

การศึกษาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักต่ออัตราการใช้พลังงานของรถยนต์สันดาปภายใน  
และรถยนต์ไฟฟ้าภายใต้การขับขี่จริงในกรุงเทพมหานคร



นายศรวิทย์ ตรีนก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

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 2559

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

IMPACT OF LOAD CHANGES ON ENERGY CONSUMPTION OF DIVERSE POWERTRAIN  
VEHICLES UNDER REAL WORLD DRIVING IN BANGKOK.

Mr. Soravas Treenok



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 2016

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การศึกษาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักต่ออัตรา  
การใช้พลังงานของรถยนต์สันดาปภายในและรถยนต์ไฟฟ้า  
ภายใต้การขับที่จริงในกรุงเทพมหานคร

โดย

นายศรวัสย์ ตรีนก

สาขาวิชา

วิศวกรรมเครื่องกล

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

รองศาสตราจารย์ ดร.อังคิรี ศรีภคการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัย  
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนัดต์ รัตนสุมาวงศ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร.อังคิรี ศรีภคการ)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สันทพศ จันทรานูวัฒน์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ดร.ชินะ เพ็ญชาติ)

ศรวิทย์ ตรีนก : การศึกษาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักต่ออัตราการใช้พลังงานของรถยนต์สันดาปภายในและรถยนต์ไฟฟ้าภายใต้การขับขี่จริงในกรุงเทพมหานคร (IMPACT OF LOAD CHANGES ON ENERGY CONSUMPTION OF DIVERSE POWERTRAIN VEHICLES UNDER REAL WORLD DRIVING IN BANGKOK.) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร.อังคีร์ ศรีภคการ, 117 หน้า.

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ศึกษาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักต่ออัตราการใช้พลังงานของรถยนต์สันดาปภายในและรถยนต์ไฟฟ้า โดยวิธีการสร้างแบบจำลองกำลังจำเพาะของยานยนต์เพื่อเป็นฐานข้อมูลในการทำนายหาอัตราการใช้พลังงานของรถยนต์ทั้งสองประเภท นอกจากนี้ในปัจจุบันรถยนต์ไฟฟ้าเข้ามามีบทบาทสำคัญ แต่เนื่องจากรถยนต์ไฟฟ้ามีราคาสูงจึงเกิดคำถามว่ารถยนต์ไฟฟ้าจะมาแทนที่รถยนต์สันดาปภายในได้อย่างไร ดังนั้นจึงมีการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบอัตราการใช้พลังงานควบคู่ไปกับการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของรถยนต์ทั้งสองประเภท ซึ่งเป็นวิธีการที่จะบ่งบอกว่ารถยนต์ไฟฟ้าจะทำให้ลดการใช้พลังงานรวมถึงค่าใช้จ่ายได้จริงเมื่อเปรียบเทียบกับรถยนต์สันดาปภายในด้วยการขับขี่จริงในกรุงเทพมหานคร น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นกับรถยนต์ทั้งสองประเภทได้ถูกแบ่งออกเป็นสามค่านั้นคือ 10% 20% และ 30% ของน้ำหนักรถยนต์ทดสอบเริ่มต้น นอกจากนี้เพื่อให้สะท้อนความเป็นกรุงเทพมหานครจึงได้แบ่งรูปแบบการจราจรที่ใช้ในการทดสอบได้แก่ รูปแบบการจราจรในเมือง รูปแบบการจราจรชานเมือง และรูปแบบการจราจรบนทางหลวง การทดสอบทั้งหมดใช้ระยะทางทดสอบรวมมากกว่า 1,345 กิโลเมตร ระยะเวลาในการเก็บข้อมูลมากกว่า 30 วัน และมีจำนวนข้อมูลมากกว่า 39,000 จุด ผลการทดสอบพบว่าแบบจำลองกำลังจำเพาะของรถยนต์สันดาปภายในมีค่าความผิดพลาดอยู่ในช่วง 0.8 - 6 % และแบบจำลองกำลังจำเพาะของรถยนต์ไฟฟ้ามีค่าความผิดพลาดอยู่ในช่วง 0.8 - 12 % สำหรับการเปรียบเทียบอัตราการใช้พลังงาน เมื่อเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของรถยนต์ทั้งสองประเภทพบว่าการอัตราการใช้พลังงานของรถยนต์สันดาปภายในมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 4.7 - 103% ในขณะที่อัตราการใช้พลังงานของรถยนต์ไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 1.5 - 49% สำหรับการคำนวณต้นทุนการเป็นเจ้าของพบว่ารถยนต์ไฟฟ้ามีค่าต้นทุนการเป็นเจ้าของต่ำกว่ารถยนต์สันดาปภายในคิดเป็น 5.18% เมื่อควบคู่กับปัจจัยของน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น 30% ของน้ำหนักรถยนต์เริ่มต้นจากการศึกษาพบว่าปัจจัยของน้ำหนักส่งผลต่ออัตราการใช้พลังงานของรถยนต์อย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้หากรัฐบาลสนับสนุนโครงสร้างภาษีสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าในอนาคตจะทำให้ต้นทุนการเป็นเจ้าของของรถยนต์ไฟฟ้าต่ำกว่ารถยนต์สันดาปภายใน นอกจากนี้การทดสอบด้วยวิธีการขับขี่จริงพบว่าเมื่อน้ำหนักเพิ่มมากขึ้นทำให้พฤติกรรมการขับขี่ภาคีวิชา วิศวกรรมเครื่องกล ..... ลายมือชื่อ..... เปลี่ยนแปลงซึ่งมีผลรวมกับการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักส่งผลให้อัตราการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นอีกด้วย สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล ..... ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

# # 5870359021 : MAJOR MECHANICAL ENGINEERING

KEYWORDS: VSP MODEL / WEIGHT / ENERGY CONSUMPTION / ELECTRIC VEHICLES / INTERNAL COMBUSTION ENGINE VEHICLE

SORAVAS TREENOK: IMPACT OF LOAD CHANGES ON ENERGY CONSUMPTION OF DIVERSE POWERTRAIN VEHICLES UNDER REAL WORLD DRIVING IN BANGKOK.. ADVISOR: ASSOC. PROF. ANGKEE SRIPAKAGORN, Ph.D., 117 pp.

This research studied the effect of weight variation to the power consumption of the internal combustion engine (ICE) and electric vehicle (EV) by using VSP Model. The VSP Model is used for predicting the energy consumption of both vehicles. Now a day, the EV is going to take an important role in the daily life, although the price of EV is still very high. Therefore, how could the EV replace ICE vehicle? Hence, this research studied the effects of weight variation to the power consumption of both vehicles, which is the method that can represent how EV can reduce the energy consumption and cost compared to the ICE vehicle. This research studied on the real driving situations in Bangkok. The weight variations are divided into 3 variations, 10%, 20% and 30% of the vehicle weight. In addition, to represent the driving behaviors in Bangkok, the traffic profiles are also divided into 3 groups, city, suburban and highway. The experiments contain 1,345 kilometers of driving, taken over 30 days of testing and 39,000 points of data. The results show that the VSP Model of the ICE vehicle has the error between 0.8 - 6 %. The VSP Model of the EV has the error between 0.8 - 12 %. For the comparison of the energy consumption of the different variations of the vehicle weight, the variation of the energy consumption of the ICE vehicle is between 4.7 – 103 %. However, the variation of the energy consumption of the ICE vehicle is between 1.5 – 49 %. For the cost of the ownership, the EV vehicle has the lower cost of the ownership than the ICE vehicle, 5.18 % lower, with an addition of 30% weight. The result shows that the additional weight significantly affects the energy consumption of the vehicle. If the government supports the usage of EV by modifying EV tax incentives in the future, the cost of the ownership will be decreased less than the ICE vehicle.

Department: Mechanical Engineering Student's Signature  
In addition, the behavior of the driver changed according to the additional weight,

Field of Study: Mechanical Engineering Advisor's Signature  
together with the additional weight itself, affect the energy consumption of the vehicle.

Academic Year: 2016

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาอย่างสูงจาก รองศาสตราจารย์ ดร.อังศิ์ ศรีภคการ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้ความรู้ คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ ตลอดจนคอยติดตามสอบถามความคืบหน้างานวิจัยอย่างสม่ำเสมอ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำวิจัย อีกทั้งยังช่วยปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ระหว่างการดำเนินงานด้วยความเอาใจใส่อย่างดียิ่ง ผู้วิจัยตระหนักถึงความตั้งใจจริงและความทุ่มเทของอาจารย์ และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนัดต์ รัตนสุมาวงศ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สันเทพศ จันทรานูวัฒน์ และ ดร.ชินะ เพ็ญชาติ ที่กรุณารับเป็นกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์ และให้คำแนะนำ คำปรึกษา เป็นอย่างดีมาโดยตลอด

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นักสิทธิ์ นุ่มวงษ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำ คำปรึกษา รวมทั้งช่วยปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องของการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ ผู้อำนวยการฝ่ายวิจัยและพัฒนา การไฟฟ้านครหลวง และเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องสำหรับการสนับสนุนรถยนต์ไฟฟ้าที่ใช้เก็บข้อมูล รวมถึงคำแนะนำ และความช่วยเหลือในทุก ๆ ด้านของการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ คุณมนัส ดาวมณี ที่ปรึกษาอาวุโส และ คุณเกรียงศักดิ์ ชาวนา ฝ่ายบริการด้านเทคนิค บริษัท โตโยต้า มอเตอร์ ประเทศไทย จำกัด ในการสนับสนุนรถยนต์ทดสอบ และอุปกรณ์ที่ใช้เก็บข้อมูล รวมถึงความรู้ทางเทคนิคด้านรถยนต์สันดาปภายใน

ขอขอบคุณ นางสาวสิริอร ปิตานูวัตร ที่กรุณาให้คำปรึกษา วิธีการ รวมทั้งขั้นตอนการทดสอบ และความช่วยเหลือในทุก ๆ ด้านของการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ นายเสฏฐวุฒิ ลาภวิสุทธิสโรจน์ นายวชิรา นิลประพันธ์ นายธิติภัทร์ ธิตะจารี นายภูติศ จตุสิทธิ์ทางกูรณ์ นายกันต์ ชัยสุวรรณ และ นายคณิน เกียรติอร่ามกุล ที่ให้ความช่วยเหลือในการเก็บข้อมูล การประมวลผลข้อมูล รวมทั้งเป็นกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่คอยเป็นกำลังใจ ให้คำปรึกษา และคอยสนับสนุนผู้วิจัยในทุก ๆ ด้าน ตลอดจนบุคคลต่าง ๆ ที่ให้ความช่วยเหลืออีกมาก ที่ผู้วิจัยไม่สามารถกล่าวนามได้หมดในที่นี้ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาและความปรารถนาดีของท่านเป็นอย่างยิ่ง จึงขอกราบขอบพระคุณไว้ในโอกาสนี้

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญภาพ .....	11
หน้า .....	11
สารบัญตาราง.....	15
หน้า .....	15
บทที่ 1 บทนำ.....	16
1.1 ที่มาและความสำคัญ .....	16
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย .....	20
1.3 ขอบเขตของการวิจัย .....	20
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	20
1.5 แผนงานและการจัดการ.....	21
บทที่ 2 ปรีทัศน์วรรณกรรม .....	22
2.1 การเปลี่ยนแปลงอัตราการใช้พลังงานจากผลของน้ำหนัก.....	22
2.2 วิธีการคำนวณอัตราการใช้พลังงานจากแบบจำลองกำลังจำเพาะสำหรับยานยนต์(Vehicle Specific Power : VSP).....	24
บทที่ 3 วิธีการทดสอบ .....	27
3.1 ปัจจัยที่ใช้ในการทดสอบ .....	27
3.1.1 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก .....	27
3.1.2 ข้อมูลจำเพาะของรถยนต์ทดสอบ .....	28
3.1.3 การเลือกเส้นทาง.....	30

3.2	วิธีการเก็บข้อมูล .....	34
	ก) รถยนต์สันดาปภายใน .....	34
	ข) รถยนต์ไฟฟ้า .....	36
3.3	วิธีการคำนวณ.....	38
3.3.1	วิธีการกรองข้อมูลของความเร็ว .....	38
3.3.2	วิธีการคำนวณอัตราการใช้พลังงาน .....	40
	ก) รถยนต์สันดาปภายใน .....	40
	ข) รถยนต์ไฟฟ้า .....	41
3.3.3	วิธีการสร้างแบบจำลองค่ากำลังจำเพาะของยานยนต์ (Vehicle Specific Power).....	41
3.3.4	การบอกความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองกำลังจำเพาะของยานยนต์ .....	45
3.3.5	วิธีการทำนายปริมาณการใช้พลังงาน.....	46
	ก) วิธีการทำนายปริมาณการใช้พลังงานจากน้ำมันโดยใช้ VSP – Model .....	46
	ข) วิธีการทำนายปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยใช้ VSP – Model.....	47
3.3.6	วิธีการเปรียบเทียบอัตราการใช้พลังงานของรถยนต์สันดาปภายในและรถยนต์ไฟฟ้า ..	47
บทที่ 4	ผลการทดสอบ.....	50
4.1	แบบจำลองกำลังจำเพาะสำหรับยานยนต์ .....	50
	4.1.1 แบบจำลองค่ากำลังจำเพาะของรถยนต์สันดาปภายใน .....	50
	4.1.2 แบบจำลองค่ากำลังจำเพาะของรถยนต์ไฟฟ้า.....	53
4.2	การเปรียบเทียบอัตราการใช้พลังงาน .....	55
	4.2.1 ผลการเปรียบเทียบอัตราการใช้พลังงาน.....	56
	4.2.2 ผลการเปรียบเทียบการใช้พลังงานด้วยวิธีต้นทุนการเป็นเจ้าของ .....	62
4.3	การวิเคราะห์ลักษณะการแจกแจงของแบบจำลองกำลังจำเพาะสำหรับยานยนต์ในการ ขับเคลื่อนเทียบกับการขับเคลื่อนเครื่องแฮสซีไดนามิเตอร์ (Chassis Dynamometer) .....	65



บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ .....	68
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	68
5.2 ข้อเสนอแนะ .....	69
รายการอ้างอิง .....	71
ภาคผนวก ก การทดสอบรถยนต์ไฟฟ้า .....	80
1. รถยนต์ไฟฟ้าที่ใช้ในการทดสอบ .....	80
2. องค์ประกอบของรถยนต์ไฟฟ้า .....	81
Inverter Specifications.....	81
ตารางที่ 12 Inverter Specifications .....	82
Motor Specifications .....	82
ตารางที่ 13 Motor Specifications .....	82
Battery Specifications .....	83
ตารางที่ 14 Battery Specifications .....	83
3. ข้อมูลที่ได้จากการขับทดสอบ .....	84
ลักษณะการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า.....	85
ภาคผนวก ข การวัดข้อมูลในรถยนต์ด้วยระบบ OBD .....	87
1. OBD คืออะไร .....	87
2. Commercial Unit Available .....	89
a. Measurement.....	90
b. Diagnostic.....	91
ภาคผนวก ค อุปกรณ์การทดสอบรถยนต์สันดาปภายใน .....	92
วิธีการใช้งานและติดตั้งอุปกรณ์ และการส่งออกข้อมูล .....	92
1.1 Toyota ® Global TechStream (GTS) รูปที่ 54.....	92

1.2 การเข้าใช้โปรแกรม Global Tech Stream Software (Version 9.30.029) .....	93
วิธีการดึงข้อมูลจาก OTC VIM (OBD II) มาใช้ และการเตรียมไฟล์ .....	98
ภาคผนวก ง วิธีการประมวลผลข้อมูลด้วย MatLab Code .....	104
ภาคผนวก จ งานวิจัยก่อนหน้า .....	106
ภาคผนวก ฉ การหาอัตราการใช้พลังงานรถยนต์ใหม่ที่ผลิตในประเทศไทย .....	108
ภาคผนวก ช การคำนวณต้นทุนการเป็นเจ้าของ .....	111
ภาคผนวก ซ รูปแบบการขับขี่ที่สะท้อนถึงลักษณะการจราจร .....	114
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ .....	117



## สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 1 สัดส่วนการใช้พลังงานของประเทศไทย ในปี 2559 [6].....	16
รูปที่ 2 อัตราการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละปี ตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2551 ถึง 2555 [8].....	17
รูปที่ 3 สัมภาระที่ใส่ในรถยนต์สันดาปภายในและรถยนต์ไฟฟ้า .....	28
รูปที่ 4 รถยนต์สันดาปภายในที่ใช้ในการทดสอบ .....	28
รูปที่ 5 รถยนต์ไฟฟ้า (Nissan Leaf) ที่ใช้ในการทดสอบ .....	29
รูปที่ 6 ผังเมืองกรุงเทพมหานครจำแนกที่ดินตามประโยชน์การใช้งาน [44].....	30
รูปที่ 7 เส้นทางทดสอบ [44] .....	31
รูปที่ 8 เส้นทางทดสอบที่เป็นตัวแทนของการจราจรย่านกลางเมือง .....	32
รูปที่ 9 เส้นทางทดสอบที่เป็นตัวแทนของการจราจรย่านชานเมือง .....	33
รูปที่ 10 เส้นทางทดสอบที่เป็นตัวแทนของการจราจรบนถนนทางหลวง.....	33
รูปที่ 11 ลักษณะการติดตั้งอุปกรณ์เก็บข้อมูลในรถยนต์สันดาปภายใน .....	34
รูปที่ 12 ตัวอย่างข้อมูลที่เก็บได้จากอุปกรณ์ OTC VIM.....	35
รูปที่ 13 อุปกรณ์อ่านข้อมูลที่เกี่ยวกับการขับเคลื่อนของรถยนต์ไฟฟ้า Konnwei KW902 OBD-II Car Auto Diagnostic Scan Tools .....	36
รูปที่ 14 ตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์อ่านข้อมูล .....	36
รูปที่ 15 ลักษณะการติดตั้งอุปกรณ์อ่านข้อมูล .....	37
รูปที่ 16 อุปกรณ์บันทึกข้อมูล.....	37
รูปที่ 17 กล้องติดรถยนต์.....	38
รูปที่ 18 การเปรียบเทียบข้อมูลความเร็วจาก OBD และ GPS [46].....	39
รูปที่ 19 การเปรียบเทียบสัญญาณแรงเครื่องไฟฟ้าต้านของความเร็วรอบล้อที่ผ่าน Wavelet Packet (Denoised Velocity) กับสัญญาณอ้างอิง [46].....	40
รูปที่ 20 แรงต้านการเคลื่อนที่ของยานยนต์ [34].....	42

รูปที่ 21 ตัวอย่างข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างความเร็ว – เวลาที่เก็บมาได้จากการขับขี่จริง .....	43
รูปที่ 22 การกระจายของค่าเฉลี่ย และ ค่าของ SE ที่ 95 % .....	45
รูปที่ 23 ความหมายของต้นทุนการเป็นเจ้าของ [53].....	49
รูปที่ 24 แบบจำลองกำลังจำเพาะของรถยนต์สันดาปภายใน .....	51
รูปที่ 25 รูปแบบวัฏจักรการขับขี่ UDDS [54] .....	52
รูปที่ 26 รูปแบบวัฏจักรการขับขี่ US06 [54].....	53
รูปที่ 27 แบบจำลองกำลังจำเพาะของรถยนต์ไฟฟ้า .....	54
รูปที่ 28 อัตราการใช้พลังงานของรถยนต์สันดาปภายในเมื่อเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก .....	57
รูปที่ 29 อัตราการใช้พลังงานของรถยนต์ไฟฟ้าเมื่อเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก .....	58
รูปที่ 30 การเปลี่ยนแปลงอัตราการใช้พลังงานเทียบกับน้ำหนักของรถยนต์สันดาปภายในและรถยนต์ไฟฟ้าในลักษณะการจราจรแบบ City.....	59
รูปที่ 31 การเปลี่ยนแปลงอัตราการใช้พลังงานเทียบกับน้ำหนักของรถยนต์สันดาปภายในและรถยนต์ไฟฟ้าในลักษณะการจราจรแบบ Suburban .....	59
รูปที่ 32 การเปลี่ยนแปลงอัตราการใช้พลังงานเทียบกับน้ำหนักของรถยนต์สันดาปภายในและรถยนต์ไฟฟ้าในลักษณะการจราจรแบบ Highway .....	60
รูปที่ 33 ผลการคำนวณต้นทุนการเป็นเจ้าของของรถยนต์สันดาปภายใน .....	63
รูปที่ 34 ผลการคำนวณต้นทุนการเป็นเจ้าของของรถยนต์ไฟฟ้า .....	64
รูปที่ 35 รูปแบบความเร็ว – เวลาที่เกิดจากการขับขี่จริงเมื่อเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก .....	66
รูปที่ 36 ลักษณะการกระจายตัวของ VSP mode เมื่อเปลี่ยนแปลงน้ำหนักในการขับขี่จริง .....	66
รูปที่ 37 รถยนต์ไฟฟ้า Nissan Leaf ที่ใช้ในการทดสอบ .....	80
รูปที่ 38 Inverter.....	81
รูปที่ 39 Motor .....	82
รูปที่ 40 Pack .....	83
รูปที่ 41 Module.....	83

รูปที่ 42 Cell.....	83
รูปที่ 43 ความสัมพันธ์ระหว่างรูปแบบความเร็วและกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการขับขี่แบบในเมือง .....	84
รูปที่ 44 ความสัมพันธ์ระหว่างรูปแบบความเร็วและกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการขับขี่แบบชานเมือง .....	84
รูปที่ 45 ความสัมพันธ์ระหว่างรูปแบบความเร็วและกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการขับขี่แบบบนทางหลวง ....	85
รูปที่ 46 อุปกรณ์การชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า .....	85
รูปที่ 47 พอร์ตมาตรฐานของชาเดโม (CHAdeMO) (ชาย) และ พอร์ตมาตรฐาน SAE J1772 (ขวา).....	86
รูปที่ 48 รูปแบบกระแสที่ชาร์จเข้าสู่รถยนต์.....	86
รูปที่ 49 OBD Connector Pins Position.....	88
รูปที่ 50 ตำแหน่ง PIN จำแนกตามโพรโตคอล.....	89
รูปที่ 51 โครงสร้างตรรกะของระบบ OBD [57].....	89
รูปที่ 52 Closed loop ของระบบไอเสียรถยนต์ประกอบไปด้วย O2 sensor, ECU, เครื่องยนต์ และเครื่องฟอกอากาศ Catalytic converter [57] .....	90
รูปที่ 53 Circuit Schematic of the hardware interface unit .....	91
รูปที่ 54 TIS VIM OBD II .....	92
รูปที่ 55 การต่อสาย DLC3 เข้ากับ พอร์ต ECU.....	92
รูปที่ 56 ต่อสาย DLC3 เข้ากับ VIM .....	93
รูปที่ 57 การต่อสาย USB เข้ากับ VIM.....	93
รูปที่ 58 การต่อสาย USB เข้ากับ คอมพิวเตอร์ส่วนตัว.....	93
รูปที่ 59 Interface ของโปรแกรม Global Techstream ขึ้นมาบนหน้าจอ.....	94
รูปที่ 60 ปุ่ม Connect to Vehicle และหน้าต่าง Vehicle Connect Wizard .....	94
รูปที่ 61 หน้าต่าง Loading .....	95
รูปที่ 62 หน้าจอแสดงผลการเชื่อมต่อ และ ปุ่ม Engine and ECT.....	96
รูปที่ 63 หน้าจอแสดงผล Data List.....	96

รูปที่ 64 ตำแหน่งของปุ่ม Snapshot Configure.....	97
รูปที่ 65 เลือก Trigger Type, Trigger Point และ Duration ที่เหมาะสม .....	97
รูปที่ 66 หน้าจอแสดงผลเมื่อทำการเปิดไฟล์ ด้วยโปรแกรม Techstream.....	98
รูปที่ 67 หน้าต่างเซฟไฟล์เมื่อกด Export Data.....	99
รูปที่ 68 แสดงข้อมูลที่ Export มาเปิดด้วยโปรแกรม Excel .....	99
รูปที่ 69 ทำการแปลงข้อมูลจากข้อความคอลลัมน์ .....	100
รูปที่ 70 หน้าต่างตัวช่วยสร้างการแปลงข้อความคอลลัมน์ .....	100
รูปที่ 71 การตัวเลือกตัวคั่นที่นำไปใช้ .....	101
รูปที่ 72 ข้อมูลที่ทำการแบ่งช่องเรียบร้อยแล้ว .....	101
รูปที่ 73 นำเวลาที่คอลลัมน์ A มาแปลงเป็นวินาทีที่คอลลัมน์ B.....	102
รูปที่ 74 เปลี่ยนรูปแบบของข้อมูลคอลลัมน์ B ให้เป็นตัวเลข ได้ข้อมูลเป็นหน่วย วินาที.....	102
รูปที่ 75 เซฟไฟล์เป็น xlsx.....	103
รูปที่ 76 หน้าจอแสดงผลของโปรแกรม MatLab หน้า Editor .....	104
รูปที่ 77 แสดงตัวอย่างการใช้ MatLab Code .....	105
รูปที่ 78 ข้อมูลภายในไฟล์ที่ทำการประมวลผลแล้ว .....	105
รูปที่ 79 กราฟ VSP ที่ทำการทดลองเบื้องต้น (Preliminary).....	106
รูปที่ 80 แบบจำลอง VSP จากงานวิจัยของ Yu Q. et al. (2016) [29].....	107
รูปที่ 81 Flow การประมวลผลของงานวิจัยนี้ .....	107
รูปที่ 82 Flow การประมวลผลของงานวิจัยของ Yu Q. et al (2016) [29].....	107
รูปที่ 83 ตัวอย่างป้ายข้อมูลรถยนต์ตามมาตรฐานสากล หรือ Eco Sticker [59].....	108
รูปที่ 84 แสดงวัฏจักรความเร็วที่ใช้ในการทดสอบบนแชสซีส์ไดนาโมมิเตอร์ [3].....	108
รูปที่ 85 รูปแบบความเร็วที่ใช้ในการขับขี่จริงในกรุงเทพมหานคร [60] .....	109

## สารบัญตาราง

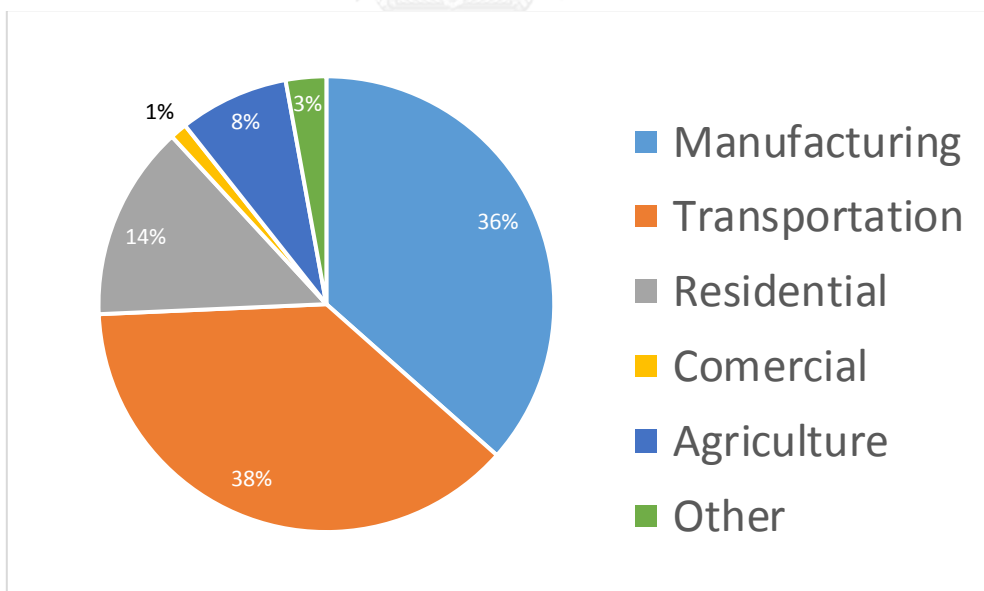
	หน้า
ตารางที่ 1 ข้อมูลจำเพาะของรถยนต์ที่ใช้ในการทดสอบ .....	29
ตารางที่ 2 หลักเกณฑ์ลักษณะแบ่งลักษณะการจราจร [44].....	31
ตารางที่ 3 ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณอัตราการใช้พลังงานของรถยนต์สันดาปภายใน .....	35
ตารางที่ 4 ตัวอย่างข้อมูลที่นำมาใช้ในการทดสอบ .....	37
ตารางที่ 5 ช่วงของ VSP ในแต่ละ Mode ของรถยนต์สันดาปภายใน .....	44
ตารางที่ 6 ช่วงของ VSP ในแต่ละ Mode ของรถยนต์ไฟฟ้า.....	44
ตารางที่ 7 เปรียบเทียบการหาอัตราการใช้พลังงานด้วยแบบจำลองกำลังจำเพาะของรถยนต์สันดาปภายใน .....	52
ตารางที่ 8 การเปรียบเทียบอัตราการใช้พลังงานจากการใช้วัฏจักรการขับขี่มาตรฐาน .....	53
ตารางที่ 9 เปรียบเทียบการหาอัตราการใช้พลังงานด้วยแบบจำลองกำลังจำเพาะของรถยนต์ไฟฟ้า .....	55
ตารางที่ 10 การเปรียบเทียบอัตราการใช้พลังงานจากการใช้วัฏจักรการขับขี่มาตรฐาน .....	55
ตารางที่ 11 เปรียบเทียบผลการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักจากงานวิจัยของ Pagerit S. กับงานวิจัยนี้ .....	61
ตารางที่ 13 Inverter Specifications .....	82
ตารางที่ 14 Motor Specifications .....	82
ตารางที่ 15 Battery Specifications .....	83
ตารางที่ 16 ตารางแสดงข้อมูลบนหน้าต่าง Vehicle Connect Wizard ที่จำเป็นต้องเลือก.....	95
ตารางที่ 17 การคำนวณอัตราการเสียภาษีรถยนต์นำเข้า (เดิม) .....	112
ตารางที่ 18 การคำนวณอัตราการเสียภาษีรถยนต์นำเข้าล่าสุด .....	113

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบันปัญหามลพิษทางอากาศเป็นปัญหาที่สำคัญ [1] ไม่เพียงแต่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ทางระบบหายใจ ยังก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนขึ้นอีกด้วย [2] ซึ่งสาเหตุหลักนั้นเกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล (Fossil Fuel) ประเทศไทยได้ตระหนักถึงการใชพลังงานเชื้อเพลิงจากฟอสซิล เนื่องจากความต้องการใช้พลังงานเชื้อเพลิงภายในประเทศมากกว่ากำลังการผลิตเป็นอย่างมาก ประเทศไทยต้องพึ่งพาพลังงานเชื้อเพลิงนำเข้าเป็นหลักทำให้เสียรายได้ออกนอกประเทศปีละเป็นจำนวนกว่าแสนล้านบาท [3] การใช้พลังงานยังคงเพิ่มขึ้นตามการเติบโตทางเศรษฐกิจในประเทศ [4] ภาคขนส่งมีส่วนการใช้พลังงานในประเทศสูงถึง 37.3% ของการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายทั้งหมด ดังที่แสดงในรูปที่ 1 นอกจากนี้ยังพบว่า ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของภาคขนส่งสูงเป็นอันดับหนึ่งในสามของการใช้พลังงานภาคอื่น ๆ ดังรูปที่ 2 แสดงให้เห็นว่าในทุก ๆ ปี ภาคขนส่งปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงเป็นอันดับ 2 ตลอดมา นับตั้งแต่ปี พ.ศ. 2555 ถึง 2558 [5]

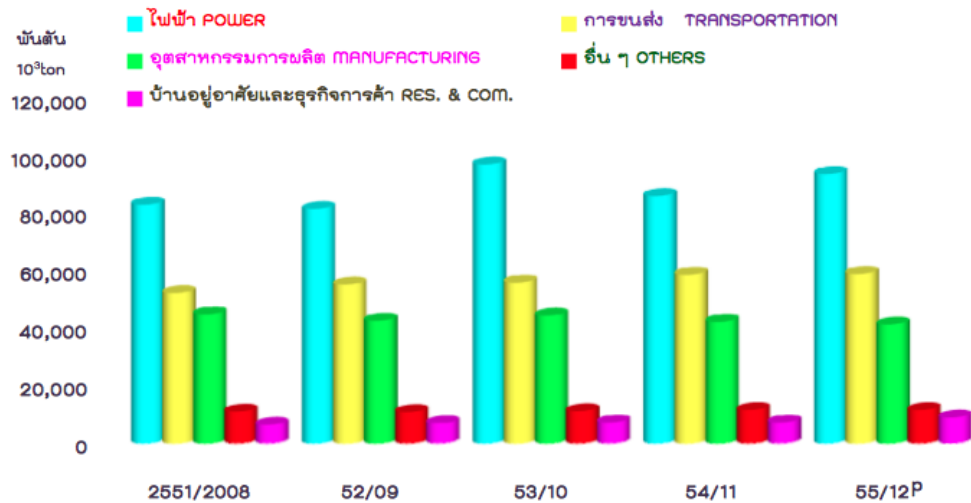


รูปที่ 1 สัดส่วนการใช้พลังงานของประเทศไทย ในปี 2559 [6]

ปัญหาจากภาคขนส่งส่วนใหญ่เกิดจากปริมาณรถยนต์ที่เพิ่มสูงขึ้น [7] จากผลกระทบทางด้านมลพิษและสิ่งแวดล้อมดังที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้น ส่งผลให้เกิดการศึกษาในหลายแนวทางที่



เกี่ยวข้องกับวิธีการเพื่อที่จะทำให้รถยนต์ใช้เชื้อเพลิงที่ลดน้อยลง



รูปที่ 2 อัตราการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละปี ตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2551 ถึง 2555 [8]

ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการใช้เชื้อเพลิงและการปล่อยมลพิษสามารถจำแนกออกเป็น 3 ปัจจัยหลักๆ คือ รถยนต์ เส้นทาง และผู้ขับขี่ [9] ปัจจัยแรกคือ ปัจจัยด้านรถยนต์ ซึ่งจะประกอบไปด้วย 4 องค์ประกอบ คือ

- 1) ประเภทเครื่องยนต์ ซึ่งมีผลต่ออัตราการใช้เชื้อเพลิงมากถึง 200 – 800% [10, 11] แบ่งตามประเภทเชื้อเพลิงคือ เบนซิน ดีเซล เป็นต้น และ แบ่งตามเทคโนโลยีคือ รถยนต์ไฮบริด รถยนต์ไฟฟ้า รถยนต์เซลล์เชื้อเพลิง เป็นต้น
- 2) รูปทรงและขนาดรถยนต์ รถยนต์ขนาดเล็ก ขนาดใหญ่ รวมทั้งลักษณะของรูปทรงที่ลู่ลมหรือต้านลม ล้วนมีผลต่อแรงต้านอากาศซึ่งส่งผลต่ออัตราการใช้เชื้อเพลิงกว่า 30% [10, 11]
- 3) ยางรถยนต์ ลักษณะดอกยางและลมยางของรถยนต์จะส่งผลโดยตรงกับแรงต้านทานการหมุน ซึ่งจะเพิ่มแรงต้านทานในการขับเคลื่อน ต้องใช้กำลังของเครื่องยนต์เพื่อมาเอาชนะมากขึ้น ส่งผลให้ใช้เชื้อเพลิงมากขึ้นนั่นเอง [10, 11]
- 4) การบำรุงรักษารถยนต์ ยกตัวอย่างเช่นระบบหล่อลื่น ระบบกรองอากาศ หากไม่ได้รับการบำรุงรักษาตามระยะเวลาที่กำหนดซึ่งจะทำให้เกิดการสึกหรอของเครื่องยนต์ ทำให้ใช้เชื้อเพลิงรวมทั้งปล่อยมลพิษมากขึ้น [10, 11]

ปัจจัยจากเส้นทางการขับขี่ ประกอบไปด้วย 2 องค์ประกอบ คือ

- 1) ลักษณะการจราจร การจราจรที่ติดขัดสามารถเพิ่มอัตราการใช้เชื้อเพลิงได้มากขึ้นถึง 20 – 40% [12] โดยที่มีปริมาณที่สามารถวัดได้คือ ค่าความเร็วเฉลี่ย จำนวนครั้งที่หยุดต่อระยะทาง (Stop/km) และ Acceleration noise [13]
- 2) ความลาดชันของถนน มีผลกระทบกับอัตราการใช้เชื้อเพลิง 15 – 20% [10, 11]

ปัจจัยสุดท้ายคือ ปัจจัยของผู้ขับขี่ ซึ่งประกอบไปด้วย 2 องค์ประกอบ คือ

- 1) พฤติกรรมการขับขี่ ส่งผลกระทบต่ออัตราการใช้เชื้อเพลิงถึง 20 – 30%
- 2) น้ำหนักบรรทุก ซึ่งในทุก ๆ การเปลี่ยนแปลง 10% ของน้ำหนักรถยนต์ทำให้ส่งผลกระทบต่ออัตราการใช้เชื้อเพลิง 4 – 7% [14]

จากปัจจัยประเภทเครื่องยนต์นั้นส่งผลกระทบต่ออัตราการใช้เชื้อเพลิงและการปล่อยมลพิษมากที่สุด ผู้ผลิตรถยนต์จึงได้มีการศึกษาค้นคว้าวิธีการที่จะทำให้เครื่องยนต์ลดการใช้เชื้อเพลิงและการปล่อยมลพิษ ซึ่งเครื่องยนต์สันดาปภายในนั้น มีประสิทธิภาพที่ต่ำ ดังนั้นจึงมีการหาวิธีต่าง ๆ เพื่อให้เครื่องยนต์นั้นมีประสิทธิภาพสูงขึ้น ไม่ว่าจะเป็นการเปลี่ยนรูปแบบการขับเคลื่อน การปรับวิธีการจ่ายน้ำมัน การลดขนาดเครื่องยนต์ เป็นต้น ซึ่งการเปลี่ยนรูปแบบการขับเคลื่อนนั้น วิธีการหนึ่งที่นิยมเพิ่มกันมากที่สุดในกลุ่มผู้ผลิตรถยนต์ที่มีการวิจัยและพัฒนาอย่างยาวนานคือ การนำมอเตอร์ไฟฟ้าเข้ามาช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพ จึงเกิดรถยนต์ไฮบริดเกิดขึ้น ซึ่งสามารถที่จะช่วยลดอัตราการปล่อยมลพิษรวมทั้งลดอัตราการใช้เชื้อเพลิง [15] นอกจากนี้ยังมีรถยนต์ไฟฟ้า (Electric Vehicle : EV) คือ รถยนต์ที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าเพียงอย่างเดียวโดยใช้แบตเตอรี่เป็นที่เก็บประจุไฟฟ้า รถยนต์ไฟฟ้ามีข้อดีคือเป็นรถที่ไม่มีการปล่อยมลพิษออกสู่อากาศ รถยนต์ไฟฟ้ามีประสิทธิภาพทางกลสูงถึง 79% ในขณะที่รถยนต์สันดาปภายในอยู่ที่ 14 – 26% จากการใช้พลังงานจากแหล่งเก็บเชื้อเพลิงถึงการขับเคลื่อนที่ล้อ (Tank to Wheels) [16] จากประสิทธิภาพทางกลที่สูงนี้แสดงให้เห็นว่าความต้องการพลังงานที่ใช้ในการขับเคลื่อนของรถยนต์ไฟฟ้าต่ำ รวมทั้งค่าใช้จ่ายในการเติมพลังงานต่ำกว่ารถยนต์สันดาปภายในถึง 4 เท่า [17] จากข้อดีของรถยนต์ไฟฟ้าที่กล่าวมานั้นทำให้ตลาดของรถยนต์ไฟฟ้าเติบโตมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยกตัวอย่างเช่น ภายในไตรมาสที่ 3 ของปี 2016 รถยนต์ไฟฟ้าขายได้กว่า 518,000 คัน [18] นอกจากนี้บริษัทผู้ผลิตรถยนต์ไฟฟ้าต่างก็หันมาผลิตรถยนต์ไฟฟ้าเพื่อการพาณิชย์มากยิ่งขึ้น ยกตัวอย่างเช่น DHL สนใจที่จะสร้างรถส่งของเป็นของตัวเอง [19] Smith Electric Vehicles ผลิตรถยนต์ไฟฟ้าในทุก ๆ ขนาดของรถยนต์เพื่อการพาณิชย์ [20, 21] แต่รถยนต์ไฟฟ้าก็ยังมีข้อจำกัดในเรื่องความกังวลของระยะทางในการขับขี่ (Range Anxiety) [22] เนื่องจากระยะทางที่วิ่งได้ต่อการชาร์จหนึ่งครั้งนั้นน้อยกว่าระยะทางที่วิ่งได้ของรถยนต์สันดาปภายในต่อการเติมน้ำมันหนึ่งถัง ผนวกกับประเทศไทยยังไม่มีสถานีประจุไฟฟ้า (Charging Station) ทำให้จำเป็นที่

จะต้องมีการศึกษาการใช้พลังงานของรถยนต์ไฟฟ้า นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับพลังงานในรถยนต์ไฟฟ้าแต่ก็มีเพียงในต่างประเทศ [23] จากบทบาทของรถยนต์ไฟฟ้าที่เพิ่มสูงขึ้นผนวกกับยังไม่มีการวิจัยภายในประเทศการศึกษาในเรื่องของการใช้พลังงานในรถยนต์ไฟฟ้าจึงมีความจำเป็นอย่างมาก

นอกจากแนวโน้มการปรับปรุงด้านประเภทเครื่องยนต์ของผู้ผลิตรถยนต์แล้ว ยังมีการปรับปรุงในเรื่องของน้ำหนักเนื่องจากเห็นได้ว่าในปัจจุบันผู้ผลิตรถยนต์ได้หันมาใช้วัสดุที่มีน้ำหนักเบามาเป็นส่วนประกอบของรถยนต์ ยกตัวอย่างเช่น อลูมิเนียม แมกนีเซียม และ วัสดุคอมโพสิต [24] ซึ่งส่งผลของการเปลี่ยนแปลงอัตราการใช้เชื้อเพลิงกว่า 6% ในการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก 10% ในรถยนต์สันดาปภายใน [25] และยังพบว่าค่าความไวต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราการใช้เชื้อเพลิงต่อการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักรถยนต์สันดาปภายในจะแปรผกผันกับประสิทธิภาพของรถยนต์ [25] ผลการศึกษานี้ถูกยืนยันผ่านการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment) แต่ก็เฉพาะรถยนต์สันดาปภายใน จากการศึกษาดังกล่าวพบว่าการศึกษาในเรื่องของผลของน้ำหนักในรถยนต์ไฟฟ้านั้นน้อยมาก ซึ่งรถยนต์ไฟฟ้านั้นมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นเนื่องจากแบตเตอรี่และโครงสร้างที่มารองรับส่วนประกอบที่เพิ่มขึ้น จากน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นดังกล่าวส่งผลให้ราคาค่าใช้จ่ายของรถยนต์ไฟฟ้าสูงขึ้นมากกว่ารถยนต์สันดาปภายใน จึงมีการศึกษาวิเคราะห์ถึงค่าใช้จ่ายโดยรวมของรถยนต์ไฟฟ้าแล้วพบว่ารถยนต์ไฟฟ้าหรือรถยนต์ที่มีประสิทธิภาพสูงนั้นทำให้มีค่าความไวต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราการใช้เชื้อเพลิงต่อการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักรถยนต์ต่ำ [26] ผลการศึกษาในภาพรวมจึงพบว่า ปัจจัยจากน้ำหนักเมื่อร่วมกับปัจจัยของลักษณะการจราจรมีความเป็นไปได้สูงว่าจะมีผลต่ออัตราการใช้เชื้อเพลิงอย่างมีนัยสำคัญ [27-29]

