

การประมาณการสิ้นเปลืองพลังงานเมื่อใช้รถปลั๊กอินไฮบริดแทนรถยนต์ในสภาพการจราจรจริงของ
กรุงเทพมหานคร



นายกันต์ ชัยสุวรรณ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

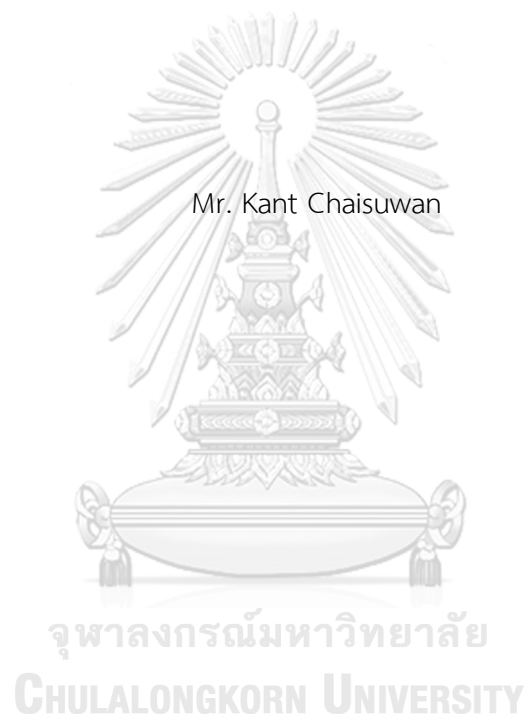
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2560

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ASSESSING REAL-WORLD ENERGY CONSUMPTION OF PLUG-
IN HYBRID ELECTRIC VEHICLE ADOPTION SCENARIO IN BANGKOK

Mr. Kant Chaisuwan



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Mechanical Engineering

Department of Mechanical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2017

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การประมาณการสิ้นเปลืองพลังงานเมื่อใช้รถปลั๊กอิน
ไฮบริดแทนรถยนต์ในสภาพการจราจรจริงของ
กรุงเทพมหานคร
โดย นายกันต์ ชัยสุวรรณ
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก รองศาสตราจารย์ ดร.อังคิรี ศรีภคการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนัดต์ รัตนสุมาวงศ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.อังคิรี ศรีภคการ)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สันหพศ จันทรานุกวัฒน์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร.ชินะ เพ็ญชาติ)

กันต์ ชัยสุวรรณ : การประมาณการสิ้นเปลืองพลังงานเมื่อใช้รถปลั๊กอินไฮบริดแทนรถยนต์
ในสภาพการจราจรจริงของกรุงเทพมหานคร (ASSESSING REAL-WORLD ENERGY
CONSUMPTION OF PLUG-IN HYBRID ELECTRIC VEHICLE ADOPTION SCENARIO IN
BANGKOK) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร.อังคิรี ศรีภาคกร, 135 หน้า.

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ศึกษาถึงการใช้พลังงานของรถปลั๊กอินไฮบริดภายใต้พฤติกรรมการใช้ของผู้ใช้รถส่วนบุคคลในสภาพการจราจรจริงของกรุงเทพมหานคร พฤติกรรมการใช้ที่ส่งผลต่อการ
ใช้พลังงานคือระยะทางขับขี่และระยะเวลาการจอดที่สอดคล้องกับระยะเวลาที่สามารถชาร์จพลังงาน
ไฟฟ้าได้ด้วยจุดชาร์จไฟฟ้าแบบต่างๆ บนสมมติฐานที่มีจุดชาร์จรองรับการจอดรถที่มีระยะเวลา
สอดคล้องกันดังกล่าว พบว่าหากมีจุดชาร์จไฟฟ้ารองรับมากขึ้นจะสามารถเพิ่มค่า UF ได้ โดยที่ระยะ
CD เท่ากับ 20 กม. ค่า UF กรณีที่มีเพียงการชาร์จไฟฟ้าจากที่พักคือ 0.31 หากมีจุดชาร์จไฟฟ้ารองรับ
ตามสำนักงานจะเพิ่มค่า UF เป็น 0.40 หากมีจุดชาร์จไฟฟ้าสาธารณะแบบเต้าเสียบทั่วไปครอบคลุม
มากขึ้นจะเพิ่มค่า UF เป็น 0.48 และหากมีจุดชาร์จไฟฟ้าสาธารณะแบบ Wall box ครอบคลุมมาก
ขึ้นด้วยจะเพิ่มค่า UF เป็น 0.53 ค่า UF จากกรณีที่มีเพียงการติดตั้งจุดชาร์จไฟฟ้าสาธารณะแบบ
เต้าเสียบทั่วไปสู่กรณีที่มีการติดตั้งจุดชาร์จไฟฟ้าสาธารณะแบบ Wall box มีค่าสูงขึ้นเพียงเล็กน้อย
จึงไม่จำเป็นต้องติดตั้งจุดชาร์จสาธารณะแบบ Wall box ในกรุงเทพมหานคร นอกจากพฤติกรรม
ขับขี่ดังกล่าวแล้ว สิ่งที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานของรถคือลักษณะเฉพาะของรถและสภาพการจราจรที่
จะส่งผลต่อรูปแบบการขับขี่ การศึกษานี้ได้สร้างฐานข้อมูลอัตราการใช้พลังงานในโหมด CD และ CS
ของรถปลั๊กอินไฮบริด 2 รุ่นที่ตั้งค่าให้เป็นรถปลั๊กอินไฮบริดประเภท Range-extender โดยใช้
แบบจำลองค่ากำลังจำเพาะของยานพาหนะ ผลการสร้างแบบจำลองดังกล่าวพบว่ามีความแม่นยำสูง
เมื่อนำไปประมาณการใช้พลังงานจากการขับขี่จริงเทียบกับการวัดและจากวัฏจักรการขับขี่มาตรฐาน
เทียบกับค่าที่ผู้ผลิตอ้างอิง การใช้พลังงานเฉลี่ยของการขับขี่ในกรุงเทพมหานครในโหมด CD และ CS
จะถูกนำมาถ่วงน้ำหนักด้วยค่า UF ได้เป็นการใช้พลังงานเฉลี่ยระหว่าง 2 โหมด ที่จะมีการประหยัด
พลังงานเทียบกับรถยนต์มากกว่า 50% หากมีจุดชาร์จไฟฟ้าสาธารณะที่ครอบคลุมนอกเหนือจากที่พัก
พักและสำนักงาน และหากดำเนินการตามนโยบายของภาครัฐที่ต้องการลดพลังงานจากภาคคมนาคม
ขนส่ง 1,123 ktoe ด้วยการแทนที่รถยนต์ในกรุงเทพมหานครด้วยยานยนต์ไฟฟ้า 1.2 ล้านคัน โดย
หากแทนที่ด้วยรถปลั๊กอินไฮบริดทั้งหมด ซึ่งมีความเป็นไปได้มากกว่าการแทนที่ด้วยรถไฟฟ้าทั้งหมด
จะสามารถลดพลังงานได้ถึง 80% ของเป้าหมายที่ตั้งไว้หากมีจุดชาร์จไฟฟ้าสาธารณะที่ครอบคลุม

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล ปลายมือชื่อนิสิต

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล ปลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

ปีการศึกษา 2560

5870113921 : MAJOR MECHANICAL ENGINEERING

KEYWORDS: PLUG-IN HYBRID ELECTRIC VEHICLE / ENERGY CONSUMPTION / CHARGING POINT / UTILITY FACTOR / VSP

KANT CHAISUWAN: ASSESSING REAL-WORLD ENERGY CONSUMPTION OF PLUG-IN HYBRID ELECTRIC VEHICLE ADOPTION SCENARIO IN BANGKOK. ADVISOR: ASSOC. PROF.ANGKEE SRIPAKAGORN, Ph.D., 135 pp.

This thesis evaluates the energy consumption of the Plug-in Hybrid Electric Vehicle (PHEV) under the driving behavior in Bangkok's real traffic conditions. Driving behavior that affects the energy consumption is the driving distance and the parking period that corresponds to the time period required for full charge under the assumption that the charging points are always available. If the actual availability of charging point is covered, the Utility Factor (UF) can be increased. At a Charge Depletion (CD) distance of 20 km, the UF is only 0.31 in case of overnight charging. If the charge is based on the workplace, the UF value is increased to 0.40. If more of public charging point are available, the UF is increased to 0.48. If there are more of extensive Wall Boxes, the UF is increased to 0.53. There is no need to install the wall box for Bangkok situation. In addition to driving habits, the characteristics of the vehicle and the traffic conditions affect the vehicle's energy consumption. This study establishes the energy consumption database in CD and Charge Sustaining (CS) modes of two PHEVs that are running in the Range-extender mode using the approach of Vehicle Specific Power (VSP). The modeling result was highly accurate when estimating the actual driving energy consumption compared to the values from the standard driving cycle available from the manufacturer. The average energy consumption of driving in Bangkok in CD and CS mode is weighted by the UF. The average energy consumption of PHEVs can save energy more than 50% compared to Conventional Vehicle (CV) if there are enough public charging points. The government policy is to reduce energy consumption from the transport sector by 1,123 ktoe by replacing 1.2 million CVs in Bangkok by Plug-in Electric Vehicle (PEV). If all of PEV is PHEV that is more accessible to consumers than Battery Electric Vehicle, it can reduce energy consumption by up to 80% of the target.

Department: Mechanical Engineering Student's Signature

Field of Study: Mechanical Engineering Advisor's Signature

Academic Year: 2017

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาอย่างสูงจาก รองศาสตราจารย์ ดร.อังศิ์ ศรีภคการ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้ความรู้ คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ตลอดจนการติดตามการดำเนินงานวิจัยอย่างสม่ำเสมอ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำวิจัย อีกทั้งยังช่วยชี้แนะแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆระหว่างการดำเนินงานด้วยความเอาใจใส่อย่างดียิ่ง ผู้วิจัยตระหนักถึงความตั้งใจจริงและความทุ่มเทของอาจารย์และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนัดต์ รัตนสุมาวงศ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สัณห์พศ จันทรานุกวัฒน์ และ ดร.ชินะ เพ็ญชาติ ที่กรุณารับเป็นกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์ และให้คำแนะนำต่างๆแก่ผู้วิจัยในการปรับปรุงวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณ สำนักนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน สำหรับการสนับสนุนข้อมูล แผนการดำเนินงาน และอุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินงานต่างๆตลอดการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ บริษัท บีเอ็มดับเบิลยู (ประเทศไทย) และ บริษัท เมอร์เซเดส-เบนซ์ (ประเทศไทย) สำหรับการสนับสนุนรถทดสอบ รวมถึงความรู้ในเชิงเทคนิคของรถปลั๊กอินไฮบริด

ขอขอบคุณนายศรวิทย์ ตรีนก นายคณิน เกียรติอร่ามกุล นายภูติศ จตุสัทธางกูรณ์ นายสรรเพชญ ไกรฤกษ์ และ นางสาวสุทัตตา พาหุมนันโต สำหรับความช่วยเหลือ คำแนะนำ และกำลังใจที่มีให้ผู้วิจัยตลอดการทำวิทยานิพนธ์

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และทุกคนในครอบครัวที่เป็นกำลังใจ ให้คำปรึกษา และคอยสนับสนุนผู้วิจัยในทุกๆด้าน ตลอดจนบุคคลต่างๆที่ให้ความช่วยเหลืออีกมากมายที่ผู้วิจัยไม่สามารถกล่าวชื่อนามได้หมดในที่นี้ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาและความปรารถนาดีของท่านเป็นอย่างยิ่ง จึงขอกราบขอบพระคุณไว้ในโอกาสนี้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญรูปภาพ.....	11
สารบัญตาราง.....	17
บทที่ 1	19
บทนำ	19
1.1 ที่มาและความสำคัญ	19
1.2 จุดประสงค์ของการวิจัย.....	24
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	24
1.4 แผนการดำเนินงาน.....	25
บทที่ 2	26
การสอบทวนวรรณกรรม	26
2.1 Utility Factor.....	26
2.2 ผลของรูปแบบการขับขี่ที่มีต่อการใช้พลังงานของรถ	32
2.3 การคำนวณการใช้พลังงาน: แบบจำลองค่ากำลังจำเพาะของยานพาหนะ (Vehicle Specific Power: VSP).....	35
บทที่ 3	38
วิธีการทดสอบ	38
3.1 การเก็บข้อมูลพฤติกรรมการขับขี่ในแง่ระยะทาง	38
3.1.1 GPS (Global Positioning System) Logger.....	39
3.1.2 OBD (On-board Diagnostics) ประเภทหน่วยความจำในตัว	39

3.2 การหารูปแบบ Utility Factor ของรถส่วนบุคคลในกรุงเทพมหานคร	40
3.3 รูปแบบการขับขี่ของกรุงเทพมหานคร	41
3.4 การตั้งค่าโหมดการขับขี่ของรถปลั๊กอินไฮบริดและการติดตั้งอุปกรณ์เก็บข้อมูล	43
3.4.1 การตั้งค่าการขับขี่ในโหมด CD.....	43
3.4.2 การตั้งค่าการขับขี่ในโหมด CS.....	45
3.5 การสร้างแบบจำลองค่ากำลังจำเพาะของยานพาหนะ (VSP model)	45
3.5.1 การขับขี่ทดสอบรถปลั๊กอินไฮบริด	46
3.5.2 การแบ่งโหมดค่ากำลังจำเพาะของยานพาหนะ	49
3.5.3 ความคลาดเคลื่อนแบบจำลองค่ากำลังจำเพาะของยานพาหนะ	50
3.6 การประมาณการใช้พลังงานของรถปลั๊กอินไฮบริดในพฤติกรรมการขับขี่ของ กรุงเทพมหานคร	51
3.6.1 การประมาณการใช้พลังงานในแต่ละรูปแบบการขับขี่	51
3.6.2 การประมาณการใช้พลังงานโดยเฉลี่ยจากรูปแบบการขับขี่ของกรุงเทพมหานคร	52
3.6.3 การประมาณระยะ CD ของรถปลั๊กอินไฮบริดเมื่อขับขี่ในรูปแบบการขับขี่ของ กรุงเทพมหานคร	53
3.6.4 การประมาณการใช้พลังงานของรถปลั๊กอินไฮบริดโดยเฉลี่ยจากพฤติกรรมการขับขี่ ในกรุงเทพมหานคร	53
3.6.5 การใช้พลังงานที่ลดลงเมื่อใช้รถปลั๊กอินไฮบริดแทนรถยนต์ในกรุงเทพมหานคร	53
บทที่ 4	55
ผลการทดสอบและอภิปราย	55
4.1 พฤติกรรมการขับขี่ในแง่ระยะทางและเวลาในการจอดของผู้ใช้รถส่วนบุคคลใน กรุงเทพมหานคร	55
4.1.1 ความครอบคลุมและความเพียงพอของข้อมูลพฤติกรรมการขับขี่	55
4.1.2 รูปแบบ UF ของผู้ใช้รถส่วนบุคคลในกรุงเทพมหานคร	57

4.2	ฐานข้อมูลอัตราการใช้พลังงานของรถปลั๊กอินไฮบริด	61
4.2.1	แบบจำลองค่ากำลังจำเพาะของรถปลั๊กอินไฮบริดในโหมด CD	61
4.2.2	แบบจำลองค่ากำลังจำเพาะของรถปลั๊กอินไฮบริดในโหมด CS	66
4.3	การใช้พลังงานของรถปลั๊กอินไฮบริดภายใต้พฤติกรรมการใช้ในเมืองกรุงเทพมหานคร	69
4.3.1	การใช้พลังงานของรถปลั๊กอินไฮบริดในแต่ละรูปแบบการใช้	69
4.3.2	การใช้พลังงานของรถปลั๊กอินไฮบริดโดยเฉลี่ยในแต่ละโหมดการใช้ในรูปแบบการใช้ ใช้ของกรุงเทพมหานคร	71
4.3.3	ระยะ CD ของรถปลั๊กอินไฮบริดและค่า UF	73
4.3.4	การใช้พลังงานของรถปลั๊กอินไฮบริดโดยเฉลี่ยด้วยพฤติกรรมการใช้ใน กรุงเทพมหานคร	75
4.3.5	การใช้พลังงานที่ลดลงเมื่อแทนที่รถยนต์ในกรุงเทพมหานครด้วยรถปลั๊กอินไฮบริด	76
บทที่ 5	79
	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	79
5.1	สรุปผลการวิจัย	79
5.2	ข้อเสนอแนะ	81
	รายการอ้างอิง	82
	ภาคผนวก	87
	ภาคผนวก ก ข้อมูลที่ใช้ในการหารูปแบบ UF	88
	รูปแบบข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์เก็บข้อมูล GPS Logger	88
	รูปแบบข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์เก็บข้อมูล OBD ประเภทหน่วยความจำในตัว	93
	การประมวลผลเพื่อหารูปแบบ UF	94
	จำนวนข้อมูลที่ใช้หารูปแบบ UF	96
	ภาคผนวก ข รถปลั๊กอินไฮบริดที่ใช้ในการทดสอบ	99
	ข้อมูลจำเพาะของรถปลั๊กอินไฮบริดที่ใช้ทดสอบ	99

โหมตการขับเคลื่อนของรถปลั๊กอินไฮบริดที่ใช้ในการทดสอบ	101
ภาคผนวก ค การสอบเทียบอุปกรณ์ Current Sensor	105
ภาคผนวก ง ข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองค่ากำลังจำเพาะของยานพาหนะ	107
รูปแบบข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์เก็บข้อมูล GPS Logger และ Current sensor	107
รูปแบบข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์เก็บข้อมูล OBD II	111
ภาคผนวก จ การกรองข้อมูลความเร็วจาก OBD	113
ภาคผนวก ฉ การทดสอบเก็บข้อมูลรถปลั๊กอินไฮบริดเบื้องต้น	115
การทดสอบเก็บข้อมูลการขับเคลื่อนในโหมด CD	115
ภาคผนวก ช วัตถุประสงค์การขับขี่มาตรฐาน	119
NEDC (New European Driving Cycle)	119
EPA Combined	119
ภาคผนวก ซ รูปแบบการขับเคลื่อนของกรุงเทพมหานคร	122
ภาคผนวก ฌ ข้อมูลการจราจรของกรุงเทพมหานคร	128
จำนวนรถบนถนนแต่ละเส้น	128
ความเร็วเฉลี่ยของรถบนถนนแต่ละเส้น	128
ระยะทางของถนนแต่ละเส้น	129
ภาคผนวก ฎ อัตราส่วนจำนวนรถคูณระยะทางในแต่ละรูปแบบการขับขี่	131
ภาคผนวก ฏ ผลของระยะ CD ที่มีต่อค่า UF และการใช้พลังงาน	133
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	135

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 1 การใช้พลังงานต่อหน่วยระยะทางของรถแต่ละประเภท [1].....	19
รูปที่ 2 ระดับพลังงานไฟฟ้าและความเร็วรอบเครื่องยนต์ของรถปลั๊กอินไฮบริดประเภท Range- extender [4].....	20
รูปที่ 3 ระดับพลังงานไฟฟ้าและความเร็วรอบเครื่องยนต์ของรถปลั๊กอินไฮบริดประเภท Blended [4].....	21
รูปที่ 4 แผนผังระบบการขับเคลื่อนของรถปลั๊กอินไฮบริดประเภท Series (สีน้ำเงิน), Parallel (สี แดง) และ Series/Parallel (สีน้ำเงินและแดง) [1].....	21
รูปที่ 5 การเปลี่ยนแปลงของ %SOC ในขณะขับขีรถปลั๊กอินไฮบริด, รถไฟฟ้าและรถไฮบริด [9].....	23
รูปที่ 6 การใช้พลังงานของรถไฮบริดและรถปลั๊กอินไฮบริดเมื่อระยะทางการขับขีเพิ่มขึ้น [1].....	27
รูปที่ 7 รูปแบบ UF ของกลุ่มรถยนต์ในสหรัฐอเมริกาจากสมมติฐาน J2841 [6].....	28
รูปที่ 8 รูปแบบ UF ของรถยนต์ส่วนบุคคลในกรุงปักกิ่งและสหรัฐอเมริกา [5].....	29
รูปที่ 9 รูปแบบ UF ของกลุ่มรถที่มีอายุการใช้งานต่างๆ [6].....	29
รูปที่ 10 รูปแบบ UF ของกลุ่มรถต่างๆ [6].....	30
รูปที่ 11 รูปแบบ UF ของกลุ่มรถที่มีโอกาสในการชาร์จไฟฟ้าเต็มในสถานที่ต่างๆ [6].....	31
รูปที่ 12 รูปแบบ UF ของกลุ่มรถที่มีโอกาสการชาร์จไฟฟ้าเต็มเมื่อมีการจอดในระยะเวลาต่างๆ [2].....	31
รูปที่ 13 การใช้พลังงานของรถยนต์ใน 7 รูปแบบการขับขี [5].....	32
รูปที่ 14 การระบุลักษณะของถนนเส้นต่างๆ ตามประเภทของถนนในกรุงเทพมหานคร [22].....	33
รูปที่ 15 การระบุลักษณะของถนนเส้นต่างๆ ตามการใช้ประโยชน์ที่ดินในประเทศสิงคโปร์ [24].....	34
รูปที่ 16 ระยะทางรวมของถนนเส้นต่างๆ ในกรุงเทพมหานครที่มีความเร็วเฉลี่ยในช่วงที่กำหนด [20].....	34
รูปที่ 17 แรงกระทำต่อยานพาหนะในขณะขับเคลื่อน [36].....	35

รูปที่ 18 การสร้างความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าในโหมด CD และค่ากำลัง จำเพาะของรถปลั๊กอินไฮบริดประเภท Blended ในรูปแบบสมการ [8].....	37
รูปที่ 19 อัตราการใช้เชื้อเพลิงของรถปลั๊กอินไฮบริดในช่วงค่ากำลังจำเพาะต่างๆ [8].....	37
รูปที่ 20 อุปกรณ์ GPS Logger และตัวอย่างการติดตั้งที่รถของอาสาสมัคร	39
รูปที่ 21 ตัวอย่างการติดตั้ง OBD ที่รถของอาสาสมัคร [37].....	40
รูปที่ 22 การนับเที่ยวการขับขี่ในสมมติฐาน (ก) 8-h (ข) 4-h และ (ค) 2.5-h trip chain.....	41
รูปที่ 23 ระดับพลังงานและความเร็วรอบเครื่องยนต์ในโหมด Max E-drive ของ PHEV1 ในการ ทดสอบขับขี่ด้วยความเร็วไม่เกิน 120 กม./ชม.....	44
รูปที่ 24 ระดับพลังงานและความเร็วรอบเครื่องยนต์ในโหมด Auto E-drive ของ PHEV1 ในการ ทดสอบขับขี่ด้วยความเร็วไม่เกิน 120 กม./ชม.....	44
รูปที่ 25 current sensor และการติดตั้งโดยการคล้องรอบสายไฟจากแบตเตอรี่ใต้ท้องรถ	48
รูปที่ 26 การติดตั้ง OBD II ในรถ.....	48
รูปที่ 27 การกระจายตัวของค่าเฉลี่ยและค่า SE ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% [7].....	51
รูปที่ 28 เส้นทางการขับขี่ของผู้ใช้รถส่วนบุคคลในกรุงเทพมหานคร	55
รูปที่ 29 รูปแบบ UF ของผู้ใช้รถส่วนบุคคลในกรุงเทพมหานครจากจำนวนข้อมูลชั่วโมงการขับขี่ ต่างๆ ทั้ง 4 สมมติฐาน.....	56
รูปที่ 30 รูปแบบ UF ของรถส่วนบุคคลในกรุงเทพมหานครเปรียบเทียบกับในกรุงเทพฯ	58
รูปที่ 31 อัตราส่วนจำนวนเที่ยวการขับขี่ที่มีระยะทางต่างๆ ต่อจำนวนเที่ยวทั้งหมดในสมมติฐาน 4-h และ 2.5-h trip chain.....	59
รูปที่ 32 อัตราส่วนจำนวนเที่ยวการขับขี่ที่มีระยะทางต่างๆ ต่อจำนวนเที่ยวทั้งหมดในสมมติฐาน Daily VKT และ 8-h trip chain.....	59
รูปที่ 33 อัตราส่วนจำนวนครั้งการจอดของผู้ใช้รถส่วนบุคคลในกรุงเทพมหานครด้วยระยะเวลา ต่างๆ.....	59
รูปที่ 34 การกระจายตัวจำนวนข้อมูลในแต่ละโหมดค่ากำลังจำเพาะในการขับขี่ทดสอบในโหมด CD.....	62
รูปที่ 35 แบบจำลองอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าของรถปลั๊กอินไฮบริดในโหมด CD.....	64

รูปที่ 36 การใช้แบบจำลองประมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในโหมด CD ของ PHEV1	65
รูปที่ 37 การใช้แบบจำลองประมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในโหมด CD ของ PHEV2	66
รูปที่ 38 การกระจายตัวจำนวนข้อมูลในแต่ละโหมดค่ากำลังจำเพาะในการขับขี่ทดสอบในโหมด CS	67
รูปที่ 39 แบบจำลองอัตราการใช้พลังงานเชื้อเพลิงในโหมด CS ของรถปลั๊กอินไฮบริด	68
รูปที่ 40 การใช้พลังงานของรถปลั๊กอินไฮบริดและรถไฟฟ้าในรูปแบบการขับขี่ของ กรุงเทพมหานครทั้ง 20 รูปแบบ	70
รูปที่ 41 อัตราส่วนเวลาที่รถมีค่ากำลังจำเพาะในแต่ละโหมดตามการแบ่งของโหมด CD จาก รูปแบบการขับขี่ที่มีความเร็วเฉลี่ย 5-10, 10-15 และ 15-20 กม./ชม.	71
รูปที่ 42 อัตราส่วนระหว่างค่าในแต่ละรูปแบบการขับขี่ต่อผลรวมของค่าในทุกรูปแบบการขับขี่	72
รูปที่ 43 การใช้พลังงานโดยเฉลี่ยของรถปลั๊กอินไฮบริดในรูปแบบการขับขี่ของกรุงเทพมหานคร ในโหมด CD และ CS	73
รูปที่ 44 ค่า UF รถปลั๊กอินไฮบริดใน 4 สมมติฐาน	75
รูปที่ 45 การใช้พลังงานของรถปลั๊กอินไฮบริดโดยเฉลี่ยด้วยพฤติกรรมการขับขี่ของคนใน กรุงเทพมหานคร	76
รูปที่ 46 ปริมาณพลังงานรวมเมื่อมีการใช้รถปลั๊กอินไฮบริดแทนที่รถยนต์ในกรุงเทพมหานคร	78
รูปที่ 47 การรวมไฟล์ข้อมูลจาก GPS Logger 1	88
รูปที่ 48 การรวมไฟล์ข้อมูลจาก GPS Logger 2	89
รูปที่ 49 การจัดรูปแบบไฟล์ข้อมูลจาก GPS Logger 1	90
รูปที่ 50 การจัดรูปแบบไฟล์ข้อมูลจาก GPS Logger 2	90
รูปที่ 51 การจัดรูปแบบไฟล์ข้อมูลจาก GPS Logger 3	91
รูปที่ 52 การจัดรูปแบบไฟล์ข้อมูลจาก GPS Logger 4	91
รูปที่ 53 การจัดรูปแบบไฟล์ข้อมูลจาก GPS Logger 5	92
รูปที่ 54 การจัดรูปแบบไฟล์ข้อมูลจาก GPS Logger 6	93
รูปที่ 55 รูปแบบไฟล์ข้อมูลจาก OBD ประเภทหน่วยความจำในตัว	94

รูปที่ 56 การกระจายตัวของจำนวนข้อมูลเกี่ยวกับการขับขี่ที่มีระยะทางในช่วงต่างๆ เมื่อมีการ ลดทอนจำนวนข้อมูลในสมมติฐาน 2.5-h trip chain.....	96
รูปที่ 57 การกระจายตัวของจำนวนข้อมูลเกี่ยวกับการขับขี่ที่มีระยะทางในช่วงต่างๆ เมื่อมีการ ลดทอนจำนวนข้อมูลในสมมติฐาน 4-h trip chain.....	97
รูปที่ 58 การกระจายตัวของจำนวนข้อมูลเกี่ยวกับการขับขี่ที่มีระยะทางในช่วงต่างๆ เมื่อมีการ ลดทอนจำนวนข้อมูลในสมมติฐาน 8-h trip chain	97
รูปที่ 59 การกระจายตัวของจำนวนข้อมูลเกี่ยวกับการขับขี่ที่มีระยะทางในช่วงต่างๆ เมื่อมีการ ลดทอนจำนวนข้อมูลในสมมติฐาน Daily VKT.....	98
รูปที่ 60 รถปลั๊กอินไฮบริด PHEV1	99
รูปที่ 61 รถปลั๊กอินไฮบริด PHEV2.....	99
รูปที่ 62 หน้าจอแสดงการเลือกโหมดการขับขี่ของ PHEV1 [41].....	101
รูปที่ 63 หน้าจอแสดงการเลือกโหมดการขับขี่ของ PHEV2 [42].....	102
รูปที่ 64 ผลการสอบเทียบ current sensor 2 ชิ้น.....	106
รูปที่ 65 ไฟล์ข้อมูลจาก GPS Logger และ Current sensor	107
รูปที่ 66 การคัดลอกข้อมูลจากไฟล์ .txt.....	109
รูปที่ 67 การวางข้อมูลในโปรแกรม Microsoft Excel	110
รูปที่ 68 รูปแบบข้อมูลจาก GPS Logger และ Current sensor ที่จัด Format แล้ว.....	110
รูปที่ 69 ไฟล์ข้อมูลจาก OBD II.....	112
รูปที่ 70 ตัวอย่างข้อมูลจาก OBD II	112
รูปที่ 71 ข้อมูลความเร็วของรถจาก OBD และ GPS [44].....	113
รูปที่ 72 การเปรียบเทียบสัญญาณแรงเคลื่อนไฟฟ้าต้านของความเร็วรอบล้อที่ผ่าน Wavelet Packet (Denoised Velocity) กับสัญญาณอ้างอิง [44].....	114
รูปที่ 73 ค่ากำลังทางไฟฟ้าและค่ากำลังในการขับเคลื่อนของ PHEV1.....	115
รูปที่ 74 ค่ากำลังทางไฟฟ้าและค่ากำลังในการขับเคลื่อนของ PHEV1 ในช่วงเริ่มต้นการขับขี่.....	116
รูปที่ 75 ค่ากำลังทางไฟฟ้าและค่ากำลังในการขับเคลื่อนของ PHEV2.....	116

รูปที่ 76	ค่ากำลังทางไฟฟ้าและค่ากำลังในการขับเคลื่อนของ PHEV2 ในช่วงเริ่มต้นการขับขี่	116
รูปที่ 77	รูปแบบการขับขี่ของวัฏจักรการขับขี่ NEDC	119
รูปที่ 78	รูปแบบการขับขี่ของวัฏจักรการขับขี่ UDDS	120
รูปที่ 79	รูปแบบการขับขี่ของวัฏจักรการขับขี่ HWFET	121
รูปที่ 80	รูปแบบการขับขี่ที่มีความเร็วเฉลี่ย 5-10 กม./ชม.	123
รูปที่ 81	รูปแบบการขับขี่ที่มีความเร็วเฉลี่ย 10-15 กม./ชม.	123
รูปที่ 82	รูปแบบการขับขี่ที่มีความเร็วเฉลี่ย 15-20 กม./ชม.	123
รูปที่ 83	รูปแบบการขับขี่ที่มีความเร็วเฉลี่ย 20-25 กม./ชม.	123
รูปที่ 84	รูปแบบการขับขี่ที่มีความเร็วเฉลี่ย 25-30 กม./ชม.	124
รูปที่ 85	รูปแบบการขับขี่ที่มีความเร็วเฉลี่ย 30-35 กม./ชม.	124
รูปที่ 86	รูปแบบการขับขี่ที่มีความเร็วเฉลี่ย 35-40 กม./ชม.	124
รูปที่ 87	รูปแบบการขับขี่ที่มีความเร็วเฉลี่ย 40-45 กม./ชม.	124
รูปที่ 88	รูปแบบการขับขี่ที่มีความเร็วเฉลี่ย 45-50 กม./ชม.	125
รูปที่ 89	รูปแบบการขับขี่ที่มีความเร็วเฉลี่ย 50-55 กม./ชม.	125
รูปที่ 90	รูปแบบการขับขี่ที่มีความเร็วเฉลี่ย 55-60 กม./ชม.	125
รูปที่ 91	รูปแบบการขับขี่ที่มีความเร็วเฉลี่ย 60-65 กม./ชม.	125
รูปที่ 92	รูปแบบการขับขี่ที่มีความเร็วเฉลี่ย 65-70 กม./ชม.	126
รูปที่ 93	รูปแบบการขับขี่ที่มีความเร็วเฉลี่ย 70-75 กม./ชม.	126
รูปที่ 94	รูปแบบการขับขี่ที่มีความเร็วเฉลี่ย 75-80 กม./ชม.	126
รูปที่ 95	รูปแบบการขับขี่ที่มีความเร็วเฉลี่ย 80-85 กม./ชม.	126
รูปที่ 96	รูปแบบการขับขี่ที่มีความเร็วเฉลี่ย 85-90 กม./ชม.	127
รูปที่ 97	รูปแบบการขับขี่ที่มีความเร็วเฉลี่ย 90-95 กม./ชม.	127
รูปที่ 98	รูปแบบการขับขี่ที่มีความเร็วเฉลี่ย 95-100 กม./ชม.	127
รูปที่ 99	รูปแบบการขับขี่ที่มีความเร็วเฉลี่ยมากกว่า 100 กม./ชม.	127

รูปที่ 100 ตัวอย่างข้อมูลจำนวนรถจากสำนักงานการจราจรและขนส่ง กรุงเทพมหานคร [46].....	128
รูปที่ 101 ตำแหน่งวัดความเร็วของรถบนถนนในประเทศไทยของมูลนิธิศูนย์ข้อมูลจราจรอัจฉริยะไทย [48].....	129
รูปที่ 102 เส้นทางของถนนในกรุงเทพมหานครที่มีข้อมูลจำนวนและความเร็วเฉลี่ยของรถ [20]....	130
รูปที่ 103 ค่า UF จากระยะ CD ที่แตกต่างกันของ PHEV1	133
รูปที่ 104 ค่า UF จากระยะ CD ที่แตกต่างกันของ PHEV2	134
รูปที่ 105 การใช้พลังงานของ PHEV1 จากการอ้างอิงระยะ CD ที่แตกต่างกัน	134
รูปที่ 106 การใช้พลังงานของ PHEV2 จากการอ้างอิงระยะ CD ที่แตกต่างกัน	134



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 ความเร็วของรถปลั๊กอินไฮบริดที่ทำให้มีการทำงานของเครื่องยนต์ในโหมด CD.....	43
ตารางที่ 2 การแบ่งโหมดค่ากำลังจำเพาะของรถปลั๊กอินไฮบริดในโหมด CS.....	49
ตารางที่ 3 การแบ่งโหมดค่ากำลังจำเพาะของรถปลั๊กอินไฮบริดในโหมด CD.....	50
ตารางที่ 4 พฤติกรรมการขับขี่เบื้องต้นในแง่ระยะทางของรถส่วนบุคคล.....	58
ตารางที่ 5 ค่า UF ของรถปลั๊กอินไฮบริดที่มีระยะ CD = 20 กม. ในพฤติกรรมการขับขี่รถส่วนบุคคลในกรุงเทพมหานคร.....	61
ตารางที่ 6 ความแม่นยำของแบบจำลองในการประมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในโหมด CD เทียบกับวัฏจักรการขับขี่มาตรฐาน.....	65
ตารางที่ 7 ความแม่นยำของแบบจำลองในการประมาณการใช้เชื้อเพลิงในโหมด CS เทียบกับวัฏจักรการขับขี่มาตรฐาน.....	68
ตารางที่ 8 ขนาดความจุแบตเตอรี่ที่ใช้ได้จริงของรถปลั๊กอินไฮบริดที่ใช้ทดสอบ.....	73
ตารางที่ 9 ระยะ CD ของรถปลั๊กอินไฮบริดจากการขับขี่ในกรุงเทพมหานครเทียบกับการอ้างอิงของผู้ผลิต.....	74
ตารางที่ 10 ค่า UF ของรถปลั๊กอินไฮบริดภายใต้การขับขี่ในกรุงเทพมหานคร.....	74
ตารางที่ 11 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณการใช้พลังงานที่ลดลง.....	77
ตารางที่ 12 ตัวอย่างข้อมูลที่ใช้หารูปแบบ UF.....	95
ตารางที่ 13 ข้อมูลจำเพาะของรถปลั๊กอินไฮบริดที่ใช้ทดสอบ.....	100
ตารางที่ 14 ข้อมูลจำเพาะของอุปกรณ์ current sensor.....	105
ตารางที่ 15 ข้อมูลจำเพาะของ GPS Logger.....	108
ตารางที่ 16 ข้อมูลจำเพาะของอุปกรณ์ OBD II.....	111
ตารางที่ 17 การเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าที่ใช้และชาร์จของ PHEV1.....	118
ตารางที่ 18 การเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าที่ใช้และชาร์จของ PHEV2.....	118

ตารางที่ 19 ข้อมูลของรูปแบบการขับขี่ของกรุงเทพมหานครเบื้องต้น	122
ตารางที่ 20 จำนวนถนนในแต่ละประเภทถนน	130
ตารางที่ 21 ตัวอย่างการจำแนกรูปแบบการขับขี่ของถนนแต่ละเส้นในแต่ละช่วงเวลา	132
ตารางที่ 22 ตัวอย่างอัตราส่วนในแต่ละรูปแบบการขับขี่ต่อผลรวมทุกรูปแบบการขับขี่	132

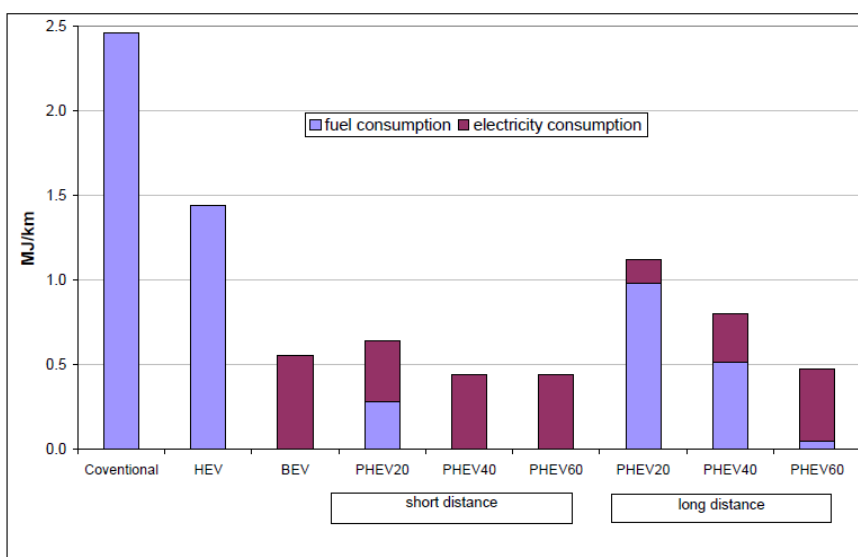


บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

รถปลั๊กอินไฮบริด (Plug-in Hybrid Electric Vehicle: PHEV) จัดเป็นยานยนต์ที่ได้รับการยอมรับว่าเป็นยานยนต์ทางเลือกที่เหนือกว่ารถยนต์แบบดั้งเดิม (Conventional Vehicle: CV) ในแง่ของการประหยัดพลังงาน [1, 2] เนื่องจากรถปลั๊กอินไฮบริดจัดเป็นหนึ่งในยานยนต์ไฟฟ้า (Electric Vehicle: EV) เช่นเดียวกับรถไฟฟ้า (Battery Electric Vehicle: BEV) ที่มีต้นกำลัง (Powertrain) ในการขับเคลื่อนคือมอเตอร์ไฟฟ้า (Electric Motor: EM) ที่มีประสิทธิภาพในเชิงพลังงานถึง 75% ซึ่งมากกว่าเครื่องยนต์สันดาปภายใน (Internal Combustion Engine: ICE) ที่เป็นต้นกำลังของรถยนต์ที่มีประสิทธิภาพในเชิงพลังงานเพียง 14% เท่านั้น [3] แต่รถปลั๊กอินไฮบริดมีความแตกต่างจากรถไฟฟ้าตรงที่มีต้นกำลังทั้ง 2 ชนิด ทำให้มีการใช้พลังงานจาก 2 แหล่งคือพลังงานไฟฟ้าและเชื้อเพลิง [1, 4] การใช้พลังงานต่อหน่วยระยะทางของรถปลั๊กอินไฮบริดจึงมีความไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับหลาย ๆ ปัจจัย โดยปัจจัยสำคัญคือระยะทางที่สามารถขับเคลื่อนด้วยพลังงานไฟฟ้าเท่านั้นและระยะทางที่ขับซึ่งจริง [1, 2, 5, 6] ดังแสดงในรูปที่ 1 อย่างไรก็ตามจะเห็นได้ว่ารถปลั๊กอินไฮบริดมีการใช้พลังงานที่ต่ำกว่ารถยนต์หรือแม้กระทั่งรถไฮบริด (Hybrid Electric Vehicle: HEV) อีกด้วย

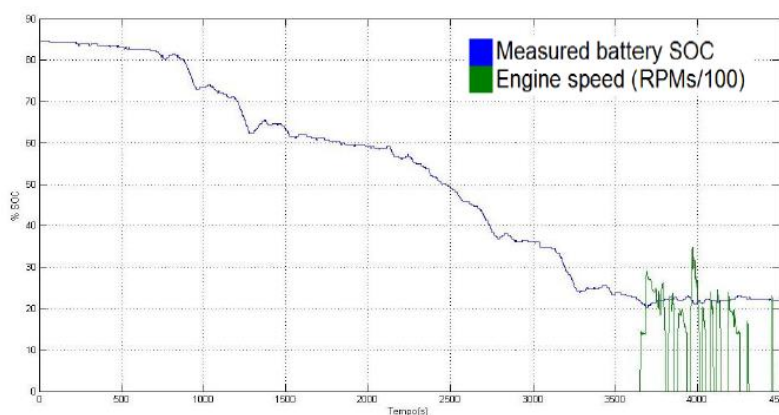


รูปที่ 1 การใช้พลังงานต่อหน่วยระยะทางของรถแต่ละประเภท [1]

นอกจากนี้ต้นกำลังทั้งสองชนิดอาจส่งกำลังขับเคลื่อนร่วมกันหรือไม่ก็ได้ [1] ซึ่งจะขึ้นอยู่กับประเภทของรถปลั๊กอินไฮบริด ที่แบ่งออกเป็น 3 ประเภท [1, 4] ดังต่อไปนี้

1. Series Hybrid

รถปลั๊กอินไฮบริดประเภทนี้จะมีเพียงมอเตอร์ไฟฟ้าเท่านั้นที่ทำหน้าที่ขับเคลื่อนรถ และเมื่อพลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่หมด เครื่องยนต์จะทำหน้าที่ส่งกำลังจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงผ่าน Generator ไปยังมอเตอร์ไฟฟ้าเพื่อขับเคลื่อนรถต่อไป รถปลั๊กอินไฮบริดประเภทนี้เปรียบเสมือนรถไฟฟ้าที่มีเครื่องยนต์เพื่อเพิ่มระยะในการขับขี่ และเรียกรถปลั๊กอินไฮบริดประเภทนี้ในอีกชื่อว่า Range-extender PHEV [1, 4] ตัวอย่างรถปลั๊กอินไฮบริดประเภทนี้คือ Chevrolet Volt, BMW i3 REx และ Cadillac ELR เป็นต้น รูปที่ 2 แสดงให้เห็นว่ารถปลั๊กอินไฮบริดประเภท Range-extender จะมีการใช้พลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ซึ่งแสดงในรูป %SOC (State of Charge) ในการขับเคลื่อนเท่านั้น จนกระทั่งระดับพลังงานไฟฟ้าลดเหลือระดับต่ำสุดจึงขับเคลื่อนโดยใช้เครื่องยนต์



รูปที่ 2 ระดับพลังงานไฟฟ้าและความเร็วรอบเครื่องยนต์ของรถปลั๊กอินไฮบริดประเภท Range-extender [4]

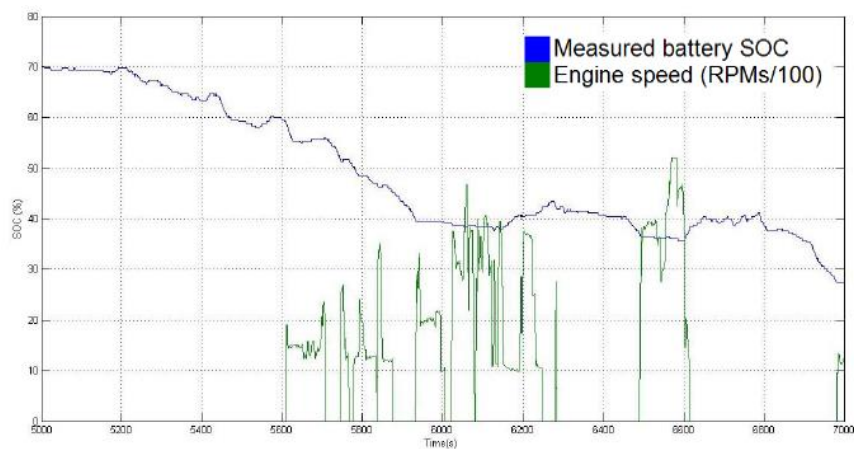
2. Parallel Hybrid

รถปลั๊กอินไฮบริดประเภทนี้ ทั้งมอเตอร์ไฟฟ้าและเครื่องยนต์ทำหน้าที่ขับเคลื่อนรถไปด้วยกัน ตัวอย่างรถปลั๊กอินไฮบริดประเภทนี้คือ Honda Insight [4]

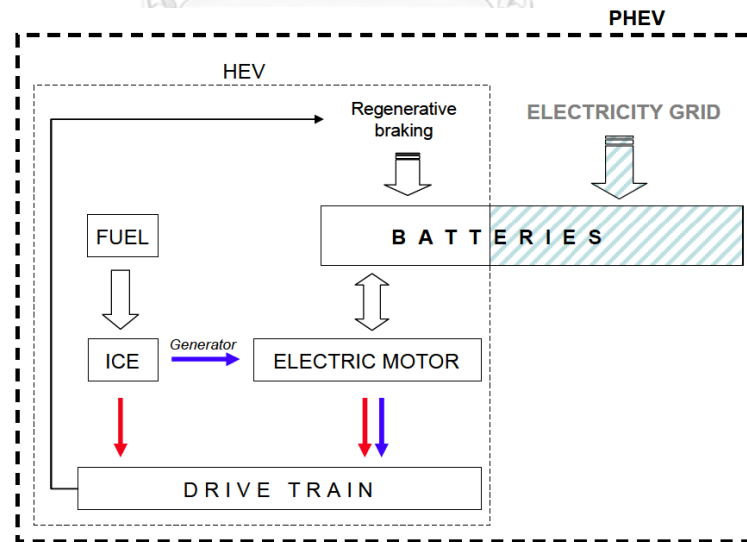
3. Series/Parallel Hybrid

รถปลั๊กอินไฮบริดประเภทนี้คือการผสมผสานระหว่างการทำงานของรถปลั๊กอินไฮบริดประเภท Series และ Parallel Hybrid คือสามารถขับเคลื่อนได้โดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้าอย่างเดียวเท่านั้น หรือมีเครื่องยนต์ช่วยขับเคลื่อนเสริมกำลังไปพร้อมกัน ซึ่งเครื่องยนต์สามารถทำหน้าที่ได้ทั้งการส่งกำลังจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงผ่าน Generator ไปยังมอเตอร์ไฟฟ้าและขับเคลื่อนรถโดยตรง ทั้งนี้การขับเคลื่อนประเภทนี้จะมีความซับซ้อนของระบบการทำงานมากที่สุด เรียกรถปลั๊กอินไฮบริด

ประเภทนี้ในอีกชื่อว่า Blended PHEV [1, 4] รถปลั๊กอินไฮบริดประเภทนี้จะมีจำหน่ายมากที่สุด ตัวอย่างรถปลั๊กอินไฮบริดประเภทนี้คือ Toyota Prius Plug-in, Volvo V60, Mitsubishi Outlander, BMW 330e และ Mercedes-Benz C350e เป็นต้น รูปที่ 3 แสดงให้เห็นว่ารถปลั๊กอินไฮบริดประเภท Blended จะมีการทำงานของเครื่องยนต์แม้ว่าระดับพลังงานไฟฟ้ายังไม่ลดถึงระดับต่ำสุดก็ตาม การขับเคลื่อนไปพร้อมกันของมอเตอร์ไฟฟ้าและเครื่องยนต์ของรถปลั๊กอินไฮบริดประเภท Parallel, การขับเคลื่อนของมอเตอร์ไฟฟ้าที่อาจมีเครื่องยนต์ช่วยส่งกำลังของรถปลั๊กอินไฮบริดประเภท Series และการขับเคลื่อนของมอเตอร์ไฟฟ้าและเครื่องยนต์ที่อาจส่งกำลังพร้อมกันหรือไม่ก็ได้ของรถปลั๊กอินไฮบริดประเภท Series/Parallel ถูกแสดงเปรียบเทียบกันได้ดังรูปที่ 4



รูปที่ 3 ระดับพลังงานไฟฟ้าและความเร็วรอบเครื่องยนต์ของรถปลั๊กอินไฮบริดประเภท Blended [4]



รูปที่ 4 แผนผังระบบการขับเคลื่อนของรถปลั๊กอินไฮบริดประเภท Series (สีน้ำเงิน), Parallel (สีแดง) และ Series/Parallel (สีน้ำเงินและแดง) [1]

การทำงานของรถปลั๊กอินไฮบริดประกอบไปด้วย 2 โหมด ซึ่งการทำงานของทั้ง 2 โหมดจะขึ้นกับระดับพลังงานไฟฟ้าในแบตเตอรี่ โดยทั้ง 2 โหมดมีหลักการทำงานดังต่อไปนี้

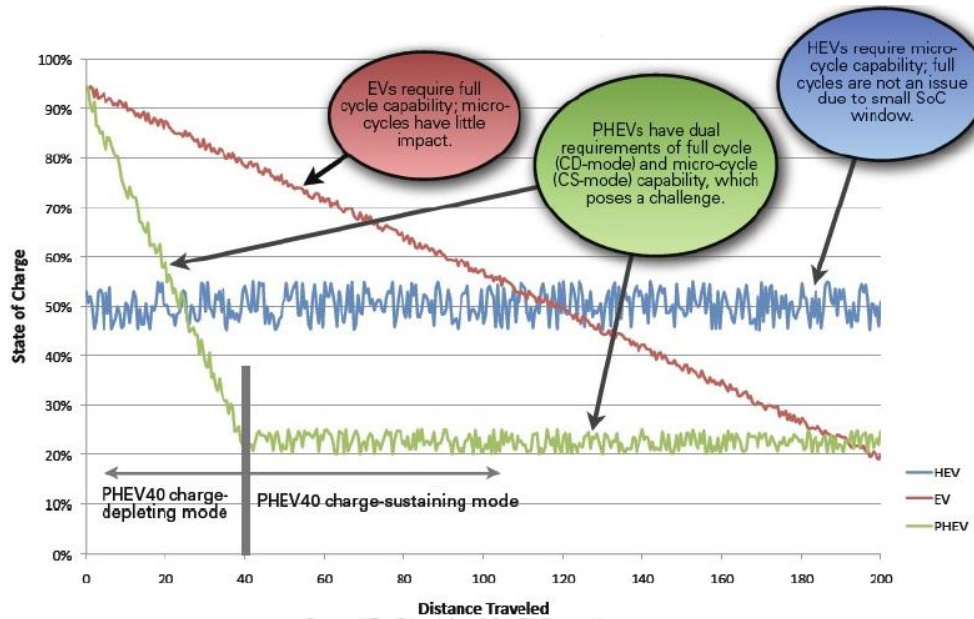
1. โหมด Charge Depleting (CD)

การขับขี่ในโหมดนี้จะเกิดขึ้นได้เมื่อแบตเตอรี่ยังมีปริมาณไฟฟ้าเพียงพอ กล่าวคือเมื่อ %SOC ของแบตเตอรี่มีค่าสูงกว่าระดับต่ำสุดที่กำหนด ในโหมดนี้จะใช้พลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ในการขับเคลื่อนเท่านั้น หรืออาจมีการทำงานของเครื่องยนต์ช่วยเสริมกำลังขับเคลื่อนด้วยซึ่งขึ้นอยู่กับประเภทของรถปลั๊กอินไฮบริดดังที่ได้กล่าวมาก่อนหน้า ในระหว่างการขับขี่ในโหมดนี้ เมื่อมีการเบรกจะสามารถชาร์จไฟฟ้ากลับ (Regenerative Brake) เข้าสู่แบตเตอรี่ได้ [1, 4, 7, 8] ทำให้ %SOC มีการเพิ่มขึ้นได้เล็กน้อยในระหว่างขับขี่หลังจากช่วงการเบรก

สำหรับความสามารถในการขับขี่รถปลั๊กอินไฮบริดในโหมด CD ที่เป็นลักษณะไฟฟ้าล้วน (หรือไฟฟ้าแทบทั้งหมด) มักบอกด้วยระยะทางที่สามารถขับขี่ในโหมด CD จนพลังงานไฟฟ้าหมด (ระยะ CD: R_{CD}) โดยจะเขียนในรูปแบบ PHEVxx ซึ่ง xx คือระยะทาง (ไมล์) [1, 2, 5] ที่สามารถขับขี่ในโหมด CD ซึ่งโดยทั่วไปแล้วมักมีระยะอยู่ที่ 20-60 ไมล์ [1]

2. โหมด Charge Sustaining (CS)

การขับขี่ในโหมดนี้จะเกิดขึ้นได้เมื่อ %SOC มีค่าต่ำกว่าระดับต่ำสุดที่กำหนด โดยในโหมดนี้จะใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงในการขับเคลื่อนเป็นหลัก แต่จะมีการใช้และชาร์จพลังงานไฟฟ้ากลับจากการเบรกเล็กน้อย ทำให้ %SOC ในระหว่างการขับขี่ในโหมดนี้มีการเพิ่ม-ลดเล็กน้อย ซึ่งลักษณะการขับขี่ในโหมดนี้จะเหมือนกับรถไฮบริด [1, 2, 4, 8, 9] รูปที่ 5 แสดงระดับพลังงานไฟฟ้าในรูปแบบ %SOC ในขณะขับขี่รถปลั๊กอินไฮบริดในโหมด CD และ CS เปรียบเทียบกับรถไฟฟ้าและรถไฮบริด แสดงเห็นว่าในโหมด CD มีการลดลงของระดับพลังงานไฟฟ้าในลักษณะเดียวกันกับรถไฟฟ้าและในโหมด CS มีการใช้-ชาร์จพลังงานไฟฟ้าในลักษณะเดียวกันกับรถไฮบริด



รูปที่ 5 การเปลี่ยนแปลงของ %SOC ในขณะขับขี่รถปลั๊กอินไฮบริด, รถไฟฟ้าและรถไฮบริด [9]

ด้วยลักษณะการขับเคลื่อนดังกล่าว ทำให้เปรียบรถปลั๊กอินไฮบริดเสมือนรถไฟฟ้าที่มีขนาดความจุแบตเตอรี่ที่ลดลง แต่มีเครื่องยนต์มาช่วยขับเคลื่อนเป็นประจำ [1] ทำให้มีข้อได้เปรียบที่โดดเด่นเหนือรถไฟฟ้าตรงที่มีประสิทธิภาพในการขับขี่สูงจากการทำงานร่วมกันของต้นกำลังทั้งสอง [1, 4], ผู้ขับขี่ไม่มีความกังวลเรื่องระยะทาง (Range anxiety) [1, 10], แบตเตอรี่ที่มีขนาดไม่ใหญ่ ทำให้ราคาต่ำกว่ารถไฟฟ้า [2, 4] และใช้พลังงานน้อยกว่ารถไฟฟ้าในขณะขับขี่ในโหมด CD เนื่องจากน้ำหนักแบตเตอรี่ที่น้อยกว่า [2, 5] นอกจากนี้หากมีโอกาสชาร์จไฟฟ้าให้กับรถปลั๊กอินไฮบริดได้บ่อยครั้งขึ้น จะทำให้รถปลั๊กอินไฮบริดสามารถขับขี่ในโหมด CD ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่เป็นหลักได้ในสัดส่วนต่อระยะทางทั้งหมดมากขึ้น [2, 6] ซึ่งหมายถึงรถปลั๊กอินไฮบริดจะมีการประหยัดพลังงานได้ใกล้เคียงรถไฟฟ้า

ด้วยข้อได้เปรียบต่างๆ เหล่านี้ ทำให้รถปลั๊กอินไฮบริดเป็นที่น่าสนใจที่จะนำมาใช้งานแทนที่รถยนต์ โดยเฉพาะในกรุงเทพมหานครที่มีสัดส่วนการใช้พลังงานจากภาคคมนาคมสูงถึง 70% ของการใช้พลังงานรวมทั้งหมด [11] และจากการศึกษาสถิติจำนวนรถยนต์จากข้อมูลในปี พ.ศ. 2559 พบว่ากลุ่มรถที่มีสัดส่วนจำนวนมากที่สุดในกรุงเทพมหานครคือรถยนต์ส่วนบุคคลขนาดไม่เกิน 7 ที่นั่งที่ใช้น้ำมันเบนซินเป็นเชื้อเพลิงโดยมีสัดส่วนจำนวนรถถึง 72% [12] ดังนั้นรถกลุ่มนี้จึงเป็นกลุ่มที่ควรให้ความสำคัญในการลดการใช้พลังงานเป็นลำดับต้นๆ ประกอบกับสำนักนโยบายและแผนพลังงานกระทรวงพลังงานได้กำหนดมาตรการอนุรักษ์พลังงานตามแผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี (EEP-2015) ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2558-2579 ซึ่งมีเป้าหมายในการลดความเข้มข้นการใช้พลังงานลง 25% ในปี พ.ศ. 2573 เทียบกับปี พ.ศ. 2548 หนึ่งในมาตรการที่กำหนดเป้าหมายไว้สูงสุดคือมาตรการอนุรักษ์

พลังงานภาคคมนาคมและขนส่ง โดยกำหนดเป้าหมายในการลดพลังงานจากภาคคมนาคมและขนส่งลง 30,213 ktoe ซึ่งคิดเป็น 46% ของปริมาณพลังงานที่ต้องการลดลงทั้งหมด [13] หนึ่งในมาตรการอนุรักษ์พลังงานภาคคมนาคมและขนส่งคือการศึกษา วางแผน และดำเนินการรองรับการใช้นานยนต์ไฟฟ้า เช่นตั้งเป้าการติดตั้งจุดชาร์จไฟฟ้าสาธารณะ 690 แห่ง เพื่อรองรับยานยนต์ไฟฟ้าที่คาดการณ์ว่าจะมีจำนวน 1.2 ล้านคันในปี พ.ศ. 2579 และกำหนดเป้าหมายในการลดพลังงานลงให้ได้ 1,123 ktoe ในปีดังกล่าว [14] งานวิจัยนี้จึงต้องการศึกษาและประมาณการใช้พลังงานของรถปลั๊กอินไฮบริดเมื่อมีการนำมาใช้งานภายใต้พฤติกรรมการใช้ของรถส่วนบุคคลในกรุงเทพมหานคร เพื่อนำมาประมาณการใช้พลังงานที่ลดลงหากมีการใช้งานแทนที่รถยนต์จำนวน 1.2 ล้านคัน ตามแผนของสำนักนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน

1.2 จุดประสงค์ของการวิจัย

- ศึกษารูปแบบของพฤติกรรมการใช้รถส่วนบุคคลในกรุงเทพมหานคร
- สร้างฐานข้อมูลอัตราการใช้พลังงานของรถปลั๊กอินไฮบริด
- ประมาณการใช้พลังงานของรถปลั๊กอินไฮบริดเมื่อขับขี่ในพฤติกรรมการใช้รถส่วนบุคคลในกรุงเทพมหานคร

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

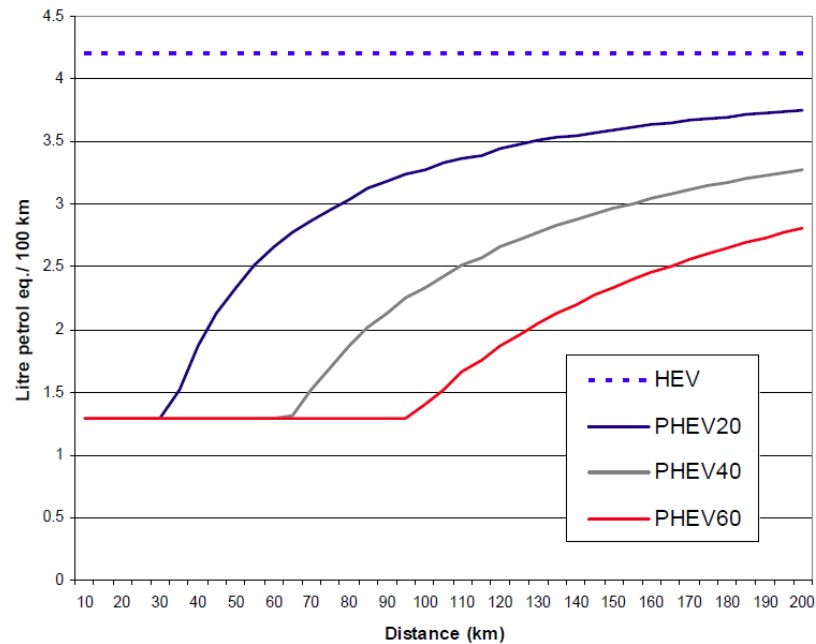
- รถปลั๊กอินไฮบริดที่ใช้ศึกษาคือรถปลั๊กอินไฮบริดในรูปแบบ Range-extender
- ประมาณการใช้พลังงานรวมของรถส่วนบุคคลในกรุงเทพมหานครในปี พ.ศ. 2579

บทที่ 2

การสอบทวนวรรณกรรม

2.1 Utility Factor

จากลักษณะการขับขี่ของรถปลั๊กอินไฮบริดที่มี 2 โหมดการขับขี่ซึ่งใช้พลังงานจาก 2 แหล่ง ทำให้การคำนวณการใช้พลังงานของรถปลั๊กอินไฮบริดมีความซับซ้อน [4, 6] โดยทั่วไปแล้วจะกำหนดให้รถปลั๊กอินไฮบริดเริ่มต้นการขับขี่ในโหมด CD ซึ่งจะมีการใช้พลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่เป็นหลัก ทำให้ในช่วงการขับขี่ในโหมดนี้จะมีการใช้พลังงาน (kWh/100km) ที่คงที่ จนกระทั่งเข้าสู่การขับขี่ในโหมด CS ที่มีการใช้พลังงานเชื้อเพลิงเป็นหลัก ซึ่งแม้จะมีการใช้พลังงาน (l/100km) ที่คงที่เช่นกัน แต่เมื่อนำไปคำนวณเฉลี่ยกับการใช้พลังงานในโหมด CD จะทำให้การใช้พลังงานเฉลี่ย ($l_{eq}/100km$) ของรถปลั๊กอินไฮบริดตั้งแต่เข้าสู่โหมดการขับขี่ในโหมด CS เป็นต้นไปมีค่าสูงขึ้นตามระยะทางการขับขี่ [1, 6, 15-17] รูปที่ 6 แสดงให้เห็นว่าการใช้พลังงานของรถไฮบริดมีค่าคงที่ตามระยะทางที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการใช้พลังงานสุทธิจากแหล่งเดียวคือเชื้อเพลิง แต่รถปลั๊กอินไฮบริดจะมีการใช้พลังงานคงที่เฉพาะในช่วงระยะทางที่ไม่เกินระยะ CD เท่านั้น จากนั้นจึงมีการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นตามระยะทางการขับขี่ที่เพิ่มขึ้นและยังแสดงให้เห็นว่ารถปลั๊กอินไฮบริดที่มีระยะ CD = 60 ไมล์ (PHEV60) จะมีการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ในระยะทางที่ไกลกว่ารถปลั๊กอินไฮบริดที่มีระยะ CD สั้นกว่า (PHEV20 และ PHEV40) ซึ่งทำให้ประหยัดพลังงานมากกว่า ด้วยเหตุนี้จึงทำให้สรุปได้ว่าการใช้พลังงานเฉลี่ยทั้ง 2 โหมดการขับขี่ของรถปลั๊กอินไฮบริดขึ้นอยู่กับระยะ CD และระยะทางการขับขี่



รูปที่ 6 การใช้พลังงานของรถไฮบริดและรถปลั๊กอินไฮบริดเมื่อระยะทางการขับขี่เพิ่มขึ้น [1]

ในปัจจุบันยังไม่มีระเบียบมาตรฐานในการคำนวณการใช้พลังงานของรถปลั๊กอินไฮบริด [4] แต่สมาคมวิศวกรยานยนต์ (Society of Automotive Engineers : SAE) ได้เสนอวิธีการมาตรฐาน (SAE J1711) ที่ใช้คำนวณการใช้พลังงานของรถปลั๊กอินไฮบริด โดยใช้การถ่วงน้ำหนักระหว่างระยะทางที่ขับขี่ในโหมด CD ต่อระยะทางการขับขี่ทั้งหมดในเที่ยวการขับขี่ของพฤติกรรมการขับขี่ที่ต้องการประมาณการใช้พลังงานของรถปลั๊กอินไฮบริด และเรียกค่าถ่วงน้ำหนักนี้ว่า UF (Utility Factor) [18] โดยคำนวณได้จาก

$$UF(R_{CD}) = \frac{\sum_{k=1}^N \min(d(k), R_{CD})}{\sum_{k=1}^N d(k)} \quad (1)$$

โดยที่

UF คือ Utility Factor

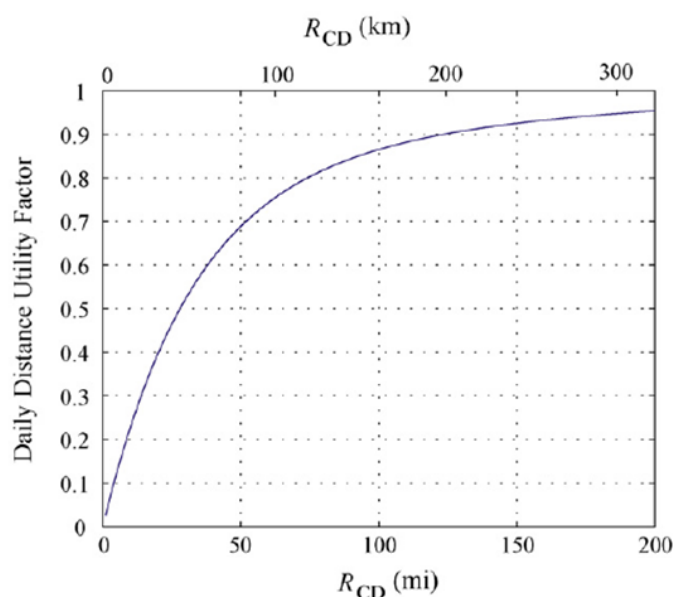
R_{CD} คือ ระยะ CD ของรถปลั๊กอินไฮบริด (กม.)

