

การประเมินปริมาณพลังงานที่ลดลงเมื่อนำรถยนต์ไฟฟ้ามาใช้ทดแทนในพื้นที่กรุงเทพมหานคร



นายภูติศ จตุสิทธิ์างกูรณ์

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



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Real-world energy consumption assessment of increased use of
electric vehicles in Bangkok

Mr. Pudit Jatusittangkul



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



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ญาติ จตุสทิชธากรุณ : การประเมินปริมาณพลังงานที่ลดลงเมื่อนำรถยนต์ไฟฟ้ามาใช้ทดแทนในพื้นที่กรุงเทพมหานคร (Real-world energy consumption assessment of increased use of electric vehicles in Bangkok) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร.อังศิ์ ศรีภาคกร, หน้า.

มาตรการอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี (EEP2015) ได้กำหนดเป้าหมายในการลดความเข้มการใช้พลังงานลง 25% ในปี พ.ศ.2573 เทียบกับปี 2548 สำหรับสาขาเศรษฐกิจที่กำหนดเป้าหมายไว้สูงสุดคือ ภาคการขนส่งคิดเป็น 46% ของเป้าหมายทั้งหมด หนึ่งในมาตรการอนุรักษ์พลังงานภาคการขนส่งคือ การใช้รถยนต์ไฟฟ้าทดแทนรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายในที่ตั้งเป้าหมายลดพลังงานลง 1,123 ktoe งานวิจัยนี้ศึกษาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงไปของปริมาณพลังงานเมื่อมีการใช้รถยนต์ไฟฟ้าทดแทนรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายใน ในพื้นที่กรุงเทพมหานคร จำนวน 1.2 ล้านคัน ตามแผนขับเคลื่อนรถยนต์ไฟฟ้า พ.ศ.2558-2573 ด้วยการใช้แบบจำลองค่ากำลังจำเพาะของยานยนต์และการศึกษาพฤติกรรมการใช้ของรถยนต์ที่ใช้งานจริงในกรุงเทพมหานคร ทั้งนี้วิธีการศึกษาทำให้ได้ฐานข้อมูลพฤติกรรมการใช้ในเชิงอัตราการใช้พลังงานที่วิเคราะห์ข้อมูลจากการขับขี่จริงของรถยนต์ที่ใช้ในกรุงเทพมหานครครอบคลุมช่วงความเร็วในการขับขี่, ประเภทถนน และระยะทางของถนน มากกว่า 65.98% ในกรุงเทพมหานคร ฐานข้อมูลดังกล่าวได้ถูกนำมาพัฒนาเป็นแบบจำลองเพื่อวิเคราะห์อัตราการใช้พลังงานของเมือง และวิเคราะห์ปริมาณพลังงานเมื่อสถานการณ์เปลี่ยนแปลงไป สำหรับผลของปริมาณพลังงานที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อดำเนินการตามแผน EEP2015 บนสมมติฐานสภาพจราจรและประสิทธิภาพเครื่องยนต์ไม่เปลี่ยนแปลงไป (กรณีฐาน) จะสามารถลดปริมาณพลังงานลงได้ 992.91 ktoe ซึ่งต่ำกว่าเป้าหมาย 130.09 ktoe หากต้องการให้บรรลุเป้าหมายจะต้องเพิ่มสัดส่วนการทดแทนด้วยรถยนต์ไฟฟ้าจาก 1.20 ล้านคัน (19.15%) เป็น 1.36 ล้านคัน (21.66%) และเพื่อเพิ่มทางเลือกในการประเมินความเป็นไปได้และการกำหนดทิศทางของนโยบายให้สามารถบรรลุเป้าหมายได้มากยิ่งขึ้น งานวิจัยนี้จึงใช้แบบจำลองดังกล่าววิเคราะห์ปริมาณพลังงานที่เปลี่ยนแปลงไปจากสถานการณ์ที่แตกต่างกัน 3 แบบ คือ 1) เมื่อสภาพจราจรเปลี่ยนแปลงไปจากการปรับปรุงและพัฒนาโครงข่ายถนน, 2) เมื่อมี Carsharing และ 3) เมื่อน้ำหนักรถยนต์ลดลง จากการวิเคราะห์ผลของปริมาณพลังงานที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อสถานการณ์จำลองเปลี่ยนแปลงไป 3 แบบและมีสัดส่วนการทดแทนด้วยรถยนต์ไฟฟ้าตามแผน EEP2015 พบว่า การมี Carsharing จะสามารถลดปริมาณพลังงานลงได้มากที่สุด รองลงมาคือ การเปลี่ยนแปลงสภาพจราจร และการลดน้ำหนักรถยนต์ คิดเป็น 46.91, 17.83 และ 17.81% ตามลำดับเมื่อเทียบกับกรณีฐาน จากการศึกษาสามารถนำไปใช้เพื่อศึกษาแนวโน้มและทิศทางการเปลี่ยนแปลงไปของปริมาณพลังงานจากสถานการณ์ต่างๆเพื่อใช้ในการกำหนดนโยบายให้สามารถบรรลุผลตามเป้าหมายได้ นอกจากนี้ การทดสอบรถในการใช้งานจริงกับสภาพจราจรในกรุงเทพมหานครที่มีลักษณะการขับขี่แบบขยับๆ หยุดๆ พบว่ารถยนต์ไฟฟ้าที่เหมาะสมจะใช้ในกรุงเทพมหานคร ควรเป็นรุ่นที่มี regenerative braking มาก ซึ่งจะให้อัตราการใช้พลังงานได้ลดลงกว่า 13-16% เทียบกับรุ่นที่มี regenerative braking น้อยกว่า

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

ลายมือชื่อนิสิต

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

ปีการศึกษา 2560

5870305021 : MAJOR MECHANICAL ENGINEERING

KEYWORDS: ELECTRIC VEHICLES / TRAFFIC MODELLING / ENERGY CONSUMPTION / ENERGY EFFICIENCY PLAN / PENETRATION

PUDIT JATUSITTANGKUL: Real-world energy consumption assessment of increased use of electric vehicles in Bangkok. ADVISOR: ASSOC. PROF.ANGKEE SRIPAKAGORN, pp.

The 20-year Energy Efficiency Plan (EEP2015) aims to reduce energy intensity by 25% in 2030 compared to 2005. The transport sector accounts for 46% of that target. One of the energy conservation measures of the transport sector is the use of electric cars to replace the conventional cars with the targeted energy reduction of 1,123 ktoe. This study attempted to assess the energy reduction potential with the penetration of 1.2 million units of electric cars in the area of Bangkok as planned in the EEP2015.

Using the vehicle specific model and driving behavior study in Bangkok, the study provides a database of driving behavior in terms of energy consumption. The types, the length and the speed of travel of the roads are gathered covering more than 65.98% of the road links in Bangkok. The data is used to developed a model to estimate the rate of transport energy consumption of the city. The model allows analysis of the energy consumption at different scenarios.

As a result of the EEP2015, on the assumption that traffic conditions and engine performance are unchanged (baseline), the energy reduction is estimated at 992.91 ktoe, which is lower than the target by 130.09 ktoe. To meet this target, the proportion of electric vehicle replacement must be increased to 1.36 million units or from 19.15% to 21.66%. As a result, this study explored three different scenarios using the developed model to offer options for policy recommendations. The three scenarios include: a) when traffic conditions change from the road improvement and development project, b) with carsharing and c) when vehicle lightweight technology is applied. According to the study, under the original proportion of electric vehicle replacement from EEP2015, carsharing is the most effective measure to complement EEP2015 with the additional energy reduction of 46.9% while the traffic improvement and lightweight options offers the additional energy reduction of 17.8 and 17.8% respectively. In addition, the real world test of two different electric cars suggested that, for the stop-and-go traffic in Bangkok, electric car model with stronger regenerative braking showed up to 13-16% of energy saving over the other model with less regenerative braking.

Department: Mechanical Engineering

Student's Signature

Field of Study: Mechanical Engineering

Advisor's Signature

Academic Year: 2017

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี โดยได้รับความกรุณาอย่างสูงจาก รองศาสตราจารย์ ดร. อังคีร์ ศรีภคการ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้ความรู้ คำแนะนำ และข้อคิดเห็นต่างๆ ตลอดจนคอยติดตาม สอบถามความคืบหน้างานวิจัยอย่างสม่ำเสมอ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการทำวิจัย อีกทั้งยังช่วยปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆระหว่างระหว่างดำเนินงานด้วยความเอาใจใส่อย่างยิ่ง ผู้วิจัยตระหนักถึงความตั้งใจและความทุ่มเทของอาจารย์ และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชนัตต์ รัตนสุมาวงศ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สัณห์พศ จันทรานุกวัฒน์ และ ดร. ชินะ เพ็ญชาติ ที่กรุณารับเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และให้คำแนะนำต่างๆ แก่ผู้วิจัยในการปรับปรุงงานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณ นายกันต์ ชัยสุวรรณ นายศรวิทย์ ตรีนิก และนายสรรเพชญ ไกรฤกษ์ ที่คอยให้คำแนะนำและให้กำลังใจ รวมทั้งช่วยเหลือผู้วิจัยในหลายๆด้าน ทั้งเรื่องความรู้และการประมวลผลข้อมูลที่ใช้ในวิทยานิพนธ์

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และทุกคนในครอบครัวที่คอยเป็นกำลังใจ และคอยสนับสนุนผู้วิจัยในทุกๆด้านมาโดยตลอด ตลอดจนบุคคลต่างๆที่ให้ความช่วยเหลืออีกมาก ที่ผู้วิจัยไม่สามารถกล่าวนามได้หมดในที่นี้ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความปรารถนาดีของทุกท่านเป็นอย่างยิ่ง จึงขอกราบขอบพระคุณไว้ในโอกาสนี้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญรูปภาพ.....	10
สารบัญตาราง.....	14
บทที่ 1 บทนำ.....	16
ที่มาและความสำคัญ.....	16
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	17
ขอบเขตของการวิจัย.....	17
ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน.....	18
บทที่ 2 การทบทวนวรรณกรรม.....	19
2.1 สัดส่วนการทดแทนด้วยรถยนต์ไฟฟ้า.....	19
2.2 การเลือกรถยนต์ทดสอบ.....	22
2.3 การเลือกเส้นทางตัวแทนสภาพการขับขี่ของเมือง.....	24
2.4 การวิเคราะห์ปริมาณพลังงาน.....	31
2.5 การวิเคราะห์อัตราการใช้พลังงาน.....	35
2.5.1 รูปแบบการขับขี่มาตรฐาน (Driving cycle).....	35
United States driving cycles.....	36
European driving cycles.....	38
2.5.2 ค่ากำลังจำเพาะของยานยนต์ (VSP).....	41
บทที่ 3 วิธีการทดสอบ.....	45

3.1 การกำหนดสัดส่วนจำนวนรถยนต์	45
3.2 การเก็บข้อมูลการขับขี่ (Data collection).....	45
3.3 การประมาณปริมาณพลังงาน	48
3.3.1 การประมาณอัตราการใช้พลังงานของเมือง	48
3.3.1.1 การจำแนกพฤติกรรมการขับขี่	48
3.3.1.2 การคัดเลือกรูปแบบการขับขี่.....	50
3.3.1.3 การคำนวณอัตราการใช้พลังงานจาก Velocity profile	51
3.3.1.4 การสะท้อนพฤติกรรมการขับขี่ของกรุงเทพมหานคร	53
บทที่ 4 ผลการทดสอบ	55
4.1 ผลการวิเคราะห์พฤติกรรมการขับขี่.....	55
4.2 ผลการประมาณอัตราการใช้พลังงานของกรุงเทพมหานคร.....	57
4.2.1 รูปแบบการขับขี่	57
4.2.2 อัตราการใช้พลังงานของแต่ละพฤติกรรมการขับขี่	63
4.2.3 อัตราการใช้พลังงานของกรุงเทพมหานคร	64
4.3 ผลการประมาณปริมาณพลังงาน.....	66
4.4 สถานการณ์จำลอง	68
4.5 การประยุกต์ใช้แบบจำลอง	74
4.6 การวิเคราะห์ความอ่อนไหว.....	78
บทที่ 5 อภิปรายผลการทดสอบและข้อเสนอแนะ	83
อภิปรายผลการทดสอบ	83
ข้อเสนอแนะ	85
รายการอ้างอิง	86
ภาคผนวก.....	92

ภาคผนวก ก การคำนวณความเร็วเฉลี่ยถนนจากข้อมูล iTic.....	93
รายละเอียดวิธีการการคำนวณความเร็วเฉลี่ยของถนนจากข้อมูล iTic	95
ภาคผนวก ข การวิเคราะห์ปริมาณจราจร	97
รายละเอียดวิธีการวิเคราะห์ปริมาณจราจร	98
ภาคผนวก ค การจำแนกพฤติกรรมการขับขี่.....	99
ภาคผนวก ง การวิเคราะห์วิธีการคำนวณปริมาณพลังงานรวม	100
ภาคผนวก จ การวิเคราะห์เกณฑ์การเลือกตัวแทนพฤติกรรมการขับขี่	104
ภาคผนวก ฉ การแปลงหน่วยอัตราการใช้พลังงาน.....	111
ตัวอย่างวิธีการคำนวณอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงเป็นอัตราการใช้พลังงาน.....	111
ภาคผนวก ช ข้อมูลปริมาณจราจรในแต่ละช่วงความเร็วแบ่งตามช่วงเวลา	112
ภาคผนวก ซ ความเร็วเฉลี่ยและระยะทางของพฤติกรรมการขับขี่ในแต่ละช่วงความเร็ว	113
ภาคผนวก ฌ การวิเคราะห์สภาพจราจรเมื่อเปลี่ยนแปลงความเร็วเฉลี่ยถนน	114
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	116

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ 1	ระยะทางการขับขี่ในชีวิตประจำวันของชาวเยอรมนีแบ่งตามช่วงความเร็ว [20]	24
รูปที่ 2	รูปภาพแสดงเส้นทางที่ใช้ขับทดสอบเก็บข้อมูลการขับขี่ในประเทศเวียดนาม [21].....	25
รูปที่ 3	รูปภาพแสดงเส้นทางที่ใช้ขับทดสอบเก็บข้อมูลการขับขี่ในประเทศเวียดนาม [21].....	25
รูปที่ 4	รูปภาพแสดงเส้นทางที่ใช้ขับทดสอบเก็บข้อมูลการขับขี่ในประเทศสิงคโปร์ [23].....	28
รูปที่ 5	รูปภาพแสดงเส้นทางที่ใช้ขับทดสอบเก็บข้อมูลการขับขี่ในประเทศสิงคโปร์ [23].....	28
รูปที่ 6	แผนผังเปรียบเทียบการกระจายตัวของความเร็วในการขับขี่ของเส้นทางที่เลือกจำนวน	
7	เส้นทาง กับเส้นทางหลักในกรุงเทพมหานครทั้งหมด 20 เส้นทาง [25]	29
รูปที่ 7	แสดงจุดรับข้อมูลการขับขี่ของ iTic เมื่อเดือน พฤษภาคม พ.ศ.2557 [26].....	30
รูปที่ 8	การพิจารณาแบ่งประเภทของรถยนต์ [12].....	33
รูปที่ 9	ตัวอย่างรูปแบบการขับขี่มาตรฐาน (Driving cycle) [36].....	36
รูปที่ 10	แผนผังแสดงเปรียบเทียบความเร็วบนรูปแบบการขับขี่มาตรฐานกับอัตราการใช้พลังงาน และปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ [38]	37
รูปที่ 11	แผนผังแสดงปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละปี บนสถานการณ์ จำลอง 4 แบบ [38].....	38
รูปที่ 12	แผนผังเปรียบเทียบรูปแบบการขับขี่มาตรฐาน [2]	40
รูปที่ 13	แสดงการวิเคราะห์แรงของรถยนต์ [33]	41
รูปที่ 14	แผนผังแสดงการกระจายตัวของ VSP mode [33]	42
รูปที่ 15	การติดตั้ง GPS และอุปกรณ์เก็บข้อมูล.....	47
รูปที่ 16	แสดงข้อมูลความเร็วแบบเป็น Link.....	50
รูปที่ 17	VSP model ของรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายใน [40].....	52
รูปที่ 18	VSP model ของรถยนต์เครื่องยนต์ไฟฟ้า [40]	52
รูปที่ 19	การกระจายตัวของร้อยละของระยะทางของถนนในแต่ละช่วงความเร็วเฉลี่ยแบ่งตาม ช่วงเวลา	56

รูปที่ 20 ร้อยละของระยะทางถนนใน กรุงเทพมหานคร ในแต่ละสภาพจราจรแบ่งตามช่วงเวลา.....	57
รูปที่ 21 พฤติกรรมการขับขี่ที่ 1.....	58
รูปที่ 22 พฤติกรรมการขับขี่ที่ 2.....	58
รูปที่ 23 พฤติกรรมการขับขี่ที่ 3.....	59
รูปที่ 24 พฤติกรรมการขับขี่ที่ 4.....	59
รูปที่ 25 พฤติกรรมการขับขี่ที่ 5.....	59
รูปที่ 26 พฤติกรรมการขับขี่ที่ 6.....	59
รูปที่ 27 พฤติกรรมการขับขี่ที่ 7.....	60
รูปที่ 28 พฤติกรรมการขับขี่ที่ 8.....	60
รูปที่ 29 พฤติกรรมการขับขี่ที่ 9.....	60
รูปที่ 30 พฤติกรรมการขับขี่ที่ 10.....	60
รูปที่ 31 พฤติกรรมการขับขี่ที่ 11.....	61
รูปที่ 32 พฤติกรรมการขับขี่ที่ 12.....	61
รูปที่ 33 พฤติกรรมการขับขี่ที่ 13.....	61
รูปที่ 34 พฤติกรรมการขับขี่ที่ 14.....	61
รูปที่ 35 พฤติกรรมการขับขี่ที่ 15.....	62
รูปที่ 36 พฤติกรรมการขับขี่ที่ 16.....	62
รูปที่ 37 พฤติกรรมการขับขี่ที่ 17.....	62
รูปที่ 38 พฤติกรรมการขับขี่ที่ 18.....	62
รูปที่ 39 พฤติกรรมการขับขี่ที่ 19.....	63
รูปที่ 40 พฤติกรรมการขับขี่ที่ 20.....	63
รูปที่ 41 อัตราการใช้พลังงานของรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายใน และรถยนต์ไฟฟ้า ที่คำนวณ จากรูปแบบการขับขี่ตัวแทนของแต่ละพฤติกรรมการขับขี่.....	64
รูปที่ 42 แสดงจำนวนรถยนต์จดทะเบียนใหม่และรถยนต์ต่ออายุ ย้อนหลัง 10 ปี	67

รูปที่ 43 ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของปริมาณพลังงาน.....	79
รูปที่ 44 ร้อยละของปริมาณจราจรเมื่อสภาพจราจรคล่องตัวเพิ่มขึ้น 20%	81
รูปที่ 45 %Distribution ของรูปแบบการขับขี่ในแต่ละ VSP bin.....	84
รูปที่ 46 แสดงตัวอย่างข้อมูลจราจรของ iTic.....	94
รูปที่ 47 แสดงตัวอย่างข้อมูลจราจรของ iTic.....	94
รูปที่ 48 แสดง Location Code ของจุดรับความเร็วรถยนต์.....	94
รูปที่ 49 แสดง Location Code ของจุดรับความเร็วรถยนต์.....	95
รูปที่ 50 ตัวอย่างข้อมูลปริมาณจราจรของสำนักงานการจราจรและขนส่ง กรุงเทพมหานคร [57]	97
รูปที่ 51 แสดงเส้นทางที่ iTic เก็บข้อมูลความเร็วเฉลี่ยบนถนนในประเทศไทย.....	101
รูปที่ 52 เส้นทางที่ใช้วิเคราะห์สภาพจราจรของกรุงเทพมหานครในงานวิจัยนี้	102
รูปที่ 53 แสดงระยะทางและความเร็วของเที่ยวการขับขี่เส้นทาง แยกชิดมาถึงสามย่านช่วง เร่งด่วนเช้า	104
รูปที่ 54 รูปแบบการขับขี่ แบบที่ 1	106
รูปที่ 55 รูปแบบการขับขี่ แบบที่ 2	106
รูปที่ 56 รูปแบบการขับขี่ แบบที่ 3	106
รูปที่ 57 การกระจายตัวของอัตราการใช้พลังงานเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้น	108
รูปที่ 58 ร้อยละความคลาดเคลื่อนของอัตราการใช้พลังงานเมื่อระยะทางเพิ่มสูงขึ้นของรูปแบบ การขับขี่ที่อยู่ในช่วงความเร็วเฉลี่ย 4 ช่วง.....	108
รูปที่ 59 พื้นที่เก็บข้อมูลการใช้เส้นทางเดินทางใน กรุงเทพมหานคร	110
รูปที่ 60 แสดงการกระจายตัวของระยะทางในการขับขี่ต่อเที่ยวของคนเดินทางใน กรุงเทพมหานคร	110
รูปที่ 61 ปริมาณจราจรในกรณีที่สภาพจราจรเป็นปัจจุบัน	114
รูปที่ 62 ปริมาณจราจรในกรณีที่สภาพจราจรคล่องตัวเพิ่มขึ้น 10%	115
รูปที่ 63 ปริมาณจราจรในกรณีที่สภาพจราจรคล่องตัวเพิ่มขึ้น 20%	115



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1	ส่วนแบ่งการตลาดจำนวนรถยนต์ [12].....	21
ตารางที่ 2	เปรียบเทียบน้ำหนักของรถยนต์และส่วนประกอบหลักของรถยนต์ประเภทต่างๆ [12]...	23
ตารางที่ 3	เส้นทางที่ใช้ในการเก็บข้อมูลการขับขี่ [22]	27
ตารางที่ 4	มาตรฐานการปล่อยมลพิษ [35]	32
ตารางที่ 5	สมมติฐานของสถานการณ์จำลอง ปี ค.ศ.2030 [12].....	33
ตารางที่ 6	ตารางกลุ่มของรถยนต์ที่ทำการศึกษา [1].....	34
ตารางที่ 7	การกระจายตัวของค่า VSP [33].....	42
ตารางที่ 8	ก ค่ากำลังจำเพาะของยานยนต์ในแต่ละช่วงของรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายใน	51
ตารางที่ 9	แสดงอัตราการใช้พลังงานของเมืองของรถยนต์ทั้ง 2 ชนิด	65
ตารางที่ 10	เปรียบเทียบอัตราการใช้พลังงานของงานวิจัยนี้กับงานที่ศึกษาก่อนหน้า	66
ตารางที่ 11	แสดงพารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณปริมาณพลังงานรวม (TEC).....	67
ตารางที่ 12	อัตราการใช้พลังงานของเมืองที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อสภาพจราจรคล่องตัวขึ้น10 และ 20%.....	69
ตารางที่ 13	เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ปริมาณพลังงานรวมเมื่อสภาพจราจรคล่องตัวเพิ่มขึ้น	70
ตารางที่ 14	แสดงพารามิเตอร์การคำนวณเมื่อมี Carsharing	71
ตารางที่ 15	เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ปริมาณพลังงานรวมเมื่อมี carsharing	72
ตารางที่ 16	เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ปริมาณพลังงานรวมเมื่อมีน้ำหนักรถยนต์ลดลง 10%	73
ตารางที่ 17	สถานการณ์จำลองเพื่อพิจารณาความคุ้มค่าเงินลงทุนในการดำเนินโครงการในปี พ.ศ.2563.....	75
ตารางที่ 18	พารามิเตอร์ในการคำนวณแต่ละสถานการณ์จำลองปี พ.ศ.2563.....	77
ตารางที่ 19	ผลการวิเคราะห์มูลค่าพลังงานและความคุ้มค่าในการลงทุน	78
ตารางที่ 20	อัตราการใช้พลังงานของเมืองเมื่อสภาพจราจรเปลี่ยนแปลงไป	80
ตารางที่ 21	พารามิเตอร์ที่เปลี่ยนแปลงในสถานการณ์ต่างๆ.....	82

ตารางที่ 22 ความหมายของชื่อคอลัมน์ในตารางข้อมูล.....	93
ตารางที่ 23 จำนวนถนนแต่ละประเภทที่ใช้วิเคราะห์สภาพจราจรในงานวิจัยนี้	101
ตารางที่ 24 ชุดข้อมูลตัวอย่างที่ใช้คำนวณปริมาณพลังงานรวม	103
ตารางที่ 25 เปรียบเทียบผลการประมาณปริมาณพลังงานจากการคำนวณที่แตกต่างกัน.....	103
ตารางที่ 26 สภาพการขับขี่ของรูปแบบการขับขี่ในความเร็ว 10-15 กม/ชม ระยะทาง 6 กม.....	106
ตารางที่ 27 ชุดข้อมูลวิเคราะห์การขับขี่	107
ตารางที่ 28 ร้อยละปริมาณเที่ยวการเดินทางที่มากกว่า 6 กม/เที่ยว	109
ตารางที่ 29	112
ตารางที่ 30	113



บทที่ 1

บทนำ

ที่มาและความสำคัญ

สถานการณ์พลังงานของประเทศไทย ข้อมูลจากกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน เมื่อปี พ.ศ.2559 น้ำมันสำเร็จรูปถูกใช้มากที่สุดคิดเป็น 49.7% เทียบกับการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายทั้งหมด และเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณพลังงานทั้งหมดในช่วงเดียวกันจากปีก่อนพบว่าเพิ่มขึ้น 2.6% [3] เมื่อพิจารณาการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายจำแนกตามสาขาเศรษฐกิจ 10 ปีย้อนหลัง พบว่าภาคการขนส่งมีการใช้พลังงานมากที่สุดมาโดยตลอด [4] สำหรับปี พ.ศ.2558-2559 และปี พ.ศ.2559-2560 มีปริมาณเพิ่มขึ้น 5.4% และ 9.3% ตามลำดับ [5, 6] จากการใช้พลังงานนี้ มลพิษจะถูกปล่อยออกมาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงเป็นจำนวนมาก มีผลทำให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมและส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ ที่ต้องให้ความสนใจและเร่งแก้ไข

มาตรการแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อมในปัจจุบันคือ มาตรการอนุรักษ์พลังงานตามแผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี (2554-2573) (EEP-2015) กำหนดเป้าหมายในการลดความเข้มการใช้พลังงานลง 25% ในปี พ.ศ.2573 เทียบกับปี พ.ศ.2548 หนึ่งในมาตรการที่กำหนดเป้าหมายไว้สูงที่สุดคือ มาตรการอนุรักษ์พลังงานภาคคมนาคมและขนส่ง ที่กำหนดเป้าหมายไว้ที่ 30,213 ktoe คิดเป็น 46% ของพลังงานที่ต้องการลดทั้งหมด [7] และหนึ่งในมาตรการอนุรักษ์พลังงานภาคการขนส่งคือการศึกษาวางแผน และดำเนินการรองรับการใช้รถยนต์ไฟฟ้า ที่กำหนดเป้าหมายไว้ 1,123 ktoe แนวทางในการเตรียมความพร้อมสำหรับการใช้รถยนต์ไฟฟ้าตามแผนขับเคลื่อนรถยนต์ไฟฟ้า 2558-2579 คือการเตรียมสถานีอัดประจุ (Charging station) และโครงสร้างด้านพื้นฐานค่าไฟฟ้า ซึ่งดำเนินการภายใต้เป้าหมายของ EEP 2015 ที่ต้องการให้มีรถยนต์ไฟฟ้าใช้งานจำนวน 1.2 ล้านคันในปี พ.ศ.2579 [8]

จาก EEP-2015 และแผนขับเคลื่อนรถยนต์ไฟฟ้า เพื่อให้สามารถบรรลุผลได้ตามเป้าหมายการศึกษาถึงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงไปของปริมาณการใช้พลังงานเมื่อเปลี่ยนจากการใช้รถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายในเป็นรถยนต์ไฟฟ้าจะมีความสำคัญอย่างยิ่งในการใช้เป็นฐานข้อมูลในการกำหนดนโยบายและทิศทางเพื่อนำไปสู่ผลสำเร็จ โดยเฉพาะฐานข้อมูลในเชิงอัตราการใช้พลังงานเมื่อพฤติกรรมการขับขี่เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งปัจจุบันฐานข้อมูลพฤติกรรมการขับขี่ในเชิงอัตราการใช้พลังงานของรถยนต์ที่ใช้ในประเทศไทยยังไม่มีข้อมูลที่ถูกต้องมากเพียงพอ อาทิเช่น Fuel economy มาตรฐานของการขับขี่ในประเทศไทย หรือ Fuel economy จากผู้ผลิตกำหนด ซึ่งมีค่าแตกต่างกับค่าที่วัดจากการใช้งานจริง อันเป็นผลจากสภาพการจราจรที่แตกต่างจากสภาพจราจรตามมาตรฐานที่ผู้ผลิตทดสอบ จึงทำให้การประเมินถึงความเป็นไปได้ในการบรรลุผลอาจมีความไม่แม่นยำเพียงพอ

สำหรับในประเทศไทย ข้อมูลสถิติจำนวนรถยนต์ในปี พ.ศ.2559 รถยนต์นั่งส่วนบุคคลไม่เกิน 7 ที่นั่ง (Sedan: รถเก๋ง) มีสัดส่วนสูงที่สุดคิดเป็น 55% ทั่วประเทศ และในกรุงเทพมหานครคิดเป็น 72% [9] ฉะนั้นรถยนต์โดยสารส่วนบุคคลโดยเฉพาะรถเก๋ง จึงเป็นกลุ่มที่ให้ความสำคัญในการศึกษาเป็นอันดับต้นๆ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงพฤติกรรมการขับขี่เพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลในเชิงอัตราการใช้พลังงานของรถยนต์ที่ใช้ในประเทศไทย โดยนำร่องการศึกษาคือพื้นที่กรุงเทพมหานคร และนำไปวิเคราะห์หา Fuel economy มาตรฐานเพื่อประมาณปริมาณการใช้พลังงานต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. วิเคราะห์พฤติกรรมการขับขี่ของรถยนต์ที่ใช้ในกรุงเทพมหานคร เพื่อสร้างฐานข้อมูลในเชิงอัตราการใช้พลังงาน (แสดงเป็นอัตราการใช้พลังงานและรูปแบบการขับขี่ในแต่ละช่วงความเร็ว)
2. ประเมินอัตราการใช้พลังงานมาตรฐานของรถยนต์ที่ใช้ในกรุงเทพมหานคร
3. ประมาณปริมาณพลังงานเมื่อเปลี่ยนจากการใช้รถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายในไปเป็นรถยนต์ไฟฟ้าตามแผน EEP2015 และ แผนขับเคลื่อนยานยนต์ไฟฟ้า

ขอบเขตของการวิจัย

1. เลือกถนนที่ใช้ในการเก็บข้อมูลการขับขี่ที่ครอบคลุมพฤติกรรมการขับขี่และสามารถสะท้อนสภาพการจราจรในกรุงเทพมหานคร
2. ประมาณปริมาณพลังงานของรถยนต์ที่ใช้ในกรุงเทพมหานคร ในปี พ.ศ.2579

ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน

กิจกรรม	ปี พ.ศ.2559					ปี พ.ศ.2560						
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.
1. การเตรียมการ												
1.1. ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง												
1.2. จัดหาข้อมูลที่ต้องใช้												
1.3. สร้างโมเดล												
1.4. ทดสอบและแก้ไขโมเดล												
2. การเก็บข้อมูล												
2.1. ทดลองเก็บข้อมูลการขับชี้												
2.2. เก็บข้อมูลการขับชี้												
3. การประมวลผลและการวิเคราะห์ข้อมูล												
3.1. ประมวลผล												
3.2. วิเคราะห์และแปลผล												
4. การเผยแพร่ผลงาน												
4.1. เตรียมเนื้อหาเผยแพร่												
4.2. นำเสนองานวิจัย												
5. การเขียนรายงาน												
5.1. เขียนงานวิจัย												
5.2. จัดพิมพ์งานวิจัย												

บทที่ 2

การทบทวนวรรณกรรม

ในการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบปริมาณพลังงานต้องทราบวิธีการประมาณอัตราการใช้พลังงานที่ให้ผลการประเมินใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด และสำหรับการประมาณปริมาณพลังงานในกรณีของกรุงเทพมหานครจะต้องมีการศึกษาถึงวิธีการสะท้อนพฤติกรรมการขับขี่ที่บนสภาพการขับขี่จริงได้ เพื่อให้ได้ผลการประเมินปริมาณพลังงานที่ถูกต้อง นอกจากนั้น ยังต้องศึกษาถึงความเป็นไปได้ของจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าที่จะนำมาใช้งาน และการกำหนดสัดส่วนจำนวนรถยนต์ที่มีความเหมาะสม เพื่อให้การประมาณการมีค่าใกล้เคียงกับความเป็นจริงที่จะเกิดขึ้นในอนาคต ฉะนั้นในงานวิจัยนี้จึงจะศึกษาวิธีการกำหนดสัดส่วนรถยนต์ไฟฟ้าต่อรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายใน เพื่อประเมินปริมาณพลังงานและอัตราการใช้พลังงานที่เหมาะสม โดยรายละเอียดการทบทวนวรรณกรรมมีดังต่อไปนี้

2.1 สัดส่วนการทดแทนด้วยรถยนต์ไฟฟ้า

การศึกษาถึงวิธีการลดการใช้พลังงานและลดมลพิษเพื่อแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อม การนำรถยนต์ไฟฟ้ามาใช้แทนรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายในเป็นหนึ่งในวิธีการที่สามารถแก้ไขปัญหาพลังงานและมลพิษในอากาศได้ [2, 10] จากการศึกษางานวิจัยพบว่า มีหลายประเทศศึกษาถึงการนำรถยนต์ไฟฟ้ามาใช้เพื่อกำหนดกลยุทธ์ในการแก้ไขปัญหาในปัจจุบัน [11-14] ฉะนั้นการคาดการณ์ถึงผลการเปลี่ยนแปลงของปริมาณพลังงานและปริมาณมลพิษจากการใช้รถยนต์ไฟฟ้าแทนรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายในนั้นจะต้องพิจารณาถึงจำนวนของรถยนต์ไฟฟ้าที่นำมาใช้ด้วยการกำหนดสัดส่วนปริมาณรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายในและรถยนต์ไฟฟ้าอย่างเหมาะสม เพื่อให้ผลการคาดการณ์ปริมาณพลังงานและปริมาณมลพิษมีความถูกต้องแม่นยำ ในบางงานวิจัยมีการวิเคราะห์อัตราการใช้พลังงานของรถยนต์ไฟฟ้าที่นำมาใช้งานแทนรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายในทั้งหมดคิดเป็น 100% ของปริมาณรถยนต์ทั้งหมดที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน และบางงานวิจัยใช้การคาดการณ์ปริมาณรถยนต์ไฟฟ้าที่จะเพิ่มขึ้นในอนาคตแล้วจึงวิเคราะห์ปริมาณพลังงานเพื่อเปรียบเทียบปริมาณพลังงานที่ลดลงเมื่อมีปริมาณรถยนต์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ฉะนั้นในการกำหนดสัดส่วนปริมาณของการใช้รถยนต์ไฟฟ้าแทนรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายในจึงต้องมีการศึกษาเพื่อกำหนดสัดส่วนจำนวนรถยนต์ทั้งสองชนิดให้เหมาะสมในการคำนวณหาปริมาณพลังงานต่อไป

จากการศึกษาวิจัยของที่ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพอากาศ Nan Li [14] ได้ทำการศึกษาการใช้พลังงานในประเทศได้หวั่นเมื่อมีการใช้รถยนต์ไฟฟ้าแทนรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายในทั้งหมด (คิดเป็น 100%) และจำลองสถานการณ์เพื่อเปรียบเทียบผล 3 สถานการณ์ คือ 1.

Base case (BASE) คือพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากโรงไฟฟ้าถ่านหิน 80% และโรงไฟฟ้าพลังงานสะอาด (อาทิเช่น นิวเคลียร์, น้ำ, โซลาร์เซลล์ และลม) 20% จากพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตทั้งหมด 2. Thermal power (EVTP) คือพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากโรงไฟฟ้าถ่านหิน 100% และ 3. Clean power (EVCP) คือพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากพลังงานสะอาด 100% ซึ่งเหตุผลที่ Nan Li เลือกการแทนที่รถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายในทั้งหมดด้วยรถยนต์ไฟฟ้าเนื่องจาก ผู้วิจัยต้องการทราบถึงผลการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพอากาศสูงสุด (Maximum potential benefits) และทำการเปรียบเทียบปริมาณมลพิษเมื่อมีการใช้พลังงานจากแหล่งผลิตที่แตกต่างกัน แต่ผลการศึกษาของ Nan Li นั้นไม่สามารถบอกถึงปริมาณมลพิษที่ลดลงในอนาคตอันใกล้ได้ แต่สามารถนำข้อมูล Maximum potential benefits ที่ประมาณการนั้นมาใช้เพื่อกำหนดกลยุทธ์เพื่อหาแนวทางในการใช้รถยนต์ไฟฟ้าเพื่อลดอัตราการปล่อยมลพิษในอากาศในอนาคตได้ ซึ่งทั้งนี้วิธีการกำหนดสัดส่วนเพื่อเปรียบเทียบผลการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการวิจัยซึ่งจะมีวิธีการกำหนดที่แตกต่างกันออกไป นอกจากงานวิจัยของ Nan Li แล้ว ยังมีงานวิจัยของ Jana Hofmann [13] ทำการเปรียบเทียบปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เมื่อมีการนำรถยนต์ไฟฟ้ามาใช้งานแทนรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายในทั้งหมด โดยในการวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เมื่อมีการใช้รถยนต์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น Hofmann ได้ทำการวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นจากขบวนการผลิตไฟฟ้า เปรียบเทียบกับปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ลดลงบนถนนและพบว่า เมื่อแทนที่รถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายในด้วยไฟฟ้าทั้งหมด คิดเป็น 100% จะสามารถลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลงได้ 14.10% เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้รถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายใน 100%

นอกจากการกำหนดสัดส่วนการแทนที่ของรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายในด้วยรถยนต์ไฟฟ้าทั้งหมดคิดเป็น 100% แล้ว ยังมีงานวิจัยอื่นๆที่ใช้วิธีการกำหนดสัดส่วนปริมาณรถยนต์ไฟฟ้าที่นำมาใช้แทนรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายในด้วยการคาดการณ์ปริมาณรถยนต์ในอนาคตจากปริมาณรถยนต์ที่ซื้อใหม่ในปัจจุบัน [1, 12] เพื่อทำการเปรียบเทียบถึงผลการเปลี่ยนแปลงที่จะเกิดขึ้นจริงในอนาคตอันใกล้ Juan C. [12] ได้ทำการศึกษาผลกระทบทางด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมในการใช้รถยนต์ของประเทศญี่ปุ่นในปี ค.ศ.2050 โดยได้ทำการศึกษาแนวโน้มของรถยนต์ที่จะถูกใช้งานในอนาคตด้วยการวิเคราะห์สถิติการซื้อรถยนต์ใหม่ในประเทศ และพบว่าในอนาคตรถยนต์สันดาปภายในจะมีปริมาณลดลง และรถยนต์ไฮบริดจะมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นและลดต่ำลงตั้งแต่ปี ค.ศ.2030 เนื่องจากผู้คนจะเปลี่ยนไปใช้รถยนต์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น จึงทำให้รถยนต์ไฟฟ้ามีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นจนถึงปี ค.ศ.2050 ดังแสดงในตารางที่ 1 จากนั้นจึงใช้ข้อมูลการคาดการณ์นี้ไปวิเคราะห์หาอัตราการใช้พลังงานและปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ด้วยการกำหนดสัดส่วนจากการคาดการณ์ปริมาณรถยนต์ด้วยข้อมูลจำนวนรถยนต์ในปี ค.ศ.2012 และงานวิจัยของ H. Lee [1] ก็ได้ใช้วิธีการประมาณการปริมาณรถยนต์ด้วยข้อมูลสถิติการจดทะเบียนรถยนต์ใหม่และรถยนต์จดทะเบียนในปัจจุบัน แล้ว

จึงนำไปคำนวณหาปริมาณเชื้อเพลิงรวมต่อไป ซึ่งในการวิเคราะห์ปริมาณพลังงานด้วยวิธีนี้จะทำให้สามารถบ่งบอกถึงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณมลพิษและปริมาณพลังงานในช่วงเวลาที่สนใจได้ เนื่องจากสถานการณ์จำลองที่สร้างขึ้นมีการกำหนดสัดส่วนรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายในและรถยนต์ไฟฟ้าในอนาคตมีความใกล้เคียงกับความเป็นจริงที่จะเกิดขึ้น

ตารางที่ 1 ส่วนแบ่งการตลาดจำนวนรถยนต์ [12]

New vehicle market share evolution in the base scenario.

	Year			
	2020	2030	2040	2050
<i>Normal vehicles</i>				
ICEV	60 ^a	54 ^a	52 ^a	52 ^a
HEV	35 ^b	40 ^b	33 ^b	23 ^b
BEV	5 ^b	6 ^b	15 ^b	25 ^b
FCHEV	0 ^c	0 ^c	0 ^c	0 ^c
<i>Compact vehicles</i>				
ICEV	60 ^a	54 ^a	52 ^a	52 ^a
HEV	35 ^b	40 ^b	33 ^b	23 ^b
BEV	5 ^b	6 ^b	15 ^b	25 ^b
FCHEV	0 ^c	0 ^c	0 ^c	0 ^c
<i>Mini-sized vehicles</i>				
ICEV	95 ^a	94 ^a	85 ^a	75 ^a
HEV	0 ^d	0 ^d	0 ^d	0 ^d
BEV	5 ^b	6 ^b	15 ^b	25 ^b
FCHEV	0 ^c	0 ^c	0 ^c	0 ^c

^a Remainder market share.

^b Estimated based on the reference scenario from [31].

^c Authors' assumption.

^d Estimated based on the realistic scenario from [30].

ไม่เพียงการกำหนดสัดส่วนด้วยการแทนที่ด้วยรถยนต์ไฟฟ้าทั้งหมด และการคาดการณ์ปริมาณรถยนต์ที่เปลี่ยนแปลงไปในอนาคตเท่านั้น Ernani F.C. [15] ได้ทำการศึกษาถึงผลกระทบของสิ่งแวดล้อมเมื่อมีปริมาณรถยนต์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นในประเทศบราซิล แต่ในการศึกษาได้ใช้วิธีการกำหนดสัดส่วนจำนวนรถยนต์ทั้งสองชนิดด้วยการจำลองสถานการณ์การเพิ่มขึ้นของปริมาณรถยนต์ไฟฟ้าที่นำมาใช้แทนรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายใน ในปี ค.ศ.2022 ในปริมาณ 1%, 5% และ 10% ซึ่งเหตุผลที่เขากำหนดปริมาณของรถยนต์ไฟฟ้าเป็นดังนี้ เนื่องจาก ในการศึกษาทางด้านเศรษฐศาสตร์เกี่ยวกับการคาดการณ์ปริมาณรถยนต์ไฟฟ้า และรถยนต์ไฮบริดแบบปลั๊กอิน ในปี ค.ศ.2012 ยังไม่มีข้อมูลการศึกษาที่ชัดเจน จึงทำให้ไม่สามารถกำหนดปริมาณจากการคาดการณ์ปริมาณรถยนต์ชนิดต่างๆในอนาคตได้ และการศึกษาที่มีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการทราบถึงผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมเมื่อมีการใช้รถยนต์ไฟฟ้าแทนรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายในเพิ่มขึ้นในอนาคต ไม่เพียงเท่านั้นงานวิจัย

ของ Jana Hofmann [13] ก็ได้ใช้วิธีการนี้เช่นกัน โดย Hofmann ได้กำหนดสัดส่วนการทดแทนด้วยรถยนต์ไฟฟ้าในปริมาณ 5%, 20%, 50%, 70% และ 100% และทำการวิเคราะห์ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ลดลงเมื่อมีการใช้รถยนต์ไฟฟ้าแทนรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายในต่อไป ซึ่งวิธีการนี้ก็เป็นหนึ่งในวิธีการที่สามารถใช้เพื่อประมาณปริมาณพลังงานและมลพิษที่เปลี่ยนแปลงไปได้ และผลการวิเคราะห์นี้สามารถนำไปเพื่อกำหนดนโยบายหรือกลยุทธ์ในการอนุรักษ์พลังงานได้ต่อไป

จากการศึกษางานวิจัยเพื่อกำหนดสัดส่วนปริมาณรถยนต์ไฟฟ้าที่นำมาใช้แทนรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายในนั้น สามารถรวบรวมข้อมูลและสรุปได้ว่า การกำหนดปริมาณรถยนต์ไฟฟ้ามีอยู่ 3 วิธี ซึ่งการเลือกนำมาใช้แต่ละวิธีการมีวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกันไป วิธีการที่ 1 เป็นวิธีการที่ต้องการทราบถึงผลการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด (Maximum potential benefits) เมื่อมีการใช้รถยนต์ไฟฟ้าแทนรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายใน จึงกำหนดให้การใช้รถยนต์ไฟฟ้าทดแทนมีปริมาณ 100% [13, 14] สำหรับวิธีการที่ 2 วัตถุประสงค์เพื่อต้องการทราบถึงผลกระทบในอนาคตที่ใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุดจึงใช้วิธีการวิเคราะห์ผลกระทบจากปริมาณรถยนต์ไฟฟ้าที่ใช้แทนรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายในที่มีการคาดการณ์ปริมาณรถยนต์ใหม่มาก่อน [1, 12] และสำหรับวิธีที่ 3 เป็นการกำหนดปริมาณของรถยนต์ไฟฟ้าที่นำมาใช้แทนรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายในขึ้นมาในปริมาณที่กำหนดเอง เนื่องจากวัตถุประสงค์เพียงต้องการทราบว่าหากมีการใช้รถยนต์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจะมีผลอย่างไรเกิดขึ้น [13, 15]

2.2 การเลือกรถยนต์ทดสอบ

นอกจากการกำหนดสัดส่วนปริมาณของรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายในและรถยนต์ไฟฟ้าแล้ว ยังมีเงื่อนไขการเลือกรถยนต์ทดสอบมาเกี่ยวข้องด้วย เนื่องจากรถยนต์ในแต่ละกลุ่มที่มีขนาดเครื่องยนต์ต่างกันจะมีอัตราการใช้พลังงานที่ไม่เหมือนกัน และสำหรับรถยนต์ไฟฟ้า ยังมีข้อจำกัดด้านการใช้งานในชีวิตประจำวัน จึงจำเป็นจะต้องมีการกำหนดรถยนต์ที่ใช้ในการทดสอบอย่างเหมาะสม [16] และจากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวกับการกำหนดสัดส่วนระหว่างปริมาณรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายในกับรถยนต์ไฟฟ้า เพื่อเปรียบเทียบอัตราการใช้พลังงานที่ลดลงนั้นพบว่า ในการเลือกรถยนต์ทั้ง 2 ชนิดนั้นจะมีวิธีการเลือก 2 แบบ คือ 1. เลือกรถยนต์ทั้งสองชนิดที่มีน้ำหนักรถยนต์ (ไม่รวมน้ำหนักเครื่องยนต์) ใกล้เคียงกันและอยู่ในกลุ่มเดียวกัน และ 2. เลือกรถยนต์ไฟฟ้าจากความสามารถในการขับเคลื่อนต่อการชาร์จประจุเต็ม 1 ครั้ง

Lluc Canals Casals [17] ที่ทำการวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ลดลงเมื่อมีการใช้รถยนต์ไฟฟ้าในยุโรป ได้แบ่งประเภทของรถยนต์ไฟฟ้าตามน้ำหนักของรถยนต์โดยกำหนดช่วงของน้ำหนักรถยนต์ตั้งแต่ 1,100-1,700 kg และแบ่งเป็นกลุ่มรถยนต์เป็นขนาดเล็ก กลาง และใหญ่ ไม่เพียง Lluc Canals ที่ใช้วิธีการแบ่งกลุ่มรถยนต์จากน้ำหนัก Juan C. [12] ก็ได้ทำการแบ่งกลุ่มรถยนต์

ตามน้ำหนักด้วยเช่นกัน แต่สิ่งที่แตกต่างกันคือ เขาได้แบ่งตามน้ำหนักของรถยนต์ซึ่งคือน้ำหนักรถยนต์ เฉพาะตัวถังที่ไม่มีเครื่องยนต์และแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม คือ Normal, Compact และ mini-Sized แสดงดังตารางที่ 2

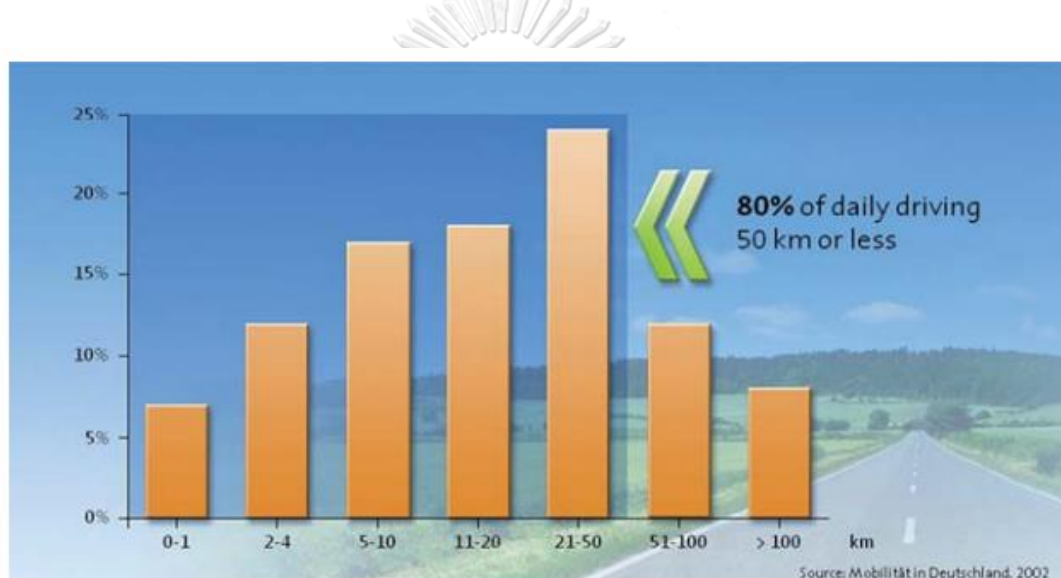
ตารางที่ 2 เปรียบเทียบน้ำหนักของรถยนต์และส่วนประกอบหลักของรถยนต์ประเภทต่างๆ [12]

	2012			
	ICEV	HEV	BEV	FCHEV
<i>Normal vehicle</i>				
Glider ^a	1217	1211	1273	1246
Engine/exhaust	212	125	-	-
Motor/controller	-	27	141	114
Transmission	93	80	79	72
Fuel cell stack	-	-	-	237
Li-ion battery	-	45	501	54
<i>Compact vehicle</i>				
Glider ^a	947	943	998	965
Engine/exhaust	117	81	-	-
Motor/controller	-	11	81	62
Transmission	51	45	46	39
Fuel cell stack	-	-	-	152
Li-ion battery	-	17	411	22
<i>Mini-sized vehicle</i>				
Glider ^a				
Engine/exhaust	725	723	765	734
Motor/controller	-	3	34	25
Transmission	21	20	19	16
Fuel cell stack	-	-	-	74
Li-ion battery	-	6	305	10

^a Including powertrain additional structural support, start-up and accessory load battery and fluids.