จากการศึกษาจากน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น จะส่งผลให้รถยนต์สันดาปภายใน มีการเปลี่ยนแปลงอัตราการใช้เชื้อเพลิงเปลี่ยนไปอย่างไรในการจราจรรูปแบบต่าง ๆ ภายใต้การขับขี่จริงในกรุงเทพมหานคร และ เมื่อนำผลเปรียบเทียบกับระหว่างรถยนต์สันดาปภายในกับรถยนต์ไฟฟ้าจะให้สัดส่วนอัตราการใช้เชื้อเพลิง เป็นอย่างไรยกตัวอย่างเช่น สัดส่วนระหว่างอัตราการใช้เชื้อเพลิงของรถยนต์สันดาปภายในกับรถยนต์ไฟฟ้าที่เปลี่ยนไปกับน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นจะเป็นอย่างไร จึงจำเป็นที่จะต้องมีการศึกษาต่อไป

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- สร้างแบบจำลองเพื่อหาอัตราการใช้พลังงานของรถยนต์สันดาปภายในและอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าด้วยวิธีการจากค่ากำลังจำเพาะต่อผลของน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น ในสภาพการขับขี่จริงของกรุงเทพมหานคร
- ศึกษาเปรียบเทียบผลของน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นต่ออัตราการใช้พลังงานระหว่างรถยนต์สันดาปภายในกับรถยนต์ไฟฟ้าภายใต้สภาพการขับขี่จริงของกรุงเทพมหานคร

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาปริมาณการใช้พลังงานของรถยนต์สันดาปภายใน และรถยนต์ไฟฟ้า งานวิจัยนี้จะปรับเปลี่ยนภาระน้ำหนัก 3 ค่า คือ ที่ 10% 20% และ 30% ของน้ำหนักเริ่มต้น (Base) โดยที่น้ำหนักเริ่มต้นคือน้ำหนักที่มีขับทดสอบ 1 คน ไม่มีสัมภาระ โดยที่น้ำหนักที่ 10% คือน้ำหนักมาตรฐาน ECE [30] ใช้ในการทดสอบหาอัตราการใช้น้ำมัน และ 30% ของน้ำหนักรถยนต์ทดสอบคือน้ำหนักที่รถยนต์รับได้สูงสุดเนื่องจากเป็นค่าเฉลี่ยน้ำหนักจำนวนผู้โดยสารที่รถยนต์สามารถรองรับได้ตามที่นับรวมกับความสามารถในการรับน้ำหนักสัมภาระที่ท้ายรถได้ [28, 30] รวมทั้งงานวิจัยนี้จะใช้การทดสอบโดยการขับขี่จริงในพื้นที่กรุงเทพมหานคร ซึ่งประกอบด้วย 3 เส้นทางที่ถูกเลือกเพื่อเป็นตัวแทนลักษณะการจราจร คือ เส้นทางในเมือง (City) ชานเมือง (Suburban) และบนทางหลวง (Highway)

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- งานวิจัยนี้จะได้ผลเพื่อมาเปรียบเทียบอัตราการใช้เชื้อเพลิงของรถยนต์สันดาปภายในและอัตราการใช้เชื้อเพลิงเทียบเท่าของรถยนต์เพื่อให้ทราบได้ถึงรถยนต์ไฟฟ้านั้นสามารถมาแทนที่รถยนต์สันดาปภายในได้หรือไม่จากผลของน้ำหนัก ผลของงานวิจัยนี้อาจนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงรถยนต์เพื่อการพาณิชย์จากเดิมเป็นรถยนต์สันดาปภายในมาสู่รถยนต์ไฟฟ้าได้หรือไม่
- ได้แบบจำลองค่าความต้องการกำลังจำเพาะของรถยนต์เพื่อนำไปหาอัตราการใช้เชื้อเพลิงของรถยนต์สันดาปภายในและรถยนต์ไฟฟ้าได้



## บทที่ 2

### ปริทัศน์วรรณกรรม

#### 2.1 การเปลี่ยนแปลงอัตราการใช้พลังงานจากผลของน้ำหนัก

ผลกระทบต่ออัตราการใช้พลังงานของรถยนต์ประกอบไปด้วยหลายปัจจัย ยกตัวอย่างเช่น ลักษณะพื้นผิวถนนที่ขรุขระ, ค่าความเร็วเฉลี่ย, น้ำหนักบรรทุก และ ระบบปรับอากาศ เป็นต้น [28] การพัฒนาปัจจัยด้านน้ำหนักเป็นสิ่งที่นำไปประยุกต์ใช้ได้หลากหลายมากที่สุดไม่ว่าจะเป็นการใช้วัสดุคอมโพสิตแทนที่เหล็กกล้าในส่วนของโครงสร้าง การลดขนาดต้นกำลัง การใช้โลหะน้ำหนักเบามาแทนชิ้นส่วนระบบรองรับ เป็นต้น [25] งานวิจัยของ Pagerit S. et al (2006) [31] ศึกษาวิธีการลดอัตราการใช้พลังงานในรถยนต์ ICEV, Plug – in HEV และ Fuel cell HEV บนพื้นฐานการใช้วัฏจักรการขับขี่ การศึกษานี้พบว่า ICEV มีค่าความไวของการเปลี่ยนแปลงอัตราการใช้พลังงานต่อน้ำหนักมากที่สุด และ Fuel cell HEV มีค่าความไวของการเปลี่ยนแปลงอัตราการใช้พลังงานต่อการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักน้อยที่สุด เมื่อวิเคราะห์ค่าความไวของการเปลี่ยนแปลงอัตราการใช้พลังงานต่อน้ำหนักพบว่าเกิดจากต้นกำลังของรถยนต์ Fuel cell HEV ที่มีประสิทธิภาพสูงจึงส่งผลต่อค่าความไวต่ออัตราการใช้พลังงานดังกล่าว นอกจากนี้งานวิจัยของ Kim HC. & Wallington TJ. (2013) [25] งานวิจัยนี้ได้ใช้วิธีการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment : LCA) ของรถ ICEV พบว่าประสิทธิภาพเชิงกลของรถยนต์ที่ต่ำจะมีค่าความไวต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราการใช้พลังงานที่สูงกว่ารถที่มีประสิทธิภาพเชิงกลสูงเมื่อเปลี่ยนน้ำหนักในรถยนต์ ซึ่งผลของประสิทธิภาพ ดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัย Pagerit S. et al (2006) แต่ยังคงขาดการศึกษาค่าความไวต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราการใช้พลังงานของ HEV และ EV โดยที่รถยนต์ทั้ง 2 ประเภทที่มีค่าประสิทธิภาพเชิงกลที่สูงกว่า ICEV ข้อสรุปของงานวิจัยทั้งสองเป็นไปได้ว่า HEV และ EV จะให้ค่าความไวต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราการใช้พลังงานลดลง ดังนั้นควรมีการศึกษาประเภทของต้นกำลังที่หลากหลายมากยิ่งขึ้น งานวิจัยของ Shiau C. et al (2009) [26] ศึกษาเกี่ยวกับ Plug – in HEV เนื่องจากมีข้อจำกัดของการขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้าที่ได้รับระยะทางที่น้อยดังนั้นเพื่อต้องการให้ขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้าที่ระยะทางที่เพิ่มขึ้นจึงทำการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างการเพิ่มความจุแบตเตอรี่กับการจัดการประจุไฟฟ้าว่าสิ่งใดจะคุ้มค่ากว่าโดยการเทียบด้วยค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน (Lifetime cost) เนื่องจากทั้งสองวิธีต่างมีข้อดีข้อเสียต่างกันโดยการเพิ่มความจุแบตเตอรี่จะทำให้รถยนต์มีน้ำหนักมากยิ่งขึ้นใช้พลังงานสูงขึ้นและการจัดการประจุไฟฟ้าซึ่งจำเป็นต้องใช้พื้นที่ในการรองรับระบบประจุไฟฟ้ารวมทั้งลงทุนสูง ผลจากการศึกษาพบว่าในโหมด HEV (CS-mode) ที่น้ำหนักเพิ่มขึ้น 95 kg จะทำให้อัตราการใช้พลังงานเพิ่มขึ้น 1.78 % และในโหมด EV (CD-mode) จะเพิ่มขึ้น 1.33 % งานวิจัยนี้พบว่าเมื่อเพิ่มน้ำหนักใน

รถยนต์ Plug – in HEV ในการขับเคลื่อนแต่ละโหมดทำให้ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานในโหมด EV เพิ่มขึ้นในสัดส่วนที่ต่ำกว่าโหมด HEV นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยเกี่ยวข้องกับผลของน้ำหนักในรถยนต์ของ Lewis AM. et al (2014) [32] การศึกษาพบว่ารถยนต์ที่เพิ่มระบบไฟฟ้าเข้ามาช่วยในการทำงานของเครื่องยนต์ HEV และ Plug – in HEV ระบบไฟฟ้าที่เพิ่มเข้ามาดังกล่าวส่งผลให้เกิดการเพิ่มน้ำหนักโดยรวมของรถยนต์ ดังนั้นโครงสร้างของรถยนต์จำเป็นต้องแข็งแรงพอที่จะรองรับระบบที่เพิ่มขึ้นนี้ได้ งานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาวិธีการลดน้ำหนักโดยการทดแทนโครงสร้างด้วยอลูมิเนียม แมกนีเซียม และคอมโพสิต เป็นต้น โครงสร้างที่นำมาทดแทนดังกล่าวสามารถทำให้น้ำหนักโดยรวมของรถยนต์ลดลงและยังคงความแข็งแรงไว้ได้ ผลการทดลองที่ได้ก็คือสามารถลดพลังงานที่ใช้ตลอดอายุการใช้งาน (Life cycle energy) รวมถึงลดอัตราการปล่อยมลพิษโดยรวมลดลงอีกด้วย นอกจากนี้งานวิจัยยังพบว่าเมื่อน้ำหนักของรถยนต์เปลี่ยนแปลงรถ ICEV มีจะมี Fuel sensitivity สูงกว่า HEV และ PHEV ตามลำดับซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้า Pagerit S. et al (2006) และ Shiau C. et al (2009) ผลสรุปของงานวิจัยนี้คือการที่เพิ่มแบตเตอรี่ส่งผลให้น้ำหนักโดยรวมของรถยนต์นั้นสูงขึ้น เมื่อมองในแง่ของความคุ้มค่าต่อค่าใช้จ่ายต่าง ๆ จะดีกว่าการที่ใช้รถยนต์ Plug – in HEV ที่มีน้ำหนักน้อย ๆ ดังนั้นการเพิ่มน้ำหนักบนรถยนต์ Plug – in HEV ไม่คุ้มค่าหากเปรียบเทียบกับวิธีการจัดการการชาร์จ และยังมีข้อจำกัดของการศึกษานี้คือการขับ PHEV ให้เป็นโหมด EV นั้น จะได้ผลที่ต่างกันเนื่องจาก Plug – in HEV มีความจุ แบตเตอรี่ที่ต่ำ และระบบของรถยนต์ออกแบบมาให้มีการขับเคลื่อนเป็น HEV ซึ่งหากจะนำผลมาคำนวณเพื่อความแม่นยำควรใช้ EV ในการทดลองและการเพิ่มน้ำหนักในงานวิจัยนี้เป็นเพียงการนำตัวเลขซึ่งเป็นจำนวนเท่าของน้ำหนักโครงสร้างเพิ่มเข้าไปในตัวแปรน้ำหนักโดยรวมของรถยนต์

การศึกษาของ Wang H. et al (2015) [27] เป็นการศึกษารถยนต์ไฟฟ้า คือ รถยนต์ HEV รถยนต์ Plug – in HEV และ รถยนต์ EV โดยนำมาเปรียบเทียบกับรถยนต์สันดาปภายใน ภายใต้การขับเคลื่อนจริงในปักกิ่ง ประเทศจีน งานวิจัยนี้ได้วิเคราะห์ถึงตัวแปรต่างๆที่มีผลกระทบต่ออัตราการใช้พลังงาน ซึ่งพบว่าผลจากลักษณะการจราจรมีผลต่ออัตราการใช้พลังงานมากที่สุด ผนวกกับการศึกษาของ Zhang S. et al (2014) [28] เป็นการศึกษาเกี่ยวกับอัตราการใช้พลังงานของรถบัสที่ขับเคลื่อนจริงในเมืองปักกิ่งประเทศจีนโดยการศึกษาแรงเสียดทานบนพื้นผิวถนน, ค่าความเร็วเฉลี่ย, น้ำหนักบรรทุก และ ระบบปรับอากาศ ซึ่งส่งผลต่ออัตราการใช้พลังงานโดยตรง การศึกษานี้ใช้วิธีการหาอัตราการใช้พลังงานจากแบบจำลองแล้วพบว่าผลของลักษณะการจราจรมีผลมากที่สุดกว่า 20 – 30% เมื่อความเร็วเฉลี่ยลดลงจาก 25 km/h เป็น 15 km/h หรือลดลงประมาณ 40% ของความเร็วเฉลี่ยซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับผลจากน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น 10-50% ของน้ำหนักรถยนต์ โดยการเปรียบเทียบกับน้ำหนักเพิ่มขึ้นสูงสุดคือ 50% ของน้ำหนักรถบัส แล้วเฉลี่ยน้ำหนักลดหลั่นลงมาเพื่อให้เห็นถึงแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงโดยที่มีผลเพียง 4-7% ของอัตราการใช้พลังงาน ดังนั้นสรุปได้ว่าผลของน้ำหนัก

ต่ออัตราการใช้พลังงานต่ำกว่าผลจากลักษณะการจราจร จากข้อสรุปของงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นทำให้เกิดข้อโต้แย้งว่าผลของน้ำหนักจะมีผลต่ออัตราการใช้พลังงานของรถยนต์จริงหรือไม่ ทำให้มีการศึกษาผลของน้ำหนักเมื่อผนวกกับปัจจัยอื่นซึ่งส่งผลต่ออัตราการใช้พลังงานได้มาก เช่น การศึกษาของ Yu Q. et al (2016) [29] ศึกษาเกี่ยวกับรถบัสเครื่องยนต์สันดาปภายใน urban transit bus (ICEV) ระบุว่าผลของน้ำหนักถึงแม้ไม่สำคัญที่ความเร็วต่ำ (ค่าความเร็วเฉลี่ยต่ำกว่า 30 km/h) ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงเพียง 4-7% ของอัตราการใช้พลังงานเมื่อเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก 20% แต่มีความสำคัญที่ความเร็วสูง (ค่าความเร็วเฉลี่ยมากกว่า 30 km/h) ซึ่งทำให้การเปลี่ยนแปลง 10-20% ของอัตราการใช้พลังงาน เมื่อเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก 20% ด้วยเหตุนี้เองทำให้เกิดประเด็นที่จะศึกษาเมื่อทดสอบในรถยนต์ขนาดเล็กแล้วจะมีผลเช่นเดียวกันกับการศึกษาของ Yu Q. et al (2016) หรือไม่อย่างไรเมื่อซับซ้อนในการจราจรจริง เพื่อที่จะตอบประเด็นศึกษาดังกล่าวจึงทำให้เกิดงานวิจัยนี้คือ

- ก. น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น จะส่งผลให้รถยนต์สันดาปภายใน มีการเปลี่ยนแปลงอัตราการใช้เชื้อเพลิงเป็นไปอย่างไรบ้างในการจราจรรูปแบบต่าง ๆ ในกรุงเทพมหานคร
- ข. เมื่อเทียบกับรถยนต์สันดาปภายในและรถยนต์ไฟฟ้า จะให้สัดส่วนอัตราการใช้พลังงานที่เปลี่ยนไปกับน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นอย่างไร

จากการศึกษาในมุมมองของผลของน้ำหนักในรถยนต์ยังคงขาดการวิเคราะห์ในเชิงการเปรียบเทียบระหว่างรถยนต์ ICEV และ EV ในมุมมองผลต่อการเปลี่ยนแปลงของอัตราการใช้พลังงานต่อการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก รวมทั้งยังไม่มีข้อเปรียบเทียบจากการทดสอบในสภาวะการขับขี่จริง และยังไม่มีการศึกษาในรถยนต์ขนาดเล็กที่มีการจำแนกลักษณะการใช้พลังงาน ในช่วงความเร็วต่างๆ เพื่อเจาะลึกว่าผลของน้ำหนักนั้นมีผลต่อลักษณะการจราจร ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการศึกษาต่อไป

## 2.2 วิธีการคำนวณอัตราการใช้พลังงานจากแบบจำลองกำลังจำเพาะสำหรับยานยนต์ (Vehicle Specific Power : VSP)

ค่ากำลังจำเพาะสำหรับยานยนต์ (Vehicle Specific Power : VSP) คือ ตัวแปรที่แสดงถึงความต้องการกำลังต่อมวลของรถยนต์ ณ เวลาใดเวลาหนึ่ง ซึ่งนิยมใช้ในการทำนายการปล่อยมลพิษและปริมาณการใช้เชื้อเพลิงของรถยนต์อย่างแพร่หลาย เนื่องจากการวัดปริมาณมลพิษโดยตรงที่ปล่อยออกมาจากยานพาหนะตามมาตรฐาน EPA [33] เป็นวิธีที่ยุ่งยาก ใช้เวลานาน ต้องใช้อุปกรณ์มากมาย [34] หนึ่งในวิธีที่วัดปริมาณมลพิษที่ลดขั้นตอนลงมาคือการวัดระยะไกล (Remote sensing) เป็นวิธีที่ใช้อุปกรณ์ตรวจจับมลพิษจากรถยนต์ที่วิ่งผ่าน ซึ่งมีข้อดีคือ สามารถวัดได้สะดวกและรวดเร็ว ใช้อุปกรณ์น้อยชิ้น แต่ก็ยังประสบปัญหาเนื่องจากว่า ปริมาณมลพิษที่วัดได้มีค่าความคลาดเคลื่อนสูง งานวิจัยในปี ค.ศ. 1998 ของ Jiménez and Palacios [34] ได้นำเสนอ ค่ากำลังจำเพาะสำหรับยาน



ยนต์ (Vehicle Specific Power : VSP) เพื่อใช้สำหรับประมาณค่าพลังงานที่ต้องการของรถยนต์ ในขณะที่ขับ ค่า VSP มีข้อดีคือ สามารถคำนวณปริมาณการปล่อยมลพิษจากการวัดจากภายนอก รถยนต์ (Roadside Measurement) และสามารถเพิ่มสถานะภาพของการขับ (Driving Condition) ได้ในภายหลัง ค่า VSP ยังสามารถประมาณการปล่อยมลพิษได้อย่างแม่นยำเพียงมีข้อมูลความเร็วและความเร่ง จากการทดลองวัดปริมาณมลพิษจากค่าความเร็วและความเร่ง มาทำแบบจำลอง VSP พบว่า เมื่อใช้แบบจำลอง VSP ในการวัดระยะไกล (Remote sensing) จะช่วยให้เพิ่มความแม่นยำมากขึ้น [34]

นอกจากนี้ยังมีแนวคิดที่จะพัฒนาแบบจำลองเพื่อทำนายปริมาณมลพิษให้มีความแม่นยำมากขึ้น โดย ในปี ค.ศ.2002 งานวิจัยของ Koupal J et al. [33] ใช้ค่า VSP ในการศึกษาเกี่ยวกับแบบจำลองที่ครอบคลุมแหล่งที่มาของมลพิษในรถยนต์สมัยใหม่ โดยวัดปริมาณการปล่อยมลพิษจากการวัดโดยตรงจากท่อไอเสียในขณะที่ขับที่จริงและนำข้อมูลเหล่านั้นมาสร้างแบบจำลอง พร้อมทั้งเปรียบเทียบผลการทำนายมลพิษที่ได้จากแบบจำลองเทียบกับมลพิษที่วัดได้จากการวัดโดยตรง ในงานวิจัยได้แบ่งยานพาหนะในการทดลองเป็น 2 ประเภทคือ รถยนต์น้ำหนักเบา (Light-Duty Vehicles) และรถโดยสารขนาดใหญ่ (Buses) จากการศึกษาพบว่าการใช้ VSP แบบแบ่งโหมดการทำงาน (VSP Bins) ซึ่งเป็นการจัดข้อมูลความต้องการพลังงานของรถยนต์โดยการแบ่งเป็นโหมดการทำงานในจังหวะ เพิ่มความเร็ว (Acceleration) ความเร็วคงที่ (Cruising) และการชะลอความเร็ว (Deceleration) เพื่อให้เกิดแนวโน้มที่สามารถนำไปทำนายความเชื่อมั่นทางสถิติได้ [35] มีความแม่นยำมากที่สุดเป็นอันดับหนึ่ง มีค่าความแตกต่างจากการวัดจริงที่ 12% ของรถยนต์น้ำหนักเบาและ 8% ของรถโดยสารขนาดใหญ่ งานวิจัยที่ใช้การพัฒนาแบบจำลอง VSP ในการทำนายปริมาณการปล่อยมลพิษและอัตราการใช้เชื้อเพลิง ในปี ค.ศ.2016 ของ Zhang Q et al. [36] ได้วิจัยเกี่ยวกับลักษณะการปล่อยมลพิษของรถยนต์ส่งของที่ใช้เชื้อเพลิงดีเซลโดยใช้การขับที่จริง โดยใช้การวัดมลพิษโดยตรงซึ่งใช้ระบบการวัดมลพิษแบบพกพา (Portable Emission Measurement System : PEMS) เป็นเครื่องมือวัดมลพิษที่ใช้อย่างแพร่หลาย [37-39] งานวิจัยได้ใช้การทำนายจากสมการ VSP ซึ่งพบว่าการปล่อยมลพิษแปรผันตามค่า VSP และภาระของเครื่องยนต์ รวมทั้งพบว่าข้อมูลของรถยนต์ 1 คันต่อ 1 ชนิด (Type of Vehicle) ในการทดสอบในสถานะจริง ไม่เพียงพอต่อการนำไปใช้ในการสร้างแบบจำลอง VSP ที่ใช้กับรถชนิดอื่นแต่ขนาดเดียวกัน ดังนั้นการสร้างแบบจำลอง VSP จำเป็นต้องใช้ข้อมูลจากรถยนต์หลายๆ ชนิดในขนาดเดียวกันเพื่อให้นำไปใช้ได้อย่างแม่นยำมากขึ้น

งานวิจัยที่ประยุกต์ใช้แบบจำลองเพื่อเพิ่มความแม่นยำในการทำนายมากยิ่งขึ้นนั้น ได้มีการศึกษาที่พัฒนาแบบจำลองทำนายปริมาณการปล่อยมลพิษและทำนายปริมาณการใช้เชื้อเพลิง เช่น ในปี ค.ศ. 2009 งานวิจัยของ Song G and Yu L. [40] ได้มีการทำนายค่าอัตราการใช้เชื้อเพลิงโดยการขับที่จริงโดยใช้รถยนต์ที่เป็นตัวแทนกว่า 26 คันวิ่งในปักกิ่ง ประเทศจีน งานวิจัยนี้ประมาณการใช้

เชื้อเพลิงจากลักษณะของแบบจำลองระหว่าง VSP กับ ความเร็ว โดยมีพื้นฐานของข้อมูลมาจาก Floating Car Data (FCD) ซึ่งเป็นข้อมูลจากเครือข่ายโทรศัพท์เพื่อการทำงานของจราจรและปริมาณรถยนต์ โดยค่า FCD สามารถประเมินอัตราการใช้พลังงานของรถยนต์จากจราจรสมัยใหม่ที่ปรับเปลี่ยนแบบแผนการจราจรตามความหนาแน่นของรถยนต์บนท้องถนนได้ ในการศึกษานี้ได้วัดปริมาณการปล่อยมลพิษจากอุปกรณ์ Portable Emission Measurement System (PEMS) ซึ่งเป็นเครื่องมือพกพาที่สามารถต่อตรงบริเวณท่อไอเสียของรถยนต์เพื่อวัดมลพิษในขณะที่ขับขี่และนำไปเปรียบเทียบความแม่นยำจากการประมาณในแบบจำลอง นอกจากนี้ได้มีการใช้ตัวแปร Normalized Fuel consumption Rate (NFR) เพื่อลดผลกระทบจากขนาดเครื่องยนต์และน้ำหนักบรรทุกที่แตกต่างกัน แต่ผลของ NFR นั้นยังไม่สามารถแบ่งแยกน้ำหนักบรรทุกของรถยนต์ได้อย่างชัดเจน แต่ข้อมูลจาก FCD และ PEMS นั้นสามารถทำแบบจำลอง VSP ที่แสดงลักษณะของจราจรเพื่อที่จะทำนายปริมาณการใช้เชื้อเพลิงได้แม่นยำมากขึ้น และสามารถไปช่วยในการจัดการระบบขนส่งได้ เพื่อที่จะให้ลดการใช้พลังงานได้อีกด้วย [40] ยิ่งไปกว่านั้นในปี ค.ศ. 2016 งานวิจัยของ Qi Y et al. [41] ศึกษาเกี่ยวกับการพัฒนาการทำนายปริมาณการใช้เชื้อเพลิงให้มีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น โดยใช้ค่าความเร็วจาก GPS เป็นข้อมูลในการคำนวณค่า VSP และได้นำเสนอตัวแปรที่ใช้แสดงปริมาณลด Speed Reduction Congestion Index (SRCI) มาใช้วิเคราะห์การกระจายโหมดการทำงานของรถยนต์บนถนนที่แตกต่างกันภายใต้การเปลี่ยนแปลงระดับการจราจร

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงใช้ค่า VSP ในการทำนายอัตราการใช้พลังงาน เนื่องจากค่า VSP แสดงให้เห็นว่าสามารถทำนายได้อย่างแม่นยำรวมทั้งยังใช้เป็นตัวแปรในการคำนวณปริมาณการปล่อยมลพิษและการทำนายปริมาณการใช้พลังงานของมาตรฐานรถยนต์อย่างแพร่หลาย แต่ยังไม่สามารถแบ่งแยกแสดงให้เห็นถึงผลของน้ำหนักรถยนต์ที่ส่งผลกระทบต่อการทำนายปริมาณการใช้พลังงานได้ จึงจำเป็นต้องใช้หลักการในการคำนวณอื่น ๆ เข้ามาช่วยในการศึกษาเพิ่มมากยิ่งขึ้น

## บทที่ 3

### วิธีการทดสอบ

สำหรับวิธีการทดสอบจะกล่าวถึงวิธีการหาอัตราการใช้พลังงานของรถยนต์สันดาปภายในและรถยนต์ไฟฟ้า รวมทั้งวิธีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักในรถยนต์ และการเปลี่ยนแปลงสภาพการจราจร งานวิจัยนี้จะเก็บข้อมูลแบบเรียลไทม์ (Real Time) แล้วนำมาประมวลผลเพื่อให้ได้แบบจำลองแสดงอัตราการใช้พลังงานของรถยนต์สันดาปภายในและรถยนต์ไฟฟ้า วิธีการแบ่งออกเป็น 3 หัวข้อหลัก ๆ ดังนี้

#### 3.1 ปัจจัยที่ใช้ในการทดสอบ

ในส่วนนี้จะอธิบายเกี่ยวกับปัจจัยต่าง ๆ ที่เปลี่ยนแปลงในงานวิจัยนี้เพื่อตอบวัตถุประสงค์ ประกอบไปด้วยการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก ข้อมูลจำเพาะของรถยนต์ทดสอบ และการเลือกเส้นทาง

##### 3.1.1 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก

จากงานหลาย ๆ งานวิจัยที่เกี่ยวข้องได้อ้างอิงบทความของสำนักงานสิ่งแวดล้อมสหรัฐอเมริกา (Environmental Protection Agency : EPA) ได้กล่าวว่าผลของน้ำหนักมีผลโดยตรงต่ออัตราการใช้เชื้อเพลิงของรถจากยานยนต์ขนาดเล็ก (Light duty vehicles) [42] นอกจากนี้แนวโน้มการผลิตรถยนต์สมัยใหม่ยังให้ความสำคัญในเรื่องของน้ำหนักมากขึ้นเพื่อเป้าหมายในการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม [31]

งานวิจัยนี้จะเลือกการเพิ่มน้ำหนักทั้งหมด 3 ค่าจากค่าน้ำหนักเริ่มต้น โดยที่ค่าน้ำหนักเริ่มต้นคือน้ำหนักที่มีขั้วทดสอบ 1 คน ไม่มีสัมภาระ ประกอบไปด้วย

1. ที่ 10% ของน้ำหนักรถยนต์เริ่มต้น จากการที่การทดสอบตามมาตรฐานการทดสอบรถยนต์ของสำนักงานปกป้องสิ่งแวดล้อมสหรัฐอเมริกา (Environmental Protection Agency : EPA) [43]
2. ที่ 20% ของน้ำหนักรถยนต์เริ่มต้น เป็นการเพิ่มน้ำหนักโดยประมาณเพื่อแสดงให้เห็นถึงแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก
3. ที่ 30% ของน้ำหนักรถยนต์เริ่มต้น เป็นค่าน้ำหนักบรรทุกสูงสุดที่รถยนต์สามารถบรรทุกได้ [28]

การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักในงานวิจัยนี้นั้นจะคำนวณน้ำหนักจากน้ำหนักของผู้ขับซึ่งรวมกับผู้ร่วมเดินทางและสัมภาระหลัง น้ำหนักของสัมภาระหลังจะเป็นโหลดคงที่ โดยสัมภาระนั้นจะเป็นแบตเตอรี่

YUASA Battery ที่มีน้ำหนัก 37 กิโลกรัมต่อแบตเตอรี่ 1 ลูก ในรูปที่ 3 แสดงสัมภาระที่ใส่ในรถยนต์สันดาปภายในและรถยนต์ไฟฟ้า



รูปที่ 3 สัมภาระที่ใส่ในรถยนต์สันดาปภายในและรถยนต์ไฟฟ้า

### 3.1.2 ข้อมูลจำเพาะของรถยนต์ทดสอบ

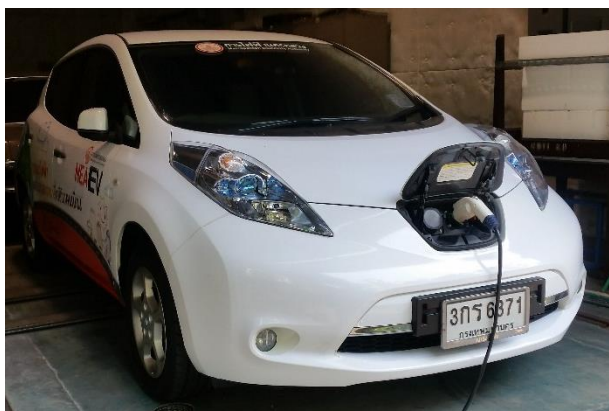
งานวิจัยนี้จะทดสอบภายใต้การขับขี่จริงในกรุงเทพมหานครโดยใช้รถยนต์ 2 ประเภท ได้แก่ สันดาปภายในคือ Toyota Corolla Altis 1.8 V และ รถยนต์ไฟฟ้าคือ Nissan Leaf 2013

รถยนต์ Toyota Corolla Altis ดังที่แสดงในรูปที่ 4 เป็นตัวแทนของรถยนต์สันดาปภายในในการทดสอบนี้ โดยได้รับการสนับสนุนจาก บริษัทโตโยต้า มอเตอร์ ประเทศไทย และข้อมูลจำเพาะของรถยนต์ที่ใช้ในการทดสอบ แสดงในตารางที่ 1 รถยนต์สันดาปภายในที่ใช้ทดสอบจะใช้ขั้นตอนและวิธีการจากงานวิจัยก่อนหน้า [ตรีนก ศ. 2558]



รูปที่ 4 รถยนต์สันดาปภายในที่ใช้ในการทดสอบ

รถยนต์ Nissan Leaf ดังที่แสดงในรูปที่ 5 เป็นตัวแทนของรถยนต์ที่ขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้า 100% (Battery Electric Vehicle : BEV) ในการทดสอบนี้ โดยได้รับการสนับสนุนจาก ฝ่ายวิจัยและพัฒนา การไฟฟ้านครหลวง



รูปที่ 5 รถยนต์ไฟฟ้า (Nissan Leaf) ที่ใช้ในการทดสอบ

ตารางที่ 1 ข้อมูลจำเพาะของรถยนต์ที่ใช้ในการทดสอบ

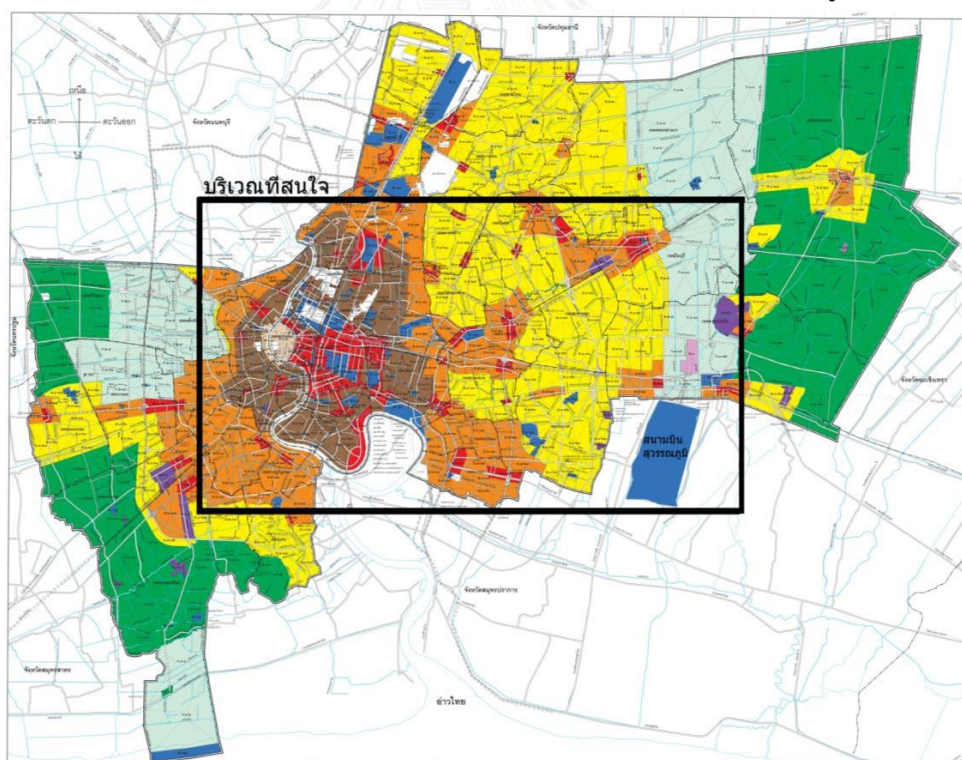
	Toyota Altis 1.8V		Nissan Leaf
รุ่นเครื่องยนต์	2ZR-FBE	แรงดันไฟฟ้า DC (V)	240 - 403
ประเภทของเครื่องยนต์	4 สูบแถวเรียง DOHC Dual WT-i	ประเภทของมอเตอร์ ไฟฟ้า	AC permanent-magnet synchronous electric motor
ความจุกระบอกสูบ (CC)	1,798		
อัตราส่วนกำลังอัด	10.0:1	High voltage battery	Laminate-type thin lithium-ion (24kWh)
กำลังสูงสุด [kW (hp)/rpm]	104 (141)/6,000	กำลังสูงสุด [kW hp]	80 (107)
แรงบิดสูงสุด (Nm/rpm)	177/4,000	แรงบิดสูงสุด [Nm]	280
น้ำหนักรถ (kg)	1,275	น้ำหนักรถ (kg)	1,325

การวัดอัตราการใช้พลังงานและข้อมูลความเร็วจะใช้ข้อมูลจาก OBD ซึ่งจะกล่าวในส่วนของวิธีการเก็บข้อมูลต่อไป

### 3.1.3 การเลือกเส้นทาง

เส้นทางที่เลือกเป็นบริเวณที่สนใจในรูปที่ 6 เนื่องจากเป็นบริเวณที่มีผู้อาศัยอยู่มาก การจราจรหนาแน่น จึงเป็นจุดที่สามารถเป็นตัวแทนการจราจรในกรุงเทพมหานครได้ โดยจะแบ่งลักษณะการจราจร 3 ประเภท คือ

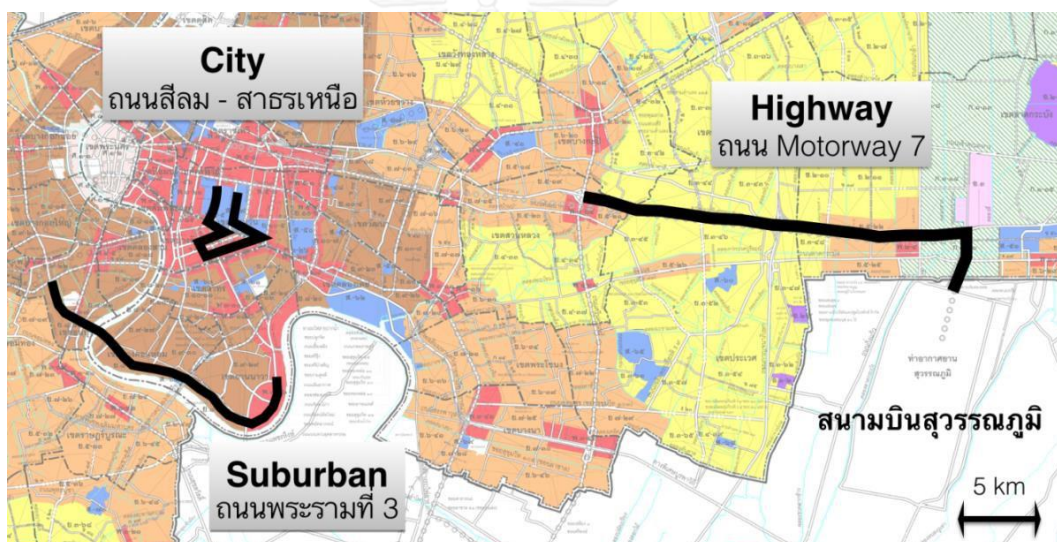
1. เส้นทางภายในบริเวณใจกลางเมือง ได้แก่ เขตพาณิชย์กรรม เขตสถานศึกษา และเขตสถานที่ราชการ ซึ่งเป็นตัวแทนของเส้นทางแบบในเมือง (City)
2. เส้นทางที่เชื่อมระหว่างบริเวณเขตพาณิชย์กรรมมาสู่ย่านที่อยู่อาศัยหนาแน่นมาก ซึ่งเป็นตัวแทนของเส้นทางแบบชานเมือง (Suburban)
3. เส้นทางจากย่านที่อยู่อาศัยหนาแน่นมากมาสู่ย่านที่อยู่อาศัยหนาแน่นปานกลาง และหนาแน่นน้อย ซึ่งเป็นตัวแทนของเส้นทางแบบถนนทางหลวง ที่ใช้ความเร็วสูง (Highway)



รูปที่ 6 ผังเมืองกรุงเทพมหานครจำแนกที่ดินตามประโยชน์การใช้งาน [44]

เส้นทาง City Suburban และ Highway จะถูกนำมาพิจารณาด้วยข้อมูลปริมาณรถยนต์ในแยกความเร็วเฉลี่ย ณ ช่วงเร่งด่วน ซึ่งอ้างอิงจากสำนักงานจราจรและขนส่ง 2548 ทำให้สามารถเลือกบริเวณที่นำมาทดสอบได้ดังนี้ บริเวณใจกลางเมือง (City) คือ ถนนสีลมและ

สาทร เนื่องจากเป็นเส้นทางที่มีการจราจรติดขัด ใช้ความเร็วต่ำ และอยู่ในบริเวณย่านธุรกิจ และสถานศึกษา เส้นทางที่เชื่อมระหว่างเขตพาณิชยกรรมสู่ย่านที่อยู่อาศัยหนาแน่นมาก (Suburban) คือ ถนน พระรามที่สาม เนื่องจากเป็นเส้นทางที่มีความเร็วเฉลี่ยอยู่ระหว่าง City และ Highway แต่จำนวนรถยนต์ใช้งานมากเป็นอันดับสองรองจากถนนวิภาวดีรังสิต สำหรับเส้นทางสุดท้ายเป็นเส้นทางที่อยู่บริเวณชานเมืองที่ใช้ความเร็วสูงการจราจรเคลื่อนตัวได้ดี (Highway) คือ ถนนทางหลวงพิเศษหมายเลข 7 (Motorway7) ดังรูปที่ 7 เส้นทางทดสอบ และทำเลที่ตั้ง โดย ถนนแต่ละเส้นทางมีความยาว 5, 20 และ 40 กิโลเมตร ตามลำดับ ทั้งนี้ในการทดสอบจะทำช่วงชั่วโมงเร่งด่วน ระหว่าง 16.00-19.00 น. และเนื่องจากในความเป็นจริงสภาพการจราจรมีความผันผวนอยู่ตลอดเวลา และยากที่จะควบคุม ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้นิยามลักษณะการจราจรในเบื้องต้นเป็นดังตารางที่ 2 หากค่าที่ได้จากการทดสอบอยู่นอกช่วงดังกล่าวจะถือว่าการจราจรมีความผิดปกติต้องทำการทดสอบใหม่อีกครั้ง

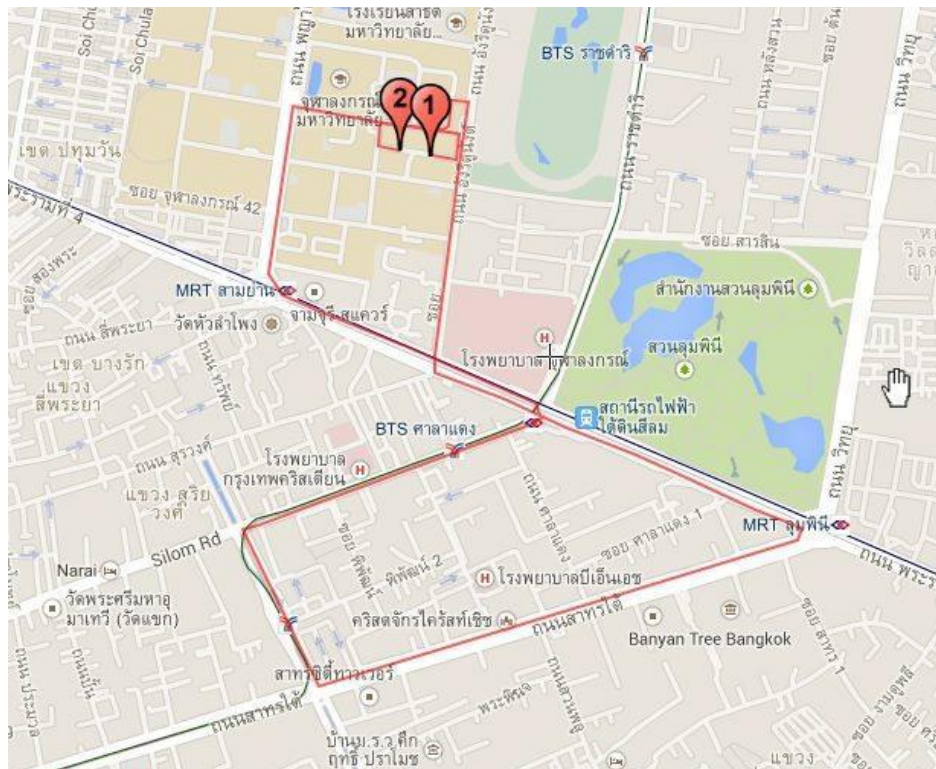


รูปที่ 7 เส้นทางทดสอบ [44]

ตารางที่ 2 หลักเกณฑ์ลักษณะแบ่งลักษณะการจราจร [44]

เส้นทาง	ความเร็วเฉลี่ย (km/h)	Stop/km	% Idle (รถยนต์สันดาปภายใน)
City	ต่ำกว่า 15	มากกว่า 2	30-50
Suburban	15 - 40	ต่ำกว่า 0.5	10-28
Highway	มากกว่า 40	ต่ำกว่า 0.2	ต่ำกว่า 10

