมาณค่าเชิงเส้น (Interpolation) ซึ่งเกิดความคลาดเคลื่อนที่มาจากผลการดำเนินการทางคณิตศาสตร์และความคลาดเคลื่อนจากปัจจัยอื่น ๆ ที่ไม่ทราบค่าที่ผู้วิจัยไม่สามารถควบคุมในการทดสอบยานยนต์ไฟฟ้า ซึ่งอาจมีผลต่ออัตราการใช้พลังงานของยานยนต์ไฟฟ้า

5.3 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงงาน

1. เกิดความรู้ความเข้าใจพฤติกรรมความต้องการพลังงานของยานยนต์ไฟฟ้าที่นำมาทดสอบ ผ่านการใช้เครื่องมือ Chassis Dynamometer
2. เข้าใจหลักการทำงานและวิธีการใช้งาน Chassis Dynamometer
3. เกิดความรู้ความเข้าใจลักษณะการตอบสนองทางไฟฟ้าของยานยนต์ไฟฟ้า เมื่อจำลองการขับขี่ยานยนต์สำหรับความแตกต่างระหว่างการทดสอบภายใต้มาตรฐาน WLTP และมาตรฐาน EPA
4. เกิดความเข้าใจอัตราการใช้พลังงานที่นำช่วงความเร็วที่เหมือนกันแต่มีมาตรฐานการทดสอบที่แตกต่างกัน ซึ่งจะนำไปสู่การสร้างรูปแบบการขับขี่ (driving cycle) ที่เฉพาะประเทศไทยได้ในอนาคต
5. เข้าใจผลจากปัจจัยต่าง ๆ ที่มีต่อความต้องการพลังงานของยานยนต์ไฟฟ้า และสามารถอธิบายแนวโน้มความต้องการพลังงานของยานยนต์ไฟฟ้าที่แปรผันตามปัจจัยที่เลือกนำมาศึกษา

5.4 ปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้น

จากการดำเนินการของการทดสอบความต้องการพลังงานของยานยนต์ไฟฟ้าโดย Chassis Dynamometer ภายใต้มาตรฐาน WLTP และมาตรฐาน EPA ปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้นดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ข้อจำกัดของอุปกรณ์ยานยนต์ไฟฟ้าทดสอบ จำเป็นต้องใช้หูลากยานยนต์ สำหรับติดตั้งบน Chassis dynamometer เพื่อป้องกันยานยนต์ไฟฟ้าลื่นไถลขณะทำการทดสอบ แต่ยานยนต์ไฟฟ้ามีหูลากเพียงตัวเดียว ซึ่งจำเป็นต้องใช้สำหรับด้านหน้าและด้านหลัง รวมสองชิ้น และเป็นเกลียวซ้าย เนื่องจากเป็นยานยนต์ประกอบจากประเทศจีน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการสั่งทำพิเศษ ซึ่งทำให้ระยะเวลาในการดำเนินการโครงงานล่าช้ามากและไม่เป็นไปตามที่วางแผนไว้ในตอนต้น

2. เนื่องจากยานยนต์ที่ใช้ทดสอบ มีระยะเวลาจำกัดในการยืมยานยนต์ ส่งผลให้ระยะเวลาดำเนินการบางอย่างอาจต้องเร่งมากยิ่งขึ้น และจำนวนรอบในการทดสอบอาจน้อยกว่ารอบซึ่งวางแผนไว้ในตอนต้น

3. เนื่องจากข้อจำกัดของยานยนต์ไฟฟ้า เกี่ยวกับระบบเซนเซอร์ป้องกันการชนสิ่งกีดขวาง ส่งผลให้ขณะทำการทดสอบยานยนต์ทดสอบอาจไม่สามารถเพิ่มความเร็วได้ เพราะเซ็นเซอร์เข้าใจว่าเชือกยึดเป็นสิ่งกีดขวาง

4. ปัญหาเรื่องเครื่องปรับอากาศภายในห้องทดสอบเกิดความขัดข้อง จึงส่งผลให้ไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิขณะทดสอบได้ตามมาตรฐานในช่วงแรก

5.5 แนวทางการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น

จากปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้นข้างต้น ทางคณะผู้จัดทำได้ดำเนินการปรับปรุงและแก้ไขเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการดำเนินงาน ดังนี้

1. สืบเนื่องจากปัญหาข้อ 1 และ 2 ดำเนินการวางแผนงานใหม่ โดยกำหนดขอบข่ายหน้าที่และระยะเวลาในการดำเนินโครงงานใหม่ให้สามารถทำได้ทันเวลาที่กำหนด โดยที่มีเป้าหมายให้ผลลัพธ์ออกมามีประสิทธิภาพภายใต้เวลาที่มีอย่างจำกัด

2. สืบเนื่องจากปัญหาข้อ 3 แก้ปัญหาโดยการเรียนรู้พฤติกรรมของระบบเซ็นเซอร์ของยานยนต์ไฟฟ้า เนื่องจากเซ็นเซอร์จะทำงานช่วงความเร็วต่ำดังนั้นหากในช่วงเวลาสั้นๆที่เซ็นเซอร์ทำงานเร่งความเร็วของยานยนต์สูงขึ้นไป เซ็นเซอร์จะไม่ทำงานหยุดรถ เพราะว่าแม้จะตรวจพบสิ่งกีดขวาง แต่ยานยนต์สามารถขับเคลื่อนต่อไปได้ สิ่งกีดขวางจึงไม่ได้กีดขวางการขับเคลื่อน

3. สืบเนื่องจากปัญหาด้านเครื่องปรับอากาศ จึงทำการแจ้งเจ้าหน้าที่ประสานงานส่งหน่วยซ่อมแซมทำการซ่อมบำรุงเครื่องปรับอากาศ เนื่องจากต้องใช้ระยะเวลาในการซ่อมแซมและประสานงาน จึงต้องปรับแผนเวลาการทดสอบใหม่เพื่อให้สอดคล้องกับการดำเนินงานให้แล้วเสร็จ ภายในช่วงระยะเวลาที่กำหนดตามแผนงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] พิสน สุภาลัย, “ รถไฟฟ้า EV คืออะไร? ”, **มหาวิทยาลัยเชียงใหม่**, 2564,

[2] สมาคมยานยนต์ไฟฟ้าไทย, “ประเภทยานยนต์ไฟฟ้า”, **สมาคมยานยนต์ไฟฟ้าไทย**, 2565

[3] ธีรุทธ์ อนุรักษ์จตุรงค์, “องค์ประกอบของยานยนต์ไฟฟ้า”, **N-squared**, 2563

[4] J. B. Winther, **Dynamometer Handbook of Basic Theory and Applications, Ohio: Eaton Corporation**, Eaton Corp. Kenosha, Wis., 1975.

[5] เอสบีซีเอส, **มาเรียนรู้เกี่ยวกับส่วนประกอบสำคัญของรถยนต์ไฟฟ้า (EV) กัน**, 2565

[6] Teruth Anurakjaturong, **องค์ประกอบและชิ้นส่วนหลักของรถยนต์ไฟฟ้า (EV) รวมถึงต้นทุนในการผลิต**, 2563,

[7] กฤษณพงศ์ สุภายะ, จตุพล บุตรราช และอนันต์ พลันการ, “ ปรับปรุงเครื่องวัดแรงม้าแบบลูกกลิ้ง, " **ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต**, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล, มหาวิทยาลัยนเรศวร, 2557.หน้า 1-10

[8] พิสน ลีละหุต, 2565, **ทำความรู้จักการมาตรฐานระยะทางของรถไฟฟ้าจาก EPA, NEDC และ WLTP**,

[10] TransportPolicy, (ไม่ทราบ), **INTERNATIONAL: LIGHT-DUTY: WORLDWIDE HARMONIZED LIGHT VEHICLES TEST PROCEDURE (WLTP),** TransportPolicy.net, 2565

[11] Green Veficle Guide, “Testing at the National Vehicle and Fuel Emissions Laboratory”, **United States Environmental Protection Agency**, 2021

[12] Dimitris Tsokolis et al., “ Coast down time for a medium size vehicle **”, ResearchGate,** 2016, pp. 1-5.

[13] John Thomas et al., “Fuel Consumption Sensitivity of Conventional and Hybrid Electric Light-Duty Gasoline Vehicles to Driving Style,” **SAE International**, 2017, pp. 9.

[14] Gerrit Kadijk and Norbert Ligterink, “Road load determination of passenger cars,” **TNO report**, 2012, pp. 8-31.