สำหรับวิธีการเลือกรถยนต์ไฟฟ้าจากความสามารถในการขับขี่ต่อการชาร์จประจุเต็ม 1 ครั้ง Ernani Francisci Choma [15] ได้ทำการเลือกรถยนต์ไฟฟ้าโดยใช้ระยะทางในการเดินทางเฉลี่ยต่อวันเป็นเงื่อนไขในการเลือก และได้เลือกรถยนต์ไฟฟ้าที่สามารถใช้งานได้โดยไม่ต้องเติมประจุไฟฟ้าได้ระยะทาง (All electric range :AER) 120 km ซึ่งเป็นข้อมูลจากผู้ผลิต เนื่องจากระยะทางเฉลี่ยที่ใช้เดินทางในประเทศบราซิลต่อวัน (Average dairy distance travel :ADDT) มีระยะทาง 50 km และรถยนต์ไฟฟ้าที่มี AER เท่ากับ 120 km มีค่า AER มากกว่า 2 เท่าของ ADDT ซึ่ง Brazil 2011 [18] ได้กำหนดว่ารถยนต์ไฟฟ้าที่จะเลือกมาใช้ทดสอบจะต้องมีค่า AER มากกว่า ADDT อย่างน้อย 2 เท่า และนอกจากนั้น Juan Martinez-Lao [19] ที่ทำการศึกษาเกี่ยวกับภาพรวมระบบของระบบชาร์จในประเทศสเปน เพื่อทำการพัฒนานโยบายและโครงสร้างสถานีชาร์จประจุสาธารณะ ได้สังเกตเห็นปัญหาข้อจำกัดการใช้งานแบตเตอรี่ของรถยนต์ไฟฟ้า ก็ได้มีการกล่าวถึงการเปรียบเทียบการใช้งานรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายในกับรถยนต์ไฟฟ้าในเรื่องของความเสี่ยงของพลังงานที่ใช้งาน โดยให้ความเห็นว่า รถยนต์ไฟฟ้าที่มีขนาดแบตเตอรี่อย่างน้อยที่สุด 16 kWh (AER = 150) จะสามารถขับขี่

งานบนสภาพการจราจรจริงได้ประมาณ 50-60 km แสดงว่าหากผู้ใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าจะต้องเดินทางด้วยระยะทางเฉลี่ยต่อวัน 50-60 km จะต้องใช้รถยนต์ไฟฟ้าที่มี AER มากกว่าอย่างน้อย 2.5 เท่า จึงจะมีพลังงานเพียงพอโดยไม่ต้องเติมประจุระหว่างทาง และจากตัวอย่างข้อมูลการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าในประเทศเยอรมนี [20] ดังแสดงในรูปที่ 1 พบว่ารถยนต์ไฟฟ้าที่มี AER 150 มีการใช้งานในชีวิตประจำวันที่ระยะทางไม่เกิน 50 km คิดเป็นสัดส่วนมากที่สุดถึง 80% สามารถใช้งานซ้ำได้โดยไม่ต้องเติมประจุระหว่างทาง ฉะนั้นจากการศึกษาถึงข้อจำกัดการใช้งานของรถยนต์ไฟฟ้าเพื่อเลือกรถยนต์ไฟฟ้าที่จะนำมาใช้ทดสอบนั้นจำเป็นต้องเลือกรถยนต์ไฟฟ้าที่มี AER อย่างน้อยมากกว่า 2-2.5 เท่าของระยะทางที่ใช้ในการขับขี่ต่อวัน จึงจะมีพลังงานเพียงพอที่จะใช้ทดสอบเพื่อเปรียบเทียบกับการใช้รถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายในในการขับขี่บนสภาพการจราจรจริงที่ทำการทดสอบได้



รูปที่ 1 ระยะทางการขับขี่ในชีวิตประจำวันของชาวเยอรมนีแบ่งตามช่วงความเร็ว [20]

2.3 การเลือกเส้นทางตัวแทนสภาพการขับขี่ของเมือง

จากการศึกษางานวิจัยต่างๆพบว่า การเลือกเส้นทางที่เหมาะสมใช้เพื่อเป็นตัวแทนของสภาพจราจร และการขับขี่บนพื้นที่ที่สนใจทำการศึกษา การเลือกเส้นทางสามารถทำได้ด้วย 3 วิธีการ คือ

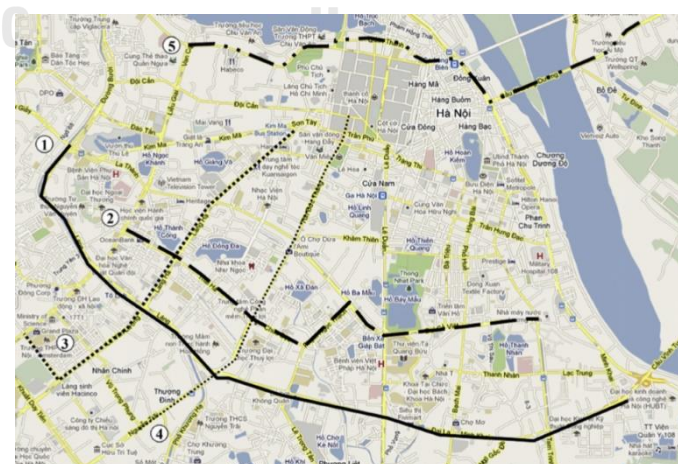
1. Origin-Destination เป็นการกำหนดเส้นทางโดยกำหนดจุดเริ่มต้น (Origin) และจุดหมายปลายทาง (Destination)
2. Mixture of routes by road types เป็นการกำหนดเส้นทางโดยรวมถนนแบบต่างๆเข้าด้วยกัน เช่น กำหนดเส้นทางที่ครอบคลุมทั้ง ทางหลวงชนบท, ทางหลวงในเมือง และทางด่วน เข้าด้วยกัน
3. Combination of O-D and road types เป็นการกำหนดเส้นทางโดยใช้ทั้งการกำหนดจุดเริ่มต้น และจุดหมายปลายทาง ร่วมกับการรวมถนนแบบต่างๆเข้าด้วยกัน

โดยรายละเอียดจากงานวิจัยที่ศึกษามีดังต่อไปนี้

The Centre for Environmental Monitoring of the Vietnam Environment Administration ในฮานอย ประเทศเวียดนาม ก่อตั้งขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาปริมาณมลพิษของรถยนต์สองประเภท คือรถมอเตอร์ไซค์ และรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายใน (light-duty vehicle: LDV) H.Y. Tong [21] ได้ศึกษาและพัฒนา Driving cycle โดยวิธีการพัฒนาจะเริ่มต้นจากการเลือกเส้นทางที่เหมาะสมที่ใช้ในการเก็บข้อมูลการขับขี่ เพื่อให้สามารถแสดงถึงลักษณะการขับขี่จริงบนถนนได้ จากการศึกษาพบว่าเส้นทางที่ใช้ในการเก็บข้อมูลการขับขี่รถมอเตอร์ไซค์มีทั้งหมด 10 เส้นทาง และเส้นทางที่ใช้เก็บข้อมูลการขับขี่ของรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายในมีทั้งหมด 5 เส้นทาง และเป็นเส้นทางในเมืองฮานอยเท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 2 และ 3 ซึ่งเส้นทางที่ถูกเลือกจะถูกพิจารณาเงื่อนไข 4 ข้อคือ



รูปที่ 2 รูปภาพแสดงเส้นทางที่ใช้ขับทดสอบเก็บข้อมูลการขับขี่ในประเทศเวียดนาม [21]



รูปที่ 3 รูปภาพแสดงเส้นทางที่ใช้ขับทดสอบเก็บข้อมูลการขับขี่ในประเทศเวียดนาม [21]

1. ประเภทของถนน (Road type) ซึ่งใช้หลักเกณฑ์การแบ่งตามมาตรฐาน Vietnamese Road Standard 104:2007 โดยแบ่งออกเป็น 4 ประเภทสำหรับถนนในเมืองคือ ทางหลวง (Highway), ถนนสายหลัก (Main roads), ถนนเชื่อมถนนสายหลัก (Connecting streets) และถนนในเมือง (Internal streets) ซึ่งรวมไปถึงถนนทางหลวง, ทางด่วน, ถนนสายหลัก, ถนนสายรอง และถนนในท้องถิ่นด้วย
2. ความยาวของการใช้เส้นทาง (Route length) ที่ได้มาจากการสอบถาม (questionnaires survey) ข้อมูลจากผู้ใช้งาน 3,000 คนถึงความยาวในการเดินทางในแต่ละครั้ง ซึ่งจะแสดงพฤติกรรมการขับขี่ของผู้คนในฮานอย โดยความยาวในการเดินทางอยู่ในช่วง 5-10 km
3. ความหนาแน่นการจราจร (Traffic volume)
4. การใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land use) ซึ่งทำการสอบถาม (questionnaires survey) ข้อมูลที่อยู่อาศัยจากผู้เดินทาง และแสดงให้เห็นว่าเมืองหลักๆที่มีผู้อยู่อาศัยเป็นจำนวนมากคือเมืองใดบ้าง โดยเมืองที่ถูกเลือก คือเมืองเก่า 4 เมือง และ เมืองใหม่ 5 เมือง และเส้นทางที่ใช้ในการทดสอบจะผ่านเมืองเหล่านี้

ซึ่งจากการศึกษาของงานวิจัยนี้จึงสรุปได้ว่า H.Y.Tong ได้ใช้วิธีการเลือกเส้นทางแบบ Combination of O-D and road types คือการใช้เงื่อนไขทั้งประเภทของถนนและการกำหนด Origin-Destination มาใช้ร่วมกัน โดยเหตุผลที่เขาได้ใช้วิธีการนี้เพื่อเลือกเส้นทางในการเก็บข้อมูลเนื่องจาก ในงานวิจัยนี้เขาทำการศึกษากาการใช้งานของรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายใน (Light-duty Vehicle :LDV) และรถจักรยานยนต์ ซึ่งรถทั้งสองประเภทจะมีรูปแบบการใช้งานที่ต่างกัน และใช้ถนนเส้นทางที่ต่างกันจึงทำให้ต้องมีการกำหนดเงื่อนไขในการเลือกเส้นทางในการเก็บข้อมูล โดยเขาได้กำหนดเงื่อนไข 2 เงื่อนไขคือ 1. Travel activity patterns เพื่อใช้ในการกำหนด O-D และ 2. Traffic flow characteristics เพื่อพิจารณาสภาพความหนาแน่นของการจราจร ด้วย 2 เงื่อนไขที่กล่าวมาข้างต้นนี้ จึงเป็นเหตุผลให้ในงานวิจัยนี้ใช้วิธีเลือกเส้นทางด้วยการกำหนด O-D ควบคู่กับการเลือกเส้นทางที่ครอบคลุมความหลากหลายของประเภทถนน

W.T. Hung [22] ได้ใช้วิธีการเลือกเส้นทางแบบ Origin-Destination โดยการเลือกเส้นทางในขั้นแรกผู้วิจัยจะทำการเลือกพื้นที่ที่สนใจก่อนและจึงกำหนดเส้นทางด้วยการวิเคราะห์ข้อมูลความถี่ในการใช้เส้นทางนั้นๆจาก Annual Average Dairy Traffic (AADT) ในการกำหนดเส้นทาง และผู้วิจัยได้กำหนดพื้นที่ที่สนใจ คือ

1. ย่านที่พักอาศัย (Residential)

2. ย่านอุตสาหกรรม (Industrial) และ

3. ย่านธุรกิจ (Commercial)

ซึ่งข้อมูลที่ใช้เพื่อกำหนดพื้นที่ทั้ง 3 นี้ได้มาจาก Planning Department, HKSAR และนำข้อมูลมาใช้ในการกำหนด O-D ในการทดสอบการขับซึ่งจะเลือกช่วงเวลาในตอนเช้า (Morning peak) เนื่องจากค่า AADT มีค่าสูงที่สุด และกำหนดให้ย่านที่พักอาศัยเป็นจุดเริ่มต้น (Origin) และย่านอุตสาหกรรมและย่านธุรกิจเป็นจุดหมายปลายทาง (Destination) เนื่องจากในช่วง Morning peak เป็นช่วงที่ผู้ใช้รถยนต์เดินทางจากที่พักอาศัยไปยังที่ทำงาน และจากผลการเลือกเส้นทางดังตารางที่ 10 จะครอบคลุมเส้นทางทั้ง ชานเมือง, ในเมือง และทางหลวง โดยแบ่งเป็นเส้นทางในเมือง 4 เส้นทาง, เส้นทางชานเมือง 1 เส้นทาง และถนนทางหลวง 4 เส้นทาง ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 เส้นทางที่ใช้ในการเก็บข้อมูลการขับ [22]

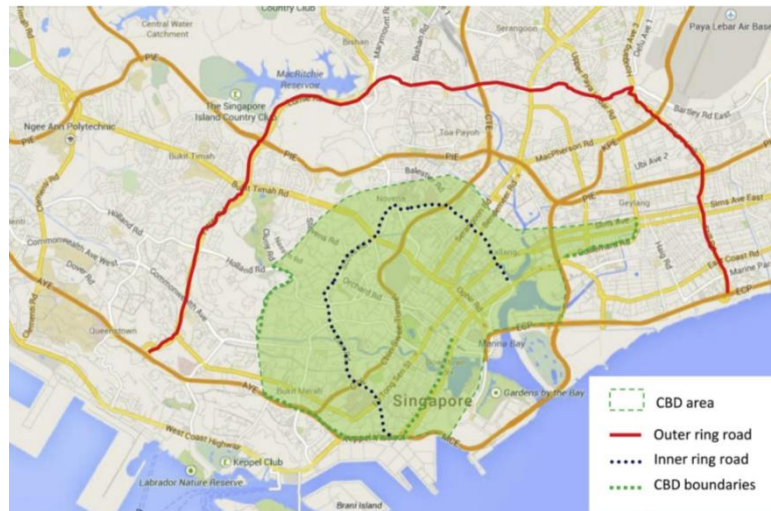
Identified driving test routes

Route type	Details of the route
Urban	<ul style="list-style-type: none"> • Tsuen Wan to Tsim Sha Tsui • Round trip from PolyU via Boundary Street • Round trip from PolyU via Lung Cheung Road, and • Chai Wai to Kennedy Town
Sub-urban	<ul style="list-style-type: none"> • Sai Kung to Choi Hung
Highway	<ul style="list-style-type: none"> • Tuen Mun Road • Tai Po to PolyU via Tolo Highway • Ma On Shan to PolyU via Tate's Cairn Highway, and • Yuen Long to Causeway Bay/PolyU via the Route 3

ซึ่งสามารถสรุปวิธีการเลือกเส้นทางในการเก็บข้อมูลของ W.T.Hung ได้ว่า เขาได้ใช้วิธีการเลือกเส้นทางแบบ Combination of O-D and road types โดยในการกำหนด O-D จะใช้ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นการกำหนด และพิจารณาการใช้เส้นทางร่วมด้วยจาก AADT และนอกจากนั้นยังกำหนดเส้นทางให้ครอบคลุมประเภทถนน 3 ประเภทคือ ถนนในเมือง, ถนนชานเมือง และทางหลวง เนื่องจากในการกำหนด O-D พบว่าในการเดินทางนั้นเป็นเส้นทางที่เชื่อมต่อกันระหว่างถนนแต่ละประเภทจึงมีความจำเป็นต้องเลือกเส้นทางที่เดินทางแบบ O-D และครอบคลุมประเภทถนนควบคู่ไปด้วย

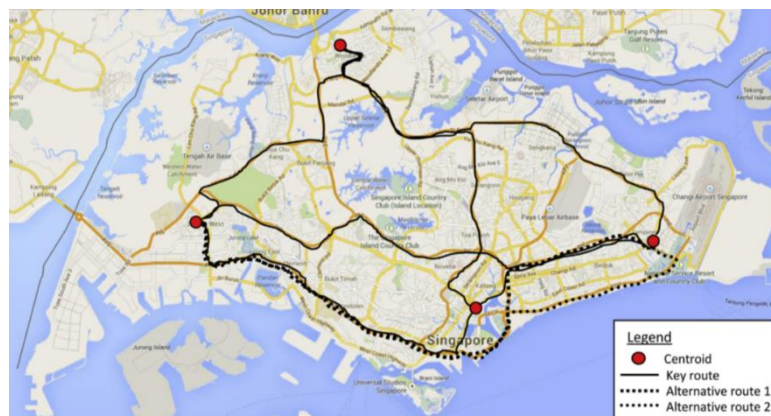
จากการศึกษางานวิจัยของ Sze-Hwee Ho [23] ที่ทำการพัฒนา Singapore driving cycle สำหรับรถยนต์นั่งส่วนบุคคล ที่มีสัดส่วนการใช้รถยนต์บนถนนสูงที่สุดถึง ร้อยละ 64 เพื่อใช้ในการประมาณอัตราการใช้เชื้อเพลิงและปริมาณมลพิษ โดยในการพัฒนานั้นผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาจากการเลือกเส้นทางที่ใช้ในการเก็บข้อมูลการขับ และเงื่อนไขสภาพจราจร (traffic conditions) ด้วยการใช้เส้นทางในการเก็บข้อมูลจำนวน 12 เส้นทางที่มีการใช้สูงที่สุด ซึ่งประกอบไปด้วยถนนบริเวณศูนย์กลางเศรษฐกิจ (Central Business District :CBD) และถนนวงแหวนทั้งรอบนอก และรอบใน

ของศูนย์กลางเศรษฐกิจ (inner-outer ring roads CBD) โดยเงื่อนไขในการเลือกเส้นทางครอบคลุมถึงการใช้ประโยชน์ที่ดิน, ประเภทของถนน และเงื่อนไขการขับขี่ที่แสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 รูปภาพแสดงเส้นทางที่ใช้ขั้บทดสอบเก็บข้อมูลการขับขี่ในประเทศสิงคโปร์ [23]

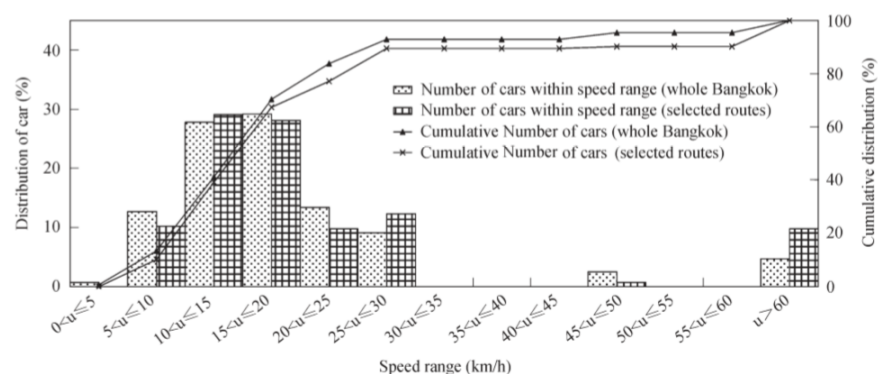
ในการเลือกเส้นทางที่ใช้ในการเก็บข้อมูลขั้นแรกจะทำการวิเคราะห์ข้อมูลความหนาแน่นของสภาพการจราจร (traffic density) ที่ได้จากการสังเกตการณ์ความเร็วในการขับขี่ (traffic speeds) แบบเรียลไทม์ และจากการสังเกตการณ์พบว่ามากกว่าร้อยละ 60 จะเป็นการเดินทางจากที่พักอาศัยไปทำงาน (home-to-work) และเดินทางกลับจากที่ทำงานไปที่พักอาศัย และเนื่องจากการเก็บข้อมูลการใช้รถยนต์นี้ส่วนบุคคลที่มีลักษณะการใช้งานบนถนนทุกประเภท ขั้นตอนต่อไปจึงทำการเลือกเส้นทางขับขี่ที่มีการใช้มากที่สุดและครอบคลุมทุกประเภทของถนน โดย 12 เส้นทางที่ถูกเลือกจะเริ่มต้นเดินทางจาก 4 จุดคือ จุดศูนย์กลางทางทิศตะวันออก, ทิศตะวันตก, ทิศเหนือ และศูนย์กลางเศรษฐกิจในทิศใต้ที่แสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 รูปภาพแสดงเส้นทางที่ใช้ขั้บทดสอบเก็บข้อมูลการขับขี่ในประเทศสิงคโปร์ [23]

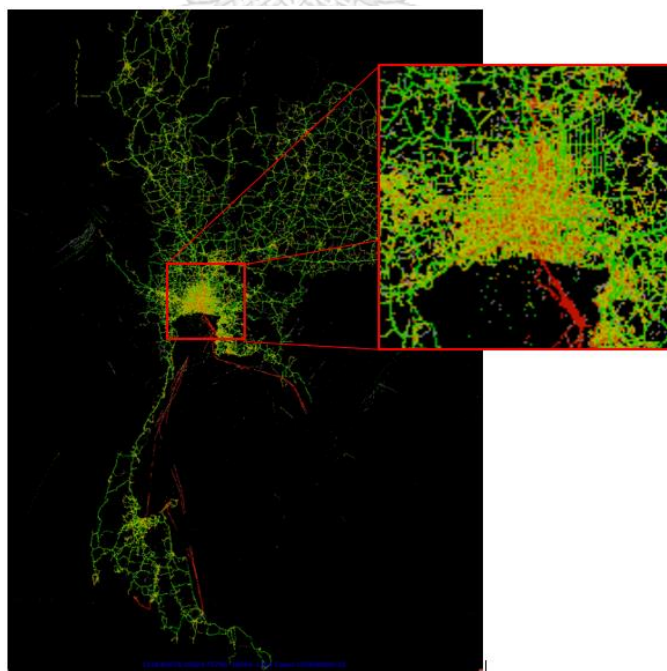
จากการศึกษาการพัฒนา Driving cycle ในประเทศเวียดนาม, ฮองกงและสิงคโปร์ โดย H.Y. Tong, W.T. Hung และ Sze-Hwee Ho ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการเลือกเส้นทางในการเก็บข้อมูล การขับขี่มีความสำคัญ และการเลือกเส้นทางที่เหมาะสมจะทำให้ได้ Driving cycle ที่สามารถสะท้อนถึงสภาพการจราจรจริงได้มากที่สุด นอกจากนี้ 3 วิธีที่กล่าวมาแล้วข้างต้น จากการศึกษาวิจัยของ Tamsanya [24] ผู้วิจัยมีจุดประสงค์เพื่อแสดงถึงวิธีการเลือกเส้นทางที่เหมาะสมในการเก็บข้อมูลการขับขี่ ได้ศึกษาและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการพัฒนารูปแบบการขับขี่มาตรฐาน (Driving cycle) พร้อมแสดงวิธีการเลือกเส้นทางที่เหมาะสมในการสร้าง Driving cycle ของการขับขี่รถยนต์ใน กรุงเทพมหานคร มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

ในขั้นตอนแรก จะวิเคราะห์ Traffic flow ซึ่งเป็นข้อมูลแสดงการกระจายตัวของความเร็วในการขับขี่และปริมาณรถยนต์ที่วิ่งผ่านถนนสายต่างๆ โดยเป็นแนวคิดของ Dirk et al (2003) [25] จากนั้นทำการเลือกเฉพาะเส้นทางหลัก บางเส้นทางโดยเส้นทางที่เลือกจะต้องครอบคลุมทุกประเภทของถนนและสภาพการขับขี่ที่กำหนดด้วยช่วงของความเร็วเฉลี่ยการขับขี่ จากการวิเคราะห์ข้อมูล Traffic flow จากการเลือกเส้นทางพบว่า เส้นทางหลักในกรุงเทพมหานคร ซึ่งเป็นบริเวณที่สนใจ มีจำนวนทั้งหมด 20 เส้นทาง และเส้นทางที่เลือกมีทั้งหมด 7 เส้นทาง คือ ถนนสีลม, ถนนเพชรบุรี, ถนนสุขุมวิท, ถนนลาดพร้าว, ถนนพหลโยธิน, ถนนจรัญสนิทวงศ์ และถนนวิภาวดี ซึ่งความเร็วในการขับขี่ครอบคลุมช่วงความเร็วเฉลี่ยการขับขี่จริง โดยมีความเร็วตั้งแต่ น้อยกว่า 10 km/h, 10-20 km/h, 20-30 km/h และ มากกว่า 30 km/h ดังแสดงในรูปที่ 6 และสามารถสรุปขั้นตอนได้ดังนี้ 1. เลือกเส้นทางที่สนใจ (ในงานวิจัยนี้เลือก 20 เส้นทาง) -> 2. พิจารณา Traffic flow แต่ละเส้นทาง -> 3. เลือกเส้นทางที่ครอบคลุมประเภทถนน และครอบคลุมช่วงความเร็วจากการพิจารณา Traffic flow (ในงานวิจัยนี้เลือกเส้นทางตัวแทนจำนวน 7 เส้นทาง)



รูปที่ 6 แผนผังเปรียบเทียบการกระจายตัวของความเร็วในการขับขี่ของเส้นทางที่เลือกจำนวน 7 เส้นทาง กับเส้นทางหลักในกรุงเทพมหานครทั้งหมด 20 เส้นทาง [25]

วิธีการการเลือกเส้นทางของ Tamsanya ได้ใช้วิธีการ Mixture of routes by road types โดยไม่ได้มีการพิจารณาถึงการใช้ประโยชน์ที่ดิน พิจารณาเพียงปริมาณรถยนต์ที่วิ่งผ่านในถนนแต่ละเส้น และความเร็วการขับขี่บนถนนเส้นนั้นต่าง ๆ จาก Traffic flow เท่านั้น ซึ่งวิธีการนี้ก็เป็นหนึ่งในวิธีการที่ใช้ในการเลือกเส้นทางโดยไม่ได้มีการกำหนด O-D แต่ก็สามารถใช้ในการเก็บข้อมูลการขับขี่ที่สะท้อนสภาพการจราจรของกรุงเทพมหานครได้เช่นกัน เพียงแต่หากเส้นทางที่ผู้วิจัยเลือกมาก่อนหน้าในขั้นตอนที่ 1 มีความไม่เหมาะสม ก็อาจจะทำให้การพิจารณา Traffic flow และเลือกเส้นทางที่ใช้เก็บข้อมูลสามารถสะท้อนสภาพการจราจรจริงได้ไม่ครอบคลุมเท่าที่ควร งานวิจัยนี้จะใช้วิธีการวิเคราะห์สภาพการขับขี่ด้วยการแบ่งช่วงความเร็วเฉลี่ยของถนนแต่ละเส้นเช่นเดียวกับ Tamsanya และเรียกการขับขี่ในแต่ละช่วงความเร็วเฉลี่ยว่า “พฤติกรรมการขับขี่” ซึ่งจะแสดงผลด้วยรูปแบบการขับขี่ (Driving pattern) ในแต่ละช่วงความเร็ว แต่ในขั้นตอนเลือกเส้นทางหลักที่สนใจในขั้นตอนแรก จะวิเคราะห์ข้อมูลจาก ข้อมูลความเร็วเฉลี่ยบนช่วงของถนนในกรุงเทพมหานคร ที่ได้รับความอนุเคราะห์ข้อมูลจากมูลนิธิศูนย์ข้อมูลจราจรอัจฉริยะไทย (The Intelligent Traffic Information Center Foundation :iTic) [26] ซึ่งมีข้อมูลความเร็วเฉลี่ยถนนในกรุงเทพมหานครมากกว่า 80% ดังแสดงได้ด้วยแผนภาพ ดังรูปที่ 7 และเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Tamsanya ที่ทำการเลือกเส้นทางสายหลักที่สนใจมาพิจารณาสภาพการขับขี่เพียง 20 เส้นทาง งานวิจัยนี้จะสามารถพิจารณาสภาพการขับขี่ของการขับขี่จริงได้ครอบคลุมมากกว่า



รูปที่ 7 แสดงจุดรับข้อมูลการขับขี่ของ iTic เมื่อเดือน พฤษภาคม พ.ศ.2557 [26]

อีกหนึ่งในงานวิจัยที่ทำการจำแนกสภาพการขับขี่ หรือพฤติกรรมในการขับขี่ด้วยความเร็วเฉลี่ย คือ งานวิจัยของ Michel Andre [2] ที่ทำการพัฒนารูปแบบการขับขี่มาตรฐานของยุโรป (European Driving cycle:EDC) ได้วิเคราะห์สภาพการขับขี่ด้วย Speed profile (แผนผังความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับเวลา) โดยวิธีการคือ ขับรถทดสอบเก็บข้อมูลการขับขี่และวิเคราะห์สภาพการขับขี่ พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คือ ระยะทาง ความเร็ว ความเร็วเฉลี่ย อัตราการหยุด อัตราการเร่ง ระยะเวลา และระยะเวลาที่รถหยุดจอด ซึ่งพารามิเตอร์ทั้งหมดจะเป็นตัวแสดงถึงเงื่อนไขลักษณะการขับขี่ (Characterisation of driving conditions) จากนั้นทำการสร้างแผนผังการกระจายตัวของ Speed x Acceleration และทำการเลือกค่าที่จุดศูนย์กลางมาเป็นสภาพการขับขี่เฉลี่ย (Average characteristics) ของแต่ละเงื่อนไขลักษณะการขับขี่ที่ต่างกัน พร้อมทั้งพิจารณา Speed profile ในแต่ละช่วงความเร็วเฉลี่ย และพารามิเตอร์ต่างๆควบคู่ไปด้วย จากการวิเคราะห์ทั้งหมดนี้ สามารถแสดงการแบ่งกลุ่มของสภาพการขับขี่ได้ด้วยพารามิเตอร์เพียงตัวเดียวคือ ความเร็วเฉลี่ย และแสดงผลเป็น Speed profile งานวิจัยนี้จึงประยุกต์ใช้วิธีการดังกล่าวมาเพื่อจำแนกพฤติกรรมในการขับขี่ ด้วยการใช้ค่าความเร็วเฉลี่ยมาเป็นเกณฑ์ในการจำแนก และแสดงผลด้วย Driving pattern ซึ่งมีลักษณะการแสดงผลเช่นเดียวกันกับ Speed profile วิธีการนี้จะทำให้ได้ผลการคำนวณที่ละเอียดมากยิ่งขึ้น เนื่องจากมีการวิเคราะห์ถึงพฤติกรรมในการขับขี่จริงที่ครอบคลุมการขับขี่ในพื้นที่ที่สนใจ ฉะนั้นวิธีการนี้จะทำให้ได้อัตราการใช้พลังงานที่สะท้อนถึงการขับขี่จริงในกรุงเทพมหานครได้อย่างถูกต้องแม่นยำ

2.4 การวิเคราะห์ปริมาณพลังงาน

ในงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการวิเคราะห์ปริมาณพลังงานของรถยนต์ ไม่ว่าจะเป็นการหาปริมาณเชื้อเพลิงของรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายในหรือรถยนต์ไฟฟ้า พบว่ามีอยู่ 2 วิธีการคือ การใช้ Driving cycle [2, 21, 23-25, 27-30] และการใช้แบบจำลองค่ากำลังจำเพาะของยานยนต์ (VSP model) [12, 31-34] มาเป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์อัตราการใช้พลังงานที่จะต้องนำไปคำนวณหาปริมาณพลังงานต่อไป จากการศึกษาวิจัยต่างๆพบว่า ในการใช้อัตราการใช้พลังงานเพื่อประมาณปริมาณพลังงาน (Total Energy Consumption :TEC) ของรถยนต์นั้นมีการใช้สมการรูปแบบใกล้เคียงกันนั่นคือ สมการผลรวมของจำนวนรถยนต์ในแต่ละ Segment (N_i) คูณกับระยะทางที่ใช้เดินทางอาจเป็นระยะทางเดินทางเฉลี่ยตลอดทั้งปี (Annual dairy distance travel :ADDT) หรือระยะทางต่อเที่ยวการเดินทาง (Dairy distance per trip :DDT) (D_i , km) และอัตราการใช้พลังงานหรืออัตราใช้น้ำมันเชื้อเพลิงหรืออัตราปล่อยมลพิษของรถยนต์ใน segment นั้นๆ (C_i , Consumption/km) ดังแสดงในสมการที่ 1

$$TEC = \sum_{vehicle(i)} N_i \times DDT \times C_i \quad (1)$$

สำหรับค่าอัตราการใช้พลังงาน หรืออัตราการปล่อยมลพิษในแต่ละงานวิจัยที่ศึกษามีวิธีการเลือกใช้ข้อมูลที่แตกต่างกันออกไปโดยหากใช้ค่าจากการวัดจริงจะมีวิธีการอยู่ 2 วิธีคือ การใช้รูปแบบมาตรฐานการขับขี่ และการใช้แบบจำลองค่ากำลังจำเพาะของยานยนต์ โดยรายละเอียดการศึกษางานวิจัยมีดังต่อไปนี้

แหล่งข้อมูลอัตราการใช้พลังงาน

- 1.อ้างอิงจากมาตรฐานของรถยนต์ในแต่ละรุ่นที่ผู้ผลิตกำหนด
- 2.วัดจากการขับขี่จริงด้วยการวิเคราะห์ด้วย Driving cycle และ
- 3.วัดจากการขับขี่จริงด้วยการวิเคราะห์ด้วย Vehicle specific power (VSP)

Evanthia A. (2015) [35] ศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงทางสิ่งแวดล้อมเมื่อมีการใช้รถยนต์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นในอนาคต เพื่อเสนอเป็นแผนการพัฒนาระบบพลังงานเพื่อตอบสนอง Strategic Zero Carbon Transport Plan ในเมืองเอเธนส์ ประเทศกรีซ ที่มีเป้าหมายเพื่อต้องการลดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เป็นศูนย์ในภาคการขนส่ง ได้ใช้วิธีการคำนวณด้วยการอ้างอิงอัตราการปล่อยมลพิษจากมาตรฐานมลพิษจากรถยนต์ Pre-EURO1,2 และ EURO1-5 ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 มาตรฐานการปล่อยมลพิษ [35]

Gasoline emissions standards							
g/km	Pre-Euro1	Pre-Euro2	Euro1	Euro2	Euro3	Euro4	Euro5
CO	50	15	2,72	2,2	2,3	1	1
NOx	2,5	1,2	0,45	0,25	0,15	0,08	0,06
HC	12	1,9	0,25	0,1	0,2	0,1	0,1
PM	0,04	0,04	0,0055	0,004	0,0037	0,002	0,005

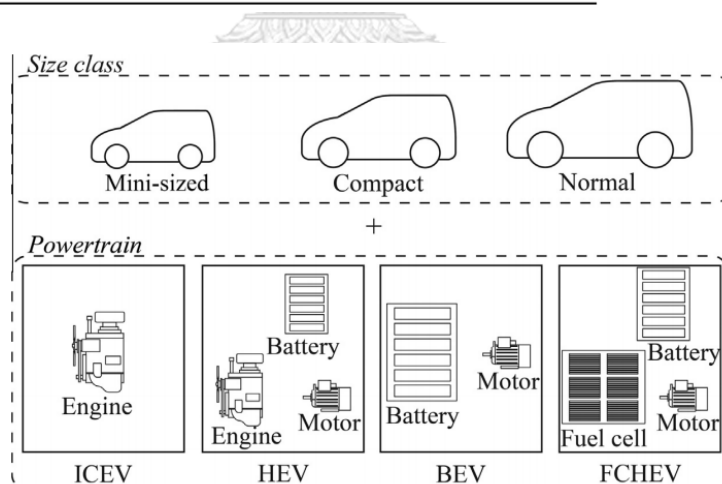
นอกจาก Evanthia A. ที่ใช้ข้อมูลอัตราการปล่อยมลพิษจากมาตรฐาน EURO แล้ว Jana Hofmann [12] ก็ใช้ข้อมูล Fuel consumption จากมาตรฐาน EURO เพื่อใช้ในการคำนวณหาปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงรวมเช่นกัน และในการคำนวณปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงมีสมการการคำนวณที่ใกล้เคียงกับ Evanthia A. มาก และมีรูปแบบสมการในการคำนวณแบบเดียวกันอีกด้วย จากการศึกษาการหาปริมาณเชื้อเพลิงและปริมาณการปล่อยมลพิษของรถยนต์ด้วยการใช้ข้อมูลจากมาตรฐาน EURO พบว่าในการวิเคราะห์ปริมาณมลพิษและปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงยังไม่สามารถสะท้อนปริมาณที่แท้จริงในการขับขี่ได้ถูกต้องแม่นยำมากพอ เนื่องจาก Consumption rate ในการขับขี่จริงอาจมีค่าแตกต่างจากค่ามาตรฐานซึ่งเป็นผลมาจากสภาพการขับขี่จริงที่แตกต่างไปจากการ

ข้อขีดมาตรฐานที่ทดสอบ ฉะนั้นในการในการวิเคราะห์ถึงอัตราการใช้พลังงาน วิธีการทดสอบจากการ ขยับบนสภาพการจราจรจริงจะสามารถสะท้อนถึงปริมาณพลังงานที่ใช้งานได้ถูกต้องมากกว่า

เพื่อให้การหาอัตราการใช้พลังงานจากสภาพการขยับขีจริงมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น Juan C. [16] จึงทำการวิเคราะห์ปริมาณพลังงานและวิเคราะห์อัตราการปล่อยมลพิษด้วยวิธีการ Tank-to-Wheel CO₂ emission ซึ่งจะใช้ข้อมูลอัตราสิ้นเปลืองพลังงานเชื้อเพลิงจากข้อมูลการขยับขีจริงมา วิเคราะห์หาปริมาณมลพิษ ดังแสดงดังตารางที่ 5 และแบ่งตามชนิดและขนาดของรถยนต์ดังแสดงดัง รูปที่ 8 จากนั้นทำการวิเคราะห์อัตราการใช้พลังงานด้วยสมการที่มีรูปแบบการคำนวณแบบเดียวกันนี้ ด้วยเช่นกัน ซึ่งจากผลการประมาณปริมาณพลังงานและปริมาณมลพิษด้วยวิธีการนี้จะทำให้ได้ค่าที่มีความใกล้เคียงความเป็นจริงมากกว่าการใช้ค่าอ้างอิงจากมาตรฐานหรือที่ผู้ผลิตกำหนด

ตารางที่ 5 สมมติฐานของสถานการณ์จำลอง ปี ค.ศ.2030 [12]

	Policy scenario 1	Policy scenario 2	Policy scenario 3
Fuel quality standards	Euro 5, 6	Euro 3, 4	Euro 5, 6
Gasoline consumption rates (L/100 km)	5.5	8	5.5
Vehicle kilometres travelled (VKT) (km)	12,000	12,000	12,000
EVs fuel economy (kW h/100 km)	20	12	12



รูปที่ 8 การพิจารณาแบ่งประเภทของรถยนต์ [12]

นอกจากการการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวกับการใช้อัตราการใช้พลังงานเพื่อหาปริมาณพลังงาน และปริมาณมลพิษแล้ว ยังพบว่า งานวิจัยของ H.Lee [1] ที่ศึกษาความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพการใช้เชื้อเพลิงและปริมาณพลังงานเชื้อเพลิงรวมเพื่อวิเคราะห์เพื่อสนับสนุนแผนการลดการใช้พลังงาน และลดก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse gas :GHG) ในประเทศเกาหลีที่วิเคราะห์อัตราการใช้พลังงาน

ของรถยนต์จำนวน 18 กลุ่มจากสถิติการกระจายตัวของการจดทะเบียนรถยนต์ในปี ค.ศ.2010 โดยแบ่งตาม Class, ชนิดของรถยนต์, ขนาด และชนิดของเชื้อเพลิง ดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ตารางกลุ่มของรถยนต์ที่ทำการศึกษา [1]

No	Class	Fuel	Size
1	Passenger car	Gasoline	Subcompact
2			Compact
3			Medium
4			Large
5		Diesel	MPV
6		LPG	Medium
7			MPV
8	Bus	Diesel	Compact
9			Medium
10			Heavy
11		LPG	Compact
12			Medium
13			Heavy
14	Truck	Diesel	Compact
15			Medium
16		LPG	Heavy
17			Compact
18			Medium

ในการประมาณการปริมาณพลังงานและปริมาณก๊าซเรือนกระจก (GHG) ในภาคการขนส่งของรถยนต์ที่เลือกมาจำนวน 18 กลุ่มจะคำนวณด้วยสมการที่มีรูปแบบการคำนวณเดียวกันนี้ โดยสำหรับการคำนวณปริมาณพลังงานใน 1 ปี จะใช้จำนวนของรถยนต์ในแต่ละกลุ่ม, ระยะทางเฉลี่ยในการเดินทางตลอดทั้งปี และ ค่าเฉลี่ยอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงมาใช้ในการคำนวณ และสำหรับการคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจก (GHG) จะใช้ค่าเฉลี่ยปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ต่อกิโลเมตร โดยค่าเฉลี่ยอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงและค่าเฉลี่ยปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ต่อการเดินทาง 1 กิโลเมตร ได้มาจากการวัดด้วยรูปแบบการขับขี่มาตรฐาน (Driving cycle) ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้รูปแบบการขับขี่มาตรฐาน CVS-75 ควบคู่กับรูปแบบการขับขี่มาตรฐานบนถนนทางหลวง HWFET (Highway Fuel Economy Test) โดยแบ่งสัดส่วนของรูปแบบการขับขี่มาตรฐานทั้งสองแบบเป็นมาตรฐาน CVS-75 55% และ HWFET 45% ซึ่งเป็นรูปแบบการขับขี่มาตรฐานที่สะท้อนสภาพการจราจรในการขับขี่จริงในประเทศเกาหลีที่ผ่านการรับรองแล้ว

สำหรับการหา Consumption rate ในแบบสุดท้ายคือการใช้ค่ากำลังจำเพาะของยานยนต์ (VSP) มาใช้ในการวัดอัตราการใช้พลังงานหรืออัตราการปล่อยมลพิษจากการขับขี่จริง โดยจากการศึกษางานวิจัยของ Lluc Canals Casals [17] ที่ทำการศึกษาเกี่ยวกับการลดลงของปริมาณ

คาร์บอนไดออกไซด์เมื่อมีการใช้รถยนต์ไฟฟ้าในยุโรป เขาทำการวิเคราะห์พลังงานที่ใช้เฉพาะในช่วงที่รถยนต์ทำงาน หรือเรียกว่า Tank-to-Wheel Efficiency on operation ด้วยค่ากำลังจำเพาะของยานยนต์ จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการหาปริมาณพลังงาน และปริมาณการปล่อยมลพิษสามารถสรุปได้ว่า มีวิธีการวิเคราะห์อยู่ 3 วิธีการดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้นคือการใช้ค่า อัตราการใช้พลังงานจากข้อมูลมาตรฐานที่ผ่านการรับรองแล้ว, จากรูปแบบการขับขี่มาตรฐาน และจากแบบจำลองค่ากำลังจำเพาะของยานยนต์ ซึ่งการใช้รูปแบบการขับขี่มาตรฐานและแบบจำลองค่ากำลังจำเพาะของยานยนต์เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลจากการวัดจริง

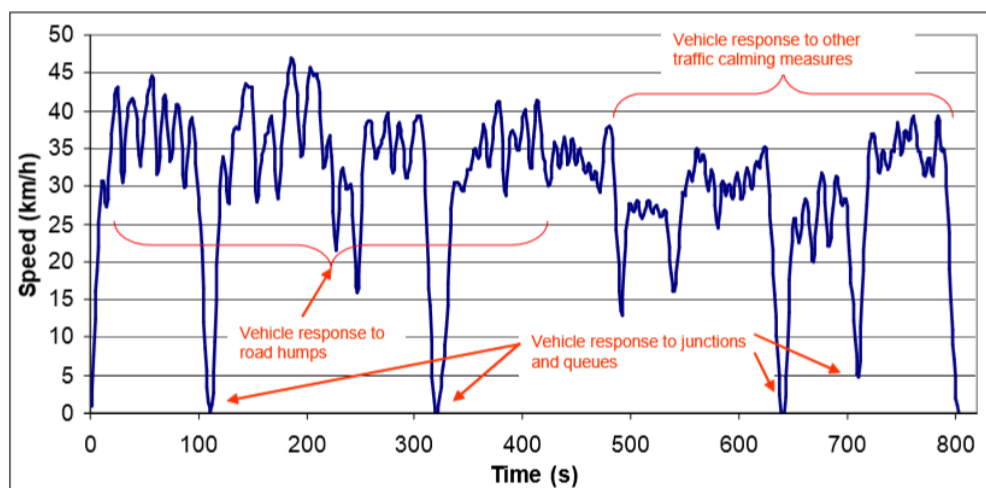
2.5 การวิเคราะห์อัตราการใช้พลังงาน

ในการวิเคราะห์ถึงปริมาณพลังงานของทั้งรถยนต์ไฟฟ้าหรือรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายใน พบว่ามีวิธีการคือ การใช้สมการที่มีตัวแปรของ Consumption rate แสดงอัตราการใช้พลังงาน, ระยะทางที่ใช้ในการขับขี่ และจำนวนรถยนต์ที่ทำการศึกษาที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อก่อนหน้านี้ แต่สำหรับวิธีการหา Consumption rate จากการวัดจริงพบว่ามีอยู่ 2 วิธีการคือ การวัดโดยใช้รูปแบบการขับขี่มาตรฐาน (Driving cycle) และการใช้แบบจำลองค่ากำลังจำเพาะของยานยนต์ (Vehicle Specific Power Model :VSP model) โดยรายละเอียดการวิเคราะห์หา Consumption rate ในแต่ละวิธีการมีดังต่อไปนี้

2.5.1 รูปแบบการขับขี่มาตรฐาน (Driving cycle)

การจำลองรูปแบบการขับขี่ถูกสร้างขึ้นเพื่อสะท้อนถึงสภาพการจราจรที่ใช้ขับขี่จริงในพื้นที่ที่สนใจ โดยการเก็บข้อมูลการขับขี่ อาทิเช่น ความเร็ว, ความเร่ง, ความเร็วรอบเครื่องยนต์, ระยะเวลาการขับขี่, ระยะเวลาเครื่องเดินเบา ฯลฯ หนึ่งในวิธีการที่ถูกนำมาใช้คือ Driving cycle โดย Driving cycle คือรูปแบบการขับขี่มาตรฐาน ที่จำลองสภาพการใช้รถยนต์ให้ใกล้เคียงกับการขับขี่จริงบนท้องถนนมากที่สุด และแสดงผลออกมาเป็นแผนผังความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับเวลา (Speed-Time profile) ดังแสดงในรูปที่ 9 โดยมาก Driving cycle จะถูกนำไปใช้เพื่อหาอัตราการปล่อยมลพิษ, อัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงของรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายใน และใช้เพื่อหาอัตราการใช้พลังงานของรถยนต์ไฟฟ้า ซึ่งรูปแบบการขับขี่มาตรฐานนี้จะได้มากจากการเก็บข้อมูลการใช้รถยนต์ ในบริเวณที่สนใจ และวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อแบ่งแยกลักษณะการขับขี่ภายใต้เงื่อนไขการขับขี่ที่ต่างกัน (Driving condition) ในบางงานวิจัยแบ่งเงื่อนไขการขับขี่ตามความหนาแน่นของการจราจร บางงานวิจัยแบ่งเงื่อนไขการขับขี่ตามประเภทของถนน เช่น ทางหลวง (Highway), ทางด่วน (Toll way), ทางยกระดับ (Express way) และบางงานวิจัยแบ่งเงื่อนไขการขับขี่ทั้งจากความหนาแน่นของการจราจรและ

ประเภทของถนนร่วมกันจากนั้นจะใช้วิธีการทางสถิติมาวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อวิเคราะห์สภาพการขับขี่ และนำมาสร้าง Driving cycle ต่อไป



รูปที่ 9 ตัวอย่างรูปแบบการขับขี่มาตรฐาน (Driving cycle) [36]

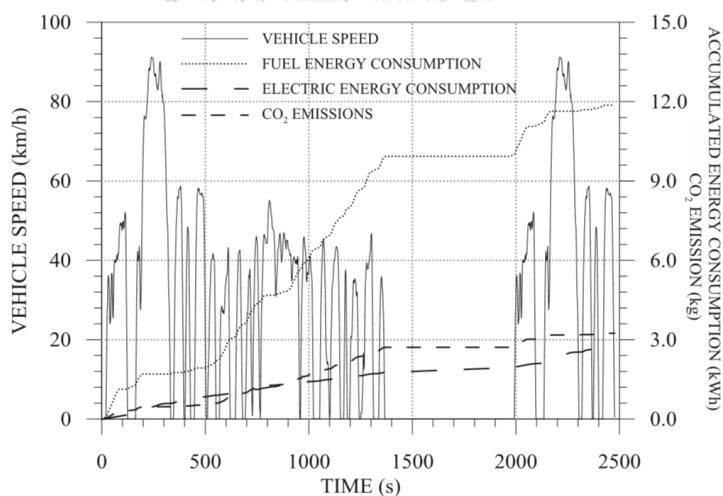
United States driving cycles

ในประเทศสหรัฐอเมริกา Driving cycle ถูกสร้างขึ้นตามมาตรฐาน US Federal Test Procedure (FTP) และถูกใช้เพื่อการวิจัยและกำหนดปริมาณการปล่อยมลพิษของรถยนต์ที่ออกแบบให้มีปริมาณไม่เกินที่กำหนด (Watson et al., 1982) และต่อมาได้ถูกนำมาใช้เพื่อหาอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงในปี 1986 (Lyons et al., 1986) [37] วิวัฒนาการของ FTP72 และ FTP75 ถูกพัฒนาโดย US Environmental Protection Agency (USEPA) และ California Air Resources Board (CARB) โดยมีการแบ่งประเภทของรถยนต์ที่ใช้ทดสอบตามขนาด และพื้นที่ที่สนใจตามความเจริญ เช่น เมืองหลวง, ชานเมือง และชนบท ร่วมด้วยกัน

ในงานวิจัยของ Ana Carolina Rodrigues Teixeira [38] ได้ศึกษาผลของอัตราการการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อมีการใช้รถยนต์ไฟฟ้าแทนการใช้รถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายใน เพื่อจำลองหาปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ลดลงของรถแท็กซี่ในประเทศบราซิลในช่วง 15 ปี (ค.ศ.2015-2030) ภายใต้มาตรฐาน FTP-75 โดยพิจารณาเปรียบเทียบเมื่อใช้รถยนต์ไฟฟ้าแทนรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายใน ในปริมาณ 25%, 50%, 75% และ 100% ไม่เพียงเท่านั้น ยังแบ่งสถานการณ์จำลองด้วย CO₂ Emission Factor (gCO₂/kWh) ซึ่งเป็นตัวแปรที่กำหนดถึงอัตราการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์จากการผลิตไฟฟ้า โดยสถานการณ์จำลองที่ 1 เป็นการใช้ไฟฟ้าที่ได้จากพลังงานน้ำในการผลิตมากกว่า 70% ทำให้ CO₂ Emission Factor มีค่า 30 gCO₂/kWh

และสถานการณ์จำลองที่ 2 เป็นการใช้ไฟฟ้าที่ได้จากการผลิตด้วยวิธี Thermolectric power แทนการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานน้ำ เนื่องจากเป็นช่วงฤดูหนาวที่เกิดความแห้งแล้ง จึงทำให้ CO₂ Emission Factor มีค่าสูงกว่าหรือใกล้เคียงสถานการณ์จำลองที่ 1 โดยมีค่า 30-50 gCO₂/kWh สำหรับสถานการณ์จำลองที่ 3 และ 4 จะสมมติให้ปริมาณน้ำฝนต่อปี มีปริมาณน้อยจึงทำให้ CO₂ Emission Factor มีค่า 90 และ 90-140 gCO₂/kWh อีกทั้งยังกำหนดระยะการเดินทาง ที่เดินทางด้วยระยะทาง 200 km และ 400 km ต่อวัน ซึ่งเป็นระยะทางน้อยที่สุด และมากที่สุด ตามลำดับ

จากการจำลองสถานการณ์ และคำนวณอัตราการใช้พลังงานและปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งแสดงผลด้วยแผนผัง FTP-75 Driving cycle กับ อัตราการใช้พลังงานและปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สะสม ดังแสดงในรูปที่ 10 แสดงให้เห็นว่า อัตราการใช้พลังงานสะสมของรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายใน มีค่าสูงกว่าอัตราการใช้พลังงานสะสมของรถยนต์ไฟฟ้าถึง 4 เท่า แสดงว่าการใช้รถยนต์ไฟฟ้าแทนรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายใน มีข้อได้เปรียบในเชิงอัตราการใช้พลังงานอย่างมาก



รูปที่ 10 แผนผังแสดงเปรียบเทียบความเร็วแบบการขับขี่มาตรฐานกับอัตราการใช้พลังงานและปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ [38]

จากการเปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เมื่อมีการนำรถยนต์ไฟฟ้ามาใช้แทนรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายใน ในปริมาณ 25%, 50%, 75% และ 100% แสดงให้เห็นว่าสถานการณ์จำลองที่ 1 และ 2 ของรถยนต์ที่ใช้เดินทาง 400 km ต่อวัน มีปริมาณการลดลงของคาร์บอนไดออกไซด์ต่อปีมากที่สุด และสถานการณ์จำลองที่ 3 และ 4 ของรถยนต์ที่ใช้เดินทาง 200 km ต่อวัน มีปริมาณการลดลงของคาร์บอนไดออกไซด์ต่อปี น้อยที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 11 และสรุปได้ว่า การใช้

รถยนต์ไฟฟ้าแทนรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายในสามารถลดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ในทุกสถานการณ์จำลอง

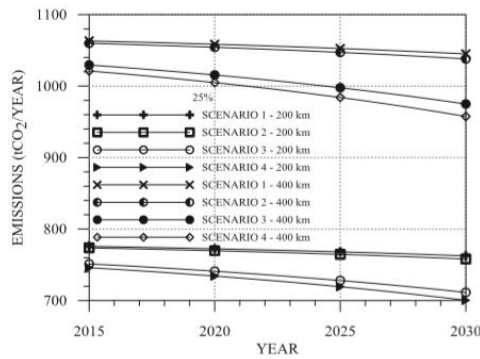


Fig. 2. CO₂ reduction for replacement of 25% of the taxi fleet.

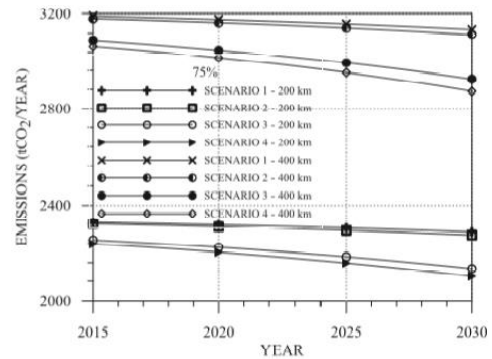


Fig. 4. CO₂ reduction for replacement of 75% of the taxi fleet.

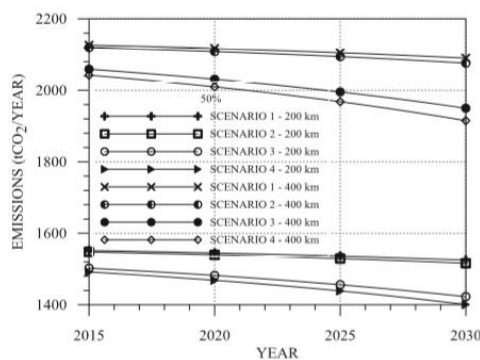


Fig. 3. CO₂ reduction for replacement of 50% of the taxi fleet.

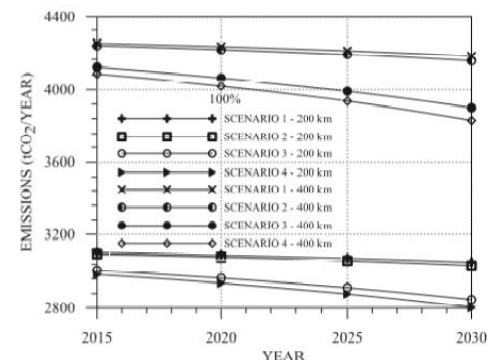


Fig. 5. CO₂ reduction for replacement of 100% of the taxi fleet.

รูปที่ 11 แผนผังแสดงปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละปี บนสถานการณ์

จำลอง 4 แบบ [38]

European driving cycles

หนึ่งในรูปแบบการขับขี่มาตรฐานที่เก่าที่สุดของ European driving cycles คือ Improved Driving Cycle (IMC) ที่ถูกพัฒนาโดย Kuhler และ Karsten [21] ในปี ค.ศ.1978 และโครงการขนาดใหญ่ อาทิเช่น MODEM-DRIVE และ ARTEMIS ที่ดำเนินการโดยสถาบันในยุโรป อาทิเช่น INRETS ในฝรั่งเศส, TRL ในอังกฤษ และ TUV-RHEINLAND ในเยอรมนี ได้สร้าง Driving cycle ที่แสดงถึงสภาพการจราจรในยุโรป (European traffic) เพื่อวัตถุประสงค์เดียวกันคือ เพื่อใช้ในการหาอัตราการปล่อยมลพิษและอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงและอัตราการใช้พลังงานของรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายใน และรถยนต์ไฟฟ้า

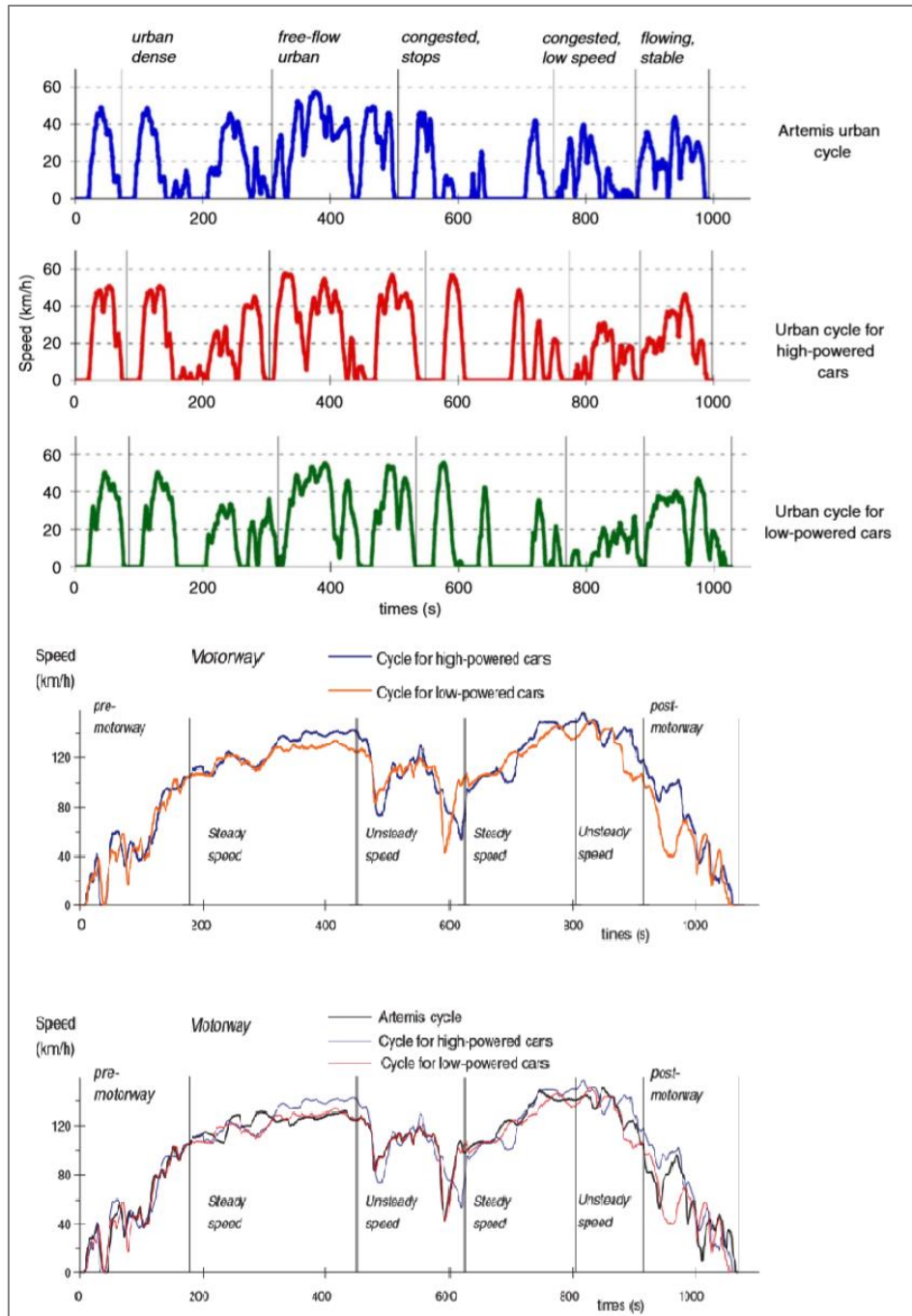
ในงานวิจัยของ Michel Andre [2] ที่ทำการพัฒนา Driving cycle จากการเก็บข้อมูลการขับขี่ของรถยนต์ตัวอย่าง 30 คัน และแสดงผลเป็น Driving cycle ของ European driving มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินอัตราการปล่อยมลพิษของรถยนต์ โดยใช้โปรแกรม ARTEMIS และจากการสร้าง Driving cycle ที่แสดงการขับขี่ของรถยนต์ 2 ประเภท คือ High-powered และ Low-powered ซึ่งจากข้อมูลการขับขี่ Andre ได้จำแนกการเดินทางภายใต้เงื่อนไขการขับขี่ที่ได้จากการเก็บข้อมูลการขับขี่จำนวน 10,300 ทริป, 88,000 km, 2,200 ชั่วโมงการขับขี่ และสร้าง Driving cycle ที่เป็นผลของการขับขี่ในเมือง โดยใน 1 Cycle จะประกอบไปด้วยลักษณะการขับขี่แบบ Urban dense, Free-flow urban, Congested, Stops, Congested, Low speed และ Flowing stable

การแบ่งประเภทของรถยนต์ Andre ได้แบ่งตามค่า อัตราส่วนกำลังต่อมวลของรถยนต์ โดยกำหนดให้ รถยนต์ที่มีอัตราส่วนกำลังต่อมวล น้อยกว่า 61W/kg เป็น Low-powered และ รถยนต์ที่มีอัตราส่วนกำลังต่อมวล มากกว่า 61W/kg เป็น High-powered และใช้สถิติแสดงถึงข้อมูลในส่วนของจลศาสตร์และการเดินทางเพื่อเลือกตัวแทนของข้อมูลการเดินทางในแต่ละส่วน และแสดงผลด้วยแผนผัง Speed-Time Profile ของ Urban Driving Cycle และ Motorway Driving Cycle ของรถยนต์ Low-powered และ High-powered

การวิเคราะห์ European driving ในปัจจุบันบนพื้นฐานการขับขี่จริงที่แสดงผลภายใต้เงื่อนไขการขับขี่และแบ่งตามประเภทของรถยนต์ออกมาเป็น Driving cycle ของรถยนต์ Low-powered และ High-powered สามารถวัดอัตราการปล่อยมลพิษได้มีความแม่นยำมากกว่า และจากการศึกษา United states Driving cycles และ European driving cycles พบว่ารูปแบบการขับขี่มาตรฐานในแต่ละภูมิภาคจะมีความแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับลักษณะการขับขี่ของเมืองนั้นๆ ฉะนั้นหากต้องการนำ Driving cycle มาใช้จะต้องมีการพัฒนา, ปรับปรุง หรือสร้าง Driving cycle ให้สามารถสะท้อนสภาพการจราจรและการขับขี่จริงของบริเวณที่สนใจจึงจะสามารถใช้ Driving cycle ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

จากการศึกษาวิจัยในการใช้ Driving cycle เพื่อหา Consumption rate และ Emission rate พบว่า หลังจากการสร้าง Driving cycle ที่สะท้อนสภาพการจราจรจริงในเขตพื้นที่ที่สนใจได้แล้ว ในการใช้ Driving cycle เพื่อหา Consumption rate มีวิธีการอยู่ 2 วิธีคือ 1. ใช้โปรแกรมสำเร็จรูปเพื่อประมาณการ Consumption rate และ Emission rate โดยตัวอย่างโปรแกรมสำเร็จรูปที่มีการใช้อย่างแพร่หลายคือ ARTEMIS [2] และ 2. คือการนำรถยนต์คันที่ใช้ทดสอบวิ่งทดสอบบน

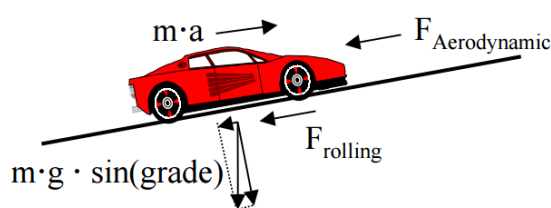
Chassis dynamometer ตามรูปแบบรูปแบบการขับที่มีมาตรฐานนั้นๆ และนำข้อมูลมาวิเคราะห์หา Consumption rate ต่อไป



รูปที่ 12 แผนผังเปรียบเทียบรูปแบบการขับที่มีมาตรฐาน [2]

2.5.2 ค่ากำลังจำเพาะของยานยนต์ (VSP)

Vehicle specific power เป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้เพื่อคาดการณ์ปริมาณพลังงานที่ต้องการใช้ของยานยนต์ ไม่ว่าจะเป็นการใช้เพื่อคาดการณ์อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของรถยนต์เครื่องยนต์เบนซินหรือดีเซล หรือคาดการณ์อัตราการใช้พลังงานของรถยนต์ไฟฟ้า หรือใช้ในการคาดการณ์หาอัตราการปล่อยมลพิษของรถยนต์ ก็สามารถนำไปใช้ได้ ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของผู้วิจัย โดยใช้วิธีการคำนวณจากการสร้างแบบจำลองด้วยตัวแปรที่แสดงถึงคุณสมบัติจำเพาะขณะใช้งานของรถยนต์คันนั้นๆ แนวคิดของแบบจำลองค่ากำลังจำเพาะของยานยนต์ (VSP) ถูกคิดค้นขึ้นโดย J. L. Jiménez เมื่อปี 1998 [33] ใช้วิธีการคำนวณมาจากกำลังของรถยนต์ที่ต้องการในขณะนั้น ประกอบไปด้วยแรงต้านอากาศพลศาสตร์ (Aerodynamic drag), ความเร่ง (Acceleration), แรงต้านการหมุนของล้อ (Rolling resistance), แรงโน้มถ่วงของโลก (Gravitational force) และแรงต้านความเฉื่อย (Inertia resistance) แล้วนำทั้งหมดหารด้วยมวลของรถยนต์ แสดงออกมาเป็นความต้องการกำลังต่อมวลของรถยนต์ขณะเวลาใดเวลาหนึ่ง (kW/ton หรือ W/kg) โดยสามารถแสดงเป็นสมการได้ดังสมการที่ 2 และการวิเคราะห์แรงในรูปแบบที่ 13



รูปที่ 13 แสดงการวิเคราะห์แรงของรถยนต์ [33]

$$VSP = \frac{d}{dt} (E_{kinetic} + E_{potential}) + v(F_{rolling} + F_{aerodynamic} + F_{internal})$$

m

(2)

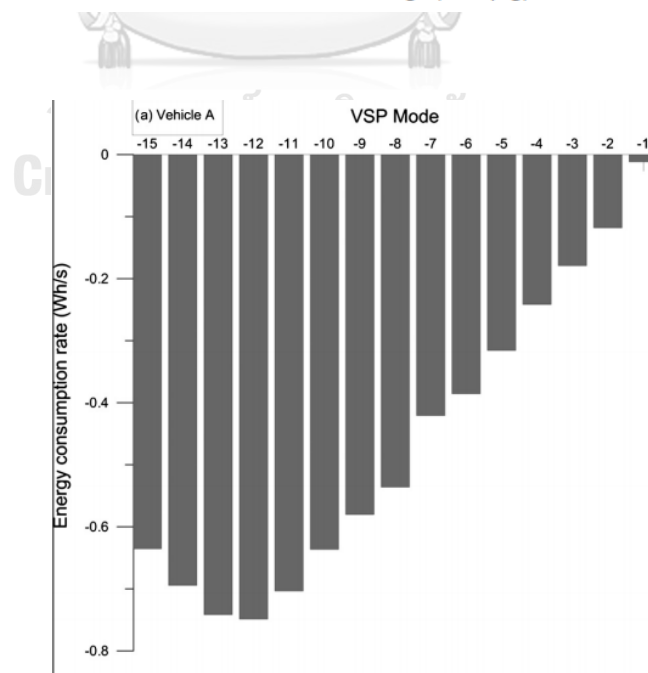
ในการใช้ VSP เพื่อวิเคราะห์อัตราการใช้พลังงานหรืออัตราการปล่อยมลพิษนั้นจะต้องทำการแบ่ง VSP ออกเป็น mode ซึ่งในแต่ละ mode จะมีความเร็วและความเร่งในการขับขี่ต่างกัน และบ่งบอกถึงสภาพการขับขี่และอัตราการใช้พลังงานหรืออัตราการปล่อยมลพิษที่แตกต่างกันด้วย ตัวอย่างเช่น ในงานวิจัยของ J.Alves (2016) [31] ที่ทำการศึกษาการประมาณปริมาณพลังงานของรถยนต์ไฟฟ้าด้วย VSP model ชั้นแรกเขาได้ทำการเก็บข้อมูลการขับขี่จริงด้วย On-board diagnostic จากนั้นทำการคำนวณหาค่า VSP ในแต่ละ mode และแบ่ง VSP ออกเป็น 2 กลุ่ม คือ

VSP ที่มีค่าน้อยกว่า 0 W/kg และ VSP ที่มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0 W/kg ดังแสดงในตารางที่ 7 และสร้างกราฟการกระจายตัวของ VSP mode ดังแสดงตัวอย่าง VSP mode distribution (Class: $VSP < 0$ W/kg) ในรูปที่ 14 ซึ่งในการแบ่ง Class ของ VSP J.Alves ได้อธิบายว่า สำหรับช่วงของค่า VSP ที่มีค่าน้อยกว่า 0 W/kg เป็นช่วงการขับเคลื่อนในระหว่างการเบรค หรือลดความเร็ว สำหรับรถยนต์ไฟฟ้าจะทำการคำนวณอัตราการใช้พลังงานเป็นค่าลบ (-) เนื่องจากในระหว่างการเบรคหรือลดความเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าจะมีการชาร์จพลังงานกลับไปทีแบตเตอรี่ และสำหรับ VSP ที่มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0 W/kg จะแบ่งเป็น 2 กรณีคือ กรณีที่ VSP มีค่าเท่ากับ 0 คือช่วงที่รถยนต์หยุดนิ่ง (Idling) กรณีที่ 2 คือ กรณีที่ VSP มีค่ามากกว่า 0 คือช่วงที่รถยนต์ขับเคลื่อนด้วยความเร็วและความเร่ง จากนั้นทำการกำหนดอัตราการใช้พลังงานในแต่ละ mode ด้วยข้อมูลจาก On-board diagnostic และทำการคำนวณปริมาณพลังงานที่ใช้ด้วยการรวมผลคูณของอัตราการใช้พลังงานกับเวลาในแต่ละ VSP mode

ตารางที่ 7 การกระจายตัวของค่า VSP [33]

VSP class	Range (W/kg)	VSP class	Range (W/kg)
0	VSP = 0	-1	-1 < VSP < 0
1	0 < VSP < 1	-2	-2 < VSP ≤ -1
2	1 ≤ VSP < 2	-3	-3 < VSP ≤ -2
3	2 ≤ VSP < 3	-4	-4 < VSP ≤ -3
...	...	-5	-5 < VSP ≤ -4
9	8 ≤ VSP < 9	-6	-6 < VSP ≤ -5
10	VSP ≥ 9	-7	VSP ≤ -6

Bold is used to make a distinction between VSP classes and range (in W/kg).



รูปที่ 14 แผนผังแสดงการกระจายตัวของ VSP mode [33]

Vehicle specific power (VSP) ถูกนำไปใช้งานอย่างแพร่หลาย ตัวอย่างการใช้ VSP เช่น Liang Qu [34] ที่ใช้ VSP ในการหาอัตราการปล่อยมลพิษของรถยนต์จำนวน 14 คัน บนเส้นทางการจราจร 3 เส้นทาง ในเมืองเทียนจิน ประเทศจีน เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการปล่อยมลพิษกับเงื่อนไขการขับขึ้นบนเส้นทางการจราจรที่แตกต่างกัน โดยแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง VSP และอัตราการปล่อยมลพิษ จากการวิเคราะห์ด้วย VSP แสดงให้เห็นว่า ความเร่งและความเร็วของรถยนต์ในการขับขี่ที่ต่างกันมีผลต่ออัตราการปล่อยมลพิษของรถยนต์

G.O.Duarte [32] ได้ทำการเปรียบเทียบอัตราการใช้เชื้อเพลิงของรถยนต์เครื่องยนต์ แก๊สโซลีนและ รถยนต์เครื่องยนต์ดีเซล จำนวน 14 คัน และรถยนต์ Hybrid จำนวน 5 คัน ของอัตราการใช้เชื้อเพลิงที่ได้จากการวัดจริงกับข้อมูลจาก European New Car Assessment Program (Euro NCAP) และอัตราการใช้เชื้อเพลิงที่ได้จากการคาดการณ์ด้วย VSP model จากนั้นทำการวิเคราะห์ผลจากความสัมพันธ์ระหว่าง VSP mode จำนวน 36 mode กับอัตราการใช้เชื้อเพลิง และใช้วิธีทางสถิติเพื่อหาความสัมพันธ์ จากการวิเคราะห์ทางสถิติ แสดงให้เห็นว่า อัตราการใช้เชื้อเพลิงของรถยนต์เครื่องยนต์ แก๊สโซลีนและ รถยนต์เครื่องยนต์ดีเซล จำนวน 14 คัน ที่ทำการวัดจริงมีความสัมพันธ์กับข้อมูลจาก Euro NCAP โดยมีค่า R-Square เท่ากับ 0.930 และความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ได้จากการวัดจริงกับค่าที่ได้จากการคาดการณ์ด้วย VSP มีค่า R-Square เท่ากับ 0.931 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และสำหรับรถยนต์ Hybrid ความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ได้จากการวัดจริงกับค่าที่ได้จาก Euro NCAP มีค่า R-Square เท่ากับ 0.954 และ ความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ได้จากการวัดจริงกับค่าที่ได้จากการคาดการณ์ด้วย VSP มีค่า R-Square เท่ากับ 0.983 โดยมีนัยสำคัญทางสถิติ

จากการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับ VSP model แสดงให้เห็นว่า VSP model ถูกนำมาใช้เพื่อคาดการณ์อัตราการใช้เชื้อเพลิงของรถยนต์ และอัตราการปล่อยมลพิษของรถยนต์ได้เป็นอย่างดี สามารถคาดการณ์ผลได้ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการวัดจริงมาก สำหรับการประยุกต์ใช้กับรถไฟฟ้า เพื่อใช้คาดการณ์อัตราการใช้พลังงานของรถไฟฟ้า นั้นจะใช้เพื่อนำไปออกแบบระบบรถไฟฟ้า ในงานวิจัยของ P.SinHuber et al ได้ใช้แบบจำลองทางพลศาสตร์เพื่อคาดการณ์อัตราการใช้พลังงานของรถโดยสารไฟฟ้าที่ให้บริการในประเทศเยอรมนีในการใช้เพื่อกำหนดขนาดของแบตเตอรี่ให้กับรถโดยสาร แต่เนื่องจากการใช้แบบจำลองไม่ได้วิเคราะห์การจราจรที่หลากหลาย ทำให้แบบจำลองไม่ครอบคลุมสภาพการจราจรที่ติดขัดจึงทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองพลศาสตร์นี้มีค่า $\pm 6\%$

สำหรับงานวิจัยของ Abousteleman (2016) [39] ได้ทำการคาดการณ์อัตราการใช้พลังงานของรถยนต์ไฟฟ้าโดยกำหนดเส้นทางที่ครอบคลุมถึงสภาพการจราจรที่แตกต่างกัน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการคาดการณ์อัตราการใช้พลังงาน และใช้ในการออกแบบเส้นทางที่ประหยัดที่สุด

ผลของการวิเคราะห์จากการกำหนดเส้นทางและครอบคลุมถึงสภาพการจราจรที่แตกต่างนี้ทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนในการคาดการณ์ผลมีค่า $\pm 1.3\%$

จากงานวิจัยของ P.sinHuber et al และ Abouslelman แสดงให้เห็นว่า แบบจำลองทางพลศาสตร์นอกจากจะใช้ในการคาดการณ์อัตราการใช้เชื้อเพลิงของรถยนต์ได้แล้ว ยังสามารถนำมาใช้คาดการณ์อัตราการใช้พลังงานของรถไฟฟ้าได้ด้วยและการสร้างแบบจำลองที่มีตัวแปรครอบคลุมถึงสภาพการจราจรจริงนั้น มีผลทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนของการคาดการณ์ผลมีค่าลดลง และมีประสิทธิภาพในการนำไปใช้งานสูงขึ้น



บทที่ 3

วิธีการทดสอบ

ในการประมาณปริมาณการใช้พลังงานรวม พารามิเตอร์ที่สำคัญและส่งผลต่อความถูกต้องของแบบจำลองคือ อัตราการใช้พลังงาน จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า การหาอัตราการใช้พลังงานของเมือง หรือพื้นที่ที่สนใจศึกษาต่างกันจะมีอัตราการใช้พลังงานที่แตกต่างกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับสภาพการจราจรในพื้นที่นั้นๆ ฉะนั้นในการวิเคราะห์อัตราการใช้พลังงาน ข้อมูลที่มีจำเป็นต้องสามารถสะท้อนสภาพการจราจรจริงได้ สำหรับงานวิจัยนี้จะแสดงวิธีการวิเคราะห์สภาพจราจรและการคำนวณหาอัตราการใช้พลังงานที่สะท้อนสภาพการขับขี่จริง ที่ใช้เป็นตัวแทนของเมืองจากการจำแนกพฤติกรรมการขับขี่จริงของรถยนต์ที่ใช้งานในกรุงเทพมหานคร และประมาณปริมาณพลังงานที่ลดลงเมื่อมีการใช้รถยนต์ไฟฟ้าทดแทนรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายในตามแผน EEP2015 เพื่อวิเคราะห์แนวโน้มความเป็นไปได้ของการบรรลุผลตามเป้าหมาย

3.1 การกำหนดสัดส่วนจำนวนรถยนต์

ในการกำหนดสัดส่วนปริมาณรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายในและรถยนต์ไฟฟ้าเพื่อเปรียบเทียบปริมาณพลังงานที่ลดลงนั้น จะทำการกำหนดปริมาณรถยนต์ไฟฟ้าในสัดส่วนที่ใช้งานแทนรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายในในปริมาณ 1.2 ล้านคันในปี พ.ศ.2579 อ้างอิงการคาดการณ์ตามแผนขับเคลื่อนรถยนต์ไฟฟ้า กระทรวงพลังงาน [8] และจะกำหนดปริมาณรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายในจากการคาดการณ์ด้วยข้อมูลสถิติจำนวนรถยนต์ต่ออายุและรถยนต์จดทะเบียนใหม่ตั้งแต่ปี พ.ศ.2550 จนถึงปัจจุบัน และกำหนดให้จำนวนรถยนต์ทั้งหมดในปี พ.ศ.2579 คิดเป็น 100% จากนั้นจึงทำการพิจารณาว่า รถยนต์ไฟฟ้าจำนวน 1.2 ล้านคันนี้ คิดเป็นกี่เปอร์เซ็นต์ของรถยนต์ทั้งหมด โดยจากการศึกษาวิจัยของ H.Lee [1] Evanthia [15] และ Juan C [12] ก็ได้ใช้วิธีการกำหนดสัดส่วนปริมาณรถยนต์ไฟฟ้ากับรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายในด้วยการประมาณการจำนวนรถยนต์ในอนาคตมาใช้ในการคำนวณปริมาณมลพิษและปริมาณพลังงานด้วยเช่นกัน และในวิธีการกำหนดสัดส่วนปริมาณรถยนต์ด้วยวิธีการนี้จะทำให้ทราบถึงผลการเปลี่ยนแปลงที่จะเกิดขึ้นจริงในอนาคตได้อย่างถูกต้องและใกล้เคียงความเป็นจริง

3.2 การเก็บข้อมูลการขับขี่ (Data collection)

โดยทั่วไปแล้วการเก็บข้อมูลการขับขี่จะมี 2 รูปแบบ คือ การเก็บข้อมูลด้วยการจำลองสภาพการขับขี่และขับทดสอบบน Chassis dynamometer และการเก็บข้อมูลการขับขี่จริงด้วย On-board measurement โดยข้อมูลที่จะนำไปใช้จะประกอบไปด้วย ความเร็วเฉลี่ย, ความเร็วสูงสุด,

ความเร่ง, จำนวนครั้งการหยุด, จำนวนครั้งการเบรค, ระยะเวลาการเดินทาง และระยะเวลาเครื่องเดินเบา ซึ่งผู้วิจัยจะกำหนดข้อมูลที่นำมาใช้แตกต่างกัน อาทิเช่น US Driving cycles ตามมาตรฐาน FTP72 และ FTP75 จะใช้ข้อมูล จำนวนครั้งการหยุด, ความเร็วเฉลี่ย และความเร็วสูงสุด โดยเก็บข้อมูลด้วย On-board measurement แต่สำหรับมาตรฐาน LA01 จะใช้ข้อมูล ความเร็วเฉลี่ย, ความเร็วสูงสุด, ความเร็วต่ำสุด, ความเร็วที่ 95เปอร์เซ็นต์ไทม์ และกำลังของเครื่องยนต์ที่ 95 เปอร์เซ็นต์ไทม์ โดยเก็บข้อมูลด้วยวิธี Chase car method ซึ่งข้อมูลการขับขึ้นนี้ต้องสามารถสะท้อนสภาพการจราจรที่ใช้ขับซึ่งจริงได้แม้ว่าจะเก็บข้อมูลแตกต่างกัน

การเก็บข้อมูลการขับขึ้นในงานวิจัยนี้จะทำให้ได้ Velocity profile ที่ใช้เป็นตัวแทนของการขับขึ้นในแต่ละพฤติกรรมเพื่อใช้ประมาณอัตราการใช้พลังงาน ซึ่งจะอธิบายความหมายและรายละเอียดการวิเคราะห์พฤติกรรมการขับขึ้นในหัวข้อที่ 3.3.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้เก็บข้อมูลการขับขึ้นคือ Global positioning system (GPS) ที่มีความถี่ 5 Hz ติดตั้งบนรถยนต์คันที่เก็บข้อมูล และอุปกรณ์บันทึกข้อมูลข้อมูล ดังแสดงการติดตั้งในรูปที่ 15 ค่าพารามิเตอร์ที่เก็บข้อมูลคือ เวลา, ระยะทาง และความเร็ว และส่งข้อมูลไปเก็บไว้ใน Cloud ทุกๆ 2 นาที การเก็บข้อมูลจะบันทึกจากการขับขึ้นจริงแบบเรียลไทม์ และใช้ข้อมูลดังกล่าวมาคัดเลือกรูปแบบการขับขึ้นในแต่ละพฤติกรรมการการขับขึ้นเพื่อวิเคราะห์อัตราการใช้พลังงานต่อไป สำหรับปริมาณข้อมูลที่จะทำการเก็บข้อมูล European Driving Cycle จะทำการเก็บข้อมูลจำนวน 1,400 วัน รวมระยะเวลาในการเก็บข้อมูล 1,680 ชั่วโมง เป็นระยะทางทั้งสิ้น 73,000 กิโลเมตร [10] และสำหรับการเก็บข้อมูลเพื่อนำไปวิเคราะห์อัตราการใช้พลังงานด้วยค่ากำลังจำเพาะของยานยนต์ (Vehicle specific power) Patricia Baptista [11] ได้ทำการเก็บข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างรถยนต์ที่ใช้ทดสอบสองกลุ่มโดยแบ่งเป็น กลุ่ม A จำนวน 842 ชั่วโมง รวมเป็นระยะทางทั้งหมด 41,147 กิโลเมตร และกลุ่ม B จำนวน 443 ชั่วโมง รวมเป็นระยะทางทั้งหมด 15,883 กิโลเมตร สำหรับงานวิจัยนี้วิธีการวิเคราะห์อัตราการใช้พลังงาน ใช้วิธีการจำแนกพฤติกรรมการขับขึ้นด้วยความเร็วเฉลี่ย ฉะนั้นการเก็บข้อมูลที่มีปริมาณเพียงพอต่อการวิเคราะห์คือจะต้องมีข้อมูลการขับขึ้นที่ครอบคลุมทุกพฤติกรรมการขับขึ้น ซึ่งหมายถึง หากจำแนกพฤติกรรมการขับขึ้นเบื้องต้นแล้วพบว่ามีจำนวน 10 รูปแบบ ข้อมูลการขับขึ้นที่ทำการเก็บจากการขับทดสอบจะต้องครอบคลุมทั้ง 10 พฤติกรรมนั้นๆด้วย โดยระยะเวลารวมทั้งที่เหมาะสมอย่างน้อยที่สุดคือไม่น้อยกว่า 400 ชั่วโมง



รูปที่ 15 การติดตั้ง GPS และอุปกรณ์เก็บข้อมูล

รถยนต์ที่ทำการติดตั้งอุปกรณ์เพื่อเก็บข้อมูลการขับขี่จะเป็นรถยนต์รุ่นใด ขนาดใดก็ได้ แต่จะต้องเป็นรถยนต์ส่วนบุคคลที่ใช้เดินทางเป็นประจำในกรุงเทพมหานครเท่านั้น เนื่องจาก พื้นที่ที่สนใจทำการศึกษาคือ กรุงเทพมหานคร และการคำนวณอัตราการใช้พลังงานจะใช้เพียง Velocity profile ที่มีพารามิเตอร์คือ ความเร็วและเวลา เท่านั้น ฉะนั้นขนาดของรถยนต์จึงไม่มีผลต่อพารามิเตอร์ที่จะนำมาใช้ แต่จะไม่สามารถใช้ข้อมูลการขับขี่ของรถยนต์โดยสาร รถจักรยานยนต์ รถเมล์ หรือบรรทุกได้ เนื่องจากการขับขี่จะแตกต่างไปรถยนต์ส่วนบุคคล สำหรับงานวิจัยนี้ได้เก็บข้อมูลการขับขี่ของรถยนต์อาสาสมัครที่เดินทางในกรุงเทพมหานครจำนวน 59 คน รวมจำนวน 425

เที่ยว 9,095 กม จำนวน 1,002 ชั่วโมง ซึ่งถือว่าจำนวนข้อมูลมีความเพียงพอเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นๆ

3.3 การประมาณปริมาณพลังงาน

จากที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 2.3 ว่าอัตราการใช้พลังงานจะถูกใช้เพื่อคำนวณหาปริมาณพลังงานรวม (TEC) จากการศึกษาของงานวิจัยที่ผ่านมา มีวิธีการประมาณอัตราการใช้พลังงานอยู่ 3 แบบ คือ อ้างอิงจากมาตรฐานของรถยนต์ในแต่ละรุ่นที่ผู้ผลิตกำหนด และการเก็บข้อมูลการขับขี่จริงซึ่งมีอยู่ 2 วิธีการคือ 1. การใช้ Velocity profile ควบคู่กับแบบจำลองค่ากำลังจำเพาะของยานยนต์ (VSP) และ 2. การพัฒนา Driving cycle จากสภาพการขับขี่จริง งานวิจัยนี้จะใช้วิธีการเก็บข้อมูลการขับขี่จริงของรถยนต์ที่ใช้เส้นทางในกรุงเทพมหานคร และคัดเลือก Velocity profile ที่เป็นตัวแทนของสภาพการจราจรจริงในแต่ละพฤติกรรมการขับขี่ และใช้แบบจำลองค่ากำลังจำเพาะของยานยนต์ (Vehicle specific power model) จากงานวิจัยก่อนหน้า [40] มาคำนวณอัตราการใช้พลังงานของรถยนต์ที่ใช้งานบนถนนในแต่ละเส้นที่มีพฤติกรรมการขับขี่ต่างกัน

3.3.1 การประมาณอัตราการใช้พลังงานของเมือง

อัตราการใช้พลังงานของเมืองที่ใช้ในการคำนวณหาปริมาณพลังงานในงานวิจัยนี้จะเป็นอัตราการใช้พลังงานที่เป็นตัวแทนของภาพรวมพฤติกรรมการขับขี่ของรถยนต์ที่ใช้ในกรุงเทพมหานคร จะได้มาจากการคำนวณค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักของอัตราการใช้พลังงานในแต่ละพฤติกรรมการขับขี่ด้วยปริมาณจราจร (Traffic volume) สำหรับการวิเคราะห์อัตราการใช้พลังงานในแต่ละพฤติกรรมการขับขี่ในขั้นแรกจะต้องจำแนกพฤติกรรมการขับขี่ด้วยการจัดกลุ่มถนนด้วยความเร็วเฉลี่ยถนนแต่ละเส้นด้วยข้อมูลของ iTic เมื่อสามารถจำแนกพฤติกรรมการขับขี่ได้แล้วจึงเลือก Velocity profile ที่เป็นตัวแทนของพฤติกรรมการขับขี่นั้นๆ มาคำนวณหาอัตราการใช้พลังงานด้วย VSP model ต่อไปสำหรับวิธีการในการหาอัตราการใช้พลังงานของเมืองมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.3.1.1 การจำแนกพฤติกรรมการขับขี่

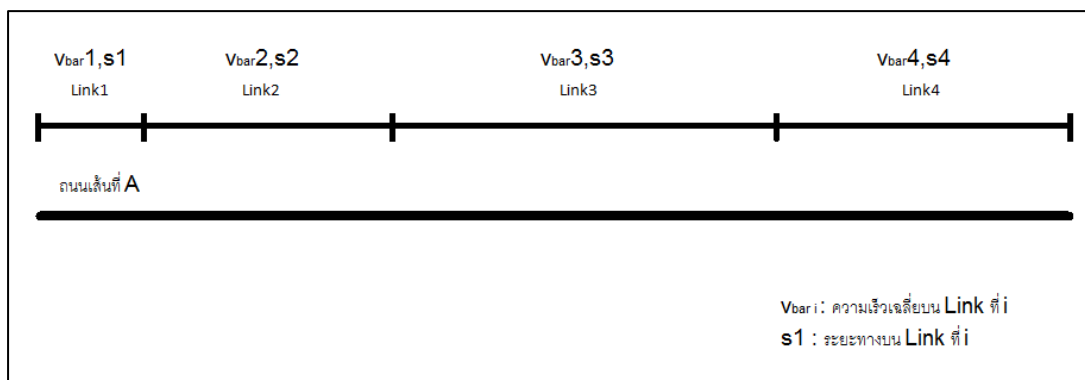
ในขั้นตอนนี้จะทำการจัดกลุ่มถนน ด้วยการวิเคราะห์ถนนที่ใช้งานในพื้นที่ที่สนใจ ซึ่งสำหรับงานวิจัยนี้คือ ถนนในกรุงเทพมหานคร จากการศึกษาข้อมูลด้านวิศวกรรมจราจร (Traffic Engineering) [41] เกี่ยวกับตัวแปรที่ใช้อธิบายถึงกระแสจราจร ซึ่งเป็นการบ่งบอกถึงลักษณะของสภาพการจราจร ที่สามารถใช้ศึกษาพฤติกรรมการใช้รถยนต์ได้ในระดับมหภาค (Macroscopic) ตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์คือ ปริมาณจราจร (Traffic volume) ที่แสดงเป็นจำนวนรถยนต์ที่วิ่งผ่านถนนเส้นนั้นๆ เป็นคันต่อ ชม. หรือ คันต่อ ช่วงเวลา และความเร็ว ซึ่งโดยนิยามแล้ว คือ อัตราการเคลื่อนที่ในหน่วยระยะทางต่อเวลา และใช้ความเร็วเฉลี่ยเป็นตัวแทนความเร็วของยานทั้งหมดใน