$d(k)$ คือ ระยะทางการขับขี่ในเที่ยวการขับขี่ที่ k (กม.)

โดยในสมมติฐาน (SAE J2841) [19] ของสมาคมวิศวกรยานยนต์จะกำหนดสมมติฐานในการคำนวณค่า UF ดังต่อไปนี้

1. มีพลังงานไฟฟ้าเต็มก่อนเริ่มเที่ยวการขับขี่
2. เริ่มต้นการขับขี่ด้วยโหมด CD
3. ให้การขับขี่ทั้งวันคือ 1 เที่ยวการขับขี่

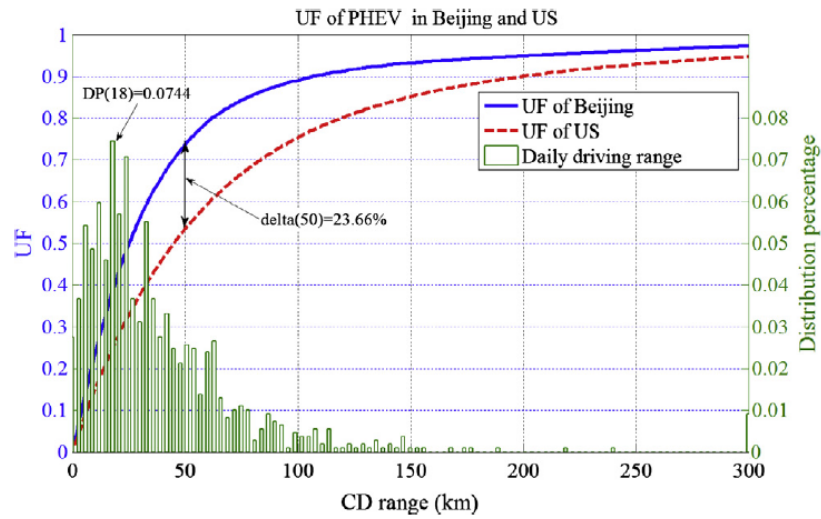
เมื่อนำสมการที่ (1) ด้วยสมมติฐานของ J2841 ไปคำนวณกับข้อมูลพฤติกรรมการขับขี่ของกลุ่มรถยนต์ในสหรัฐอเมริกาจำนวน 69,817 คัน (ข้อมูลจาก 2001 National Household Transportation Survey (2001 NHTS)) [6] จะได้รูปแบบความสัมพันธ์ของค่า UF ที่ระยะ CD ต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 7 จะเห็นได้ว่าหากรถปลั๊กอินไฮบริดมีระยะ CD ที่ไกลขึ้นย่อมส่งผลให้ค่า UF มีค่าสูงขึ้น โดยทั่วไปแล้วรถปลั๊กอินไฮบริดมักมีระยะ CD ในช่วง 20-60 ไมล์ [1] ซึ่งที่ระยะ CD ดังกล่าวจะมีค่า UF ในช่วง 0.41-0.74 แสดงให้เห็นว่าโดยเฉลี่ยแล้วการใช้งานรถปลั๊กอินไฮบริดในสหรัฐอเมริกาสามารถขับขี่ในโหมด CD ได้ถึง 0.41-0.74 ของระยะทางการขับขี่ทั้งหมดใน 1 วัน



รูปที่ 7 รูปแบบ UF ของกลุ่มรถยนต์ในสหรัฐอเมริกาจากสมมติฐาน J2841 [6]

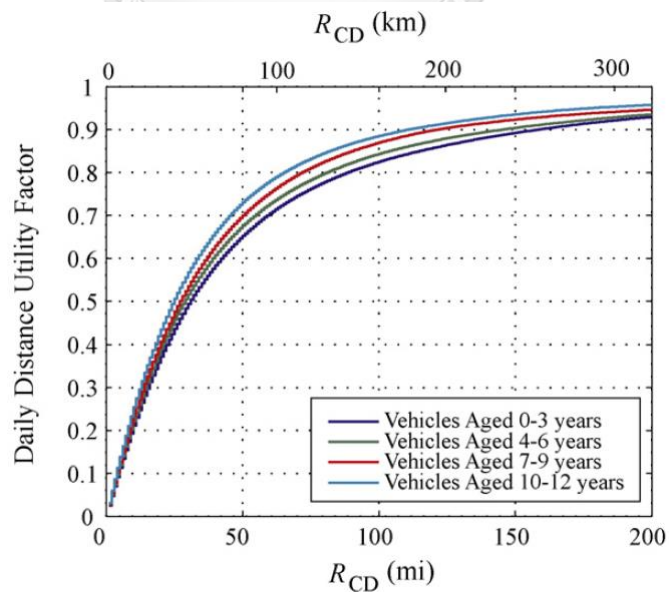
ในหลายๆ งานวิจัย มีการใช้ค่า UF ในการประมาณการใช้พลังงานของรถปลั๊กอินไฮบริด และมักมีการศึกษาหารูปแบบของ UF ในสมมติฐานที่แตกต่างออกไปจาก J2841 เช่นกำหนดให้เที่ยวการขับขี่คือการขับขี่ระหว่างการจอดในสถานที่ที่กำหนด [6], เที่ยวการขับขี่คือการขับขี่ระหว่างการจอดเป็นระยะเวลาที่กำหนด [2] นอกจากนี้ยังสามารถหารูปแบบของ UF เฉพาะกลุ่มรถที่สนใจ [6] และพื้นที่ที่สนใจ [5] ได้อีกด้วย

สำหรับพื้นที่ขับขี่ที่ต่างกันย่อมส่งผลให้รูปแบบ UF ต่างกันออกไปดังแสดงในรูปที่ 8 โดยพบว่า UF ของกลุ่มรถยนต์ส่วนบุคคลในกรุงปักกิ่งมีค่าสูงกว่า UF ของกลุ่มรถยนต์ในสหรัฐอเมริกาเนื่องจากผู้ใช้งานรถยนต์ส่วนบุคคลในกรุงปักกิ่งมีการขับขี่เป็นระยะทางสั้นๆ ในแต่ละวัน ทั้งนี้เนื่องจากกรุงปักกิ่งมีลักษณะเป็นมหานคร (Megacity) ซึ่งเป็นศูนย์กลางธุรกิจที่มีผู้คนอาศัยอยู่อย่างหนาแน่น [5] ต่างจากสหรัฐอเมริกาซึ่งเป็นข้อมูลการขับขี่เฉลี่ยรวมในระดับประเทศ จึงสรุปได้ว่าพฤติกรรมการขับขี่ในแต่ละพื้นที่ย่อมส่งผลให้รูปแบบ UF มีความแตกต่างกัน

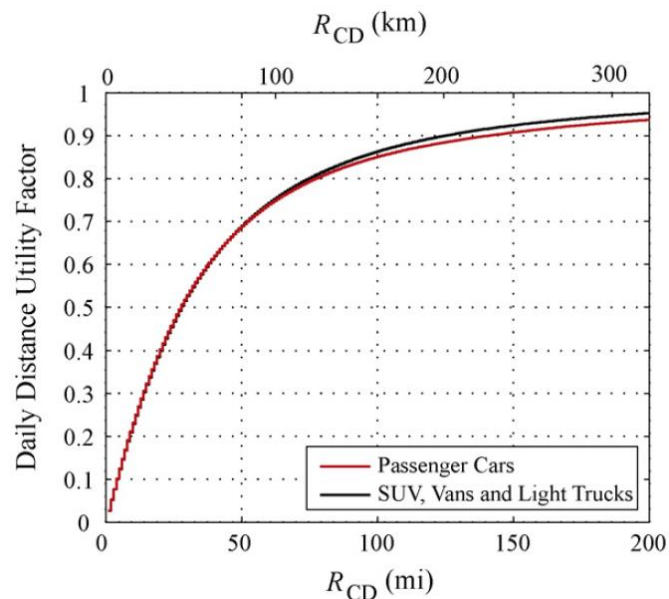


รูปที่ 8 รูปแบบ UF ของรถยนต์ส่วนบุคคลในกรุงปักกิ่งและสหรัฐอเมริกา [5]

สำหรับกลุ่มรถที่แตกต่างกันนั้น จะมีรูปแบบ UF แตกต่างกันไป เช่น กลุ่มรถยนต์ที่มีอายุการใช้งานมานานแล้วจะมีค่า UF สูงกว่ากลุ่มรถยนต์ใหม่ เนื่องจากผู้ใช้รถยนต์ที่มีอายุการใช้งานมานานแล้วมักไม่ขับรถในระยะทางที่ไกลมากในแต่ละวัน [6] ดังแสดงในรูปที่ 9 และกลุ่ม Sport Utility Vehicle (SUV), รถตู้ และรถบรรทุกขนาดเล็กจะมีค่า UF ที่สูงกว่ากลุ่มรถยนต์ส่วนบุคคลเล็กน้อย เนื่องจากผู้ใช้งานรถส่วนบุคคลมีอัตราส่วนจำนวนวันที่มีระยะทางการขับขี่ทางไกลที่มากกว่า [6] ดังแสดงในรูปที่ 10 จึงสรุปได้ว่าการใช้งานกลุ่มรถที่แตกต่างกันส่งผลให้รูปแบบ UF มีความแตกต่างกัน

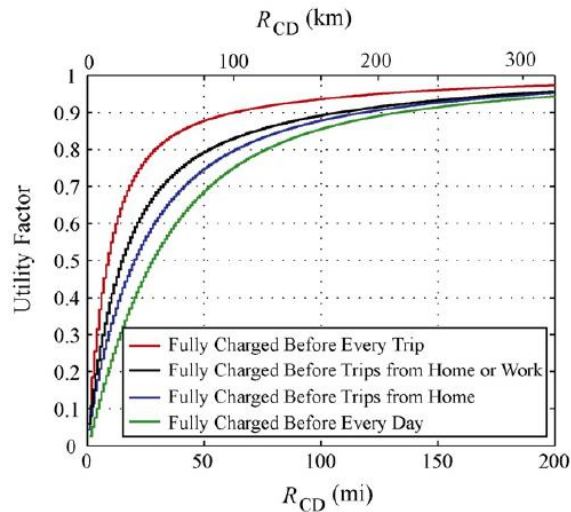


รูปที่ 9 รูปแบบ UF ของกลุ่มรถที่มีอายุการใช้งานต่างๆ [6]

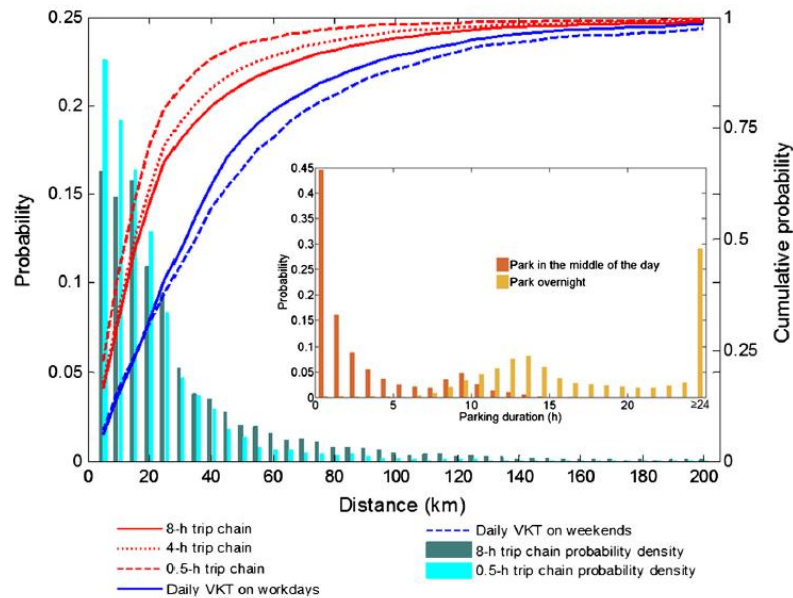


รูปที่ 10 รูปแบบ UF ของกลุ่มรถต่างๆ [6]

นอกจากนี้พฤติกรรมการชาร์จไฟฟ้าให้กับรถปลั๊กอินไฮบริดยังส่งผลต่อรูปแบบของ UF อีกด้วย ซึ่งหากต้องการศึกษารูปแบบ UF จากพฤติกรรมดังกล่าว อาจสามารถทำได้โดยการเปลี่ยนแปลงสมมติฐานของ J2841 ข้อที่ 3 เช่นกำหนดให้การจอดในสถานที่ที่กำหนดหรือเป็นระยะเวลาที่กำหนดเป็นการสิ้นสุดเที่ยวการขับขี่ โดยจากสมมติฐานข้อที่ 1 และการเปลี่ยนแปลงสมมติฐานข้อที่ 3 ด้วยวิธีดังกล่าว จะแสดงถึงการมีการชาร์จไฟฟ้าเติมให้กับรถปลั๊กอินไฮบริดในระหว่างวันเกิดขึ้น [2, 6] ซึ่งจากสมการที่ (1) หากมีการชาร์จไฟฟ้าเติมให้กับรถปลั๊กอินไฮบริดบ่อยครั้งขึ้น จะทำให้มีจำนวนเที่ยวการขับขี่เพิ่มมากขึ้นแต่ระยะทางในแต่ละเที่ยวการขับขี่มีค่าน้อยลง ส่งผลให้ UF มีค่าสูงขึ้น สำหรับตัวอย่างงานวิจัยที่ใช้วิธีการดังกล่าวในการหาค่า UF เช่น หากชาร์จไฟฟ้าเติมทุกครั้งก่อนเริ่มขับขี่ก็จะส่งผลให้ค่า UF มีค่าสูงกว่าการชาร์จไฟฟ้าเติมเฉพาะที่บ้านและ(หรือ)ที่ทำงาน [6] ดังแสดงในรูปที่ 11 และหากชาร์จไฟฟ้าเติมทุกครั้งที่มีการจอดเป็นระยะเวลา 30 นาทีขึ้นไปก็จะส่งผลให้ค่า UF มีค่าสูงกว่าการชาร์จไฟฟ้าเติมทุกครั้งที่มีการจอดเป็นระยะเวลา 4 และ 8 ชั่วโมงขึ้นไป [2] ดังแสดงในรูปที่ 12 โดยระยะเวลาการจอดที่กำหนดในวิธีการหลังนี้อาจกำหนดโดยระยะเวลาที่ชาร์จไฟฟ้าให้กับรถปลั๊กอินไฮบริดที่ใช้ศึกษาจากระดับพลังงานต่ำสุดจนถึงสูงสุด [2]



รูปที่ 11 รูปแบบ UF ของกลุ่มรถที่มีโอกาสในการชาร์จไฟฟ้าเต็มในสถานที่ต่างๆ [6]

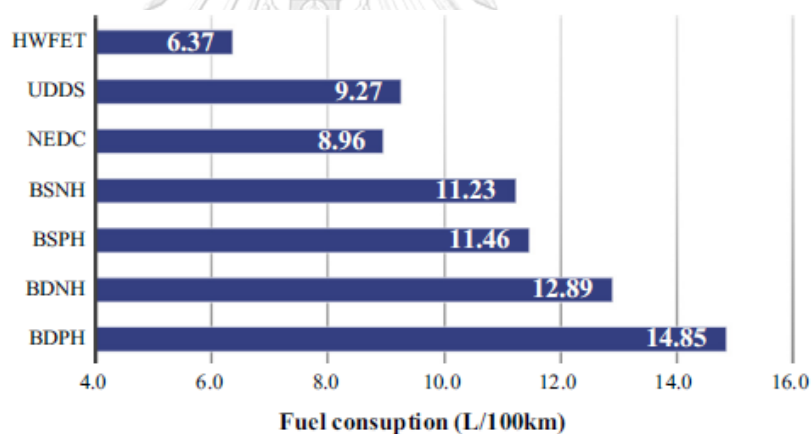


รูปที่ 12 รูปแบบ UF ของกลุ่มรถที่มีโอกาสการชาร์จไฟฟ้าเต็มเมื่อมีการจอดในระยะเวลาต่างๆ [2]

จากการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับ Utility Factor พบว่าการเปลี่ยนแปลงสมมติฐานข้อที่ 3 ด้วยการกำหนดให้การจอดในระยะเวลาที่กำหนดเป็นการสิ้นสุดเที่ยวการขับซึ่งจะแสดงถึงการมีการชาร์จไฟฟ้าเต็มให้กับรถปลั๊กอินไฮบริดในระหว่างวันเกิดขึ้นส่งผลให้มีค่า UF ที่เพิ่มขึ้นและทำให้มีการใช้พลังงานรวมที่ลดลง อย่างไรก็ตามการชาร์จไฟฟ้าเต็มดังกล่าวจะต้องมีจุดชาร์จไฟฟ้ารองรับทั้งในแง่ความครอบคลุมพื้นที่และความเร็วในการชาร์จ ซึ่งจะสอดคล้องกับแผน EEP2015 ที่มีแผนติดตั้งจุดชาร์จไฟฟ้าสาธารณะในกรุงเทพมหานคร [14] การเปลี่ยนแปลงสมมติฐานข้อที่ 3 ด้วยวิธีดังกล่าวจึงเหมาะสมที่จะนำมาวิเคราะห์การใช้พลังงานรวมที่ลดลงเมื่อมีการติดตั้งจุดชาร์จไฟฟ้าที่ครอบคลุมพื้นที่และมีความเร็วในการชาร์จมากขึ้น รวมถึงเป็นแนวทางในการติดตั้งจุดชาร์จไฟฟ้าได้ต่อไป

2.2 ผลของรูปแบบการขับขี่ที่มีต่อการใช้พลังงานของรถ

โดยทั่วไปแล้วในการอ้างอิงการใช้พลังงานของรถรุ่นหนึ่ง ผู้ผลิตจะอ้างอิงโดยการขับขี่ทดสอบรถบนรูปแบบการขับขี่มาตรฐานหรือเรียกว่าวัฏจักรการขับขี่ (Driving Cycle) และแสดงผลการวัดค่าต่างๆ เช่น การใช้พลังงาน (L/100km หรือ kWh/100km) การปล่อยมลพิษ (g/km) และระยะทางการขับขี่ (กม.) เป็นต้น และใช้ค่าดังกล่าวเป็นค่าอ้างอิงในเชิงพาณิชย์ ทั้งนี้ในหลายๆ งานวิจัยพบว่าการใช้พลังงานของรถจะมีความแตกต่างกันไปในแต่ละรูปแบบการขับขี่ [4, 5, 7, 8, 20] เนื่องจากรูปแบบการขับขี่เป็นสิ่งที่บ่งบอกถึงสภาพการจราจรและพฤติกรรมการขับขี่ ซึ่งในความเป็นจริงแล้วจะมีความแตกต่างกันไปในแต่ละพื้นที่ โดยทั่วไปแล้วรถจะมีการใช้พลังงานที่มากกว่าเมื่อขับขี่ในรูปแบบการขับขี่ที่มีสภาพการจราจรที่ติดขัด [4, 5, 7, 8, 20] รูปที่ 13 แสดงให้เห็นว่ารูปแบบการขับขี่ของกรุงปักกิ่ง (BSNH, BSPH, BDNH และ BDPH) ซึ่งสภาพการจราจรมีความติดขัดมากนั้น รถยนต์จะมีการใช้พลังงานที่สูงกว่าวัฏจักรการขับขี่ทั้ง 3 (HWFET, UDDS และ NEDC) ที่สภาพการจราจรมีความคล่องตัวมากกว่า และยังเกิดผลทำนองเดียวกันนี้ในรถไฟฟ้า [5, 7, 20] รถไฮบริด [5, 21] และรถปลั๊กอินไฮบริด [4, 5, 8] เช่นกัน



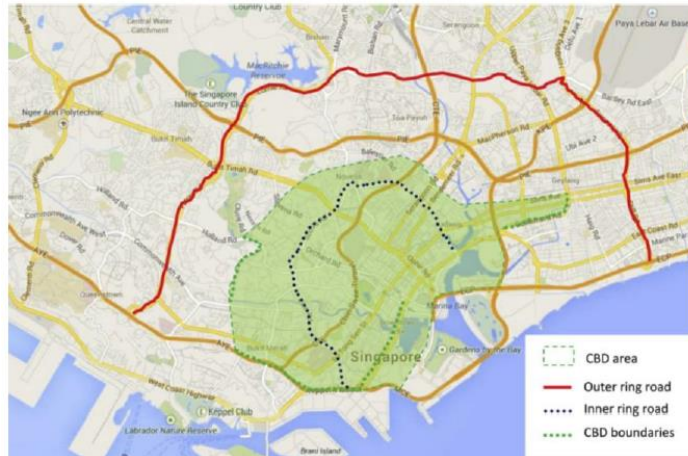
รูปที่ 13 การใช้พลังงานของรถยนต์ใน 7 รูปแบบการขับขี่ [5]

จากตัวอย่างการเปรียบเทียบการใช้พลังงานของรถยนต์ระหว่างในรูปแบบการขับขี่ของกรุงปักกิ่งและในวัฏจักรการขับขี่ทั้ง 3 ซึ่งเป็นวัฏจักรการขับขี่ที่ผู้ผลิตนิยมใช้ในการทดสอบอ้างอิงค่าต่างๆ ในภาคพื้นอเมริกา (HWFET: Highway Fuel Economy Test และ UDDS: Urban Dynamometer Driving Schedule) และภาคพื้นยุโรป (NEDC: New European Driving Cycle) ยิ่งแสดงให้เห็นว่ารูปแบบการขับขี่ส่งผลต่อการใช้พลังงานของรถอย่างมีนัยสำคัญ การใช้ค่าที่ประมาณได้จากการขับขี่ในวัฏจักรการขับขี่ดังกล่าวมาค่าอ้างอิงในเชิงพาณิชย์ย่อมทำให้เกิดความไขว้เขว (Bias) ขึ้นได้ [5] ดังนั้นหากต้องการประมาณค่าการใช้พลังงานของรถในพื้นที่ที่ต้องการศึกษาจำเป็นต้องทราบรูปแบบการขับขี่ที่เป็นตัวแทนของสภาพการจราจรและพฤติกรรมการขับขี่ในพื้นที่นั้นๆ ได้จริง

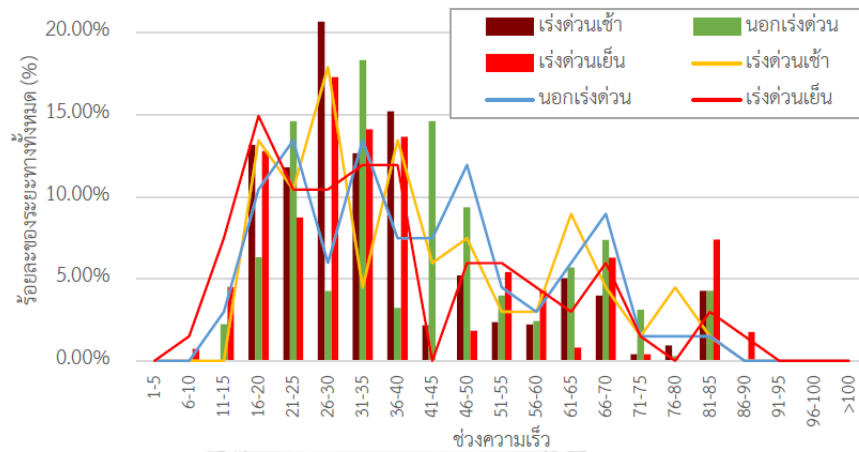
จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าหากต้องการทราบรูปแบบการขับขี่ที่เป็นตัวแทนของสภาพการจราจรและพฤติกรรมจราจรในพื้นที่ที่สนใจได้จริง ปัจจัยสำคัญที่จะนำมาวิเคราะห์คือเส้นทางที่จะต้องครอบคลุมลักษณะของถนน [5, 20, 22-24] โดยลักษณะของถนนอาจจะแบ่งด้วยเกณฑ์ต่างๆ เช่น แบ่งตามประเภทของถนน (ทางด่วน, ทางหลวง, ถนนสายหลัก, ถนนในเมืองและถนนชานเมือง เป็นต้น) [22-24] ดังแสดงในรูปที่ 14, แบ่งตามการใช้ประโยชน์ที่ดิน [5, 22-24] ดังแสดงในรูปที่ 15 หรือแบ่งตามช่วงความเร็วเฉลี่ยของถนนแต่ละเส้น [20, 25-27] จากนั้นจึงเก็บข้อมูลการขับขี่จริงบนเส้นทางในแต่ละลักษณะตามเกณฑ์ที่แบ่งไว้ แล้วจึงหาอัตราส่วนของระยะทางที่ขับขี่ในแต่ละเส้นทางที่มีลักษณะตามเกณฑ์ที่แบ่งไว้ [5, 20, 22-24] อัตราส่วนดังกล่าวยังเป็นอัตราส่วนที่สำนักงานปกป้องสิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา (Environmental Protection Agency: EPA) ใช้ในการประมาณการใช้พลังงานของรถเมื่อขับขี่ในรูปแบบการขับขี่แบบ City และ Highway รวมกันโดยมีชื่อว่า EPA Combined โดยกำหนดให้รถขับขี่ในรูปแบบการขับขี่แบบ City เป็น 55% ของระยะทางขับขี่และแบบ Highway เป็น 45% ของระยะทางขับขี่ [28] สำหรับเกณฑ์การแบ่งตามประเภทของถนนและแบ่งตามการใช้ประโยชน์ที่ดินนั้นพบว่าจำเป็นต้องทราบจุดเริ่ม-สิ้นสุดการขับขี่ (Origin-Destination: O-D) ซึ่งหมายความว่าจำเป็นต้องทราบเส้นทางที่ขับขี่จริงของผู้ขับขี่แบบรายคนและผู้ขับขี่ที่ใช้ศึกษาจะต้องมีจำนวนมากพอสมควร ทำให้มีความยุ่งยากในการที่จะทราบเส้นทางที่ขับขี่จริงของผู้ขับขี่แบบรายคนได้ แต่ในเกณฑ์การแบ่งตามช่วงความเร็วเฉลี่ยของถนนแต่ละเส้นนั้น จะพิจารณาควบคู่ไปกับความยาวของถนนและจำนวนรถบนถนนแต่ละเส้นดังแสดงในรูปที่ 16 และเกณฑ์ดังกล่าวไม่จำเป็นต้องทราบเส้นทางที่ขับขี่จริงของผู้ขับขี่แบบรายคน เพียงแต่จำเป็นต้องทราบข้อมูลจำนวนรถที่ขับขี่บนถนนแต่ละเส้นเพื่อหาอัตราของส่วนระยะทางทั้งหมดที่มีการขับขี่บนถนนแต่ละเส้นที่มีความเร็วเฉลี่ยในช่วงต่างๆ [20, 27]



รูปที่ 14 การระบุลักษณะของถนนเส้นต่างๆ ตามประเภทของถนนในกรุงฮานอย [22]



รูปที่ 15 การระบุลักษณะของถนนเส้นต่างๆ ตามการใช้ประโยชน์ที่ดินในประเทศสิงคโปร์ [24]

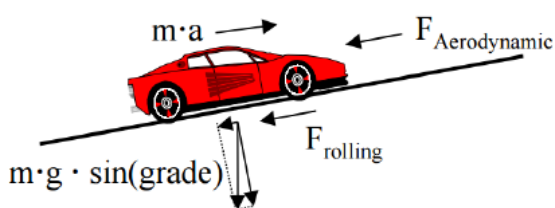


รูปที่ 16 ระยะทางรวมของถนนเส้นต่างๆ ในกรุงเทพมหานครที่มีความเร็วเฉลี่ยในช่วงที่กำหนด [20]

ในงานวิจัยนี้ได้พิจารณาการแบ่งรูปแบบการขับขี่ด้วยช่วงความเร็วเฉลี่ยของ Jatusittangkul 2017 [20] เนื่องจากมีผลการศึกษาที่น่าสนใจคือในการขับขี่รถด้วยความเร็วเฉลี่ยในช่วงเดียวกันจาก 20 ช่วง (5-10, 10-15, ..., 95-100, >100 กม./ชม.) เป็นระยะทาง 6 กม. ขึ้นไป จะมีการใช้พลังงาน (L/100km) แตกต่างกันไม่เกิน 10% จะเห็นได้ว่าผลการแบ่งรูปแบบการขับขี่ด้วยช่วงความเร็วเฉลี่ยในงานวิจัยนี้กล่าวถึงผลต่อการใช้พลังงานของรถโดยตรง และเมื่อนำมาประมาณการใช้พลังงานของรถยนต์ในกรุงเทพมหานคร พบว่าการใช้พลังงานรวมของรถยนต์ต่ออายุและรถยนต์จดทะเบียนใหม่จำนวน 2.35 ล้านคันในปี พ.ศ. 2558 มีความคลาดเคลื่อนเพียง 0.48% เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณเชื้อเพลิงจำหน่ายจริงในกรุงเทพมหานครในปีเดียวกัน [29] จึงกล่าวได้ว่าเกณฑ์การแบ่งรูปแบบการขับขี่ด้วยช่วงความเร็วเฉลี่ยของถนนแต่ละเส้นในงานวิจัยของ Jatusittangkul 2017 เป็นตัวแทนของสภาพการจราจรและพฤติกรรมการขับขี่ของกรุงเทพมหานครได้จริงและสามารถนำมาประมาณการใช้พลังงานของการขับขี่รถในพื้นที่กรุงเทพมหานครได้เป็นอย่างดี

2.3 การคำนวณการใช้พลังงาน: แบบจำลองค่ากำลังจำเพาะของยานพาหนะ (Vehicle Specific Power: VSP)

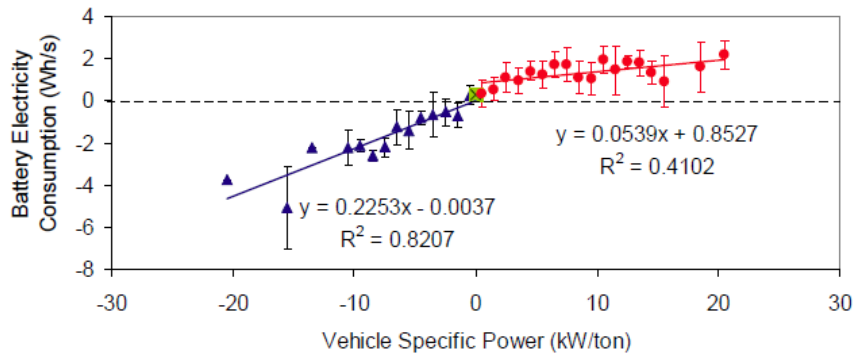
การคำนวณการใช้พลังงานรวมถึงการปล่อยมลพิษของยานพาหนะมีหลากหลายวิธีการ เช่น การวัดปริมาณการใช้พลังงานหรือการปล่อยมลพิษโดยตรงตามมาตรฐาน EPA [30] แต่เป็นวิธีที่มีความซับซ้อน ใช้เวลานานและใช้อุปกรณ์มากมาย [31] อีกวิธีหนึ่งคือการวัดระยะไกล (Remote Sensing) ซึ่งใช้อุปกรณ์ตรวจจับมลพิษจากรถยนต์ที่วิ่งผ่าน วิธีการนี้แม้จะสามารถวัดได้สะดวก รวดเร็วและใช้อุปกรณ์น้อย แต่มีข้อเสียในเรื่องความแม่นยำเนื่องจากมีความคลาดเคลื่อนค่อนข้างสูง อีกวิธีการหนึ่งที่สามารถคำนวณการใช้พลังงานและมลพิษของยานพาหนะได้คือการใช้แบบจำลองค่ากำลังจำเพาะของยานพาหนะ (Vehicle Specific Power: VSP) นำเสนอโดย Jimenez-Palacios [31] โดยจากการศึกษาวิจัยที่ผ่านมาพบว่าการใช้แบบจำลองค่ากำลังจำเพาะของยานพาหนะสามารถนำไปคำนวณการใช้พลังงานและการปล่อยมลพิษของรถยนต์ [7, 30, 32] รถไฟฟ้า [7, 20] และรถปลั๊กอินไฮบริดทั้งในโหมด CD และ CS [4, 8, 33-35] ได้อย่างแม่นยำ อีกทั้งยังมีข้อดีคือสามารถคำนวณการปล่อยมลพิษจากการวัดภายนอก (Roadside Measurement) และเพิ่มสภาวะการขับขี่ (Driving Condition) ได้ในภายหลัง โดยตัวแปรสุทธิที่ต้องการในการคำนวณมีเพียงข้อมูลความเร็ว, ความเร่งและอัตราการใช้พลังงานหรืออัตราการปล่อยมลพิษแบบเรียลไทม์เท่านั้น [7, 36] โดยที่การใช้แบบจำลองค่ากำลังจำเพาะของยานพาหนะจะตั้งอยู่บนสมมติฐานที่ว่าอัตราการใช้พลังงานและการปล่อยมลพิษของยานพาหนะ ณ ขณะหนึ่ง จะขึ้นกับความต้องการกำลังต่อมวลหรือเรียกว่าค่ากำลังจำเพาะของยานพาหนะ ณ ขณะนั้น โดยค่ากำลังจำเพาะดังกล่าวจะขึ้นกับแรงกระทำ 3 แรงที่กระทำต่อยานพาหนะในขณะขับเคลื่อน ประกอบไปด้วยแรงทางอากาศพลศาสตร์ (Aerodynamics), แรงต้านทานการหมุน (Rolling Resistance) และแรงโน้มถ่วง (Gravity) [4, 36] ดังแสดงในรูปที่ 17



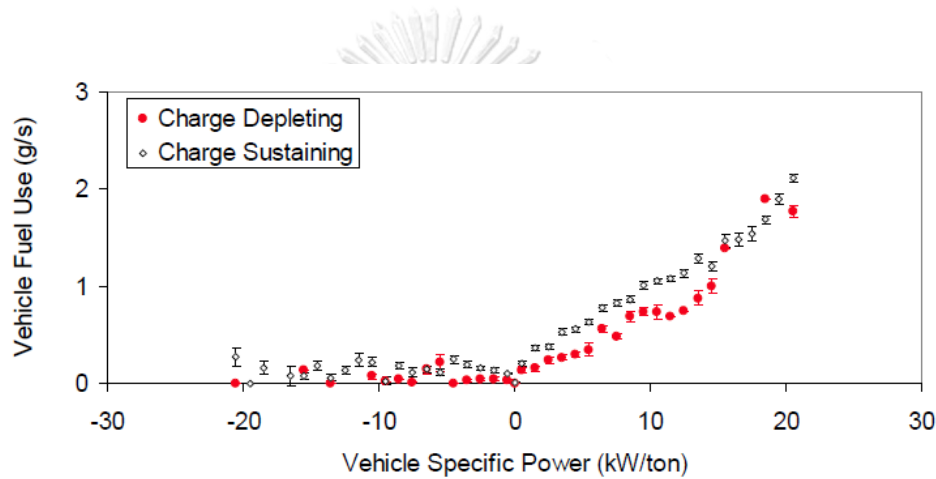
รูปที่ 17 แรงกระทำต่อยานพาหนะในขณะขับเคลื่อน [36]

จากการศึกษาวิจัยที่ผ่านมาพบว่าการสร้างแบบจำลองค่ากำลังจำเพาะของยานพาหนะสามารถสร้างความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังจำเพาะและอัตราการใช้พลังงานในรูปแบบสมการ [4, 8] แต่การสร้างความสัมพันธ์ในรูปแบบสมการจะมีข้อเสียในเรื่องของความยุ่งยากในการหารูปแบบความสัมพันธ์ที่อาจจะต้องแบ่งแยกช่วงที่ค่ากำลังจำเพาะของรถมีค่าเป็นบวกและลบ อีกทั้ง

อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าในโหมด CD ของรถปลั๊กอินไฮบริดประเภท Blended จะมีค่าต่ำลงในขณะที่รถมีค่ากำลังจำเพาะสูงเนื่องจากการทำงานของเครื่องยนต์ช่วยขับเคลื่อนในเวลาดังกล่าว ทำให้การหารูปแบบความสัมพันธ์ดังกล่าวยุ่งยากขึ้นไปอีกด้วยรูปที่ 18 แสดงให้เห็นว่าการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังจำเพาะและอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าในโหมด CD ของรถปลั๊กอินไฮบริดประเภท Blended ในรูปแบบสมการมีการแบ่งแยกเป็น 2 สมการคือช่วงที่ค่ากำลังจำเพาะมีค่าเป็นบวกและลบ นอกจากนี้ในช่วงที่ค่ากำลังจำเพาะเป็นบวกและมีค่าสูงขึ้น อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าจะมีค่าเพิ่ม-ลดอย่างไร้รูปแบบ ทำให้เมื่อสร้างความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังจำเพาะและอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าในรูปแบบสมการเส้นตรงจะมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination: R^2) เพียง 0.41 เท่านั้น อีกรูปแบบหนึ่งที่สามารถสร้างความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังจำเพาะและอัตราการใช้พลังงานได้คือรูปแบบอัตราการใช้พลังงานเฉลี่ยในแต่ละโหมด(ช่วง)ค่ากำลังจำเพาะ [4, 7, 8, 20, 33-35] ซึ่งมีข้อดีคือไม่ต้องสร้างความสัมพันธ์ในเชิงสมการระหว่างค่ากำลังจำเพาะและอัตราการใช้พลังงาน แต่ก็มีข้อควรระวังเช่นกันคือในการแบ่งโหมดค่ากำลังจำเพาะจะต้องแบ่งด้วยความละเอียดที่เหมาะสม โดยเฉพาะการแบ่งโหมดในช่วงที่ค่ากำลังจำเพาะของรถไฟฟ้าและรถปลั๊กอินในโหมด CD มีค่าเป็นลบ เนื่องจากในช่วงนี้รถไฟฟ้าและรถปลั๊กอินในโหมด CD จะมีการชาร์จไฟฟ้ากลับจากการเบรก และอัตราการชาร์จพลังงานไฟฟ้าในช่วงนี้จะมีค่าสูงขึ้นตามความหน่วงจากการเบรกที่สูงขึ้น (ค่ากำลังจำเพาะที่เป็นลบมากขึ้น) ดังแสดงในรูปที่ 18 ทำให้หากแบ่งโหมดในช่วงที่ค่ากำลังจำเพาะเป็นลบไม่ละเอียดเพียงพอจะทำให้เกิดความผิดพลาดในการนำไปประมาณการใช้พลังงานได้ [4] อย่างไรก็ตามพบว่าอัตราการใช้เชื้อเพลิงของรถยนต์และรถปลั๊กอินไฮบริดในช่วงที่ค่ากำลังจำเพาะมีค่าเป็นลบมากขึ้นไม่มีความเปลี่ยนแปลงที่มีนัยสำคัญ [4, 7, 8] รูปที่ 19 แสดงให้เห็นว่าอัตราการใช้เชื้อเพลิงของรถปลั๊กอินไฮบริดทั้งในโหมด CD และ CS ในช่วงที่ค่ากำลังจำเพาะมีค่าเป็นลบ จะมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยตามค่ากำลังจำเพาะต่างๆ การแบ่งโหมดค่ากำลังจำเพาะในช่วงดังกล่าวเพื่อหาความสัมพันธ์กับอัตราการใช้เชื้อเพลิงของรถยนต์และรถปลั๊กอินไฮบริดจึงไม่จำเป็นต้องมีความละเอียดมากนัก



รูปที่ 18 การสร้างความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าในโหมด CD และค่ากำลังจำเพาะของรถปลั๊กอินไฮบริดประเภท Blended ในรูปแบบสมการ [8]



รูปที่ 19 อัตราการใช้เชื้อเพลิงของรถปลั๊กอินไฮบริดในช่วงค่ากำลังจำเพาะต่างๆ [8]

จากที่ได้กล่าวมา จะถือได้ว่าแบบจำลองกำลังจำเพาะของยานพาหนะมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้ประมาณการใช้พลังงานของรถทุกประเภททั้งในแง่ความสะดวกและความแม่นยำ แต่หากต้องการสร้างแบบจำลองค่ากำลังจำเพาะของรถปลั๊กอินไฮบริดเพื่อการประมาณการใช้พลังงาน ควรจะเลือกสร้างความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังจำเพาะและอัตราการใช้พลังงานในรูปแบบอัตราการใช้พลังงานเฉลี่ยในแต่ละโหมด(ช่วง)ค่ากำลังจำเพาะ เพื่อไม่ให้มีความยุ่งยากในการสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังจำเพาะและอัตราการใช้พลังงาน และสำหรับอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าในโหมด CD จะต้องแบ่งโหมดในช่วงที่ค่ากำลังจำเพาะมีค่าเป็นลบให้มีความละเอียดเพียงพอเนื่องจากในช่วงดังกล่าวจะมีอัตราการชาร์จไฟฟ้ากลับจากการเบรกเพิ่มขึ้นตามความหน่วงจากการเบรกที่สูงขึ้น (ค่ากำลังจำเพาะที่เป็นลบมากขึ้น) ส่วนการแบ่งโหมดค่ากำลังจำเพาะในช่วงดังกล่าวเพื่อหาความสัมพันธ์กับอัตราการใช้เชื้อเพลิงของรถปลั๊กอินไฮบริดไม่จำเป็นต้องมีความละเอียดมากนัก

บทที่ 3

วิธีการทดสอบ

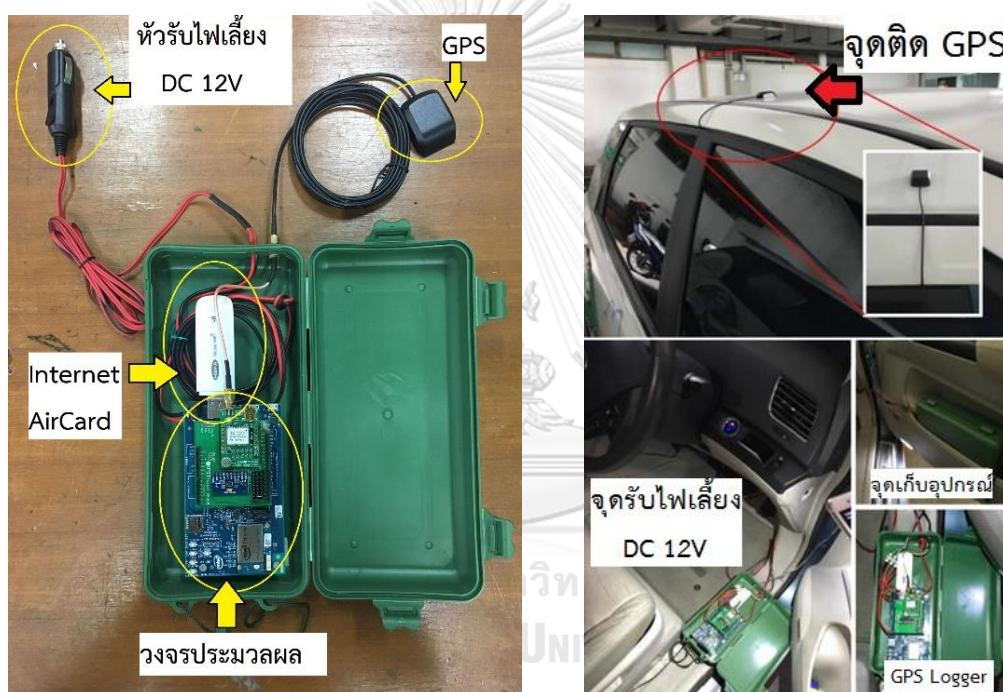
จากการศึกษางานวิจัยการใช้พลังงานของรถปลั๊กอินไฮบริดที่ผ่านมาพบว่านอกจากแบบจำลองการใช้พลังงานของรถปลั๊กอินไฮบริดที่ต้องมีความแม่นยำและน่าเชื่อถือแล้ว ยังมีปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานของรถปลั๊กอินไฮบริด คือสภาพการจราจรซึ่งส่งผลต่อรูปแบบการขับขี่ในพื้นที่นั้นๆ แต่สำหรับรถปลั๊กอินไฮบริดนั้น พฤติกรรมการขับขี่ในแง่ระยะทางระหว่างการชาร์จไฟฟ้าเต็มแต่ละครั้งจะส่งผลต่อสัดส่วนการใช้พลังงานระหว่างโหมด CD และ CS อีกด้วย ด้วยเหตุนี้ในการประมาณการใช้พลังงานของรถปลั๊กอินไฮบริด จำเป็นต้องมีข้อมูลที่สามารถสะท้อนรูปแบบการขับขี่และพฤติกรรมการขับขี่ในแง่ระยะทางได้จริง งานวิจัยนี้จึงแสดงวิธีการสร้างแบบจำลองการใช้พลังงาน, การเก็บข้อมูลและวิเคราะห์รูปแบบการขับขี่และพฤติกรรมการขับขี่ในแง่ระยะทาง เพื่อนำมาคำนวณการใช้พลังงานของรถปลั๊กอินไฮบริดในแต่ละโหมดและสัดส่วนการใช้พลังงานระหว่างโหมด CD และ CS จากนั้นจึงประมาณการใช้พลังงานที่ลดลงเมื่อมีการใช้รถปลั๊กอินไฮบริดแทนที่รถยนต์ตามแผน EEP2015 เพื่อวิเคราะห์แนวโน้มความเป็นไปได้ของการบรรลุผลตามเป้าหมาย

3.1 การเก็บข้อมูลพฤติกรรมการขับขี่ในแง่ระยะทาง

ปัจจัยสำคัญในการประมาณการใช้พลังงานของรถปลั๊กอินไฮบริดที่มีการขับเคลื่อน 2 โหมดในพื้นที่ที่สนใจคือสัดส่วนของการใช้พลังงานระหว่าง CD และ CS ซึ่งขึ้นกับระยะทางที่ขับขี่และระยะ CD ของรถปลั๊กอินไฮบริด งานวิจัยนี้จึงเลือกใช้การหารูปแบบ UF ซึ่งเป็นอัตราส่วนของระยะทางที่ขับขี่ในโหมด CD ต่อระยะทางการขับขี่ทั้งหมดในเที่ยวการขับขี่ของรถส่วนบุคคลในกรุงเทพมหานคร เพื่อให้ได้ข้อมูลพฤติกรรมการขับขี่ในแง่ระยะทางดังกล่าว จึงทำการเก็บข้อมูลพฤติกรรมการขับขี่ในแง่ระยะทางจากอาสาสมัครผู้ใช้รถส่วนบุคคลในกรุงเทพมหานครจำนวน 79 คน ซึ่งมีเส้นทางประจำในการขับขี่ครอบคลุมพื้นที่กรุงเทพมหานคร โดยถือว่าหากมีการเริ่มสตาร์ทระบบของรถ ระยะเวลาที่เริ่มสตาร์ทระบบของรถจนถึงเวลาที่ดับระบบของรถจะถือว่ามี การขับขี่ อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลดังกล่าวมี 2 ประเภท คือ GPS Logger และ OBD กระจายให้กับกลุ่มอาสาสมัครดังกล่าว โดยอุปกรณ์ทั้ง 2 ชนิดจะสามารถถ่ายโอนข้อมูลขึ้น (Upload) ผ่านสัญญาณอินเทอร์เน็ตเข้าสู่โครงข่ายบริการเพื่อความสะดวกในการรวบรวมข้อมูลทางออนไลน์ ทำให้ไม่จำเป็นต้องไปรวบรวมข้อมูลจากอาสาสมัครโดยตรง สำหรับรายละเอียดของอุปกรณ์การเก็บข้อมูลทั้ง 2 ประเภท เป็นดังนี้

3.1.1 GPS (Global Positioning System) Logger

GPS Logger เป็นอุปกรณ์บันทึกข้อมูลเวลา, ความเร็วและตำแหน่งในรูปแบบเรียลไทม์ (Real Time) ด้วยความถี่ 5 Hz ข้อมูลดังกล่าวจะถูกถ่ายโอนขึ้นผ่านสัญญาณอินเทอร์เน็ตของอุปกรณ์เข้าสู่โครงข่ายบริการ (Server) ของ Cloud ในทุก 2 นาที สำหรับอุปกรณ์ประเภทนี้จะติดตั้งให้กับอาสาสมัครจำนวน 20 คน ส่วนประกอบของอุปกรณ์ GPS Logger และตัวอย่างการติดตั้ง GPS Logger ที่รถของอาสาสมัคร แสดงในรูปที่ 20 ข้อมูลความเร็วและเวลาจะต้องนำไปอินทิเกรตเพื่อให้ทราบระยะทางการขับขี่ นอกจากนี้ข้อมูลตำแหน่งยังสามารถระบุความครอบคลุมในการขับขี่ของกลุ่มอาสาสมัครได้อีกด้วย รายละเอียดของรูปแบบข้อมูลที่บันทึกได้จากอุปกรณ์ GPS Logger จะแสดงในภาคผนวก ก



รูปที่ 20 อุปกรณ์ GPS Logger และตัวอย่างการติดตั้งที่รถของอาสาสมัคร

3.1.2 OBD (On-board Diagnostics) ประเภทหน่วยความจำในตัว

OBD คืออุปกรณ์บันทึกข้อมูลต่างๆ ของรถ ซึ่งในงานวิจัยนี้ส่วนนี้ต้องการข้อมูลเวลาและระยะทางในการขับขี่ จึงเลือกใช้อุปกรณ์ OBD ประเภทหน่วยความจำในตัว ที่สามารถบันทึกข้อมูลเวลาที่เริ่มสตาร์ทระบบของรถและเวลาที่ดับระบบของรถได้ รวมถึงระยะทางที่ขับขี่ตั้งแต่เริ่มสตาร์ทระบบของรถจนกระทั่งดับระบบของรถ โดยจะต้องทำการเชื่อมต่อสัญญาณบลูทูธระหว่างอุปกรณ์และโทรศัพท์เคลื่อนที่เพื่อถ่ายโอนข้อมูลผ่านสัญญาณอินเทอร์เน็ตของโทรศัพท์เคลื่อนที่เข้าสู่อีเมลของผู้วิจัย สำหรับอุปกรณ์ OBD นี้จะติดตั้งให้กับอาสาสมัครจำนวน 59 คน รูปที่ 21 แสดงถึงการ

ติดตั้ง OBD ที่รถของอาสาสมัคร จะเห็นได้ว่ามีสัญญาณไฟกะพริบ 3 ช่องที่แสดงถึงการเชื่อมต่อกับสัญญาณบลูทูธของโทรศัพท์เคลื่อนที่และการเชื่อมต่อกับระบบของรถ ตำแหน่งช่องติดตั้ง OBD จะมีตำแหน่งที่แตกต่างกันไปในเรื่องแต่ละรุ่น รายละเอียดของรูปแบบข้อมูลที่บันทึกได้จากอุปกรณ์ OBD จะแสดงในภาคผนวก ก



รูปที่ 21 ตัวอย่างการติดตั้ง OBD ที่รถของอาสาสมัคร [37]

3.2 การหารูปแบบ Utility Factor ของรถส่วนบุคคลในกรุงเทพมหานคร

สำหรับการคำนวณการใช้พลังงานของรถปลั๊กอินไฮบริดในงานวิจัยนี้ จะใช้วิธีการมาตรฐาน (SAE J1711) [18] โดยใช้การถ่วงน้ำหนักระหว่างระยะทางที่ขับขี่ในโหมด CD ต่อระยะทางการขับขี่ทั้งหมดในเที่ยวการขับขี่ หรือค่า UF ซึ่งสามารถคำนวณได้จากข้อมูลพฤติกรรมการขับขี่ในแง่ระยะทางที่บันทึกได้จากหัวข้อ 3.1 โดยใช้สมมติฐานของ SAE J2841 [19] ดังต่อไปนี้