[15] Siam Ultimate, **OBD คืออะไร? มีความสำคัญอย่างไร?**, 2018, จาก https://siamultimateracing.com/blog-detail/OBD

[16] API Tech, “OBD-II Port”, **API TECH**, 2019

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[17] ธนพล มูลแก่น, ยศพล วิชามุข, ศุภกานต์ ผาทอง และ สุพรรณญา ศรีสุวรรณ, “การทดสอบความต้องการพลังงานของยานยนต์ไฟฟ้า,” **วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต**, ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2564

[18] D. G. Kooijman, A. E. Balau, S. Wilkins, N. Ligterink and R. Cuelenaere, "WLTP Random Cycle Generator", **IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC)**, Montreal, QC, 2015, pp.2-9

[19] A. Semon and A. Crăciunescu, "Study to Increase the Efficiency of the Electric Drive System of a Vehicle at Different Speeds," **11th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE)**, 2019, pp.2-9

[20] Charyung Kim, Hyunwoo Lee, Yongsung Park, Cha-Lee Myung and Simsoo Park, “Study on the Criteria for the Determination of the Road Load Correlation for Automobiles and an Analysis of Key Factors” **Korea Automobile Testing & Research Institute**, 2016

[21] Economic Commission for Europe, “Proposal for Amendment 1 to global technical regulation No. 15 Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedures (WLTP),” **Inland Transport Committee**, Geneva, 2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

บทความทางวิชาการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบความต้องการพลังงานของยานยนต์ไฟฟ้าโดย CHASSIS DYNAMOMETER ภายใต้มาตรฐาน WLTP และมาตรฐาน EPA

ENERGY CONSUMPTION TESTING FOR ELECTRIC VEHICLE BY CHASSIS DYNAMOMETER BASED ON WLTP AND EPA STANDARD

นายกรุณา ธนากิจ[1] นายจักรพงษ์ จงทัน[1] และ ผศ.ดร.ธีรพล โพธิ์พงศ์วิวัฒน์[2]
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
1 ซอยฉลองกรุง 1 ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทรศัพท์ 0912374507 E-mail:
kkaruna.25@outlook.com

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการเปรียบเทียบการทดสอบอัตราการใช้พลังงานของยานยนต์ไฟฟ้า ระหว่างมาตรฐาน WLTP (Worldwide Harmonised Light Vehicle Test Procedure) และมาตรฐาน EPA (Environmental Protection Agency) การทดสอบใช้ Chassis Dynamometer เป็นเครื่องมือในการทดสอบ ยานยนต์ไฟฟ้าทดสอบเป็นรุ่น Volkswagen ID4 pure plus มาตรฐาน ก่อนการทดสอบด้วย Chassis Dynamometer ได้นำยานยนต์ไฟฟ้าทดสอบบนถนนสภาพแวดล้อมจริง เพื่อเก็บค่า Coast Down time และนำข้อมูลมาวิเคราะห์หา ค่าสัมประสิทธิ ABC ของสมการ Road load ซึ่งเป็นค่าเฉพาะของยานยนต์แต่ละคัน เพื่อจำลองสถานการณ์การขับขี่ ให้ใกล้เคียงกับถนนจริงมากที่สุด โดยใช้ Chassis Dynamometer เพื่อหาอัตราการใช้พลังงานของยานยนต์ไฟฟ้า จากทั้งสองมาตรฐาน โดยเปรียบเทียบพลังงานที่ใช้ในการทดสอบระหว่างสองมาตรฐานในลักษณะการขับขี่ที่ใกล้เคียงกัน คือ การขับขี่บนทางด่วนและการขับขี่ในเมือง ผลการทดสอบพบว่า ผลการทดสอบตามมาตรฐาน EPA มีการใช้พลังงานต่อกิโลเมตรน้อยกว่า WLTP เนื่องจาก WLTP ได้รับการออกแบบลักษณะรูปแบบการขับขี่ที่ใกล้เคียงความจริงมากกว่า EPA เพราะ WLTP มีการแบ่งลักษณะการขับขี่ครอบคลุม 4 ลักษณะ ได้แก่ ความเร็วต่ำ ความเร็วปานกลาง ความเร็วสูง และความเร็วสูงพิเศษ ซึ่ง EPA แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ ได้แก่ การขับขี่ในเมืองและทางด่วน รวมถึงค่าปัจจัยต่าง ๆ เช่น อุณหภูมิ ความเร็ว ลักษณะการขับขี่ การเบรก การหยุดรถ เป็นต้น

คำสำคัญ: Coast Down time, Chassis Dynamometer

Abstract

This project presents a comparison of the energy consumption of an electric vehicle between the WLTP (Worldwide Harmonized Light Vehicle Test Procedure) and EPA (Environmental Protection Agency) electric vehicle distance standards. The Chassis Dynamometer was used as a tool for testing. The tested electric vehicle model is the Volkswagen ID4 pure plus, and the testing was carried out at the Electric Vehicle Testing Laboratory in King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang. To prepare the information of the EV for Chassis Dynamometer, The EV was tested for determining Coast Down time and Road load coefficient, (a, b, and c) The energy consumption was analyzed, and a comparison was made between the two standards, for driving conditions that were similar, in both urban and highway environments. The test results show that the energy consumption under the EPA standard is lower than that under the WLTP standard, in terms of energy consumption per kilometer.

1.บทนำ

ในปัจจุบัน การใช้งานยานยนต์ไฟฟ้ามีอัตราการแพร่ขยายเป็นอย่างมากในหมู่ผู้ใช้งานยานยนต์และเทคโนโลยีเกี่ยวกับยานยนต์ไฟฟ้ากำลังเป็นที่นิยมไปทั่วโลก จากการรณรงค์เรื่องการอนุรักษ์พลังงานและลดมลพิษแก่โลก ส่งผลให้เทคโนโลยีเกี่ยวกับยานยนต์ไฟฟ้าเข้ามามีบทบาทอย่างมากในโลกาภิวัตน์ ไม่ว่าจะเป็นองค์ความรู้เกี่ยวกับแบตเตอรี่ ยานยนต์ไฟฟ้า หรือสถานีชาร์จแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้า ดังรูปที่ 1 ทั้งนี้เนื่องจากเทคโนโลยีเกี่ยวกับยานยนต์ไฟฟ้ากำลังมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องและมีความก้าวหน้าสูง รวมถึงการที่หลายๆ บริษัทพยายามเข้ามาทำตลาดยานยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทย ทำให้ยานยนต์ไฟฟ้ามีมากมายหลากหลายรุ่นมากขึ้น มีจุดชาร์จยานยนต์ไฟฟ้าหลายแห่ง สะดวกสบายต่อการใช้งานมากยิ่งขึ้น

ซึ่งในการใช้งานยานยนต์ไฟฟ้า หากผู้ใช้มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับยานยนต์ไฟฟ้าจะช่วยให้สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพและเกิดประโยชน์สูงสุด ซึ่งทางผู้ศึกษาโครงงานเล็งเห็นว่า สิ่งสำคัญที่ผู้ใช้งานยานยนต์ไฟฟ้าควรจะเรียนรู้และเข้าใจเกี่ยวกับยานยนต์ไฟฟ้า คือ ความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้องการพลังงานของยานยนต์ไฟฟ้า เพื่อที่จะสามารถประมาณการณ์ระยะทางที่วิ่งได้ไกลที่สุดต่อการอัดประจุหนึ่งครั้งได้ ในสถานการณ์ใช้งานที่แตกต่างกัน ทำให้คาดการณ์ได้ว่าในการเดินทางควรจะต้องมีการอัดประจุให้กับยานยนต์ไฟฟ้ากี่ครั้ง ระยะทางเท่าใด นอกจากนี้ การทราบความต้องการพลังงานของยานยนต์ไฟฟ้า จะสามารถนำไปใช้ในการเลือกขนาดพิกัดแบตเตอรี่ใช้งานได้อย่างเหมาะสม