กระแสรถจร ฉะนั้นความเร็วเฉลี่ยจึงถูกใช้เพื่อจำแนกพฤติกรรมการขับขี่ในแต่ละเส้นทางในบริเวณที่สนใจทำการศึกษา โดยศึกษาข้อมูลความเร็วเฉลี่ยบนถนนแต่ละเส้น ด้วยข้อมูลแสดงสภาพการจราจรจาก มูลนิธิศูนย์ข้อมูลจราจรอัจฉริยะไทย (iTic) ย้อนหลัง 5 เดือน ตั้งแต่ เดือน มกราคม ถึงเดือน พฤษภาคม ปี พ.ศ.2560 เฉพาะวันทำงาน (จันทร์ - ศุกร์ ไม่รวมวันหยุดราชการและวันหยุดนักขัตฤกษ์) จากนั้นทำการแบ่งช่วงของความเร็วเฉลี่ย และจัดกลุ่มถนนที่มีความเร็วเฉลี่ยอยู่ในช่วงเดียวกันให้อยู่กลุ่มเดียวกัน และสร้างเป็นแผนผังการกระจายตัวของร้อยละของระยะทางในแต่ละช่วงความเร็วเฉลี่ย การจัดกลุ่มถนนนี้จะทำให้เราทราบถึงความหลากหลายของพฤติกรรมการขับขี่ของคนที่ใช้เส้นทางในกรุงเทพมหานครว่ามีพฤติกรรมการขับขี่เป็นอย่างไร

สำหรับข้อมูลจราจรของ iTic เป็นข้อมูลที่แสดงความเร็วเฉลี่ยของรถยนต์ที่วิ่งเป็นช่วง (Link) ซึ่งหมายความว่า ถนนหนึ่งเส้นจะมีความเร็วแต่ละช่วงของถนนแตกต่างกันไป ฉะนั้นหากต้องการทราบความเร็วเฉลี่ยของถนนทั้งเส้น จึงจำเป็นต้องมีการวิเคราะห์ความเร็วแต่ละ Link และทำการคำนวณหาความเร็วเฉลี่ยของถนนทั้งเส้นอีกครั้งหนึ่ง เพื่อให้การอธิบายข้อมูลจราจรของ iTic ชัดเจนยิ่งขึ้น รูปที่ 16 แสดงข้อมูลจราจรแบบเป็น Link ของถนนเส้นที่ A โดยสมมติให้ ถนนเส้นที่ A ที่มีความยาวใดๆ ถูกแบ่งช่วงการวิเคราะห์ลักษณะการขับออกเป็นช่วงสั้นๆ คือ Link ที่ 1, 2, 3 และ 4 โดยมีความเร็วเฉลี่ยและระยะทางในแต่ละ Link ไม่เท่ากัน ในการคำนวณปริมาณพลังงานจากการที่กล่าวมาแล้วในข้างต้นว่า งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาในระดับมหภาค ปริมาณจราจรเป็นหนึ่งในตัวแปรที่ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับงานด้านวิศวกรรมจราจร และสำหรับข้อมูลปริมาณจราจรจะไม่มีข้อมูลในลักษณะที่แสดงผลเป็น Link แต่จะมีข้อมูลที่แสดงปริมาณจราจรของถนนทั้งเส้น ในการวิเคราะห์อัตราการใช้พลังงาน ที่จำเป็นต้องมีปริมาณจราจรมาเกี่ยวข้องในการคำนวณ จึงไม่สามารถใช้ข้อมูลแสดงพฤติกรรมการขับขี่ที่เป็น Link ได้ สมการที่ 3 จึงถูกนำมาใช้เพื่อคำนวณหาความเร็วเฉลี่ยของถนนทั้งเส้น ด้วยวิธีการหาค่าความเร็วเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักด้วยระยะทางของช่วงการขับขี่

$$\bar{v} = \frac{\sum_i s_i}{\sum_i s_i / v_i} \quad (3)$$

โดยที่ \bar{v} คือ ความเร็วเฉลี่ย
 s คือ ระยะทาง
 i คือ Link ที่ i



รูปที่ 16 แสดงข้อมูลความเร็วแบบเป็น Link

3.3.1.2 การคัดเลือกรูปแบบการขับขี่

หลังจากจำแนกพฤติกรรมการขับขี่แล้ว ขั้นตอนต่อไปคือคัดเลือกรูปแบบการขับขี่ที่ใช้เป็นตัวแทนของแต่ละพฤติกรรมการขับขี่จาก Velocity profile ที่ได้มาจากข้อมูลความเร็วและเวลาจากการเก็บข้อมูลรถยนต์อาสาสมัคร และเลือกมาเป็นตัวแทนในแต่ละช่วงความเร็วเพื่อใช้เป็นรูปแบบการขับขี่ของแต่ละพฤติกรรมการขับขี่ เพื่อให้มั่นใจว่า รูปแบบการขับขี่ ที่เลือกมาสามารถใช้เป็นตัวแทนของการขับขี่ในแต่ละช่วงความเร็วได้ จำเป็นต้องยืนยันความถูกต้องของข้อพิจารณาหลักว่า อัตราการใช้พลังงานของการขับขี่บน Velocity profile ที่มีความเร็วเฉลี่ยอยู่ในช่วงเดียวกัน จะมีค่าใกล้เคียงกัน (หรือแตกต่างกันน้อยกว่า 10%) เนื่องจากหลักการวิเคราะห์ข้อมูลจราจรเพื่อจำแนกพฤติกรรมการขับขี่ใช้ความเร็วเฉลี่ยมาพิจารณาเพียงอย่างเดียว ฉะนั้น หากรถยนต์ที่ขับขี่ด้วยความเร็วเฉลี่ยที่อยู่ในช่วงเดียวกันจึงต้องมีอัตราการใช้พลังงานที่ใกล้เคียงกันด้วยเช่นกัน

วิธีการยืนยันความถูกต้องของข้อพิจารณาหลัก จะพิจารณาระยะทางที่แตกต่างกันของ Velocity profile ในแต่ละช่วงความเร็วและคำนวณหา %ความแตกต่างเทียบกับค่าเฉลี่ย และ Standard deviation (SD) ของอัตราการใช้พลังงาน และเปรียบเทียบผลการคำนวณของ Velocity profile ที่มีระยะทางต่างกันในแต่ละช่วงความเร็ว จากการวิเคราะห์ผลดังกล่าวจากชุดข้อมูลของอาสาสมัครเบื้องต้น จำนวน 72 patterns พบว่าระยะทางที่เหมาะสมของ Velocity profile ที่ทำให้อัตราการใช้พลังงานที่ขับขี่บนช่วงความเร็วเฉลี่ยเดียวกันมีค่าแตกต่างกันน้อยกว่า 10% คือ มากกว่า 6 กม. ดังแสดงในภาคผนวกที่ จ และจากการเก็บข้อมูลการขับขี่ของรถยนต์ที่ใช้ใน กรุงเทพมหานคร จำนวน 59 คัน รวมระยะทาง 9,095 กม 425 เที่ยว 1002 ชม พบว่ามากกว่า 91% ใช้รถยนต์เดินทางมากกว่า 6 กม ต่อเที่ยว ฉะนั้น ในการใช้ รูปแบบการขับขี่ ที่มีระยะทางมากกว่า 6 กม มาเป็นตัวแทนในการคำนวณอัตราการใช้พลังงานของเมืองจึงสามารถนำมาใช้ได้

3.3.1.3 การคำนวณอัตราการใช้พลังงานจาก Velocity profile

แบบจำลองค่ากำลังจำเพาะของยานยนต์ (VSP model) จากงานวิจัยก่อนหน้า [40] จะถูกนำมาใช้เพื่อคำนวณหาอัตราการใช้พลังงานของรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายในและรถยนต์ไฟฟ้า สำหรับ VSP model ของรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายในคือ รถยนต์ยี่ห้อ Toyota Altis 1.8 V รุ่นปี 2014 ซึ่งต่อจากนี้จะเรียกว่า ICEV และสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าคือ รถยนต์ยี่ห้อ Nissan leaf รุ่นปี 2013 และ BMW i3 รุ่นปี 2016 ซึ่งต่อจากนี้จะเรียกว่า EV-1 และ EV-2 ตามลำดับ วิธีการสร้างแบบจำลองค่ากำลังจำเพาะของยานยนต์ในขั้นแรกจะทำการกำหนดสมมติฐานคือ ละเว้นความชันของถนนและไม่มีความเร็วลมจึงทำให้พารามิเตอร์ดังกล่าวมีค่าเท่ากับศูนย์ และจากสมการที่ 2 เมื่อแทนค่าตามสมมติฐานจะได้สมการที่ใช้ในการทดลองดังสมการที่ 4 จะเห็นได้ว่าค่ากำลังจำเพาะของยานยนต์แปรผันกับค่าความเร็ว และความเร่งเท่านั้น จากนั้นจึงทำการแบ่งค่ากำลังจำเพาะของยานยนต์ออกเป็นช่วงเพื่อความสะดวกในการคำนวณจะแบ่งช่วงของค่ากำลังจำเพาะของยานยนต์ออกเป็น 14 ช่วง ดังแสดงในตารางที่ 8 ก และ 8 ข โดยที่ค่ากำลังจำเพาะของยานยนต์ที่มีค่าน้อยกว่าศูนย์ คือช่วงที่รถยนต์ทำการเบรก, ค่ากำลังจำเพาะของยานยนต์มีค่าเท่ากับศูนย์ คือช่วงที่รถยนต์หยุดอยู่กับที่ และค่ากำลังจำเพาะของยานยนต์ที่มีค่ามากกว่าศูนย์ คือช่วงที่รถยนต์ขับเคลื่อนด้วยความเร็วมากกว่าศูนย์

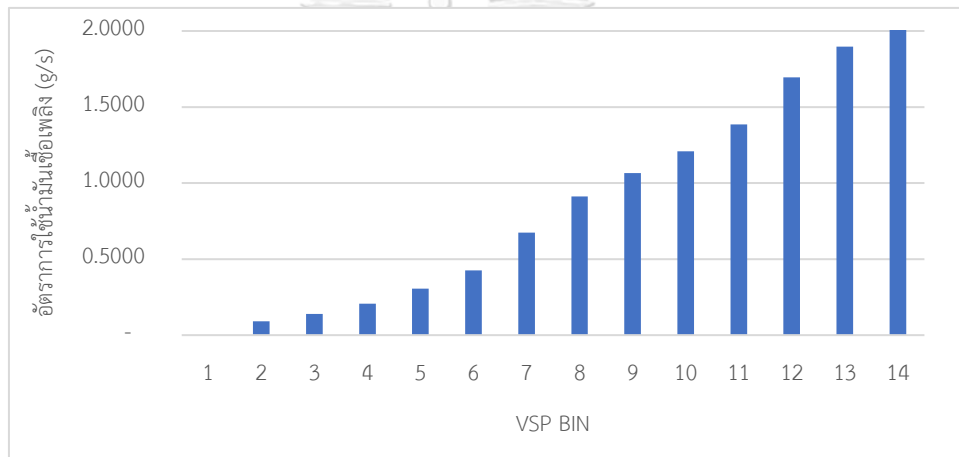
$$VSP = v \times [1.1a + 0.132] + 0.000302 \times v^3 \quad (4)$$

ตารางที่ 8 ก ค่ากำลังจำเพาะของยานยนต์ในแต่ละช่วงของรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายใน

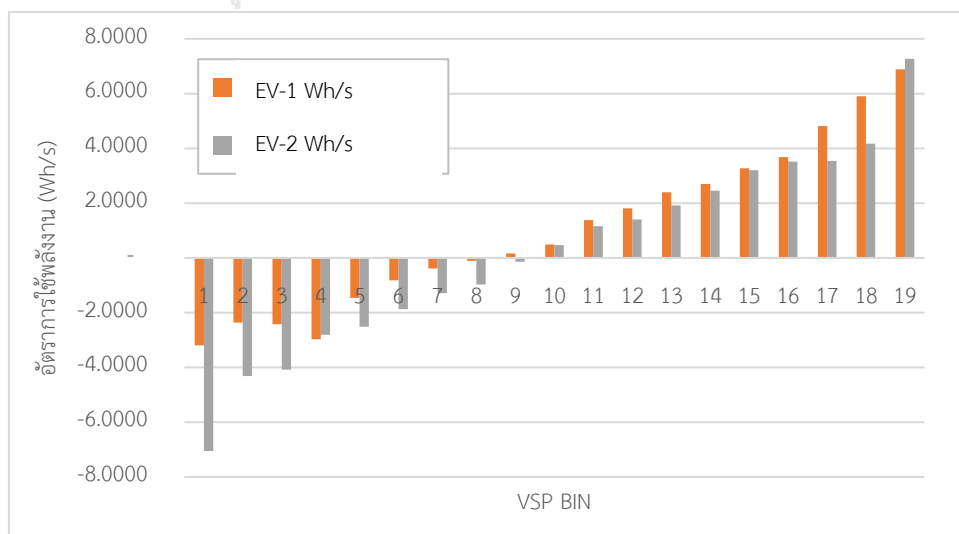
Mode	VSP Range	Mode	VSP Range
1	-50 < VSP < -2	8	4 < VSP < 5
2	-2 < VSP < 0	9	5 < VSP < 6
3	VSP = 0	10	6 < VSP < 7
4	0 < VSP < 1	11	7 < VSP < 8
5	1 < VSP < 2	12	8 < VSP < 9
6	2 < VSP < 3	13	9 < VSP < 10
7	3 < VSP < 4	14	VSP ≥ 10

ตารางที่ 8 ข ค่ากำลังจำเพาะของยานยนต์ในแต่ละช่วงของรถยนต์ไฟฟ้า

Mode	VSP Range	Mode	VSP Range	Mode	VSP Range
1	$VSP < -8$	8	$-2 < VSP < -1$	15	$5 < VSP < 6$
2	$-8 < VSP < -7$	9	$-1 < VSP < 0$	16	$6 < VSP < 7$
3	$-7 < VSP < -6$	10	$0 < VSP < 1$	17	$7 < VSP < 8$
4	$-6 < VSP < -5$	11	$1 < VSP < 2$	18	$8 < VSP < 9$
5	$-5 < VSP < -4$	12	$2 < VSP < 3$	19	$VSP \geq 9$
6	$-4 < VSP < -3$	13	$3 < VSP < 4$		
7	$-3 < VSP < -2$	14	$4 < VSP < 5$		



รูปที่ 17 VSP model ของรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายใน [40]



รูปที่ 18 VSP model ของรถยนต์ไฟฟ้า [40]

สมการที่ 5 จะใช้ในการประมาณอัตราการใช้พลังงานของรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายใน และแสดงออกมาในหน่วย ลิตร โดยใช้ค่าความหนาแน่นของน้ำมันเชื้อเพลิงมาคำนวณเพื่อแปลงหน่วยจากมวลเป็นปริมาตร และสมการที่ 6 จะใช้สำหรับการประมาณอัตราการใช้พลังงานของรถยนต์ไฟฟ้าซึ่งใช้วิธีการเดียวกับรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายใน ในสมการที่ 5 แต่จะไม่มีค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงมาเกี่ยวข้อง และค่า W_i จะเป็นค่าปริมาณพลังงานที่ใช้ในหน่วย kWh ซึ่งได้มาจากการวัด Pack Volt และ Pack Amp ในขั้นตอนการขับทดสอบ สำหรับการเปรียบเทียบอัตราการใช้พลังงานจะใช้หน่วย kWh เป็นหน่วยในการเปรียบเทียบซึ่งใช้ค่า Gasoline gallon equivalent ในการแปลงหน่วยของน้ำมันเป็นหน่วยพลังงาน (kWh)

$$C = \frac{T \times \frac{1}{100} \sum_{i=1}^N D_i W_i}{VKT \times \rho \times 0.2642} \quad (5)$$

$$C = \frac{T \times \frac{1}{100} \sum_{i=1}^N D_i W_i}{VKT} \quad (6)$$

โดยที่

- C คือ อัตราการใช้พลังงานของรถยนต์แต่ละกลุ่ม (kWh/km)
- N คือ จำนวนโหมดของ VSP
- T คือ เวลาการวิ่ง 1 รอบ (วินาที)
- i คือ โหมดของ VSP
- D_i คือ การกระจายตัวของข้อมูลใน VSP โหมดที่ i (%)
- W_i คือ อัตราการใช้เชื้อเพลิงใน VSP โหมดที่ i (g/s ในกรณี ICE และ kWh ทางไฟฟ้าในกรณี EV)
- VKT คือ ระยะทางการวิ่ง 1 รอบ (กิโลเมตร)
- ρ คือ ความหนาแน่นของน้ำมัน

3.3.1.4 การสะท้อนพฤติกรรมการขับขี่ของกรุงเทพมหานคร

การแสดงผลพฤติกรรมการขับขี่ของกรุงเทพมหานคร จะใช้อัตราการใช้พลังงานหนึ่งค่า ซึ่งก็คือ อัตราการใช้พลังงานของเมืองของกรุงเทพมหานคร ที่ได้มาจากการคำนวณอัตราการใช้พลังงานบน

ทุกๆพฤติกรรมการขับขี่ และหาค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักด้วยปริมาณจราจรของถนนแต่ละเส้น โดยทั่วไปแล้วในการวิเคราะห์อัตราการใช้พลังงานที่สะท้อนพฤติกรรมการขับขี่ของเมือง ผู้วิจัยจะใช้การหาค่าเฉลี่ยแบบไม่แจกแจงความถี่ (Arithmetic mean) ซึ่งวิธีการดังกล่าวอาจทำให้ได้ค่าอัตราการใช้พลังงานที่เบี่ยงเบนจากความเป็นจริง แต่หากใช้การหาค่าเฉลี่ยของอัตราการใช้พลังงานด้วยการถ่วงน้ำหนักด้วยปริมาณจราจร จะทำให้ได้ค่าที่ใกล้เคียงความเป็นจริงมากกว่า ซึ่งได้แสดงผลการเปรียบเทียบจากการคำนวณด้วยชุดข้อมูลตัวอย่างไปแล้วในภาคผนวกที่ ๓ สมการที่ใช้ในการคำนวณจะเป็นไปดังสมการที่ 7

$$C_{bkk} = \frac{\sum_i C_i V_i}{\sum_i V_i} \quad (7)$$

โดยที่

C_{bkk} คือ อัตราการใช้พลังงานของเมืองของกรุงเทพมหานคร (kWh/km)

C คือ อัตราการใช้พลังงานของรถยนต์ (kWh/km)

V คือ ปริมาณจราจร (คัน/ชม)

i คือ ถนนเส้นที่ i

ในการคำนวณอัตราการใช้พลังงานซึ่งใช้ VSP model ของรถยนต์ในกลุ่ม C-Segment มาเป็นตัวแทนของอัตราการใช้พลังงานของกรุงเทพมหานคร เนื่องจาก ในกรุงเทพมหานคร รถยนต์ที่ใช้พลังงานมีทั้งขนาดเล็ก กลาง ไปจนถึงขนาดใหญ่ และมากกว่า 72% เป็นรถยนต์นั่งส่วนบุคคลไม่เกิน 7 ที่นั่ง (รถเก๋ง) ที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงเบนซิน รถยนต์ C-Segment จัดอยู่ในกลุ่มรถเก๋ง ที่เป็นรถยนต์ขนาดกลาง และใช้น้ำมันเชื้อเพลิงเบนซินผนวกกับในการประมาณปริมาณพลังงานเป็นการวิเคราะห์ถึงภาพรวมการใช้พลังงานซึ่งพิจารณาเป็นภาพเฉลี่ย ฉะนั้น การคำนวณอัตราการใช้พลังงานของเมืองจึงใช้ VSP model ของรถยนต์กลุ่ม C-Segment มาเป็นค่าเฉลี่ยของอัตราการใช้พลังงานของรถยนต์ทุกขนาดในกรุงเทพมหานคร

บทที่ 4

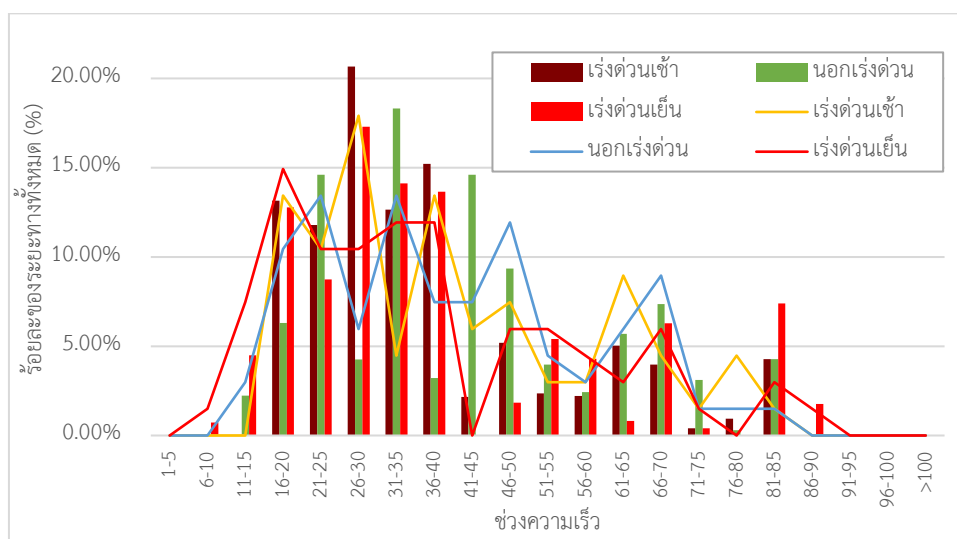
ผลการทดสอบ

ในบทนี้จะนำเสนอผลการทดสอบซึ่งแบ่งออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่ ผลการวิเคราะห์พฤติกรรมการขับขี่, ผลการวิเคราะห์อัตราการใช้พลังงาน, ผลการเปรียบเทียบปริมาณพลังงานที่ลดลงเมื่อมีการนำรถยนต์ไฟฟ้ามาใช้แทนรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายใน สำหรับพื้นที่กรุงเทพมหานคร ในปี พ.ศ. 2579 ตามแผนขับเคลื่อนรถยนต์ไฟฟ้า ในแผน EEP2015 และแนวทางการกำหนดนโยบายเพื่อลดปริมาณพลังงานให้ได้ตามเป้าหมายด้วยสถานการณ์ที่แตกต่างกัน โดยเริ่มต้นจะอธิบายถึงผลการจำแนกพฤติกรรมการขับขี่จากข้อมูลสภาพจราจรย้อนหลัง เพื่อใช้ในการวิเคราะห์อัตราการใช้พลังงานที่สามารถสะท้อนสภาพการขับขี่จริงในกรุงเทพมหานคร จากนั้นจึงแสดงผลการประมาณปริมาณพลังงานและเปรียบเทียบปริมาณพลังงานที่ลดลง ไม่เพียงเท่านั้นผลของการวิเคราะห์อัตราการใช้พลังงาน ยังสามารถบอกถึงความเหมาะสมของรถยนต์ไฟฟ้าที่จะนำมาใช้ในกรุงเทพมหานครได้อีกด้วย

4.1 ผลการวิเคราะห์พฤติกรรมการขับขี่

ในการวิเคราะห์พฤติกรรมการขับขี่จะแบ่งออกเป็นสองส่วนคือ ความเร็วในการขับขี่รถยนต์ในกรุงเทพมหานคร และสภาพการจราจร รูปที่ 19 แสดงการกระจายตัวของระยะทางถนนในแต่ละช่วงความเร็ว แบ่งตามช่วงเวลาคือ ช่วงเร่งด่วนเช้า, นอกช่วงเร่งด่วน และช่วงเร่งด่วนเย็น ตั้งแต่เวลา 7.00น.-9.00น., 9.00น.-16.00น. และ 16.00น.-19.00น. ตามลำดับ จากรูปแสดงให้เห็นว่าในทั้งวันของการเดินทาง รถยนต์ที่ใช้งานในกรุงเทพมหานครจะขับด้วยความเร็วเฉลี่ย 16 – 45 km/h และ 80% ของระยะทางถนนทั้งหมดในกรุงเทพมหานคร รถยนต์จะขับด้วยความเร็วไม่เกิน 60 กม/ชม เมื่อพิจารณาการขับขี่ส่วนใหญ่ที่ร้อยละระยะทางถนนมากกว่า 10% พบว่าช่วงเร่งด่วนเช้าการขับขี่อยู่บนช่วงความเร็ว 16-40 กม/ชม ซึ่งคิดเป็น 74% ของการขับขี่ทั้งหมดในช่วงเร่งด่วนเช้า และการขับขี่ที่ช่วงความเร็ว 26-30 กม/ชม มีร้อยละของระยะทางทั้งหมดสูงที่สุดคือ 21% แสดงว่า การขับขี่ในช่วงเร่งด่วนเช้า การขับขี่จะมีความเร็วเฉลี่ยไม่เกิน 40 กม/ชม สำหรับนอกช่วงเร่งด่วนเมื่อพิจารณาช่วงความเร็วที่ร้อยละของจำนวนถนนทั้งหมดมีค่ามากกว่า 10% พบว่าช่วงของความเร็วเฉลี่ยมีค่าสูงขึ้นเป็นช่วง 21-45 กม/ชม คิดเป็น 48% และที่ช่วงความเร็วสูงขึ้นตั้งแต่ 40 ไปจนถึง 75 กม/ชม ในทุกช่วงความเร็วของการขับขึ้นนอกช่วงเร่งด่วนมีร้อยละระยะทางทั้งหมดมากกว่าทุกช่วงความเร็วของการขับขี่ในช่วงเร่งด่วนเช้าแสดงว่า การขับขึ้นนอกช่วงเร่งด่วนจะมีความเร็วเฉลี่ยสูงกว่าการขับขี่ช่วงเร่งด่วนเช้า สำหรับช่วงเร่งด่วนเย็นเมื่อพิจารณาช่วงความเร็วที่มีร้อยละระยะทางทั้งหมดมากกว่า 10%

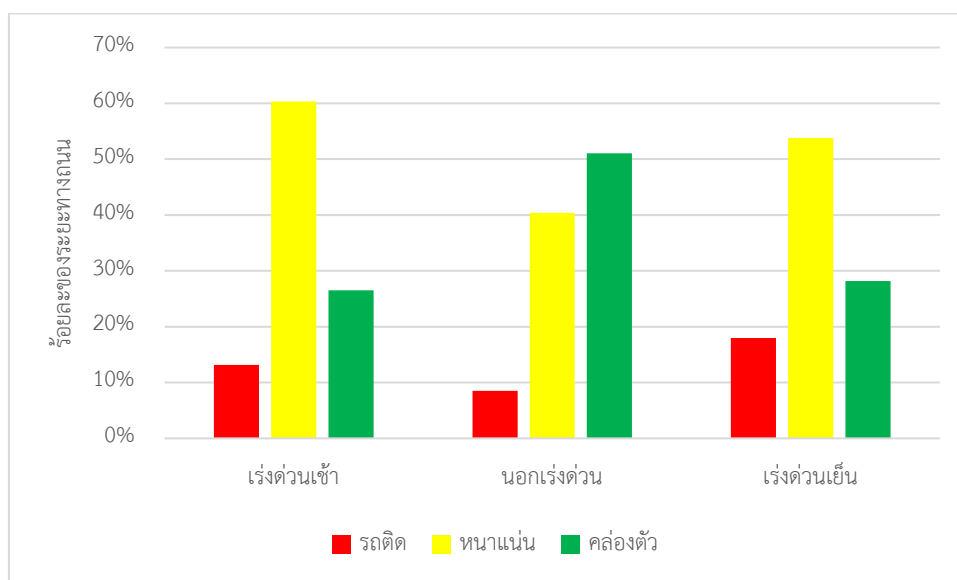
พบว่า 58% จะขับขีที่ช่วงความเร็ว 16-40 กม/ชม ซึ่งมีช่วงความเร็วการขับขีเท่ากับการขับขีในช่วงเร่งด่วนเช้า แต่ร้อยละระยะทางทั้งหมดน้อยกว่าช่วงเร่งด่วนเช้า 7% จากผลการวิเคราะห์สามารถสรุปได้ว่า ในช่วงเร่งด่วนเช้าจะมีช่วงความเร็วเฉลี่ยเท่ากับช่วงเร่งด่วนเย็น และมีช่วงความเร็วต่ำกว่านอกช่วงเร่งด่วน และการขับขีในกรุงเทพมหานครจะมีช่วงความเร็วที่ต่ำกว่า 90 กม/ชม



รูปที่ 19 การกระจายตัวของร้อยละของระยะทางของถนนในแต่ละช่วงความเร็วเฉลี่ยแบ่งตามช่วงเวลา

ผลการวิเคราะห์ดังกล่าวนอกจากจะสามารถบอกถึงความเร็วการขับขีของรถยนต์ที่ใช้ในกรุงเทพมหานครได้แล้ว ยังสามารถนำผลมาวิเคราะห์สภาพจราจรได้อีกด้วย หนึ่งในพารามิเตอร์ที่ใช้บอกสภาพจราจรตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมการให้บริการและการแลกเปลี่ยนสารสนเทศเพื่อการจราจร [42] คือ ความเร็วเฉลี่ย และแสดงให้เห็นเป็นเส้นสี (แดง, เหลือง และเขียว) บนแผนที่เพื่ออ้างอิงสภาพจราจร ความเร็วเฉลี่ยที่มีค่าน้อยแสดงถึงสภาพจราจรติดขัดสามารถเคลื่อนตัวได้ช้า (สีแดง) และความเร็วเฉลี่ยที่สูงขึ้นแสดงว่าสภาพจราจรหนาแน่นลดลง การขับขีมีความคล่องตัวมากขึ้น (เหลือง,เขียว) โดยกำหนดให้ความเร็วต่ำกว่า 20 กม/ชม คือสภาพจราจรติดขัด สีแดง ความเร็วตั้งแต่ 20-40 กม/ชม คือสภาพจราจรหนาแน่น สีเหลือง และความเร็วมากกว่า 40 กม/ชม คือสภาพจราจรคล่องตัว สีเขียว ผู้วิจัยทำการแบ่งความเร็วอ้างอิงตามมาตรฐานดังกล่าว และวิเคราะห์สภาพการจราจรของ กรุงเทพมหานคร รูปที่ 20 แสดงร้อยละของระยะทางของถนนใน กรุงเทพมหานคร ในแต่ละความเร็วอ้างอิงสภาพจราจร พบว่า สำหรับการพิจารณาการขับขีบนสภาพจราจรหนาแน่น พบว่าการขับขีในช่วงเร่งด่วนเช้าสภาพจราจรหนาแน่นมากที่สุดที่ 60% มากกว่าช่วงเร่งด่วนเย็นและนอกช่วงเร่งด่วนอยู่ 6% และ 20% ตามลำดับ และสำหรับช่วงเร่งด่วนเย็นมีสภาพจราจรหนาแน่นมากกว่านอกช่วงเร่งด่วน 14% เมื่อพิจารณาสภาพจราจรที่คล่องตัว (สีเขียว) พบว่า นอกช่วงเร่งด่วน

มีสภาพจราจรคล่องตัวมากที่สุดรองลงมาคือ ช่วงเร่งด่วนเย็น และช่วงเร่งด่วนเช้า ตามลำดับ จึงสามารถสรุปได้ว่า การขับขี่ใน กรุงเทพมหานคร ในช่วงเร่งด่วนเช้าและช่วงเร่งด่วนเย็นจะมีสภาพจราจรหนาแน่นใกล้เคียงกัน และมากกว่า 72% ขับขี่ด้วยความเร็วต่ำกว่า 40 กม/ชม แต่สำหรับนอกช่วงเร่งด่วนการขับขี่ที่ช่วงความเร็วดังกล่าวจะลดลงเหลือเพียง 49%



รูปที่ 20 ร้อยละของระยะทางถนนใน กรุงเทพมหานคร ในแต่ละสภาพจราจรแบ่งตามช่วงเวลา

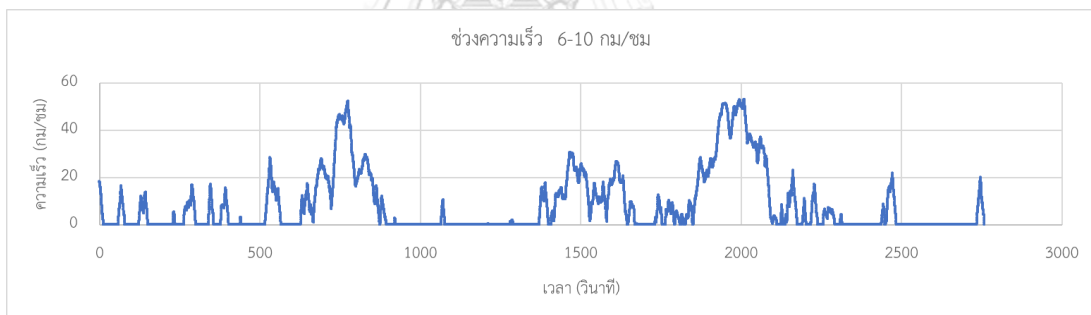
4.2 ผลการประมาณอัตราการใช้พลังงานของกรุงเทพมหานคร

ในการประมาณอัตราการใช้พลังงานที่จะนำไปใช้เพื่อประมาณปริมาณการใช้พลังงานนั้น จะใช้ค่าอัตราการใช้พลังงานของเมืองเพียงค่าเดียวในการคำนวณ จากการวิเคราะห์พฤติกรรมการขับขี่พบว่า กรุงเทพมหานครขับขี่ใน 17 ช่วงความเร็ว วิธีการคำนวณหาอัตราการใช้พลังงานคือ หาตัวแทนรูปแบบการขับขี่ในแต่ละช่วงความเร็ว จากนั้นคำนวณหาอัตราการใช้พลังงานด้วยแบบจำลองค่ากำลังจำเพาะของยานยนต์ และคำนวณหาอัตราการใช้พลังงานของเมืองด้วยการหาค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักด้วยปริมาณจราจร โดยรายละเอียดผลการคำนวณเป็นดังต่อไปนี้

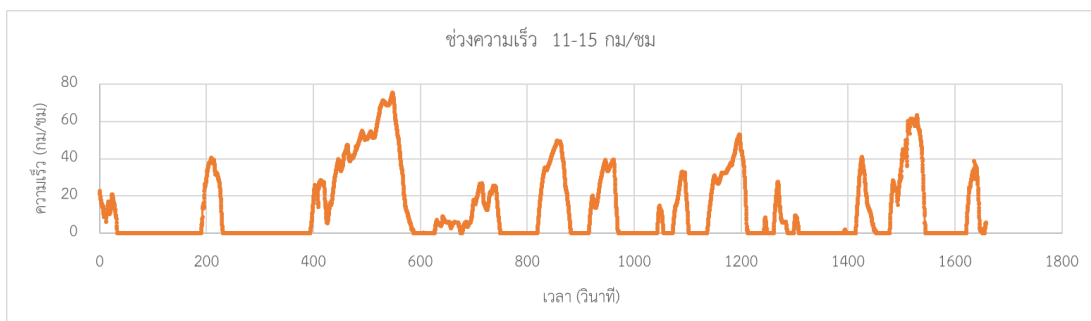
4.2.1 รูปแบบการขับขี่

จากการวิเคราะห์ข้อมูลการขับขี่ของอาสาสมัครที่ใช้รถยนต์ในกรุงเทพมหานครเป็นประจำ รวมระยะเวลาที่ทำการเก็บข้อมูล 20 วัน ระยะเวลาเก็บข้อมูลการขับขี่รวม 413 ชม. คิดเป็นจำนวนเที่ยวการขับขี่ 218 เที่ยว จะได้รูปแบบการขับขี่ทั้งหมด 20 แบบ สำหรับพฤติกรรมการขับขี่ของกรุงเทพมหานครจะเลือกรูปแบบการขับขี่ในแต่ละช่วงความเร็วที่มีระยะทางมากกว่า 6 กม เนื่องจากในการคัดเลือกตัวแทนรูปแบบการขับขี่ซึ่งคือ แผนผังความเร็วกับเวลา ในงานวิจัยอื่นๆจะมีการ

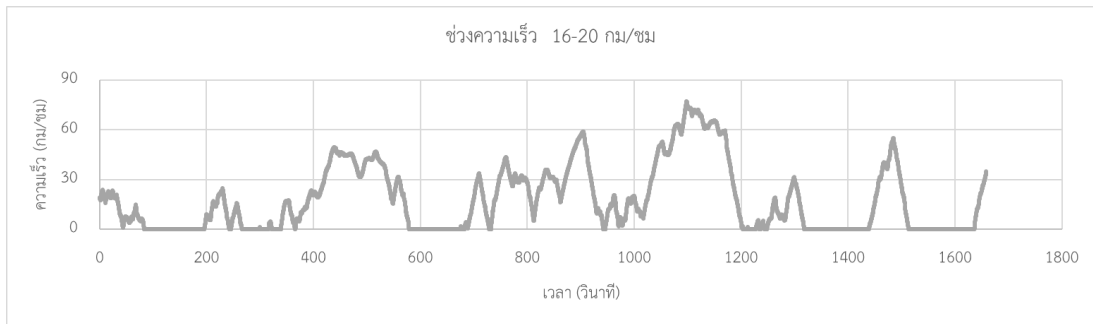
พิจารณา stop count, ความเร่ง ฯลฯ เพื่อคัดแยกรูปแบบการขับขี่ที่มีลักษณะการขับขี่ที่ต่างกันด้วยข้อจำกัดของข้อมูล งานวิจัยนี้ได้ใช้เพียงความเร็วเฉลี่ยในการพิจารณาลักษณะการขับขี่ที่ต่างกันเท่านั้น ฉะนั้นจึงไม่สามารถใช้พารามิเตอร์อื่น ๆ นอกเหนือจากความเร็วเฉลี่ยมาคัดเลือกรูปแบบการขับขี่ตัวแทนได้งานวิจัยนี้จึงจำเป็นต้องวิเคราะห์ถึงเกณฑ์การคัดเลือกรูปแบบการขับขี่ด้วยวิธีอื่น ดังแสดงในภาคผนวก จ และสามารถสรุปผลได้ว่าระยะทางของรูปแบบการขับขี่ที่มีระยะทางมากกว่า 6 กม จะทำให้อัตราการใช้พลังงานของรูปแบบการขับขี่ที่มีความเร็วเฉลี่ยอยู่บนช่วงเดียวกันมีค่าใกล้เคียงกัน และสามารถเลือกรูปแบบการขับขี่ตัวแทนได้โดยไม่สนใจว่ารถยนต์จะมีความเร็วเท่าไร ที่จุดเริ่มต้น หรือสิ้นสุดของ Velocity profile จากการวิเคราะห์รูปแบบการขับขี่ในแต่ละช่วงความเร็วพบว่า ในช่วงความเร็วต่ำ คือ 6-10 km/hr, 11-15 km/hr และ 16-20 km/hr ดังแสดงในรูปที่ 21-23 รูปแบบการขับขี่จะมีลักษณะใกล้เคียงกันคือ ลักษณะของการขับขี่เป็นการขับหยุดตามแยกที่มีสัญญาณไฟจราจร สำหรับในช่วงความเร็วเฉลี่ยที่สูงขึ้น คือ 21-25 km/hr, 26-30 km/hr และ 31-35 km/hr ดังแสดงในรูปที่ 24-26 การขับขี่จะมีลักษณะเป็นแบบขับๆ หยุดๆ (Stop and go) และเมื่อความเร็วเฉลี่ยของรูปแบบการขับขี่เพิ่มสูงขึ้นตั้งแต่ 36 km/hr เป็นต้นไป ดังแสดงในรูปที่ 27-41 จะมีลักษณะการขับขี่ที่ความเร็วเริ่มค่อนข้างคงที่และไม่มีการหยุดจอดระหว่างทาง