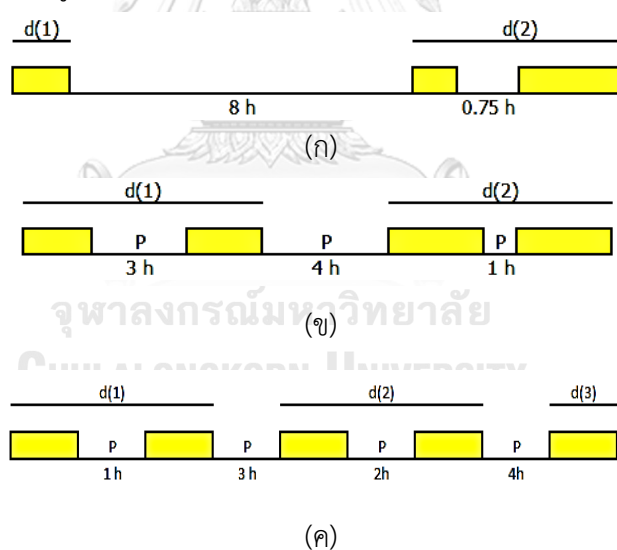
- 1) มีพลังงานไฟฟ้าเต็มก่อนเริ่มเที่ยวการขับขี่ เพื่อการขับขี่ในโหมด CD ให้ได้เต็มระยะ CD
- 2) เริ่มต้นการขับขี่ด้วยโหมด CD
- 3) ให้การขับขี่ทั้งวันคือ 1 เที่ยวการขับขี่ (Daily VKT)

นอกจากนี้ ในการศึกษาผลของพฤติกรรมการขับขี่ในแง่ของระยะเวลาการจอดรถที่ส่งผลต่อโอกาสในการชาร์จไฟฟ้าเต็มให้กับรถปลั๊กอินไฮบริด ซึ่งจะส่งผลต่อการติดตั้งและการกระจายตัวของจุดชาร์จไฟฟ้าต่อไป จึงกำหนดสมมติฐานขึ้นมาแทนที่สมมติฐานที่ 3) โดยกำหนดให้หากมีการจอดรถเป็นระยะเวลาที่กำหนด จะถือเป็นการสิ้นสุดเที่ยวการขับขี่ โดยระยะเวลาดังกล่าวจะกำหนดจากระยะเวลาที่ชาร์จไฟฟ้าให้กับรถปลั๊กอินไฮบริดที่ใช้ศึกษาทั้ง 2 รุ่นจากระดับพลังงานต่ำสุดจนถึงสูงสุด

คือ 2.5 ชั่วโมงด้วยขนาดกระแส 12 แอมแปร์ จากจุดชาร์จประเภท Wall box ที่มีเป็นจุดชาร์จ ให้บริการตามสถานที่สาธารณะ และ 4 ชั่วโมงด้วยขนาดกระแส 9 แอมแปร์ จากจุดชาร์จที่เป็น เต้าเสียบตามอาคารบ้านเรือนทั่วไป นอกจากนี้เมื่อพิจารณาถึงผู้ใช้งานรถส่วนบุคคลในกรุงเทพมหานครซึ่งโดยส่วนใหญ่มักเป็นพนักงานประจำที่ทำงานในสำนักงานเป็นเวลาประมาณ 8 ชั่วโมง และมักจะจอดรอไว้ที่สำนักงานในระหว่างชั่วโมงการทำงาน ดังนั้นจึงกำหนดสมมติฐานเพิ่มเติมแทนที่สมมติฐานที่ 3 ของ SAE J2841 ดังต่อไปนี้

- 1) หากมีการจอดรอเป็นระยะเวลา 8 ชั่วโมงขึ้นไป ถือเป็นการสิ้นสุดเที่ยวการขับขี่ (8-h trip chain)
- 2) หากมีการจอดรอเป็นระยะเวลา 4 ชั่วโมงขึ้นไป ถือเป็นการสิ้นสุดเที่ยวการขับขี่ (4-h trip chain)
- 3) หากมีการจอดรอเป็นระยะเวลา 2.5 ชั่วโมงขึ้นไป ถือเป็นการสิ้นสุดเที่ยวการขับขี่ (2.5-h trip chain)

สำหรับการนับเที่ยวการขับขี่ของสมมติฐาน 8-h, 4-h และ 2.5-h trip chain ในการหารูปแบบของ UF แสดงในรูปที่ 22(ก) - รูปที่ 22(ค) ตามลำดับ



รูปที่ 22 การนับเที่ยวการขับขี่ในสมมติฐาน (ก) 8-h (ข) 4-h และ (ค) 2.5-h trip chain

3.3 รูปแบบการขับขี่ของกรุงเทพมหานคร

งานวิจัยนี้จะใช้รูปแบบการขับขี่ของรถส่วนบุคคลในกรุงเทพมหานคร 20 รูปแบบจากงานวิจัยของ Jatusittangkul 2017 [20] คือรูปแบบการขับขี่ที่มีความเร็วเฉลี่ยในช่วง 5-10, 10-15,...,95-100, >100 กม./ชม. (แสดงในภาคผนวก ข) เนื่องจากมีเกณฑ์การแบ่งรูปแบบการขับขี่ที่คำนึงถึงการ

ใช้พลังงานของรถโดยตรง นั่นคือการขับขี่ที่มีความเร็วเฉลี่ยในช่วงเดียวกันจะมีการใช้พลังงานแตกต่างกันไม่เกิน 10% อีกทั้งผลจากการใช้รูปแบบการขับขี่ทั้ง 20 รูปแบบในการประมาณการใช้พลังงานของรถยนต์ในกรุงเทพมหานคร พบว่าการใช้พลังงานรวมของรถยนต์ต่ออายุและรถยนต์จดทะเบียนใหม่จำนวน 2.35 ล้านคันในปี พ.ศ. 2558 มีความคลาดเคลื่อนเพียง 0.48% เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณเชื้อเพลิงจำหน่ายจริงในกรุงเทพมหานครในปีเดียวกัน [29] สำหรับหลักการในการพิจารณา รูปแบบการขับขี่ของกรุงเทพมหานครทั้ง 20 รูปแบบเป็นดังต่อไปนี้

1. พิจารณาความเร็วเฉลี่ยของรถบนถนนแต่ละเส้นในกรุงเทพมหานคร โดยแบ่งออกเป็น 3 ช่วงเวลาคือเร่งด่วนเช้า (7:00-9:00 น.) นอกเร่งด่วน (9:00-16:00 น.) และเร่งด่วนเย็น (16:00-19:00 น.)
2. เมื่อทราบว่ารถที่ขับขึ้นถนนแต่ละเส้นในแต่ละช่วงเวลามีความเร็วเฉลี่ยในช่วงใด (5-10, 10-15,...,95-100, >100 กม./ชม.) จึงกำหนดให้การขับขึ้นถนนเส้นนั้นในช่วงเวลานั้นมีรูปแบบการขับขี่ที่มีความเร็วเฉลี่ยในช่วงนั้นๆ
3. หาจำนวนรถคุณระยะทางการขับขี่ในแต่ละรูปแบบการขับขี่ โดยนำจำนวนรถที่ขับขึ้นบนถนนแต่ละเส้นในแต่ละช่วงเวลาคูณกับระยะทางของถนนเส้นนั้นๆ จากนั้นจึงนำผลคูณดังกล่าวของถนนทุกเส้นและทุกช่วงเวลาที่มียุรูปแบบการขับขี่เดียวกันมาหาผลรวม จึงได้เป็นจำนวนรถคุณระยะทางการขับขี่ในแต่ละรูปแบบการขับขี่
4. หาผลรวมของจำนวนรถคุณระยะทางการขับขี่ในทุกรูปแบบการขับขี่จากข้อที่ 3.
5. หาอัตราส่วนระหว่างจำนวนรถคุณระยะทางการขับขี่ในแต่ละรูปแบบการขับขี่ในข้อที่ 3. และผลรวมของจำนวนรถคุณระยะทางการขับขี่ในทุกรูปแบบการขับขี่ในข้อที่ 4.
6. อัตราส่วนในข้อที่ 5. จะแสดงถึงสัดส่วนระยะทางการขับขี่รวมในแต่ละรูปแบบการขับขี่ของกรุงเทพมหานครได้ต่อไป

จะเห็นว่าข้อมูลที่ใช้ในขั้นตอนนี้เป็นข้อมูลการจราจรของกรุงเทพมหานครที่ประกอบไปด้วยจำนวนรถ ความเร็วเฉลี่ยและระยะทางของถนนแต่ละเส้นในกรุงเทพมหานคร ซึ่งในงานวิจัยนี้จะมีข้อมูลทั้งสามครอบคลุมถนน 67 เส้นทาง เป็นระยะทาง 752.5 กม. ซึ่งคิดเป็น 65.98% ของระยะทางรวมของถนนในกรุงเทพมหานครที่มีระยะทาง 1,140.5 กม. [20] สำหรับที่มาของแหล่งข้อมูลจะแสดงในภาคผนวก ฅ และตัวอย่างการดำเนินงานในขั้นตอนนี้จะแสดงในภาคผนวก ญ

3.4 การตั้งค่าโหมดการขับขี่ของรถปลั๊กอินไฮบริดและการติดตั้งอุปกรณ์เก็บข้อมูล

ในความเป็นจริงแล้ว รถปลั๊กอินไฮบริดของแต่ละผู้ผลิตไม่ได้มีโหมดการขับขี่ที่ยืดติดว่า ถ้ามีระดับพลังงานไฟฟ้าเพียงพอ จะเริ่มขับขี่ในโหมด CD จนพลังงานไฟฟ้าหมดแล้วจึงขับขี่ในโหมด CS แต่รายละเอียดของโหมดการขับขี่จะแตกต่างกันไปในรถปลั๊กอินไฮบริดแต่ละรุ่น รถปลั๊กอินไฮบริดที่ใช้ทดสอบในงานวิจัยนี้เลือกใช้รถปลั๊กอินไฮบริดที่มีการใช้งานและมีการจำหน่ายในประเทศไทย 2 รุ่น คือ BMW 330e (ต่อไปนี้จะเรียกแทนด้วย PHEV1) และ Mercedes-Benz C350e (ต่อไปนี้จะเรียกแทนด้วย PHEV2) ซึ่งทั้ง 2 รุ่นเป็นรถปลั๊กอินไฮบริดใน C-segment ที่มีการทำงานในรูปแบบ Blended กล่าวคือสามารถขับเคลื่อนได้โดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้าอย่างเดียว หรือมีเครื่องยนต์ช่วยขับเคลื่อนเสริมกำลังไปพร้อมกันในโดยเฉพาะในช่วงที่รถต้องการกำลังในการขับเคลื่อนที่สูง สำหรับรายละเอียดโหมดการขับขี่ของรถปลั๊กอินไฮบริดทั้ง 2 รุ่นแสดงในภาคผนวก ข

3.4.1 การตั้งค่าการขับขี่ในโหมด CD

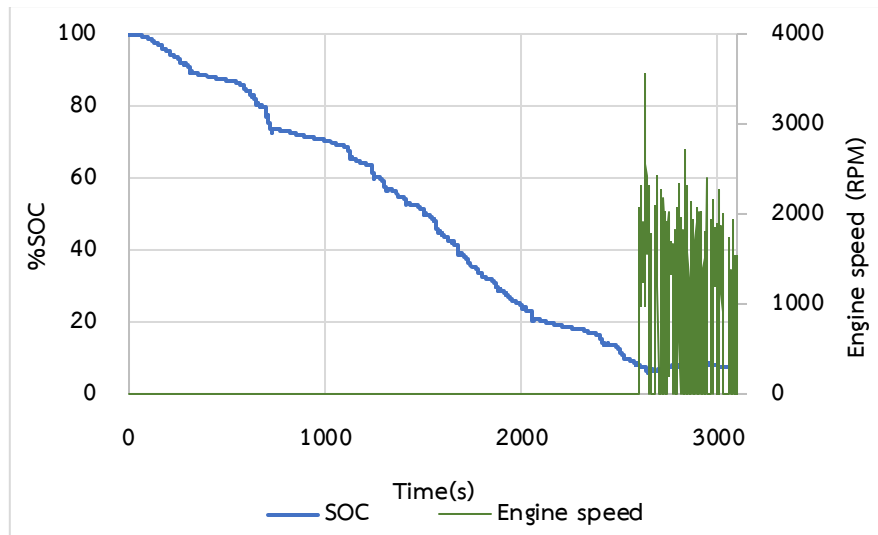
รถปลั๊กอินไฮบริดทั้ง 2 รุ่น มีโหมดการขับขี่ที่ตรงกับนิยามของโหมด CD อยู่ 2 โหมด โดยแต่ละโหมดจะแตกต่างกันที่ความเร็วที่ทำให้มีการทำงานของเครื่องยนต์เสริมกำลังขับเคลื่อนดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ความเร็วของรถปลั๊กอินไฮบริดที่ทำให้มีการทำงานของเครื่องยนต์ในโหมด CD

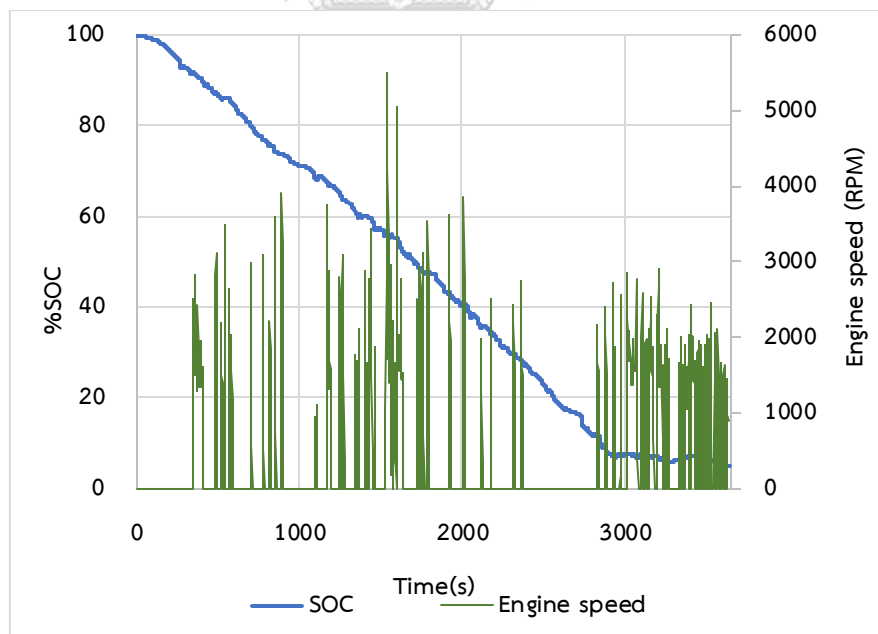
ความเร็วรถที่ทำให้มีการทำงานของเครื่องยนต์			
PHEV1		PHEV2	
Auto E-drive	Max E-drive	Hybrid	E-Drive
>80 กม./ชม.	>120 กม./ชม.	>60 กม./ชม.	>128 กม./ชม.

ในงานวิจัยนี้ใช้โหมด Max E-drive สำหรับ PHEV1 และโหมด E-drive สำหรับ PHEV2 เป็นการขับขี่ในโหมด CD เนื่องจากรูปแบบการขับขี่ของกรุงเทพมหานครที่นำมาประมาณการใช้พลังงาน ทั้ง 2 รูปแบบมีความเร็วสูงสุดไม่เกิน 120 กม./ชม. ซึ่งหากขับขี่รถปลั๊กอินไฮบริดทั้ง 2 รุ่น ด้วย 2 โหมดดังกล่าวด้วยความเร็วไม่เกิน 120 กม./ชม. จะทำให้ไม่มีการทำงานของเครื่องยนต์และส่งผลให้ไม่มีการใช้พลังงานเชื้อเพลิงในสองโหมดนี้เลย รูปที่ 23 แสดงให้เห็นว่าเมื่อขับขี่ PHEV1 ด้วยความเร็วไม่เกิน 120 กม./ชม. จะมีเพียงระดับพลังงานไฟฟ้า (%SOC จากการวัดซึ่งเทียบเท่ากับ %SOC จากหน้าจอแสดงผลของรถ) เท่านั้นที่ลดลงและไม่มีการทำงานของเครื่องยนต์เลยจนกระทั่งระดับพลังงานไฟฟ้าลดเหลือต่ำสุด จึงสามารถประหยัดพลังงานได้มากกว่าการขับขี่ด้วยโหมด Auto E-drive และ Hybrid ซึ่งจะมีการทำงานของเครื่องยนต์และส่งผลให้มีการใช้พลังงานเชื้อเพลิงแม้ขับขี่ด้วยความเร็ว

ที่ไม่เกิน 120 กม./ชม.ก็ตาม ดังแสดงในรูปที่ 24 ด้วยเหตุผลที่กล่าวมา การกำหนดให้โหมด Max E-drive สำหรับ PHEV1 และโหมด E-drive สำหรับ PHEV2 คือการขับซีในโหมด CD ทำให้รถปลั๊กอินไฮบริดทั้ง 2 รุ่นเปรียบเสมือนรถปลั๊กอินไฮบริดประเภท Range-extender ไปโดยปริยาย แม้ความจริงแล้วจะเป็นรถปลั๊กอินไฮบริดประเภท Blended ก็ตาม



รูปที่ 23 ระดับพลังงานและความเร็วรอบเครื่องยนต์ในโหมด Max E-drive ของ PHEV1 ในการทดสอบขับซีด้วยความเร็วไม่เกิน 120 กม./ชม.



รูปที่ 24 ระดับพลังงานและความเร็วรอบเครื่องยนต์ในโหมด Auto E-drive ของ PHEV1 ในการทดสอบขับซีด้วยความเร็วไม่เกิน 120 กม./ชม.

อย่างไรก็ตามรถปลั๊กอินไฮบริดทั้ง 2 รุ่นสามารถขับขี่ในโหมดที่ตรงกับนิยามของโหมด CD เป็นระยะทางประมาณ 19-35 กิโลเมตร (จากการทดสอบขับขี่เบื้องต้น) และใช้เวลาในการชาร์จไฟฟ้าจากระดับพลังงานต่ำสุดจนเต็มประมาณ 2 ชั่วโมง 30 นาที ด้วยกระแสขนาดสูงสุด 12 แอมแปร์ ซึ่งระยะเวลาดังกล่าวนับเป็นเวลานาน ทำให้ใน 1 วัน สามารถทดสอบการขับขี่ในโหมด CD ได้ไม่เกิน 2 เที่ยวการขับขี่ แต่รถปลั๊กอินไฮบริดทั้ง 2 รุ่นมีโหมดการขับขี่ที่สามารถปั่นไฟเพื่อทำการชาร์จไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่จากระดับพลังงานต่ำสุดจนเต็มในระยะเวลา 45-60 นาที เมื่อขับขี่ในสภาพการจราจรที่ค่อนข้างคล่องตัวแต่ความเร็วไม่สูงเกินไป (50 – 60 กม./ชม.) คือโหมด Save สำหรับ PHEV1 และโหมด Charge สำหรับ PHEV2 ทำให้สามารถเพิ่มเที่ยวการขับขี่ทดสอบในโหมด CD ได้มากขึ้น แต่ทั้ง 2 โหมดดังกล่าวจะทำให้เกิดการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมากที่สุด

3.4.2 การตั้งค่าการขับขี่ในโหมด CS

สำหรับ PHEV1 โหมดที่ตรงกับนิยามของโหมด CS ของรถปลั๊กอินไฮบริด คือ โหมด Auto E-drive เมื่อมีระดับพลังงานไฟฟ้าต่ำกว่าระดับต่ำสุด และโหมด Save เมื่อมีระดับพลังงานไฟฟ้าเต็มหรือเกือบเต็ม สำหรับ PHEV2 โหมดที่ตรงกับนิยามของโหมด CS คือ โหมด Hybrid เมื่อมีระดับพลังงานไฟฟ้าต่ำกว่าระดับต่ำสุด, โหมด Charge เมื่อมีระดับพลังงานไฟฟ้าเต็มหรือเกือบเต็ม และโหมด Save ซึ่งจะมีการใช้-ชาร์จพลังงานไฟฟ้าที่ค่อนข้างคงที่ ($\pm 3\%SOC$) ไม่ว่าจะมียกระดับพลังงานไฟฟ้าเท่าไรก็ตาม

จากข้อมูลโหมดการขับขี่ที่ตรงกับนิยามของโหมด CS ที่ได้กล่าวมา จะเห็นว่าการตั้งค่าจะขึ้นกับระดับพลังงานไฟฟ้าที่มีอยู่เป็นหลัก ดังนั้นในการตั้งค่าการขับขี่ให้เป็นการขับขี่ในโหมด CS จึงต้องพิจารณาจากระดับพลังงานไฟฟ้าที่มีอยู่และตั้งค่าโหมดการขับขี่ให้มีความเหมาะสมในขณะที่ขับขี่เพื่อเก็บข้อมูล

3.5 การสร้างแบบจำลองค่ากำลังจำเพาะของยานพาหนะ (VSP model)

ในงานวิจัยนี้จะใช้แบบจำลองค่ากำลังจำเพาะของยานพาหนะเพื่อเป็นฐานข้อมูลอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานของรถปลั๊กอินไฮบริด ซึ่งสามารถนำข้อมูลความเร็วและความเร่งที่เก็บได้แบบเรียลไทม์จากการขับขี่รถปลั๊กอินไฮบริดทดสอบมาคำนวณโดยค่ากำลังจำเพาะของยานพาหนะที่ขึ้นกับแรงทางอากาศพลศาสตร์ทั้ง 3 แรงที่กระทำต่อยานพาหนะจะคำนวณได้จาก

$$VSP = \frac{Power}{Mass} = \frac{d}{dt} (E_{Kinetic} + E_{Potential}) + F_{Rolling} \cdot v + F_{Aerodynamic} \cdot v + F_{Internal\ friction} \cdot v \quad (2)$$

m

จากสมการที่ (2) เมื่อจัดรูปและแทนค่าจะได้

$$VSP = v(1.1a + 9.81\text{grade} + \emptyset) + \frac{\xi}{m} (v + v_w)^2 v \quad (3)$$

โดยที่

VSP	คือ	ค่ากำลังจำเพาะของยานพาหนะ (kw/ton)
v	คือ	ความเร็ว (m/s)
v_w	คือ	ความเร็วของยานพาหนะ (m/s)
a	คือ	ความเร่งของยานพาหนะ (m/s^2)
\emptyset	คือ	ความต้านทานการหมุน (m/s^2)
ξ	คือ	ความต้านทานอากาศ
grade	คือ	ความชันของถนน
m	คือ	น้ำหนักรวมของยานพาหนะ (ton)

ในงานวิจัยนี้จะกำหนดสมมติฐานในการคำนวณค่ากำลังจำเพาะดังต่อไปนี้

- ละเว้นความชันของถนน: grade = 0

- $\emptyset = 0.132 \text{ m/s}^2$

- $\xi = 0.000302$

- ไม่มีความเร็วลม: $v_w = 0 \text{ m/s}$

ซึ่งเมื่อแทนค่าลงในสมการที่ (3) จะได้

$$VSP = v \cdot (1.1a + 0.132) + 0.000302v^3 \quad (4)$$

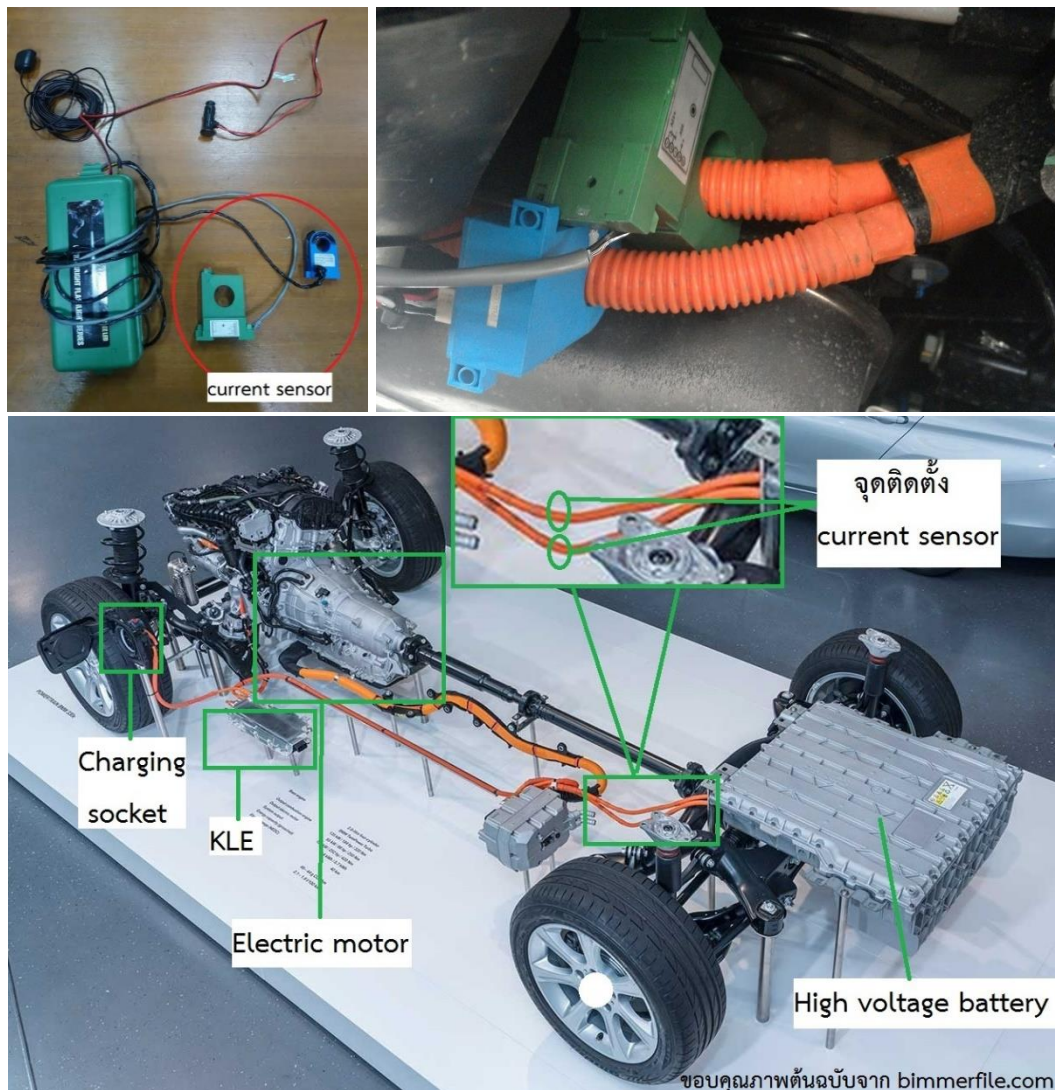
โดยที่

v	คือ	ความเร็วของรถ (m/s)
a	คือ	ความเร่งของรถ (m/s^2)

3.5.1 การขับเคลื่อนทดสอบรถปลั๊กอินไฮบริด

สำหรับรถปลั๊กอินไฮบริดที่มีโหมดการขับเคลื่อน 2 โหมด คือโหมด CD ซึ่งใช้พลังงานไฟฟ้า และโหมด CS ซึ่งใช้พลังงานเชื้อเพลิง จึงต้องมีการทดสอบขับเคลื่อนทั้ง 2 โหมด เพื่อสร้างแบบจำลองค่ากำลังจำเพาะ 2 แบบจำลองคืออัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าในโหมด CD และอัตราการใช้เชื้อเพลิงในโหมด CS โดยอุปกรณ์ที่ใช้เก็บข้อมูลอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าคือ current sensor โดยวัดค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านสายไฟจากแบตเตอรี่สู่มอเตอร์ไฟฟ้าและระบบ Convenience charging electronics (KLE) ซึ่งทำหน้าที่เกี่ยวกับระบบปรับอากาศรวมถึงระบบหล่อเย็นแบตเตอรี่ของรถปลั๊กอินไฮบริดที่ใช้ทดสอบ โดยรถปลั๊กอินไฮบริดที่ใช้ทดสอบทั้ง 2 รุ่นจะมีสายไฟดังกล่าว 2 เส้น จึงใช้ current sensor

2 ชั้นในการวัดกระแสไฟฟ้า การเก็บข้อมูลกระแสไฟฟ้าของ current sensor จะส่งผ่าน GPS Logger รูปแบบเดียวกับที่ใช้ในหัวข้อ 3.1.1 และเก็บข้อมูลกระแสไฟฟ้่าดังกล่าวรวมถึงความเร็วของรถแบบเรียลไทม์ด้วยความถี่ 5 Hz ข้อมูลทั้งหมดจะถูกบันทึกในหน่วยความจำภายนอกของอุปกรณ์ (Secure Digital Card: SD Card) เพื่อนำไปหาค่ากำลังจำเพาะของรถในขณะขับขึ้นและความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าและค่ากำลังจำเพาะต่อไป ข้อมูลจำเพาะและผลการสอบเทียบ Current sensor ทั้ง 2 ชั้นแสดงในภาคผนวก ค รายละเอียดของรูปแบบข้อมูลที่บันทึกได้จากอุปกรณ์ GPS Logger และ Current sensor จะแสดงในภาคผนวก ง ส่วนประกอบของอุปกรณ์ current sensor ที่เชื่อมต่อกับ GPS Logger และตัวอย่างการติดตั้ง current sensor เพื่อวัดค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านสายไฟจากแบตเตอรี่ของรถจะแสดงในรูปที่ 25 ส่วนอุปกรณ์ที่ใช้เก็บข้อมูลอัตราการใช้เชื้อเพลิงคือ OBD II ที่สามารถเก็บข้อมูลการใช้เชื้อเพลิงของรถรวมถึงความเร็วของรถแบบเรียลไทม์ด้วยความถี่ 1.4 Hz โดยจะต้องทำการเชื่อมต่อสัญญาณบลูทูธระหว่างอุปกรณ์และโทรศัพท์เคลื่อนที่เพื่อถ่ายโอนข้อมูลเข้าสู่โทรศัพท์เคลื่อนที่ และนำข้อมูลไปหาค่ากำลังจำเพาะของรถในขณะขับขึ้นและความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการใช้เชื้อเพลิงและค่ากำลังจำเพาะต่อไป ข้อมูลจำเพาะและรายละเอียดของรูปแบบข้อมูลที่บันทึกได้จากอุปกรณ์ OBD II จะแสดงในภาคผนวก ง ข้อมูลความเร็วที่อ่านได้จากอุปกรณ์ OBD II จะต้องผ่านการกรองข้อมูลซึ่งจะกล่าวรายละเอียดในภาคผนวก จ ตัวอย่างการติดตั้ง OBD II แสดงในรูปที่ 26



รูปที่ 25 current sensor และการติดตั้งโดยการคล้องรอบสายไฟจากแบตเตอรี่ใต้ท้องรถ



รูปที่ 26 การติดตั้ง OBD II ในรถ

ในการขับขี่ทดสอบรถปลั๊กอินไฮบริดเพื่อสร้างแบบจำลองค่ากำลังจำเพาะ จะต้องขับขี่ให้ครอบคลุมค่ากำลังจำเพาะของยานพาหนะให้ได้มากที่สุด โดยในงานวิจัยนี้ต้องการประมาณการใช้

พลังงานในรูปแบบการขับเคลื่อนในพื้นที่กรุงเทพมหานคร 20 รูปแบบ [20] ซึ่งผลจากการคำนวณค่ากำลังจำเพาะของยานพาหนะในรูปแบบการขับเคลื่อนดังกล่าวพบว่าค่ากำลังจำเพาะของยานพาหนะมีค่าต่ำสุด = -74.5 kW/ton และค่าสูงสุด = 49.4 kW/ton ดังนั้นจึงต้องขับเคลื่อนรถปลั๊กอินไฮบริดให้ครอบคลุมช่วงค่ากำลังจำเพาะของยานพาหนะดังกล่าว จากสมการที่ (4) ค่ากำลังจำเพาะที่มีค่าสูงทางบวกจะมาจาก การขับเคลื่อนด้วยความเร็วสูง และค่ากำลังจำเพาะที่มีค่าสูงทางลบจะมาจาก การเบรกในขณะที่มีความเร็วสูงจนเกิดความหน่วงสูงไปด้วย ดังนั้นการขับเคลื่อนให้ครอบคลุมช่วงค่ากำลังจำเพาะดังกล่าวจึงต้องเลือกขับเคลื่อนในสภาพการจราจรที่ค่อนข้างคล่องตัวเพื่อความสะดวกในการขับเคลื่อนด้วยความเร็วสูง

3.5.2 การแบ่งโหมดค่ากำลังจำเพาะของยานพาหนะ

เมื่อขับเคลื่อนรถปลั๊กอินไฮบริดเพื่อเก็บข้อมูลความเร็ว ความเร่ง (เพื่อคำนวณหาค่ากำลังจำเพาะของยานพาหนะ) และอัตราการใช้พลังงานแบบเรียลไทม์แล้ว จึงหาความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังจำเพาะของยานพาหนะและอัตราการใช้พลังงาน ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้การแบ่งโหมดค่ากำลังจำเพาะของยานพาหนะออกเป็นช่วงๆ ซึ่งจะเรียกแต่ละช่วงว่าโหมด และนำค่าอัตราการใช้พลังงาน ณ ขณะที่รถมีค่ากำลังจำเพาะในโหมดเดียวกันมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อเป็นตัวแทนค่าอัตราการใช้พลังงานของโหมดค่ากำลังจำเพาะนั้นๆ

สำหรับงานวิจัยนี้จะแบ่งโหมดค่ากำลังจำเพาะของรถปลั๊กอินไฮบริดในโหมด CS เป็น 14 โหมด ดังแสดงในตารางที่ 2 แต่สำหรับโหมด CD นั้นจำเป็นต้องมีการแบ่งโหมดค่ากำลังจำเพาะด้วยความละเอียดที่มากขึ้นในช่วงที่ค่ากำลังจำเพาะมีค่าเป็นลบ เนื่องจากในช่วงนี้ รถปลั๊กอินไฮบริดสามารถมีการชาร์จไฟฟ้ากลับจากการเบรก ซึ่งหากแบ่งโหมดค่ากำลังจำเพาะด้วยความละเอียดต่ำ จะทำให้เกิดความผิดพลาดในการประมาณการใช้พลังงานในโหมด CD ได้ [4] จึงแบ่งเป็น 34 โหมด ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 2 การแบ่งโหมดค่ากำลังจำเพาะของรถปลั๊กอินไฮบริดในโหมด CS

VSP mode	VSP range (kW/ton)				VSP mode	VSP range (kW/ton)					
-2		VSP	<	-2	6	13	<=	VSP	<	16	
-1	-2	<=	VSP	<	0	7	16	<=	VSP	<	19
1	0	<=	VSP	<	1	8	19	<=	VSP	<	23
2	1	<=	VSP	<	4	9	23	<=	VSP	<	28
3	4	<=	VSP	<	7	10	28	<=	VSP	<	33
4	7	<=	VSP	<	10	11	33	<=	VSP	<	39
5	10	<=	VSP	<	13	12	39	<=	VSP		

ตารางที่ 3 การแบ่งโหมดค่ากำลังจำเพาะของรถปลั๊กอินไฮบริดในโหมด CD

VSP mode	VSP range (kW/ton)				VSP mode	VSP range (kW/ton)					
-20		VSP	<	-70	-3	-6	<=	VSP	<	-4	
-19	-70	<=	VSP	<	-65	-2	-4	<=	VSP	<	-2
-18	-65	<=	VSP	<	-60	-1	-2	<=	VSP	<	0
-17	-60	<=	VSP	<	-55	1	0	<=	VSP	<	2
-16	-55	<=	VSP	<	-50	2	2	<=	VSP	<	4
-15	-50	<=	VSP	<	-45	3	4	<=	VSP	<	6
-14	-45	<=	VSP	<	-40	4	6	<=	VSP	<	9
-13	-40	<=	VSP	<	-35	5	9	<=	VSP	<	12
-12	-35	<=	VSP	<	-30	6	12	<=	VSP	<	15
-11	-30	<=	VSP	<	-27	7	15	<=	VSP	<	18
-10	-27	<=	VSP	<	-24	8	18	<=	VSP	<	21
-9	-24	<=	VSP	<	-21	9	21	<=	VSP	<	24
-8	-21	<=	VSP	<	-18	10	24	<=	VSP	<	27
-7	-18	<=	VSP	<	-15	11	27	<=	VSP	<	30
-6	-15	<=	VSP	<	-12	12	30	<=	VSP	<	35
-5	-12	<=	VSP	<	-9	13	35	<=	VSP	<	40
-4	-9	<=	VSP	<	-6	14	40	<=	VSP		

3.5.3 ความคลาดเคลื่อนแบบจำลองค่ากำลังจำเพาะของยานพาหนะ

ในงานวิจัยนี้จะใช้ค่า Standard Error (SE) เพื่อบ่งบอกความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยของชุดข้อมูล โดยมีหลักการคือสุ่มข้อมูลที่มีการกระจายตัวแบบปกติมาหลายๆ กลุ่มจากข้อมูลทั้งหมด และหาค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่ม โดยทั่วไปจะใช้ค่า SE ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ดังแสดงในรูปที่ 27 และสามารถคำนวณค่า SE ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ได้ดังสมการที่ (5) ทั้งนี้ค่า SE ที่มีค่าต่ำแสดงถึงค่าเฉลี่ยที่มีความคลาดเคลื่อนต่ำ

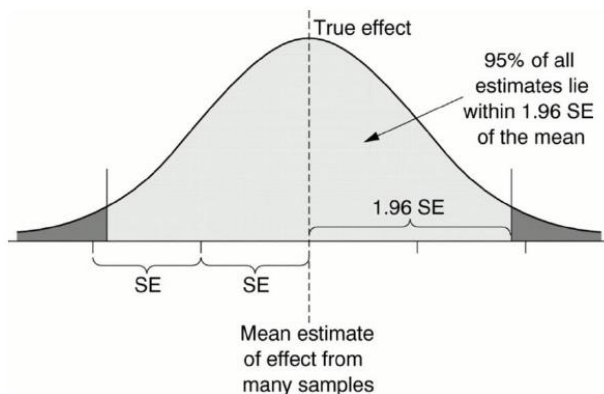
$$SE = 1.96 \times \frac{SD}{\sqrt{N}} \quad (5)$$

โดยที่

SE คือ Standard Error ของชุดข้อมูล

SD คือ Standard Deviation ของชุดข้อมูล

N คือ จำนวนข้อมูลในชุดข้อมูล



รูปที่ 27 การกระจายตัวของค่าเฉลี่ยและค่า SE ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% [7]

3.6 การประมาณการใช้พลังงานของรถปลั๊กอินไฮบริดในพฤติกรรมการขับขี่ของกรุงเทพมหานคร

การประมาณการใช้พลังงานของรถปลั๊กอินไฮบริดในพฤติกรรมการขับขี่ของกรุงเทพมหานคร จะคำนวณจากการใช้แบบจำลองค่ากำลังจำเพาะของรถปลั๊กอินไฮบริดที่สร้างขึ้นในหัวข้อที่ 3.5 มาประมาณการใช้พลังงานในรูปแบบการขับขี่ของกรุงเทพมหานครทั้ง 20 รูปแบบ จากนั้นจึงคำนวณการใช้พลังงานเฉลี่ยในรูปแบบการขับขี่ของกรุงเทพมหานครด้วยข้อมูลจำนวนรถและระยะทางของถนนในกรุงเทพมหานคร และเมื่อทราบการใช้พลังงานในโหมด CD จึงสามารถคำนวณระยะ CD ของรถปลั๊กอินไฮบริดที่ขับขี่ในรูปแบบการขับขี่ของกรุงเทพมหานครและคำนวณค่า UF ที่สมมติฐานต่างๆ ได้ จากนั้นจึงเฉลี่ยการใช้พลังงานทั้ง 2 โหมดการขับขี่ด้วยค่า UF แล้วคำนวณการใช้พลังงานที่ลดลงเมื่อมีการใช้รถปลั๊กอินไฮบริดแทนที่รถยนต์ในกรุงเทพมหานครได้ต่อไป

สำหรับการเปรียบเทียบปริมาณพลังงานของรถที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ซึ่งมีทั้งพลังงานไฟฟ้าและพลังงานจากเชื้อเพลิง จึงเลือกใช้การเปรียบเทียบปริมาณพลังงานจากข้อกำหนดของกระทรวงคมนาคมแห่งสหรัฐอเมริกา (The US Department of Transportation: DOT) และสำนักงานปกป้องสิ่งแวดล้อม (Environmental Protection Agency: EPA) ซึ่งกำหนดให้พลังงานจากเชื้อเพลิง 1 gallon เทียบเท่ากับพลังงาน 33.7 kWh [38]

3.6.1 การประมาณการใช้พลังงานในแต่ละรูปแบบการขับขี่

จากแบบจำลองค่ากำลังจำเพาะของรถปลั๊กอินไฮบริดในหัวข้อที่ 3.5 สามารถนำมาประมาณการใช้พลังงานในรูปแบบการขับขี่ต่างๆ ได้ โดยใช้ข้อมูลความเร็วและเวลาแบบเรียลไทม์ของแต่ละรูปแบบการขับขี่มาคำนวณค่ากำลังจำเพาะโดยสมการที่ (4) และคำนวณสัดส่วนระหว่างจำนวนข้อมูลที่มีค่ากำลังจำเพาะในแต่ละโหมดต่อจำนวนข้อมูลทั้งหมด เพื่อหาระยะเวลาที่ใช้ในการขับขี่ในแต่ละโหมด จากนั้นจึงคูณกับค่าอัตราการใช้พลังงานในโหมดนั้นๆ และเมื่อรวมการใช้พลังงาน

ทั้งหมดในแต่ละโหมดจึงทราบการใช้พลังงานทั้งหมดในแต่ละรูปแบบการขับขี่ และสามารถแสดงเป็น การใช้พลังงานต่อระยะทางด้วยการหารระยะทางของรูปแบบการขับขี่นั้นๆ โดยจะมีความแตกต่าง ของสมการที่ใช้ในการประมาณการดังกล่าวในโหมด CD และ CS ดังแสดงในสมการที่ (6) และ (7) ตามลำดับ

$$EC_{CD,i} = \frac{100 \times T_i \times \sum_{j=1}^N D_{i,j} E_j}{1,000 \times VKT_i} \quad (6)$$

$$EC_{CS,i} = \frac{100 \times T_i \times \sum_{j=1}^N D_{i,j} F_j}{\rho \times VKT_i} \quad (7)$$

โดยที่

$EC_{CD,i}$	คือ	การใช้พลังงานไฟฟ้าในโหมด CD ในรูปแบบการขับขี่ที่ i (kWh/100km)
$EC_{CS,i}$	คือ	การใช้พลังงานเชื้อเพลิงในโหมด CS ในรูปแบบการขับขี่ที่ i (L/100km)
T_i	คือ	เวลาที่ใช้ในรูปแบบการขับขี่ที่ i (s)
VKT_i	คือ	ระยะทางของรูปแบบการขับขี่ที่ i (กม.)
$D_{i,j}$	คือ	สัดส่วนระหว่างจำนวนข้อมูลที่มีค่ากำลังจำเพาะในโหมดที่ j และจำนวน ข้อมูลทั้งหมดในโหมดที่ j ของรูปแบบการขับขี่ที่ i
E_j	คือ	อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าในโหมด CD ในโหมดค่ากำลังจำเพาะที่ j (Wh/s)
F_j	คือ	อัตราการใช้เชื้อเพลิงในโหมด CS ในโหมดค่ากำลังจำเพาะที่ j (g/s)
ρ	คือ	ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงซึ่งกำหนดให้เป็น Gasohol 95 ($\rho = 737$ g/L)

3.6.2 การประมาณการใช้พลังงานโดยเฉลี่ยจากรูปแบบการขับขี่ของกรุงเทพมหานคร

สำหรับการใช้พลังงานโดยเฉลี่ยของรูปแบบการขับขี่ในพื้นที่กรุงเทพมหานครสามารถคำนวณ ได้โดยการถ่วงน้ำหนักด้วยค่าอัตราส่วนของระยะทางคูณจำนวนรถที่ขับขี่บนถนนที่มีความเร็วเฉลี่ย ตรงกับรูปแบบการขับขี่ที่กำหนดต่อผลรวมของจำนวนรถคูณระยะทางของถนนทั้งหมด ซึ่งสามารถ คำนวณการใช้พลังงานเฉลี่ยในโหมด CD และ CS ได้จากสมการที่ (8) และ (9) ตามลำดับ

$$EC_{CD} = \frac{\sum_1^N EC_{CD,i} V_i}{\sum_1^N V_i} \quad (8)$$

$$EC_{CS} = \frac{\sum_1^N EC_{CS,i} V_i}{\sum_1^N V_i} \quad (9)$$

โดยที่

EC_{CD}	คือ	การใช้พลังงานโดยเฉลี่ยในกรุงเทพมหานครของโหมด CD (kWh/100km)
EC_{CS}	คือ	การใช้พลังงานโดยเฉลี่ยในกรุงเทพมหานครของโหมด CS (L/100km)
V_i	คือ	ผลคูณระหว่างระยะทางและจำนวนรถที่ขับขี่บนถนนที่มีความเร็วเฉลี่ย ตรงกับรูปแบบการขับขี่ที่ i

3.6.3 การประมาณระยะ CD ของรถปลั๊กอินไฮบริดเมื่อขับขี่ในรูปแบบการขับขี่ของกรุงเทพมหานคร

ระยะ CD ของรถปลั๊กอินไฮบริดเป็นตัวแปรที่จะระบุถึงอัตราส่วนของระยะทางที่ขับขี่ในโหมด CD ต่อระยะทางการขับขี่ทั้งหมดในเที่ยวการขับขี่ หรือค่า UF จากหัวข้อที่ 3.2 อย่างไรก็ตามการใช้พลังงานในโหมด CD ในรูปแบบการขับขี่ในพื้นที่กรุงเทพมหานครอาจแตกต่างจากในวัฏจักรการขับขี่ที่ผู้ผลิตใช้อ้างอิง นอกจากนี้ความจุแบตเตอรี่ที่ผู้ผลิตอ้างอิงอาจไม่ใช่ความจุแบตเตอรี่จริงที่ใช้ในการขับขี่ได้ [4] จึงต้องมีการวัดพลังงานไฟฟ้าที่ชาร์จให้กับรถปลั๊กอินไฮบริดจากระดับพลังงานไฟฟ้าต่ำสุดจนเต็มเพื่อให้ทราบความจุแบตเตอรี่ที่แท้จริง

เมื่อทราบขนาดความจุของแบตเตอรี่และการใช้พลังงานในโหมด CD ในรูปแบบการขับขี่ในพื้นที่กรุงเทพมหานคร จะสามารถคำนวณระยะ CD ของรถปลั๊กอินไฮบริดได้จากสมการที่ (10) และสามารถนำระยะ CD ดังกล่าวไปหาค่า UF ของรถปลั๊กอินไฮบริดรุ่นนั้นๆ ได้ต่อไป

$$R_{CD} = \frac{1,000BC}{EC_{CD}} \quad (10)$$

โดยที่

R_{CD} คือ ระยะ CD ของรถปลั๊กอินไฮบริด (กม.)

BC คือ ขนาดความจุของแบตเตอรี่ (kWh)

3.6.4 การประมาณการใช้พลังงานของรถปลั๊กอินไฮบริดโดยเฉลี่ยจากพฤติกรรมการขับขี่ในกรุงเทพมหานคร

เมื่อทราบระยะ CD ของรถปลั๊กอินไฮบริดจึงสามารถหาค่า UF ได้จากรูปแบบ UF ของรถส่วนบุคคลในกรุงเทพมหานครในหัวข้อ 3.2 และคำนวณการใช้พลังงานของรถปลั๊กอินไฮบริดโดยเฉลี่ยจากพฤติกรรมการขับขี่ของคนในกรุงเทพมหานครได้โดยสมการที่ (11)

$$EC_j = UF_j \cdot EC_{CD} + (1 - UF_j) \cdot EC_{CS} \quad (11)$$

โดยที่

EC_j คือ การใช้พลังงานของรถปลั๊กอินไฮบริดจากพฤติกรรมการขับขี่ของคนในกรุงเทพมหานครในสมมติฐานที่ j (kWh/100km)

3.6.5 การใช้พลังงานที่ลดลงเมื่อใช้รถปลั๊กอินไฮบริดแทนรถยนต์ในกรุงเทพมหานคร

งานวิจัยนี้ต้องการประมาณปริมาณการใช้พลังงานที่ลดลงเมื่อมีการใช้รถปลั๊กอินไฮบริดแทนที่รถยนต์ในกรุงเทพมหานคร ประกอบกับสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน มีเป้าหมายที่จะลดการใช้พลังงานจากภาคคมนาคมในปี พ.ศ. 2579 ลง 1,123 ktoe หนึ่งในมาตรการ

ที่จะผลักดันให้บรรลุเป้าหมายคือการใช้ยานยนต์ไฟฟ้าแทนที่รถยนต์จำนวน 1.2 ล้านคัน [14] ซึ่งจากการคาดการณ์จำนวนรถยนต์ส่วนบุคคลในปี พ.ศ. 2579 ด้วยข้อมูลสถิติจำนวนรถยนต์ส่วนบุคคลขนาดไม่เกิน 7 ที่นั่ง ที่ต่ออายุและจดทะเบียนใหม่ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2549-2559 พบว่ามีความสัมพันธ์ในเชิงเส้นตรงและจะทำให้มีจำนวนรถยนต์ส่วนบุคคล 6.27 ล้านคันในปี พ.ศ. 2579 [20] ทำให้หากแทนที่ด้วยยานยนต์ไฟฟ้าประเภทรถปลั๊กอินไฮบริดทั้งหมดจะคิดเป็นสัดส่วนการแทนที่ 19.15 % นอกจากนี้เมื่อพิจารณาระยะขับขี่โดยเฉลี่ยต่อปี (Average Annual Distance Travelled: AADT) ของรถยนต์เครื่องยนต์เบนซินส่วนบุคคลขนาดไม่เกิน 7 ที่นั่ง ที่ใช้งานในกรุงเทพมหานคร พบว่ามีค่า 14,557 กม./คัน/ปี [39] การคำนวณปริมาณพลังงานรวมของรถส่วนบุคคลในกรุงเทพมหานครจากข้อมูลสถิติดังกล่าวหาได้จาก

$$TEC = AADT \times \sum_{i=1} (N_i \times EC_i) \quad (12)$$

โดยที่

TEC	คือ	ปริมาณการใช้พลังงานรวมของรถส่วนบุคคลในกรุงเทพมหานคร (Wh)
AADT	คือ	ระยะขับขี่โดยเฉลี่ยต่อปี (กม./ปี)
N_i	คือ	จำนวนรถประเภทที่ i ในปี พ.ศ. 2579 (คัน)
EC_i	คือ	การใช้พลังงานของรถประเภทที่ i (Wh/km)

จากการศึกษาวิจัยของ Jatusittangkul 2017 พบว่าข้อมูลสถิติและวิธีการดังกล่าวเมื่อนำมาประมาณการใช้พลังงานรวมของรถยนต์ที่ขับขี่ในรูปแบบการขับขี่ของกรุงเทพมหานคร 20 รูปแบบในปี พ.ศ. 2558 จะมีความคลาดเคลื่อนเพียง 0.48% เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณเชื้อเพลิงจำหน่ายจริงในกรุงเทพมหานครในปีเดียวกัน [29] งานวิจัยนี้จึงเลือกใช้จำนวนรถปลั๊กอินไฮบริด, จำนวนรถยนต์ส่วนบุคคลที่คาดการณ์ไว้และระยะทางขับขี่โดยเฉลี่ยต่อปีดังที่ได้กล่าวมา เพื่อประมาณปริมาณการใช้พลังงานที่ลดลงเมื่อมีการใช้รถปลั๊กอินไฮบริดแทนที่รถยนต์ในกรุงเทพมหานคร

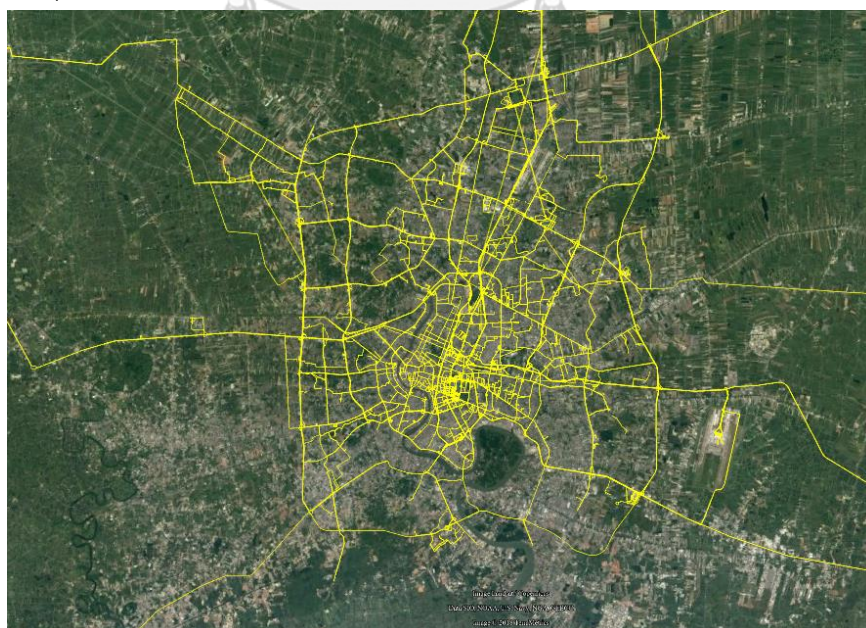
บทที่ 4

ผลการทดสอบและอภิปราย

4.1 พฤติกรรมการขับขี่ในแง่ระยะทางและเวลาในการจอดรถของผู้ใช้รถส่วนบุคคลในกรุงเทพมหานคร

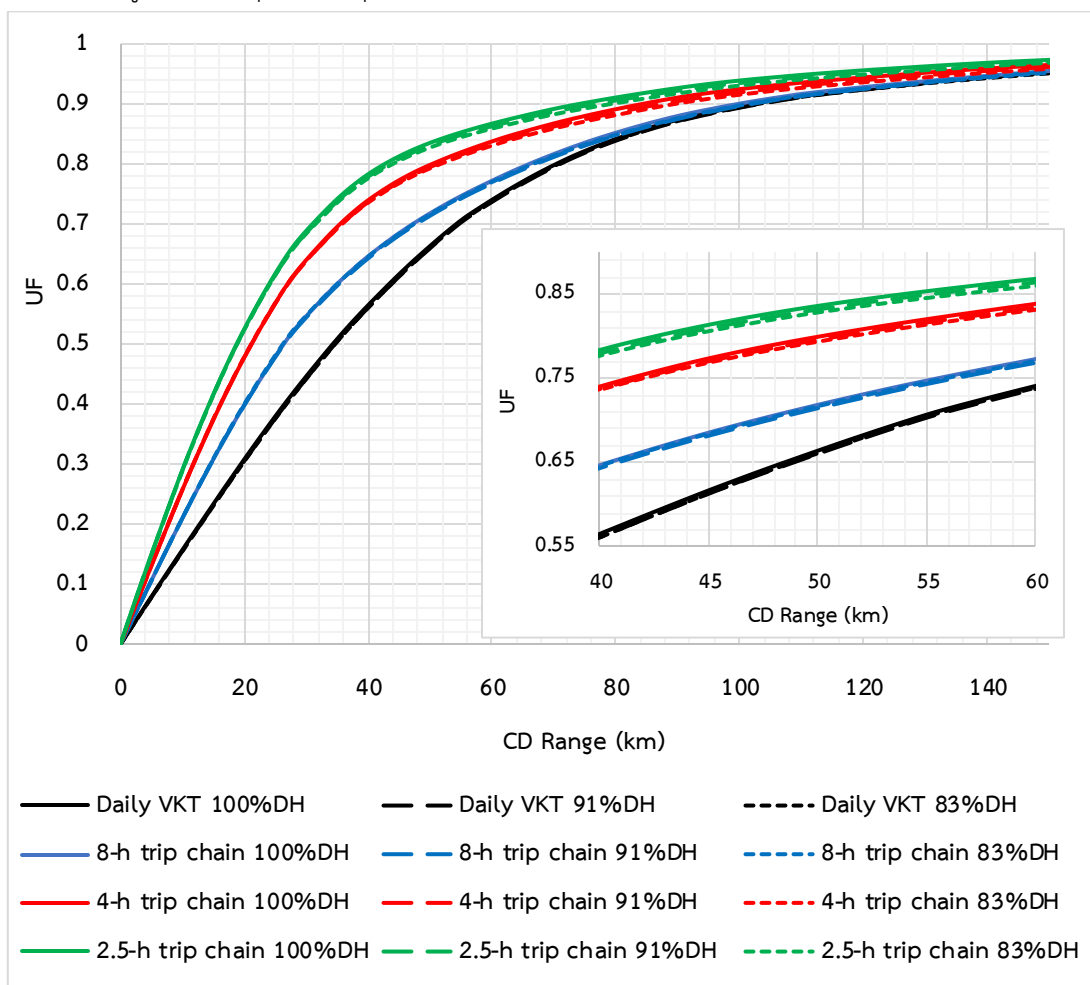
4.1.1 ความครอบคลุมและความเพียงพอของข้อมูลพฤติกรรมการขับขี่

จากการเก็บข้อมูลพฤติกรรมการขับขี่ในแง่ระยะทางของอาสาสมัครผู้ใช้รถส่วนบุคคลในกรุงเทพมหานครเป็นจำนวน 79 คน ได้จำนวนวันขับขี่รวม 567 วัน (วันที่ไม่มีการใช้งานรถ จะไม่นับเป็นวันขับขี่) จำนวนชั่วโมงการขับขี่ (Driving Hour) 1,134 ชั่วโมง และระยะทางการขับขี่รวม 35,120 กม. ทำให้ได้ข้อมูลที่จะนำมาหารูปแบบ UF ของรถส่วนบุคคลในกรุงเทพมหานคร รูปที่ 28 แสดงข้อมูลเส้นทางการเดินทางของอาสาสมัครผู้ใช้รถส่วนบุคคลในกรุงเทพมหานครจากกลุ่มอาสาสมัครที่ติดตั้งอุปกรณ์ GPS Logger ที่สามารถบันทึกข้อมูลตำแหน่งแบบเรียลไทม์ พบว่าเส้นทางการเดินทางจะครอบคลุมถนนในเขตที่มีผู้อาศัยหนาแน่นรวมถึงเขตเศรษฐกิจ เช่นเขตสาทร บางรัก ปทุมวัน ราชเทวี ลาดพร้าว ฯลฯ ซึ่งผลดังกล่าวสอดคล้องกับข้อมูลความหนาแน่นของสภาพการจราจรในกรุงเทพมหานคร จึงสรุปได้ว่ากลุ่มอาสาสมัครในงานวิจัยนี้สามารถเป็นตัวแทนผู้ใช้รถส่วนบุคคลในกรุงเทพมหานครได้



รูปที่ 28 เส้นทางการขับขี่ของผู้ใช้รถส่วนบุคคลในกรุงเทพมหานคร

นอกจากนี้เมื่อพิจารณาจำนวนชั่วโมงการขับขี่รวมของอาสาสมัคร ยังพบว่าจำนวนชั่วโมงการขับขี่ดังกล่าวเพียงพอต่อการนำมาหารูปแบบ UF ของผู้ใช้รถส่วนบุคคลในกรุงเทพมหานคร โดยจากการสุ่มข้อมูลเพื่อหารูปแบบ UF และอัตราส่วนจำนวนเที่ยวการขับขี่ที่มีระยะทางต่าง ๆ ต่อจำนวนเที่ยวทั้งหมด ใน 4 สมมติฐานที่กำหนดในหัวข้อที่ 3.2 โดยใช้จำนวนข้อมูล $\frac{100}{110}DH = 90.91\%DH$ และ $\frac{100}{120}DH = 83.33\%DH$ พบว่ารูปแบบ UF และอัตราส่วนดังกล่าว ที่หาโดยใช้ข้อมูลจำนวน $100\%DH$, $90.91\%DH$ และ $83.33\%DH$ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญสำหรับทุกสมมติฐาน ดังแสดงในรูปที่ 29 จึงสรุปได้ว่าจำนวนข้อมูลการขับขี่จากอาสาสมัครในงานวิจัยนี้มีความเพียงพอและสามารถเป็นตัวแทนผู้ใช้รถส่วนบุคคลในกรุงเทพมหานครได้



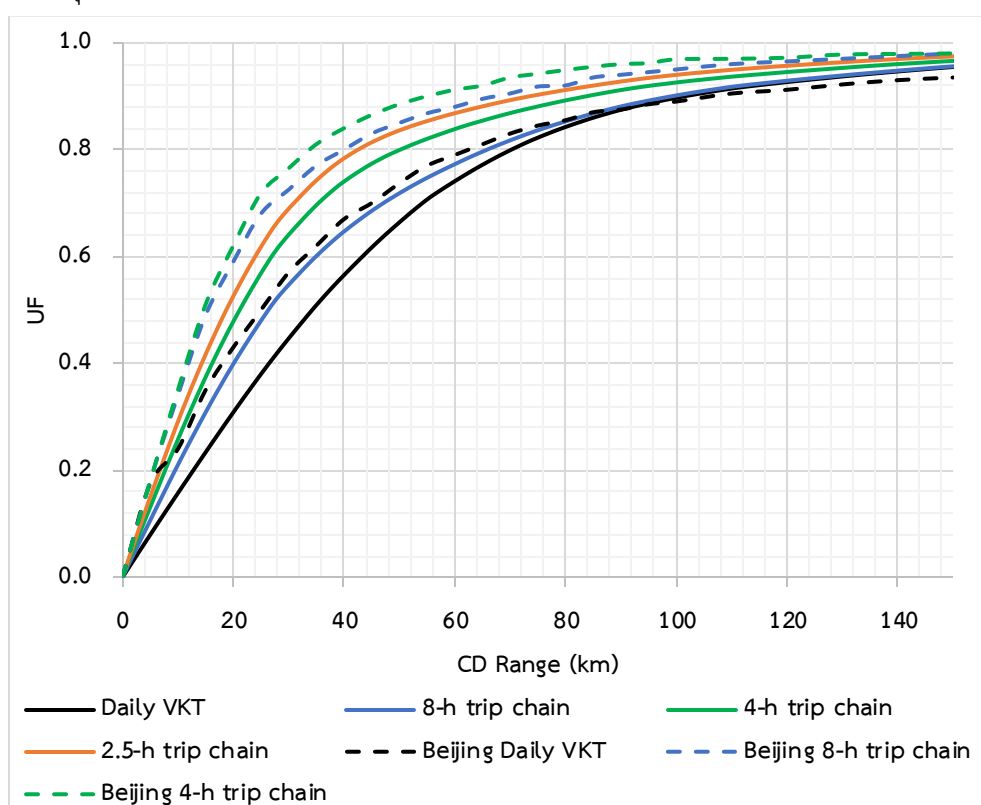
รูปที่ 29 รูปแบบ UF ของผู้ใช้รถส่วนบุคคลในกรุงเทพมหานครจากจำนวนข้อมูลชั่วโมงการขับขี่ต่างๆ ทั้ง 4 สมมติฐาน

4.1.2 รูปแบบ UF ของผู้ใช้รถส่วนบุคคลในกรุงเทพมหานคร

ผลการหารูปแบบ UF ของรถส่วนบุคคลในกรุงเทพมหานครในสมมติฐานทั้งสี่ แสดงในรูปแบบที่ 30 ควบคู่ไปกับรูปแบบ UF ของรถส่วนบุคคลในกรุงเทพฯ ซึ่งมีสมมติฐานเดียวกันคือ Daily VKT, 8-h trip chain และ 4-h trip chain [2, 5] พบว่ารูปแบบของ UF ในสมมติฐาน Daily VKT ซึ่งมีการชาร์จไฟฟ้าเต็มเพียงแค่ 1 ครั้งก่อนเริ่มขับขี่ใน 1 วันนั้นจะมีค่าต่ำที่สุด และรูปแบบ UF จะมีค่าสูงขึ้นตามสมมติฐานที่มีการชาร์จไฟฟ้าเต็มบ่อยครั้งขึ้นคือ 8-h, 4-h และ 2.5-h trip chain ตามลำดับ ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าในชุดข้อมูลพฤติกรรมการขับขี่ในแง่ระยะทางของกลุ่มอาสาสมัครผู้ใช้รถส่วนบุคคลในกรุงเทพมหานครชุดเดียวกันนี้ หากกำหนดให้เที่ยวการขับขี่สิ้นสุดเมื่อมีการจอดรถเป็นระยะเวลาที่กำหนดขึ้นไป ระยะเวลาที่น้อยกว่าย่อมส่งผลให้เกิดการสิ้นสุดเที่ยวการขับขี่ด้วยระยะทางที่สั้นกว่า และมีจำนวนเที่ยวการขับขี่เกิดขึ้นมากกว่า ดังแสดงในตารางที่ 4 ประกอบกับสมมติฐานข้อที่ 1 ของ SAE J2841 ที่กำหนดให้รถปลั๊กอินไฮบริดมีพลังงานไฟฟ้าเต็มก่อนเริ่มเที่ยวการขับขี่ ทำให้สมมติฐาน 8-h, 4-h และ 2.5-h trip chain แสดงถึงการชาร์จไฟฟ้าเต็มให้กับรถปลั๊กอินไฮบริดที่บ่อยครั้งขึ้น จึงมีอัตราส่วนระยะทางที่ขับขี่ในโหมด CD ต่อระยะทางทั้งหมดในเที่ยวการขับขี่มีค่าสูงขึ้นตามลำดับ นอกจากนี้รูปแบบ UF ของรถส่วนบุคคลในกรุงเทพมหานครจะมีค่าต่ำกว่าในกรุงเทพฯ ดังแสดงในรูปแบบที่ 30 ซึ่งหมายถึงผู้ขับขี่ในกรุงเทพมหานครมีระยะทางขับขี่เฉลี่ยต่อเที่ยวการขับขี่ต่ำกว่าผู้ขับขี่ในกรุงเทพฯ ดังแสดงในตารางที่ 4

หากพิจารณารูปแบบ UF ของรถส่วนบุคคลในกรุงเทพมหานครในแต่ละสมมติฐานแล้ว รูปแบบ UF ของสมมติฐาน 2.5-h และ 4-h trip chain มีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย แสดงให้เห็นว่าการจอดรถนาน 2.5 ชั่วโมงขึ้นไปส่วนใหญ่มักจะจอดยาวนานไปถึง 4 ชั่วโมงด้วย ซึ่งพิจารณาได้จากการกระจายตัวของอัตราส่วนจำนวนเที่ยวการขับขี่ที่มีระยะทางต่างๆ ต่อจำนวนเที่ยวการขับขี่ทั้งหมดในรูปแบบที่ 31 โดยทั้ง 2 สมมติฐานมีการกระจายตัวในลักษณะใกล้เคียงกัน ทำให้รูปแบบ UF ของทั้ง 2 สมมติฐานมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย แต่สำหรับสมมติฐาน 8-h trip chain และ Daily VKT นั้น รูปแบบ UF จะมีความแตกต่างกันค่อนข้างชัดเจน โดยเฉพาะที่ระยะทางน้อยกว่า 80 กิโลเมตร รวมถึงการกระจายตัวของอัตราส่วนจำนวนเที่ยวการขับขี่ที่มีระยะทางต่าง ๆ ต่อจำนวนเที่ยวการขับขี่ทั้งหมดของทั้งสองสมมติฐานยังมีความแตกต่างกันค่อนข้างชัดเจนด้วยดังแสดงในรูปแบบที่ 32 ซึ่งขัดแย้งกับผลการศึกษา UF ของรัฐมินเนโซต้า [40] ที่แสดงให้เห็นว่าการจอดรถนาน 8 ชั่วโมงขึ้นไปมักเกิดขึ้นที่ที่พักรถในช่วงเวลากลางคืน ดังนั้นจึงไม่ควรมีความแตกต่างระหว่างรูปแบบ UF ของสองสมมติฐานดังกล่าว แต่ในผลการศึกษาของกรุงเทพฯ [2] ที่มีผลการศึกษายกมาในรูปแบบเดียวกันกับงานวิจัยนี้ ได้อธิบายผลที่เกิดขึ้นเช่นนี้ว่าในมหานครเช่นกรุงเทพฯ ผู้คนมักจะมีช่วงระยะเวลาทำงานที่ยาวนาน กล่าวคือผู้คนมักจะออกเดินทางจากที่พักรถที่ทำงานในช่วงเวลาเช้ามาก

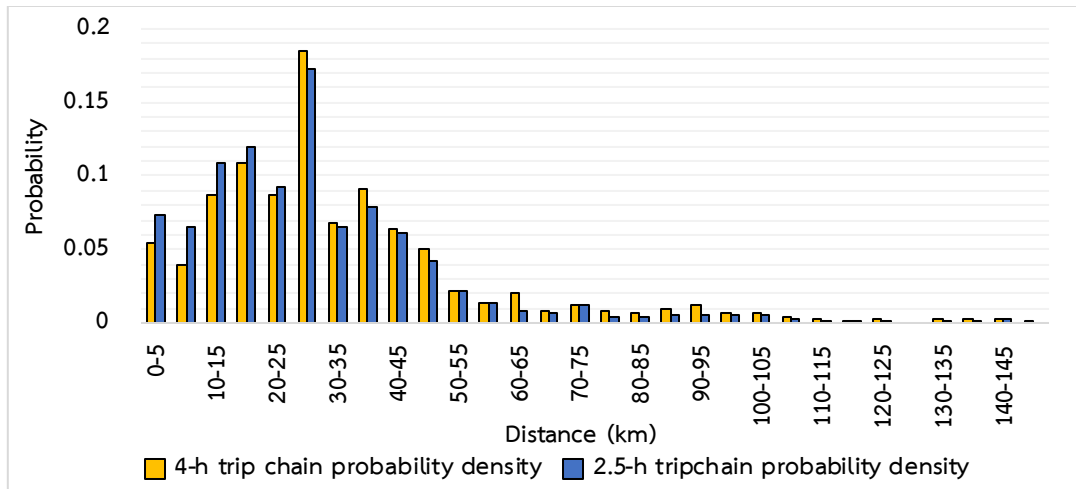
และกลับที่พักเมื่อพ้นช่วงเวลาจราจรติดขัดในช่วงเย็นไปแล้ว พฤติกรรมที่หลีกเลี่ยงการจราจรที่ติดขัดนี้ทำให้มีโอกาสในการจอดรถเป็นเวลา 8 ชั่วโมงขึ้นไปในช่วงระหว่างวันเกิดขึ้นคิดเป็น 15% ของจำนวนครั้งในการจอดระหว่างวัน ซึ่งในงานวิจัยนี้พบว่าในช่วงระหว่างวัน มีการจอดรถเป็นเวลา 8 ชั่วโมงขึ้นไปคิดเป็น 12% ของจำนวนครั้งในการจอดระหว่างวันดังแสดงในรูปที่ 33 ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษา UF ของกรุงปักกิ่ง ซึ่งในผลการศึกษาของกรุงปักกิ่งนี้ยังได้กล่าวอ้างว่าพฤติกรรมที่หลีกเลี่ยงการจราจรที่ติดขัดนี้จะมักเกิดขึ้นในพื้นที่ที่เป็นมหานคร (Megacity) ด้วยเหตุนี้จึงอาจกล่าวได้ว่ากรุงเทพมหานครมีสภาพเป็นมหานครเช่นกัน



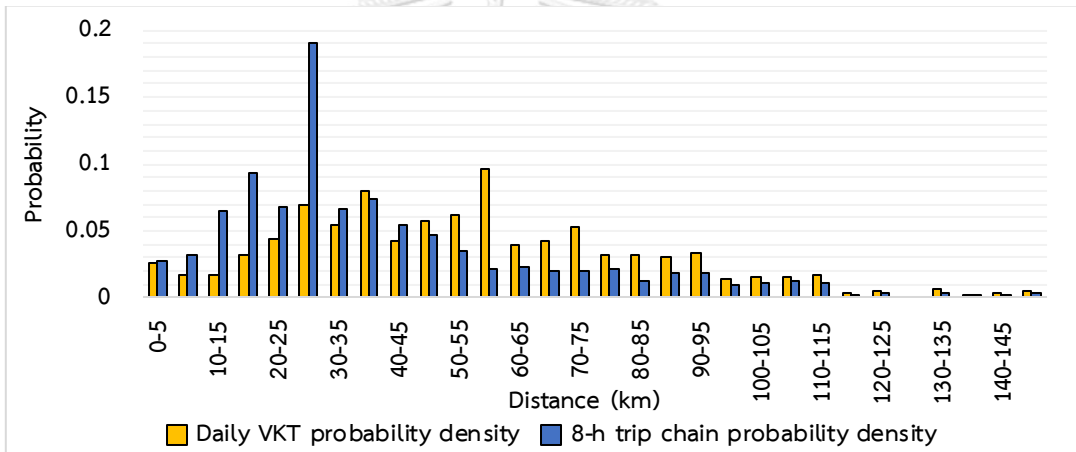
รูปที่ 30 รูปแบบ UF ของรถส่วนบุคคลในกรุงเทพมหานครเปรียบเทียบกับในกรุงปักกิ่ง

ตารางที่ 4 พฤติกรรมการขับขี่เบื้องต้นในแง่ระยะทางของรถส่วนบุคคล

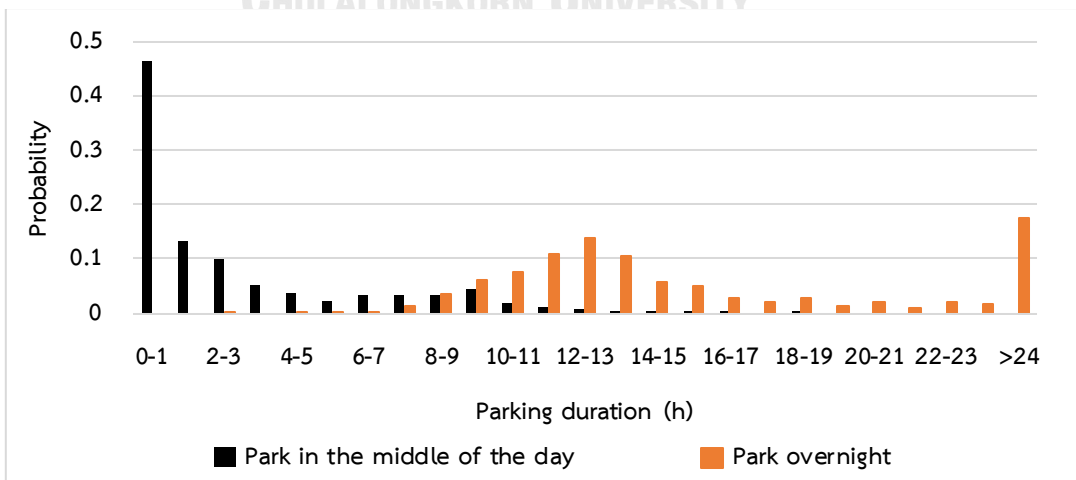
สมมติฐาน UF	กรุงเทพมหานคร			กรุงปักกิ่ง
	จำนวนเที่ยวการขับขี่	ระยะทางขับขี่/ เที่ยวการขับขี่ (กม.)	SD (กม.)	ระยะทางขับขี่/ เที่ยวการขับขี่
Daily VKT	567	61.9	44.5	46.5 [2]
8-h trip chain	760	46.2	42.1	-
4-h trip chain	952	36.9	34.9	25.7 [2]
2.5-h trip chain	1099	32	30.9	-



รูปที่ 31 อัตราส่วนจำนวนเที่ยวการขับขี่ที่มีระยะทางต่างๆ ต่อจำนวนเที่ยวทั้งหมดในสมมติฐาน 4-h และ 2.5-h trip chain



รูปที่ 32 อัตราส่วนจำนวนเที่ยวการขับขี่ที่มีระยะทางต่างๆ ต่อจำนวนเที่ยวทั้งหมดในสมมติฐาน Daily VKT และ 8-h trip chain



รูปที่ 33 อัตราส่วนจำนวนครั้งการจอดของผู้ใช้รถส่วนบุคคลในกรุงเทพมหานครด้วยระยะเวลาต่างๆ

ด้วยพฤติกรรมการจอดรถระหว่างวันกว่า 8 ชั่วโมงขึ้นไปดังกล่าว ซึ่งอาจเรียกได้ว่าเป็นพฤติกรรมของผู้ที่ทำงานประจำที่มักมีเวลาการทำงานที่แน่นอนและอาจยาวนานมากกว่า 8 ชั่วโมง การติดตั้งจุดชาร์จไฟฟ้าที่สำนักงานจึงเป็นสิ่งหนึ่งที่จะช่วยกระตุ้นให้เกิดการใช้งานรถปลั๊กอินไฮบริด ในกรุงเทพมหานคร เพื่อให้เห็นภาพที่ชัดเจน จากตารางที่ 5 พบว่าหากมีการใช้งานรถปลั๊กอินไฮบริด ที่มีระยะ $CD = 20$ กม. โดยมีจุดชาร์จไฟฟ้ารองรับการชาร์จไฟฟ้าที่สำนักงานต่างๆ ทำให้ผู้ทำงานประจำสามารถชาร์จไฟฟ้าเต็มให้กับรถปลั๊กอินไฮบริดที่สำนักงาน จะทำให้ค่า UF เพิ่มขึ้น จาก 0.31 เป็น 0.40 แสดงถึงระยะทางที่มีการขับขี่ในโหมด CD เพิ่มขึ้นอีก 9% ของระยะทางขับขี่ทั้งหมดเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ชาร์จไฟฟ้าจากที่พิกที่เท่านั้น นอกจากนี้หากมีจุดชาร์จไฟฟ้าในรูปแบบเต้าเสียบทั่วไปที่นอกเหนือจากที่ที่พิก เช่นตามสถานที่สาธารณะ ครอบคลุมพื้นที่ กรุงเทพมหานครมากขึ้นตามสถานที่ที่อาจมีการจอดรถนาน 4 ชั่วโมงขึ้นไป เช่น ห้างสรรพสินค้า, สถานที่จัดงานต่างๆ ฯลฯ จนสามารถชาร์จไฟฟ้าเต็มภายใน 4 ชั่วโมงได้ที่สถานที่ดังกล่าว จะทำให้มีค่า $UF = 0.48$ แสดงถึงระยะทางที่มีการขับขี่ในโหมด CD เพิ่มขึ้นอีก 17% ของระยะทางขับขี่ทั้งหมดเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ชาร์จไฟฟ้าจากที่พิกที่เท่านั้น แต่ในกรณีที่มีจุดชาร์จไฟฟ้าตามที่สาธารณะเป็นรูปแบบ Wall box ที่สามารถรองรับกระแสไฟฟ้าขนาดใหญ่ได้มากขึ้นและครอบคลุมพื้นที่กรุงเทพมหานครอีกด้วย จนสามารถชาร์จไฟฟ้าเต็มได้ทุกที่ที่มีการจอดรถนาน 2 ชั่วโมง 30 นาที ขึ้นไป จะทำให้มีค่า $UF = 0.53$ แสดงถึงระยะทางที่มีการขับขี่ในโหมด CD เพิ่มขึ้นอีก 5% ของระยะทางขับขี่ทั้งหมดเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่มีจุดชาร์จไฟฟ้าสาธารณะแบบ Wall box ทั้งนี้เป็นเพราะการจอดรถนาน 2 ชั่วโมง 30 นาทีขึ้นไปส่วนใหญ่มักจะจอดยาวนานไปถึง 4 ชั่วโมงด้วยดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ทำให้ค่า UF ของ 2 กรณีนี้มีค่าไม่ต่างกันนัก จึงสรุปได้ว่าหากต้องการให้มีการใช้งานรถปลั๊กอินไฮบริดในกรุงเทพมหานคร ควรติดตั้งจุดชาร์จไฟฟ้าตามสำนักงาน รวมถึงตามสถานที่สาธารณะในรูปแบบเต้าเสียบทั่วไป โดยที่ไม่จำเป็นต้องติดตั้งในรูปแบบ Wall box ที่มีราคาต้นทุนการติดตั้งที่สูงตามไปด้วย

ตารางที่ 5 ค่า UF ของรถปลั๊กอินไฮบริดที่มีระยะ CD = 20 กม. ในพฤติกรรมการขับขี่รถส่วนบุคคล
ในกรุงเทพมหานคร

	การชาร์จไฟฟ้าเต็มทุกครั้งเมื่อมีการจอดรถเป็นระยะเวลาต่างๆ (ชั่วโมง)			
	ข้ามคืน	>8	>4	>2.5
UF	0.31	0.40	0.48	0.53
สถานที่ที่คาดว่าจะมีการจอด	ที่พัก	ที่พัก, สำนักงาน	ที่พัก, สำนักงาน, ห้างสรรพสินค้า, สถานที่จัดงานต่างๆ	ที่พัก, สำนักงาน, ห้างสรรพสินค้า, สถานที่จัดงานต่างๆ, สถานที่ออกกำลังกาย
ขนาดกระแสในการชาร์จ (แอมแปร์)	9-10	9-10	9-10	12
กำลังในการชาร์จ (kW)	3.7	3.7	3.7	3.7
ประเภทจุดชาร์จ	เต้าเสียบทั่วไป	เต้าเสียบทั่วไป	เต้าเสียบทั่วไป	Wall box
ข้อจำกัด	-	-	-	ราคาการติดตั้งสูง

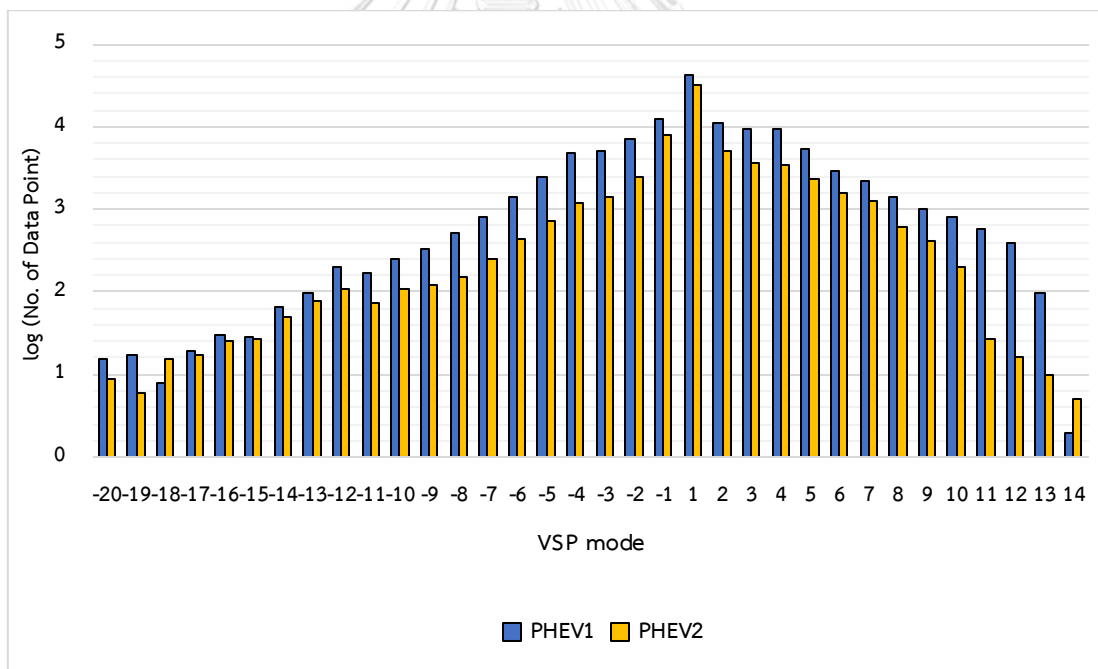
4.2 ฐานข้อมูลอัตราการใช้พลังงานของรถปลั๊กอินไฮบริด

ในส่วนนี้จะแสดงผลการสร้างฐานข้อมูลอัตราการใช้พลังงานของรถปลั๊กอินไฮบริดที่ใช้ในงานวิจัยทั้ง 2 รุ่นโดยใช้แบบจำลองค่ากำลังจำเพาะของยานพาหนะทั้งในโหมด CD และ CS รวมถึงแสดงความแม่นยำและความน่าเชื่อถือของแบบจำลองดังกล่าวโดยการเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานจากการใช้แบบจำลองและการวัดจริง

4.2.1 แบบจำลองค่ากำลังจำเพาะของรถปลั๊กอินไฮบริดในโหมด CD

จากการขับขี่ทดสอบรถปลั๊กอินไฮบริดเพื่อเก็บข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองค่ากำลังจำเพาะของรถปลั๊กอินไฮบริดในโหมด CD ด้วยระยะทาง 223 กม. จำนวนวันขับขี่ทดสอบ 9 วัน ระยะเวลาขับขี่ 7 ชั่วโมง สำหรับ PHEV1 และด้วยระยะทาง 94 กม. จำนวนวันขับขี่ทดสอบ 4 วัน ระยะเวลาขับขี่ 4 ชั่วโมง สำหรับ PHEV2 จะได้รับการกระจายตัวของจำนวนข้อมูลที่แสดงในรูปฟังก์ชันลอการิทึมในแต่ละโหมดค่ากำลังจำเพาะดังแสดงในรูปที่ 34 แสดงให้เห็นว่าการขับขี่ทดสอบ

ครอบคลุมการขับขี่ในทุกโหมดค่ากำลังจำเพาะ โดยมีจำนวนข้อมูลการขับขี่ในโหมด CD ของ PHEV1 และ PHEV2 จำนวน 122,553 และ 65,404 ข้อมูลตามลำดับ ซึ่งในโหมดค่ากำลังจำเพาะที่มีค่าสูงทั้งทางบวกและทางลบ จะมีจำนวนข้อมูลน้อยกว่าในโหมดค่ากำลังจำเพาะที่มีค่าต่ำทั้งทางบวกและทางลบ เนื่องจากการทดสอบขับขี่ในกรุงเทพมหานครมีการจราจรที่ค่อนข้างติดขัด จึงไม่สามารถขับขี่ทดสอบด้วยความเร็วและความเร่งที่สูงได้บ่อยครั้งนัก ซึ่งจากสมการที่ (4) ค่าความเร็วและความเร่งที่สูงนี้จะแสดงถึงค่ากำลังจำเพาะที่มีค่าสูงทางบวก และจากการที่ไม่สามารถขับขี่ด้วยความเร็วสูงได้บ่อยครั้งนั้น ยังทำให้ไม่สามารถทำการเบรกจนเกิดความหน่วงสูงได้บ่อยครั้งเช่นกัน และเช่นเดียวกันจากสมการที่ (4) ความหน่วงที่สูงนี้จะแสดงถึงค่ากำลังจำเพาะที่มีค่าสูงทางลบ นอกจากนี้ในการขับขี่ทดสอบเก็บข้อมูลรถปลั๊กอินไฮบริดทั้ง 2 รุ่น ระยะทางที่สามารถขับขี่ในโหมด CD เมื่อทำการขับขี่ทดสอบมีค่าประมาณ 19-35 กม. ทำให้การขับขี่ทดสอบในแต่ละวันไม่สามารถขับขี่ได้ระยะทางที่ไกลมาก อีกทั้งการชาร์จไฟฟ้าจากระดับพลังงานไฟฟ้าต่ำสุดจนเต็มยังใช้เวลาประมาณ 2 ชั่วโมง 30 นาที แม้ว่าจะชาร์จไฟฟ้าด้วยขนาดกระแส 12 แอมแปร์ ที่เป็นขนาดกระแสสูงสุดแล้วก็ตาม



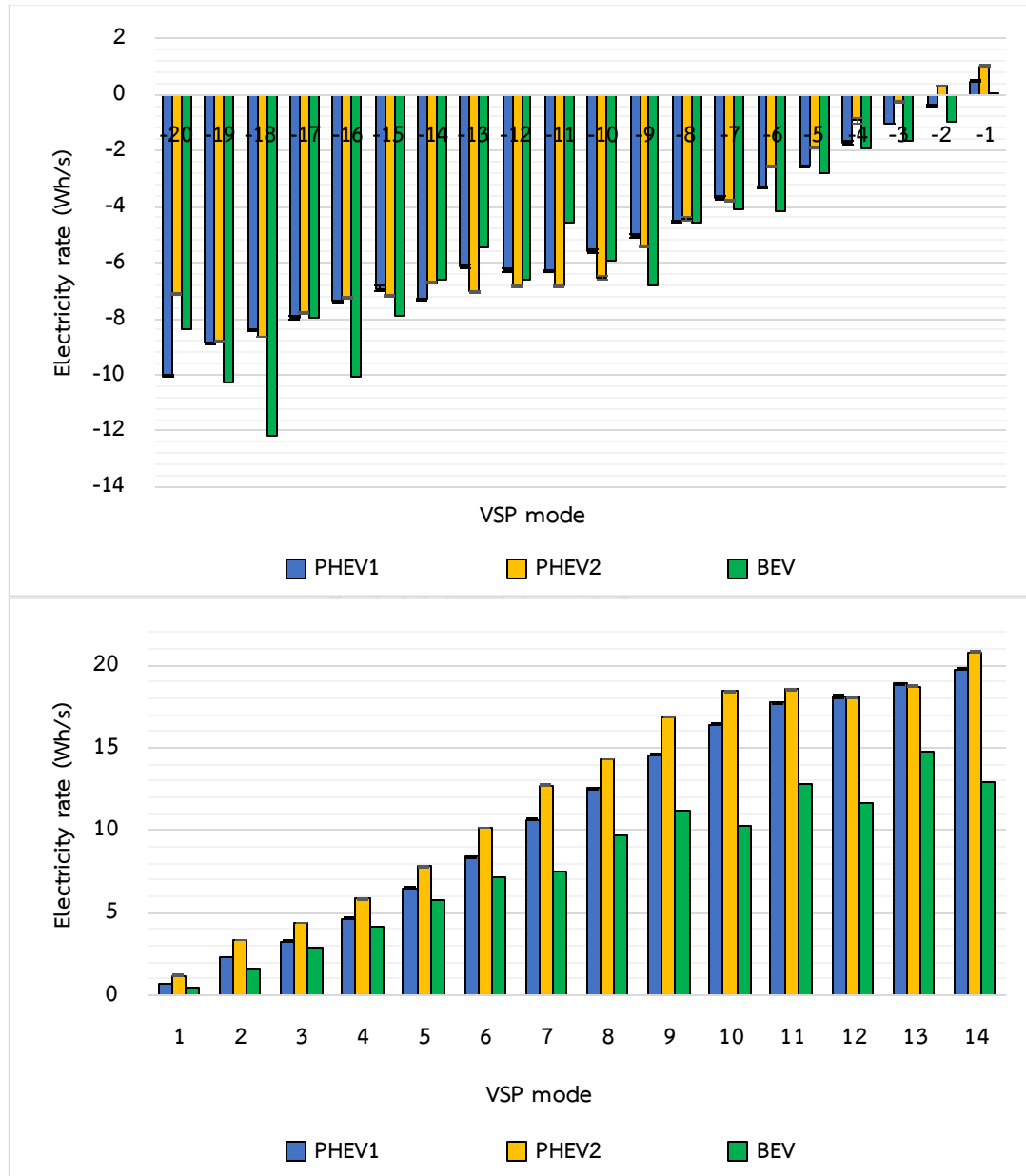
รูปที่ 34 การกระจายตัวจำนวนข้อมูลในแต่ละโหมดค่ากำลังจำเพาะในการขับขี่ทดสอบในโหมด CD

ผลการสร้างแบบจำลองค่ากำลังจำเพาะของรถปลั๊กอินไฮบริดทั้ง 2 รุ่นในโหมด CD แสดงในรูปที่ 35 พบว่าอัตราการใช้พลังงานมีค่าสูงขึ้นตามค่ากำลังจำเพาะที่สูงขึ้น ส่วนในช่วงที่ค่ากำลังจำเพาะมีค่าเป็นลบ ซึ่งอัตราการใช้พลังงานมีค่าเป็นลบด้วยนั้นแสดงถึงการชาร์จไฟฟ้ากลับจากการเบรก โดยกระแสไฟฟ้ารวมสูงสุดที่ไหลเข้าสู่แบตเตอรี่ขณะที่มีการชาร์จไฟฟ้ากลับจากการเบรกของ

PHEV1 และ PHEV2 จะมีค่าประมาณ 120 และ 110 แอมแปร์ ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบอัตราการใช้พลังงานของ PHEV1 และ PHEV2 ในโหมดค่ากำลังจำเพาะเดียวกัน พบว่าในโหมดที่ -1 ถึงโหมดที่ 14 ที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้า มีถึง 13 โหมดที่อัตราการใช้พลังงานของ PHEV2 มีค่าสูงกว่าของ PHEV1 และมีถึง 11 โหมดที่อัตราการใช้พลังงานของ PHEV2 มีค่าสูงกว่าของ PHEV1 เกิน 10% โดยเฉพาะโหมดที่ -1 และ 1 พบว่าอัตราการใช้พลังงานของ PHEV2 มีค่าสูงกว่าของ PHEV1 ถึง 119% และ 80% ตามลำดับ สำหรับโหมดที่ -20 ถึงโหมดที่ -3 ที่มีการชาร์จพลังงานไฟฟ้า มีถึง 10 โหมดที่อัตราการชาร์จพลังงานของ PHEV2 มีค่าต่ำกว่าของ PHEV1 และมีถึง 5 โหมดที่อัตราการชาร์จพลังงานของ PHEV2 มีค่าต่ำกว่าของ PHEV1 เกิน 10% โดยเฉพาะโหมดที่ -4 และ -3 พบว่าอัตราการชาร์จพลังงานของ PHEV2 มีค่าต่ำกว่าของ PHEV1 ถึง 46% และ 76% ตามลำดับ นอกจากนี้ในโหมดที่ 19 จะมีการชาร์จพลังงานไฟฟ้า 0.404 Wh/s สำหรับ PHEV1 ในขณะที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้า 0.318 Wh/s สำหรับ PHEV2 จากที่กล่าวมานี้ จึงสรุปได้ว่าอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าในโหมด CD ของ PHEV2 มีค่าสูงกว่า PHEV1 อย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับรูปแบบการขับขี่ที่ต้องการนำไปประมาณการใช้พลังงานด้วย นอกจากนี้ในงานวิจัยนี้ยังได้เปรียบเทียบอัตราการใช้พลังงานจากแบบจำลองค่ากำลังจำเพาะของรถไฟฟ้า (BEV) จากงานวิจัยในอดีต [7] BMW i3 ซึ่งเป็นรถใน C-segment เช่นเดียวกับ PHEV1 และ PHEV2 โดยการนำแบบจำลองเดิมที่แบ่งโหมดค่ากำลังจำเพาะ 19 โหมด [7] มาแบ่งโหมดให้มีความละเอียด 34 โหมดเช่นเดียวกับงานวิจัยนี้ พบว่าในโหมดที่ -1 ถึงโหมดที่ 14 ที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้า BEV มีอัตราการใช้พลังงานต่ำกว่าของ PHEV1 และ PHEV2 อย่างชัดเจนในทุกโหมด สำหรับโหมดที่ -20 ถึงโหมดที่ -3 ที่มีการชาร์จพลังงานไฟฟ้า พบว่ามี 4 โหมดที่อัตราการชาร์จพลังงานของ BEV มีค่าสูงกว่าของ PHEV1 และ PHEV2 ค่อนข้างชัดเจน ส่วนในโหมดอื่นๆ จะมีอัตราการชาร์จพลังงานที่ใกล้เคียงกัน ข้อสังเกตที่พบจากการสร้างแบบจำลองค่ากำลังจำเพาะคือในโหมดที่ -2 และ -1 ซึ่งเป็นโหมดที่มีค่ากำลังจำเพาะเป็นลบและมีการชาร์จไฟฟ้ากลับจากการเบรก แต่พบว่าอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าในโหมดดังกล่าวมีค่าเป็นบวก ซึ่งเป็นผลมาจากอัตราการใช้ไฟฟ้าของระบบปรับอากาศและระบบหล่อเย็นแบตเตอรี่ของรถที่มีค่าสูงกว่าอัตราการชาร์จพลังงานที่เกิดขึ้นในขณะนั้น ทำให้อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าสุทธิในโหมดดังกล่าวมีค่าเป็นบวกนั่นเอง

สำหรับความคลาดเคลื่อนของชุดข้อมูลที่นำมาสร้างแบบจำลองจะแสดงด้วยค่า Standard Error ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากการศึกษาของงานวิจัยของ Treenok 2017 [7] ที่สร้างแบบจำลองค่ากำลังจำเพาะเพื่อแสดงอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าของรถไฟฟ้า ผลการสร้างพบว่าค่า Standard Error ในทุกโหมดค่ากำลังจำเพาะมีค่าอยู่ในช่วง 0.00045-0.269 Wh/s ซึ่งถือว่าความคลาดเคลื่อนไม่มีนัยสำคัญ และสามารถนำไปประมาณการใช้พลังงานได้โดยมี Error ไม่เกิน 12% ในงานวิจัยนี้ ค่า Standard Error ในทุกโหมดค่ากำลังจำเพาะของรถปลั๊กอินไฮบริดทั้ง 2 รุ่นมีค่าระหว่าง 0.00035 – 0.13621 Wh/s ซึ่งน้อยกว่าค่า Standard Error ในงานวิจัยของ Treenok 2017 จึงถือว่าความ

คลาดเคลื่อนไม่มากนัก ทำให้สรุปได้ว่าแบบจำลองค่ากำลังจำเพาะของรถปลั๊กอินไฮบริดทั้ง 2 รุ่นในงานวิจัยนี้ สามารถนำไปประมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในโหมด CD ได้



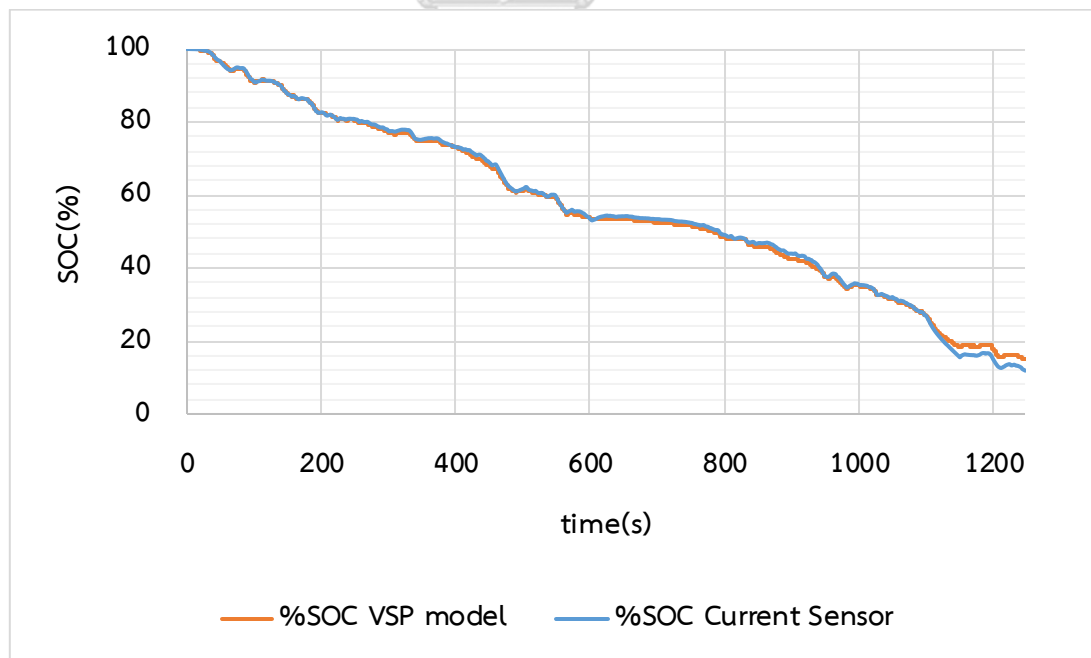
รูปที่ 35 แบบจำลองอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าของรถปลั๊กอินไฮบริดในโหมด CD

เพื่อตรวจสอบความแม่นยำของแบบจำลองจึงได้ใช้แบบจำลองประมาณหาค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าเมื่อขับขี่ในวัฏจักรการขับขี่ EPA Combined และ NEDC (รายละเอียดในภาคผนวก ข) ซึ่งบริษัทผู้ผลิตรถอ้างอิง พบว่ามีความคลาดเคลื่อนของการใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุดเพียง 8% เท่านั้น ดังแสดงในตารางที่ 6 นอกจากนี้เมื่อนำแบบจำลองมาประมาณหาค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ไปในการขับขี่ที่เริ่มเที่ยวการขับขี่ด้วยพลังงานไฟฟ้าในแบตเตอรี่เต็มและขับขี่จนระดับพลังงานไฟฟ้าลด

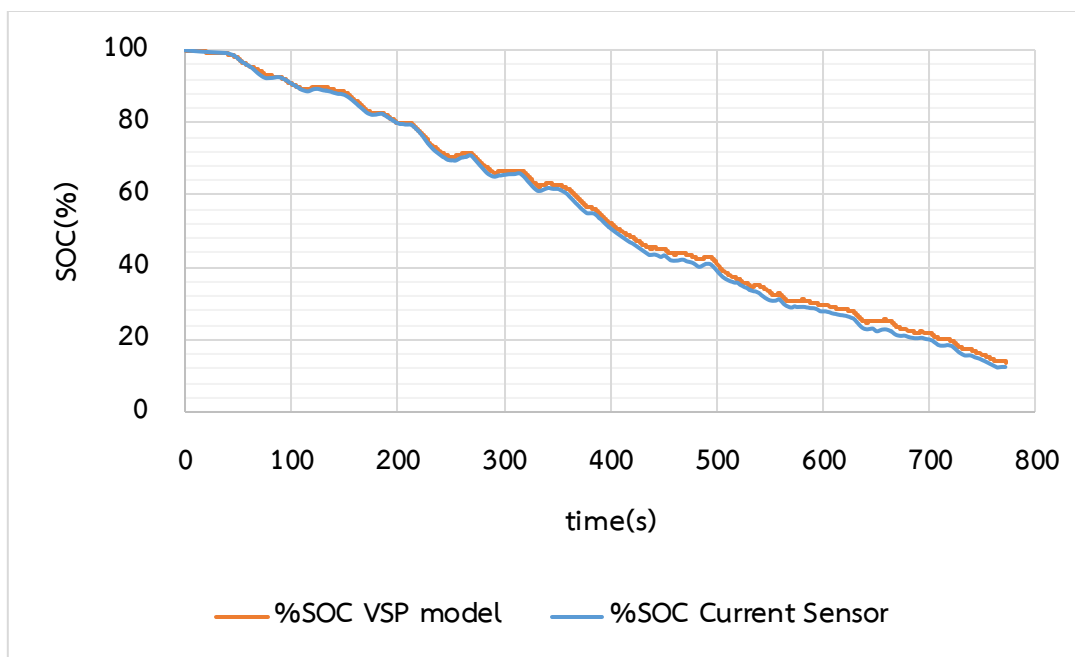
เหลือต่ำสุดเปรียบเทียบกับผลการวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าด้วย Current Sensor ในแบบเรียลไทม์ โดยคำนวณและแสดงระดับพลังงานไฟฟ้าที่เหลือในรูป %SOC ดังแสดงในรูปที่ 36-รูปที่ 37 พบว่า %SOC ที่ระดับต่ำสุดก่อนเข้าสู่การขับขี่ในโหมด CS มีความแตกต่างกันเพียง 3.2% สำหรับ PHEV1 และ 1.4% สำหรับ PHEV2 นอกจากนี้ผลการพัฒนาแบบจำลองค่ากำลังจำเพาะของ BEV ยังมีความผิดพลาดลดน้อยลงอีกด้วยเมื่อเปรียบเทียบกับแบบจำลองเดิม [7] จึงสรุปได้ว่าแบบจำลองค่ากำลังจำเพาะของรถปลั๊กอินไฮบริดทั้ง 2 รุ่นและรถไฟฟ้าในงานวิจัยนี้ สามารถนำไปประมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในโหมด CD ได้อย่างแม่นยำ

ตารางที่ 6 ความแม่นยำของแบบจำลองในการประมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในโหมด CD เทียบกับวัฏจักรการขับขี่มาตรฐาน

รถปลั๊กอินไฮบริด	การใช้พลังงาน ($L_e/100km$)		Error (%)	การใช้พลังงาน ($L_e/100km$)		Error (%)
	แบบจำลอง	ค่าอ้างอิง (EPA combined)		แบบจำลอง	ค่าอ้างอิง (NEDC)	
PHEV1	3.060	3.332	8.2	1.034	1.033	0.1
PHEV2	4.155	3.931	5.7	-	-	-



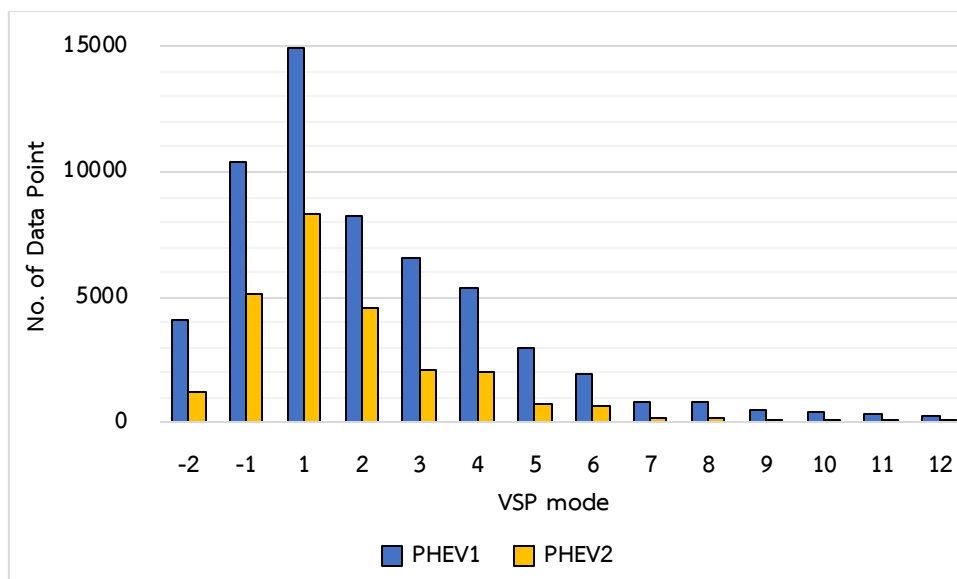
รูปที่ 36 การใช้แบบจำลองประมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในโหมด CD ของ PHEV1



รูปที่ 37 การใช้แบบจำลองประมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในโหมด CD ของ PHEV2

4.2.2 แบบจำลองค่ากำลังจำเพาะของรถปลั๊กอินไฮบริดในโหมด CS

จากการขับขี่ทดสอบรถปลั๊กอินไฮบริดเพื่อเก็บข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองค่ากำลังจำเพาะของรถปลั๊กอินไฮบริดในโหมด CS เป็นระยะทาง 649 กม. จำนวนวันขับขี่ทดสอบ 10 วัน ระยะเวลาขับขี่ 11 ชั่วโมง สำหรับ PHEV1 และเป็นระยะทาง 237 กม. จำนวนวันขับขี่ทดสอบ 4 วัน ระยะเวลาขับขี่ 5 ชั่วโมง สำหรับ PHEV2 จะได้การกระจายตัวของจำนวนข้อมูล ในแต่ละโหมดค่ากำลังจำเพาะดังแสดงในรูปที่ 38 แสดงให้เห็นว่าการขับขี่ทดสอบครอบคลุมการขับขี่ในทุกโหมดค่ากำลังจำเพาะ โดยมีจำนวนข้อมูลการขับขี่ในโหมด CS ของ PHEV1 และ PHEV2 จำนวน 57,619 และ 25,453 ข้อมูลตามลำดับ ซึ่งในโหมดค่ากำลังจำเพาะที่มีค่าสูงจะมีจำนวนข้อมูลน้อยกว่าในโหมดค่ากำลังจำเพาะที่มีค่าต่ำเช่นเดียวกันกับการขับขี่ทดสอบในโหมด CD เนื่องจากการทดสอบขับขี่ในกรุงเทพมหานครมีการจราจรที่ค่อนข้างติดขัด จึงไม่สามารถขับขี่ทดสอบด้วยความเร็วและความเร่งที่สูงได้บ่อยครั้งนัก ซึ่งจากสมการที่ (4) ค่าความเร็วและความเร่งที่สูงนี้จะแสดงถึงค่ากำลังจำเพาะที่มีค่าสูงทางบวก และจากการที่ไม่สามารถขับขี่ด้วยความเร็วสูงได้บ่อยครั้งนั้น ยังทำให้ไม่สามารถทำการเบรกจนเกิดความหน่วงสูงได้บ่อยครั้งเช่นกัน และเช่นเดียวกัน จากสมการที่ (4) ความหน่วงที่สูงนี้จะแสดงถึงค่ากำลังจำเพาะที่มีค่าสูงทางลบ

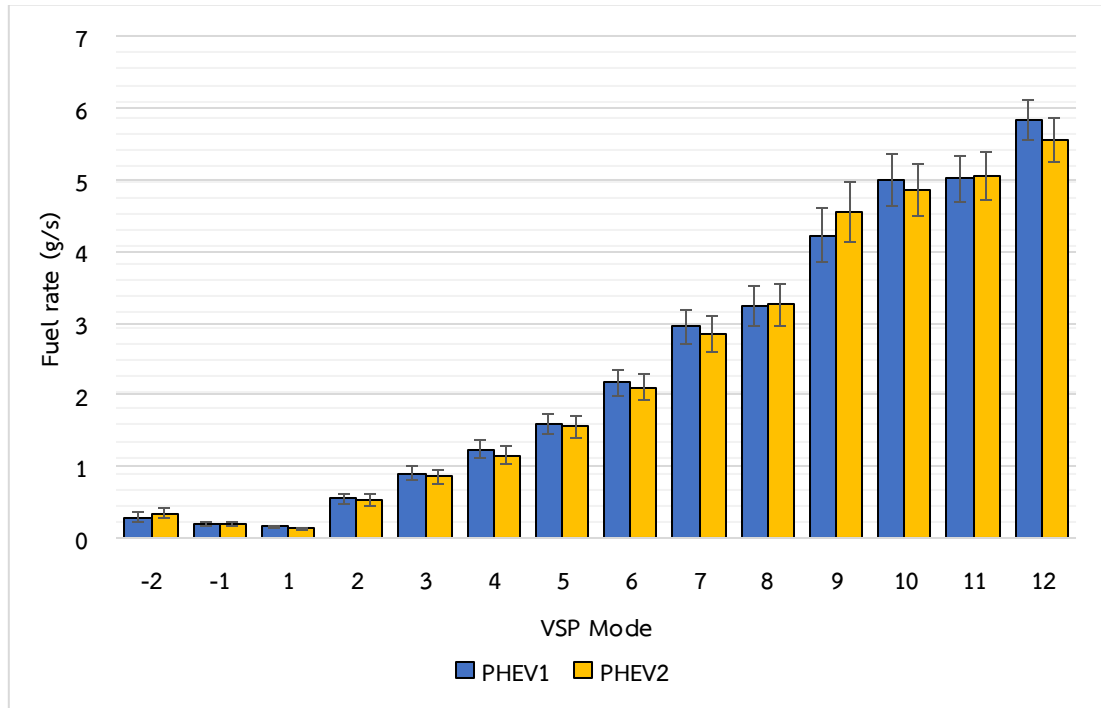


รูปที่ 38 การกระจายตัวจำนวนข้อมูลในแต่ละโหมดค่ากำลังจำเพาะในการขับขี่ทดสอบในโหมด CS

ผลการสร้างแบบจำลองค่ากำลังจำเพาะของรถปลั๊กอินไฮบริดทั้ง 2 รุ่นในโหมด CS แสดงในรูปที่ 39 พบว่าในช่วงที่ค่ากำลังจำเพาะมีค่าเป็นบวก อัตราการใช้พลังงานจะมีค่าสูงขึ้นตามค่ากำลังจำเพาะที่สูงขึ้น แต่ในช่วงที่ค่ากำลังจำเพาะมีค่าเป็นลบ อัตราการใช้พลังงานจะมีค่าสูงขึ้นตามค่ากำลังจำเพาะที่มีค่าเป็นลบมากขึ้น ซึ่งตรงกับผลในงานวิจัยอัตราการใช้พลังงานของรถปลั๊กอินไฮบริดหลายๆ งาน [4, 8] และเมื่อเปรียบเทียบอัตราการใช้พลังงานของ PHEV1 และ PHEV2 ในโหมดค่ากำลังจำเพาะเดียวกัน พบว่ามี 10 โหมดที่อัตราการใช้พลังงานของ PHEV1 มีค่าสูงกว่าของ PHEV2 (เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างที่มีค่าบวก) และมีเพียงโหมดที่ 3 ที่อัตราการใช้พลังงานของ PHEV2 มีค่าสูงกว่าของ PHEV1 เกิน 10% (17%) จึงสรุปได้ว่าอัตราการใช้พลังงานเชื้อเพลิงในโหมด CS ของ PHEV1 ในโหมด มีค่าสูงกว่า PHEV2 เพียงเล็กน้อย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับรูปแบบการขับขี่ที่ต้องการนำไปประมาณการใช้พลังงานด้วย

สำหรับความคลาดเคลื่อนของชุดข้อมูลที่นำมาสร้างแบบจำลองจะแสดงด้วยค่า Standard Error ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากการศึกษาของงานวิจัยของ Treenok 2017 [7] ที่สร้างแบบจำลองค่ากำลังจำเพาะเพื่อแสดงอัตราการใช้พลังงานเชื้อเพลิงของรถยนต์ ผลการสร้างพบว่าค่า Standard Error ในทุกโหมดค่ากำลังจำเพาะมีค่าอยู่ในช่วง 0.011-0.533 g/s ซึ่งถือว่าความคลาดเคลื่อนไม่นับสำคัญ และสามารถนำไปประมาณการใช้พลังงานได้โดยมี Error ไม่เกิน 8% [7] ในงานวิจัยนี้ ค่า Standard Error ในทุกโหมดค่ากำลังจำเพาะของรถปลั๊กอินไฮบริดทั้ง 2 รุ่นมีค่าระหว่าง 0.012 – 0.419 g/s ซึ่งน้อยกว่าค่า Standard Error ในงานวิจัยของ Treenok 2017 จึงถือว่าความ

คลาดเคลื่อนไม่มีนัยสำคัญเช่นกัน ทำให้สรุปได้ว่าแบบจำลองค่ากำลังจำเพาะของรถปลั๊กอินไฮบริดทั้ง 2 รุ่นในงานวิจัยนี้ สามารถนำไปประมาณการใช้พลังงานเชื้อเพลิงในโหมด CS ได้



รูปที่ 39 แบบจำลองอัตราการใช้พลังงานเชื้อเพลิงในโหมด CS ของรถปลั๊กอินไฮบริด

เพื่อตรวจสอบความแม่นยำของแบบจำลองจึงได้ใช้แบบจำลองประมาณหาค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าเมื่อขับขี่ในวัฏจักรการขับขี่ NEDC (รายละเอียดในภาคผนวก ข) ซึ่งบริษัทผู้ผลิตรถอ้างอิง พบว่ามีความคลาดเคลื่อนของการใช้พลังงานเชื้อเพลิงมากที่สุดเพียง 2.5% เท่านั้น ดังแสดงในตารางที่ 7 จึงสรุปได้ว่าแบบจำลองค่ากำลังจำเพาะของรถปลั๊กอินไฮบริดทั้ง 2 รุ่นในงานวิจัยนี้ สามารถนำไปประมาณการใช้พลังงานเชื้อเพลิงในโหมด CS ได้อย่างแม่นยำ

ตารางที่ 7 ความแม่นยำของแบบจำลองในการประมาณการใช้เชื้อเพลิงในโหมด CS เทียบกับวัฏจักรการขับขี่มาตรฐาน

รถปลั๊กอินไฮบริด	การใช้พลังงาน (L/100km)		Error (%)
	แบบจำลอง	ค่าอ้างอิง (NEDC)	
PHEV1	4.16	4.08	2.0
PHEV2	4.04	3.94	2.5

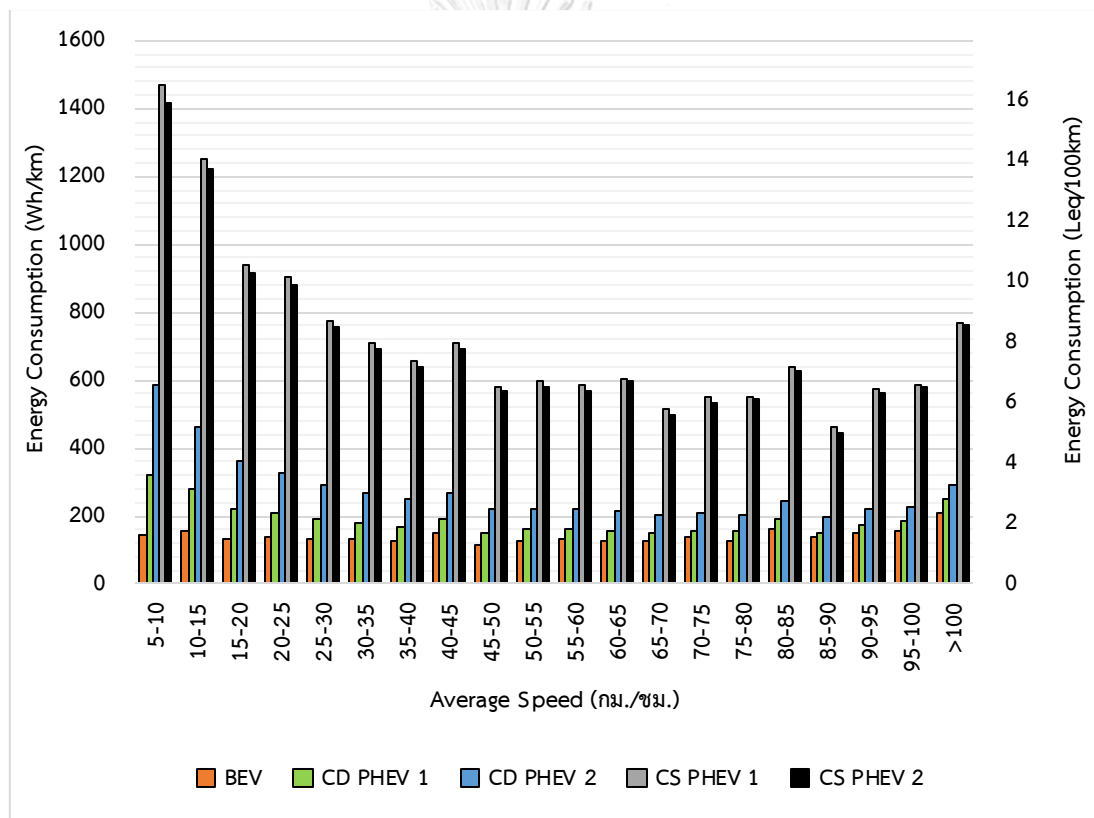
4.3 การใช้พลังงานของรถปลั๊กอินไฮบริดภายใต้พฤติกรรมการใช้พลังงานในกรุงเทพมหานคร