อย่างไรก็ตาม ผู้ขับขี่ยานยนต์แต่ละคนมีพฤติกรรมการขับขี่แตกต่างกัน ทำให้ลักษณะการใช้งานในการขับขี่ยานยนต์ไฟฟ้าออกมาแตกต่างกัน ดังนั้น ความต้องการพลังงานของยานยนต์ไฟฟ้าจึงจะแตกต่างกันไปในยานยนต์ไฟฟ้าแต่ละคันหรือแต่ละรุ่น และขึ้นอยู่กับลักษณะการขับขี่ของผู้ใช้งาน นอกจากนี้ยังคาดว่าจะมีปัจจัยอื่น ๆ หลายปัจจัยที่ส่งผลต่อความต้องการพลังงาน ดังนั้น การจะทราบค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าของยานยนต์ไฟฟ้า จำเป็นต้องมีการทดสอบด้วยเครื่องมือทดสอบที่สามารถวัดค่ากำลังไฟฟ้าได้และสามารถปรับเปลี่ยนค่าเพื่อจำลองเงื่อนไขในการขับขี่รูปแบบลักษณะต่างๆให้สอดคล้องกับลักษณะการใช้งานของผู้ขับขี่ ซึ่งหนึ่งในเครื่องมือทดสอบที่มีความสามารถในการใช้งานตามจุดประสงค์ดังกล่าว คือ Chassis Dynamometer

1. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1.1 ยานยนต์ไฟฟ้า

ยานยนต์ไฟฟ้า (Electric Vehicle) หมายถึง ยานพาหนะที่ขับเคลื่อนโดยมอเตอร์ไฟฟ้าซึ่งสามารถอัดประจุจากแหล่งกักเก็บพลังงานภายใน เช่น แบตเตอรี่ และสามารถอัดประจุเพื่อใช้พลังงานจากแหล่งจ่ายภายนอกได้ เช่น ตู้อัดประจุภายในที่อยู่อาศัยหรือตู้อัดประจุที่ติดตั้งบริเวณให้บริการสาธารณะ ซึ่งเป็นยานยนต์ไฟฟ้าที่ผลิตขึ้นสำหรับใช้บนถนนสาธารณะ ถนนทั่วไป และทางหลวงเป็นหลัก ยานยนต์ไฟฟ้าไม่จำเป็นต้องมีกลไกในการขับเคลื่อนมากมายเฉกเช่นยานยนต์ที่ใช้น้ำมัน ซึ่งต้องใช้การจุดระเบิดเผาไหม้ในการขับเคลื่อน ทำให้เครื่องยนต์เงียบ และไม่มีโอเสียจากการเผาผลาญพลังงาน [1]

1.2 Chassis Dynamometer

Chassis Dynamometer เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการจำลองภาระของยานยนต์ สามารถใช้เป็นเครื่องมือทดสอบได้ทั้งยานยนต์ที่ใช้ระบบเครื่องยนต์สันดาปและยานยนต์ไฟฟ้า ใช้วัดประสิทธิภาพของยานยนต์ผ่านการจำลองการใช้งานจริง โดยกำหนดว่าในขณะทำการทดสอบ ต้องมีระบบขับเคลื่อนและภาระติดตั้งอยู่ในตัวยานยนต์เพื่อความสมจริงในการจำลองการใช้งานจริง โดยภาระต่าง ๆ ของยานยนต์ไฟฟ้า เช่น อัตราทดของเกียร์และเฟืองท้าย, น้ำหนักของภาระภายในยานยนต์ เป็นต้น จะส่งผลให้เกิดการสูญเสียของแรงม้า ดังนั้นจึงมักนิยมนำมาใช้ในการวัดแรงม้าเปรียบเทียบกับที่โรงงานระบุพิกัดไว้

นอกจากนี้ยังนิยมใช้วัดทดสอบกำลัง (Power), แรงบิด (Torque), ความเร็วรอบ (Rotational speed) ของยานยนต์ที่มีการถ่ายทอดกำลังงานผ่านเกียร์และเพลาขับหรือเฟืองท้าย นอกจากนี้ ยังสามารถใช้วัดค่าแก๊สของเสียที่ได้จากการเผาไหม้เมื่อมีจำลองการขับขี่จริงบนท้องถนนของยานยนต์ที่ใช้ระบบเครื่องยนต์สันดาปอีกด้วย [7] อันจะนำไปสู่การพัฒนาและปรับปรุงสมรรถนะและประสิทธิภาพของยานยนต์ โดย Chassis Dynamometer จะมีลูกกลิ้ง (Roller) สองตัวหมุนอยู่กับล้อยานยนต์ที่ทำการทดสอบ และมีการจำลองว่าลูกกลิ้งนี้เปรียบเสมือนภาระ (Load) บนพื้นถนนเวลาที่ทำการขับขี่ในสภาวะต่าง ๆ ซึ่งสามารถตั้งค่าการจำลองภาระได้หลายรูปแบบ โดยจะทำการวัดในส่วนของล้อที่ทำการขับเคลื่อน เช่น หากยานยนต์เป็นแบบขับเคลื่อนล้อหน้า ก็จะทำการวัดที่ล้อหน้า เป็นต้น ซึ่ง Chassis Dynamometer สามารถทำการวัดได้ทุกรูปแบบทั้งการขับเคลื่อนล้อหน้า ขับเคลื่อนล้อหลัง หรือขับเคลื่อนสี่ล้อ จะเห็นได้ว่า Dynamometer ประเภทนี้มีข้อดีในเรื่องของความปลอดภัย และสามารถจำลองโหลดในสภาวะต่าง ๆ ได้

1.3 มาตรฐานสำหรับการทดสอบยานยนต์

มาตรฐานระยะทางของยานยนต์ไฟฟ้า เป็นมาตรฐานที่ใช้ในการหาระยะทางสูงสุดเมื่อทำการชาร์จไฟเต็ม 1 ครั้ง ซึ่งในปัจจุบันมีมาตรฐานที่ใช้งานอยู่ 3 มาตรฐาน ได้แก่ EPA, NEDC และ WLTP แต่ละมาตรฐานมีรายละเอียดดังนี้

1. EPA เป็นมาตรฐานซึ่งใช้ในการแจ้งข้อมูลการใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวมถึงก๊าซเรือนกระจก ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ใช้ในสหรัฐอเมริกา

2. NEDC เป็นมาตรฐานที่ใช้ทั่วไปในยุโรป ใช้ในการตรวจสอบอัตราการปล่อยไอเสียและอัตราการใช้พลังงานของยานยนต์ที่วางจำหน่ายในยุโรปทุกคัน ซึ่งปัจจุบันเปลี่ยนไปใช้ WLTP แทน NEDC

3.WLTP เหมือนกับ NEDC ตรงที่เป็นมาตรฐานที่ใช้ทั่วไปในยุโรป แต่ใช้ในการตรวจสอบระดับของมลพิษ, คาร์บอนไดออกไซด์ และอัตราประหยัดของยานยนต์เครื่องยนต์ปกติและแบบ Hybrid และใช้ทดสอบระยะทางวิ่งของยานยนต์ไฟฟ้าด้วยอย่างแน่นอน

ปัจจุบันทางฝั่งยุโรปต้องการเปลี่ยนจากมาตรฐาน NEDC มาใช้มาตรฐาน WLTP แทน เพราะว่าการทดสอบรูปแบบ WLTP จะใช้รูปแบบการทดสอบจากสถานการณ์จริงบนท้องถนนเข้ามาเป็นส่วนประกอบในการทดสอบด้วย เพื่อให้ได้ค่าออกมาตรงกับความเป็นจริงให้ได้มากที่สุด

ดังนั้น จะกล่าวถึงแค่รายละเอียดของมาตรฐานระยะทางของยานยนต์ไฟฟ้า WLTP และมาตรฐาน EPA เพียงสองมาตรฐาน เพราะเป็นมาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบความต้องการพลังงานของยานยนต์ไฟฟ้าในงานศึกษาวิจัยนี้

1.4 เวลาไหลเลื่อน (Coast Down Time)

เวลาไหลเลื่อน (Coast down time) หมายถึง เวลาที่ยานยนต์ไฟฟ้าใช้ในการลดความเร็วจากความเร็วที่กำหนดจนถึงความเร็วค่าต่ำ ๆ เช่น เวลาที่ใช้ในการลดความเร็วจาก 120 กิโลเมตรต่อชั่วโมงจนถึง 15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิโลเมตรต่อชั่วโมง เป็นต้น โดยการทำการทดสอบจำเป็นต้องทดสอบบริเวณพื้นถนนเรียบที่สามารถขับเคลื่อนให้ยานยนต์ลื่นไถลและลดความเร็วลงได้อย่างต่อเนื่อง เวลาที่ได้จะเรียกว่า “เวลาไหลเลื่อน” หรือ “Coast Down time” ซึ่งใช้ในการหาค่าสมการ Target Road load ของยานยนต์ทดสอบ

2.5 การจำลองการขับขี่บนถนน (Target Road Load)