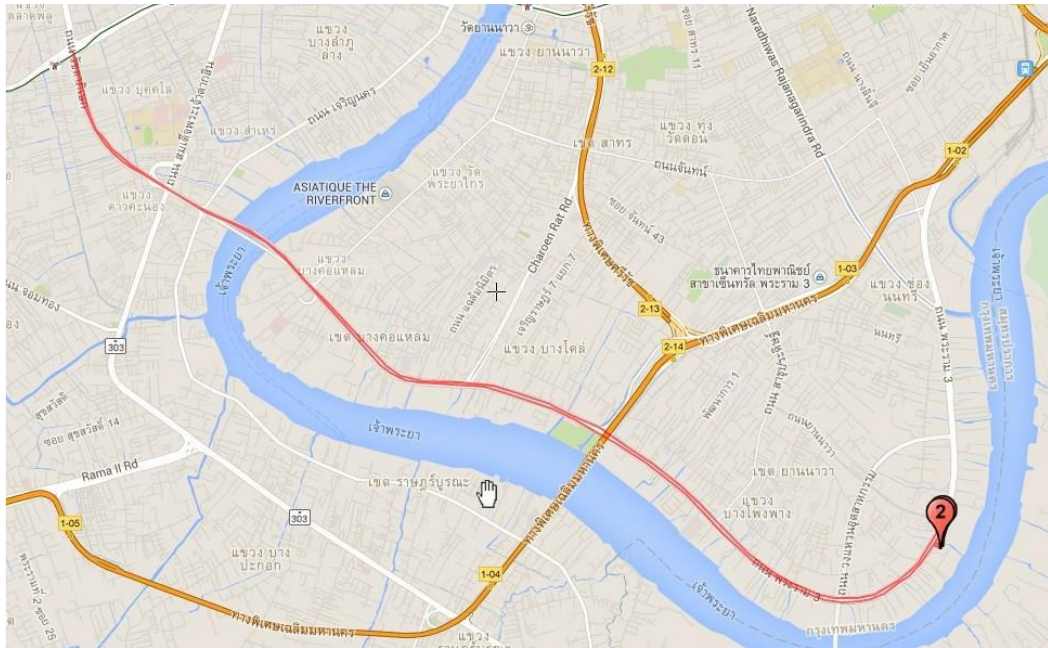
เมื่อได้บริเวณทดสอบแล้วจึงสามารถกำหนดเส้นทางทดสอบที่เป็นตัวแทนของการจราจรย่านกลางเมืองแสดงได้ดังรูปที่ 8 โดยทำการขับจากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย => ถนนพญาไท => ถนนพระราม 4 => ถนนสีลม => ถนนนราธิวาส => ถนนสาทรเหนือ => ถนนพระราม 4 => ถนนอังรีดูนังต์ => จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย รวมเป็นระยะทางประมาณ 8 กิโลเมตร ซึ่งมีความเร็วเฉลี่ยอยู่ที่ 9-11 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และมีการหยุดรถเฉลี่ย 7 ครั้งต่อกิโลเมตร



รูปที่ 8 เส้นทางทดสอบที่เป็นตัวแทนของการจราจรย่านกลางเมือง

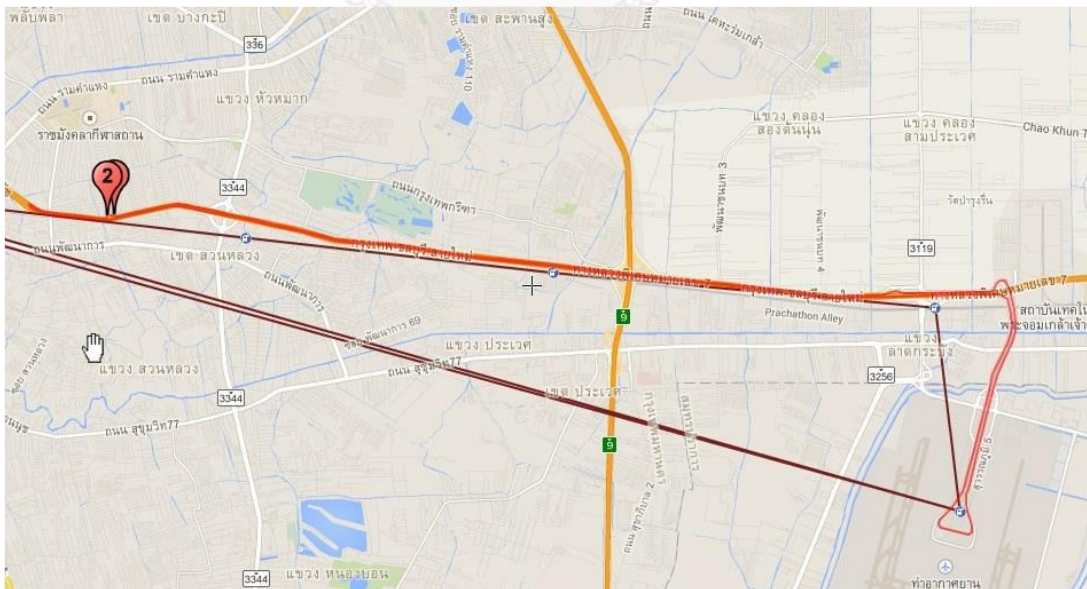
เส้นทางทดสอบที่เป็นตัวแทนของการจราจรย่านชานเมืองแสดงได้ดังรูปที่ 9 โดยทำการขับจากธนาคารกรุงศรีอยุธยา สำนักงานใหญ่ => ถนนพระราม 3 => แยกตลาดพลู => ถนนพระราม 3 => ธนาคารกรุงศรีอยุธยา สำนักงานใหญ่ รวมเป็นระยะทางประมาณ 18 กิโลเมตร มีความเร็วเฉลี่ยที่ 35-39 กิโลเมตร ต่อ ชั่วโมง และมีการหยุดรถเฉลี่ย 0.27 ครั้งต่อกิโลเมตร





รูปที่ 9 เส้นทางทดสอบที่เป็นตัวแทนของการจราจรย่านชานเมือง

เส้นทางทดสอบที่เป็นตัวแทนของการจราจรทางหลวงแสดงได้ดังรูปที่ 10 โดยขับจากเดอะไนน์ พระราม 9 => ถนนมอเตอร์เวย์ => เข้าสนามบินสุวรรณภูมิ => ถนนมอเตอร์เวย์ => เดอะไนน์ พระราม 9 รวมเป็นระยะทางประมาณ 40 กิโลเมตร มีความเร็วเฉลี่ยที่ 75-87 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และ มีการหยุดรถเฉลี่ย 0 ครั้งต่อกิโลเมตร



รูปที่ 10 เส้นทางทดสอบที่เป็นตัวแทนของการจราจรบนถนนทางหลวง

### 3.2 วิธีการเก็บข้อมูล

#### ก) รถยนต์สันดาปภายใน

การศึกษานี้มีการเก็บข้อมูลจากรถยนต์ทดสอบ โดยใช้ชุดอุปกรณ์ Toyota ® Global TechStream (GTS): เป็นชุดอุปกรณ์วินิจฉัยข้อมูลของรถยนต์ซึ่งผนวกรวมกับการใช้คอมพิวเตอร์ส่วนตัว ทำหน้าที่วินิจฉัยและแสดงสถานะความผิดปกติของยานยนต์เพื่อนำไปสู่การซ่อมแซมอย่างถูกต้อง และยังสามารถแสดงค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของยานยนต์ตามเวลาจริง รวมถึงค่าพารามิเตอร์ทั้งหมดที่จำเป็นต้องใช้ในการทดลองทั้งหมดสามารถเก็บได้จากอุปกรณ์นี้ และยังสามารถทำการบันทึกข้อมูลดังกล่าวเพื่อนำมาศึกษาและวิเคราะห์ต่อไป โดยชุด GTS จะประกอบด้วยสองส่วนย่อยคือ OTC Vehicle Interface Module และ Global Tech Stream Software แสดงไว้ในรูปที่ 11



รูปที่ 11 ลักษณะการติดตั้งอุปกรณ์เก็บข้อมูลในรถยนต์สันดาปภายใน

อุปกรณ์ในรูปที่ 11 ประกอบไปด้วย 2 ส่วนคือ

1. อุปกรณ์ OTC Vehicle Interface Module (VIM) (On-board Diagnostics II : OBD II) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เชื่อมต่อระหว่าง ECU (Engine control unit) ของรถยนต์ และเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ติดตั้ง Global Tech Stream Software เพื่อทำการสื่อสารระหว่าง ECU และ คอมพิวเตอร์ในการจับสัญญาณจากอุปกรณ์วัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆภายในตัวรถผ่าน ECU เพื่อนำไปแสดงผลต่อไป จะประกอบด้วย Vehicle Interface Module (VIM), USB Cable และ Datalink Cable (DLC3)

2. ซอฟต์แวร์ Global Tech Stream Software (Version 9.30.029) เป็นซอฟต์แวร์ที่ติดตั้งบนเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อใช้งานร่วมกับ OTC VIM เพื่อทำการอ่าน แสดงผล และ บันทึกข้อมูล ซึ่งโปรแกรมนี้สามารถส่งออกข้อมูลที่บันทึกในรูปแบบไฟล์ แสดงไว้ในรูปที่ 12 ซึ่งสามารถนำไปแปลงเป็นไฟล์ Excel เพื่อนำไปประมวลผลต่อไป มีความถี่ในการเก็บข้อมูลประมาณ 7.4 Hz ซึ่งข้อมูลที่นำไปใช้ในการประมวลผลได้แสดงไว้ในตารางที่ 3 ซึ่งงานวิจัยของ [พิธานวัตร ส. 2558] ได้ทำการสอบเทียบระหว่างอัตราการใช้พลังงานจาก GTS กับการคำนวณอัตราการใช้พลังงานในสมการที่ 1 สามีความแม่นยำเชื่อถือได้

Sample Time	Vehicle Spd	Engine Spd	Calculate L	Vehicle L	Loi	MAF	Atmospher	Coolant	Te	Intake Air	Engine Rur	Initial Engr	Initial Intal	Battery Vo	Accelerati	Accel	Sens	Accel Sens	Throttle Se
MM:SS.mmm	km/h	rpm	%	%	gms/s	kPa	?	?	?	?	?	?	?	V	%	%	%	%	%
00:00.0	0.0000	0	756	30.1	15.6	2.14	100	90	61	1141	56.2	45	13.593	0	15.6	32.1	16		
00:00.1	0.1350	0	757	30.1	15.6	2.15	100	90	61	1142	56.2	45	13.613	0	15.6	32.1	16		
00:00.3	0.2740	0	760	30.1	15.6	2.15	100	90	61	1142	56.2	45	13.593	0	15.6	32.1	16		
00:00.4	0.4100	0	755	30.1	15.6	2.14	100	90	61	1142	56.2	45	13.613	0	15.6	32.1	16		
00:00.5	0.5450	0	755	30.5	16	2.2	100	90	61	1142	56.2	45	13.613	0	15.6	32.1	16		
00:00.7	0.6840	0	758	30.5	15.6	2.14	100	90	61	1142	56.2	45	13.613	0	15.6	32.1	16		
00:00.8	0.8190	0	758	30.5	15.6	2.12	100	90	61	1142	56.2	45	13.613	0	15.6	32.1	16		
00:01.0	0.9540	0	757	30.5	15.6	2.12	100	90	61	1142	56.2	45	13.613	0	15.6	32.1	16		
00:01.1	1.0890	0	758	30.5	15.6	2.14	100	90	61	1142	56.2	45	13.613	0	15.6	32.1	16		
00:01.2	1.2300	0	759	30.5	15.6	2.12	100	90	61	1143	56.2	45	13.613	0	15.6	32.1	16		
00:01.4	1.3640	0	760	30.1	15.6	2.12	100	90	61	1143	56.2	45	13.613	0	15.6	32.1	16		
00:01.5	1.4990	0	760	30.1	15.2	2.1	100	90	61	1143	56.2	45	13.593	0	15.6	32.1	16		
00:01.6	1.6340	0	762	30.1	15.2	2.12	100	90	61	1143	56.2	45	13.632	0	15.6	32.1	16		
00:01.8	1.7680	0	764	30.1	15.2	2.12	100	90	61	1143	56.2	45	13.613	0	15.6	32.1	16		
00:01.9	1.9000	0	753	30.1	15.6	2.1	100	90	61	1143	56.2	45	13.613	0	15.6	32.1	16		
00:02.0	2.0350	0	754	30.1	15.6	2.1	100	90	61	1143	56.2	45	13.613	0	15.6	32.1	16		
00:02.2	2.1710	0	757	30.1	15.6	2.12	100	90	61	1144	56.2	45	13.613	0	15.6	32.1	16		
00:02.3	2.3110	0	760	30.1	15.6	2.12	100	90	61	1144	56.2	45	13.632	0	15.6	32.1	16		
00:02.4	2.4450	0	759	30.1	15.2	2.1	100	90	61	1144	56.2	45	13.593	0	15.6	32.1	16		
00:02.6	2.5750	0	754	30.1	15.6	2.12	100	90	61	1144	56.2	45	13.613	0	15.6	32.1	16		
00:02.7	2.7060	0	760	30.1	15.6	2.14	100	90	61	1144	56.2	45	13.632	0	15.6	32.1	16		
00:02.8	2.8380	0	762	30.5	15.2	2.12	100	90	61	1144	56.2	45	13.613	0	15.6	32.1	16		
00:03.0	2.9720	0	757	30.1	15.2	2.1	100	90	61	1144	56.2	45	13.613	0	15.6	32.1	16		
00:03.1	3.1030	0	753	30.1	15.6	2.1	100	90	61	1144	56.2	45	13.613	0	15.6	32.1	16		

รูปที่ 12 ตัวอย่างข้อมูลที่เก็บได้จากอุปกรณ์ OTC VIM

ตารางที่ 3 ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณอัตราการใช้พลังงานของรถยนต์สันดาปภายใน

Sample Time	Vehicle Speed	Engine Speed	Injection Volum (Cylinder1)
MM:SS.mmm	km/h	rpm	ml
00:45.0	0	995	0.221
00:45.1	0	996	0.221
00:45.2	0	998	0.221
00:45.4	4	995	0.221
00:45.5	4	983	0.221
00:45.6	4	974	0.221
00:45.8	4	985	0.221
00:45.9	6	1005	0.221
00:46.0	6	1003	0.221
00:46.2	6	997	0.151
00:46.3	6	992	0.151
00:46.4	6	992	0.151
00:46.6	6	1005	0.151
00:46.7	6	988	0.151
00:46.8	8	999	0.151
00:47.0	8	997	0.151
00:47.1	8	1005	0.151

## ข) รถยนต์ไฟฟ้า

ในการศึกษานี้วิธีการเก็บข้อมูลจะใช้ประโยชน์จากข้อบังคับทางมาตรฐานของรถยนต์ที่ต้องติดตั้งระบบตรวจสอบข้อมูลการทำงาน (on-board diagnosis, OBD) จากการกำหนดมาตรฐาน ISO ที่มีการใช้แพร่หลายคือ ISO9141 และ ISO15746 ซึ่งเป็นการเรียกดูข้อมูลของเครื่องยนต์และอุปกรณ์ทั้งหมดในรถยนต์ยกตัวอย่างเช่น ความเร็วของรถยนต์ อัตราการใช้พลังงาน ระยะทางที่รถใช้ขับเคลื่อน การแสดงความผิดพลาดในอุปกรณ์ของรถยนต์ เป็นต้น



รูปที่ 13 อุปกรณ์อ่านข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการขับเคลื่อนของรถยนต์ไฟฟ้า Konnwei KW902 OBD-II Car Auto Diagnostic Scan Tools



รูปที่ 14 ตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์อ่านข้อมูล



รูปที่ 15 ลักษณะการติดตั้งอุปกรณ์อ่านข้อมูล



รูปที่ 16 อุปกรณ์บันทึกข้อมูล

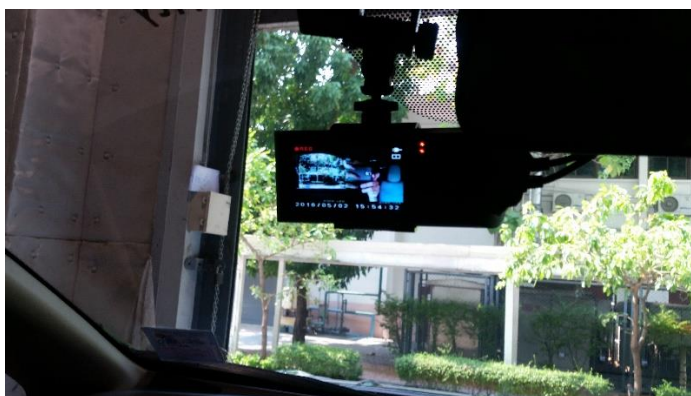
การอ่านและบันทึกข้อมูลของรถยนต์ไฟฟ้าจะประกอบไปด้วย 2 ส่วนคือ

1. อุปกรณ์อ่านข้อมูลคือ Konnwei KW902 OBD-II Car Auto Diagnostic Scan Tools ในรูปที่ 13 เป็นอุปกรณ์อ่านข้อมูลตัวแปรที่ใช้วิเคราะห์การทำงานของเครื่องยนต์ตามตัวอย่างในตารางที่ 4 ผ่านทางจุดเชื่อมต่อแบบ SAE J1962 โดยที่จะติดตั้งอยู่ในระยะห่างไม่เกิน 1 เมตรจากตำแหน่งพวงมาลัยของรถยนต์ตามที่แสดงในรูปที่ 14 ตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์อ่านข้อมูลและรูปที่ 15 ลักษณะการการติดตั้งอุปกรณ์อ่านข้อมูล
2. อุปกรณ์บันทึกข้อมูลซึ่งจะทำงานร่วมกับโปรแกรม Leaf Spy Pro ที่มีความถี่ในการเก็บข้อมูล 1 Hz ดังในรูปที่ 16

ตารางที่ 4 ตัวอย่างข้อมูลที่นำมาใช้ในการทดสอบ

รายการ	คำอธิบาย
Date/Time	วันที่/เวลาที่บันทึก
Speed	ความเร็ว ณ ขณะนั้น (km/h)
Pack Volts	ความต่างศักย์รวม (Volt)
Pack Amps	กระแสรวม (Amp)
Aux Pwr	กำลังรวมของอุปกรณ์ไฟฟ้า (Watt)
A/C Pwr	กำลังรวมของระบบปรับอากาศในรถยนต์ (Watt)
Est Pwr A/C	ค่าประมาณกำลังของระบบปรับอากาศ (Watt)

นอกจากนี้ผู้ทดสอบยังได้เพิ่มอุปกรณ์กล้องติดรถยนต์เพื่อบันทึกเหตุการณ์ไม่คาดฝันที่อาจจะเกิดขึ้น ดังที่แสดงในรูปที่ 17



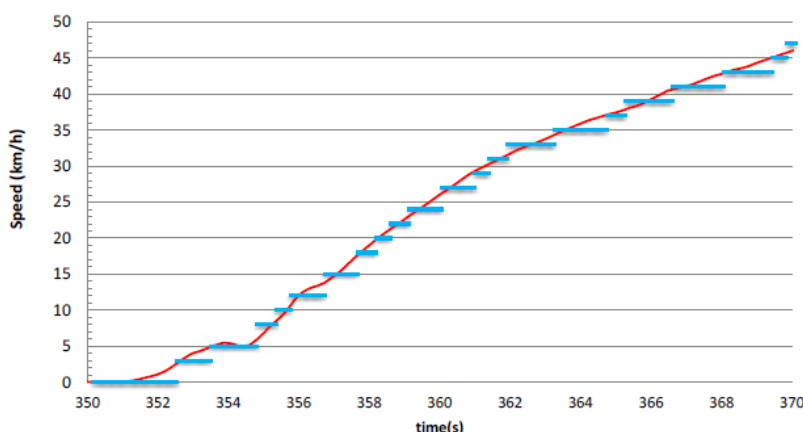
รูปที่ 17 กล้องติดรถยนต์

### 3.3 วิธีการคำนวณ

ในส่วนของการคำนวณประกอบไปด้วย 6 ส่วนคือ ส่วนแรกจะกล่าวถึงวิธีการของข้อมูลความเร็วเพื่อนำไปใช้ในการคำนวณในส่วนแบบจำลองค่ากำลังจำเพาะเพื่อคำนวณอัตราการใช้พลังงานต่อไป ส่วนที่สองจะแสดงวิธีการคำนวณอัตราการใช้พลังงานของรถยนต์สันดาปภายในและรถยนต์ไฟฟ้า ส่วนที่สามจะอธิบายวิธีการสร้างแบบจำลองค่ากำลังจำเพาะของยานยนต์ ส่วนที่สี่อธิบายวิธีการแสดงค่าความคลาดเคลื่อนในแบบจำลองค่ากำลังจำเพาะที่เกิดจากการหาค่าเฉลี่ยของอัตราการใช้พลังงานของรถยนต์ทดสอบแต่ละคัน ส่วนที่ห้าคือวิธีการเทียบอัตราการใช้พลังงานของรถยนต์ไฟฟ้ากับรถยนต์สันดาปภายใน และส่วนสุดท้ายอธิบายถึงวิธีการเปรียบเทียบอัตราการใช้พลังงานของรถยนต์สันดาปภายในและรถยนต์ไฟฟ้า

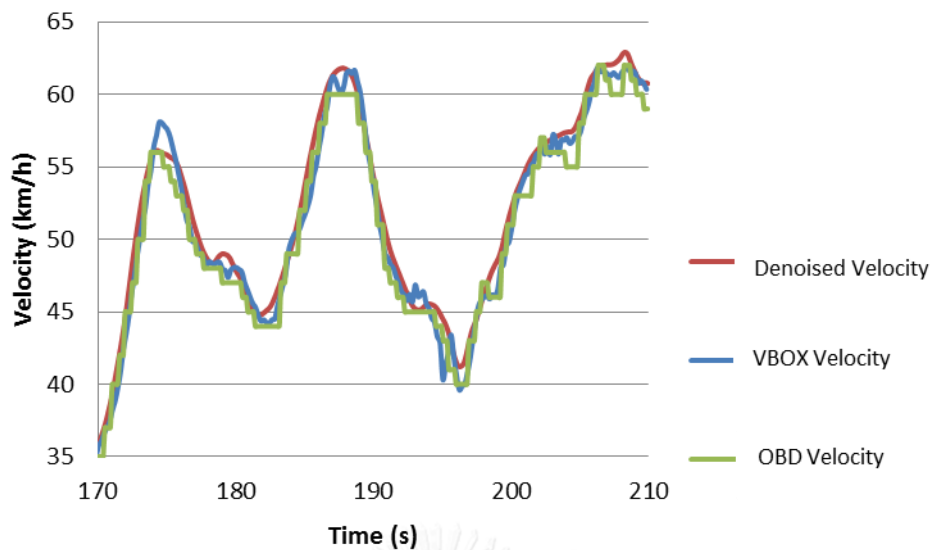
#### 3.3.1 วิธีการกรองข้อมูลของความเร็ว

งานวิจัยนี้ได้ใช้ค่าความเร็วของรถยนต์เป็นหลักเพื่อสร้างแบบจำลองกำลังจำเพาะของยานยนต์นำไปสู่การคำนวณอัตราการใช้พลังงาน จากสมการที่ 5 สมการการคำนวณหาค่ากำลังจำเพาะซึ่งคำนวณจากค่าความเร็วและความเร่ง งานวิจัยนี้ได้ใช้การเก็บข้อมูลความเร็วจาก OBD และนำไปคำนวณหาค่าความเร่ง แต่ข้อมูลความเร็วจาก OBD นั้นเพิ่มขึ้นลำดับขั้น โดยมีค่าความละเอียด (Resolution) ที่ 1 km/h ได้แสดงไว้ในรูปที่ 18 กราฟสีฟ้าคือข้อมูลความเร็วจาก OBD ส่วนเส้นสีแดงคือข้อมูลความเร็วจาก GPS [45]



รูปที่ 18 การเปรียบเทียบข้อมูลความเร็วจาก OBD และ GPS [46]

ค่าความเร็วในงานวิจัยนี้ได้มาจากการคำนวณผ่านระบบ OBD ซึ่งเกิดจากอุปกรณ์การเก็บความเร็วที่ล้อรถ (Wheel Speed Sensor) จำเป็นต้องผ่านกระบวนการสอบเทียบ (Calibrate) เนื่องจากอุปกรณ์การเก็บความเร็วที่ล้อรถ มีทั้งหมด 4 ตัว [46] แยกตามแต่ละล้อ ค่าความเร็วที่ได้จะคลาดเคลื่อนในกรณีที่รถเลี้ยวหรือค่าความเร็วในแต่ละล้อไม่เท่ากัน วิธีการ Wavelet Transform จะลดค่าความผิดพลาดอันเกิดจากความเร็วในแต่ละล้อไม่เท่ากันได้ [46] จากงานวิจัยของ Dadashnialehi A. et al (2012) [46] ได้กล่าวถึงระบบป้องกันการลื่นของล้อรถยนต์เวลาเบรก (Anti-Lock Brake System : ABS) ซึ่งค่าความเร็วจะถูกคำนวณจากล้อทั้ง 4 แล้วคำนวณผ่าน ECU โดยการส่งสัญญาณแรงเคลื่อนไฟฟ้าต้านกลับ (Back EMF) ของ In-Wheel Motor งานวิจัยนี้อธิบายข้อดีของการลดสัญญาณรบกวนโดยใช้วิธี Wavelet Packet (WP) เป็นวิธีการการลดสัญญาณ โดยเริ่มต้นจากการ Decompose สัญญาณที่ต้องการออกเป็นช่วงสัญญาณความถี่สูงและช่วงสัญญาณความถี่ต่ำในแต่ละ Decomposition Levels จากนั้นจะเป็นขั้นตอนการเลือกค่าสัมประสิทธิ์ที่เหมาะสมเพื่อรวมสัญญาณเข้าด้วยกันอีกครั้งจนได้เป็นสัญญาณที่ใช้งานได้จริง โดยรูปแบบที่เหมาะสมสำหรับใช้กับข้อมูลความเร็วรอบของล้อรถยนต์คือ Daubechies Family ซึ่งจะใช้ db ขึ้นอยู่กับความเร็วรอบที่ใช้งาน สำหรับในการทดลองนี้ ผู้ทดลองได้เลือกใช้ db5 level4 เนื่องจากครอบคลุมช่วงความเร็วรอบที่ใช้งานในลักษณะการจราจรในกรุงเทพมหานคร เมื่อทำการปรับปรุงข้อมูลค่าความเร็วในรูปแบบที่ 19



รูปที่ 19 การเปรียบเทียบสัญญาณแรงเครื่องไฟฟ้าด้านของความเร็วรอบล้อที่ผ่าน Wavelet Packet (Denoised Velocity) กับสัญญาณอ้างอิง [46]

จากรูปที่ 19 พบว่าวิธีการ Wavelet สามารถแปลงข้อมูลความเร็วที่เป็นลำดับชั้นเป็นข้อมูลความเร็วแบบต่อเนื่องได้อย่างแม่นยำ [44] ซึ่งสามารถนำไปคำนวณหาค่าความเร่งของรถยนต์และนำไปใช้ในการสร้างแบบจำลองกำลังจำเพาะได้

### 3.3.2 วิธีการคำนวณอัตราการใช้พลังงาน

#### ก) รถยนต์สันดาปภายใน

วิธีการวัดอัตราการใช้พลังงานของรถยนต์สันดาปภายในจะต้องเก็บค่าพารามิเตอร์ 2 ค่า จาก ECU ได้แก่ ปริมาณน้ำมันที่หัวฉีดจ่าย (Injection Volume : INJ) และ ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ (N) ซึ่ง Injection Volume ที่วัดได้นั้นเป็นปริมาณของหนึ่งหัวฉีดต่อการฉีด 10 ครั้ง จึงต้องคูณด้วยจำนวนหัวฉีด (n) ก่อน จากนั้นหารด้วยจำนวนรอบของเครื่องยนต์ต่อการฉีดเชื้อเพลิง 1 ครั้ง (k) และคูณกับความเร็วน้ำมันของเครื่องยนต์ (N) จะได้อัตราการใช้น้ำมัน (f) ในหน่วย mg/min จากนั้นทำการแปลงหน่วยให้อยู่ที่หน่วย g/s ซึ่งจะได้ดังสมการที่ 1

$$f\left(\frac{g}{s}\right) = \frac{INJ \cdot n \cdot N \cdot \rho_{fuel}}{k \cdot 10 \cdot 1000 \cdot 60} \quad (1)$$



โดยที่

- $f$  คือ อัตราการใช้น้ำมัน (กรัมต่อวินาที)
- $IN$  คือ ปริมาณการฉีดน้ำมันใน 10 ครั้งต่อ 1 หัวฉีด
- $n$  คือ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ (รอบต่อนาที)
- $N$  คือ จำนวนหัวฉีดซึ่งมี 4 หัว
- $k$  คือ จำนวนรอบต่อการจ่ายเชื้อเพลิง 1 ครั้งซึ่งมีค่าเท่ากับ 2 ในเครื่องยนต์ 4 จังหวะ
- $\rho_{fuel}$  คือ ความหนาแน่นของเชื้อเพลิง (กรัมต่อวินาที) ซึ่งในที่นี้ใช้เชื้อเพลิง Gasohol 91 ซึ่งมีความหนาแน่น 737 (กรัมต่อลิตร)

### ข) รถยนต์ไฟฟ้า

การคำนวณอัตราการใช้พลังงานของรถยนต์ไฟฟ้าได้ถูกคำนวณมาจากข้อมูลที่เก็บจากอุปกรณ์ OBD เช่นเดียวกับของรถยนต์สันดาปภายใน แต่ตัวแปรในการเก็บค่าพลังงานจะแตกต่างกัน แสดงไว้ในสมการที่ 2

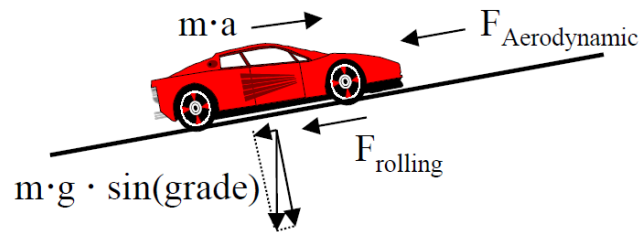
$$fe\left(\frac{Wh}{s}\right) = \frac{V \cdot I \cdot \left(\frac{s}{3600}\right)}{s} \quad (2)$$

โดยที่

- $V$  คือ แรงดันไฟฟ้า (โวลต์)
- $I$  คือ กระแสไฟฟ้า (แอมป์)
- $s$  คือ เวลาที่เก็บข้อมูล (วินาที)
- $fe$  คือ อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้า (วัตต์ชั่วโมงต่อวินาที)

### 3.3.3 วิธีการสร้างแบบจำลองค่ากำลังจำเพาะของยานยนต์ (Vehicle Specific Power)

ค่ากำลังจำเพาะของยานยนต์ (Vehicle Specific Power: VSP) เป็นพารามิเตอร์ที่แสดงถึงความต้องการกำลังต่อมวลของยานยนต์ในขณะเวลาหนึ่ง นิยมใช้ในการประเมินการใช้อัตราการใช้ น้ำมันและอัตราการปล่อยไอเสียของยานยนต์ โดย VSP คำนวณได้จากกำลังที่ยานยนต์ต้องการในขณะนั้นเทียบกับมวลรวมของยานยนต์ดังที่แสดงในรูปที่ 20 การหาสมการ VSP สามารถแสดงได้ดังสมการที่ 3



รูปที่ 20 แรงต้านการเคลื่อนที่ของยานยนต์ [34]

$$\begin{aligned}
 VSP &= \frac{\text{Power}}{\text{Mass}} \\
 &= \frac{\frac{d}{dt} (E_{\text{Kinetic}} + E_{\text{Potential}}) + F_{\text{Rolling}} \cdot V + F_{\text{Aerodynamic}} \cdot V + F_{\text{Internal Friction}} \cdot V}{m}
 \end{aligned} \quad (3)$$

จากสมการที่ 3 เมื่อจัดรูปและแทนค่าจะได้ตามสมการที่ 4

$$VSP = V \cdot [1.1 \cdot a + 9.81 \cdot \text{grade} + \phi] + \frac{\xi}{m} \cdot (V + V_w)^2 \cdot V \quad (4)$$

โดยที่

$VSP$	คือ ค่ากำลังจำเพาะของยานยนต์ (กิโลวัตต์ต่อตัน)
$V$	คือ ความเร็ว (เมตรต่อวินาที)
$a$	คือ ความเร่ง (เมตรต่อวินาทีกำลังสอง)
$\phi$	คือ ความต้านทานที่กลิ้ง (เมตรต่อวินาทีกำลังสอง)
$\xi$	คือ ความต้านทานอากาศ
$m$	คือ น้ำหนักรวมของรถยนต์ (ตัน)
$V_w$	คือ ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)
$\text{grade}$	คือ ความชันของถนน

ในการทดลองนี้จะใช้ค่า  $VSP$  ที่ตั้งอยู่บนสมมติฐานดังนี้

- ละเว้นความชันของถนน :  $\text{grade} = 0$
- $\phi = 0.132$  (เมตรต่อวินาทีกำลังสอง)
- $\xi = 0.000302$
- ไม่มีความเร็วลม  $V_w = 0$  (เมตรต่อวินาที)

เมื่อแทนค่าตามสมมติฐานลงในสมการที่ 4 จะได้สมการที่ใช้ในการทดลองดังสมการที่ 5

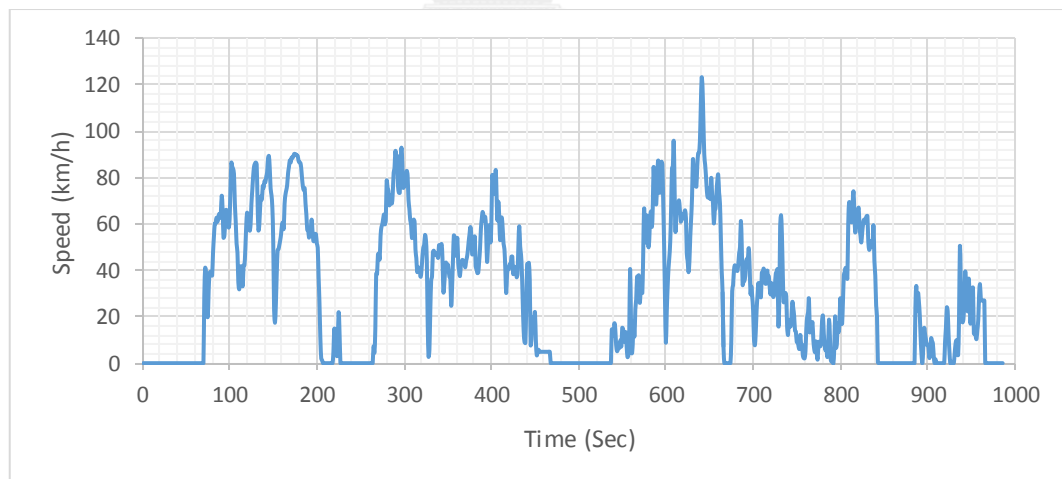
$$VSP \left[ \frac{kW}{ton} \right] = V \cdot [1.1 \cdot a + 0.132] + \frac{0.000302}{m} \cdot V^3 \quad (5)$$

โดยที่

$V$  คือ ความเร็ว (เมตรต่อวินาที)

$a$  คือ ความเร่ง (เมตรต่อวินาทีกำลังสอง)

จากสมการที่ 5 จะเห็นได้ว่าค่า VSP นั้นแปรผันกับค่าความเร็ว ความเร่งและน้ำหนักของรถยนต์เท่านั้น การคำนวณอัตราการใช้พลังงานจะนำข้อมูลรูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างความเร็ว-เวลาดังที่แสดงในรูปที่ 21 นำมาคำนวณหาค่า VSP ในสมการที่ 5 ซึ่งในแต่ละค่าของ VSP นั้นจะมาพร้อมกับข้อมูลอัตราการใช้พลังงานที่ความเร็ว - ความเร่งนั้น ๆ เมื่อได้ค่า VSP ในแต่ละจุดของข้อมูลแล้วจึงแบ่ง VSP ออกเป็นช่วง และในแต่ละช่วงจะทำการเฉลี่ยค่าอัตราการใช้พลังงาน โดยจะแบ่งเป็นทั้งหมด 15 ช่วงของรถยนต์สันดาปภายในที่แสดงไว้ใน ตารางที่ 5 และ 19 ช่วงของรถยนต์ไฟฟ้าในตารางที่ 6 โดยสาเหตุการแบ่งที่ไม่เท่ากันเกิดจากการที่รถยนต์ไฟฟ้ามีระบบการปั่นกระแสไฟฟ้ากลับ (Regenerative Breaking) จึงจำเป็นที่จะต้องเพิ่มช่วงการวิเคราะห์ข้อมูลขึ้น [47] เมื่อได้ค่าเฉลี่ยของอัตราการใช้พลังงานแล้วจึงนำไปจัดเรียงให้เกิดเป็นแบบจำลอง VSP



รูปที่ 21 ตัวอย่างข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างความเร็ว - เวลาที่เก็บมาได้จากการขับขี่จริง

ตารางที่ 5 ช่วงของ VSP ในแต่ละ  
Mode ของรถยนต์สันดาปภายใน

Mode	VSP Range	Mode	VSP Range
1	$-50 < \text{VSP} \leq -2$	9	$5 < \text{VSP} \leq 6$
2	$-2 < \text{VSP} \leq 0$	10	$6 < \text{VSP} \leq 7$
3	$\text{VSP} = 0$	11	$7 < \text{VSP} \leq 8$
4	$0 < \text{VSP} \leq 1$	12	$8 < \text{VSP} \leq 9$
5	$1 < \text{VSP} \leq 2$	13	$9 < \text{VSP} \leq 10$
6	$2 < \text{VSP} \leq 3$	14	$10 < \text{VSP} \leq 11$
7	$3 < \text{VSP} \leq 4$	15	$\text{VSP} > 11$
8	$4 < \text{VSP} \leq 5$		

ตารางที่ 6 ช่วงของ VSP ในแต่ละ Mode  
ของรถยนต์ไฟฟ้า

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

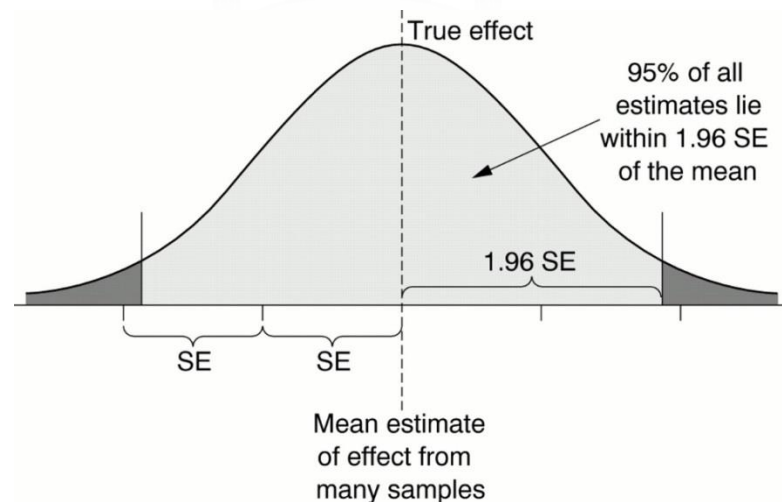
### 3.3.4 การบอกความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองกำลังจำเพาะของยานยนต์

ค่า Standard Deviation of The Population Mean หรือ ค่า Standard Error (SE) คือตัวแปรที่ใช้บ่งบอกค่าความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยหรือตัวกลางที่ต้องการจะนำเสนอ ค่า SE น้อยหมายความว่าค่าเฉลี่ยนั้นยิ่งมีคลาดเคลื่อนที่น้อย โดยหลักการของ SE คือการสุ่มข้อมูลที่มีการกระจายตัวแบบปกติมาหลาย ๆ กลุ่มจากข้อมูลทั้งหมด แล้วจึงทำการหาค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่ม หากเป็นการหาค่า Standard Deviation of The Population Mean (SD) จะเป็นการนำค่าเฉลี่ยไปเทียบกับค่าเฉลี่ยของข้อมูลทั้งหมด แต่ในค่า SE เป็นการมองค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มเป็นการกระจายของค่าเฉลี่ย โดยทั่วไปแล้วจะเชื่อถือค่า SE ที่การกระจาย 95 % ดังรูปที่ 22 ซึ่งจะคำนวณหาค่า SE 95 % ได้จากค่า SD ของข้อมูลที่ต้องการหาค่าเฉลี่ย คูณกับ 1.96 หารด้วยรากที่สองของจำนวนของข้อมูล (N) ดังสมการที่ 6

$$SE = 1.96 \times \frac{SD}{\sqrt{N}} \quad (6)$$

โดยที่

SE คือ ค่า Standard Error  
 SD คือ ค่า Standard Deviation  
 N คือ จำนวนของข้อมูล



รูปที่ 22 การกระจายของค่าเฉลี่ย และ ค่าของ SE ที่ 95 %

### 3.3.5 วิธีการทำนายปริมาณการใช้พลังงาน

#### ก) วิธีการทำนายปริมาณการใช้พลังงานจากน้ำมันโดยใช้ VSP – Model

เมื่อได้ VSP model ของรถยนต์สันดาปภายใน และ รถยนต์ไฟฟ้า ซึ่งจะถูกแบ่ง model ที่ใช้ทดสอบตามน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงทั้งหมด 4 ค่าดังที่กล่าวไว้แล้วข้างต้น โดยเมื่อรวมแบบจำลอง VSP ของสภาพการจราจรทั้ง 3 แบบเข้าด้วยกัน จะได้ค่าอัตราการใช้พลังงานในแต่ละช่วง VSP จากสภาพการจราจรที่ครอบคลุมการขับขี่ในกรุงเทพมหานคร ซึ่งค่านี้จะเป็นค่าที่ถูกนำมาใช้ในการคำนวณค่าการทำนายปริมาณการใช้พลังงานของการขับขี่ในการจราจรหลายรูปแบบได้ โดยการนำข้อมูลความเร็ว-เวลาที่ต้องการทำนายมาเข้าแบบจำลอง VSP ได้สัดส่วนการกระจายข้อมูลในแต่ละช่วงของ VSP มา นำมาคูณกับค่าเวลาในหน่วยวินาที ที่ใช้ในการขับขี่ทั้งหมด แล้วจึงนำไปคูณกับค่าอัตราการใช้พลังงานเฉลี่ยในแต่ละช่วง VSP หาค่าด้วยความหนาแน่นของน้ำมันเพื่อให้เปลี่ยนจากหน่วยกรัมเป็นลิตรสำหรับรถยนต์สันดาปภายใน แสดงได้ดังสมการที่ 7 สุดท้ายจึงรวมค่าปริมาณการใช้พลังงานในแต่ละช่วง VSP ทั้งหมดเข้าด้วยกัน จะได้ปริมาณการใช้พลังงานรวมตลอดทั้งเส้นทาง

$$F = \frac{T_x \frac{1}{100} \sum_{i=1}^N D_i W_i}{VKT_x \rho \times 100} \quad (7)$$

โดยที่

$F$	คือ อัตราการใช้เชื้อเพลิง (ลิตรต่อ100กิโลเมตร)
$N$	คือ จำนวนโหมดของ VSP
$T$	คือ เวลารวมของรูปแบบความเร็ว - เวลาที่ใช้ในการทำนาย (วินาที)
$i$	คือ โหมดของ VSP
$D_i$	คือ การกระจายตัวของข้อมูลใน VSP โหมดที่ $i$ (เปอร์เซ็นต์)
$W_i$	คือ อัตราการใช้พลังงานใน VSP โหมดที่ $i$ (กรัมต่อวินาที)
$VKT$	คือ ระยะทางรวมของรูปแบบความเร็ว - เวลาที่ใช้ในการทำนาย (กิโลเมตร)
$\rho$	คือ ค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้เชื้อเพลิง Gasohol 91 มีความหนาแน่น 737 (กรัมต่อลิตร)

ข) วิธีการทำนายปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยใช้ VSP – Model

สำหรับการคำนวณอัตราการใช้พลังงานของรถยนต์ไฟฟ้าจะใช้สัดส่วนการกระจายข้อมูลในแต่ละช่วงของ VSP เช่นเดียวกับรถยนต์สันดาปภายใน โดยจะนำสัดส่วนการกระจายข้อมูลมาคูณกับค่าเวลาในหน่วยวินาทีที่ใช้ในการขับขี่ทั้งหมด แล้วจึงนำไปคูณกับค่าเฉลี่ยอัตราการใช้พลังงานในแต่ละช่วง VSP mode มีหน่วยเป็นวัตต์ชั่วโมงต่อเวลาเป็นวินาที แสดงได้ดังสมการที่ 8 สุดท้ายจึงรวมค่าปริมาณการใช้พลังงานในแต่ละช่วง VSP ทั้งหมดเข้าด้วยกัน จะได้ปริมาณการใช้พลังงานรวมตลอดทั้งเส้นทาง

$$E = \frac{T \times \frac{1}{100} \sum_{i=1}^N D_i W_i}{VKT \times 1000} \quad (8)$$

โดยที่

$E$	คือ อัตราการใช้พลังงาน (กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อกิโลเมตร)
$N$	คือ จำนวนโหมดของ VSP
$T$	คือ เวลาารรวมของรูปแบบความเร็ว – เวลาที่ใช้ในการทำนาย (วินาที)
$i$	คือ โหมดของ VSP
$D_i$	คือ การกระจายตัวของข้อมูลใน VSP โหมดที่ $i$ (เปอร์เซ็นต์)
$W_i$	คือ อัตราการใช้พลังงานใน VSP โหมดที่ $i$ (วัตต์ชั่วโมงต่อวินาที)
$VKT$	คือ ระยะรวมของรูปแบบความเร็ว – เวลาที่ใช้ในการทำนาย (กิโลเมตร)

### 3.3.6 วิธีการเปรียบเทียบอัตราการใช้พลังงานของรถยนต์สันดาปภายในและรถยนต์ไฟฟ้า

จากแบบจำลอง VSP ของรถยนต์ไฟฟ้าที่ได้นั้นจะนำไปคำนวณหาอัตราการใช้พลังงานเทียบเท่าไฟฟ้า เนื่องจากรถยนต์ไฟฟ้านั้นใช้พลังงานไฟฟ้าในการขับเคลื่อนซึ่งแตกต่างจากรถยนต์สันดาปภายในที่ใช้พลังงานจากน้ำมันในการขับเคลื่อน งานวิจัยนี้จำเป็นต้องนำรถยนต์ทั้ง 2 ประเภทมาเปรียบเทียบอัตราการใช้พลังงาน ในปี 2011 กระทรวงคมนาคมประเทศสหรัฐอเมริกา (The US Department of Transportation : DOT) และสำนักงานปกป้องสิ่งแวดล้อม (Environmental Protection Agency : EPA) เป็นผู้กำหนดอัตราการใช้เชื้อเพลิงเทียบเท่าไฟฟ้า (Mile per gallon

gasoline equivalent : MPGe) [48] ได้กำหนดไว้ว่าพลังงานจากน้ำมัน 1 เกลลอนเทียบเท่ากับพลังงาน 33.7 กิโลวัตต์ชั่วโมง ในงานวิจัยนี้ได้ทดสอบอัตราการใช้พลังงานของรถยนต์สันดาปภายใน ซึ่งมีหน่วยเป็น ลิตรต่อ100กิโลเมตร ดังนั้นจึงจำเป็นต้องแปลงหน่วยจาก 1 เกลลอนเป็นลิตรเท่ากับ 3.78541178 จะได้จากสมการที่ 9

$$L / 100km_e = \frac{1}{33.7} \cdot 379 \cdot E \quad (9)$$

โดยที่

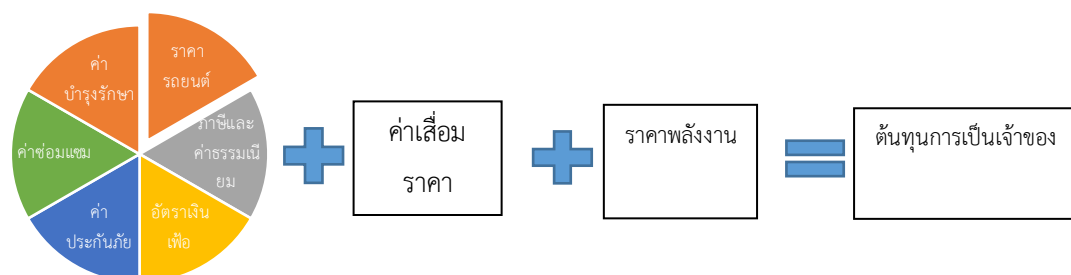
$L / 100km_e$  คือ อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าเทียบเท่าพลังงานจากน้ำมัน  
 $E$  คือ อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้า (kWh/km)

### 3.2.3 ต้นทุนการเป็นเจ้าของ

เนื่องจากงานวิจัยนี้เกี่ยวข้องกับการเปรียบเทียบอัตราการใช้พลังงาน แต่ด้วยการสื่อสารในมุมมองของอัตราการใช้พลังงานเป็นเรื่องที่เข้าใจได้ยาก จึงจำเป็นต้องมีการหาตัวแปรอื่นที่สามารถเข้าใจได้ง่ายและเป็นประโยชน์ต่อสาธารณะ ดังนั้นจึงสนใจตัวแปรที่เรียกว่าต้นทุนการเป็นเจ้าของ เนื่องจากในชีวิตประจำวันของคนไทยมีการคำนวณค่าใช้จ่ายเพื่อการวางแผนในอนาคตมากขึ้น ดังนั้นการศึกษาปัจจัยด้านน้ำหนักที่ส่งผลต่ออัตราการใช้พลังงานที่เป็นค่าใช้จ่ายในรูปแบบต้นทุนการเป็นเจ้าของในรถยนต์สันดาปภายในและรถยนต์ไฟฟ้าจะเป็นตัวช่วยในการนำเสนอที่ทำให้เข้าใจง่ายมากยิ่งขึ้น

ต้นทุนการเป็นเจ้าของ (Total Cost of Ownership: TCO) หมายถึง ต้นทุนทั้งทางตรงและทางอ้อมที่เกิดขึ้นทั้งหมดตลอดอายุของการเป็นเจ้าของ เช่น ค่าใช้จ่ายเริ่มต้น ค่าดูแลรักษา ค่าซ่อมแซม ค่าบำรุงรักษา ค่าดำเนินการต่าง ๆ เป็นต้น [49] การวิเคราะห์การลงทุนในระบบต่าง ๆ ได้มีการนำต้นทุนการเป็นเจ้าของไปใช้กันอย่างแพร่หลาย [50-52] ซึ่งสามารถแสดงให้เห็นถึงรายละเอียดค่าใช้จ่ายในแต่ละส่วนของระบบทั้งหมดได้อย่างชัดเจน และสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงเพิ่ม-ลดค่าใช้จ่ายในแต่ละส่วนให้ลดลงได้ โดยทั่วไปต้นทุนการเป็นเจ้าของจะถูกใช้เพื่อเปรียบเทียบระหว่างระบบต่าง ๆ ที่คล้ายคลึงกัน ประกอบกับใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงในการช่วยตัดสินใจสำหรับการลงทุน ซึ่งต้นทุนการเป็นเจ้าของนั้นสามารถปรับเปลี่ยนรายละเอียดการคำนวณได้ขึ้นอยู่กับลักษณะของระบบที่ต้องการวิเคราะห์ เช่น สำหรับรถยนต์ไฟฟ้า อาจมีรายละเอียดในด้านแบตเตอรี่ การซ่อมบำรุง หรือแม้แต่ในส่วนของประกันภัยของรถยนต์ก็เช่นกัน โดยงานวิจัยนี้จะหยิบยกความหมายของต้นทุนการเป็นเจ้าของดังในรูปที่ 23





รูปที่ 23 ความหมายของต้นทุนการเป็นเจ้าของ [53]

การคำนวณต้นทุนการเป็นเจ้าของในงานวิจัยนี้ได้ทำการอ้างอิงข้อมูลราคาต่าง ๆ จากฐานข้อมูลกลางจากบริษัทประกันภัยของรถยนต์ในสหรัฐอเมริกา เนื่องจากไม่มีฐานข้อมูลรถยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทยยกตัวอย่างเช่นค่าเสื่อมราคา ค่าบำรุงรักษา ค่าซ่อมแซม เป็นต้น ซึ่งข้อมูลราคาที่หยิบยกมานั้นคือ ราคารถยนต์ ค่าเสื่อมราคา ภาษีและค่าธรรมเนียม อัตราเงินเฟ้อ ค่าประกันภัย ค่าบำรุงรักษา และ ค่าซ่อมแซม มีเพียงแต่ในส่วนราคาพลังงานในงานวิจัยนี้ที่ใช้ในการคำนวณเป็นอัตราของประเทศไทย เนื่องจากอยู่ในขอบเขตการศึกษา วิธีการคำนวณจะถูกยกไปไว้ในส่วนของภาคผนวก นอกจากนี้ยังกำหนดให้อัตราค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการคำนวณค่าใช้จ่ายในด้านพลังงานเท่ากับ 3.0 บาทต่อหน่วย ซึ่งเป็นอัตราค่าไฟฟ้าจริงในปัจจุบัน รวมทั้งราคาน้ำมันในประเทศไทยคิดที่ 25.28 บาทต่อลิตร ข้อมูล ณ วันที่ 2/7/2017 การคำนวณต้นทุนด้านราคารถยนต์และราคาพลังงานจะถูกแสดงไว้ในภาคผนวก ฉ

## บทที่ 4

### ผลการทดสอบ

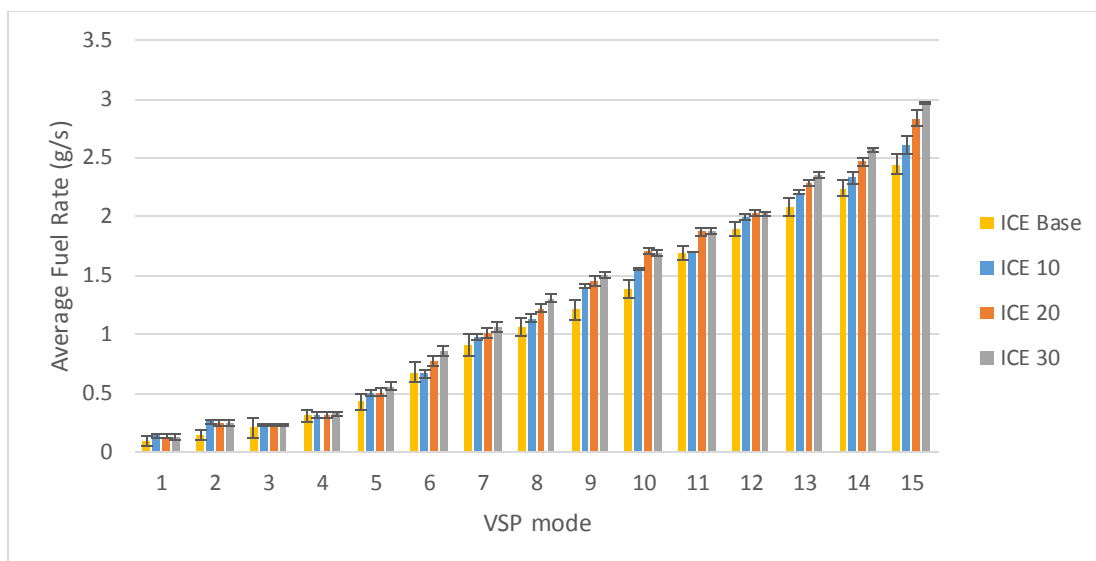
ในบทนี้นำเสนอผลการศึกษาออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ การนำเสนอแบบจำลองกำลังจำเพาะของยานยนต์เพื่อการทำนายอัตราการใช้พลังงานที่ได้สร้างขึ้นสำหรับรถยนต์สันดาปภายในและรถยนต์ไฟฟ้าในการขับขี่จริงในกรุงเทพมหานคร รวมทั้งเปรียบเทียบผลจากการทำนายกับผลการวัดจาก OBD การวิเคราะห์ผลอัตราการใช้พลังงานที่เปลี่ยนแปลงตามน้ำหนักที่ใช้ในการทดสอบรวมทั้งวิเคราะห์ลักษณะการแจกแจงของแบบจำลองกำลังจำเพาะสำหรับยานยนต์ นอกจากนี้จะแสดงผลการคำนวณอัตราการใช้พลังงานโดยจะนำเสนอด้วยข้อมูลเชิงเศรษฐศาสตร์เพื่อให้เกิดการเปรียบเทียบได้ง่ายยิ่งขึ้น ข้อมูลทั้งหมดที่นำเสนอมาจากการเก็บข้อมูลทดสอบด้วยระยะทางมากกว่า 731 กิโลเมตรของรถยนต์สันดาปภายใน และ 614 กิโลเมตรของรถยนต์ไฟฟ้า ระยะเวลาในการเก็บข้อมูลมากกว่า 30 วัน ที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ครั้งนี้

#### 4.1 แบบจำลองกำลังจำเพาะสำหรับยานยนต์

ในส่วนนี้จะแสดงแบบจำลองเพื่อหาอัตราการใช้พลังงานของรถยนต์สันดาปภายในและอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าด้วยวิธีการจากค่ากำลังจำเพาะต่อผลของน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น ผ่านการขับขี่จริงในกรุงเทพมหานคร ผลลัพธ์ในส่วนนี้ประกอบไปด้วย 3 ส่วนคือ ส่วนแรกและส่วนที่สองจะกล่าวถึงแบบจำลองกำลังจำเพาะของรถยนต์สันดาปภายในและรถยนต์ไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงน้ำหนัก รวมไปถึงผลการคำนวณอัตราการใช้พลังงานของแต่ละน้ำหนักเปรียบเทียบกับอัตราการใช้พลังงานจากการวัดด้วยอุปกรณ์ OBD ในขณะที่ส่วนที่สามจะเปรียบเทียบอัตราการใช้พลังงานด้วยต้นทุนการเป็นเจ้าของ

##### 4.1.1 แบบจำลองค่ากำลังจำเพาะของรถยนต์สันดาปภายใน

แบบจำลองกำลังจำเพาะของรถยนต์สันดาปภายในจะถูกแสดงด้วยกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการใช้พลังงานหน่วยกรัมต่อเวลาเป็นวินาทีกับ VSP mode ซึ่งได้กล่าวไว้ในส่วนของวิธีการทดสอบ พบว่าที่ VSP mode ที่ 6 จนถึง 15 เป็นต้นไปมีอัตราการใช้พลังงานแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญซึ่งคิดเป็นสัดส่วนกว่า 75% ของกราฟ จึงสรุปได้ว่าแบบจำลองกำลังจำเพาะของรถยนต์สันดาปภายในเปลี่ยนแปลงตามน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของรถยนต์ นอกจากนี้ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการกระจายตัวของข้อมูลอัตราการใช้พลังงาน (Fuel Rate) ในแต่ละ VSP mode ที่ความเชื่อมั่น 95% มีค่าอยู่ระหว่าง 0.011 – 0.533 ซึ่งถือว่าความคลาดเคลื่อนไม่มีนัยสำคัญ สามารถนำไปใช้ในการทำนายอัตราการใช้พลังงานได้



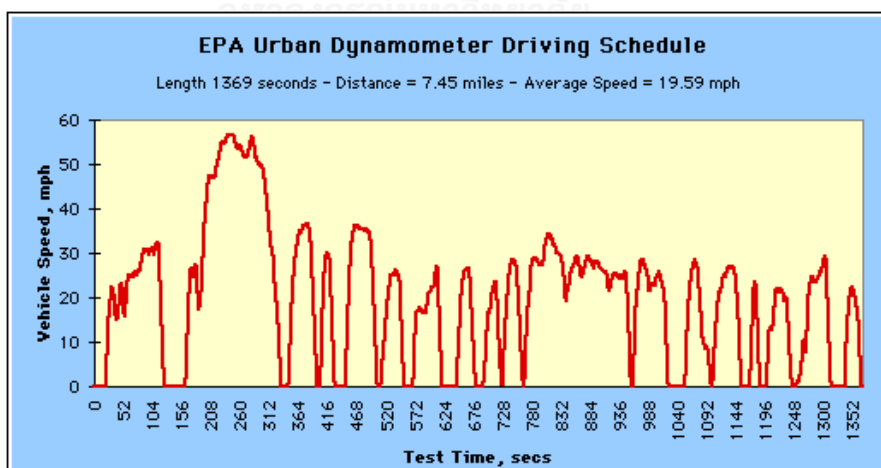
รูปที่ 24 แบบจำลองกำลังจำเพาะของรถยนต์สันดาปภายใน

เมื่อสร้าง VSP model ขึ้นมาแล้วจะต้องทำการเปรียบเทียบผลเพื่อตรวจสอบความแม่นยำ โดยการหาอัตราการใช้พลังงานด้วยแบบจำลองกับอัตราการใช้พลังงานที่เก็บมาได้ซึ่งมีข้อมูลกว่า 39,000 จุด แล้วจึงเลือกรูปแบบลักษณะจราจรที่มีความคล้ายคลึงกันมา 1 ชุดข้อมูลในแต่ละลักษณะการจราจรจึงได้ชุดข้อมูลในตารางที่ 7 พบว่า ค่าความผิดพลาดมากที่สุดอยู่ที่ 6.22 % ในลักษณะการจราจรแบบ Highway ที่มีน้ำหนักเพิ่มขึ้น 30% และค่าความผิดพลาดน้อยที่สุดอยู่ที่ 0.830% ในลักษณะการจราจรแบบ Suburban ที่มีน้ำหนักเพิ่มขึ้น 10% รวมทั้งจากแบบจำลองในรูปที่ 24 เมื่อนำมาหาอัตราการใช้พลังงานจะทำให้ยืนยันได้ว่าน้ำหนักมีผลต่ออัตราการใช้พลังงาน

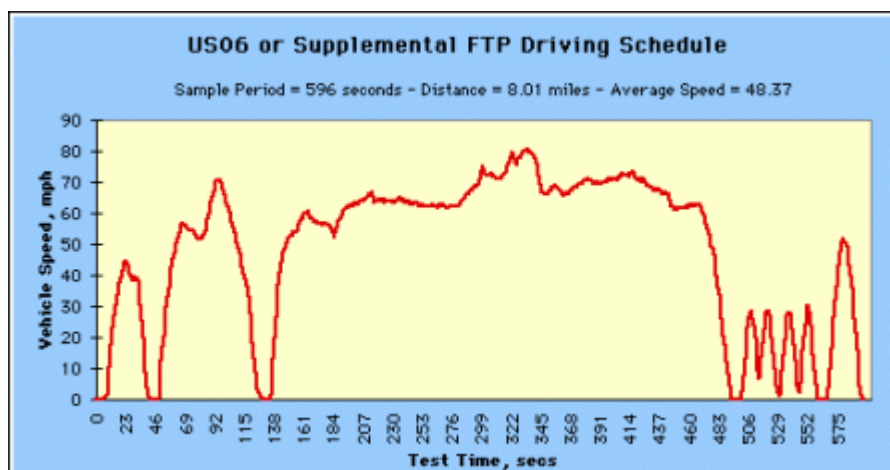
ตารางที่ 7 เปรียบเทียบการหาอัตราการใช้พลังงานด้วยแบบจำลองกำลังจำเพาะของรถยนต์สันดาป  
ภายใน

	Time (s)	Distance (km)		Average Speed		Fuel (L)		Consumption L/100km		Error (%)
		Predict	Measure	Predict	Measure	Predict	Measure	Predict	Measure	
10%										
City	2237	7.66	7.81	7.46	7.61	0.94	0.90	12.27	11.56	4.12
Suburban	1948	19.64	20.05	36.28	37.04	1.50	1.53	7.63	7.61	1.78
Highway	2284	40.79	41.65	64.29	65.63	2.28	2.20	5.58	5.28	3.42
20%										
City	2546	8.80	8.98	12.45	12.70	1.25	1.20	14.21	13.37	4.19
Suburban	2097	19.07	19.46	32.75	33.42	1.48	1.44	7.77	7.39	2.97
Highway	1928	40.76	41.61	76.10	77.68	2.49	2.63	6.11	6.31	5.09
30%										
City	5703	7.62	7.76	4.81	4.90	2.24	2.19	29.36	28.18	2.35
Suburban	2005	13.79	14.08	24.75	25.27	1.19	1.18	8.63	8.38	0.83
Highway	1921	39.80	40.62	74.57	76.11	2.50	2.67	6.29	6.57	6.22

เพื่อตรวจสอบความแม่นยำโดยใช้ข้อมูลภายนอกจึงได้ทำการเปรียบเทียบการหาอัตราการใช้พลังงานโดยใช้วัฏจักรการขับขี่ UDDS และ US06 [54] ในรูปที่ 25 และรูปที่ 26 ตามลำดับ เป็นมาตรฐานของสำนักงานปกป้องสิ่งแวดล้อมประเทศสหรัฐอเมริกา (U.S. Environmental Protection Agency : EPA) ซึ่งนิยมใช้ในการทดสอบอัตราการใช้พลังงานและอัตราการปล่อยมลพิษ



รูปที่ 25 รูปแบบวัฏจักรการขับขี่ UDDS [54]



รูปที่ 26 รูปแบบวัฏจักรการขับขี่ US06 [54]

จากรายงานของ U.S. Department of Energy [55] ได้ทำการทดสอบรถยนต์ Toyota Corolla 1.8 ปี 2014 บนวัฏจักรการขับขี่ 2 รูปแบบคือ UDDS และ US06 บน Dynamometer ในห้องทดลอง น้ำหนักในการทดสอบนี้คือ 3,302 lb (1,498 kg) คิดเป็นน้ำหนักของรถยนต์ที่เพิ่มขึ้น 20% ของงานวิจัยนี้ เมื่อทำการหาอัตราการใช้พลังงานจากวัฏจักรการขับขี่ทั้ง 2 ด้วย VSP model แล้วนำไปเทียบกับการทดสอบบน Dynamometer พบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อน 8.0% ที่วัฏจักร UDDS และ 2.3% ที่วัฏจักร US06

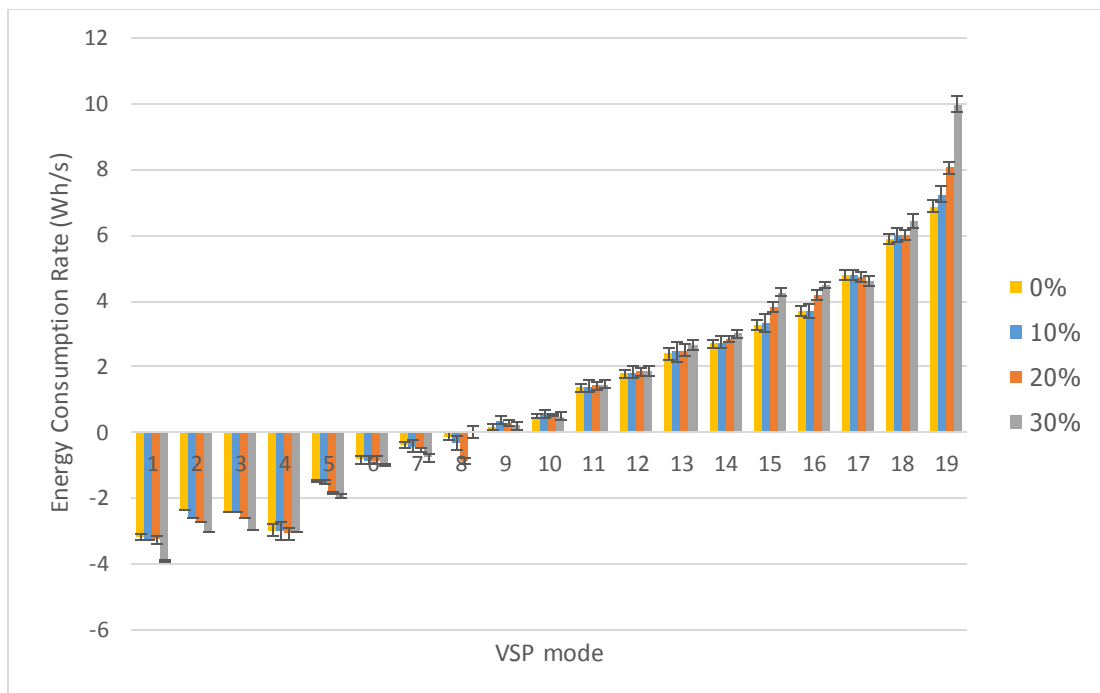
ตารางที่ 8 การเปรียบเทียบอัตราการใช้พลังงานจากการใช้วัฏจักรการขับขี่มาตรฐาน

	Dynamometer Testing (MPG)	ผลการทดสอบจาก งานวิจัยนี้ (MPG)	Error (%)
UDDS	29	31.32	8.01
US06	37	36.14	2.33

#### 4.1.2 แบบจำลองค่ากำลังจำเพาะของรถยนต์ไฟฟ้า

แบบจำลองกำลังจำเพาะของรถยนต์ไฟฟ้าจะถูกแสดงด้วยกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการใช้พลังงานหน่วยวัตต์-ชั่วโมงต่อเวลาเป็นวินาทีกับ VSP mode ซึ่งได้กล่าวไว้ในส่วนของวิธีการทดสอบ จากการเลือกเส้นกราฟที่เหมาะสมกับข้อมูลที่แสดงในรูปที่ 27 โดยลักษณะของแบบจำลองกำลังจำเพาะของรถยนต์ไฟฟ้าจะมีค่าอัตราการใช้พลังงานติดลบใน VSP mode ที่ 1 ถึง 8 เนื่องจากรถยนต์ไฟฟ้ามีการปั่นพลังงานกลับคืนจากการหน่วงซึ่งเป็นส่วนที่ทำให้ลักษณะของแบบจำลองของรถยนต์ไฟฟ้าแตกต่างจากแบบจำลองของรถยนต์สันดาปภายใน ค่าความคลาดเคลื่อนในแต่ละ VSP

mode ที่ความเชื่อมั่น 95% มีค่าอยู่ระหว่าง 0.00045 – 0.269 ซึ่งถือว่าความคลาดเคลื่อนไม่มีนัยสำคัญ สามารถนำไปใช้ในการทำนายอัตราการใช้พลังงานได้ รวมทั้งการสร้างแบบจำลองกำลังจำเพาะของรถยนต์ไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงตามน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของรถยนต์ เช่นเดียวกับรถยนต์สันดาปภายใน



รูปที่ 27 แบบจำลองกำลังจำเพาะของรถยนต์ไฟฟ้า

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เมื่อสร้าง VSP model ขึ้นมาแล้วจะต้องทำการเปรียบเทียบผลจากการหาอัตราการใช้พลังงานด้วยแบบจำลองที่ได้จากการทดสอบกับอัตราการใช้พลังงานที่เก็บมาจากการขับขี่จริง ดังที่แสดงในตารางที่ 9 พบว่า ค่าความผิดพลาดมากที่สุดอยู่ที่ 11.9 % ในลักษณะการจราจรแบบ Highway ที่มีน้ำหนักเพิ่มขึ้น 10% และค่าความผิดพลาดน้อยที่สุดอยู่ที่ 0.822% ในลักษณะการจราจรแบบ City ที่มีน้ำหนักเพิ่มขึ้น 20%

ตารางที่ 9 เปรียบเทียบการหาอัตราการใช้พลังงานด้วยแบบจำลองกำลังจำเพาะของรถยนต์ไฟฟ้า

	Time (s)	Dist (km)		Avg Speed		Electric Energy (kWh/100km)		Error (%)
		Predict	Measure	Predict	Measure	Predict	Measure	
10%								
City	3770	6.10	6.10	5.76	5.95	36.08	33.53	7.62
Suburban	4618	39.60	39.59	32.12	32.81	16.97	16.52	2.71
Highway	5526	68.74	68.77	44.28	45.21	17.13	15.29	11.91
20%								
City	4005	6.85	6.92	7.03	7.22	39.40	39.32	0.82
Suburban	4109	33.96	33.95	30.01	30.67	17.67	19.02	7.08
Highway	7678	68.05	68.03	31.63	32.32	17.42	16.25	7.23
30%								
City	5203	6.28	6.28	4.29	4.43	43.96	46.85	6.30
Suburban	6488	29.69	29.26	22.93	23.46	24.30	22.12	11.45
Highway	3824	64.60	64.58	60.78	62.05	17.99	16.63	8.21

จากรายงานของ U.S. Department of Energy [55] ได้ทำการทดสอบรถยนต์ Nissan Leaf ปี 2013 บนวัฏจักรการขับขี่ 2 รูปแบบคือ UDDS และ US06 บน Dynamometer ในห้องทดลองที่อุณหภูมิ 95 °F (35 °C) น้ำหนักในการทดสอบนี้คือ 3,417 lb (1,549 kg) คิดเป็นน้ำหนักของรถยนต์ที่เพิ่มขึ้น 20% ของงานวิจัยนี้ เมื่อทำการหาอัตราการใช้พลังงานจากวัฏจักรการขับขี่ทั้ง 2 ด้วย VSP model แล้วนำไปเทียบกับการทดสอบบน Dynamometer พบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อน 2.9% ที่วัฏจักร UDDS และ 11.2% ที่วัฏจักร US06 ดังที่แสดงในตารางที่ 10

ตารางที่ 10 การเปรียบเทียบอัตราการใช้พลังงานจากการใช้วัฏจักรการขับขี่มาตรฐาน

	Dynamometer Testing (Wh/mi)	ผลการทดสอบจากงานวิจัยนี้ (Wh/mi)	Error (%)
UDDS	274.5	266.5	2.9
US06	359.8	319.5	11.2

#### 4.2 การเปรียบเทียบอัตราการใช้พลังงาน

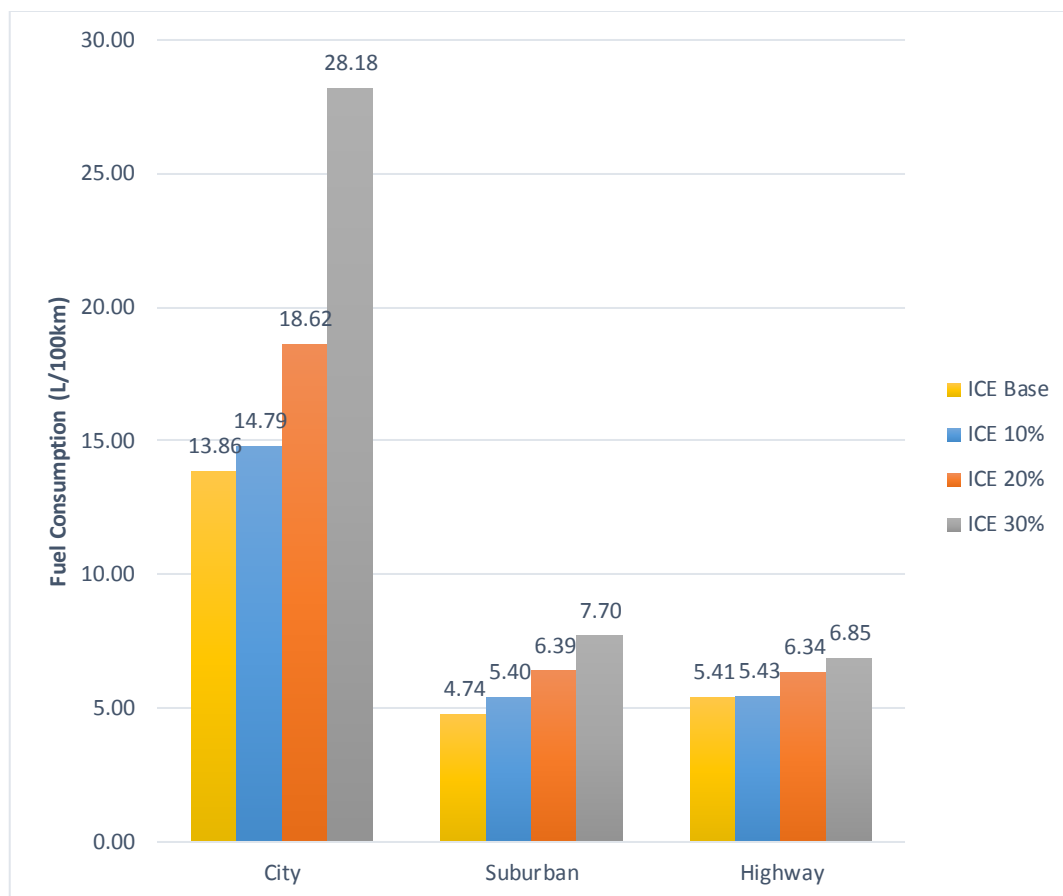
ผลการทดสอบการใช้พลังงานจะแสดงด้วยวิธีการเปรียบเทียบการใช้พลังงานของรถยนต์สันดาปภายในและรถยนต์ไฟฟ้าซึ่งจะใช้การเปรียบเทียบด้วยลักษณะการจราจรแบบในเมือง ชานเมือง และบนทางหลวง ที่เป็นรูปแบบความเร็วเดียวกันในทั้ง 3 น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น โดยการเลือกรูปแบบความเร็วที่นำมาใช้นั้นจะอยู่ภายใต้หลักเกณฑ์ของค่าความเร็วเฉลี่ยและค่า Stop/km ดังที่

แสดงในตารางที่ 2 ลักษณะการเปรียบเทียบจะถูกแสดงด้วยสองวิธีการคือ การแสดงด้วยอัตราการใช้พลังงานตามน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงและผลการวิเคราะห์สัดส่วนอัตราการใช้เชื้อเพลิงของรถยนต์สันดาปภายในกับรถยนต์ไฟฟ้าจะถูกแสดงด้วยวิธีต้นทุนการเป็นเจ้าของ

#### 4.2.1 ผลการเปรียบเทียบอัตราการใช้พลังงาน

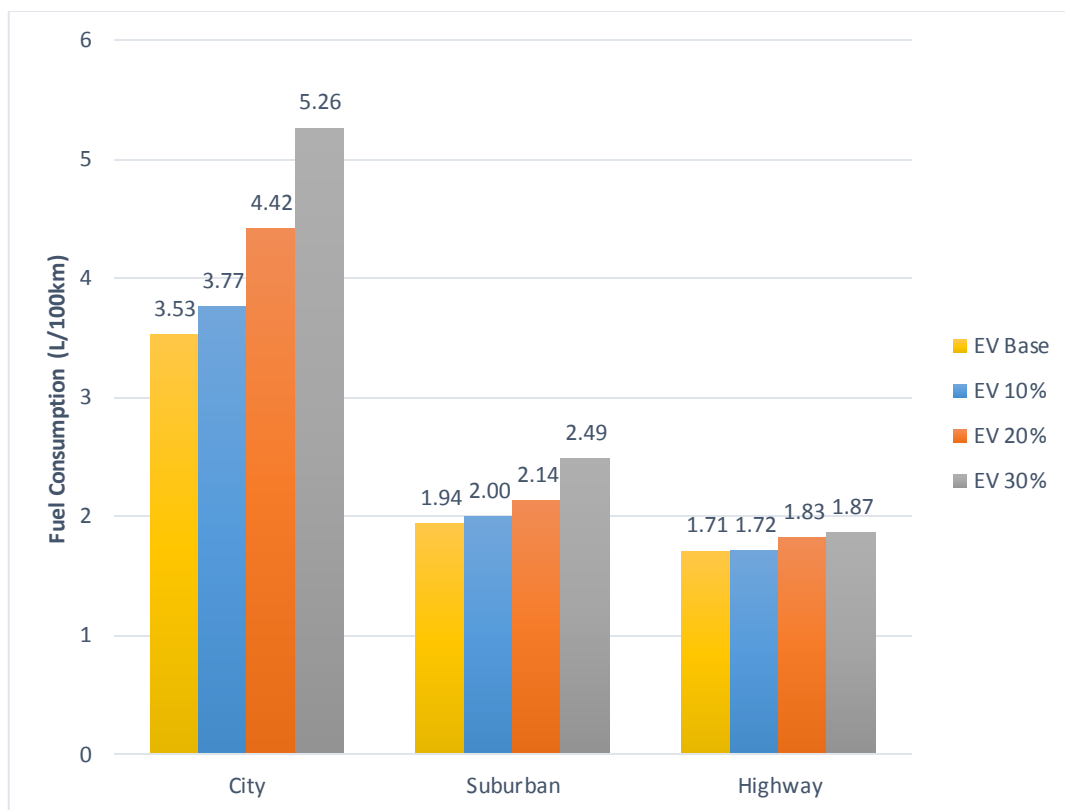
ผลการคำนวณอัตราการใช้พลังงานของรถยนต์สันดาปภายในเมื่อเปลี่ยนแปลงน้ำหนักที่ 10% 20% และ 30% เทียบกับน้ำหนักเริ่มต้น (Base) ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อน้ำหนักเพิ่มมากขึ้นแนวโน้มอัตราการใช้พลังงานจะเพิ่มมากขึ้นตาม ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลง 6.73% 34.33% และ 103.3% ในลักษณะการจราจรแบบ City ตามลำดับ 13.81% 34.61% และ 62.45% ในลักษณะการจราจรแบบ Suburban ตามลำดับ 4.70% 17.2% และ 26.6% ในลักษณะการจราจรแบบ Highway ตามลำดับ ที่แสดงไว้ในรูปที่ 28 พบว่าที่น้ำหนักเพิ่มขึ้นอัตราการใช้พลังงานจะเพิ่มขึ้นตามอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในลักษณะการจราจรแบบในเมืองจะมีอัตราการเปลี่ยนแปลงพลังงานต่อการใช้ น้ำหนักมากที่สุด ซึ่งจะแสดงในส่วนต่อไป





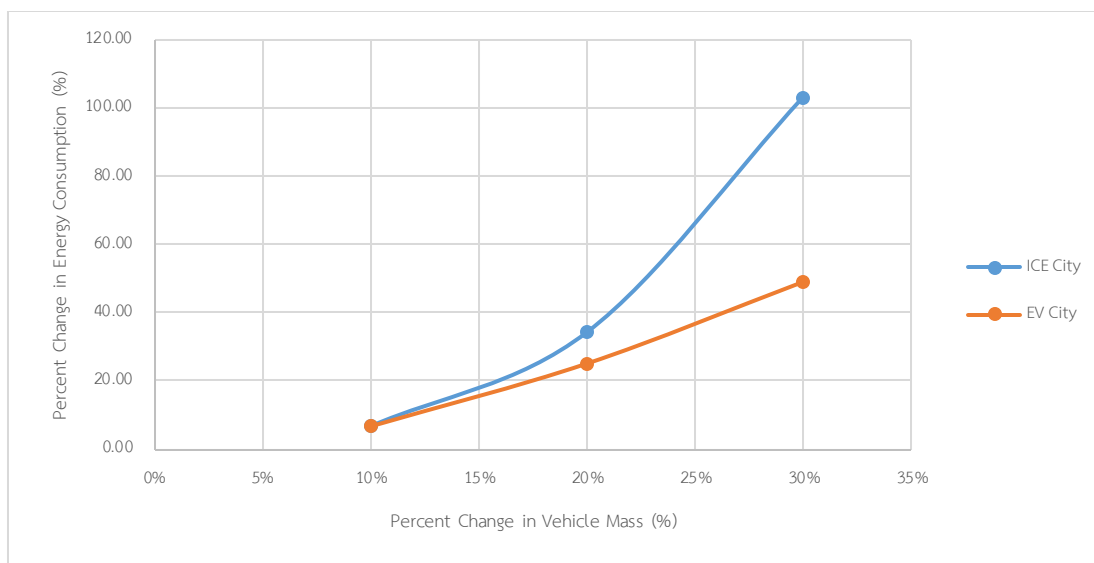
รูปที่ 28 อัตราการใช้พลังงานของรถยนต์สันดาปภายในเมื่อเปลี่ยนแปลงน้ำหนักรถ

ผลการคำนวณอัตราการใช้พลังงานของรถยนต์ไฟฟ้าเมื่อเปลี่ยนแปลงน้ำหนักรถที่ 10% 20% และ 30% เทียบกับน้ำหนักเริ่มต้น (Base) ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อน้ำหนักเพิ่มมากขึ้นแนวโน้มอัตราการใช้พลังงานจะเพิ่มมากขึ้นตาม ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลง 6.68% 25.1% และ 49.0% ในลักษณะการจราจรแบบ City ตามลำดับ 2.88% 10.1% และ 28.4% ในลักษณะการจราจรแบบ Suburban ตามลำดับ 1.47% 6.73% และ 9.23% ในลักษณะการจราจรแบบ Highway ตามลำดับ ที่แสดงไว้ในรูปที่ 29 พบว่าที่น้ำหนักเพิ่มขึ้นอัตราการใช้พลังงานจะเพิ่มขึ้นตามอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในลักษณะการจราจรแบบในเมืองจะมีอัตราการใช้พลังงานต่อการใช้น้ำหนักมากที่สุด ซึ่งมีแนวโน้มเช่นเดียวกับรถยนต์สันดาปภายในแต่อัตราการใช้พลังงานจะต่ำกว่าด้วยเหตุนี้เองจึงจำเป็นต้องนำไปวิเคราะห์ต่อในส่วนถัดไป



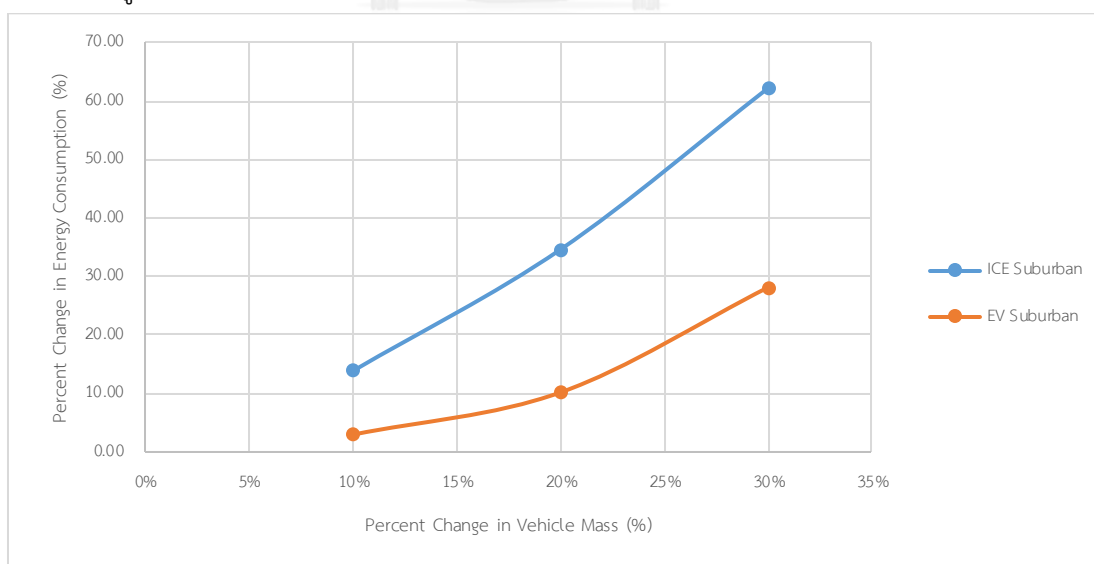
รูปที่ 29 อัตราการใช้พลังงานของรถยนต์ไฟฟ้าเมื่อเปลี่ยนแปลงน้ำหนักรถยนต์

จากผลการทดสอบเปรียบเทียบอัตราการใช้พลังงานโดยการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของรถยนต์สันดาปภายในและรถยนต์ไฟฟ้าด้วยวิธีการซ้ำซึ่งจริงในกรุงเทพมหานครพบว่า รถยนต์สันดาปภายในที่น้ำหนักเพิ่มขึ้น 10% 20% และ 30% ในสภาพการจราจรแบบในเมือง (City) มีการเปลี่ยนแปลงอัตราการใช้พลังงานอยู่ที่ 6.73% 34.33% และ 103.34% เทียบกับน้ำหนักฐาน (Base) ตามลำดับ รถยนต์ไฟฟ้าน้ำหนักเพิ่มขึ้น 10% 20% และ 30% มีการเปลี่ยนแปลงอัตราการใช้พลังงานอยู่ที่ 6.68% 25.11% และ 49.09% เทียบกับน้ำหนักฐาน (Base) ตามลำดับ ได้แสดงไว้ในรูปที่ 30



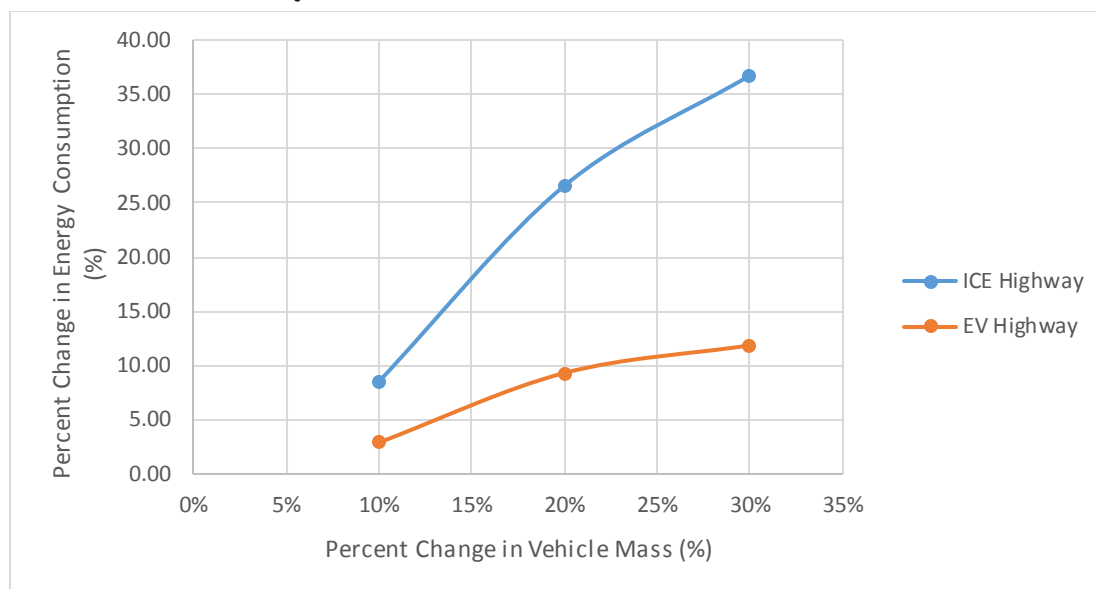
รูปที่ 30 การเปลี่ยนแปลงอัตราการใช้พลังงานเทียบกับน้ำหนักของรถยนต์สันดาปภายในและรถยนต์ไฟฟ้าในลักษณะการจราจรแบบ City

สภาพการจราจรแบบชานเมือง (Suburban) รถยนต์สันดาปภายในที่น้ำหนักเพิ่มขึ้น 10% 20% และ 30% มีการเปลี่ยนแปลงอัตราการใช้พลังงานอยู่ที่ 13.8% 34.6% และ 62.2% เทียบกับน้ำหนักฐาน (Base) ตามลำดับ รถยนต์ไฟฟ้าน้ำหนักเพิ่มขึ้น 10% 20% และ 30% มีการเปลี่ยนแปลงอัตราการใช้พลังงานอยู่ที่ 2.88% 10.1% และ 28.1% เทียบกับน้ำหนักฐาน (Base) ตามลำดับ ได้แสดงไว้ในรูปที่ 31



รูปที่ 31 การเปลี่ยนแปลงอัตราการใช้พลังงานเทียบกับน้ำหนักของรถยนต์สันดาปภายในและรถยนต์ไฟฟ้าในลักษณะการจราจรแบบ Suburban

สภาพการจราจรแบบถนนทางหลวง (Highway) รถยนต์สันดาปภายในที่น้ำหนักเพิ่มขึ้น 10% 20% และ 30% มีการเปลี่ยนแปลงอัตราการใช้พลังงานอยู่ที่ 4.7% 17.2% และ 26.6% เทียบกับน้ำหนักฐาน (Base) ตามลำดับ รถยนต์ไฟฟ้าน้ำหนักเพิ่มขึ้น 10% 20% และ 30% มีการเปลี่ยนแปลงอัตราการใช้พลังงานอยู่ที่ 1.47% 6.73% และ 9.23% เทียบกับน้ำหนักฐาน (Base) ตามลำดับ ได้แสดงไว้ในรูปที่ 32



รูปที่ 32 การเปลี่ยนแปลงอัตราการใช้พลังงานเทียบกับน้ำหนักของรถยนต์สันดาปภายในและรถยนต์ไฟฟ้าในลักษณะการจราจรแบบ Highway

จากผลการทดลองข้างต้นพบว่า เมื่อเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของรถยนต์ทั้งสองประเภททำให้ อัตราการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นแต่รถยนต์สันดาปภายในจะมีการเปลี่ยนแปลงมากกว่ารถยนต์ไฟฟ้าทั้งสามสภาพการจราจร ซึ่งพบว่าการอัตราการใช้พลังงานของรถยนต์สันดาปภายในมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 0.47 - 103.32% ในขณะที่อัตราการใช้พลังงานของรถยนต์ไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 0.47 - 49.09% ซึ่งอยู่ในช่วงที่แคบกว่ารถยนต์สันดาปภายในมาก กล่าวคือ รถยนต์สันดาปภายในมีค่าความไวต่อการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักมากกว่ารถยนต์ไฟฟ้า ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kim H.C. and Wallington T.J. (2013) [25] ได้กล่าวว่าประสิทธิภาพเชิงกลของรถยนต์ที่ต่ำ จะมีค่าความไวต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราการใช้เชื้อเพลิง (Fuel sensitivity) ที่สูงกว่ารถที่มีประสิทธิภาพเชิงกลสูงเมื่อเปลี่ยนแปลงน้ำหนักในรถยนต์

ตารางที่ 11 เปรียบเทียบผลการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักจากงานวิจัยของ Pagerit S. กับงานวิจัยนี้

	Pagerit S. et al % Change	การเปลี่ยนแปลงที่ได้ จากงานวิจัยนี้ % Change
10%	4.7	17.81
20%	9.1	22.59
30%	13.3	25.85

การเปรียบเทียบอัตราส่วนที่เปลี่ยนแปลงกับงานวิจัยของ Pagerit S. et al, (2006) [31] งานของเขาได้กล่าวว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของรถยนต์สันดาปภายในเทียบกับน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงที่ 10% 20% และ 30% คือ 4.7% 9.1% และ 13.3% ตามลำดับ เทียบด้วยอัตราการพลังงานหน่วย L/100km งานวิจัยนี้ได้ใช้การจำลองด้วยวัฏจักรแบบ UDDS (City) ซึ่งเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับงานวิจัยนี้ใช้แบบจำลองกำลังจำเพาะที่พัฒนาขึ้นที่น้ำหนักเริ่มต้น (Base) จากวัฏจักรการขับขี่แบบ UDDS แล้วพบว่ามีค่าเปลี่ยนแปลงของอัตราการใช้พลังงานเป็นไปตามตารางที่ 11 ซึ่งแตกต่างจากงานวิจัยของ Pagerit S. et al อย่างมีนัยสำคัญ ข้อสังเกตสำคัญคือยิ่งเมื่อเทียบกับผลการขับทดสอบจริงพบว่าการเปลี่ยนแปลงของอัตราการใช้พลังงานสูงที่สุดอยู่ที่ 6.73% 34.33% และ 103.34% ตามลำดับ ซึ่งมีค่าความแตกต่างของอัตราการใช้พลังงานมากที่สุดกว่า 4 เท่า จากประเด็นนี้เองจึงทำให้มีการศึกษาต่อเกี่ยวกับความแตกต่างดังกล่าว จะกล่าวไว้ในหัวข้อ 4.3

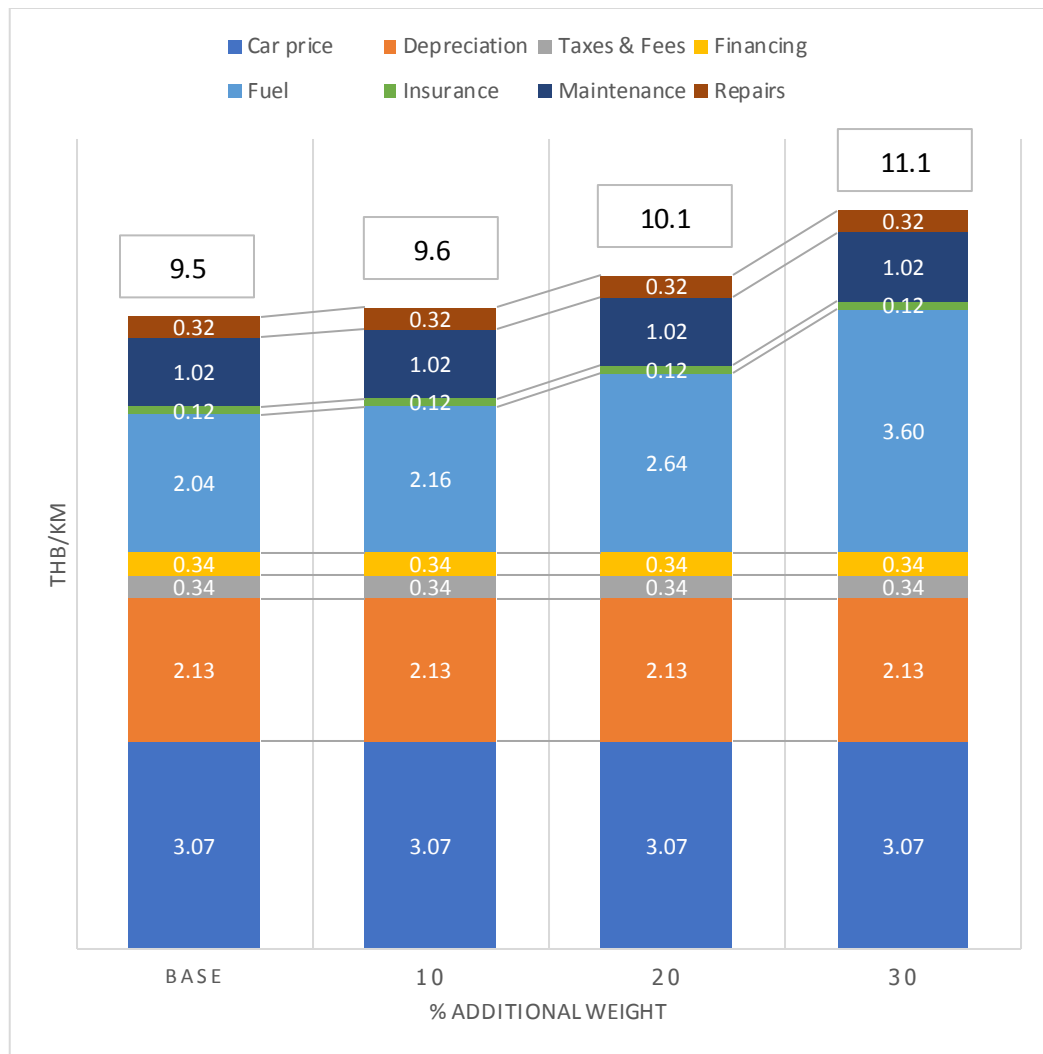
นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยต่างประเทศที่ได้ใช้ VSP model ในการคำนวณอัตราการปล่อยมลพิษ เช่น Jiménez and Palacios [34] เป็นผู้สร้าง VSP model สำหรับการทำนายอัตราการปล่อยมลพิษและอัตราการใช้พลังงานระยะไกล ได้กล่าวว่า VSP model นั้นไม่ขึ้นกับน้ำหนักของรถยนต์ เขาได้สมมติให้น้ำหนักของรถยนต์น้ำหนักเบา (light duty vehicle) เท่ากับ 1 ตัน แล้วใช้สมการ VSP ในการคำนวณอัตราการปล่อยมลพิษของรถยนต์ทั้งหมดด้วยสมการนี้แล้วจึงกล่าวสรุปว่า VSP model ที่หาได้นั้นสามารถใช้กับรถยนต์ทุกคันที่เป็นประเภทเดียวกัน และหากน้ำหนักเปลี่ยนแปลงค่าอัตราการใช้พลังงานจะเปลี่ยนแปลงไม่เกิน 10%

จากการเปรียบเทียบอัตราการใช้พลังงานที่กล่าวมาข้างต้นเป็นข้อมูลเชิงวิศวกรรมที่เน้นไปในเชิงเปรียบเทียบผลลัพธ์ทางงานวิจัย เพราะฉะนั้นการแสดงผลจากผลลัพธ์ในส่วนนี้จำเป็นต้องแสดงในรูปแบบอื่น สิ่งที่จะทำให้เข้าใจง่ายและเห็นภาพคงหนีไม่พ้นเรื่องค่าใช้จ่ายซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่ใช้ในชีวิตประจำวันอยู่แล้ว งานวิจัยนี้จึงนำผลการเปรียบเทียบอัตราการใช้พลังงานด้วยวิธีต้นทุนการเป็นเจ้าของซึ่งเทียบเป็นบาทต่อกิโลเมตรซึ่งเป็นสิ่งที่เข้าใจและเข้าถึงง่ายมากยิ่งขึ้น

#### 4.2.2 ผลการเปรียบเทียบการใช้พลังงานด้วยวิธีต้นทุนการเป็นเจ้าของ

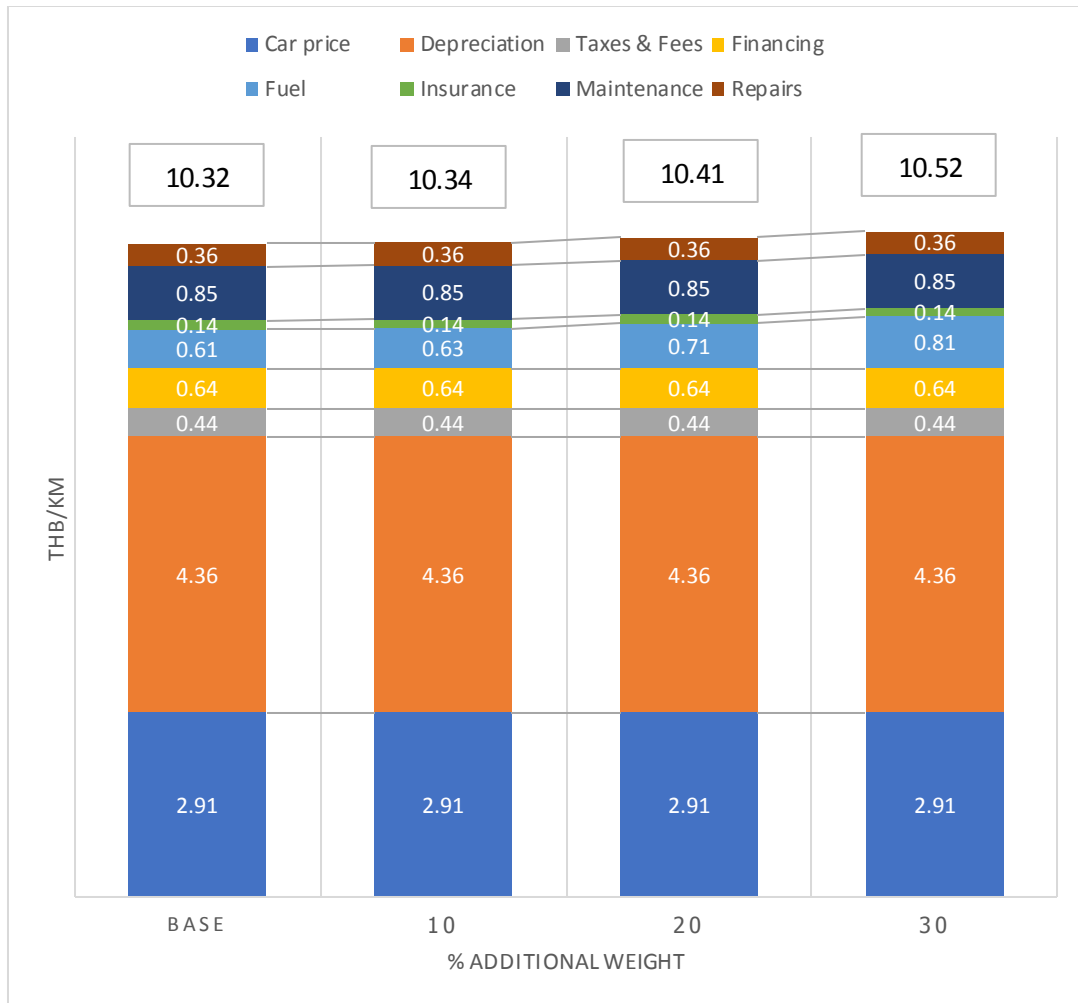
รถยนต์สันดาปภายในของงานวิจัยนี้คือ Toyota Altis 1.8V ซึ่งจะใช้ราคาสุทธิที่อ้างอิงจากประเทศสหรัฐอเมริกา 21,825 เหรียญสหรัฐฯ รถยนต์ไฟฟ้าคือ Nissan Leaf ที่มีราคาในประเทศสหรัฐอเมริกา 30,680 เหรียญสหรัฐฯ เมื่อคำนวณต้นทุนการเป็นเจ้าของของรถยนต์ไฟฟ้าที่ระยะเวลา 10 ปี คิดเป็น 13.1 บาทต่อกิโลเมตร แต่ประเทศสหรัฐมีการสนับสนุนคืนเงินภาษีเมื่อใช้รถยนต์ไฟฟ้า ซึ่งจะได้รับการคืนภาษีจากรัฐบาลกลางรวมทั้งแยกตามรัฐต่าง ๆ อีกด้วย โดยได้ภาษีคืนรวมกว่า 10,000 เหรียญสหรัฐฯ เมื่อหักกลับกันแล้วราคาของรถ Nissan Leaf จึงเหลือ 20,680 เหรียญสหรัฐฯ เมื่อคำนวณต้นทุนการเป็นเจ้าของของรถยนต์ไฟฟ้าที่ระยะเวลา 10 ปี จะเหลือเพียง 11.7 บาทต่อกิโลเมตร

ผลการการคำนวณต้นทุนการเป็นเจ้าของที่เปลี่ยนแปลงต้นทุนอัตราการใช้พลังงานที่เปลี่ยนแปลงตามน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น ซึ่งจะแสดงในรถยนต์สันดาปภายในและรถยนต์ไฟฟ้า โดยเริ่มจากผลการคำนวณต้นทุนการเป็นเจ้าของของรถยนต์สันดาปภายในเมื่อไม่เพิ่มน้ำหนัก Base มีค่า 9.5 บาทต่อกิโลเมตร ใน เมื่อเพิ่มน้ำหนักที่ 10% 20% และ 30% อัตราการใช้พลังงานเพิ่มขึ้น 1.126% 5.535% และ 14.318% ตามลำดับ ซึ่งน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นมากที่สุดจะมีต้นทุนการเป็นเจ้าของสูงที่สุดเท่ากับ 11.1 บาทต่อกิโลเมตร ดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 33



รูปที่ 33 ผลการคำนวณต้นทุนการเป็นเจ้าของของรถยนต์สันดาปภายใน

ผลการคำนวณต้นทุนการเป็นเจ้าของของรถยนต์ไฟฟ้าเมื่อไม่เพิ่มน้ำหนัก Base มีค่า 10.3 บาทต่อกิโลเมตร ในภาคผนวก เมื่อเพิ่มน้ำหนักที่ 10% 20% และ 30% อัตราการใช้พลังงานเพิ่มขึ้น 0.152% 0.807% และ 1.71% ตามลำดับ ซึ่งน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นมากที่สุดจะมีต้นทุนการเป็นเจ้าของสูงที่สุดเท่ากับ 10.5 บาทต่อกิโลเมตร ดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 34



รูปที่ 34 ผลการคำนวณต้นทุนการเป็นเจ้าของของรถยนต์ไฟฟ้า

เมื่อเปรียบเทียบต้นทุนเริ่มต้นของรถยนต์ไฟฟ้าที่ไม่ได้เพิ่มผลของน้ำหนักจะมีราคาที่สูงกว่ารถยนต์สันดาปภายใน แต่หากวิเคราะห์จากปัจจัยของน้ำหนักที่มีผลต่ออัตราการใช้พลังงานจะพบว่าที่น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น 30% รถยนต์ไฟฟ้าจะมีค่าต้นทุนการเป็นเจ้าของ 10.52 บาทต่อกิโลเมตร ซึ่งต่ำกว่ารถยนต์สันดาปภายในที่มีค่าต้นทุนการเป็นเจ้าของ 11.1 บาทต่อกิโลเมตร ซึ่งรถยนต์ไฟฟ้ามีค่าต้นทุนการเป็นเจ้าของต่ำกว่ารถยนต์สันดาปภายในคิดเป็น 5.18%

ผลจากการเปรียบเทียบต้นทุนการเป็นเจ้าของนั้นนอกจากจะแสดงให้เห็นถึงค่าใช้จ่ายทั้งหมดตลอดระยะเวลา 10 ปีของรถยนต์ไฟฟ้าและรถยนต์สันดาปภายในแล้ว ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อกำหนดค่าอัตราการคืนภาษีที่รัฐบาลจะสนับสนุนให้ประชาชนหันมาใช้รถยนต์ไฟฟ้าในอนาคตได้อีกด้วย



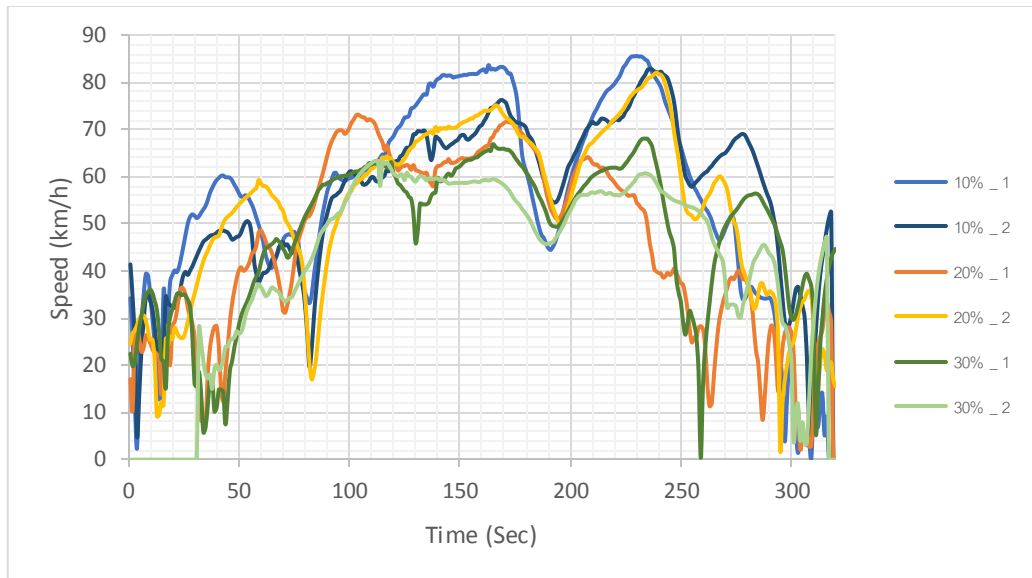
#### 4.3 การวิเคราะห์ลักษณะการแจกแจงของแบบจำลองกำลังจำเพาะสำหรับยานยนต์ในการขับเคลื่อนที่จริง เทียบกับการขับเคลื่อนบนเครื่องแฮสซีไดนาโมมิเตอร์ (Chassis Dynamometer)

ในบทนี้จะกล่าวถึงการวิเคราะห์แบบจำลองเพื่อหาอัตราการใช้พลังงานของรถยนต์ระหว่างการขับเคลื่อนจริงกับการขับเคลื่อนบนเครื่องแฮสซีไดนาโมมิเตอร์ในห้องปฏิบัติการ ว่าหลักการของแบบจำลองกำลังจำเพาะสำหรับยานยนต์ที่นิยมใช้เพื่อทดสอบอัตราการใช้พลังงานและอัตราการปล่อยมลพิษในห้องปฏิบัติการใช้ได้จริงหรือไม่หากเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก

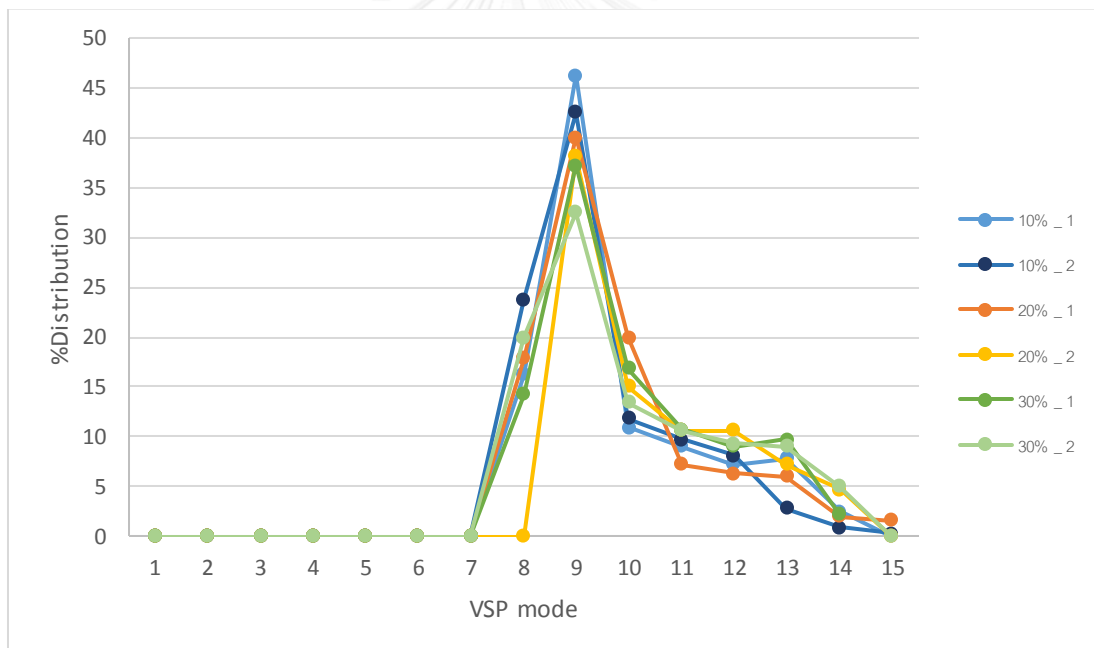
ในงานวิจัยแบบจำลองกำลังจำเพาะของยานยนต์ (VSP model) หลากหลายงานวิจัยต่างมุ่งประเด็นศึกษาไปที่การสร้างแบบจำลองเพื่อหาอัตราการใช้พลังงานที่แม่นยำเพื่อนำไปใช้กับวิธีการทดสอบบน Chassis Dynamometer [33, 34, 36, 40, 41] แต่ไม่มีงานวิจัยใดเลยที่มุ่งประเด็นไปที่แบบจำลองของน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลง รวมทั้งยังไม่มีทดสอบรูปแบบการขับเคลื่อนที่จริง จากแนวคิดในการสร้างแบบจำลองกำลังจำเพาะของยานยนต์คือความต้องการกำลังต่อมวลของรถยนต์ ณ ขณะใดขณะหนึ่ง ในสมการที่ 1 มีหน่วยเป็น กิโลวัตต์ต่อตัน ด้วยแนวคิดนี้เองจึงไม่มีการศึกษาเกี่ยวกับแบบจำลองเพื่อหาอัตราการใช้พลังงานด้วยการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักนี้ และยังคงกล่าวอีกว่าน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงส่งผลกระทบต่ออัตราการใช้พลังงานสูงสุด 13.3% [31] จึงนำไปสู่แบบจำลองกำลังจำเพาะของยานยนต์รูปแบบเดียว เพื่อให้เห็นความสำคัญของการสร้างแบบจำลองหาอัตราการใช้พลังงานของรถยนต์ที่เปลี่ยนแปลงน้ำหนัก งานวิจัยนี้จึงนำเสนอแบบจำลองหนึ่งที่ได้ทำการหาอัตราการใช้พลังงานและได้ทำการจำลองเพื่อหาอัตราการใช้พลังงานเช่นเดียวกับงานวิจัยอื่น ๆ

การหาอัตราการใช้พลังงานหรืออัตราการปล่อยมลพิษจากแบบจำลองกำลังจำเพาะของยานยนต์มีวิธีการคือ เก็บข้อมูลความเร็ว - เวลา ในรูปที่ 21 มาคำนวณหาค่ากำลังจำเพาะ (VSP) ในสมการที่ 6 แล้วจึงนำค่ากำลังจำเพาะเหล่านั้นมาใส่ในช่วงการแบ่งในแต่ละ mode ในตารางที่ 5 เก็บข้อมูลการกระจายตัวมาเป็นอัตราส่วนร้อยละ (%) ในแต่ละ VSP mode หลังจากนั้นจึงนำการกระจายตัวมาคำนวณโดยการคูณเข้ากับค่าเฉลี่ยอัตราการใช้พลังงาน VSP model ในสมการที่ 7

การวิเคราะห์รูปแบบความเร็ว - เวลาในการขับเคลื่อนที่เปลี่ยนแปลงน้ำหนักดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 35 ซึ่งเกิดจากการเลือกตัวอย่างรูปแบบจากขับเคลื่อนที่จริงในกรุงเทพมหานครตามลักษณะการแบ่งลักษณะจราจรในตารางที่ 2 ซึ่งจะทำให้ลักษณะการกระจายตัวของ VSP mode เมื่อเปลี่ยนแปลงน้ำหนักเป็นแบบในรูปที่ 36



รูปที่ 35 รูปแบบความเร็ว - เวลาที่เกิดจากการขับขี่จริงเมื่อเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก



รูปที่ 36 ลักษณะการกระจายตัวของ VSP mode เมื่อเปลี่ยนแปลงน้ำหนักในการขับขี่จริง

ลักษณะการกระจายตัวในรูปที่ 36 พบว่ามีค่าการกระจายตัวใน mode 9 ลดลง แต่ไปเพิ่มใน mode ที่ 11 - 15 เมื่อนำไปคำนวณในสมการที่ 3 จะทำให้อัตราการใช้พลังงานเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยข้างต้นในหัวข้อที่ 4.2

ลักษณะกราฟบ่งบอกว่าเมื่อน้ำหนักยิ่งเพิ่มจะทำให้พฤติกรรมขับขี่เปลี่ยนไป กล่าวคือยกตัวอย่างเช่นเมื่อออกตัวจากไฟเขียว รถยนต์คันข้างหน้าออกตัวทำให้คนขับรถที่พยายามจอดจ่อกับ

รถยนต์คันข้างหน้าจำเป็นต้องเร่งความเร็วขึ้นเพื่อให้เกิดการรักษาระยะห่าง แต่ด้วยน้ำหนักของรถที่มากจึงเกิดความเร่งที่เพิ่มขึ้น จึงทำให้ลักษณะการกระจายตัวของ VSP mode เปลี่ยนแปลงคือกระจายตัวไปใน mode ที่มากยิ่งขึ้น ทำให้อัตราการใช้พลังงานเพิ่มมากยิ่งขึ้น จากข้อสรุปที่ได้จากการขั้บทดสอบจริงทั้งหมด ผลของอัตราการใช้พลังงานที่เพิ่มมากขึ้นไม่เพียงแต่เฉพาะน้ำหนักอย่างเดียวแต่ยังร่วมกับพฤติกรรมของคนขับอีกด้วย



## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาแบบจำลองแบบจำลองกำลังจำเพาะของรถยนต์สันดาปภายในและรถยนต์ไฟฟ้า เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักเพิ่มขึ้น 10% 20% และ 30% จากน้ำหนักรถยนต์เปล่า โดยวิธีการเก็บข้อมูลจากการขับขี่จริงในลักษณะเปลี่ยนแปลงการจราจรแบบในเมือง ชานเมือง และบนถนนหลวง เมื่อนำมาทำการทดสอบหาค่าอัตราการใช้พลังงาน ผลการสอบเทียบพบว่าแบบจำลองกำลังจำเพาะของรถยนต์สันดาปภายในมีค่าความผิดพลาดอยู่ในช่วง 0.8 - 6 % แบบจำลองกำลังจำเพาะของรถยนต์ไฟฟ้า มีค่าความผิดพลาดอยู่ในช่วง 0.8 - 12 % รวมทั้งงานวิจัยนี้ได้มีการทดสอบความแม่นยำของแบบจำลองเทียบกับค่ามาตรฐานตามวัฏจักร UDDS และ US06 ของสำนักงานปกป้องสิ่งแวดล้อมประเทศสหรัฐอเมริกาพบว่ามีค่าความผิดพลาดในช่วง 2.33 - 8.01% ในกรณีของรถยนต์สันดาปภายใน และ ค่าความผิดพลาดอยู่ในช่วง 2.90 - 11.2% ในกรณีของรถยนต์ไฟฟ้า กล่าวโดยสรุปคือแบบจำลองกำลังจำเพาะของยานยนต์ที่ได้พัฒนาขึ้นมีความแม่นยำและสามารถนำไปใช้ในการหาปริมาณการใช้พลังงานของรถยนต์ทั้งสองประเภทได้ ไม่เพียงแต่รูปแบบการขับขี่ในกรุงเทพมหานครเท่านั้น ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับรูปแบบการขับขี่อื่น ๆ เช่นวัฏจักรขับขี่ตามมาตรฐานสากลที่ใช้ในห้องปฏิบัติการได้อีกด้วย

สำหรับการเปรียบเทียบอัตราการใช้พลังงาน เมื่อเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของรถยนต์ทั้งสองประเภททำให้อัตราการใช้พลังงานเพิ่มขึ้น แต่รถยนต์สันดาปภายในจะมีการเปลี่ยนแปลงมากกว่ารถยนต์ไฟฟ้าทั้ง 3 สภาพการจราจร ซึ่งพบว่าการอัตราการใช้พลังงานของรถยนต์สันดาปภายในมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 4.7 - 103% ในขณะที่อัตราการใช้พลังงานของรถยนต์ไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 1.5 - 49% ซึ่งอยู่ในช่วงที่แคบกว่ารถยนต์สันดาปภายในมาก กล่าวคือ รถยนต์สันดาปภายในมีค่าความไวต่อการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักมากกว่ารถยนต์ไฟฟ้า ประสิทธิภาพเชิงกลของรถยนต์ที่ต่ำจะมีค่าความไวต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราการใช้เชื้อเพลิงที่สูงกว่ารถที่มีประสิทธิภาพเชิงกลสูงเมื่อเปลี่ยนแปลงน้ำหนักในรถยนต์ กล่าวโดยสรุปว่าผลของการเพิ่มน้ำหนักในรถยนต์ไฟฟ้าจะส่งผลกับการเพิ่มขึ้นของอัตราการใช้พลังงานที่ต่ำกว่ารถยนต์สันดาปภายใน รวมทั้งมูลค่าต้นทุนการเป็นเจ้าของที่ใช้ในระยะเวลา 10 ปี ระยะทางที่วิ่ง 240,000 กิโลเมตรในรถยนต์ไฟฟ้าจะต่ำกว่ารถยนต์สันดาปภายในคิดเป็น 5.18% เมื่อเพิ่มน้ำหนักที่ 30% ของน้ำหนักรถยนต์เปล่า ทำให้บ่งบอกว่าหากนำรถยนต์ไฟฟ้าไปประยุกต์ใช้ในรถยนต์เพื่อการพาณิชย์ ยกตัวอย่างเช่น รถบรรทุก รถเมล์ รถกระบะ

ชนของที่ต้องรับภาระน้ำหนักมากมีความเป็นไปได้สูงว่าเมื่อบรรทุกเต็มอัตราจะทำให้คืนทุนไวกว่ารถยนต์สันดาปภายใน

การวิเคราะห์ลักษณะการแจกแจงของแบบจำลองกำลังจำเพาะสำหรับยานยนต์พบว่าการทำค่าอัตราการใช้พลังงานด้วยวิธีซิปป์บนแฮสซีไดนาโมมิเตอร์ในห้องปฏิบัติการเมื่อถูกจำกัดด้วยรูปแบบการซิปป์ที่ไม่สามารถทราบได้ว่าเมื่อน้ำหนักเพิ่มมากขึ้น ความสามารถในการเร่งของรถยนต์จะสามารถทำตามรูปแบบดังกล่าวได้หรือไม่ จากงานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบในการซิปป์จริงจึงพบว่าเมื่อน้ำหนักเพิ่มมากขึ้นและผู้ซิปป์จอดอยู่กับการที่พยายามซิปตามการจราจรจะทำให้พฤติกรรมการซิปป์เปลี่ยนแปลงซึ่งมีผลรวมกับการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักส่งผลให้อัตราการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นอีกด้วย

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

ผลการสร้างแบบจำลองกำลังจำเพาะของยานยนต์ในงานวิจัยนี้บ่งชี้ให้เห็นว่าการสร้างแบบจำลองเพื่อทำนายอัตราการใช้พลังงานจำเป็นต้องมีผลของน้ำหนักมาเกี่ยวข้องแม้ว่าแนวคิดของแบบจำลองกำลังจำเพาะของยานยนต์ไม่ขึ้นกับน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลง สำหรับการวิจัยนี้มีข้อจำกัดในส่วนที่น้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากรถยนต์ทดสอบได้รับความอนุเคราะห์จากทั้งองค์กรภาครัฐและเอกชน จำเป็นต้องรักษารถให้อยู่ในสภาพที่ยังคงใช้งานได้ ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของงานวิจัยนี้จึงมีขอบเขตที่ไม่เกินขีดความสามารถของรถยนต์ที่สามารถบรรทุกได้ ซึ่งถ้าดัดแปลงรถยนต์เพิ่มให้สามารถรองรับน้ำหนักเพิ่มขึ้นได้อาจสร้างแบบจำลองที่สามารถทำนายอัตราการใช้พลังงานที่น้ำหนักต่าง ๆ กันมากกว่านี้ไปได้ รวมทั้งหากนำรถยนต์ประเภทอื่นมาทดสอบยกตัวอย่างเช่น รถเมล์ รถบรรทุก รถกระบะ ซึ่งเป็นรถยนต์ที่นำไปใช้เพื่อการพาณิชย์ ระบบขนส่งสาธารณะ นำมาสร้างแบบจำลองกำลังจำเพาะของยานยนต์แล้วเปรียบเทียบกับอัตราการใช้พลังงานในมุมมองของน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงจะพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบจำนวนที่นั่งให้เหมาะสมและคุ้มค่ากับค่าใช้จ่ายด้านพลังงานมากที่สุด รวมทั้งการคำนวณอัตราค่าใช้บริการได้ในอนาคต

การเปรียบเทียบอัตราการใช้พลังงานด้วยวิธีต้นทุนการเป็นเจ้าของแม้ว่าในงานวิจัยนี้ได้แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มของอัตราค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการซื้อรถยนต์ไฟฟ้าเทียบกับรถยนต์สันดาปภายในแต่ด้วยงานวิจัยนี้ได้หยิบยกการคำนวณต้นทุนจากประเทศสหรัฐอเมริกาทั้งหมด มีเพียงแต่ค่าพลังงานเท่านั้นที่คำนวณจากอัตราในประเทศ สาเหตุที่งานวิจัยนี้คำนวณจากข้อมูลของประเทศสหรัฐอเมริกาเนื่องจากประเทศไทยยังไม่มีฐานข้อมูลค่าซากของรถยนต์ไฟฟ้า ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุง อัตราค่าภาษี รวมทั้งค่าประกันภัย หากมีการจำหน่ายรถยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทยในอนาคตจำเป็นต้องมีการศึกษาและคำนวณต้นทุนการเป็นเจ้าของจากฐานข้อมูลของรถยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทยเพื่อให้สอดคล้องต่อค่าใช้จ่ายในประเทศไทยต่อไป

การวิเคราะห์ลักษณะการแจกแจงของแบบจำลองกำลังจำเพาะสำหรับยานยนต์ในการขับเคลื่อนที่จริงเทียบกับการขับเคลื่อนเครื่องแซสซีไดนาโมมิเตอร์เป็นสมมติฐานที่เกิดจากการประมวลผลจากข้อมูลรูปแบบความเร็ว แล้วพบว่าเมื่อน้ำหนักเพิ่มขึ้นส่งผลให้พฤติกรรมขับเคลื่อนเปลี่ยนแปลง ข้อมูลที่นำมาตั้งสมมติฐานและวิเคราะห์เกิดจากการทดสอบด้วยวิธีขับเคลื่อนที่จริงของผู้ทำวิจัย ดังนั้นเพื่อการยืนยันในข้อสมมติฐานนี้จึงจำเป็นต้องมีข้อมูลการขับเคลื่อนที่หลากหลาย ๆ ผู้ขับเคลื่อนเมื่อเปลี่ยนน้ำหนักเพื่อแสดงให้เห็นค่าความเชื่อมั่นทางสถิติในการโต้แย้งหรือส่งเสริมในสมมติฐานดังกล่าวได้



## รายการอ้างอิง

1. Bastianoni, S., F.M. Pulselli, and E. Tiezzi, *The problem of assigning responsibility for greenhouse gas emissions*. Ecological economics, 2004. 49(3): p. 253-257.
2. Agency, U.E.P. *Sources of Greenhouse Gas Emissions*. 2014; Available from: <https://www.epa.gov/ghgemissions/sources-greenhouse-gas-emissions>.
3. กระทรวงพลังงาน, ก. ปริมาณและมูลค่าการนำเข้า ส่งออก น้ำมันเชื้อเพลิง. 2557; Available from: [http://www.doeb.go.th/info/value\\_oil.php](http://www.doeb.go.th/info/value_oil.php).
4. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. สัดส่วนการใช้พลังงานทดแทน. 2558; Available from: [http://www4.dede.go.th/dede/index.php?option=com\\_content&view=article&id=1841%3A2010-09-22-07-02-07&catid=128&lang=th](http://www4.dede.go.th/dede/index.php?option=com_content&view=article&id=1841%3A2010-09-22-07-02-07&catid=128&lang=th).
5. การปล่อยก๊าซเรือนกระจก. 2544-2557 2557; Available from: [http://www.thaienergydata.in.th/output\\_co2.php#](http://www.thaienergydata.in.th/output_co2.php#).
6. Ratanavaraha, V. and S. Jomnonkwao, *Trends in Thailand CO2 emissions in the transportation sector and Policy Mitigation*. Transport Policy, 2015. 41: p. 136-146.
7. กระทรวงคมนาคม, ก.ก.ก. จำนวนรถจดทะเบียน (สะสม). 2559; Available from: [http://www.news.mot.go.th/motc/portal/graph/index\\_dlt1.html](http://www.news.mot.go.th/motc/portal/graph/index_dlt1.html).
8. ศูนย์ข้อมูลก๊าซเรือนกระจก and อ. (องค์การมหาชน). ข้อมูลปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกรายสาขา  
ระหว่างปี พ.ศ. 2543 - 2555. 2555; Available from: <http://www.tgo.or.th/2015/thai/content.php?s1=10&s2=35>.
9. Ding, Y. and H. Rakha, *Trip-based explanatory variables for estimating vehicle fuel consumption and emission rates*. Water, Air and Soil Pollution: Focus, 2002. 2(5-6): p. 61-77.
10. Sivak, M. and B. Schoettle, *Eco-driving: Strategic, tactical, and operational decisions of the driver that influence vehicle fuel economy*. Transport Policy, 2012. 22: p. 96-99.

11. Alam, M.S. and A. McNabola, *A critical review and assessment of Eco-Driving policy & technology: Benefits & limitations*. Transport Policy, 2014. 35: p. 42-49.
12. 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.
13. Zhou, X., et al. *Fuel consumption estimates based on driving pattern recognition*. in *Green Computing and Communications (GreenCom), 2013 IEEE and Internet of Things (iThings/CPSCoM), IEEE International Conference on and IEEE Cyber, Physical and Social Computing*. 2013. IEEE.
14. Anrico Casadei, R.B., *Impact of Vehicle Weight Reduction on Fuel Economy for Various Vehicle Architectures*. 2008, The Aluminum Association, Inc.
15. Kost, R. *DOE Hybrid Electric Vehicle Program . . . Why HEVs?* 1999; Available from: <http://www.4uth.gov.ua/usa/english/tech/energy/whyhev.pdf>.
16. Curran, S.J., et al., *Well-to-wheel analysis of direct and indirect use of natural gas in passenger vehicles*. Energy, 2014. 75: p. 194-203.
17. Andersen, G. *Volatile oil prices and new technologies are helping the effort to diversify transportation fuels*. 2012; Available from: <http://www.ncsl.org/research/energy/fueling-the-future.aspx>.
18. Database, T.E.V.W.S. *Global Plug-in Sales for 2016 Q3 and Year to Date*. 2016; Available from: <http://www.ev-volumes.com/>.
19. Reuters. *New entrant threat to auto industry*. 2016; Available from: <http://www.bangkokpost.com/archive/new-entrant-threat-to-auto-industry/1106629>.
20. 1001-home-efficiency-tips.com. *Electric Commercial Vehicles Currently Available*. 2016; Available from: [http://www.1001-home-efficiency-tips.com/commercial\\_ev.html](http://www.1001-home-efficiency-tips.com/commercial_ev.html).
21. smithelectric. *Smith Electric Vehicles*. 2016; Available from: <http://www.smithelectric.com/>.



22. Mooney, C. *'Range anxiety' is scaring people away from electric cars — but the fear may be overblown*. 2015; Available from: [https://www.washingtonpost.com/news/energy-environment/wp/2016/08/15/range-anxiety-scares-people-away-from-electric-cars-why-the-fear-could-be-overblown/?utm\\_term=.3bd30979ec25](https://www.washingtonpost.com/news/energy-environment/wp/2016/08/15/range-anxiety-scares-people-away-from-electric-cars-why-the-fear-could-be-overblown/?utm_term=.3bd30979ec25).
23. Chaiyamanon, C., A. Sripakagorn, and N. Noomwongs, *Dynamic Modeling of Electric Tuk-tuk for Predicting Energy Consumption in Bangkok Driving Condition*. 2013, SAE Technical Paper.
24. Kim, H.C. and T.J. Wallington, *Life-cycle energy and greenhouse gas emission benefits of lightweighting in automobiles: Review and harmonization*. Environmental science & technology, 2013. 47(12): p. 6089-6097.
25. Kim, H.C. and T.J. Wallington, *Life cycle assessment of vehicle lightweighting: a physics-based model of mass-induced fuel consumption*. Environmental science & technology, 2013. 47(24): p. 14358-14366.
26. Shiau, C.-S.N., et al., *Impact of battery weight and charging patterns on the economic and environmental benefits of plug-in hybrid vehicles*. Energy Policy, 2009. 37(7): p. 2653-2663.
27. Wang, H., X. Zhang, and M. Ouyang, *Energy consumption of electric vehicles based on real-world driving patterns: A case study of Beijing*. Applied Energy, 2015. 157: p. 710-719.
28. Zhang, S., et al., *Real-world fuel consumption and CO<sub>2</sub> emissions of urban public buses in Beijing*. Applied Energy, 2014. 113: p. 1645-1655.
29. Yu, Q., T. Li, and H. Li, *Improving urban bus emission and fuel consumption modeling by incorporating passenger load factor for real world driving*. Applied Energy, 2016. 161: p. 101-111.
30. Nations, U., *Addendum 100: Regulation No. 101*. 2013.
31. Pagerit, S., P. Sharer, and A. Rousseau, *Fuel economy sensitivity to vehicle mass for advanced vehicle powertrains*. 2006, SAE Technical Paper.
32. Lewis, A.M., J.C. Kelly, and G.A. Keoleian, *Vehicle lightweighting vs. electrification: Life cycle energy and GHG emissions results for diverse powertrain vehicles*. Applied Energy, 2014. 126: p. 13-20.

33. Koupal, J., et al. *EPA's plan for MOVES: a comprehensive mobile source emissions model*. in *Proceedings of the 12th CRC On-Road Vehicle Emissions Workshop, San Diego, CA*. 2002.
34. Jimenez-Palacios, J.L., *Understanding and quantifying motor vehicle emissions with vehicle specific power and TILDAS remote sensing*. 1998, Massachusetts Institute of Technology.
35. Gonçalves, G. and T. Farias, *On-road measurements of emissions and fuel consumption of gasoline fuelled light duty vehicles*. *clean air*, 2005. 2005: p. 27-30.
36. Zhang, Q., et al., *Characteristics of gaseous and particulate pollutants exhaust from logistics transportation vehicle on real-world conditions*. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2016. 43: p. 40-48.
37. Lau, J., W. Hung, and C. Cheung, *On-board gaseous emissions of LPG taxis and estimation of taxi fleet emissions*. *Science of the Total Environment*, 2011. 409(24): p. 5292-5300.
38. Smit, R., L. Ntziachristos, and P. Boulter, *Validation of road vehicle and traffic emission models—A review and meta-analysis*. *Atmospheric environment*, 2010. 44(25): p. 2943-2953.
39. Huo, H., et al., *On-board measurements of emissions from diesel trucks in five cities in China*. *Atmospheric Environment*, 2012. 54: p. 159-167.
40. Song, G. and L. Yu, *Estimation of fuel efficiency of road traffic by characterization of vehicle-specific power and speed based on floating car data*. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2009(2139): p. 11-20.
41. Qi, Y., et al., *Development of Operating Mode Distributions for Different Types of Roadways under Different Congestion Levels for Vehicle Emission Assessment Using MOVES*. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 2016(just-accepted).

42. Cheah, L.W., *Cars on a diet: the material and energy impacts of passenger vehicle weight reduction in the US*. 2010, Massachusetts Institute of Technology.
43. (EPA), U.S.E.P.A. *EPA and NHTSA Set Standards to Reduce Greenhouse Gases and Improve Fuel Economy for Model Years 2017-2025 Cars and Light Trucks*. 2012; Available from: <https://www3.epa.gov/otaq/climate/documents/420f12051.pdf>.
44. ปิตานูวัตร, น., การประเมินอัตราการใช้พลังงานของรถยนต์ไฮบริดและรถยนต์สันดาปภายในภายใต้การใช้งานจริงบริเวณกรุงเทพมหานคร, in ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล. 2557, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย: บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
45. Wang, H. and W. Zhang. *Application of Wavelet Transform in Vehicle Wheel Speed Signal Denoising*. in *2009 International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation*. 2009. IEEE.
46. Dadashnialehi, A., et al. *Accurate wheel speed measurement for sensorless ABS in electric vehicle*. in *Vehicular Electronics and Safety (ICVES), 2012 IEEE International Conference on*. 2012. IEEE.
47. Alves, J., et al., *Indirect methodologies to estimate energy use in vehicles: Application to battery electric vehicles*. *Energy Conversion and Management*, 2016. 124: p. 116-129.
48. (EPA), T.U.D.o.T.D.a.t.E.P.A. *EPA, DOT unveil the next generation of fuel economy labels*. 2011; Available from: <http://www.greencarcongress.com/2011/05/felabel-20110525.html>.
49. Nilrapunt, W. and A. Sripakagorn, *Sensitivity Analysis of the Total Cost of Ownership for Electric Feeder Bus Using Various Types of Energy Storage*. 2016, SAE Technical Paper.
50. บัวแก้ว, ธ. *TCO : Total Cost of Ownership*. 2558; Available from: <http://www.fkmicro.com/?p=154>.
51. Inc, M.-T.I. การคำนวณต้นทุนโดยรวมในการเป็นเจ้าของ (*Total Cost of Ownership*) สำหรับอุปกรณ์ตรวจจับโลหะของคุณ. 2559; Available from: [http://www.mt.com/th/th/home/library/white-papers/product-inspection/SLMD\\_ROW\\_TCO.html](http://www.mt.com/th/th/home/library/white-papers/product-inspection/SLMD_ROW_TCO.html).

52. *Total cost of ownership (TCO) ต้นทุนการเป็นเจ้าของ. 2552.*
53. indianbluebook. *Total Cost Of Ownership. 2016; Available from: <http://www.indianbluebook.com/total-cost-of-ownership>.*
54. Agency, U.S.E.P. *Vehicle and Fuel Emissions Testing. 2017; Available from: <https://www.epa.gov/vehicle-and-fuel-emissions-testing/dynamometer-drive-schedules>.*
55. Energy, U.S.D.o.E.E.E.R., *2013 Nissan Leaf : Advanced Vehicle Testing – Baseline Testing Results. 2013.*
56. Burelle, C., *On-Board Diagnostics II (OBDII) and Light-Duty Vehicle Emission Related Inspection and Maintenance (I/M) Programs. Transportation Systems Branch, Environment Canada, 2004.*
57. Barone, S., P. D'Ambrosio, and P. Erto, *A statistical monitoring approach for automotive on-board diagnostic systems. Quality and Reliability Engineering International, 2007. 23(5): p. 565-575.*
58. Tahat, A., et al. *Android-based universal vehicle diagnostic and tracking system. in Consumer Electronics (ISCE), 2012 IEEE 16th International Symposium on. 2012. IEEE.*
59. สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม. *ป้ายข้อมูลรถยนต์ตามมาตรฐานสากล. 2559; Available from: <http://www.car.go.th/new/>.*
60. สุกัญญา ตามสัญญา, ศ.จ.แ.ส.อ., *อิทธิพลของลักษณะวัฏจักรการขับขี่ของกรุงเทพมหานครที่มีผลต่อการปล่อยมลพิษและการใช้เชื้อเพลิงของรถยนต์แก๊สโซลีน. 2549, การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 2: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา.*
61. Valdes-Dapena, P. *Slow down a little, save a lot of gas. Speeding on the highway adds a surprising amount to your fuel costs. 2008 March 27, 2008: 11:33 AM EDT; Available from: [http://money.cnn.com/2008/03/26/autos/slow\\_down\\_save\\_gas/index.htm?cn n=yes](http://money.cnn.com/2008/03/26/autos/slow_down_save_gas/index.htm?cn n=yes).*
62. Watson, H., E. Milkins, and J. Braunsteins. *Development of the Melbourne peak cycle. in Second Conference on Traffic Energy and Emissions Melbourne, May 1982. Program and Papers. 1982.*

63. Tamsanya, S., S. Chungpaibulpattana, and S. Atthajariyakul. *Development of automobile Bangkok driving cycle for emissions and fuel consumption assessment*. in *Proceedings of the 2nd Joint International Conference on "Sustainable Energy and Environment (SEE 2006)*. 2006.
64. Browand, F. *Reducing Aerodynamic Drag and Fuel Consumption*. in *Advanced Transportation Workshop, October*. 2005.
65. AG, D. *Improving Aerodynamics to Boost Fuel Economy*. 2010; Available from: <https://www.edmunds.com/fuel-economy/improving-aerodynamics-to-boost-fuel-economy.html>.
66. มงคลโกชนัน, ส. โครงการบูรณาการความรู้ 3 กรมภาษี กระทรวงการคลัง 2556; Available from: <https://www.excise.go.th/cs/groups/public/documents/document/mjaw/mdcw/~edisp/webportal16200070326.pdf>.
67. รัฐมนตรีว่าการกระทรวงการคลัง, ประกาศกระทรวงการคลัง เรื่อง ลดอัตราภาษีสรรพสามิต (ฉบับที่ ๑๓๘). ๒๕๖๐.
68. Grugett, B., *VEHICLE EFFICIENCY: ROAD VS DYNAMOMETER*. 1979.
69. Kamble, S.H., T.V. Mathew, and G. 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.
70. Tong, H., W. Hung, and C. Cheung, *On-road motor vehicle emissions and fuel consumption in urban driving conditions*. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 2000. 50(4): p. 543-554.
71. Dandona, R., G.A. Kumar, and L. Dandona, *Risky behavior of drivers of motorized two wheeled vehicles in India*. *Journal of safety research*, 2006. 37(2): p. 149-158.
72. Nesamani, K. and K. Subramanian, *Development of a driving cycle for intra-city buses in Chennai, India*. *Atmospheric environment*, 2011. 45(31): p. 5469-5476.
73. Division), C.R.R.I.C.a.P.E.S.R.S., *ASSESSMENT OF DRIVING BEHAVIOR AND SAFE DRIVING SKILLS OF GOODS VEHICLE DRIVERS IN INDIA*. 2014.

74. Barlow, T., et al., *A reference book of driving cycles for use in the measurement of road vehicle emissions*. TRL Published Project Report, 2009.
75. Limanond, T., P. Prabjabok, and K. Tippayawong, *Exploring impacts of countdown timers on traffic operations and driver behavior at a signalized intersection in Bangkok*. *Transport policy*, 2010. 17(6): p. 420-427.



## ภาคผนวก

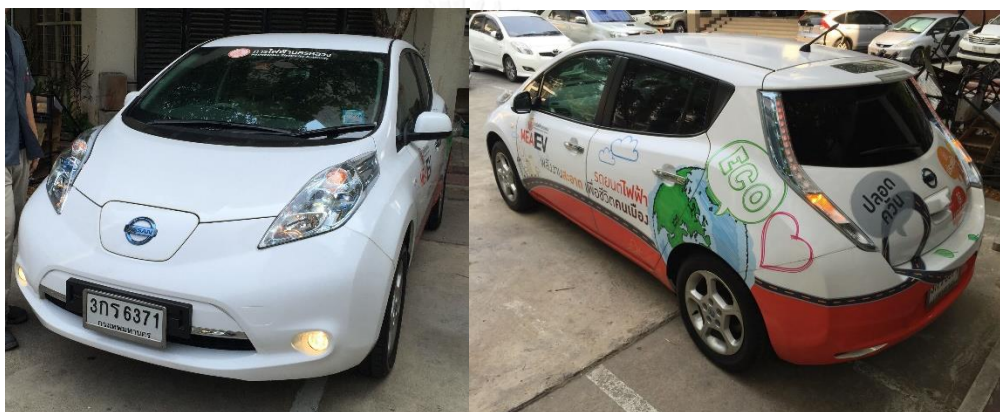


## ภาคผนวก ก การทดสอบรถยนต์ไฟฟ้า

งานวิจัยนี้ได้เลือกรถยนต์ Nissan Leaf เป็นตัวแทนของรถยนต์ไฟฟ้าเนื่องจากมีขนาดและน้ำหนักใกล้เคียงกับรถยนต์สันดาปภายในคือรถยนต์ Toyota Corolla Altis 1.8V ในงานวิจัยก่อนหน้า (ศึกษาผลกระทบจากภาระน้ำหนักบรรทุกต่ออัตราการใช้พลังงานของรถยนต์ไฮบริด และรถยนต์สันดาปภายในภายใต้การขับซิ่งจริงในกรุงเทพมหานคร รหัส MS05)

### 1. รถยนต์ไฟฟ้าที่ใช้ในการทดสอบ

รถยนต์ Nissan Leaf ดังที่แสดงในรูปที่ 37 เป็นรถยนต์ที่ขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้า 100% (Battery Electric Vehicle : BEV) ในการทดสอบนี้ โดยได้รับการสนับสนุนจาก ฝ่ายวิจัยและพัฒนา การไฟฟ้านครหลวง



รูปที่ 37 รถยนต์ไฟฟ้า Nissan Leaf ที่ใช้ในการทดสอบ

นิสสัน ลีฟ (LEAF) มาจาก คำว่า Leading Environmentally friendly, Affordable, & Family Car หรือ รถยนต์สำหรับครอบครัวที่เป็นผู้นำเทคโนโลยีเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และมีราคาที่สามารถสัมผัสได้ เป็นรถยนต์ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าในการขับเคลื่อนที่มีการปล่อยมลพิษเป็นศูนย์ตลอดการขับขี่ โดยนิสสัน ได้เปิดตัว นิสสัน ลีฟ เป็นครั้งแรก ในปี 2553 และสามารถสร้างยอดขายสะสมแล้วกว่า 225,000 คัน ใน 46 ประเทศทั่วโลก

สำหรับประเทศไทย ภายใต้ความร่วมมือระหว่างนิสสันกับการไฟฟ้านครหลวง ทางกรไฟฟ้านครหลวงได้นำรถนิสสัน ลีฟ จำนวน 5 คัน ไปใช้งานจริง เพื่อศึกษาแนวทางในการพัฒนาสถานีชาร์จไฟ เพื่อรองรับความต้องการในอนาคต

ลีฟเป็นรถขนาดกลางแบบ 5 ประตู แอสต์ซ์แบ็กท้ายตัด 5 ที่นั่ง ตัวถังกว้าง 1,770 มม. ยาว 4,445 มม. และสูง 1,550 มม. ระยะฐานล้อ 2,700 มม. ไม่มีท่อไอเสียและมลพิษเป็นศูนย์ (Zero-Emission) ขับเคลื่อนล้อหน้าด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส แบบซิงโครนัส (Synchronous) 109 แรงม้า แรงบิด 28.6 กก.-ม. อัตราเร่ง 0-100 กม./ชม. ใน 11.9 วินาที ความเร็วสูงสุดกว่า 140 กม./ชม. และทำระยะทางได้ประมาณ 160 กม.ต่อการชาร์จ 1 ครั้ง แบตเตอรี่เป็นแบบลิเธียม-ไอออน



24 กิโลวัตต์ 1 แพคมี 48 โมดูล แต่ละโมดูลมี 4 เซลล์ไฟฟ้า มีพอร์ตสำหรับชาร์จด้านหน้ารถ 2 แบบ คือ ชาร์จช้า-พอร์ตมาตรฐาน SAE J1772 สำหรับไฟบ้าน 110-220 โวลต์ ชาร์จได้เต็ม อีกแบบชาร์จเร็ว-พอร์ตไฟฟ้าแรงดันสูง พอร์ตมาตรฐานของชาเดโม (CHAdeMO) ใช้ไฟจากตู้พิเศษ 480 โวลต์ แต่ชาร์จได้แค่ 80% ทั้ง 2 พอร์ตมีรูปแบบที่ต่างกัน

ระยะทางต่อการชาร์จ 1 ครั้ง จากการทดสอบของ EPA (Environmental Protection Agency) หรือสำนักงานพิทักษ์สิ่งแวดล้อมของสหรัฐอเมริกา ทดสอบแบบ EPA LA4 ขับหลายรูปแบบ ความเร็วเฉลี่ย 32 กม./ชม. ความเร็วสูงสุดบางช่วง 91 กม./ชม. ได้ 160 กม. ความเร็วคงที่ทางเรียบ ความเร็วคงที่ 61 กม./ชม. ปิดแอร์ได้ 222 กม. แล็บชานเมือง ความเร็วเฉลี่ย 39 กม./ชม. ปิดแอร์ได้ 168 กม. ความเร็วสูงบนทางโล่งยาว ความเร็วเฉลี่ย 89 กม./ชม. ปิดแอร์ได้ 113 กม. ข้ามเมืองและอากาศร้อนจัด 43 องศาเซลเซียส ความเร็วเฉลี่ย 79 กม./ชม. ปิดแอร์ได้ 109 กม. ในเมือง การจราจรติดขัด อากาศเย็นจัด ความเร็วเฉลี่ย 24 กม./ชม. ปิดฮีตเตอร์ได้ 100 กม.

## 2. องค์ประกอบของรถยนต์ไฟฟ้า

### *Inverter Specifications*

รถยนต์ไฟฟ้าจะมีตัว Inverter ซึ่งมีหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสตรงจากแบตเตอรี่ไปเป็นไฟฟ้ากระแสสลับเพื่อไปขับมอเตอร์ในการขับเคลื่อนลักษณะจะเป็นดังรูปที่ 38 และมีคุณสมบัติตามตารางที่ 12



รูปที่ 38 Inverter

ตารางที่ 12 Inverter Specifications

Dimensions	304 × 256.5 × 144.5mm
Weight	16.8kg
Max. AC Current	425 A RMS (4 sec)
(Coolant temp. : 65°C )	340 A RMS
DC Voltage	240 - 403 V
Carrier Frequency	5kHz

*Motor Specifications*

มอเตอร์ในรถยนต์ไฟฟ้าเป็นหัวใจหลักในการขับเคลื่อนรถยนต์แทนที่เครื่องยนต์ในรถยนต์สันดาปภายในลักษณะจะเป็นดังรูปที่ 39 และคุณสมบัติเป็นตามตารางที่ 13



รูปที่ 39 Motor

ตารางที่ 13 Motor Specifications

Maximum torque	280 Nm
Maximum power	80 kW
Top Motor speed	10,390 rpm
Motor weight	58 kg

### Battery Specifications

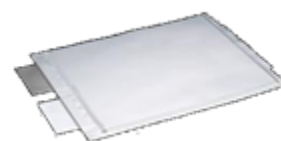
แบตเตอรี่ของรถยนต์ Nissan Leaf ทำหน้าที่เป็นแหล่งเก็บพลังงานของรถยนต์ไฟฟ้าซึ่งโดยทั่วไปลักษณะของแบตเตอรี่ที่คุ้นชินจะเป็นดังรูปที่ 40 แต่ข้างในจะประกอบไปด้วย Module ถึง 48 ตัวด้วยกันในรูปที่ 41 และในแต่ละ Module จะประกอบไปด้วย Cell 4 แผนในรูปที่ 42 และได้แสดงคุณสมบัติของแบตเตอรี่ไว้ในตารางที่ 14



รูปที่ 40 Pack



รูปที่ 41 Module



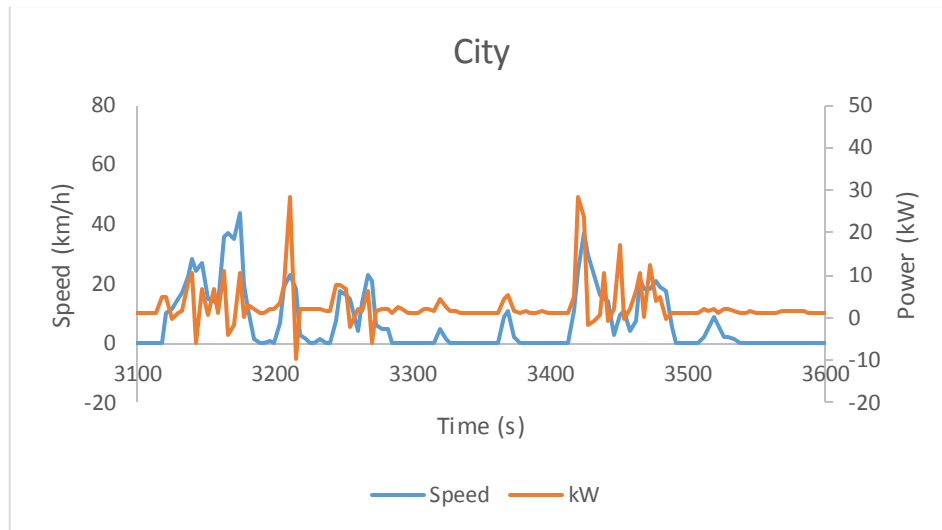
รูปที่ 42 Cell

ตารางที่ 14 Battery Specifications

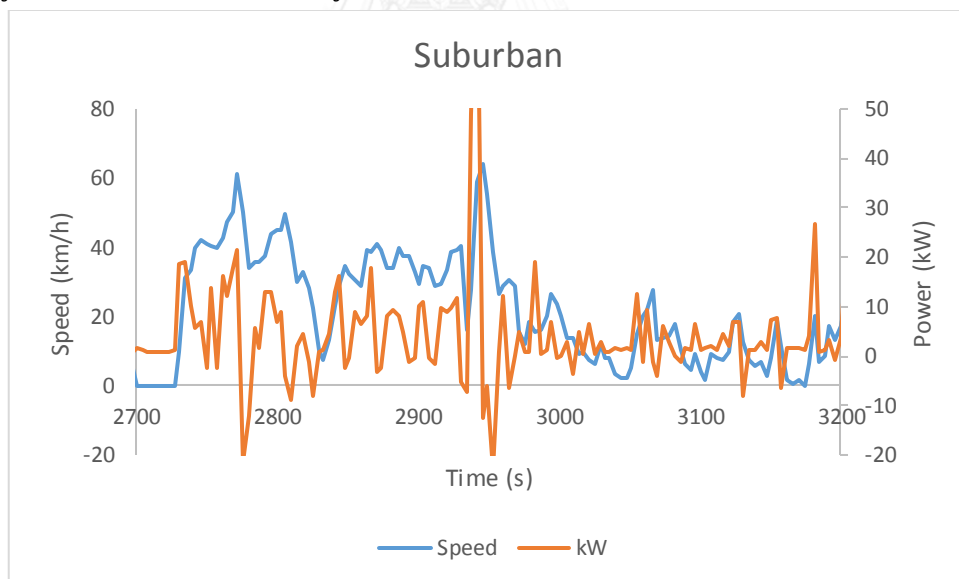
Cell	Structure	Laminated type
	Capacity	33Ah
	Cathode	Original blended (LMO based)
	Anode	Graphite
Module	Consist of Cell numbers	4 cells
	Cell connection	2 parallel-2series
Pack	Consist of Module numbers	48 Modules (in series)
	Total Energy	24 kWh
	Max. Power	>90kW
	Power/Energy ratio	$\approx 4$

### 3. ข้อมูลที่ได้จากการขับรถทดสอบ

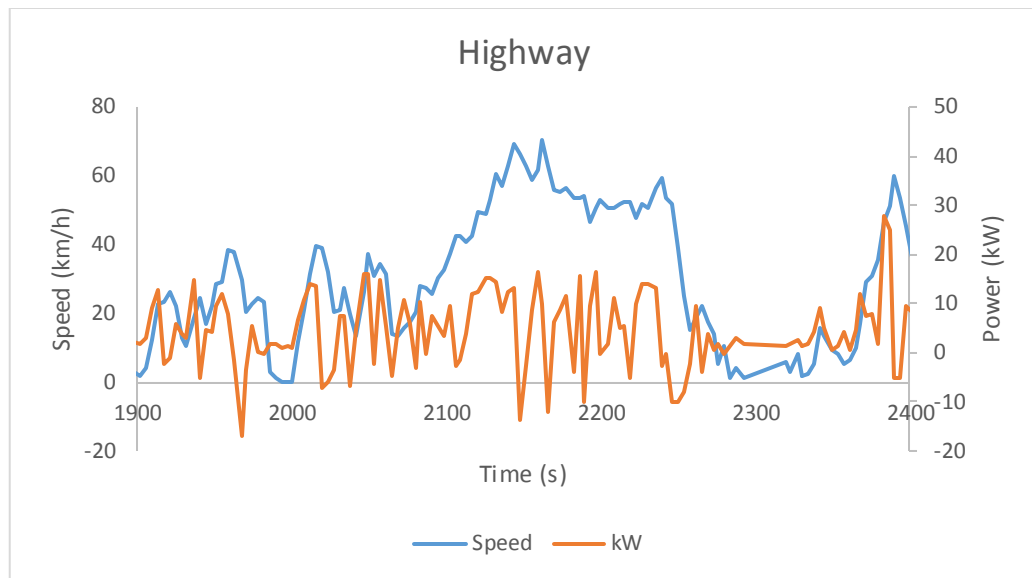
ในส่วนนี้จะนำเสนอรูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างความเร็ว - เวลา กับลักษณะของกำลังไฟฟ้าที่รถยนต์ไฟฟ้าใช้ในลักษณะจราจร 3 รูปแบบคือ การจราจรแบบในเมือง ในรูปที่ 43 การจราจรแบบชานเมืองในรูปที่ 44 และการจราจรแบบทางหลวงในรูปที่ 45



รูปที่ 43 ความสัมพันธ์ระหว่างรูปแบบความเร็วและกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการขับขี่แบบในเมือง



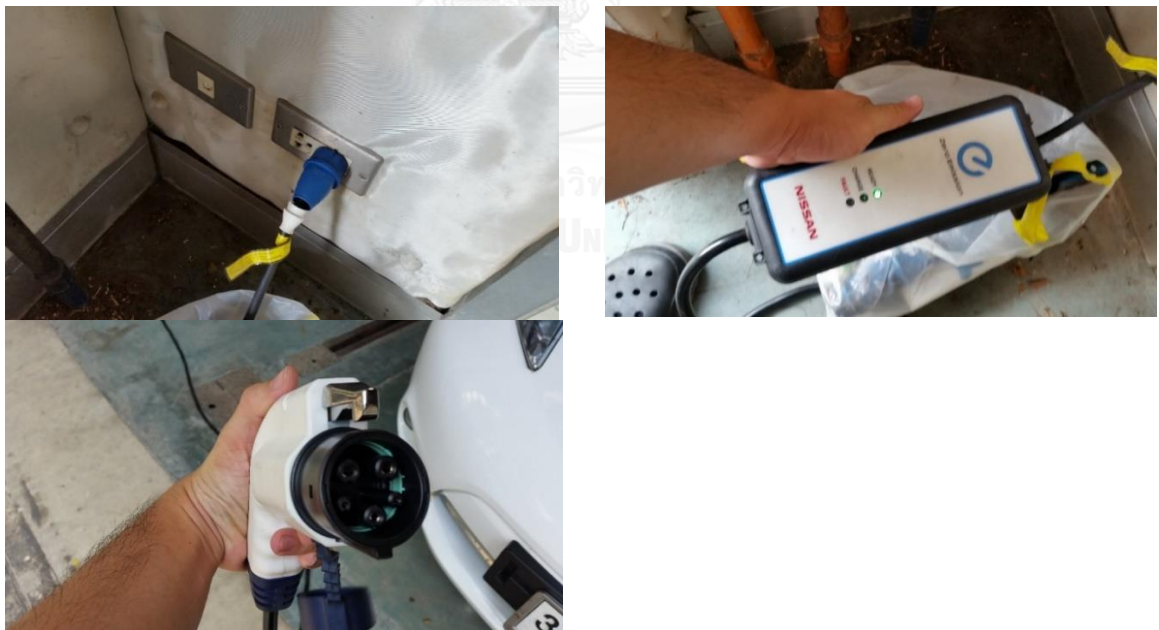
รูปที่ 44 ความสัมพันธ์ระหว่างรูปแบบความเร็วและกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการขับขี่แบบชานเมือง



รูปที่ 45 ความสัมพันธ์ระหว่างรูปแบบความเร็วและกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการขับขี่แบบบนทางหลวง

ลักษณะการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า

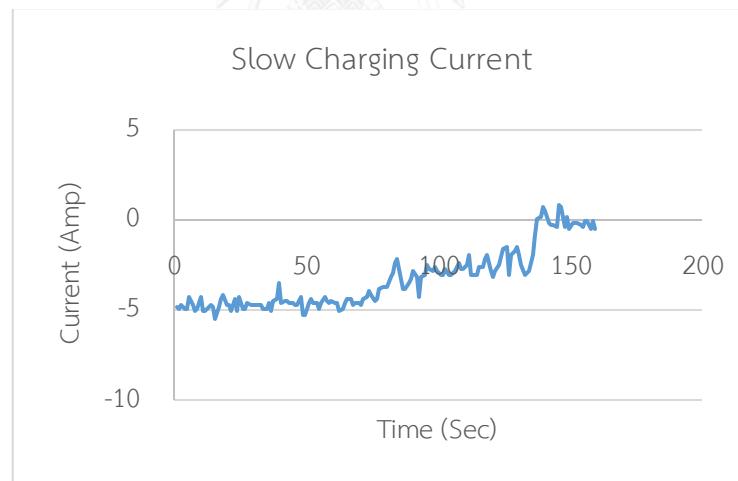
ในงานวิจัยนี้ได้ใช้การชาร์จของรถยนต์ไฟฟ้าที่นำมาทดสอบด้วยอุปกรณ์ชาร์จในรูปที่ 46



รูปที่ 46 อุปกรณ์การชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า



รูปที่ 47 พอร์ตมาตรฐานของชาเดโม (CHAdeMO) (ซ้าย) และ พอร์ตมาตรฐาน SAE J1772 (ขวา)  
 พอร์ตสำหรับชาร์จด้านหน้ารถ 2 แบบคือ ชาร์จช้า-พอร์ตมาตรฐาน SAE J1772 สำหรับไฟ  
 บ้าน 110-220 โวลต์ ชาร์จได้เต็ม อีกแบบชาร์จเร็ว-พอร์ตไฟฟ้าแรงดันสูง พอร์ตมาตรฐานของชาเดโม  
 (CHAdeMO) ใช้ไฟจากตู้พิเศษ 480 โวลต์ แต่ชาร์จได้แค่ 80% ทั้ง 2 พอร์ตมีรูปแบบที่ต่างกันซึ่ง  
 แสดงไว้ในรูปที่ 47 ในงานวิจัยนี้ได้เลือกรูปแบบการชาร์จแบบชาร์จช้าซึ่งจะแสดงรูปแบบการประจุ  
 กระแสในรูปที่ 48



รูปที่ 48 รูปแบบกระแสที่ชาร์จเข้าสู่รถยนต์

## ภาคผนวก ข การวัดข้อมูลในรถยนต์ด้วยระบบ OBD

### 1. OBD คืออะไร

รถยนต์ที่ใช้เครื่องยนต์สันดาปภายในในช่วงปี ค.ศ. 1970 มีการปล่อยมลภาวะทางอากาศเป็นจำนวนมาก สำนักงานปกป้องสิ่งแวดล้อมสหรัฐ (United States Environmental Protection Agency : EPA) เห็นถึงปัญหาด้านมลภาวะมากยิ่งขึ้นจึงมีการกำหนดมาตรฐานการปล่อยมลภาวะของรถยนต์ จากปัญหาการปล่อยมลภาวะดังกล่าวพบว่าจำเป็นต้องมีการควบคุมระบบเผาไหม้เชื้อเพลิงของรถยนต์ภายใต้การเปลี่ยนแปลงสภาวะการขับขี่ที่ซับซ้อน การที่จะควบคุมให้ได้อย่างแม่นยำจึงจำเป็นต้องอาศัยระบบคอมพิวเตอร์เข้ามาเกี่ยวข้องนั่นก็คือระบบ On-Board Diagnostics หรือ OBD

OBD ในช่วงต้นยุค 80s บริษัทรถยนต์รายหนึ่งต้องการระบบการออกแบบรถยนต์ที่รวบรวมทั้ง Hardware และ Software ไว้ด้วยกันเพื่อให้วิศวกรทำการบำรุงรักษารถยนต์จากระบบนี้ ต่อมาก็ได้มีการพัฒนาระบบ OBD ให้สามารถเช็คระบบอื่น ๆ ของรถยนต์ได้มากยิ่งขึ้น

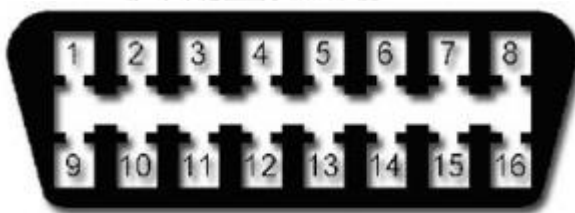
ในช่วงปลายยุค 80s ประเทศสหรัฐอเมริกาได้กำหนด On-Board Diagnostics Level I (OBD I) เป็นมาตรฐานให้กับรถยนต์ผลิตใหม่ที่สามารถถูกตรวจสอบความผิดพลาดของเครื่องยนต์ได้ เนื่องจากมีผลโดยตรงกับคุณภาพของอากาศในท้องถนน เมื่อเทคโนโลยีด้านรถยนต์เพิ่มขึ้นทำให้เกิดการพัฒนาในตัว OBD ที่มีความสามารถมากขึ้น จากเดิม มีเพียงการวิเคราะห์ ก็จะสามารถวัดอัตราการจ่ายน้ำมันได้อย่างต่อเนื่อง (Continuous) ตรวจวัดวงจรไฟฟ้าของส่วนประกอบต่าง ๆ ของรถยนต์ วัดค่าออกซิเจนหลังเครื่องฟอกไอเสีย catalytic converter ตัวสถานะและแจ้งการทำงานผิดพลาด (Malfunction) ไปยังคนขับ เป็นต้น ทำให้เกิดการพัฒนามาตรฐานต่อเนื่องกัน ที่เรียกว่า On-Board Diagnostics Level 2 (OBD II, OBD2) ขึ้น โดยเมื่อปี ค.ศ. 1996 ทางสหรัฐอเมริกาได้กำหนดเป็นมาตรฐานสำหรับรถยนต์แบบ Light-Duty Vehicle [56]

#### a. การพัฒนา OBD

ในขณะที่เกิดการพัฒนาด้าน OBD II เพื่อใช้ตรวจสอบการทำงานของระบบในเครื่องยนต์หรือรถยนต์ ทางด้านการสื่อสารระหว่างระบบอิเล็กทรอนิกส์ในรถยนต์ก็ได้พัฒนาไปเช่นกัน โดยเริ่มจากการสื่อสารแบบ point-to-point พัฒนาไปถึง Class B จนกระทั่งพัฒนาไปยังเทคโนโลยีคล้าย PC คือเป็นลักษณะโครงสร้างแบบ LAN ทั้งเป็นแบบ Ring, Star และ Pole โดยมีข้อเด่นที่ว่าระบบเน็ตเวิร์กนี้สามารถส่งผ่านข้อมูลระหว่าง ECU ภายในรถยนต์ได้ การพัฒนานี้ได้นำไปใช้จริงในอุตสาหกรรม เช่น ในมิตซูบิชิใช้ 1920 bps MMC หรือใน Ford ใช้ 9600 bps data link และยังมีระบบที่พัฒนาขึ้นไปอีกเช่น โพรโตคอล SAE J1850 หรือ ISO 15765-4

เมื่อมีระบบเน็ตเวิร์คการแชร์ข้อมูลต่าง ๆ ก็เป็นไปได้มากขึ้น นอกจากจะมีข้อมูลเกี่ยวข้องกับ การปล่อยมลพิษของไอเสีย ก็ยังมีความสามารถในการส่งข้อมูลตรวจวิเคราะห์ทั่ว ๆ ไป ทั้งตรวจ วิเคราะห์ เซ็นเซอร์ O<sub>2</sub>, catalytic converters, ระบบ evaporation, การ recirculate ของไอเสีย รวมถึงมีการใช้ code วิเคราะห์แบบมาตรฐาน DTC ใช้พารามิเตอร์แบบ generic ที่เข้าใจง่าย และ ใช้มาตรฐานการส่งข้อมูลแบบ serial protocol ซึ่งทั้งหมดนี้เป็นข้อมูลอย่างดีสำหรับช่างเพื่อ วิเคราะห์ โดยที่ทั้งหมดที่เกิดขึ้นนี้เกิดโดยการร่วมมือของ SAE และ ISO นั่นเอง

ในขณะที่เทคโนโลยีเปลี่ยนไป วิธีการสื่อสารภายในรถยนต์ ระหว่างอุปกรณ์ก็มีการพัฒนาขึ้น ดังนั้นจะเห็นได้ว่า แม้ว่า 16-pin data link connector (DLC) ของ OBD2 จะเหมือนกันแต่ ในทาง software แล้ว การเชื่อมต่อของ OBD2 ก็มีหลายโปรโตคอล ได้แก่ J1850 VPW (Variable Pulse Width modulation) : GM, J1850 PWM (Pulse Width Modulation) : Ford , ISO 9141 with KWP (Key Word Protocol) : Chrysler, European and Asian, J2284 CAN :รถรุ่นใหม่สังเกตได้จากลักษณะหัวสายไฟใน DLC ดังรูปที่ 49 และ จำแนกรูปแบบของ PIN ตามโปรโตคอลต่าง ๆ แสดง ไว้ในรูปที่ 50



รูปที่ 49 OBD Connector Pins Position

#### Pin location Pin output

PIN 1 Manufacturers discretion	PIN 12 Manufacturers discretion
PIN 2 SAE J1850 Line (Bus +) *	PIN 13 Manufacturers discretion
PIN 3 Manufacturers discretion	PIN 14 SAE J2284 (CAN Low) *
PIN 4 Chassis Ground	PIN 15 L Line of ISO 9141-2 & ISO/DIS 4230-4*
PIN 5 Signal Ground	PIN 16 Unswitched Vehicle Battery Positive
PIN 6 SAE J2284 (CAN High) *	
PIN 7 K Line of ISO 9141-2 & ISO/DIS 4230-4*	
PIN 8 Manufacturers discretion	
PIN 9 Manufacturers discretion	
PIN 10 SAE J1850 Line (Bus -) *	
PIN 11 Manufacturers discretion	



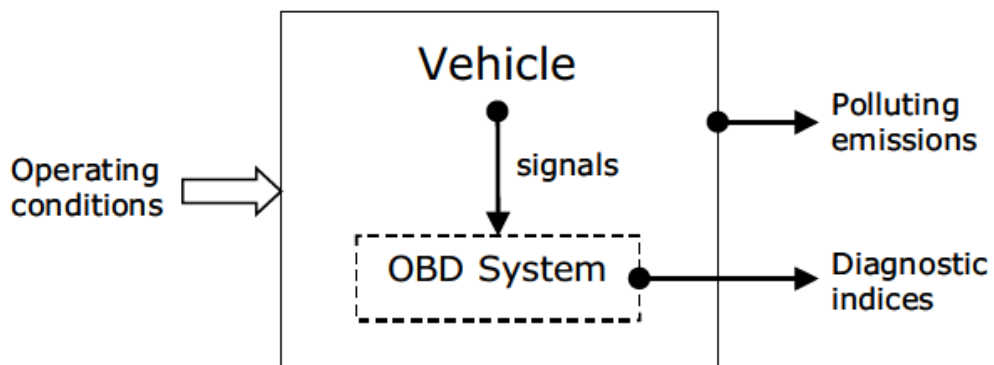
โปรโตคอล \ PIN	2	4	5	6	7	10	14	15	16	
J1850 PWM	Bus +	Ground (Chassis)	Ground (Signal)			Bus -			+12V	
J1850 VPW	signal			<a href="http://www.thaiautosoft.com">http://www.thaiautosoft.com</a>						
ISO 9141						K-Line		*L-Line		
CAN Bus					High			Low		

รูปที่ 50 ตำแหน่ง PIN จำแนกตามโปรโตคอล

วิธีการวิเคราะห์ หรือ software ช่วยวิเคราะห์ ผู้ผลิตรถยนต์ต่างทำ ECU โดยเฉพาะยี่ห้อของตนเอง ดังนั้นการกำหนดการทำงานและพารามิเตอร์ของ ECU จึงแตกต่างกัน ทำให้การตั้งค่าวัดต่างๆ เหล่านี้ยากขึ้นไปด้วย ทำให้เกิดความต้องการที่จะมีเครื่องมือที่ดึงข้อมูลเหล่านั้นขึ้นมา และช่วยประมวลข้อมูลมากมายเหล่านั้นเพื่อการสรุปหาสาเหตุของปัญหาได้อย่างถูกต้อง ซึ่งขณะนี้ถ้าลองใช้ keyword ว่า OBD software จะได้ผลการค้นหาที่มากมาย แต่ก็ยังไม่มีซอฟต์แวร์ตัวใดตัวหนึ่งที่โดดเด่นออกมา จึงยังคงเป็นเรื่องที่น่าสนใจและเกิดการพัฒนา

## 2. Commercial Unit Available

โครงสร้างการทำงานของระบบ OBD แสดงในรูปที่ 51



รูปที่ 51 โครงสร้างตรรกะของระบบ OBD [57]

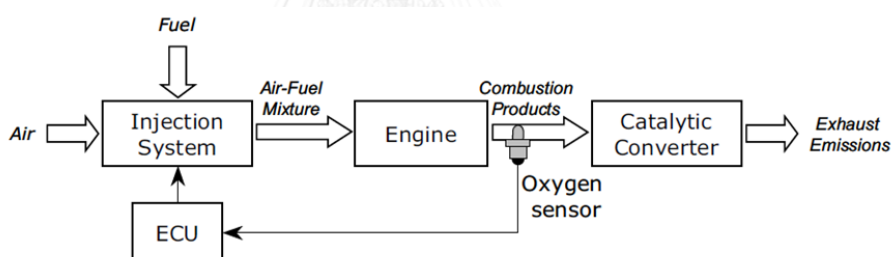
ข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์ OBD II แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม คือ

- DTC (Diagnostic Trouble Code) หมายถึง รหัสวิเคราะห์ปัญหา ซึ่งใช้ในการคาดคะเนความเสียหายที่เกิดขึ้นได้

- ข้อมูลการทำงานแบบ Real-time เป็นข้อมูลที่ได้จากตัวตรวจจับการทำงานของเครื่องยนต์ เพื่อใช้วัดประสิทธิภาพการทำงาน หรือใช้เพื่อประมวลผลความเสียหายประกอบกับรหัส DTC หรือข้อมูลอื่นๆ เช่น รอบเครื่องยนต์, อุณหภูมิหม้อน้ำ, แรงดันคอมมอลเรล, ปัญหาที่เกิดขึ้น เกิดขณะรถกำลังวิ่งหรือไม่ (รถแต่ละรุ่น แต่ละยี่ห้อ ก็จะมีค่าที่แตกต่างกันออกไป)
- ข้อมูลการทำงานแต่ละช่วงเวลา เป็นการอ่านข้อมูลแบบ Real-time ในช่วงต้นของรอบเวลา และล๊อคข้อมูลนั้นไว้ จนครบรอบของเวลา ก่อนที่จะอ่านข้อมูลอีกครั้ง ข้อมูลที่ได้นี้จะใช้สำหรับประกอบการปรับแต่งการทำงานของเครื่องยนต์