ในส่วนนี้จะแสดงผลการประมาณการใช้พลังงานของรถปลั๊กอินไฮบริดในแต่ละรูปแบบการขับขี่, การใช้พลังงานของรถปลั๊กอินไฮบริดโดยเฉลี่ยในโหมด CD และ CS, ระยะ CD และค่า UF ของรถปลั๊กอินไฮบริด, การใช้พลังงานของรถปลั๊กอินไฮบริดโดยเฉลี่ยและการใช้พลังงานที่ลดลงเมื่อมีการใช้รถปลั๊กอินไฮบริดแทนที่รถยนต์ในกรุงเทพมหานครตามลำดับ

4.3.1 การใช้พลังงานของรถปลั๊กอินไฮบริดในแต่ละรูปแบบการขับขี่

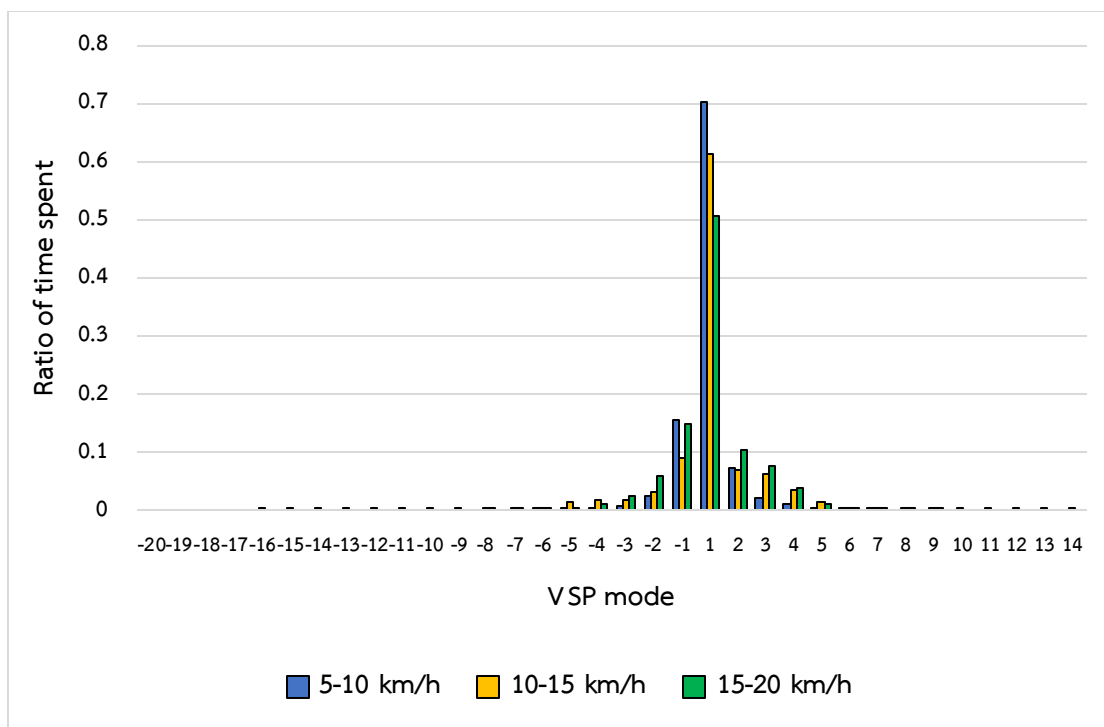
จากแบบจำลองค่ากำลังจำเพาะของรถปลั๊กอินไฮบริดในหัวข้อที่ 4.2 สามารถนำมาประมาณการใช้พลังงานในรูปแบบการขับขี่ของกรุงเทพมหานครทั้ง 20 รูปแบบได้ดังแสดงในรูปที่ 40 พบว่า การใช้พลังงานในโหมด CD ของ PHEV2 มีค่าสูงกว่าการใช้พลังงานของ PHEV1 ในทุกรูปแบบการขับขี่อย่างมีนัยสำคัญ โดยรูปแบบการขับขี่ที่มีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของการใช้พลังงานสูงสุดคือรูปแบบการขับขี่ที่มีความเร็วเฉลี่ย 5-10 และ 10-15 กม./ชม. ซึ่งพบว่าการใช้พลังงานของ PHEV2 มีค่าสูงกว่า PHEV1 ถึง 85% และ 68% ตามลำดับ นอกจากนี้เมื่อนำแบบจำลองค่ากำลังจำเพาะของรถไฟฟ้าที่พัฒนาในหัวข้อ 4.2 มาประมาณการใช้พลังงานในรูปแบบการขับขี่ของกรุงเทพมหานครทั้ง 20 รูปแบบ พบว่า การใช้พลังงานของ PHEV1 และ PHEV2 มีค่าสูงกว่าของ BEV ในทุกรูปแบบการขับขี่ โดยมีความแตกต่างของการใช้พลังงานสูงสุดในรูปแบบการขับขี่ที่มีความเร็วเฉลี่ย 5-10 และ 10-15 กม./ชม. โดยที่มีการใช้พลังงานของ PHEV1 สูงกว่า BEV ถึง 123% และ 81% ตามลำดับ และมีการใช้พลังงานของ PHEV2 สูงกว่า BEV ถึง 311% และ 203% ตามลำดับ ความแตกต่างที่สูงของการใช้พลังงานในรูปแบบการขับขี่ที่มีความเร็วเฉลี่ยต่ำๆ นี้ เกิดจากการที่รูปแบบการขับขี่ดังกล่าวขับขี่ด้วยความเร็วต่ำและยังหยุดจอดนานอีกด้วย ทำให้เวลาในการขับขี่ส่วนใหญ่รถจะมีค่ากำลังจำเพาะที่ต่ำดังแสดงในรูปที่ 41 พบว่าในรูปแบบการขับขี่ที่มีความเร็วเฉลี่ย 5-10, 10-15 และ 15-20 กม./ชม. เวลาในการขับขี่ที่รถมีค่ากำลังจำเพาะในโหมดที่ 1 คิดเป็น 70%, 61% และ 51% ตามลำดับ ประกอบกับในโหมดที่ 1 อัตราการใช้พลังงานของ PHEV1 และ PHEV2 สูงกว่าของ BEV ถึง 1.4 และ 2.5 เท่าตามลำดับ ทำให้อัตราการใช้พลังงานของ PHEV1, PHEV2 และ BEV มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่สำหรับการใช้พลังงานในโหมด CS พบว่าการใช้พลังงานของ PHEV1 มีค่าสูงกว่าของ PHEV2 เพียงเล็กน้อยโดยรูปแบบการขับขี่ที่มีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของการใช้พลังงานสูงสุดคือรูปแบบการขับขี่ที่มีความเร็วเฉลี่ย 5-10 และ 85-90 กม./ชม. ซึ่งพบว่าการใช้พลังงานของ PHEV1 มีค่าสูงกว่า PHEV2 เพียง 4% และ 5% ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากอัตราการใช้พลังงานของ PHEV1 มีค่าสูงกว่าของ PHEV2 เพียงเล็กน้อย ดังที่ได้กล่าวไปในหัวข้อที่ 4.2.2

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการใช้พลังงานในโหมด CD และ CS ของรถปลั๊กอินไฮบริดทั้ง 2 รุ่น ในทุกรูปแบบการขับขี่ พบว่าการใช้พลังงานในโหมด CS ของ PHEV1 จะมีค่าเป็น 3.1-4.6 เท่าของการใช้พลังงานในโหมด CD ของ 330 และการใช้พลังงานในโหมด CS ของ PHEV2 จะมีค่าเป็น 2.3-2.8 เท่าของการใช้พลังงานในโหมด CD ของ PHEV2 จากที่กล่าวมานี้แสดงให้เห็นว่าหากขับขี่ PHEV1 ในโหมด CD จนเข้าสู่โหมด CS จะมีการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนมากกว่าการขับขี่ PHEV2 ในโหมด CD จนเข้าสู่โหมด CS อย่างไรก็ตาม รถปลั๊กอินไฮบริดทั้ง 2 รุ่น จะมีการประหยัดพลังงานในแต่ละโหมดได้มากที่สุดเมื่อขับขี่ในรูปแบบการขับขี่ที่มีความเร็วเฉลี่ย 45-50..., 95-100 กม./ชม. แต่จะใช้พลังงานในแต่ละโหมดมากที่สุดเมื่อขับขี่ในรูปแบบการขับขี่ที่มีความเร็วเฉลี่ย 5-10..., 25-30 กม./ชม.



รูปที่ 40 การใช้พลังงานของรถปลั๊กอินไฮบริดและรถไฟฟ้าในรูปแบบการขับขี่ของกรุงเทพมหานครทั้ง

20 รูปแบบ

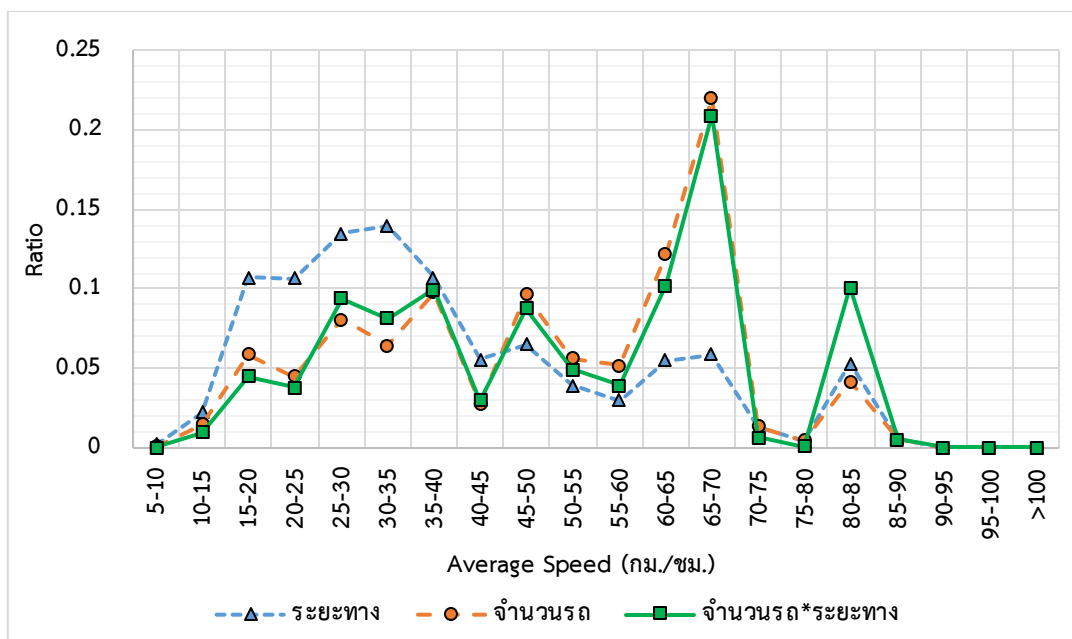


รูปที่ 41 อัตราส่วนเวลาที่รถมีค่ากำลังจำเพาะในแต่ละโหมดตามการแบ่งของโหมด CD จากรูปแบบการขับขี่ที่มีความเร็วเฉลี่ย 5-10, 10-15 และ 15-20 กม./ชม.

4.3.2 การใช้พลังงานของรถปลั๊กอินไฮบริดโดยเฉลี่ยในแต่ละโหมดการขับขี่ในรูปแบบการขับขี่ของกรุงเทพมหานคร

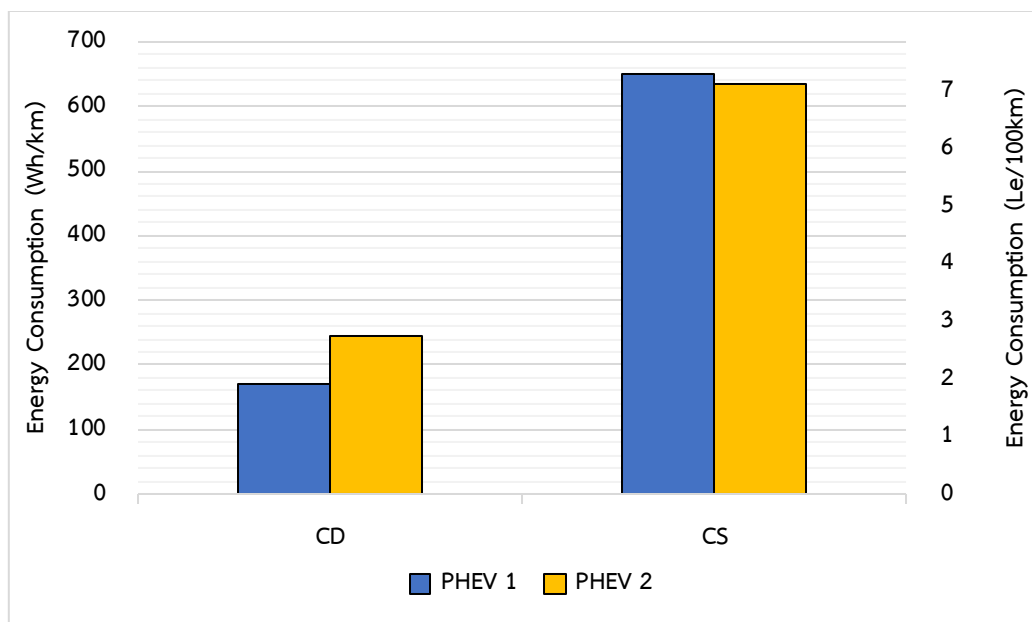
ในการประมาณการใช้พลังงานของรถปลั๊กอินไฮบริดโดยเฉลี่ยในโหมด CD และ CS ในรูปแบบการขับขี่ของกรุงเทพมหานคร จะคำนวณโดยถ่วงน้ำหนักการใช้พลังงานในแต่ละรูปแบบการขับขี่ด้วยอัตราส่วนระหว่างจำนวนรถคุณระยะทางในแต่ละรูปแบบการขับขี่ต่อผลรวมของจำนวนรถคุณระยะทางของทุกรูปแบบการขับขี่

สำหรับอัตราส่วนระหว่างจำนวนรถคุณระยะทางในแต่ละรูปแบบการขับขี่ต่อผลรวมของจำนวนรถคุณระยะทางของทุกรูปแบบการขับขี่ แสดงในรูปที่ 42 ควบคู่ไปกับอัตราส่วนระหว่างจำนวนรถในแต่ละรูปแบบการขับขี่ต่อผลรวมของจำนวนรถของทุกรูปแบบการขับขี่ และอัตราส่วนระหว่างระยะทางในแต่ละรูปแบบการขับขี่ต่อผลรวมของระยะทางของทุกรูปแบบการขับขี่ แสดงให้เห็นว่าการขับขี่ตลอดวันนั้น ระยะทางส่วนใหญ่ของถนนในกรุงเทพมหานครมีความเร็วเฉลี่ย 5-10,..., 35-40 กม./ชม. โดยคิดเป็น 62% ของระยะทางทั้งหมด อย่างไรก็ตาม จำนวนรถที่ขับขี่ตลอดวันนั้นมีจำนวนถึง 64% ที่ขับขี่บนถนนที่มีความเร็วเฉลี่ย 40-45 กม./ชม. เป็นต้นไป ทำให้อัตราส่วนระหว่างจำนวนรถคุณระยะทางในรูปแบบการขับขี่ที่มีความเร็วเฉลี่ย 40-45 กม./ชม. ขึ้นไปต่อผลรวมของจำนวนรถคุณระยะทางของทุกรูปแบบการขับขี่มีค่าสูงถึง 63%



รูปที่ 42 อัตราส่วนระหว่างค่าในแต่ละรูปแบบการขับขี่ต่อผลรวมของค่าในทุกรูปแบบการขับขี่

เมื่อนำการใช้พลังงานของรถปลั๊กอินไฮบริดทั้ง 2 รุ่นในแต่ละรูปแบบการขับขี่ของกรุงเทพมหานครทั้ง 20 รูปแบบ มาคำนวณการใช้พลังงานโดยเฉลี่ย จะได้ผลดังแสดงในรูปที่ 43 พบว่าการใช้พลังงานโดยเฉลี่ยในโหมด CD และ CS ของ PHEV1 มีค่า 171.8 และ 650.3 Wh/km ตามลำดับ และการใช้พลังงานเฉลี่ยในโหมด CD และ CS ของ PHEV2 มีค่า 246.2 และ 634.4 Wh/km ตามลำดับ จะสังเกตได้ว่าค่าการใช้พลังงานทั้ง 4 ค่า มีค่าไม่สูงนักแม้ว่าจะมีบางรูปแบบการขับขี่ที่มีการใช้พลังงานที่สูงมาก (รูปแบบการขับขี่ที่มีความเร็วเฉลี่ย 5-10,..., 25-30 กม./ชม.) อีกทั้งยังมีอัตราส่วนระหว่างระยะทางในรูปแบบการขับขี่ดังกล่าวต่อผลรวมของระยะทางของทุกรูปแบบการขับขี่สูงด้วยเช่นกัน ทั้งนี้เป็นเพราะอัตราส่วนระหว่างจำนวนรถในรูปแบบการขับขี่ดังกล่าวต่อผลรวมของจำนวนรถของทุกรูปแบบการขับขี่ ทำให้อัตราส่วนระหว่างจำนวนรถคูณระยะทางในรูปแบบการขับขี่ดังกล่าวต่อผลรวมของจำนวนรถคูณระยะทางของทุกรูปแบบการขับขี่มีค่าต่ำ ทำให้การใช้พลังงานโดยเฉลี่ยของรถในกรุงเทพมหานครมีเพียงส่วนน้อยที่มาจากรูปแบบการขับขี่ดังกล่าว



รูปที่ 4.3 การใช้พลังงานโดยเฉลี่ยของรถปลั๊กอินไฮบริดในรูปแบบการขับขี่ของกรุงเทพมหานครในโหมด CD และ CS

4.3.3 ระยะเวลา CD ของรถปลั๊กอินไฮบริดและค่า UF

ในการหาค่า UF ของรถปลั๊กอินไฮบริด จำเป็นต้องทราบระยะเวลา CD ของรถ เพื่อนำมาหาค่า UF จากรูปแบบ UF ในหัวข้อ 4.1.2 ทั้งนี้ระยะเวลา CD ของรถปลั๊กอินไฮบริดจะขึ้นกับขนาดความจุแบตเตอรี่ที่ใช้ได้จริง (Usable range) และการใช้พลังงานโดยเฉลี่ยในโหมด CD ในรูปแบบการขับขี่ของกรุงเทพมหานคร สำหรับขนาดความจุแบตเตอรี่ที่ใช้ได้จริงของรถปลั๊กอินไฮบริดทั้ง 2 รุ่น แสดงในตารางที่ 8 และจะกล่าวถึงรายละเอียดการหาขนาดความจุแบตเตอรี่ที่ใช้ได้จริงในภาคผนวก ฉ

ตารางที่ 8 ขนาดความจุแบตเตอรี่ที่ใช้ได้จริงของรถปลั๊กอินไฮบริดที่ใช้ทดสอบ

ขนาดความจุแบตเตอรี่ที่ใช้ได้จริง (kWh)	
PHEV1	PHEV2
5.66	4.82

เมื่อทราบขนาดความจุแบตเตอรี่ที่ใช้ได้จริงและการใช้พลังงานในโหมด CD จึงสามารถหาระยะเวลา CD ได้จากสมการที่ (10) ตารางที่ 9 แสดงระยะเวลา CD ของรถปลั๊กอินไฮบริดทั้ง 2 รุ่น พบว่าระยะเวลา CD ของ PHEV1 จะไกลกว่า PHEV2 เนื่องจาก PHEV1 มีขนาดความจุแบตเตอรี่ที่ใช้ได้จริงที่มากกว่า และมีการใช้พลังงานในโหมด CD ที่ต่ำกว่า PHEV2 และพบว่าระยะเวลา CD ของ PHEV1 และ PHEV2 ในรูปแบบการขับขี่ของกรุงเทพมหานครมีค่าต่ำกว่าระยะเวลา CD ที่ผู้ผลิตอ้างอิงจากรัฐจักรการ

ขับเคลื่อนมาตรฐาน NEDC ถึง 17.7% และ 35.7% ตามลำดับ จึงสรุปได้ว่าระยะ CD ที่ผู้ผลิตอ้างอิง ไม่สามารถใช้อ้างอิงได้กับรูปแบบการขับขี่ของกรุงเทพมหานคร โดยจะกล่าวถึงรายละเอียดของความแตกต่างในการใช้พลังงานรวมของโหมด CD และ CS เมื่อใช้ระยะ CD ที่แตกต่างกันในการหาค่า UF ในภาคผนวก ก

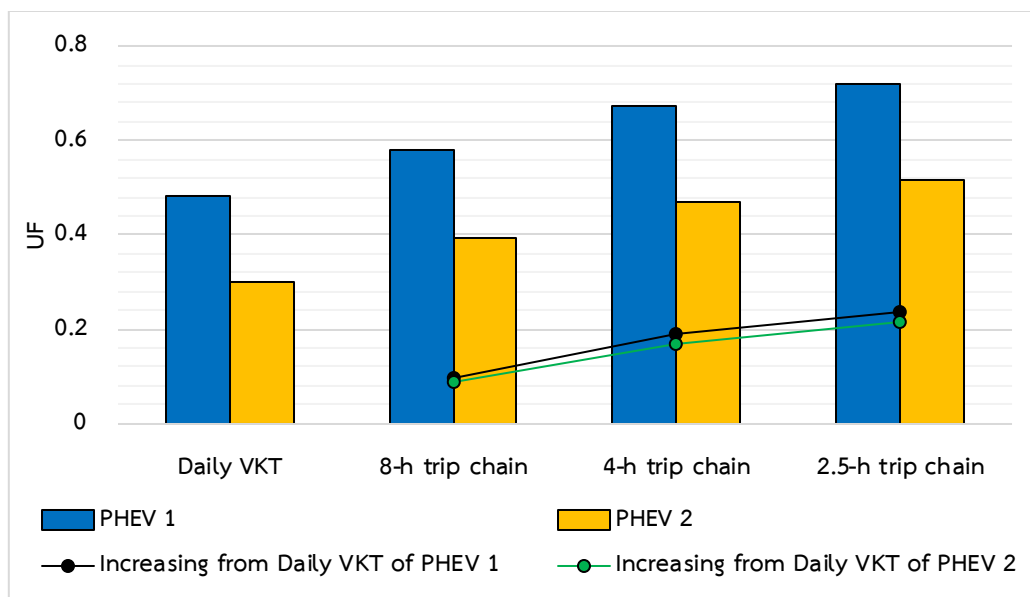
ตารางที่ 9 ระยะ CD ของรถปลั๊กอินไฮบริดจากการขับขี่ในกรุงเทพมหานครเทียบกับการอ้างอิงของผู้ผลิต

PHEV	ระยะ CD (กม.)		ความแตกต่าง (%)
	Bangkok driving pattern	NEDC	
PHEV1	32.9	40.0	17.7
PHEV2	19.6	30.4	35.7

เมื่อทราบระยะ CD แล้ว จะสามารถนำมาหาค่า UF จากรูปแบบ UF ในหัวข้อ 4.1.2 ได้ โดยค่า UF จากทั้ง 4 สมมติฐาน ที่ระยะ CD ของรถปลั๊กอินไฮบริดทั้ง 2 รุ่นเมื่อขับขี่ในรูปแบบการขับขี่ของกรุงเทพมหานคร แสดงในตารางที่ 10 และรูปที่ 44 พบว่าค่า UF ของ PHEV1 มีค่าสูงกว่า PHEV2 ในทุกสมมติฐานเนื่องจากระยะ CD ของ PHEV1 ไกลกว่าระยะ CD ของ PHEV2 นอกจากนี้ในสมมติฐานที่มีจุดชาร์จไฟฟ้าสาธารณะที่ครอบคลุมและสามารถชาร์จไฟฟ้าเต็มให้กับรถปลั๊กอินไฮบริดได้เร็วขึ้น คือ 8-h, 4-h และ 2.5-h trip chain จะสามารถเพิ่มระยะทางการขับขี่ในโหมด CD ให้กับ PHEV1 ได้อีก 9.6%, 19.0% และ 23.8% ของระยะทางการขับขี่ทั้งหมดตามลำดับ และสามารถเพิ่มระยะทางการขับขี่ในโหมด CD ให้กับ PHEV2 ได้อีก 8.9%, 16.8% และ 21.5% ของระยะทางการขับขี่ทั้งหมดตามลำดับ

ตารางที่ 10 ค่า UF ของรถปลั๊กอินไฮบริดภายใต้การขับขี่ในกรุงเทพมหานคร

สมมติฐาน	UF	
	PHEV1	PHEV2
Daily VKT	0.4834	0.3020
8-h trip chain	0.5790	0.3912
4-h trip chain	0.6738	0.4696
2.5-h trip chain	0.7212	0.5169

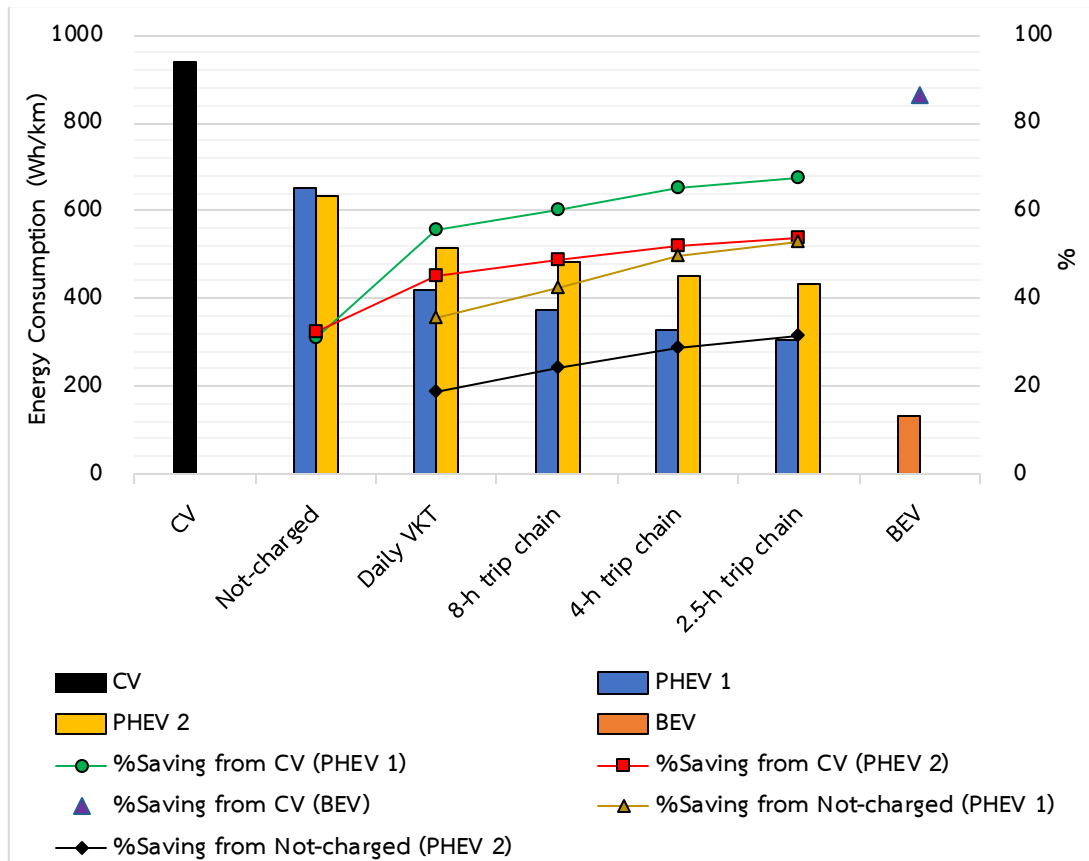


รูปที่ 44 ค่า UF รถปลั๊กอินไฮบริดใน 4 สมมติฐาน

4.3.4 การใช้พลังงานของรถปลั๊กอินไฮบริดโดยเฉลี่ยด้วยพฤติกรรมการขับขี่ในกรุงเทพมหานคร

การใช้พลังงานของรถปลั๊กอินไฮบริดทั้ง 2 รุ่นรวมถึงรถไฟฟ้าโดยเฉลี่ยด้วยพฤติกรรมการขับขี่ของคนในกรุงเทพมหานคร จะเปรียบเทียบกับการใช้พลังงานของรถยนต์ (CV) Toyota Altis เนื่องจากเป็นรถใน C-segment เช่นเดียวกับรถปลั๊กอินไฮบริดที่ใช้ศึกษาในงานวิจัยนี้ โดยการประมาณการใช้พลังงานของรถยนต์ในงานวิจัยนี้จะใช้แบบจำลองค่ากำลังจำเพาะจากงานวิจัยของ Treenok 2017 เนื่องจากมีความคลาดเคลื่อนต่ำ [7] ผลการประมาณการใช้พลังงานแสดงในรูปที่ 45 พบว่าในพฤติกรรมการขับขี่ของคนในกรุงเทพมหานคร หากมีการใช้งานรถปลั๊กอินไฮบริดทั้ง 2 รุ่นแทนที่รถยนต์โดยที่สามารถชาร์จไฟฟ้าเต็มให้กับรถปลั๊กอินไฮบริดได้ก่อนเริ่มการขับขี่ใน 1 วัน (Daily VKT) รวมถึงกรณีที่มีจุดชาร์จไฟฟ้าสาธารณะที่ครอบคลุมและสามารถชาร์จไฟฟ้าเต็มให้กับรถปลั๊กอินไฮบริดได้เร็วขึ้น (8-h, 4-h และ 2.5-h trip chain) จะทำให้สามารถประหยัดพลังงานลงได้ 55.5%, 60.3%, 65.2% และ 67.6% ตามลำดับหากเป็น PHEV1 และจะทำให้สามารถประหยัดพลังงานลงได้ 45.0%, 48.7%, 52.0% และ 53.9% ตามลำดับหากเป็น PHEV2 ในขณะที่รถไฟฟ้าจะสามารถประหยัดพลังงานจากรถยนต์ลงได้ 86.0% นอกจากนี้หากไม่ชาร์จไฟฟ้าให้กับรถปลั๊กอินไฮบริดเลยซึ่งจะเปรียบเสมือนเป็นรถไฮบริดจะสามารถประหยัดพลังงานลงได้ 30.9% และ 32.6% หากเป็น PHEV1 และ PHEV2 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามการชาร์จไฟฟ้าเพียงครั้งเดียวก่อนเริ่มขับขี่ใน 1 วัน (Daily VKT) ยังสามารถประหยัดพลังงานจากกรณีที่ไม่ชาร์จไฟฟ้าเลยได้ถึง 35.7% และ 18.5% หากเป็น PHEV1 และ PHEV2 ตามลำดับ นอกจากนี้หากมีจุดชาร์จไฟฟ้าสาธารณะที่ครอบคลุมและสามารถชาร์จไฟฟ้าเต็มให้กับรถปลั๊กอินไฮบริดได้เร็วขึ้น (8-h, 4-h และ 2.5-h trip chain) ยัง

สามารถประหยัดพลังงานจากกรณีที่ไม่ชาร์จไฟฟ้าเลยได้ถึง 42.6%, 49.6% และ 53.1% ตามลำดับ หากเป็น PHEV1 และ 23.9%, 28.7% และ 31.6% ตามลำดับหากเป็น PHEV2 ดังนั้นหากต้องการให้ได้ประโยชน์สูงสุดจากรถปลั๊กอินไฮบริดในด้านการประหยัดพลังงานจึงควรให้มีการชาร์จไฟฟ้าในแต่ละวันอย่างน้อย 1 ครั้ง



รูปที่ 45 การใช้พลังงานของรถปลั๊กอินไฮบริดโดยเฉลี่ยด้วยพฤติกรรมการขับขี่ของคนในกรุงเทพมหานคร

4.3.5 การใช้พลังงานที่ลดลงเมื่อแทนที่รถยนต์ในกรุงเทพมหานครด้วยรถปลั๊กอินไฮบริด

ผลของการใช้พลังงานที่ลดลงเมื่อแทนที่รถยนต์ในกรุงเทพมหานครด้วยรถปลั๊กอินไฮบริดของงานวิจัยนี้ จะคำนวณโดยอาศัยแผนการจากหน่วยงานของภาครัฐ นั่นคือสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน มีเป้าหมายที่จะลดการใช้พลังงานจากภาคคมนาคมในปี พ.ศ. 2579 ลง 1,123 ktoe โดยการใช้ยานยนต์ไฟฟ้าแทนที่รถยนต์จำนวน 1.2 ล้านคัน [14] ซึ่งจากการคาดการณ์จำนวนรถยนต์ส่วนบุคคลในปี พ.ศ. 2579 ด้วยข้อมูลสถิติจำนวนรถยนต์ส่วนบุคคลขนาดไม่เกิน 7 ที่นั่ง ที่ต่ออายุและจดทะเบียนใหม่ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2549-2559 พบว่าจะมีจำนวนรถยนต์ส่วนบุคคล 6.27 ล้านคันในปี พ.ศ. 2579 [20] ทำให้หากแทนที่ด้วยยานยนต์ไฟฟ้าประเภทรถปลั๊กอินไฮบริดทั้งหมดจะ

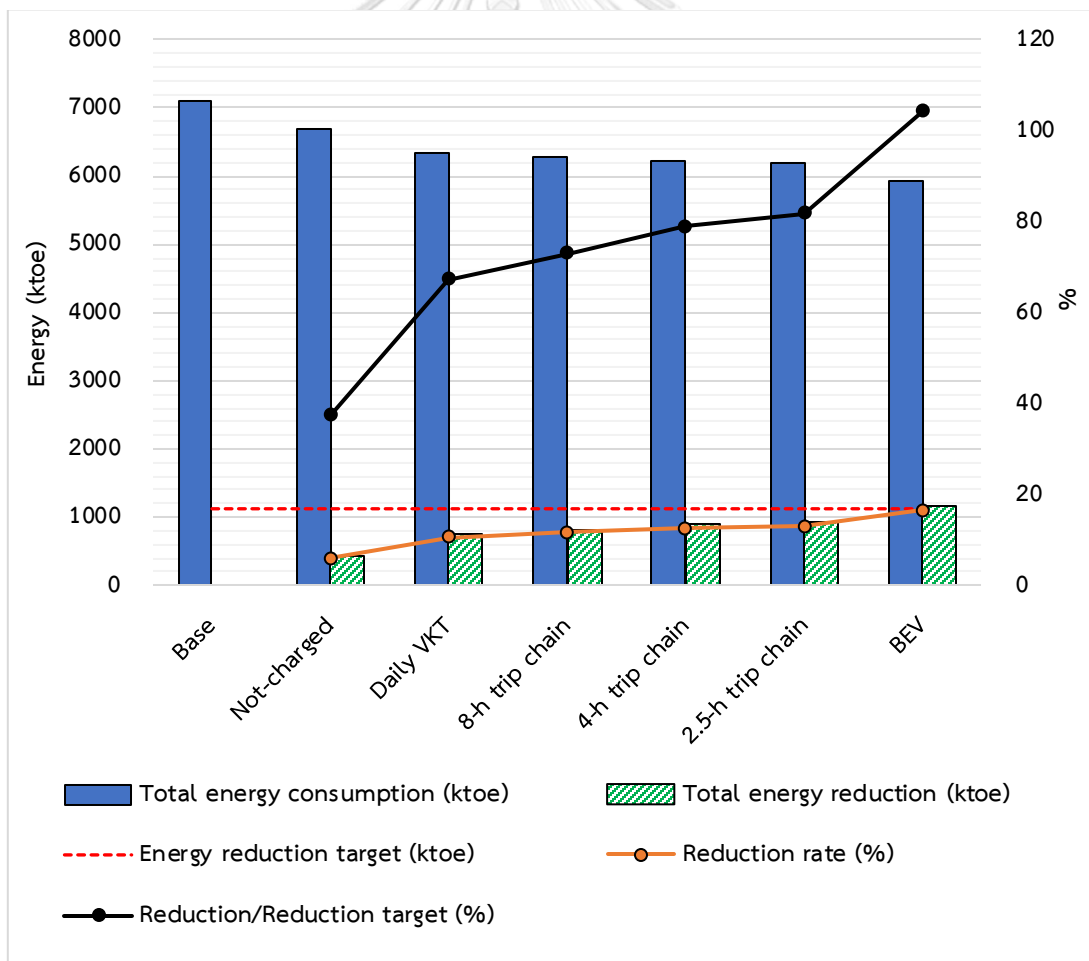
คิดเป็นสัดส่วนการแทนที่ 19.15% นอกจากนี้เมื่อพิจารณาระยะขับชี่โดยเฉลี่ยต่อปี (Average Annual Distance Travelled: AADT) ของรถยนต์เครื่องยนต์เบนซินส่วนบุคคลขนาดไม่เกิน 7 ที่นั่ง ที่ใช้งานในกรุงเทพมหานคร พบว่ามีค่า 14,557 กม./คัน/ปี [39] งานวิจัยนี้จึงเลือกใช้จำนวนรถปลั๊กอินไฮบริด, จำนวนรถยนต์ส่วนบุคคลที่คาดการณ์ไว้และระยะทางขับชี่โดยเฉลี่ยต่อปีดังที่ได้กล่าวมา ในส่วนค่าการใช้พลังงานของรถที่ใช้เป็นตัวแทนรถยนต์จะเลือกใช้ค่าการใช้พลังงานของรถยนต์ (CV) จากหัวข้อ 4.3.4 และค่าการใช้พลังงานของรถที่ใช้เป็นตัวแทนรถปลั๊กอินไฮบริดจะเลือกใช้ค่าการใช้พลังงานของ PHEV1 เนื่องจากสามารถประหยัดพลังงานได้มากกว่า PHEV2 หากมีการชาร์จไฟฟ้าให้กับรถ นอกจากนี้จะคำนวณการใช้พลังงานที่ลดลงเมื่อแทนที่ด้วยยานยนต์ไฟฟ้าประเภทรถไฟฟ้า (BEV) จากหัวข้อ 4.3.4 ประกอบไปด้วย สำหรับพารามิเตอร์ในการคำนวณการใช้พลังงานที่ลดลงนี้ แสดงในตารางที่ 11

ตารางที่ 11 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณการใช้พลังงานที่ลดลง

กรณี	การใช้พลังงาน (Wh/km)			จำนวน (คัน)			AADT (กม./ปี)
	รถปลั๊กอินไฮบริด	รถยนต์	รถไฟฟ้า	รถปลั๊กอินไฮบริด	รถยนต์	รถไฟฟ้า	
Base	-			-	6,267,909		14,557
Not-charged	650.3						
Daily VKT	419.0						
8-h trip chain	373.2						
4-h trip chain	327.9	940.9		1,200,000	5,067,909		
2.5-h trip chain	305.2						
BEV	-		132.1	-		1,200,000	

ผลของการใช้พลังงานที่ลดลงเมื่อแทนที่รถยนต์ในกรุงเทพมหานครด้วยรถปลั๊กอินไฮบริด แสดงในรูปที่ 46 พบว่าหากไม่มีการชาร์จไฟฟ้าให้กับรถปลั๊กอินไฮบริดเลย จะสามารถลดพลังงานลงได้ 5.9% คิดเป็นการลดลง 420 ktoe ซึ่งห่างจากเป้าหมาย 1,123 ktoe อยู่ถึง 703 ktoe ในขณะที่หากมีการชาร์จไฟฟ้าให้กับรถปลั๊กอินไฮบริดได้ก่อนเริ่มขับชี่ใน 1 วัน (Daily VKT) จะสามารถลดพลังงานลงได้ 755 ktoe ซึ่งคิดเป็น 67.2% หรือ 2 ใน 3 ของเป้าหมาย นอกจากนี้หากมีจุดชาร์จไฟฟ้าสาธารณะตามสำนักงานต่างๆ (8-h trip chain) จะสามารถลดพลังงานลงได้ 821 ktoe ซึ่งคิด

เป็น 73.1% ของเป้าหมาย และหากมีจุดชาร์จไฟฟ้าสาธารณะที่ครอบคลุมมากขึ้น (4-h trip chain) และยังเป็นจุดชาร์จประเภท Wall box ที่สามารถชาร์จไฟฟ้าให้กับรถปลั๊กอินไฮบริดได้เร็วขึ้น (2.5-h trip chain) จะสามารถลดพลังงานลงได้ 887 และ 919 ktoe ตามลำดับ และคิดเป็น 78.9% และ 81.9% ของเป้าหมาย ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าการใช้รถปลั๊กอินไฮบริดแทนที่รถยนต์ด้วยจำนวน 1.2 ล้านคัน ยังไม่สามารถบรรลุเป้าหมายในการลดพลังงาน 1,123 ktoe ได้ แต่หากแทนที่รถยนต์ด้วยรถไฟฟ้า 1.2 ล้านคัน จะสามารถลดพลังงานลงได้ 1,170 ktoe ซึ่งสามารถบรรลุเป้าหมายดังกล่าวได้ แต่หากพิจารณาถึงปัจจัยต่างๆ แล้ว การที่จะมีการใช้รถไฟฟ้าเป็นจำนวนถึง 1.2 ล้านคันอาจเกิดขึ้นได้ยาก เนื่องจากข้อจำกัดของรถไฟฟ้าคือราคา, ความกังวลเรื่องระยะทางรวมถึงความพร้อมของจุดชาร์จไฟฟ้าสาธารณะในกรุงเทพมหานคร ดังนั้นการผลักดันให้มีการใช้รถปลั๊กอินไฮบริดแทนที่รถยนต์จึงเป็นสิ่งที่มีความเป็นไปได้มากกว่า เนื่องจากไม่มีข้อจำกัดดังกล่าว และแม้ว่าจะไม่บรรลุเป้าหมายในการลดพลังงาน 1,123 ktoe แต่ก็สามารถลดพลังงานได้ถึง 80% ของเป้าหมายหากมีจุดชาร์จไฟฟ้าสาธารณะที่ครอบคลุมเพียงพอ



รูปที่ 46 ปริมาณพลังงานรวมเมื่อมีการใช้รถปลั๊กอินไฮบริดแทนที่รถยนต์ในกรุงเทพมหานคร

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงพฤติกรรมการขับขี่ในแง่ระยะทางรวมถึงระยะเวลาในการจอดรถของผู้ใช้รถส่วนบุคคลในกรุงเทพมหานคร โดยพบว่าผู้ใช้รถส่วนบุคคลในกรุงเทพมหานครจะขับขี่ด้วยระยะทางเฉลี่ยต่อเที่ยวการขับขี่ไกลกว่าผู้ใช้รถส่วนบุคคลในกรุงเทพฯ ที่มีลักษณะเป็นมหานครเช่นเดียวกัน เช่น ผู้ใช้รถส่วนบุคคลในกรุงเทพมหานครและกรุงเทพฯ จะขับขี่ด้วยระยะทางเฉลี่ย 62 และ 47 กม./วัน ตามลำดับ ทำให้หากมีการใช้งานรถปลั๊กอินไฮบริดด้วยพฤติกรรมการขับขี่ดังกล่าว การขับขี่รถปลั๊กอินไฮบริดของผู้ใช้รถส่วนบุคคลในกรุงเทพมหานครจะมีสัดส่วนระหว่างระยะทางที่ขับขี่ในโหมด CD ต่อระยะทางการขับขี่ทั้งหมดหรือเรียกว่า UF ต่ำกว่าการขับขี่รถปลั๊กอินไฮบริดของผู้ใช้รถส่วนบุคคลในกรุงเทพฯ อย่างไรก็ตาม มีวิธีการที่สามารถเพิ่มค่า UF ขึ้นได้ หนึ่งในวิธีการเพิ่มค่า UF คือการชาร์จไฟฟ้าให้กับรถปลั๊กอินไฮบริดที่บ่อยครั้งขึ้นจากกรณีพื้นฐานที่ชาร์จไฟฟ้าจากที่พักเพียง 1 ครั้งก่อนเริ่มการขับขี่ใน 1 วัน ในงานวิจัยนี้พิจารณาระยะเวลาในการจอดรถของผู้ใช้รถส่วนบุคคลในกรุงเทพมหานคร พบว่ามีจำนวนครั้งการจอดในช่วงกลางวันถึง 12% ที่มีระยะเวลาการจอดเกิน 8 ชั่วโมง โดยการจอดนาน 8 ชั่วโมงขึ้นไปในช่วงเวลากลางวันจะเป็นลักษณะของการจอดรถที่สำนักงานของผู้ที่ทำงานประจำ ซึ่งจะมียุทธศาสตร์การทำงานที่ยาวนานต่อเนื่อง รวมถึงผู้ที่ทำงานประจำส่วนใหญ่มักจะออกเดินทางจากที่พักระหว่างสำนักงานในช่วงเวลาเช้ามืดและกลับที่พักระหว่างเวลาเย็นไปเรียบร้อยแล้ว ทำให้มีระยะเวลาในการจอดรถในช่วงกลางวันเกิน 8 ชั่วโมงด้วยเหตุนี้หากมีการใช้งานรถปลั๊กอินไฮบริดในกรุงเทพมหานครและมีจุดชาร์จไฟฟ้าสาธารณะรองรับการจอดชาร์จไฟฟ้าที่สำนักงาน จะช่วยเพิ่มค่า UF ขึ้นได้ นอกจากนี้เมื่อพิจารณาระยะเวลาในการชาร์จไฟฟ้าเต็มให้กับรถปลั๊กอินไฮบริด คือ 2 ชั่วโมง 30 นาที จากการชาร์จด้วย Wall box และ 4 ชั่วโมง จากการชาร์จด้วยเต้าเสียบตามอาคารบ้านเรือนทั่วไป พบว่าระยะเวลาในการจอดรถของผู้ใช้รถส่วนบุคคลในกรุงเทพมหานครนอกเหนือจากการจอดที่ที่พักระหว่างสำนักงาน มีระยะเวลาเพียงพอที่จะชาร์จไฟฟ้าเต็มให้กับรถปลั๊กอินไฮบริด ทำให้หากมีการใช้งานรถปลั๊กอินไฮบริดในกรุงเทพมหานครและสามารถชาร์จไฟฟ้าให้กับรถได้ทุกครั้งที่มีการจอดด้วยระยะเวลาดังกล่าว จะทำให้ค่า UF มีค่าสูงขึ้นอีก ทั้งนี้โอกาสในการชาร์จไฟฟ้าจะขึ้นกับความครอบคลุมและประเภทของจุดชาร์จไฟฟ้าด้วย อย่างไรก็ตาม พบว่าจำนวนครั้งการจอดรถที่มีระยะเวลานานเกิน 2 ชั่วโมง 30 นาทีขึ้นไปส่วนใหญ่จะมีระยะเวลานานไปถึง 4 ชั่วโมงด้วย ดังนั้นความแตกต่างระหว่างกรณีที่มีเพียงการติดตั้งจุด

ชาร์จไฟฟ้าสาธารณะแบบเต้าเสียบตามอาคารบ้านเรือนทั่วไปเท่านั้น และกรณีที่มีการติดตั้งจุดชาร์จไฟฟ้าสาธารณะแบบ Wall box ครอบคลุมมากขึ้น ไม่ส่งผลให้ค่า UF มีค่าสูงขึ้นมากนัก จึงกล่าวได้ว่าไม่มีความจำเป็นในการติดตั้งจุดชาร์จสาธารณะแบบ Wall box ในกรุงเทพมหานครเท่าใดนัก

งานวิจัยนี้ยังได้สร้างฐานข้อมูลอัตราการใช้พลังงานของรถปลั๊กอินไฮบริด 2 รุ่น โดยใช้วิธีการสร้างแบบจำลองค่ากำลังจำเพาะของยานพาหนะ เพื่อนำมาประมาณการใช้พลังงานของรถปลั๊กอินไฮบริดในรูปแบบการขับขี่ของกรุงเทพมหานคร ผลการสร้างแบบจำลองพบว่าเมื่อนำแบบจำลองไปประมาณการใช้พลังงานของทั้ง 2 โหมดการขับขี่เปรียบเทียบการวัดจริง จะมีค่าความผิดพลาดสูงสุดอยู่ที่ 3% รวมถึงเมื่อนำแบบจำลองไปประมาณการใช้พลังงานของทั้ง 2 โหมดการขับขี่ในวัฏจักรการขับขี่มาตรฐานที่ผู้ผลิตใช้อ้างอิงค่าการใช้พลังงาน จะมีค่าความผิดพลาดสูงสุดอยู่ที่ 8% แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองค่ากำลังจำเพาะของรถปลั๊กอินไฮบริดทั้ง 2 รุ่นมีความแม่นยำและสามารถนำไปประมาณการใช้พลังงานได้

ผลการประมาณการใช้พลังงานของรถปลั๊กอินไฮบริดในพฤติกรรมการขับขี่ของคนในกรุงเทพมหานคร พบว่ารูปแบบการขับขี่ที่มีการใช้พลังงานของรถปลั๊กอินไฮบริดสูงที่สุดคือรูปแบบการขับขี่ที่มีความเร็วเฉลี่ยต่ำ (5-10,...,25-30 กม./ชม.) แต่พบว่าอัตราส่วนระหว่างจำนวนรถคุณระยะทางในรูปแบบการขับขี่ดังกล่าวต่อผลรวมของจำนวนรถคุณระยะทางของทุกรูปแบบการขับขี่มีค่าต่ำ ทำให้การใช้พลังงานของรถปลั๊กอินไฮบริดโดยเฉลี่ยในรูปแบบการขับขี่ของกรุงเทพมหานครมีค่าไม่สูงนัก อย่างไรก็ตาม พบว่าการใช้พลังงานโดยเฉลี่ยในโหมด CD ของรถปลั๊กอินไฮบริดทั้ง 2 รุ่นในรูปแบบการขับขี่ของกรุงเทพมหานครมีค่าสูงกว่าที่ผู้ผลิตอ้างอิง ทำให้ระยะ CD ของการขับขี่ในกรุงเทพมหานครมีค่า 32.9 และ 19.6 กม. ซึ่งต่ำกว่าระยะ CD เท่ากับ 40 และ 30.4 กม. ที่ผู้ผลิตอ้างอิงตามลำดับ หากนำค่า UF จากระยะ CD ที่ผู้ผลิตอ้างอิงมาคำนวณการใช้พลังงานเฉลี่ยจากการขับขี่ในกรุงเทพมหานครระหว่างโหมด CD และ CS จะทำให้ได้ค่าการใช้พลังงานที่ต่ำกว่าค่าพลังงานเฉลี่ยจากการใช้ค่า UF จากระยะ CD จริงของการขับขี่ในกรุงเทพมหานครในการคำนวณถึง 15%

ผลการประมาณการใช้พลังงานของรถปลั๊กอินไฮบริดในพฤติกรรมการขับขี่ของคนในกรุงเทพมหานคร พบว่ารถปลั๊กอินไฮบริดทั้ง 2 รุ่น สามารถประหยัดพลังงานได้แม้จะไม่ชาร์จไฟฟ้าเลย ซึ่งจะเปรียบเสมือนรถไฮบริด แต่ถ้าสามารถชาร์จไฟฟ้าให้กับรถได้บ่อยครั้ง จะช่วยเพิ่มค่า UF มากขึ้น ทำให้รถปลั๊กอินไฮบริดมีความสามารถในการประหยัดพลังงานได้ใกล้เคียงรถไฟฟ้ายิ่งขึ้น และหากนำรถปลั๊กอินไฮบริดมาใช้แทนที่รถยนต์ในกรุงเทพมหานครตามนโยบายของภาครัฐที่คาดการณ์ว่าจะมีการใช้งานยานยนต์ไฟฟ้าในกรุงเทพมหานครจำนวน 1.2 ล้านคัน และมีเป้าหมายที่จะลดพลังงานจากภาคคมนาคมขนส่ง 1,123 ktoe พบว่าหากยานยนต์ไฟฟ้าทั้ง 1.2 ล้านคันเป็นรถปลั๊กอินไฮบริดทั้งหมด ซึ่งมีความเป็นไปได้มากกว่าการที่จะใช้รถไฟทั้งหมด จะสามารถลดพลังงานได้ถึง 80% ของเป้าหมายที่ตั้งไว้ หากมีจุดชาร์จไฟฟ้าสาธารณะที่ครอบคลุมเพียงพอ

5.2 ข้อเสนอแนะ

การใช้งานรถปลั๊กอินไฮบริดในงานวิจัยนี้ตั้งค่าโหมดการขับขี่ที่ไม่มีการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงเลยให้เป็นการขับขี่ในโหมด CD เพื่อให้เกิดการประหยัดพลังงานสูงสุด อย่างไรก็ตาม หากผู้ขับขี่ไม่ได้ตั้งค่าโหมดการขับขี่ด้วยตนเอง จะทำให้ขับขี่ด้วยโหมดเริ่มต้นที่มีการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงช่วยขับเคลื่อนแม้จะมีพลังงานไฟฟ้าเพียงพอและขับขี่ด้วยความเร็วที่ไม่สูง ดังที่ได้กล่าวรายละเอียดในหัวข้อ 3.4.1 และภาคผนวก การขับขี่ในโหมดเริ่มต้นดังกล่าวโดยที่มีพลังงานไฟฟ้าเพียงพอจะเปรียบเสมือนโหมด CD ของรถปลั๊กอินไฮบริดประเภท Blended การประมาณการใช้พลังงานในโหมดนี้จึงต้องสร้างแบบจำลองอัตราการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงเพิ่มเติมด้วย

ผลการสร้างแบบจำลองค่ากำลังจำเพาะของรถปลั๊กอินไฮบริดในงานวิจัยนี้พบว่ามีความแม่นยำและน่าเชื่อถือ อย่างไรก็ตามรูปแบบการขับขี่ของกรุงเทพมหานครในบางรูปแบบจะมีเวลาที่รถไม่เคลื่อนที่นานมากเนื่องจากสภาพการจราจรที่ค่อนข้างติดขัด ซึ่งในช่วงเวลาที่รถไม่สามารถเคลื่อนที่ได้นี้ รถย่อมมีค่ากำลังจำเพาะเป็นศูนย์และมีอัตราการใช้พลังงานค่าหนึ่ง แต่หากนำแบบจำลองอัตราการใช้พลังงานที่คำนวณจากค่าเฉลี่ยอัตราการใช้พลังงานในช่วงรถที่มีค่ากำลังจำเพาะ 0-2 (CD) หรือ 0-1 (CS) kW/ton มาประมาณการใช้พลังงานในรูปแบบการขับขี่ดังกล่าว จะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนได้ การแบ่งโหมดค่ากำลังจำเพาะจึงอาจจะแบ่งโหมดเพิ่มเติมอีก 1 โหมดคือโหมดที่ค่ากำลังจำเพาะเท่ากับศูนย์ จะทำให้แบบจำลองค่ากำลังจำเพาะมีความแม่นยำขึ้นอีก

นอกจากนี้ในส่วนการใช้พลังงานที่ลดลงเมื่อแทนที่รถยนต์ส่วนบุคคลที่มีสัดส่วนจำนวนสูงที่สุดในกรุงเทพมหานครด้วยยานยนต์ไฟฟ้าที่หากเป็นรถปลั๊กอินไฮบริดทั้งหมดจะสามารถลดการใช้พลังงานลงได้ 80% ของเป้าหมายหากมีจุดชาร์จไฟฟ้าสาธารณะที่ครอบคลุมเพียงพอ และหากเป็นรถไฟฟ้าทั้งหมดจะบรรลุเป้าหมายในการลดพลังงานได้แต่เกิดขึ้นจริงได้ยากนั้น หากมีการแบ่งสัดส่วนให้มีการใช้งานทั้งรถปลั๊กอินไฮบริดและรถไฟฟ้า และมีการดำเนินงานวิจัยเกี่ยวกับการติดตั้งจุดชาร์จไฟฟ้าสาธารณะให้รองรับ รวมถึงพิจารณาการปล่อยมลพิษของยานยนต์ทั้ง 2 ประเภทที่ปล่อยมลพิษน้อยกว่ารถยนต์ด้วยแล้ว อาจจะทำให้การผลักดันให้เกิดการใช้งานยานยนต์ไฟฟ้าทั้ง 2 ประเภทเป็นไปได้ง่ายขึ้นและสามารถบรรลุเป้าหมายในการลดพลังงานได้อีกด้วย อย่างไรก็ตามกลุ่มรถอื่นๆ ในกรุงเทพมหานครที่มีจำนวนไม่น้อย นั่นคือรถโดยสารทั้งประจำทาง (รถเมล์, รถตู้) และไม่ประจำทาง (รถแท็กซี่, รถจักรยานยนต์รับจ้าง) ก็เป็นกลุ่มที่น่าสนใจที่จะผลักดันให้ใช้รถปลั๊กอินไฮบริดแทนเช่นกัน โดยเฉพาะกลุ่มรถเมล์และรถตู้ เนื่องจากมีเส้นทางเดินรถที่ค่อนข้างไกล การใช้งานรถไฟฟ้าที่มีปัญหาความกังวลเรื่องระยะทางจึงไม่เหมาะสมนัก ต่างจากรถปลั๊กอินไฮบริดที่มีเครื่องยนต์ช่วยขับเคลื่อน นอกจากนี้กลุ่มรถดังกล่าวยังมีเส้นทางเดินรถที่แน่นอนและมีการจอดในที่พักรถเมื่อเสร็จสิ้นเที่ยวการขับขี่ ทำให้การติดตั้งจุดชาร์จไฟฟ้าทำได้ง่ายขึ้นโดยไม่ต้องคำนึงถึงสถานที่ติดตั้งมากนัก

รายการอ้างอิง

- [1] F. Nemry, G. Leduc, and A. Munoz, "Plug-in Hybrid and Battery-Electric Vehicles: State of the research and development and comparative analysis of energy and cost efficiency," Joint Research Centre (Seville site), 2009.
- [2] X. He *et al.*, "Individual trip chain distributions for passenger cars: Implications for market acceptance of battery electric vehicles and energy consumption by plug-in hybrid electric vehicles," *Applied Energy*, vol. 180, pp. 650-660, 2016/10/15/ 2016.
- [3] A. Sripakagorn, R. Thitipattanapong, S. Chantranuwatana, S. Narupiti, N. Noomwongs, and C. O. Andrei, "Networking for Smart Mobility at Chulalongkorn University Developing Smart, Safe and Sustainable Mobility for Thai society," Smart Mobility Reaserach Center, Faculty of Engineering Chulalongkorn University 2016.
- [4] R. J. A. Lopes, "Energy and environmental characterization of Plug-in Hybrid Electric Vehicles," Master of Science, Mechanical Engineering, Instituto Superior Técnico, 2013.
- [5] H. Wang, X. Zhang, and M. Ouyang, *Energy consumption of electric vehicles based on real-world driving patterns: A case study of Beijing*. 2015.
- [6] T. Bradley and C. Quinn, *Analysis of plug-in hybrid electric vehicle utility factors*. 2010, pp. 5399-5408.
- [7] S. Treenok, "IMPACT OF LOAD CHANGES ON ENERGY CONSUMPTION OF DIVERSE POWERTRAIN VEHICLES UNDER REAL WORLD DRIVING IN BANGKOK," Master Degree, Mechanical Engineering, Chulalongkorn University, 2017.
- [8] C. Frey, H. W. Choi, E. Pritchard, and J. Lawrence, "In-Use Measurement of the Activity, Energy Use, and Emissions of a Plug-in Hybrid Electric Vehicle," in *102nd Annual Conference and Exhibition*, Detroit, Michigan, 2009.
- [9] D. Anderson, "Status and trends in the HEV/PHEV/EV battery industry," Rocky Mountain Institute 2008.

