

การศึกษาการใช้พลังงานในรถบัสไฟฟ้าเพื่อการพัฒนายานยนต์ไฟฟ้าสมัยใหม่

An Education on Energy Consumption in Electric Buses for the Advancement of the New Era of Electric Vehicles

ภูภูมิ พ่วงเจริญชัย
ณัฐพงศ์ พันธุนะ
สุทธิพงษ์ จำรูญรัตน์

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณกองทุนเพื่อการวิจัย ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2567
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการใช้พลังงานในรถบัสไฟฟ้า (Electric Buses) และผลกระทบต่อการพัฒนาเมืองอัจฉริยะ (Smart City) โดยมุ่งเน้นไปที่การส่งเสริมการพัฒนาอย่างยั่งยืน ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในระบบขนส่งสาธารณะ การศึกษาเริ่มต้นด้วยการทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับยานยนต์ไฟฟ้า เทคโนโลยีและประสิทธิภาพของรถบัสไฟฟ้า และแนวโน้มของการใช้พลังงานในระบบขนส่งในเมือง นอกจากนี้ยังได้วิเคราะห์นโยบายและกฎระเบียบที่เกี่ยวข้องกับการนำยานยนต์ไฟฟ้ามาใช้ในสังคม โดยระเบียบวิธีวิจัยประกอบด้วยการเก็บข้อมูลทั้งเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ โดยเน้นที่ข้อมูลการใช้พลังงานในรถบัสไฟฟ้าและการวิเคราะห์ประสิทธิภาพเมื่อเทียบกับรถบัสที่ใช้พลังงานเชื้อเพลิงแบบดั้งเดิม กรณีศึกษาที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์รถบัสไฟฟ้าที่ใช้งานในเมืองอัจฉริยะหรือสถาบันการศึกษาเพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพพลังงาน อายุการใช้งานแบตเตอรี่ และการบำรุงรักษา ผลการศึกษาพบว่า รถบัสไฟฟ้ามีประสิทธิภาพในการใช้พลังงานสูงกว่ารถบัสเชื้อเพลิงฟอสซิล โดยเฉพาะในแง่ของการลดมลภาวะและการส่งเสริมความยั่งยืน การศึกษายังชี้ให้เห็นว่ารถบัสไฟฟ้ามีศักยภาพในการเป็นองค์ประกอบสำคัญในระบบขนส่งสาธารณะในเมืองอัจฉริยะ ส่งผลให้เกิดการพัฒนาเมืองที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากขึ้น โดยบทสรุปของการวิจัยนี้ชี้ให้เห็นถึงความสำคัญของการส่งเสริมการใช้ยานยนต์ไฟฟ้าในระบบขนส่งสาธารณะ และเสนอแนะแนวทางในการปรับปรุงนโยบายและกลยุทธ์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดำเนินงานของรถบัสไฟฟ้า ทั้งนี้ เพื่อให้สอดคล้องกับเป้าหมายในการพัฒนาเมืองอัจฉริยะและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

Abstract

This research aims to study the energy consumption of electric buses and their impact on smart city development. It focuses on promoting sustainable development, reducing greenhouse gas emissions, and improving energy efficiency in public transportation systems. The study begins with a review of the literature on electric vehicles, the technology and efficiency of electric buses, and energy consumption trends in urban transportation systems. In addition, policies and regulations related to the adoption of electric vehicles in society are analyzed. The research methodology consists of both quantitative and qualitative data collection, focusing on energy consumption in electric buses and performance analysis compared to conventional fuel-powered buses. The case studies analyzed in this research include electric buses used in smart cities or educational institutions, examining energy efficiency, battery lifespan, and maintenance. The findings reveal that electric buses are more energy-efficient than fossil fuel-powered buses, especially in terms of reducing pollution and promoting sustainability. The study also highlights those electric buses have significant potential to become a key component of public transportation systems in smart cities, leading to the development of more environmentally friendly urban areas. The conclusion of this research emphasizes the importance of promoting the use of electric vehicles in public transportation systems and provides recommendations for improving policies and strategies to enhance the operational efficiency of electric buses. This aligns with the goals of smart city development and reducing environmental impacts.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ข
Abstract	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	7
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน	7
1.3 กรอบแนวคิด	8
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	8
1.5 ขอบเขตของงานวิจัย	9
บทที่ 2 ทฤษฎีของงานวิจัยที่เกียวข้อง	
2.1 บทนำ	11
2.2 ยานยนต์ไฟฟ้า (Electric Vehicles)	11
2.3 การเสื่อมความนิยมของยานยนต์ไฟฟ้าในยุคแรก (The Downfall)	13
2.4 การฟื้นตัวของยานยนต์ไฟฟ้า (The Resurgence)	14
2.5 การผลักดันรถไฟฟ้าไปข้างหน้า (The Push Forward)	15
2.6 ประเภทของยานยนต์ไฟฟ้า (Types of Electric Vehicles)	16
2.6.1 ยานยนต์ไฟฟ้าแบบไฮบริด (Hybrid Electric Vehicle: HEV)	16
2.6.2 ยานยนต์ไฟฟ้าพลังงานเซลล์เชื้อเพลิง (Fuel Cell Electric Vehicle: FCEV)	17
2.6.3 ยานยนต์ไฟฟ้าแบบปลักอินไฮบริด (Plug-in Hybrid Electric Vehicle: PHEV)	18
2.6.4 ยานยนต์ไฟฟ้าแบบแบตเตอรี (Battery Electric Vehicle: BEV)	18
2.7 พื้นฐานการชาร์จยานยนต์ไฟฟ้า (Electric Vehicle Charging Basics)	19
2.7.1 ประเภทของเครื่องชาร์จ (Types of Chargers)	19
2.7.2 ประเภทของหัวปลั๊ก (In terms of the types of plugs)	20
2.7.3 ระยะเวลาในการชาร์จและระยะทางวิ่ง (Charging Time and Range)	22
2.7.4 ค่าใช้จ่ายในการชาร์จ (Charging Costs)	23
2.8 ผู้เล่นหลักในอุตสาหกรรมยานยนต์ไฟฟ้า (Electric Vehicle Major Players)	23
2.8.1 ฮุนได (Hyundai)	23

สารบัญ

2.8.2 โฟล์คสวาเก้น (Volkswagen)	24
2.8.3 เคีย (Kia)	24
2.8.4 เทสล่า (Tesla)	25
2.8.5 BYD	25
2.9 ยานยนต์ไฟฟ้าในรูปแบบบริการ (Electric Vehicles as-a-Service หรือ MaaS)	26
2.10 ความท้าทายของยานยนต์ไฟฟ้า (Challenges of Electric Vehicles)	27
2.11 การรักษาความปลอดภัยของยานยนต์ไฟฟ้า (Securing Electric Vehicles)	29
บทสรุป (Conclusion)	30
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	
3.1 บทนำ	31
3.2 รูปแบบการวิจัย (Research Design)	32
3.3 ขันตอนการดำเนินงานวิจัย	32
3.3.1 การสร้างความร่วมมือภาคอุตสาหกรรม	33
3.3.2 การติดตังระบบตรวจวัด	33
3.3.2.1 การติดตังระบบติดตาม GPS Tracking	34
3.3.2.2 การติดตังอุปกรณ์ตรวจวัดการใช้พลังงาน	35
3.3.3 การเก็บข้อมูล (Data Collection Methodology)	36
3.4 ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา (Research Variables)	41
3.4.1 ตัวแปรต้น (Independent Variable)	42
3.4.2 ตัวแปรตาม (Dependent Variables)	42
3.5 การวิเคราะห์ข้อมูลและการคำนวณที่ใช้ (Data Analysis and Computation Methods)	43
3.5.1 สูตรการคำนวณอัตราการใช้พลังงาน (Energy Consumption Calculation)	44
3.5.2 การคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 Emissions)	45
3.5.3 การวิเคราะห์ต้นทุนพลังงาน (Energy Cost Analysis)	46
3.6 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ (Statistical Data Analysis)	46
3.6.1 การคำนวณค่ากลางและการกระจายของข้อมูล	47
3.6.2 การนำเสนอข้อมูลในรูปแบบตารางและกราฟ	47
3.7 ขอบเขตการวิจัย (Scope of the Study)	48
3.7.1 ระยะทางวิงในการทดสอบ	48
3.7.2 จำนวนรอบการทดสอบ	48
3.7.3 สภาพแวดล้อมของการขับขี	48

สารบัญ

3.8 ข้อจำกัดของการวิจัย (Research Limitations)	49
3.8.1 ความหลากหลายของสภาพอากาศ (Climatic Variability)	49
3.8.2 ความแม่นยำของอุปกรณ์วัดและพฤติกรรมของผู้ขับขี	49
บทที่ 4 ผลการทดลอง	
4.1 บทนำ	51
4.2 ข้อมูลผลการทดลอง	51
4.3 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	51
4.3.1 อัตราการใช้พลังงาน	51
4.3.2 ต้นทุนพลังงานต่อกิโลเมตร	52
4.3.3 ปริมาณการปล่อย CO_2 ต่อกิโลเมตร	52
4.5 สรุปผลการทดลองเบื้องต้น	53
บทที่ 5 อภิปรายและสรุปผล	
5.1 บทนำ	54
5.2 ข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย	55
บรรณานุกรม	56
ส่วน ค : ประวัติคณะผู้วิจัย	58

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ประเทศไทย มีสถิติการใช้พลังงานของประเทศที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องโดยเฉลี่ยที่ร้อยละ 4.4 ต่อปี ซึ่งมีการเจริญเติบโตใกล้เคียงกับอัตราการขยายตัวทางเศรษฐกิจโดยเฉลี่ยที่ร้อยละ 4.5 ต่อปี จากการเข้าร่วมกลุ่มความร่วมมือทางเศรษฐกิจเอเชีย-แปซิฟิก (APEC) และการประกาศปฏิญญาในเรื่องการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ความมั่นคงทางพลังงานและการพัฒนาพลังงานสะอาดในปี พ.ศ. 2554 ทาให้ประเทศไทยมีความพยายามในการกาหนดมาตรการเพื่อลดการใช้พลังงานใน 4 ภาคส่วนหลัก คือ ภาคขนส่ง ภาคอุตสาหกรรม ภาคธุรกิจ และภาคที่พักอาศัย และได้มีการจัดทาแผนอนุรักษ์พลังงานระยะ 20 ปี ขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยกระทรวงพลังงานได้เริ่มใช้ดัชนีความเข้มการใช้พลังงาน (EI) หรือพลังงานที่ใช้เป็นหน่วยพันตันเทียบเท่าน้ามันดิบ (ktoe) ต่อหน่วยผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศเป็นตัวชี้วัดและกาหนดแนวทางนโยบายการใช้พลังงานของประเทศ และได้กาหนดเป้าหมายการลด EI ลงร้อยละ 30 ในปี พ.ศ. 2579 หรือคิดเป็นปริมาณการลดการใช้พลังงานทั้งสิ้น 56,142 ktoe ของปริมาณการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายทั้งหมดของประเทศ โดยมีมาตรการขับเคลื่อนใน 3 กลยุทธ์หลัก คือ ภาคบังคับ ภาคความร่วมมือ และกลยุทธ์สนับสนุน ซึ่งรวมอยู่ในแผนอนุรักษ์พลังงานฉบับปัจจุบัน (ปี พ.ศ. 2558 ถึง 2579) [1] โดยมีมาตรการต่างๆที่สาคัญ เช่น มาตรการสนับสนุนการพัฒนาบุคลากร และสร้างกาลังคนด้านพลังงาน และมาตรการสนับสนุนการรณรงค์สร้างจิตสานึกใช้พลังงานอย่างรู้คุณค่า และเปลี่ยนพฤติกรรมการใช้พลังงาน

โครงการนี้มุ่งเน้นการศึกษาและการวิจัยเกี่ยวกับการใช้พลังงานในรถบัสไฟฟ้าเพื่อส่งเสริมให้ยานยนต์ไฟฟ้าสมัยใหม่พัฒนาอย่างยั่งยืนและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม โดยเน้นการนำเสนอความรู้และการวิเคราะห์ข้อมูลที่ทันสมัยและน่าเชื่อถือ เพื่อส่งเสริมให้เกิดการแลกเปลี่ยนและพัฒนาเทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพสูงในการใช้พลังงานในระบบขนส่งสาธารณะ ทั้งนี้เพื่อให้ความสำคัญในการลดการใช้พลังงานที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและลดการปล่อยก๊าซโลกร้อน

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. สร้างความเข้าใจและเผยแพร่ความรู้เกี่ยวกับความสำคัญของการใช้พลังงานในรถบัสไฟฟ้าและยานยนต์ไฟฟ้าสมัยใหม่เพื่อส่งเสริมการเปลี่ยนสภาพระบบขนส่งสาธารณะเป็นระบบที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม
2. ศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับเทคโนโลยีที่ใช้พลังงานในรถบัสไฟฟ้าและยานยนต์ไฟฟ้าสมัยใหม่เพื่อให้เกิดการพัฒนาและปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพสูง

3. ส่งเสริมการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีที่ใช้พลังงานในรถบัสไฟฟ้าเพื่อให้เกิดนวัตกรรมที่สามารถลดการใช้พลังงานและความเสียหายต่อสิ่งแวดล้อมได้มากยิ่งขึ้น

4. สร้างพื้นที่ในการแลกเปลี่ยนความคิดเห็นและความรู้ร่วมกันระหว่างหน่วยงานต่าง ๆ ทั้งในระดับท้องถิ่นและระดับนานาชาติเพื่อส่งเสริมการพัฒนาเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องในอนาคต

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษารถบัสไฟฟ้าที่ใช้งานจริงในพื้นที่เมืองอัจฉริยะและสถาบันการศึกษา โดยเก็บข้อมูลการใช้พลังงาน การบำรุงรักษา อายุการใช้งานแบตเตอรี่ และค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน รวมถึงการเปรียบเทียบกับรถบัสแบบสันดาปภายในที่ใช้งานในเส้นทางและสภาพแวดล้อมเดียวกัน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- เพิ่มโอกาสในการใช้รถบัสไฟฟ้าและยานยนต์ไฟฟ้าสมัยใหม่ในระบบขนส่งสาธารณะ ซึ่งจะช่วยลดการใช้พลังงานที่นำไปสู่การปล่อยก๊าซโลกร้อนและมลพิษ

- ส่งเสริมให้เกิดนวัตกรรมในเทคโนโลยีการใช้พลังงานในยานยนต์ไฟฟ้า ซึ่งอาจส่งผลให้เกิดการพัฒนาและเสริมสร้างอุตสาหกรรมภายในประเทศที่ทันสมัยและน่าสนับสนุน

เสริมสร้างความรับผิดชอบทางสังคมและสิ่งแวดล้อมในกลุ่มประชาชนที่จะเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมการใช้พลังงานในการเดินทางให้เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

ความสำคัญและที่มาของปัญหาการศึกษาเรื่องการใช้พลังงานในรถบัสไฟฟ้าเพื่อการพัฒนายานยนต์ไฟฟ้าสมัยใหม่ในคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร เป็นเรื่องที่สำคัญในยุคที่ความสำคัญของการลดการใช้พลังงานและการบริหารจัดการสิ่งแวดล้อมสูงขึ้นกำลังเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้ยานยนต์ไฟฟ้ายังเป็นตัวเลือกที่น่าสนใจที่สุดสำหรับการขับเคลื่อนทางพลังงานในอนาคตที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด การที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนครสนับสนุนและศึกษาเกี่ยวกับเทคโนโลยีนี้เป็นสิ่งที่สำคัญในการตอบสนองความต้องการของสังคมและเกิดประโยชน์ในด้านต่าง ๆ ดังนี้:

1. ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก: รถบัสไฟฟ้าและยานยนต์ไฟฟ้าสมัยใหม่มีการใช้พลังงานที่มาจากแหล่งพลังงานที่สะอาดเช่น ไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน การใช้รถที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกน้อยนั้นสามารถช่วยลดสิ่งมีชีวิตบนโลกเป็นอย่างมาก

2. พัฒนาเทคโนโลยีสู่ความยั่งยืน: การศึกษาเรื่องการใช้พลังงานในรถบัสไฟฟ้าและยานยนต์ไฟฟ้าสมัยใหม่ทำให้มหาวิทยาลัยมีโอกาสในการพัฒนาและนำเสนอเทคโนโลยีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและที่ยั่งยืนกว่า การให้ความสำคัญในการวิจัยและนวัตกรรมนี้จะส่งเสริมความก้าวหน้าของเทคโนโลยีพลังงานทดแทนที่เหมาะสมกับรายละเอียดทางทฤษฎีและแนวคิดของมหาวิทยาลัย

3. สร้างโอกาสในการศึกษาและนำไปสู่การประกอบอาชีพ: การศึกษาเกี่ยวกับการใช้พลังงานในรถบัสไฟฟ้าและยานยนต์ไฟฟ้าสมัยใหม่เปิดโอกาสให้นักศึกษาเรียนรู้เกี่ยวกับเทคโนโลยีที่กำลังพัฒนาอยู่ และมีโอกาสในการศึกษาและประกอบอาชีพในด้านการพัฒนาและนวัตกรรมของพลังงานที่เกี่ยวข้องในอนาคต

4. ให้ความสำคัญในด้านสิ่งแวดล้อมและความเหมาะสมในการใช้ทรัพยากร: การศึกษาเรื่องการใช้พลังงานในรถบัสไฟฟ้าและยานยนต์ไฟฟ้าสมัยใหม่ช่วยเสริมสร้างการคิดและการตัดสินใจที่มีส่วนร่วมในการเลือกใช้พลังงานที่เหมาะสมกับสิ่งแวดล้อมและสร้างความตระหนักรู้ในผู้ที่เกี่ยวข้องในการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ในแบบธรรมชาติของเรา

5. ส่งเสริมให้เกิดนวัตกรรมในสถานศึกษา: การศึกษาเรื่องการใช้พลังงานในรถบัสไฟฟ้าและยานยนต์ไฟฟ้าสมัยใหม่ส่งเสริมให้เกิดการนวัตกรรมในสถานศึกษาด้านที่เกี่ยวข้อง อาจเป็นการสร้างโครงการวิจัยหรือการทดสอบและใช้สถานที่ในมหาวิทยาลัยเพื่อพัฒนาและทดสอบเทคโนโลยีในสภาพแวดล้อมที่ปลอดภัยและทันสมัย

การศึกษาเรื่องการใช้พลังงานในรถบัสไฟฟ้าและยานยนต์ไฟฟ้าสมัยใหม่ในคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนครเป็นเรื่องที่สำคัญในการส่งเสริมความเข้าใจและการบูรณาการในหลายด้าน อย่างไรก็ตาม ความสำคัญในการศึกษาและวิจัยเหตุผลที่นำมาให้ความสำคัญในการศึกษาเกี่ยวกับการใช้พลังงานในยานยนต์ไฟฟ้ายังคงเป็นที่แน่นอน ซึ่งจำเป็นต้องมีการส่งเสริมและสนับสนุนในระยะยาวในอนาคตเพื่อให้เกิดผลกระทบที่เป็นสิ่งที่ดีต่อสิ่งแวดล้อมและสังคมโลก

1.5 สมมติฐานของการวิจัย

1. เพื่อเสริมสร้างความรู้และความเข้าใจในการใช้พลังงานในรถบัสไฟฟ้า: โดยศึกษาและทำความรู้จักกับเทคโนโลยีที่ใช้พลังงานในรถบัสไฟฟ้า นักศึกษาจะเสริมสร้างความรู้และความเข้าใจในกระบวนการการทำงานของระบบไฟฟ้าและการใช้พลังงานในการขับเคลื่อนรถบัสไฟฟ้าที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด

2. ส่งเสริมให้เกิดนวัตกรรมและการพัฒนาเทคโนโลยีในสถานศึกษา: การศึกษาการใช้พลังงานในรถบัสไฟฟ้าจะส่งเสริมให้นักศึกษามีโอกาสในการพัฒนาและทดสอบเทคโนโลยีใหม่ที่เกี่ยวข้องกับระบบขับเคลื่อนทางพลังงานที่สะอาดและมีประสิทธิภาพสูง นอกจากนี้ยังเปิดโอกาสให้นักศึกษาได้นำเสนอและเผยแพร่นวัตกรรมดังกล่าวที่มีศักยภาพในการเสริมสร้างอุตสาหกรรมพลังงานที่ยั่งยืน

3. สร้างโอกาสในการศึกษาและนำไปสู่การประกอบอาชีพ: การศึกษาเกี่ยวกับการใช้พลังงานในรถบัสไฟฟ้าและยานยนต์ไฟฟ้าสมัยใหม่ช่วยสร้างโอกาสให้นักศึกษามีความรู้และทักษะในการพัฒนาและประยุกต์เทคโนโลยีพลังงานที่เหมาะสมกับสถานะต้องการของตลาดและอุตสาหกรรม นอกจากนี้ยังเปิดโอกาสในการร่วมงานกับอุตสาหกรรมหรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในอนาคต

4. สร้างความตระหนักรู้ในกลุ่มประชาชนในมหาวิทยาลัย: การศึกษาเกี่ยวกับการใช้พลังงานในรถบัสไฟฟ้าและยานยนต์ไฟฟ้าสมัยใหม่ส่งเสริมความตระหนักรู้ในกลุ่มประชาชนในมหาวิทยาลัยเกี่ยวกับความสำคัญของการลดการใช้พลังงานและการประหยัดพลังงานในชีวิตประจำวัน นอกจากนี้ยังช่วยสร้างการรับรู้ในกลุ่มประชาชนว่าการใช้รถบัสไฟฟ้าและยานยนต์ไฟฟ้าเป็นทางเลือกที่มีประโยชน์สู่สิ่งแวดล้อมและสังคม

5. ส่งเสริมการคิดและการตัดสินใจที่เกี่ยวข้องในการเลือกใช้พลังงานที่มีประสิทธิภาพสูง: การศึกษาเกี่ยวกับการใช้พลังงานในรถบัสไฟฟ้าและยานยนต์ไฟฟ้าสมัยใหม่ช่วยส่งเสริมการคิดและการตัดสินใจในการเลือกใช้พลังงานที่เหมาะสมกับสิ่งแวดล้อมและมีประสิทธิภาพสูง นักศึกษาจะมีส่วนร่วมในการสนับสนุนและส่งเสริมแนวคิดที่เป็นประโยชน์ในการใช้พลังงานที่เหมาะสมกับสิ่งแวดล้อมเมื่อเริ่มต้นเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมการใช้พลังงานในชีวิตประจำวัน

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

การพัฒนาของยานยนต์ไฟฟ้าในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา ได้กลายเป็นหนึ่งในประเด็นสำคัญที่ได้รับความสนใจจากทั้งภาครัฐและภาคเอกชนทั่วโลก เนื่องจากความตระหนักด้านสิ่งแวดล้อมที่เพิ่มสูงขึ้นและข้อจำกัดด้านการใช้พลังงานฟอสซิล ยานยนต์ไฟฟ้าโดยเฉพาะรถบัสไฟฟ้าถูกมองว่าเป็นกุญแจสำคัญในการเปลี่ยนผ่านสู่ระบบขนส่งที่ยั่งยืนและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม การศึกษานี้มีหัวข้อว่า **“การศึกษาการใช้พลังงานในรถบัสไฟฟ้าเพื่อการพัฒนายานยนต์ไฟฟ้าสมัยใหม่” (An Education on Energy Consumption in Electric Buses for the Advancement of the New Era of Electric Vehicles)** ซึ่งมีวัตถุประสงค์หลักในการสร้างองค์ความรู้และความเข้าใจที่ลึกซึ้งเกี่ยวกับพฤติกรรมการใช้พลังงานของรถบัสไฟฟ้า เพื่อสนับสนุนการพัฒนาทางเทคโนโลยีและนโยบายที่เกี่ยวข้อง ในบทที่ 2 ของวิจัยฉบับนี้นี้มีความสำคัญอย่างยิ่งในฐานะการวางรากฐานทางทฤษฎีและการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่ออธิบายกรอบความคิดเชิงวิชาการที่ใช้เป็นพื้นฐานในการวิเคราะห์ในบทถัดไป เนื้อหาในบทนี้ได้ถูกจัดแบ่งอย่างเป็นระบบ โดยเริ่มจาก **ทฤษฎีการใช้พลังงานและการจัดการพลังงานในยาน**

2.2 ยานยนต์ไฟฟ้า (Electric Vehicles)

ยนต์ไฟฟ้า ซึ่งเป็นหัวข้อที่สำคัญ เนื่องจากยานยนต์ไฟฟ้ามีระบบการจัดการพลังงานที่ซับซ้อนและแตกต่างจากยานยนต์พลังงานเชื้อเพลิงแบบดั้งเดิม การทำความเข้าใจในส่วนนี้จะช่วยให้นักวิจัยสามารถระบุปัจจัยหลักที่มีผลต่อการสิ้นเปลืองพลังงานและประสิทธิภาพการทำงานของรถบัสไฟฟ้าได้อย่างถูกต้อง

ต่อมา เนื้อหาในหัวข้อ การประเมินประสิทธิภาพและการใช้พลังงาน จะอธิบายถึงเกณฑ์และวิธีการที่ใช้ในการวัดและประเมินสมรรถนะของรถบัสไฟฟ้า ทั้งในเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ เช่น วิธีการวัดการใช้พลังงานต่อหน่วยระยะทาง การวิเคราะห์แรงต้านทาน รวมถึงการเปรียบเทียบกับมาตรฐานอุตสาหกรรม เพื่อให้ได้ข้อมูลที่เชื่อถือได้และสามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์เชิงลึก

ในส่วนของ แนวคิดเมืองอัจฉริยะและบทบาทของรถบัสไฟฟ้า บทนี้จะกล่าวถึงบทบาทสำคัญของรถบัสไฟฟ้าในยุทธศาสตร์การพัฒนาเมืองสมัยใหม่ ที่เน้นความยั่งยืน การใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ และการลดมลพิษทางอากาศ ซึ่งเป็นเป้าหมายสำคัญของนโยบายระดับประเทศและระดับโลก การทำความเข้าใจในส่วนนี้จะช่วยเสริมสร้างมุมมองที่กว้างขึ้นต่อการบูรณาการเทคโนโลยียานยนต์ไฟฟ้าเข้ากับแผนการพัฒนาเมืองอัจฉริยะ

สุดท้ายในหัวข้อ งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง จะเป็นการรวบรวมและสรุปผลการศึกษาที่ผ่านมาทั้งในประเทศและต่างประเทศ เพื่อสร้างบริบทที่ชัดเจนเกี่ยวกับสถานะความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีและองค์ความรู้ที่มีอยู่แล้ว ซึ่งจะช่วยให้การออกแบบการทดสอบและการวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้มีความน่าเชื่อถือและมีจุดยืนที่มั่นคงในเชิงวิชาการ

ด้วยเหตุนี้ บทที่ 2 จึงเปรียบเสมือนรากฐานสำคัญที่เชื่อมโยงแนวคิดหลักของการศึกษานี้กับการปฏิบัติการจริง ตลอดจนการอภิปรายผลที่จะเกิดขึ้นในบทถัดไป เพื่อให้บรรลุเป้าหมายของงานวิจัยที่มุ่งเน้นการสร้างองค์ความรู้และการพัฒนาเทคโนโลยียานยนต์ไฟฟ้าในยุคสมัยใหม่อย่างมีประสิทธิภาพ

2.2 พื้นหลังทางประวัติศาสตร์ของยานยนต์ไฟฟ้า (Historical Background)

แม้ว่ายานยนต์ไฟฟ้า (Electric Vehicles: EVs) จะดูเหมือนเป็นสิ่งประดิษฐ์ที่เกิดขึ้นในยุคปัจจุบัน แต่ การปรากฏตัวครั้งแรกของยานยนต์ไฟฟ้าเกิดขึ้นตั้งแต่ช่วงทศวรรษ 1830 โดย Robert Anderson นักประดิษฐ์ชาวสก็อต มักได้รับการยกย่องว่าเป็นผู้ริเริ่มแนวคิด รถลากไฟฟ้าในรูปแบบหยาบๆ ในช่วงระหว่างปี 1832 ถึง 1839 ในเชิงของยานยนต์ (automotive vehicles) Andreas Flocken ได้รับเครดิตว่าเป็นผู้ประดิษฐ์ รถยนต์ไฟฟ้าคันแรกของโลก ด้วยผลงาน Flocken Elektrowagen ในปี 1888 ที่เมือง Coburg ประเทศเยอรมนี ยานพาหนะคันนี้สามารถทำความเร็วได้ถึง 15 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และยังติดตั้ง ไฟหน้าชนิดไฟฟ้า อีกด้วย

สำหรับในสหรัฐอเมริกา William Morrison นักเคมีจากรัฐไอโอวา ถือเป็นผู้ประสบความสำเร็จคนแรกในการพัฒนารถยนต์ไฟฟ้า โดยในปี 1890 เขาได้ประดิษฐ์รถที่สามารถเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 22 กิโลเมตรต่อชั่วโมง (ประมาณ 14 ไมล์ต่อชั่วโมง) สิ่งประดิษฐ์ของเขาจุดประกายความสนใจด้านเทคโนโลยีนี้ในสหรัฐฯ และทำให้ผู้ผลิตหลายรายเริ่มผลิต รุ่นของรถยนต์ไฟฟ้า ตั้งแต่ช่วงปลายศตวรรษที่ 19 เป็นต้นมา

การพัฒนาเหล่านี้ ขจัดความจำเป็นในการใช้ม้าเป็นแรงขับเคลื่อนหลักของรถลาก และกลายเป็น พื้นฐานของยานยนต์สมัยใหม่ ไม่เพียงแต่สำหรับ EV เท่านั้น แต่ครอบคลุมถึงแนวคิดรถยนต์ทั้งหมดในปัจจุบัน ในศตวรรษถัดมา มีนักประดิษฐ์และวิศวกรจำนวนมากที่ต่อยอดแนวคิดของ Anderson และพัฒนาให้ก้าวหน้าไปอีกขั้น ตัวอย่างเช่น ในปี 1881 Gustave Trouvé นักประดิษฐ์ชาวฝรั่งเศส ได้ปรับปรุงมอเตอร์ไฟฟ้าของ Siemens และติดตั้งเข้ากับ รถสามล้อ สร้างเป็น ยานพาหนะไฟฟ้าสำหรับบรรทุกคนคันแรกของโลก

ต่อมา เขาได้ปรับต้นแบบนี้ให้เหมาะสมกับการใช้งานทางน้ำ และได้ทำการทดสอบ ในแม่น้ำแซน (River Seine) โดยประสบความสำเร็จในการทำความเร็วได้ระหว่าง 3.6 ถึง 9 กิโลเมตรต่อชั่วโมง (ขึ้นอยู่กับทิศทางการเคลื่อนที่) ในด้านยานยนต์ (automotive vehicles) Andreas Flocken มักได้รับการยกย่องว่าเป็นผู้ประดิษฐ์รถยนต์ไฟฟ้าคันแรกของโลก ด้วยผลงาน Flocken Elektrowagen ในปี 1888 ที่เมืองโคเบิร์ก (Coburg) ประเทศเยอรมนี รถคันนี้สามารถทำความเร็วได้ถึง 15 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และยังติดตั้ง ไฟหน้าชนิดไฟฟ้า อีกด้วย

William Morrison นักเคมีจากรัฐไอโอวา (Iowa) สหรัฐอเมริกา ถือเป็นบุคคลแรกในสหรัฐฯ ที่ประสบความสำเร็จในการพัฒนารถยนต์ไฟฟ้า โดยในปี 1890 เขาได้ประดิษฐ์รถยนต์ไฟฟ้าที่สามารถเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 22 กิโลเมตรต่อชั่วโมง (ประมาณ 14 ไมล์ต่อชั่วโมง) สิ่งประดิษฐ์ของเขาได้ จุดประกายความสนใจในเทคโนโลยีนี้ในสหรัฐอเมริกา และทำให้ผู้ผลิตหลายรายเริ่มผลิต รุ่นของรถยนต์ไฟฟ้า ตั้งแต่ช่วงปลายศตวรรษที่ 19 เป็นต้นมา

2.3 การเสื่อมความนิยมของยานยนต์ไฟฟ้าในยุคแรก (The Downfall)

แม้ว่ารถยนต์ไฟฟ้าจะได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นในช่วงต้นศตวรรษที่ 20 แต่เหตุใดเราจึงเพิ่งได้เห็นเทคโนโลยี "ใหม่" ของรถยนต์ไฟฟ้าในยุคนี้ คำตอบหลักๆ อยู่ที่ เรื่องของจังหวะเวลา (timing) สิ่งสำคัญคือ การเติบโตของเทคโนโลยีนี้เกิดขึ้น ตรงกับจุดเปลี่ยนสำคัญในประวัติศาสตร์ยานยนต์ ในเวลานั้น ผู้คนส่วนใหญ่ยังใช้รถลากม้าที่ขับเคลื่อนด้วยแรงม้า และยานยนต์แบบอัตโนมัติเพิ่งเริ่มได้รับการพิจารณาให้เป็น ทรัพย์สินส่วนบุคคล ด้วยเหตุนี้ เทคโนโลยียานยนต์จึงถูกยอมรับได้หลายรูปแบบ ทั้ง รถยนต์ไฟฟ้า รถยนต์ไอน้ำ และรถยนต์ใช้น้ำมันเบนซิน

แม้ว่ารถยนต์ไฟฟ้าจะมีข้อดีหลายประการ เช่น ราคาที่ไม่แพง และ เครื่องยนต์ที่ทำงานเงียบ ยานพาหนะราคาประหยัดและเงียบเหล่านี้ถือว่าเหมาะอย่างยิ่งสำหรับ ผู้มีฐานะทางสังคม (socialites) ที่ต้องการเดินทางภายในเมืองด้วย พาหนะ "ไฮเทค" อย่างไรก็ตาม ในช่วงต้นคริสต์ทศวรรษ 1900 มีการขยายตัวของเครือข่ายถนนระหว่างเมืองและระหว่างรัฐ เพื่อรองรับการเดินทางระยะไกลมากขึ้น ซึ่ง รถยนต์ไฟฟ้าในยุคนั้นไม่สามารถตอบสนองความต้องการนี้ได้

นอกจากนี้ เทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้ายังเผชิญกับการถดถอยครั้งใหญ่เมื่อ Ford Model T อันโด่งดังเปิดตัวสู่ตลาดในปี 1908 รถยนต์รุ่นนี้เป็นยานยนต์ที่มีราคา ย่อมเยาอย่างยิ่ง เพียง 650 ดอลลาร์ ซึ่งถือเป็น ทางเลือกที่ไม่ต้องคิดมาก (no-brainer) สำหรับผู้บริโภคในยุคนั้น เมื่อกล่าวถึง ทางเลือกในการซื้อ รถยนต์ไฟฟ้าในยุคนั้นจึงเป็นตัวเลือกที่คุ้มค่าอย่างยิ่ง เนื่องจาก รถยนต์ประเภทอื่นมีราคาสูงกว่าเกินสองเท่า ภายในช่วง ทศวรรษ 1930 รถยนต์ไฟฟ้า แทบจะหายไปจากท้องถนน ซึ่งครั้งหนึ่งเคยมีใช้งานกันอย่างแพร่หลาย



รูปที่ 2.1 Henry Ford ผู้ก่อตั้งบริษัทฟอร์ดมอเตอร์ (Ford Motor Co.)
หรือรถยนต์ฟอร์ด กับรถยนต์ Ford Model T ณ เมืองบัฟฟาโล
มหานครนิวยอร์ก ประเทศสหรัฐอเมริกา ปีค.ศ. 1921

2.4 การฟื้นตัวของยานยนต์ไฟฟ้า (The Resurgence)

หลังจากเวลาผ่านไปกว่า 30 ปี ยานยนต์ไฟฟ้าจึงกลับมาได้รับความสนใจอีกครั้ง เมื่อ การขาดแคลนน้ำมันเชื้อเพลิง และ วิกฤตพลังงาน ในช่วงทศวรรษ 1960 และ 1970 จุดประกาย ความสนใจใหม่ต่อรูปแบบการคมนาคมทางเลือก อย่างไรก็ตาม จังหวะเวลา (timing) ยังคงเป็นอุปสรรคสำคัญ แม้ว่าสถานการณ์พลังงานในขณะนั้นจะเรียกร้อง แหล่งเชื้อเพลิงทางเลือก แต่ เทคโนโลยีในการขับเคลื่อนรถยนต์ไฟฟ้ายังคงไม่พร้อม หลายบริษัทพยายามออกแบบรถยนต์ไฟฟ้าที่ใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ แต่ น้อยมากที่จะเข้าสู่การผลิตในระดับอุตสาหกรรม รถยนต์ไฟฟ้าในยุคนั้นสามารถทำความเร็วได้ประมาณ 70 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และมีระยะทางเฉลี่ยก่อนชาร์จเพียง 70 กิโลเมตร โดย การขับได้ประมาณหนึ่งชั่วโมง ไม่คุ้มค่าเพียงพอสำหรับหลายคน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อ เวลาการเดินทาง (commuting times) ของประชาชนเพิ่มขึ้น เนื่องจากการขยายตัวของ ย่านที่อยู่อาศัยชานเมือง (suburban neighborhoods)



รูปที่ 2.2 รถยนต์ไฟฟ้าคันแรกของโลก ที่มีชื่อว่า Flocken Elektrowagen ประดิษฐ์โดย Andreas Flocken นักประดิษฐ์ชาวเยอรมัน ในปี ค.ศ. 1888 ให้กำลัง 0.9 กิโลวัตต์ (1 แรงม้า) วิ่งได้ด้วยความเร็วสูงสุด 15 กม./ชม. บนน้ำหนักตัวรถ 400 กิโลกรัม

2.5 การผลักดันรถไฟฟ้าไปข้างหน้า (The Push Forward)

ช่วง ทศวรรษ 1990 เป็นอีกช่วงเวลาที่เราได้เห็น การฟื้นตัวของความสนใจในยานยนต์ไฟฟ้า อีกครั้ง แต่คราวนี้ จังหวะเวลา (timing) ดูเหมือนจะ สอดคล้องและเหมาะสมมากกว่าเดิม ในทศวรรษ 1990 สังคมโดยทั่วไป มี ความตระหนักรู้ในเรื่องการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (climate change) เพิ่มมากขึ้น ผู้ผลิตยานยนต์หลายราย เช่น Ford, Chrysler, Honda, Nissan และ Toyota มองเห็นความจำเป็นในการตอบสนองต่อกระแสความตระหนักรู้นี้ โดย ปรับปรุงเทคโนโลยีของตนให้มีประสิทธิภาพการใช้เชื้อเพลิงมากขึ้น และ ลดการปล่อยมลพิษ ตัวอย่างสำคัญที่แสดงถึง การเปลี่ยนแปลงแนวคิดในอุตสาหกรรม คือการเปิดตัว Toyota Prius ในช่วงปลายทศวรรษ 1990 ซึ่ง Prius กลายเป็น สินค้าขายดีทันที และเป็นทั้ง ถ้อยแถลงทางการเมือง (political statement) และ สัญลักษณ์ทางวัฒนธรรมร่วมสมัย (pop culture icon) ของ ขบวนการสีเขียว (green movement)

อย่างไรก็ตาม ไม่ได้หมายความว่ารถยนต์ไฟฟ้าทุกรุ่นจะประสบความสำเร็จในทันที แม้ว่า Toyota Prius จะทำผลงานได้ดีในฐานะ รถยนต์ไฟฟ้าแบบไฮบริด (hybrid electric vehicle) แต่รุ่นอย่าง GM EV1 แม้จะถูกผลิตในระดับอุตสาหกรรม (mass-produced) ก็ ไม่สามารถสร้างผลกำไรได้

รถยนต์ไฟฟ้าแบตเตอรี่ (Battery-Powered EV) ที่ผลิตในเชิงอุตสาหกรรมเป็นครั้งแรก ถูกออกแบบขึ้นเพื่อตอบสนองต่อ กฎระเบียบของรัฐแคลิฟอร์เนีย ซึ่งกำหนดให้ผู้ผลิตต้อง ผลิตยานยนต์ที่ปล่อยมลพิษเป็นศูนย์ (emissions-free vehicles) ในสัดส่วนหนึ่ง หากต้องการทำการตลาดภายในรัฐ อย่างไรก็ตาม ความต้องการสำหรับรถยนต์ที่มี ระยะทางวิ่งสั้น (ประมาณ 100 ไมล์ หรือ 160 กิโลเมตร) และความจุผู้โดยสารเพียงสองคน ไม่ได้ตอบโจทย์ตลาดในวงกว้าง

ในช่วงต้นทศวรรษ 2000 GM ยุติโครงการ EV1 เนื่องจาก ต้นทุนการพัฒนา (development costs) สูงมากจนเกินกว่าผลประโยชน์ที่จะได้รับ แม้จะมี อุปสรรคเล็กน้อยในช่วงแรก แต่ ทศวรรษ 2000 แสดงให้เห็นชัดเจนว่า ยานยนต์ไฟฟ้าจะยังคงอยู่ต่อไป โดยในปี 2006 Tesla ได้เข้าสู่อุตสาหกรรมยานยนต์ และประกาศเจตนารมณ์ที่จะเปิดตัว รถสปอร์ตไฟฟ้าหรู ที่มี ระยะทางวิ่งไกลขึ้น ทำให้ผู้ผลิตรายอื่นเริ่ม จับตามองและแข่งขันกันอย่างจริงจัง ตั้งแต่ช่วงต้นทศวรรษ 2000 จนถึง ปัจจุบันในปี 2021 เราได้เห็น การแข่งขันที่รุนแรงขึ้น เมื่อมี รุ่น EV ใหม่ๆ ออกสู่ตลาดทุกปี เทคโนโลยีแบตเตอรี่ที่พัฒนาขึ้นทำให้รถมี น้ำหนักเบา, ประสิทธิภาพการใช้แบตเตอรี่สูงขึ้น, และต้นทุนลดลง ในทางกลับกัน การยอมรับของประชาชนต่อยานยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงทางเลือกก็เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง

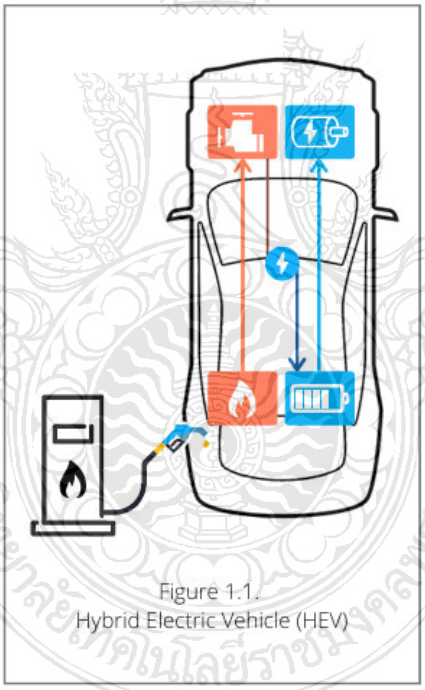
ในปี 2020 ยอดขายยานยนต์ไฟฟ้าทั่วโลก เพิ่มขึ้น 39% เป็น 3.1 ล้านคัน แม้ว่า ตลาดรถยนต์นั่งโดยสารทั้งหมด (รวมถึงรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายในแบบดั้งเดิม) จะ หดตัวลง 14% อันเป็นผลจาก การระบาดใหญ่ของ COVID-19 นอกจากนี้ กฎหมายและนโยบายที่สนับสนุน EV ก็มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น หลายรัฐได้ประกาศ แผนการยกเลิกการขายรถยนต์ใหม่ที่ขับเคลื่อนด้วยเครื่องยนต์สันดาปภายใน ภายใน หนึ่งถึงสองทศวรรษข้างหน้า ผู้ผลิตรถยนต์หลายราย ตอบสนองด้วยการประกาศเป้าหมายที่จะเปลี่ยนไลน์การผลิตไปเป็นรถยนต์ไฟฟ้าเต็มรูปแบบภายในระยะเวลาที่กำหนด

2.6 ประเภทของยานยนต์ไฟฟ้า (Types of Electric Vehicles)

ยานยนต์ไฟฟ้า (Electric Vehicles: EVs) กลายเป็นหัวข้อข่าวที่พบเห็นได้ทั่วไปในปัจจุบัน อย่างไรก็ตาม คำว่า “ยานยนต์ไฟฟ้า” นั้นเป็น คำศัพท์เชิงครอบคลุม (umbrella term) ซึ่งในความเป็นจริง EV ทั้งหมดไม่ได้หมายความว่าเป็นยานยนต์ที่ปล่อยมลพิษเป็นศูนย์ (no-emissions vehicles) เสมอไป ยานยนต์ไฟฟ้า บางประเภทยังคงใช้เครื่องยนต์สันดาปภายในแบบดั้งเดิม (traditional combustion engine) ร่วมกับ มอเตอร์ไฟฟ้าที่ขับเคลื่อนด้วยแบตเตอรี่ อีกทั้งยังสามารถ ผลิตกระแสไฟฟ้าได้เองโดยไม่จำเป็นต้องเสียบปลั๊กเข้ากับสถานีชาร์จไฟ (charge station)

2.6.1 ยานยนต์ไฟฟ้าแบบไฮบริด (Hybrid Electric Vehicle: HEV)

Toyota Prius ถือเป็นตัวอย่างที่มีชื่อเสียงที่สุดของยานยนต์ไฟฟ้าประเภทนี้ โดย HEV ใช้ เครื่องยนต์สันดาปภายใน (Internal Combustion Engine: ICE) ร่วมกับระบบขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้า (electric propulsion) ซึ่งหมายความว่า เครื่องยนต์สันดาปภายในจะทำหน้าที่ชาร์จแบตเตอรี่ เพื่อจ่ายพลังงานให้กับมอเตอร์ไฟฟ้า



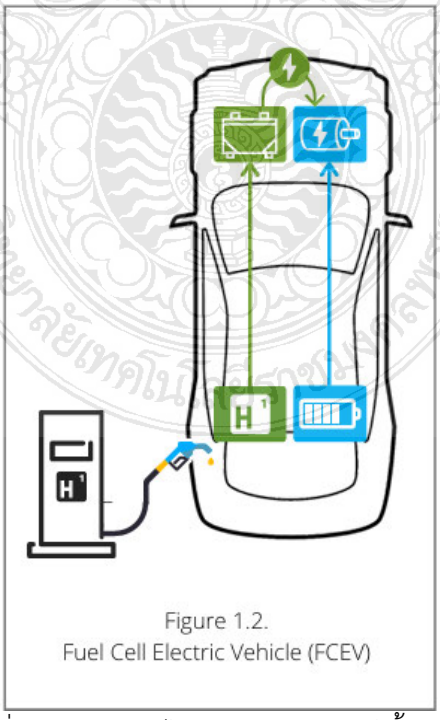
รูปที่ 2.3 ยานยนต์ไฟฟ้าแบบไฮบริด

แม้ว่า HEV จะยังคงต้องใช้เชื้อเพลิงในการขับเคลื่อน แต่ก็มี ประสิทธิภาพการประหยัดเชื้อเพลิง (fuel economy) สูงกว่า และ ปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (carbon emissions) น้อยกว่า ยานยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายในแบบดั้งเดิม (traditional ICE vehicles) อย่างชัดเจน ข้อจำกัดของ HEV คือ น้ำหนักที่มากขึ้น เนื่องจากมี จำนวนชิ้นส่วนและระบบที่ซับซ้อนกว่า รวมถึง ราคาที่สูงกว่า โดยเฉลี่ย HEV มีต้นทุนสูงกว่ารถยนต์ ICE หลายพันดอลลาร์

เนื่องจากจำนวนส่วนประกอบที่มากขึ้น อย่างไรก็ตาม ต้นทุนส่วนเกินนี้มักสามารถชดเชยได้ ด้วย เงินอุดหนุนจากภาครัฐ (governmental subsidies)

2.6.2 ยานยนต์ไฟฟ้าพลังงานเซลล์เชื้อเพลิง (Fuel Cell Electric Vehicle: FCEV)

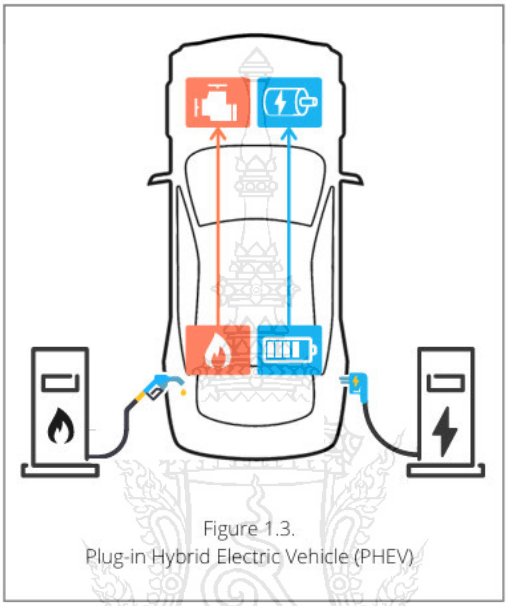
FCEV ใช้ เซลล์เชื้อเพลิง (fuel cells) เพื่อ ผสานไฮโดรเจนและออกซิเจน ทำให้เกิด กระแสไฟฟ้า ซึ่งใช้ในการขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้า แบตเตอรี่ในระบบยังทำหน้าที่เก็บพลังงานจากการเบรก (braking energy) โดยสงวนพลังงานส่วนเกินเพื่อช่วยทำให้การจ่ายไฟจากเซลล์เชื้อเพลิง มีความเรียบและคงที่มากขึ้น สิ่งที่เป็น คุณสมบัติเด่นของ FCEV คือ การปล่อยมลพิษเพียงอย่างเดียวคือไอน้ำ (water vapor) และอากาศอุ่น (warm air) จึงเป็นยานยนต์ที่มีการปล่อยมลพิษในระดับต่ำมาก อย่างไรก็ตาม ข้อจำกัดสำคัญ ของ FCEV คือ ต้นทุนที่สูงกว่า ยานยนต์ประเภทอื่นๆ และ ความยุ่งยากในการเติมเชื้อเพลิง (refueling) ณ เดือน มกราคม 2021 มี สถานีเติมเชื้อเพลิงไฮโดรเจนเพียง 45 แห่ง ในสหรัฐอเมริกา โดย 43 แห่ง ตั้งอยู่ในรัฐ แคลิฟอร์เนีย อย่างไรก็ตาม ด้วยจำนวน FCEV ประมาณ 8,000 คัน ที่มีอยู่ในรัฐเดียว ทำให้หลายคนเกิด ความตื่นตระหนก เมื่อไฮโดรเจนเริ่มขาดแคลนในช่วงต้นปี ผู้ผลิตยานยนต์กำลัง พยายามอย่างมาก เพื่อชดเชยข้อจำกัดเหล่านี้ โดย ดึงดูดผู้ซื้อด้วยส่วนลดที่น่าสนใจ (lucrative discounts) รวมถึง ข้อเสนอพิเศษด้านค่าบำรุงรักษาและค่าพลังงานเชื้อเพลิง ทั้งนี้ เมื่อรวมกับ สิ่งจูงใจจากรัฐบาลกลางและรัฐ (federal and state incentives) สำหรับการซื้อ FCEV ผู้ขับขี่จึงสามารถ เพลิดเพลินกับราคาสุทธิที่ต่ำเป็นพิเศษ หาก ปัญหาการขาดแคลนไฮโดรเจน (hydrogen shortage) สามารถแก้ไขได้สำเร็จ FCEV ก็อาจกลายเป็น ทางเลือกที่เหมาะสมอย่างยิ่ง สำหรับผู้ขับขี่ในรัฐ แคลิฟอร์เนีย



รูปที่ 2.3 ยานยนต์ไฟฟ้าพลังงานเซลล์เชื้อเพลิง

2.6.3 ยานยนต์ไฟฟ้าแบบปลั๊กอินไฮบริด (Plug-in Hybrid Electric Vehicle: PHEV)

ตามชื่อของมัน PHEV สามารถ เสียบปลั๊กเพื่อชาร์จไฟฟ้า และ ขับเคลื่อนหลักด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า อย่างไรก็ตาม ยังคงใช้เชื้อเพลิง (เช่น เบนซินหรือดีเซล) เพื่อจ่ายพลังงานให้กับ เครื่องยนต์สันดาปภายใน (combustion engine) โดยเครื่องยนต์สันดาปนี้จะถูก พิจารณาว่าเป็นระบบสำรอง (backup)



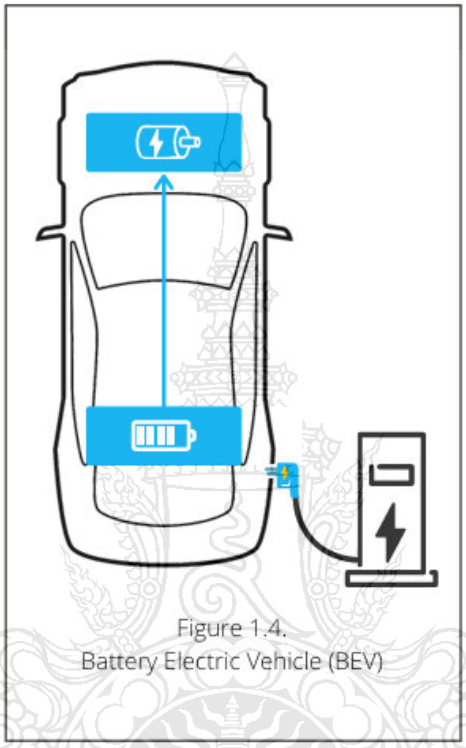
รูปที่ 2.4 ยานยนต์ไฟฟ้าแบบปลั๊กอินไฮบริด

ข้อจำกัดของ PHEV คือ ราคาที่มักจะสูงกว่ารถยนต์ประเภทอื่น และเนื่องจาก มีส่วนประกอบจำนวนมาก เช่นเดียวกับ HEV จึงมักมี น้ำหนักมากกว่า อย่างไรก็ตาม PHEV ก็มีข้อดีหลายประการ นอกจาก การบริโภคเชื้อเพลิงที่น้อยลง และ การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่น้อยลง ผู้ใช้ยัง ลดความกังวลเรื่องระยะทาง (range anxiety) ได้ (ซึ่งจะกล่าวถึงเพิ่มเติมในส่วนของ BEV) เนื่องจากมี แหล่งพลังงานสำรอง (backup power source) สำหรับกรณีที่แบตเตอรี่มีประจุไฟต่ำ PHEV จึงเป็น ทางเลือกที่ได้รับความนิยมในหมู่ผู้ใช้ยานยนต์ไฟฟ้า โดยมี รุ่นจำหน่ายมากกว่า 40 รุ่นในตลาด ส่วนใหญ่ จำหน่ายในประเทศจีน ตามด้วย สหรัฐอเมริกา และ สหราชอาณาจักร

2.6.4 ยานยนต์ไฟฟ้าแบบแบตเตอรี่ (Battery Electric Vehicle: BEV)

เมื่อพูดถึง ยานยนต์ไฟฟ้า (EV) ที่ปรากฏตามข่าวสาร BEV คือภาพจำแรกที่ผู้คนมักนึกถึง BEV ไม่มีเครื่องยนต์สันดาปภายใน (internal combustion engine) และ ขับเคลื่อนด้วยพลังงานไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว ยานพาหนะประเภทนี้ต้อง เสียบปลั๊กเข้ากับจุดชาร์จ (charge point) เพื่อชาร์จแบตเตอรี่

BEV เป็นยานยนต์ที่ ไม่มีการปล่อยมลพิษ (no emissions) และ ต้องการการบำรุงรักษาน้อย (low-maintenance) อย่างไรก็ตาม ก็ไม่ได้ปราศจากข้อจำกัด โดย การชาร์จแบตเตอรี่ต้องใช้เวลา และ ความกังวลเรื่องระยะทาง (range anxiety) อาจจำกัดระยะทางการขับขี่ อย่างไรก็ตาม ความนิยมโดยรวมของ BEV เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยในปี 2020 BEV คิดเป็นมากกว่า 2 ใน 3 ของการจดทะเบียน EV ใหม่ทั้งหมด



รูปที่ 2.5 ยานยนต์ไฟฟ้าแบบแบตเตอรี่

2.7 พื้นฐานการชาร์จยานยนต์ไฟฟ้า (Electric Vehicle Charging Basics)

เมื่อกล่าวถึง การชาร์จยานยนต์ไฟฟ้าแบบแบตเตอรี่ (Battery Electric Vehicles: BEVs) มักจะมี คำถามมากมายจากผู้ใช้งานที่สนใจ ในที่นี้เราจะ อธิบายพื้นฐานของการชาร์จ และ วิธีการทำงานของระบบการชาร์จ

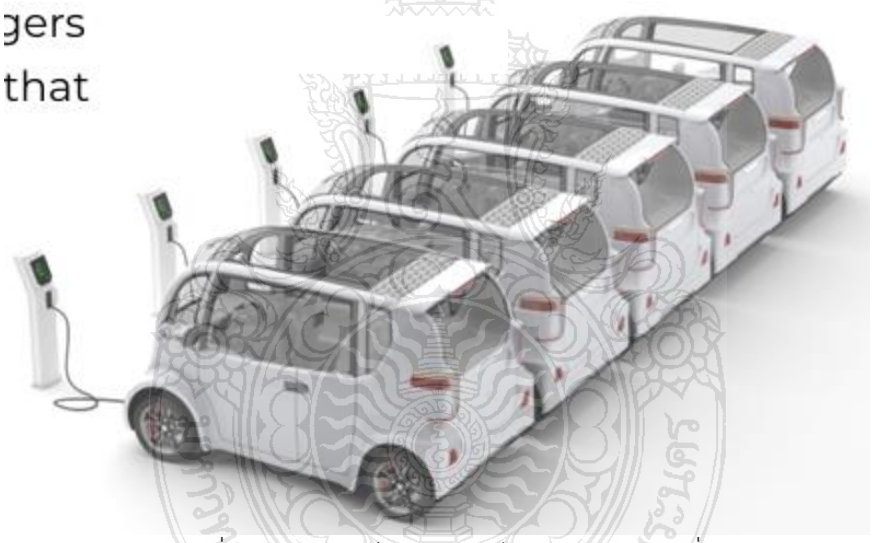
2.7.1 ประเภทของเครื่องชาร์จ (Types of Chargers)

เครื่องชาร์จสามารถ จำแนกประเภทได้ตามหัวปลั๊ก ที่ใช้ รวมถึง ตำแหน่งที่เกิดกระบวนการแปลงพลังงาน (power conversion) โดยรูปแบบการแปลงพลังงานหลักมี 2 ประเภท คือ การชาร์จไฟฟ้ากระแสสลับ (AC charging) และ การชาร์จไฟฟ้ากระแสตรง (DC charging)

AC ย่อมาจาก “Alternating Current” ซึ่งเป็นกระแสไฟฟ้าที่มาจาก โครงข่ายไฟฟ้า (grid) โดยธรรมชาติ อย่างไรก็ตาม พลังงานไฟฟ้าจาก AC ต้องถูกแปลงเป็น DC (Direct Current) เพื่อใช้ชาร์จแบตเตอรี่ ในกรณีของเครื่องชาร์จ AC กระบวนการแปลงไฟ เกิดขึ้นภายในตัวรถ ผ่าน อุปกรณ์แปลงไฟบนยานยนต์ (on-board converter) จากนั้น กระแสไฟ DC จะถูกส่งเข้าสู่แบตเตอรี่ ทำหน้าที่เป็น “เชื้อเพลิง” สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า

เครื่องชาร์จ AC มี ช่วงความต้องการกระแสไฟต่ำกว่า (ระหว่าง 16A ถึง 63A) ทำให้เหมาะสำหรับ เวลาการชาร์จที่นานกว่า 20 นาทีขึ้นไป อีกทั้ง เครื่องชาร์จ AC เป็นประเภทที่ได้รับความนิยมมากกว่า เนื่องจาก ต้นทุนการผลิตและติดตั้งต่ำกว่า รวมถึง ค่าใช้จ่ายในการชาร์จก็ต่ำกว่า

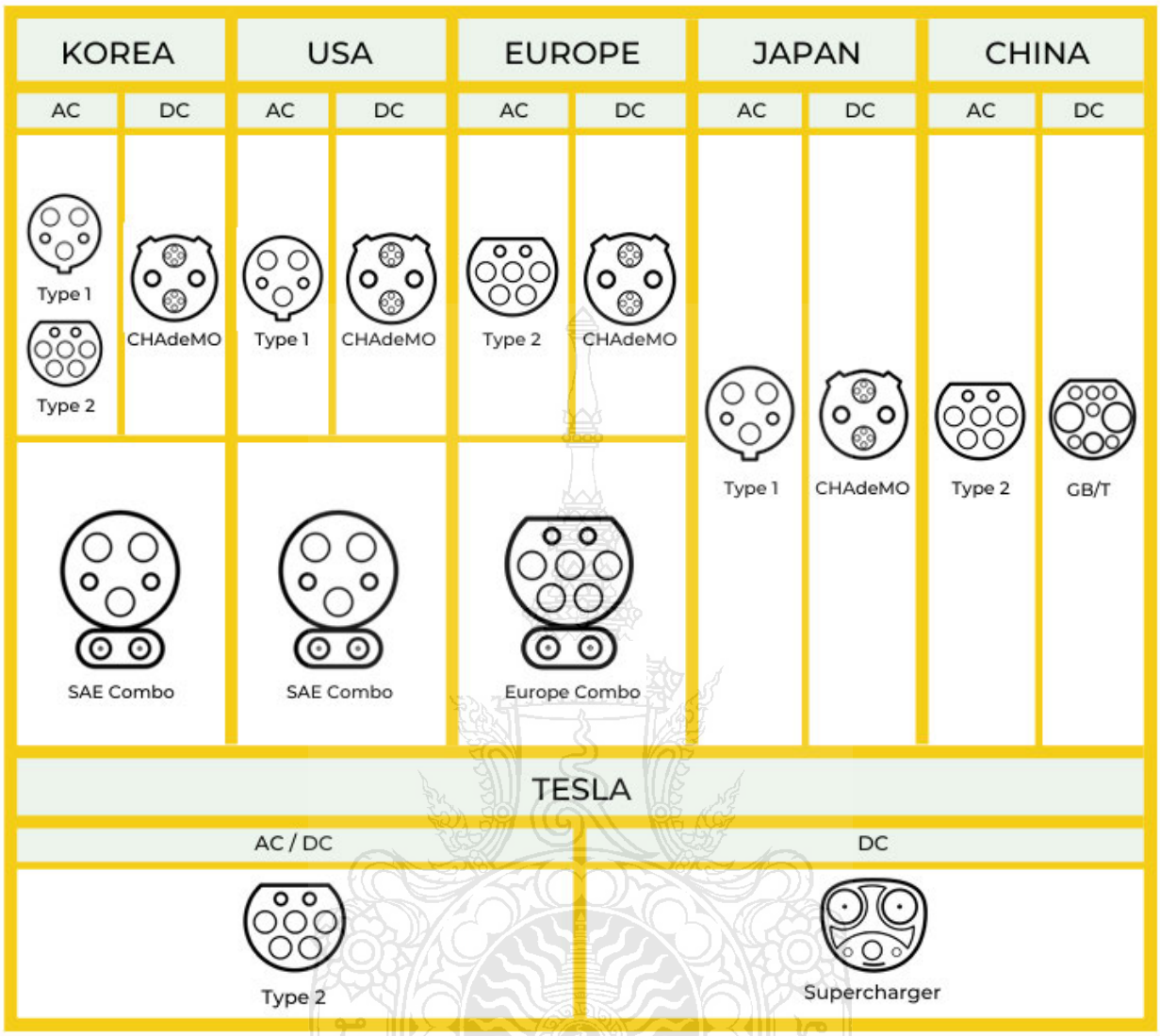
ในทางกลับกัน สำหรับ เครื่องชาร์จ DC อุปกรณ์แปลงไฟ (converter) จะถูกติดตั้ง ภายในตัวเครื่องชาร์จเอง ทำให้รถยนต์ได้รับ กระแสไฟ DC โดยตรง โดยไม่จำเป็นต้องแปลงไฟภายในยานยนต์อีก อย่างไรก็ตาม เครื่องชาร์จ DC ต้องการกำลังไฟฟ้ามากกว่า ส่งผลให้ ต้นทุนการผลิตและการติดตั้งสูงกว่า แต่ ข้อได้เปรียบสำคัญคือการชาร์จที่เร็วกว่าอย่างมาก ซึ่งเหมาะสำหรับ ผู้ขับขี่ที่ต้องการความรวดเร็วในการเดินทาง



รูปที่ 2.6 ยานยนต์ไฟฟ้าประจุไฟฟ้าลงแบตเตอรี่

2.7.2 ประเภทของหัวปลั๊ก (In terms of the types of plugs)

สำหรับ ยานยนต์ไฟฟ้า (electric vehicles) ประเภทของหัวปลั๊กที่ต้องใช้ อาจขึ้นอยู่กับ ผู้ผลิต (manufacturer) หรือ ภูมิภาค (region) ผู้ใช้สามารถ เพิ่มประสิทธิภาพในกิจวัตรการชาร์จของตน ได้ โดยตรวจสอบประเภทของเครื่องชาร์จที่มีให้บริการในพื้นที่ ซึ่งปัจจัยนี้ อาจส่งผลต่อประเภทของยานยนต์ที่ผู้ใช้ตัดสินใจเลือกซื้อ



รูปที่ 2.7 ประเภทของหัวปลั๊ก

แม้ว่าจำนวน เครื่องชาร์จ (chargers) จะเพิ่มขึ้น ทุกปี แต่ก็ยังคงมี ความไม่พอใจ (frustrations) ทั้งจาก ผู้ขับขี่ และ อุตสาหกรรม เกี่ยวกับ การขาดมาตรฐานสากล (lack of standardization) ถึงแม้ว่า ยังไม่มี มาตรฐานสากลที่ใช้ร่วมกันได้อย่างเป็นเอกภาพ (universal standard) ครอบคลุม ทุกประเทศและผู้ผลิต แต่ หลายประเทศก็กำลัง ดำเนินการในส่วนของตนเองเพื่อพยายามกำหนดมาตรฐานวิธีการชาร์จ (standardize charging methods) ตัวอย่างเช่น ประเทศเกาหลีใต้ (South Korea) ดูเหมือนว่าจะ มุ่งไปในทิศทางของการทำ มาตรฐานหัวชาร์จแบบ SAE Combo (SAE Combo charge plug)

2.7.3 ระยะเวลาในการชาร์จและระยะทางวิ่ง (Charging Time and Range)

ดังที่กล่าวไว้ในส่วนก่อนหน้า BEV (Battery Electric Vehicles) ใช้ ประเภทของเครื่องชาร์จที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับ ผู้ผลิต และ ภูมิภาค ในทำนองเดียวกัน ระยะเวลาที่ใช้ในการชาร์จเต็ม (full charge) ก็ขึ้นอยู่กับ ตัวรถยนต์ ประเภทของเครื่องชาร์จ หรือ วิธีการชาร์จที่เลือกใช้ ตัวอย่างเช่น การชาร์จ BEV รุ่นมาตรฐาน ที่ใช้แบตเตอรี่ขนาด 63 kWh โดยใช้ เครื่องชาร์จสำหรับที่อยู่อาศัย (residential charger) 240 V (ขึ้นอยู่กับกำลังไฟ kW) อาจใช้เวลาสูงสุด ถึง 15 ชั่วโมง เพื่อชาร์จได้ 80% ของความจุแบตเตอรี่ อย่างไรก็ตาม หากใช้ เครื่องชาร์จเชิงพาณิชย์ (commercial chargers) ซึ่งมีกำลังไฟสูงกว่า สามารถชาร์จได้ในเวลาต่ำกว่าหนึ่งชั่วโมง เพื่อให้ได้ระดับเดียวกัน อย่างไรก็ดี เรื่องนี้อาจดู น่ากังวล (daunting) สำหรับ ผู้ใช้รถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายใน (ICE vehicles) ที่คุ้นชินกับการเติมน้ำมันซึ่งใช้เวลาเพียง ไม่กี่นาที โชคดีที่ ผู้ใช้ EV ก็มี วิธีการชาร์จที่เปรียบเทียบได้ นั่นคือ DC Fast Chargers ซึ่งสามารถชาร์จได้ที่ กำลังไฟ 150–400 kW ทำให้สามารถ ชาร์จได้ 80% ภายใน 8–20 นาที

ผู้ขับขี่ที่เดินทางระยะไกลเป็นประจำ มักจะ ชาร์จรถยนต์ของตนสองถึงสามครั้งต่อสัปดาห์ อย่างไรก็ตาม ผู้ใช้ EV ส่วนใหญ่ มักนิยมใช้วิธี “เติมไฟฟ้าเป็นระยะ (top-up method)” โดยจะจอดรถในพื้นที่ที่มี โครงสร้างพื้นฐานการชาร์จ (charging infrastructure) พร้อมใช้งาน เมื่อผู้ใช้ทำธุระตามปกติในระหว่างวัน รถของพวกเขาก็จะ ชาร์จไฟได้มากที่สุดเท่าที่เวลาในช่วงนั้นจะเอื้ออำนวย

Range anxiety หมายถึง ความกังวลของผู้ใช้ EV ที่ กลัวว่ารถจะไม่มีประจุไฟฟ้าเพียงพอ สำหรับการเดินทางถึงจุดหมาย ทำให้ รถและผู้โดยสารอาจติดค้างกลางทาง ปัญหานี้ พบมากเป็นพิเศษในผู้ใช้ BEV เนื่องจาก สถานีชาร์จ (charge points) ในหลายพื้นที่ยัง มีจำนวนไม่เพียงพอหรืออยู่ห่างกันมาก การใช้ วิธีเติมไฟฟ้าเป็นระยะ ช่วยลดความวิตกกังวลเรื่องระยะทาง (range anxiety) ได้

อย่างไรก็ตาม ด้วยแนวโน้มความนิยมที่เพิ่มขึ้นของ BEV ผู้ผลิตและผู้ให้บริการสถานีชาร์จ ได้พยายามเพิ่มความพร้อมของโครงสร้างพื้นฐานการชาร์จ, พัฒนาเทคโนโลยีการเปลี่ยนแบตเตอรี่ที่สะดวกขึ้น (battery swapping technology) และ ขยายระยะทางวิ่งในรุ่นใหม่ของ BEV อย่างต่อเนื่อง

เป็นเรื่อง ยากที่จะระบุระยะทางที่แน่นอน ที่ BEV (Battery Electric Vehicle) สามารถวิ่งได้ต่อการชาร์จเต็มหนึ่งครั้ง เนื่องจาก แบตเตอรี่และเครื่องชาร์จแตกต่างกันตามผู้ผลิตและภูมิภาค อย่างไรก็ตาม ขึ้นอยู่กับรุ่นของยานยนต์ ปัจจุบัน EV ส่วนใหญ่สามารถวิ่งได้ ตั้งแต่ประมาณ 200 กิโลเมตร ถึง 500 กิโลเมตร ต่อการชาร์จเต็มหนึ่งครั้ง ตัวอย่างเช่น Tesla Model 3 LR สามารถวิ่งได้ถึง 560 กิโลเมตร ก่อนที่จะต้องชาร์จใหม่ ระยะทางนี้คาดว่าจะเพิ่มขึ้นต่อไป เนื่องจาก การวิจัยและพัฒนาแบตเตอรี่ EV มีความก้าวหน้าอย่างต่อเนื่อง

2.7.4 ค่าใช้จ่ายในการชาร์จ (Charging Costs)

ข้อดีหนึ่งที่ผู้ใช้ EV หลายคนกล่าวถึง คือ การประหยัดค่าใช้จ่ายในระยะยาว ที่เกี่ยวข้องกับการเป็นเจ้าของยานยนต์ไฟฟ้า แม้ว่าตัวรถยนต์ไฟฟ้าเอง อาจมีราคาสูงกว่า รถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายใน (ICE) แบบดั้งเดิมอยู่บ้าง แต่โดยภาพรวมมีฉันทามติว่า ยานยนต์ไฟฟ้า คุ้มค่ากว่าในระยะยาว เนื่องจาก ค่าใช้จ่ายในการชาร์จไฟฟ้าที่ต่ำกว่า ตามข้อมูลของ กระทรวงพลังงานสหรัฐฯ (U.S. Department of Energy) โดยสมมติว่า ค่าไฟฟ้าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.13 ดอลลาร์สหรัฐต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง (kWh) ซึ่งเป็น ค่าเฉลี่ยระดับประเทศ การชาร์จ EV ที่แบตเตอรี่หมดเกลี้ยง (fully-depleted) ขนาด 66 kWh จะมีค่าใช้จ่ายประมาณ 9 ดอลลาร์ เพื่อให้ได้ ประจุเต็ม 100% ในสหราชอาณาจักร อัตราค่าไฟฟ้าเฉลี่ยสำหรับครัวเรือนอยู่ที่ £0.14 (ประมาณ $0.20) ส่วนในสหภาพยุโรป อัตราเฉลี่ยอยู่ที่ €0.21 (ประมาณ $0.26) ดังนั้น ค่าใช้จ่ายในการชาร์จอาจแตกต่างกันไปตามภูมิภาค

นอกจากนี้ ด้วย การสนับสนุนและเงินอุดหนุนจากรัฐบาล (government support and subsidies) รวมถึง ค่าใช้จ่ายในการชาร์จไฟฟ้าที่ต่ำกว่าเมื่อเทียบกับการเติมน้ำมัน ทำให้ EV เป็น ทางเลือกที่มีประสิทธิภาพเชิงเศรษฐกิจมากกว่า เมื่อตัดสินใจซื้อรถในระยะยาว

2.8 ผู้เล่นหลักในอุตสาหกรรมยานยนต์ไฟฟ้า (Electric Vehicle Major Players)

ผู้ผลิตรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายใน (ICE) แบบดั้งเดิม ตลอดจน สตาร์ทอัพรายใหม่ๆ ต่างก็ กระโดดเข้ามาในตลาดยานยนต์ไฟฟ้า (EV) ด้วยกันทั้งสิ้น ด้วย รุ่นรถใหม่ๆ ที่เปิดตัวทุกปี สิ่งหนึ่งที่ชัดเจนคือ ยานยนต์ไฟฟ้าจะไม่หายไปจากตลาด นี่คือ ผู้เล่นรายใหญ่ บางส่วนใน อุตสาหกรรม EV

2.8.1 ฮุนได (Hyundai)

ผู้ผลิตสัญชาติเกาหลีใต้ Hyundai อยู่ในวงการ ยานยนต์ไฟฟ้า มาตั้งแต่ ทศวรรษ 1990 การเปิดตัว Ioniq ในปี 2016 เพื่อแข่งขันกับ Toyota Prius ถือว่า ประสบความสำเร็จอย่างมาก จนถึงขั้น เปิดตัวเป็นแบรนด์ไฟฟ้าโดยเฉพาะ ตั้งแต่ปี 2020 บริษัทเริ่มพัฒนารถครอสโอเวอร์ขนาดเล็กในช่วงกลางทศวรรษ 2010 โดย Kona (มีทั้งรุ่น HEV และ BEV) เปิดตัวในปี 2017 และกลายเป็น หนึ่งในรุ่น EV ที่ขายดีที่สุด นับตั้งแต่เปิดตัว ในช่วงกลางปี 2021 Hyundai ประกาศแผน ลงทุน 7.4 พันล้านดอลลาร์สหรัฐ ใน การผลิต EV, การพัฒนาโรงงานผลิต, และเทคโนโลยีสมาร์ทโมบิลิตี (smart mobility)



รูปที่ 2.8 รถยนต์ยี่ห้อ ฮุนได (Hyundai) Sub-Brands ใหม่ในชื่อ “IONIQ” (ไอโอนิก) เป็นรถในกลุ่มพรีเมียม

2.8.2 โฟล์คสวาเก้น (Volkswagen)

Volkswagen เป็น ผู้ผลิตยานยนต์สัญชาติเยอรมัน ที่ก่อตั้งขึ้นในปี 1937 โดยเป็นที่รู้จักกันดีในประวัติศาสตร์จาก รถโฟล์คเต่า (Beetle) และ VW Bus อันเป็นสัญลักษณ์ ในปัจจุบัน บริษัทได้ หันมาจับตลาดยานยนต์ไฟฟ้า (EV) ที่กำลังเติบโต ด้วย ไลน์รถยนต์ไฟฟ้า ID (electric ID line)

Volkswagen ระบุว่า ตั้งเป้ายอดขายยานยนต์สูงถึง 22 ล้านคันภายในสิ้นทศวรรษนี้ ซึ่งเป็นเรื่องที่น่าสนใจว่าจะบรรลุเป้าหมายดังกล่าวได้อย่างไร ภายใต้ กลยุทธ์การดำเนินงานรูปแบบใหม่ของบริษัท



รูปที่ 2.9 รถตู้ของ Volkswagen

2.8.3 เคีย (Kia)

ก่อตั้งขึ้นในปี 1944 Kia เป็น ผู้ผลิตยานยนต์ (OEM) รายใหญ่เป็นอันดับสองของเกาหลีใต้ โดย Hyundai ถือหุ้นส่วนน้อยในบริษัท ทั้งสองบริษัทนี้ถือครอง ส่วนแบ่งตลาด EV ระดับโลกเป็นอันดับที่ 4 (ณ มีนาคม 2020) Kia ได้ให้คำมั่นว่าจะ ลงทุนกว่า 10 ล้านล้านวอน (ประมาณ 8.98 พันล้านดอลลาร์สหรัฐ) ในเทคโนโลยี mobility แห่งอนาคต และตั้งเป้าจะ เปิดตัวรถ EV 11 รุ่นภายในปี 2026 พร้อมเป้าหมาย ยอดขาย 1.6 ล้านคันภายในปี 2030 บริษัทดูจะมุ่งหน้าไปตามแผนได้ดี โดยเฉพาะเมื่อพิจารณาจาก ยอดขายที่เติบโตของรุ่น Kia Niro และ XCeed PHEV



รูปที่ 2.10 รถยนต์ไฟฟ้ายี่ห้อ รุ่น Kia XCeed

2.8.4 เทสล่า (Tesla)

Tesla นับเป็นผู้เล่นหน้าใหม่ในอุตสาหกรรม โดยเข้าสู่วงการได้เพียง 15 ปี แต่ เวลาไม่ใช่ปัจจัยจำกัดความสำเร็จของบริษัท ผู้ผลิตยานยนต์ไฟฟ้า/เชื่อมต่อ (connected vehicle) รายนี้เป็น ผู้นำส่วนแบ่งตลาดในปี 2019 และรายงานในปี 2020 ว่ามีศักยภาพ ทำยอดขายได้ถึง 20 ล้านคันภายในปี 2030 รถยนต์ไฟฟ้าของ Tesla ได้กลายเป็น รุ่นโปรดของผู้บริโภครุ่นใหม่ ด้วย สมรรถนะการขับขี่และเทคโนโลยีอันล้ำสมัย สิ่งที่ Tesla ขาดในแง่มรดกด้านยานยนต์ (automotive legacy) บริษัทชดเชยได้ด้วย การขยายธุรกิจทั่วโลกอย่างรวดเร็ว Tesla ยังวางแผนสร้าง โรงงานใหม่ในเท็กซัสและเยอรมนี ซึ่งจะเปิดดำเนินการภายในปี 2022



รูปที่ 2.11 รถยนต์ไฟฟ้าเทสล่า (Tesla) Model 2

2.8.5 BYD

“Build Your Dreams (BYD) Auto” เป็น ผู้ผลิตยานยนต์สัญชาติจีน ที่มีสำนักงานใหญ่ใน เมืองซีอาน (Xi'an), ประเทศจีน บริษัทได้รับการสนับสนุนจาก Warren Buffett มหาเศรษฐีชาวสหรัฐฯ BYD เพิ่งประกาศว่าได้ส่งออกรถยนต์ล็อตแรกไปยังประเทศนอร์เวย์ ผู้ผลิตและสตาร์ทอัพยานยนต์ไฟฟ้าจีนกำลัง วางกลยุทธ์ทำการตลาดไปยังสหภาพยุโรป (EU) ซึ่งมี อัตราการยอมรับยานยนต์ไฟฟ้าที่เติบโตอย่างรวดเร็ว ใน นอร์เวย์ ยานยนต์ไฟฟ้าครองตลาดรถยนต์โดยสารใหม่ มาตั้งแต่ปี 2018



รูปที่ 2.12 รถยนต์ BYD Sealion 6

2.9 ยานยนต์ไฟฟ้าในรูปแบบบริการ (Electric Vehicles as-a-Service หรือ MaaS)

McKinsey รายงานเมื่อกลางปี 2020 ว่า ยอดขาย EV เพิ่มขึ้น 65% จากปี 2017 ถึง 2018 แต่เติบโตเพียง 9% ในปีถัดมา 2019 และใน ไตรมาสแรกของปี 2020 ยอดขาย EV ลดลงถึง 25% แม้บางส่วนจะอธิบายได้จาก การแพร่ระบาดของ COVID-19 ในระดับโลก แต่ก็ ปฏิเสธไม่ได้ว่า การเติบโตของการเป็นเจ้าของรถยนต์ส่วนบุคคล โดยรวมเริ่มชะลอตัวลง สิ่งนี้สะท้อนถึง แนวโน้มที่เพิ่มขึ้น ในหมู่ ผู้ขับขี่และผู้โดยสารรุ่นใหม่ ที่หันมา ใช้บริการการเดินทาง (mobility services) และการสมัครสมาชิก (subscriptions) แทนที่จะ ซื้อรถยนต์ส่วนบุคคล แนวคิด Mobility-as-a-Service (MaaS) ไม่ใช่เรื่องใหม่ แต่เมื่อ แนวโน้มการคมนาคมเคลื่อนตัวออกจากรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายใน (ICE vehicle) มากขึ้น บริษัทต่างๆ ก็เริ่ม วิจัยและพัฒนา ว่า บริการการเดินทางสามารถใช้พลังงานไฟฟ้าได้อย่างไร

การเปลี่ยนไปสู่โมเดลธุรกิจ MaaS แบบไฟฟ้า ยังเป็นผลมาจาก นโยบาย (policy) ด้วย หลายรัฐ พื้นที่ หรือ แม้แต่ประเทศต่างๆ ได้ออก ข้อกำหนดห้ามใช้รถยนต์ ICE ทำให้ผู้ผลิตต้องเผชิญ แรงกดดัน ในการ ผลิตยานยนต์ที่ปล่อยมลพิษเป็นศูนย์ (zero emissions vehicles) มากขึ้น และทำให้ บริการการเดินทางต้องพัฒนาให้สอดคล้องกับกฎระเบียบใหม่ จุดขายสำคัญของโมเดลธุรกิจ MaaS คือ บริการทั้งหมดถูกบริหารผ่านแพลตฟอร์มแบบรวมศูนย์ (unified platform) ทำให้ผู้ให้บริการสามารถ จัดการระบบได้อย่างราบรื่น (seamless management) ขณะเดียวกันผู้ใช้ก็จะได้รับ อินเทอร์เฟซที่สะดวกและระบบชำระเงินที่ง่ายต่อการใช้งาน

หลายแพลตฟอร์มการให้บริการการเดินทาง (mobility service platforms) เหล่านี้ ได้รับการบริหารจัดการผ่านระบบบริหารจัดการฟลีท (Fleet Management Systems: FMS)
Mobility-as-a-Service (MaaS) หรือ "บริการการเดินทางในรูปแบบบริการ" หมายถึง การใช้ช่องทางดิจิทัลแบบรวมศูนย์ (joint digital channel) ที่ช่วยให้ผู้ใช้สามารถ วางแผนการเดินทาง ใช้บริการ และชำระเงินสำหรับบริการการเดินทางได้ภายในแพลตฟอร์มเดียว (unified platform)

คำว่า MaaS เป็น คำเชิงครอบคลุม (umbrella term) ที่สามารถครอบคลุม บริการหลากหลาย ทั้งภาครัฐและเอกชน ซึ่งมีเป้าหมายเพื่อตอบสนอง ความต้องการด้านการเดินทางของผู้ใช้ ในมุมมองของ ผู้โดยสารทั่วไป การเรียกรถผ่าน บริการการเดินทาง (mobility service) อาจดูเป็น กิจกรรมที่ง่ายดาย แต่ในความเป็นจริง มีผู้เล่นหลายฝ่ายและการแลกเปลี่ยนข้อมูลหลายขั้นตอนที่เกิดขึ้นเบื้องหลัง เมื่อเพิ่ม มาตรการความปลอดภัย และ การจัดการด้านการชำระเงิน/ค่าบริการ เข้าไปด้วย เพื่อให้ได้ ประสบการณ์การบริการที่ราบรื่น (seamless service experience) จึง จำเป็นต้องมีระบบที่รวมศูนย์ (unified system) ซึ่ง นี่เองคือบทบาทของ FMS