#### a. Measurement

เครื่องยนต์สมัยใหม่ได้ถูกติดตั้งระบบควบคุมการปล่อยมลพิษที่มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ซึ่งจะประกอบไปด้วยระบบการฉีดน้ำมันและเครื่องฟอกไอเสีย (catalytic converter) ระบบของเครื่องฟอกไอเสียจะถูกควบคุมด้วยระบบแลมบ์ดาแบบปิด (Lambda Closed-Loop Control System) ซึ่งระบบจะดักจับก๊าซมลภาวะคือ ไฮโดรคาร์บอน (HCs), คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และ ไนโตรเจนออกไซด์ (NOx) ดังที่แสดงในรูปที่ 52



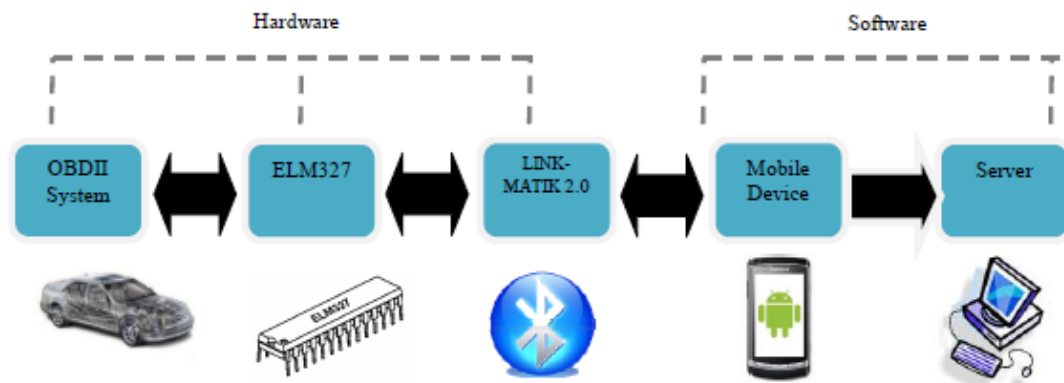
รูปที่ 52 Closed loop ของระบบไอเสียรถยนต์ประกอบไปด้วย O<sub>2</sub> sensor, ECU, เครื่องยนต์ และ เครื่องฟอกอากาศ Catalytic converter [57]

ระบบนี้มีอุปกรณ์วัดปริมาณออกซิเจนที่หลงเหลือในระบบไอเสีย และจะส่งสัญญาณกลับไปให้ระบบคอมพิวเตอร์ที่มีชื่อเรียกคือ Engine Control Module (ECM) เครื่องยนต์ประมวลปริมาณการจ่ายเชื้อเพลิงด้วยอัตราส่วนระหว่างปริมาณอากาศและน้ำมัน (A/F ratio) เมื่อมีระบบควบคุมเครื่องยนต์ที่ซับซ้อนมากยิ่งขึ้นทางด้านผู้พัฒนาจึงเกิดการคิดค้นระบบคอมพิวเตอร์เพื่อวินิจฉัยเครื่องยนต์ ซึ่งก็คือ On-Board Diagnostic (OBD) เพื่อการซ่อมบำรุงซึ่งจะช่วยให้ช่างซ่อมสามารถค้นหาปัญหาอย่างถูกต้อง ระบบ OBD สมัยใหม่ได้ถูกพัฒนามากยิ่งขึ้น ซึ่งจะสามารถรับสัญญาณจากเซนเซอร์ทั้งหมดรวมทั้งวิเคราะห์ปัญหาในรถยนต์ได้

b. Diagnostic

การประยุกต์ใช้ OBD ในปัจจุบัน [58]

เพื่อเป็นการใช้งานให้ง่ายต่อผู้ใช้งานจะแสดงแผนภาพการแสดงองค์ประกอบทั้งหมดของการเชื่อมต่ออุปกรณ์ OBD กับรถยนต์และนำไปประมวลผลในคอมพิวเตอร์ต่อไป ดังรูปที่ 53



รูปที่ 53 Circuit Schematic of the hardware interface unit

## ภาคผนวก ค อุปกรณ์การทดสอบรถยนต์สันดาปภายใน

วิธีการใช้งานและติดตั้งอุปกรณ์ และการส่งออกข้อมูล

### 1.1 Toyota ® Global TechStream (GTS) รูปที่ 54



รูปที่ 54 TIS VIM OBD II

วิธีการติดตั้งอุปกรณ์

Toyota ® Global TechStream (GTS)

#### 1.1 OCT Vehicle Interface Module (VIM) (On-Board Diagnostics II)

1. นำสาย Datalink Cable (DLC3) ต่อเข้ากับพอร์ทที่เชื่อมต่อกับ ECU ของรถยนต์บริเวณด้านล่างขวาของคอนโซลฝั่งคนขับอีกฝั่งต่อเข้ากับพอร์ทขาเข้าของ VIM ในรูปที่ 55 ถึงรูปที่ 58



รูปที่ 55 การต่อสาย DLC3 เข้ากับ พอร์ท ECU



รูปที่ 56 ต่อสาย DLC3 เข้ากับ VIM



รูปที่ 57 การต่อสาย USB เข้ากับ VIM



รูปที่ 58 การต่อสาย USB เข้ากับ คอมพิวเตอร์ส่วนตัว

2. เชื่อมต่อพอร์ทขาออกจาก VIM ด้วย USB Cable จากนั้นต่อเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนตัวที่ได้ลง Global Tech Stream Software (Version 9.30.029) ไว้แล้วในรูปที่ 59 ถึงรูปที่ 61
3. ทำการเก็บสายให้เรียบร้อยเพื่อป้องกันการเกิดอันตรายอันเนื่องมาจากสายเคเบิลไปขัดขวางการขับเคลื่อนถึงป้องกันการขาดการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์

## 1.2 การเข้าใช้โปรแกรม Global Tech Stream Software (Version 9.30.029)

1. ดับเบิลคลิกไอคอน “Techstream”

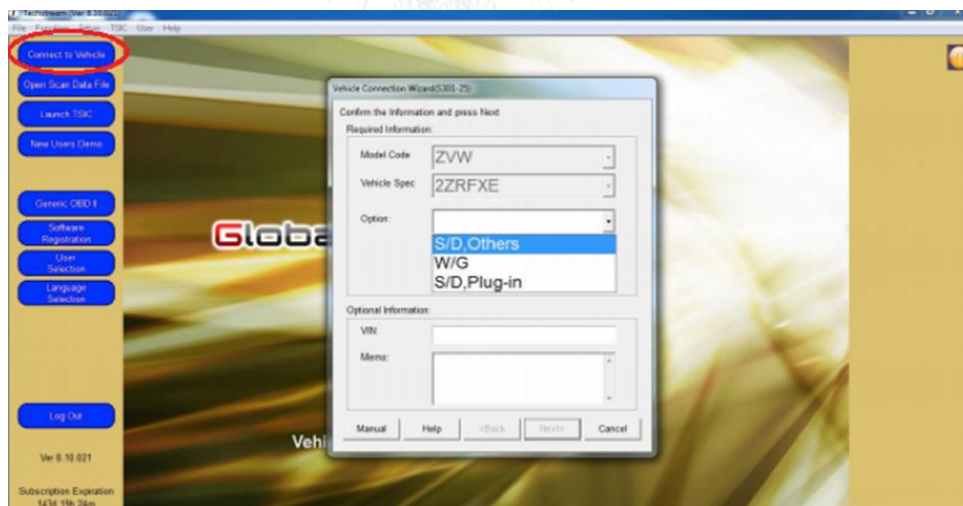


เพื่อเข้าสู่โปรแกรมจะเห็นเป็นหน้าจอรูปที่ 59



รูปที่ 59 Interface ของโปรแกรม Global Techstream ขึ้นมาบนหน้าจอ

2. กด Connect to Vehicles ด้านซ้ายบน จะมีหน้าต่าง Vehicle Connect Wizard แสดงขึ้นมา โดย Model Code และ Vehicle Spec จะขึ้นอยู่กับประเภทรถยนต์ที่ทำการเชื่อมต่อในรูปที่ 60 จากนั้นจึงทำการเลือก Option ตามรุ่นรถยนต์ที่นำมาเชื่อมต่อให้ถูกต้องตามตารางที่ 16

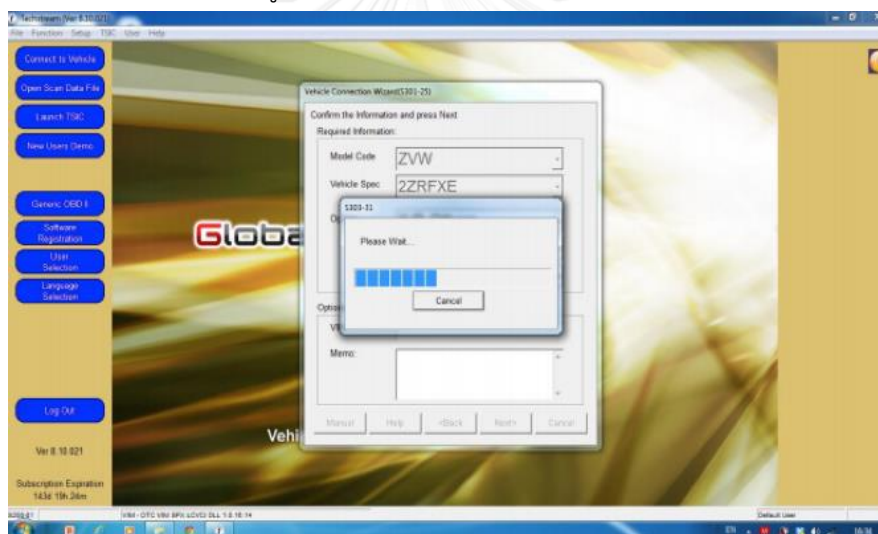


รูปที่ 60 ปุ่ม Connect to Vehicle และหน้าต่าง Vehicle Connect Wizard

ตารางที่ 15 ตารางแสดงข้อมูลบนหน้าต่าง Vehicle Connect Wizard ที่จำเป็นต้องเลือก

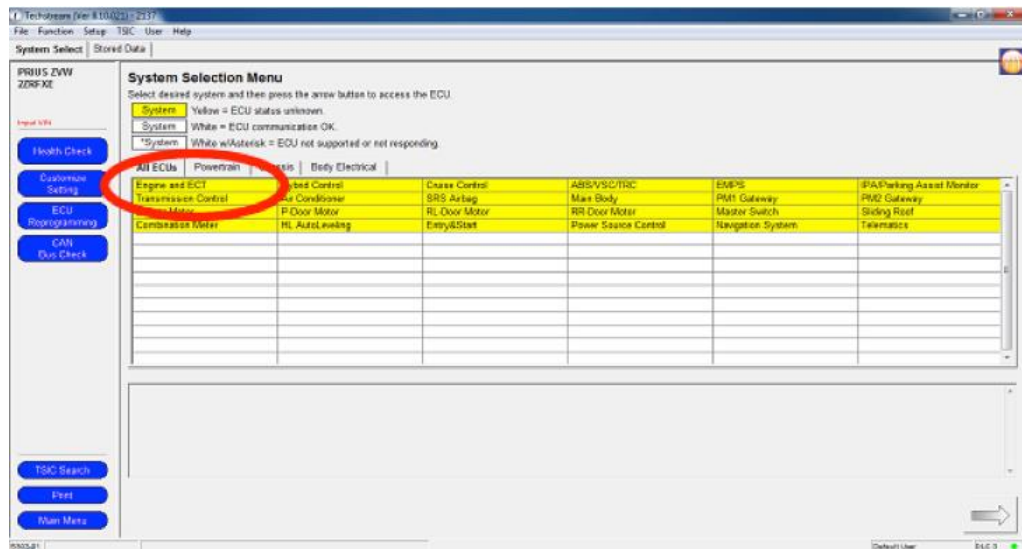
	Toyota Corolla Altis (2013)
Model	ZRE
Vehicle Specifications	2ZR-FBE
Option	Others, S/D
	1308-
	w/ Smart Key

3. หลังจากใส่ข้อมูลครบถ้วนทำการกด Next โปรแกรมจะแสดงหน้าต่าง “Please wait...” เพื่อทำการเชื่อมต่อกับรถยนต์ที่แสดงในรูปที่ 61



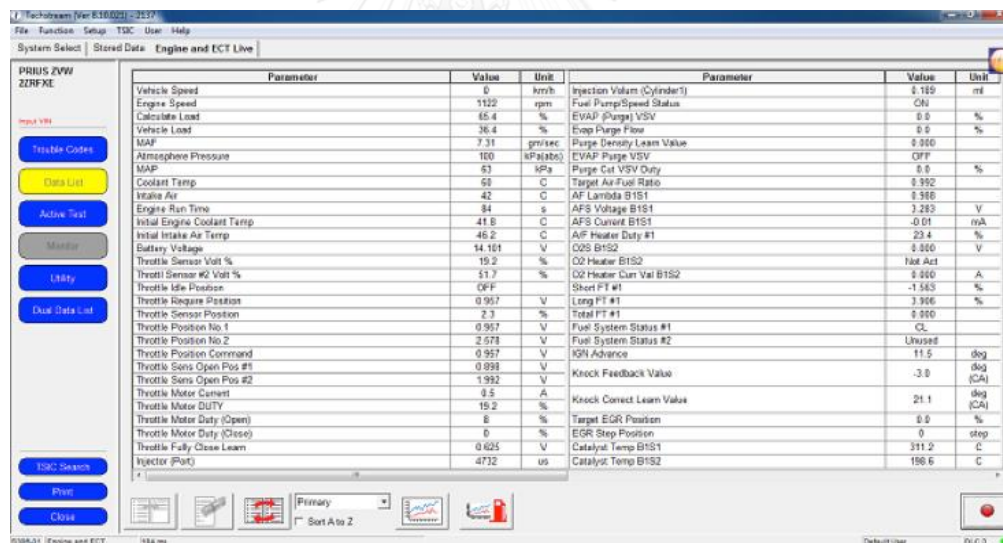
รูปที่ 61 หน้าต่าง Loading

4. เมื่อทำการเชื่อมต่อสำเร็จสมบูรณ์ จะขึ้นหน้าจอให้เลือกระบบที่ต้องการใช้งานดังรูปที่ 62 จากนั้นดับเบิลคลิกที่ Engine and ECT เพื่อเข้าสู่หน้าต่างแสดงข้อมูลต่อไป



รูปที่ 62 หน้าจอแสดงผลการเชื่อมต่อ และ ปุ่ม Engine and ECT

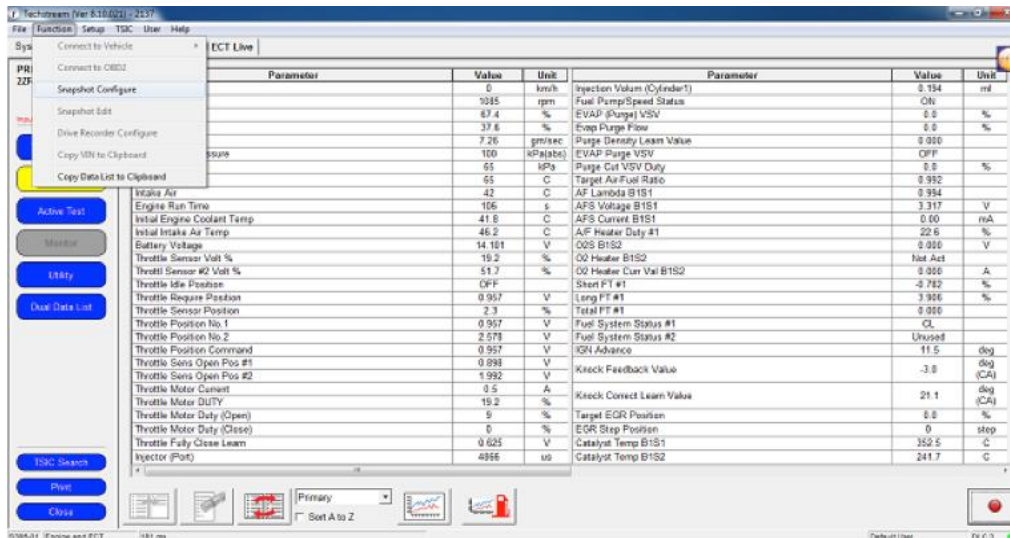
5. กดที่ปุ่ม Data List ด้านซ้ายมือ จะเข้าสู่หน้าจอซึ่งจะแสดงค่าพารามิเตอร์ และสถานะต่างๆของรถยนต์ซึ่งจะทำการแสดงค่าแบบ real-time ในรูปที่ 63



รูปที่ 63 หน้าจอแสดงผล Data List

6. คลิกที่ Function > Snapshot Configure เพื่อเข้าสู่โหมดการบันทึกข้อมูลในรูปที่ 64





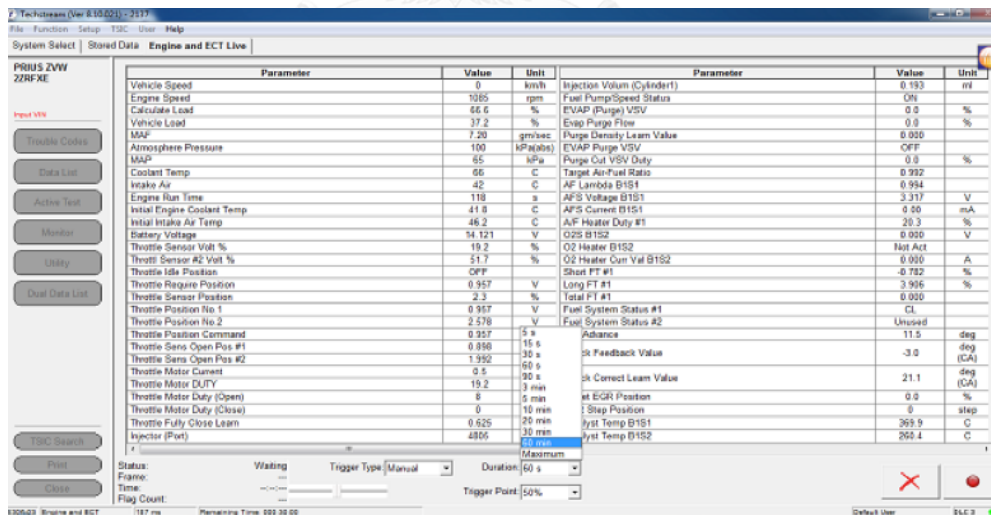
รูปที่ 64 ตำแหน่งของปุ่ม Snapshot Configure

7. ทำการตั้งค่าก่อนการบันทึก เลือก

Trigger Type => Manual

Trigger Point => Begin

Duration => ตามระยะเวลาที่คาดว่าจะใช้ในการเก็บข้อมูล แสดงไว้ในรูปที่ 65 (แนะนำเป็นขั้นต่ำ 60 min สำหรับ Highway และ Suburban และ เป็น Maximum สำหรับ City)



รูปที่ 65 เลือก Trigger Type, Trigger Point และ Duration ที่เหมาะสม

8. เมื่อเตรียมรถ อุปกรณ์ คนขับ และผู้ช่วยพร้อมเสร็จสิ้นทุกอย่างแล้ว ต้องทำการตรวจสอบและบันทึกลงในใบรายการก่อน จึงทำการเริ่มบันทึกข้อมูลโดยกดที่ปุ่มรูปวงกลมสีแดง (Record) บริเวณขวาล่างของหน้าจอ จากนั้นจึงขับเก็บข้อมูลต่อไป

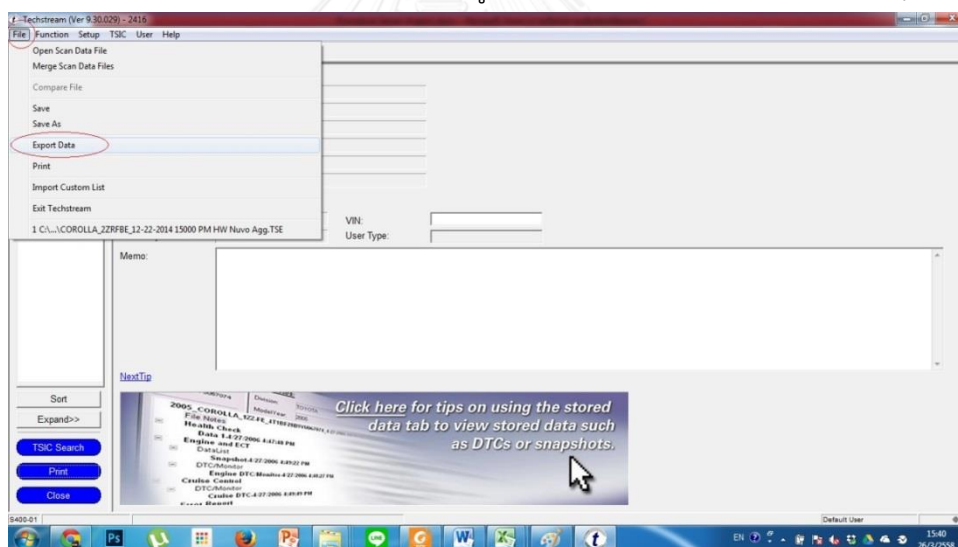
9. หลังจากทำการทดสอบการขับที่เรียบร้อย ต้องการจะหยุดการบันทึกข้อมูลให้กดหยุด (Stop) ปุ่มรูปสี่เหลี่ยมด้านขวาล่างของหน้าจอ เลือก Ok จะมีหน้าต่างให้แก้ไขชื่อไฟล์ และเลือกปลายทางที่ต้องการจะบันทึกข้อมูล

ข้อควรระวัง

- การเข้าโปรแกรม Techstream เครื่องยนต์จำเป็นที่จะต้องทำงานอยู่
- การเซฟข้อมูลหากเซฟไว้ที่ Default จะทำให้มีความลำบากในการหาไฟล์ปลายทางในภายหลัง
- อาจมีการขาดการเชื่อมต่อหาจุดเชื่อมต่อไม่แน่น
- หากขาดการเชื่อมต่อแล้วสามารถกลับมาเชื่อมต่อได้จะสามารถบันทึกต่อได้เลยไม่เช่นนั้นจะต้องทำการเชื่อมต่อและบันทึกในไฟล์ใหม่

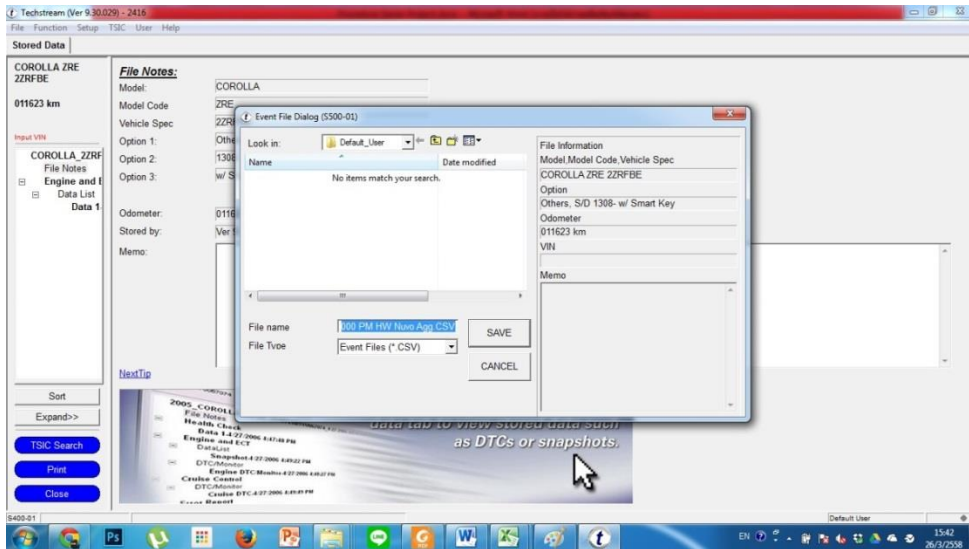
วิธีการดึงข้อมูลจาก OTC VIM (OBD II) มาใช้ และการเตรียมไฟล์

1. นำไฟล์ที่เซฟไว้มาเปิดเพื่อทำการแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบของ Excel โดยกดดับเบิลคลิกที่ตัวไฟล์ โปรแกรม Techstream จะเปิดขึ้นมาดังรูปที่ 66 จากนั้นจึงเข้าไปที่ File -> Export Data



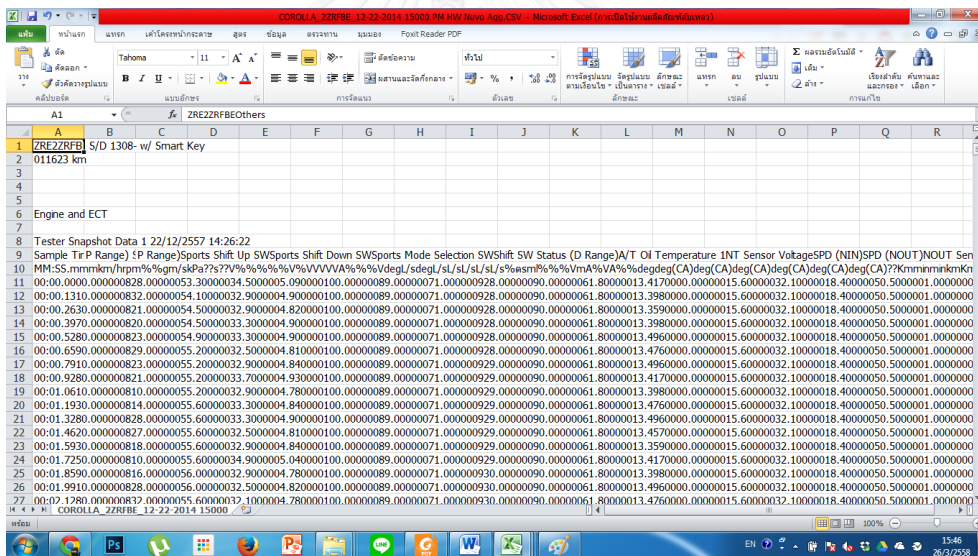
รูปที่ 66 หน้าจอแสดงผลเมื่อทำการเปิดไฟล์ ด้วยโปรแกรม Techstream

2. เมื่อกด Export Data จะมีหน้าต่างขึ้นมาเพื่อเซฟไฟล์ ดังรูปที่ 67 แล้วได้ไฟล์เป็นสกุล CSV ซึ่งสามารถเปิดได้ด้วยโปรแกรม Excel



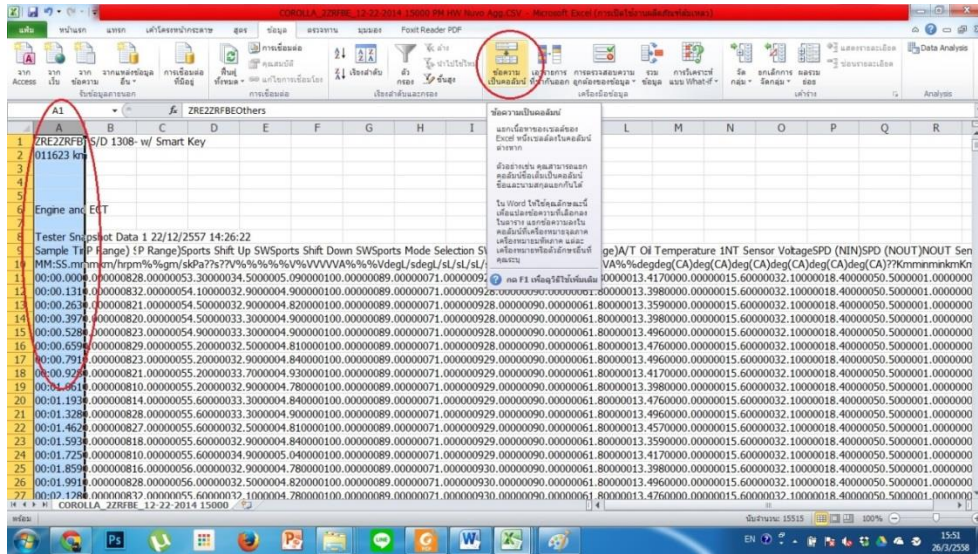
รูปที่ 67 หน้าต่างเซฟไฟล์เมื่อกด Export Data

3. ทำการเปิดไฟล์ CSV ที่ทำการ Export มาด้วยโปรแกรม Excel จะปรากฏข้อมูลดังรูปที่ 68



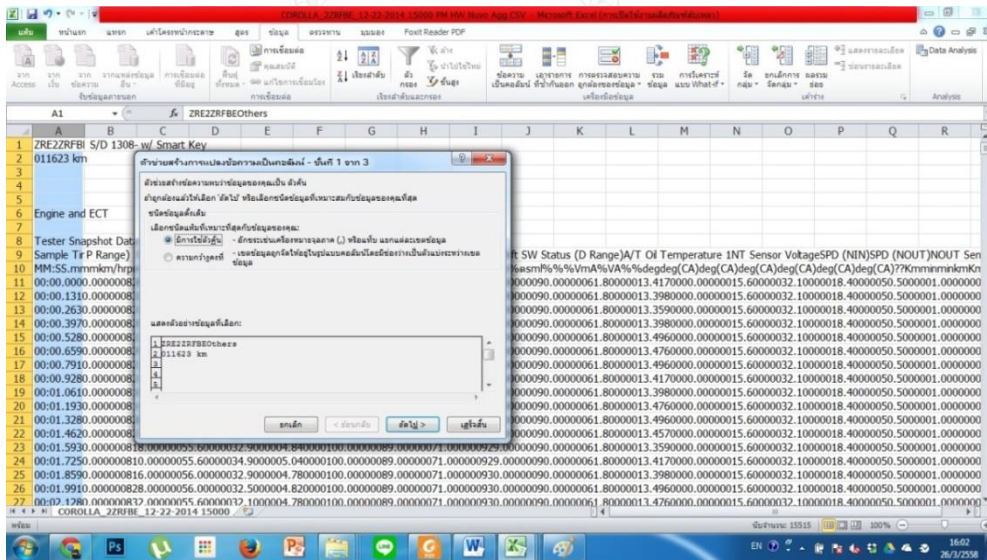
รูปที่ 68 แสดงข้อมูลที่ Export มาเปิดด้วยโปรแกรม Excel

4. เลือก Column A แล้ว ไปที่ ข้อมูล -> แปลงข้อมูลเป็นคอลัมน์ดังรูปที่ 69

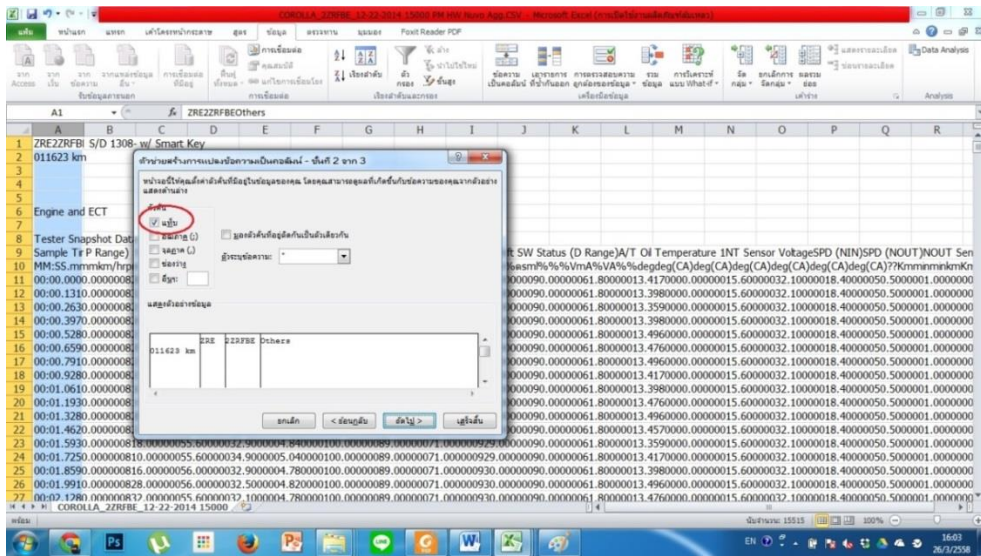


รูปที่ 69 ทำการแปลงข้อมูลจากข้อความเป็นคอลัมน์

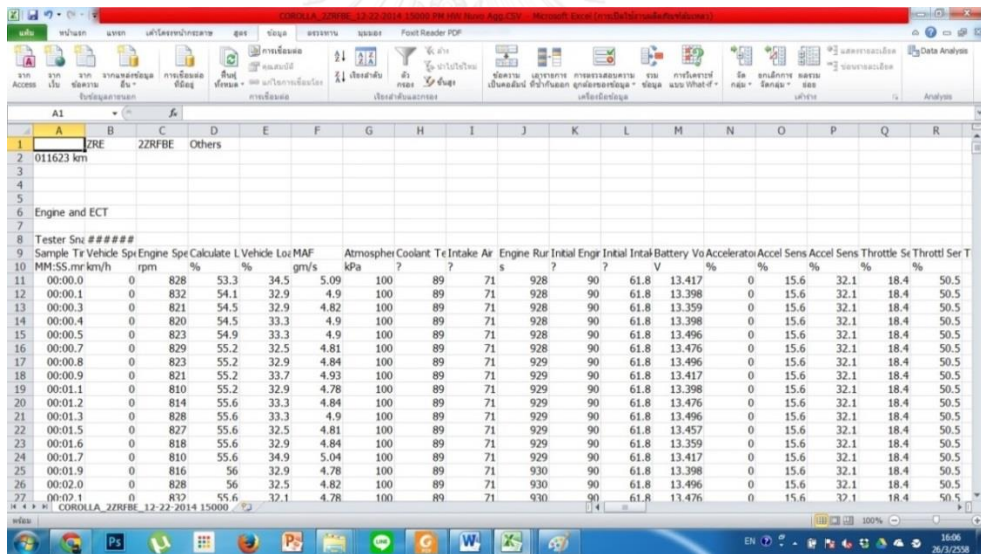
5. เมื่อทำการกด ข้อความเป็นคอลัมน์ จะมีหน้าต่างขึ้นมาดังรูปที่ เพื่อทำการเลือกวิธีการแปลง โดยเลือก “มีการใช้ตัวค้น” กด ถัดไป แล้วติ๊กที่ช่อง”แท้”เพียงช่องเดียว ดังรูปที่ แล้วกด “เสร็จสิ้น” จะมีหน้าต่างปรากฏขึ้นว่าจะแทนที่เนื้อหาหรือไม่ ให้ตอบตกลง แล้วจะได้ข้อมูลที่แบ่งช่องเรียบร้อยแล้ว ดังรูปที่ 70 ถึงรูปที่ 72



รูปที่ 70 หน้าต่างตัวช่วยสร้างการแปลงข้อความเป็นคอลัมน์



รูปที่ 71 การตัวเลือกตัวคั่นที่นำไปใช้



รูปที่ 72 ข้อมูลที่ทำการแบ่งช่องเรียบร้อยแล้ว

6. ทำการแทรกคอลัมน์เปล่าที่คอลัมน์ B เพื่อทำการแปลงเวลาจากคอลัมน์ A ไปเป็นหน่วย วินาที จากนั้นนำเอาค่าเวลาที่คอลัมน์ A มาคูณ 86400 ในคอลัมน์ B ดังรูปที่ 73 จากนั้นให้เปลี่ยนรูปแบบข้อมูลของคอลัมน์ B เป็นตัวเลข และเข้ารูปแบบตัวเลขเพิ่มเติมเพื่อเพิ่มจำนวนทศนิยมเป็น 4 จุด จะได้ผลออกมาเป็นดังรูปที่ 74

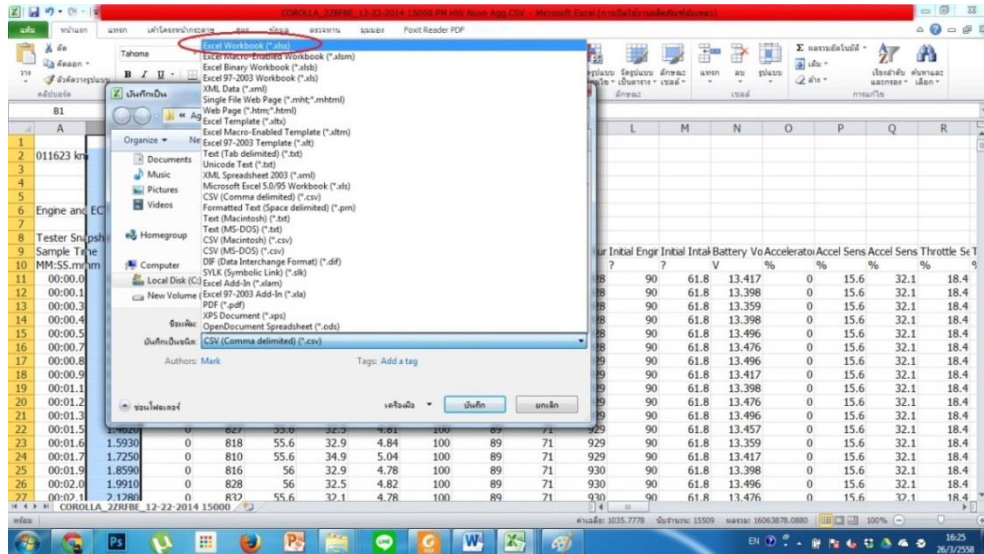
Sample Time	Vehicle Sp	Engine Sp	Calculate L	Vehicle Lo	MAF	Atmospher	Coolant T	Intake Ar	Engine Rur	Intal Engr	Intal Battery	Vo Accelerato	Accel Sens	Accel Sens	Throttle Se	T
00:00.0	0	828	53.3	34.5	5.09	100	89	71	928	90	61.8	13.417	0	15.6	32.1	18.4
00:00.1	0	832	54.1	32.9	4.9	100	89	71	928	90	61.8	13.398	0	15.6	32.1	18.4
00:00.3	0	821	54.5	32.9	4.82	100	89	71	928	90	61.8	13.359	0	15.6	32.1	18.4
00:00.4	0	820	54.5	33.3	4.9	100	89	71	928	90	61.8	13.398	0	15.6	32.1	18.4
00:00.5	0	823	54.9	33.3	4.9	100	89	71	928	90	61.8	13.496	0	15.6	32.1	18.4
00:00.7	0	829	55.2	32.5	4.81	100	89	71	928	90	61.8	13.476	0	15.6	32.1	18.4
00:00.8	0	823	55.2	32.9	4.84	100	89	71	929	90	61.8	13.496	0	15.6	32.1	18.4
00:00.9	0	821	55.2	33.7	4.93	100	89	71	929	90	61.8	13.417	0	15.6	32.1	18.4
00:01.1	0	810	55.2	32.9	4.78	100	89	71	929	90	61.8	13.398	0	15.6	32.1	18.4
00:01.2	0	814	55.6	33.3	4.84	100	89	71	929	90	61.8	13.476	0	15.6	32.1	18.4
00:01.3	0	828	55.6	33.3	4.9	100	89	71	929	90	61.8	13.496	0	15.6	32.1	18.4
00:01.5	0	827	55.6	32.5	4.81	100	89	71	929	90	61.8	13.457	0	15.6	32.1	18.4
00:01.6	0	818	55.6	32.9	4.84	100	89	71	929	90	61.8	13.359	0	15.6	32.1	18.4
00:01.7	0	810	55.6	34.9	5.04	100	89	71	929	90	61.8	13.417	0	15.6	32.1	18.4
00:01.9	0	816	56	32.9	4.78	100	89	71	930	90	61.8	13.398	0	15.6	32.1	18.4
00:02.0	0	828	56	32.5	4.82	100	89	71	930	90	61.8	13.496	0	15.6	32.1	18.4
00:02.1	0	810	55.6	32.1	4.78	100	89	71	930	90	61.8	13.476	0	15.6	32.1	18.4

รูปที่ 73 นำเวลาที่คอลัมน์ A มาแปลงเป็นวินาทีที่คอลัมน์ B

Sample Time	Vehicle Sp	Engine Sp	Calculate L	Vehicle Lo	MAF	Atmospher Co	Intake Ar	Engine Rur	Intal Engr	Intal Battery	Vo Accelerato	Accel Sens	Accel Sens	Throttle Se	T	
0.0000	0	828	53.3	34.5	5.09	100	89	71	928	90	61.8	13.417	0	15.6	32.1	18.4
0.1310	0	832	54.1	32.9	4.9	100	89	71	928	90	61.8	13.398	0	15.6	32.1	18.4
0.2630	0	821	54.5	32.9	4.82	100	89	71	928	90	61.8	13.359	0	15.6	32.1	18.4
0.3970	0	820	54.5	33.3	4.9	100	89	71	928	90	61.8	13.398	0	15.6	32.1	18.4
0.5280	0	823	54.9	33.3	4.9	100	89	71	928	90	61.8	13.496	0	15.6	32.1	18.4
0.6590	0	829	55.2	32.5	4.81	100	89	71	928	90	61.8	13.476	0	15.6	32.1	18.4
0.7910	0	823	55.2	32.9	4.84	100	89	71	929	90	61.8	13.496	0	15.6	32.1	18.4
0.9280	0	821	55.2	33.7	4.93	100	89	71	929	90	61.8	13.417	0	15.6	32.1	18.4
1.0610	0	810	55.2	32.9	4.78	100	89	71	929	90	61.8	13.398	0	15.6	32.1	18.4
1.1930	0	814	55.6	33.3	4.84	100	89	71	929	90	61.8	13.476	0	15.6	32.1	18.4
1.3280	0	828	55.6	33.3	4.9	100	89	71	929	90	61.8	13.496	0	15.6	32.1	18.4
1.4620	0	827	55.6	32.5	4.81	100	89	71	929	90	61.8	13.457	0	15.6	32.1	18.4
1.5930	0	818	55.6	32.9	4.84	100	89	71	929	90	61.8	13.359	0	15.6	32.1	18.4
1.7250	0	810	55.6	34.9	5.04	100	89	71	929	90	61.8	13.417	0	15.6	32.1	18.4
1.8590	0	816	56	32.9	4.78	100	89	71	930	90	61.8	13.398	0	15.6	32.1	18.4
1.9910	0	828	56	32.5	4.82	100	89	71	930	90	61.8	13.496	0	15.6	32.1	18.4
2.1280	0	810	55.6	32.1	4.78	100	89	71	930	90	61.8	13.476	0	15.6	32.1	18.4

รูปที่ 74 เปลี่ยนรูปแบบของข้อมูลคอลัมน์ B ให้เป็นตัวเลข ได้ข้อมูลเป็นหน่วย วินาที

7.ทำการเซฟไฟล์เป็นสกุล xlsx ดังรูปที่ 75



รูปที่ 75 เซฟไฟล์เป็น xlsx

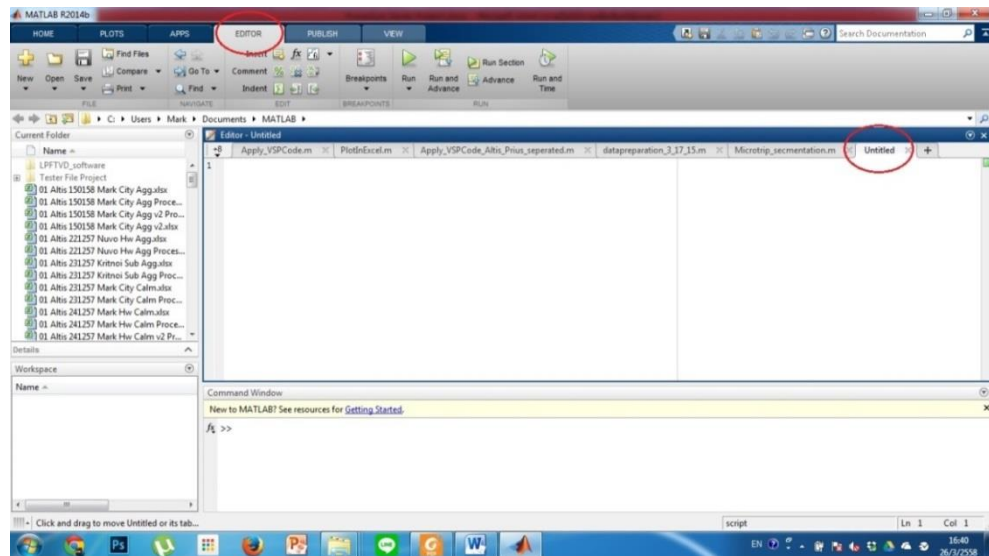
### ภาคผนวก ง วิธีการประมวลผลข้อมูลด้วย MatLab Code