- [10] H. A. Bonges and A. C. Lusk, "Addressing electric vehicle (EV) sales and range anxiety through parking layout, policy and regulation," *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, vol. 83, pp. 63-73, 2016/01/01/ 2016.
- [11] กระทรวงพลังงาน, "สถิติการใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกบริเวณกรุงเทพมหานครปี 2005-2012," 2012.
- [12] กองสถิติกรมการขนส่งทางบก, "สถิติรถยนต์จดทะเบียน," กรมการขนส่งทางบก, กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย 2017.
- [13] สำนักนโยบายและแผนพลังงาน, "แผนอนุรักษ์พลังงาน 2559-2579," กระทรวงพลังงาน, กรุงเทพมหานคร 2015.
- [14] สำนักนโยบายและแผนพลังงาน, "แผนขับเคลื่อนยานยนต์ไฟฟ้า 2558-2579," กระทรวงพลังงาน, กรุงเทพมหานคร 2015.
- [15] J. S. Reuyl and P. J. Schuurmans, "Policy implications of hybrid-electric vehicles, Report prepared for the National Renewable Energy Laboratory by NEVCOR Inc.."
- [16] A. F. Burke and G. E. Smith, "SAE 810265," 1981.
- [17] M. Duoba, R. W. Carlson, and J. Wu, "Electric Vehicle Symposium," 2008, vol. 23.
- [18] SAE, "Recommended Practice for Measuring the Exhaust Emissions and Fuel Economy of Hybrid-Electric Vehicles," Hybrid Committee 1999, vol. J1711.
- [19] SAE, "Utility Factor Definitions for Plug-In Hybrid Electric Vehicles Using 2001 U.S. DOT National Household Travel Survey Data," Hybrid Committee, 2009, vol. J2841.
- [20] P. Jatusittangkul, "Real-world energy consumption assessment of increased use of electric vehicles in Bangkok," Master Degree, Mechanical Engineering, Chulalongkorn University, 2017.
- [21] S. Pitanuwat and A. Sripakagorn, "An Investigation of Fuel Economy Potential of Hybrid Vehicles under Real-World Driving Conditions in Bangkok," presented at the 2015 International Conference on Alternative Energy in Developing Countries and Emerging Economies, 2015.
- [22] H. Y. Tong, "Development of driving cycles for motorcycles and light-duty vehicles in Vietnam," *Atmospheric Environment*, pp. 5191-5199, 2011.

- [23] W. T. Hung, "Development of a practical driving cycle construction methodology: A case study in Hong Kong," *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, pp. 115-128, 2007.
- [24] S. H. Ho, Y. D. Wong, and V. W. Chang, "Developing Singapore Driving Cycle for passenger cars to estimate fuel consumption and vehicular emissions," *Atmospheric Environment*, pp. 353-362, 2014.
- [25] M. Andre, "The ARTEMIS European driving cycles for measuring car pollutant emissions," 2004.
- [26] S. Tamsanya, S. Chungpaibulpatana, and B. Limmeechokchai, "Development of a driving cycle for the measurement of fuel consumption and exhaust emissions of automobiles in Bangkok during peak periods," *International Journal of Automotive Technology*, pp. 251-264, 2009.
- [27] T. Nutramon and C. Supachart, "Influence of driving cycles on exhaust emissions and fuel consumption of gasoline passenger car in Bangkok," *Journal of Environmental Sciences*, pp. 604-611, 2009.
- [28] EPA, "Fuel Economy Labeling of Motor Vehicles: Revisions To Improve Calculation of Fuel Economy Estimates; Final Rule," Environmental Protection Agency EPA420-R-06-017, 2006.
- [29] กรมธุรกิจพลังงาน, "ปริมาณจำหน่ายน้ำมันแยกตามประเภทเชื้อเพลิงในกรุงเทพมหานคร," กระทรวงพลังงาน, กรุงเทพมหานคร 2015.
- [30] J. Koupal, "EPA's plan for MOVES: a comprehensive mobile source emissions model. in Proceedings of the 12th CRC On-Road Vehicle Emissions Workshop," San Diego, CA 2002.
- [31] J. L. Jimenez, "Understanding and quantifying motor vehicle emissions with vehicle specific power and TILDAS remote sensing," Massachusetts Institute of Technology 1998.
- [32] G. Song and L. Yu, "Estimation of fuel efficiency of road traffic by characterization of vehicle-specific power and speed based on floating car data," *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, pp. 11-20, 2009.

- [33] X. Zheng, "Measuring, Evaluating, and Modeling Energy Use and Emission Rates for a Plug-In Hybrid Electric Vehicle Based on Real-World Measurement," Master of Science, Environmental Engineering, North Carolina State University, Raleigh, North Carolina, 2015.
- [34] H. W. Choi and C. H. Frey, "Method for In-Use Measurement and Evaluation of the Activity, Fuel Use, Electricity Use, and Emissions of a Plug-In Hybrid Diesel-Electric School Bus," *Environmental science & technology*, vol. 44, pp. 3601-3607, 2010.
- [35] C. M. Hohl, "PLUG-IN HYBRID ELECTRIC VEHICLE ON-ROAD EMISSIONS CHARACTERIZATION AND DEMONSTRATION STUDY," Doctor of Philosophy, Civil, Environmental and Architectural Engineering University of Kansas 2012.
- [36] J. L. Jimenez, P. McClintock, G. J. McRae, D. D. Nelson, and M. S. Zahniser, "Vehicle Specific Power: A Useful Parameter for Remote Sensing and Emission Studies," presented at the 9th CRC On-Road Vehicle Emissions Workshop, San Diego, 1999.
- [37] ศูนย์วิจัยยานยนต์และระบบขนส่งอัจฉริยะ, "พัฒนาฐานข้อมูลและแบบจำลองพฤติกรรมการใช้ยานยนต์ไฟฟ้ากรุงเทพฯ," in "โครงการสนับสนุนการศึกษา วิจัย พัฒนาเทคโนโลยีอนุรักษ์พลังงาน ปีงบประมาณ 2559 กลุ่มนวัตกรรมสำหรับอนาคต," จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร 2018.
- [38] EPA, "DOT unveil the next generation of fuel economy labels," Environmental Protection Agency 2011.
- [39] สำนักนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร, "ระยะทางเดินทางเฉลี่ยต่อปีของรถยนต์ในกรุงเทพมหานคร," กรมการขนส่งทางบก กระทรวงคมนาคม, กรุงเทพมหานคร 2016.
- [40] M. A. Tamor, C. Gearhart, and C. Soto, "A statistical approach to estimating acceptance of electric vehicles and electrification of personal transportation," *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, vol. 26, pp. 125-134, 2013/01/01/ 2013.
- [41] C. Chan, "Review: 2017 BMW 330e," in <http://www.canadianautoreview.ca/reviews/2017-bmw-330e.html>, ed. Canada, 2017.

- [42] D. Wong, "Mercedes-Benz C350e: Fast and the frugal," in <http://countersteer.my/2017/04/14/mercedes-benz-c350e/>, ed, 2017.
- [43] H. Wang and W. Zhang, "Application of Wavelet Transform in Vehicle Wheel Speed Signal Denoising," presented at the 2009 International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation, 2009.
- [44] A. Dadashnialehi, "Accurate wheel speed measurement for sensorless ABS in electric vehicle," presented at the Vehicular Electronics and Safety (ICVES), 2012 IEEE International Conference, 2012.
- [45] ส. ปิตานูวัตร, "การประเมินอัตราการใช้พลังงานของรถยนต์ไฮบริดและรถยนต์สันดาปภายในภายใต้การใช้งานจริงบริเวณกรุงเทพมหานคร," ปรินญามหาบัณฑิต, วิศวกรรมเครื่องกล, บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร, 2557.
- [46] สำนักงานจรรยาและขนส่งกรุงเทพมหานคร, "สถิติจรรยาประจำปี 2560," กรุงเทพมหานคร 2017.
- [47] สำนักอำนวยความสะดวก, "รายงานปริมาณจรรยาบนทางหลวง 2560 (ครึ่งปีแรก)," กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม, กรุงเทพมหานคร 2017.
- [48] iTIC, "ข้อมูลสภาพการจรรยา," ed. มูลนิธิศูนย์ข้อมูลจรรยาอัจฉริยะไทย: มูลนิธิศูนย์ข้อมูลจรรยาอัจฉริยะไทย, 2017.



ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ก ข้อมูลที่ใช้ในการหารูปแบบ UF

รูปแบบข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์เก็บข้อมูล GPS Logger

รูปแบบข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์ GPS logger จะเป็นข้อมูลเวลามาตรฐานสากล (Greenwich Mean Time: GMT) และความเร็วที่มีความละเอียด 0.001 กม./ชม. ในรูปแบบเรียลไทม์ที่บันทึกข้อมูลด้วยความถี่ 5 Hz และถ่ายโอนขึ้น (Upload) ผ่านสัญญาณอินเทอร์เน็ตของอุปกรณ์เข้าสู่โครงข่ายบริการ (Server) ของ Cloud ในทุก 2 นาที และถ่ายโอนลง (Download) สู่เครื่องคอมพิวเตอร์ โดยรูปแบบไฟล์ที่ได้จะเป็นไฟล์สกุล .ubx ที่มีข้อมูลเป็นเวลา 2 นาที/ไฟล์

การรวมไฟล์ข้อมูลการขับขี่ที่ต่อเนื่องกัน

รูปแบบไฟล์ที่ได้จากอุปกรณ์ GPS Logger มีข้อมูลเป็นเวลา 2 นาที/ไฟล์ ดังนั้นเพื่อให้มีความสะดวกในการจัดการไฟล์ จึงรวบรวมไฟล์ที่บันทึกข้อมูลการขับขี่ที่ต่อเนื่องกันให้เป็นไฟล์เดียวกันโดยใช้คำสั่ง Command Prompt โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. รวบรวมไฟล์ข้อมูลการขับขี่ที่ต่อเนื่องกันให้อยู่ในแฟ้มเดียวกันดังแสดงในรูปที่ 47 โดยมีข้อสังเกตจากชื่อไฟล์คือ

ตำแหน่งที่ 1 คือรหัสประจำ GPS Logger ที่ติดตั้งให้กับอาสาสมัครผู้ขับขี่รถส่วนบุคคลแต่ละคัน โดยจะต้องเป็นรหัสเดียวกัน

ตำแหน่งที่ 2 คือ ปี/เดือน/วันที่ขับขี่ ซึ่งจะต้องเป็นวันเดียวกันหรือต่างวันก็ได้หากมีการขับขี่ในช่วงเวลาเปลี่ยนวัน

ตำแหน่งที่ 3 คือ เวลาที่เริ่มต้นบันทึกไฟล์ในรูปแบบ ชั่วโมง/นาที/วินาที ซึ่งไฟล์ที่เป็นข้อมูลการขับขี่ที่ต่อเนื่องกัน จะต้องมียุทธห่าง 2 นาที

Name	1	2	3	Date modified	Type	Size
GNSS%2F01528	20170808	044144	.ubx	17/8/2560 16:33	UBX File	405 KB
GNSS%2F01528	20170808	044344	.ubx	17/8/2560 16:33	UBX File	408 KB
GNSS%2F01528	20170808	044544	.ubx	17/8/2560 16:33	UBX File	407 KB
GNSS%2F01528	20170808	044744	.ubx	17/8/2560 16:33	UBX File	412 KB
GNSS%2F01528	20170808	044944	.ubx	17/8/2560 16:33	UBX File	413 KB
GNSS%2F01528	20170808	045144	.ubx	17/8/2560 16:34	UBX File	412 KB

รูปที่ 47 การรวมไฟล์ข้อมูลจาก GPS Logger 1

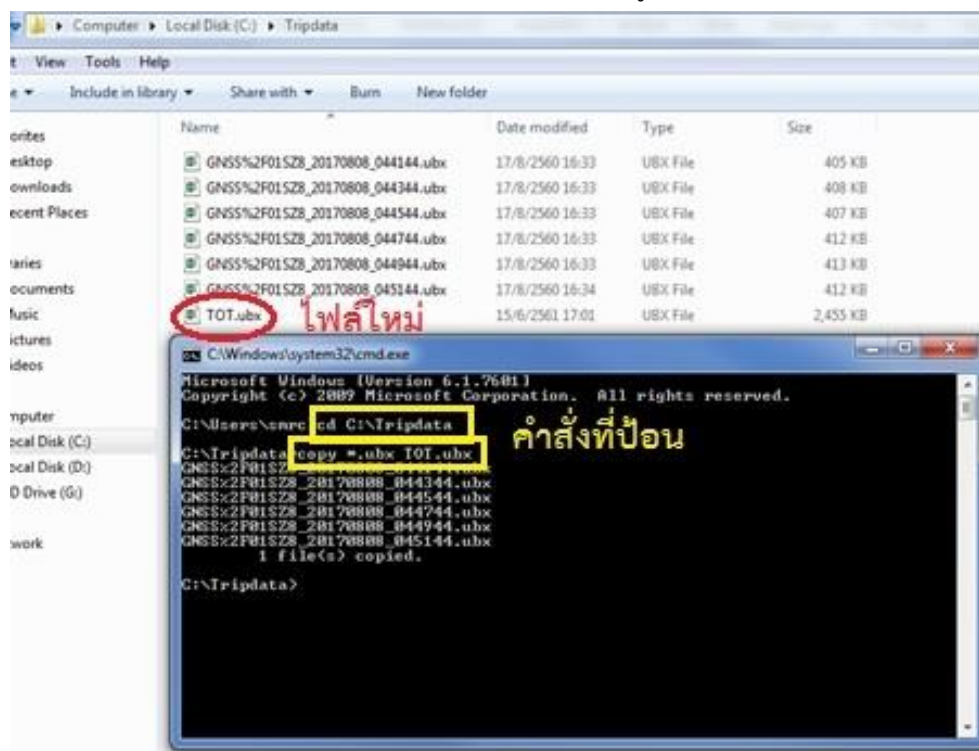
2. เปิดหน้าต่าง Command Prompt ขึ้นมา และเขียนคำสั่งดังต่อไปนี้

cd ที่อยู่ไฟล์ >กด Enter

copy *.ubx ชื่อไฟล์ใหม่.ubx >กด Enter

จะได้ไฟล์รวมข้อมูลการขับขี่ในชื่อไฟล์ใหม่ที่ต้องการ ในรูปแบบ .ubx ตัวอย่างหน้าจอสแสดงผล

Command Prompt หลังจากเสร็จสิ้นการป้อนคำสั่ง แสดงในรูปที่ 48

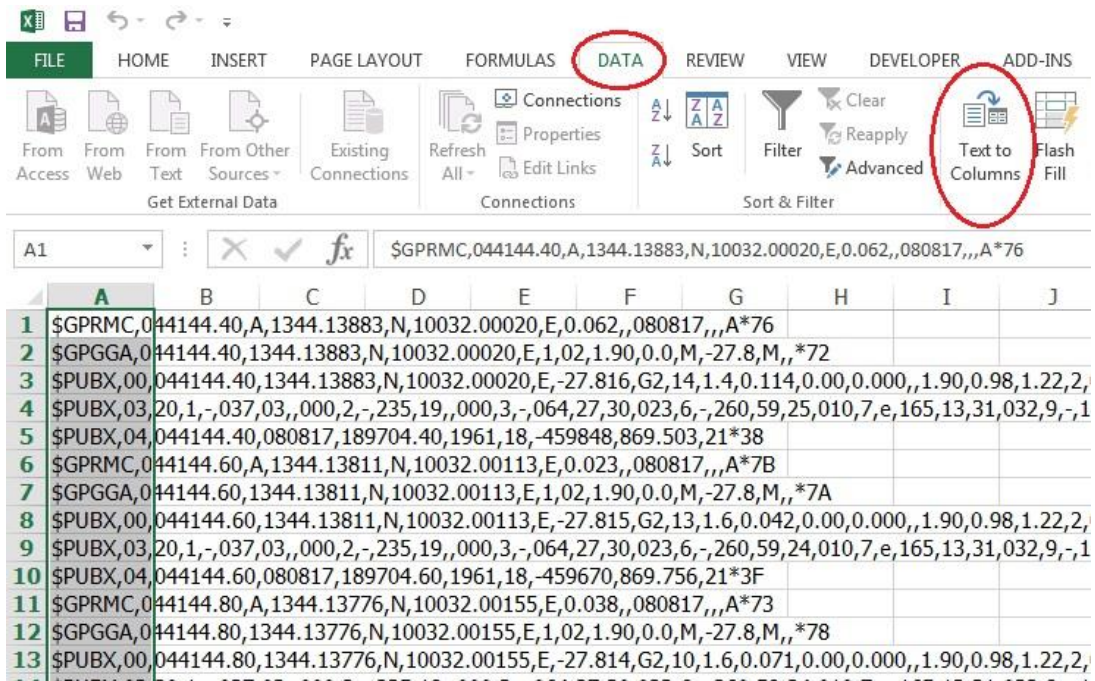


รูปที่ 48 การรวมไฟล์ข้อมูลจาก GPS Logger 2

การจัด Format ของ ไฟล์

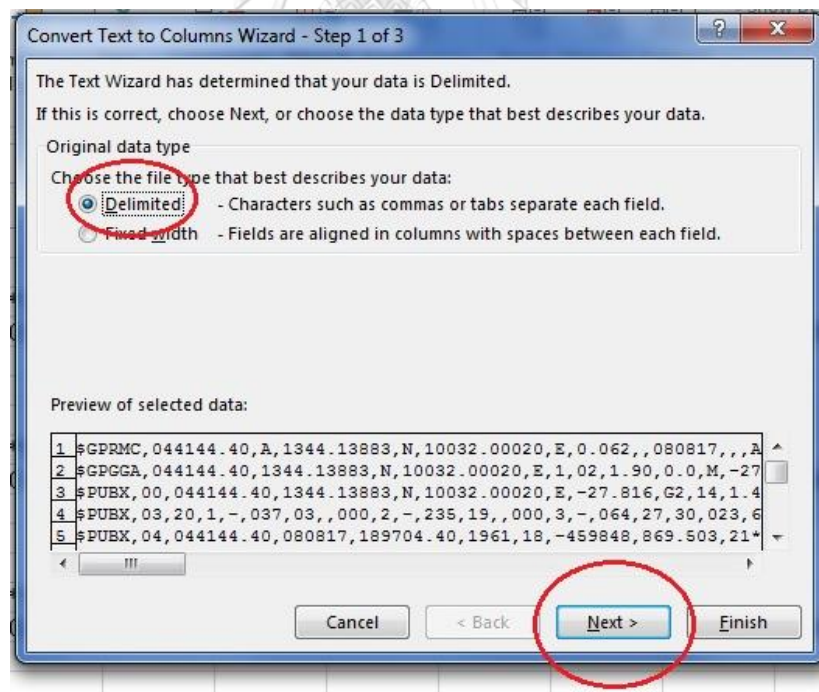
ไฟล์ .ubx เมื่อนำมาประมวลผลข้อมูลจะต้องมีการจัด Format ให้สะดวกต่อการประมวลผล ซึ่งการจัด Format สามารถทำได้โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. เปิดไฟล์ข้อมูลที่ต้องการขึ้นมา จะสังเกตเห็นว่าข้อมูลจะถูกเรียงในแต่ละแถวและแบ่งแยกด้วยเครื่องหมายจุลภาค (,) จึงทำการแยกข้อมูลที่ถูกแบ่งแยกด้วยเครื่องหมายจุลภาคให้อยู่ในหลักที่ต่างกัน โดยการกดเลือกข้อมูลในหลัก A ทั้งหมด > กดแถบเครื่องมือ DATA > Text to Columns ดังแสดงในรูปที่ 49



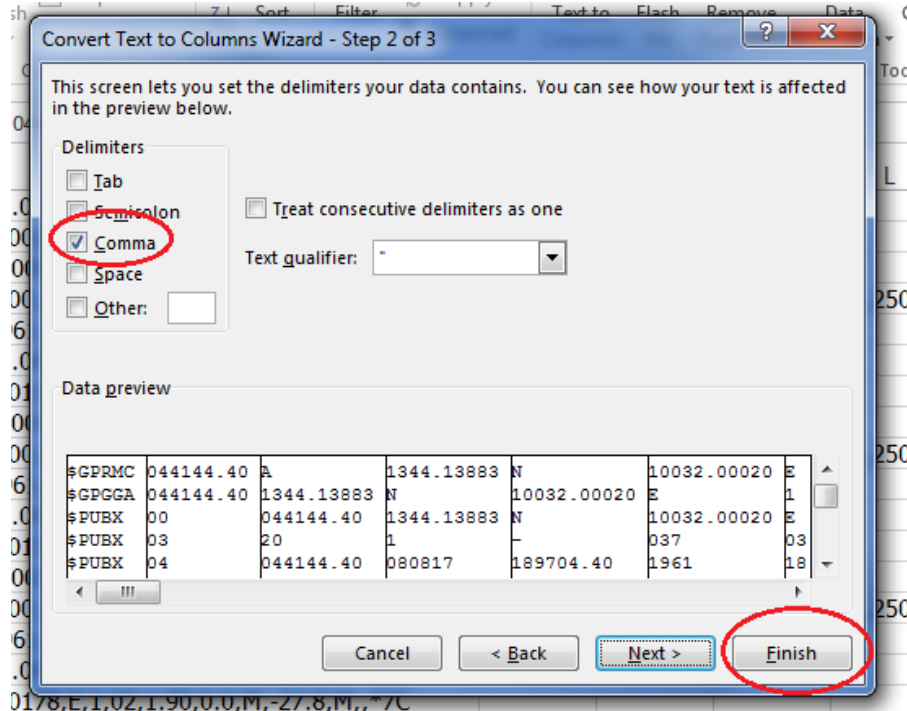
รูปที่ 49 การจัดรูปแบบไฟล์ข้อมูลจาก GPS Logger 1

2. ในหน้าต่าง Convert Text to Columns Wizard เลือก Delimited > Next ดังแสดงในรูปที่ 50



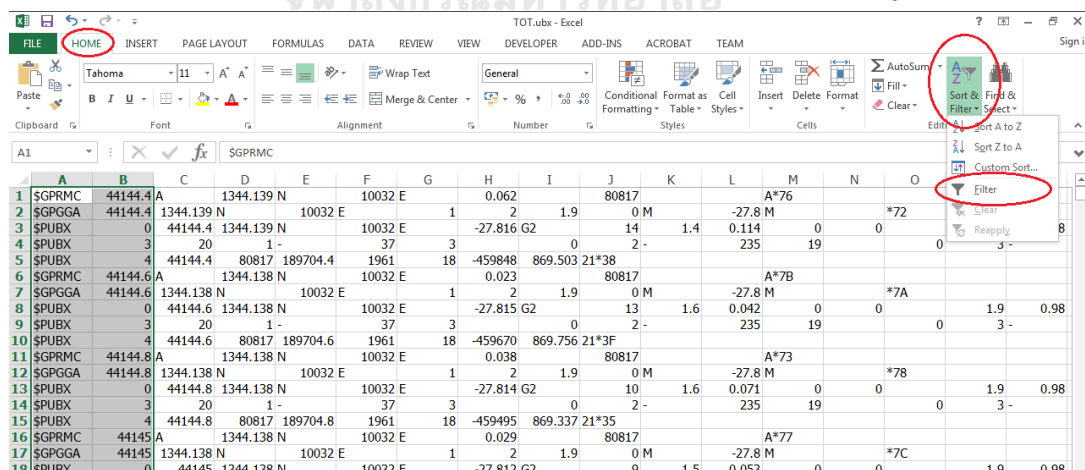
รูปที่ 50 การจัดรูปแบบไฟล์ข้อมูลจาก GPS Logger 2

3. กดเลือก Comma ซึ่งเป็นเครื่องหมายแบ่งแยกข้อมูล จากนั้นกด Finish ดังแสดงในรูปที่ 51



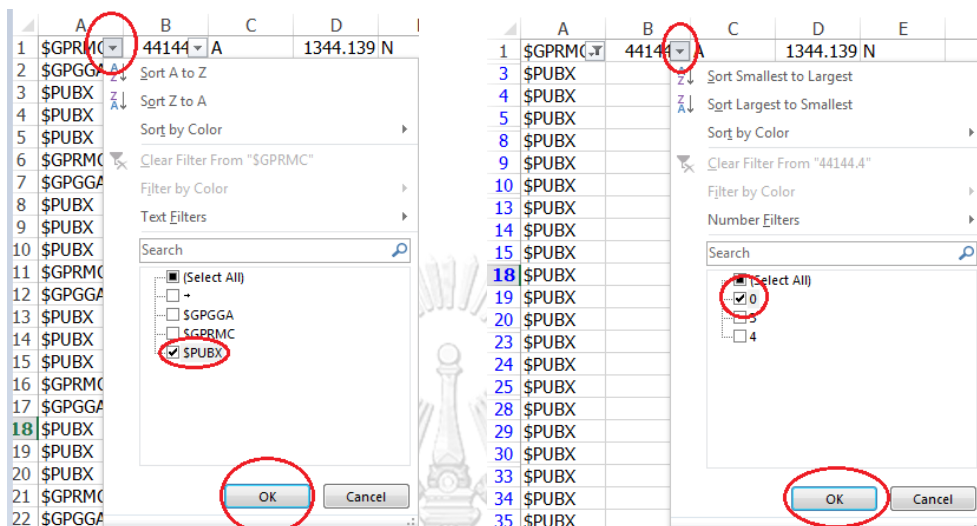
รูปที่ 51 การจัดรูปแบบไฟล์ข้อมูลจาก GPS Logger 3

4. จะเห็นได้ว่าข้อมูลยังมีความปนเปกันในแนวหลักเดียวกัน โดยข้อมูลที่ต้องการใช้ในงานวิจัยนี้คือ ข้อมูลเวลาและความเร็วซึ่งเป็นข้อมูลในชุดโปรโตคอล PUBX ช่อง 0 ดังนั้นจึงต้องกรองข้อมูลให้แสดงข้อมูลเฉพาะในชุดโปรโตคอล PUBX ช่อง 0 เท่านั้นซึ่งสามารถทำได้โดยกดเลือกข้อมูลในหลัก A และ B ทั้งหมด จากนั้นกดแถบเครื่องมือ HOME > Sort & Filter > Filter ดังแสดงในรูปที่ 52



รูปที่ 52 การจัดรูปแบบไฟล์ข้อมูลจาก GPS Logger 4

5. จะเกิดเครื่องหมาย Filter ขึ้นที่เซลล์ A1 และ B1 จากนั้นจึงทำการกรองข้อมูลโดยกดที่เครื่องหมาย Filter ของเซลล์ A1 > กดเลือกเฉพาะ \$PUBX > OK จากนั้นจึงกดเครื่องหมาย Filter ของเซลล์ B1 > กดเลือกเฉพาะ 0 > OK ดังแสดงในรูปที่ 53



รูปที่ 53 การจัดรูปแบบไฟล์ข้อมูลจาก GPS Logger 5

6. จะได้ข้อมูลเวลาจากข้อมูลในหลัก C ในรูปแบบ ชั่วโมง/นาที/วินาที.มิลลิวินาที และได้ข้อมูลความเร็วจากข้อมูลในหลัก L ในหน่วย กม./ชม. ดังแสดงในรูปที่ 54 ข้อมูลดังกล่าวสามารถจัดเก็บในรูปแบบไฟล์ .xlsx ได้เพื่อความสะดวกในการจัดการไฟล์ต่อไป

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	\$GPRMC	44144.7	A	1344.139	N	10032	E	0.062		80817			A*76	
3	\$PUBX	0	44144.4	1344.139	N	10032	E	-27.816	G2	14	1.4	0.114	0	0
8	\$PUBX	0	44144.6	1344.138	N	10032	E	-27.815	G2	13	1.6	0.042	0	0
13	\$PUBX	0	44144.8	1344.138	N	10032	E	-27.814	G2	10	1.6	0.071	0	0
18	\$PUBX	0	44145	1344.138	N	10032	E	-27.812	G2	9	1.5	0.053	0	0
23	\$PUBX	0	44145.2	1344.138	N	10032	E	-27.805	G2	8	1.5	0.049	0	0
28	\$PUBX	0	44145.4	1344.138	N	10032	E	-27.806	G2	7.2	1.5	0.13	0	0
33	\$PUBX	0	44145.6	1344.138	N	10032	E	-27.805	G2	6.7	1.5	0.046	0	0
38	\$PUBX	0	44145.8	1344.138	N	10032	E	-27.803	G2	6.2	1.5	0.033	0	0
43	\$PUBX	0	44146	1344.138	N	10032	E	-27.804	G2	5.8	1.5	0.059	0	0
48	\$PUBX	0	44146.2	1344.138	N	10032	E	-27.804	G2	5.5	1.5	0.09	0	0
53	\$PUBX	0	44146.4	1344.138	N	10032	E	-27.814	G2	5.3	1.5	0.06	0	0
58	\$PUBX	0	44146.6	1344.138	N	10032	E	-27.815	G2	5.1	1.5	0.089	0	0
63	\$PUBX	0	44146.8	1344.138	N	10032	E	-27.803	G2	4.8	1.5	0.045	0	0
68	\$PUBX	0	44147	1344.138	N	10032	E	-27.795	G2	4.6	1.5	0.028	0	0
73	\$PUBX	0	44147.2	1344.138	N	10032	E	-27.804	G2	4.4	1.5	0.041	0	0
78	\$PUBX	0	44147.4	1344.138	N	10032	E	-27.811	G2	4.2	1.5	0.056	0	0
83	\$PUBX	0	44147.6	1344.138	N	10032	E	-27.816	G2	4.1	1.5	0.095	0	0
88	\$PUBX	0	44147.8	1344.138	N	10032	E	-27.818	G2	4	1.5	0.088	0	0
93	\$PUBX	0	44148	1344.138	N	10032	E	-27.815	G2	3.9	1.5	0.145	0	0
98	\$PUBX	0	44148.2	1344.138	N	10032	E	-27.845	G2	3.8	1.5	0.043	0	0
103	\$PUBX	0	44148.4	1344.138	N	10032	E	-27.861	G2	3.7	1.5	0.057	0	0
108	\$PUBX	0	44148.6	1344.138	N	10032	E	-27.854	G2	3.6	1.5	0.127	0	0
113	\$PUBX	0	44148.8	1344.138	N	10032	E	-27.852	G2	3.5	1.5	0.06	0	0
118	\$PUBX	0	44149	1344.138	N	10032	E	-27.859	G2	3.4	1.5	0.033	0	0
123	\$PUBX	0	44149.2	1344.138	N	10032	E	-27.854	G2	3.4	1.5	0.063	0	0
128	\$PUBX	0	44149.4	1344.138	N	10032	E	-27.868	G2	3.3	1.5	0.058	0	0
133	\$PUBX	0	44149.6	1344.138	N	10032	E	-27.867	G2	3.2	1.5	0.181	0	0
138	\$PUBX	0	44149.8	1344.138	N	10032	E	-27.869	G2	3.2	1.5	0.079	0	0
143	\$PUBX	0	44150	1344.138	N	10032	E	-27.878	G2	3.1	1.5	0.099	0	0
148	\$PUBX	0	44150.2	1344.138	N	10032	E	-27.884	G2	3.1	1.5	0.172	0	0
153	\$PUBX	0	44150.4	1344.138	N	10032	E	-27.891	G2	3	1.5	0.118	0	0

รูปที่ 54 การจัดรูปแบบไฟล์ข้อมูลจาก GPS Logger 6

รูปแบบข้อมูลที่จำเป็นต่อการประมวลผลเพื่อหารูปแบบ UF ของรถส่วนบุคคลในกรุงเทพมหานครคือเวลาที่เริ่มสตาร์ทระบบของรถและเวลาที่ดับระบบของรถ รวมถึงระยะทางที่ขับขึ้นตั้งแต่เริ่มสตาร์ทระบบของรถจนกระทั่งดับระบบของรถ ซึ่งข้อมูลที่บันทึกได้จาก GPS Logger เป็นข้อมูลในรูปแบบเรียลไทม์ จึงจำเป็นต้องอินทิเกรตข้อมูลความเร็วและเวลาในไฟล์ข้อมูลการขับขึ้นที่ต่อเนื่องกันเพื่อให้ทราบระยะทางการขับขึ้นของการขับขึ้นที่ต่อเนื่องกันนี้ ซึ่งจะแสดงถึงระยะทางที่ขับขึ้นตั้งแต่เริ่มสตาร์ทระบบของรถจนกระทั่งดับระบบของรถ

รูปแบบข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์เก็บข้อมูล OBD ประเภทหน่วยความจำในตัว

รูปแบบข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์ OBD ประเภทนี้จะป็นข้อมูลเวลา (GMT +7) ที่เริ่มสตาร์ทระบบของรถและเวลาที่ดับระบบของรถในรูปแบบ เดือน-วันที่-ปี ชั่วโมง:นาที รวมถึงระยะทางที่ขับขึ้นและปริมาณการใช้เชื้อเพลิงตั้งแต่เริ่มสตาร์ทระบบของรถจนกระทั่งดับระบบของรถในหน่วย กม. ด้วยความละเอียด 0.01 กม. และในหน่วยลิตร ด้วยความละเอียด 0.01 ลิตร ตามลำดับ ข้อมูลดังกล่าวจะถูกบันทึกและถ่ายโอนผ่านสัญญาณบลูทูธระหว่างอุปกรณ์และโทรศัพท์เคลื่อนที่ และถ่ายโอนต่อผ่านสัญญาณอินเทอร์เน็ตของโทรศัพท์เคลื่อนที่เข้าสู่อีเมลของผู้วิจัย และสามารถถ่ายโอนลงสู่เครื่อง

คอมพิวเตอร์เพื่อประมวลผลต่อไป โดยรูปแบบไฟล์ที่ได้จะเป็นไฟล์สกุล .csv การที่มีการถ่ายโอนข้อมูลผ่านโครงข่ายอีเมลล์ของอาสาสมัครสู่อีเมลล์ของผู้วิจัยโดยตรง ทำให้มีความสะดวกในการระบุว่าเป็นไฟล์ของอาสาสมัครคนใด และไม่จำเป็นต้องจัด Format ใหม่แต่อย่างใด ตัวอย่างข้อมูลที่บันทึกได้จากอุปกรณ์ OBD แสดงในรูปที่ 55 ข้อมูลเวลาที่เริ่มสตาร์ทระบบของรถและเวลาที่ดับระบบของรถคือข้อมูลในหลัก B และ C ตามลำดับ, ข้อมูลระยะทางที่ขับขึ้นและปริมาณการใช้เชื้อเพลิงตั้งแต่เริ่มสตาร์ทระบบของรถจนกระทั่งดับระบบของรถคือข้อมูลในหลัก D และ E ตามลำดับ

	A	B	C	D	E
1	Tag	Start(MM-dd-yy)	End(MM-dd-yy)	Distance(km)	Fuel used(l)
2	-	10-02-60 12:59 GMT+7	10-02-60 13:46 GMT+7	30.2	1.55
3	-	10-03-60 07:48 GMT+7	10-03-60 08:51 GMT+7	38.85	2.11
4	-	10-03-60 15:44 GMT+7	10-03-60 16:42 GMT+7	24.42	1.56
5	-	10-03-60 18:44 GMT+7	10-03-60 19:33 GMT+7	23.05	1.41
6	-	10-04-60 07:56 GMT+7	10-04-60 08:53 GMT+7	38.88	1.94
7	-	10-04-60 17:21 GMT+7	10-04-60 18:46 GMT+7	34.41	2.25
8	-	10-05-60 07:37 GMT+7	10-05-60 08:44 GMT+7	39.29	2.24
9	-	10-05-60 17:13 GMT+7	10-05-60 18:43 GMT+7	34.28	2.34
10	-	10-06-60 07:40 GMT+7	10-06-60 08:38 GMT+7	39.01	2.06

รูปที่ 55 รูปแบบไฟล์ข้อมูลจาก OBD ประเภทหน่วยความจำในตัว

การประมวลผลเพื่อหารูปแบบ UF

ในการหารูปแบบ UF ข้อมูลที่จำเป็นในการคำนวณคือระยะทางการขับขึ้นของกลุ่มอาสาสมัคร รวมถึงระยะเวลาที่เริ่มและสิ้นสุดการขับขึ้น ซึ่งในงานวิจัยนี้ถือว่าหากมีการเริ่มสตาร์ทระบบของรถ ระยะเวลาที่เริ่มสตาร์ทระบบของรถจนถึงเวลาที่ดับระบบของรถจะถือว่ามี การขับขึ้น ตารางที่ 12 แสดงตัวอย่างรูปแบบข้อมูลที่ต้องการ และการประมวลผลการนับเที่ยวการขับขึ้นและระยะทางการขับขึ้นในเที่ยวการขับขึ้นตามสมมติฐานในหัวข้อที่ 3.2 จะเห็นได้ว่าข้อมูลเวลาเริ่มและสิ้นสุดการขับขึ้นมีความสำคัญต่อการประมวลผลการนับเที่ยวการขับขึ้น เนื่องจากสมมติฐานการหารูปแบบ UF ที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือระยะเวลาในการจอดรถ

ตารางที่ 12 ตัวอย่างข้อมูลที่ใช้หารูปแบบ UF

วันที่	เวลาเริ่ม (นาฬิกา)	เวลา สิ้นสุด (นาฬิกา)	ระยะเวลา จอดก่อน การขับชี่ ครั้งต่อไป (ชั่วโมง)	ระยะทางใน การขับชี่แต่ ละครั้ง (กม.)	ระยะทางในเที่ยวการขับชี่ (กม.)			
					Daily VKT	8-h trip chain	4-h trip chain	2.5-h trip chain
1	7:00	8:00	2	15	28	28	25	22
1	10:00	11:00	3	7				3
1	14:00	15:00	5	3				3
1	20:00	21:00	ข้ามคืน	3			3	3
2	7:00	8:00	9	4	25	4	4	4
2	17:00	18:00	ข้ามคืน	21		21	21	21
4	22:00	23:00	ข้ามคืน	5	5	5	5	5
5	3:00	4:00		8	8	8	8	8
ระยะทางรวม (กม.)					66			
จำนวนเที่ยวการขับชี่					4	5	6	7
ระยะทางการขับชี่เฉลี่ย (กม./เที่ยว)					16.5	13.2	11.0	9.4

จากข้อมูลในตารางที่ 12 จะสามารถนำมาหารูปแบบ UF ได้โดยสมการที่ (1) ตัวอย่างการคำนวณค่า UF ของรถปลั๊กอินไฮบริดที่มีระยะ CD = 20 กม. ในสมมติฐาน Daily VKT, 8-h, 4-h และ 2.5-h trip chain แสดงในสมการที่ (13)-(16) ตามลำดับ

$$UF(20) = \frac{20 + 20 + 5 + 8}{28 + 25 + 5 + 8} = 0.80 \quad (13)$$

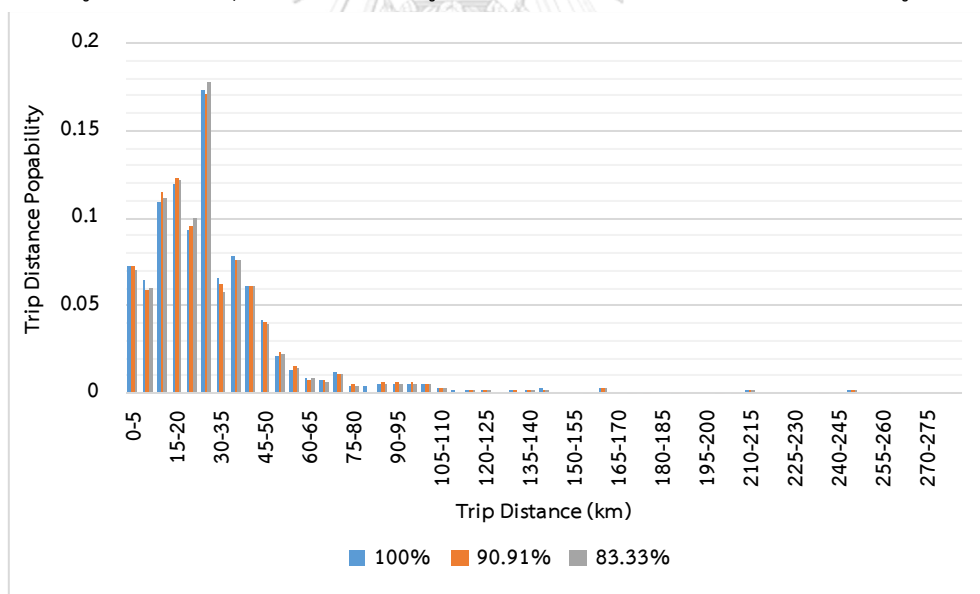
$$UF(20) = \frac{20 + 4 + 20 + 5 + 8}{28 + 4 + 21 + 5 + 8} = 0.86 \quad (14)$$

$$UF(20) = \frac{20 + 3 + 4 + 20 + 5 + 8}{25 + 3 + 4 + 21 + 5 + 8} = 0.91 \quad (15)$$

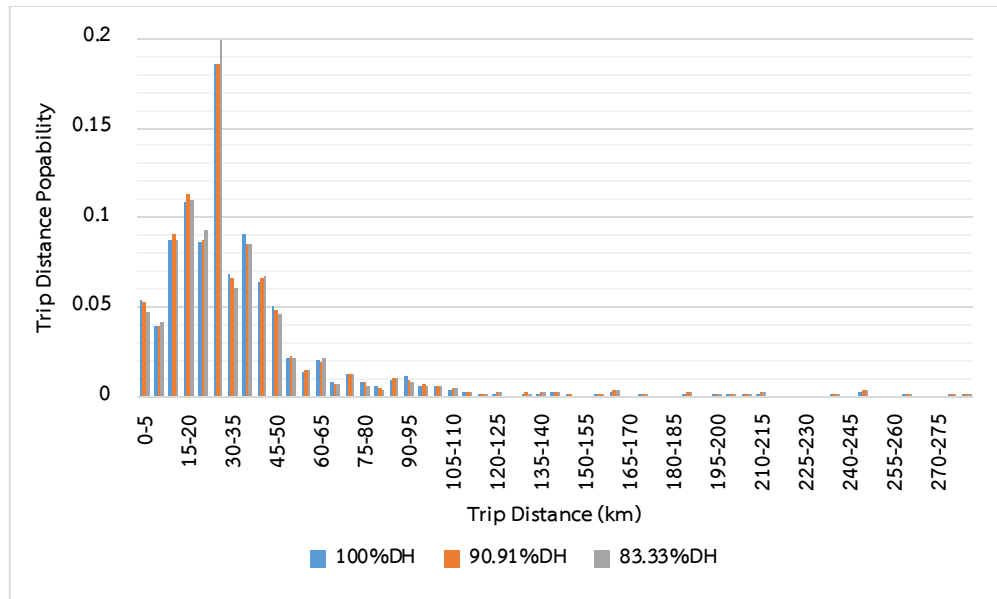
$$UF(20) = \frac{20 + 3 + 3 + 4 + 20 + 5 + 8}{22 + 3 + 3 + 4 + 21 + 5 + 8} = 0.95 \quad (16)$$

จำนวนข้อมูลที่ใช้หารูปแบบ UF

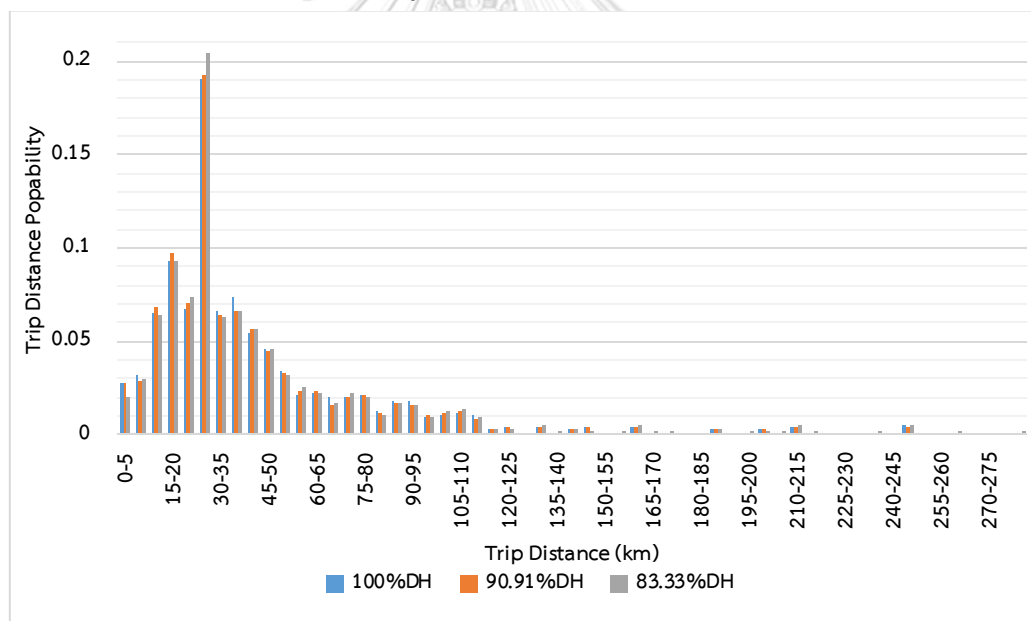
ในการหารูปแบบ UF ของกลุ่มรถในพื้นที่หนึ่ง จำนวนข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์ย่อมส่งผลต่อความน่าเชื่อถือ หากข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์มีจำนวนน้อยเกินไปจะทำให้ผลลัพธ์ที่ได้ไม่สามารถเป็นตัวแทนรูปแบบ UF ของกลุ่มรถในพื้นที่นั้นๆ ได้อย่างแท้จริง หนึ่งในวิธีการตรวจสอบว่าจำนวนข้อมูลมีความเพียงพอหรือไม่คือการลดทอนจำนวนข้อมูลแล้วนำข้อมูลที่เหลือมาหารูปแบบ UF แล้วจึงตรวจสอบความแตกต่างของรูปแบบ UF ที่หาได้จากจำนวนข้อมูลต่างๆ หรืออีกวิธีการหนึ่งคือพิจารณาลึกลงไปถึงตัวแปรที่ใช้คำนวณค่า UF นั่นคือข้อมูลระยะทางการขับขี่ในแต่ละเที่ยวการขับขี่ โดยสามารถพิจารณาได้จากการกระจายตัวของจำนวนข้อมูลเที่ยวการขับขี่ที่มีระยะทางในช่วงต่างๆ ที่มีการลดทอนข้อมูลลง ในงานวิจัยนี้จะเลือกพิจารณาโดยการลดทอนข้อมูลเที่ยวการขับขี่ โดยตั้งอยู่บนสมมติฐานว่าจำนวนข้อมูลที่มีอยู่มีจำนวนเกินพอแล้ว 10% และ 20% จึงลดทอนเที่ยวการขับขี่ลงให้เหลือ $\frac{100}{110}DH = 90.91\%DH$ และ $\frac{100}{120}DH = 83.33\%DH$ ในทุกสมมติฐานการนับเที่ยวการขับขี่ พบว่าการกระจายตัวของจำนวนข้อมูลเที่ยวการขับขี่ที่มีระยะทางในช่วงต่างๆ ที่มีการลดทอนข้อมูลลงมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยและไม่มีความสำคัญในทุกสมมติฐานการนับเที่ยวการขับขี่ ดังแสดงในรูปที่ 56-รูปที่ 59 จึงสรุปได้ว่าจำนวนข้อมูลในงานวิจัยนี้มีความเพียงพอที่จะนำมาหารูปแบบ UF



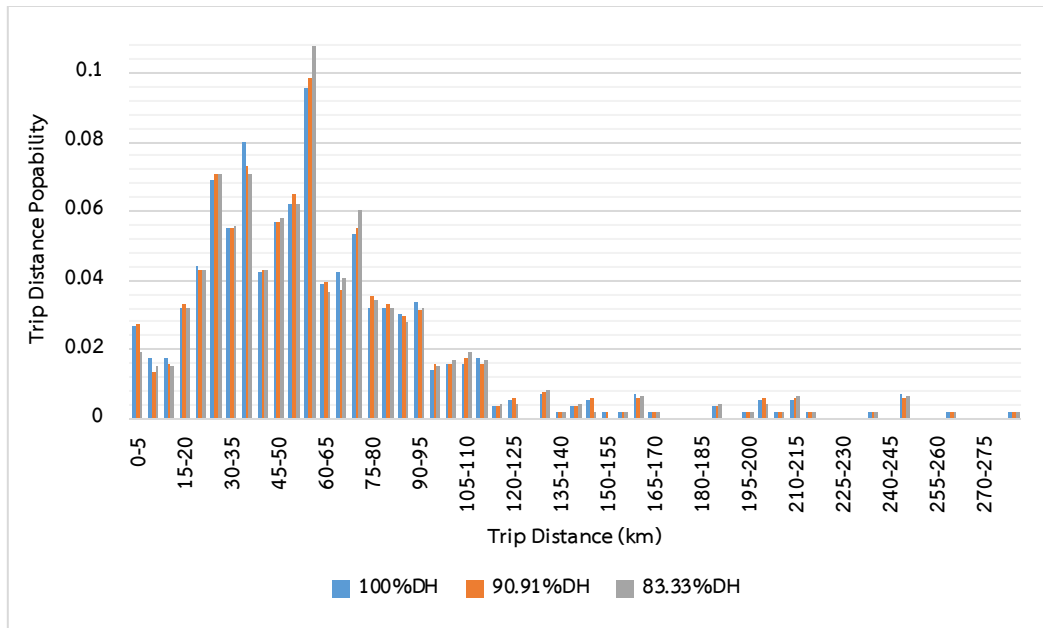
รูปที่ 56 การกระจายตัวของจำนวนข้อมูลเที่ยวการขับขี่ที่มีระยะทางในช่วงต่างๆ เมื่อมีการลดทอนจำนวนข้อมูลในสมมติฐาน 2.5-h trip chain



รูปที่ 57 การกระจายตัวของจำนวนข้อมูลเที่ยวการขับซีทีที่มีระยะทางในช่วงต่างๆ เมื่อมีการลดทอนจำนวนข้อมูลในสมมติฐาน 4-h trip chain



รูปที่ 58 การกระจายตัวของจำนวนข้อมูลเที่ยวการขับซีทีที่มีระยะทางในช่วงต่างๆ เมื่อมีการลดทอนจำนวนข้อมูลในสมมติฐาน 8-h trip chain



รูปที่ 59 การกระจายตัวของจำนวนข้อมูลเที่ยวการขับปีที่มึระยะทางในช่วงต่างๆ เมื่อมีการลดทอนจำนวนข้อมูลในสมมติฐาน Daily VKT

ภาคผนวก ข รถปลั๊กอินไฮบริดที่ใช้ในการทดสอบ

ข้อมูลจำเพาะของรถปลั๊กอินไฮบริดที่ใช้ทดสอบ

รถปลั๊กอินไฮบริด 2 รุ่นที่ใช้ศึกษาในงานวิจัยนี้ประกอบไปด้วย BMW 330e M-sport (PHEV1) และ Mercedes-Benz C350e Avantgarde (PHEV2) ดังแสดงในรูปที่ 60 และ รูปที่ 61 ตามลำดับ รถทั้ง 2 รุ่นเป็นรถปลั๊กอินไฮบริดใน C-segment ที่มีการทำงานในรูปแบบ Blended สำหรับข้อมูลจำเพาะของรถปลั๊กอินไฮบริดทั้ง 2 รุ่น แสดงในตารางที่ 13



รูปที่ 60 รถปลั๊กอินไฮบริด PHEV1



รูปที่ 61 รถปลั๊กอินไฮบริด PHEV2

ตารางที่ 13 ข้อมูลจำเพาะของรถปลั๊กอินไฮบริดที่ใช้ทดสอบ

	PHEV1	PHEV2
Electric Propulsion System		
Power (kW)	65	60
Maximum torque (N.m)	250	340
Battery System		
Type	Lithium-ion	Lithium-ion
Nominal Voltage (V)	293	290
Capacity (kWh)	7.6 (5.7 Usable)	6.4 (5.0 Usable)
Charging time (h)	2.5 (240V)	2.5 (240V)
Internal combustion engine		
Displacement (cc)	1,998	1,991
Power (kW@rpm)	135@5,000-6,500	155@5,500
Maximum torque (N.m@rpm)	290@1,350-4,250	350@1,200-4,000
Engine type	4L 16 valves Twin Turbo	4L 16 valves Turbo
Emissions and fuel		
Emissions standards	Euro 6	Euro 6
Fuel	gasoline	gasoline
Weight (kg)	1,780	1,785

โหมดการขับขี่ของรถปลั๊กอินไฮบริดที่ใช้ในการทดสอบ

ในความเป็นจริงแล้ว รถปลั๊กอินไฮบริดของแต่ละผู้ผลิตไม่ได้มีโหมดการขับขี่ที่ยึดติดว่า ถ้ามีระดับพลังงานไฟฟ้าพอ จะเริ่มขับขี่ในโหมด CD จนพลังงานไฟฟ้าหมดแล้วจึงขับขี่ในโหมด CS แต่รายละเอียดของโหมดการขับขี่จะแตกต่างกันไปในรถปลั๊กอินไฮบริดแต่ละผู้ผลิต รถปลั๊กอินไฮบริดที่ใช้ทดสอบในงานวิจัยนี้ทั้ง 2 รุ่น เป็นรถปลั๊กอินไฮบริดใน C-segment ที่มีการทำงานในรูปแบบ Blended กล่าวคือสามารถขับเคลื่อนได้โดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้าอย่างเดียวเท่านั้น หรือมีเครื่องยนต์ช่วยขับเคลื่อนเสริมกำลังไปพร้อมกันในโดยเฉพาะในช่วงที่รถต้องการกำลังในการขับเคลื่อนที่สูง ซึ่งโหมดการขับขี่ของรถปลั๊กอินไฮบริดจะมีชื่อและลักษณะการทำงานดังต่อไปนี้

โหมดการขับขี่ของ PHEV1

ประกอบไปด้วย 3 โหมดการขับขี่ ดังแสดงในรูปที่ 62



รูปที่ 62 หน้าจอแสดงการเลือกโหมดการขับขี่ของ PHEV1 [41]

1. Auto E-drive: โหมดเริ่มต้นเมื่อเปิดระบบของรถ
 - 1.1 หากรถมีระดับพลังงานไฟฟ้าเกินกว่าระดับต่ำสุด ($\approx 0\%SOC$) รถจะขับเคลื่อนโดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นต้นกำลัง แต่เมื่อรถขับเคลื่อนด้วยความเร็ว 80 กม./ชม. ขึ้นไป จะมีการทำงานของเครื่องยนต์ช่วยเสริมกำลังในการขับเคลื่อนรถ
 - 1.2 หากรถมีระดับพลังงานไฟฟ้าต่ำกว่าระดับต่ำสุด รถจะขับเคลื่อนโดยใช้เครื่องยนต์เป็นต้นกำลัง และมีการใช้มอเตอร์ไฟฟ้าในการช่วยขับเคลื่อนเล็กน้อย โดยเฉพาะช่วงความเร็วต่ำ โดยอาจมีการชาร์จไฟฟ้ากลับเมื่อมีการเบรกเช่นเดียวกับรถไฮบริด
2. Max E-drive
 - 2.1 หากรถมีระดับพลังงานไฟฟ้าเกินกว่าระดับต่ำสุด รถจะขับเคลื่อนโดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นต้นกำลัง แต่เมื่อรถขับเคลื่อนด้วยความเร็ว 120 กม./ชม. ขึ้นไป จะมีการทำงาน

ของเครื่องยนต์ช่วยเสริมกำลังในการขับเคลื่อนรถ เช่นเดียวกับโหมด Auto E-drive ข้อสังเกตคือความเร็วของรถที่ทำให้เครื่องยนต์เริ่มทำงานในโหมด Max E-drive จะมีค่าสูงกว่าในโหมด Auto E-drive ซึ่งหลังจากที่เครื่องยนต์เริ่มทำงาน รถจะขับเคลื่อนในโหมด Auto E-drive ตามลักษณะในหัวข้อ 1.1 ต่อไปโดยอัตโนมัติ

2.2 หากกรณีระดับพลังงานไฟฟ้าต่ำกว่าระดับต่ำสุด รถจะขับเคลื่อนในโหมด Auto E-drive ตามลักษณะในหัวข้อ 1.2 ต่อไปโดยอัตโนมัติ

3. Save

รถจะใช้เครื่องยนต์สันดาปเป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อนรถ รวมถึงปั่นไฟเพื่อทำการชาร์จไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่ โดยอาจมีการใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นต้นกำลังในช่วงที่รถมีความเร็วต่ำๆ เท่านั้น

โหมดการขับขี่ของ PHEV2

ประกอบไปด้วย 4 โหมดการขับขี่ ดังแสดงในรูปที่ 63



รูปที่ 63 หน้าจอแสดงการเลือกโหมดการขับขี่ของ PHEV2 [42]

1. Hybrid: โหมดเริ่มต้นเมื่อเปิดระบบของรถ

1.1 หากกรณีระดับพลังงานไฟฟ้าเกินกว่าระดับต่ำสุด ($\approx 10\%SOC$) รถจะขับเคลื่อนโดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นต้นกำลัง แต่เมื่อรถขับเคลื่อนด้วยความเร็ว 60 กม./ชม. ขึ้นไป จะมีการทำงานของเครื่องยนต์ช่วยเสริมกำลังในการขับเคลื่อนรถ

1.2 หากรถมีระดับพลังงานไฟฟ้าต่ำกว่าระดับต่ำสุด รถจะขับเคลื่อนโดยใช้เครื่องยนต์เป็นต้นกำลัง และมีการใช้มอเตอร์ไฟฟ้าในการช่วยขับเคลื่อนเล็กน้อย โดยเฉพาะช่วงความเร็วต่ำ โดยอาจมีการชาร์จไฟฟ้ากลับเมื่อมีการเบรกเช่นเดียวกับรถไฮบริด

2. E-drive

2.1 หากรถมีระดับพลังงานไฟฟ้าเกินกว่าระดับต่ำสุด รถจะขับเคลื่อนโดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นต้นกำลัง แต่เมื่อรถขับเคลื่อนด้วยความเร็ว 128 กม./ชม. ขึ้นไป จะมีการทำงานของเครื่องยนต์ช่วยเสริมกำลังในการขับเคลื่อนรถ เช่นเดียวกับโหมด Hybrid ข้อสังเกตคือความเร็วของรถที่ทำให้เครื่องยนต์เริ่มทำงานในโหมด E-drive จะมีค่าสูงกว่าในโหมด Hybrid ซึ่งหลังจากที่เครื่องยนต์เริ่มทำงาน รถจะขับเคลื่อนในโหมด Hybrid ตามลักษณะในหัวข้อ 1.1 ต่อไปโดยอัตโนมัติ

2.2 หากรถมีระดับพลังงานไฟฟ้าต่ำกว่าระดับต่ำสุด รถจะขับเคลื่อนในโหมด Hybrid ตามลักษณะในหัวข้อ 1.2 ต่อไปโดยอัตโนมัติ

3. E-save

รถจะขับเคลื่อนตามลักษณะในหัวข้อ 1.2 ไม่ว่าจะมียกระดับพลังงานไฟฟ้าเท่าใดก็ตาม

4. Charge

รถจะใช้เครื่องยนต์สันดาปเป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อนรถ รวมถึงปั่นไฟเพื่อทำการชาร์จไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่ โดยอาจมีการใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นต้นกำลังในช่วงที่รถมีความเร็วต่ำๆ เท่านั้น

ข้อสังเกต

1. โหมด Auto E-drive ของ PHEV1 และโหมด Hybrid ของ PHEV2 มีลักษณะการขับเคลื่อนที่ใกล้เคียงกัน
2. โหมด Max E-drive ของ PHEV1 และโหมด E-drive ของ PHEV2 มีลักษณะการขับเคลื่อนที่ใกล้เคียงกัน
3. โหมด Save ของ PHEV1 และโหมด Charge ของ PHEV2 มีลักษณะการขับเคลื่อนที่ใกล้เคียงกัน

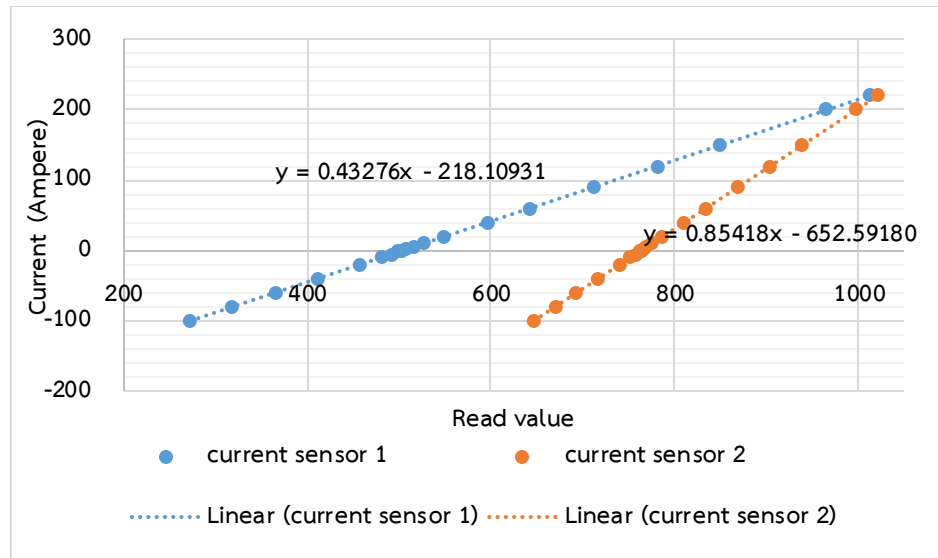
4. ตามค่านิยามโหมด CD ของรถปลั๊กอินไฮบริด ทำให้สรุปได้ว่าโหมด Auto E-drive และ Max E-drive ของ PHEV1 และโหมด Hybrid และ E-drive ของ PHEV2 คือการขับขี่ในโหมด CD
5. หากนำรถปลั๊กอินไฮบริดทั้ง 2 รุ่นมาทดสอบในโหมด CD โดยถือว่าโหมด Max E-drive ของ PHEV1 และโหมด E-drive ของ PHEV2 คือโหมด CD จะมีข้อควรระวังคือเมื่อรถขับเคลื่อนด้วยความเร็วสูงเกินระดับหนึ่ง เครื่องยนต์จะเริ่มทำงานเพื่อช่วยเสริมกำลังขับเคลื่อนรถ จากนั้นรถจะเข้าสู่โหมด Auto E-drive สำหรับ PHEV1 และโหมด Hybrid สำหรับ PHEV2 โดยอัตโนมัติ จึงต้องกดเลือกโหมดให้กลับเข้าสู่โหมด Max E-drive สำหรับ PHEV1 และโหมด E-drive สำหรับ PHEV2 เมื่อรถมีความเร็วลดลงต่อไป
6. ตามค่านิยามโหมด CS ของรถปลั๊กอินไฮบริด ทำให้สรุปได้ว่าโหมด Auto E-drive เมื่อมีระดับพลังงานไฟฟ้าต่ำกว่าระดับต่ำสุด และโหมด Save เมื่อพลังงานไฟฟ้าในแบตเตอรี่เต็ม (หรือเกือบเต็ม) ของ PHEV1 คือการขับขี่ในโหมด CS
7. ตามค่านิยามโหมด CS ของรถปลั๊กอินไฮบริด ทำให้สรุปได้ว่าโหมด Hybrid เมื่อมีระดับพลังงานไฟฟ้าต่ำกว่าระดับต่ำสุด และโหมด E-save PHEV2 คือการขับขี่ในโหมด CS
8. รถปลั๊กอินไฮบริดทั้ง 2 รุ่นสามารถขับขี่ในโหมดที่ตรงกับนิยามของโหมด CD เป็นระยะทางประมาณ 19-35 กิโลเมตร (จากการทดสอบบริเวณถนนรอบสนามบินสุวรรณภูมิ) และใช้เวลาในการชาร์จไฟฟ้าจากระดับพลังงานต่ำสุดจนเต็มประมาณ 2 ชั่วโมง 30 นาที ด้วยกระแสขนาดสูงสุด 12 แอมแปร์ ซึ่งระยะเวลาดังกล่าวนับเป็นเวลานาน ทำให้ใน 1 วัน สามารถทดสอบการขับขี่ในโหมด CD ได้ไม่เกิน 2 เทียบการขับขี่ แต่ด้วยโหมด Save ของ PHEV1 และโหมด Charge ของ PHEV2 ที่สามารถปั่นไฟเพื่อทำการชาร์จไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่จากระดับพลังงานต่ำสุดจนเต็มในระยะเวลา 45-60 นาที เมื่อขับขี่ในสภาพการจราจรที่ค่อนข้างคล่องตัวแต่ความเร็วไม่สูงเกินไป (50 – 60 กม./ชม.) จะช่วยเพิ่มเที่ยวการขับขี่ทดสอบในโหมด CD ได้มากขึ้น แต่ทั้ง 2 โหมดดังกล่าวจะทำให้เกิดการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมากที่สุด

ภาคผนวก ค การสอบเทียบอุปกรณ์ Current Sensor

Current sensor ทั้ง 2 ชั้นที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นประเภท DC Hall effect current transducer มีข้อมูลจำเพาะดังแสดงในตารางที่ 14 current sensor ทั้ง 2 ชั้นจะใช้ในการวัดกระแสไฟฟ้าในสายไฟระหว่างแบตเตอรี่ไฟฟ้าและมอเตอร์ไฟฟ้าของรถปลั๊กอินไฮบริด โดยจะอาศัยหลักการที่ว่าหากมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านสายไฟจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้น current sensor จะวัดระดับสนามแม่เหล็กที่เป็นผลจากการไหลของกระแสไฟฟ้าง่ายๆและอ่านค่าออกมาในหน่วย Volt ด้วยเหตุนี้เมื่อต้องการนำ current sensor ไปใช้งาน จะต้องมีการสอบเทียบระหว่างค่ากระแสไฟฟ้าและค่า Volt ที่อ่านได้ ผลการสอบเทียบ current sensor 2 ชั้นที่ใช้ในงานวิจัยนี้แสดงในรูปที่ 64 โดยค่า Read value คือค่าที่อ่านได้ซึ่งหากต้องการแปลงเป็นหน่วย Volt จะมีค่าเท่ากับ $\frac{5}{1,023} \times \text{Read value}$ จากรูปแสดงให้เห็นว่าค่า Read value มีความสัมพันธ์กับค่ากระแสไฟฟ้าในเชิงเส้นตรงและมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจสูงถึง 99.9% สำหรับสมการที่ใช้ในการสอบเทียบ current sensor ทั้ง 2 ชั้น แสดงในสมการที่ (17) และ (18)

ตารางที่ 14 ข้อมูลจำเพาะของอุปกรณ์ current sensor

Specifications	Model	
	CE-IB04-32GS4-1.0	CE-IZ04-32C8-1.0
Diameter	31 mm	22 mm
Input range	0-20A~1,000A	0-50A~1,000A
Output range	0-5 V	0-5 V
Power supply	+12 V	+12 V
Accuracy	1%	1%
Linear range	120%	150%
Response time	200 mS	0.01 mS
Operating temperature	-10~+60 °C	-10~+80 °C
Storage temperature	-40~+70 °C	-25~+85 °C



รูปที่ 64 ผลการสอบเทียบ current sensor 2 ขึ้น

$$I_1 = 0.4327565768 \times \text{Read value}_1 - 218.1093147072 \quad (17)$$

$$I_2 = 0.8541777502 \times \text{Read value}_2 - 652.5918011528 \quad (18)$$

โดยที่

I_1 คือ กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน current sensor ชั้นที่ 1 (Ampere)

I_2 คือ กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน current sensor ชั้นที่ 2 (Ampere)

Read value_1 คือ ค่าที่อ่านได้จาก current sensor ชั้นที่ 1

Read value_2 คือ ค่าที่อ่านได้จาก current sensor ชั้นที่ 2

ภาคผนวก ง ข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองค่ากำลังจำเพาะของยานพาหนะ

รูปแบบข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์เก็บข้อมูล GPS Logger และ Current sensor

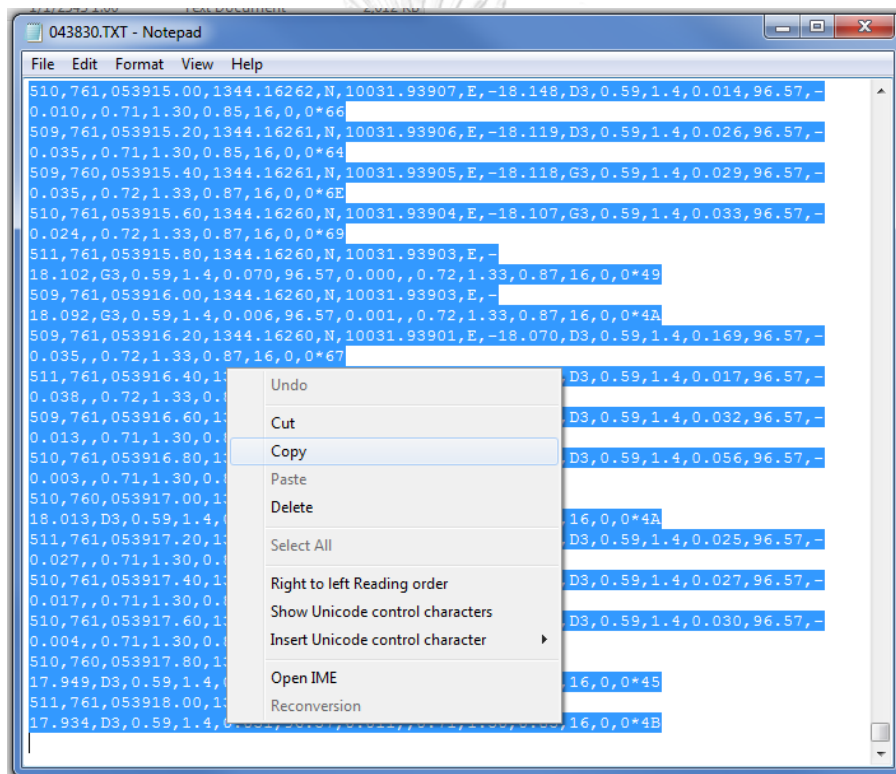
อุปกรณ์ GPS Logger จะประกอบไปด้วย GPS antenna และ GPS Module โดยมีข้อมูลจำเพาะดังแสดงในตารางที่ 15 รูปแบบข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์ GPS logger จะเป็นข้อมูลเวลามาตรฐานสากล (Greenwich Mean Time: GMT) และความเร็วยานที่มีความละเอียด 0.001 กม./ชม. ส่วนข้อมูลกระแสไฟฟ้าที่อ่านได้จาก current sensor ทั้ง 2 ชั้น จะเป็นค่า Read value ซึ่งมีหน่วยเป็น $\frac{5}{1,023}$ V และมีความละเอียด $1 \times \frac{5}{1,023}$ V ข้อมูลดังกล่าวจะเป็นข้อมูลในรูปแบบเรียลไทม์ที่บันทึกด้วยความถี่ 5 Hz และบันทึกในหน่วยความจำภายนอกของอุปกรณ์ (Secure Digital Card: SD Card) ใน 1 ไฟล์ตลอดเวลาที่มีการจ่ายไฟเลี้ยงให้กับอุปกรณ์ และจะสิ้นสุดการบันทึกข้อมูลใน 1 ไฟล์เมื่อไม่มีการจ่ายไฟเลี้ยงให้กับอุปกรณ์ ด้วยหน่วยความจำภายนอกดังกล่าวทำให้สามารถถ่ายโอนไฟล์ข้อมูลสู่คอมพิวเตอร์ได้โดยตรง รูปแบบไฟล์ที่ได้จะเป็นไฟล์สกุล .txt ที่มีชื่อไฟล์เป็น ชั่วโมง/นาที/วินาที ที่เริ่มบันทึกข้อมูลตามเวลามาตรฐานสากล ดังแสดงในรูปที่ 65

รูปที่ 65 ไฟล์ข้อมูลจาก GPS Logger และ Current sensor

ตารางที่ 15 ข้อมูลจำเพาะของ GPS Logger

	Specifications
GPS Antenna	
Model	ROHS
Receiving frequency range	1574.397~1576.443 MHz
Center Frequency @ -10dB bandwidth	1583~1589 MHz
-10 dB bandwidth	4 MHz
Return loss @ Center frequency	-15 dB
VWSR @ Center frequency	1.5
Polarization Model	Right Hand Circular Polarization
Impedance	50 ohm
Frequency temperature coefficient	20 ppm/°C
GPS Module	
Model	V.KEL VK1612U8M3L
Chipset	u-blox UBX-M8030
Frequency	L1, 1575.42 MHz
Channel	56
Available Baud	1200, 4800, 9600, 19200, 38400, 57600, 112500 bps
Internal ROM	3Mbit of ROM and 2Mbit of RAM
Sensitivity	Tracking: -164 dBm Capturing: -159 dBm
Max height	50 km
Max speed	515 m/s
Max accelerate	4g
Updating frequency	1-10 Hz
A-GPS	Assist Now on-line and off-line
Power supply	3.3 VDC \pm 5%
Backup power	1.8~3.6 VDC
Power consumption	49~55 mA

เพื่อให้มีความสะดวกในการจัดการข้อมูลจึงทำการคัดลอกข้อมูลจากไฟล์ .txt ดังแสดงในรูปที่ 66 แล้ววางในโปรแกรม Microsoft Excel โดยวางในเซลล์ A1 ดังแสดงในรูปที่ 67 จะสังเกตเห็นว่าข้อมูลจะถูกเรียงในแต่ละแถวและแบ่งแยกด้วยเครื่องหมายจุลภาค (,) จึงทำการแยกข้อมูลที่ถูกแบ่งแยกด้วยเครื่องหมายจุลภาคให้อยู่ในหลักที่ต่างกัน เช่นเดียวกับวิธีการจัด Format ของไฟล์ที่ได้จาก GPS Logger ในภาคผนวก ก ขั้นตอนที่ 1-3 แล้วจะได้ข้อมูลเวลาจากข้อมูลในหลัก C ในรูปแบบ ชั่วโมง/นาทีย/วินาที.มิลลิวินาที, ข้อมูลความเร็วจากข้อมูลในหลัก L ในหน่วย กม./ชม. ข้อมูล Read value จาก current sensor ชั้นที่ 1 และ 2 จากข้อมูลในหลัก A และ B ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 68 ข้อมูลดังกล่าวสามารถจัดเก็บในรูปแบบไฟล์ .xlsx ได้เพื่อความสะดวกในการนำไปสร้างแบบจำลองค่ากำลังจำเพาะของยานพาหนะได้ต่อไป



รูปที่ 66 การคัดลอกข้อมูลจากไฟล์ .txt

A1 : X ✓ fx 508,766,043831.00,1344.17417,N,10031.93904,E,7.200,NF,77,161,0.101,0.00,0.002,,31.98,68.29,64.54,4,0,0*13

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	508,766,0	43831.00	1344.17417	N	10031.93904	E	7.200	NF	77,161	0.101	0.00	0.002,,31.98,68.29,64.54,4,0,0*13
2	508,766,0	43831.20	1344.17395	N	10031.93912	E	6.263	NF	72,152	0.040	0.00	0.002,,31.92,68.17,64.43,4,0,0*1F
3	508,766,0	43831.40	1344.17353	N	10031.93925	E	4.458	NF	68,144	0.087	0.00	0.002,,31.87,68.06,64.32,4,0,0*1E
4	508,766,0	43831.60	1344.17327	N	10031.93934	E	3.308	NF	65,137	0.079	0.00	0.001,,31.82,67.94,64.21,4,0,0*12
5	508,765,0	43831.80	1344.17310	N	10031.93939	E	2.611	NF	62,131	0.073	0.00	0.000,,31.76,67.83,64.11,4,0,0*1D
6	508,765,0	43832.00	1344.17289	N	10031.93945	E	1.680	NF	60,126	0.157	0.00	-0.004,,31.71,67.71,64.00,4,0,0*37
7	508,766,0	43832.20	1344.17257	N	10031.93954	E	0.258	NF	58,121	0.211	0.00	-0.004,,31.65,67.60,63.89,4,0,0*38
8	508,766,0	43832.40	1344.17216	N	10031.93966	E	-1.502	NF	56,117	0.043	0.00	-0.001,,31.60,67.48,63.78,4,0,0*14
9	508,766,0	43832.60	1344.17175	N	10031.93979	E	-3.194	NF	54,113	0.130	0.00	0.003,,31.55,67.37,63.68,4,0,0*34
10	508,766,0	43832.80	1344.17151	N	10031.93987	E	-4.233	NF	52,110	0.064	0.00	0.000,,31.50,67.26,63.57,4,0,0*3B
11	508,765,0	43833.00	1344.17127	N	10031.93995	E	-5.224	NF	51,108	0.080	0.00	-0.001,,31.44,67.15,63.46,4,0,0*1E
12	508,766,0	43833.20	1344.17105	N	10031.94003	E	-6.135	NF	50,105	0.123	0.00	-0.002,,31.39,67.03,63.36,4,0,0*10
13	508,765,0	43833.40	1344.17090	N	10031.94008	E	-6.792	NF	48,102	0.042	0.00	-0.002,,31.34,66.92,63.25,4,0,0*15
14	508,766,0	43833.60	1344.17074	N	10031.94012	E	-7.439	NF	47,100	0.095	0.00	-0.001,,31.29,66.81,63.14,4,0,0*1D
15	508,766,0	43833.80	1344.17061	N	10031.94016	E	-7.987	NF	46,98	0.118	0.00	-0.003,,31.23,66.70,63.04,4,0,0*29
16	508,766,0	43834.00	1344.17045	N	10031.94020	E	-8.646	NF	45,96	0.085	0.00	-0.002,,31.18,66.59,62.94,4,0,0*2A
17	508,766,0	43834.20	1344.17030	N	10031.94025	E	-9.281	NF	44,94	0.110	0.00	-0.001,,31.13,66.48,62.83,4,0,0*21
18	508,766,0	43834.40	1344.17013	N	10031.94030	E	-9.974	NF	44,92	0.081	0.00	0.001,,31.08,66.37,62.73,4,0,0*0C
19	508,766,0	43834.60	1344.17003	N	10031.94033	E	-10.412	NF	43,90	0.028	0.00	0.000,,31.03,66.26,62.62,4,0,0*35
20	508,766,0	43834.80	1344.16996	N	10031.94034	E	-10.670	NF	42,89	0.060	0.00	-0.001,,30.98,66.15,62.52,4,0,0*17
21	508,766,0	43835.00	1344.16977	N	10031.94040	E	-11.440	NF	41,88	0.061	0.00	-0.003,,30.93,66.04,62.42,4,0,0*19
22	509,767,0	43835.20	1344.16960	N	10031.94044	E	-12.155	NF	41,86	0.093	0.00	-0.001,,30.88,65.93,62.31,4,0,0*19
23	508,766,0	43835.40	1344.16946	N	10031.94048	E	-12.701	NF	40,85	0.022	0.00	0.000,,30.83,65.82,62.21,4,0,0*3E
24	509,766,0	43835.60	1344.16932	N	10031.94053	E	-13.271	NF	40,84	0.046	0.00	0.001,,30.78,65.72,62.11,4,0,0*3C
25	509,766,0	43835.80	1344.16922	N	10031.94056	E	-13.664	NF	39,83	0.065	0.00	0.001,,30.73,65.61,62.01,4,0,0*36

รูปที่ 67 การวางข้อมูลในโปรแกรม Microsoft Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	508	766	43831	1344.174	N	10031.94	E	7.2	NF	77	161	0.101	
2	508	766	43831.2	1344.174	N	10031.94	E	6.263	NF	72	152	0.04	
3	508	766	43831.4	1344.174	N	10031.94	E	4.458	NF	68	144	0.087	
4	508	766	43831.6	1344.173	N	10031.94	E	3.308	NF	65	137	0.079	
5	508	765	43831.8	1344.173	N	10031.94	E	2.611	NF	62	131	0.073	
6	508	765	43832	1344.173	N	10031.94	E	1.68	NF	60	126	0.157	
7	508	766	43832.2	1344.173	N	10031.94	E	0.258	NF	58	121	0.211	
8	508	766	43832.4	1344.172	N	10031.94	E	-1.502	NF	56	117	0.043	
9	508	766	43832.6	1344.172	N	10031.94	E	-3.194	NF	54	113	0.13	
10	508	766	43832.8	1344.172	N	10031.94	E	-4.233	NF	52	110	0.064	
11	508	765	43833	1344.171	N	10031.94	E	-5.224	NF	51	108	0.08	
12	508	766	43833.2	1344.171	N	10031.94	E	-6.135	NF	50	105	0.123	
13	508	765	43833.4	1344.171	N	10031.94	E	-6.792	NF	48	102	0.042	
14	508	766	43833.6	1344.171	N	10031.94	E	-7.439	NF	47	100	0.095	
15	508	766	43833.8	1344.171	N	10031.94	E	-7.987	NF	46	98	0.118	
16	508	766	43834	1344.17	N	10031.94	E	-8.646	NF	45	96	0.085	
17	508	766	43834.2	1344.17	N	10031.94	E	-9.281	NF	44	94	0.11	
18	508	766	43834.4	1344.17	N	10031.94	E	-9.974	NF	44	92	0.081	
19	508	766	43834.6	1344.17	N	10031.94	E	-10.412	NF	43	90	0.028	
20	508	766	43834.8	1344.17	N	10031.94	E	-10.670	NF	42	89	0.06	
21	508	766	43835	1344.17	N	10031.94	E	-11.44	NF	41	88	0.061	
22	509	767	43835.2	1344.17	N	10031.94	E	-12.155	NF	41	86	0.093	
23	508	766	43835.4	1344.169	N	10031.94	E	-12.701	NF	40	85	0.022	
24	509	766	43835.6	1344.169	N	10031.94	E	-13.271	NF	40	84	0.046	
25	509	766	43835.8	1344.169	N	10031.94	E	-13.664	NF	39	83	0.065	
26	509	767	43836	1344.169	N	10031.94	E	-14.157	NF	39	82	0.09	
27	508	766	43836.2	1344.169	N	10031.94	E	-14.544	NF	38	81	0.088	
28	509	766	43836.4	1344.169	N	10031.94	E	-14.906	NF	38	80	0.155	
29	509	766	43836.6	1344.169	N	10031.94	E	-15.212	NF	38	79	0.12	
30	509	766	43836.8	1344.169	N	10031.94	E	-15.528	NF	37	78	0.105	
31	508	766	43837	1344.169	N	10031.94	E	-15.678	NF	37	78	0.115	
32	508	766	43837.2	1344.169	N	10031.94	E	-15.97	NF	36	77	0.008	
33	509	766	43837.4	1344.169	N	10031.94	E	-16.265	NF	36	76	0.018	
34	509	767	43837.6	1344.168	N	10031.94	E	-16.771	NF	35	75	0.074	
35	509	767	43837.8	1344.168	N	10031.94	E	-17.345	NF	35	74	0.067	
36	509	766	43838	1344.168	N	10031.94	E	-17.976	NF	35	73	0.124	
37	509	767	43838.2	1344.174	N	10031.94	E	5.438	G3	9.1	19	0.254	

รูปที่ 68 รูปแบบข้อมูลจาก GPS Logger และ Current sensor ที่จัด Format แล้ว

สำหรับค่า Read value จะสามารถแปลงให้เป็นค่ากระแสไฟฟ้าได้จากผลการสอบเทียบที่ได้กล่าวไปในภาคผนวก ค จากนั้นจึงคำนวณค่าอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าแบบเรียลไทม์โดย

$$ER = \frac{NV \times (I_1 + I_2)}{3,600} \quad (19)$$

โดยที่

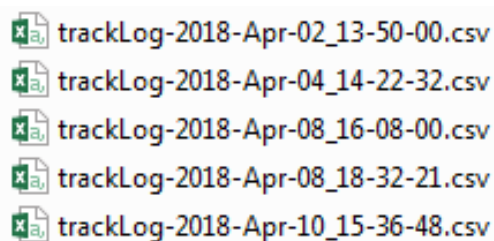
ER	คือ	อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้า (Wh/s)
NV	คือ	Nominal Voltage ของแบตเตอรี่ของรถ (V)
I_1	คือ	กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน current sensor ชั้นที่ 1 (Ampere)
I_2	คือ	กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน current sensor ชั้นที่ 2 (Ampere)

รูปแบบข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์เก็บข้อมูล OBD II

รูปแบบข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์ OBD II (ข้อมูลจำเพาะของอุปกรณ์แสดงในตารางที่ 16) จะเป็นข้อมูลเวลา (GMT +7) และความเร็วที่มีความละเอียด 1 กม./ชม. ส่วนข้อมูลการใช้เชื้อเพลิงจะมีความละเอียด 0.00001 L ข้อมูลดังกล่าวจะเป็นข้อมูลในรูปแบบเรียลไทม์ที่บันทึกด้วยความถี่ 1.4 Hz ส่งผ่านสัญญาณบลูทูธและบันทึกในหน่วยความจำของโทรศัพท์เคลื่อนที่ใน 1 ไฟล์ตลอดเวลาที่มีการเชื่อมต่อสัญญาณบลูทูธ ไฟล์ข้อมูลดังกล่าวสามารถถ่ายโอนจากโทรศัพท์เคลื่อนที่สู่คอมพิวเตอร์ได้โดยตรง รูปแบบไฟล์ที่ได้จะเป็นไฟล์สกุล .csv ที่มีชื่อไฟล์เป็น ปี-เดือน-วันที่_ชั่วโมง-นาที-วินาที ที่เริ่มบันทึกข้อมูล ดังแสดงในรูปที่ 69

ตารางที่ 16 ข้อมูลจำเพาะของอุปกรณ์ OBD II

Model	OBDLink® MX Bluetooth
Interface	Bluetooth
Weight	85.1 g
Dimensions	50*45*23 mm
Operating current	62 mA
Operating voltage	8-18V DC
Operating temperature	-20~55 °C
Maximum Parameter ID (PID) rate	~100 PIDs/second for PC & Android
Supported devices	Android, Windows, Symbian
Applications	Android; OBDLink, Torque Pro, Dash, Harry's Lap Timer Windows; OBDwiz, ScanMaster, OBDAutoDoctor, AutoGaugeX Symbian; OBDScope



รูปที่ 69 ไฟล์ข้อมูลจาก OBD II

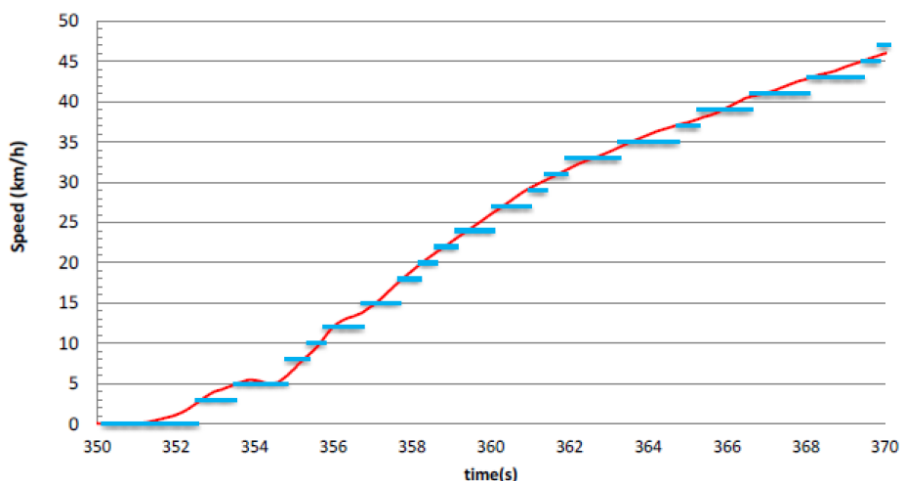
รูปแบบข้อมูลที่ได้จะมี Format ที่เหมาะสมต่อการนำไปสร้างแบบจำลองค่ากำลังจำเพาะของยานพาหนะอยู่แล้ว โดยข้อมูลเวลาที่ใช้ในการประมวลผลจะเป็นข้อมูลเวลา GPS ในหลัก A เพื่อให้สอดคล้องกับเวลาที่ได้จาก GPS Logger, ข้อมูลการใช้เชื้อเพลิงสะสมในหน่วย L จากข้อมูลในหลัก R และข้อมูลความเร็วในหน่วย กม./ชม. จากข้อมูลในหลัก Z ดังแสดงในรูปที่ 70

	A	M	R	Z
51	GPS Time	Engine RPM(rpm)	Fuel used (trip)(l)	Speed (OBD)(km/h)
52	Sun Apr 08 16:08:35 GMT+07:00 2018	3282.5	0.02559	33
53	Sun Apr 08 16:08:36 GMT+07:00 2018	2512	0.03022	46
54	Sun Apr 08 16:08:36 GMT+07:00 2018	2512	0.03022	50
55	Sun Apr 08 16:08:37 GMT+07:00 2018	2286.5	0.03917	50
56	Sun Apr 08 16:08:38 GMT+07:00 2018	2286.5	0.04883	57
57	Sun Apr 08 16:08:39 GMT+07:00 2018	2492	0.04883	62
58	Sun Apr 08 16:08:39 GMT+07:00 2018	2033	0.05415	62
59	Sun Apr 08 16:08:40 GMT+07:00 2018	2053.5	0.05997	67
60	Sun Apr 08 16:08:41 GMT+07:00 2018	1709.5	0.06425	70
61	Sun Apr 08 16:08:41 GMT+07:00 2018	1805	0.06865	73
62	Sun Apr 08 16:08:42 GMT+07:00 2018	1895	0.07352	76
63	Sun Apr 08 16:08:43 GMT+07:00 2018	1955	0.07727	80
64	Sun Apr 08 16:08:43 GMT+07:00 2018	2025.5	0.08211	82
65	Sun Apr 08 16:08:44 GMT+07:00 2018	1714	0.08502	84
66	Sun Apr 08 16:08:45 GMT+07:00 2018	1716.5	0.08793	84
67	Sun Apr 08 16:08:46 GMT+07:00 2018	1724	0.08909	84
68	Sun Apr 08 16:08:46 GMT+07:00 2018	1712	0.09046	84
69	Sun Apr 08 16:08:47 GMT+07:00 2018	1689	0.09071	83
70	Sun Apr 08 16:08:48 GMT+07:00 2018	1676	0.09176	82
71	Sun Apr 08 16:08:48 GMT+07:00 2018	1661.5	0.09305	82

รูปที่ 70 ตัวอย่างข้อมูลจาก OBD II

ภาคผนวก จ การกรองข้อมูลความเร็วจาก OBD

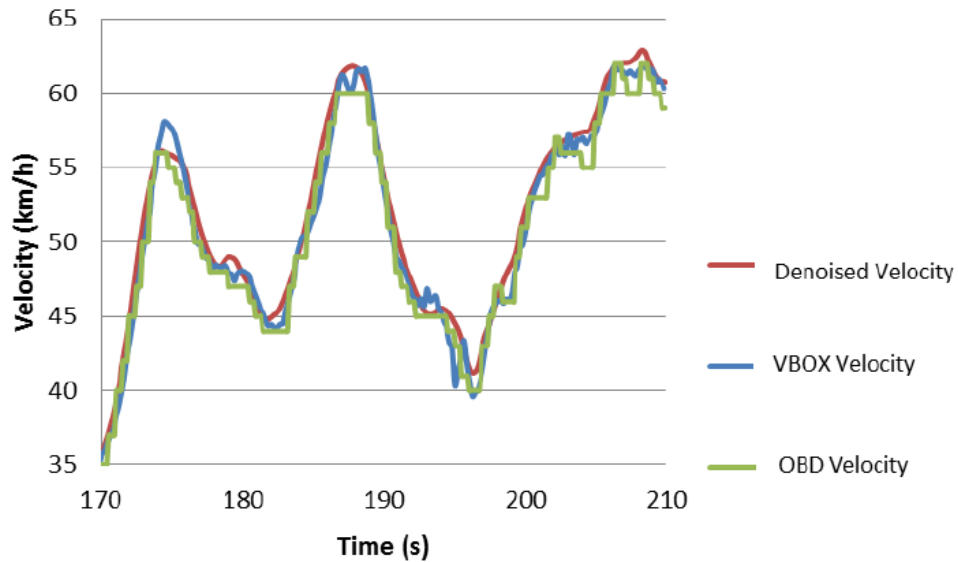
OBD คืออุปกรณ์เก็บข้อมูลการขับขี่ของรถแบบเรียลไทม์ หนึ่งในข้อมูลการขับขี่ที่พิจารณา คือความเร็วของรถ ข้อมูลความเร็วของรถที่อ่านได้จาก OBD จะเป็นลักษณะไม่ต่อเนื่อง (Discrete) ที่มีความละเอียด (Resolution) 1 กม./ชม. ดังแสดงในรูปที่ 71 เปรียบเทียบกับข้อมูลความเร็วจาก GPS Logger [43] ซึ่งเก็บข้อมูลความเร็วของรถในลักษณะต่อเนื่อง (Continuous)



รูปที่ 71 ข้อมูลความเร็วของรถจาก OBD และ GPS [44]

ค่าความเร็วของรถที่อ่านได้จาก OBD ส่งมาจากอุปกรณ์เก็บความเร็วที่ล้อรถ (Wheel Speed Sensor) โดยติดตั้งอยู่ที่ล้อทั้ง 4 [44] ค่าความเร็วที่ข้อมูรถที่อ่านได้จึงอาจมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นในกรณีที่รถเลี้ยวหรือความเร็วของแต่ละล้อมีค่าไม่เท่ากัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการสอบเทียบ (Calibration) โดยหนึ่งในวิธีการที่สามารถลดความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากความเร็วของแต่ละล้อมีค่าไม่เท่ากันได้ คือวิธีการ Wavelet Transform [44] จากการศึกษาวิจัยของ Dadashnialehi A. et al (2012) [44] ที่ศึกษาเกี่ยวกับระบบป้องกันการลื่นของล้อรถยนต์เมื่อทำการเบรก (Anti-lock Brake System) ได้กล่าวไว้ว่าความเร็วของรถถูกคำนวณจากล้อทั้ง 4 ผ่าน ECU โดยการส่งสัญญาณแรงเคลื่อนไฟฟ้าต้านกลับ (Back EMF) ของ In-Wheel Motor และกล่าวถึงวิธีการลดสัญญาณรบกวนด้วยวิธี Wavelet Packet (WP) โดยเริ่มจากการ Decompose สัญญาณที่ต้องการออกเป็นช่วงสัญญาณความถี่สูงและต่ำในแต่ละ Decomposition Levels จากนั้นจึงเลือกค่าสัมประสิทธิ์ที่เหมาะสมเพื่อรวมสัญญาณเข้าด้วยกันจนได้สัญญาณที่ใช้งานได้จริง สำหรับรูปแบบที่เหมาะสมในการใช้งานกับข้อมูลความเร็วรอบของล้อรถคือ Daubechies Family ซึ่งจะเลือกใช้ค่า db โดยพิจารณาจากความเร็วรอบที่ใช้งาน ในงานวิจัยนี้ เลือกใช้ db5 level4 เนื่องจากครอบคลุมช่วงความเร็วรอบที่ใช้งานในรูปแบบการขับขี่ของกรุงเทพมหานคร สำหรับผลจากการปรับปรุงข้อมูลความเร็ว โดยวิธี

Wavelet ดังแสดงในรูปที่ 72 พบว่าสามารถแปลงข้อมูลความเร็วรถที่มีลักษณะไม่ต่อเนื่องให้เป็นลักษณะต่อเนื่องได้อย่างแม่นยำ [45]

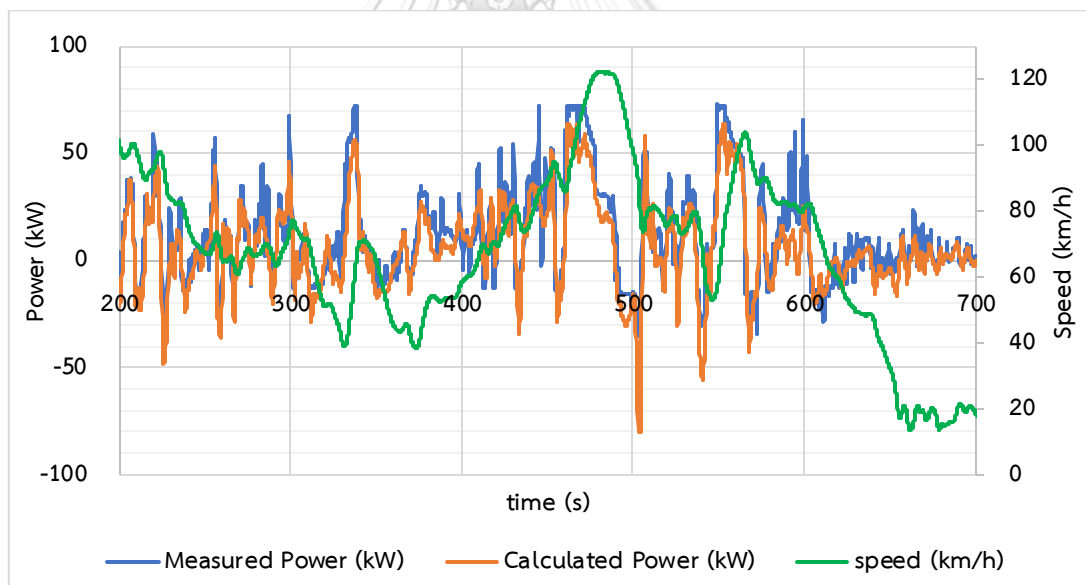


รูปที่ 72 การเปรียบเทียบสัญญาณแรงเคลื่อนไฟฟ้าด้านของความเร็วรอบล้อที่ผ่าน Wavelet Packet (Denoised Velocity) กับสัญญาณอ้างอิง [44]

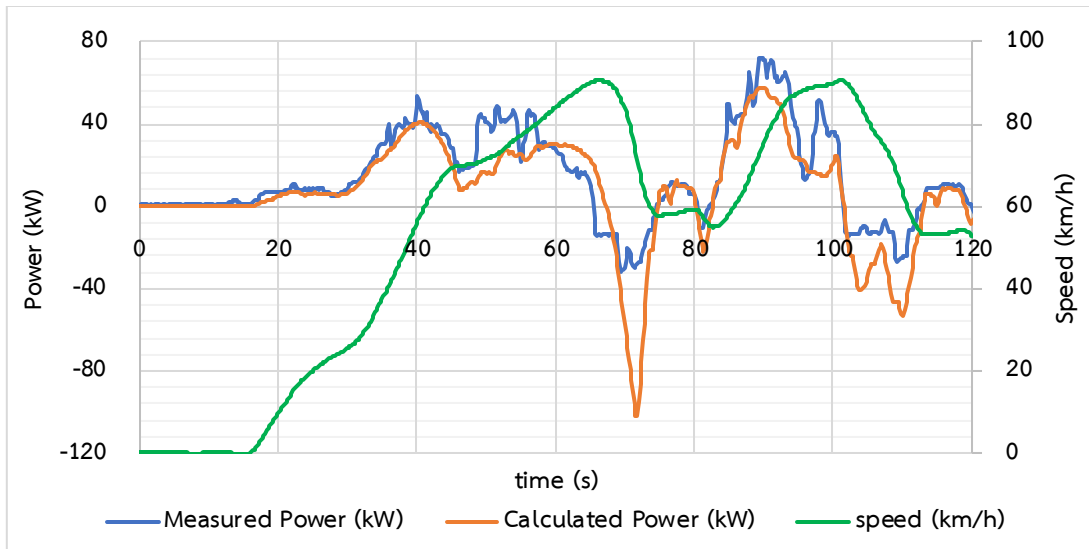
ภาคผนวก ฉ การทดสอบเก็บข้อมูลรถปลั๊กอินไฮบริดเบื้องต้น

การทดสอบเก็บข้อมูลการขับขี่ในโหมด CD

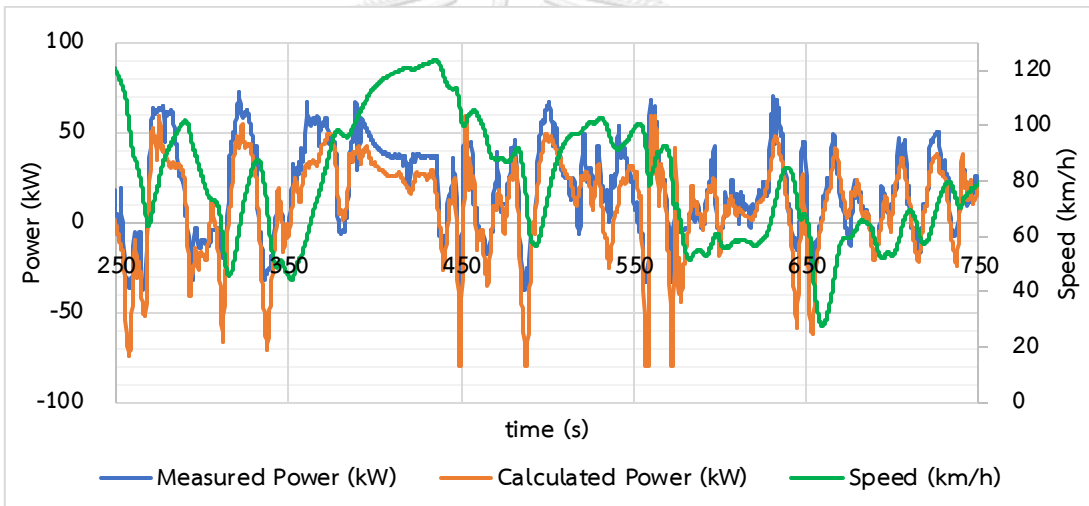
ในการทดสอบเก็บข้อมูลการขับขี่เบื้องต้นในโหมด CD ของรถปลั๊กอินไฮบริดที่ใช้ทดสอบทั้ง 2 รุ่น จะพิจารณาถึงความสอดคล้องระหว่างค่ากำลังไฟฟ้าของระบบขับเคลื่อนรถที่วัดได้และค่ากำลังในการขับเคลื่อนที่ประเมินได้จากแบบจำลองทางพลศาสตร์ยานยนต์ (ค่ากำลังจำเพาะของรถคูณกับมวลของรถ) ในขณะขับขี่ จากรูปที่ 73-รูปที่ 76 แสดงให้เห็นว่าค่ากำลังไฟฟ้าของระบบขับเคลื่อนรถที่วัดได้จาก current sensor มีความสอดคล้องกับค่ากำลังในการขับเคลื่อน แต่ค่ากำลังไฟฟ้าของระบบขับเคลื่อนรถที่วัดได้จะมีค่าสูงกว่าค่ากำลังขับเคลื่อนเล็กน้อย เนื่องจากค่ากำลังขับเคลื่อนเป็นค่าที่คำนวณจากความเร็ว, ความเร่งและมีสมมติฐานที่ละเว้นความเร็วลมและความชันของถนน จึงเปรียบเสมือนค่าในอุดมคติ (Ideal Value) ส่วนค่ากำลังไฟฟ้าคือค่าที่คำนวณจากพลังงานไฟฟ้าที่ใช้จริงและอาจมีการสูญเสียพลังงานไปกับแรงเสียดทานในระบบขับเคลื่อนของรถ จึงเปรียบเสมือนค่าจริง (True Value) ในส่วนการทดสอบเก็บข้อมูลเบื้องต้นในส่วนนี้ทำให้ยืนยันได้ว่าอุปกรณ์ current sensor มีความแม่นยำและน่าเชื่อถือ



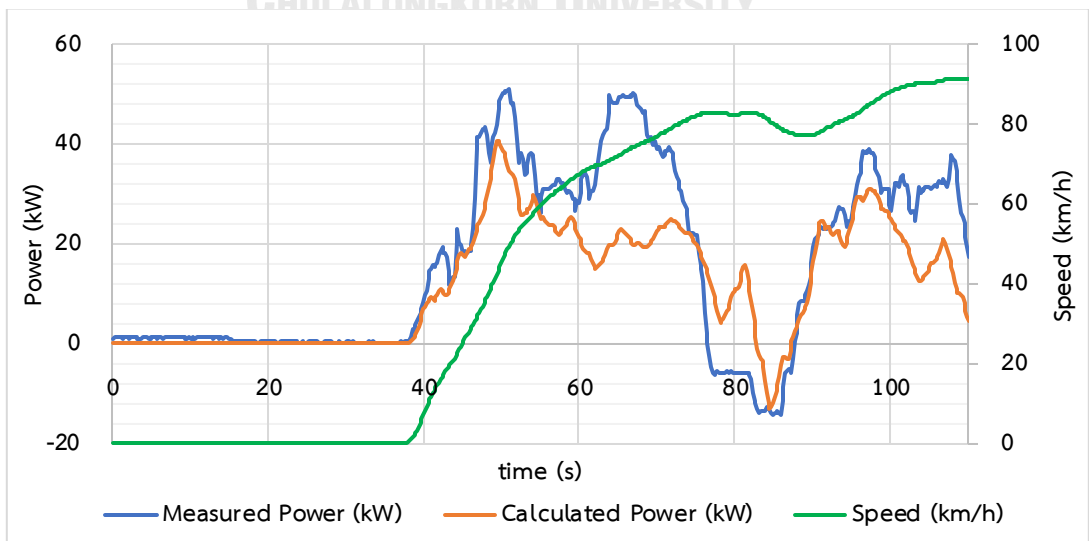
รูปที่ 73 ค่ากำลังทางไฟฟ้าและค่ากำลังในการขับเคลื่อนของ PHEV1



รูปที่ 74 ค่ากำลังทางไฟฟ้าและค่ากำลังในการขับเคลื่อนของ PHEV1 ในช่วงเริ่มต้นการขับขี่



รูปที่ 75 ค่ากำลังทางไฟฟ้าและค่ากำลังในการขับเคลื่อนของ PHEV2



รูปที่ 76 ค่ากำลังทางไฟฟ้าและค่ากำลังในการขับเคลื่อนของ PHEV2 ในช่วงเริ่มต้นการขับขี่

นอกจากนี้ยังสามารถทดสอบความแม่นยำและน่าเชื่อถือของอุปกรณ์ current sensor ได้จากการวัดค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ไปจากการขับซึ่งรถโดยเริ่มต้นที่ระดับพลังงานไฟฟ้าเต็ม (100%SOC) ซึ่งอ่านได้จากหน้าจอแสดงผลของรถ จนระดับพลังงานไฟฟ้าลดลงถึงระดับหนึ่ง และทำการชาร์จไฟฟ้าให้กับรถจากระดับพลังงานไฟฟ้าที่เหลือจนกระทั่งระดับพลังงานไฟฟ้าเต็ม จากนั้นจึงเปรียบเทียบระหว่างค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ไปซึ่งคำนวณจากค่าที่อ่านได้จาก current sensor และค่าพลังงานไฟฟ้าที่ชาร์จซึ่งอ่านได้จากวัตต์มิเตอร์ และในกรณีของ PHEV1 จะสามารถอ่านค่าพลังงานไฟฟ้าที่ชาร์จซึ่งคำนวณจากค่าที่อ่านได้จาก current sensor ได้ด้วย เนื่องจากยังคงมีการจ่ายไฟเลี้ยงกระแสตรง 12V ให้กับอยู่แม้ว่าในขณะที่ชาร์จไฟฟ้าจะต้องดับระบบของรถก็ตาม โดยผลการเปรียบเทียบแสดงในตารางที่ 17 และตารางที่ 18 พบว่าค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้และชาร์จที่อ่านได้จาก current sensor (ในกรณีของ PHEV1) มีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย (1.0%-1.7%) แต่เมื่อเปรียบเทียบกับค่าพลังงานไฟฟ้าที่ชาร์จที่อ่านได้จากวัตต์มิเตอร์ พบว่าค่าจากวัตต์มิเตอร์มีค่าสูงกว่าค่าที่คำนวณได้จาก current sensor อยู่ 5.8%-9.3% ในกรณี PHEV1 และ 5.4%-7.0% ในกรณี PHEV2 ทั้งนี้อธิบายได้ว่าตำแหน่งที่ทำการติดตั้งคล็อง current sensor เป็นการวัดค่ากระแสที่ไหลผ่านโมดูลแบตเตอรี่โดยตรง แต่กระแสที่ไหลผ่านหัวชาร์จไฟฟ้าจะมีทั้งกระแสที่ไหลผ่านโมดูลแบตเตอรี่และกระแสที่ไหลสู่ระบบหล่อเย็นในขณะที่ชาร์จไฟฟ้าให้กับรถ ทำให้ค่าพลังงานไฟฟ้าที่อ่านได้จากวัตต์มิเตอร์มีค่าสูงกว่า นอกจากนี้ยังสามารถทดสอบความแม่นยำและน่าเชื่อถือของอุปกรณ์ current sensor ได้โดยเปรียบเทียบระหว่างค่าขนาดความจุของแบตเตอรี่ที่ใช้ได้จริงที่ผู้ผลิตอ้างอิงและค่าขนาดความจุของแบตเตอรี่ที่คำนวณจากค่าที่อ่านได้จาก current sensor ในการคำนวณค่าขนาดความจุของแบตเตอรี่จะอ้างอิงจาก %SOC ที่หน้าจอแสดงผล (display) ของรถ สำหรับ PHEV1 จะมีช่วงของ %SOC อยู่ที่ 100% - 0% และสำหรับ PHEV2 จะมีช่วงของ %SOC อยู่ที่ 100% - 10% ช่วงดังกล่าวคือช่วงที่รถสามารถขับขึ้นในโหมด CD โดยใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ที่ใช้ได้จริงนั่นเอง ด้วยเหตุที่ช่วง %SOC ของรถปลั๊กอินไฮบริดมีความแตกต่างกันนี้จึงมีสมการในการคำนวณค่าขนาดความจุของแบตเตอรี่แตกต่างกันไปด้วย โดยสมการที่ (20) และสมการที่ (21) คือการคำนวณค่าขนาดความจุของแบตเตอรี่ของ PHEV1 และ PHEV2 ตามลำดับ

$$BC = \frac{100}{100 - SOC_L} \times EU \quad (20)$$

$$BC = \frac{90}{100 - SOC_L} \times EU \quad (21)$$

โดยที่

BC คือ ขนาดความจุของแบตเตอรี่ (kWh)

EU คือ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (kWh)

SOC_L คือ พลังงานไฟฟ้าที่เหลือ (%SOC)

ซึ่งผลการเปรียบเทียบแสดงในตารางที่ 17 และตารางที่ 18 เช่นกัน โดยพบว่าขนาดความจุแบตเตอรี่ที่คำนวณจากค่าที่อ่านได้จาก current sensor มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ผู้ผลิตอ้างอิงโดยมีความแตกต่างเพียง 0.4%-4.4% เท่านั้น ดังนั้นการทดสอบนี้จึงช่วยยืนยันได้อีกว่าอุปกรณ์ current sensor มีความแม่นยำและน่าเชื่อถือ ในงานวิจัยนี้จะเลือกใช้ค่าเฉลี่ยของขนาดความจุแบตเตอรี่ที่คำนวณ 2 ครั้งในแต่ละรุ่นของรถปลั๊กอินไฮบริดที่ใช้ทดสอบ คือ 5.66 kWh สำหรับ PHEV1 และ 4.82 kWh สำหรับ PHEV2 เพื่อใช้ในการคำนวณระยะ CD ของรถปลั๊กอินไฮบริดทั้ง 2 รุ่น

ตารางที่ 17 การเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าที่ใช้และชาร์จของ PHEV1

display	current sensor			วัตต์มิเตอร์		ความจุแบตเตอรี่ (kWh)		
พลังงานไฟฟ้าที่เหลือ (%SOC)	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (kWh)	พลังงานไฟฟ้าที่ชาร์จ (kWh)	Error (%)	พลังงานไฟฟ้าที่ชาร์จ (kWh)	Error (%)	ค่าอ้างอิง	คำนวณจากการใช้	Error (%)
9	5.17	5.22	1.0	5.47	5.8	5.7	5.68	0.4
20	4.50	4.58	1.7	4.92	9.3		5.63	1.2

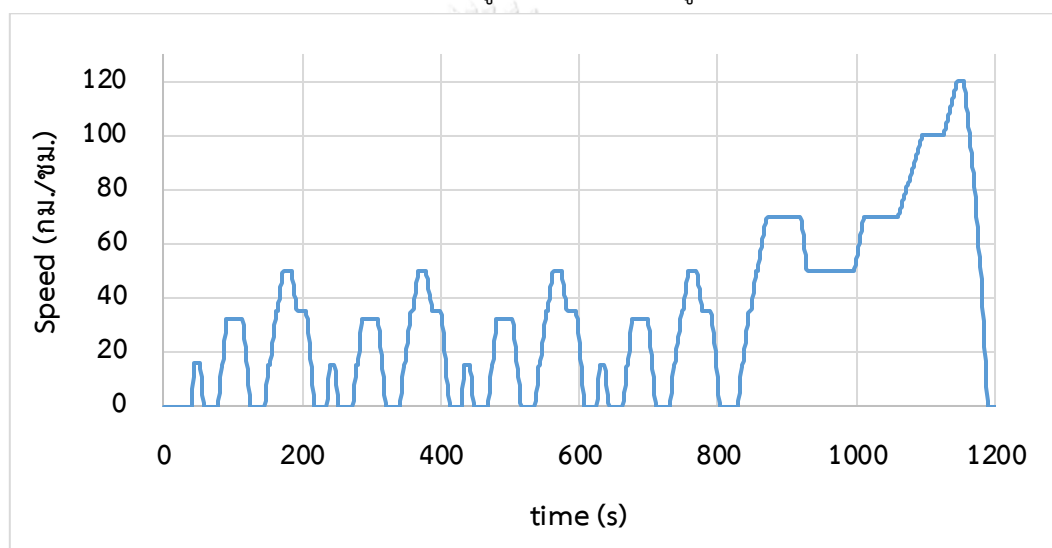
ตารางที่ 18 การเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าที่ใช้และชาร์จของ PHEV2

display	current sensor	วัตต์มิเตอร์	Error (%)	ความจุแบตเตอรี่ (kWh)		
พลังงานไฟฟ้าที่เหลือ (%SOC)	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (kWh)	พลังงานไฟฟ้าที่ชาร์จ (kWh)		ค่าอ้างอิง	คำนวณจากการใช้	Error (%)
10	4.78	5.04	5.4	5.0	4.78	4.4
13	4.69	5.02	7.0		4.85	3.0

ภาคผนวก ข วัฏจักรการขับขี่มาตรฐาน

NEDC (New European Driving Cycle)

วัฏจักรการขับขี่ NEDC เป็นวัฏจักรการขับขี่ที่มักใช้ในการวัดระดับการปล่อยมลพิษและการใช้พลังงานของรถส่วนบุคคล โดยเฉพาะในภาคพื้นทวีปยุโรป รูปแบบการขับขี่ในวัฏจักร NEDC จะประกอบด้วยรูปแบบการขับขี่แบบในเมือง (Urban) 4 รอบ และแบบในเมือง-พิเศษ (Extra-urban) อีก 1 รอบ โดยทดสอบขับขี่รถบน Dynamometer ที่อุณหภูมิ 20-30 องศาเซลเซียส, สภาพถนนเรียบ, ไม่มีความเร็วลมและไม่มีการทำงานของเครื่องปรับอากาศ สำหรับข้อมูลความเร็ว-เวลาของวัฏจักรการขับขี่ NEDC จะมีความถี่ 1 Hz และมีรูปแบบดังแสดงในรูปที่ 77



รูปที่ 77 รูปแบบการขับขี่ของวัฏจักรการขับขี่ NEDC

EPA Combined

การใช้พลังงานและการปล่อยมลพิษของรถในวัฏจักรการขับขี่ EPA Combined มักจะใช้อ้างอิงในภาคพื้นทวีปอเมริกา รูปแบบการขับขี่ในวัฏจักร EPA Combined จะประกอบด้วยรูปแบบการขับขี่แบบในเมือง (City) เป็นระยะทาง 55% ของระยะทางขับขี่ และแบบทางหลวง (Highway) เป็นระยะทาง 45% ของระยะทางขับขี่ การคำนวณการใช้พลังงานและการปล่อยมลพิษของรูปแบบการขับขี่แบบในเมืองและทางหลวงจะคำนวณจากค่าที่วัดได้จากการขับขี่ในวัฏจักรการขับขี่ UDSS (Urban Dynamometer Driving Schedule: FTP72) และ HWFET (Highway Fuel Economy Test) ตามลำดับ ซึ่งค่าการใช้พลังงานที่วัดได้จากสองวัฏจักรการขับขี่นี้จะต้องผ่านการ Derived ด้วยค่าสัมประสิทธิ์และค่าคงที่ ซึ่งมาจากการปรับแต่งสภาวะการขับขี่ ด้วยการขับขี่แบบ Aggressive, การขับขี่ที่มีการเปิดเครื่องปรับอากาศและการขับขี่ในอุณหภูมิต่ำ สำหรับสมการในการ Derived ค่า

การใช้พลังงานของรถรุ่นที่ผลิตหลังปี ค.ศ. 2011 ในวัฏจักรการขับขี่ UDSS และ HWFET เพื่อให้ได้ค่าการใช้พลังงานของรูปแบบการขับขี่แบบในเมืองและทางหลวง และสมการในการหาค่าการใช้พลังงานในวัฏจักรการขับขี่ EPA Combined แสดงในสมการที่ (22)-(24) ตามลำดับ สำหรับข้อมูลความเร็ว-เวลาของวัฏจักรการขับขี่ UDSS และ HWFET จะมีความถี่ 1 Hz และมีรูปแบบดังแสดงในรูปที่ 78-รูปที่ 79 ตามลำดับ