รูปที่ 21 พฤติกรรมการขับขี่ที่ 1



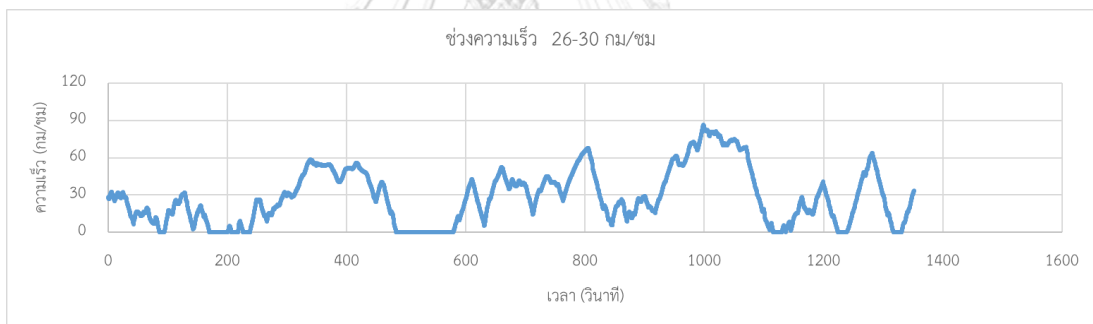
รูปที่ 22 พฤติกรรมการขับขี่ที่ 2



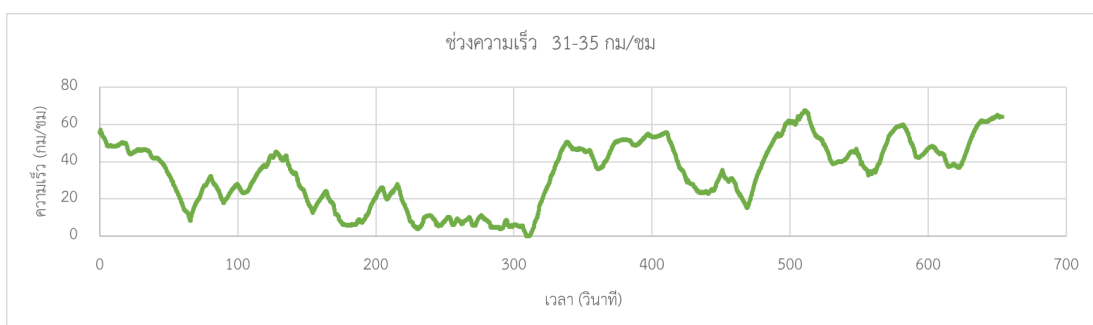
รูปที่ 23 พฤติกรรมการขับขี่ที่ 3



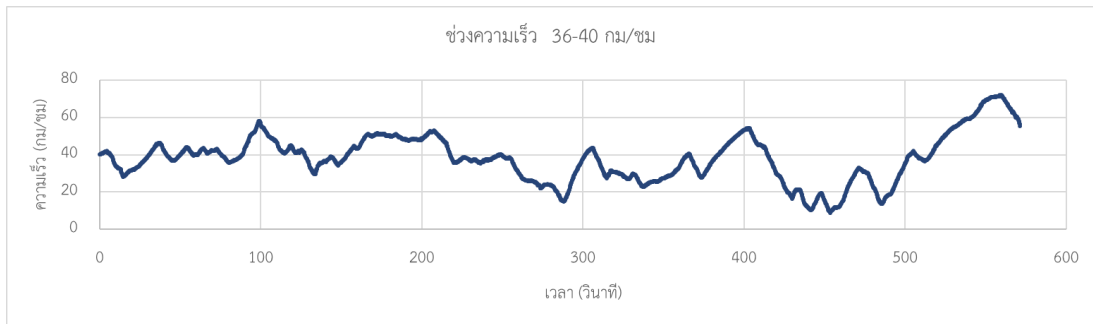
รูปที่ 24 พฤติกรรมการขับขี่ที่ 4



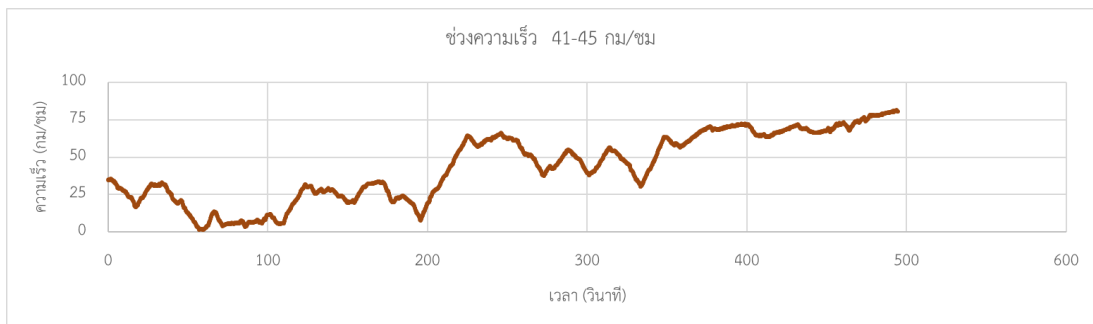
รูปที่ 25 พฤติกรรมการขับขี่ที่ 5



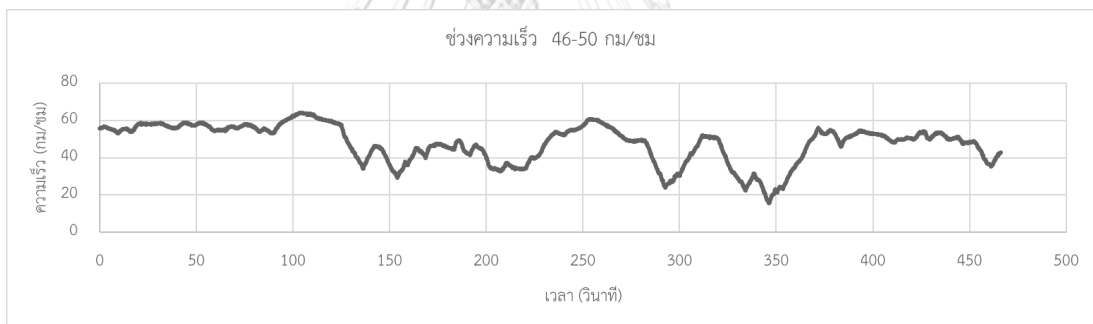
รูปที่ 26 พฤติกรรมการขับขี่ที่ 6



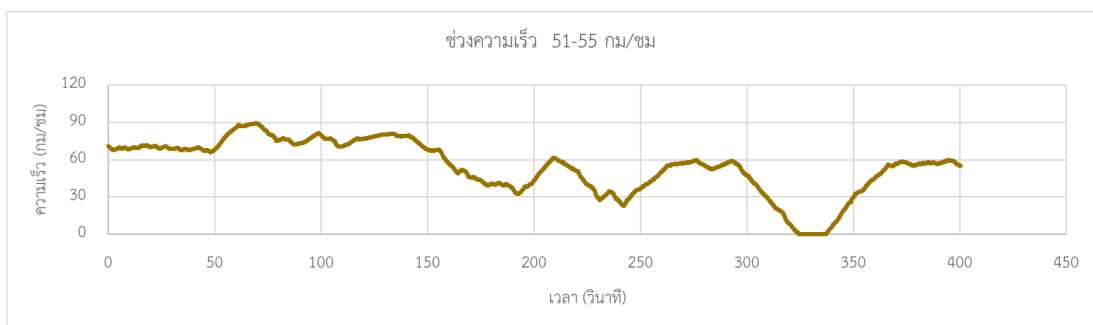
รูปที่ 27 พฤติกรรมการขับขี่ที่ 7



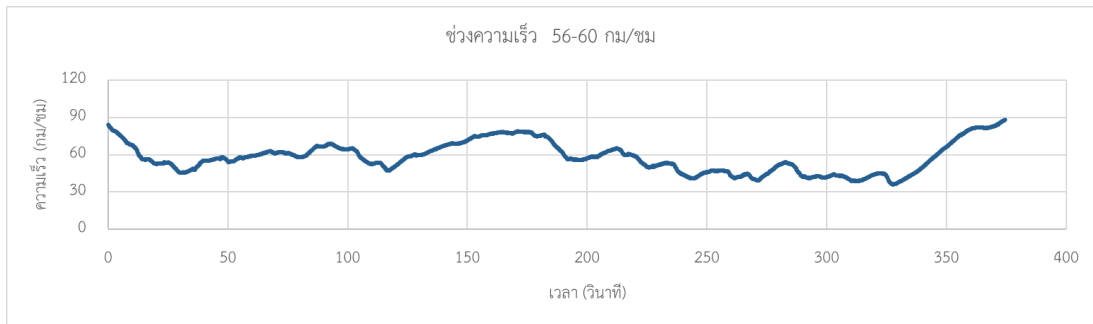
รูปที่ 28 พฤติกรรมการขับขี่ที่ 8



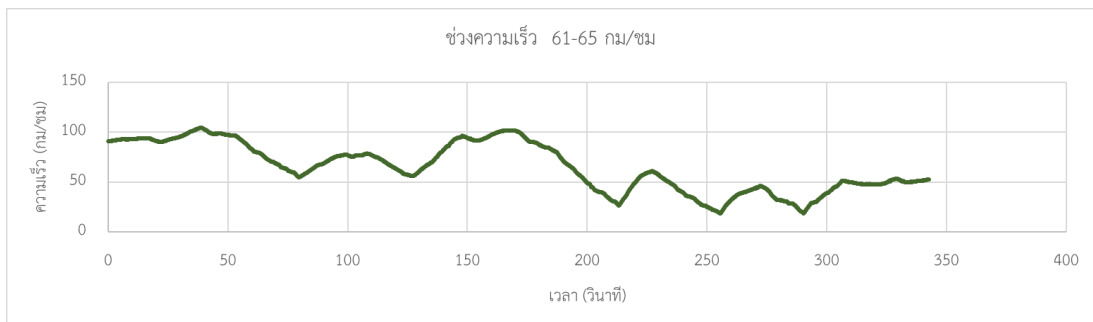
รูปที่ 29 พฤติกรรมการขับขี่ที่ 9



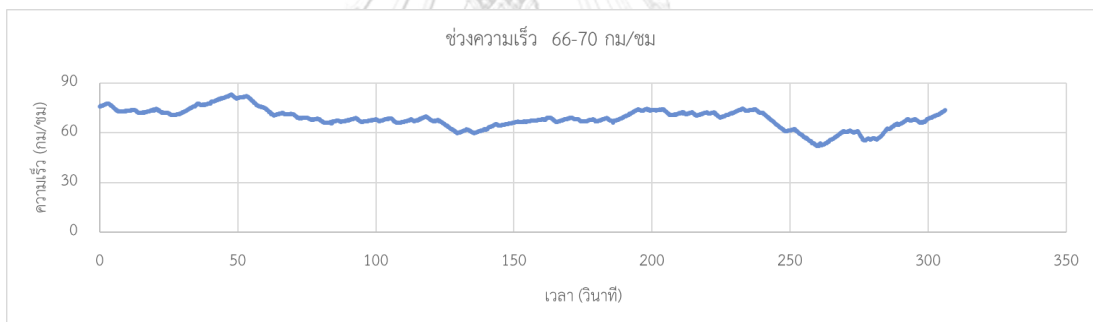
รูปที่ 30 พฤติกรรมการขับขี่ที่ 10



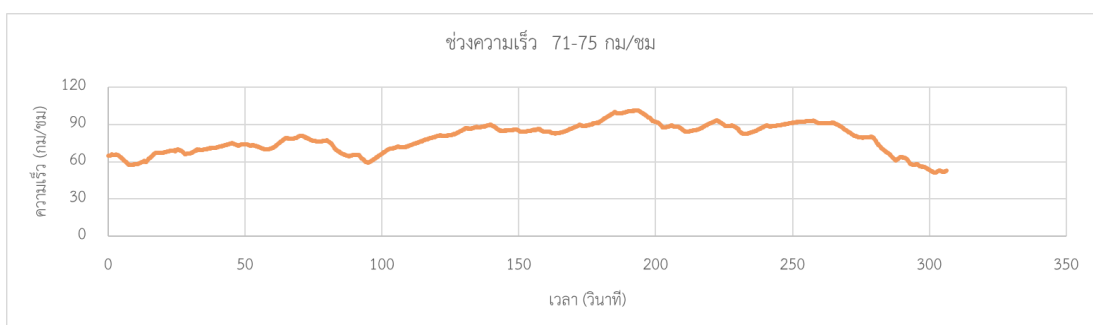
รูปที่ 31 พฤติกรรมการขับขี่ที่ 11



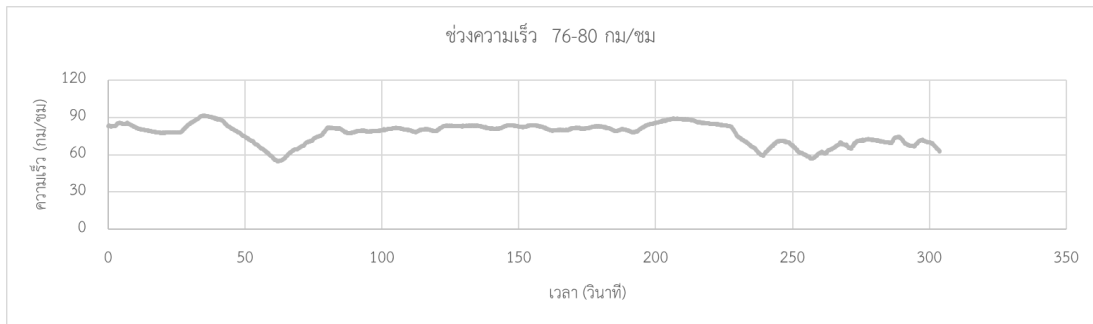
รูปที่ 32 พฤติกรรมการขับขี่ที่ 12



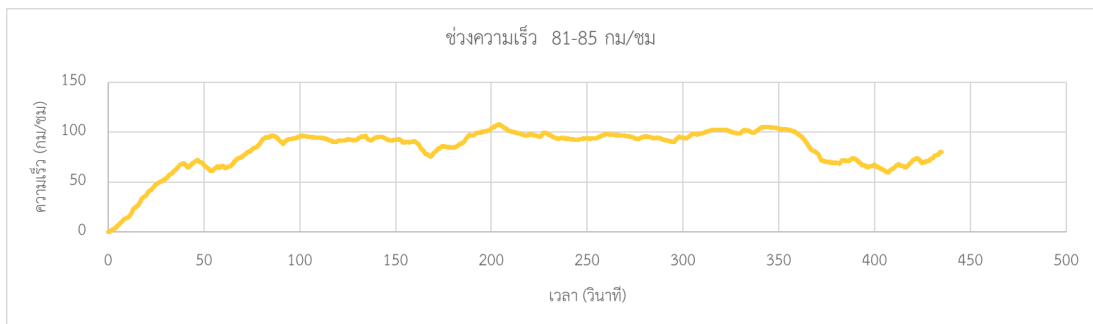
รูปที่ 33 พฤติกรรมการขับขี่ที่ 13



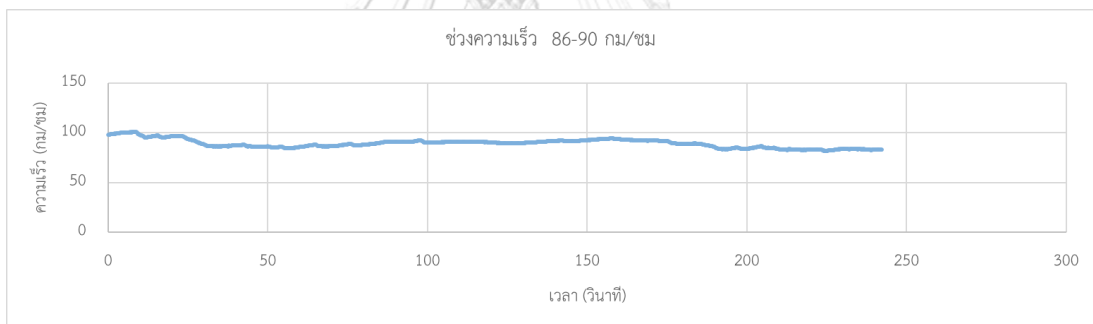
รูปที่ 34 พฤติกรรมการขับขี่ที่ 14



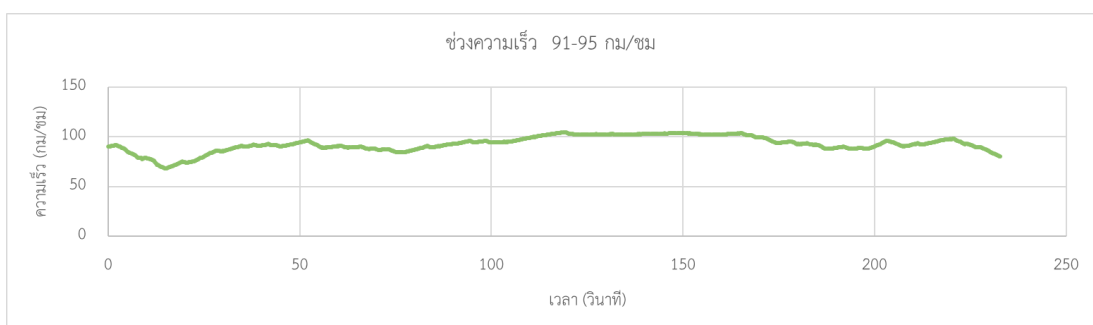
รูปที่ 35 พฤติกรรมการขับขี่ที่ 15



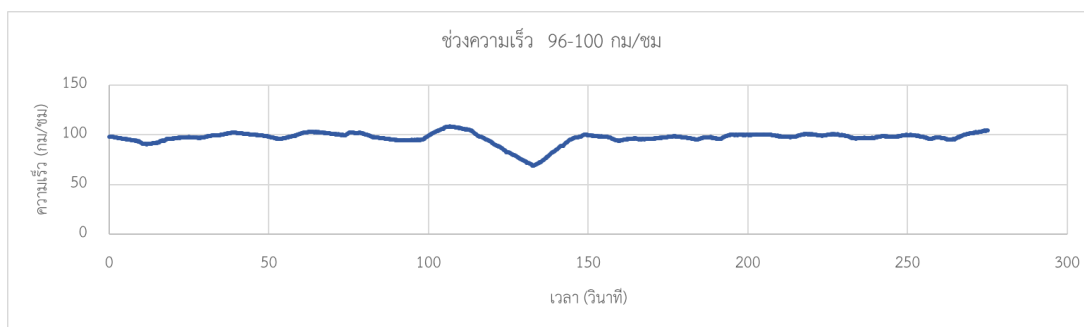
รูปที่ 36 พฤติกรรมการขับขี่ที่ 16



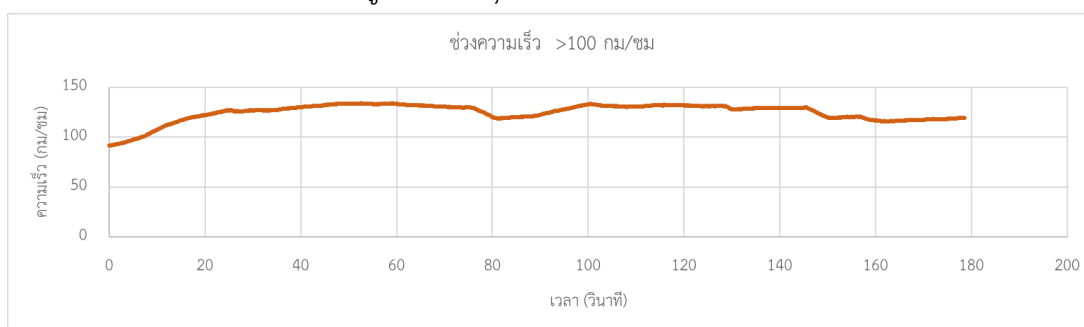
รูปที่ 37 พฤติกรรมการขับขี่ที่ 17



รูปที่ 38 พฤติกรรมการขับขี่ที่ 18



รูปที่ 39 พฤติกรรมการขับขี่ที่ 19

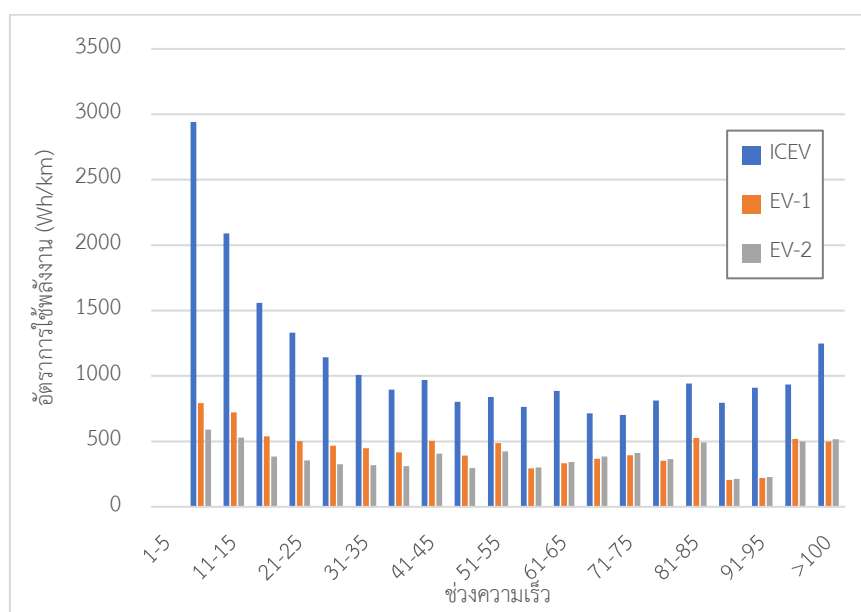


รูปที่ 40 พฤติกรรมการขับขี่ที่ 20

4.2.2 อัตราการใช้พลังงานของแต่ละพฤติกรรมการขับขี่

เมื่อคำนวณอัตราการใช้พลังงานตามวิธีการคำนวณให้หัวข้อที่ 3.5.1.3 แล้วจะได้อัตราการใช้พลังงานของรถยนต์ทั้ง 3 รุ่น ที่คำนวณมาจากรูปแบบการขับขี่ตัวแทนของแต่ละพฤติกรรมการขับขี่ ดังแสดงในรูปที่ 41 เมื่อทำการพิจารณาเปรียบเทียบแนวโน้มของอัตราการใช้พลังงานในแต่ละรูปแบบการขับขี่พบว่า สำหรับรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายใน มีอัตราการใช้พลังงานลดลงเมื่อช่วงของความเร็วการขับขี่เพิ่มสูงขึ้นจนถึง 40 km/h และเมื่อความเร็วมากกว่า 40 km/h อัตราการใช้พลังงานจะมีค่าใกล้เคียงกัน และมีแนวโน้มว่าจะคงที่ จนถึงความเร็วไม่เกิน 100 km/h และที่ความเร็วมากกว่า 100 km/h จะมีอัตราการใช้พลังงานที่สูงขึ้น สำหรับรถยนต์ไฟฟ้า จะเห็นได้ว่าพฤติกรรมการขับขี่ที่แตกต่างกัน (พิจารณาด้วยช่วงความเร็ว) มีผลน้อยต่อการเปลี่ยนแปลงของอัตราการใช้พลังงานที่ช่วงความเร็วตั้งแต่ 56 กม/ชม เป็นต้นไป จึงทำให้ค่าอัตราการใช้พลังงานของรถยนต์ไฟฟ้าทั้งสองรุ่นมีค่าใกล้เคียงกันในแต่ละช่วงความเร็ว แต่สำหรับที่ช่วงความเร็วน้อยกว่า 56 กม/ชม รถยนต์ไฟฟ้าทั้งสองรุ่นจะมีอัตราการใช้พลังงานที่แตกต่างกันซึ่งเป็นผลมาจากลักษณะการขับขี่ จากรูปที่ 21-31 ในหัวข้อที่ 4.2.1 แสดงลักษณะการขับขี่ที่ช่วงความเร็ว 6-55 กม/ชม พบว่ามีการขับขี่ในลักษณะจอดและออกตัวบ่อยครั้ง ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ EV-2 มีอัตราการใช้พลังงานที่ต่ำกว่า เนื่องจากรถยนต์รุ่นดังกล่าวมี regeneration มากกว่า EV-1 ในทุก VSP bin ที่มี regeneration ข้อมูลดังกล่าว

นี้จะใช้เป็นฐานข้อมูลพฤติกรรมจราจรซ้ำซึ่งเชิงอัตราการใช้พลังงาน และสามารถนำไปเพื่อวิเคราะห์ปริมาณพลังงานต่อไปได้



รูปที่ 41 อัตราการใช้พลังงานของรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายใน และรถยนต์ไฟฟ้า ที่คำนวณจากรูปแบบการซ้ำซึ่งตัวแทนของแต่ละพฤติกรรมจราจรซ้ำ

4.2.3 อัตราการใช้พลังงานของกรุงเทพมหานคร

จากที่กล่าวมาแล้วว่าอัตราการใช้พลังงานที่ใช้ในการคำนวณปริมาณพลังงานรวมจะใช้ค่า ค่าเดียวมาเป็นตัวแทนสะท้อนความเป็นเมือง การหาค่าเฉลี่ยแบบปกติยังมีความถูกต้องไม่เพียงพอ หนึ่งในพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์สภาพจราจรในระดับมหภาคคือ ปริมาณจราจร (Traffic volume) ฉะนั้น ในการหาค่าเฉลี่ยของอัตราการใช้พลังงานของกรุงเทพมหานครจะใช้วิธีการถ่วงน้ำหนักด้วยปริมาณจราจร ดังแสดงในสมการที่ 7 หัวข้อที่ 3.5.1.4 สำหรับข้อมูลแสดงปริมาณจราจรในแต่ละช่วงความเร็วแบ่งตามช่วงเวลาจะแสดงใน ภาคผนวก ข ผลการคำนวณอัตราการใช้พลังงานของรถยนต์ทั้ง 3 รุ่น แสดงดังตารางที่ 9 พบว่าอัตราการใช้พลังงานของรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายในมีค่าสูงที่สุดสำหรับรถยนต์ไฟฟ้า EV-2 มีอัตราการใช้พลังงานที่ต่ำที่สุด ฉะนั้น สำหรับอัตราการใช้พลังงานของรถยนต์ไฟฟ้าที่ใช้เป็นตัวแทนสะท้อนภาพของการซ้ำซึ่งในกรุงเทพมหานครคือ อัตราการใช้พลังงานของรถยนต์ EV-2 เมื่อทำการเปรียบเทียบอัตราการใช้พลังงานของรถยนต์ทั้ง 2 ชนิดตามช่วงเวลาพบว่า ช่วงเร่งด่วนเย็นจะใช้พลังงานมากที่สุดรองลงมาคือ ช่วงเร่งด่วนเช้าและนอกช่วงเร่งด่วน เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบอัตราการใช้พลังงานในช่วงนอกเร่งด่วน กับช่วงเร่งด่วนเช้าพบว่าเมื่ออัตราการใช้พลังงานที่ใกล้เคียงกันทั้งที่สภาพจราจรในการซ้ำซึ่งแตกต่างกัน ผู้วิจัยจึงทำการวิเคราะห์ปริมาณ

จราจรของ 2 ช่วงเวลา พบว่าในการขับขี่ความเร็วต่ำ (น้อยกว่า 30 กม/ชม) ที่ช่วงความเร็ว 11-15 กม/ชม และ 21-25 กม/ชม การขับขึ้นนอกช่วงเร่งด่วนมีปริมาณจราจรสูงกว่าช่วงเร่งด่วนเช้า แต่ที่ช่วงความเร็วอื่นๆ ช่วงเร่งด่วนเช้ามีปริมาณจราจรที่สูงกว่า ฉะนั้นสำหรับการขับขี่ช่วงความเร็วต่ำจึงทำให้อัตราการใช้พลังงานที่คำนวณมาได้ซัดเซยกกัน และที่ความเร็วในการขับขี่สูงขึ้นพบว่า 70% ของการขับขึ้นนอกช่วงเร่งด่วนมีปริมาณจราจรมากกว่าช่วงเร่งด่วนเช้า ด้วยเหตุนี้จึงเป็นผลทำให้อัตราการใช้พลังงานของช่วงเร่งด่วนเช้า และนอกช่วงเร่งด่วนมีอัตราการใช้พลังงานของเมืองใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 9 แสดงอัตราการใช้พลังงานของเมืองของรถยนต์ทั้ง 2 ชนิด

ช่วงเวลา	อัตราการใช้พลังงานของเมือง (Wh/km)		
	รถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายใน	รถยนต์ไฟฟ้า EV-1	รถยนต์ไฟฟ้า EV-2
เร่งด่วนเช้า	932	408	352
นอกเร่งด่วน	913	411	356
เร่งด่วนเย็น	979	436	365
ตลอดวัน	941	418	358

อัตราการใช้พลังงานเป็นตัวแปรที่สำคัญและมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณพลังงาน ผู้วิจัยจึงเปรียบเทียบอัตราการใช้พลังงานของรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายในของงานวิจัยนี้กับอัตราการใช้พลังงานของรถยนต์ชนิดเดียวกันของงานวิจัยอื่น สำหรับงานวิจัยนี้อัตราการใช้พลังงานของเมือง ที่ใช้อัตราการใช้พลังงานเฉลี่ยตลอดวันมาเป็นตัวแทน จากการหาค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักด้วยปริมาณจราจรของอัตราการใช้พลังงานในช่วงเร่งด่วนเช้า นอกเร่งด่วน และช่วงเร่งด่วนเย็น สำหรับรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายในและรถยนต์ไฟฟ้าคือ 941 Wh/กม (10.67 l/100กม) และ 358 Wh/กม (4.06 l/100km) ตามลำดับ ตารางที่ 10 แสดงอัตราการใช้พลังงานของเมืองของรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายในที่คำนวณได้เปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นๆ ที่ศึกษามาก่อนหน้า [37] พบว่าอัตราการใช้พลังงานของเมืองในงานวิจัยนี้ (CBKK) มีค่าสูงกว่า Bangkok Driving Cycle (BDC) ของ Thamsanya [24] ที่ทำการศึกษาไว้เมื่อปี พ.ศ.2552 สำหรับการออกแบบโครงข่ายถนน จะมีการพิจารณาถึงความสามารถในการรองรับปริมาณจราจร (Road efficiency) ที่แสดงเป็นหน่วยเดียวกับปริมาณจราจรคือ จำนวนรถยนต์ต่อเวลา เช่น คัน/ชม หรือ คัน/วัน และหากปริมาณจราจรมีค่าสูงกว่าความสามารถที่ถนนรองรับได้ จะทำให้เกิดแถวคอยขึ้นในระบบจราจร และสามารถระบายรถยนต์ออกจากระบบได้ช้ามีผลทำให้ความเร็วเฉลี่ยของถนนมีค่าลดลง ซึ่งเหตุผลที่ทำให้ CBKK มีค่าสูงกว่าก็เป็นผลมาจากปริมาณรถยนต์ที่เพิ่มสูงขึ้นทำให้ Efficiency ของถนนลดลง จึงทำให้รถยนต์ที่ขับขี่ใน กรุงเทพมหานคร มีความเร็วเฉลี่ยต่ำลง ส่งผลให้อัตราการใช้พลังงานสูงขึ้น เมื่อทำการ

เปรียบเทียบกับอัตราการใช้พลังงานที่คำนวณจาก US-FTP75 พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน จากหนึ่งในพารามิเตอร์ที่ใช้ในการพิจารณาสภาพจราจรคือความเร็วเฉลี่ยจากที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 1.1 ผู้วิจัยจึงทำการเปรียบเทียบความเร็วเฉลี่ยของ Driving Cycle FTP-75 (DC-FTP35) ที่มีค่า 34.10 กม/ชม ซึ่งถือว่าเป็นความเร็วเฉลี่ยของการขับขี่ในเมืองตามมาตรฐาน FTP-75 กับความเร็วเฉลี่ยของการขับขี่ใน กรุงเทพมหานคร ที่มีค่า 29.21 กม/ชม พบว่า มีความเร็วเฉลี่ยใกล้เคียงกันจึงทำให้อัตราการใช้พลังงานมีค่าใกล้เคียงกันด้วยเช่นกัน จากการวิเคราะห์อัตราการใช้พลังงานจากฐานข้อมูลพฤติกรรมการขับขี่ในเชิงอัตราการใช้พลังงานในงานวิจัยนี้ แสดงให้เห็นว่า ชุดข้อมูลดังกล่าวมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการใช้เพื่อศึกษาเกี่ยวกับงานด้าน Traffic modelling ของเมืองได้เป็นอย่างดี หากต้องการศึกษาถึงอัตราการใช้พลังงานของเมืองอื่น เพียงแค่ทราบพฤติกรรมการขับขี่ และปริมาณจราจร ก็สามารถนำชุดข้อมูลดังกล่าวไปคำนวณหาอัตราการใช้พลังงานได้

ตารางที่ 10 เปรียบเทียบอัตราการใช้พลังงานของงานวิจัยนี้กับงานที่ศึกษาก่อนหน้า

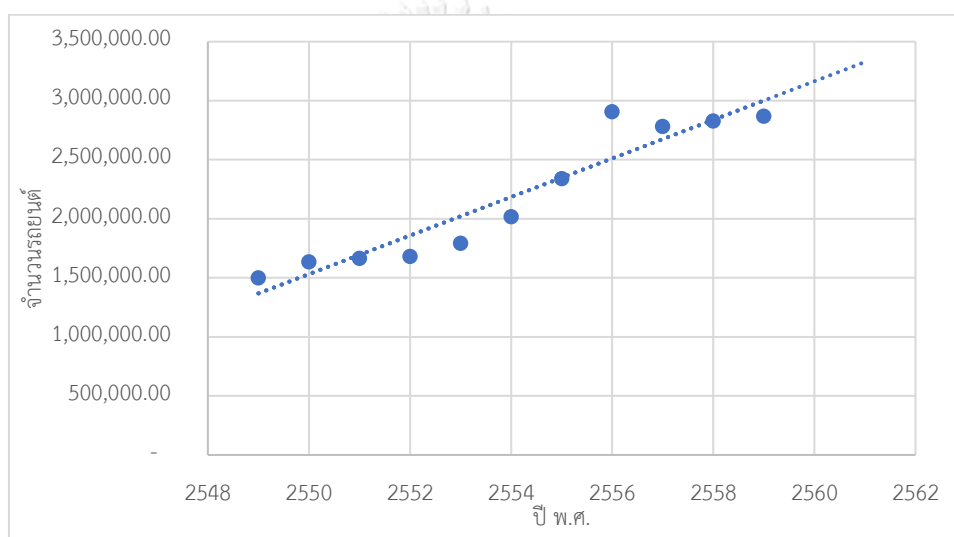
	CBKK	BDC [24]	US-FTP75 [27]
อัตราการใช้พลังงาน (l/100km)	10.67	8.48	10.11
รูปแบบของข้อมูล	วิเคราะห์พฤติกรรมการขับขี่	Driving cycle	

4.3 ผลการประมาณปริมาณพลังงาน

ในหัวข้อนี้จะแสดงผลของการประเมินปริมาณพลังงาน ในปี พ.ศ.2579 แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ปริมาณพลังงานของการใช้รถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายในทั้งหมด และปริมาณพลังงานเมื่อมีการทดแทนด้วยรถยนต์ไฟฟ้าจำนวน 1.2 ล้านคัน โดยการคำนวณจะใช้สมการพื้นฐานที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการหาปริมาณพลังงานรวม (TEC :Total energy consumption) ดังแสดงอยู่ในสมการที่ 1 หัวข้อที่ 2.3 โดยพารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณจะแสดงดังตารางที่ 11 โดยจำนวนรถยนต์ทั้งหมดในปี พ.ศ.2579 จะถูกประมาณการมาจากจำนวนรถยนต์จดทะเบียนใหม่ และรถยนต์ต่ออายุ ตั้งแต่ปี พ.ศ.2549 – 2559 เฉพาะจำนวนรถยนต์ที่จดทะเบียนเป็น รถยนต์โดยสารส่วนบุคคลไม่เกิน 7 ที่นั่ง (รถเก๋ง) รูปที่ 42 แสดงจำนวนรถยนต์จดทะเบียนใหม่รวมกับรถยนต์ต่ออายุ 10 ปีย้อนหลัง และเมื่อประมาณจำนวนรถยนต์ในปี พ.ศ.2579 จะได้ 6.27 ล้านคัน เมื่อทำการทดแทนด้วยรถยนต์ไฟฟ้าจำนวน 1.2 ล้านคัน ตามแผนขับเคลื่อนยานยนต์ไฟฟ้า จะคิดเป็นสัดส่วนการทดแทนได้ 19.15% และสำหรับค่า VKT ที่แสดงถึงระยะทางเดินทางเฉลี่ยตลอดปีของรถยนต์ที่ใช้งานใน กรุงเทพมหานคร เฉพาะรถยนต์เครื่องยนต์เบนซิล และเป็นรถยนต์โดยสารส่วนบุคคลไม่เกิน 7 ที่นั่ง (รถเก๋ง) จะใช้ข้อมูลอ้างอิงจาก สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร (สนข.) [43]

ตารางที่ 11 แสดงพารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณปริมาณพลังงานรวม (TEC)

รายการ	กรณี	รถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายใน	รถยนต์ไฟฟ้า	พารามิเตอร์	หน่วย
จำนวนรถยนต์	กรณีฐาน EDP2015	6.26 ล้านคัน 5.07 ล้านคัน	0.00 1.20 ล้านคัน	N_i	คัน
อัตราการใช้พลังงาน	-	940.92	357.97	C_i	kWh/km
ระยะทาง	14,557.00			VKT	km



รูปที่ 42 แสดงจำนวนรถยนต์จดทะเบียนใหม่และรถยนต์ต่ออายุ ย้อนหลัง 10 ปี

เพื่อให้มั่นใจว่าผลการคำนวณปริมาณพลังงานรวมมีความถูกต้อง และแม่นยำ ผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบผลการคำนวณปริมาณพลังงานรวมของรถยนต์ที่ใช้ในปี พ.ศ.2558 กับปริมาณน้ำมันที่ขายจริงใน กรุงเทพมหานคร ในปีเดียวกัน (ข้อมูลจาก กรมธุรกิจพลังงาน กระทรวงพลังงาน [44]) พบว่า เมื่อใช้สมการ TEC คำนวณปริมาณพลังงานจากจำนวนรถยนต์ต่ออายุ และรถยนต์จดทะเบียนใหม่ จำนวน 2.35 ล้านคัน, ค่า VKT อ้างอิงจาก สนข [43] และอัตราการใช้พลังงานของเมืองที่คำนวณได้จากงานวิจัยนี้ และจากวิธีการคำนวณในงานวิจัยนี้ พบว่า มีค่าน้อยกว่าค่าจริง 17 ล้านลิตร คิดเป็น 0.48% ถือว่าผลการประมาณปริมาณพลังงานตามวิธีการจากงานวิจัยนี้สามารถนำไปใช้ได้เป็นอย่างดีโดยมีร้อยละความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า 1% ในการคำนวณปริมาณพลังงานรวมในงานวิจัยนี้ได้ใช้ค่าอัตราการใช้พลังงานของเมืองจากการวิเคราะห์อัตราการใช้พลังงานของรถยนต์ C-Segment ซึ่งเหตุผลที่ใช้รถยนต์ขนาดดังกล่าวนี้เนื่องจากเป็นรถยนต์ขนาดกลาง ระหว่างรถยนต์ B-

Segment และ D-Segment ซึ่งเป็นรถยนต์ขนาดที่นิยมใช้งานในกรุงเทพมหานคร ฉะนั้น การใช้รถยนต์ C-Segment จึงถือเป็นตัวแทนเฉลี่ยของรถยนต์ที่ใช้งานในกรุงเทพมหานคร

จาก EEP2015 ที่กำหนดเป้าหมายในการลดปริมาณพลังงานลง 1,123 ktoe ในภาคการขนส่ง ด้วยการใช้รถยนต์ไฟฟ้าทดแทนรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายในจำนวน 1.2 ล้านคัน คิดเป็น 19.15% เมื่อเทียบกับจำนวนรถยนต์ทั้งหมดในปี พ.ศ.2579 เมื่อทำการคำนวณบนสมมติฐานเดียวกับแผน EEP2015 คือ สภาพการจราจรและประสิทธิภาพของรถยนต์ทั้งสองชนิดไม่เปลี่ยนแปลงไป พบว่า การใช้รถยนต์ไฟฟ้าทดแทนรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายในจำนวน 1.2 ล้านคัน ตามแผนขับเคลื่อนยานยนต์ไฟฟ้า จะสามารถลดปริมาณพลังงานลงได้ 992.91 ktoe คิดเป็น 11.86% ของปริมาณพลังงานรวมในกรณีฐาน ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบผลการคำนวณกับเป้าหมายของ EEP2015 พบว่า ยังไม่สามารถบรรลุเป้าหมายได้ ผู้วิจัยจึงทำการประเมินปริมาณพลังงานที่ลดลงเมื่อใช้รถยนต์ไฟฟ้าทดแทนรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายในเพิ่มขึ้นครั้งละ 10% พบว่า ปริมาณพลังงานสามารถลดลงได้ 5.8% ต่อการใช้รถยนต์ไฟฟ้าทดแทน 10% หากต้องการให้บรรลุเป้าหมาย EEP2015 จะต้องเพิ่มจำนวนการทดแทนด้วยรถยนต์ไฟฟ้าเป็น 1.35 ล้านคัน หรือคิดเป็น 21.65% เมื่อเทียบกับจำนวนรถยนต์ทั้งหมดในปี พ.ศ.2579

4.4 สถานการณ์จำลอง

จากการสร้างฐานข้อมูลพฤติกรรมกรรมการขับขี่เชิงอัตราการใช้พลังงาน และการคำนวณปริมาณพลังงานเพื่อพิจารณาความเป็นไปได้ที่จะบรรลุเป้าหมายลดการใช้พลังงานตามแผน EEP2015 พบว่า หากมีการใช้รถยนต์ไฟฟ้าทดแทนรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายใน จำนวน 1.2 ล้านคัน ในปี พ.ศ. 2579 จะยังไม่สามารถบรรลุเป้าหมายได้ เพื่อเพิ่มทางเลือกในการประเมินความเป็นไปได้และการกำหนดทิศทางของนโยบายให้สามารถบรรลุเป้าหมายได้มากยิ่งขึ้นงานวิจัยนี้เสนอวิธีการประยุกต์ใช้ฐานข้อมูลพฤติกรรมกรรมการขับขี่ในเชิงอัตราการใช้พลังงานของงานวิจัยนี้ในการประมาณปริมาณพลังงานรวมเมื่อมีการทดแทนรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายในด้วยรถยนต์ไฟฟ้าตามแผน EEP2015 เมื่อสถานการณ์แตกต่างกัน 3 สถานการณ์คือ 1) เมื่อสภาพจราจรเปลี่ยนแปลงไป 2) เมื่อมี carsharing เพิ่มขึ้น และ 3) เมื่อมีเทคโนโลยีลดน้ำหนักรถยนต์ จากนั้นทำการเปรียบเทียบผลของสถานการณ์จำลองทั้ง 3 แบบ

จากการศึกษาวิธีการวิเคราะห์อัตราการใช้พลังงานของเมืองพบว่า สภาพการจราจรเป็นปัจจัยที่สำคัญที่ส่งผลให้อัตราการใช้พลังงานเปลี่ยนแปลงไป สำหรับในหัวข้อนี้จะวิเคราะห์ผลของปริมาณพลังงานรวมที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อสภาพการจราจรคล่องตัวเพิ่มขึ้นเพื่อพิจารณาว่า การปรับปรุงพัฒนาโครงข่ายถนนจะเป็นทางเลือกที่เหมาะสมที่สามารถนำมาใช้ร่วมกับการใช้รถยนต์ไฟฟ้าทดแทนรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายในตามแผน EEP2015 ได้เหมาะสมหรือไม่ โดยจะเปรียบเทียบปริมาณ

พลังงานเมื่อสภาพจราจรของกรุงเทพมหานครคล่องตัวมากขึ้น 10 และ 20% ตามลำดับ จากการเพิ่มความเร็วยานและทำการวิเคราะห์พฤติกรรมจราจรขั้นใหม่จะทำให้ได้การกระจายตัวของร้อยละของระยะทางของถนนในแต่ละช่วงความเร็วและอัตราการใช้พลังงานของเมืองที่เปลี่ยนแปลงไป กับกรณีฐานที่คำนวณบนสมมติฐานสภาพจราจรไม่เปลี่ยนแปลงไป ตารางที่ 12 แสดงอัตราการใช้พลังงานของเมืองที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อสภาพจราจรคล่องตัวเพิ่มขึ้น พบว่าสำหรับรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายในเมื่อสภาพจราจรคล่องตัวมากขึ้น 10% และ 20% อัตราการใช้พลังงานของเมืองจะมีค่าลดลง 78.66 และ 45.64 Wh_{equivalent}/km ตามลำดับ โดยเป็นที่น่าสังเกตว่าสภาพจราจรคล่องตัวมากขึ้น 10% อัตราการใช้พลังงานจะลดลงได้มากกว่าสภาพจราจรที่คล่องตัวเพิ่มขึ้น 20% ในขณะที่สำหรับรถยนต์ไฟฟ้ากลับพบว่าอัตราการใช้พลังงานมีค่าเพิ่มขึ้น 38.65 และ 82.48 Wh/km กรณีที่สภาพจราจรคล่องตัวเพิ่มขึ้น 10 และ 20% ตามลำดับ สำหรับเหตุผลของอัตราการใช้พลังงานที่เปลี่ยนแปลงไปนี้จะได้อธิบายในหัวข้อที่ 4.6 ในเรื่องการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของอัตราการใช้พลังงาน

ตารางที่ 12 อัตราการใช้พลังงานของเมืองที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อสภาพจราจรคล่องตัวขึ้น 10 และ 20%

สภาพจราจร	อัตราการใช้พลังงานของเมือง (Wh/km)		การเปลี่ยนแปลง (Wh/km)	
	ICEV	EV	ICEV	EV
กรณีฐาน	941.56	358.22		
คล่องตัวเพิ่มขึ้น 10%	862.89	396.87	-78.66	38.65
คล่องตัวเพิ่มขึ้น 20%	895.92	440.70	-45.64	82.48

ผลการประมาณปริมาณพลังงานตามแผน EEP2015 (รถยนต์ไฟฟ้า 1.2 ล้านคันในปี พ.ศ. 2579) เมื่อสภาพจราจรคล่องตัวเพิ่มขึ้น 10 และ 20% แสดงในตารางที่ 13 พบว่าเมื่อสภาพจราจรคล่องตัวเพิ่มขึ้น 10% จะสามารถลดปริมาณพลังงานรวมได้มากที่สุด คือ 1,492.58 ktoe คิดเป็น 18% ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสภาพจราจรที่คล่องตัวเพิ่มขึ้นสามารถลดปริมาณพลังงานลงได้มากกว่าการใช้รถยนต์ไฟฟ้าทดแทนรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายในเพียงอย่างเดียวเพิ่มขึ้น 6% สำหรับปริมาณพลังงานเมื่อสภาพจราจรคล่องตัวเพิ่มขึ้น 20% พบว่า สามารถลดปริมาณพลังงานลงได้เพียง 1,180.59 ktoe คิดเป็น 14% ซึ่งเพิ่มขึ้นจากกรณีฐานเพียง 2% เท่านั้น ฉะนั้นสำหรับสภาพจราจรในกรุงเทพมหานคร การเพิ่มความคล่องตัว 10% จะสามารถลดปริมาณพลังงานลงได้มากกว่าการเพิ่มความคล่องตัว 20% ทั้งนี้ในการพิจารณาทางเลือกในการกำหนดทิศทางของนโยบายเพื่อลดปริมาณพลังงาน นอกจากการวิเคราะห์ถึงปริมาณพลังงานที่ลดลงแล้ว ยังมีความจำเป็นจะต้องพิจารณาถึงปัจจัยด้านอื่น ๆ รวมด้วย สำหรับหัวข้อนี้ที่ทำการเปรียบเทียบผลของปริมาณพลังงานที่เปลี่ยนแปลงไป

เพื่อพิจารณาทางเลือกในการลดปริมาณพลังงานลงด้วยการปรับปรุงและพัฒนาโครงข่ายถนน ยังคงต้องมีการศึกษาถึงความคุ้มค่าในการลงทุนร่วมด้วย สำหรับตัวอย่างวิธีการประยุกต์ใช้แบบจำลองในงานวิจัยนี้เพื่อวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนจะแสดงในหัวข้อที่ 4.5

ตารางที่ 13 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ปริมาณพลังงานรวมเมื่อสภาพจราจรคล่องตัวเพิ่มขึ้น

สภาพจราจร	ปริมาณพลังงานรวม		การเปลี่ยนแปลง	
	ล้านลิตร	ktoe	ล้านลิตร	ktoe
กรณีฐาน	973.37	8,370.98		
คล่องตัวเพิ่มขึ้น 10%	799.81	6,878.40	-173.56	-1,492.58
คล่องตัวเพิ่มขึ้น 20%	836.09	7,190.40	-137.28	-1,180.59

ปัจจุบันธุรกิจ Carsharing เป็นธุรกิจที่กำลังเติบโตอย่างต่อเนื่องทั่วโลกมากกว่า 39% ต่อปี [45] จากการศึกษาของ University of California และ Berkeley Transportation Sustainability Research Center พบว่าการใช้บริการ Carsharing สามารถลดจำนวนรถยนต์บนท้องถนนลงได้ 11 คันต่อการใช้บริการ 1 ครั้ง แน่นนอนว่าการใช้ Carsharing จะสามารถลดปริมาณจราจรบนท้องถนนได้ [46] จากการศึกษาข้อมูลดังกล่าว ผู้วิจัยจึงตั้งข้อสันนิษฐานว่า ความเป็นไปได้ว่าในอนาคต ประเทศไทย โดยเฉพาะ กรุงเทพมหานคร จะมีจำนวน Carsharing เพิ่มขึ้น และมีผลทำให้สภาพจราจรเปลี่ยนแปลงไปด้วย จากการประมาณปริมาณพลังงานในหัวข้อที่ 3.3 จึงอาจเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งเป็นผลมาจากสภาพเศรษฐกิจ และการเติบโตของธุรกิจ Carsharing ในอนาคต ฉะนั้นผู้วิจัยจึงสร้างสถานการณ์จำลองเมื่อ กรุงเทพมหานคร มี Carsharing และวิเคราะห์ผลของการเปลี่ยนแปลงของปริมาณพลังงานรวม จากสมการที่ 1 จะพบว่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณจะเปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากแนวโน้มของจำนวนการเป็นเจ้าของรถยนต์และ VKT ลดลงที่เป็นผลมาจากผู้คนจะหันมาใช้ขนส่งสาธารณะเพิ่มมากขึ้น ซึ่งมีผลทำให้อัตราการใช้พลังงานมีค่าลดลงไปด้วยจากสภาพจราจรที่ดีขึ้น จากการศึกษาของประเทศไทยซึ่งเป็นที่ที่มีจำนวน Carsharing จำนวนมากเป็นอันดับต้นๆ สำหรับแนวโน้มการลดลงของจำนวนการเป็นเจ้าของรถยนต์ Whitelegg และ Martin พบว่าแนวโน้มของจำนวนการเป็นเจ้าของรถยนต์ลดลงราว 40-44% และ 49% ตามลำดับ งานวิจัยของ Sperling, Frost และ Martin พบว่าค่า VKT มีแนวโน้มลดลง 30-60%, 30% และ 27% ตามลำดับ ซึ่งเป็นผลมาจากผู้คนที่หันมาใช้ Carsharing จะมีการใช้ขนส่งสาธารณะร่วมด้วยในการเดินทาง ตัวอย่างเช่น หากผู้ที่ใช้บริการ Carsharing จากเดิมเดินทางจากชานเมืองมาทำงานในเมือง VKT จะถูกใช้ไปกับการเดินทางทั้งระหว่างที่เดินทางเข้ามาในเมือง และการเดินทางในเมือง แต่เมื่อใช้บริการ Carsharing ในการเดินทางเข้าเมืองหรือการเดินทางในเมืองจะมีการใช้บริการ

ขนส่งสาธารณะร่วมด้วย ฉะนั้นค่า VKT จากการใช้งานเดิมจึงลดลง อีกหนึ่งในพารามิเตอร์ที่สำคัญ และมีผลโดยตรงเมื่อสภาพจราจรเปลี่ยนแปลงไปคือ อัตราการใช้พลังงาน จากการศึกษางานวิจัยของ Meijkamp และ Ryden พบว่าอัตราการใช้พลังงานเมื่อมี Carsharing จะลดลง 24 และ 17% ตามลำดับ งานวิจัยของ Donna Chen [47] จึงทำการรวบรวมผลการศึกษการเปลี่ยนแปลงของ พารามิเตอร์ต่างๆ และจำลองสถานการณ์ 3 แบบคือ ผลกระทบน้อย, ปานกลาง และมาก เพื่อประเมิน ปริมาณการใช้พลังงาน และมลพิษเมื่อมี Carsharing ในอเมริกา ในการศึกษาสำหรับสถานการณ์ จำลองเมื่อมี Carsharing ใน กรุงเทพมหานคร จะใช้ผลการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ของ สถานการณ์จำลองที่มีผลกระทบน้อยของ Chen มาวิเคราะห์ เนื่องจากปัจจุบัน carsharing ใน ประเทศไทยยังไม่เป็นที่นิยมมาก และยังไม่มีความหมายรองรับ โดยในกรณีนี้จำนวนการเป็นเจ้าของ รถยนต์และ VKT จะลดลง 10 และ 27% ตามลำดับ สำหรับอัตราการใช้พลังงาน จะใช้ค่าที่สภาพ จราจรของกรุงเทพมหานครลดลงตัวมากขึ้น 10% ในการคำนวณ และเปรียบเทียบผลกับการ วิเคราะห์ในหัวข้อที่ 3.3 คือเมื่อใช้รถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายในทั้งหมด และเมื่อมีการใช้รถยนต์ ไฟฟ้าทดแทนในสัดส่วนตามแผนแผนขับเคลื่อนยานยนต์ไฟฟ้า ที่ไม่มี Carsharing ตารางที่ 14 แสดง พารามิเตอร์ที่เปลี่ยนแปลงไป