Target Road Load เป็นคุณลักษณะเฉพาะของยานยนต์ไฟฟ้าแต่ละคัน กล่าวคือ เป็นเงื่อนไขของภาระที่แตกต่างกันในขณะทำการทดสอบ ซึ่ง Target Road Load แสดงถึงค่าแรงต่าง ๆ ที่ภาระยานยนต์ไฟฟ้ากระทำต่อ Chassis Dynamometer ได้แก่ แรงต้านอากาศพลศาสตร์, ค่าแรงสูญเสียอันเนื่องมาจาก Chassis Dynamometer, ค่าแรงเนื่องจากความต้านทานบนลูกกลิ้ง โดยสมการแสดงค่า Target Road Load ดังนี้

$$F = a + bV + cV^2 \qquad (1)$$

โดย F คือ Tractive Force (N)
V คือ ความเร็วของยานยนต์ไฟฟ้า (km/h)
a, b และ c คือ ค่าคงที่สัมประสิทธิ์

โดยที่ยานยนต์ไฟฟ้าแต่ละคันจะมีสัมประสิทธิ์ a, b และ c ที่แตกต่างกัน เมื่อแสดงคุณลักษณะแรง Target Road Load ให้เป็นตัวแทนภาระยานยนต์ไฟฟ้า จากนั้น ขณะทำการทดสอบ Chassis Dynamometer จะสร้างความเร็วของลูกกลิ้งให้เป็นสัดส่วนตามค่าแรงดังกล่าว เพื่อจำลองการขับขี่บนถนนให้ใกล้เคียงสถานการณ์จริงมากที่สุด

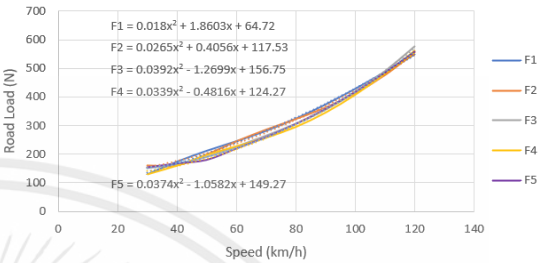
2. ขั้นตอนการออกแบบการทดลอง

3.1 การเตรียมการระบบ Chassis Dynamometer

ในการทดสอบความต้องการพลังงานของยานยนต์ไฟฟ้าจำเป็นต้องหาค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญ ซึ่งได้มาจากการนำยานยนต์ไฟฟ้าวิ่งทดสอบบนถนนจริง เพื่อหาค่าเวลาไหลลื่น (Coast Down time) เพื่อหาสมการ Target Road Load ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ ABC ซึ่งใช้ในตั้งค่าการการจำลองสถานการณ์การขับขี่ รวมไปถึงการตั้งค่ารูปแบบความเร็วเพื่อเป็นการจำลองพื้นถนนในการขับขี่ยานยนต์ไฟฟ้า ซึ่งในการตั้งค่าต่างๆจะใช้งานแอปพลิเคชัน MEIDACS-DY และแอปพลิเคชัน DriversAid ที่จะทำงานร่วมกับระบบ Chassis Dynamometer เป็นส่วนสำคัญในการทดสอบความต้องการพลังงานของยานยนต์ไฟฟ้าเป็นอย่างมาก เพราะว่าในการตั้งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ มีความจำเพาะเจาะจงกับยานยนต์ไฟฟ้าแต่ละคัน เพื่อนำไปสู่การทดสอบยานยนต์ไฟฟ้ากับระบบ Chassis Dynamometer มีขั้นตอนในการเตรียมการสำหรับการทดสอบของระบบ Chassis Dynamometer ดังนี้

1. ต้องมีการนำยานยนต์ทดสอบทำการทดสอบเพื่อหาค่าเวลาไหลเลื่อน โดยทดสอบที่ความเร็ว 125 km/h จนถึง 15 km/h

2. นำค่าเวลาไหลเลื่อนมาวิเคราะห์เพื่อหาสมการการจำลองการขับขี่บนถนน (Target Road Load) โดยวิเคราะห์ผ่านโปรแกรม MEIDACS-DY เพื่อให้ผลการทดสอบให้มีความถูกต้องแม่นยำตามคุณลักษณะของยานยนต์มากที่สุด สามารถแสดงความสัมพันธ์ของแรง Target Road Load และความเร็ว กราฟ “Road Load Curve” ดังรูปที่

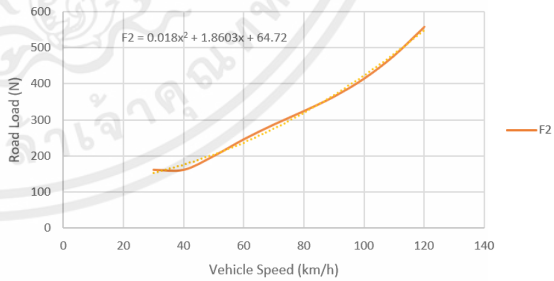


1

รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่าง Road Load และ Vehicle Speed

3. การเลือกใช้ค่าสัมประสิทธิ์ ABC ของสมการ Target Road Load สำหรับทดสอบมาตรฐาน WLTP ในการเลือกค่าสัมประสิทธิ์ A,B และ C จากชุดข้อมูลที่มีการเปรียบเทียบแรงกระทำของยานยนต์ไฟฟ้าที่มีผลต่อพื้นถนน ซึ่งในที่นี้จะทำการเลือกค่าสัมประสิทธิ์ที่เหมาะสมที่สุด จากลักษณะแนวโน้มของกราฟซึ่งมีแรงกระทำระหว่างยานยนต์ไฟฟ้าต่อถนนน้อยที่สุด ชุดข้อมูลที่เลือกคือสมการ (2) ซึ่งใช้สำหรับการตั้งค่าทดสอบตามมาตรฐาน WLTP

$$F_2 = 117.53+0.4056\boldsymbol{v}+0.0265\boldsymbol{v}^2 \qquad (2)$$

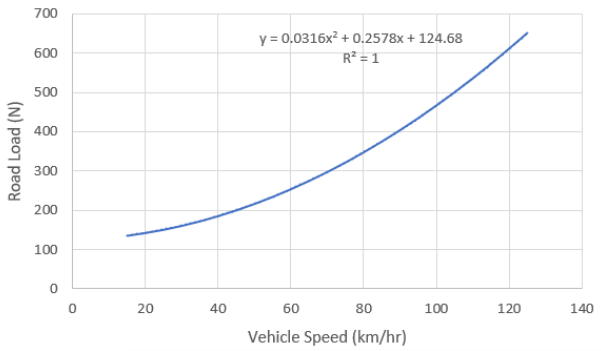


รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่าง Road Load และ Vehicle Speed สมการ (2) สำหรับตั้งค่าทดสอบตามมาตรฐาน WLTP

4. การเลือกใช้ค่าสัมประสิทธิ์ ABC ของสมการ Target Road Load สำหรับมาตรฐาน EPA เลือกใช้เวลาไหลเลื่อนเท่ากับเวลาไหลเลื่อนซึ่งใช้ในการวิเคราะห์หาสมการ (2) โดยสัมประสิทธิ์ ABC วิเคราะห์ผ่านโปรแกรม MEIDACS-DY โดยหา EPA Target Road Load ดังสมการ (3)

$$F = 124.676+0.2578\boldsymbol{v}+0.0316\boldsymbol{v}^2 \qquad (3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่าง Road Load และ Vehicle Speed สมการ (3) สำหรับตั้งค่าทดสอบตามมาตรฐาน EPA

3.2 การเตรียมความพร้อมในการทดสอบของยานยนต์ไฟฟ้า

ในการทดสอบความต้องการพลังงานของยานยนต์ไฟฟ้า กับระบบ Chassis Dynamometer มีความจำเป็นที่จะศึกษาข้อมูลพื้นฐานของยานยนต์ไฟฟ้า และคุณสมบัติของยานยนต์ไฟฟ้า รวมไปถึงการตรวจสอบสภาพยานยนต์ไฟฟ้าให้อยู่ในสภาพที่สมบูรณ์ เพื่อพร้อมในการทดสอบความต้องการพลังงานของยานยนต์ไฟฟ้า