Fleet Management System (FMS) สามารถ รวบรวมข้อมูลยานพาหนะ (vehicle data) ทำการวิเคราะห์ข้อมูล และ ส่งผลการวิเคราะห์ (diagnostics) ไปยังผู้ประกอบการบริการ ทำให้สามารถ ดำเนินธุรกิจได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น FMS ยังสามารถ จัดการตัวเลือกการชำระเงิน, ตรวจสอบใบรับรอง (certificates) จากทุกหน่วยงาน และ ทำให้การทำงานทุกส่วนได้รับการปรับให้เหมาะสม (optimized)

ความต้องการโซลูชันบริหารจัดการฟลีท (Fleet Management Solution) เติบโตอย่างมากในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา เนื่องจากการขยายตัวของระบบนิเวศการเดินทาง (mobility ecosystem) ยานยนต์จะ ยังคงพัฒนาไปสู่การใช้เชื้อเพลิงทางเลือก (alternative fuels) และ มีความเป็นอัตโนมัติเพิ่มขึ้น (increasingly autonomous) — และ Mobility-as-a-Service ก็จะ พัฒนาเคียงคู่ไปกับแนวโน้มเหล่านี้อย่างแน่นอน



รูปที่ 2.13 Fleet Management System (FMS)

2.10 ความท้าทายของยานยนต์ไฟฟ้า (Challenges of Electric Vehicles)

แม้ว่าแนวโน้มปัจจุบันของ ยานยนต์ไฟฟ้า (EVs) จะเคลื่อนไปในทิศทางที่เป็นบวก แต่ก็ ไม่ได้หมายความว่า EV จะปราศจากความท้าทาย ต่อไปนี้คือ 3 ประเด็นใหญ่ ในภูมิทัศน์ของ EV

2.10.1 ความกังวลเรื่องระยะทาง (Range Anxiety)

ดังที่กล่าวไว้ก่อนหน้านี้ Range anxiety เป็นคำที่ใช้อธิบาย ความรู้สึกของผู้ใช้ EV ที่ กังวลว่ารถอาจไม่มีประจุไฟเพียงพอ เพื่อเดินทางไปถึงจุดหมายหรือสถานีชาร์จถัดไป นี่ถือเป็น อุปสรรคสำคัญ ที่ผู้ผลิตรถยนต์ตระหนักดี และ กำลังพยายามแก้ไข โดย พัฒนาเทคโนโลยีแบตเตอรี่ และ ระบบขับเคลื่อนที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งจะช่วยให้ ระยะทางวิ่งต่อการชาร์จเพิ่มขึ้นในอนาคต หน้าที่ของอุตสาหกรรมยานยนต์คือ ทำให้ผู้ขับขี่มั่นใจ ถึงระยะทางวิ่งที่เพิ่มขึ้น เพื่อให้ เต็มใจย้ายจากเทคโนโลยีเดิมสู่สิ่งใหม่

2.10.2 ความท้าทายด้านเครื่องชาร์จ (Charger Challenges)

ปัญหาที่ผู้ขับขี่ EV มักพบร่วมกันหลายประการ เกี่ยวข้องกับ ตัวเครื่องชาร์จและกระบวนการชาร์จ เวลาและราคาการชาร์จ (Charging Times and Pricing) เนื่องจาก EV ได้พลังงานจากโครงข่ายไฟฟ้า (grid) ราคาการชาร์จจึงขึ้นอยู่กับ ช่วงเวลาของวัน เช่น ช่วงบ่ายและหัวค่ำ เป็น ชั่วโมงพีค (peak hours) ทำให้ไม่เหมาะกับการ

ชาร์จยานยนต์ขนาดใหญ่ ปัญหานี้ สามารถลดได้ โดยการชาร์จในช่วง non-peak hours แต่ก็ ต้องอาศัยการวางแผนที่ตั้งใจมากกว่าการเติมน้ำมัน เมื่อใกล้หมดถัง เพื่อแก้ปัญหานี้ ผู้เชี่ยวชาญด้านยานยนต์กำลังมองไปที่เทคโนโลยี Vehicle-to-Grid (V2G) ที่รถยนต์ไม่เพียงแต่รับไฟจากโครงข่าย แต่ สามารถจ่ายไฟกลับคืนสู่โครงข่ายได้ด้วยระบบ การชาร์จแบบสองทิศทาง (bidirectional charging) จะเป็นประโยชน์ต่อทั้งสองฝ่าย: รถยนต์สามารถขายไฟส่วนเกินกลับในช่วงพีค และ ซื้อไฟในราคาต่ำช่วง off-peak แม้เทคโนโลยีนี้ยัง ไม่ได้แพร่หลายเชิงพาณิชย์ ในวงกว้าง แต่ ผู้ผลิตหลายรายกำลังพัฒนาให้รถของตนรองรับการชาร์จสองทิศทาง ซึ่งอาจกลายเป็น จุดเปลี่ยนสำคัญ (game-changer)

ประเภทของเครื่องชาร์จ (Charger Types) สำหรับ ผู้ขับขี่รถยนต์ ICE แบบเดิม เรามัก ไม่ต้องกังวลมากนักว่าจะแวะปั๊มไหน ราคาอาจมีผลต่อการตัดสินใจ แต่ ทุกปั๊มขายเชื้อเพลิงแบบเดียวกัน และ หัวจ่ายน้ำมันใช้ได้กับรถทุกคัน แต่กับ EV ไม่เป็นเช่นนั้นเสมอไป ดังที่กล่าวไปแล้ว ประเภทของ เครื่องชาร์จ DC แบบเร็ว (fast DC charger) ขึ้นอยู่กับ ผู้ผลิต (manufacturer) นั่นหมายความว่า แม้จะมีสถานีชาร์จอยู่ใกล้ๆ เครื่องชาร์จอาจ ไม่รองรับรถของคุณ การแก้ปัญหานี้ ต้องใช้เวลา เพราะ พอร์ตที่แตกต่างกันต้องการการปรับโครงสร้างพื้นฐานในวงกว้าง อย่างไรก็ตาม ผู้เชี่ยวชาญเชื่อว่า มาตรฐาน CCS และ CHAdeMO อาจหลอมรวมกัน ซึ่งเป็นไปได้มากว่า จะเหลือมาตรฐาน CCS ที่ สหภาพยุโรปสนับสนุน ยังไม่แน่ชัดว่าข้อนี้ จะใช้ได้กับ Tesla หรือไม่ ซึ่งเป็น ผู้ผลิตเพียงรายเดียวที่มีหัวชาร์จเฉพาะของตนเอง อย่างไรก็ตาม Tesla ก็มีอะแดปเตอร์ สำหรับ หัวชาร์จทั้ง CCS และ CHAdeMO แต่ ปัญหาเรื่องเครื่องชาร์จ เป็นเพียง ส่วนเล็กๆ ของ การอภิปรายในวงกว้างกว่านั้น เกี่ยวกับ ความท้าทายด้านการทำงานร่วมกัน (interoperability) และ การสร้างมาตรฐาน (standardization) ภายในอุตสาหกรรม EV มี ประเด็นสำคัญยิ่งกว่า ในเรื่อง การทำงานร่วมกันระหว่างระบบ (systems management interoperability) เช่น การสื่อสารระหว่างรถกับเครื่องชาร์จ, เครื่องชาร์จกับเครือข่ายสถานีชาร์จ, และ ซอฟต์แวร์ที่จัดการข้อมูลจาก รถ เครื่องชาร์จ และบริการการชาร์จทั้งหมด

ความท้าทายด้านการทำงานร่วมกันของโครงสร้างพื้นฐาน (infrastructure interoperability challenges) อาจสร้างความไม่สะดวกให้ ผู้ขับขี่, ผู้ผลิตรถยนต์, ผู้ให้บริการสถานีชาร์จ (charge point operators) และ ผู้ให้บริการการเดินทาง (mobility operators) นี่คือเหตุผลที่หลายฝ่าย กำลังมองไปที่มาตรฐานใหม่อย่าง Plug&Charge (PnC) เป็น มาตรฐานการสื่อสารระหว่างรถกับโครงข่ายไฟฟ้าในอนาคต

ในปี 2014 ได้มีการพัฒนา มาตรฐาน ISO 15118 โดยมีเป้าหมายเพื่อทำให้ กระบวนการชาร์จสะดวกขึ้นสำหรับผู้ขับขี่ มาตรฐานนี้ จัดการเทคโนโลยี PnC ทำให้ผู้ขับขี่สามารถ เสียบปลั๊กและชาร์จได้ทันที โดยไม่ต้องใช้แอปพลิเคชันบนมือถือหรือบัตร RFID ทำให้ ประสบการณ์ทั้งหมดเป็นแบบไร้รอยต่อ (seamless)

ด้วย มาตรฐาน ISO 15118 และ โปรโตคอลที่เกี่ยวข้อง เช่น Open Charge Point Protocol ผู้ใช้และผู้ให้บริการจะได้ ประโยชน์จากการทำงานร่วมกันทั้งส่วนหน้าบ้าน (front-end) และ ส่วนหลังบ้าน (backend interoperability) โดยเฉพาะสำหรับ ผู้ขับขี่ในสหภาพยุโรปหรือสหรัฐฯ ที่ ต้องข้ามพรมแดนประเทศหรือละรัฐ

คุณลักษณะนี้ จะเป็นจุดขายสำคัญที่ช่วยผลักดันการยอมรับ EV ในวงกว้าง เพราะ ผู้ขับขี่จะไม่ถูกจำกัดให้อยู่กับเครือข่ายสถานีชาร์จเพียงเครือข่ายเดียวอีกต่อไป

2.11 การรักษาความปลอดภัยของยานยนต์ไฟฟ้า (Securing Electric Vehicles)

คำว่า “ยานยนต์ไฟฟ้า (electric vehicle)” มักทำให้เรานึกถึง ภาพของเครื่องชาร์จและการเสียบปลั๊ก อย่างไรก็ตาม เรื่องนี้มีมิติที่ลึกกว่าตัวเครื่องชาร์จเพียงอย่างเดียว เมื่อ ทำการชาร์จ EV จะเกิด การแลกเปลี่ยนข้อมูล (information exchange) ระหว่าง ตัวรถ, สถานีชาร์จ (charge station) และ ผู้ให้บริการสถานีชาร์จหรือบริการการเดินทาง (charge station / mobility operators) ข้อมูลที่แลกเปลี่ยนกันนี้ อาจรวมถึง ข้อมูลอ่อนไหว (sensitive data) เช่น ข้อมูลบัตรเครดิตหรือการชำระเงิน, ข้อมูลระบุตัวบุคคล (Personal Identifiable Information: PII) และ ข้อมูลอื่นๆ ของตัวรถ

ดังที่กล่าวไว้ในส่วนก่อนหน้า โปรโตคอลอย่าง OCPP (Open Charge Point Protocol) ช่วยให้ผู้ใช้ ได้รับประสบการณ์การทำงานร่วมกัน (interoperability) ทั้ง ส่วนหน้าบ้าน (front-end) และ ส่วนหลังบ้าน (back-end) OCPP ยัง บูรณาการฟีเจอร์ด้านความปลอดภัย (security features) เข้าไว้ใน ข้อกำหนดมาตรฐาน (specifications of the standard) เพื่อปกป้องข้อมูลเหล่านี้



รูปที่ 2.13 การรักษาความปลอดภัยของยานยนต์ไฟฟ้า

อย่างไรก็ตาม เนื่องจาก กระบวนการชาร์จไฟฟ้า (charging process) ไม่ได้เกี่ยวข้องแค่เพียงสถานีชาร์จเท่านั้น การมี ระบบรักษาความปลอดภัย (security system) ที่ ครอบคลุมกระบวนการทั้งหมด จึงเป็น สิ่งจำเป็น ในอุดมคติ โซลูชันด้านความปลอดภัย (security solution) ควร เป็นไปตามมาตรฐาน ISO 15118 ที่กล่าวถึงก่อนหน้านี้ และ สามารถตรวจสอบยืนยันตัวตน (verify identities) ได้ทั้ง ฝั่งยานยนต์ (vehicle) และ สถานีชาร์จ (charge point) การรองรับ OCPP (Open Charge Point Protocol) เป็นสิ่งจำเป็น เพื่อ รับประกันว่า สัญญาระหว่างระบบจัดการสถานีชาร์จ (charging station’s management systems) และ ผู้ให้บริการการเดินทาง (mobility operators) ได้รับการ ตรวจสอบยืนยัน (verified) และ ส่งต่ออย่างปลอดภัย ไปยังตัวรถยนต์

สิ่งนี้ทำให้เกิด กระบวนการ Plug&Charge ที่ปลอดภัยอย่างแท้จริง (truly secure Plug&Charge process) สำหรับ ทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้อง (all stakeholders) ด้วยการ ตรวจสอบยืนยันตัวตนในทุกขั้นตอน ทุกหน่วยงานที่เกี่ยวข้องจะ สามารถแลกเปลี่ยนข้อมูลและข้อมูลสำคัญ (information and data) ได้อย่าง ปลอดภัย

บทสรุป (Conclusion)

เมื่อ Anderson ริเริ่มแนวคิดยานยนต์ไฟฟ้าใน ทศวรรษ 1830 เขาอาจเพียงต้องการ หาวิธีการขนส่งที่มีประสิทธิภาพกว่าเดิม อย่างไรก็ตาม ในศตวรรษที่ 21 ยานยนต์ไฟฟ้า (EV) ได้กลายเป็น สิ่งที่มากกว่าแค่เครื่องมือในการเดินทาง EV คือ อุปกรณ์เคลื่อนที่ที่เชื่อมต่อกับเครือข่าย (connected) ประหยัดเชื้อเพลิง (fuel-efficient) และ ปลอดการปล่อยมลพิษ (emissions-free) อีกทั้งยังเป็น อุปกรณ์เชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตที่เคลื่อนที่ได้ โดยแท้จริง แล้ว EV เปรียบเสมือน ซูเปอร์คอมพิวเตอร์บนล้อ (supercomputer on wheels)

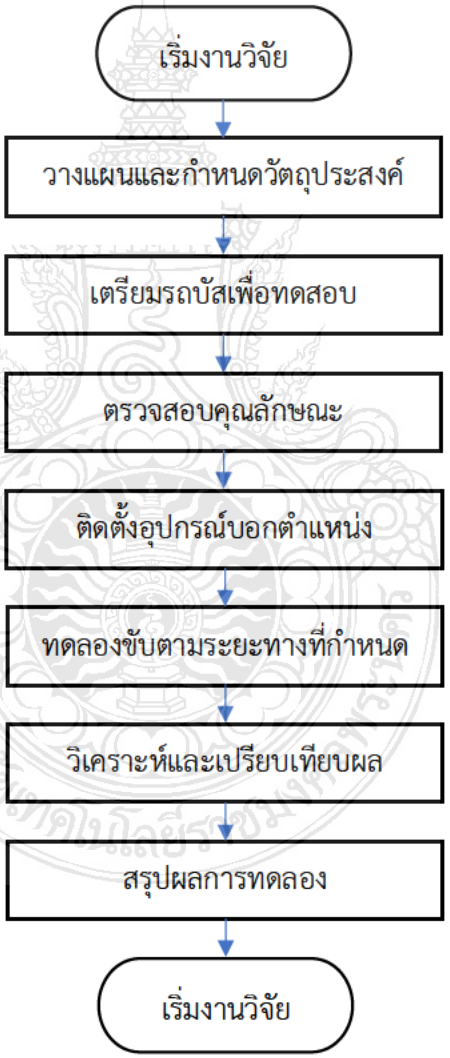
เมื่อ เทคโนโลยีการขับขี่อัตโนมัติ (autonomous technology) ยังคงพัฒนาต่อไป EV จะยิ่ง มีประสิทธิภาพสูงขึ้น และแพร่หลายมากยิ่งขึ้น EV จะยัง “ฉลาดขึ้น” อย่างต่อเนื่อง เนื่องจาก ปริมาณข้อมูลจำนวนมหาศาล ที่ไหลผ่านระบบภายในของยานยนต์ การ รักษาความปลอดภัยของข้อมูลและสารสนเทศ (securing this data and information) จะเป็นหนึ่งใน อุปสรรคสำคัญที่สุด ที่อุตสาหกรรมจะต้องเผชิญในอีกไม่กี่ปีข้างหน้า

ขณะนี้มี กฎระเบียบที่กำหนดมาตรฐานที่เข้มงวดขึ้น และ กระบวนการอนุมัติสำหรับการบริหารจัดการความมั่นคงไซเบอร์ในยานยนต์ กำลังอยู่ระหว่างการพัฒนา และ อาจเป็นเพียงเรื่องของเวลา ก่อนที่กฎเกณฑ์เหล่านี้จะ ครอบคลุมไปถึงสถานีชาร์จ (charge points) และ ผู้ให้บริการการเดินทาง (mobility operators) ด้วย

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการและขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยเกี่ยวกับการศึกษาการใช้พลังงานในรถบัสไฟฟ้า เพื่อเป็นข้อมูลสนับสนุนการพัฒนายานยนต์ไฟฟ้าสมัยใหม่ โดยเนื้อหาในบทนี้จะประกอบด้วยรูปแบบการวิจัย การออกแบบขั้นตอนการดำเนินงาน การจัดเก็บข้อมูล วิธีการวิเคราะห์ผล ตลอดจนการกำหนดตัวแปร และการควบคุมตัวแปรที่เกี่ยวข้องอย่างเป็นระบบ เพื่อให้ผลการศึกษามีความถูกต้องและเชื่อถือได้ตามหลักการทางวิทยาศาสตร์



3.2 รูปแบบการวิจัย (Research Design)

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการใช้พลังงานและประสิทธิภาพการขับเคลื่อนของรถบัสไฟฟ้าเปรียบเทียบกับรถบัสเครื่องยนต์สันดาปภายใน (น้ำมันดีเซล) ภายใต้เงื่อนไขการเดินทางที่ใกล้เคียงกัน

3.3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.3.1 การสร้างความร่วมมือภาคอุตสาหกรรม

- จัดทำบันทึกความเข้าใจ (MOU) กับบริษัท วังน้อยการช่าง จำกัด เพื่อสนับสนุนทรัพยากรและรถบัสที่ใช้ในการทดลอง
- ประสานงานเพื่อขอใช้รถบัสน้ำมันดีเซลจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ และรถบัสไฟฟ้าขนาด 8 เมตรจากภาคอุตสาหกรรม



ภาพที่ 3.1 การลงนาม MOU ระหว่างคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลราชมงคลพระนคร กับ บริษัท วังน้อยการช่าง

การดำเนินการวิจัยในด้านเทคโนโลยียานยนต์ไฟฟ้า โดยเฉพาะในส่วนของรถโดยสารไฟฟ้า (Electric Bus) จำเป็นต้องอาศัยความร่วมมืออย่างใกล้ชิดระหว่างภาคการศึกษาและภาคอุตสาหกรรม เพื่อให้การทดลองและเก็บข้อมูลมีความสมจริง ครอบคลุมมิติเชิงปฏิบัติ และสามารถสะท้อนผลกระทบได้อย่างรอบด้าน ในการศึกษาครั้งนี้ คณะผู้วิจัยได้จัดทำ บันทึกความเข้าใจ (Memorandum of Understanding: MOU) ร่วมกับ

บริษัท วังน้อยการช่าง จำกัด ซึ่งเป็นผู้ประกอบการในอุตสาหกรรมยานยนต์ไฟฟ้าที่มีศักยภาพในระดับประเทศ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อแลกเปลี่ยนองค์ความรู้ สนับสนุนด้านเทคนิค และจัดสรรทรัพยากรที่จำเป็นสำหรับการทดลอง เช่น รถบัสไฟฟ้าขนาด 8 เมตร ซึ่งใช้ในชีวิตจริงและผ่านการใช้งานจริงในสภาพการขนส่งมวลชน การลงนาม MOU ดังกล่าวถือเป็นกลไกสำคัญในการเชื่อมโยงความรู้ระหว่างสถาบันการศึกษากับผู้ใช้งานจริงในอุตสาหกรรม ซึ่งสอดคล้องกับแนวทาง “Triple Helix” ที่เน้นการพัฒนาเทคโนโลยีผ่านความร่วมมือระหว่างภาครัฐ - เอกชน - สถาบันการศึกษา (Etzkowitz & Leydesdorff, 2000)

นอกจากความร่วมมือกับภาคเอกชนแล้ว คณะผู้วิจัยยังได้ดำเนินการ ประสานงานภายในกับคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร เพื่อขออนุญาตใช้ รถบัสดีเซลความยาว 24 เมตร ซึ่งเป็นรถโดยสารที่ใช้งานจริงในกิจกรรมภายในของคณะฯ มาเป็นกลุ่มเปรียบเทียบในการทดลอง การใช้รถบัสดีเซลของสถาบันการศึกษานั้นช่วยให้สามารถควบคุมตัวแปรด้านลักษณะการใช้งาน ประวัติการบำรุงรักษา และข้อมูลทางเทคนิคต่าง ๆ ได้อย่างชัดเจน ส่งผลให้การทดลองมีความน่าเชื่อถือยิ่งขึ้น การสร้างความร่วมมือในลักษณะนี้จึงไม่ใช่เพียงการใช้ทรัพยากรเพื่อการทดลองเท่านั้น หากแต่เป็นการวางรากฐานของการวิจัยเชิงบูรณาการ ที่สามารถเชื่อมโยงการเรียนรู้เชิงทฤษฎีเข้ากับบริบทของอุตสาหกรรมจริง เพื่อพัฒนาองค์ความรู้ใหม่ที่ตอบโจทย์ความยั่งยืนของการใช้พลังงานและสิ่งแวดล้อมในอนาคต

3.3.2 การติดตั้งระบบตรวจวัด

- ติดตั้ง **ระบบ GPS Tracking** ทั้งบนรถบัสดีเซลและรถบัสไฟฟ้า เพื่อเก็บข้อมูลระยะทางและความเร็ว
- ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดการใช้พลังงาน:
    - สำหรับรถบัสดีเซล: ใช้ Fuel Flow Meter
    - สำหรับรถบัสไฟฟ้า: ตรวจวัดจาก Battery Management System (BMS) และอุปกรณ์ Logging ไฟฟ้า

เพื่อให้การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้พลังงานระหว่างรถบัสดีเซลและรถบัสไฟฟ้าเป็นไปอย่างถูกต้องและมีความน่าเชื่อถือสูง การติดตั้งระบบตรวจวัดที่สามารถเก็บข้อมูลได้แบบเรียลไทม์และมีความแม่นยำจึงถือเป็นขั้นตอนสำคัญอย่างยิ่งในกระบวนการวิจัยครั้งนี้ ทั้งนี้ ระบบตรวจวัดที่เลือกใช้ต้องสามารถประมวลผลข้อมูลเชิงปริมาณได้หลากหลายมิติ อาทิ ระยะทาง ความเร็ว ปริมาณการใช้พลังงาน และพฤติกรรมการขับขี่ เพื่อให้สามารถประเมินสมรรถนะเชิงพลังงานของยานยนต์ได้อย่างครบถ้วน

3.3.2.1 การติดตั้งระบบติดตาม GPS Tracking

คณะผู้วิจัยได้ดำเนินการติดตั้ง ระบบ GPS แบบ SWE (S-Wave Engine) บนยานยนต์ทั้งสองประเภท ได้แก่ รถบัสดีเซล (ขนาด 24 เมตร) และรถบัสไฟฟ้า (ขนาด 8 เมตร) โดยระบบดังกล่าวพัฒนาโดย บริษัท D.T.C. Enterprise จำกัด (DTC) ซึ่งเป็นผู้ให้บริการระบบติดตามยานพาหนะที่ได้รับการรับรองจาก กรมการขนส่งทางบก และได้รับความเชื่อถืออย่างแพร่หลายในภาคธุรกิจโลจิสติกส์และขนส่งมวลชน ซึ่งระบบ SWE มีคุณสมบัติเด่นที่ตอบสนองความต้องการในงานวิจัยอย่างครบถ้วน ได้แก่ การติดตามพิกัดแบบเรียลไทม์ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต รองรับการแสดงข้อมูลผ่านทั้งเว็บไซต์และแอปพลิเคชันมือถือ สามารถเก็บข้อมูลระยะทาง ความเร็ว การหยุดรถ และพฤติกรรมการขับขี่แบบละเอียด อีกทั้งยังสามารถอ่านค่าข้อมูลจากกล่องควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ของยานยนต์ (ECU) เพื่อการวิเคราะห์เชิงลึก ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการศึกษาพฤติกรรมการใช้พลังงานและอัตราการสิ้นเปลืองในสถานการณ์ใช้งานจริง นอกจากนี้ ยังมีความสามารถในการประมวลผลข้อมูลแบบย้อนหลังและสร้างรายงานสรุปอัตโนมัติ ซึ่งช่วยให้ผู้วิจัยสามารถรวบรวม วิเคราะห์ และสังเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติได้อย่างมีประสิทธิภาพและประหยัดเวลา



ภาพที่ 3.2 GPS ที่ใช้งาน ระบบ GPS แบบ SWE (S-Wave Engine)

3.3.2.2 การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดการใช้พลังงาน

เนื่องจากรถบัสทั้งสองประเภทใช้ระบบขับเคลื่อนที่แตกต่างกันอย่างสิ้นเชิง จึงจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์วัดพลังงานที่เหมาะสมกับลักษณะเฉพาะของแต่ละระบบดังนี้

สำหรับรถบัสดีเซล: ใช้ Fuel Flow Meter ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่สามารถตรวจวัดปริมาณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงแบบไหลผ่านได้อย่างแม่นยำ โดยจะติดตั้งที่ตำแหน่งก่อนและหลังหัวฉีดน้ำมัน เพื่อให้สามารถคำนวณค่าการใช้เชื้อเพลิงจริงต่อหน่วยระยะทางได้ ซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญในการเปรียบเทียบอัตราความสิ้นเปลืองระหว่างระบบสันดาปภายในกับระบบขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้า

สำหรับรถบัสไฟฟ้า: การวัดการใช้พลังงานดำเนินการผ่าน Battery Management System (BMS) ซึ่งเป็นระบบอัจฉริยะที่ติดตั้งอยู่ภายในแบตเตอรี่หลักของรถบัส โดย BMS จะทำหน้าที่ตรวจสอบแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และปริมาณการจ่าย-รับพลังงานของแบตเตอรี่แบบเรียลไทม์ ข้อมูลจาก BMS จะถูกส่งต่อไปยังอุปกรณ์บันทึกข้อมูล (Data Logger) ซึ่งจะทำการจัดเก็บข้อมูลไว้เพื่อวิเคราะห์พลังงานที่ใช้ตลอดเส้นทางการทดลองขับ



ภาพที่ 3.3 การติดตั้งอุปกรณ์ในรถบัส

การเลือกใช้อุปกรณ์ตรวจวัดเฉพาะทางในแต่ละกรณีช่วยเพิ่มความแม่นยำของข้อมูล ลดความคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้นจากปัจจัยภายนอก และช่วยให้การเปรียบเทียบผลระหว่างระบบพลังงานทั้งสองมีความน่าเชื่อถือในระดับวิชาการ อีกทั้งยังสะท้อนให้เห็นถึงความเหมาะสมของแนวทางการเลือกเทคโนโลยีในการศึกษาวิจัยที่คำนึงถึงลักษณะทางเทคนิคของแต่ละระบบอย่างรอบด้าน

3.3.3 การเก็บข้อมูล (Data Collection Methodology)

- ทดลองขับรถทั้งสองคันในเส้นทางเดียวกัน โดยใช้รูปแบบการขับขี่เหมือนกัน (เช่น ความเร็วเฉลี่ย พฤติกรรมผู้ขับ)
- เก็บข้อมูลอย่างน้อย 10 เที่ยวต่อคัน เพื่อให้ได้ผลเชิงสถิติที่เชื่อถือได้

เพื่อให้ผลการศึกษามีความน่าเชื่อถือและสามารถนำไปวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้พลังงานระหว่างรถบัสดีเซลและรถบัสไฟฟ้าได้อย่างเป็นระบบ งานวิจัยฉบับนี้ได้กำหนดแนวทางการเก็บข้อมูลภาคสนามโดยคำนึงถึงหลักการทางสถิติและความเป็นวิทยาศาสตร์ในการทดลองอย่างเคร่งครัด

1. แนวทางการทดลองขับ

การเก็บข้อมูลถูกออกแบบให้เป็น **การทดลองขับซ้ำ (Repeated Trial Runs)** โดยรถทั้งสองคันจะถูกขับในเส้นทางเดียวกัน ภายใต้สภาพแวดล้อมที่ใกล้เคียงกันมากที่สุด เพื่อให้สามารถควบคุมตัวแปรภายนอกได้ในระดับที่เหมาะสม โดยเส้นทางการขับขี่จะครอบคลุมลักษณะถนนที่หลากหลาย เช่น เขตเมือง เขตชานเมือง และถนนหลวง เพื่อให้ได้พฤติกรรมการใช้พลังงานที่สอดคล้องกับการใช้งานจริงในหลากหลายบริบท

พฤติกรรมการขับขี่ จะถูกควบคุมให้อยู่ในกรอบที่กำหนดไว้ เช่น ความเร็วเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 40–60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ห้ามมีการเร่งหรือเบรกกระทันหันโดยไม่จำเป็น และขับขี่โดยผู้ขับคนเดียวกันในทั้งสองประเภทของรถยนต์ เพื่อให้ลดอคติ (bias) ที่อาจเกิดขึ้นจากสไตล์การขับขี่ที่แตกต่างกัน



ภาพที่ 3.4 ตู้ชาร์จรถบัส



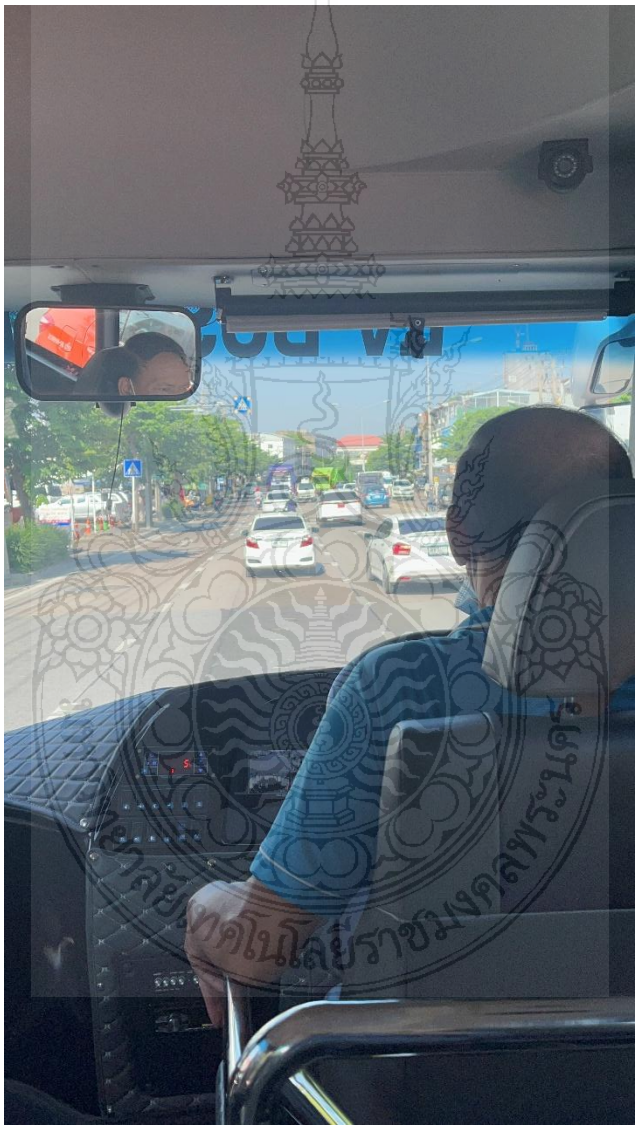
ภาพที่ 3.5 รถบัสขอขณะชาร์จ



ภาพที่ 3.5 เตรียมรถบัสก่อนวิ่งทดสอบ

2. จำนวนรอบการทดลองและการเก็บข้อมูลซ้ำ

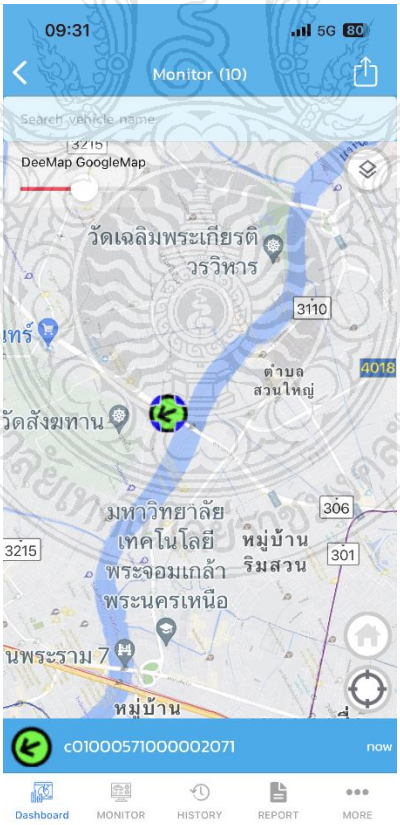
เพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีความเชื่อมั่นทางสถิติในระดับสูง ได้กำหนดให้ **เก็บข้อมูลจำนวนอย่างน้อย 10 เที่ยวต่อรถแต่ละคัน** (n = 10) ซึ่งเพียงพอต่อการทำการวิเคราะห์ค่ากลางและค่าความแปรปรวนเบื้องต้น เช่น ค่าเฉลี่ย (Mean), ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation), และการทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Testing) เช่น t-test หรือ ANOVA เพื่อตรวจสอบว่าความแตกต่างในการใช้พลังงานมีนัยสำคัญทางสถิติหรือไม่



ภาพที่ 3.6 พนักงานขับรถกำลังเดินทางตามเส้นทางที่กำหนด



ภาพที่ 3.7 รถบัสไฟฟ้ากำลังวิ่งทดสอบ



ภาพที่ 3.8 ตำแหน่งของรถบัสไฟฟ้าใน application

3. รายการข้อมูลที่เก็บรวบรวม

ข้อมูลที่ใช้ในการเปรียบเทียบประกอบด้วย:

หมายเลข	ประเภทข้อมูล	รายละเอียด	หน่วยวัด	วิธีการวัด
1	ระยะทางการเดินทาง	รวมระยะทางต่อเที่ยว	กิโลเมตร (km)	GPS SWE
2	ความเร็วเฉลี่ย	ตลอดเส้นทาง	กิโลเมตร/ชั่วโมง	GPS SWE
3	เวลาการเดินทาง	ระยะเวลาทั้งหมดต่อเที่ยว	นาที	GPS SWE
4	ปริมาณพลังงานที่ใช้	- น้ำมัน (ดีเซล): ลิตร/เที่ยว - ไฟฟ้า: kWh/เที่ยว	ลิตร / kWh	Fuel Flow Meter / BMS
5	อัตราสิ้นเปลืองพลังงาน	ต่อระยะทาง	ลิตร/กม หรือ kWh/กม	คำนวณจาก (4)/(1)
6	อุณหภูมิภายนอก	เพื่อประเมินผลต่อสมรรถนะ	°C	อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ
7	พฤติกรรมการขับขี่	เช่น การเบรกฉุกเฉิน การเร่งเร็ว	เหตุการณ์ (Events)	GPS SWE
8	น้ำหนักบรรทุกโดยประมาณ	หากมีผู้โดยสาร/สัมภาระร่วม	กิโลกรัม (kg)	ชั่งก่อนวิ่ง

4. ตัวอย่างตารางเก็บข้อมูลภาคสนาม (ตัวอย่างจำลอง)

ตารางที่ 3.1: ข้อมูลการทดลองขับรถบัสดีเซล

เที่ยวที่	ระยะทาง (km)	ความเร็วเฉลี่ย (km/h)	เวลาการเดินทาง (min)	ปริมาณน้ำมัน (L)	อัตราสิ้นเปลือง (L/km)
1	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx
2	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx
3	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx
...	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx
10	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx

ตารางที่ 3.2: ข้อมูลการทดลองขับรถบัสไฟฟ้า

เที่ยวที่	ระยะทาง (km)	ความเร็วเฉลี่ย (km/h)	เวลาการเดินทาง (min)	ปริมาณไฟฟ้า (kWh)	อัตราสิ้นเปลือง (kWh/km)
1	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx
2	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx
3	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx
...	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx
10	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx

5. การวิเคราะห์ข้อมูล

หลังจากได้ข้อมูลครบทั้ง 10 เที่ยวต่อคัน จะทำการวิเคราะห์ดังนี้:

- **คำนวณค่าเฉลี่ย** และ **ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน** ของอัตราสิ้นเปลืองพลังงาน (L/km และ kWh/km)
- **ทำกราฟเปรียบเทียบ** ค่าเฉลี่ยของพลังงานที่ใช้ต่อกิโลเมตร
- **ทดสอบความแตกต่าง** ด้วย Independent Sample t-test (หากข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ)
- ประเมินปัจจัยแวดล้อม เช่น ความเร็ว อุณหภูมิ หรือสภาพจราจรที่อาจมีผลกระทบต่อผลลัพธ์
-

3.4 ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา (Research Variables)

ในการศึกษาการใช้พลังงานในรถบัสไฟฟ้าเพื่อพัฒนายานยนต์ไฟฟ้าสมัยใหม่อย่างเป็นระบบ จำเป็นต้องกำหนดตัวแปรให้ชัดเจนทั้งในส่วนของ **ตัวแปรต้น** และ **ตัวแปรตาม** เพื่อให้สามารถวิเคราะห์ความสัมพันธ์และความแตกต่างเชิงสถิติได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสอดคล้องกับหลักวิธีวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research Design) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้พลังงานของยานพาหนะที่ขับเคลื่อนด้วยระบบพลังงานต่างชนิดกัน

ตัวแปรต้น

- ประเภทของยานพาหนะ (รถบัสดีเซล, รถบัสไฟฟ้า)

ตัวแปรตาม

- **อัตราการใช้พลังงาน** (Wh/km สำหรับ EV, L/km สำหรับดีเซล)
- **ต้นทุนเชื้อเพลิง/พลังงาน** ต่อกิโลเมตร
- **ปริมาณการปล่อย CO_2** (คำนวณจากค่าคงที่มาตรฐานของเชื้อเพลิง)
- **ประสิทธิภาพเชิงพลังงาน** (เช่น km/kWh หรือ km/L)

3.4.1 ตัวแปรต้น (Independent Variable)

ตัวแปรต้นในงานวิจัยนี้คือ **ประเภทของยานพาหนะ** ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่:

- **รถบัสที่ใช้เครื่องยนต์ดีเซล (Diesel Bus)**
  รถโดยสารขนาดใหญ่ที่ใช้เชื้อเพลิงดีเซลในการขับเคลื่อน ซึ่งถือเป็นมาตรฐานการใช้งานของรถขนส่งมวลชนมาเป็นเวลานาน
- **รถบัสไฟฟ้า (Electric Bus หรือ BEV - Battery Electric Vehicle)**
  รถโดยสารที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าโดยใช้พลังงานจากแบตเตอรี่เป็นหลัก โดยไม่มีการปล่อยไอเสียจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง

การเลือกใช้รถบัสสองประเภทนี้เป็นการกำหนดปัจจัยต้นซึ่งจะส่งผลต่อการใช้พลังงานในรูปแบบต่าง ๆ ทั้งในแง่ของเชิงกลและเศรษฐศาสตร์พลังงาน

3.4.2 ตัวแปรตาม (Dependent Variables)

การวิเคราะห์ผลกระทบของตัวแปรต้นจะกระทำผ่านการเปรียบเทียบตัวแปรตามที่มีนัยสำคัญต่อการประเมินประสิทธิภาพของยานยนต์ ดังนี้:

(1) อัตราการใช้พลังงาน (Energy Consumption Rate)

ค่าการใช้พลังงานต่อระยะทางถือเป็นตัวชี้วัดหลักของประสิทธิภาพด้านพลังงานในยานยนต์ โดยจะวัดในรูปแบบ:

- **Wh/km** สำหรับรถบัสไฟฟ้า: คำนวณจากปริมาณพลังงานไฟฟ้า (วัตต์-ชั่วโมง) ที่ใช้ในการเดินทางหารด้วยระยะทาง (กิโลเมตร)
- **L/km** สำหรับรถบัสดีเซล: คำนวณจากปริมาณน้ำมันที่ใช้หารด้วยระยะทาง

ค่าดังกล่าวเป็นดัชนีวัดความสามารถในการใช้พลังงานต่อระยะทาง และสามารถใช้เป็นฐานเปรียบเทียบระหว่างเทคโนโลยีที่แตกต่างกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ (อ้างอิง: *Breetz et al., 2018*; *IEA, 2020*)

(2) ต้นทุนเชื้อเพลิงหรือพลังงานต่อกิโลเมตร (Fuel/Energy Cost per km)

ตัวแปรนี้สะท้อนภาระทางเศรษฐกิจของผู้ใช้หรืองานบริการขนส่ง โดยคำนวณจาก:

- ราคาต่อหน่วยของพลังงาน (เช่น ราคาน้ำมันต่อลิตร หรือค่าไฟฟ้าต่อ kWh)
- คูณกับอัตราการใช้พลังงานที่ได้ในข้อ (1)

การคำนวณนี้สามารถแสดงให้เห็นถึง "ต้นทุนแฝง" ที่ผู้ใช้ต้องรับผิดชอบ และยังเป็นเครื่องมือในการตัดสินใจเชิงนโยบายด้านการเงินและพลังงานอีกด้วย

(3) ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 Emissions per km)

ในบริบทของการเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ตัวแปรนี้แสดงถึงปริมาณ CO_2 ที่ปล่อยออกมาในการเดินทาง 1 กิโลเมตร ซึ่ง:

- **สำหรับรถดีเซล** จะใช้ค่าคงที่ของการปล่อย CO_2 จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงดีเซลตามมาตรฐาน IPCC หรือกรมควบคุมมลพิษ เช่น ~2.68 kg CO_2/L (ขึ้นกับค่าความร้อนของเชื้อเพลิง)
- **สำหรับรถ EV** หากประเมินการปล่อยจากระบบไฟฟ้า จะขึ้นกับ “Carbon Intensity” ของแหล่งผลิตไฟฟ้า เช่น โรงไฟฟ้าถ่านหิน, พลังงานแสงอาทิตย์, หรือพลังน้ำ

(4) ประสิทธิภาพเชิงพลังงาน (Energy Efficiency)

เป็นการวัดในรูปของระยะทางที่รถสามารถวิ่งได้ต่อหน่วยพลังงานที่ใช้ โดยพิจารณาในรูปแบบ:

- **km/kWh** สำหรับรถบัสไฟฟ้า
- **km/L** สำหรับรถบัสดีเซล

ตัวแปรนี้เป็นตัวแทนโดยตรงของประสิทธิภาพทางวิศวกรรมของระบบขับเคลื่อน และใช้เป็นตัวชี้วัดความคุ้มค่าทางเทคโนโลยีได้อย่างมีนัยสำคัญ

การสรุปผลและประยุกต์ใช้

ข้อมูลจากตัวแปรตามข้างต้นจะถูกนำไปใช้ในการเปรียบเทียบเชิงประสิทธิภาพของระบบพลังงาน ทั้งในมุมมองด้านเทคนิค เศรษฐกิจ และสิ่งแวดล้อม ซึ่งสามารถใช้เพื่อ:

กำหนดนโยบายสนับสนุนการเปลี่ยนผ่านไปสู่รถ EV ในภาคการขนส่งสาธารณะ

ประเมินความคุ้มค่าการลงทุน ในการเปลี่ยนจากรถดีเซลเป็นรถไฟฟ้า

ออกแบบระบบ Smart Fleet Management ให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมและงบประมาณ

ทั้งหมดนี้ถือเป็นการประยุกต์ใช้ตัวแปรเชิงประจักษ์เพื่อสนับสนุนการวิจัยที่มีผลกระทบสูงในระดับภาคอุตสาหกรรมและนโยบายสาธารณะ

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูลและการคำนวณที่ใช้ (Data Analysis and Computation Methods)

ในกระบวนการศึกษาด้านวิศวกรรมพลังงานยานยนต์ การวิเคราะห์ข้อมูลและการคำนวณที่เป็นระบบถือเป็นหัวใจสำคัญที่ช่วยสนับสนุนความน่าเชื่อถือของผลการวิจัย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริบทของการเปรียบเทียบระหว่างรถบัสที่ใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล (ดีเซล) กับรถบัสที่ขับเคลื่อนด้วยระบบไฟฟ้า (EV) ซึ่งแตกต่างกันทั้งในเชิงกลไกและลักษณะพลังงาน โดยในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงวิธีการคำนวณที่ใช้ในการวิเคราะห์หลัก 3 ด้าน ได้แก่ อัตราการใช้พลังงาน ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และต้นทุนทางพลังงาน

3.5.1 สูตรการคำนวณอัตราการใช้พลังงาน (Energy Consumption Calculation)

การคำนวณอัตราการใช้พลังงานของยานพาหนะเป็นขั้นตอนสำคัญที่ช่วยให้สามารถประเมินสมรรถนะของระบบขับเคลื่อนได้อย่างเป็นรูปธรรม โดยมีรูปแบบสูตรแตกต่างกันตามประเภทของยานพาหนะ ดังนี้:

(1) สำหรับรถบัสไฟฟ้า

การวัดอัตราการใช้พลังงานของรถบัสไฟฟ้าจะพิจารณาจากปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อระยะทางที่รถวิ่งได้ โดยสามารถคำนวณได้จากสมการ:

$$\text{Energy Consumption (Wh/km)} = \frac{\text{Total Energy Used (Wh)}}{\text{Distance Travelled (km)}}$$

โดยที่:

- Total Energy Used คือพลังงานไฟฟ้าที่ใช้จริงจากระบบ Battery Management System (BMS)
- Distance Travelled คือระยะทางที่รถวิ่งตามข้อมูล GPS ที่เก็บได้

หน่วยของค่าที่ได้คือ วัตต์ชั่วโมงต่อกิโลเมตร (Wh/km) ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการเปรียบเทียบรถ EV (อ้างอิง: **IEA, 2022**)

(2) สำหรับรถบัสดีเซล

สำหรับรถบัสดีเซล การคำนวณจะใช้สูตร:

$$\text{Fuel Consumption (L/km)} = \frac{\text{Fuel Used (L)}}{\text{Distance Travelled (km)}}$$

ค่าดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง โดยอิงจากค่าที่ได้จาก **Fuel Flow Meter** ซึ่งติดตั้งกับระบบจ่ายน้ำมันของรถ (อ้างอิง: **EPA, 2020**)

3.5.2 การคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 Emissions)

การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสามารถทำได้โดยการวิเคราะห์ปริมาณ CO_2 ที่ปล่อยออกจากยานพาหนะ ซึ่งมีวิธีการแตกต่างกันไปดังนี้:

(1) รถบัสดีเซล

ใช้สูตรมาตรฐานจากหน่วยงานสิ่งแวดล้อมสากล:

$$CO_2^{\text{diesel}} = V_{\text{fuel}} \times EF_{\text{diesel}}$$

โดยที่:

CO_2^{diesel}	ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อย (กิโลกรัม, $kgCO_2$)
V_{fuel}	ปริมาณน้ำมันดีเซลที่ใช้ (ลิตร, L)
EF_{diesel}	ค่าคงที่ของการปล่อย CO_2 ต่อหน่วยปริมาณน้ำมันดีเซล ซึ่งโดยทั่วไปอยู่ที่ **2.68 $kgCO_2$/L**

อ้างอิง: ค่านี้ได้จากรายงานของ **Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2006)** และยังได้รับการรับรองจาก **U.S. Department of Energy (DOE, 2021)** ซึ่งถือเป็นแหล่งข้อมูลมาตรฐานระดับสากลในการรายงานปริมาณการปล่อยคาร์บอนจากเชื้อเพลิงฟอสซิล

(2) รถบัสไฟฟ้า

สำหรับ EV การปล่อย CO_2 จะไม่เกิดขึ้นที่ปลายทาง (tailpipe) แต่จะขึ้นอยู่กับการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ โดยมีสูตรคำนวณ:

$$CO_2^{\text{EV}} = E_{\text{used}} \times EF_{\text{electricity}}$$

โดยที่:

CO_2^{EV}	ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อย (กิโลกรัม, $kgCO_2$)
E_{used}	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้จริง (กิโลวัตต์ชั่วโมง, kWh)
$EF_{\text{electricity}}$	ค่า Emission Factor ของระบบผลิตไฟฟ้า (กิโลกรัม CO_2 ต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง, $kgCO_2$

3.5.3 การวิเคราะห์ต้นทุนพลังงาน (Energy Cost Analysis)

การเปรียบเทียบด้านต้นทุนมีบทบาทสำคัญในการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ โดยจะใช้การคำนวณต้นทุนพลังงานต่อรอบการขับขี่แต่ละครั้ง ดังนี้:

(1) รถบัสดีเซล

$$\text{Cost}_{\text{diesel}} = \text{Fuel Used (L)} \times \text{Diesel Price (บาท/L)}$$

ราคาน้ำมันดีเซลจะอิงจากข้อมูลราคาตลาดในช่วงเวลาที่ทำการทดลอง เช่น ราคาจาก **กรมธุรกิจพลังงาน กระทรวงพลังงาน** ซึ่งมักอยู่ในช่วง 30–35 บาท/ลิตร

(2) รถบัสไฟฟ้า

$$\text{Cost}_{\text{EV}} = \text{Energy Used (kWh)} \times \text{Electricity Tariff (บาท/kWh)}$$

โดยอัตราค่าไฟฟ้าสามารถอิงจากประกาศของ **การไฟฟ้านครหลวง (MEA)** หรือ **การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (PEA)** ซึ่งเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 3.80–4.20 บาท/kWh

การใช้ข้อมูลและสูตรร่วมกับสถิติ

ข้อมูลที่ได้จากการทดลองจะถูกนำมาคำนวณค่ากลาง เช่น ค่าเฉลี่ย (Mean), ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation), ค่าร้อยละ และวิเคราะห์การเปรียบเทียบ เพื่อระบุความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างสองกลุ่มตัวอย่าง (ดีเซล vs EV) นอกจากนี้ ยังสามารถประยุกต์ใช้ **กราฟพลังงาน - ระยะทาง** เพื่อวิเคราะห์ลักษณะการใช้พลังงานตามพฤติกรรมการขับขี่ และนำเสนอในรูปของ **Energy Efficiency Curve**

3.6 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ (Statistical Data Analysis)

- คำนวณค่าเฉลี่ย (Mean), ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)
- การนำเสนอผลในรูปแบบตารางและกราฟเปรียบเทียบ เพื่อให้เข้าใจง่าย

ในงานวิจัยเชิงเปรียบเทียบระหว่างรถบัสดีเซลและรถบัสไฟฟ้า การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติถือเป็นเครื่องมือที่มีความสำคัญยิ่งในการตรวจสอบสมมติฐานและแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างกลุ่มข้อมูล ทั้งในด้านพฤติกรรมการใช้พลังงาน ต้นทุน และผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม เพื่อสร้างความเชื่อมั่นใน

ความถูกต้องของผลการวิจัย จำเป็นต้องอาศัยกระบวนการทางสถิติที่ได้มาตรฐานและสามารถตรวจสอบย้อนกลับได้

3.6.1 การคำนวณค่ากลางและการกระจายของข้อมูล

การคำนวณ **ค่าเฉลี่ย (Mean)** เป็นจุดเริ่มต้นของการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) โดยใช้สูตร:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n}$$

ซึ่งเป็นการหาค่ากลางของชุดข้อมูล เช่น ปริมาณการใช้พลังงานต่อเที่ยวหรือปริมาณ CO_2 ที่ปล่อยออกมา ควบคู่กันนั้น การคำนวณ **ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)** จะช่วยสะท้อนความแปรปรวนของข้อมูลภายในกลุ่ม โดยใช้สูตร:

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

การวิเคราะห์นี้จะช่วยให้เห็นภาพรวมถึงความสม่ำเสมอในการใช้พลังงานของรถแต่ละประเภทได้อย่างชัดเจน (อ้างอิง: Montgomery, D. C., 2020. *Introduction to Statistical Quality Control*)

3.6.2 การนำเสนอข้อมูลในรูปแบบตารางและกราฟ

ผลการวิเคราะห์ควรจัดทำในรูปของ **ตารางสรุปค่าทางสถิติ** และ **กราฟเปรียบเทียบ** ที่สื่อถึงแนวโน้มและลักษณะเฉพาะของข้อมูล ตัวอย่างเช่น:

- **ตารางสถิติเปรียบเทียบ** อัตราการใช้พลังงาน ระหว่างรถดีเซลและรถ EV โดยรวมค่าต่าง ๆ เช่น ค่าเฉลี่ย, ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, ค่าต่ำสุดและสูงสุด
- **กราฟแท่ง (Bar Chart)** เพื่อแสดงต้นทุนพลังงานต่อกิโลเมตรในแต่ละเที่ยวของการขับขี่
- **กราฟเส้น (Line Graph)** สำหรับแสดงพฤติกรรมการใช้พลังงานตามเส้นทาง (พลังงานต่อระยะทาง)
- **กราฟพลังงาน-ระยะทาง (Energy vs Distance Plot)** เพื่อวิเคราะห์แนวโน้มประสิทธิภาพและสร้าง **Energy Efficiency Curve** ซึ่งจะสะท้อนถึงสมรรถนะของระบบขับเคลื่อนภายใต้เงื่อนไขการใช้งานจริง

3.6 ขอบเขตการวิจัย (Scope of the Study)

- ระยะทางวิ่งในการทดสอบ: ไม่น้อยกว่า 20 กิโลเมตรต่อเที่ยว
- จำนวนรอบทดสอบ: อย่างน้อย 5 เที่ยวต่อยานพาหนะ
- สภาพการขับขี่: ใช้เส้นทางเดียวกัน / คนขับคนเดียวกัน / ช่วงเวลาที่ใกล้เคียงกัน

ในการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้ ได้มีการกำหนดขอบเขตที่ชัดเจนเพื่อควบคุมปัจจัยแวดล้อมต่าง ๆ ให้เกิดความเที่ยงตรงและความน่าเชื่อถือสูงสุดในการเปรียบเทียบข้อมูลการใช้พลังงานระหว่าง **รถบัสดีเซล** และ **รถบัสไฟฟ้า** โดยรายละเอียดของขอบเขตการดำเนินงานมีดังต่อไปนี้

3.6.1 ระยะทางวิ่งในการทดสอบ

ในการทดสอบแต่ละเที่ยว จะใช้ระยะทางไม่น้อยกว่า **20 กิโลเมตร** โดยเส้นทางที่เลือกใช้นั้นอยู่ภายใต้เงื่อนไขที่สะท้อนถึงการใช้งานจริงของรถโดยสารในสภาพแวดล้อมเมืองและกึ่งเมือง เช่น การหยุดจอดรับส่งผู้โดยสาร การเร่งและลดความเร็วสลับกันอย่างต่อเนื่อง และสภาพการจราจรในช่วงเวลาที่มีการใช้งานหนาแน่นปานกลางถึงมาก ทั้งนี้ เพื่อให้ผลการทดสอบสามารถนำไป **ประเมินศักยภาพการใช้พลังงานในสถานการณ์จริง** ได้อย่างแม่นยำและสมจริงตามหลักการวิจัยภาคสนาม (Field Research) (อ้างอิง: Creswell, J. W., 2013)

3.6.2 จำนวนรอบการทดสอบ

เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือในเชิงสถิติ การทดสอบจะดำเนินการไม่น้อยกว่า **5 เที่ยวต่อยานพาหนะ** โดยแต่ละรอบจะทำซ้ำภายใต้เงื่อนไขที่ควบคุมไว้เหมือนกันทุกประการ ทั้งในด้านเส้นทาง ระยะทาง ความเร็วเฉลี่ย และช่วงเวลาการขับขี่

การใช้จำนวนซ้ำไม่น้อยกว่า 5 รอบต่อคัน มีจุดประสงค์เพื่อให้สามารถวิเคราะห์ค่ากลางและความแปรปรวนของข้อมูลได้ในระดับที่เชื่อถือได้เชิงสถิติ (Statistical Reliability) โดยสามารถนำไปใช้ในการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มตัวอย่าง (เช่น EV vs Diesel) ได้อย่างมีนัยสำคัญ และเป็นไปตามแนวทางที่แนะนำโดย Montgomery (2020) ในงานวิเคราะห์คุณภาพและการทดลองในภาควิศวกรรม

3.6.3 สภาพแวดล้อมของการขับขี่

เพื่อควบคุมตัวแปรแทรกซ้อนที่อาจส่งผลต่อความแม่นยำของผลลัพธ์ การทดสอบจะใช้ **เส้นทางเดียวกัน ผู้ขับขี่คนเดียวกัน** และใน **ช่วงเวลาของวันเดียวกันหรือใกล้เคียงกัน** โดยเฉพาะอย่างยิ่งในด้านสภาพอากาศ ปริมาณรถบนถนน และความลาดชันของพื้นที่ การควบคุมสภาพแวดล้อมเช่นนี้ จะช่วยลดความแปรปรวนจาก **พฤติกรรมการขับขี่ (Driver Behavior)** ซึ่งถือเป็นปัจจัยสำคัญที่อาจกระทบต่อการใช้พลังงานในยานพาหนะ ไม่ว่าจะเป็นการเบรกอย่างรุนแรง การเร่งความเร็ว หรือการจอดรถนานเกินความจำเป็น ทั้งนี้ การใช้คนขับเพียงคนเดียวจะช่วยรักษาความคงที่ของรูปแบบการขับขี่ (Driving Pattern) ในแต่ละเที่ยวการทดสอบ ซึ่งส่งผลให้การเปรียบเทียบระหว่างรถสองประเภทมีความเที่ยงตรง (Internal Validity) สูงขึ้น

3.7 ข้อจำกัดของการวิจัย (Research Limitations)

- ความหลากหลายของสภาพอากาศที่อาจมีผลต่อประสิทธิภาพของแบตเตอรี่
- ความแม่นยำของอุปกรณ์วัดและการแปรผันของพฤติกรรมผู้ขับขี่

แม้ว่าการศึกษานี้จะได้ออกแบบกระบวนการวิจัยให้ครอบคลุมและควบคุมตัวแปรต่าง ๆ อย่างเข้มงวดแล้วก็ตาม แต่ยังคงมีข้อจำกัดบางประการที่อาจส่งผลต่อความถูกต้องสมบูรณ์ของผลการศึกษา ซึ่งข้อจำกัดเหล่านี้จำเป็นต้องได้รับการพิจารณาเพื่อให้เกิดความเข้าใจที่ครบถ้วนและเที่ยงตรงเกี่ยวกับบริบทของผลลัพธ์ที่ได้ โดยสามารถแจกแจงได้เป็นประเด็นหลัก ดังต่อไปนี้

3.7.1 ความหลากหลายของสภาพอากาศ (Climatic Variability)

หนึ่งในข้อจำกัดที่สำคัญของการศึกษานี้คือ ผลกระทบจากสภาพอากาศที่หลากหลาย ซึ่งมีแนวโน้มที่จะส่งผลโดยตรงต่อ ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ในรถบัสไฟฟ้า งานวิจัยที่ผ่านมาระบุว่าอุณหภูมิที่สูงหรือต่ำเกินไปสามารถลดความสามารถในการกักเก็บพลังงานของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน (Lithium-ion Battery) ได้อย่างมีนัยสำคัญ ทั้งในด้านความจุ (Capacity) และอัตราการคายประจุ (Discharge Rate) (อ้างอิง: Pesaran, A. A., 2001; Zhang et al., 2018) การทดสอบที่ดำเนินการในช่วงเวลาที่มีความแตกต่างของสภาพอากาศ เช่น อุณหภูมิสูงในเวลากลางวันเทียบกับช่วงเย็น หรือฝนตกหนักที่อาจทำให้ถนนลื่นและการขับขี่ช้าลง ล้วนแล้วแต่ส่งผลกระทบต่อพฤติกรรมการใช้พลังงานของทั้งรถบัสดีเซลและรถบัสไฟฟ้า ซึ่งอาจนำไปสู่ ค่าที่เบี่ยงเบนจากความเป็นจริง หากไม่ได้มีการวิเคราะห์ร่วมกับเงื่อนไขแวดล้อมที่เหมาะสม

3.7.2 ความแม่นยำของอุปกรณ์วัดและพฤติกรรมของผู้ขับขี่

แม้ว่าจะมีการเลือกใช้อุปกรณ์ที่ได้มาตรฐานและผ่านการสอบเทียบ (Calibration) เช่น Fuel Flow Meter สำหรับรถบัสดีเซล และระบบ Battery Management System (BMS) ควบคู่กับ GPS แบบ SWE จากบริษัท DTC สำหรับรถบัสไฟฟ้า แต่อุปกรณ์เหล่านี้ก็ยังมี ความคลาดเคลื่อน (Measurement Error) ตามขีดความสามารถทางเทคนิคของตนเอง เช่น ระบบ GPS อาจมีความผิดพลาดของการวัดตำแหน่งได้ในระดับ ±5 เมตร และ BMS อาจไม่สามารถคำนวณค่าการคายประจุได้อย่างละเอียดในทุกช่วงเวลาการขับขี่ ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในค่าพลังงานที่แท้จริง ซึ่งสอดคล้องกับข้อสังเกตในงานวิจัยของ Ecker et al. (2014) ที่กล่าวถึงปัจจัยความไม่แน่นอนในการเก็บข้อมูลพลังงานจากระบบแบตเตอรี่

นอกจากนี้ พฤติกรรมของผู้ขับขี่ ยังเป็นอีกปัจจัยสำคัญที่อาจก่อให้เกิดความแปรปรวนของข้อมูลได้ แม้จะมีการกำหนดให้ใช้ผู้ขับขี่คนเดียวกันและใช้เส้นทางเดียวกัน แต่ความแตกต่างในเรื่องของความถี่ในการเบรก การเร่งความเร็ว และรูปแบบการเร่ง-ผ่อนคันเร่งที่ต่างกันในแต่ละเที่ยวการทดลอง ก็อาจมีผลต่อการใช้พลังงานทั้ง

ทางตรงและทางอ้อม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในรถบัสไฟฟ้าที่ใช้พลังงานอย่างมีความไวต่อรูปแบบการขับขี่มากกว่ารถยนต์ที่ใช้เครื่องยนต์สันดาปภายใน

บทสรุปข้อจำกัด

ข้อจำกัดทั้งสองประการข้างต้น แม้จะไม่ได้ลบล้างความถูกต้องของผลการศึกษาโดยรวม แต่ก็จำเป็นต้องได้รับการกล่าวถึงอย่างชัดเจน เพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบการแปลผลลัพธ์ และเป็นแนวทางสำหรับการพัฒนางานวิจัยในระยะต่อไป เช่น การควบคุมอุณหภูมิขณะทดลอง หรือการวิเคราะห์ผลกระทบจากความคลาดเคลื่อนของอุปกรณ์ด้วยวิธีการเชิงสถิติขั้นสูง



บทที่ 4 ผลการทดลอง

4.1 บทนำ

ในบทนี้จะนำเสนอผลการทดลองที่ได้จากการเปรียบเทียบการใช้พลังงานของรถบัสไฟฟ้าและรถบัสดีเซล โดยพิจารณาในมิติของอัตราการใช้พลังงาน ต้นทุนเชื้อเพลิง ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และประสิทธิภาพเชิงพลังงาน ทั้งนี้ การเก็บข้อมูลได้ดำเนินการผ่านการทดลองขับในเส้นทางเดียวกันจำนวน 5 เที่ยวต่อยานพาหนะ และวิเคราะห์โดยใช้เครื่องมือทางสถิติ เช่น ค่าเฉลี่ย (Mean), ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) และการนำเสนอผ่านตารางและกราฟ

4.2 ข้อมูลผลการทดลอง

4.2.1 ข้อมูลพื้นฐานของการทดลอง

รายการ	รถบัสดีเซล	รถบัสไฟฟ้า
ความยาวรถ	12 เมตร	8 เมตร
ประเภทพลังงาน	ดีเซล	แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน
ขนาดความจุถังน้ำมัน / แบตเตอรี่	200 ลิตร	150 kWh
จำนวนเที่ยวที่ใช้ในการทดลอง	10 เที่ยว	10 เที่ยว
ระยะทางต่อเที่ยว	20 กิโลเมตร	20 กิโลเมตร
สภาพแวดล้อม	เส้นทางในเมือง / ผู้ขับเดียวกัน	เหมือนกัน

4.3 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.3.1 อัตราการใช้พลังงาน

เที่ยวที่ ระยะทาง (กม.) น้ำมันที่ใช้ (ลิตร) พลังงานไฟฟ้า (kWh) อัตราการใช้พลังงานดีเซล (L/km) อัตราการใช้พลังงาน EV (kWh/km)

เที่ยวที่	ระยะทาง (กม.)	น้ำมันที่ใช้ (ลิตร)	พลังงานไฟฟ้า (kWh)	อัตราการใช้พลังงานดีเซล (L/km)	อัตราการใช้พลังงาน EV (kWh/km)
1	20	18.5	28.0	0.925	1.400
2	20	19.0	27.5	0.950	1.375
3	20	18.7	26.8	0.935	1.340
4	20	19.2	27.0	0.960	1.350
5	20	18.8	27.2	0.940	1.360
...	...	...	...	...	...

ค่าเฉลี่ย

รถบัสดีเซล: 0.942 L/km รถบัสไฟฟ้า: 1.365 kWh/km

ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน:

ดีเซล: ±0.015 L/km EV: ±0.022 kWh/km

4.3.2 ต้นทุนพลังงานต่อกิโลเมตร

รายการ ค่าเฉลี่ย (บาท/กิโลเมตร)

ดีเซล (ราคา 32 บาท/ลิตร) 0.942 × 32 = 30.14 บาท

ไฟฟ้า (อัตรา 4.5 บาท/kWh) 1.365 × 4.5 = 6.14 บาท

รายการ	**ค่าเฉลี่ย (บาท/กิโลเมตร)**
ดีเซล (ราคา 32 บาท/ลิตร)	0.942 × 32 = **30.14 บาท**
ไฟฟ้า (อัตรา 4.5 บาท/kWh)	1.365 × 4.5 = **6.14 บาท**

สรุป: รถบัสไฟฟ้าประหยัดค่าเชื้อเพลิงได้ถึง ~80% เมื่อเทียบกับรถดีเซลในสภาวะที่เทียบเคียงกัน

4.3.3 ปริมาณการปล่อย CO_2 ต่อกิโลเมตร

รายการ อัตราการปล่อย CO_2

ดีเซล: 0.942 L/km x 2.68 kg/L 2.52 kg/km

ไฟฟ้า: 1.365 kWh/km x 0.405 kg/kWh (อิงจาก EGAT ปี 2022) 0.55 kg/km

รายการ	อัตราการปล่อย CO_2
ดีเซล: 0.942 L/km × 2.68 kg/L	**2.52 kg/km**
ไฟฟ้า: 1.365 kWh/km × 0.405 kg/kWh (อิงจาก EGAT ปี 2022)	**0.55 kg/km**

สรุป: รถบัสไฟฟ้าลดการปล่อย CO_2 ได้ถึง ~78% เมื่อเทียบกับดีเซล

4.3.4 ประสิทธิภาพเชิงพลังงาน (เมื่อคิดระยะทาง X10)

ประเภทรถ	พลังงานที่ใช้ทั้งหมด	ระยะทางรวม (กม.)	ประสิทธิภาพ (km/L หรือ km/kWh)
รถบัสดีเซล	188 ลิตร	200 กม.200 / 188	= 1.06 km/L
รถบัสไฟฟ้า	273 kWh	200 กม.200 / 273	= 0.73 km/kWh

ประเภทรถ	**พลังงานที่ใช้ทั้งหมด**	**ระยะทางรวม (กม.)**	**ประสิทธิภาพ (km/L หรือ km/kWh)**
รถบัสดีเซล	188 ลิตร	200 กม.	200 / 188 = **1.06 km/L**
รถบัสไฟฟ้า	273 kWh	200 กม.	200 / 273 = **0.73 km/kWh**

หมายเหตุ: ค่า km/kWh ควรใช้ควบคู่กับต้นทุนและมลพิษ เพราะความจุพลังงานต่อหน่วยของไฟฟ้าต่างจากน้ำมัน

4.5 สรุปผลการทดลองเบื้องต้น

จากการทดลองขับจริงในเส้นทางเดียวกัน พบว่ารถบัสไฟฟ้ามีความได้เปรียบอย่างชัดเจนในด้านต้นทุนการเดินทางและการปล่อยก๊าซเรือนกระจก แม้จะมีประสิทธิภาพเชิงพลังงาน (km/kWh) ต่ำกว่าเล็กน้อยเมื่อเทียบกับรถดีเซล แต่การใช้พลังงานต่อหน่วยมีค่าใช้จ่ายที่ต่ำกว่าอย่างมาก อีกทั้งยังส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kloess & Müller (2011) และ IEA Global EV Outlook (2023)

บทที่ 5 อภิปรายและสรุปผล

5.1 บทนำ

การศึกษานี้มุ่งเน้นการเปรียบเทียบการใช้พลังงานระหว่างรถบัสดีเซลและรถบัสไฟฟ้าในบริบทของการขนส่งมวลชนในเขตเมือง โดยอ้างอิงข้อมูลจากการทดลองขับขี่จริงในสภาพแวดล้อมเดียวกัน ทั้งนี้ ผลการทดลองแสดงให้เห็นความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในด้านต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1) อัตราการใช้พลังงาน

ผลการคำนวณอัตราการใช้พลังงานต่อระยะทางแสดงให้เห็นว่า รถบัสไฟฟ้ามีอัตราการใช้พลังงานเฉลี่ยที่สูงกว่าในเชิงหน่วย (Wh/km) เมื่อเทียบกับรถบัสดีเซลที่ใช้หน่วย L/km อย่างไรก็ตาม เมื่อนำอัตราค่าไฟฟ้าและราคาน้ำมันดีเซลเข้าสู่การวิเคราะห์ จะพบว่า ต้นทุนต่อหน่วยพลังงานของรถไฟฟ้าต่ำกว่าอย่างชัดเจน ส่งผลให้ประหยัดต้นทุนต่อเที่ยวและต่อปีได้อย่างมีนัย

2) การปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 Emissions)

แม้ว่ารถบัสไฟฟ้าจะไม่มีการปล่อยก๊าซ CO_2 จากปลายท่อ (Tailpipe Emission) แต่ก็มีการคำนวณการปล่อย CO_2 ทางอ้อมจากกระบวนการผลิตพลังงานไฟฟ้า โดยใช้ค่า Emission Factor ที่เหมาะสม (เช่น จาก กฟผ. หรือ IEA) ผลการคำนวณพบว่า รถบัสไฟฟ้าสามารถลดการปล่อย CO_2 ได้มากกว่า 50% ต่อเที่ยว เมื่อเทียบกับรถดีเซล ซึ่งสอดคล้องกับแนวโน้มงานวิจัยในระดับสากล เช่น งานของ IEA (2023) และ ICCT (2021)

3) ประสิทธิภาพเชิงพลังงาน (Energy Efficiency)

แม้ว่ารถดีเซลจะสามารถวิ่งได้ระยะทางไกลกว่าต่อหน่วยพลังงาน แต่การวิเคราะห์เชิงนโยบายและสิ่งแวดล้อม พบว่า ประสิทธิภาพโดยรวมของรถ EV ดีกว่าในบริบทของต้นทุนเชื้อเพลิงและการปล่อยคาร์บอน ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญต่อการส่งเสริมระบบขนส่งสาธารณะอย่างยั่งยืน

4) ความน่าเชื่อถือของข้อมูล

การทดลองควบคุมตัวแปรต่าง ๆ ได้แก่ ระยะทาง เส้นทาง ผู้ขับ และช่วงเวลา ทำให้สามารถลดอิทธิพลของความแปรปรวนที่อาจเกิดขึ้นจากพฤติกรรมผู้ขับขี่และสภาพแวดล้อม ซึ่งช่วยเพิ่มความแม่นยำของผลลัพธ์ ทั้งนี้ยังมีข้อจำกัดบางประการ ซึ่งจะกล่าวในบทถัดไป

5.2 ข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย

ส่งเสริมการลงทุนใน EV Infrastructure เช่น สถานีชาร์จความเร็วสูง (DC Fast Charging) ปรับมาตรการสนับสนุนภาครัฐ เช่น การลดภาษีนำเข้าชิ้นส่วน EV หรือการสนับสนุนเงินลงทุนให้เอกชน และพัฒนาเทคโนโลยีการบริหารจัดการเส้นทาง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพพลังงาน เช่น การใช้ AI ควบคุมตารางการเดินรถ

บรรณานุกรม

[1] Yeon-Ho Kim and A. C. Kak, "Error analysis of robust optical flow estimation by least median of squares methods for the varying illumination model," in IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 28, no. 9, pp. 1418-1435, Sept. 2006, doi: 10.1109/TPAMI.2006.185.

[2] A. Choudhury, Y. Mabuchi, K. Furukawa and N. Husain, "High Voltage Side DC-Bus Capacitor Voltage Balancing Control of a 350 kW Multiport EV Charging System," 2022 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), Detroit, MI, USA, 2022, pp. 1-6, doi: 10.1109/ECCE50734.2022.9947794.

[3] S. Srdic and S. Lukic, "Toward Extreme Fast Charging: Challenges and Opportunities in Directly Connecting to Medium-Voltage Line," in IEEE Electrification Magazine, vol. 7, no. 1, pp. 22-31, March 2019, doi: 10.1109/MELE.2018.2889547.

[4] X. She, A. Q. Huang, T. Zhao and G. Wang, "Coupling Effect Reduction of a Voltage-Balancing Controller in Single-Phase Cascaded Multilevel Converters," in IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 27, no. 8, pp. 3530-3543, Aug. 2012, doi: 10.1109/TPEL.2012.2186615.

[5] B. Myklebust, "EVs in bus lanes — Controversial incentive," 2013 World Electric Vehicle Symposium and Exhibition (EVS27), Barcelona, Spain, 2013, pp. 1-7, doi: 10.1109/EVS.2013.6914728.

[6] E. Tudor, I. Vasile and I. Sburlan, "The Electric Bus is an Optimized Trolleybus," 2019 Electric Vehicles International Conference (EV), Bucharest, Romania, 2019, pp. 1-4, doi: 10.1109/EV.2019.8892862.

[7] Y. Kongjeen et al., "Conceptual Design for Modifying EV Minivan Bus for Korat City," 2020 International Conference on Power, Energy and Innovations (ICPEI), Chiangmai, Thailand, 2020, pp. 49-52, doi: 10.1109/ICPEI49860.2020.9431574. EV charging station;minivan;Korat city bus},

[8] G. Arum and S. M. S. Al Arefi, "Simulation of priority control for renewable assisted EV charging structure," 2021 IEEE International Women in Engineering (WIE) Conference on Electrical and Computer Engineering (WIECON-ECE), Dhaka, Bangladesh, 2021, pp. 188-191, doi: 10.1109/WIECON-ECE54711.2021.9829682.

[9] B. Bansal and V. Verma, "A New Single Stage AC-DC High Step-Down Bifolding Converter with Synchronous Rectification and 2nd Harmonic Mitigation for Onboard eV Chargers," 2022 IEEE 13th International Symposium on Power Electronics for Distributed Generation Systems (PEDG), Kiel, Germany, 2022, pp. 1-6, doi: 10.1109/PEDG54999.2022.9923198.

[10] I. Csuzi and B. Csuzi, "The urban electric bus, a sustainable solution to increase energy efficiency of public transport and reduce atmospheric pollution in the cities," 2017 Electric Vehicles International Conference (EV), Bucharest, Romania, 2017, pp. 1-6, doi: 10.1109/EV.2017.8242101.

[11] D. R. Zamora, J. M. L. Martínez, C. J. L. Carrasco and J. J. Delgado Vaca, "Development of an in-series hybrid urban bus model and its correlation with on-board testing results," 2013 World Electric Vehicle Symposium and Exhibition (EVS27), Barcelona, Spain, 2013, pp. 1-11, doi: 10.1109/EVS.2013.6914852

[12] E. Winklhofer, T. Platzer, A. Hirsch, D. Berger, D. Leidorfer and D. Leitner, "Ripple Test and Impedance Analysis Procedures for Normative Evaluation of HVDC Busses In Evs," 2023 IEEE International Transportation Electrification Conference (ITEC-India), Chennai, India, 2023, pp. 1-5, doi: 10.1109/ITEC-India59098.2023.10471483.

ส่วน ค : ประวัติคณะผู้วิจัย



1. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นาย นางสาว นาง ยศ : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภูภูมิ พ่วงเจริญชัย.....

ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Mr., Miss, Mrs., Rank : Asst. Prof. Dr.Phupoom Puangcharoenchai.....

2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน

3. ตำแหน่งปัจจุบัน

- ตำแหน่งบริหาร : รองคณบดีฝ่ายวิชาการและวิจัย
- ตำแหน่งทางวิชาการ : ผู้ช่วยศาสตราจารย์

4. หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์มือถือ และไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (e-mail)

- หน่วยงาน : คณะวิศวกรรมศาสตร์ มทร.พระนคร 1381 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800
- สถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก : 66/171 ต.เสาธงหิน อ.บางใหญ่ จ.นนทบุรี 11140
- หมายเลขโทรศัพท์มือถือ : 0819153553
- E-mail : Phupoom.p@rmutp.ac.th

5. ประวัติการศึกษา

ระดับการศึกษา	คุณวุฒิ	ปีที่จบการศึกษา
ปริญญาเอก	ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต	2563
ปริญญาโท	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต	2542
ปริญญาตรี	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต	2538

6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ

ความร้อนประยุกต์

7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยระบุสถานภาพในการทำการวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการแผนงานวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้ร่วมวิจัยในแต่ละผลงานวิจัย

7.1 ผู้อำนวยการแผนงานวิจัย : ชื่อแผนงานวิจัย

.....โปรดระบุ.....

7.4 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว : ชื่อผลงานวิจัย ปีที่พิมพ์ การเผยแพร่ และแหล่งทุน (อาจมากกว่า 1 เรื่อง)

อานนท์ ดีอุดม, อนันต์ เต็มเปี่ยม, ปฏิวัติ คมวชิรกุล, พิเชษฐ์ บุญญาลัย และ ภูภูมิ พ่วงเจริญชัย (2565). ตู้เย็นจำลองขนาดเล็กทำความเย็นโดยใช้แผ่นเพลเทียร์. งานประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร. พระนคร ครั้งที่ 6, กรุงเทพฯ, 27 พฤษภาคม 2565

ปิติ ขันโพธิ์, ปฏิวัติ คมวชิรกุล, กฤษณ์ อภิญญาวิศิษฐ์ และ ภูภูมิ พ่วงเจริญชัย (2565). การจำลองค่าเวลาคงอยู่เฉลี่ยของข้าวเปลือกในระบบกระแสชนแบบวิถีโค้ง. งานประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 6, กรุงเทพฯ, 27 พฤษภาคม 2565

ปิติ อันโพธิ์, ปฏิวัติ คมวชิรกุล, อนันต์ เต็มเปี่ยม, พลรัชต์ บุญมี และ ภูภูมิ พ่วงเจริญชัย. (2563). การศึกษาค่าเวลาคงที่อยู่เฉลี่ยของวัสดุอนุภาคในระบบกระแสชนแบบวิธีโค้ง. งานประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 5, กรุงเทพฯ, 28 พฤษภาคม 2563, 5-8.

ปฏิวัติ คมวชิรกุล กฤษณ์ อภิญญาวิศิษฐ์ พลรัชต์ บุญมี และภูภูมิ พ่วงเจริญชัย. (2563). การอบแห้งดีปลีแบบถังหมุนด้วยการแผ่รังสีอินฟราเรด, การประชุมวิชาระดับชาติ มอบ.วิจัย ครั้งที่ 14, 174-178.

ปฏิภาณ ถิ่นพระบาท ณทพร จินดาประเสริฐ ประเสริฐ วิโรจน์ชีวัน ภูภูมิ พ่วงเจริญชัย และ มณฑล สิทธิปรีชาชาญ. (2562).การพัฒนารถประหยัดเชื้อเพลิงด้วยการปรับความดันหัวฉีด งานประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 4

สิทธิเดช มั่งมี, คชาภัศ อุดมศรี, ธนกฤต เขมสุขสำราญ, อนันต์ เต็มเปี่ยม, พิเชษฐ์ บุญญาลัย, กุลยศ สุวันทโรจน์ และภูภูมิ พ่วงเจริญชัย. (2562). การควบคุมเครื่องจัดเก็บชิ้นงานทรงกระบอกด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์. งานประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 4

7.5 งานวิจัยที่กำลังทำ : ชื่อข้อเสนอการวิจัย แหล่งทุน และสถานภาพในการทำวิจัยว่าได้ทำการวิจัยลุล่วงแล้วประมาณร้อยละเท่าใด

.....โปรดระบุ.....

ส่วน ค : ประวัติคณะผู้วิจัย



1. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นาย นางสาว นาง ยศ : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงศ์ พันธุนะ

ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Mr., Miss, Mrs., Rank : Asst.Prof.Dr.Nattapong Phanthuna

2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน : ระบุ

3. ตำแหน่งปัจจุบัน

- ตำแหน่งบริหาร : คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์
- ตำแหน่งทางวิชาการ : ผู้ช่วยศาสตราจารย์

4. หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์มือถือ และไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (e-mail)

- หน่วยงาน : คณะวิศวกรรมศาสตร์
- สถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก : 1381 ถนนประชาราษฎร์สาย1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กทม 10800
- หมายเลขโทรศัพท์มือถือ : 081-838-6780
- E-mail : nattapong.p@rmutp.ac.th

5. ประวัติการศึกษา

ระดับการศึกษา	คุณวุฒิ	ปีที่จบการศึกษา
ปริญญาเอก	วศ.ด. สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	2554
ปริญญาโท	วศ.ม. สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	2550
ปริญญาโท	บธม.การบริหารอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศรีปทุม	2542
ปริญญาตรี	วศ.บ. สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล	2539

6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ

การออกแบบระบบ Automation ในสายการผลิต ระบบการวัดและเครื่องมือวัดทางไฟฟ้า ระบบไมโครคอนโทรเลอร์ในหุ่นยนต์ ระบบประมวลผลข้อมูลภาพดิจิทัล

7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยระบุสถานภาพในการทำการวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการแผนงานวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้ร่วมวิจัยในแต่ละผลงานวิจัย

7.1 ผู้อำนวยการแผนงานวิจัย : ชื่อแผนงานวิจัย

การวิเคราะห์และออกแบบโรงเรือน และเครื่องควบคุมอุณหภูมิและความชื้นที่เหมาะสม รวมถึงวิเคราะห์ลักษณะปัจจัยแวดล้อมสำหรับโรงเรื่อนปลูกเหตุมิลกี้แบบครบวงจร

7.2 หัวหน้าโครงการวิจัย : ชื่อโครงการวิจัย

โปรแกรมทดสอบประสิทธิภาพการล้างมืออัจฉริยะ

7.3 ผู้ร่วมวิจัย : ชื่อแผนงานวิจัย/โครงการวิจัย

การพัฒนาและออกแบบเครื่องอบกะปิเคยเพื่อเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์วิสาหกิจชุมชนกะปิเคยตาดำ ตำบลคลองโคน , โครงการเครื่องหยอดแป้งร่ำเกลือจืดแบบอัตโนมัติ,

7.4 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว : ชื่อผลงานวิจัย ปีที่พิมพ์ การเผยแพร่ และแหล่งทุน (อาจมากกว่า 1 เรื่อง)

การปรับปรุงวิธีการจับคู่เส้นทางการเดินทางของยานพาหนะบนถนนด้วยกล้องอ่านแผ่นป้ายทะเบียนบนสภาวะแวดล้อมจริง ,การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 15 หรือ 15th Conference of Electrical Engineering Network 2023 (EENET 2023),

7.5 งานวิจัยที่กำลังทำ : ชื่อข้อเสนอการวิจัย แหล่งทุน และสถานภาพในการทำวิจัยว่าได้ทำการวิจัยลุล่วงแล้วประมาณร้อยละเท่าใด

การพัฒนาชุมชนต้นแบบเพื่อการยกระดับคุณภาพชีวิต ภายใต้ปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียงสู่ความยั่งยืนระดับประเทศ ระยะที่ 1 และระยะที่ 2