ตารางที่ 14 แสดงพารามิเตอร์การคำนวณเมื่อมี Carsharing

พารามิเตอร์	ไม่มี Carsharing	มี Carsharing	หน่วย
จำนวนรถยนต์	6.27	5.64	ล้านคัน
อัตราการแทนที่ด้วย carsharing	0	10	%
VKT	14,557	10,626	km
อัตราการใช้พลังงานของเมือง			
รถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายใน	941.56	862.89	Wh/km
รถยนต์ไฟฟ้า	358.22	396.87	Wh/km

จากการวิเคราะห์ปริมาณพลังงานรวมเมื่อมี Carsharing พบว่ารถยนต์ใน กรุงเทพมหานคร จะลดลง 0.63 ล้านคัน ,VKT ลดลง 3,931 กม และอัตราการใช้พลังงานของรถยนต์เครื่องยนต์สันดาป ภายในและรถยนต์ไฟฟ้าลดลง 67 และ 21 Wh/km ตามลำดับ จากผลของการมี Carsharing เพิ่มขึ้น 10% พารามิเตอร์ที่เปลี่ยนแปลงไปส่งผลให้ปริมาณพลังงานมีค่าลดลง 3,926.93 ktoe สำหรับกรณีที่ มีการใช้รถยนต์ไฟฟ้าทดแทนในสัดส่วนตามแผนขับเคลื่อนยานยนต์ไฟฟ้า (1.2 ล้านคัน) เมื่อ เปรียบเทียบกับการไม่มี carsharing ดังแสดงในตารางที่ 15 จากการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า การมี carsharing เพิ่มขึ้น 10% ของรถยนต์ใช้ส่วนบุคคล จะสามารถลดการใช้พลังงานลงได้เพิ่มจากการไม่

มี carsharing ถึง 47% เมื่อเทียบกับปริมาณพลังงานที่ลดลงในสถานการณ์ที่ไม่มี carsharing และเมื่อพิจารณาควบคู่กับเป้าหมายตามแผน EEP2015 การมี carsharing สามารถบรรลุเป้าหมายได้ทั้งในกรณีทั่วไป และในกรณีที่มีรถยนต์ไฟฟ้าทดแทนในสัดส่วนตามแผนขับเคลื่อนยานยนต์ไฟฟ้า และสามารถลดได้สูงถึง 3.5 เท่าของเป้าหมายตามแผน EEP2015 ผลของสภาพจราจรและระยะทางการเดินทางเฉลี่ยต่อปีที่เปลี่ยนแปลงไปจากจำนวนรถยนต์ที่น้อยลง มีผลต่อปริมาณการใช้พลังงานมากกว่าใช้รถยนต์ไฟฟ้าทดแทน เมื่อทำการวิเคราะห์ผลจากการมี carsharing และพารามิเตอร์ที่เปลี่ยนแปลงไปแล้วจึงทำให้ทราบถึงแนวทางและทางเลือกในการกำหนดทิศทางของนโยบายที่ใช้เพื่อลดการใช้พลังงานในอนาคตได้เพิ่มขึ้น ฉะนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า แนวทางในการลดปริมาณการใช้พลังงาน นอกจากการใช้รถยนต์ไฟฟ้าทดแทนรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายในแล้ว การมี carsharing เป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่สามารถทำได้

ตารางที่ 15 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ปริมาณพลังงานรวมเมื่อมี carsharing

สถานการณ์จำลอง	ปริมาณพลังงานรวม		เป้าหมายของ EEP2015 (ktoe)
	ล้านลิตร	ktoe	
กรณีฐาน	973.37	8,370.98	1,123.00
Carsharing	516.75	4,444.06	
เปลี่ยนแปลง	-456.62	-3,926.92	

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการลดปริมาณการใช้พลังงานพบว่า มีการศึกษาถึงแนวทางในการหาวิธีลดการใช้พลังงานของรถยนต์ลงด้วยวิธีการต่างๆ สำหรับปัจจัยด้านรถยนต์ที่มีผลต่ออัตราการใช้พลังงานประกอบไปด้วยปัจจัยในด้านเครื่องยนต์ที่แบ่งตามประเภทของเชื้อเพลิง คือ เบนซิน ดีเซล และแบ่งตามเทคโนโลยีคือ รถยนต์ไฟฟ้า รถยนต์ไฮบริด เป็นต้น ซึ่งมีผลต่ออัตราการใช้พลังงานถึง 2-8 เท่า [37, 46] และสองคือ ขนาดและรูปทรงของรถยนต์ที่เป็นผลมาจากแรงต้านอากาศที่ส่งผลให้อัตราการใช้พลังงานเปลี่ยนแปลงไปถึง 30% [37, 46], ปัจจัยด้านการขับขี่และเส้นทางการขับขี่ ที่จะมีส่วนต่อสภาพจราจรซึ่งจากข้อมูลพบว่า สภาพจราจรที่ติดขัดสามารถทำให้อัตราการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นได้ถึง 20-40% [48] ในส่วนของอัตราการใช้พลังงานที่เปลี่ยนแปลงไปจากประเภทของเครื่องยนต์และสภาพจราจร งานวิจัยนี้ได้ทำการเปรียบเทียบผลของการเปลี่ยนแปลงไปของปริมาณพลังงานเมื่อมีการใช้รถยนต์ไฟฟ้าทดแทนรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายใน และเมื่อสภาพจราจรเปลี่ยนแปลงไปแล้วจากสถานการณ์จำลองที่วิเคราะห์ที่ผ่านมา ฉะนั้นในส่วนนี้จะวิเคราะห์ถึงปัจจัยในด้านขนาดของรถยนต์ที่มีผลต่ออัตราการใช้พลังงานของรถยนต์ทั้งสองชนิด เนื่องจากหนึ่งในวิธีการที่ใช้เพื่อลดอัตราการใช้พลังงานของรถยนต์คือ การลดน้ำหนักตัวถังรถยนต์ จากการศึกษา

งานวิจัยของ Han Hao [49] ที่ศึกษาถึงมาตรฐานประสิทธิภาพการใช้พลังงาน ได้ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับมาตรฐานประสิทธิภาพเครื่องยนต์ พบว่าน้ำหนักของรถยนต์มีผลต่ออัตราการใช้พลังงาน โดยรถยนต์ที่มีขนาดเครื่องยนต์เท่ากันแต่น้ำหนักตัวถังมากขึ้น จะทำให้อัตราการใช้พลังงานมีค่ามากขึ้น และจากการศึกษางานวิจัยของ Sun wenlone [50] พบว่ารถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายในที่มีน้ำหนักลดลง จะทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ดีขึ้น โดยหากน้ำหนักเครื่องยนต์ลดลง 10% จะทำให้อัตราการใช้พลังงานลดลง 6-8% ด้วยการเปลี่ยนวัสดุตัวถังจากเหล็กเป็นอลูมิเนียม และจากการศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงไปของอัตราการใช้พลังงานของรถยนต์ไฟฟ้าเมื่อน้ำหนักเปลี่ยนแปลงไปเท่ากัน จะมีค่าน้อยกว่ารถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายในอยู่ 44.04% เนื่องจากรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายในมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักมากกว่ารถยนต์ไฟฟ้า เป็นผลมาจากประสิทธิภาพเชิงกลของรถยนต์ที่ต่ำกว่าจึงทำให้การเปลี่ยนแปลงของอัตราการใช้เชื้อเพลิงสูงกว่ารถยนต์ที่มีประสิทธิภาพเชิงกลสูงเมื่อเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก งานวิจัยนี้จึงทำการวิเคราะห์ปริมาณการใช้พลังงานรวมบนสมมติฐานว่า รถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายในและรถยนต์ไฟฟ้าที่น้ำหนักลดลง 10% มีอัตราการใช้พลังงานที่เปลี่ยนแปลงไป คือ 7% และ 4% ตามลำดับ และเปรียบเทียบผลกับการวิเคราะห์ในหัวข้อที่ 3.3 คือเมื่อใช้รถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายในทั้งหมดที่ไม่มี carsharing พบว่า หากทำการลดน้ำหนักรถยนต์ทั้งสองประเภทลง 10% จะสามารถลดปริมาณพลังงานลงได้ 1,491.08 ktoe ดังแสดงในตารางที่ 16 เมื่อพิจารณาปริมาณพลังงานที่ลดลงพบว่าการลดน้ำหนักรถยนต์ลง 10% จะสามารถเพิ่มปริมาณการลดลงของการใช้พลังงานลงได้อีก 6% แม้ว่าการลดน้ำหนักรถยนต์จะไม่สามารถลดปริมาณพลังงานลงได้มากเท่ากับการมี carsharing แต่จากการวิเคราะห์ก็แสดงให้เห็นว่าการลดน้ำหนักรถยนต์เป็นอีกหนึ่งวิธีการที่สามารถนำไปใช้ได้ ทั้งนี้ในการกำหนดนโยบายเพื่อลดปริมาณการใช้พลังงานยังคงต้องมีปัจจัยอื่นๆเข้ามาเกี่ยวข้อง ผลการวิเคราะห์ดังกล่าว สามารถนำไปใช้เพื่อพิจารณาถึงความเหมาะสมในการกำหนดทิศทางของนโยบายในอนาคตได้

ตารางที่ 16 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ปริมาณพลังงานรวมเมื่อมีน้ำหนักรถยนต์ลดลง 10%

สถานการณ์จำลอง	ปริมาณพลังงานรวม		เป้าหมายของ EEP2015 (ktoe)
	ล้านลิตร	ktoe	
กรณีฐาน	973.37	8,370.98	1,123.00
Light weight	799.99	6,879.90	
เปลี่ยนแปลง	-173.38	-1,491.08	

จากผลการวิเคราะห์สถานการณ์จำลองผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบปริมาณพลังงานรวมเมื่อมีการใช้รถยนต์ไฟฟ้าในสัดส่วนตามแผนขับเคลื่อนยานยนต์ไฟฟ้า และมีสถานการณ์จำลองต่างกัน 3

แบบ คือแบบไม่มี carsharing และไม่ลดน้ำหนักรถยนต์, มี carsharing และไม่ลดน้ำหนักรถยนต์ และลดน้ำหนักของรถยนต์ และไม่มี carsharing ซึ่งสถานการณ์ทั้ง 3 แบบนี้สามารถนำไปใช้เพื่อเพิ่มทางเลือกที่เหมาะสมในการกำหนดนโยบายเพื่อลดปริมาณพลังงานลงในอนาคต จากผลการวิเคราะห์สามารถสรุปได้ว่า การลดน้ำหนักรถยนต์สามารถลดปริมาณพลังงานลงได้น้อยกว่าการมี carsharing อยู่ 34.13% โดยที่การมี carsharing สามารถลดปริมาณพลังงานรวมได้สูงสุดถึง 51.94% ซึ่งเป็นผลมาจากการมี carsharing จะทำให้มีจำนวนรถยนต์น้อยลง สภาพจราจรคล่องตัวขึ้น (อัตราการใช้พลังงานลดลง) และค่าเฉลี่ยระยะทางเดินทางต่อปีลดลง จากการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวทำให้พารามิเตอร์ที่มีผลต่อปริมาณพลังงานทุกตัวมีค่าลดลง แต่สำหรับการลดน้ำหนักรถยนต์จะมีเพียงอัตราการใช้พลังงานที่ลดลงเท่านั้น จึงทำให้ปริมาณพลังงานที่ลดลงน้อยกว่าการมี carsharing แม้ว่าวิธีการดังกล่าวจะสามารถใช้ผลการวิเคราะห์มาพิจารณาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของปริมาณพลังงานได้ แต่ในการกำหนดแนวทางเพื่อลดปริมาณพลังงานควรจะต้องมีการพิจารณาปัจจัยอื่นๆ ควบคู่ไปด้วย

4.5 การประยุกต์ใช้แบบจำลอง

จากแผนการลงทุนด้านการขนส่งและจราจรของกระทรวงคมนาคม ปี พ.ศ.2554-2563 [51] ที่วางเป้าหมายการลงทุนวงเงินจำนวน 7.5 พันล้านบาท ในปี พ.ศ.2559-2563 ในโครงการปรับปรุงและพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานเพื่อลดปัญหาคอขวดและลดปัญหาการจราจรติดขัดและเพื่อเพิ่มความคล่องตัวในการเดินทางในพื้นที่เขตกรุงเทพมหานคร หนึ่งในเป้าหมายของการแผนการลงทุนนี้ยังรวมไปถึงการพัฒนาเพื่อส่งเสริมการขนส่งประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เพื่อพิจารณาถึงความคุ้มค่าในการลงทุนในโครงการ งานวิจัยนี้จึงเปรียบเทียบมูลค่าของปริมาณพลังงานที่ใช้ในการเดินทางที่น่าจะลดลงเมื่อมีการดำเนินโครงการว่ามีความคุ้มค่าต่อวงเงินลงทุนหรือไม่ สถานการณ์จำลองในหัวข้อนี้จะแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ พิจารณาความคุ้มค่าของการลงทุน และมูลค่าการสิ้นเปลืองพลังงานเมื่อไม่ได้ดำเนินโครงการ ดังแสดงในตารางที่ 17

ตารางที่ 17 สถานการณ์จำลองเพื่อพิจารณาความคุ้มค่าเงินลงทุนในการดำเนินโครงการในปี พ.ศ. 2563

กรณี	สัดส่วนจำนวนรถยนต์ในปี พ.ศ.2563			สภาพจราจร (ความเร็ว ถนนที่ เปลี่ยนแปลง)
	ค่าดำเนินโครงการ	รถยนต์ไฟฟ้า	รถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายใน	
ดำเนินโครงการ	7.5 พันล้านบาท	0%	100%	คล่องตัว เพิ่มขึ้น 10% เพิ่มขึ้น 20%
(สภาพจราจรคล่องตัว)		**20%	**80%	
		50%	50%	
		100%	0%	
ไม่ดำเนินโครงการ	0.00	0%	100%	ติดขัด เพิ่มขึ้น 10% เพิ่มขึ้น 20%
(สภาพจราจรติดขัด)		**20%	**80%	
		50%	50%	
		100%	0%	

**แผนขับเคลื่อนยานยนต์ไฟฟ้าตามแผน EEP2015 [8]

กรณีดำเนินโครงการจะเป็นการพิจารณาด้านความคุ้มค่าในการลงทุน ,กรณีไม่ดำเนินโครงการ เป็นการพิจารณามูลค่าการสิ้นเปลืองพลังงานเมื่อไม่ได้ดำเนินโครงการ และมีผลให้เกิดสภาพจราจรติดขัด โดยทั้งสองกลุ่มจะทำการเปรียบเทียบเมื่อใช้รถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายใน 100% (ICE100), เมื่อมีการใช้รถยนต์ไฟฟ้าทดแทนรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายในในสัดส่วนตามแผนขับเคลื่อนยานยนต์ไฟฟ้า (EDP) ,เมื่อมีการใช้รถยนต์ทั้งสองประเภทในจำนวนเท่ากัน (ICE-EV) และเมื่อมีรถยนต์ไฟฟ้าทดแทนรถยนต์ทั่วไป 100% (EV100) ในปี พ.ศ.2579 และจากคาดการณ์จำนวนรถยนต์ไฟฟ้าในปี พ.ศ.2563 เมื่อพิจารณาควบคู่กับข้อมูลการเติบโตของจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าของโลกที่คาดการณ์จาก International Energy Agency (IEA) จะทำให้ได้สัดส่วนรถยนต์ไฟฟ้าต่อจำนวนรถยนต์ทั้งหมดในปี พ.ศ.2563 คือ 5.43, 13.58 และ 27.17% เมื่อมีสัดส่วนจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าตามแผนขับเคลื่อนรถยนต์ไฟฟ้า, เมื่อมีจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าในปี พ.ศ.2579 จำนวน 50% และเมื่อมีรถยนต์ไฟฟ้าในปี พ.ศ.2579 จำนวน 100% ตามลำดับ [52]จากการวิเคราะห์ผลดังกล่าวจะสามารถใช้ข้อมูลเพื่อวางแนวทางในการกำหนดนโยบายเพื่อความเหมาะสมและวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนได้

จากผลของการปรับปรุงและพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานของระบบขนส่ง จะเพิ่มความคล่องตัวในการเดินทางและลดปัญหาการจราจรติดขัด ซึ่งจะมีผลทำให้การเดินทางบนถนนมีความเร็วเฉลี่ยที่สูงขึ้น ฉะนั้นพฤติกรรมการขับขี่จะเปลี่ยนแปลงไปด้วย จากการศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงไปของสภาพจราจร Ruimin [53] ได้ทำการศึกษาสภาพจราจรที่เปลี่ยนแปลงไปของถนนทางด่วนและวงแหวนของเมืองปักกิ่ง ประเทศจีน ในช่วงงาน Olympic games ปี 2008 ว่าหากดำเนินการตามนโยบายการจัดการจราจรจะทำให้ความเร็วเฉลี่ยของถนนมีค่าสูงขึ้นโดยได้สรุปไว้ว่า หากปริมาณจราจรลดลง 20%-40% ความเร็วเฉลี่ยของถนนจะสูงขึ้น 10%-20% และงานวิจัยของ Lee [54] ที่ศึกษาผลของการจัดการสภาพจราจรในงาน 2002 FIFA Korea-Japan World cup ที่กรุงโซล ประเทศเกาหลีพบว่า ปริมาณจราจรที่ลดลง 19.20% ความเร็วเฉลี่ยของถนนจะเพิ่มขึ้น 32.10% ในการศึกษาสำหรับกรณีดำเนินโครงการ ผู้วิจัยจึงกำหนดให้สภาพจราจรมีความเร็วเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 10% และ 20% สำหรับกรณีไม่ดำเนินโครงการ ผู้วิจัยจะกำหนดให้สภาพจราจรมีความเร็วเฉลี่ยลดลง 10% และ 20% ดังแสดงวิธีการในภาคผนวก ฅ จากสภาพการจราจรที่เปลี่ยนไปนี้จะส่งผลให้อัตราการใช้พลังงานของเมืองเปลี่ยนไปด้วย วิธีการในการวิเคราะห์อัตราการใช้พลังงานของเมืองจากพฤติกรรมการขับขี่ที่เปลี่ยนแปลงไปจะสามารถใช้วิธีการในหัวข้อที่ 3.5 มาวิเคราะห์ และตารางที่ 18 แสดงพารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณในแต่ละสถานการณ์จำลอง สำหรับจำนวนรถยนต์ตามแผนขับเคลื่อนยานยนต์ไฟฟ้า จะคำนวณมาจากร้อยละของจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าซึ่งมีค่า 20% ของจำนวนรถยนต์ทั้งหมด อัตราการใช้พลังงานของรถยนต์ทั้งสองชนิดจะเปลี่ยนแปลงไปจากสภาพจราจรที่เปลี่ยนแปลงไป 10% และ 20% และการคำนวณตั้งอยู่บนสมมติฐานว่า ระยะทางการขับขี่เฉลี่ยต่อปี และประสิทธิภาพของรถยนต์ไม่เปลี่ยนแปลงไป สำหรับการคำนวณมูลค่าพลังงานจะใช้ราคาน้ำมันเชื้อเพลิงเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักตามประเภทเชื้อเพลิง 30 บาท อ้างอิงจากกรมธุรกิจพลังงาน กระทรวงพลังงาน [55] และราคาไฟฟ้า 4 บาท อ้างอิงจากการไฟฟ้านครหลวง [56] บนสมมติฐานว่ารถยนต์ไฟฟ้าชาร์จประจุที่บ้านพักอาศัย ที่ใช้ไฟฟ้า 500 หน่วย/เดือน

ตารางที่ 18 พารามิเตอร์ในการคำนวณแต่ละสถานการณ์จำลองปี พ.ศ.2563

ชื่อ	จำนวนรถ (ล้านคัน)		อัตราการใช้พลังงาน (Wh/km)		ระยะทาง ขับขี่ เฉลี่ยต่อ ปี (km)	ราคา เชื้อเพลิง (บาท/ ลิตร)	ราคา ไฟฟ้า (บาท/ kWh)
	รถยนต์ไฟฟ้า	รถยนต์เครื่องยนต์ สันดาปภายใน	รถยนต์เครื่องยนต์ สันดาปภายใน	รถยนต์ไฟฟ้า			
ICE100	3.65	-			14,557	30	4
EDP	3.46	0.20	*862	*397			
ICE-EV	3.16	0.50	**895	**440			
EV100	2.66	0.99					
ICE100	-	3.65					
EDP	0.73	2.92	+947	+401			
ICE-EV	1.83	1.83	++959	++453			
EV100	3.65	-					

คล่องตัวเพิ่มขึ้น *10% **20%, ติดขัดเพิ่มขึ้น +10% ++20%

จากการวิเคราะห์สถานการณ์จำลอง จะทำการเปรียบเทียบมูลค่าของพลังงาน และมูลค่าทั้งหมด (มูลค่าพลังงานรวมค่าดำเนินการโครงการ) ดังแสดงในตารางที่ 19 เมื่อวิเคราะห์ผลของสภาพจราจรที่เปลี่ยนแปลงไป 10% พบว่า หากดำเนินโครงการแต่อย่างใดโดยไม่ใช้รถยนต์ไฟฟ้าทดแทนรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายในจะสามารถลดปริมาณพลังงานลงได้ 13.55 พันล้านบาท และหากมีการใช้รถยนต์ไฟฟ้าตามแผนขับเคลื่อนยานยนต์ไฟฟ้า จำนวน 5.43% ของจำนวนรถยนต์ทั้งหมด จะสามารถลดการใช้พลังงานลงได้ 12.88 พันล้านบาท และหากใช้รถยนต์ไฟฟ้าทดแทนรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายในจำนวน 13.58% ของรถยนต์ทั้งหมด สามารถลดการใช้พลังงานลงได้ 11.86 พันล้านบาทและหากใช้รถยนต์ไฟฟ้าทดแทนรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายใน 27.17% จะสามารถลดปริมาณพลังงานลงได้ 10.16 พันล้านบาท และเมื่อพิจารณามูลค่าทั้งหมดเพื่อพิจารณาความคุ้มค่าในการลงทุนพบว่า หากดำเนินโครงการจะสามารถลดมูลค่าพลังงานได้มากที่สุด 6.05 พันล้านบาทในสถานการณ์ที่ใช้รถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายในทั้งหมด และเมื่อมีรถยนต์ไฟฟ้าเพิ่มจำนวนมากขึ้น ความคุ้มค่าในการดำเนินโครงการจะลดลงเหลือ 5.38, 4.36 และ 2.66 พันล้านบาท เมื่อมีการใช้รถยนต์ไฟฟ้าทดแทนตามแผน EEP2015, ใช้รถยนต์ไฟฟ้าทดแทน 13.58 และ 27.17% ตามลำดับ และเมื่อทำการวิเคราะห์ผลของสภาพจราจรที่เปลี่ยนแปลงไป 20% พบว่า แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงไปมีลักษณะเช่นเดียวกับสภาพจราจรเปลี่ยนแปลงไป 10% แต่มูลค่าพลังงานที่ลดลงมีค่าน้อยกว่าข้อเท็จจริงนี้อธิบายได้ว่า เมื่อสภาพจราจรคล่องตัว รถยนต์สามารถขับขี่ได้ด้วยความเร็วสูงจึงทำให้อัตราการใช้พลังงานของเมืองมีค่าสูงขึ้นด้วย จึงส่งผลให้ปริมาณพลังงานมีค่าเพิ่มสูงขึ้น ทำให้สามารถลดการใช้พลังงานได้น้อยกว่าในกรณีที่สภาพจราจรเปลี่ยนแปลงไป 10% จากการวิเคราะห์ผลดังกล่าวเป็นที่น่าแปลกใจว่า การใช้รถยนต์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ความคุ้มค่าในการลงทุนต่ำลงเมื่อใช้รถยนต์

ไฟฟ้าทดแทนในจำนวนที่มากขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจาก สภาพจราจรที่มีผลต่ออัตราการใช้พลังงานของรถยนต์ไฟฟ้าน้อย จึงทำให้ปริมาณพลังงานที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อดำเนินโครงการมีค่าน้อยลงตามไปด้วย สามารถอธิบายเพื่อสรุปผลได้ว่าการใช้รถยนต์ไฟฟ้าที่อัตราการใช้พลังงานไม่อ่อนไหวตามสภาพจราจร และมีอัตราการใช้พลังงานที่ต่ำอยู่แล้ว เมื่อพิจารณาถึงมูลค่าพลังงานที่ลดลงจึงมีค่าน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณพลังงานที่ลดลงในกรณีที่มีจำนวนรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายในมากกว่า

ตารางที่ 19 ผลการวิเคราะห์มูลค่าพลังงานและความคุ้มค่าในการลงทุน

สภาพจราจรที่เปลี่ยนแปลง	สัดส่วนจำนวนรถยนต์	มูลค่าพลังงานกรณีดำเนินโครงการ	มูลค่าพลังงานกรณีไม่ดำเนินโครงการ	การเปลี่ยนแปลงเมื่อดำเนินโครงการ	
				มูลค่าพลังงาน	มูลค่า* ทั้งหมด
10%	ICE100	156.04	163.54	-13.55	-6.05
	EDP	152.15	159.65	-12.88	-5.38
	ICE-EV	146.31	153.81	-11.86	-4.36
	EV100	136.58	144.08	-10.16	-2.66
20%	ICE100	162.01	169.51	-11.56	-4.06
	EDP	158.30	165.80	-11.08	-3.58
	ICE-EV	152.73	160.23	-10.37	-2.87
	EV100	143.46	150.96	-9.17	-1.67

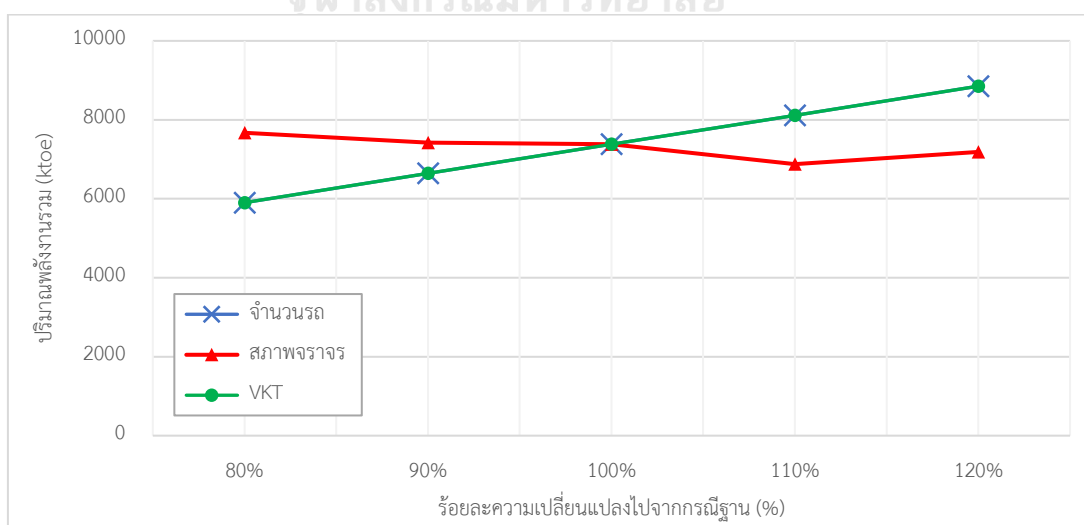
*มีค่าดำเนินโครงการที่ 7.5 พันล้านบาท

หน่วย: พันล้านบาท

4.6 การวิเคราะห์ความอ่อนไหว

จากสมการที่ 1 แสดงการคำนวณปริมาณพลังงานรวมจะพบว่าพารามิเตอร์ที่มีผลต่อปริมาณพลังงานรวมคือ จำนวนรถยนต์ (N), อัตราการใช้พลังงาน (C) และระยะทางเดินทางเฉลี่ยต่อปี (VKT) ในหัวข้อนี้จะทำการวิเคราะห์ความอ่อนไหวเมื่อพารามิเตอร์ต่างๆเปลี่ยนแปลงไป -20 ถึง 20% และเปรียบเทียบปริมาณพลังงานรวมกับกรณีฐานที่มีการใช้รถยนต์ไฟฟ้าทดแทน 1.2 ล้านคัน (19.15%) ในปี พ.ศ.2579 ทั้งนี้ผลการวิเคราะห์สามารถนำไปพิจารณาเพื่อหาทางเลือกอื่นๆเพื่อเพิ่มวิธีการในการลดปริมาณพลังงานลง สำหรับการวิเคราะห์ความอ่อนไหวเมื่อจำนวนรถยนต์เปลี่ยนแปลงไป จำเป็นจะต้องมีการคาดการณ์ถึงสัดส่วนการทดแทนของรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายในด้วยรถยนต์

ไฟฟ้า จากการคาดการณ์จำนวนรถยนต์ไฟฟ้าที่จะมีเพิ่มขึ้นในอนาคต จากแผน EEP2015 เมื่อทำการคำนวณแล้วพบว่าสัดส่วนการทดแทนด้วยรถยนต์ไฟฟ้าจะเป็น 19.15% ของรถยนต์ทั้งหมด ฉะนั้น สำหรับการวิเคราะห์เมื่อจำนวนรถยนต์ลดลงจะกำหนดสัดส่วนการแทนที่ด้วยรถยนต์ไฟฟ้าจำนวน 19.15% ในทุกกรณี สำหรับอัตราการใช้พลังงานจะวิเคราะห์อัตราการใช้พลังงานของเมืองจากสภาพจราจรที่เปลี่ยนแปลงไปจะพิจารณาจากความเร็วเฉลี่ยถนนที่เปลี่ยนแปลงไปจากปัจจุบัน -20 ถึง 20% โดยความเร็วเฉลี่ยถนนที่เพิ่มขึ้นมีความหมายว่าสภาพจราจรคล่องตัวเพิ่มขึ้น และความเร็วเฉลี่ยที่ลดลงมีความหมายว่าสภาพจราจรคล่องตัวลดลง (ติดขัดมากขึ้น) ในการวิเคราะห์อัตราการใช้พลังงานเฉลี่ยของรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายในและรถยนต์ไฟฟ้าจะคำนวณค่าเฉลี่ยในสัดส่วนของรถยนต์ทั้งสองชนิดซึ่งใช้สัดส่วนเดียวกันกับสัดส่วนจำนวนรถยนต์ สำหรับค่า VKT จะพิจารณาเมื่อมีค่าเปลี่ยนแปลงไป -20 ถึง 20% เพื่อพิจารณาถึงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของปริมาณพลังงานรวม จากรูปที่ 43 แสดงความอ่อนไหวของปริมาณพลังงานเมื่อพารามิเตอร์ต่างๆเปลี่ยนแปลงไป พบว่า หากลดจำนวนรถยนต์และระยะทางเดินทางเฉลี่ยต่อปี (VKT) ลงจะสามารถลดปริมาณพลังงานรวมได้ เท่ากันคือ 10 และ 20% เมื่อการเปลี่ยนแปลงลดลง 10 และ 20% ตามลำดับ สำหรับการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของปริมาณพลังงานรวมเมื่อสภาพจราจรเปลี่ยนแปลงไป พบว่าหากสภาพจราจรมีความคล่องตัวเพิ่มขึ้นปริมาณพลังงานรวมจะลดลงเมื่อเทียบกับกรณีฐานที่ 6.77 และ 2.54% เมื่อสภาพจราจรคล่องตัวเพิ่มขึ้น 10 และ 20% ตามลำดับ แต่เมื่อพิจารณาสภาพจราจรคล่องตัวเพิ่มขึ้น 20% เปรียบเทียบกับสภาพจราจรที่คล่องตัวมากขึ้น 10% พบว่า สภาพจราจรคล่องตัวเพิ่มขึ้น 20% มีปริมาณพลังงานรวมสูงกว่าสภาพจราจรที่คล่องตัวมากขึ้น 10% อยู่ 4.54% สำหรับผลของปริมาณพลังงานที่เปลี่ยนแปลงไปนี้จะอธิบายในย่อหน้าถัดไป

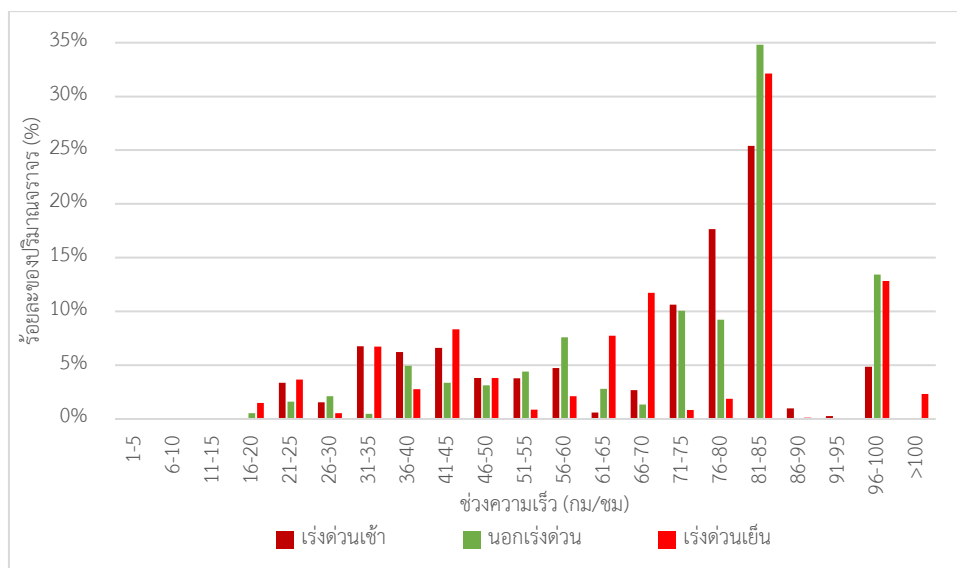


รูปที่ 43 ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของปริมาณพลังงาน

สำหรับผลของปริมาณพลังงานที่เพิ่มขึ้นเมื่อสภาพจราจรคล่องตัวเพิ่มขึ้นจาก 10 เป็น 20% เป็นผลมาจากอัตราการใช้พลังงานที่เพิ่มสูงขึ้น จากการวิเคราะห์อัตราการใช้พลังงานของเมือง ตารางที่ 20 แสดงอัตราการใช้พลังงานของเมืองเมื่อสภาพจราจรเปลี่ยนแปลงไป -20 ถึง 20% พบว่า สำหรับรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายใน ที่สภาพจราจรคล่องตัวลดลง 20% จะมีอัตราการใช้พลังงานสูงที่สุด และเมื่อสภาพจราจรคล่องตัวเพิ่มขึ้นอัตราการใช้พลังงานจะลดลงจนถึงเมื่อสภาพจราจรคล่องตัวขึ้น 10% สำหรับรถยนต์ไฟฟ้า กรณีที่สภาพจราจรคล่องตัวเพิ่มขึ้นและลดลง อัตราการใช้พลังงานมีค่าสูงขึ้นในทุกกรณี จากอัตราการใช้พลังงานที่เพิ่มสูงขึ้นเมื่อสภาพจราจรคล่องตัวมากขึ้นนี้ ผู้วิจัยจึงทำการวิเคราะห์สภาพจราจรควบคู่กับฐานข้อมูลพฤติกรรมการขับขี่เชิงอัตราการใช้พลังงาน สำหรับสภาพจราจรที่คล่องตัวมากขึ้น 20% แสดงในรูปที่ 44 พบว่าที่ช่วงความเร็ว 81-85 กม/ชม จะมีร้อยละของปริมาณจราจรสูงที่สุด และสำหรับการขับขี่ส่วนใหญ่ซึ่งวิเคราะห์ที่ร้อยละของระยะทางมากกว่า 10% และพบว่าอยู่บนช่วงความเร็ว 71-85 และ 96-100 กม/ชม และจากรูปที่ 41 ในหัวข้อที่ 4.2.2 เมื่อพิจารณาอัตราการใช้พลังงานที่ช่วงความเร็วเดียวกันพบว่า อัตราการใช้พลังงานที่ช่วงความเร็ว 81-85 กม/ชม มีค่าสูงกว่าอัตราการใช้พลังงานในช่วงความเร็วอื่น ๆ บนช่วงเดียวกันของทั้งรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายในและรถยนต์ไฟฟ้า ฉะนั้น ด้วยเหตุผลดังกล่าวนี้จึงทำให้เมื่อสภาพจราจรคล่องตัวมากขึ้นจึงทำให้อัตราการใช้พลังงานของรถยนต์ทั้งสองชนิดมีค่าสูงกว่า สภาพจราจรคล่องตัวมากขึ้น 10%

ตารางที่ 20 อัตราการใช้พลังงานของเมืองเมื่อสภาพจราจรเปลี่ยนแปลงไป

การเปลี่ยนแปลง	รถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายใน (Wh/km)	รถยนต์ไฟฟ้า (Wh/km)
คล่องตัวลดลง 20%	959.84	453.74
คล่องตัวลดลง 10%	947.85	401.81
กรณีฐาน	941.56	358.22
คล่องตัวเพิ่มขึ้น 10%	862.89	396.87
คล่องตัวเพิ่มขึ้น 20%	895.92	440.70



รูปที่ 44 ร้อยละของปริมาณการจราจรเมื่อสภาพจราจรคล่องตัวเพิ่มขึ้น 20%

จากการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของปริมาณพลังงานเมื่อพารามิเตอร์ในการคำนวณเปลี่ยนแปลงไป ย่อหน้านี้จะพิจารณาพารามิเตอร์ที่เปลี่ยนแปลงไปของสถานการณ์จำลองแบบต่างๆ ในหัวข้อที่ 4.4 กับผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของปริมาณพลังงาน ตารางที่ 21 แสดงพารามิเตอร์ที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละสถานการณ์จำลอง พบว่า อัตราการใช้พลังงานมีการเปลี่ยนแปลงไปในทุกสถานการณ์ สำหรับสถานการณ์จำลองเมื่อมีการลดน้ำหนักรถยนต์และสภาพจราจรเปลี่ยนแปลงไป พารามิเตอร์ที่มีผลต่อการคำนวณปริมาณพลังงานคืออัตราการใช้พลังงานเพียงค่าเดียว แต่สำหรับการมี Carsharing พบว่า พารามิเตอร์ทั้ง 3 ตัวคือ จำนวนรถยนต์, อัตราการใช้พลังงาน และระยะทางเดินทางเฉลี่ยต่อปีมีค่าลดลง เมื่อนำผลการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์มาพิจารณาพร้อมกับผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของปริมาณพลังงาน พบว่า สำหรับสถานการณ์เมื่อสภาพจราจรคล่องตัวเพิ่มขึ้นและมีเทคโนโลยีลดน้ำหนักรถยนต์ ที่ส่งผลให้อัตราการใช้พลังงานเปลี่ยนแปลงไปนั้นพบว่า สามารถลดปริมาณพลังงานรวมลงได้ 14-18% และเมื่อพิจารณาสถานการณ์จำลองเมื่อมี Carsharing ที่พารามิเตอร์ทั้ง 3 ตัวเปลี่ยนแปลงไป พบว่าสามารถลดปริมาณพลังงานได้มากที่สุดสูงถึง 47% จากผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์แสดงให้เห็นว่า หากสามารถดำเนินการให้พารามิเตอร์ที่ใช้คำนวณลดลงได้มากกว่า 1 ตัว จะเพิ่มปริมาณการลดลงของปริมาณพลังงานรวมลงได้เป็นอีกเท่าตัว จากการวิเคราะห์ผลดังกล่าวนี้สามารถนำไปเป็นวิเคราะห์หาแนวทางในการกำหนดนโยบายเพื่อเพิ่มทางเลือกในการลดปริมาณพลังงานรวมลงได้ อาทิเช่น จากเดิมที่การใช้รถโดยสารประจำทางมีระยะเวลาในการเดินทางมากกว่าการเดินทางด้วยรถยนต์ส่วนบุคคล เมื่อสถานการณ์ที่สภาพจราจรมีความคล่องตัวขึ้น ระยะเวลาในการเดินทางด้วยรถโดยสารประจำทางจะลดลง หากมีการรณรงค์ให้มีการใช้รถโดยสารประจำทางเพิ่มขึ้นจะทำให้สามารถลดค่า VKT ลงได้ จากการที่ผู้คนหันมาเดินทางด้วยการ

ใช้รถยนต์ส่วนบุคคลร่วมกับการขนส่งสาธารณะ หรือหากเกิดสถานการณ์ที่สภาพจราจรติดขัดเพิ่มขึ้น ก็ควรพัฒนาระบบการขนส่งสาธารณะทางรางที่ทั่วถึง และสนับสนุนให้มี Feeder เข้าถึงครอบคลุม พื้นที่สัญจรจะทำให้ผู้คนหันมาใช้การขนส่งสาธารณะร่วมกับการใช้รถยนต์ส่วนบุคคลเพิ่มขึ้นซึ่งทำให้ ค่า VKT มีค่าลดลงด้วยเช่นกัน จากตัวอย่างเหตุการณ์ที่ได้กล่าวไป ไม่เพียงแค่ว่า VKT ที่ลดลงเท่านั้น การหันมาใช้การขนส่งสาธารณะอาจส่งผลให้ปริมาณจราจรลดลง ซึ่งจะมีผลต่ออัตราการใช้พลังงาน ร่วมด้วย ทั้งนี้วิธีการดังกล่าวเป็นเพียงการวิเคราะห์เบื้องต้นเพื่อมองหาทางเลือกอื่นที่อาจเป็นไปได้ เท่านั้น ในการพิจารณาถึงผลลัพธ์ในด้านอื่นๆยังคงต้องมีการพิจารณาถึงปัจจัยอื่นๆร่วมด้วย

ตารางที่ 21 พารามิเตอร์ที่เปลี่ยนแปลงในสถานการณ์ต่างๆ

สถานการณ์จำลอง	พารามิเตอร์		
	จำนวนรถยนต์ (N)	อัตราการใช้พลังงาน (C)	ระยะทางเดินทางเฉลี่ยต่อปี (VKT)
สภาพจราจร		<input type="checkbox"/>	
Carsharing	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ลดน้ำหนักรถยนต์		<input type="checkbox"/>	

บทที่ 5

อภิปรายผลการทดสอบและข้อเสนอแนะ

อภิปรายผลการทดสอบ

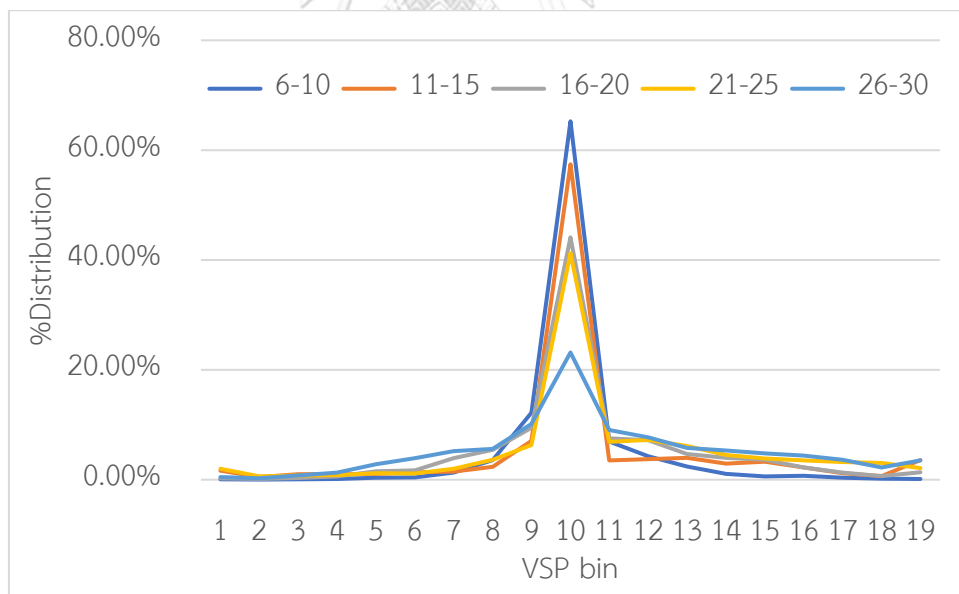
งานวิจัยนี้ได้แสดงให้เห็นถึงวิธีการประมาณอัตราการใช้พลังงานจากการวิเคราะห์สภาพจราจรและพฤติกรรมการขับขี่ของรถยนต์ที่ใช้ในกรุงเทพมหานคร อย่างที่ทราบกันดีอยู่แล้วว่า อัตราการใช้พลังงานเป็นหนึ่งในพารามิเตอร์ที่สำคัญ ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงไปจากสภาพจราจรที่แตกต่างกัน ฉะนั้น เพื่อให้การประมาณปริมาณพลังงานรวมมีความถูกต้องและแม่นยำ การประมาณค่าอัตราการใช้พลังงานจึงมีความจำเป็นต้องได้ค่าที่สะท้อนการขับขี่จริงบนพื้นที่ที่สนใจทำการศึกษาค้นคว้าได้ วิธีการประมาณอัตราการใช้พลังงานในงานวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์สภาพจราจรจริงครอบคลุมพื้นที่ที่สนใจมากกว่า 80% และเลือกเส้นทางตัวแทนสภาพจราจรครอบคลุมทุกช่วงความเร็วในการขับขี่และประเภทถนนถึง 65.98% (67 เส้นทาง, 752.5 km จาก 1,140.5 km) ของถนนทั้งหมดในกรุงเทพมหานคร จึงทำให้อัตราการใช้พลังงานที่คำนวณได้มีค่าใกล้เคียงกับการขับขี่จริงและเมื่อนำไปประมาณปริมาณพลังงานทำให้การคำนวณมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า 1% ซึ่งถือว่ามีความแม่นยำมาก

ผลการศึกษาสามารถนำมาสร้างแบบจำลองเพื่อประเมินหาปริมาณพลังงานรวมบนสถานการณ์ที่แตกต่างกันได้ สำหรับตัวอย่างสถานการณ์จำลองทั้ง 3 แบบที่ผู้วิจัยได้แสดงวิธีการประยุกต์ใช้งานแบบจำลองไว้ในหัวข้อที่ 4.4 จะพบว่า ฐานข้อมูลพฤติกรรมการขับขี่ในเชิงอัตราการใช้พลังงานสามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อพัฒนาแบบจำลองที่ใช้วิเคราะห์หาปริมาณพลังงานรวมได้ตามการคาดการณ์สภาพจราจรที่เปลี่ยนแปลงไปจากสถานการณ์จำลองรูปแบบต่างๆ ได้เป็นอย่างดี และสามารถนำผลการวิเคราะห์มาใช้เพื่อประเมินความเป็นไปได้ในการกำหนดทิศทางของนโยบายเพื่อลดปริมาณพลังงานลงในอนาคตต่อไป

จากการศึกษาแนวโน้มความเป็นไปได้ที่จะบรรลุผลตามเป้าหมาย EEP2015 ผลของการศึกษาสามารถนำมาพัฒนาแบบจำลองเพื่อคำนวณหาจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าที่จะนำมาใช้ทดแทนรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายในเพื่อลดปริมาณการใช้พลังงานลงตามเป้าหมาย สมการที่ 8 แสดงวิธีการคำนวณหาจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าที่จะนำมาใช้ทดแทน (N_{EV}) โดย SAV คือ ปริมาณการใช้พลังงานเป้าหมายที่ต้องการ, VKT คือ ระยะทางในการเดินทางของรถยนต์เฉลี่ยต่อปี, C_{ICE} คือ อัตราการใช้พลังงานของรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายใน และ C_{EV} คือ อัตราการใช้พลังงานของรถยนต์ไฟฟ้า

$$N_{EV} = \frac{SAV / VKT}{C_{ICE} - C_{EV}} \quad (8)$$

รถยนต์ไฟฟ้าที่เหมาะสมจะใช้ในกรุงเทพมหานครคือรถยนต์ EV-2 ซึ่งเป็นรถยนต์ที่มี regenerative breaking มากกว่ารถยนต์ EV-1 จากการศึกษาสภาพจราจรในกรุงเทพมหานคร พบว่า กรุงเทพมหานครจะขับขี่ที่ความเร็ว 16-30 กม/ชม เมื่อพิจารณารูปแบบการขับขี่พบว่า การขับขี่ในช่วงความเร็วดังกล่าวมีลักษณะการขับขี่แบบขับๆ หยุดๆ (Stop and go) และเมื่อพิจารณา ลักษณะการขับขีบนสภาพจราจรดังกล่าวควบคู่กับ VSP model และ %Distribution ของ VSP bin ดังแสดงในรูปที่ 45 พบว่ามีการขับขี่ในช่วง VSP bin ตั้งแต่ 1-9 ซึ่งเป็นช่วงที่การขับขี่รถยนต์ไฟฟ้ามี regenerative breaking พบว่าการขับขี่ในช่วงความเร็ว 16-30 กม/ชม การขับขี่รถยนต์ไฟฟ้าจะมี regenerative breaking เฉลี่ย 21.54% ของการขับขี่ในรูปแบบการขับขี่ที่ช่วงความเร็วดังกล่าว และเมื่อพิจารณา VSP model ของรถยนต์ไฟฟ้าทั้งสองรุ่น พบว่ารถยนต์ EV-2 มี regenerative breaking มากกว่า EV-1 ในทุก VSP bin ฉะนั้นจึงเป็นเหตุผลให้รถยนต์ EV-2 จึงมีอัตราการใช้พลังงานที่ต่ำกว่าถึงเห็นได้จาก ตารางที่ 9 ที่ให้อัตราการใช้พลังงานลดลงได้กว่า 13-16% เทียบกับรุ่น ที่มี regenerative breaking น้อยกว่า



รูปที่ 45 %Distribution ของรูปแบบการขับขี่ในแต่ละ VSP bin

ข้อเสนอแนะ

สำหรับการวิเคราะห์อัตราการใช้พลังงาน หากเป็นการประเมินถึงสภาพการขับขีในปัจจุบัน วิธีการในงานวิจัยนี้สามารถให้ผลการวิเคราะห์ที่มีความแม่นยำตรงได้อย่างดี หากทำการวิเคราะห์ถึงสถานการณ์อนาคตวิธีการนี้ก็จะเป็นวิธีการที่สามารถนำไปใช้ได้ และมีความถูกต้องและแม่นยำตรงพอที่จะใช้ในการประเมินปริมาณพลังงานได้อย่างดีในระดับหนึ่ง แต่เพื่อให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น การพิจารณาถึงสภาพเส้นทางจราจรที่จะเปลี่ยนแปลงไปในอนาคต ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อสภาพจราจร หากมีการนำมาใช้เป็นอีกหนึ่งพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์อัตราการใช้พลังงาน จะทำให้ผลของอัตราการใช้พลังงานมีความแม่นยำตรงและใกล้เคียงสภาพการจราจรในอนาคตได้มากยิ่งขึ้น และไม่เพียงแต่การพิจารณาถึงสภาพเส้นทางจราจรเท่านั้น การพิจารณาถึงเทคโนโลยีของรถยนต์ในอนาคตก็เป็นอีกหนึ่งพารามิเตอร์ที่จะส่งผลต่ออัตราการใช้พลังงาน ในการวิเคราะห์ปริมาณพลังงาน อาจสามารถทำการแบ่งช่วงการคำนวณออกเป็นระยะเวลาดำเนินการ (แบ่งช่วงการคำนวณ) ที่สามารถคาดการณ์อนาคตได้แล้วจึงนำผลการคำนวณในแต่ละช่วงเวลามารวมกัน จะทำให้ได้ผลการวิเคราะห์ปริมาณพลังงานที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงที่จะเกิดขึ้นมากที่สุด

รายการอ้างอิง

1. Lee, H. and H. Choi, *Analysis of vehicle fuel efficiency and survival patterns for the prediction of total energy consumption from ground transportation in Korea*. International Journal of Automotive Technology, 2016. 17(4): p. 605-616.
2. André, M., *The ARTEMIS European driving cycles for measuring car pollutant emissions*. Science of The Total Environment, 2004. 334-335(Supplement C): p. 73-84.
3. ประเทศไทย, ก., *สถานการณ์พลังงานของประเทศไทย ม.ค.-ธ.ค. 2559*. 2017: กรุงเทพมหานคร.
4. ประเทศไทย, ก., *การใช้พลังงานขั้นสุดท้ายจำแนกตามสาขาเศรษฐกิจ*. 2016.
5. ประเทศไทย, ก., *สถานการณ์พลังงานของประเทศไทย มกราคม-มิถุนายน 2559*. 2016: กรุงเทพมหานคร.
6. ประเทศไทย, ก., *สถานการณ์พลังงานของประเทศไทย มกราคม-มิถุนายน พ.ศ.2560*. 2017: กรุงเทพมหานคร.
7. ประเทศไทย, ก., *แผนอนุรักษ์พลังงาน 2559-2579*. 2015: กรุงเทพมหานคร.
8. ประเทศไทย, ก., *แผนขับเคลื่อนรถยนต์ไฟฟ้า 2558-2579*. 2015: กรุงเทพมหานคร.
9. ประเทศไทย, ก., *สถิติรถยนต์จดทะเบียน, กองสถิติ*, Editor. 2017: กรุงเทพมหานคร.
10. André, M., et al., *Real-world European driving cycles, for measuring pollutant emissions from high- and low-powered cars*. Atmospheric Environment, 2006. 40(31): p. 5944-5953.
11. Baptista, P., J. Tavares, and G. Gonçalves, *Energy and Environmental Impacts of Potential Application of Fully or Partially Electric Propulsion Vehicles: Application to Lisbon and São Miguel, Portugal*. Transportation Research Procedia, 2014. 3(Supplement C): p. 750-759.
12. González Palencia, J.C., M. Araki, and S. Shiga, *Energy, environmental and economic impact of mini-sized and zero-emission vehicle diffusion on a light-duty vehicle fleet*. Applied Energy, 2016. 181(Supplement C): p. 96-109.