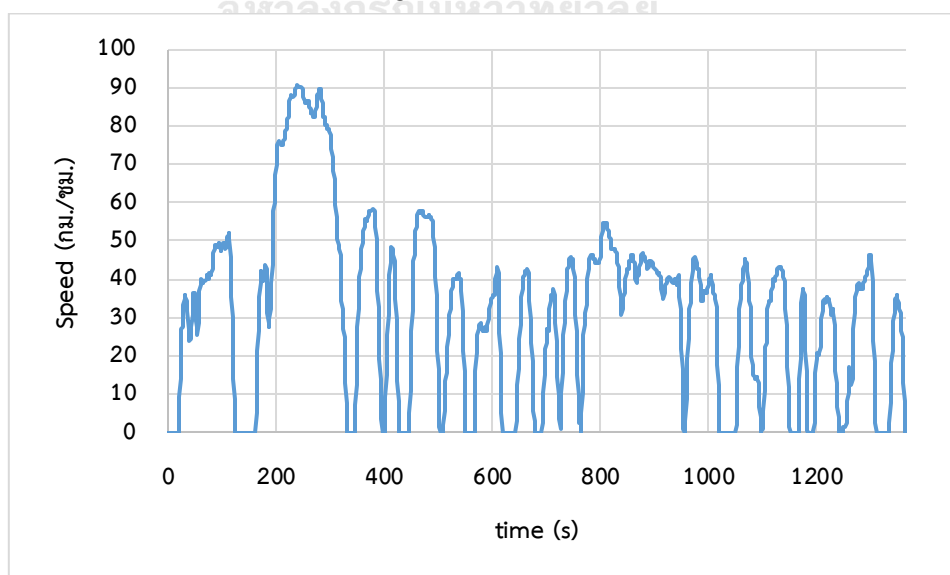
$$\text{City}_{\text{MPG}} = \frac{1}{0.003259 + \frac{1.1805}{\text{UDSS}_{\text{MPG}}}} \quad (22)$$

$$\text{Highway}_{\text{MPG}} = \frac{1}{0.001376 + \frac{1.3466}{\text{HWFET}_{\text{MPG}}}} \quad (23)$$

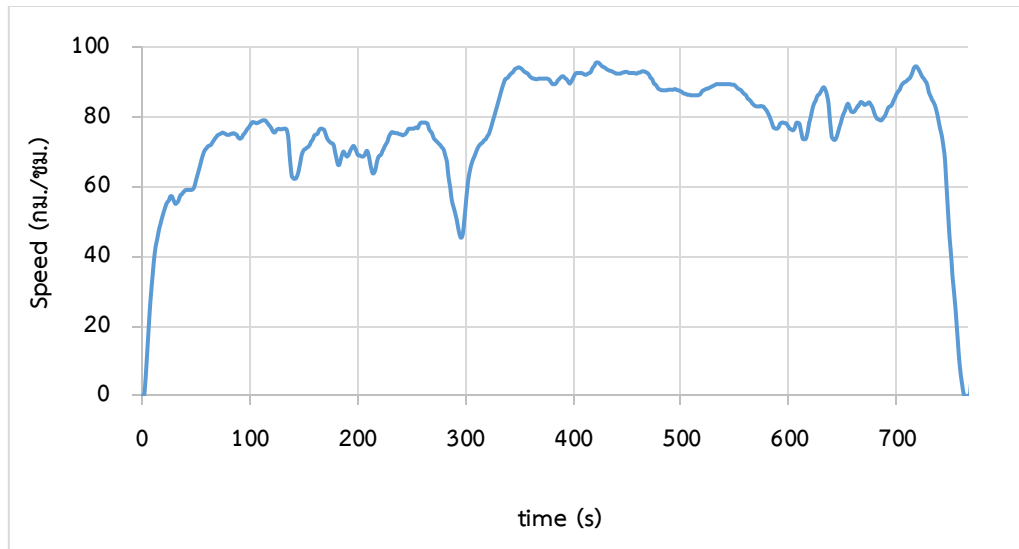
$$\text{EPA}_{\text{MPG}} = \frac{1}{\frac{0.55}{\text{City}_{\text{MPG}}} + \frac{0.45}{\text{Highway}_{\text{MPG}}}} \quad (24)$$

โดยที่

UDSS_{MPG}	คือ	การใช้พลังงานของรถในวัฏจักรการขับขี่ UDSS (mile/gallon)
$\text{HWFET}_{\text{MPG}}$	คือ	การใช้พลังงานของรถในวัฏจักรการขับขี่ HWFET (mile/gallon)
City_{MPG}	คือ	การใช้พลังงานของรถในรูปแบบการขับขี่แบบในเมือง (mile/gallon)
$\text{Highway}_{\text{MPG}}$	คือ	การใช้พลังงานของรถในรูปแบบการขับขี่แบบทางหลวง (mile/gallon)
EPA_{MPG}	คือ	การใช้พลังงานของรถในวัฏจักรการขับขี่ EPA Combined (mile/gallon)



รูปที่ 78 รูปแบบการขับขี่ของวัฏจักรการขับขี่ UDSS



รูปที่ 79 รูปแบบการขับขี่ของวัฏจักรการขับขี่ HWFET



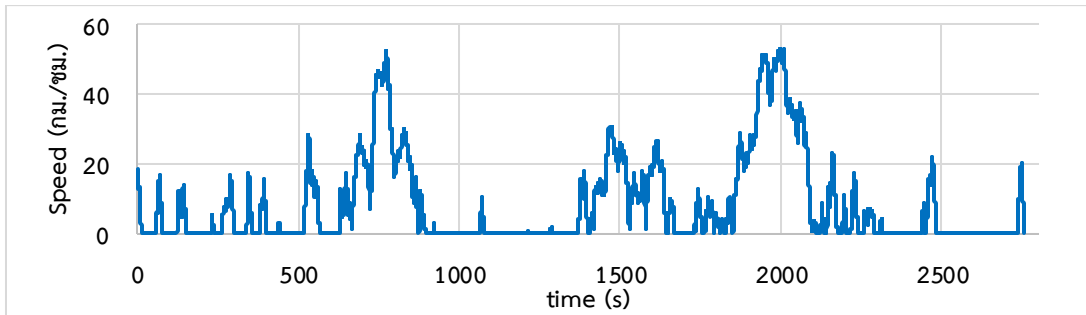
ภาคผนวก ข รูปแบบการขับขี่ของกรุงเทพมหานคร

รูปแบบการขับขี่ของกรุงเทพมหานครทั้ง 20 รูปแบบจากงานวิจัยของ Jatusittangkul 2017 เป็นข้อมูลความเร็ว(กม./ชม.)-เวลา(s) ของรถจากอุปกรณ์ GPS Logger ความถี่ 5 Hz ที่เก็บข้อมูลจากอาสาสมัครผู้ขับรถส่วนบุคคลในเส้นทางต่างๆ ของกรุงเทพมหานคร จากนั้นจึงเลือกชุดข้อมูลที่มีระยะทางการขับขี่ 6 กม.ขึ้นไป และมีค่าความเร็วเฉลี่ยในช่วง 5-10, 10-15,..., 95-100, และมากกว่า 100 กม./ชม. เพื่อเป็นตัวแทนของรูปแบบการขับขี่ที่มีความเร็วเฉลี่ยดังกล่าว ข้อมูลการขับขี่ของรูปแบบการขับขี่ทั้ง 20 รูปแบบแสดงในตารางที่ 19 และข้อมูลความเร็ว-เวลาของรูปแบบการขับขี่ทั้ง 20 รูปแบบ แสดงในรูปที่ 80-รูปที่ 99

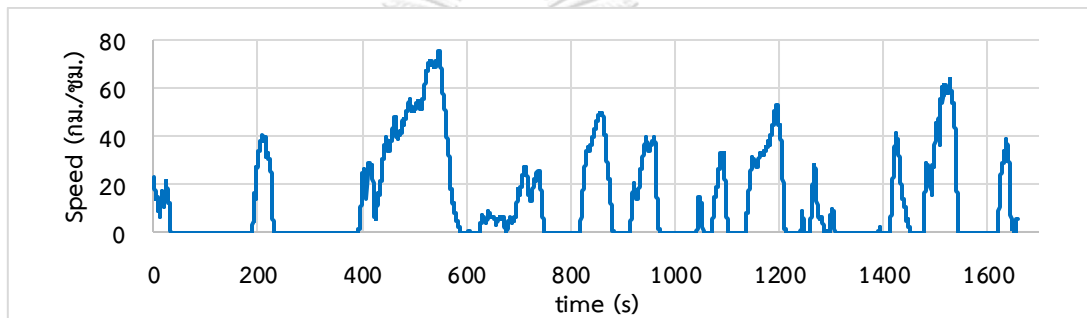
ตารางที่ 19 ข้อมูลของรูปแบบการขับขี่ของกรุงเทพมหานครเบื้องต้น

รูปแบบการขับขี่	ช่วงความเร็วเฉลี่ย (กม./ชม.)	ความเร็วเฉลี่ย (กม./ชม.)	ระยะทาง (กม.)
1	5-10	8.1	6.2
2	10-15	13.0	6.0
3	15-20	17.9	8.2
4	20-25	23.2	6.0
5	25-30	28.4	10.7
6	30-35	33.5	6.1
7	35-40	38.1	6.0
8	40-45	43.1	5.9
9	45-50	47.6	6.2
10	50-55	54.5	6.1
11	55-60	58.0	6.0
12	60-65	64.1	6.1
13	65-70	68.6	5.8
14	70-75	73.1	6.2
15	75-80	77.1	6.5
16	80-85	83.6	10.1
17	85-90	89.2	6.0
18	90-95	92.9	6.0

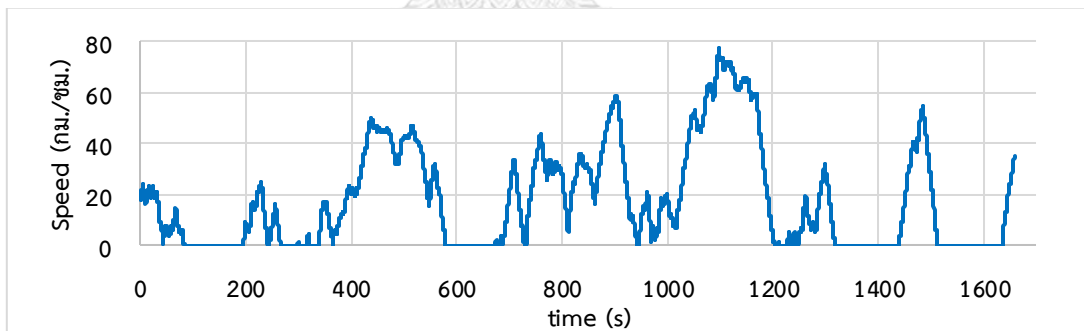
19	95-100	97.0	7.4
20	>100	124.9	6.2



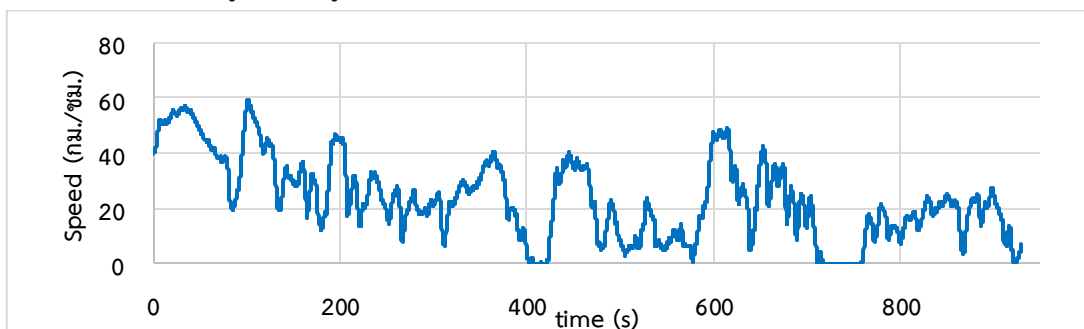
รูปที่ 80 รูปแบบการขับขี่ที่มีความเร็วเฉลี่ย 5-10 กม./ชม.



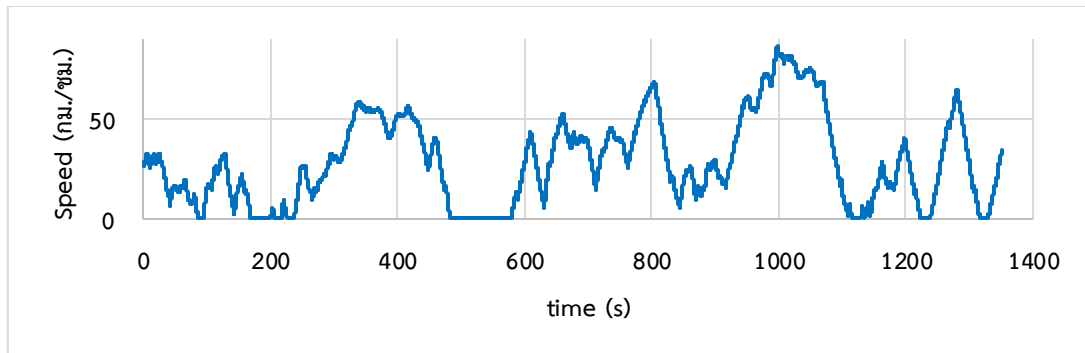
รูปที่ 81 รูปแบบการขับขี่ที่มีความเร็วเฉลี่ย 10-15 กม./ชม.



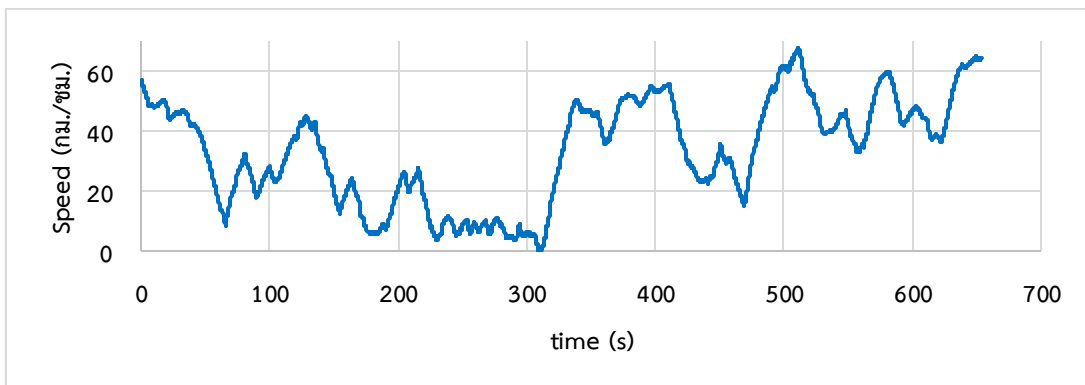
รูปที่ 82 รูปแบบการขับขี่ที่มีความเร็วเฉลี่ย 15-20 กม./ชม.



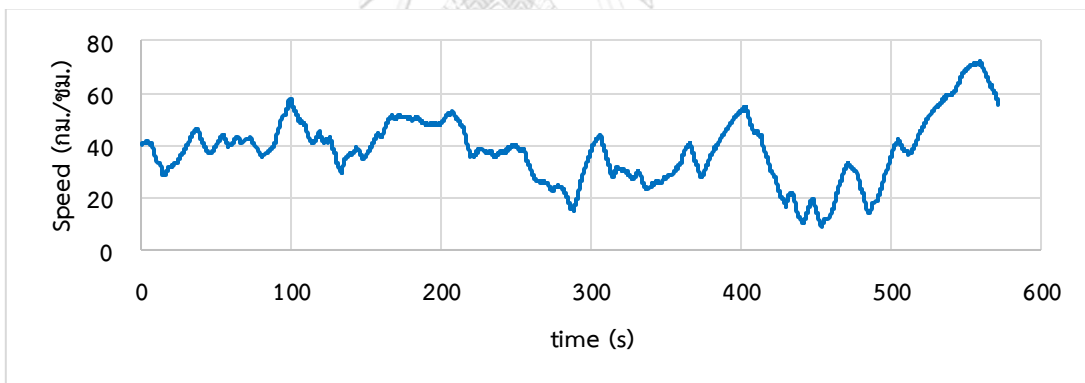
รูปที่ 83 รูปแบบการขับขี่ที่มีความเร็วเฉลี่ย 20-25 กม./ชม.



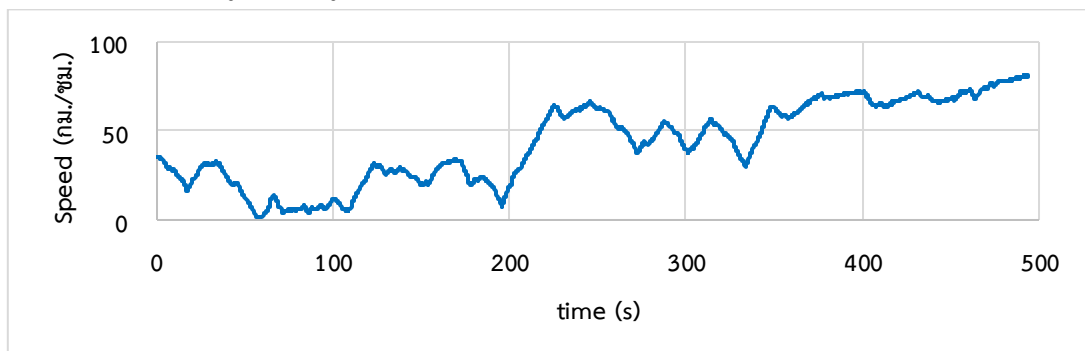
รูปที่ 84 รูปแบบการขับซี้ที่มีความเร็วเฉลี่ย 25-30 กม./ชม.



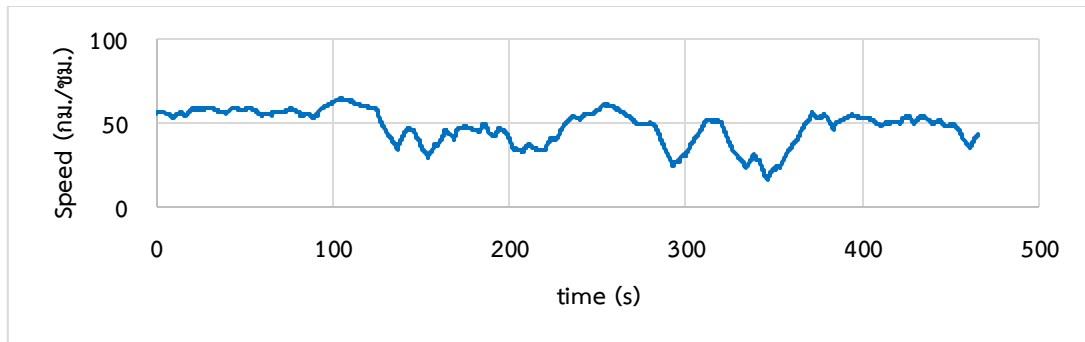
รูปที่ 85 รูปแบบการขับซี้ที่มีความเร็วเฉลี่ย 30-35 กม./ชม.



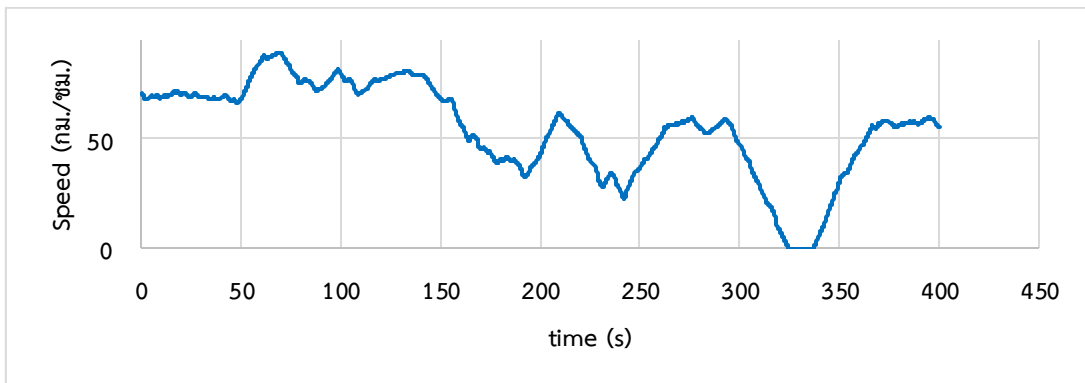
รูปที่ 86 รูปแบบการขับซี้ที่มีความเร็วเฉลี่ย 35-40 กม./ชม.



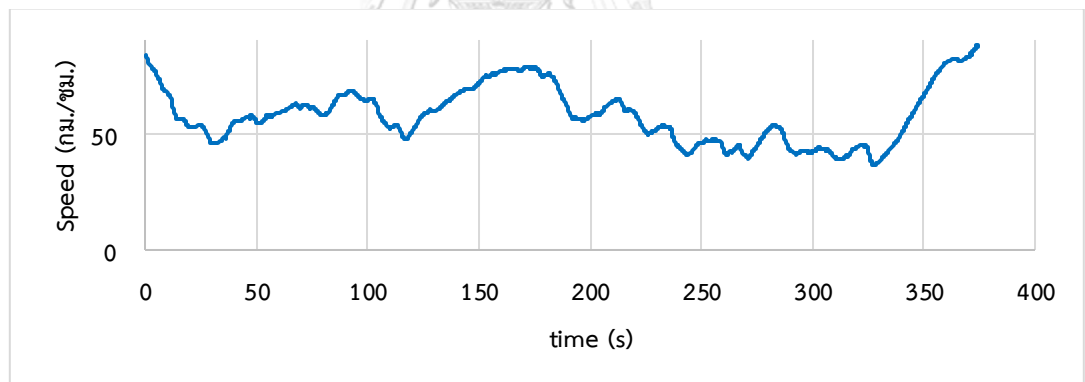
รูปที่ 87 รูปแบบการขับซี้ที่มีความเร็วเฉลี่ย 40-45 กม./ชม.



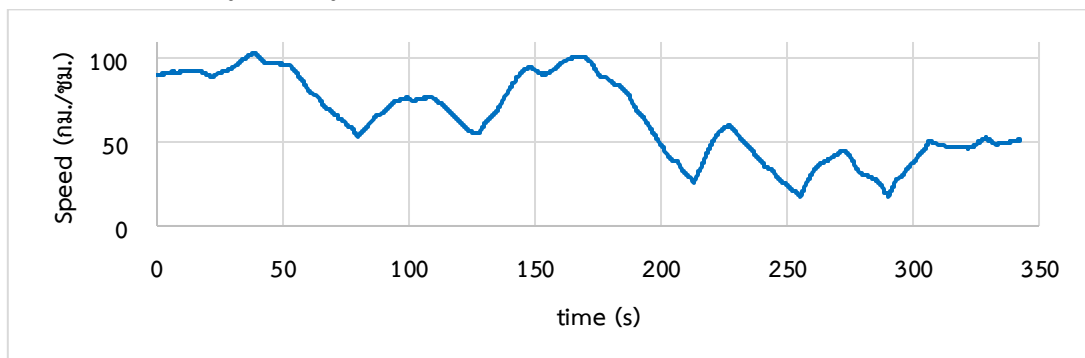
รูปที่ 88 รูปแบบการขับขี่ที่มีความเร็วเฉลี่ย 45-50 กม./ชม.



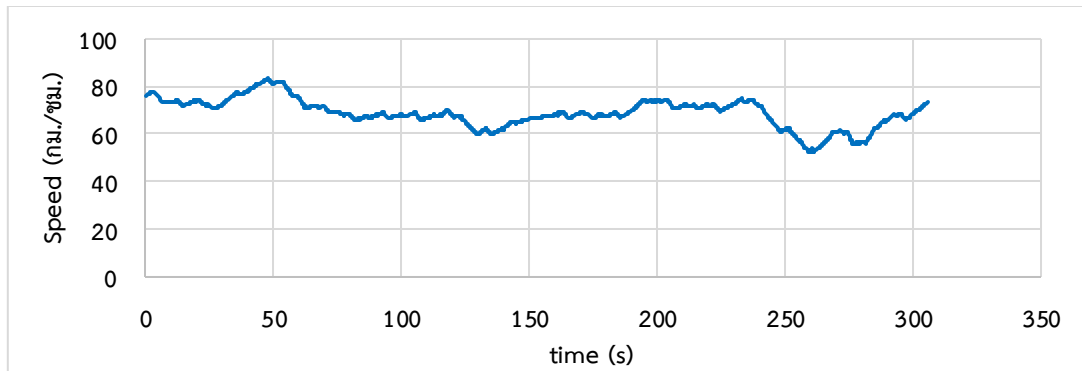
รูปที่ 89 รูปแบบการขับขี่ที่มีความเร็วเฉลี่ย 50-55 กม./ชม.



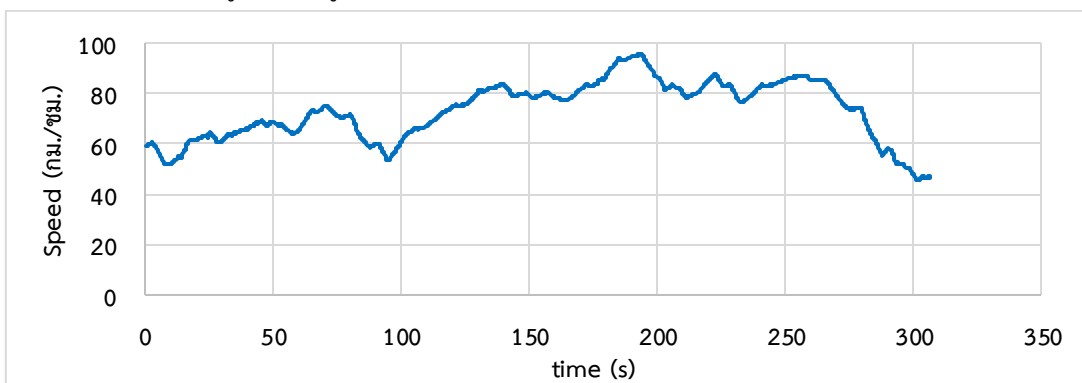
รูปที่ 90 รูปแบบการขับขี่ที่มีความเร็วเฉลี่ย 55-60 กม./ชม.



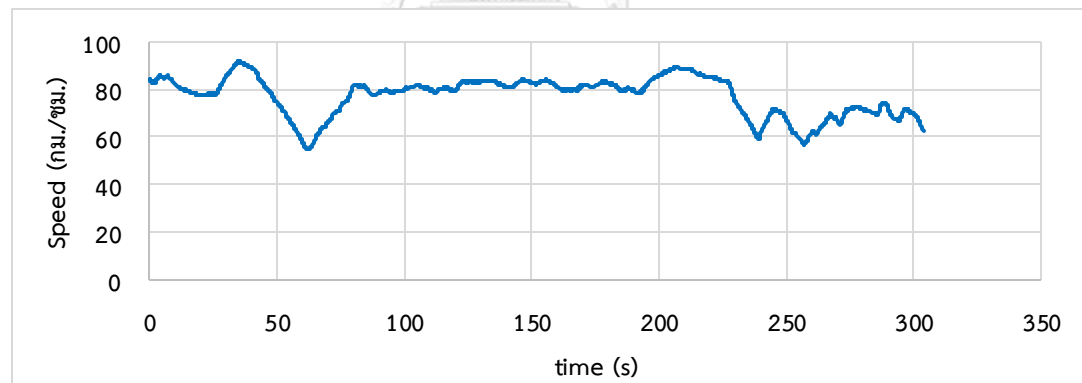
รูปที่ 91 รูปแบบการขับขี่ที่มีความเร็วเฉลี่ย 60-65 กม./ชม.



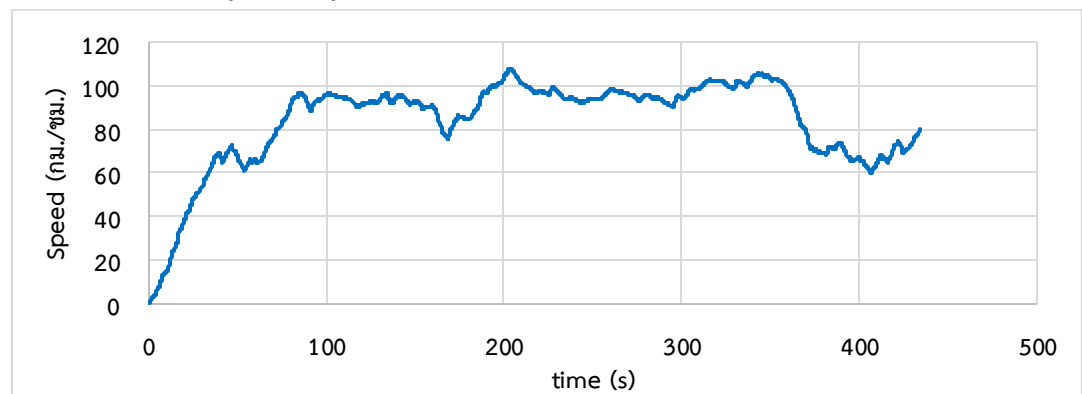
รูปที่ 92 รูปแบบการขับซี้ที่มีความเร็วเฉลี่ย 65-70 กม./ชม.



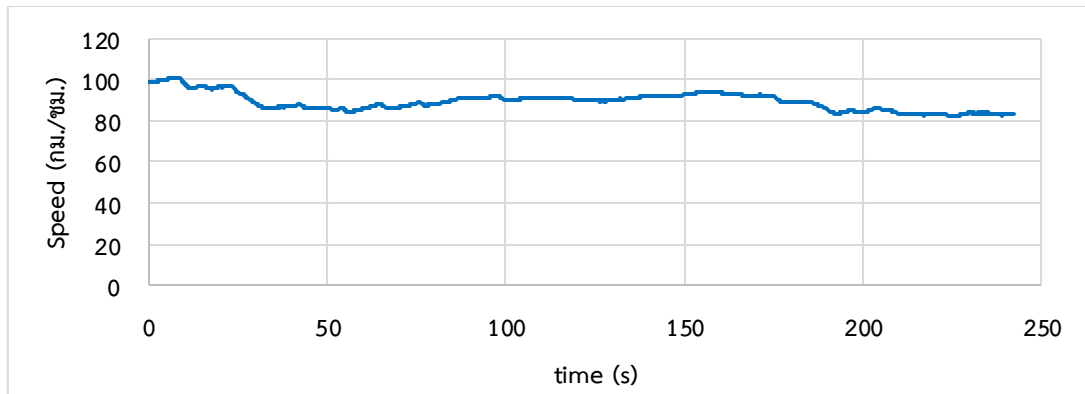
รูปที่ 93 รูปแบบการขับซี้ที่มีความเร็วเฉลี่ย 70-75 กม./ชม.



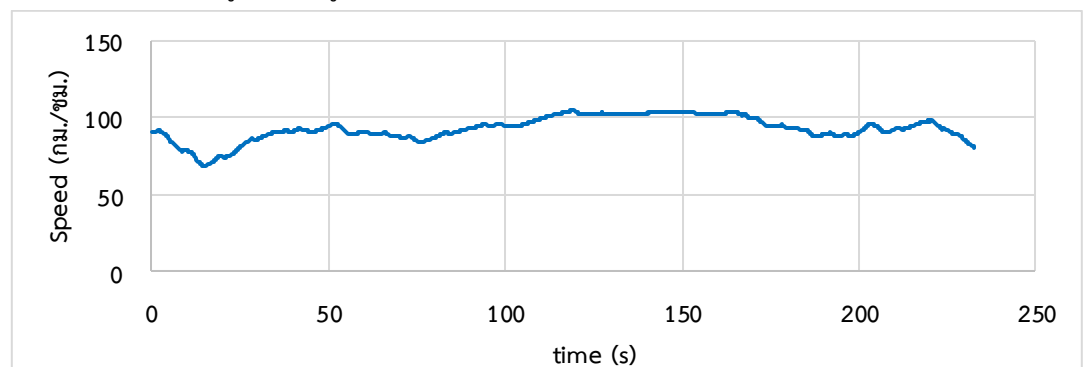
รูปที่ 94 รูปแบบการขับซี้ที่มีความเร็วเฉลี่ย 75-80 กม./ชม.



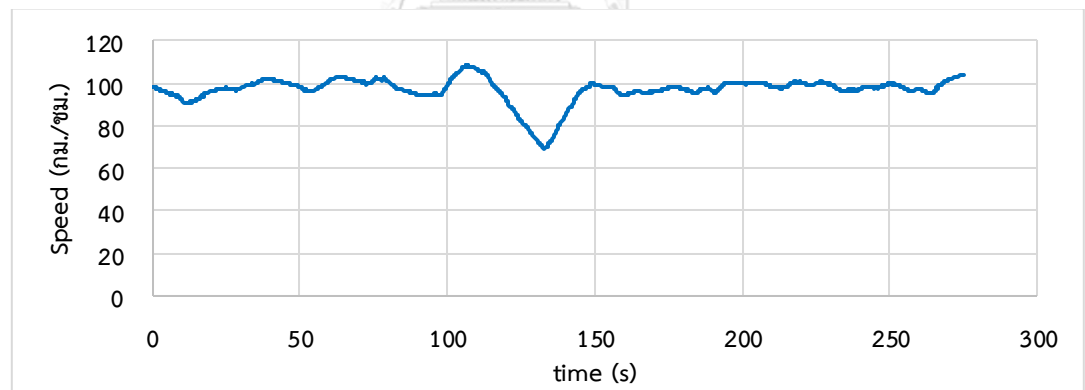
รูปที่ 95 รูปแบบการขับซี้ที่มีความเร็วเฉลี่ย 80-85 กม./ชม.



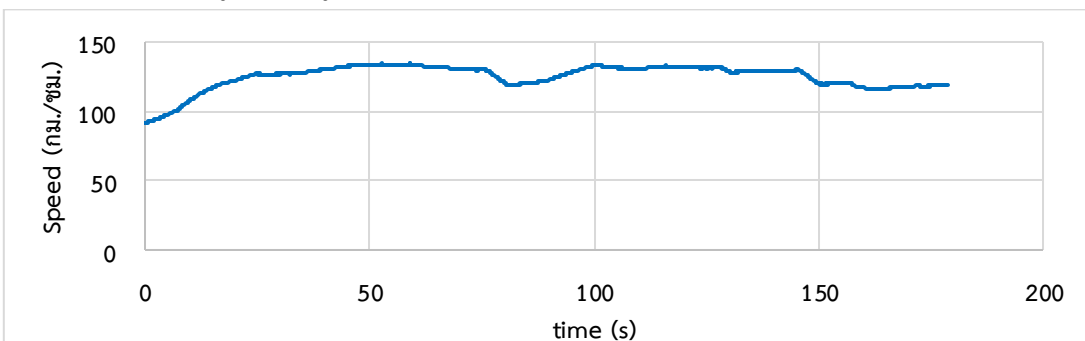
รูปที่ 96 รูปแบบการขับซึ่ที่มีความเร็วเฉลี่ย 85-90 กม./ชม.



รูปที่ 97 รูปแบบการขับซึ่ที่มีความเร็วเฉลี่ย 90-95 กม./ชม.



รูปที่ 98 รูปแบบการขับซึ่ที่มีความเร็วเฉลี่ย 95-100 กม./ชม.



รูปที่ 99 รูปแบบการขับซึ่ที่มีความเร็วเฉลี่ยมากกว่า 100 กม./ชม.

ภาคผนวก ฅ ข้อมูลการจราจรของกรุงเทพมหานคร

ข้อมูลการจราจรที่ใช้ในงานวิจัยนี้ประกอบไปด้วยจำนวนรถ ความเร็วเฉลี่ยและระยะทางของถนนแต่ละเส้นในกรุงเทพมหานคร โดยมีแหล่งที่มาของข้อมูลดังต่อไปนี้

จำนวนรถบนถนนแต่ละเส้น

แหล่งที่มาของข้อมูลจำนวนรถบนถนนแต่ละเส้นได้จากสำนักการจราจรและขนส่ง กรุงเทพมหานคร [46] และกรมทางหลวง [47] แบ่งเป็น 3 ช่วงเวลาคือเร่งด่วนเช้า (7:00-9:00 น.) นอกเร่งด่วน (9:00-16:00 น.) และเร่งด่วนเย็น (16:00-19:00 น.) ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 100

ปริมาณจราจรบริเวณทางแยกในเขตกรุงเทพมหานคร ประจำเดือนมีนาคม 2560

ลำดับที่	ชื่อทางแยก วัน / เดือน / ปี	ถนน/ซอย	ช่วงเวลา	ประเภทรถ (คัน)						ปริมาณรวม (คัน)	
				รถยนต์นั่ง	ตู้/บัส	มอเตอร์ไซค์	รถจักรยานยนต์	รถบรรทุก	สามล้อ	แต่ละช่วงเวลา	รวมทั้งแยก
6	สุขุมวิท 11 (8 มี.ค. 60)	ช.สุขุมวิท 11	เร่งด่วนเช้า (7.00 - 9.00 น.)	311	85	-	-	-	7	494	37,444
			นอกเร่งด่วน (9.00 - 16.00 น.)	1,108	284	-	-	7	80	1,479	
			เร่งด่วนเย็น (16.00 - 19.00 น.)	413	97	-	1	2	39	552	
		สุขุมวิท	เร่งด่วนเช้า (7.00 - 9.00 น.)	4,250	1,242	120	3	11	74	5,700	
			นอกเร่งด่วน (9.00 - 16.00 น.)	15,834	4,779	426	11	164	271	21,095	
			เร่งด่วนเย็น (16.00 - 19.00 น.)	6,407	1,543	80	10	52	123	8,224	
7	สุขุมวิท 22 (8 มี.ค. 60)	ช.สุขุมวิท 22	เร่งด่วนเช้า (7.00 - 9.00 น.)	393	129	8	-	42	4	581	31,539
			นอกเร่งด่วน (9.00 - 16.00 น.)	1,755	614	19	-	58	34	2,480	
			เร่งด่วนเย็น (16.00 - 19.00 น.)	659	272	11	-	13	20	975	
		สุขุมวิท	เร่งด่วนเช้า (7.00 - 9.00 น.)	3,861	1,084	175	7	17	24	5,159	
			นอกเร่งด่วน (9.00 - 16.00 น.)	10,579	3,635	551	27	143	118	15,053	
			เร่งด่วนเย็น (16.00 - 19.00 น.)	5,250	1,678	261	17	26	40	7,281	
8	สะพานเหลือง (9 มี.ค. 60)	พระรามที่ 4	เร่งด่วนเช้า (7.00 - 9.00 น.)	2,275	1,514	169	11	36	101	8,906	57,061
			นอกเร่งด่วน (9.00 - 16.00 น.)	20,460	5,566	538	52	299	399	27,311	
			เร่งด่วนเย็น (16.00 - 19.00 น.)	8,882	2,467	245	18	31	165	11,809	
		ช.พระยาพิชัยวงศ์	เร่งด่วนเช้า (7.00 - 9.00 น.)	61	10	-	-	1	2	74	
			นอกเร่งด่วน (9.00 - 16.00 น.)	144	52	-	-	6	28	230	
			เร่งด่วนเย็น (16.00 - 19.00 น.)	58	26	-	-	-	7	89	
บรรทัดทอง	เร่งด่วนเช้า (7.00 - 9.00 น.)	900	289	45	-	13	35	1,282			
	นอกเร่งด่วน (9.00 - 16.00 น.)	3,390	1,955	81	-	69	82	5,580			
	เร่งด่วนเย็น (16.00 - 19.00 น.)	1,125	599	12	-	7	9	1,720			
9	เอกมัยเหนือ (10 มี.ค. 60)	เอกมัย	เร่งด่วนเช้า (7.00 - 9.00 น.)	971	130	31	-	5	2	1,139	55,754
			นอกเร่งด่วน (9.00 - 16.00 น.)	2,001	662	98	-	39	32	2,830	
			เร่งด่วนเย็น (16.00 - 19.00 น.)	956	239	37	-	8	12	1,252	
		เพชรบุรี	เร่งด่วนเช้า (7.00 - 9.00 น.)	7,308	1,876	157	2	70	27	9,440	
			นอกเร่งด่วน (9.00 - 16.00 น.)	21,748	7,006	536	6	583	108	29,985	
			เร่งด่วนเย็น (16.00 - 19.00 น.)	9,381	2,408	151	1	135	32	12,108	

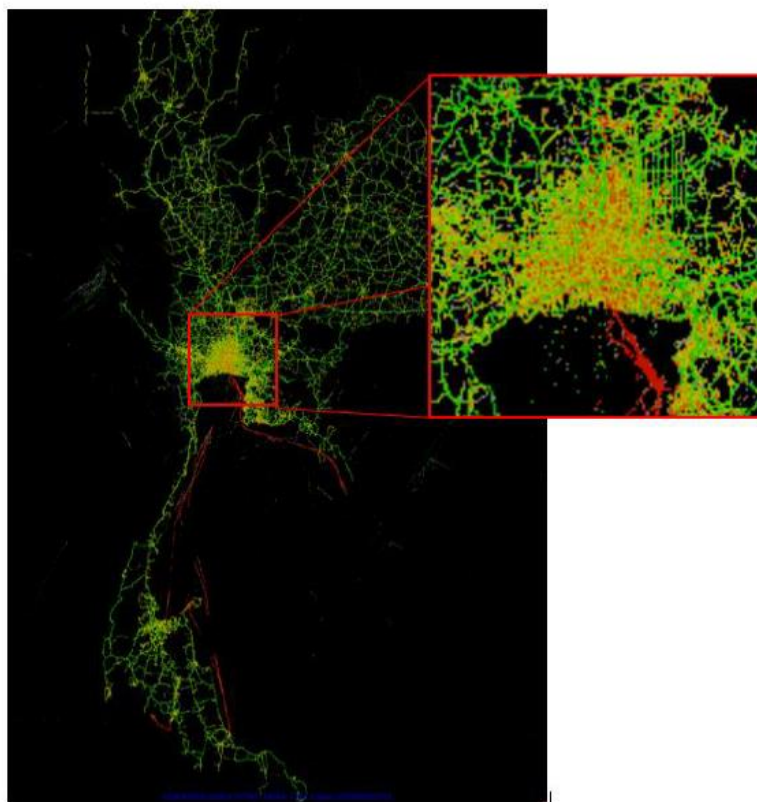
แหล่งข้อมูล : กองนโยบายและแผนงาน สำนักการจราจรและขนส่ง

รูปที่ 100 ตัวอย่างข้อมูลจำนวนรถจากสำนักการจราจรและขนส่ง กรุงเทพมหานคร [46]

ความเร็วเฉลี่ยของรถบนถนนแต่ละเส้น

แหล่งที่มาของข้อมูลความเร็วเฉลี่ยของรถบนถนนแต่ละเส้นได้จากมูลนิธิศูนย์ข้อมูลจราจรอัจฉริยะไทย (Intelligent Traffic Information Center Foundation: iTIC) [48] ที่มีหลักการคือติดตั้งเซนเซอร์วัดความเร็วของรถที่แต่ละช่วงของถนนเส้นหนึ่ง และนำข้อมูลความเร็วของรถในทุกๆ ช่วงมาหาค่าเฉลี่ยจึงได้เป็นความเร็วเฉลี่ยของรถบนถนนเส้นนั้นๆ โดยจะแบ่งคำนวณค่าความเร็วเฉลี่ยในช่วงเวลาที่ต่างกัน เนื่องจากช่วงเวลาที่แตกต่างกันอาจทำให้ความเร็วของรถบนถนนเส้นหนึ่งแตกต่างกันไปด้วย [5, 20] และเพื่อให้สอดคล้องกับข้อมูลจำนวนรถบนถนนแต่ละเส้นจึงแบ่งช่วงความเร็วเฉลี่ยออกเป็น 3 ช่วงเวลาคือเร่งด่วนเช้า (7:00-9:00 น.) นอกเร่งด่วน (9:00-16:00 น.) และ

เร่งด่วนเย็น (16:00-19:00 น.) เช่นเดียวกัน โดยจะใช้ข้อมูลเฉพาะวันจันทร์-ศุกร์ ในช่วงเวลา 5 เดือน ตั้งแต่วันที่ 16 มกราคม-17 มิถุนายน พ.ศ. 2560 รูปที่ 101 แสดงตำแหน่งที่ทำการวัดความเร็วของรถบนถนนในประเทศไทยของมูลนิธิศูนย์ข้อมูลจราจรอัจฉริยะไทย จะเห็นได้ว่าตำแหน่งที่ทำการเก็บความเร็วนั้นจะมีความหนาแน่นสูงในพื้นที่กรุงเทพมหานคร โดยครอบคลุมเส้นทางในกรุงเทพมหานครมากกว่า 80% [20]



รูปที่ 101 ตำแหน่งวัดความเร็วของรถบนถนนในประเทศไทยของมูลนิธิศูนย์ข้อมูลจราจรอัจฉริยะไทย [48]

ระยะทางของถนนแต่ละเส้น

ข้อมูลระยะทางของถนนแต่ละเส้นหาได้จากการระบุตำแหน่งของถนนบนแผนที่ผ่าน Google Map และคำนวณระยะทางของถนนด้วยค่าละติจูดและลองจิจูด โดยถนนในกรุงเทพมหานครที่ต้องการทราบระยะทาง จะเลือกพิจารณาเฉพาะถนนที่มีทั้งข้อมูลจำนวนและความเร็วเฉลี่ยควบคู่กันเท่านั้น สำหรับถนนในกรุงเทพมหานครที่มีทั้งข้อมูลจำนวนและความเร็วเฉลี่ยของรถมีจำนวนทั้งหมด 67 เส้นทาง เป็นระยะทาง 752.5 กม. ซึ่งคิดเป็น 65.98% ของระยะทางรวมของถนนในกรุงเทพมหานครที่มีระยะทาง 1,140.5 กม. [20] ดังแสดงในรูปที่ 102 นอกจากนี้ ถนนทั้ง 67 เส้นทางยังครอบคลุมทุกประเภทของถนน ดังแสดงในตารางที่ 20



รูปที่ 102 เส้นทางของถนนในกรุงเทพมหานครที่มีข้อมูลจำนวนและความเร็วเฉลี่ยของรถ [20]

ตารางที่ 20 จำนวนถนนในแต่ละประเภทถนน

จำนวนถนน (เส้นทาง)			
ในเมือง	ชานเมือง	ทางหลวง	ทางด่วน
29	7	28	3

ภาคผนวก ญ อัตราส่วนจำนวนรถคุณระยะทางในแต่ละรูปแบบการขับขี

จากข้อมูลความเร็วเฉลี่ยของรถบนถนนแต่ละเส้นในแต่ละช่วงเวลาในภาคผนวก ฉ ทำให้สามารถระบุได้ว่าถนนเส้นนั้นๆ ในช่วงเวลาหนึ่งจะมีรูปแบบการขับขีแบบใดจาก 20 รูปแบบการขับขีในภาคผนวก จ จากนั้นจึงนำจำนวนรถคุณระยะทางบนถนนแต่ละเส้นในแต่ละช่วงเวลาและนำผลดังกล่าวของถนนทุกเส้นในแต่ละช่วงเวลาจัดว่ามีรูปแบบการขับขีเดียวกันมาหาผลรวม จึงได้เป็นจำนวนรถคุณระยะทางของรูปแบบการขับขีนั้นๆ ดังแสดงตัวอย่างในตารางที่ 21 จากนั้นจึงหาอัตราส่วนระหว่างจำนวนรถคุณระยะทางของแต่ละรูปแบบการขับขีต่อผลรวมของจำนวนรถคุณระยะทางของทุกรูปแบบการขับขีดังแสดงตัวอย่างในตารางที่ 22



ตารางที่ 21 ตัวอย่างการจำแนกรูปแบบการขับขี่ของถนนแต่ละเส้นในแต่ละช่วงเวลา

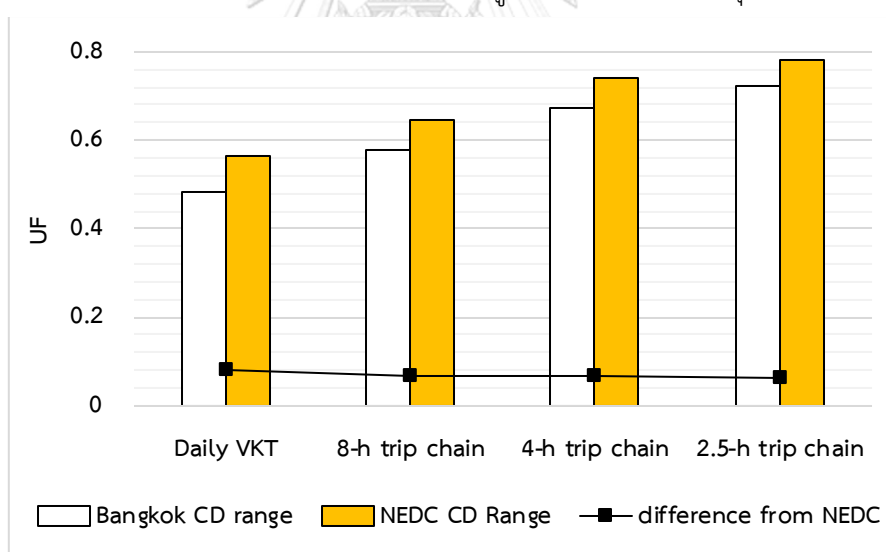
รูปแบบการขับขี่ (กม./ชม.)	ชื่อถนน	ช่วงเวลา	ความเร็วเฉลี่ย (กม./ชม.)	จำนวนรถ (คัน)	ระยะทาง (กม.)	ระยะทางคูณจำนวนรถ (กม.-คัน)
5-10	ราชสีมา	EP	7.1	1052	5.4	5692.1
	ผลรวมของรูปแบบการขับขี่				1052	5.4
10-15	ประชาสงเคราะห์	NP	11.1	1118	7.0	7830.4
	ประชาสงเคราะห์	EP	13.7	1167	7.0	8173.6
	ผลรวมของรูปแบบการขับขี่				2285	14.0
15-20	ราชสีมา	NP	19.7	1386	5.4	7499.3
	พิชณูโลก	MP	19.5	5932	9.8	57952.1
	พิชณูโลก	NP	15.8	5589	9.8	54601.2
	พิชณูโลก	EP	15.3	5560	9.8	54317.9
	ประชาสงเคราะห์	MP	17.0	1274	7.0	8923.0
	ผลรวมของรูปแบบการขับขี่				18355	41.7
20-25	ราชสีมา	MP	22.1	1458	5.4	7888.9
	ผลรวมของรูปแบบการขับขี่				1458	5.4
ผลรวมทุกรูปแบบการขับขี่				23150	66.6	212878.5

ตารางที่ 22 ตัวอย่างอัตราส่วนในแต่ละรูปแบบการขับขี่ต่อผลรวมทุกรูปแบบการขับขี่

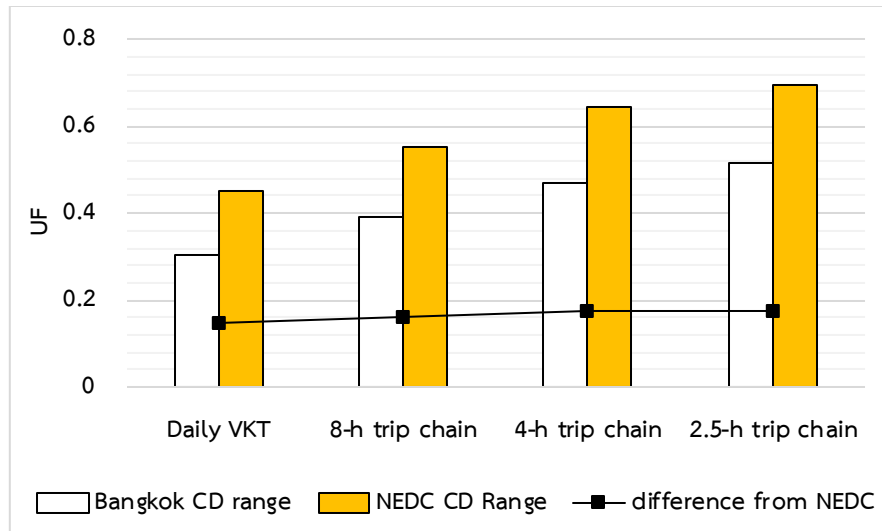
รูปแบบการขับขี่ (กม./ชม.)	อัตราส่วนในแต่ละรูปแบบการขับขี่ต่อผลรวมทุกรูปแบบการขับขี่		
	จำนวนรถ	ระยะทาง	จำนวนรถคูณระยะทาง
5-10	0.045	0.081	0.027
10-15	0.099	0.21	0.075
15-20	0.793	0.627	0.861
20-25	0.063	0.081	0.037

ภาคผนวก ก ผลของระยะ CD ที่มีต่อค่า UF และการใช้พลังงาน

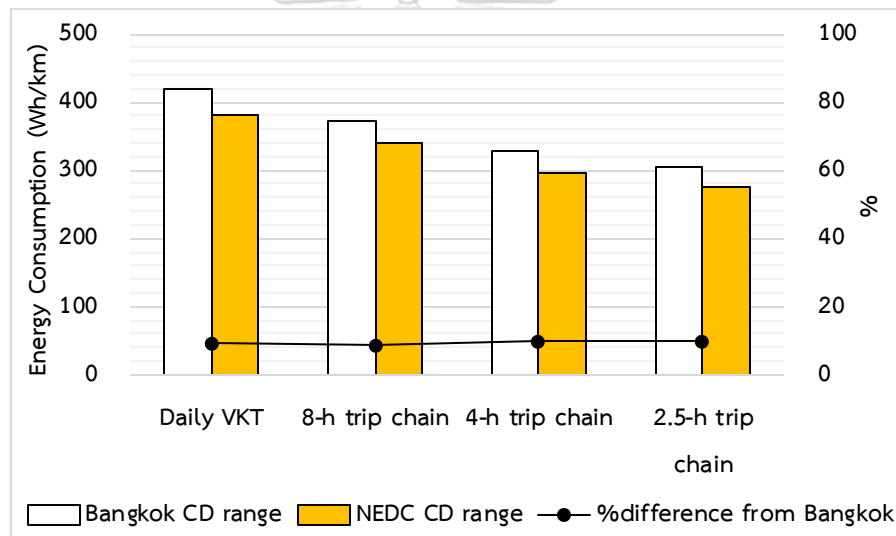
เพื่อยืนยันคำกล่าวที่ว่าระยะ CD ที่ผู้ผลิตอ้างอิง ไม่สามารถใช้อ้างอิงได้กับรูปแบบการขับขี่ของกรุงเทพมหานคร ในงานวิจัยนี้จึงได้เปรียบเทียบค่า UF ที่ระยะ CD ของการขับขี่ในรูปแบบการขับขี่ของกรุงเทพมหานครและค่า UF ที่ระยะ CD ของการขับขี่ในวัฏจักรการขับขี่ NEDC ที่ผู้ผลิตใช้อ้างอิงสำหรับรถปลั๊กอินไฮบริดทั้ง 2 รุ่น ใน 4 สมมติฐาน พบว่าค่า UF ที่ระยะ CD ของการขับขี่ในวัฏจักรการขับขี่ NEDC ที่ผู้ผลิตใช้อ้างอิงจะมีค่าต่ำกว่าค่า UF ระยะ CD ของการขับขี่ในรูปแบบการขับขี่ของกรุงเทพมหานคร ในช่วง 0.06-0.08 สำหรับ PHEV1 ดังแสดงในรูปที่ 103 และในช่วง 0.15-0.18 สำหรับ PHEV2 ดังแสดงในรูปที่ 104 โดยที่ค่า UF ที่แตกต่างกันนี้จะมีผลต่อการคำนวณการใช้พลังงานรวมของโหมด CD และ CS โดยสมการที่ (10) พบว่าหากใช้ระยะ CD ของการขับขี่ในวัฏจักรการขับขี่ NEDC ที่ผู้ผลิตใช้อ้างอิงมาหาค่า UF จะทำให้การใช้พลังงานรวมของโหมด CD และ CS มีค่าต่ำกว่าการใช้ระยะ CD ของการขับขี่ในรูปแบบการขับขี่ของกรุงเทพมหานครมาหาค่า UF ถึง 9% สำหรับการใช้พลังงานของ PHEV1 และ 15% สำหรับการใช้พลังงานของ PHEV1 ดังแสดงในรูปที่ 105-รูปที่ 106 ตามลำดับ จึงสรุปได้ว่าระยะ CD ที่ผู้ผลิตอ้างอิง ไม่สามารถนำมาอ้างอิงในการประมาณการใช้พลังงานของรถปลั๊กอินไฮบริดในรูปแบบการขับขี่ของกรุงเทพมหานครได้



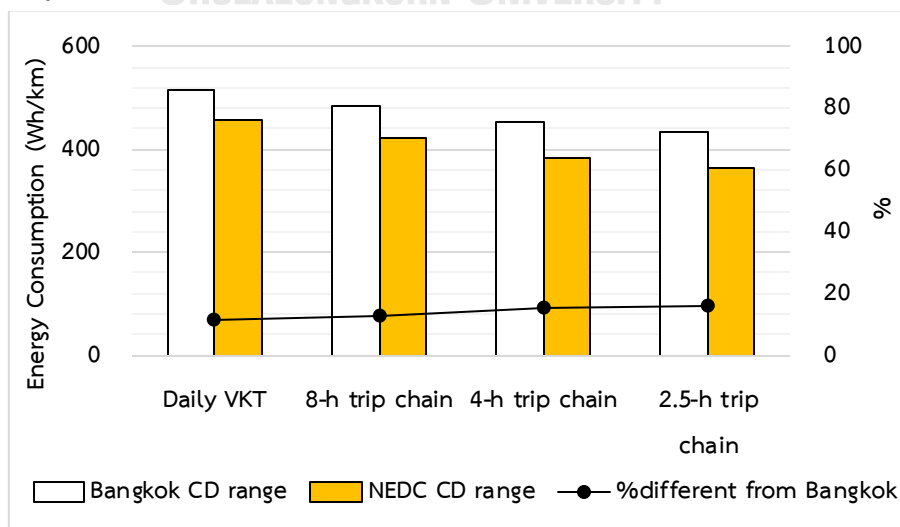
รูปที่ 103 ค่า UF จากระยะ CD ที่แตกต่างกันของ PHEV1



รูปที่ 104 ค่า UF จากระยะ CD ที่แตกต่างกันของ PHEV2



รูปที่ 105 การใช้พลังงานของ PHEV1 จากการอ้างอิงระยะ CD ที่แตกต่างกัน



รูปที่ 106 การใช้พลังงานของ PHEV2 จากการอ้างอิงระยะ CD ที่แตกต่างกัน

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายกันต์ ชัยสุวรรณ เกิดเมื่อวันที่ 6 พฤศจิกายน พ.ศ. 2535 ที่จังหวัดสุราษฎร์ธานี สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมการบินและอวกาศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน เมื่อปี พ.ศ.2558 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี พ.ศ. 2558 และมีผลงานทางวิชาการที่เผยแพร่ ได้แก่

กันต์ ชัยสุวรรณ และ อังคีร์ ศรีภคการ. 2561. การใช้พลังงานของรถปลั๊กอินไฮบริด ภายใต้รูปแบบพฤติกรรมการขับขี่จริงของคนในกรุงเทพมหานคร. การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 14, 13-15 มิถุนายน 2561 ณ โรงแรมโนโวเทล ระยอง ริมน้ำ รีสอร์ท จังหวัดระยอง.