ตารางที่ 1 ข้อมูลยานยนต์ทดสอบ

Volkswagen ID4 Pure plus รหัสรุ่น SVW6461BEV

มิติ และน้ำหนัก	
ความยาว (มิลลิเมตร)	4,612
ความกว้าง (มิลลิเมตร)	1,852
ความสูง (มิลลิเมตร)	1,640
ระยะห่างระหว่างล้อคู่หน้า/หลัง (มิลลิเมตร)	2,765
น้ำหนักยานพาหนะ (กิโลกรัม)	2,120
ขนาดล้อ และยาง	ล้ออัลลอยด์ 20 นิ้ว 235/50R20 ล้อหลัง 255/50R20
สมรรถนะ	
ประเภทมอเตอร์ไฟฟ้า	Permanent magnet synchronous motor
ประเภทแบตเตอรี่	Lithium-ion battery
กำลังสูงสุด (แรงม้า (กิโลวัตต์))	201 (150)
แรงบิดสูงสุด (นิวตันเมตร)	310
ความจุแบตเตอรี่ (กิโลวัตต์ชั่วโมง)	83.4
ระยะทางวิ่งสูงสุด (NEDC Mode) (กิโลเมตร)	555
โหมดการขับขี่ 3 โหมด	Sport / Normal / Eco / Comfort

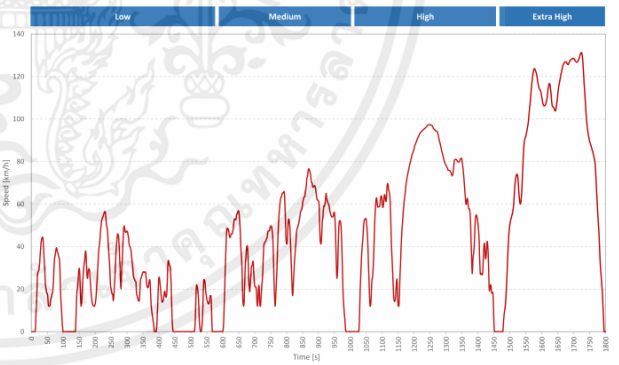
3.3 การออกแบบการทดสอบของระบบ Chassis Dynamometer กับยานยนต์ทดสอบ

ในการออกแบบการทดสอบความต้องการพลังงานของยานยนต์ไฟฟ้า มีการทดสอบในแง่ของการทดสอบภายใต้การเปรียบเทียบระหว่างสองมาตรฐาน คือ WLTP และ EPA รวมถึงการทดสอบตามประกาศกรมขนส่งทางบก รวมถึงวิเคราะห์พารามิเตอร์ ที่ได้จากการทดสอบตามมาตรฐาน ดังนี้

3.3.1. การทดสอบความต้องการพลังงานยานยนต์ไฟฟ้าตามมาตรฐาน WLTP Class 3b ช่วงความเร็วสำหรับ 4 วัฏจักรการขับขี่ตามมาตรฐาน

การทดสอบอัตราการใช้พลังงานของยานยนต์ไฟฟ้า ทดสอบภายใต้มาตรฐาน WLTP Class 3b โดยการขับขี่ตามลักษณะการขับขี่ที่กำหนดและวิเคราะห์จำแนกออกเป็น 4 ช่วงวัฏจักร ได้แก่ การขับขี่ภายในเมือง การขับขี่ทางหลวง การขับขี่บนทางหลวงชนบท และการขับขี่บนทางด่วนพิเศษ โดยโหมดที่ใช้ในการทดสอบของยานยนต์ คือ โหมด Comfort

โดยการทดสอบจะทดสอบตามมาตรฐาน WLTP class 3b ดังรูปที่ 4 โดยจะทำการทดสอบขับขี่ตามลักษณะการขับขี่ทั้งหมดเพื่อหาอัตราการต้องการพลังงาน และการขับขี่เพิ่มเติมวัฏจักร 2 วัฏจักร ได้แก่ การขับขี่แบบในเมือง (City-Driving) และการขับขี่แบบทางหลวง (High-way driving) เพื่อใช้เปรียบเทียบกับมาตรฐาน EPA

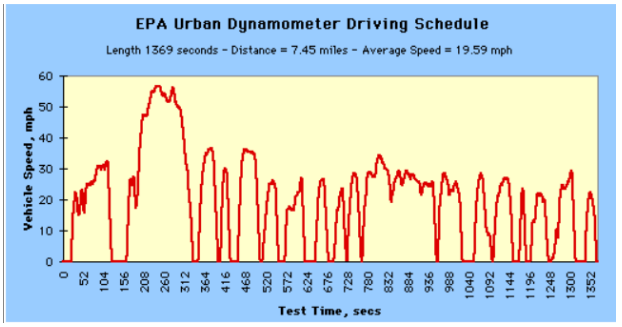


รูปที่ 4 วัฏจักรการขับขี่ WLTP Class 3b

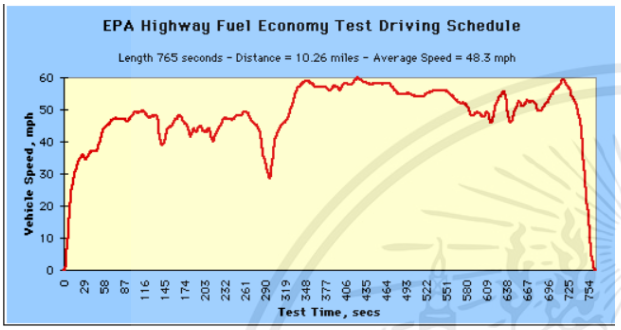
3.3.2.การทดสอบความต้องการพลังงานยานยนต์ไฟฟ้าตามมาตรฐาน EPA ช่วงความเร็วสำหรับ 2 วัฏจักรการขับขี่ตามมาตรฐาน

การทดสอบอัตราการใช้พลังงานของยานยนต์ไฟฟ้า ทดสอบภายใต้มาตรฐาน EPA โดยแบ่งช่วงความเร็วการขับขี่เป็น 2 ลักษณะ ได้แก่ การขับขี่ภายในเมือง (City Driving Cycle) และ การขับขี่บนทางหลวง (High Way Cycle) โดยโหมดที่ใช้ในการทดสอบของยานยนต์ไฟฟ้า คือ โหมด Comfort

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5 วัฏจักรการขับขี่ EPA Urban/City



รูปที่ 6 วัฏจักรการขับขี่ EPA High Way

3.3.3. เปรียบเทียบอัตราความต้องการพลังงานที่ได้จากการวิเคราะห์บน Chassis Dynamometer และ OBD-II จากการจำลองการขับขี่ในเมือง (City Driving) และการขับขี่ทางหลวง (High way driving) ระหว่างมาตรฐาน WLTP และมาตรฐาน EPA

เปรียบเทียบอัตราความต้องการพลังงานและผลรวมการใช้พลังงานไฟฟ้าที่แบตเตอรี่ รวบรวมข้อมูลจาก OBD-II และพลังงานทางกลที่ล้อในจาก Chassis Dynamometer ในวัฏจักรการขับขี่ EPA และ WLTP class 3b โดยเปรียบเทียบพลังงานการขับขี่ในช่วงขับขี่ในเมือง (City Driving) และการขับขี่ทางหลวง (High way driving) โดยข้อมูลพลังงานได้จากกำลังทั้งหมดที่เพลาของ Chassis Dynamometer

3.3.4. เปรียบเทียบอัตราความต้องการพลังงานระหว่างข้อมูลจาก Chassis Dynamometer และ OBD-II เพื่อหาประสิทธิภาพของยานยนต์ที่ตามมาตรฐาน WLTP และมาตรฐาน EPA

เปรียบเทียบเปรียบเทียบผลการาวิเคราะห์อัตราความต้องการพลังงาน (Energy Consumption) เพื่อหาประสิทธิภาพของยานยนต์ที่ใช้ทดสอบซึ่งตามมาตรฐาน WLTP Class 3b และมาตรฐาน EPA ของช่วงความเร็วที่ใช้ในการทดสอบคือ ช่วงการขับขี่ภายในเมือง (City Driving) และช่วงการขับขี่ทางหลวง (High Way driving) โดยเปรียบเทียบข้อมูลจากแบตเตอรี่ซึ่งได้จาก OBD-II และข้อมูลที่ได้จาก Chassis Dynamomeyer

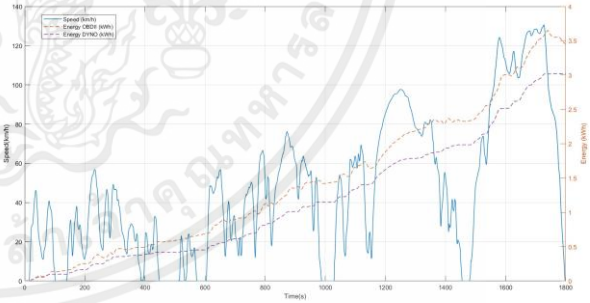
3.3.5 เปรียบเทียบอัตราการใช้พลังงานต่อกิโลเมตรของยานยนต์ทดสอบตามมาตรฐาน

เปรียบเทียบอัตราการใช้พลังงานต่อกิโลเมตรของยานยนต์ไฟฟ้าทดสอบซึ่งเทียบตามมาตรฐาน WLTP Class 3b และ EPA ของช่วงความเร็วที่ใช้ในการทดสอบ โดยเทียบพลังงานทั้งหมดที่แบตเตอรี่ (OBD-II) กับพลังงานทั้งหมดที่เพลา Chassis Dynamometer

4. ผลการทดลอง

4.1 การทดสอบตามมาตรฐาน WLTP class 3b บน Chassis Dynamometer แต่ละช่วงความเร็วสำหรับ 4 วัฏจักร

จากรูปที่ 7 จะเห็นได้ว่า ในการทดสอบการขับขี่ตามวัฏจักรทดสอบ ไม่ว่าจะเป็นที่ช่วงความเร็วใดก็ตาม จะได้ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าที่แบตเตอรี่ซึ่งเป็นกำลังไฟฟ้าขาเข้าสูงกว่าพลังงานทางกลที่ล้อซึ่งเป็นกำลังขาออก ซึ่งผลต่างของกำลังขาเข้าและขาออกจะเป็นสิ่งที่บ่งบอกถึงประสิทธิภาพของระบบขับเคลื่อน เมื่อนำไปพิจารณาประสิทธิภาพของยานยนต์ไฟฟ้า จะพบว่าได้ผลที่มีแนวโน้มเหมือนกันทั้งต่อค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าที่แบตเตอรี่และค่าการใช้พลังงานทางกลที่ล้อ [2] เนื่องจากข้อมูลยานยนต์ไฟฟ้าสำหรับการทดสอบที่ได้ผลจากการทดสอบบน DYNO ซึ่งเปรียบเทียบพลังงานที่ได้จาก OBD-II เพื่อหาช่วงที่เหมาะสมสำหรับนำไปทดสอบหาค่าพลังงานที่ยานยนต์ไฟฟ้าใช้งาน โดยผู้ทดสอบจะเลือกช่วงความเร็วต่าง ๆ กันของแต่ละมาตรฐานที่นำมาใช้ทดสอบเชิงเปรียบเทียบเพื่อให้สอดคล้องกับการใช้งานจริงบนถนน



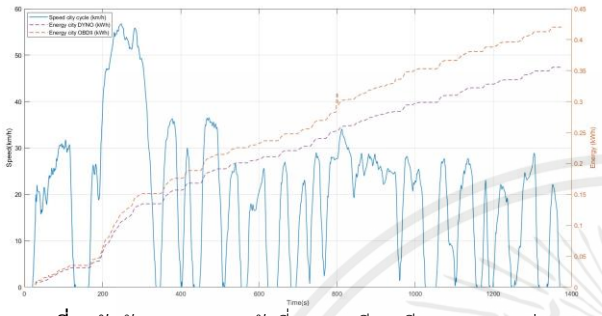
รูปที่ 7 การใช้พลังงานไฟฟ้าสะสมที่แบตเตอรี่และพลังงานทางกลสะสมที่ล้อใน 1 วัฏจักรทดสอบการขับขี่คลาส 3b

นอกจากนี้ ช่วงความเร็วที่จะนำไปทดสอบในเชิงเปรียบเทียบในลำดับต่อไปตามมาตรฐาน WLTP Class 3b ในช่วงความเร็วต่ำ (low driving cycle) และความเร็วสูง (high driving cycle) เนื่องจากมีความเร็วเฉลี่ยคือ 18.9 และ 56.7 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ และทั้งสองช่วงความเร็วมีความเหมาะสมสำหรับการใช้งานสำหรับในเมืองที่มีเป็นเขตความบคุมความเร็วต่ำ และช่วงความเร็วสูงเหมาะสำหรับการขับขี่บนทางหลวง โดยลำดับถัดไปจะทำการทดสอบเชิงเปรียบเทียบกับมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

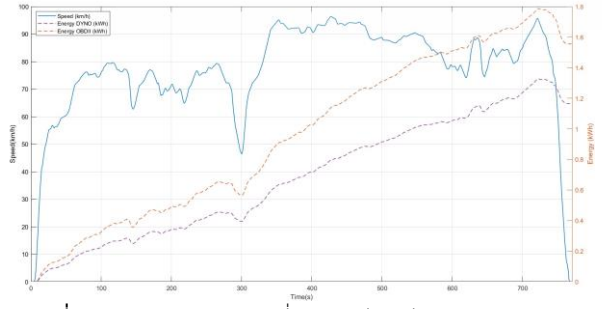
EPA ในช่วงความเร็วในเมือง (City driving cycle) และช่วงความเร็วสูง (Highway driving cycle)

4.2 การทดสอบหาพลังงานสะสมตามมาตรฐาน EPA บน Chassis Dynamometer ของวัฏจักรการขับขี่แบบในเมือง (city driving cycle) และแบบทางหลวง (highway driving cycle)



รูปที่ 8 วัฏจักรทดสอบการขับขี่ EPA เปรียบเทียบความแตกต่างพลังงานที่ช่วงความเร็วต่ำหรือในเขตเมือง (city driving cycle)

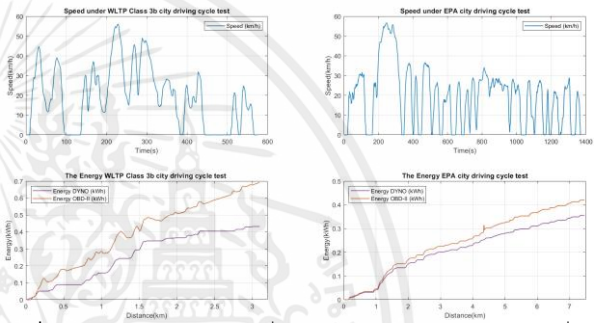
จากรูปที่ 8 การทดสอบการขับขี่ตามมาตรฐาน EPA ในช่วงความเร็วต่ำหรือการขับขี่แบบในเมือง (City driving cycle) ซึ่งเป็นการจำลองการขับขี่แบบมีสัดความเร็วเฉลี่ยที่รวมการหยุดรถแล้ว 21.2 กิโลเมตรต่อชั่วโมง การขับขี่ในลักษณะนี้มีการใช้พลังงานจากล้อ (DYNO) เท่ากับ 0.355 กิโลวัตต์ชั่วโมง และจากแบตเตอรี่เท่ากับ 0.421 กิโลวัตต์ชั่วโมง ที่เส้นความเร็วในการขับขี่ที่เป็นตัวแทนการขับขี่ในเมือง จะมีช่วงที่เร่งความเร็วและเบรกบ่อยครั้ง ดังนั้น ระยะทางในการขับขี่ที่ได้จึงมีระยะทางที่น้อย คือ 3.095 กิโลเมตร แต่ถึงแม้ระยะทางในการขับขี่จะน้อย แต่มีความต้องการใช้พลังงานที่มาก เนื่องจากใช้พลังงานในการเร่งบ่อยครั้ง ดังนั้น เส้นผลรวมพลังงานที่จะสูงขึ้นทุกครั้งที่มีการเร่งยานยนต์ไฟฟ้า และในช่วงความเร็ว ต่ำนี้ จะมีความแตกต่างของกำลังไฟฟ้าขาเข้าที่แบตเตอรี่กับกำลังทางกลขาออกที่ล้อมาก เนื่องจากเป็นช่วงออกตัวของยานยนต์ไฟฟ้า กำลังทางกลที่ล้อจึงน้อย



รูปที่ 9 วัฏจักรทดสอบการขับขี่ EPA เปรียบเทียบความแตกต่างพลังงานที่ที่ช่วงเขตนอกทางหลวง (Highway driving cycle)