13. Hofmann, J., et al., *Assessment of electrical vehicles as a successful driver for reducing CO2 emissions in China*. Applied Energy, 2016. 184(Supplement C): p. 995-1003.
14. Li, N., et al., *Potential impacts of electric vehicles on air quality in Taiwan*. Science of The Total Environment, 2016. 566-567(Supplement C): p. 919-928.
15. Choma, E.F. and C.M.L. Ugaya, *Environmental impact assessment of increasing electric vehicles in the Brazilian fleet*. Journal of Cleaner Production, 2017. 152(Supplement C): p. 497-507.
16. González Palencia, J.C., et al., *Impact of powertrain electrification, vehicle size reduction and lightweight materials substitution on energy use, CO2 emissions and cost of a passenger light-duty vehicle fleet*. Energy, 2015. 93(Part 2): p. 1489-1504.
17. Canals Casals, L., et al., *Sustainability analysis of the electric vehicle use in Europe for CO2 emissions reduction*. Journal of Cleaner Production, 2016. 127(Supplement C): p. 425-437.
18. <http://www.mma.gov.br>. *Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários (Relatório Final)*. 2017; Available from: http://www.mma.gov.br/estruturas/163/_publicacao/163_publicacao27072011055200.pdf.
19. Martínez-Lao, J., et al., *Electric vehicles in Spain: An overview of charging systems*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2017. 77(Supplement C): p. 970-983.
20. Eberle, U. and R. Helmolt, *Sustainable transportation based on electric vehicle concepts: A brief overview*. Vol. 3. 2010. 689.
21. Tong, H.Y., et al., *Development of driving cycles for motorcycles and light-duty vehicles in Vietnam*. Atmospheric Environment, 2011. 45(29): p. 5191-5199.
22. Hung, W.T., et al., *Development of a practical driving cycle construction methodology: A case study in Hong Kong*. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2007. 12(2): p. 115-128.

23. Ho, S.-H., Y.-D. Wong, and V.W.-C. Chang, *Developing Singapore Driving Cycle for passenger cars to estimate fuel consumption and vehicular emissions*. Atmospheric Environment, 2014. 97(Supplement C): p. 353-362.
24. Tamsanya, S., 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, 2009. 10(2): p. 251-264.
25. Nutramon, T. and C. Supachart, *Influence of driving cycles on exhaust emissions and fuel consumption of gasoline passenger car in Bangkok*. Journal of Environmental Sciences, 2009. 21(5): p. 604-611.
26. (ทีที), ม., ข้อมูลสภาพจราจร. 2017: กรุงเทพมหานคร.
27. Barlow, T., et al., *A reference book of driving cycles for use in the measurement of road vehicle emissions*, ed. 3. 2009, United kingdom: IHS.
28. Kamble, S.H., T.V. Mathew, and G.K. Sharma, *Development of real-world driving cycle: Case study of Pune, India*. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2009. 14(2): p. 132-140.
29. Mesbahi, T., et al., *Dynamical modeling of Li-ion batteries for electric vehicle applications based on hybrid Particle Swarm–Nelder–Mead (PSO–NM) optimization algorithm*. Electric Power Systems Research, 2016. 131(Supplement C): p. 195-204.
30. Tong, H.Y., W.T. Hung, and C.S. Cheung, *Development of a driving cycle for Hong Kong*. Atmospheric Environment, 1999. 33(15): p. 2323-2335.
31. Alves, J., et al., *Indirect methodologies to estimate energy use in vehicles: Application to battery electric vehicles*. Energy Conversion and Management, 2016. 124(Supplement C): p. 116-129.
32. Duarte, G.O., et al., *Establishing bonds between vehicle certification data and real-world vehicle fuel consumption – A Vehicle Specific Power approach*. Energy Conversion and Management, 2015. 92(Supplement C): p. 251-265.
33. Jimenez, J., et al., *Vehicle Specific Power: A Useful Parameter for Remote Sensing and Emission Studies*. 1999.

34. Qu, L., et al., *Multivariate analysis between driving condition and vehicle emission for light duty gasoline vehicles during rush hours*. Atmospheric Environment, 2015. 110(Supplement C): p. 103-110.
35. Nanaki, E.A. and C.J. Koroneos, *Climate change mitigation and deployment of electric vehicles in urban areas*. Renewable Energy, 2016. 99(Supplement C): p. 1153-1160.
36. Thiel, C., et al., *Cost and well-to-wheel implications of the vehicle fleet CO2 emission regulation in the European Union*. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2014. 63(Supplement C): p. 25-42.
37. Alam, M.S. and A. McNabola, *A critical review and assessment of Eco-Driving policy & technology: Benefits & limitations*. Transport Policy, 2014. 35(Supplement C): p. 42-49.
38. Teixeira, A.C.R. and J.R. Sodr , *Simulation of the impacts on carbon dioxide emissions from replacement of a conventional Brazilian taxi fleet by electric vehicles*. Energy, 2016. 115(Part 3): p. 1617-1622.
39. Rawashdeh, O. and R. Abousleiman, *Electric vehicle modelling and energy-efficient routing using particle swarm optimisation*. Vol. 10. 2015.
40. ตรีนก, ศ., การศึกษาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักต่ออัตราการใช้พลังงานของรถยนต์สันดาปภายในและรถยนต์ไฟฟ้าภายใต้การขับขี่จริงในกรุงเทพมหานคร, in ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล. 2017, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย: กรุงเทพมหานคร.
41. พิริยะวัฒน์, ด.ส., วิศวกรรมจราจร (*Traffic Engineering*). 2005, ชลบุรี: ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยบูรพา.
42. กระทรวงอุตสาหกรรม, กำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมการให้บริการและแลกเปลี่ยนสารสนเทศเพื่อการจราจร (มอก. 2604 เล่ม 1-2557). 2013, กระทรวงอุตสาหกรรม: กรุงเทพมหานคร.
43. (สนข), ส., ระยะทางเดินทางเฉลี่ยต่อปีของรถยนต์ในกรุงเทพมหานคร. 2016: กรุงเทพมหานคร.
44. ประเทศไทย, ก.ก., ปริมาณจำหน่ายน้ำมันแยกตามประเภทเชื้อเพลิงใน กทม. 2015: กรุงเทพมหานคร.
45. SCB, E.I.C., ทำความรู้จักธุรกิจ *car sharing* กับโอกาสและอุปสรรคในประเทศไทย. 2017: กรุงเทพมหานคร.

46. Sivak, M. and B. Schoettle, *Eco-driving: Strategic, tactical, and operational decisions of the driver that influence vehicle fuel economy*. Transport Policy, 2012. 22(Supplement C): p. 96-99.
47. Chen, T.D. and K.M. Kockelman, *Carsharing's life-cycle impacts on energy use and greenhouse gas emissions*. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2016. 47(Supplement C): p. 276-284.
48. Saboohi, Y. and H. Farzaneh, *Model for developing an eco-driving strategy of a passenger vehicle based on the least fuel consumption*. Applied Energy, 2009. 86(10): p. 1925-1932.
49. Hao, H., Z. Liu, and F. Zhao, *An overview of energy efficiency standards in China's transport sector*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2017. 67(Supplement C): p. 246-256.
50. Wenlong, S., C. Xiaokai, and W. Lu, *Analysis of Energy Saving and Emission Reduction of Vehicles Using Light Weight Materials*. Energy Procedia, 2016. 88(Supplement C): p. 889-893.
51. สำนักนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร, *แผนการลงทุนด้านการขนส่งและจราจรของกระทรวงคมนาคม พ.ศ. 2554-2563*. 2011: กรุงเทพมหานคร.
52. (IEA), I.E.A., *Technology Roadmap Electric and plug-in hybrid electric vehicles*. 2011, France: OECD/IEA.
53. Li, R. and M. Guo, *Effects of odd-even traffic restriction on travel speed and traffic volume: Evidence from Beijing Olympic Games*. Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition), 2016. 3(1): p. 71-81.
54. Lee, et al., *Traffic management techniques overview for 2002 FIFA Korea-Japan Worldcup in Seoul, Korea*. The 5 th Eastern Asia Society for Transportation Studies, 2003.
55. กรมธุรกิจพลังงาน, *ราคาน้ำมันย้อนหลัง ปี 2559-2560*. 2017, กระทรวงพลังงาน ประเทศไทย: กรุงเทพมหานคร.
56. *การไฟฟ้านครหลวง, ราคาไฟฟ้าย้อนหลัง ปี 2560*. 2017: กรุงเทพมหานคร.
57. *สำนักการจราจรและขนส่งกรุงเทพมหานคร, สถิติจราจร ประจำปี 2560*. 2017: กรุงเทพมหานคร.

58. สำนักอำนวยการความปลอดภัย, รายงานปริมาณจราจรบนทางหลวง 2560 (ครึ่งปีแรก). 2017, กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม: กรุงเทพมหานคร.





ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ก การคำนวณความเร็วเฉลี่ยถนนจากข้อมูล iTic

ข้อมูลการขับขี่ที่ใช้วิเคราะห์สภาพจราจรคือ ความเร็วบนถนนที่ใช้ข้อมูลของ iTic ลักษณะข้อมูลจะแสดงเป็นตารางข้อมูล ไฟล์ *XML ดังแสดงในรูปที่ 46-47 ข้อมูลที่ใช้คือ dateTime, locCode, direction, locCode2 และ LinkSpeed โดยความหมายของข้อมูลแต่ละตัวจะแสดงในตารางที่ 22 ในการวิเคราะห์สภาพจราจรความเร็วของถนนจะถูกนำมาใช้พิจารณาควบคู่กับปริมาณจราจรที่แสดงในหน่วย คัน/ชม ของถนนทั้งเส้น แต่สำหรับข้อมูลของ iTic จะมีเพียงความเร็วของช่วงถนนเท่านั้น ฉะนั้นจึงต้องทำการคำนวณความเร็วของถนนจากความเร็วของช่วงถนนตามสมการที่ 1 โดยที่ s_i คือ ระยะทางของช่วงถนนที่ i และ v_i คือ ความเร็วของช่วงถนนที่ i สำหรับ v_i จะใช้ข้อมูล LinkSpeed มาคำนวณได้เลย แต่ s_i จะต้องทำการคำนวณระยะทางจากตำแหน่งเก็บข้อมูลตำแหน่งที่ 1 ไปตำแหน่งเก็บข้อมูลตำแหน่งที่ 2 โดยจะใช้ตารางข้อมูลตำแหน่งของจุดรับข้อมูลควบคู่ไปด้วย เพื่อดูตำแหน่งที่ตั้งของ locCode ดังแสดงในรูปที่ 48-49 และคำนวณระยะทางจากระหว่างระหว่าง latitude และ longitude ของ locCode กับ locCode2 ซึ่งระยะทางนี้จะป็นค่าของ s_i

สำหรับการจัดกลุ่มช่วงถนนของถนนทั้งเส้นที่ทราบปริมาณจราจร ขั้นแรกผู้วิจัยจะทำการจับคู่ข้อมูลของ iTic กับ ตารางข้อมูลตำแหน่งของจุดรับข้อมูล (locCode Table) และจัดเรียงข้อมูลในแต่ละคอลัมน์ใหม่เป็น dateTime, locCode, locCode2, latitude1, longitude1, latitude2, longitude2, RoadNo., RoadName, Distance และ LinkSpeed จากนั้นทำการกรองข้อมูลด้วยชื่อของถนน และหมายเลขถนนตามลำดับ (จัดเรียงด้วยชื่อถนนสำหรับถนนที่ไม่มีหมายเลขถนน) และจัดเรียงข้อมูล locCode เรียงตามลำดับน้อยไปมากของถนนแต่ละเส้น จากนั้นใช้สมการที่ 3 คำนวณความเร็วของถนนทั้งเส้น ทำเช่นนี้กับถนนทุกๆเส้น จะทำให้ได้ข้อมูลความเร็วและระยะทางของถนนที่ทำการคำนวณ ในการวิเคราะห์สภาพจราจรผู้วิจัยจะใช้ข้อมูลจำนวน 5 เดือน เฉพาะวันทำงาน จ-ศ ตั้งแต่วันที่ 16 มกราคม พ.ศ.2560 ถึง 17 มิถุนายน พ.ศ.2560 โดยจะทำการคำนวณความเร็วของถนนเป็นวัน และใช้ค่าความเร็วจากการหาค่าเฉลี่ยมาวิเคราะห์สภาพจราจรต่อไป

ตารางที่ 22 ความหมายของชื่อคอลัมน์ในตารางข้อมูล

ที่	ชื่อข้อมูล	ความหมาย
1	dateTime	วันที่และเวลาที่บันทึกข้อมูล
2	locCode	ตำแหน่งที่เก็บข้อมูลจุดที่ 1
3	direction	ทิศทางของถนน
4	locCode2	ตำแหน่งที่เก็บข้อมูลจุดที่ 2
5	LinkSpeed	ความเร็วในการเดินทางจากตำแหน่งที่ 1 ไปตำแหน่งที่ 2

eventid	dateTime	resultOf	Version	locCode	offset	direction	locCode2	offset3	direction4	EventCode	QuantType	Quantity	UnitOfMeasure
162092198310	2017-01-15 09:59:57	0	3.2	20503	55	negative	20504	510	negative	A12		51	1
162092198311	2017-01-15 09:59:57	0	3.2	23504	0	positive	23503	475	positive	A12		51	1
162092198312	2017-01-15 09:59:57	0	3.2	46439	95	positive	46438	485	negative	A12		51	1
162092198313	2017-01-15 09:59:57	0	3.2	46439	185	positive	46438	395	negative	A12		51	1
162092198314	2017-01-15 09:59:57	0	3.2	18505	90	negative	18506	85	positive	A12		51	3
162092198315	2017-01-15 09:59:57	0	3.2	46439	205	positive	46438	345	negative	A12		51	1
162092198316	2017-01-15 09:59:57	0	3.2	23502	70	positive	23501	165	positive	A12		51	1
162092198317	2017-01-15 09:59:57	0	3.2	46439	260	positive	46438	275	negative	A12		51	1
162092198318	2017-01-15 09:59:57	0	3.2	18506	0	positive	18507	470	positive	A12		51	1
162092198319	2017-01-15 09:59:57	0	3.2	46439	330	positive	46438	205	negative	A12		51	1
162092198320	2017-01-15 09:59:57	0	3.2	18506	65	negative	18507	355	positive	A12		51	1
162092198321	2017-01-15 09:59:57	0	3.2	46439	400	positive	46438	135	negative	A12		51	1
162092198322	2017-01-15 09:59:57	0	3.2	12026	35	negative	12024	195	positive	A12		51	1
162092198323	2017-01-15 09:59:57	0	3.2	18506	145	negative	18505	280	positive	A12		51	1
162092198324	2017-01-15 09:59:57	0	3.2	47820	585	negative	47821	235	positive	A12		51	2
162092198325	2017-01-15 09:59:57	0	3.2	20502	225	negative	20503	160	positive	A12		51	2
162092198326	2017-01-15 09:59:57	0	3.2	43507	185	negative	43506	85	positive	A12		51	3
162092198327	2017-01-15 09:59:57	0	3.2	43507	180	positive	43506	90	negative	A12		51	2
162092198328	2017-01-15 09:59:57	0	3.2	11124	1245	positive	11095	410	positive	A12		51	1
162092198329	2017-01-15 09:59:57	0	3.2	48073	0	positive	48074	780	positive	A12		51	3
162092198330	2017-01-15 09:59:57	0	3.2	48073	0	positive	48074	790	negative	A12		51	1
162092198331	2017-01-15 09:59:57	0	3.2	23504	0	positive	23505	425	positive	A12		51	1
162092198332	2017-01-15 09:59:57	0	3.2	48130	60	positive	48130	75	negative	A12		51	1

รูปที่ 46 แสดงตัวอย่างข้อมูลจราจรของ iTic

QuantType	Quantity	UnitOfMeasure	LinkSpeed	StartAt	Period	UnitOfMeasure5	Description
51	1	0	54	2017-01-15 09:59:57	0	dyn	Vibhavadi-Rangsit Road,L,Near Tollplaza Dindaeng,Soi Phahol Yothin 2-525
51	1	0	28	2017-01-15 09:59:57	0	dyn	Ratchada Phisek Road,L,Thailand Cultural Station,Thiam Ruammit Junction
51	1	0	32	2017-01-15 09:59:57	0	dyn	Din Daeng,L,Chaturathit Road,Din Daeng Road
51	1	0	32	2017-01-15 09:59:57	0	dyn	Din Daeng,L,Chaturathit Road,Din Daeng Road
51	3	0	14	2017-01-15 09:59:57	0	dyn	Din Daeng Road,H,Soi Sutthiporn 2,Pracha Songkhro Intersection-676
51	1	0	32	2017-01-15 09:59:57	0	dyn	Din Daeng,L,Chaturathit Road,Din Daeng Road
51	1	0	36	2017-01-15 09:59:57	0	dyn	Ratchada Phisek Road,L,Rama 9 Intersection-532,Tesco Lotus Fortunetown
51	1	0	32	2017-01-15 09:59:57	0	dyn	Din Daeng,L,Chaturathit Road,Din Daeng Road
51	1	0	39	2017-01-15 09:59:57	0	dyn	Din Daeng Road,L,Soi Phohan,Soi Sutthiporn 2
51	1	0	32	2017-01-15 09:59:57	0	dyn	Din Daeng,L,Chaturathit Road,Din Daeng Road
51	1	0	39	2017-01-15 09:59:57	0	dyn	Din Daeng Road,L,Soi Phohan,Soi Sutthiporn 2
51	1	0	32	2017-01-15 09:59:57	0	dyn	Din Daeng,L,Chaturathit Road,Din Daeng Road
51	1	0	64	2017-01-15 09:59:57	0	dyn	Sri Rat Expressway,L,Makkasan Overpass (Khio Phret),Makkasan Overpass (S1)
51	1	0	32	2017-01-15 09:59:57	0	dyn	Din Daeng Road,L,Pracha Songkhro Intersection-676,Soi Sutthiporn 2
51	2	0	36	2017-01-15 09:59:57	0	dyn	Mit Maitri Road (South),M,Soi Mitmatri 2,Din Daeng Road
51	2	0	32	2017-01-15 09:59:57	0	dyn	Vibhavadi-Rangsit Road,M,Soi Phahol Yothin 2-525,Metropolitan Electricity Authority V
51	3	0	10	2017-01-15 09:59:57	0	dyn	Sutthisan Winitchai Road,H,Soi Inthamara 22,Sutthisan Winitchai Rd. Cross Prachasuk R
51	2	0	21	2017-01-15 09:59:57	0	dyn	Sutthisan Winitchai Road,M,Soi Inthamara 22,Sutthisan Winitchai Rd. Cross Prachasuk R
51	1	0	61	2017-01-15 09:59:57	0	dyn	Chalerm Maha Nakhon Expressway,L,To Dindaeng (2),1 To Dindaeng - 2 Dindaeng Flat
51	3	0	10	2017-01-15 09:59:57	0	dyn	Sutthisan Winitchai Road,H,Soi Phibun Uppatham,Ratchada Phisek Road
51	1	0	32	2017-01-15 09:59:57	0	dyn	Sutthisan Winitchai Road,L,Soi Phibun Uppatham,Ratchada Phisek Road
51	1	0	28	2017-01-15 09:59:57	0	dyn	Ratchada Phisek Road,L,The Emerald Hotel,Thiam Ruammit Junction
51	1	0	25	2017-01-15 09:59:57	0	dyn	Watthana Tham Road,L,Thiamruammit Road (North),Thiamruammit Road (North)

รูปที่ 47 แสดงตัวอย่างข้อมูลจราจรของ iTic

CC	ID	VERSION NR	TABLE	LOCATION CODE	(SUB)TYPE	ROAD NUMBER	ROAD NAME	JUNCTION NUMBER	FIRST NAME	SECOND NAME	AREA REFL	LINEAR RE	NEGATIVE	POSITIVE	C INTERSECT
2	227	3.2	19	13761	P1.12	4	ถนนเพชรเกษม		แยกบางเขิน		10	690	13760	13762	
2	227	3.2	19	13762	P1.8	4	ถนนเพชรเกษม		ระเริญใหญ่ - 690		10	690	13761		
2	227	3.2	19	708	L1.1	4	ถนนเพชรเกษม		นคปรปฐม	ทางหลวงหมายเลข 4-336	73	708			
2	227	3.2	19	13510	P3.14	4	ถนนเพชรเกษม		นคปรปฐม		73	708	13502	13503	
2	227	3.2	19	13502	P2.1	4	ถนนเพชรเกษม		ถนนเพชรเกษม กม.65		73	708	13510	13503	
2	227	3.2	19	13503	P2.1	4	ถนนเพชรเกษม		ถนนเพชรเกษม กม.60		73	708	13502	13504	
2	227	3.2	19	13504	P1.1	4	ถนนเพชรเกษม		แยกพุทธนิคม		73	708	13503	13505	
2	227	3.2	19	13505	P1.1	4	ถนนเพชรเกษม		แยกนคปรปฐม		73	708	13504	13506	
2	227	3.2	19	13506	P2.1	4	ถนนเพชรเกษม		ถนนเพชรเกษม กม.50		73	708	13505	13507	
2	227	3.2	19	13507	P1.11	4	ถนนเพชรเกษม		แยกท่ามา		73	708	13506	13508	
2	227	3.2	19	13508	P1.1	4	ถนนเพชรเกษม		ทางหลวงหมายเลข 4-338 แยก 708		73	708	13507		
2	227	3.2	19	691	L1.1	4	ถนนเพชรเกษม		กิโลเมตรที่ 74		74	691			
2	227	3.2	19	13771	P3.14	4	ถนนเพชรเกษม		กิโลเมตรที่ 74 (ทิศตะวันตก)		74	691		13754	
2	227	3.2	19	13754	P1.12	4	ถนนเพชรเกษม		แยกพุทธนิคม สาย 5		74	691	13771	13768	
2	227	3.2	19	13768	P3.14	4	ถนนเพชรเกษม		กิโลเมตรที่ 74 (ทิศตะวันออก)		74	691	13754		
2	227	3.2	19	715	L1.1	9	ถนนกาญจนาภิเษก		บางน้ำ		14	715			
2	227	3.2	19	19527	P3.14	9	ถนนกาญจนาภิเษก		บางน้ำ		14	715		19516	
2	227	3.2	19	19516	P2.1	9	ถนนกาญจนาภิเษก		ถนนกาญจนาภิเษก กม.75		14	715	19527	19517	
2	227	3.2	19	19517	P2.1	9	ถนนกาญจนาภิเษก		ถนนกาญจนาภิเษก กม.80		14	715	19516	19518	
2	227	3.2	19	19518	P1.1	9	ถนนกาญจนาภิเษก		ทางแยกต่างระดับประตูน้ำพระอินทร์ - 715		14	715	19517		
2	227	3.2	19	721	L1.1	9	ถนนกาญจนาภิเษก		คลองหลวง	ทางแยกต่างระดับบางปรือ 2	13	721		20014	
2	227	3.2	19	20018	P3.14	9	ถนนกาญจนาภิเษก		คลองหลวง		13	721			
2	227	3.2	19	20014	P1.1	9	ถนนกาญจนาภิเษก		ทางแยกต่างระดับบางปรือ		14	721	20018		
2	227	3.2	19	2405	L1.4		สถานีอานเจ็ญ 25		สถานีอานเจ็ญ	ชอสรวิชัยธรรม	10				
2	227	3.2	19	46257	P1.11		สถานีอานเจ็ญ 25		สถานีอานเจ็ญ		10	2405	46257	46258	
2	227	3.2	19	46258	P1.11		สถานีอานเจ็ญ 25		ชอสร 2115		10	2405	46257	46259	
2	227	3.2	19	46259	P1.11		สถานีอานเจ็ญ 25		ชอสรวิชัยธรรม		10	2405	46258		
2	227	3.2	19	2406	L1.4		สถานีอานเจ็ญ 5		สถานีอานเจ็ญ	ชอสรธรรมาน 2 แยก 43 ซ	10				
2	227	3.2	19	46260	P1.11		สถานีอานเจ็ญ 5		สถานีอานเจ็ญ		10	2406	46260		
2	227	3.2	19	46261	P1.11		สถานีอานเจ็ญ 5		ชอสรธรรมาน 2 แยก 43 ชอสร 12		10	2406	46261		
2	227	3.2	19	2407	L1.4		สถานีอานเจ็ญ 30		ถนนบางขุนเทียน-ชายทะเล สถานีอานเจ็ญ		10				

รูปที่ 48 แสดง Location Code ของจุดรับความเร็วรถยนต์

JUNCTION NUMBER	FIRST NAME	SECOND NAME	AREA	REFLINEAR	RE	NEGATIVE	POSITIVE	C	INTERSECT	LATITUDE	LONGITUDE	URBAN	INTERRUPT	ISOLATED	IN+	OUT+	IN-	OUT-	PRESENT+	PRESENT-
	แยกสามัคคี		10	690	13760	13762			13.72727	100.4871	0		0	1	1	1	1	1	1	1
	วงเวียนใหญ่ - 690		10	690	13761				13.72637	100.4925	0		0	1	1	1	1	1	1	1
	นครปฐม	ทางหลวงหมายเลข 4-336	73																	
	แยกเพชรเกษม กม.65		73	708	13502	13502			13.79457	99.95625	0		0	1	1	1	1	1	1	1
	แยกเพชรเกษม กม.80		73	708	13502	13504			13.79983	99.98823	0		0	1	1	1	1	1	1	1
	แยกพุทธนิคม		73	708	13503	13505			13.80437	100.03339	0		0	1	1	1	1	1	1	1
	แยกนครปฐม		73	708	13504	13506			13.8104	100.0666	0		0	1	1	1	1	1	1	1
	แยกเพชรเกษม กม.50		73	708	13505	13507			13.81511	100.0896	0		0	1	1	1	1	1	1	1
	แยกท่าเสา		73	708	13506	13508			13.81243	100.1183	0		0	1	1	1	1	1	1	1
	ทางหลวงหมายเลข 4-330 แยก 708		73	708	13507				13.79428	100.169	0		0	1	1	1	1	1	1	1
	กิโลเมตรที่ 10		73	708	13507				13.76398	100.1854	0		0	1	1	1	1	1	1	1
	กิโลเมตรที่ 10 (สี่คะวินนอก)		74	691		13754			13.71046	100.2859	0		0	1	1	1	1	1	1	1
	แยกทยอยศาล สาย 5		74	691	13771	13768			13.70663	100.2976	0		0	1	1	1	1	1	1	1
	กิโลเมตรที่ 10 (สี่คะวินนอก)		74	691	13754				13.70598	100.3333	0		0	1	1	1	1	1	1	1
	บางช้าง	ทางแยกต่างระดับประตูน้ำ	14																	
	บางช้าง		14	715		19516			14.11761	100.537	0		0	1	1	1	1	1	1	1
	แยกกาญจนาภิเษก กม.75		14	715	19527	19517			14.1477	100.5516	0		0	1	1	1	1	1	1	1
	แยกกาญจนาภิเษก กม.80		14	715	19516	19518			14.16876	100.5919	0		0	1	1	1	1	1	1	1
	ทางแยกต่างระดับประตูน้ำพระอินทร์ - 715		14	715	19517				14.17048	100.6159	0		0	1	1	1	1	1	1	1
	คลองหลวง	ทางแยกต่างระดับบางศรีเมือง 2	13																	
	คลองหลวง		13	721		20014			14.16038	100.6532	0		0	1	1	1	1	1	1	1
	ทางแยกต่างระดับบางศรีเมือง		14	721	20018				14.18938	100.8366	0		0	1	1	1	1	1	1	1
	แยกอนุสาวรีย์	ชอว์วิศิธร	10																	
	แยกอนุสาวรีย์		10	2405		46258			13.65077	100.4488	0		0	1	1	1	1	1	1	1
	ชอว์ 2/15		10	2405	46257	46259			13.65095	100.4562	0		0	1	1	1	1	1	1	1
	ชอว์วิศิธร		10	2405	46258				13.65451	100.4646	0		0	1	1	1	1	1	1	1
	แยกอนุสาวรีย์	ชอว์พรหมาน 2 แยก 43 ซ	10																	
	แยกอนุสาวรีย์		10	2406		46261			13.6659	100.4553	0		0	1	1	1	1	1	1	1
	ชอว์พรหมาน 2 แยก 43 ซอว์ 12		10	2406	46260				13.66883	100.4566	0		0	1	1	1	1	1	1	1
	ถนนบางขุนเทียน-ชอว์ชอว์ถนนอนุสาวรีย์		10																	

รูปที่ 49 แสดง Location Code ของจุดรับความเร็วรถยนต์

รายละเอียดวิธีการการคำนวณความเร็วเฉลี่ยของถนนจากข้อมูล iTic

ขั้นตอนที่ 1 จัดกลุ่มถนน

ในการคำนวณความเร็วเฉลี่ยถนน จะทำการคำนวณความเร็วเฉลี่ยของแต่ละวันก่อน แล้วจึงนำความเร็วเฉลี่ยของแต่ละวันมาคำนวณหาความเร็วเฉลี่ยของถนนย้อนหลัง 5 เดือนอีกครั้ง หน้านั้นในขั้นตอนแรกจะต้องจัดเรียงข้อมูลและคำนวณความเร็วเฉลี่ยของถนนแต่ละเส้นใน 1 วันก่อน โดยจัดกลุ่มชื่อถนนเดียวกันให้อยู่กลุ่มเดียวกันด้วยการจัดเรียงคอลัมน์ locCode1 และจับคู่กับตาราง Location Code เพื่อหาชื่อถนน ในขั้นตอนนี้จะต้องจัดตารางใหม่ให้ locCode1 เรียงตามลำดับจากน้อยไปมาก และจัดกลุ่มถนนด้วยชื่อของถนน

ขั้นตอนที่ 2 คำนวณระยะทางของ Link

หลังจากจัดกลุ่มถนนแล้วจะทำการคำนวณระยะทางของ Link ด้วยการคำนวณระยะห่างจากจุดรับข้อมูลที่ 1 ไปยังจุดถัดไป ด้วยการคำนวณระยะห่างตำแหน่งละติจูดและลองจิจูดระหว่างของคอลัมน์ locCode1 และ locCode2 ซึ่งระยะทางจากจุดที่ 1 ไปจุดถัดไปในการเก็บข้อมูลของ iTic จะเป็นเส้นทาง ทางตรงเท่านั้นหน้านั้นจึงสามารถคำนวณด้วยการใช้ค่าละติจูดและลองจิจูดได้ การคำนวณจะแสดงดังสมการที่ 9-13 เมื่อคำนวณแล้วจะทำให้ทราบระยะทางของ Link ที่ทราบค่าความเร็วเฉลี่ย ซึ่งจะอยู่ในคอลัมน์ LinkSpeed

$$dlon = lon2 - lon1 \quad (9)$$

$$dlat = lat2 - lat1 \quad (10)$$

$$a = \left(\sin\left(\frac{dlat}{2}\right)\right)^2 + \left[\cos(lat1) \cos(lat2) \left(\sin\left(\frac{dlon}{2}\right)\right)^2\right] \quad (11)$$

$$c = 2a \cdot \tan 2(\sqrt{a} \cdot \sqrt{1-a}) \quad (12)$$

$$d = R \cdot c \quad (13)$$

โดยที่ dlon คือ ค่าของลองจิจูดจุดที่ locCode2 ลบจุดที่ locCode1
 dlat คือ ค่าของละติจูดจุดที่ locCode2 ลบจุดที่ locCode1
 lat คือ ค่าละติจูด
 lon คือ ค่าลองจิจูด
 R คือ รัศมีของโลกมีค่า 6,373 กม

ขั้นตอนที่ 3 คำนวณความเร็วเฉลี่ยของถนน

จากขั้นตอนที่ 1 และ 2 จะทำให้ทราบความเร็วเฉลี่ยและระยะทางของแต่ละ Link บนถนนเส้นต่างๆ สมการที่ 1 จะถูกนำมาใช้เพื่อนำมาคำนวณความเร็วเฉลี่ยของ Link ไปเป็นความเร็วเฉลี่ยของถนน ด้วย 3 ขั้นตอนนี้จะทำให้ได้ข้อมูลความเร็วเฉลี่ยถนนและระยะทางของถนน

ภาคผนวก ข การวิเคราะห์ปริมาณจราจร

ข้อมูลปริมาณจราจรจะได้อาจมาจากสำนักงานจราจรและขนส่ง กรุงเทพมหานคร [57] และข้อมูลจากกรมทางหลวง [58] จากที่กล่าวมาแล้วว่าในการคำนวณอัตราการใช้พลังงานของเมืองจะใช้ความเร็วเฉลี่ยของถนนควบคู่กับปริมาณจราจร ฉะนั้นถนนที่ใช้ในการวิเคราะห์สภาพจราจรจะต้องมีพารามิเตอร์ทั้ง 2 ตัวนี้ สำหรับความเร็วเฉลี่ยของถนนที่ใช้ข้อมูลของ iTic จะทราบหมายเลขถนนและชื่อถนน ฉะนั้นเมื่อทำการคำนวณหาความเร็วเฉลี่ยของถนนได้แล้วจะนำไปจับคู่กับปริมาณจราจรของถนนเส้นทางการที่ตรงกันโดยมีวิธีการดังต่อไปนี้

ขั้นตอนแรกจะต้องทราบว่าข้อมูลปริมาณจราจรมีของถนนเส้นใดบ้าง และมีระยะทางเท่าใด จากตัวอย่างข้อมูลของสำนักงานจราจรและขนส่งดังแสดงในรูปที่ 50 ผู้วิจัยต้องทำการคำนวณระยะทางของถนนแต่ละเส้นที่มีปริมาณจราจร โดยหลักเกณฑ์ในการนับจำนวนปริมาณจราจร สำนักงานจราจรจะนับตามแยกและแบ่งถนนออกเป็นแยก ผู้วิจัยจึงใช้แผนที่ใน Google map เพื่อคำนวณหาระยะทาง และตำแหน่งที่ตั้งด้วยค่า ละติจูดและลองจิจูด เมื่อผู้วิจัยทราบระยะทางตำแหน่ง และปริมาณจราจรแล้ว ผู้วิจัยจะทำการจับคู่กับข้อมูลความเร็วเฉลี่ยของช่วงถนนของ iTic เพียงเท่านี้จะทำให้ผู้วิจัยทราบปริมาณจราจรและความเร็วเฉลี่ยของถนนเพื่อใช้ในการวิเคราะห์สภาพจราจรต่อไปได้ สำหรับจำนวนข้อมูลเส้นทางที่ทราบความเร็วเฉลี่ยถนนและปริมาณจราจรมีจำนวน 67 เส้นทาง คิดเป็น 65.98% ของระยะทางถนนในกรุงเทพมหานคร

ปริมาณจราจรบริเวณทางแยกในเขตกรุงเทพมหานคร ประจำเดือนมีนาคม 2560

ลำดับที่	ชื่อทางแยก วัน / เดือน / ปี	ถนน/ซอย	ช่วงเวลา	ประเภทรถ (คัน)						ปริมาณรวม (คัน)		
				รถยนต์นั่ง	ตู้ปิคอัพ	เมสใหญ่	เมสเล็ก	บรรทุก	สามล้อ	แต่ละช่วงเวลา	แต่ละถนน	รวมทั้งแยก
6	สุขุมวิท 11 (8 มี.ค. 60)	ช.สุขุมวิท 11	เร่งด่วนเช้า (7.00 - 9.00 น.)	311	86	-	-	-	7	404	2,435	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	4,379	426	11	164	271	21,085		
			เร่งด่วนเย็น (16.00 - 19.00 น.)	6,407	1,543	89	10	52	123	8,224		
7	สุขุมวิท 22 (8 มี.ค. 60)	ช.สุขุมวิท 22	เร่งด่วนเช้า (7.00 - 9.00 น.)	398	129	8	-	42	4	581	27,503	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	176	7	17	24	5,169		
			นอกเร่งด่วน (9.00 - 16.00 น.)	10,579	3,636	561	27	143	118	15,063		
			เร่งด่วนเย็น (16.00 - 19.00 น.)	5,259	1,678	261	17	26	40	7,281		
8	สะพานเหลือง (9 มี.ค. 60)	พระรามที่ 4	เร่งด่วนเช้า (7.00 - 9.00 น.)	7,275	1,314	169	11	36	101	8,906	48,026	57,001
			นอกเร่งด่วน (9.00 - 16.00 น.)	20,460	5,566	638	52	299	396	27,311		
			เร่งด่วนเย็น (16.00 - 19.00 น.)	8,882	2,467	246	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.)	56	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	1,965	84	-	69	82	5,580		
			เร่งด่วนเย็น (16.00 - 19.00 น.)	1,126	566	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	5,221	56,754
			นอกเร่งด่วน (9.00 - 16.00 น.)	2,001	662	96	-	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	636	6	583	106	29,985		
			เร่งด่วนเย็น (16.00 - 19.00 น.)	9,381	2,408	151	1	135	32	12,108		

แหล่งข้อมูล : กองนโยบายและแผนงาน สำนักงานจราจรและขนส่ง

รูปที่ 50 ตัวอย่างข้อมูลปริมาณจราจรของสำนักงานจราจรและขนส่ง กรุงเทพมหานคร [57]

รายละเอียดวิธีการวิเคราะห์ปริมาณจราจร

ขั้นตอนที่ 1 พิจารณาระยะทางและจุดเริ่มต้นของถนน

พิจารณาจุดเริ่มต้นของถนนที่นับปริมาณจราจรและระยะทางของถนนด้วยแยกจราจรที่คำนวณระยะทางจากการวาดเส้นลงบน Google map ของจุดที่เก็บข้อมูลปริมาณจราจร แบ่งตามช่วงเวลาคือ ช่วงเร่งด่วนเช้า, นอกช่วงเร่งด่วน และช่วงเร่งด่วนเย็น จากข้อมูลปริมาณจราจร กองนโยบายและแผนงาน สำนักการจราจรและขนส่ง และจับคู่จุดเริ่มต้นของถนนกับข้อมูลที่วิเคราะห์ระยะทางและความเร็ว iTic ก่อนหน้า

ขั้นตอนที่ 2 คัดเลือกถนนที่ใช้ในการวิเคราะห์พฤติกรรมการขับขี่

เมื่อจับคู่ระยะทางและเส้นทางที่ทราบปริมาณจราจรแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือ คัดเลือกถนนที่ทราบความเร็วเฉลี่ยและปริมาณจราจรตามช่วงเวลา จากนั้นเลือกเฉพาะถนนเส้นที่มีข้อมูลทั้ง 3 ช่วงเวลา มาเป็นข้อมูลที่ใช้ในการจำแนกพฤติกรรมการขับขี่และคำนวณอัตราการใช้พลังงานของเมือง



ภาคผนวก ค การจำแนกพฤติกรรมการขับขี่

หลังจากที่จัดเตรียมข้อมูลจากการคำนวณความเร็วเฉลี่ยของถนนด้วยข้อมูลจาก iTic และคัดเลือกถนนเฉพาะเส้นที่ทราบปริมาณจราจรเรียบร้อยแล้วจะทำให้ได้ข้อมูลถนนที่ทราบปริมาณจราจร, ระยะทาง และความเร็วเฉลี่ย ที่สามารถนำมาวิเคราะห์พฤติกรรมการขับขี่และประเมินอัตราการใช้พลังงานของเมืองได้ ขั้นตอนนี้จะแสดงวิธีการจำแนกพฤติกรรมการขับขี่ โดยมีรายละเอียดวิธีการดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 จัดกลุ่มถนนแบ่งตามช่วงความเร็ว

ทำการแบ่งช่วงความเร็วเฉลี่ยของถนนคือ ตั้งแต่ 6-10, 11-15, 16-20 จนถึง มากกว่า 100 กม/ชม จากนั้นทำการจัดกลุ่มถนนที่มีความเร็วเฉลี่ยอยู่ในช่วงเดียวกันให้อยู่กลุ่มเดียวกัน

ขั้นตอนที่ 2 สร้างแผนผังร้อยละการกระจายตัวของระยะทางถนนในแต่ละช่วงความเร็ว

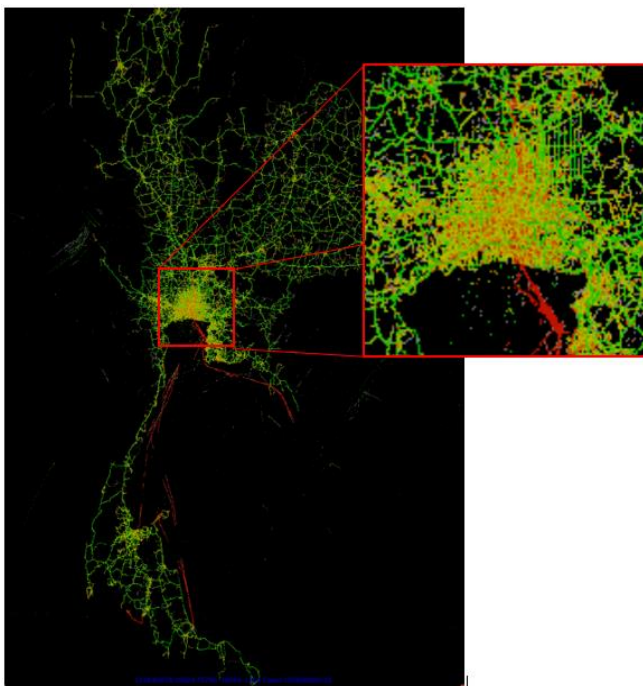
แผนผังร้อยละการกระจายตัวของระยะทางถนนในแต่ละช่วงความเร็วจะใช้เพื่อวิเคราะห์พฤติกรรมการขับขี่และสภาพจราจรในการขับขี่ในกรุงเทพมหานคร โดยในขั้นตอนนี้ ขั้นแรกจะทำการรวมระยะทางของถนนที่อยู่ในกลุ่มเดียวกัน และคำนวณร้อยละของระยะทางในแต่ละช่วงความเร็วจากระยะทางทั้งหมด จากนั้นจึงใช้ข้อมูลสร้างเป็นแผนผังดังแสดงในรูปที่ 19 ในหัวข้อที่ 2.1