1. ดาวน์โหลดโค้ด func\_denoise\_wp1d\_db5lv4.m, AllInOne\_VSP\_ForAltis.m, AllInOne\_VSP\_ForPrius.m แล้วนำไปไว้ที่โฟลเดอร์ C:\Users\Mark\Documents\MATLAB

2. นำไฟล์ xlsx ที่ต้องการจะนำมาประมวล มาไว้ที่โฟลเดอร์

C:\Users\Mark\Documents\MATLAB

3. เปิดโปรแกรม MatLab ขึ้นมา เข้าไปที่ Editor เริ่มไฟล์ใหม่ขึ้นมา ดังรูปที่ 76



รูปที่ 76 หน้าจอแสดงผลของโปรแกรม MatLab หน้า Editor

4. พิมพ์โค้ดนี้ใน Editor:

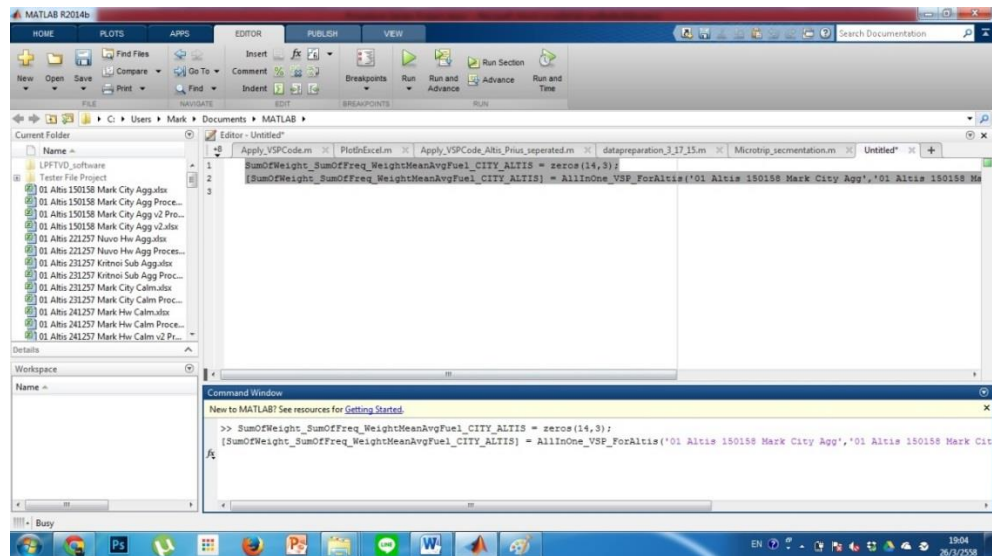
ชื่อตัวแปรค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก = zeros(14,3);

[ชื่อตัวแปรค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก] = AllInOne\_VSP\_ForAltis ('ชื่อไฟล์ที่จะทำการประมวลผล', 'ชื่อไฟล์ที่ต้องการของข้อมูลที่ประมวลผลแล้ว', ชื่อตัวแปร ค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก);

ตัวอย่างดังรูปที่ 77

จากนั้นจึงทำการคัดลอกโค้ดนี้ลงใน Command Windows เพื่อทำการประมวลผล





รูปที่ 77 แสดงตัวอย่างการใช้ MatLab Code

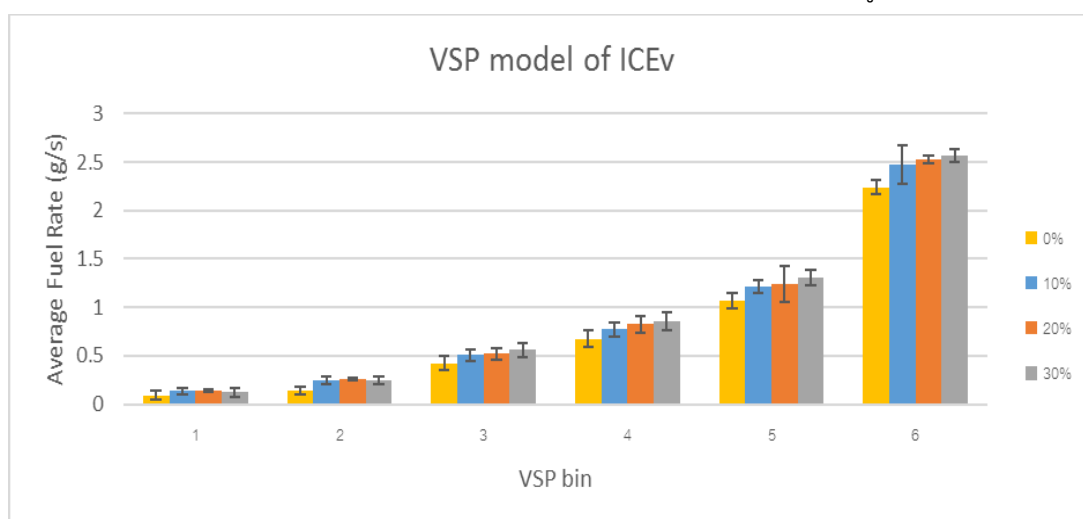
5. เมื่อโปรแกรมทำงานจนเสร็จสิ้น จะได้ไฟล์ข้อมูลที่ประมวลผลแล้ว ที่โพลเดอร์ MATLAB ในชื่อที่ใส่ใน Editor หรือก็คือ 'ชื่อไฟล์ที่ต้องการของข้อมูลที่ประมวลผลแล้ว' ภายในไฟล์จะปรากฏข้อมูลความเร็วและความเร่งที่ประมวลผลด้วยวิธี wavelet package แล้ว และตัวแปรอื่นๆที่ต้องการ ดังรูปที่ 78

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	Time	wavelet V (m/s)	wavelet V (km/hr)	wavelet A (m/s)	wavelet A (g)	FuelCons g/s	VSPBn	AvgFuel	Frequency					
2	0	0	0	0	0	0.31732272	-14.2813	0.234846	wavelet V max (km/h)	159.645				
3	0.131	0	0	0	0	0.31885568	-0.35384	0.295164	wavelet V min (km/h)	0				
4	0.263	0	0	0	0	0.31464004	0.478482	0.418012	wavelet V mean (km/h)	72.33106				
5	0.397	0	0	0	0	0.31422568	2.426037	0.584209	wavelet A max (g)	0.253138				
6	0.528	0	0	0	0	0.31540652	5.462595	0.879128	wavelet A min (g)	-0.3058				
7	0.659	0	0	0	0	0.31770596	8.504127	1.167706	wavelet A mean (g)	-2.4E-05				
8	0.791	0	0	0	0	0.31540652	11.4564	1.443179	FuelCons total g	2689.307				
9	0.928	0	0	0	0	0.31464004	14.49826	1.672409	FuelCons total L	3.648992				
10	1.061	0	0	0	0	0.3104244	17.44269	1.920816	FuelCons mean Km/L	11.40259				
11	1.193	0	0	0	0	0.31195736	20.47751	2.207387	FuelCons mean L/100Km	8.769937				
12	1.328	0	0	0	0	0.406824	23.51393	2.57267	Idle Count	1346				
13	1.462	0	0	0	0	0.406332667	26.48438	2.855526	Idle percentage	8.678832				
14	1.593	0	0	0	0	0.401910667	29.34124	3.186352	OBDO A noise	0.59134				
15	1.725	0	0	0	0	0.39798	42.83099	5.150314	wavelet DeAcce mean (g)	-0.04878				
16	1.859	0	0	0	0	0.400928			S Total (km)	41.60796				
17	1.991	0	0	0	0	0.406824			Stop Count	12				
18	2.128	0	0	0	0	0.408789333			Stop Count/Meter	0.000288				
19	2.261	0	0	0	0	0.410263333			Stop Count/Km	0.288406				
20	2.393	0	0	0	0	0.403384667								
21	2.528	0	0	0	0	0.400436667								
22	2.663	0	0	0	0	0.403384667								
23	2.798	0	0	0	0	0.41083328								
24	2.932	0	0	0	0	0.4147836								
25	3.063	0	0	0	0	0.41132707								
26	3.195	0	0	0	0	0.40836433								
27	3.327	0	0	0	0	0.40342643								

รูปที่ 78 ข้อมูลภายในไฟล์ที่ทำการประมวลผลแล้ว

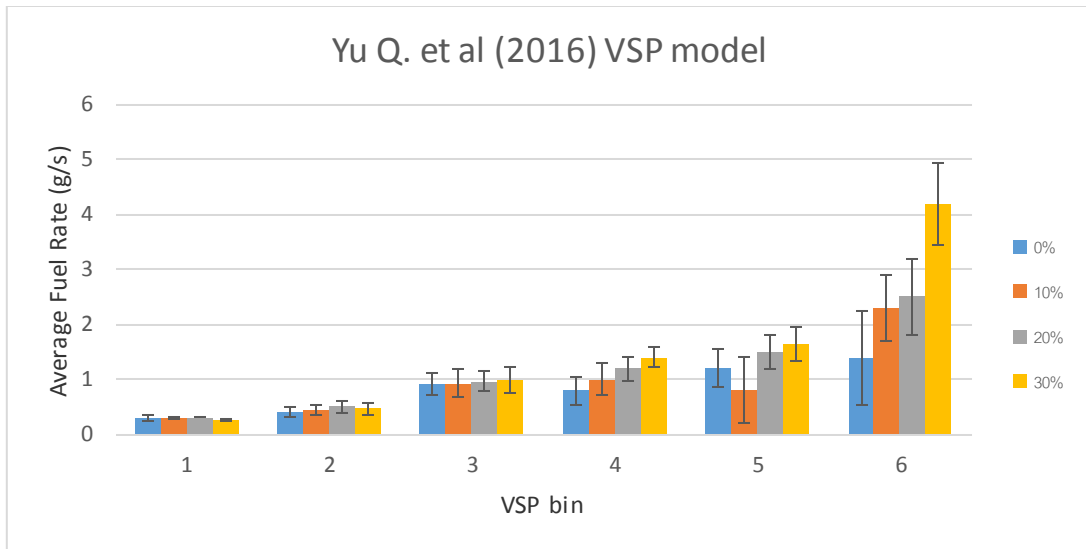
### ภาคผนวก งานวิจัยก่อนหน้า

จากตัวอย่างผลการทดลองเบื้องต้น (Preliminary) ในรูปที่ 79 ได้สร้างแบบจำลอง VSP จากข้อมูลการขับเคลื่อนจริง โดยที่แบ่งตามน้ำหนักที่เพิ่มเข้าไปในรถยนต์ งานวิจัยนี้จึงได้ทำการเปรียบเทียบแบบจำลอง VSP โดยแบ่งเป็นโหมด 6 โหมดตามงานวิจัยของ Yu Q. et al ดังรูปที่ 80



รูปที่ 79 กราฟ VSP ที่ทำการทดลองเบื้องต้น (Preliminary)

เมื่อวิเคราะห์จากแบบจำลอง VSP ในรูปที่ 79 พบว่าผลของน้ำหนักมีผลต่อแบบจำลอง VSP ใน Bin ที่ 3 เป็นต้นไปและ Error Bar ของการทดลองอย่างคร่าวๆ (Preliminary) นี้มีค่ามากที่สุด 6.43% และน้อยที่สุด 0.546% และเมื่อเปรียบเทียบแบบจำลอง VSP ของงานวิจัยของ Yu Q et al (2016) [29] พบว่าผลของน้ำหนักมีผลต่อแบบจำลอง VSP ใน Bin ที่ 3 ขึ้นไปเช่นกัน ดังที่แสดงในรูปที่ 80 แต่ค่า Error Bar นั้นมีค่ามากที่สุดกว่า 49% และน้อยที่สุด 0.8% แสดงให้เห็นได้ว่าผลการทดลองของงานวิจัยนี้มีค่าความผิดพลาดน้อยกว่า

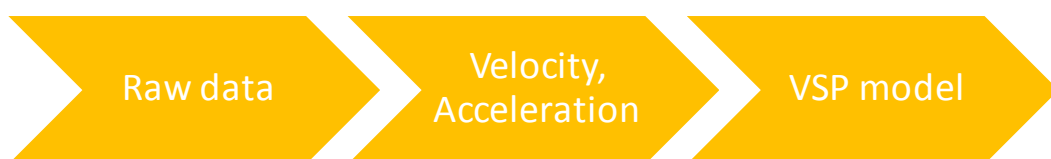


รูปที่ 80 แบบจำลอง VSP จากงานวิจัยของ Yu Q. et al. (2016) [29]

เมื่อมาวิเคราะห์ Error Bar จากงานวิจัยนี้ที่ต่ำกว่างานวิจัยของ Yu Q. et al [29] คาดว่าเกิดจากขั้นตอนการประมวลผลจากข้อมูลดิบและนำไปสู่แบบจำลอง VSP ดังที่แสดงในรูปที่ 81 และเปรียบเทียบกับรูปที่ 82 จะพบว่าขั้นตอนการประมวลผลเพิ่มเข้ามาคือ ขั้นตอน Wavelet Transform วิธีการนี้จะได้ค่าความเร่งจากความเร็วที่แม่นยำมากยิ่งขึ้นซึ่งเป็นวิธีการที่ลดสัญญาณรบกวนจากตัวจับความเร็วที่ล้อ (Wheel Speed Sensor) โดยที่งานวิจัยของ Yu Q. et al. (2016) [29] เป็นการเก็บข้อมูลจากรถโดยสารขนาดใหญ่จะนำข้อมูลดิบผ่านการประมวลผลแล้วจึงนำไปคำนวณเพื่อให้เกิดแบบจำลอง VSP ขึ้น และไม่ได้ระบุวิธีการหาค่าความเร่งอย่างชัดเจน รวมทั้งมีการขั้บทดสอบในลักษณะการจราจรแบบในเมืองทั้งสี่ ซึ่งทำให้ข้อมูล ความเร็วสูงขาดหาย ด้วยสาเหตุดังกล่าวจึงทำให้มีค่าความคลาดเคลื่อนสูง



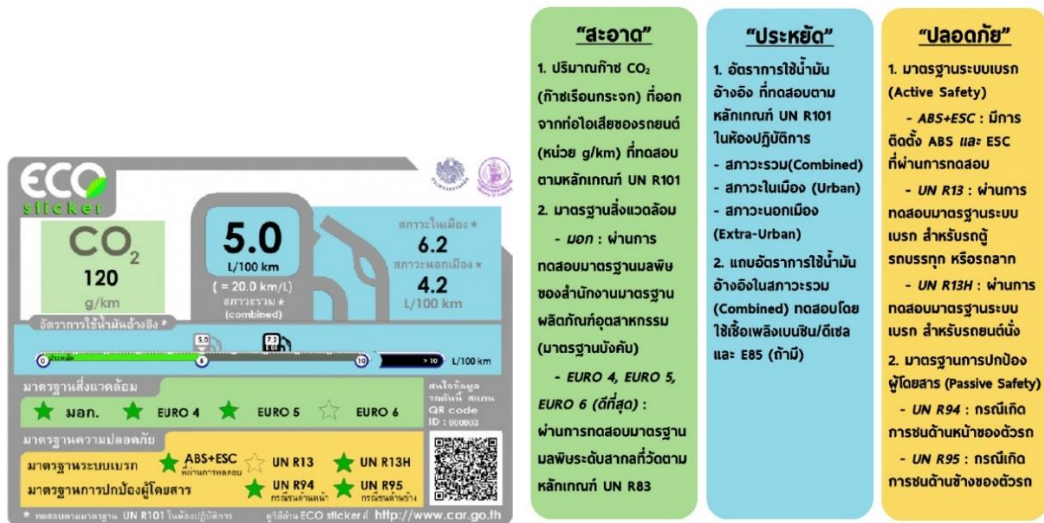
รูปที่ 81 Flow การประมวลผลของงานวิจัยนี้



รูปที่ 82 Flow การประมวลผลของงานวิจัยของ Yu Q. et al (2016) [29]

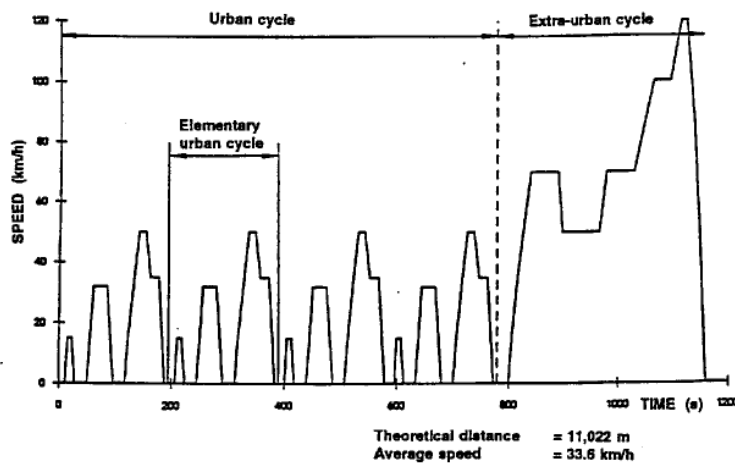
ภาคผนวก ฉ การหาอัตราการใช้พลังงานรถยนต์ใหม่ที่ผลิตในประเทศไทย

จากสำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรมและกระทรวงการคลัง ได้มีการจัดทำป้ายข้อมูลรถยนต์ตามมาตรฐานสากล หรือ ECO Sticker [59] ของรถยนต์ที่มีการจำหน่ายในประเทศไทย ในรูปที่ 83 ซึ่งจะเป็นแหล่งบอกข้อมูลสำคัญของรถยนต์คันใหม่เพื่อรักษาผลประโยชน์ทั้งผู้ผลิต, ผู้จำหน่ายและลูกค้า ทั้งคุณภาพที่เชื่อถือได้พร้อมกับสอดคล้องกับโครงสร้างภาษีสรรพสามิตใหม่ที่มีการปรับให้เหมาะสมมากขึ้น ตั้งแต่ 1 มกราคม พ.ศ. 2559 เป็นต้นไป

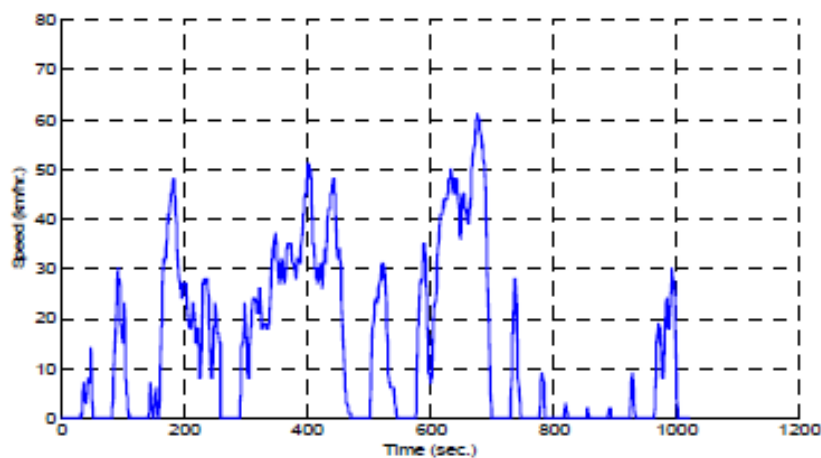


รูปที่ 83 ตัวอย่างป้ายข้อมูลรถยนต์ตามมาตรฐานสากล หรือ Eco Sticker [59]

มาตรฐานการวัดอัตราการใช้เชื้อเพลิงดังกล่าวจะใช้ข้อกำหนดทางเทคนิค UN R101 [59] คือ การทดสอบหาอัตราใช้น้ำมันเชื้อเพลิง ซึ่งจะทำโดยการนำรถยนต์ทดสอบ มาวิ่งบนแชสซีส์ไดนาโมมิเตอร์ในห้องปฏิบัติการ ณ ระดับความเร็วต่างๆ ตามช่วงเวลาที่กำหนดในรูปที่ 84



รูปที่ 84 แสดงวัฏจักรความเร็วที่ใช้ในการทดสอบบนแชสซีส์ไดนาโมมิเตอร์ [3]



รูปที่ 85 รูปแบบความเร็วที่ใช้ในการขับขี่จริงในกรุงเทพมหานคร [60]

การทดสอบแบ่งออกเป็น 2 ช่วง โดยช่วงแรกจะเป็นการจำลองการขับขี่รถยนต์ตามสภาวะในเมือง (Urban Condition) จำนวน 4 วัฏจักร รวมระยะเวลา 780 วินาที ช่วงที่สอง เป็นการจำลองการขับขี่ตามสภาวะนอกเมือง (Extra-Urban Condition) จำนวน 1 วัฏจักร รวมระยะเวลา 400 วินาที รวมเวลาที่ใช้ทั้งสิ้นเป็น 1,180 วินาที โดยความเร็วจริงของการขับเคลื่อนสามารถคลาดเคลื่อนจากความเร็วที่กำหนดไม่เกิน  $\pm 2$  กิโลเมตรต่อชั่วโมง ในระหว่างการขับเคลื่อนรถยนต์ทดสอบ จะมีการเก็บตัวอย่างการปล่อยไอเสียจากรถยนต์ทดสอบซึ่งประกอบด้วย ไฮโดรคาร์บอน (HC), ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) เพื่อนำปริมาณการปล่อยไอเสียจากรถยนต์ และความหนาแน่นของเชื้อเพลิงทดสอบ (Reference Fuel) มาใช้ คำนวณหาอัตราการใช้เชื้อเพลิงในแต่ละสภาวะต่อไป ซึ่งการขับขี่ในสภาวะจริงจะมีผลในเรื่องของแรงเสียดทานมาเกี่ยวข้อง คือ พบว่าหากเพิ่มอากาศเข้าไปในการทดสอบที่ความเร็วสูงๆ จะทำให้รถยนต์ต้องเพิ่มภาระกำลังถึง 40% ที่จะทำให้คงความเร็วนั้นไว้ได้ [61] ซึ่งจะเห็นได้ว่า วัฏจักรการขับขี่ในสภาวะบนแชสชีส์ไดนาโมมิเตอร์ กับ ในสถานการณ์จริงจะแตกต่างกันเป็นอย่างมาก ซึ่งในปัจจุบัน ประเทศไทยใช้วัฏจักรการขับขี่สำหรับประเมินปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของรถยนต์ที่จดทะเบียนใหม่ (ป้ายแดง) เป็นวัฏจักรของ ECE จาก วัฏจักรดังรูปที่ 84 ของ ECE เทียบกับ วัฏจักรการขับขี่จริงดังรูปที่ 85 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างระหว่างการขับขี่จริงและการขบขี่บนแชสชีส์ไดนาโมมิเตอร์ ดังนั้นจึงเกิดงานวิจัยนี้ที่เป็นการขับขี่จริงบนกรุงเทพมหานคร

กระบวนการวัดอัตราการใช้เชื้อเพลิงหรืออัตราการปล่อยมลพิษที่ทั่วโลกนิยมใช้คือการ ใช้วัฏจักรการขับขี่ วัฏจักรการขับขี่เป็นตัวแทนลักษณะของถนนซึ่งแต่ละประเทศแต่ละองค์กรต่างสร้างขึ้นมาเพื่อที่จะสร้างเป็นมาตรฐานการการตรวจวัดการใช้พลังงานและการปล่อยมลพิษ มาตรฐาน

ดังกล่าวมีไว้เพื่อเป็นหลักเกณฑ์ในการแก้ไขปัญหาด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมของประเทศ รวมทั้งใช้สำหรับการออกแบบรถยนต์ การสร้างเครื่องมือ และการตลาด [62]

ในประเทศไทยนั้นใช้มาตรฐานการวัดอัตราการใช้เชื้อเพลิงจากข้อกำหนดทางเทคนิค UN R101 [59] เป็นการทดสอบหาอัตราใช้น้ำมันเชื้อเพลิง ซึ่งจะทำได้โดยการนำรถยนต์ทดสอบมาวิ่งบนแชสซีส์ไดนาโมมิเตอร์โดยมีรูปแบบการทดสอบจากวัฏจักรการขับขี่ที่เปลี่ยนแปลงความเร็วตามรูปแบบและเวลาที่กำหนด โดยที่การทดสอบนี้จะทำในห้องปฏิบัติการทดสอบ จากงานวิจัยของ Tamsanya S. et al [63] ได้เปรียบเทียบการหาอัตราการใช้เชื้อเพลิงจากการขับขี่จริงในกรุงเทพมหานครกับมาตรฐานการหาอัตราการใช้เชื้อเพลิงจากวัฏจักรการขับขี่ตามข้อกำหนดทางเทคนิค UN R101 ที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้น งานวิจัยนี้พบว่าอัตราการใช้เชื้อเพลิงที่ได้มาจากการใช้วัฏจักรการขับขี่มีความแตกต่างกันเป็นอย่างมากเมื่อเปรียบเทียบกับอัตราการใช้เชื้อเพลิงจากการขับขี่จริงในสภาพการจราจรในกรุงเทพมหานคร ซึ่งพบว่ากรุงเทพมหานครนั้นมีการจราจรที่ติดขัดสูงและคาดเดาได้ยาก [63] ซึ่งลักษณะการจราจรนั้นมีผลต่ออัตราการใช้เชื้อเพลิงสูงถึง 20 - 40% [12] นอกจากนี้ความแตกต่างของอัตราการใช้เชื้อเพลิงจากการขับขี่จริงกับการขับขี่บนวัฏจักรการขับขี่เกิดจากแรงต้านอากาศ [64, 65] อีกด้วย งานวิจัยของ Valdes-Dapena P. [61] กล่าวว่าแรงต้านอากาศจะมีผลมากเมื่อวิ่งในความเร็วสูงหรือในลักษณะการจราจรบนทางหลวง (Highway) จะทำให้มีผลต่อการเพิ่มอัตราการใช้เชื้อเพลิงกว่า 40% เพื่อที่จะคงความเร็วนั้นไว้ได้

จากปริทัศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการขับทดสอบในกรุงเทพมหานคร ยังมีข้อจำกัดที่ว่า การทดสอบการขับขี่ในการศึกษานี้ใช้รถยนต์ทดสอบเพียงคันเดียว [63] ซึ่งไม่สามารถเป็นตัวแทนการขับขี่จริงในกรุงเทพมหานครในรถยนต์รูปแบบอื่น ๆ ได้ รวมทั้งยังไม่มีผลการแจกแจงถึงสภาพลักษณะความเร็วสูงบนถนนทางหลวง (Highway) จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมต่อไป

### ภาคผนวก ข การคำนวณต้นทุนการเป็นเจ้าของ

ต้นทุนการเป็นเจ้าของในรถโดยสารจะถูกแสดงในรูปแบบของต้นทุนต่อกิโลเมตร โดยที่มีการพิจารณาถึงมูลค่าเงินตามเวลาด้วย โดยสมมติการคำนวณต้นทุนการเป็นเจ้าของเป็นดังสมการที่ 10

$$TCO/km = \frac{\sum_{i=1}^N DPT + \sum_{i=1}^N TAX + \sum_{i=1}^N FIN + (N \cdot FC) + \sum_{i=1}^N ISR + \sum_{i=1}^N MTN + \sum_{i=1}^N RP}{N \cdot AKT} \quad (10)$$

โดยที่

$TCO / km$  คือ ต้นทุนการเป็นเจ้าของต่อกิโลเมตร (บาท/กิโลเมตร)

$DPT$  คือ ค่าเสื่อมราคา (บาท)

$TAX$  คือ ภาษีและค่าธรรมเนียม (บาท)

$FIN$  คือ อัตราเงินเฟ้อ (บาท)

$FC$  คือ ค่าเชื้อเพลิงที่ใช้ต่อปี (บาท)

$ISR$  คือ ค่าประกันภัยต่อปี (บาท)

$MTN$  คือ ค่าบำรุงรักษา (บาท)

$RP$  คือ ค่าซ่อมแซมต่อปี (บาท)

$AKT$  คือ ระยะทางที่วิ่งต่อปี (กิโลเมตร)

$N$  คือ อายุการใช้งานของรถยนต์ (ปี)

ตัวแปรแฟกเตอร์มูลค่าปัจจุบัน แฟกเตอร์กอบกู้ทุน อัตราดอกเบี้ย ระยะทางการวิ่งของรถยนต์ใน 1 ปี และอายุการใช้งานของรถยนต์ โดยอายุการใช้งานของรถโดยสารจะกำหนดให้รถโดยสารมีการใช้งานเป็นเวลา 10 ปี ส่วนตัวแปรแฟกเตอร์มูลค่าปัจจุบันและแฟกเตอร์กอบกู้ทุนใช้ระยะเวลาการคำนวณอยู่ที่ 10 ปี ด้วยอัตราดอกเบี้ย 2.0% ซึ่งเป็นดอกเบี้ยโดยเฉลี่ยในปัจจุบัน ในการคำนวณต้นทุนการเป็นเจ้าของนั้น ค่าขายคืนจะถูกนำมาคิดเป็นมูลค่าเงินในปัจจุบันแล้วจึงนำมาหักลบกับค่าใช้จ่ายเริ่มต้นแล้วจึงคิดเป็นค่าใช้จ่ายรายปีด้วยแฟกเตอร์กอบกู้ทุน ส่วนค่าใช้จ่ายของรถยนต์ต่อปีประกอบไปด้วย ค่าซ่อมแซม และ ค่าบำรุงรักษาจะนำค่าใช้จ่ายรายปีในอนาคตมาคิดเป็นค่าใช้จ่ายรายปีในปัจจุบันแล้วนำมาเฉลี่ย ได้เป็นค่าใช้จ่ายรายปีเฉลี่ยในปัจจุบัน หลังจากนั้นค่าใช้จ่ายรายปีในปัจจุบันทั้งหมดจะถูกนำมาหารด้วยระยะทางการวิ่งของรถโดยสารต่อปี จึงได้ผลลัพธ์ออกมา

เป็นต้นทุนการเป็นเจ้าของ โดยที่ตัวแปรค่าใช้จ่ายเริ่มต้น ค่าขายคืน และค่าใช้จ่ายในการให้บริการต่อปี จะแตกต่างกันไปตามชนิดของต้นกำลังในรถยนต์

ตารางที่ 16 การคำนวณอัตราภาษีรถยนต์นำเข้า (เดิม)

รายการ	ราคา
1. ราคา CIF (ราคาสินค้า + ค่าขนส่ง + ค่าประกันภัย )	฿ 948,664.43
2. ภาษีอากรขาเข้า 80% ของ ราคา CIF	฿ 758,931.55
3. ภาษีสรรพสามิต = ( C.I.F. + อากรขาเข้า + ภาษี ค่าธรรมเนียมอื่นไม่รวมถึงภาษีมูลค่าเพิ่ม ) x อัตราภาษี / 1 - ( 1.1 x อัตราภาษี ) * อัตราภาษี เครื่องยนต์ต่ำกว่า 2,000 cc = 30%	฿ 742,207.16
4. ภาษีกระทรวงมหาดไทย = 10% ของภาษีสรรพสามิต	฿ 74,220.72
5. VAT 7% ของ ราคา CIF + ภาษีอากรขาเข้า + ภาษี สรรพสามิต + ภาษีกระทรวงมหาดไทย	<b>฿2,700,705.52</b>

\*การคำนวณอัตราภาษีเป็นไปตามรายการประเภทสินค้าและบริการตามพระราชบัญญัติพิกัด  
อัตราภาษีสรรพสามิต พ.ศ. 2527 กรมสรรพากร กระทรวงการคลัง [66]



ตารางที่ 17 การคำนวณอัตราภาษีอากรนำเข้าล่าสุด

รายการ	ราคา
1. ราคา CIF (ราคาสินค้า + ค่าขนส่ง + ค่าประกันภัย )	฿ 948,664.43
2. ภาษีอากรขาเข้า 0%	฿ -
3. ภาษีสรรพสามิต = ( C.I.F. + อากรขาเข้า + ภาษีค่าธรรมเนียมอื่นไม่รวมถึงภาษีมูลค่าเพิ่ม ) x อัตราภาษี / 1 - ( 1.1 x อัตราภาษี ) * อัตราภาษีรถยนต์ไฟฟ้า = 2%	฿ 19,973.29
4. ภาษีกระทรวงมหาดไทย = 10% ของภาษีสรรพสามิต	฿ 1,997.33
5. VAT 7% ของ ราคา CIF + ภาษีอากรขาเข้า + ภาษีสรรพสามิต + ภาษีกระทรวงมหาดไทย	<b>฿1,035,941.56</b>

\*การคำนวณอัตราภาษีอากรนำเข้าเป็นไปตามรายการประเภทสินค้าและบริการตามพระราชบัญญัติพิกัดอัตราภาษีสรรพสามิต พ.ศ. 2560 กรมสรรพากร กระทรวงการคลัง [67]

### ภาคผนวก ข รูปแบบการขับขี่ที่สะท้อนถึงลักษณะการจราจร

รูปแบบการขับขี่ที่จะนำไปสู่การวัดอัตราการใช้เชื้อเพลิงได้ถูกแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบคือ รูปแบบการขับขี่จริงบนท้องถนน (On-road measurement) และ รูปแบบการขับขี่แบบนอกถนน (Off-road measurement) [68] รูปแบบการขับขี่จริงบนท้องถนน (On-road measurement) เป็นวิธีที่วัดอัตราการใช้เชื้อเพลิงจากรถยนต์ในขณะที่ขับขี่ การวัดอัตราการใช้เชื้อเพลิงจะใช้เครื่องมือตรวจจับมลพิษแบบพกพาซึ่งจะมีก้านวัดเสียบที่ปลายท่อไอเสียของรถยนต์ทดสอบและขับรถยนต์ทดสอบไปในพื้นที่ต่าง ๆ ที่ต้องการวัด มีข้อดีคือสามารถบ่งบอกค่าอัตราการใช้เชื้อเพลิงได้อย่างแม่นยำ ข้อเสียคือไม่สามารถนำไปใช้กำหนดเป็นมาตรฐานได้เนื่องจากไม่สามารถควบคุมตัวแปรในการขับขี่ทำให้ไม่สามารถเปรียบเทียบได้ รวมทั้งไม่สามารถทำการทดสอบซ้ำได้ (Repeatability) รูปแบบการขับขี่แบบนอกถนน (Off-road measurement) ซึ่งเป็นวิธีการวัดอัตราการใช้เชื้อเพลิงในห้องทดลอง โดยจะนำรถยนต์ที่ต้องการทดสอบไปเข้าเครื่องวัดแรงม้าแบบลูกกลิ้ง (Chassis Dynamometer) และทำการขับขี่บนวัฏจักรการขับขี่ (Driving Cycle) ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดโดยมีข้อดีคือเป็นรูปแบบที่สามารถทดลองซ้ำได้ [69] ช่วยให้ประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายโดยที่ไม่จำเป็นต้องไปขับทดสอบในพื้นที่จริง แต่มีข้อจำกัดของวัฏจักรการขับขี่ คือ มาตรฐานการวัดอัตราการใช้เชื้อเพลิงหรืออัตราการปล่อยมลพิษของแต่ละประเทศจะมีลักษณะของวัฏจักรการขับขี่ที่แตกต่างกันซึ่งเป็นรูปแบบจำเพาะของประเทศนั้นๆ และมีค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากปัจจัยแรงเสียดทานซึ่งประกอบไปด้วย แรงเสียดทานที่เกิดจากการเสียด แรงเสียดทานที่เกิดจากการหมุนของล้อ แรงเสียดทานที่เกิดจากลมปะทะ เป็นต้น โดยที่ปัจจัยเหล่านี้ไม่สามารถกำหนดตายตัวได้

กระบวนการวัดอัตราการใช้เชื้อเพลิงหรืออัตราการปล่อยมลพิษที่ทั่วโลกนิยมใช้ที่มีรูปแบบการขับขี่มาจากวัฏจักรการขับขี่ วัฏจักรการขับขี่เป็นตัวแทนของลักษณะของถนนซึ่งแต่ละประเทศแต่ละองค์กรต่างสร้างขึ้นมาเพื่อที่จะสร้างรูปแบบการขับขี่ รูปแบบการขับขี่ที่ได้จะเป็นรูปแบบการขับขี่ของรถยนต์ทดสอบในห้องปฏิบัติการตรวจวัดมลพิษจากยานพาหนะซึ่งกำหนดเป็นมาตรฐานการการตรวจวัดการใช้พลังงานและการปล่อยมลพิษ และนำข้อมูลเหล่านี้ไปใช้เพื่อแก้ปัญหาด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมของประเทศ รวมทั้งใช้สำหรับการออกแบบรถยนต์ การสร้างเครื่องมือ และการตลาด [62] วัฏจักรการขับขี่มีอยู่ 3 ประเทศหลักๆ ที่สร้างเป็นมาตรฐานคือ Europe : NEDC/EUDC, USA : EPA Federal Test, Japan : 10 – 15 Mode ซึ่งประเทศอื่นๆ จะอ้างอิงตามมาตรฐานของ 3 ประเทศนี้

จากข้อจำกัดของวิธีการวัดอัตราการใช้เชื้อเพลิงจากวัฏจักรการขับขี่ที่มีเอกลักษณ์เฉพาะการจราจรในประเทศดังกล่าว จึงเกิดการศึกษเพื่อพัฒนาวัฏจักรการขับขี่เพื่อที่จะสามารถประยุกต์ใช้ได้ในพื้นที่นอกเหนือจากมาตรฐานของทั้ง 3 ประเทศที่ได้กล่าวมาแล้ว ยกตัวอย่างเช่นในปี 1999

งานวิจัยของ Tong H.Y. et al [70] งานวิจัยนี้ได้เสนอวิธีการวัดอัตราการใช้เชื้อเพลิงรวมทั้งอัตราการปล่อยมลพิษจากการขับขี่จริงโดยเลือกถนน 2 เส้นมาเป็นตัวแทนการขับขี่ในฮ่องกง แล้วได้นำค่าที่วัดได้ดังกล่าวมาเปรียบเทียบกับค่าที่วัดมาจากวัฏจักรการขับขี่ตามมาตรฐานสากลของทั้ง 3 ประเทศที่กล่าวมาข้างต้น ซึ่งพบว่าค่าอัตราการใช้เชื้อเพลิงและอัตราการปล่อยมลพิษที่ได้จากวัฏจักรการขับขี่ที่สร้างขึ้นนี้คลาดเคลื่อนอย่างมากเนื่องจากรูปแบบการขับขี่ที่แตกต่างกัน งานวิจัยนี้จึงสรุปว่ารูปแบบการขับขี่ของวัฏจักรมาตรฐานสากลนั้นไม่สามารถเป็นตัวแทนที่บ่งบอกลักษณะการจราจรในฮ่องกงได้ ผลการศึกษานี้ยังคงถูกยืนยันจาก ในปี 2009 ของ Kamble S.H. et al [69] เป็นงานวิจัยที่สร้างวัฏจักรการขับขี่ของเมือง Pune ประเทศอินเดีย การศึกษานี้มีการเก็บรูปแบบการขับขี่จากการขับขี่จริงเนื่องจากวัฏจักรการขับขี่ที่มีอยู่แล้วของประเทศอินเดีย Indian Driving Cycle (IDC) นั้นยังคงขาดรูปแบบความเร็วในช่วงความเร็วและความเร่งสูงเนื่องจากการสร้างสมมติฐานที่ว่า รูปแบบการจราจรในอินเดียมีเพียงแบบเดียวคือแบบผสม การศึกษานี้จึงได้เสนอการสร้างรูปแบบการขับขี่ที่สามารถเป็นตัวแทนของการจราจรในอินเดียได้ดียิ่งขึ้น โดยได้มีการกำหนดกฎเกณฑ์ทางสถิติให้รัดกุมในตัวแปรต่าง ๆ เช่น Avg. speed, %Acceleration, %Deceleration, %Cruise, %Idle, Time โดยการจับกลุ่มตามลักษณะความเร่งและความเร็ว แล้วจึงนำไปแบ่งแยกทำเป็น micro-trip เป็นวิธีการวิเคราะห์รูปแบบความเร็วโดยไม่มีข้อมูลการหยุดมาเกี่ยวข้อง จากนั้นทำการหารค่าเฉลี่ยของแต่ละ micro-trip แล้วทำการตัดตามเกณฑ์ที่กำหนด สุดท้ายจึงนำ micro-trip ที่ได้ไปจัดเรียงให้เกิดเป็นรูปแบบการขับขี่ จากการวิเคราะห์ตัวแปรทางสถิติพบว่ารูปแบบการขับขี่ที่ได้จากงานวิจัยนี้แตกต่างจากวัฏจักรมาตรฐานสากล เนื่องจากรูปแบบการขับขี่ในเมือง Pune นั้นเป็นรูปแบบที่คาดเดาได้ยากอันเนื่องมาจากพฤติกรรมการใช้รถยนต์ของชาวอินเดีย [71-73] งานวิจัยทั้งจากประเทศฮ่องกงและอินเดียจึงสรุปว่าการวัดอัตราการใช้เชื้อเพลิงจากวัฏจักรการขับขี่มาตรฐานไม่เหมาะสมกับประเทศทั้งสอง

จากการศึกษาต่างๆที่ได้กล่าวมาข้างต้น เป็นการศึกษารูปแบบขับขี่ที่เหมาะสมในแต่ละพื้นที่ การศึกษาของงานวิจัยนั้นๆ ในประเทศไทยมีการวัดอัตราการใช้เชื้อเพลิงและมลพิษโดยอ้างอิงมาจากมาตรฐานยุโรปซึ่งเป็นข้อกำหนดทางเทคนิคที่ใช้ชื่อว่า UN R101 ที่ได้กล่าวในส่วนรายละเอียดไปแล้ว ในบทนำ ยังมีงานวิจัยที่ได้กล่าวถึงรูปแบบการขับขี่ในกรุงเทพมหานครคือ ในปี ค.ศ. 2006 งานวิจัยของ Tamsanya S. et al [63] ได้สร้างรูปแบบการขับขี่ในกรุงเทพมหานครโดยใช้การขับขี่จริง โดยแบ่งรูปแบบการขับขี่ ออกเป็น 2 รูปแบบคือ 1.รูปแบบการขับขี่สำหรับวันธรรมดา 2.รูปแบบการขับขี่สำหรับวันหยุด ใช้ข้อมูลจากการขับขี่รถยนต์ในลักษณะตามวันทำงานในช่วงเวลาเร่งด่วนและช่วงไม่เร่งด่วน และ ขับในวันหยุด แล้วนำมาแบ่งแยก Micro-trip แล้วจึงสร้างวัฏจักรการขับขี่ที่เป็นตัวแทนของกรุงเทพมหานคร แต่ก็มีข้อขัดแย้งกับงานวิจัยนี้ที่ว่าขั้นตอนการสร้างวัฏจักรการขับขี่ของมาตรฐานสากล [74] ซึ่งได้ระบุไว้ว่าข้อมูลจากการขับขี้นั้นจำเป็นต้องผ่านกระบวนการคัดเลือกทาง

สถิติ รวมทั้งรูปแบบจราจรในกรุงเทพมหานครนั้นยากที่จะคาดเดาได้เนื่องจากกระทบในหลายปัจจัยที่ไม่อาจคาดเดาได้ [75] ดังนั้นวัฏจักรการขับขี่ของกรุงเทพมหานครจึงอาจจำเป็นต้องมีจำนวนข้อมูลที่มากพอที่จะสร้างความเชื่อมั่นทางสถิติได้ อีกทั้งงานวิจัยนี้ใช้รถยนต์ทดสอบเพียงคันเดียวโดยที่ไม่มีตัวแปรประเภทของรถยนต์ ที่แตกต่างกัน



## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายศรวัสย์ ตรีนก เกิดเมื่อวันที่ 16 มกราคม พ.ศ. 2535 ที่จังหวัดนนทบุรี สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมบัณฑิต เกียรตินิยมอันดับสอง สาขาวิศวกรรมยานยนต์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปี พ.ศ. 2558 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี พ.ศ. 2558 และมีผลงานทางวิชาการที่เผยแพร่ ได้แก่

ศรวัสย์ ตรีนก, และ อังคิรี ศรีภาคกร. 2559. การศึกษาประสิทธิภาพระหว่างรถยนต์กับถนนภายใต้การขับขี่จริงในกรุงเทพมหานคร. การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 12, 8-10 มิถุนายน 2559 ณ โรงแรมวังจันทร์เวอร์วิว จังหวัดพิษณุโลก. ISBN 978-616-7902-77-7.