จากรูปที่ 9 ในช่วงการขับขี่ความเร็วสูง (highway driving cycle) ซึ่งทดสอบภายใต้มาตรฐาน EPA เป็นการขับขี่ที่มีการเร่งยานยนต์ที่ใช้ความเร็วที่ต่อเนื่องและมีระยะทางมี 16.51 กิโลเมตร ซึ่งการใช้พลังงานไฟฟ้า (OBD-II) และพลังงานจากล้อ (DYNO) จึงมีผลรวมการใช้พลังงานที่มากขึ้นเมื่อเทียบกับความเร็วต่ำภายใต้มาตาฐานเดียวกันในการทดสอบและในช่วงความเร็วสูง (highway) [3] นี้ จะมีความแตกต่างของกำลังไฟฟ้าขาเข้าที่แบตเตอรี่กับกำลังทางกลขาออกที่ล้อน้อยลงจากช่วงความเร็วก่อนหน้านั้น

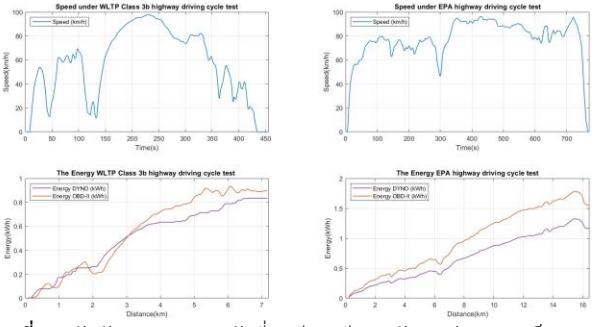
4.3 เปรียบเทียบอัตราการใช้พลังงานจากการวิเคราะห์บน Chassis Dynamometer ที่ได้จากมาตรฐานการทดสอบแบบ WLTP เทียบกับมาตรฐานการทดสอบ EPA



รูปที่ 10 วัฏจักรทดสอบการขับขี่ เปรียบเทียบพลังงานช่วงความเร็วต่ำระหว่างมาตรฐาน WLTP Class 3b และ มาตรฐาน EPA

จากรูปที่ 10 ในการเปรียบเทียบของความเร็วต่ำ (Low driving cycle) ตามมาตรฐาน WLTP และแบบการขับขี่แบบในเมือง (City driving cycle) ตามมาตรฐาน EPA จะสังเกตได้ว่าจากกราฟพลังงานที่ยานยนต์ทดสอบมีอัตราการใช้พลังงานจากล้อ (DYNO) และพลังงานจากแบตเตอรี่ (OBD-II) มีค่าที่แตกต่างกัน โดยกราฟการใช้พลังงานภายใต้มาตรฐาน WLTP มีความเร็วที่รวมการหยุดรถมีความเร็วเฉลี่ยคือ 18.9 กิโลเมตรต่อชั่วโมง มีพลังงานที่ใช้สะสมจากล้อและจากแบตเตอรี่ที่ 0.432 และ 0.692 กิโลวัตต์ชั่วโมงตามลำดับ ส่วนกราฟการทดสอบการใช้พลังงานภายใต้มาตรฐาน EPA มีความเร็วที่รวมการหยุดรถมีความเร็วเฉลี่ยคือ 21.2 กิโลเมตรต่อชั่วโมง มีพลังงานที่ใช้สะสมจากล้อและจากแบตเตอรี่ที่ 0.355 และ 0.421 กิโลวัตต์ชั่วโมงตามลำดับ ซึ่งจากกราฟทั้งสองมาตรฐานมีการใช้พลังงานที่แตกต่างกันและสอดคล้องกับอัตราการใช้พลังงานที่จะแปรผันไปตามความเร็ว ระยะทางและเวลาที่ใช้สำหรับการขับขี่ทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 11 วัฏจักรทดสอบการขับขี่ เปรียบเทียบพลังงานช่วงความเร็วสูง ระหว่างมาตรฐาน WLTP Class 3b และ มาตรฐาน EPA

จากรูปที่ 11 การเปรียบเทียบระหว่างความเร็วสูง (high driving cycle) ตามมาตรฐาน WLTP และแบบการขับขี่แบบบนทางหลวง (highway driving cycle) ตามมาตรฐาน EPA ซึ่งผลที่ได้จากกราฟการใช้พลังงานของยานยนต์ที่ได้จากล้อ (DYNO) และพลังงานจากแบตเตอรี่ (OBD-II) ค่าที่แตกต่างกัน โดยกราฟการใช้พลังงานภายใต้มาตรฐาน WLTP มีความเร็วที่รวมการหยุดรถมีความเร็วเฉลี่ยคือ 56.7 กิโลเมตรต่อชั่วโมง มีพลังงานที่ใช้สะสมจากล้อและจากแบตเตอรี่ที่ 0.835 และ 0.898 กิโลวัตต์ชั่วโมง ตามลำดับ ส่วนกราฟการทดสอบการใช้พลังงานภายใต้มาตรฐาน EPA มีความเร็วที่รวมการหยุดรถมีความเร็วเฉลี่ยคือ 77.7กิโลเมตรต่อชั่วโมง มีพลังงานที่ใช้สะสมจากล้อและจากแบตเตอรี่ที่ 1.397 และ 1.502 กิโลวัตต์ชั่วโมง ตามลำดับ

4.4 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพและอัตราการใช้พลังงาน (energy Consumption) ต่อกิโลเมตร ของยานยนต์ภายใต้มาตรฐาน WLTP Class 3b และมาตรฐาน EPA

ตารางที่ 2 การใช้พลังงานไฟฟ้าสะสมจากแบตเตอรี่และพลังงานทางกลสะสมที่ล้อ

มาตรฐานทดสอบ	ช่วงความเร็วที่ใช้ทดสอบ	ระยะทางสำหรับการทดสอบ (km)	ความเร็วเฉลี่ยสำหรับทดสอบ (km/h)	พลังงานทั้งหมดที่แบตเตอรี่ (kWh/km)	พลังงานทั้งหมดที่เพลา (kWh/km)
WLTP Class 3b	Low	3.09	18.9	0.224	0.140
	High	7.16	56.7	0.125	0.116
EPA	City	7.45	21.2	0.168	0.134
	Highway	16.51	77.7	0.210	0.189

เมื่อพิจารณาเชิงเปรียบเทียบระหว่างมาตรฐาน WLTP Class 3b และมาตรฐาน EPA ในช่วงความเร็วต่ำ (low driving cycle) และความเร็วแบบในเมือง (city driving cycle) สำหรับการใช้พลังงานมาตรฐานในช่วงความเร็วต่ำมาตรฐาน WLTP มีอัตราการใช้พลังงานมากกว่ามาตรฐาน EPA เนื่องจากมีรูปแบบการขับขี่ที่มีความไม่ต่อเนื่องและมีการเร่งความเร็วในหลายจุดขอกราฟความเร็วส่งผลให้ในการขับขี่แบบความเร็วต่ำมาตรฐาน EPA [4] จึงสะท้อนการขับขี่ในสภาวะจริงสำหรับยานยนต์ที่ออกแบบการจำลองผ่าน Chassis Dynamometer มากกว่ามาตรฐาน WLTP

เมื่อพิจารณาเชิงเปรียบเทียบระหว่างมาตรฐาน WLTP Class 3b และมาตรฐาน EPA ในช่วงความเร็วสูง (high driving cycle) และความเร็วแบบเขตทางหลวง (highway driving cycle) สำหรับการใช้พลังงานมาตรฐานในช่วงความเร็วสูงมาตรฐาน WLTP มีอัตราการใช้พลังงานน้อยกว่ามาตรฐาน EPA เนื่องจากมีรูปแบบการขับขี่ที่มีความไม่ต่อเนื่องในช่วง 150 วินาทีแรกที่ทำการทดสอบ และมีการเร่งความเร็วส่งผลให้ในการขับขี่แบบความเร็วสูงมาตรฐาน WLTP จึงเหมาะสมกว่าเมื่อจะพิจารณาอัตราการใช้พลังงานที่มีความเร็วเฉลี่ยมากกว่า 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

5.สรุปผลและอธิปรายการทดลอง

โครงงานการทดสอบความต้องการพลังงานของยานยนต์ไฟฟ้าโดย Chassis Dynamometer ภายใต้มาตรฐาน WLTP และมาตรฐาน EPA ภายใต้เงื่อนไขต่างๆ ที่คาดว่าจะเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อความต้องการพลังงานของยานยนต์ไฟฟ้า จากผลการทดลอง ได้ข้อสรุปดังนี้

1. การทดสอบความต้องการพลังงานของยานยนต์ไฟฟ้าซึ่งเปรียบเทียบระหว่างมาตรฐาน WLTP และ EPA สำหรับการใช้งานความเร็วต่ำ สรุปผลได้ว่าการขับขี่ในช่วงความเร็วต่ำซึ่งแสดงถึงการใช้พลังงานที่ไม่มีความต่อเนื่อง [5] โดยสาเหตุเกิดจากการขับขี่ในช่วงความเร็วต่ำจะมีการเบรกและเร่งความเร็วบ่อยครั้งจึงส่งผลทำให้อัตราการใช้พลังงานสำหรับมาตรฐาน EPA มีการใช้พลังงานที่มากกว่ามาตรฐาน WLTP และสอดคล้องการใช้พลังงานที่ผ่านการจำลองสภาวะการขับขี่บน Chassis dynamometer มากกว่ามาตรฐาน EPA

2. การขับขี่ช่วงความเร็วสูงซึ่งแสดงถึงการขับขี่ในถนนทางหลวงจะมีความต้องการใช้พลังงานต่อระยะทางสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบระหว่างการขับขี่ตามมาตรฐาน WLTP และ EPA กาใช้งานยานยนต์ที่ใช้ความเร็วสูงการทดสอบตามมาตรฐาน WLTP จะมีความเหมาะสมกว่า เนื่องจากการใช้พลังงานที่สอดคล้องการใช้งานมากกว่าและระยะทางการขับขี่มีความต่อเนื่องรวมถึงระยะเวลาที่ใช้ในการขับขี่ซึ่งจะตอบสนองต่อการใช้พลังงานที่สมจริงมากกว่าการขับขี่ตามมาตรฐาน EPA ผลของช่วงความเร็วในการขับขี่ที่มีผลต่อประสิทธิภาพและอัตราการใช้พลังงานของยานยนต์ไฟฟ้าสรุปได้ว่าประสิทธิภาพของยานยนต์ไฟฟ้าจะสูงขึ้นตามระดับความเร็วในการขับขี่ที่เพิ่มขึ้น จะสังเกตุได้ว่าการขับขี่ที่ความเร็วสูงทั้งสองมาตรฐานพลังงานที่ได้จากล้อและแบตเตอรี่มีประสิทธิภามากกว่าความเร็วต่ำ

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยการช่วยเหลือจากหลายท่านโดยเฉพาะอย่ายิ่งขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธีรพล โพธิ์พงศ์วิวัฒน์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน ที่ได้กรุณาเสียสละเวลาแนะนำแนวทาง ให้ข้อแนะนำและข้อคิดคิดเห็นต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อโครงงานมาด้วยดีตลอด รวมทั้งให้ความอนุเคราะห์ในการจัดหาอุปกรณ์ต่าง ๆ ในการทำโครงงานครั้งนี้จนสำเร็จได้ด้วยดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขอขอบคุณ คุณณัฐพล มฤคทัต และคุณนครศักดิ์ แสงศรี ที่ช่วยจัดหาอุปกรณ์ที่จำเป็นต่าง ๆ ในโครงงานอย่างครบถ้วน

ขอขอบคุณพนักงานบริษัท MEIDEN ทุกท่าน ที่ช่วยแนะนำการใช้งาน และตอบคำถามปัญหาทางเทคนิคของ Chassis Dynamometer

ขอขอบคุณพี่ ๆ นักศึกษาปริญญาโทห้องปฏิบัติการ ทุกคนที่คอยให้คำปรึกษาและความช่วยเหลือจนจบโครงงาน

นอกจากนั้นคณะผู้จัดทำต้องขอขอบคุณ ดร.ปุณยวีร์ ฉายศิริ ที่ได้กรุณาตรวจแก้ไขปริญญานิพนธ์จนสำเร็จเรียบร้อยเป็นอย่างดี และคุณกมลวรรณ ถาวร เจ้าหน้าที่ห้องธุรการประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการเบิกเงินภายในโครงงาน

ท้ายนี้คณะผู้จัดทำ ขอกราบขอบคุณ บิดามารดา และครอบครัวซึ่งให้การสนับสนุนในด้านการเงินและให้กำลังใจ อีกทั้งเพื่อน ๆ พี่ ๆ น้อง ๆ ที่เป็นกำลังใจและให้ความช่วยเหลือด้วยดีตลอดมา

เอกสารอ้างอิง

[1] ธนพล มูลแก่น, ยศพล วิชามุข, ศุภกานต์ ผาทอง และ สุพรรณญา ศรีสุวรรณ, “การทดสอบความต้องการพลังงานของยานยนต์ไฟฟ้า,” **วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต**, ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2564

[2] Dimitris Tsokolis et al., **Coast down time for a medium size vehicle**,2016 , from https://www.researchgate.net/figure/Coast-down-time-for-a-medium-size-vehicle_fig8_305845633

[3] A. Semon and A. Crăciunescu, "Study to Increase the Efficiency of the Electric Drive System of a Vehicle at Different Speeds," **2019 11th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE)**, Bucharest, Romania, 2019, pp. 7-12

[4] D. G. Kooijman, A. E. Balau, S. Wilkins, N. Ligterink and R. Cuelenaere, "WLTP Random Cycle Generator," **IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC), Montreal, QC**, Canada, 2015, pp. 2-9

[5] Economic Commission for Europe, “Proposal for Amendment 1 to global technical regulation No. 15 Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedures (WLTP),” **Inland Transport Committee**, Geneva, 2016

ประวัติผู้เขียน

นาย กรุณา ธนากิจ
เกิดวันที่ 25 ธันวาคม 2543
นักศึกษาหลักสูตร วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

นาย จักรพงษ์ จงทัน
เกิดวันที่ 20 กันยายน 2544
นักศึกษาหลักสูตร วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ข้อมูลยานยนต์ทดสอบความต้องการพลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลจำเพาะยานยนต์ทดสอบ Volkswagen ID4 pure plus

มิติ และน้ำหนัก	
ความยาว (มิลลิเมตร)	4,612
ความกว้าง (มิลลิเมตร)	1,852
ความสูง (มิลลิเมตร)	1,640
ระยะห่างระหว่างล้อคู่หน้า/หลัง (มิลลิเมตร)	2,765
น้ำหนักยานพาหนะ (กิโลกรัม)	2,120
ขนาดล้อ และยาง	ล้ออัลลอยด์ 20 นิ้ว 235/50R20 ล้อหลัง 255/50R20
สมรรถนะ	
ประเภทมอเตอร์ไฟฟ้า	PMSM
ประเภทแบตเตอรี่	Lithium-ion battery
กำลังสูงสุด (แรงม้า (กิโลวัตต์))	201 (150)
แรงบิดสูงสุด (นิวตันเมตร)	310
ความจุแบตเตอรี่ (กิโลวัตต์ชั่วโมง)	83.4
ระยะทางวิ่งสูงสุด (NEDC Mode) (กิโลเมตร)	555
โหมดการขับขี่ 3 โหมด	Sport / Normal / Eco / Comfort

ตารางที่ ข.2 พารามิเตอร์ของแบตเตอรี่ของยานยนต์ทดสอบ

รายการ		**ค่าพารามิเตอร์**
เซลล์แบตเตอรี่	ประเภท	แบตเตอรี่ลิเธียมเหล็กฟอสเฟต
	พิกัดแรงดัน (โวลต์)	3.2
	พิกัดความจุ (แอมป์ชั่วโมง)	131
แบตเตอรี่	จำนวนแบตเตอรี่	1
	ขนาดแบตเตอรี่ (มิลลิเมตร)	1853*1129*183.5
	ช่วงแรงดันไฟฟ้ารวม	300-438
	พิกัดความจุ (แอมป์ชั่วโมง)	131
	พิกัดแรงดัน	384
	น้ำหนัก (กิโลกรัม)	396
	ระดับการป้องกันน้ำ	IP67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล นาย กรุณา ธนกิจ

รหัสนักศึกษา 62010022

โทรศัพท์ 091-237-4507

อีเมล kkaruna.25@outlook.com

ประวัติการศึกษา

พ.ศ.2565 วศ.บ. (วิศวกรรมไฟฟ้า)
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2561 มัธยมศึกษาตอนปลาย (วิทย์-คณิต)
โรงเรียนเบญจมราชูทิศจังหวัดจันทบุรี

ชื่อ-สกุล นาย จักรพงษ์ จงทัน

รหัสนักศึกษา 62010100

โทรศัพท์ 098-982-4538

อีเมล Jongtanj@gmail.com

ประวัติการศึกษา

พ.ศ.2565 วศ.บ. (วิศวกรรมไฟฟ้า)
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2561 มัธยมศึกษาตอนปลาย (วิทย์-คณิต)
โรงเรียนหล่มสักวิทยาคม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้