ภาคผนวก ง การวิเคราะห์วิธีการคำนวณปริมาณพลังงานรวม

จากงานวิจัยที่ทำการศึกษาเกี่ยวกับการประเมินปริมาณการใช้พลังงานของรถยนต์ของเมือง ในขั้นแรกจะต้องทำการประเมินอัตราการใช้พลังงานของรถยนต์ที่สะท้อนการขับเคลื่อนของเมืองนั้นๆ ก่อน จากนั้นจึงนำมาคำนวณหาปริมาณพลังงานรวมด้วยสมการ TEC วิธีการประเมินหรือคำนวณ อัตราการใช้พลังงานโดยมากจะเลือกเส้นทางที่มีผู้คนใช้เส้นทางจำนวนมากๆมาเป็นตัวแทนของการขับเคลื่อนของเมืองนั้นๆ ซึ่งพิจารณาจาก Traffic vol. และนำข้อมูลการขับเคลื่อนบนเส้นทางนั้นมาคำนวณหา อัตราการใช้พลังงาน หรือวัดอัตราการใช้พลังงานจากการขับเคลื่อน สำหรับถนนเส้นที่มีเฉพาะค่า ความเร็วเฉลี่ยของถนน หรือ Traffic vol. อย่างไม่อย่างหนึ่ง จะไม่ถูกนำมาใช้ในการคำนวณเนื่องจาก มีพารามิเตอร์ไม่ครบ

สำหรับงานวิจัยนี้จะใช้วิธีการวิเคราะห์พฤติกรรมกรรมการขับเคลื่อนซึ่งขั้นแรกจะวิเคราะห์สภาพจราจร ที่ครอบคลุมเส้นทางที่ใช้ขับเคลื่อนของรถยนต์ที่ใช้ในกรุงเทพมหานครจากความเร็วเฉลี่ยบนถนนแต่ละ เส้น และจำแนกพฤติกรรมกรรมการขับเคลื่อนด้วยช่วงของความเร็วเฉลี่ย และแสดงผลพฤติกรรมกรรมการขับเคลื่อนเป็น แผนผังความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับเวลา (Speed-Time Profile) และคำนวณอัตราการใช้ พลังงานของการขับเคลื่อนในแต่ละพฤติกรรมด้วยแบบจำลองค่ากำลังจำเพาะของยานยนต์ (VSP model) จากนั้นจึงคำนวณอัตราการใช้พลังงานที่จะใช้เป็นตัวแทนของการขับเคลื่อนในกรุงเทพมหานครด้วยการหา ค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักด้วย Traffic vol. ข้อได้เปรียบของวิธีการนี้คือ ครอบคลุมพฤติกรรมกรรมการขับเคลื่อน และได้ค่าประมาณปริมาณพลังงานรวมใกล้เคียงกับค่าจริงมากที่สุด

ในการวิเคราะห์พฤติกรรมกรรมการขับเคลื่อน ขั้นแรกจะวิเคราะห์สภาพจราจรจากความเร็วเฉลี่ยบน ถนนในกรุงเทพมหานครซึ่งใช้ข้อมูลจากมูลนิธิศูนย์ข้อมูลจราจรอัจฉริยะไทย (iTic) ที่ครอบคลุม เส้นทางในกรุงเทพมหานคร มากกว่า 80% ดังแสดงในรูปที่ 51 จากวิธีการในภาคผนวก ก-ค จะทำให้ ได้ถนนที่ใช้ในการวิเคราะห์อัตราการใช้พลังงานที่ทราบระยะทาง, ความเร็วเฉลี่ยและปริมาณจราจร โดยถนนที่ทราบพารามิเตอร์ดังกล่าวที่นำมาคำนวณครอบคลุมถนนในพื้นที่ที่ทำการศึกษามากกว่า 67 เส้นทาง คิดเป็น 65.98% ของระยะทางทั้งหมด และครอบคลุมทุกประเภทถนน ดังแสดงจำนวนถนน แต่ละประเภทในตารางที่ 23 ฉะนั้นในการศึกษาถึงพฤติกรรมกรรมการขับเคลื่อน วิธีการและชุดข้อมูลดังกล่าวที่ ถูกนำมาใช้นี้จึงมีความครอบคลุมการขับเคลื่อนของการใช้งานจริงในพื้นที่ที่ทำการศึกษามากกว่าการเลือก เส้นทางตัวแทนเพียงไม่กี่เส้นที่มีปริมาณจราจรสูงๆมาเป็นตัวแทน



รูปที่ 51 แสดงเส้นทางที่ iTic เก็บข้อมูลความเร็วเฉลี่ยบนถนนในประเทศไทย

ตารางที่ 23 จำนวนถนนแต่ละประเภทที่ใช้วิเคราะห์สภาพจราจรในงานวิจัยนี้

ประเภท	จำนวน	ประเภท	จำนวน
ในเมือง	29	ทางหลวง	28
ชานเมือง	7	ทางด่วน	3
รวมทั้งสิ้น	67	เส้น	

ในการประมาณปริมาณพลังงานรวมจะใช้สมการ TEC ในการคำนวณและอัตราการใช้พลังงานที่ใช้ในการคำนวณจะใช้เพียงค่าเดียว นั่นก็คือ ค่าอัตราการใช้พลังงานของเมือง สำหรับงานวิจัยนี้ พื้นที่ที่ทำการศึกษาคือ กรุงเทพมหานคร (C_{bkk}) วิธีการคำนวณ C_{bkk} จะใช้วิธีการหาค่าเฉลี่ยถ่วงของถนนที่ทราบ Traffic vol. มาคำนวณสำหรับปริมาณข้อมูลที่แสดงถึงความเพียงพอที่จะใช้ในการวิเคราะห์ ระยะทางรวมของถนนที่ทราบ Traffic vol. มีปริมาณมากกว่า 50% ของถนนทั้งหมดในกรุงเทพมหานคร ซึ่งมีค่าเท่ากับ 65.98% คิดเป็นระยะทางทั้งสิ้น 752.5 กม. จาก 1,140.5 กม. (ข้อมูลจากสำนักงานโยธา กรุงเทพมหานคร) และชุดข้อมูลดังกล่าวยังครอบคลุมทุกประเภทถนนอีกด้วย รูปที่ 52 แสดงเส้นทางที่ทราบ Traffic vol. และใช้ข้อมูลบนเส้นทางดังกล่าวมาคำนวณหา C_{bkk}



รูปที่ 52 เส้นทางที่ใช้วิเคราะห์สภาพจราจรของกรุงเทพมหานครในงานวิจัยนี้

ในการใช้ Traffic vol. มาเพื่อถ่วงน้ำหนักในการหาค่าเฉลี่ยอัตราการใช้พลังงาน จะทำให้การประมาณปริมาณพลังงานรวมมีค่าใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด เนื่องจากในการคำนวณได้มีการวิเคราะห์ถึงปริมาณพลังงานรวมที่ถูกใช้ไปบนถนนแต่ละเส้นด้วย จากชุดข้อมูลตัวอย่างดังแสดงในตารางที่ 24 เมื่อลองทำการประมาณปริมาณพลังงานรวมด้วยค่าอัตราการใช้พลังงาน 3 ค่าที่ได้มา จากวิธีการที่ต่างกัน คือ 1. การหาด้วยการเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักด้วย Traffic vol. (C_{rep}) 2. การหาด้วยการเฉลี่ยแบบไม่ถ่วงน้ำหนัก (C_{avg}) และ 3. การใช้อัตราการใช้พลังงานของเส้นทางที่มี Traffic vol. สูงๆมาเป็นตัวแทนของเมือง ($C_{v,max}$) ตารางที่ 25 แสดงผลการประมาณปริมาณพลังงานรวมและร้อยละความคลาดเคลื่อนของปริมาณพลังงานรวมที่ได้จากการใช้ค่าอัตราการใช้พลังงานที่มีวิธีการต่างกัน ผลของการคำนวณพบว่า เมื่อใช้ค่าอัตราการใช้พลังงานที่ได้จากการถ่วงน้ำหนักด้วย Traffic vol. จะมีร้อยละความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดอยู่ที่ 2.68% รองลงมาคือ การใช้ค่าเฉลี่ยแบบไม่ถ่วงน้ำหนัก และการใช้อัตราการใช้พลังงานจากเส้นทางตัวแทนที่มี Traffic vol. สูงๆมาเป็นตัวแทนที่มีความคลาดเคลื่อน 9.67 และ 13.07% ตามลำดับ

ตารางที่ 24 ชุดข้อมูลตัวอย่างที่ใช้คำนวณปริมาณพลังงานรวม

ชื่อถนน	ความเร็วเฉลี่ย (กม/ชม)	อัตราการใช้พลังงานของ เมือง (กม/ลิ)	ปริมาณจราจร (คัน/วัน)	ระยะทาง (กม)
ถนนจันทน์	20.07	7	9547	3.5
ถนนเจริญสนิทวงศ์	29.6	7.5	18201	10
ถนนเจริญนคร	36.64	9	7854	4
ถนนกำแพงเพชร	44.7	11	34098	4.3
ถนนกาญจนาภิเษก	63.43	10.5	22956	22

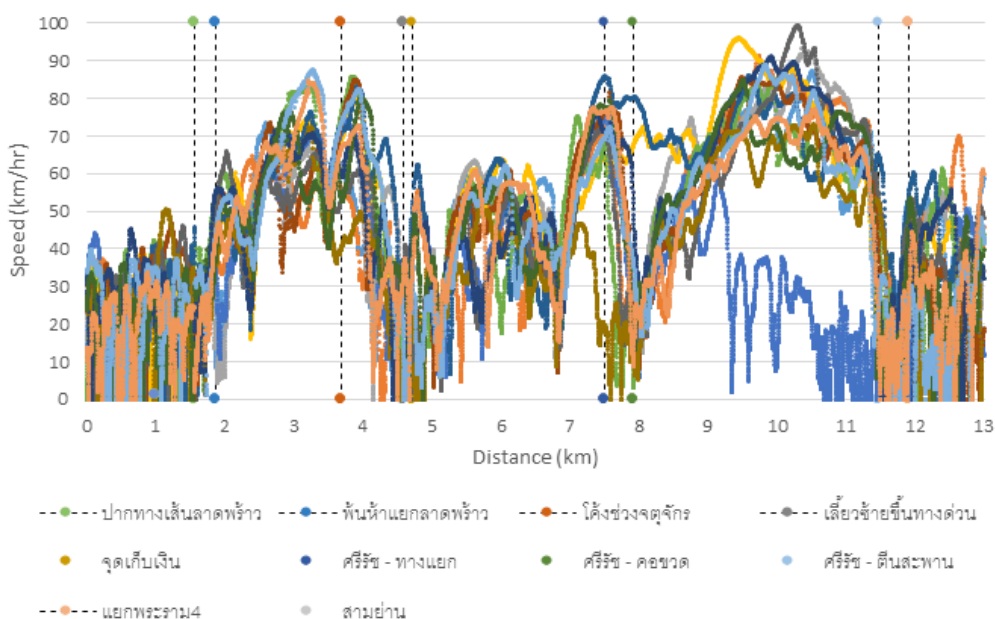
ตารางที่ 25 เปรียบเทียบผลการประมาณปริมาณพลังงานจากการคำนวณที่แตกต่างกัน

	อัตราการใช้พลังงาน (V/gm)	ปริมาณพลังงานรวม (l)	ความแตกต่าง (l)	%คลาดเคลื่อน (%)
ค่าจริง	-	93,959.67	-	-
Crep.	0.10738	96,480.53	2520.861	2.68%
Cavg.	0.11469	103,048.04	9088.374	9.67%
Cv,max	0.09091	81,681.26	12278.41	13.07%

ภาคผนวก จ การวิเคราะห์เกณฑ์การเลือกตัวแทนพฤติกรรมการขับขี่

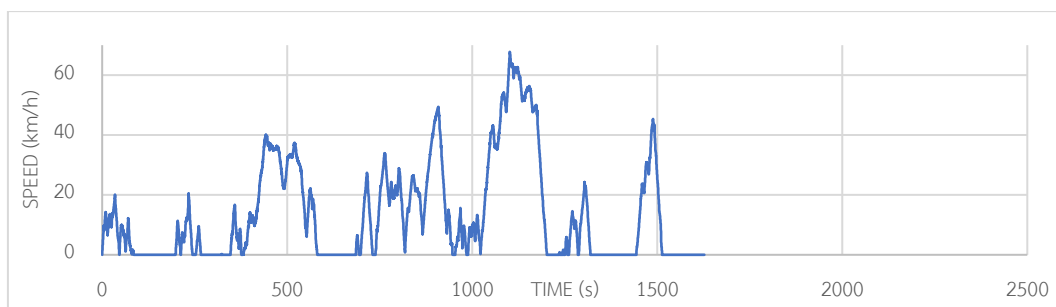
ในขั้นตอนการเลือก Velocity profile ที่ใช้เป็นตัวแทนของแต่ละพฤติกรรมการขับขี่ และเรียกว่ารูปแบบการขับขี่ และใช้สำหรับคำนวณหาอัตราการใช้พลังงานในแต่ละพฤติกรรมการขับขี่ รูปแบบการขับขี่จะได้มาจากการเก็บข้อมูลการขับขี่ของรถยนต์อาสาสมัครที่ใช้เดินทางจริงในกรุงเทพมหานคร จากนั้นจะทำการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อพิจารณาเกณฑ์การเลือกรูปแบบการขับขี่ โดยข้อพิจารณาหลักคือ อัตราการใช้พลังงานของรูปแบบการขับขี่บนพฤติกรรมการขับขี่ที่มีความเร็วเฉลี่ยรถวิ่งอยู่ในช่วงเดียวกัน ควรต้องมีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากหลักการวิเคราะห์ข้อมูลจราจรเพื่อจำแนกพฤติกรรมการขับขี่ใช้ความเร็วเฉลี่ยมาพิจารณา ฉะนั้น หากรถยนต์ที่ขับด้วยความเร็วเฉลี่ยที่อยู่ในช่วงเดียวกันจึงต้องมีอัตราการใช้พลังงานที่ใกล้เคียงกันด้วยเช่นกัน

จากการวิเคราะห์ข้อมูลการขับขี่เบื้องต้นของอาสาสมัคร ขั้นแรกทำการแบ่งรูปแบบการขับขี่ 1 เทียบออกเป็นช่วงๆ โดยแบ่งด้วยแยกจากรูปที่ 53 แสดงตัวอย่างรูปแบบการขับขี่ใน 1 เทียบ ซึ่งเป็นข้อมูลของอาสาสมัครที่เดินทางจากรัชดาไปยังสามย่าน และทำการแบ่งช่วงการขับขี่ออกเป็น 4 ช่วง คือ แยกรัชดาถึงห้าแยกลาดพร้าว, ห้าแยกลาดพร้าวถึงทางขึ้นทางด่วนศรีรัช ด้านกำแพงเพชร, เส้นทางบนทางด่วนศรีรัช ด้านกำแพงเพชรถึงหัวลำโพง และทางลงทางด่วนศรีรัช ด้านหัวลำโพงถึงสามย่าน และจากรูปแบบการขับขี่พบว่าในแต่ละจุดเริ่มต้นของช่วงการขับขี่จะเริ่มต้นจากจุดหยุดนิ่ง (ความเร็ว เท่ากับ 0) จากการวิเคราะห์รูปแบบการขับขี่ในแต่ละช่วงพบว่า มีความเร็วเฉลี่ย และพฤติกรรมการขับขี่ต่างกัน ฉะนั้นวิธีการเลือกรูปแบบการขับขี่ ขั้นตอนแรกจึงต้องทำการคัดแยกพฤติกรรมการขับขี่จากการขับขี่ในแต่ละเทียวก่อน และทำการเปรียบเทียบอัตราการใช้พลังงาน

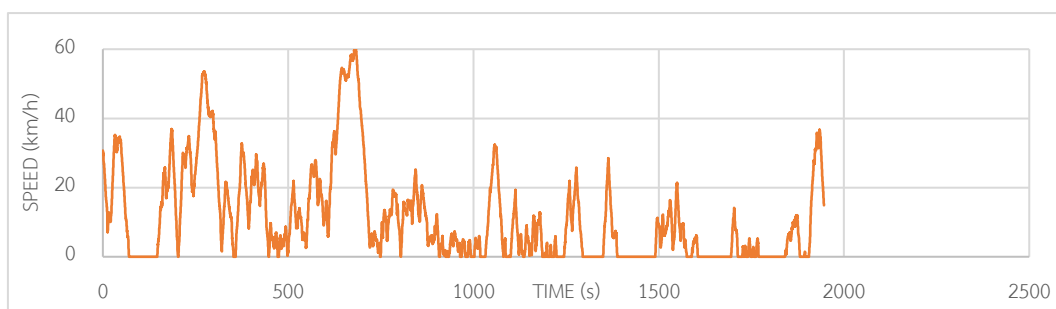


รูปที่ 53 แสดงระยะทางและความเร็วของเทียวกการขับขี่เส้นทาง แยกรัชดาถึงสามย่านช่วงเร่งด่วนเช้า

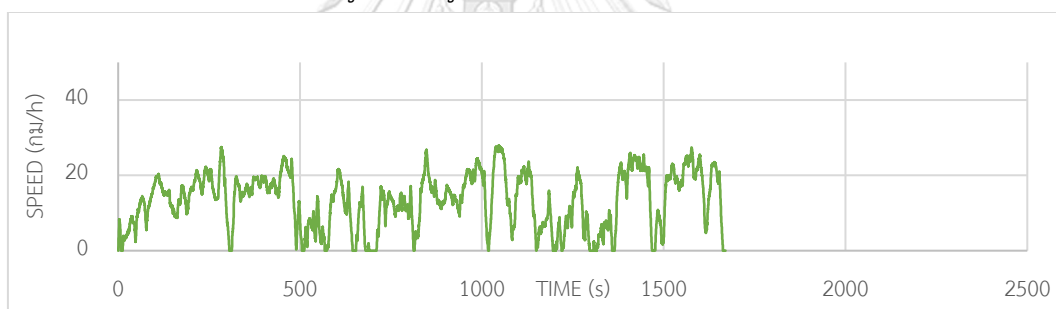
จากการวิเคราะห์อัตราการใช้พลังงานในแต่ละรูปแบบการขับเคลื่อนที่มีความเร็วเฉลี่ยอยู่ในช่วงเดียวกันพบว่า ที่ระยะทางสั้นๆ (น้อยกว่าหรือเท่ากับ 2 กม.) ค่าอัตราการใช้พลังงานมีความคลาดเคลื่อนสูงถึง 30% ซึ่งจากข้อพิจารณาหลัก รูปแบบการขับเคลื่อนที่มีความเร็วเฉลี่ยอยู่ในช่วงเดียวกันควรจะต้องมีอัตราการใช้พลังงานที่ใกล้เคียงกัน และควรมีค่าแตกต่างกันไม่เกิน 10% ฉะนั้นในการคัดกรองรูปแบบการขับเคลื่อนจึงต้องมีเกณฑ์ที่เหมาะสมในการคัดเลือก จากงานวิจัยก่อนหน้า [43,58] ได้ทำการแบ่งพฤติกรรมรถขับเคลื่อนด้วย 2 พารามิเตอร์คือ ความเร็วเฉลี่ย และจำนวนครั้งการหยุด (Stop count) แต่สำหรับงานวิจัยนี้ ด้วยข้อจำกัดของข้อมูลจึงทำให้การแบ่งพฤติกรรมรถขับเคลื่อนสามารถใช้ได้เพียงความเร็วเฉลี่ยอย่างเดียวนั้น จึงทำให้มีเพียงพารามิเตอร์เดียวที่ใช้เป็นเกณฑ์ในการจำแนก ฉะนั้น จึงไม่สามารถแบ่งพฤติกรรมรถขับเคลื่อนด้วยความเร็วเฉลี่ยและจำนวนครั้งการหยุดเหมือนงานวิจัยก่อนหน้าได้ จากการวิเคราะห์ข้อมูลการขับเคลื่อนของชุดข้อมูลตัวเบื้องต้นเพื่อคัดกรองรูปแบบการขับเคลื่อนทำให้เกิดสมมติฐานว่า “ระยะทางที่เพิ่มสูงขึ้น ของรูปแบบการขับเคลื่อนที่มีความเร็วเฉลี่ยอยู่ในช่วงเดียวกัน ความต่างของอัตราการใช้พลังงานจะลดลง” จากสมมติฐานดังกล่าวจึงทำให้ผู้วิจัยทำการวิเคราะห์การกระจายตัวและร้อยละความคลาดเคลื่อนของอัตราการใช้พลังงาน เมื่อระยะทางเพิ่มสูงขึ้นของรูปแบบการขับเคลื่อนที่ต่างกันแต่มีความเร็วเฉลี่ยอยู่ในช่วงเดียวกัน รูปที่ 54-56 และตารางที่ 26 แสดงตัวอย่างรูปแบบการขับเคลื่อนที่แตกต่างกันจำนวน 3 รูปแบบ ที่มีความเร็วเฉลี่ยอยู่ในช่วงเดียวกัน รูปแบบการขับเคลื่อนแบบที่ 1 มีความเร็วเฉลี่ย, ความเร็วสูงสุดและร้อยละเวลารอบเครื่องเดินเบามากที่สุด แต่มีจำนวนครั้งการหยุดน้อยที่สุด การขับเคลื่อนในรูปแบบการขับเคลื่อนนี้อยู่ในสภาพจราจรที่มีการจอดหยุดนิ่งตามแยกที่มีสัญญาณไฟจราจร สำหรับรูปแบบการขับเคลื่อนแบบที่ 2 ความเร็วเฉลี่ยมีค่าน้อยที่สุด และมีจำนวนครั้งการหยุดมากที่สุด สภาพการขับเคลื่อนจริงของรูปแบบการขับเคลื่อนนี้อยู่ในสภาพจราจรติดขัดและมีปริมาณจราจรหนาแน่น จึงทำให้มีจำนวนครั้งการหยุดสูงที่สุด สำหรับรูปแบบการขับเคลื่อนแบบที่ 3 ความเร็วเฉลี่ยและร้อยละเวลารอบเครื่องเดินเบา มีค่าน้อยที่สุด ซึ่งสภาพการขับเคลื่อนจริงของรูปแบบการขับเคลื่อนนี้อยู่ในสภาพจราจรหนาแน่นระดับปานกลาง สามารถขับเคลื่อนโดยใช้ความเร็วได้ค่อนข้างคงที่ แต่ใช้ความเร็วได้ไม่สูงมาก จากข้อมูลอาสาสมัครที่มีอยู่จะทำการวิเคราะห์การกระจายตัวของอัตราการใช้พลังงาน 4 ช่วงความเร็วเฉลี่ย และความยาวของระยะทาง 3 ค่า ที่มีรูปแบบการขับเคลื่อนต่างกัน รวมข้อมูลที่ทำกรวิเคราะห์ทั้งหมด 72 ชุดข้อมูล ดังแสดงในตารางที่ 27



รูปที่ 54 รูปแบบการขับขี่ แบบที่ 1



รูปที่ 55 รูปแบบการขับขี่ แบบที่ 2



รูปที่ 56 รูปแบบการขับขี่ แบบที่ 3

ตารางที่ 26 สภาพการขับขี่ของรูปแบบการขับขี่ในความเร็ว 10-15 กม/ชม ระยะทาง 6 กม

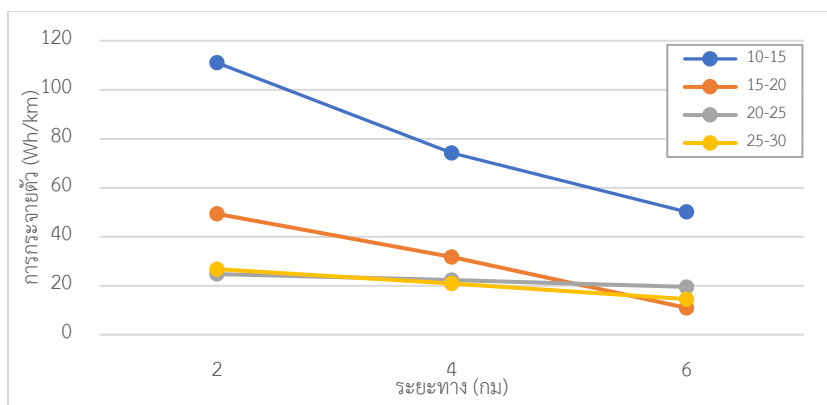
รูปแบบการขับขี่	แบบที่ 1	แบบที่ 2	แบบที่ 3
ความเร็วเฉลี่ย (กม/ชม)	13.35	11.27	13.26
ความเร่งเฉลี่ย (+)	0.64	0.83	0.844
ความเร็วสูงสุด (กม/ชม)	67.76	61.59	27.94
จำนวนครั้งการหยุด (ครั้ง)	20	35	22
%รอบเครื่องเดินเบา	38.54%	29.97%	23.23%

ตารางที่ 27 ชุดข้อมูลวิเคราะห์การขับชี้

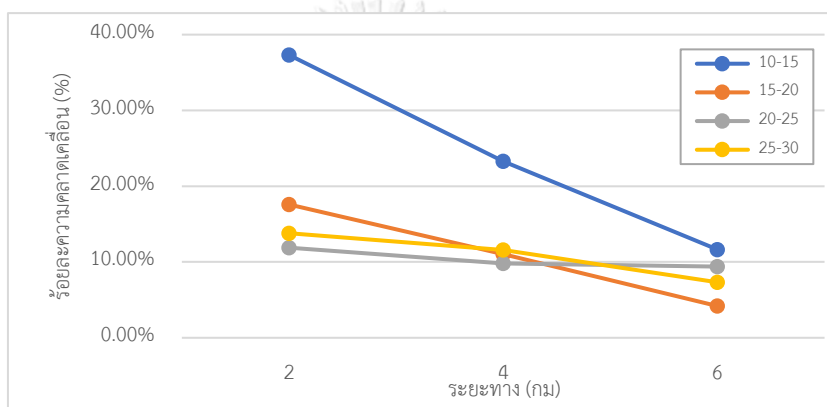
ลำดับที่	ความเร็วเฉลี่ย (กม/ชม)	ระยะทาง (กม)	จำนวนรูปแบบการขับชี้
1	10-15	2,4 และ 6	18 ชุด
2	15-20		18 ชุด
3	20-25		18 ชุด
4	25-30		18 ชุด

ผลการวิเคราะห์การกระจายตัวของอัตราการใช้พลังงานเมื่อระยะทางเพิ่มสูงขึ้น พบว่า เมื่อระยะทางเพิ่มสูงขึ้นการกระจายตัวของอัตราการใช้พลังงานมีค่าลดลง ดังแสดงในรูปที่ 12 อัตราการใช้พลังงานของรูปแบบการขับชี้ที่มีความเร็วเฉลี่ยอยู่บนช่วงเดียวกันมีความต่างลดลงเมื่อระยะทางเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งแสดงว่าผลการวิเคราะห์เป็นไปตามสมมติฐาน ฉะนั้น ในการคัดกรองรูปแบบการขับชี้ระยะทางมีผลต่ออัตราการใช้พลังงาน ในการคัดเลือกรูปแบบการขับชี้ที่จะใช้เป็นตัวแทนแสดงพฤติกรรมการขับชี้ สำหรับพฤติกรรมแต่ละแบบจะต้องมีการคำนึงถึงระยะทางของรูปแบบการขับชี้ด้วย

สำหรับระยะทางที่เหมาะสมของรูปแบบการขับชี้ที่จะใช้เป็นตัวแทนของพฤติกรรมการขับชี้ พฤติกรรมการขับชี้ที่มีความเร็วเฉลี่ย น้อยกว่าหรือเท่ากับ 15 กม/ชม ระยะทางของรูปแบบการขับชี้ที่เหมาะสมคือ มากกว่า 6 กม จากรูปที่ 57 ที่ความเร็วเฉลี่ย 10-15 กม/ชม การกระจายตัวของอัตราการใช้พลังงานมีค่าสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับรูปแบบการขับชี้อื่นๆ ในทุกๆระยะทางที่เพิ่มสูงขึ้น แต่มีค่าการกระจายตัวลดน้อยลงเมื่อระยะทางเพิ่มสูงขึ้น โดยคิดเป็นร้อยละการลดลงเฉลี่ย 32.80% ในทุกๆ 2 กม. และจากรูปที่ 58 แสดงร้อยละความคลาดเคลื่อนของอัตราการใช้พลังงานเมื่อระยะทางเพิ่มสูงขึ้นของรูปแบบการขับชี้ที่อยู่ในช่วงความเร็วเฉลี่ยทั้ง 4 ช่วง จากการคำนวณระยะทางที่ทำให้ร้อยละความคลาดเคลื่อนของอัตราการใช้พลังงานในช่วงความเร็วเฉลี่ย 10-15 กม/ชม มีค่าไม่เกิน 10% คือรูปแบบการขับชี้ที่มีระยะทางมากกว่า 6 กม



รูปที่ 57 การกระจายตัวของอัตราการใช้พลังงานเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้น



รูปที่ 58 ร้อยละความคลาดเคลื่อนของอัตราการใช้พลังงานเมื่อระยะทางเพิ่มสูงขึ้นของรูปแบบการขับขี่ที่อยู่ในช่วงความเร็วเฉลี่ย 4 ช่วง

สำหรับรูปแบบการขับขี่ในช่วงความเร็วเฉลี่ยที่มีค่ามากกว่า 15 กม/ชม จากรูป 12 และ 13 พบว่าในทุกๆช่วงความเร็วที่รูปแบบการขับขีมีระยะทาง 6 กม การกระจายตัวของอัตราการใช้พลังงานจะมีค่าใกล้เคียงกัน และมีร้อยละความคลาดเคลื่อนของอัตราการใช้พลังงานน้อยกว่า 10% สำหรับรูปแบบการขับขี่ที่มีความเร็วเฉลี่ย 15-20, 20-25 และ 25-30 กม/ชม จะมีร้อยละความคลาดเคลื่อนของอัตราการใช้พลังงาน 4.19, 9.39 และ 7.32% ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ที่ความเร็วเฉลี่ยมากกว่า 15 กม/ชม ระยะทางเหมาะสมที่น้อยที่สุดที่ทำให้ร้อยละความคลาดเคลื่อนของอัตราการใช้พลังงานมีค่าน้อยกว่า 10% คือ 6 กม

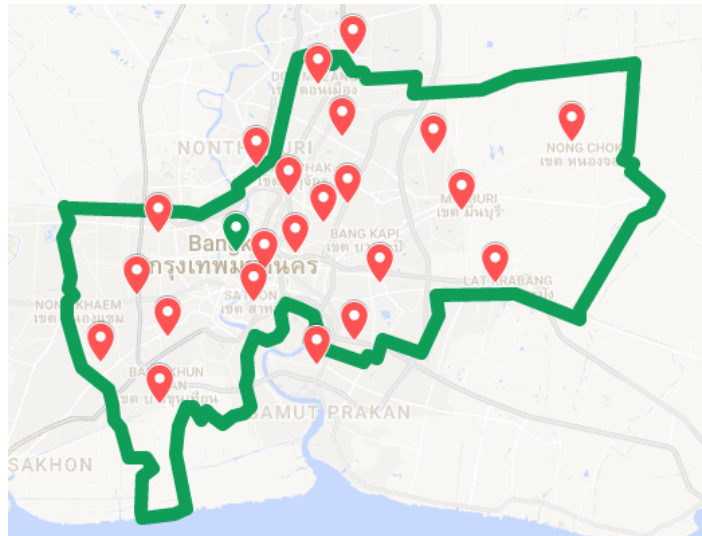
ฉะนั้นสำหรับเกณฑ์การเลือกรูปแบบการขับขี่ที่จะใช้เป็นตัวแทนแสดงพฤติกรรม การขับขี่ในแต่ละแบบจะต้องมีการพิจารณาระยะทางที่เหมาะสมด้วย และสามารถสรุปได้ว่าระยะทางที่เหมาะสมคือ มากกว่า 6 กม ที่ทำให้ร้อยละความคลาดเคลื่อนของอัตราการใช้พลังงานในแต่ละรูปแบบการขับขี่ที่ต่างกันแต่มีความเร็วเฉลี่ยอยู่ในช่วงเดียวกันมีค่าน้อยกว่า 10% และเมื่อทำการคำนวณอัตราการใช้

พลังงานจากตัวแทนของรูปแบบการขับขี่ที่เลือกนี้จะทำให้การแสดงผลพฤติกรรมการขับขี่มีความถูกต้องแม่นยำ

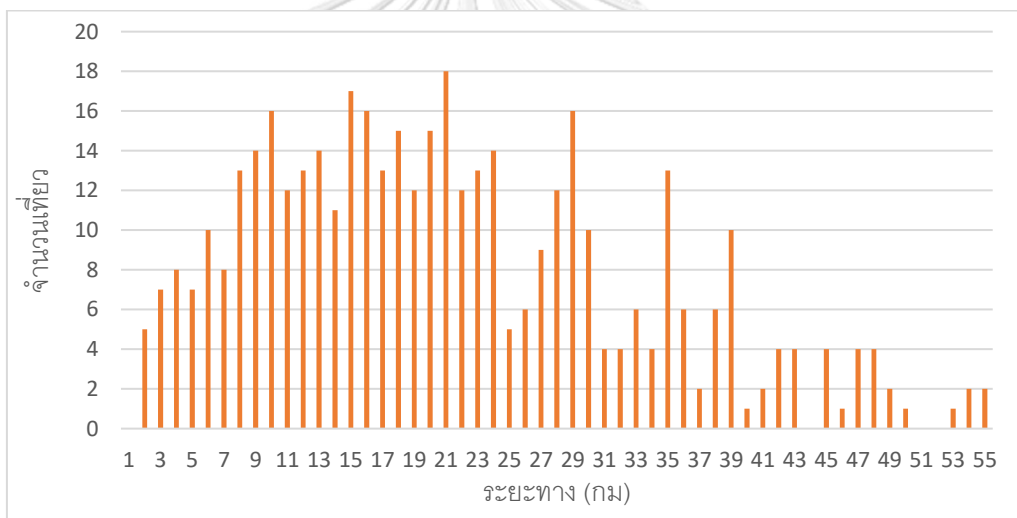
จากการสำรวจระยะทางในการเดินทางต่อเที่ยวของการขับขี่รถยนต์ในกรุงเทพมหานครจากการเก็บข้อมูลการขับขี่ของผู้ใช้เส้นทางเดินทางจริงจำนวน 59 คน จำนวนเที่ยวการขับขี่ 425 เที่ยว ระยะเวลาที่ใช้เดินทางรวม 9,095 กม รวมเป็นเวลา 1,002 ชม ด้วยการติด OBD II ดังแสดงพื้นที่ที่เก็บข้อมูลในรูปที่ 59 ซึ่งพบว่า ข้อมูลครอบคลุมพื้นที่ที่ทำการศึกษ โดยจะมีจำนวนข้อมูลหนาแน่นที่พื้นที่ในเมืองในเขต สาทร, ลาดพร้าว และจตุจักร และจากตารางที่ 29 ผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบปริมาณของรถยนต์ที่เดินทางมากกว่า 6 กม เมื่อจำนวนข้อมูล 60, 70, 80, 90, 95 และ 100% พบว่า จำนวนข้อมูล 60-80% ร้อยละปริมาณระยะทางที่เดินทางมากกว่า 6 กม/เที่ยว มีค่าไม่คงที่ แต่เมื่อจำนวนข้อมูล 90, 95 และ 100% ร้อยละปริมาณระยะทางที่เดินทางมากกว่า 6 กม/เที่ยว มีค่าใกล้เคียงกันคือประมาณ 91% และจากรูปที่ 60 แสดงการกระจายตัวของจำนวนเที่ยวการขับขี่แบ่งตามระยะทาง ของจำนวนข้อมูล 100% ที่แสดงให้เห็นว่า รถยนต์ที่ใช้งานในกรุงเทพมหานครส่วนใหญ่จะเดินทางมากกว่า 6 กม/เที่ยว นอกจากนี้จะใช้ข้อมูลดังกล่าวเพื่อพิจารณาระยะทางในการเดินทางต่อเที่ยวแล้ว ยังสามารถใช้เพื่ออธิบายถึงพฤติกรรมการเดินทางได้อีกด้วย พบว่า ระยะทางการขับขี่ส่วนใหญ่จะอยู่ที่ 8-24 กม/เที่ยว ที่มีจำนวนเที่ยวการขับขี่มากกว่า 10 เที่ยว คิดเป็น 55.61% เมื่อพิจารณาที่ระยะทางมากกว่า 24 กม/เที่ยว จะมีสัดส่วนที่น้อยกว่าถึง 21.73% จากการพิจารณาข้อมูลการขับขี่พบว่า ระยะทางการขับขี่ตั้งแต่ 8-24 กม/เที่ยว เป็นการขับขี่ของคนอยู่อาศัยและทำงานในเมือง สำหรับระยะทางการเดินทางต่อเที่ยวที่เพิ่มสูงขึ้นเป็นผลเนื่องมาจากผู้คนที่อาศัยในเขตชานเมืองและเดินทางมาทำงานในเมือง แต่สำหรับที่ระยะทางการเดินทางตั้งแต่ 2-7 กม/เที่ยว เป็นการเดินทางระยะทางสั้นๆในระหว่างวันเป็นส่วนใหญ่คิดเป็น 78.58% ของการเดินทางไม่เกิน 7 กม/เที่ยว และจากผลการวิเคราะห์สามารถสรุปได้ว่า ระยะทางที่ผู้คนส่วนใหญ่ใช้เดินทางในกรุงเทพมหานครจะมากกว่า 6 กม/เที่ยว คิดเป็น 91.12% และการคำนวณอัตราการใช้พลังงานของรูปแบบการขับขี่ที่ระยะทางมากกว่า 6 กม สามารถใช้เป็นตัวแทนของพฤติกรรมการขับขี่ที่จะนำไปคำนวณอัตราการใช้พลังงานของเมืองได้

ตารางที่ 28 ร้อยละปริมาณเที่ยวการเดินทางที่มากกว่า 6 กม/เที่ยว

จำนวนข้อมูล	ปริมาณเที่ยวการเดินทางที่มากกว่า 6 กม/เที่ยว	จำนวนข้อมูล	ปริมาณเที่ยวการเดินทางที่มากกว่า 6 กม/เที่ยว
60%	95.09%	90%	91.82%
70%	93.22%	95%	91.36%
80%	94.39%	100%	91.12%



รูปที่ 59 พื้นที่เก็บข้อมูลการใช้เส้นทางเดินทางใน กรุงเทพมหานคร



รูปที่ 60 แสดงการกระจายตัวของระยะทางในการขับขี่ต่อเที่ยวของคนเดินทางใน กรุงเทพมหานคร

ภาคผนวก ฉ การแปลงหน่วยอัตราการใช้พลังงาน

ปกติแล้วอัตราการใช้พลังงานของรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายใน จะเป็นอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงในหน่วย l/km หรือ l/100km หรือ km/l แต่สำหรับงานวิจัยนี้ เพื่อเปรียบเทียบปริมาณพลังงานของรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายในกับรถยนต์ไฟฟ้า ฉะนั้นจึงมีความจำเป็นต้องแปลงหน่วยจากอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงไปเป็นอัตราการใช้พลังงานในหน่วย kWh/km โดยวิธีการเปลี่ยนหน่วยจาก l/km เป็น kWh_equivalent/km จะใช้ค่า Gasoline Gallon Equivalent ที่มีค่า 33.41 kWh/gal มาคำนวณ

ตัวอย่างวิธีการคำนวณอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงเป็นอัตราการใช้พลังงาน

อัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงของรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายในมีค่า 0.11 l/km

วิธีทำ ค่า GGE = 33.41 kWh/gal

คำนวณค่าคงที่ในการแปลงหน่วยจาก l/km เป็น kWh_equivalent/km

$$\frac{33.41 \text{ kWh}}{1 \text{ gal}} \times \frac{1 \text{ gal}}{3.7854 \text{ l}} \approx 8.8260 \text{ kWh / l}$$

ฉะนั้น เมื่อต้องการแปลงหน่วยจาก 0.11 l/km เป็น kWh_equivalent/km จะได้

$$0.11 \frac{\text{l}}{\text{km}} \times 8.8260 \frac{\text{kWh}}{\text{l}} \approx 0.9709 \text{ kWh / km}$$

ภาคผนวก ข ข้อมูลปริมาณจราจรในแต่ละช่วงความเร็วแบ่งตามช่วงเวลา

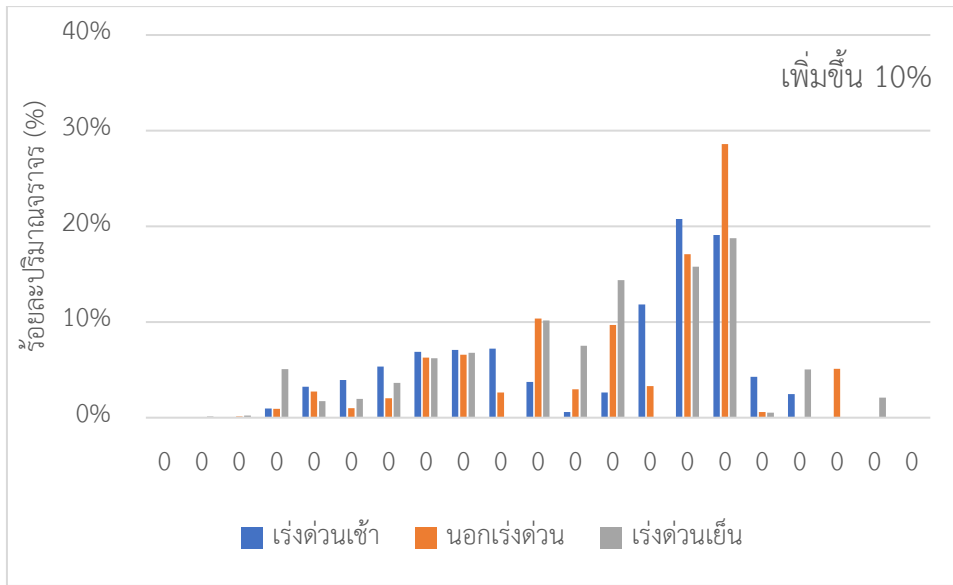
ตารางที่ 29

ช่วงความเร็ว (km/hr)	ปริมาณจราจร (คัน/ชม)			ช่วงความเร็ว (km/hr)	ปริมาณจราจร (คัน/ชม)		
	เร่งด่วน เช้า	นอกเร่ง ด่วน	เร่งด่วน เย็น		เร่งด่วน เช้า	นอกเร่ง ด่วน	เร่งด่วน เย็น
1-5	0	0	0	56-60	15,805	30,080	17,115
6-10	0	0	1,052	61-65	85,589	44,094	18,641
11-15	0	6,707	11,081	66-70	76,853	104,871	87,169
16-20	22,278	13,189	36,276	71-75	11,641	2,972	1,594
21-25	15,693	22,722	16,162	76-80	3,951	1,783	0
26-30	54,276	10,785	33,303	81-85	16,410	15,843	18,781
31-35	9,244	43,663	25,513	86-90	0	0	6,441
36-40	47,532	25,745	46,550	91-95	0	0	0
41-45	15,101	18,713	0	96-100	0	0	0
46-50	36,246	50,684	31,125	>100	0	0	0
51-55	4,154	11,644	52,602				

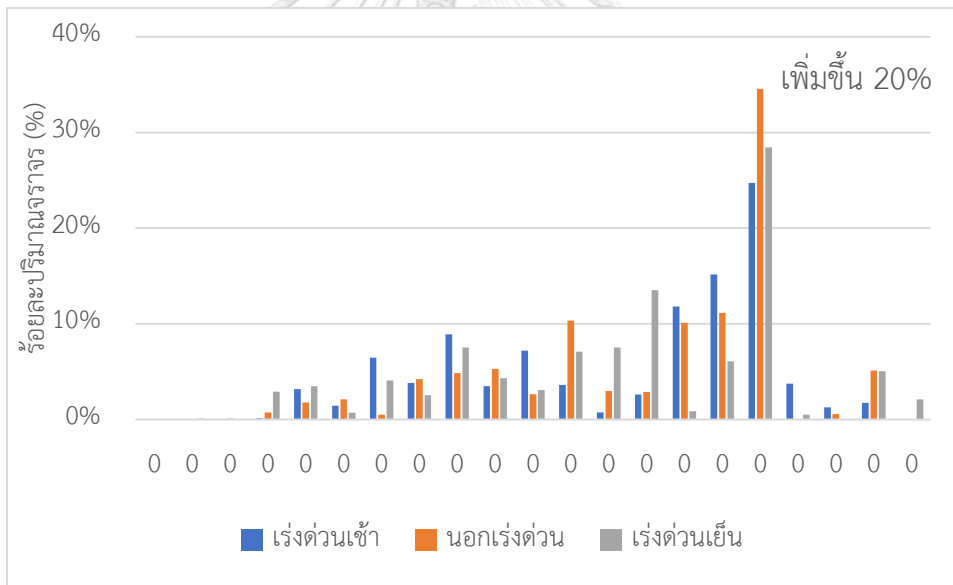
ภาคผนวก ช ความเร็วเฉลี่ยและระยะทางของพฤติกรรมกำรขับขีในแต่ละช่วงความเร็ว

ตารางที่ 30

รูปแบบ การขับขี	ช่วง ความเร็ว	ความเร็วเฉลี่ย (km/h)	ระยะทาง (km)	รูปแบบ การขับขี	ช่วง ความเร็ว	ความเร็วเฉลี่ย (km/h)	ระยะทาง (km)
1	6-10	8.11	6.00	10	51-55	54.53	6.02
2	11-15	13.03	8.23	11	56-60	57.95	6.19
3	16-20	17.86	6.00	12	61-65	64.09	6.59
4	21-25	23.24	10.67	13	66-70	68.57	6.03
5	26-30	28.44	6.08	14	71-75	73.11	6.50
6	31-35	33.49	6.05	15	76-80	77.07	10.10
7	36-40	38.11	6.01	16	81-85	83.64	6.00
8	41-45	43.05	6.17	17	86-90	89.24	6.01
9	46-50	47.64	6.06				



รูปที่ 62 ปริมาณจากรในกรณีที่สภาพจากรคล่องตัวเพิ่มขึ้น 10%



รูปที่ 63 ปริมาณจากรในกรณีที่สภาพจากรคล่องตัวเพิ่มขึ้น 20%

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายภูติศ จตุสัทธิธางกูรณ์ เกิดเมื่อวันที่ 11 เมษายน พ.ศ.2535 ที่จังหวัดสมุทรปราการ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร เมื่อปี พ.ศ.2557 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในปี พ.ศ.2558 และมีผลงานวิชาการเผยแพร่ได้แก่

[1]ภูติศ จตุสัทธิธางกูรณ์, ศรวีสัย ตรีนิก และอังคีร์ ศรีภคการ "การวิเคราะห์พฤติกรรม การข้อขี้เพื่อประมาณปริมาณพลังงานเมื่อใช้รถยนต์ไฟฟ้าแทนรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายใน ในกรุงเทพมหานคร", การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13 (E-NETT13), 2560. (บทความดีเด่นสาขาการจัดการพลังงานและนโยบายพลังงาน)



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY