การประเมินอัตราการใช้พลังงานของรถยนต์ไฮบริดและรถยนต์สันดาปภายใน
ภายใต้การใช้งานจริงบริเวณกรุงเทพมหานคร

นางสาวสิริอร ปิตานุวัตร

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 2557
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EVALUATION OF FUEL CONSUMPTION OF HYBRID AND CONVENTIONAL VEHICLES IN REALISTIC BANGKOK SCENARIO

Miss Siriorn Pitanuwat

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

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 2014
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประเมินอัตราการใช้พลังงานของรถยนต์ไฮบริดและรถยนต์สันดาปภายในภายใต้การใช้งานจริงบริเวณกรุงเทพมหานคร
โดย	นางสาวสิริอร ปิตานุวัตร
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร. อังคีร์ ศรีภคากร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

....ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นภดนัย อาชวาคม)

....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร. อังคีร์ ศรีภคากร)

....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สัณหพศ จันทรานุวัฒน์)

....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นักสิทธ์ นุ่มวงษ์)

....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ดร. ชินะ เพ็ญชาติ)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สิริอร ปิตานุวัตร : การประเมินอัตราการใช้พลังงานของรถยนต์ไฮบริดและรถยนต์สันดาปภายในภายใต้การใช้งานจริงบริเวณกรุงเทพมหานคร (EVALUATION OF FUEL CONSUMPTION OF HYBRID AND CONVENTIONALVEHICLES IN REALISTIC BANGKOK SCENARIO) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร. อังคีร์ ศรีภคากร, 104 หน้า.

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ศึกษาถึงการประเมินอัตราการใช้พลังงานของรถยนต์ไฮบริด และรถยนต์สันดาปภายใน เพื่อจัดทำเป็นฐานข้อมูลเพื่อเป็นแนวทางในการลดการใช้พลังงานจากภาคการขนส่งในกรุงเทพมหานคร เพื่อให้ผลการทดสอบที่ได้ สามารถสะท้อนสภาพการใช้งานจริงในกรุงเทพมหานคร ปัจจัยด้านลักษณะการจราจร และพฤติกรรมการขับขี่ จึงถูกรวบรวมไว้ในการทดสอบ สำหรับลักษณะการจราจรจะถูกแบ่งออกเป็นสามลักษณะ ได้แก่ การจราจรในเมือง การจราจรชานเมือง และการจราจรบนเส้นทางหลวง นอกจากนี้สำหรับพฤติกรรมการขับขี่ ในการทดสอบ ได้แบ่งพฤติกรรมเป็นสองประเภท ได้แก่ พฤติกรรมการขับขี่แบบก้าวร้าว และพฤติกรรมการขับขี่แบบปกติถึงนุ่มนวล สำหรับการระบุลักษณะทางกายภาพของลักษณะการจราจร และพฤติกรรมการขับขี่จะใช้ตัวแปรทางสถิติ คือ ความเร็วเฉลี่ย และ Acceleration noise ตามลำดับ และวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ยังนำเทคนิคการแบ่ง Microtrip เข้ามาใช้ เพื่อเพิ่มความสามารถในการอธิบายลักษณะข้อมูลให้ชัดเจนมากขึ้น การทดสอบทั้งหมด ครอบคลุมระยะทางรวมมากกว่า 1,000 กิโลเมตร ซึ่งคิดเป็นจำนวนมากกว่า 2,000 Microtrip จากผลการทดสอบพบว่า ภายใต้พฤติกรรมการขับขี่แบบปกติถึงนุ่มนวล การจราจรที่ติดขัดสามารถส่งผลกระทบต่ออัตราการใช้พลังงานสูงสุดถึง 88.9% สำหรับรถยนต์ไฮบริด และ 172% สำหรับรถยนต์สันดาปภายใน เทียบกับการจราจรบนเส้นทางหลวง สำหรับความสามารถในการประหยัดน้ำมันของรถยนต์ไฮบริดเทียบกับรถยนต์สันดาปภายในอยู่ที่ 53% 32% และ 20% ในการจราจร ในเมือง ชานเมือง และเส้นทางหลวง ตามลำดับ สำหรับพฤติกรรมการขับขี่ จากผลการทดสอบพบว่าการใช้พฤติกรรมการขับขี่ที่ก้าวร้าวสามารถส่งผลกระทบต่ออัตราการใช้พลังงานถึง 84-153% สำหรับรถยนต์ไฮบริด และ 83.5-108.6% สำหรับรถยนต์สันดาปภายในในสภาพการจราจรที่แตกต่างกัน ดังนั้นการขับขี่แบบก้าวร้าวจึงเป็นพฤติกรรมที่ควรหลีกเลี่ยง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการจราจรแบบในเมือง อย่างไรก็ตามรถยนต์สันดาปภายในเป็นรถยนต์ที่มีความอ่อนไหวต่อการสิ้นเปลืองพลังงานสูงกว่ารถยนต์ไฮบริด ในเชิงการใช้งานจริงในกรุงเทพมหานคร

ภาควิชา	วิศวกรรมเครื่องกล	ลายมือชื่อนิสิต	....
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก	....
ปีการศึกษา	2557		

5670428421 : MAJOR MECHANICAL ENGINEERING
KEYWORDS: HYBRID VEHICLES / CONVENTIONAL VEHICLES / TRAFFIC CONDITIONS / DRIVING STYLES / FUEL CONSUMPTION

SIRIORN PITANUWAT: EVALUATION OF FUEL CONSUMPTION OF HYBRID AND CONVENTIONALVEHICLES IN REALISTIC BANGKOK SCENARIO. ADVISOR: ASSOC. PROF. ANGKEE SRIPAKAGORN, Ph.D., 104 pp.

This thesis studied the evaluate fuel consumption of hybrid vehicles (HVs) and conventional vehicles (CVs) in realistic Bangkok scenario in order to provide a database to support sustainable transport policy in Bangkok. To achieve the real-world driving conditions, the impacts of traffic and driving styles were taken into account. The traffic conditions were divided into city, suburban, and highway, and for the driving styles, aggressive and normal-calm derivers were employed. To quantify the level of traffic congestion and driving aggressiveness, average speed and acceleration parameters were introduced. In addition, this study also implemented a microtrip segmentation analysis technic to allow the quantitative parameters to extract the characteristics of driving data more explicitly. The tests covered more than 1,000 km accounting for more than 2,000 microtrips. Under the normal-calm driving style, traffic congestion had a significant impact on excessive fuel consumption, up to 88.9% and 172% for HVs and CVs respectively. HVs fuel saving potential based on CVs' fuel consumption was found at 53%, 32% and 20%, in the city, suburban and highway traffic compared to CVs' fuel consumption. For the impact of driving styles, aggressive driving was suggested to be avoided, particularly in city traffic, because the fuel consumption could be increased up to 84-153% for HVs and 83.5-108.6% for CVs. The variation in fuel consumption of both vehicles was significantly subjected to traffic conditions and driving styles; however, CVs appeared to be more sensitive to excessive fuel consumption than HVs in terms of practical usage in Bangkok real-world driving conditions.

Department:	Mechanical Engineering	Student's Signature	....
Field of Study:	Mechanical Engineering	Advisor's Signature	....
Academic Year:	2014		

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาอย่างยิ่งจาก รองศาสตราจารย์ ดร. อังคีร์ ศรีภคากร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้ความรู้ คำแนะนำ คำปรึกษา คอยผลักดัน และให้โอกาสการทำวิจัยในหัวข้องานวิจัยที่สนใจ รวมถึงให้ความช่วยเหลือในทุกเรื่องอย่างต่อเนื่องมาโดยตลอด และกรุณาตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นภดนัย อาชวาคม ประธานกรรมการ ที่กรุณารับเป็นกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์ และให้ความช่วยเหลือตลอดมา

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สัณหพศ จันทรานุวัฒน์ ที่กรุณารับเป็นกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์ และให้ความรู้ คำแนะนำ คำปรึกษา เป็นอย่างดีมาโดยตลอด

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นักสิทธ์ นุ่มวงษ์ ที่กรุณารับเป็นกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์ และให้ความรู้ คำแนะนำ คำปรึกษา เป็นอย่างดีมาโดยตลอด

ขอกราบขอบพระคุณ ดร. ชินะ เพ็ญชาติ ที่กรุณารับเป็นกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการสนับสนุนรถยนต์ทดสอบ และอุปกรณ์กรณ์เก็บข้อมูล รวมถึงความรู้ทางเทคนิคด้านรถยนต์ไฮบริด และรถยนต์สันดาปภายใน จากบริษัท โตโยต้า มอเตอร์ประเทศไทย จำกัด โดยได้รับการสนับสนุนเป็นอย่างดีจาก คุณมนัส ดาวมณี ที่ปรึกษาอาวุโส และคุณเกรียงศักดิ์ ชาวนา ฝ่ายบริการด้านเทคนิค จึงขอกราบขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณ ทีมงานเก็บข้อมูล รวมถึงนักขับทดสอบ ได้แก่ นายธนนธรณ์ สุริยะไชยรดี นายศรวัสย์ กรีนก นายวิน มยุรฤทธิ์ภิบาล นายเจติตาน์ บัวชู นายทฤษฎี เงินสุขไพบูลย์ นายกฤษณ์ พรพิไลลักษณ์ ที่ให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดีจนการเก็บข้อมูลสำเร็จลุล่วง

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่คอยเป็นกำลังใจ และสนับสนุนในทุกด้านให้ผู้วิจัยเสมอมา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย .... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .... จ

กิตติกรรมประกาศ .... ฉ

สารบัญ .... ช

สารบัญตาราง .... ญ

สารบัญภาพ .... ฎ

บทที่ 1. บทนำ 1

1.1 สถานการณ์การใช้พลังงานและปัญหาสิ่งแวดล้อมในปัจจุบัน 1

1.2 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานและปล่อยมลพิษของรถยนต์ 3

1.3 ขอบเขตของงานและจุดประสงค์ 10

1.3.1 เป้าประสงค์ของงาน 11

บทที่ 2 การสอบทวนวรรณกรรม 12

บทที่ 3. วิธีการทดสอบ 25

3.1 การคัดเลือกปัจจัยที่ใช้ในการทดสอบ 25

3.1.1 รถยนต์ทดสอบ 25

3.1.2 เส้นทางที่ใช้ทดสอบ 27

3.1.3 พฤติกรรมการขับขี่ที่ใช้ทดสอบ 30

3.1.3 ลักษณะการจราจร และพฤติกรรมการขับขี่ที่พบในการทดสอบ 34

3.2 แผนการทดสอบ 37

3.3 การเก็บข้อมูลในการทดสอบและการปรับปรุงคุณภาพข้อมูล 38

บทที่ 4 หลักการทำงานของระบบ Toyota Hybrid System 42

4.1 ส่วนประกอบของเครื่องต้นกำลัง 43

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

หน้า

4.2 ระบบส่งกำลัง Power Split Device 45
4.3 หลักการทำงานของระบบเครื่องต้นกำลังของระยนต์ไฮบริด 46
บทที่ 5 ผลการทดสอบ 53
5.1 ผลการทดสอบการใช้พลังงาน 53
5.2 การศึกษาลักษณะการทำงานของรถยนต์ด้วยเทคนิค Microtrip 58
5.3 ผลการทดสอบปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 70
บทที่ 6 สรุปผลการทดสอบ 71
รายการอ้างอิง 72
ภาคผนวก 77
ภาคผนวก ก การเลือกใช้อุปกรณ์การวัดและปัญหาที่พบในการเก็บข้อมูล 78
ก.1 อุปกรณ์วัดอัตราการใช้น้ำมัน 79
ก.2 อุปกรณ์วัดความเร็ว 81
ภาคผนวก ข การปรับปรุงคุณภาพข้อมูลความเร็ว 86
ข.1 วิธีการแก้ไขปัญหาความไม่ต่อเนื่องของข้อมูลความเร็ว 87
ข.1.1 Curve fitting 88
ข.1.2 Lowpass Filter 88
ข.1.3 Wavelet transform 90
ข.2 การเปรียบเทียบผลการปรับปรุงข้อมูลความเร็วของแต่ละวิธี 92
ข.2.1 ช่วงออกตัว 93
ข.2.2 ช่วงขับขี่ที่ความเร็วสูง 94
ข.2.3 ช่วงเร่งและเบรคที่ความเร็วสูง 95
ข.2.4 ช่วงเร่งและเบรคที่ความเร็วต่ำ 96
ข.2.5 ช่วงความเร็วเปลี่ยนแปลงขึ้นลงอย่างรวดเร็ว 97

หน้า

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 104

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 การจำแนกปัจจัยต่าง ๆ ด้านรถยนต์ และผลกระทบต่ออัตราการใช้พลังงาน 5

ตารางที่ 2 การจำแนกปัจจัยต่าง ๆ ด้านเส้นทาง และผลกระทบต่ออัตราการใช้พลังงาน 7

ตารางที่ 3 การจำแนกปัจจัยต่าง ๆ ด้านผู้ขับขี่ และผลกระทบต่ออัตราการใช้พลังงาน 9

ตารางที่ 4 ลักษณะการจราจรเส้นทางที่ทำการทดสอบ [17].. 13

ตารางที่ 5 ตัวแปรที่ใช้จำแนกลักษณะถนนออกเป็น 12 ประเภท [25].. 16

ตารางที่ 6 ลักษณะการจราจรของถนนแต่ละรูปแบบ [25] 17

ตารางที่ 7 รายละเอียดรถยนต์ทดสอบ [27].. 26

ตารางที่ 8 หลักเกณฑ์ลักษณะแบ่งลักษณะการจราจร [23]... 29

ตารางที่ 9 สรุปลักษณะการทำงานของเครื่องยนต์ MG1และ MG2 [37].. 52

ตารางที่ 10 อัตราการใช้น้ำมันตามช่วงความเร็วเฉลี่ยต่าง ๆ และ % EV microtrip...................... 61

ตารางที่ 11 สมการ Regression และ R^2 ที่ความเร็วเฉลี่ย 30 km/h ขึ้นไป................................. 69

ตารางที่ 12 ค่าเริ่มต้นของการแก้ไขข้อมูลด้วยวิธีต่าง ๆ 93

ตารางที่ 13 สมการและ Correlation ของข้อมูลความเร่งเฉลี่ยจากวิธีต่าง ๆ............................... 100

ตารางที่ 14 สมการและ Correlation ของข้อมูล Acceleration noise จากวิธีต่าง ๆ 102

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 1 แนวโน้มปริมาณ CO_2 รถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่ลดลงเนื่องด้วยมาตรการ EURO และขั้นตอนในการพัฒนาเทียบกับเป้าหมาย [10] 2

รูปที่ 2 การเปรียบเทียบอัตราการใช้พลังงานของรถยนต์ที่ใช้เครื่องต้นกำลัง และน้ำหนักรถที่ต่างกันต่างกันภายใต้การขับขี่แบบ NEDC [12] 6

รูปที่ 3 ผลกระทบมาจากลักษณะการจราจร โดยการเปรียบเทียบการใช้พลังงานของรถยนต์ที่ใช้เครื่องต้นกำลังต่างกัน [16] 8

รูปที่ 4 การใช้พลังงานแบบ Well-to-Wheel ของรถยนต์ไฮบริดปลั๊กอิน (PHEV) แบบ Series และแบบ Split รถยนต์ไฮบริด (HEV) และรถยนต์สันดาปภายใน (ICEV) ภายใต้ปัจจัยของระยะทางและลักษณะการจราจร [16] 14

รูปที่ 5 ส่วนต่างอัตราการใช้น้ำมันที่รถยนต์ไฮบริดปลั๊กอิน (PHEV) แบบ Series และแบบ Split และรถยนต์ไฮบริด (HEV) สามารถประหยัดได้เมื่อเทียบกับรถยนต์สันดาปภายใน (ICEV) [16] 14

รูปที่ 6 การตัด Microtrip [25] 15

รูปที่ 7 อัตราการใช้พลังงานในถนนแต่ละรูปแบบ [25] 18

รูปที่ 8 การปรับระดับความก้าวร้าวของวัฏจักรขับขี่ USSD ด้วยวิธีการคูณ Scaling factor [22] 19

รูปที่ 9 อัตราการใช้พลังงานของรถยนต์ไฮบริดและรถยนต์สันดาปภายในที่ความก้าวร้าวระดับต่าง ๆ [22] 19

รูปที่ 10 การเปรียบเทียบช่วงอัตราการใช้พลังงานของรถยนต์สันดาปภายใน (CV) และรถยนต์ไฮบริด (HEV) [18] 20

รูปที่ 11 การเปรียบเทียบการใช้พลังงานของรถยนต์สันดาปภายใน (CV) และรถยนต์ไฮบริด (HEV) ภายใต้ผลกระทบจากลักษณะการจราจร และพฤติกรรมการขับขี่ [18] 22

รูปที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างการใช้พลังงานของรถยนต์แต่ละชนิดเทียบกับเปอร์เซ็นต์จำนวนรถยนต์ [18] 23

รูปที่ 13 ผังเมืองกรุงเทพมหานครจำแนกที่ดินตามประโยชน์การใช้งาน [29] 28

รูปที่ 14 เส้นทางทดสอบ และทำเลที่ตั้ง 29

รูปที่ 15 การเปรียบเทียบอัตราการใช้น้ำมัน ปริมาณ CO_2 CO HC และ NO_X ของพฤติกรรมการขับขี่ที่แตกต่างกัน [31] 31

รูปที่ 16 ลักษณะทางกายภาพของตัวแปร Acceleration noise 32

รูปที่ 17 ความสัมพันธ์ระหว่าง Acceleration noise Average speed และปริมาณการใช้น้ำมัน [20] 33

รูปที่ 18 ความเร็วเฉลี่ยจากเส้นทางทดสอบ 35

รูปที่ 19 Acceleration noise จากเส้นทางทดสอบ 36

รูปที่ 20 ความสัมพันธ์ระหว่าง Acceleration noise และ Average speed จากการขับขี่ด้วย Normal-calm พฤติกรรม และ Aggressive 37

รูปที่ 21 แผนการทดสอบ 38

รูปที่ 22 อุปกรณ์วัดอัตราการใช้น้ำมัน VIM และโปรแกรม GTH 39

รูปที่ 23 ปัญหาความไม่ต่อเนื่องของข้อมูลความเร็วจาก OBD 41

รูปที่ 24 Motor/Generator 2 (ซ้าย) และ Motor/Generator 1 (ขวา) [36] 44

รูปที่ 25 ส่วนประกอบภายใน Rotor [36] 44

รูปที่ 26 Power Split Device [38] 46

รูปที่ 27 กราฟแรงบิดและความเร็วที่ล้อที่ขาคันเร่งตำแหน่งต่าง ๆ [37] 47

รูปที่ 28 หลักการการชาร์จและใช้แบตเตอรี่ของรถยนต์ไฮบริด [37] 48

รูปที่ 29 เงื่อนไขที่ใช้พิจารณาการสตาร์ทเครื่องยนต์ [37] 49

รูปที่ 30 การคำนวณรอบการทำงานของเครื่องยนต์ [37] 50

รูปที่ 31 Nomogram chart คำนวณรอบการทำงานของ MG1 [37] 50

รูปที่ 32 Nomogram chart คำนวณแรงบิดรวมของระบบ [37] 51

รูปที่ 33 ลักษณะการจราจรที่ทดสอบของรถยนต์สันดาปภายใน (CVs) และรถยนต์ไฮบริด (HVs) .. 54

รูปที่ 34 การเปรียบเทียบการใช้พลังงานของรถยนต์สันดาปภายใน (CVs) และรถยนต์ไฮบริด (HVs) โดยแยกตามลักษณะการขับขี่ 55

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 35 ความสามารถในการประหยัดน้ำมันของรถยนต์ไฮบริดต่อรถยนต์สันดาปภายในภายใต้ลักษณะการใช้งานต่าง ๆ 56

รูปที่ 36 การเปรียบเทียบการใช้พลังงานของรถยนต์สันดาปภายใน (CVs) และรถยนต์ไฮบริด (HVs) โดยแยกตามประเภทรถยนต์ 57

รูปที่ 37 เปอร์เซ็นการเพิ่มขึ้นของอัตราการใช้น้ำมันภายใต้ผลกระทบพฤติกรรมการขับขี่ 57

รูปที่ 38 การใช้พลังงานของรถยนต์สันดาปภายในและรถยนต์ไฮบริด 60

รูปที่ 39 สัดจำนวน Microtrip ในแต่ละลักษณะการจราจร 62

รูปที่ 40 การใช้พลังงานของรถยนต์สันดาปภายในและรถยนต์ไฮบริด ในการจราจรต่าง ๆ 64

รูปที่ 41 การใช้พลังงานของรถยนต์สันดาปภายในแยกตามพฤติกรรมการขับขี่ 65

รูปที่ 42 การใช้พลังงานของรถยนต์ไฮบริดแยกตามสภาพการจราจร และพฤติกรรมการขับขี่ 67

รูปที่ 43 การเปรียบเทียบผลกระทบจากพฤติกรรมการขับขี่ต่ออัตราการใช้พลังงานของรถยนต์สันดาปภายในและรถยนต์ไฮบริด 69

รูปที่ 44 การเปรียบเทียบการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของรถยนต์สันดาปภายใน (CVs) และรถยนต์ไฮบริด (HVs) 70

รูปที่ 45 อุปกรณ์วัดอัตราการใช้น้ำมัน VIM และโปรแกรม GTH 80

รูปที่ 46 Ublox GNSS 82

รูปที่ 47 ลักษณะข้อมูลความเร็วช่วง Multi-GNSS สัญญาณขาดหายบนเส้นทาง Motorway 7 83

รูปที่ 48 ระยะเวลาที่ใช้ในการจับสัญญาณ Multi-GNSS หลังสัญญาณถูกรบกวน 83

รูปที่ 49 ชุดอุปกรณ์ VBOX ซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์เก็บข้อมูล และ IMU 85

รูปที่ 50 การเปรียบเทียบข้อมูลความเร็วจาก OBD และ VBOX 87

รูปที่ 51 การตอบสนองของสัญญาณที่ผ่าน Lowpass filter แบบต่าง ๆ [47] 90

รูปที่ 52 การกรองข้อมูลด้วยวิธี Wavelet transform ในแต่ละชั้น [48] 91

รูปที่ 53 แผนผังการประมวลผลสัญญาณวิธี Wavelet transform [48] 91

รูปที่ 54 ข้อมูลความเร็วและความเร่งที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพข้อมูล OBD speed sensor 92

รูปที่ 55 กราฟเปรียบเทียบผลการปรับปรุงข้อมูลช่วงออกตัว 94

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 56 กราฟเปรียบเทียบผลการปรับปรุงข้อมูลช่วงช่วงความเร็วสูง 95

รูปที่ 57 กราฟเปรียบเทียบผลการปรับปรุงข้อมูลช่วงช่วงเบรคที่ความเร็วสูง 96

รูปที่ 58 กราฟเปรียบเทียบผลการปรับปรุงข้อมูลช่วงช่วงเร่งและเบรคที่ความเร็วต่ำ....................... 97

รูปที่ 59 กราฟเปรียบเทียบผลการปรับปรุงข้อมูลช่วงช่วงความเร็วเปลี่ยนแปลขึ้นลงอย่างรวดเร็ว .. 98

รูปที่ 60 Frequency response (กราฟสีน้ำเงิน) และ Phase response (กราฟสีเขียว) ของ Lowpass filter ที่ Cut-off frequency 0.4 Hz 99

รูปที่ 61 การเปรียบเทียบ Correlation ของข้อมูลความเร็วเฉลี่ยจาก OBD speed เทียบกับข้อมูลจาก IMU 100

รูปที่ 62 การเปรียบเทียบ Correlation ของข้อมูลความเร่งเฉลี่ยจาก OBD speed เทียบกับข้อมูลจาก IMU 101

รูปที่ 63 การเปรียบเทียบ Correlation ของข้อมูล Acceleration noise จาก OBD speed เทียบกับข้อมูลจาก IMU.. 102

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1.
บทนำ

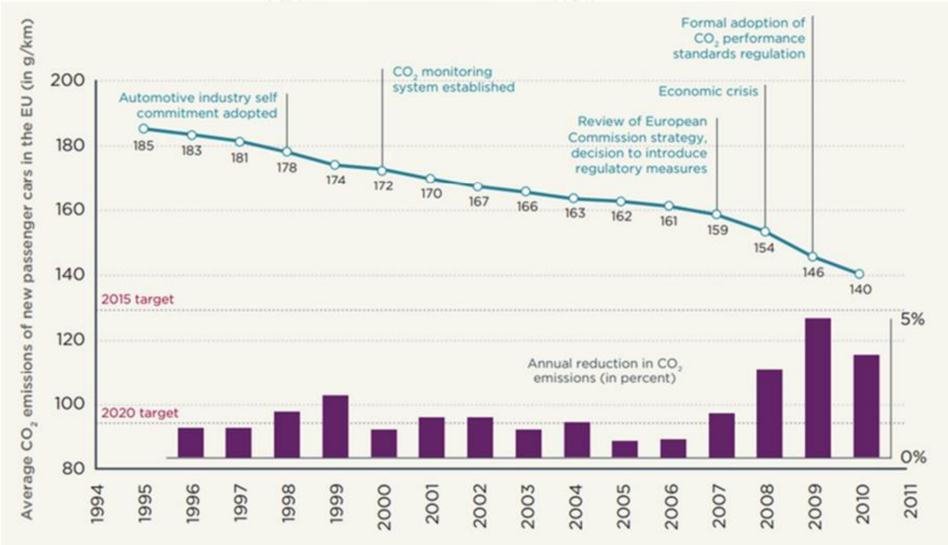
1.1 สถานการณ์การใช้พลังงานและปัญหาสิ่งแวดล้อมในปัจจุบัน

ปัจจุบันปัญหามลพิษและสิ่งแวดล้อมกลายเป็นปัญหาสำคัญที่ทั่วโลกกำลังเร่งแก้ไข นอกจากมลพิษจะส่งผลเสียต่อสุขภาพโดยตรงแล้ว ยังก่อให้เกิดภาวะเรือนกระจกซึ่งนำไปสู่ปัญหาโลกร้อน ฤดูกาลเปลี่ยนแปลง และภัยธรรมชาติต่าง ๆ ตามมา สาเหตุหลักของปัญหามลพิษและสิ่งแวดล้อมเกิดจากการใช้พลังงานในกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ เช่น อุตสาหกรรม การคมนาคม ที่อยู่อาศัย การเกษตร และ การพาณิชย์ เป็นต้น [1] จากสถิติการใช้พลังงานรวมของโลกในปี ค.ศ. 2008 ภาคการคมนาคมขนส่งถือเป็นภาคที่ใช้พลังงานสูงสุดเป็นอันดับสองรองจากภาคอุตสาหกรรม ซึ่งคิดเป็นอัตราส่วนหนึ่งในสามของการใช้พลังงานรวมของโลก [2, 3] โดยเฉพาะอย่างยิ่งพบว่าภาคการคมนาคมขนส่งทางถนน เป็นภาคที่มีการใช้น้ำมันสูงสุดคิดเป็น 50% ของน้ำมันทั้งหมดที่ใช้ทั่วโลกต่อปี ก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจก 30% ของปริมาณก๊าซทั้งหมด [4]

ในประเทศไทย จากรายงานการศึกษาเพื่อจัดทำแผนแม่บทในการพัฒนาระบบการขนส่งที่ยั่งยืนและลดปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ กระทรวงคมนาคม ปี2012 เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลสถิติสัดส่วนการใช้พลังงานของประเทศไทย พบว่ามีแนวโน้มใกล้เคียงกับของโลก คือ ภาคการคมนาคมขนส่งเป็นภาคที่ใช้พลังงานสูงสุดอันดับสองของประเทศ ซึ่งคิดเป็นปริมาณน้ำมันมากถึง 32,362 ล้านลิตรต่อปี ประกอบกับประเทศไทยมีการนำเข้าพลังงานน้ำมันคิดเป็น 5.8 เท่าของน้ำมันที่ผลิตได้ภายในประเทศ ซึ่งคิดเป็นมูลค่า 1.4 ล้านล้านบาทต่อปี [5] นอกจากนี้สัดส่วนการปล่อย CO_2 ของภาคการการคมนาคมทางถนนของไทยนั้นอยู่ในเกณฑ์ที่สูงโดยเฉพาะในบริเวณที่มีการจราจรแออัด เช่น กรุงเทพมหานคร [6] และจากข้อมูลช่วงปี 2005-2012 พบว่าภายในเขตกรุงเทพมหานคร ภาคการการคมนาคมเป็นภาคหลักที่ใช้พลังงานเฉลี่ยสูงสุดถึง 70% ของการใช้พลังงานรวมทั้งหมด ซึ่งก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกคิดเป็น 92% ของก๊าซเรือนกระจกในกรุงเทพมหานคร [7] นอกจากนี้ ค่ามลพิษจากรถยนต์ ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) ก๊าซไฮโดรคาร์บอน (HC) ก๊าซที่มีส่วนประกอบออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_X) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ที่ตรวจวัดได้ในบริเวณเมืองชั้นในกรุงเทพมหานครมีค่าสูงเกินกว่ามาตรฐานค่อนข้างมาก และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปี [8] ประกอบกับปริมาณรถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ยิ่งทำให้สถานการณ์การใช้พลังงาน และปัญหามลพิษและสิ่งแวดล้อมอยู่ในขั้นวิกฤต [9]

มาตรการควบคุมมลพิษจากภาคการคมนาคมทางถนนของประเทศไทยในปัจจุบัน รวมถึงประเทศในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ พบว่ายังคงตามหลังประเทศผู้นำทางด้านยานยนต์ เช่น สหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น

และ สหพันธ์ยุโรป อย่างมากทั้งด้านมาตรการสำหรับผู้ผลิตรถยนต์ และนโยบายสำหรับผู้ใช้รถยนต์ ด้านมาตรการสำหรับผู้ผลิตรถยนต์ ประเทศดังกล่าวได้มีการจัดตั้งองค์กรด้านสิ่งแวดล้อมขึ้น เพื่อแก้ไขปัญหาอย่างจริงจัง มีการบังคับใช้มาตรการลดการใช้พลังงานและมลพิษ เพื่อผลักดันให้ทางบริษัทผู้ผลิตรถยนต์พัฒนารถยนต์ให้ได้มาตรฐาน เช่น ควบคุมการใช้น้ำมัน และการปล่อยมลพิษของรถยนต์ ตัวอย่างมาตรการสำคัญที่ทางยุโรปประกาศใช้และได้ผลดีเป็นอย่างมาก คือ การบังคับใช้มาตรฐาน European Emission Standard (EURO) ซึ่งเป็นมาตรการที่สหพันธ์ยุโรป 27 ประเทศได้มีการจัดทำข้อตกลงความร่วมมือในการลดอัตราการใช้พลังงานและมลพิษจากท่อไอเสีย โดยได้มีการกำหนดอัตราการใช้น้ำมันสูงสุด และปริมาณมลพิษสูงสุดที่อนุญาตให้ใช้และปล่อยสู่บรรยากาศ โดยเริ่มประกาศใช้มาตรฐาน EURO 1 เมื่อปี 1993 และมีการพัฒนาเรื่อยมา จนในขณะนี้ยุโรปสามารถผลิตรถยนต์ที่ผ่านมาตรฐาน EURO 6 ออกสู่ท้องตลาด ซึ่งสามารถลดสารพิษในไอเสียได้มากกว่า 90%ภายในเวลาเพียง 20 ปี [10] และการผลักดันมาตรการ EURO ทำให้แนวโน้มการใช้น้ำมันและปล่อย CO_2 ลดลง เนื่องจากปริมาณ CO_2 แปรผันตรงกับปริมาณน้ำมันที่ใช้ สามารถประมาณค่าได้ด้วยวิธีสมดุลคาร์บอน โดย น้ำมัน 1 ลิตรเทียบเท่า CO_2 หนัก 23.9 g [11] ดังรูปที่ 1 แนวโน้มปริมาณ CO2 รถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่ลดลงเนื่องด้วยมาตรการ EURO และขั้นตอนในการพัฒนาเทียบกับเป้าหมาย [10]



รูปที่ 1 แนวโน้มปริมาณ CO_2 รถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่ลดลงเนื่องด้วยมาตรการ EURO และขั้นตอนในการพัฒนาเทียบกับเป้าหมาย [10]

ด้านนโยบายสำหรับผู้ใช้รถยนต์มีการเรียกเก็บภาษีมลพิษตามปริมาณ CO_2 ที่รถยนต์ปล่อยสู่บรรยากาศ โดยเจ้าของรถยนต์ต้องนำรถเข้ารับการตรวจเช็คค่ามลพิษทุกปี เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการ

เสียภาษีรถยนต์ประจำปี เช่น ประเทศเยอรมนีมีการเรียกเก็บภาษีจากปริมาณ CO_2 ด้วยอัตรา € 20 ต่อ 10 g/km โดยรถยนต์โดยสารขนาดเล็กน้ำหนักบรรทุกไม่เกิน 2,500 kg พิกัดภาษีอยู่ที่ 200-400 ยูโร ซึ่งนอกจากปริมาณ CO_2 ที่รถยนต์ปล่อยแล้ว ยังขึ้นอยู่กับขนาดและประเภทเครื่องยนต์ [12] นอกจากนี้ยังได้มีการรณรงค์ และให้ความรู้วิธีขับขี่อย่างประหยัด การเลือกใช้เส้นทางอย่างชาญฉลาด และการเลือกใช้รถยนต์ให้เหมาะกับการใช้งาน สำหรับการขับขี่อย่างประหยัดรัฐบาลประเทศในสหภาพยุโรปมีข้อตกลงความร่วมมือจัดให้มีการรณรงค์และให้ความรู้แก่ผู้ใช้รถด้านพฤติกรรมการขับขี่อย่างประหยัด (ECO-driving) ให้เป็นวาระแห่งชาติ และในปี 2007 ประเทศเนเธอร์แลนด์สามารถลดปริมาณ CO_2 ได้ 600,000 ตันในปี 2007 [1] และในปี 2010 ประเทสหรัฐอเมริกาได้มีการรนรงค์และให้ความรู้เรื่องารขับขี่อย่างประหยัดแก่ประชาชน และพบว่าสามารถลดปริมาณการใช้น้ำมันในประเทศได้ถึง 10% ซึ่งคิดเป็นปริมาณ 42.8 พันล้านลิตร [13]

สำหรับประเทศไทย มาตรการสำหรับผู้ผลิตรถยนต์ในประเทศไทยที่ได้มีการบังคับใช้เพียงมาตรฐาน EURO 4 กับรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเครื่องยนต์เบนซิน และ EURO 3 กับรถยนต์เชิงพาณิชย์เครื่องยนต์ดีเซล ขณะที่ทางยุโรปได้เริ่มประกาศใช้ EURO 6 ในด้านนโยบายสำหรับผู้ใช้รถประเทศไทยมีการเก็บภาษีรถยนต์ประจำปี แต่ยังคงใช้อัตราแปรผกผันตามอายุการใช้งาน กล่าวคือ ยิ่งอายุการใช้งานมากขึ้นยิ่งจ่ายภาษีต่ำลง ซึ่งในความเป็นจริงยิ่งรถอายุมากขึ้นการปล่อยมลพิษ และอัตราการใช้น้ำมันจะยิ่งมากขึ้นตาม สำหรับด้านนโยบายสำหรับผู้ขับขี่รถยนต์ทางภาครัฐยังไม่มีนโยบายหรือโครงการเพื่อรณรงค์ให้ผู้ขับขี่ช่วยกันประหยัดน้ำมันอย่างเป็นรูปธรรม [6]

จากที่ได้กล่าวมาข้างต้น ในบริเวณกรุงเทพมหานครภาคการคมนาคมขนส่งทางถนนเป็นภาคหลักที่มีการใช้พลังงานสูงสุด ซึ่งเป็นสาเหตุหลักที่ก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกปริมาณมหาศาล และจากมาตรการและนโยบายที่ทางภาครัฐใช้ในการควบคุมมลพิษนั้น ยังไม่สามารถช่วยแก้ไขปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นในหัวข้อต่อไปจะนำเสนอปัจจัยต่างที่กระทบต่อการใช้พลังงานและการปล่อยมลพิษของรถยนต์ เพื่อนำไปสู่วิธีการแก้ปัญหาอย่างตรงจุด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

1.2 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานและปล่อยมลพิษของรถยนต์

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา สามารถจำแนกปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานของรถยนต์ได้ตามองค์ประกอบพื้นฐานในการขับขี่ ได้แก่ รถยนต์ เส้นทาง และผู้ขับขี่ ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีความเกี่ยวโยงกัน [14]

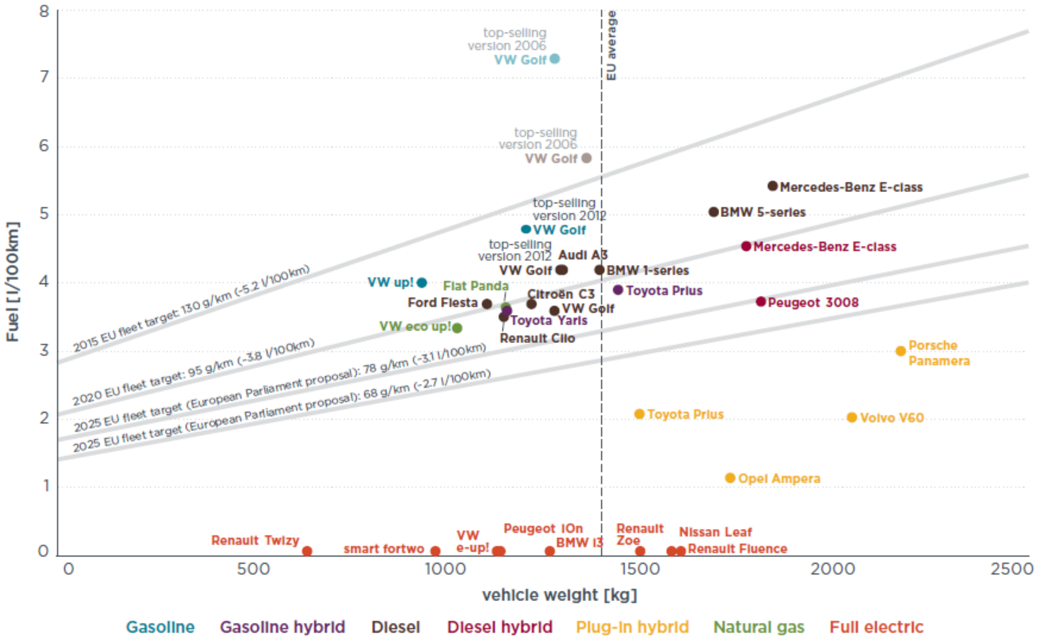
ปัจจัยแรก คือ ปัจจัยด้านรถยนต์ การเลือกซื้อรถยนต์ให้เหมาะกับการใช้งาน และการบำรุงรักษารถยนต์อย่างถูกวิธี เช่น การปรับตั้งเครื่องยนต์ การเปลี่ยนน้ำมันเครื่อง การเช็คลมยาง ดังตารางที่ 1 การจำแนกปัจจัยต่าง ๆ ด้านรถยนต์ และผลกระทบต่ออัตราการใช้พลังงาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 1 การจำแนกปัจจัยต่าง ๆ ด้านรถยนต์ และผลกระทบต่ออัตราการใช้พลังงาน

ปัจจัย	ผลกระทบ
รูปทรงและขนาดของรถยนต์	38% [1, 15]
ประเภทต้นกำลัง (เบนซิน, ดีเซล, ไฮบริด, รถไฟฟ้า)	800% (รถยนต์ทุกประเภท) 355% (ไม่รวมรถยนต์ไฟฟ้า) 227% (ไม่รวมรถยนต์ไฟฟ้าและไฮบริด) [1, 15] รถยนต์ไฮบริดสามารถช่วยประหยัดน้ำมันได้ 5-40% จากรถยนต์สันดาปภายใน [16, 17] รถยนต์ดีเซลสามารถประหยัดน้ำมันได้มากกว่ารถยนต์เบนซิน 15-23% อย่างไรก็ตามปริมาณ CO และ HC แต่ NO_X ยังคงสูงกว่ารถยนต์เบนซิน [2] เครื่องยนต์ไฮบริดจะมีช่วงอัตราการใช้น้ำมันที่แคบและต่ำกว่ารถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายใน และประเภทของเครื่องยนต์ไม่มีผลต่อแนวโน้มการใช้น้ำมัน ในแง่ระดับพฤติกรรมการขับขี่ที่ก้าวร้าว [18]
ยางรถยนต์	3-5% (เมื่อแรงต้านทานการหมุนสูงขึ้น 25%) [1, 15] 1% (เมื่อลมยางอ่อนกว่ามาตรฐาน 5 psi) [1, 15]
การบำรุงรักษาเครื่องยนต์	1-2% (ขาดการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่องตามกำหนด) [1, 15] 4-40% (ขาดการปรับตั้งเครื่องยนต์) [1, 15]

ประเภทต้นกำลังของรถยนต์ ต้นกำลังของรถยนต์เป็นประเด็นที่ผู้ซื้อรถยนต์ส่วนใหญ่มักให้ความสำคัญ เนื่องจากเป็นปัจจัยพื้นฐานที่ส่งผลกระทบต่อลักษณะการใช้พลังงานโดยตรง [16, 17] รูปที่ 2 การเปรียบเทียบอัตราการใช้พลังงานของรถยนต์ที่ใช้เครื่องต้นกำลัง และน้ำหนักรถที่ต่างกันต่างกันภายใต้การขับขี่แบบ NEDC [12] แสดงอัตราการใช้พลังงานของรถยนต์ที่ใช้เครื่องยนต์ประเภทต่าง ๆ จะพบว่ารถยนต์เครื่องยนต์เบนซิน (Gasoline) และแก๊สธรรมชาติ (Natural gas) มีอัตราการใช้พลังงานสูงสุด รองลงมาเป็นเครื่องยนต์ดีเซล รถยนต์ไฮบริด ชนิดเครื่องยนต์ดีเซล และเบนซิน (Diesel and gasoline hybrid) รถยนต์ไฮบริดปลั๊กอิน (Plug-in hybrid) และรถยนต์ไฟฟ้า (Full electric) สำหรับรถยนต์ไฮบริดและรถยนต์ไฟฟ้านั้นมีการนำมอเตอร์ไฟฟ้ามาใช้ขับเคลื่อนในขณะที่เครื่องยนต์ให้ประสิทธิภาพต่ำ ซึ่งทำให้สามารถประหยัดพลังงาน และลดมลพิษได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้ในหลายประเทศ เช่น ญี่ปุ่น อเมริกา และ ยุโรป เริ่มมีการสนับสนุนให้ผู้ขับขี่หันมาใช้รถยนต์ไฮบริดและไฟฟ้า โดยเฉพาะในเมืองใหญ่ที่มีการจราจรแออัด



รูปที่ 2 การเปรียบเทียบอัตราการใช้พลังงานของรถยนต์ที่ใช้เครื่องต้นกำลัง และน้ำหนักรถที่ต่างกันต่างกันภายใต้การขับขี่แบบ NEDC [12]

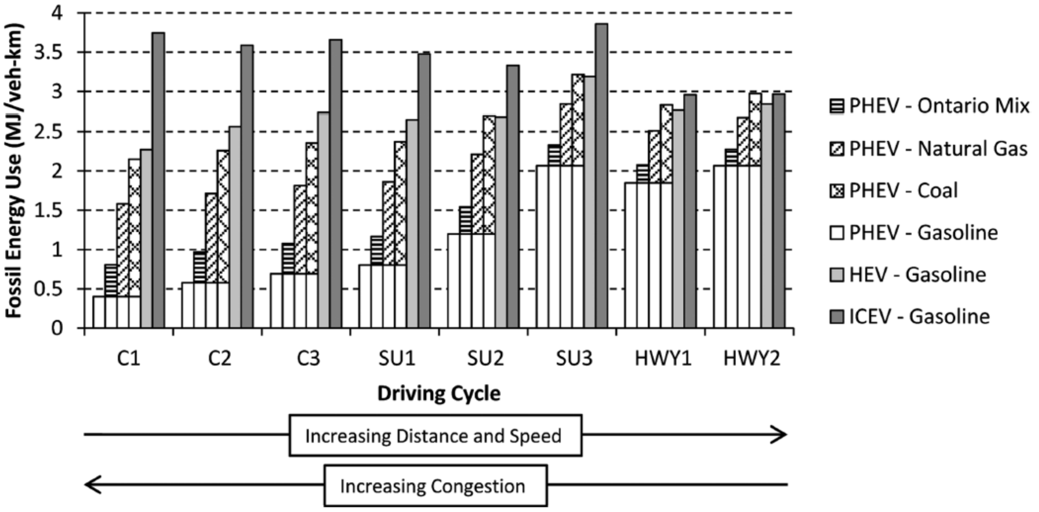
ปัจจัยที่สอง คือ ปัจจัยจากเส้นทาง เช่น การเลือกใช้เส้นทาง ความลาดชันและลักษณะการจราจร ดังตารางที่ 2 การจำแนกปัจจัยต่าง ๆ ด้านเส้นทาง และผลกระทบต่ออัตราการใช้พลังงาน

ตารางที่ 2 การจำแนกปัจจัยต่าง ๆ ด้านเส้นทาง และผลกระทบต่ออัตราการใช้พลังงาน

ปัจจัย	ผลกระทบ
ความลาดชันของถนน	15-20% [1, 15]
ลักษณะการจราจร	ความติดขัดสามารถเพิ่มอัตราการสิ้นเปลืองได้ 20-40% [1, 15, 19] อัตราการใช้น้ำมันขึ้นอยู่กับ จำนวนครั้งที่หยุดต่อหนึ่งกิโลเมตร (Stop/km) ความเร็วเฉลี่ย (Average speed) และ Acceleration noise [20] อัตราการใช้น้ำมันมีความสัมพันธ์กับความเร็วเฉลี่ย, จำนวนครั้งที่หยุด/กิโลเมตร อย่างมีนัยสำคัญ [21] การจราจรที่ติดขัดสามารถเพิ่มอัตราการสิ้นเปลืองได้ 20-45% การจราจรแบบ City ที่ใช้ความเร็วต่ำและติดขัดสิ้นเปลืองมากที่สุด รองลงมาเป็นการจราจรแบบ Ring road และ Highway อย่างไรก็ตามการติดขับบน Highway สามารถทำให้การใช้น้ำมันเพิ่มได้ถึง 10-200% [2]

ลักษณะการจราจรเป็นอีกปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่ออัตราการใช้พลังงานโดยตรง โดยเฉพาะการใช้งานในเมืองใหญ่ที่มีการจราจรแออัด ดังรูปที่ 3 ผลกระทบมาจากลักษณะการจราจร โดยการ

เปรียบเทียบการใช้พลังงานของรถยนต์ที่ใช้เครื่องต้นกำลังต่างกัน [16] แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพการใช้พลังงานของรถยนต์ เปลี่ยนแปลงตามลักษณะการจราจรและความติดขัด [16]



รูปที่ 3 ผลกระทบมาจากลักษณะการจราจร โดยการเปรียบเทียบการใช้พลังงานของรถยนต์ที่ใช้เครื่องต้นกำลังต่างกัน [16]

ปัจจัยสุดท้าย คือ ปัจจัยผู้ขับขี่ การเลือกใช้ความเร็วและรอบเครื่องยนต์ที่เหมาะสม การใช้เครื่องปรับอากาศ น้ำหนักบรรทุก และการใช้พฤติกรรมการขับขี่ที่เหมาะสม เช่น ลดพฤติกรรมก้าวร้าวในการขับขี่ (Aggressive driving) การใช้ระบบรักษาความเร็วคงที่ (Cruise control) การใช้ระบบปรับอากาศ การดับเครื่องขณะจอด (Idle stop) ซึ่งแสดงในตารางที่ 3 การจำแนกปัจจัยต่าง ๆ ด้านผู้ขับขี่ และผลกระทบต่ออัตราการใช้พลังงาน

ตารางที่ 3 การจำแนกปัจจัยต่าง ๆ ด้านผู้ขับขี่ และผลกระทบต่ออัตราการใช้พลังงาน

ปัจจัย	ผลกระทบ
การใช้ความเร็วคงที่บน Highway	7% [1, 15]
การใช้ระบบปรับอากาศ	2-25% [1, 15]
พฤติกรรมการขับขี่	พฤติกรรมการขับขี่มีผลต่ออัตราการใช้น้ำมัน 20-30% [1, 15] พฤติกรรมการขับขี่มีผลต่ออัตราการใช้น้ำมันอย่างมีนัยสำคัญ โดยการขับขี่แบบนุ่มนวลสามารถช่วยประหยัดน้ำมันได้ถึง 20-30% [18] พฤติกรรมการขับขี่ส่งผลกระทบต่อกาขับขี่บน Highway และ City ประมาณ 33% และ 5% ตามลำดับ [19] และการใช้ระบบรักษาความเร็วคงที่สามารถช่วยลดการใช้น้ำมันได้ 7% [1, 15] การใช้พฤติกรรมการขับขี่ที่ก้าวร้าวจะยิ่งทำให้แนวโน้มสัดส่วนการใช้น้ำมันของรถยนต์ไฮบริด เพิ่มสูงขึ้นเมื่อเทียบกับรถยนต์สันดาปภายใน [22] การใช้พฤติกรรมก้าวร้าวในการขับขี่ ส่งผลกระทบต่อการใช้พลังงาน 20-40% ในการจราจรแบบ City และ 7% ในการจราจรแบบ Highway [2]
น้ำหนักบรรทุก	น้ำหนักบรรทุก ทุก 45 กิโลกรัม จะทำให้การใช้พลังงานเพิ่มขึ้นอย่างต่ำประมาณ 2% [1, 15]

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

การลดการใช้พลังงานของรถยนต์ ควรเริ่มจากการระบุสาเหตุ ที่มาของการสิ้นเปลืองดังกล่าว โดยจากที่ได้ศึกษาข้างต้น รถยนต์ เส้นทาง และผู้ขับขี่ เป็นสามปัจจัยที่มีความเกี่ยวเนื่องกัน โดยปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการใช้พลังงานอย่างชัดเจนในแต่ละด้าน ได้แก่ ด้านรถยนต์ คือ ประเภทต้นกำลัง ด้านเส้นทาง คือ ลักษณะการจราจร ซึ่งถือเป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบสูงสุดต่ออัตราการใช้พลังงาน และ ด้านผู้ขับขี่ คือ พฤติกรรมของผู้ขับ

จากที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น ปัจจัยประเภทต้นกำลัง รถยนต์ไฮบริดเป็นกลุ่มที่มีความน่าสนใจ เนื่องจากสามารถประหยัดน้ำมันได้อย่างมีประสิทธิภาพประมาณ 5-40% เมื่อเปรียบเทียบกับรถยนต์สันดาปภายใน [16, 17] จึงทำให้ในหลายประเทศมีการสนับสนุนให้มีการใช้รถไฮบริดอย่างแพร่หลาย และยังเป็นรถยนต์ที่ออกว่างจำหน่ายในประเทศไทยในปัจจุบัน อย่างไรก็ตามความเข้าใจในระบบการทำงาน และความนิยมของรถยนต์ประเภทนี้ยังอยู่ในเกณฑ์ต่ำ ดังนั้นจึงเป็นประเด็นที่ควรศึกษา สำหรับปัจจัยการจราจร จากจากงานวิจัยของ Tamsanya & Chungpaibulpatana ปี 2009 ได้เก็บข้อมูลการจราจรในกรุงเทพมหานครและเปรียบเทียบลักษณะการจราจรของประเทศต่าง ญี่ปุ่น สหรัฐอเมริกา และ สหพันธ์ยุโรป พบว่าการจราจรในกรุงเทพมหานครมีความติดขัดมากกว่าในประเทศอื่น ๆ และส่งผลโดยตรงต่ออัตราการสิ้นเปลืองพลังงานประมาณ 20-40% [23] จึงทำให้ปัจจัยด้านการจราจรเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่จำเป็นต้องศึกษา สำหรับพฤติกรรมการขับขี่ จากหลายงานวิจัยที่กล่าวในข้างต้น พบว่าพฤติกรรมการขับขี่เป็นอีกปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานถึง 20-40% [1-3, 15] ในขณะเดียวกันปัจจัยนี้เป็นปัจจัยที่สามารถปรับปรุงเรียนรู้ได้ง่ายที่สุด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.3 ขอบเขตของงานและจุดประสงค์

งานวิจัยนี้ต้องการศึกษาสามปัจจัยหลักที่ส่งผลกระทบต่อการใช้พลังงานของรถยนต์ ได้แก่ ประเภทต้นกำลัง ลักษณะการจราจร และพฤติกรรมการขับขี่ เพื่อศึกษาผลกระทบจากปัจจัยทั้งสามต่ออัตราการใช้พลังงานของรถยนต์ภายใต้การใช้งานจริง โดยขอบเขตการวิจัยมีดังนี้ ปัจจัยประเภทต้นกำลังจะทำการเปรียบเทียบการใช้พลังงานระหว่างรถยนต์สันดาปภายใน และรถยนต์ไฮบริด ปัจจัยลักษณะการจราจรจะทำการศึกษาการจราจรภายในบริเวณกรุงเทพมหานคร และปัจจัยพฤติกรรมการขับขี่จะศึกษาความแตกต่างระหว่างการขับขี่แบบปกติถึงนุ่มนวล (Normal-calm) และก้าวร้าว (Aggressive) เพื่อนำความรู้ที่ได้ใช้เป็นแนวทางในการช่วยประหยัดพลังงาน และลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกภายในบริเวณกรุงเทพมหานคร

1.3.1 เป้าประสงค์ของงาน

1. ออกแบบการทดสอบผลกระทบจากพฤติกรรมการขับขี่ และลักษณะการจราจรบริเวณกรุงเทพมหานคร เพื่อเปรียบเทียบอัตราการใช้พลังงานระหว่างรถยนต์สันดาปภายใน และรถยนต์ไฮบริด

2. ทดสอบผลกระทบจากพฤติกรรมการขับขี่ และลักษณะการจราจรบริเวณกรุงเทพมหานครต่ออัตราการใช้พลังงานระหว่างรถยนต์สันดาปภายใน และรถยนต์ไฮบริด

3. เปรียบเทียบและสรุปผลลักษณะการจราจร และพฤติกรรมการขับขี่ที่เหมาะสมและควรหลีกเลี่ยงสำหรับรถยนต์สันดาปภายใน และรถยนต์ไฮบริด รวมถึงข้อดีข้อเสียของรถยนต์แต่ละประเภท

4. ประเมินอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมัน และการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของรถยนต์ไฮบริดเทียบกับรถยนต์สันดาปภายในภายใต้การใช้งานจริงในกรุงเทพมหานคร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 2
การสอบทวนวรรณกรรม

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา พบว่างานวิจัยส่วนมากนิยมศึกษาปัจจัย ประเภทเครื่องต้นกำลัง การจราจร และลักษณะการขับขี่ เนื่องจากเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลกระทบต่ออัตราการใช้พลังงานสูงสุด โดยรายละเอียดของงานวิจัยที่น่าสนใจมีดังต่อไปนี้

งานวิจัยส่วนมากนิยมศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง ลักษณะการจราจรในบริเวณที่สนใจ และอัตราการใช้พลังงานของรถยนต์ที่มีเครื่องต้นกำลังต่างชนิดกัน ในปี 2012 Raykin et al. ได้ทดสอบประสิทธิภาพในการประหยัดน้ำมันของรถยนต์ไฮบริดปลั๊กอิน (PHEV) แบบ Series และ Split รถยนต์ไฮบริด (HEV) และรถยนต์สันดาปภายใน (ICEV) ภายใต้ปัจจัยของระยะทาง สำหรับการจราจร ในงานวิจัยนี้ได้นำข้อมูลการจราจรจริงจาก 2006 Transportation Survey ของเมือง Great Toronto โดยวิธีการเลือกเส้นทางที่นำมาทดสอบ พิจารณาจากการวางตัวของเส้นทาง จำนวนผู้คนใช้งานในช่วงเวลาเร่งด่วน (Peak hour) และลักษณะการจราจรหลากหลายรูปแบบ [16, 17] เส้นทางทดสอบสามารถแบ่งออกเป็น 3 รูปแบบ คือ City (C) แสดงถึงเส้นทางที่มีระยะทางสั้น ใช้ความเร็วต่ำ และติดขัด Suburban (SU) แสดงถึงเส้นทางที่มีระยะทางปานกลาง ใช้ความเร็วปานกลาง และความติดขัดอยู่ระหว่าง City และ Suburban Highway (HWY) แสดงถึงเส้นทางที่มีระยะทางยาว ใช้ความเร็วสูง จากตารางที่ 4 ลักษณะการจราจรเส้นทางที่ทำการทดสอบ พบว่าในงานวิจัยได้ใช้ค่า ความเร็วเฉลี่ย (Average speed) ความเร็วสูงสุด (Maximum speed) เปอร์เซ็นต์การเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร็ว (Coefficient of variation of speed) เปอร์เซ็นต์เวลาเครื่องเดินเบา (Percent idle) จำนวนครั้งที่หยุด (Number of stop) ในการอธิบายลักษณะการจราจรที่ใช้ในการทดสอบ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4 ลักษณะการจราจรเส้นทางที่ทำการทดสอบ [17]

Table 1
Driving cycle statistics for each commute.

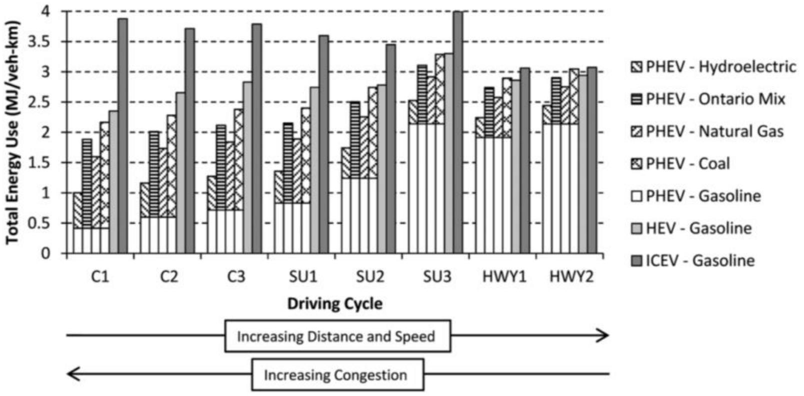
Commute	Distance (km)	Average speed (km/h)	Max speed (km/h)	Coefficient of variation of speed (%) [a]	Percent of cycle idling	Number of stops
C1	20	29	51	58	12.5	29
C2	27	37	62	53	15.1	35
C3	29	40	72	51	11.1	31
SU1	33	46	112	47	9.8	21
SU2	42	59	124	46	6.0	12
SU3	53	73	128	45	6.3	12
HWY1	64	85	132	37	3.2	3
HWY2	68	94	133	31	2.4	2
UDDS[b]	*12*	*32*	*91*	*75*	*18.9*	*17*
HWFET[c]	*17*	*78*	*96*	*21*	*0.7*	*1*
US06[d]	*13*	*77*	*129*	*51*	*7.5*	*5*

Note: Driving cycles for am and pm trips are concatenated to estimate statistics for the entire commute.
[a] The coefficient of variation of speed is the standard deviation of speed normalized by the average speed, and therefore is used as a general measure of the level of congestion for each driving cycle.
[b] Urban dynamometer driving schedule.
[c] Highway fuel economy driving schedule.
[d] Also referred to as the supplemental federal test procedure.

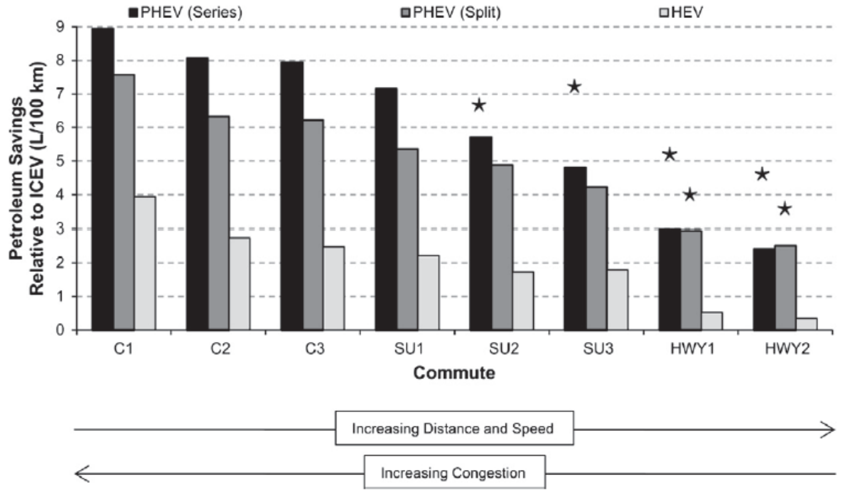
จากนั้น Raykin et al. (2012) ได้นำข้อมูลจากเส้นทางที่คัดเลือก มาจัดทำเป็นวัฏจักรขับขี่ของ 8 เส้นทางหลักที่ใช้เป็นตัวแทนข้อมูลการขับขี่ จากนั้นทำการคำนวณปริมาณพลังงานที่ใช้ทำด้วยโปรแกรม Autonomie จาก Argonne National Laboratory (2011) ผลการทดสอบจากโปรแกรมเป็นดังรูปที่ 4 การใช้พลังงานแบบ Well-to-Wheel ของรถยนต์ไฮบริดปลั๊กอิน (PHEV) แบบ Series และแบบ Split รถยนต์ไฮบริด (HEV) และรถยนต์สันดาปภายใน (ICEV) ภายใต้ปัจจัยของระยะทางและลักษณะการจราจร ซึ่งเป็นการรวมพลังงานจากทุกกระบวนการ ตั้งแต่การขุดเจาะพลังงาน รวมถึงการใช้พลังงานของรถยนต์เพื่อขับเคลื่อน (Well-to-Wheel) จากผลการทดสอบพบว่ารถยนต์ไฮบริดปลั๊กอิน (PHEV) แบบ Series และ Split และรถยนต์ไฮบริด (HEV) มีแนวโน้มการใช้น้ำมันที่คล้ายกัน คือ มีอัตราการใช้พลังงานต่ำ ในการจราจรที่ใช้ความเร็วต่ำและติดขัด ในขณะที่อัตราการใช้พลังงานจะสูงขึ้น เมื่อการจราจรใช้ความเร็วสูงขึ้นและคล่องตัว ซึ่งแตกต่างจากแนวโน้มการใช้พลังงานของรถยนต์สันดาปภายในที่ให้ผลในทางกลับกัน

นอกจากนี้งานวิจัยยังสรุปอีกว่า ประสิทธิภาพในการประหยัดน้ำมันของรถยนต์ไฮบริดปลั๊กอิน (PHEV) แบบ Series และ Split และรถยนต์ไฮบริด (HEV) จะแปรผันตามลักษณะการจราจรและระยะทาง ดังรูปที่ 5 ส่วนต่างอัตราการใช้น้ำมันที่รถยนต์ไฮบริดปลั๊กอิน (PHEV) แบบ Series และแบบ Split และรถยนต์ไฮบริด (HEV) สามารถประหยัดได้เมื่อเทียบกับรถยนต์สันดาปภายใน (ICEV) จะพบว่ารถยนต์ทั้งสามสามารถช่วยลดการใช้พลังงานจากรถยนต์สันดาปภายในได้มากขึ้น เมื่อการจราจรมีความติดขัดมากขึ้นและใช้ความเร็วต่ำลง

อย่างไรก็ตาม ช่วงอัตราความเร็วที่ใช้ในการทดสอบในงานของ Raykin et al. (2012) อยู่ในช่วง 29-94 km/h ในขณะที่กรุงเทพมหานครมีความเร็วเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 5-80 km/h [24] จึงอาจทำให้ไม่สามารถนำผลการทดสอบมาใช้เปรียบเทียบกับการใช้งานจริงในกรุงเทพมหานคร

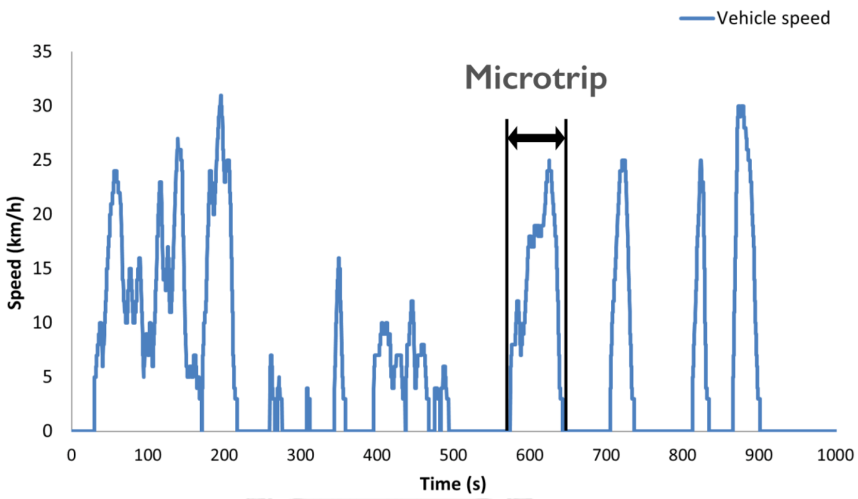


รูปที่ 4 การใช้พลังงานแบบ Well-to-Wheel ของรถยนต์ไฮบริดปลั๊กอิน (PHEV) แบบ Series และแบบ Split รถยนต์ไฮบริด (HEV) และรถยนต์สันดาปภายใน (ICEV) ภายใต้ปัจจัยของระยะทางและลักษณะการจราจร [16]



รูปที่ 5 ส่วนต่างอัตราการใช้น้ำมันที่รถยนต์ไฮบริดปลั๊กอิน (PHEV) แบบ Series และแบบ Split และรถยนต์ไฮบริด (HEV) สามารถประหยัดได้เมื่อเทียบกับรถยนต์สันดาปภายใน (ICEV) [16]

นอกจากนี้งานวิจัยของ Shankar และ Marco ปี 2012 ได้วิจัยในหัวข้อที่คล้ายกับ Raykin et al. 2012 กล่าวคือ ต้องการศึกษาการใช้พลังงานของรถยนต์ไฮบริดปลั๊กอิน และรถยนต์ไฟฟ้าภายใต้การขับขี่จริง โดย Shankar และ Marco ได้พัฒนาวิธีวิเคราะห์ข้อมูลให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นจาก Raykin et al. 2012 ในงานวิจัยได้เก็บข้อมูลจากการใช้งานจริง ทั้งการจราจรและพลังงานที่รถยนต์ใช้ ในการวิเคราะห์ข้อมูล ข้อมูลการจราจรจะถูกนำมาแบ่งเป็นช่วง เรียกว่า Microtrip โดยเกณฑ์ในการแบ่ง คือ ข้อมูลระหว่างช่วงรถออกตัวถึงรถหยุด หรือแบ่งทุก ๆ ความยาว 30 วินาที ดังรูปที่ 6 การตัด Microtrip



รูปที่ 6 การตัด Microtrip [25]

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ผลดีของการทำเช่นนี้จะช่วยเพิ่มปริมาณข้อมูลและยังช่วยให้ตัวแปรทางสถิติสามารถแสดงลักษณะของข้อมูลออกมาได้ชัดเจนยิ่งขึ้น อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาการใช้งานจริงพบว่าข้อมูลช่วงออกตัว เป็นช่วงที่มีการใช้พลังงานสูงอย่างมีนัยสำคัญของแต่ละ Microtrip ดังนั้นการตัดแบ่งข้อมูลทุก ๆ ความยาว 30 วินาที จึงเป็นวิธีที่อาจทำให้ผลการวิเคราะห์คลาดเคลื่อน นอกจากนี้ Microtrip ที่มีความยาวมาก ๆ มักจะปรากฏในการจราจรแบบ Highway การเปลี่ยนแปลงความเร็วจะไม่สูงเท่าการขับขี่แบบ City ที่มีการเคลื่อนตัวในระยะสั้นสลับหยุดนิ่ง ดังนั้นการแบ่ง Microtrip ทุก ๆ ความยาว 30 วินาที อาจไม่ก่อให้เกิดประโยชน์ในการวิเคราะห์

จากนั้น Shankar และ Marco ได้นำ Microtrip มาพิจารณา เพื่อแบ่งแยกประเภทของถนนออกเป็น 12 ประเภทด้วยวิธีการแยกแบบ Neural method ที่มีพื้นฐานมาจากวิธี Linear Vector Quantization โดยใช้ตัวแปรดังตารางที่ 5 ตัวแปรที่ใช้จำแนกลักษณะถนนออกเป็น 12 ประเภท ซึ่ง

แบ่งออกเป็นถนน 4 รูปแบบหลัก ได้แก่ ถนนหลักที่เชื่อมระหว่างเมือง ความเร็วสูงสุดตามกฎหมาย 113 km/h เรียกว่า Motorway หรือ Highway ถนนทางตรงที่มีขนาดปานกลาง แต่ยังสามารถใช้ความเร็วสูงได้ เรียกว่า A road ถนนเส้นสั้น ๆ ที่ใช้เดินทางไปมาภายในชุมชน เรียกว่า B road และถนนภายในเมืองที่มีความเร็วสูงสุดตามกฎหมาย 32-64 km/h เรียกว่า Urban road โดยในแต่ละประเภทจะแยกระดับความติดขัดออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ หยุด-ออกตัว (Stop-start) ติดขัด (Congested) และ คล่องตัว (Free flowing) โดยความเร็วเฉลี่ยมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อการจราจรเป็นแบบ Highway ในขณะที่ความเร่งเฉลี่ยจะสูงขึ้นเมื่อความติดขัดมากขึ้น ดังตารางที่ 6 ลักษณะการจราจรของถนนแต่ละรูปแบบ จากตารางนี้จะพบว่าหลังจากแบ่งถนนออกตามประเภทแล้ว ค่าทางสถิติที่ใช้ในการอธิบายลักษณะการจราจร คือ ความเร็วเฉลี่ย และความเร่งเฉลี่ย ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Zhou et al. ปี 2013 ที่กล่าวว่า การการขับขี่ในการจราจรที่ใช้ความเร็วต่ำและติดขัด จะมีการใช้ความเร่งสูงกว่าการจราจรที่ใช้ความเร็วสูงและเคลื่อนตัวได้ดี

ตารางที่ 5 ตัวแปรที่ใช้จำแนกลักษณะถนนออกเป็น 12 ประเภท [25]

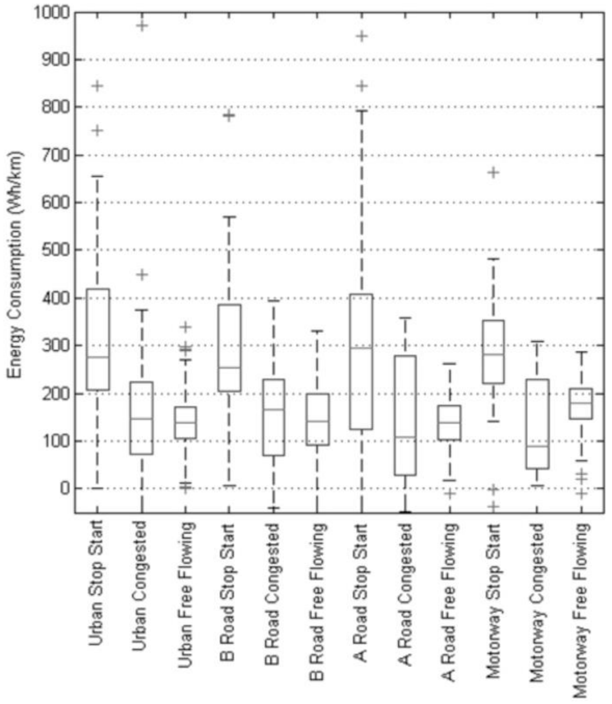
Table 4 List of parameters used to form the input vector to the NN

Parameter	Units
average speed	m/s
standard deviation of speed	m/s
maximum speed	m/s
average acceleration	m/s^2
standard deviation of acceleration	m/s^2
maximum acceleration	m/s^2
average deceleration	m/s^2
standard deviation of deceleration	m/s^2
maximum deceleration	m/s^2
relative positive acceleration	m/s^2
number of stops per km	stops/km
stop duration per km	s/km
% of time in speed interval 0–15 km/h	
% of time in speed interval 15–30 km/h	
% of time in speed interval 30–50 km/h	
% of time in speed interval 50–70 km/h	
% of time in speed interval 70–90 km/h	
% of time in speed interval 90–110 km/h	
% of time in speed >110 km/h	
positive kinetic energy	m/s^2
% of time when (va) <0	
% of time when (va) is 0–3	
% of time when (va) is 3–6	
% of time when (va) is 6–10	
% of time when (va) is 10–15	
% of time when (va) >15	
total duration	s
total distance	m

ตารางที่ 6 ลักษณะการจราจรของถนนแต่ละรูปแบบ [25]

Road category	Traffic congestion	Cluster number	Average speed, m/s	Average acceleration, m/s^2
urban	stop and go	1	3.48	0.91
	congested	2	8.26	0.51
	free flowing	3	12.61	0.16
B road	stop and go	4	3.74	1.06
	congested	5	10.49	0.50
	free flowing	6	15.43	0.17
A road	stop and go	7	3.32	1.09
	congested	8	12.23	0.63
	free flowing	9	21.50	0.11
motorway	stop and go	10	2.97	0.94
	congested	11	9.50	0.62
	free flowing	12	25.12	0.06

ผลการใช้พลังงานในถนนแต่ละรูปแบบเป็นดังรูปที่ 7 อัตราการใช้พลังงานในถนนแต่ละรูปแบบ จะพบว่าความติดขัดสามารถส่งผลกระทบต่อการใช้พลังงานประมาณ 25% ในแต่ละรูปแบบถนน การใช้พลังงานของรถยนต์มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 100-300 Wh/km โดยในถนนแต่ละประเภทจะมีช่วงการใช้พลังงานใกล้เคียงกัน ซึ่งขัดแย้งกับผลจากงานวิจัยของ Raykin et al. 2012 ที่กล่าวว่าการใช้พลังงานของรถไฮบริดปลั๊กอินจะเพิ่มขึ้นเมื่อความติดขัดต่ำลงและความเร็วสูงขึ้น สำหรับรูปแบบการใช้พลังงานใน Urban และ A road จะคล้ายกัน คือ Stop-start จะสิ้นเปลืองพลังงานมากสุด รองลงมาคือ Congested และ Free flowing ตามลำดับ ซึ่งต่างจากการจราจรแบบ B road และ Highway คือ Congested กลับประหยัดกว่า Free flowing การประยุกต์ใช้ค่าพลังงานที่ได้จากงานวิจัยนี้นี้สามารถนำไปคำนวณหาระยะทางที่รถไฟฟ้าสามารถวิ่งได้ (EV range) อย่างไรก็ตามความแปรปรวนของการใช้พลังงานในการจราจรแบบ Stop-start และ Congested ยังอยู่ในช่วงกว้างซึ่งอาจทำให้การคำนวณคลาดเคลื่อน นอกจากนี้งานวิจัยยังขาดผลกระทบจากพฤติกรรมการขับขี่

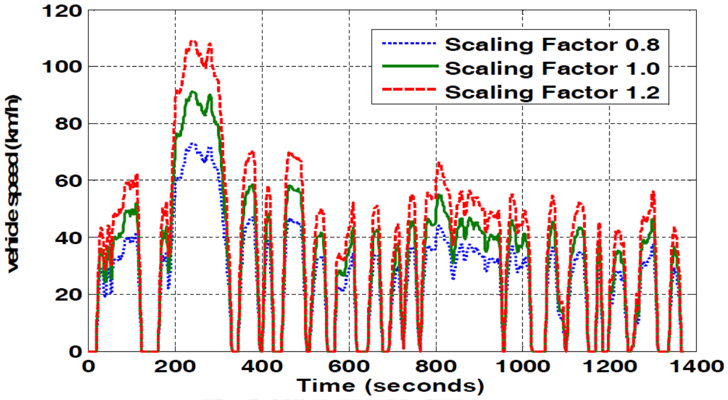


รูปที่ 7 อัตราการใช้พลังงานในถนนแต่ละรูปแบบ [25]

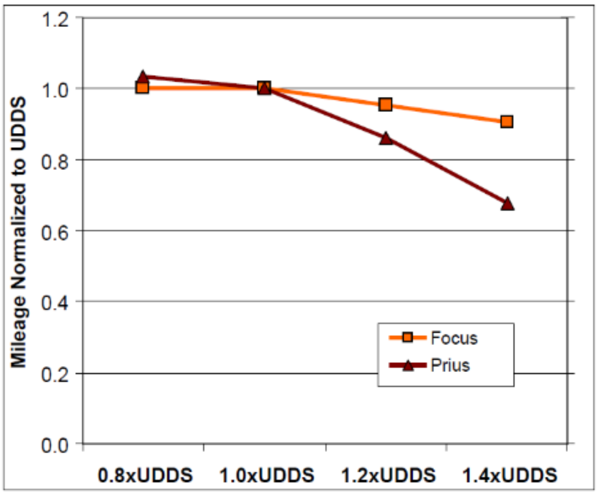
สำหรับตัวอย่างงานวิจัยที่ศึกษาผลกระทบจากพฤติกรรมการขับขี่ Sherer et al. (2007) ได้ศึกษาผลกระทบจากพฤติกรรมขับขี่ที่ก้าวร้าวต่อแนวโน้มอัตราการใช้น้ำมันของรถยนต์ไฮบริด (Toyota Prius 2006) เปรียบเทียบกับ รถยนต์สันดาปภายใน (Ford Focus 2006) ในการศึกษา ได้ใช้วัฏจักรขับขี่ USSD ซึ่งเป็นวัฏจักรขับขี่ที่แสดงถึงการจราจรแบบ Suburban มีความเร็วเฉลี่ยประมาณ 37 km/h จากนั้นเพื่อปรับเปลี่ยนระดับความก้าวร้าวในการขับขี่ Sherer et al. ได้นำค่า Scaling Factor เช่น 0.8 1.0 1.2 และ 1.4 ไปคูณกับวัฏจักรขับขี่ ดังรูปที่ 8 การปรับระดับความก้าวร้าวของวัฏจักรขับขี่ USSD ด้วยวิธีการคูณ Scaling factor

จากนั้นนำวัฏจักรขับขี่ที่ผ่านการปรับระดับความก้าวร้าวไปคำนวณหาปริมาณการใช้พลังงานโดยโปรแกรม PSAT จากผลการทดสอบพบว่า เมื่อใช้พฤติกรรมการขับขี่ก้าวร้าวมากขึ้น สัดส่วนการเพิ่มของอัตราการใช้น้ำมันของรถยนต์ไฮบริดจะสูงกว่ารถยนต์สันดาปภายใน ซึ่งแสดงในรูปที่ 9 อัตราการใช้พลังงานของรถยนต์ไฮบริดและรถยนต์สันดาปภายในที่ความก้าวร้าวระดับต่าง ๆ แกนตั้งแสดงสัดส่วนของอัตราการใช้น้ำมัน (L/100km) ของวัฏจักรขับขี่ USSD ปกติ หารด้วยน้ำมันที่ใช้ที่ระดับความก้าวร้าวนั้น ๆ และแกนนอนแสดงระดับความก้าวร้าว อย่างไรก็ตามผลจากงานวิจัยของ Graver et al., 2011 และ Frey et al., 2008 ต่างระบุว่าการใช้วัฏจักรขับขี่ ซึ่งเป็นรูปแบบการขับขี่

ที่ตายตัวและมักใช้เป็นตัวแทนการจราจรในภาพรวมนั้น ไม่สามารถสะท้อนลักษณะการจราจรจริง และเหตุการณ์ต่าง ๆ ได้อย่างครบถ้วน และสมจริง ดังนั้นการทดสอบอัตราการใช้น้ำมันควรกระทำภายใต้การจราจรจริง ซึ่งเป็นการทดสอบที่สามารถให้ค่าที่ใกล้เคียงความจริงมากที่สุด



รูปที่ 8 การปรับระดับความก้าวร้าวของวัฏจักรขับขี่ USSD ด้วยวิธีการคูณ Scaling factor [22]



รูปที่ 9 อัตราการใช้พลังงานของรถยนต์ไฮบริดและรถยนต์สันดาปภายในที่ความก้าวร้าวระดับต่าง ๆ [22]

ในปี 2013 Neubauer & Wood ได้พัฒนาการทดสอบขึ้นไปอีกระดับ โดยการรวมตัวแปรประเภทของเครื่องต้นกำลัง ลักษณะการจราจร และลักษณะการขับขี่ ในการวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดขึ้นกับการใช้พลังงานของรถยนต์ ในการทดสอบได้เปรียบเทียบรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายใน

(CV) รถยนต์ไฮบริด (HEV) รถยนต์ปลั๊กอินไฮบริด (PHEV) โหมดใช้พลังงานน้ำมัน (Charge sustaining) รถยนต์ปลั๊กอินไฮบริดโหมดใช้พลังงานไฟฟ้า (Charge depleting) รถยนต์ไฟฟ้า (BEV) ในงานวิจัยนี้ ข้อมูลการขับขี่นำมาจากผลสำรวจของ Secure Transportation Data Project 2012 การใช้งานจริงของรถยนต์ 2,154 รุ่น โดยใช้อุปกรณ์ GPS ที่มีความแม่นยำสูง เป็นเวลา 1-2 วัน ใน เมืองใหญ่จากสี่รัฐ ได้แก่ Los Angles Austin San Antonio และ Houston และนำข้อมูล ความเร็ว และเวลาที่ได้ มาคำนวณอัตราการใช้พลังงานของรถยนต์สันดาปภายใน และรถยนต์ไฮบริด ด้วยโปรแกรมด้านยานยนต์ ADVISOR ที่ใช้งานร่วมกับ MATLAB/Simulink environment โดยผล การทดสอบที่ได้เป็นดังรูปที่ 10 การเปรียบเทียบช่วงอัตราการใช้พลังงานของรถยนต์สันดาปภายใน (CV) และรถยนต์ไฮบริด (HEV) จะพบว่ารถยนต์สันดาปภายใน มีการใช้พลังงานอยู่ในช่วง 6–14.3 L/100km ในขณะที่รถยนต์ไฮบริดมีการใช้พลังงานอยู่ในช่วง 3.8-9.1 L/100km ซึ่งช่วงการใช้ พลังงานของรถยนต์ไฮบริดแคบ และต่ำกว่ารถยนต์สันดาปภายใน และที่สำคัญ คือ การขับขี่ภายใต้ การจราจรแบบ LA92 ซึ่งมีรูปแบบการขับขี่แบบ City ที่มีการใช้ความเร็วต่ำ ความเร่งสูงสลับหยุดนิ่ง โดยความเร็วเฉลี่ยอยู่ที่ 39.6 km/h พบว่ารถยนต์ไฮบริดสามารถลดการใช้น้ำมันได้เกือบ 70% เมื่อ เทียบกับรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายใน แสดงให้เห็นว่าการเลือกใช้เทคโนโลยีเครื่องต้นกำลังที่ เหมาะสมสามารถช่วยประหยัดพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

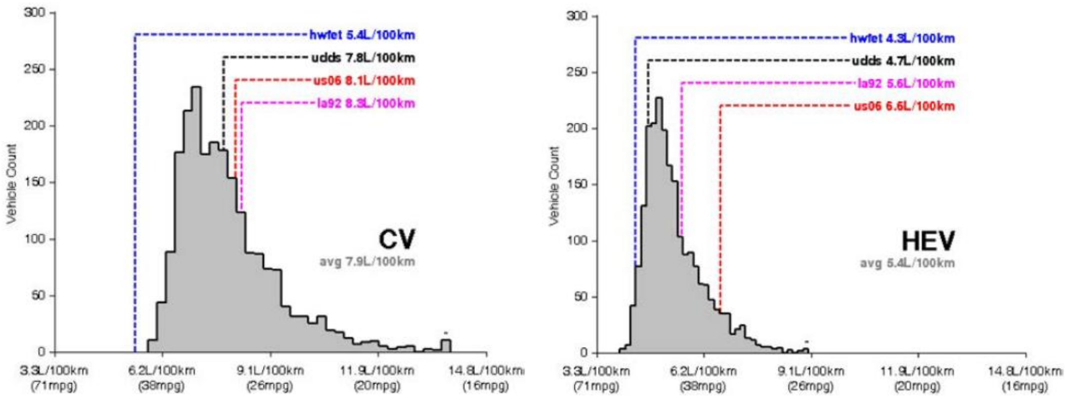


Figure 5. Comparison of vehicle record and standard cycle CV efficiency

(ก)

Figure 6. Comparison of vehicle record and standard cycle HEV efficiency

(ข)

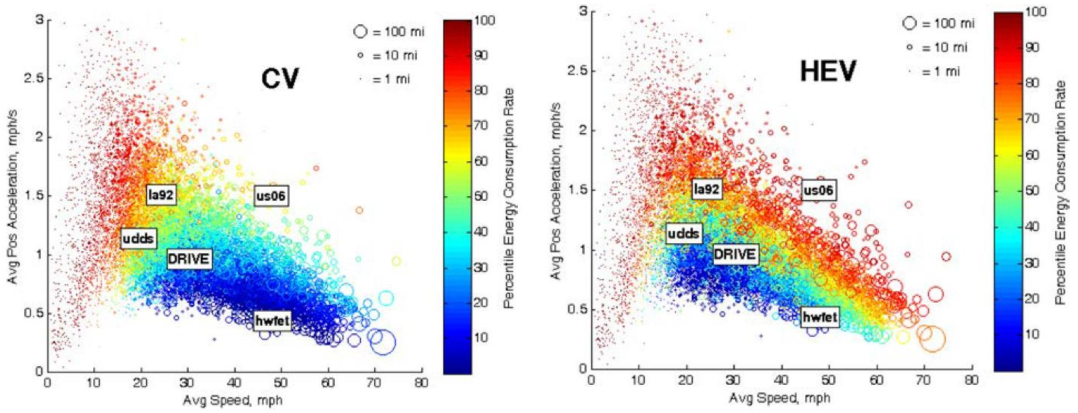
รูปที่ 10 การเปรียบเทียบช่วงอัตราการใช้พลังงานของรถยนต์สันดาปภายใน (CV) และรถยนต์ไฮบริด (HEV) [18]

เพื่อให้เข้าใจลักษณะการใช้พลังงานของรถยนต์มากขึ้น Neubauer & Wood ได้นำเอาปัจจัยลักษณะการจราจร โดยระบุความติดขัดด้วยความเร็วเฉลี่ยของแต่ละเส้นทาง และสำหรับพฤติกรรมการขับขี่ระบุความก้าวร้าวด้วยความเร่งเฉลี่ย ดังรูปที่ 11 การเปรียบเทียบการใช้พลังงานของรถยนต์สันดาปภายใน (CV) และรถยนต์ไฮบริด (HEV) ภายใต้ผลกระทบจากลักษณะการจราจรและพฤติกรรมการขับขี่ [18] แถบสีด้านข้างแสดงถึงเปอร์เซ็นต์การใช้พลังงานซึ่งเปรียบเทียบกับการใช้พลังงานเฉลี่ยของรถประเภทนั้น ๆ จากกราฟ (ก) พบว่าที่ความเร็วเฉลี่ยสูงขึ้นอัตราการใช้น้ำมันจะยิ่งต่ำลง สำหรับการใช้พฤติกรรมการขับขี่ที่ก้าวร้าวจะมีผลทำให้อัตราการสิ้นเปลืองยิ่งสูงขึ้นโดยเฉพาะช่วงความเร็วต่ำ สำหรับรถยนต์ไฮบริด จากกราฟ (ข) พบว่าลักษณะการขับขี่ที่ความเร็วต่ำหรือการใช้ความเร่งสูงขณะขับขี่ที่ความเร็วสูง มีผลทำให้อัตราการใช้น้ำมันเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญซึ่งแตกต่างจากรถยนต์สันดาปภายใน กล่าวคือ การใช้ความเร่งที่ความเร็วสูงส่งผลกระทบต่อสัดส่วนการเพิ่ม ของอัตราการใช้น้ำมันเพียงเล็กน้อย

เมื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบนี้กับการทดสอบของ Sherer et al. (2007) พบว่ามีความสอดคล้องกัน กล่าวคือ เมื่อพิจารณากลุ่มข้อมูลของรถยนต์ไฮบริดในแนวตั้ง จะมีชั้นสีที่ชิดกันมากกว่ารถยนต์สันดาปภายในซึ่งหมายความว่ารถยนต์ไฮบริดมีความอ่อนไหวต่อพฤติกรรมการขับขี่แบบก้าวร้าว สำหรับประเด็นลักษณะการจราจร ผลการทดลองของรถยนต์สันดาปภายในมีความสอดคล้องกับงานของ Raykin et al. 2012 คือ รถยนต์สันดาปภายในจะสามารถประหยัดพลังงานได้มากกว่าในการจราจรที่ไม่ติดขัด ใช้ความเร็วสูง สำหรับผลของรถยนต์ไฮบริดยังไม่สามารถสรุปได้เนื่องจากปัจจัยของพฤติกรรมการขับขี่มีผลค่อนข้างมากซึ่ง Raykin et al. 2012 ไม่ได้กล่าวไว้ในงานวิจัย แต่ในเชิงการใช้พลังงานโดยรวมให้ผลไปในทิศทางเดียวกัน คือ รถยนต์ไฮบริดประหยัดน้ำมันมากกว่ารถยนต์สันดาปภายใน

สำหรับจุดอ่อนของงานวิจัยนี้ คือ เมื่อพิจารณาถึงหลักการทำงานของรถยนต์ไฮบริด พบว่าการทำงานจะมีการผสมผสานระหว่าง มอเตอร์ไฟฟ้า และ เครื่องยนต์ ดังนั้นอัตราการใช้น้ำมันของรถยนต์ไฮบริดควรมีความผันผวน หรือ กระจายตัวมากกว่ารถยนต์สันดาปภายใน โดยเฉพาะในเส้นทางระยะสั้น และใช้ความเร็วต่ำ ซึ่งโดยปกติสัดส่วนการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าจะสูงกว่าเครื่องยนต์อย่างชัดเจน แต่จากรูปที่ 11 การเปรียบเทียบการใช้พลังงานของรถยนต์สันดาปภายใน (CV) และรถยนต์ไฮบริด (HEV) ภายใต้ผลกระทบจากลักษณะการจราจร และพฤติกรรมการขับขี่ [18](ข) แนวโน้มการใช้พลังงานของรถยนต์ไฮบริด มีผันผวนใกล้เคียงกับรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายใน (ก) ซึ่งแสดงถึงความไม่สมจริงของการใช้โปรแกรมคำนวณน้ำมันที่ใช้ ของ Neubauer & Wood มากกว่านั้นการนำข้อมูลการจราจรจากการสำรวจจาก GPS ของรถยนต์ต่าง ๆ โดยไม่มีการ

แบ่งแยกประเภทรถยนต์ ทำให้ผลการทดสอบขาดความสมจริงด้านสมรรถนะของรถยนต์ เช่น ลักษณะความเร่งที่รถยนต์แต่ละประเภทสามารถทำได้



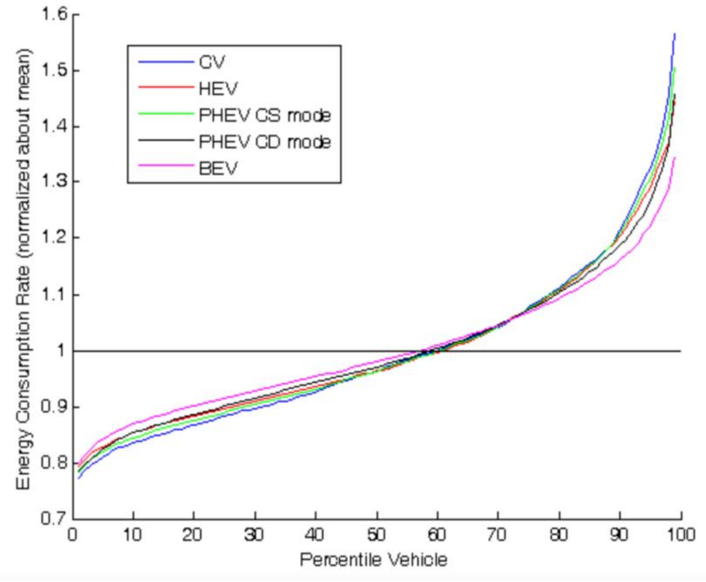
(ก) (ข)

รูปที่ 11 การเปรียบเทียบการใช้พลังงานของรถยนต์สันดาปภายใน (CV) และรถยนต์ไฮบริด (HEV) ภายใต้ผลกระทบจากลักษณะการจราจร และพฤติกรรมการขับขี่ [18]

นอกจากนี้ จากรูปที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างการใช้พลังงานของรถยนต์แต่ละชนิดเทียบกับเปอร์เซ็นต์จำนวนรถยนต์ แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการใช้พลังงานของรถยนต์ต่อพฤติกรรมการขับขี่ โดยอัตราการใช้พลังงานระบุด้วยค่า Normalize โดยการหารอัตราการใช้พลังงานด้วยอัตราการใช้พลังงานเฉลี่ยของรถยนต์คันนั้น ๆ และสำหรับพฤติกรรมการขับขี่ระบุด้วยค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ กล่าวคือ ข้อมูลการขับขี่ที่อยู่สูงกว่า 75 เปอร์เซ็นต์ไทล์ขึ้นไป ถือเป็น การขับขี่แบบก้าวร้าว (Aggressive) และข้อมูลการขับขี่ที่อยู่ต่ำกว่า 25 เปอร์เซ็นต์ไทล์ ถือเป็น การขับขี่แบบนุ่มนวล (Calm) โดยข้อมูลระหว่างเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 25-75 นั้น ถือเป็น การขับขี่แบบปกติ นอกจากนี้ Neubauer & Wood (2013) ยังได้สรุปว่าพฤติกรรมการขับขี่มีผลต่ออัตราการใช้น้ำมัน กล่าวคือ ยิ่งใช้พฤติกรรมก้าวร้าวในการขับขี่มากขึ้น อัตราการใช้น้ำมันยิ่งเพิ่มสูงขึ้นตาม โดยแนวโน้มการใช้พลังงานต่อพฤติกรรมก้าวร้าวของรถยนต์แต่ละประเภท มีลักษณะที่คล้ายคลึงกัน ดังนั้น Neubauer & Wood (2013) จึงสรุปว่าประเภทของต้นกำลังไม่มีผลต่อแนวโน้มการใช้พลังงาน ซึ่งขัดแย้งกับผลสรุปจากงานวิจัยของ Sherer et al. (2007)

เมื่อวิเคราะห์กราฟดังกล่าว ถึงแม้เส้นกราฟจะมีแนวโน้มที่คล้ายกัน และทับกันเป็นส่วนใหญ่ แต่ประเด็นที่น่าสนใจ คือ ข้อมูลจากกราฟแสดงปริมาณอัตราการใช้พลังงานที่ Normalize ด้วยค่า

การใช้พลังงานเฉลี่ยของรถยนต์คันนั้น ๆ ซึ่งหมายความว่าหากรถยนต์คันดังกล่าวมีค่าการใช้พลังงานเฉลี่ยสูง ความแตกต่างของพลังงานที่ใช้ก็จะยิ่งสูงขึ้นตามอย่างมีนัยสำคัญ และจากกราฟจะพบว่ากราฟสีน้ำเงินที่แสดงถึงรถยนต์สันดาปภายในมีความแตกต่างจากเส้นกราฟสีแดงที่แสดงถึงรถยนต์ไฮบริด กล่าวคือ ที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 0-25 ซึ่งเป็นการขับขี่แบบนุ่มนวล พบว่ารถยนต์สันดาปภายในสามารถขับขี่ให้ประหยัดได้ง่ายกว่ารถยนต์ไฮบริด เนื่องจากเส้นกราฟรถยนต์สันดาปภายในอยู่ต่ำกว่าเส้นกราฟรถยนต์ไฮบริด ในทางกลับกันที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 75-100 ซึ่งเป็นการขับขี่แบบก้าวร้าว รถยนต์สันดาปภายในกลับมีการใช้พลังงานมากขึ้น ซึ่งคิดเป็นสัดส่วนที่สูง หรือ อาจกล่าวได้ว่าสัดส่วนการเพิ่มของอัตราการใช้น้ำมันของรถยนต์สันดาปภายใน จะสูงกว่ารถยนต์ไฮบริดซึ่งขัดแย้งกับงานวิจัยของ Sherer et al. (2007) เช่นกัน



รูปที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างการใช้พลังงานของรถยนต์แต่ละชนิดเทียบกับเปอร์เซ็นต์จำนวนรถยนต์ [18]

จากความไม่สอดคล้องระหว่างงานวิจัยของ Neubauer & Wood (2013) Sherer et al. (2007) และ Raykin et al. (2012) รวมถึงความไม่สมจริงของผลการคำนวณจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ จึงนำมาสู่ข้อสงสัยที่ว่า การคำนวณปริมาณพลังงานที่ใช้ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์มีความแม่นยำและน่าเชื่อถือเพียงใด เพราะถึงแม้ในงานวิจัยของ Neubauer & Wood (2013) ได้ทำการสอบเทียบค่าที่คำนวณได้จากโปรแกรม ADVISOR กับการวิ่งทดสอบวัฏจักรขับขี่มาตรฐานในห้องทดสอบ ซึ่งมีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำกว่า 5% แต่เนื่องจากการจราจรจริงมีความแปรปรวนมากกว่า

และหลากหลายมากกว่าวัฏจักรขับขี่มาก ซึ่งอาจทำให้ความคลาดเคลื่อนสูงกว่า 5% ดังนั้นการทดสอบในการจราจรจริง และการวัดค่าพลังงานที่ใช้จริง จึงเป็นวิธีที่น่าเชื่อถือ และสามารถให้ความมั่นใจได้เต็มที่

นอกจากนี้ การทำงานของรถยนต์ไฮบริดมีความซับซ้อนสูง เนื่องจากการทำงานของระบบเครื่องต้นกำลังเป็นการผสมระหว่างเครื่องยนต์และมอเตอร์ ดังนั้นอัตราการใช้พลังงานของรถยนต์ไฮบริดควรมีการกระจายตัวสูงกว่าผลการทดสอบจาก Neubauer & Wood (2013) มากกว่านั้นการใช้โปรแกรมคำนวณของ Neubauer & Wood (2013) Sherer et al. (2007) และ Raykin et al. (2012) ยังทำให้ข้อมูลขาดความสมจริงด้าน สมรรถนะของรถยนต์ กล่าวคือ ความสามารถในการเร่งและความเร็วสูงสุดของรถยนต์ทั้งสองคันที่ทำได้ อาจไม่เท่ากัน ซึ่งข้อมูลนี้สามารถนำไปใช้ศึกษาผลกระทบของประเภทรถยนต์ต่อลักษณะการเคลื่อนตัวของการจราจรในภาพรวมได้ต่อไป เช่น การใช้รถยนต์ไฮบริด และไฟฟ้า จะส่งผลกระทบต่อลักษณะการจราจรอย่างไร

อีกช่องว่างของงานวิจัยนี้ คือ การแสดงผลการทดสอบเป็นการคิดเปรียบเทียบอัตราการใช้พลังงานของรถยนต์ กับการใช้พลังงานเฉลี่ยของรถยนต์แต่ละคัน ทำให้ไม่สามารถเปรียบเทียบผลการทดสอบระหว่างรถยนต์ไฮบริด และรถยนต์สันดาปภายในได้ นอกจากนี้วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลของ Neubauer & Wood (2013) ยังสามารถพัฒนาโดยนำเอาเทคนิคการแบ่ง Microtrip มาช่วยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของตัวแปรทางสถิติให้สื่อถึงเหตุการณ์ระหว่างการขับขี่ได้ชัดเจนยิ่งขึ้น [25]

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 3.
วิธีการทดสอบ

จากการทบทวนงานวิจัยที่ผ่านมา จะพบว่าการทดสอบอัตราการใช้พลังงานขอรถยนต์ประเภทต่าง ๆ ควรคำนึงถึงปัจจัย ประเภทของเครื่องยนต์ต้นกำลัง การจราจร และพฤติกรรมการขับขี่ ดังนั้นในบทนี้จึงได้นำแนวทางในการทดสอบจากงานวิจัยที่ผ่านมา มาประยุกต์ใช้ เพื่อออกแบบการทดสอบเปรียบเทียบลักษณะการใช้พลังงานงานของรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายใน และรถยนต์ไฮบริด ให้สามารถควบคุมตัวแปรต่าง ๆ ในการทดสอบได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

3.1 การคัดเลือกปัจจัยที่ใช้ในการทดสอบ

3.1.1 รถยนต์ทดสอบ

ปัจจุบันแนวโน้มจำนวนผู้ใช้งานและการผลิตรถยนต์ไฮบริด ไฮบริดปลั๊กอิน และรถยนต์ไฟฟ้าทั่วโลกเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง สำหรับประเทศไทย บริษัทผู้ผลิตรถยนต์ไฮบริดปลั๊กอิน และรถยนต์ไฟฟ้า ยังคงชะลอการจำหน่ายรถยนต์ประเภทดังกล่าว เนื่องจากความไม่พร้อมด้านระบบสาธารณูปโภคในประเทศไทย ทำให้รถยนต์ไฮบริดธรรมดากลายเป็นทางเลือกเดียวที่สามารถเข้าถึงได้ในปัจจุบัน อย่างไรก็ตามในประเทศไทยรถยนต์ไฮบริดยังไม่เป็นที่นิยมเท่าที่ควร เนื่องด้วยราคารถยนต์ที่สูงกว่ารถยนต์สันดาปภายในทั่วไปประมาณ 10% ของราคารถยนต์ [26] และการให้ความรู้ความเข้าใจถึงประโยชน์ และหลักการทำงานของรถยนต์ไฮบริดยังไม่แพร่หลาย จึงทำให้ผู้บริโภคส่วนใหญ่ยังไม่กล้าเปลี่ยนมาใช้รถยนต์ไฮบริด ประกอบกับข้อมูลอัตราการใช้น้ำมันที่ระบุไว้ตามโฆษณา (Window sticker) ยังเป็นเพียงค่าที่ได้จากการทดสอบจากวัฏจักรขับขี่ที่ไม่สื่อถึงการจราจรในกรุงเทพ หรือประเทศไทย ซึ่งอาจทำให้ค่าอัตราการใช้น้ำมันจริงได้พบแตกต่างจากค่าที่ทางบริษัทรถยนต์ได้ระบุไว้ [22] ดังนั้นเพื่อเป็นการเริ่มต้นศึกษาถึงผลดีผลเสีย และแนะนำวิธีการใช้งานที่เหมาะสมสำหรับรถยนต์ไฮบริด และรถยนต์สันดาปภายใน เพื่อเตรียมความพร้อมสำหรับการพัฒนาของวงการรถยนต์ในอนาคต ที่เริ่มมีการนำระบบขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้าเข้ามาใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องยนต์

ดังนั้นในงานวิจัยนี้ต้องการทดสอบ และเปรียบเทียบอัตราการใช้พลังงานของเครื่องยนต์สันดาปภายใน และรถยนต์ไฮบริด โดยรถยนต์สันดาปภายในจะใช้รถยนต์โตโยต้า โคโรลล่าอัลติส รุ่น ZZE141 และรถยนต์ไฮบริดจะใช้รถยนต์โตโยต้า พรีอุส เจนเนอเรชั่น 3 รุ่น ZVW30 เนื่องจากเป็น

รถยนต์ที่อยู่ใน Segment เดียวกันที่ได้รับความนิยมและมีผู้ใช้งานสูงสุด โดยรายละเอียดของรถยนต์เป็นดังตารางที่ 7 รายละเอียดรถยนต์ทดสอบ

ตารางที่ 7 รายละเอียดรถยนต์ทดสอบ [27]

รายการ	รถยนต์สันดาปภายใน	รถยนต์ไฮบริด
รถยนต์	Toyota Altis 2015 รุ่น ZZE141	Toyota Prius 2013 รุ่น 3ZVW30
รูปลักษณ์		
กำลังสูงสุด	105 kW	100 kW
ระบบส่งกำลัง	Super CVT-i 7 speeds	PSD (Power Split Device)
เครื่องยนต์	2ZR-FBE ความจุ 1,798 cc	2ZR-FXE ความจุ 1,798 cc
อัตราส่วนกำลังอัด	10:1	13:1
กำลังเครื่องยนต์สูงสุด	104 kW ที่ 6,000 rpm	73 kW ที่ 5,200 rpm
แรงบิดเครื่องยนต์สูงสุด	177 N.m ที่ 4,000 rpm	142 N.m ที่ 4,000 rpm
มอเตอร์ไฟฟ้า	-	60 kW
แรงบิดมอเตอร์สูงสุด	-	207 N.m
แบตเตอรี่	-	Ni-MH 1.31 kWh (206.1V 6.5Ah)
ความจุถังน้ำมัน	55 ลิตร	45 ลิตร
น้ำหนัก	1,275 kg	1,395 kg

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3.1.2 เส้นทางที่ใช้ทดสอบ

จากงานวิจัยที่ผ่านมา การเลือกเส้นทางทดสอบมักเลือกเส้นหลักที่มีผู้คนสัญจรไปมาเป็นจำนวนมาก สามารถแสดงถึงลักษณะการใช้งานของถนนที่หลากหลาย และมีทำเลที่ตั้งเหมาะสม เช่น ผ่านย่านชุมชน เขตธุรกิจ เส้นทางเชื่อมต่อระหว่างเมืองที่สำคัญ เป็นต้น จากนั้นจึงพิจารณาลักษณะการจราจรในเส้นทางนั้น ๆ เช่น จำนวนช่องถนน จำนวนแยก และสัญญาณไฟจราจร หรือ ในบางงานวิจัยมีการใช้ตัวแปรทางสถิติในการแบ่งลักษณะ เช่น ความเร็วเฉลี่ย เปอร์เซ็นต์เวลาเครื่องเดินเบา จำนวนครั้งที่หยุดต่อกิโลเมตร เพื่อจัดกลุ่มข้อมูลการจราจรที่หลากหลายตามความติดขัด และความเร็วที่ใช้ โดยมักแบ่งการจราจรเป็นสามแบบ ได้แก่ City Suburban และ Highway [3, 16, 17, 20, 23, 28]

ดังนั้นการคัดเลือกเส้นทางเพื่อนำมาใช้เป็นตัวแทนข้อมูลในการศึกษาการจราจรในงานวิจัยนี้จะเริ่มจากวิเคราะห์จุดประสงค์หลักในการเดินทางของคนที่ใช้งานถนนบริเวณกรุงเทพมหานคร เพื่อเลือกเส้นทางที่ผู้คนใช้งานในชีวิตประจำวันจริง โดยอ้างอิงจากจากข้อมูลสถิติปี 2553 และ 2554 จากสำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร ซึ่งได้มีการสำรวจวัตถุประสงค์ในการเดินทางในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑลของกลุ่มตัวอย่างจำนวน 16.9 ล้านคน พบว่าวัตถุประสงค์หลักในการเดินทางในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล คือ การเดินทางจากบ้านไปที่ทำงาน ซึ่งคิดเป็น 40% รองลงมาเป็นการเดินทางจากบ้านไปสถานศึกษาร้อยละ 22% เพราะฉะนั้นถนนที่เลือกทำการทดสอบควรเชื่อมต่อระหว่างบริเวณที่อยู่อาศัย ที่ทำงาน และสถานศึกษา

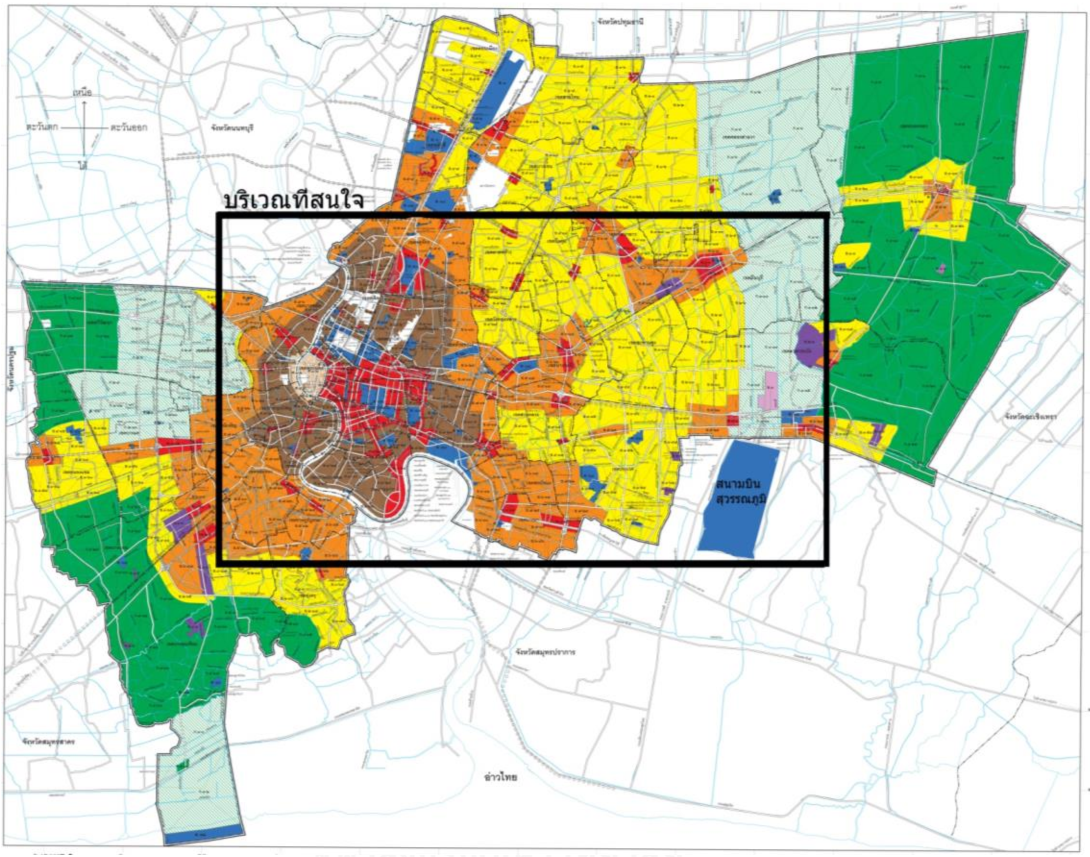
ดังนั้นจึงนำข้อมูลจากผังเมืองรวมของกรุงเทพมหานครปี 2012 ที่ได้จำแนกบริเวณต่าง ๆ ตามการใช้ประโยชน์ที่ดินมาช่วยในการคัดเลือกถนน โดยผังเมืองนี้แบ่งการใช้งานออกเป็น 10 ประเภท แยกตามสีต่าง ๆ ดังรูปที่ 13 ผังเมืองกรุงเทพมหานครจำแนกที่ดินตามประโยชน์การใช้งาน เขตที่อยู่อาศัยแสดงด้วย 3 สี ได้แก่ เขตสีเหลือง เขตสีส้ม และ น้ำตาล โดยไล่จากที่อยู่อาศัยหนาแน่นน้อยไปถึงมากตามลำดับ โดยทั้ง 3 เขตนี้จะอยู่ล้อมรอบเขตสีแดงและสีน้ำเงินที่แสดงถึง ย่านเศรษฐกิจการค้า สำนักงานต่าง ๆ สถานศึกษา รวมถึงสถานที่ราชการ และสาธารณูปการ

เพราะฉะนั้น ในงานวิจัยนี้จึงเลือกทำการทดสอบเฉพาะภายในบริเวณกรอบสีดำดังรูปที่ 13 ผังเมืองกรุงเทพมหานครจำแนกที่ดินตามประโยชน์การใช้งาน ได้แก่

1. เส้นทางภายในบริเวณใจกลางเมือง ได้แก่ เขตพาณิชยกรรม เขตสถานศึกษา และเขตสถานที่ราชการ ซึ่งเป็นตัวแทนของเส้นทางแบบในเมือง (City)

2. เส้นทางที่เชื่อมระหว่างบริเวณเขตพาณิชยกรรมมาสู่ย่านที่อยู่อาศัยหนาแน่นมาก ซึ่งเป็นตัวแทนของเส้นทางแบบชานเมือง (Suburban)

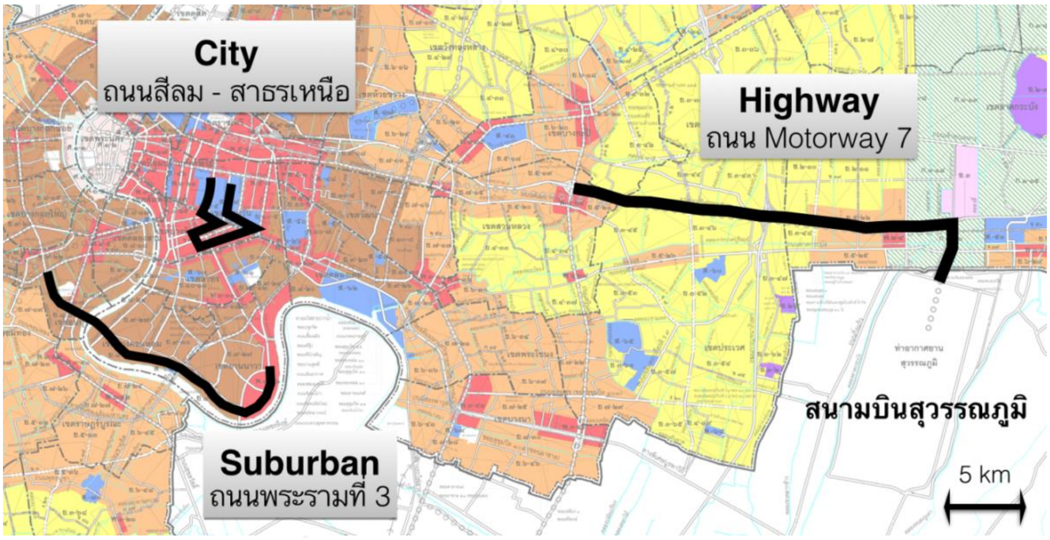
3. เส้นทางจากย่านที่อยู่อาศัยหนาแน่นมากมาสู่ย่านที่อยู่อาศัยหนาแน่นปานกลาง และหนาแน่นน้อย ซึ่งเป็นตัวแทนของเส้นทางแบบถนนทางหลวง ที่ใช้ความเร็วสูง (Highway)



รูปที่ 13 ผังเมืองกรุงเทพมหานครจำแนกที่ดินตามประโยชน์การใช้งาน [29]

เส้นทาง City Suburban และ Highway จะถูกนำมาพิจารณาด้วยข้อมูลปริมาณรถยนต์ในแยก ความเร็วเฉลี่ย ณ ช่วงเร่งด่วน ซึ่งอ้างอิงจากสำนักงานจราจรและขนส่ง 2548 ทำให้สามารถเลือกเส้นทางที่นำมาทดสอบได้ดังนี้ เส้นทางบริเวณใจกลางเมือง (City) คือ ถนนสีลมและสาธร เนื่องจากเป็นเส้นทางที่มีการจราจรติดขัด ใช้ความเร็วต่ำ และอยู่ในบริเวณย่านธุรกิจ และสถานศึกษา เส้นทางที่เชื่อมระหว่างเขตพาณิชยกรรมสู่ย่านที่อยู่อาศัยหนาแน่นมาก (Suburban) คือ ถนนพระรามที่สาม เนื่องจากเป็นเส้นทางที่มีความเร็วเฉลี่ยอยู่ระหว่าง City และ Highway แต่จำนวนรถใช้งานมากเป็นอันดับสองรองจากวิภาวดีรังสิต สาเหตุที่เลือกถนนพระรามที่สาม เนื่องจากวิภาวดีรังสิตเป็นเส้นทางที่มีทางด่วนบดบังสัญญาณ GPS ซึ่งเป็นอุปสรรค์ต่อการสอบเทียบอุปกรณ์ ซึ่งได้อธิบายเพิ่มเติมในหัวข้ออุปกรณ์ทดสอบ นอกจากนี้วิภาวดีรังสิตยังเป็นเส้นทางที่มีสะพานเป็นจำนวน

มาก ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อการวิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงานของรถยนต์ สำหรับเส้นทางสุดท้ายเป็นเส้นทางที่อยู่บริเวณชานเมืองที่ใช้ความเร็วสูง การจราจรเคลื่อนตัวได้ดี (Highway) เส้นทางที่เลือกคือ ถนนทางหลวงพิเศษหมายเลข 7 (Motorway7) ดังรูปที่ 14 เส้นทางทดสอบ และทำเลที่ตั้ง โดยถนนแต่ละเส้นทางมีความยาว 5 km 20 km และ 40 km ตามลำดับ ทั้งนี้ในการทดสอบจะทำช่วงชั่วโมงเร่งด่วน ระหว่าง 16.00-19.00 น. และเนื่องจากในความเป็นจริง สภาพการจราจรนั้น มีความผันผวนอยู่ตลอดเวลา และยากที่จะควบคุม ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้นิยามลักษณะการจราจรในเบื้องต้นเป็นดังตารางที่ 8 หลักเกณฑ์ลักษณะแบ่งลักษณะการจราจร หากค่าที่ได้จากการทดสอบอยู่นอกช่วงดังกล่าว จะถือว่าการจราจรมีความผิดปกติ ต้องทำการทดสอบใหม่อีกครั้ง



รูปที่ 14 เส้นทางทดสอบ และทำเลที่ตั้ง

ตารางที่ 8 หลักเกณฑ์ลักษณะแบ่งลักษณะการจราจร [23]

เส้นทาง	ความเร็วเฉลี่ย (km/h)	Stop/km	% Idle
City	ต่ำกว่า 30	มากกว่า 5	30-50
Suburban	30-60	ต่ำกว่า 0.5	10-28
Highway	สูงกว่า 60	ต่ำกว่า 0.2	ต่ำกว่า 10

สำหรับการระบุลักษณะกาจราจรเพื่อนำไปหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการใช้พลังงานรถยนต์ จากงานวิจัยของ Carlson et al. (2010) พบว่าความเร็วเฉลี่ยส่งผลกระทบต่ออัตราการการใช้พลังงานของรถยนต์อย่างมีนัยสำคัญ และ Zhou et al. (2013) ยังกล่าวอีกว่าความเร็วเฉลี่ยมีความสัมพันธ์ (Correlation) ที่ชัดเจน กับอัตราการใช้พลังงานของรถยนต์ และยังเห็นได้จากงานวิจัยส่วนใหญ่ ที่มักใช้ความเร็วเฉลี่ยเป็นค่าทางสถิติที่อธิบายลักษณะการจราจร ควบคู่กับจำนวนครั้งที่หยุดต่อกิโลเมตรและเปอร์เซ็นต์เวลาช่วงรอบเดินเบา (%idle) [3, 16-18, 25]

เพราะฉะนั้นในงานวิจัยนี้ จึงเลือกใช้ความเร็วเฉลี่ยในการอธิบายลักษณะการจราจร และเชื่อมโยงกับอัตราการใช้พลังงานของรถยนต์ เนื่องจากงานวิจัยนี้จะนำเทคนิคการตัด Microtrip มาใช้ซึ่งเป็นการตัดข้อมูลจากช่วงออกตัวถึงรถหยุดทำให้ไม่จะเป็นต้องใช้จำนวนครั้งที่หยุดต่อกิโลเมตรและเปอร์เซ็นต์เวลาช่วงเดินเบา

3.1.3 พฤติกรรมการขับขี่ที่ใช้ทดสอบ

จากงานวิจัยที่ผ่านมานิยมระบุลักษณะการขับขี่และระดับความก้าวร้าวด้วยการเคลื่อนที่ของรถยนต์ โดยใช้ความเร็ว และความเร่ง นอกจากนี้ตัวแปรที่ใช้ต้องมี Correlation ที่ชัดเจนกับการใช้พลังงานของรถยนต์ [30] และจากงานวิจัยของ Neubauer & Wood (2013) และ Vlieger et al. (2000) ได้ใช้ความเร่งเฉลี่ยเป็นตัวแปรในการระบุความก้าวร้าวของพฤติกรรมการขับขี่ นอกจากนี้ Vlieger et al. (2000) ยังแบ่งพฤติกรรมการขับขี่ออกเป็น 3 ระดับ ดังนี้

การขับขี่แบบนุ่มนวล (Calm) คือ ความเร่งอยู่ระหว่าง 0.45-0.65 m/s^2 ใช้ความระแวดระวังในการขับขี่ เคารพสัญญาไฟจราจร ใช้ความเร็วต่ำกว่าความเร็วสูงสุดที่กำหนด และหลีกเลี่ยงการใช้ความเร่งสูง

การขับขี่แบบปกติ (Normal) คือ ความเร่งอยู่ระหว่าง 0.65-0.80 m/s^2 มีการใช้ความเร่งและความหน่วงอยู่ในระดับปานกลาง ขับขี่ตามการเคลื่อนตัวของการจราจร

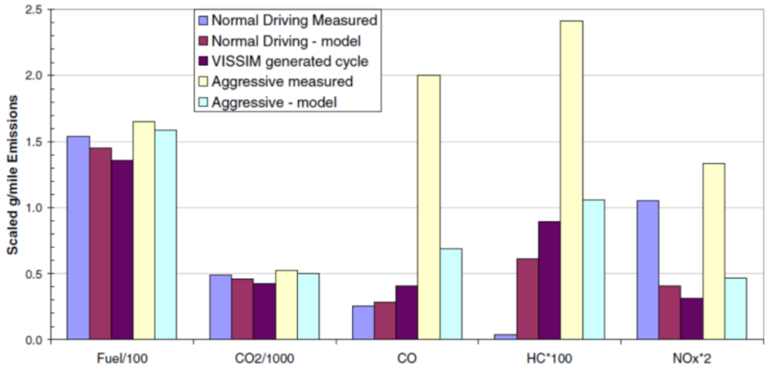
การขับขี่แบบก้าวร้าว (Aggressive) คือ ความเร่งอยู่ในช่วง 0.85-1.10 m/s^2 มีการใช้ความเร็ว ความเร่ง และความหน่วงอยู่ในระดับสูง มีการเร่งแซงบ่อยครั้ง

อย่างไรก็ตามจากงานวิจัยของ Shankar และ Marco (2012) ได้ตั้งข้อสังเกตว่าในการจราจรที่แตกต่างกันจะมีการใช้ความเร่งที่ต่างกัน กล่าวคือ การจราจรที่ติดขัดมักมีความเร่งเฉลี่ยสูงกว่าการจราจรคล่องตัว ดังนั้นการใช้ตัวแปรที่ขึ้นกับเพียงความเร่งเฉลี่ยอาจไม่สามารถใช้งานในการจราจรที่หลากหลายได้ นอกจากนี้พฤติกรรมการขับขี่ที่ก้าวร้าวมักมีการใช้ความเร่งสูงกว่า ดังนั้นความเร็วจึง

เพิ่มสูงขึ้นตาม ในปี 2002 Nam จึงได้นำเสนอตัวแปร Vehicle aggressivesity ที่รวมผลจากความเร็ว และความเร่งเข้าด้วยกัน โดยใช้วิธีหา Root mean square เพื่อบอกระดับความก้าวร้าวดังสมการที่ 1 Vehicle aggressivesity อย่างไรก็ตามผลการทดสอบพบว่าตัวแปร Vehicle aggressivesity นั้นยังมี Correlation กับ อัตราการใช้น้ำมันและการปล่อย CO_2 ที่ยังไม่ชัดเจนเท่าที่ควร เมื่อเปรียบเทียบกับ HC และ NO_X ดังรูปที่ 15 การเปรียบเทียบอัตราการใช้น้ำมัน ปริมาณ CO2 CO HC และ NOX ของพฤติกรรมการขับขี่ที่แตกต่างกัน [31]

$$Vehicle\ aggressiveness = \sqrt{\frac{1}{N}\sum\nolimits_{i=1}^{n}(2.a.v)}$$

สมการที่ 1 Vehicle aggressivesity [31]



รูปที่ 15 การเปรียบเทียบอัตราการใช้น้ำมัน ปริมาณ CO_2 CO HC และ NO_X ของพฤติกรรมการขับขี่ที่แตกต่างกัน [31]

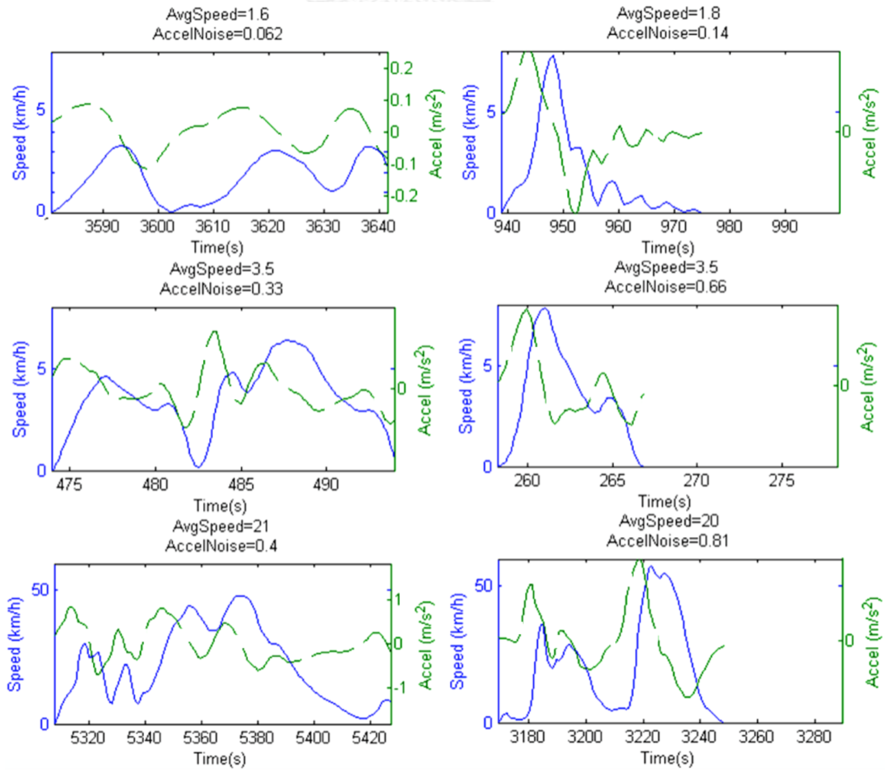
ในปีเดียวกัน Ding และ Rakha ได้นำเสนอตัวแปร Acceleration noise ที่รวมผลกระทบจากความเร็ว และความเร่งไว้เช่นเดียวกัน โดยตัวแปรทางสถิตินี้ถูกพัฒนาขึ้นจากการมองภาพการจราจรเป็นข้อมูลการเคลื่อนตัวของขบวนรถยนต์ภายในการจราจรนั้น ๆ เมื่อใดที่รถยนต์มีการใช้ความเร็ว และความเร่งต่างไปจากการเคลื่อนตัวของการจราจรปกติ จะเรียกพฤติกรรมดังกล่าวว่าข้อมูลรบกวนแฝงภายในการจราจร (Traffic noise) สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 2 Acceleration noise ซึ่งมีหน่วยเป็น (m/s^2) จุดเด่นของตัวแปรนี้ คือ สามารถอธิบายพฤติกรรมการขับขี่ได้ดีกว่าตัวแปรที่สนใจเพียงความเร่ง นอกจากนี้ยังมีความสอดคล้องกับอัตราการใช้พลังงาน

มากกว่า เนื่องจากมีการนำความเร็วมาถ่วงน้ำหนัก กับข้อมูลความเร่ง เพื่อให้สอดคล้องกับพฤติกรรมการใช้พลังงานที่การใช้ความเร่งที่ความเร็วสูง ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อการใช้พลังงานมากกว่าการใช้ความเร่งสูงที่ความเร็วต่ำดังรูปที่ 16 ลักษณะทางกายภาพของตัวแปร Acceleration noise โดยเป็นการเปรียบเทียบระหว่างข้อมูลที่มีความเร็วเฉลี่ยใกล้เคียงกัน แต่มีระดับ Acceleration noise ต่างกัน ซึ่งจะพบว่าข้อมูลที่มี Acceleration noise สูงกว่าจะมีการใช้ความเร็ว และความเร่งสูงกว่าอย่างชัดเจน ซึ่งสอดคล้องกับพฤติกรรมการขับขี่ที่ก้าวร้าว

$$A_{noise} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} a_i^2 . v_i}{\sum_{i=1}^{n} v_i}}$$

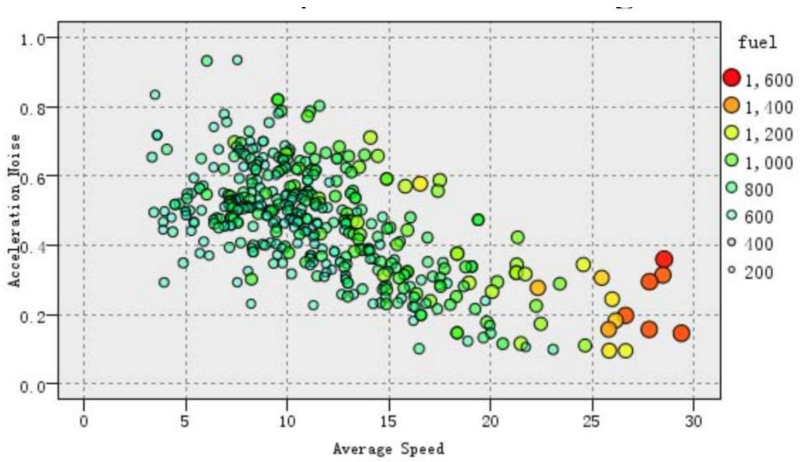
สมการที่ 2 Acceleration noise [14]

โดย v_i คือ ความเร็วของรถยนต์ ณ เวลาใด ๆ มีหน่วยเป็น (km/h) a_i คือ ความเร่งของรถยนต์ ณ เวลาใด ๆ มีหน่วยเป็น (m/s^2)



รูปที่ 16 ลักษณะทางกายภาพของตัวแปร Acceleration noise

นอกจากนี้ยังมีอีกหลายงานวิจัยที่นำ Acceleration noise เข้ามาช่วยระบุพฤติกรรมการขับขี่ เช่น งานวิจัยของ Zhou et al. ปี 2013 ที่ศึกษาการจัดประเภทลักษณะการขับขี่ (Driving cycle recognition) พบว่า Acceleration noise มีความสัมพันธ์ที่ผกผันกับความเร็วเฉลี่ย กล่าวคือ ที่ความเร็วเฉลี่ยต่ำ Acceleration noise จะมีค่าสูง และที่ความเร็วสูงค่า Acceleration noise จะมีค่าต่ำลง และ Acceleration noise ยังส่งผลต่อปริมาณน้ำมันขณะนั้น ๆ ดังรูปที่ 17 ความสัมพันธ์ระหว่าง Acceleration noise Average speed และปริมาณการใช้น้ำมันในหน่วยไมโครลิตรอย่างมีนัยสำคัญ



รูปที่ 17 ความสัมพันธ์ระหว่าง Acceleration noise Average speed และปริมาณการใช้น้ำมัน [20]

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากงานวิจัยของ Lee et al. (2013) ได้นำตัวแปร Acceleration noise มาประยุกต์ใช้ในการศึกษาระยะทางที่สั้นที่สุด ที่ใช้ในการเตือนให้รถยนต์ลดความเร็วในเขตที่อยู่อาศัย และงานวิจัยจำนวนมากยังใช้ในการบอกสถานะการขับขี่ ว่ามีความผันผวนจากการจราจรปกติมากน้อยเพียงไร เช่น การเร่ง และเบรก [32]

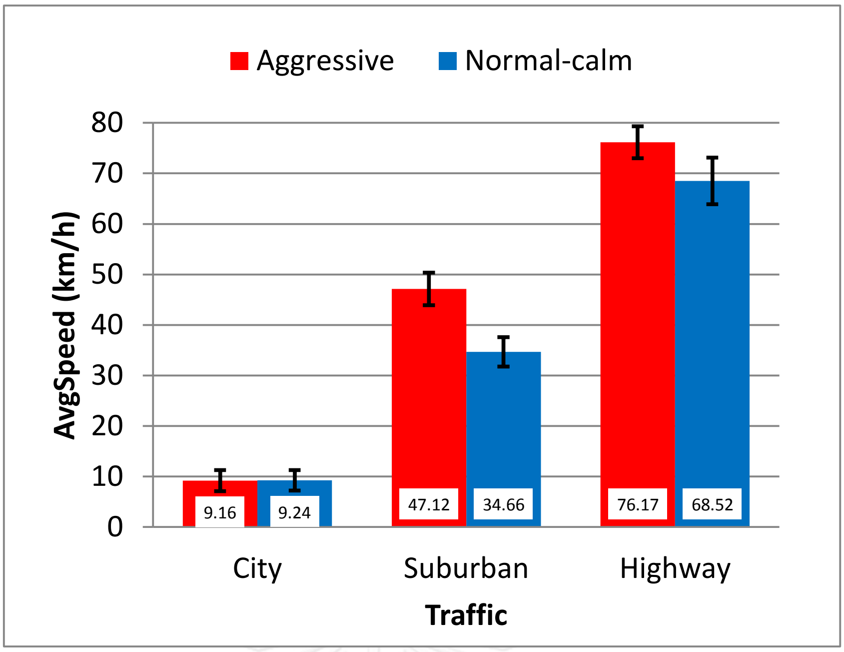
ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกทำการทดสอบผลของพฤติกรรมการขับขี่ต่ออัตราการใช้พลังงาน โดย การเลือกศึกษาความแตกต่างระหว่างพฤติกรรม การขับขี่แบบนุ่มนวลถึงปานกลาง (Normal-calm) และ การขับขี่แบบก้าวร้าว (Aggressive) โดยใช้ตัวแปร Acceleration noise ในการระบุและอธิบายลักษณะการขับขี่ สำหรับการคัดเลือกผู้ขับขี่จะคัดเลือกผู้ขับขี่ที่มีประสบการณ์การขับขี่มากกว่าสามปีขึ้นไป ต้องขับรถอยู่เป็นประจำ และ มีลักษณะการขับขี่เช่นนั้นเป็นปกติ เพื่อลด

ความเครียดในการทดสอบ โดยใช้นักขับทดสอบที่มีพฤติกรรมขับขี่แบบ Normal-calm 2 คน และ Aggressive 2 คน

3.1.3 ลักษณะการจราจร และพฤติกรรมการขับขี่ที่พบในการทดสอบ

ภายใต้พฤติกรรมการขับขี่แบบ Normal–calm การจราจรแบบ City ความเร็วเฉลี่ยประมาณ 9 km/h โดยพบว่าช่วงความเร็วเฉลี่ยของข้อมูลดิบอยู่ระหว่าง 4–15 km/h จำนวนการหยุดในหนึ่งกิโลเมตร (Stop/km) อยู่ที่ 3-7 ครั้ง การจราจรแบบ Suburban ความเร็วเฉลี่ยประมาณ 37 km/h โดยพบว่าช่วงความเร็วเฉลี่ยของข้อมูลดิบอยู่ระหว่าง 30–43 km/h จำนวนการหยุดในหนึ่งกิโลเมตร ต่ำกว่า 1 ครั้ง การจราจรแบบ Highway ความเร็วเฉลี่ยประมาณ 71 km/h โดยพบว่าช่วงความเร็วเฉลี่ยของข้อมูลดิบอยู่ระหว่าง 60–82 km/h จำนวนการหยุดในหนึ่งกิโลเมตร ต่ำกว่า 0.13 ครั้ง นอกจากนี้จากรูปที่ 18 ความเร็วเฉลี่ยจากเส้นทางทดสอบ แสดงความเร็วเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของเส้นทางทดสอบ จากรูปพบว่าการขับขี่แบบ Aggressive จะมีความเร็วเฉลี่ยสูงกว่าการขับขี่แบบ Normal-calm โดยความเร็วเฉลี่ยจะเพิ่มขึ้น เมื่อลักษณะการจราจรมีความติดขัดน้อยลง

ในการจราจรแบบ City ความเร็วเฉลี่ยของทั้งสองพฤติกรรม และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการขับขี่แบบ Aggressive ไม่สามารถเพิ่มความเร็วในการเดินทางในการจราจรแบบ City ได้ แต่การขับขี่แบบ Aggressive สามารถช่วยให้การเดินทางในการจราจรแบบ Suburban และ Highway เร็วขึ้น โดยจะพบว่าความเร็วเฉลี่ยในทั้งสองเส้นทางเพิ่มสูงขึ้นอย่างชัดเจน เพราะในการจราจรแบบ Suburban และ Highway เป็นการจราจรที่เคลื่อนตัวได้ดีกว่าการจราจรแบบ City ทำให้ระยะห่างระหว่างรถยนต์เพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นการขับขี่แบบ Aggressive จึงสามารถทำความเร็ว และเร่งแซงได้บ่อยครั้งกว่าการจราจรที่ติดขัดแบบ City โดยความเร็วเฉลี่ยในการเดินทางเพิ่มสูงขึ้นประมาณ 36% ในการจราจร Suburban และประมาณ 11% ในการจราจรแบบ Highway



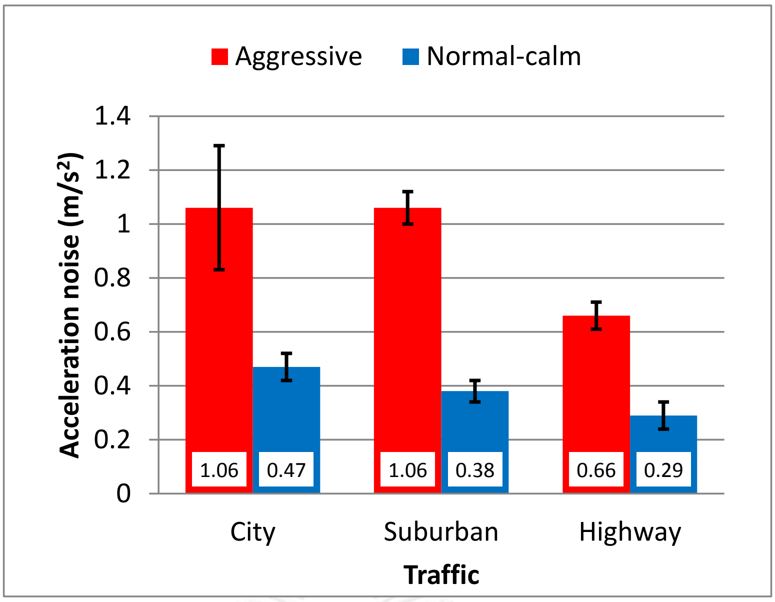
รูปที่ 18 ความเร็วเฉลี่ยจากเส้นทางทดสอบ

สำหรับพฤติกรรมการขับขี่จะใช้ตัวแปร Acceleration noise ในการอธิบายความแตกต่างของลักษณะการขับขี่แบบ Normal-calm และ Aggressive ในแต่ละลักษณะการจราจรดังรูปที่ 19 Acceleration noise จากเส้นทางทดสอบ พบว่าในการขับขี่แบบ Normal-calm ในการจราจรแบบ City เป็นการจราจรที่มีความก้าวร้าวแฝงสูงที่สุด ซึ่งสูงกว่าการขับขี่การจราจรแบบ Suburban และ Highway

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างพฤติกรรมการขับขี่แบบ Normal-calm และ Aggressive พบว่า Acceleration noise ของการขับขี่แบบ Aggressive มีค่าสูงกว่าการขับขี่แบบ Normal-calm อย่างชัดเจน โดยเฉพาะในการจราจรแบบ City และ Suburban ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ตัวแปร Acceleration noise สามารถแยกความแตกต่างของพฤติกรรมการขับขี่ได้อย่างชัดเจน

นอกจากนี้ เมื่อนำข้อมูล Acceleration noise ไปทดสอบหาความแตกต่างระหว่างข้อมูลกลุ่มพฤติกรรม Aggressive และ Normal-calm ด้วยวิธี F-test จากผลการทดสอบพบว่าลักษณะข้อมูล Acceleration noise ของกลุ่มข้อมูล Normal-calm และ Aggressive ของรถยนต์ทั้งสองคันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ จึงทำให้มั่นใจว่า Acceleration noise เป็นตัวแปรที่สามารถใช้ในการแยกพฤติกรรมการขับขี่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลจากงานวิจัยที่ผ่านมา [20]



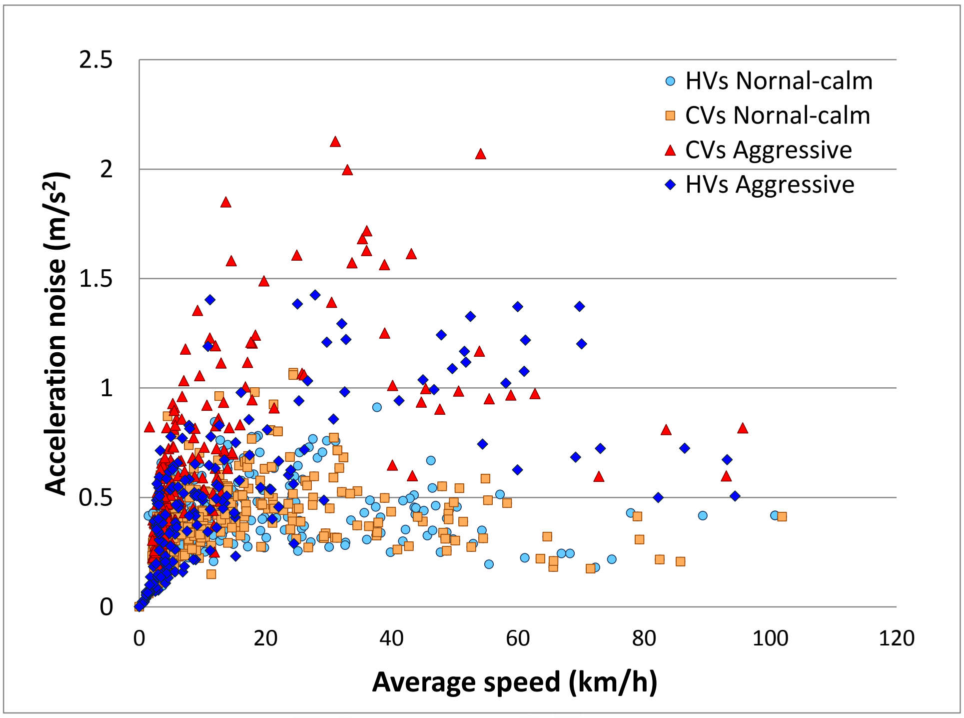
รูปที่ 19 Acceleration noise จากเส้นทางทดสอบ

นอกจากนี้เมื่อนำข้อมูล Acceleration noise ในแต่ละ Microtrip มาวิเคราะห์ พบว่าการขับขี่แบบ Normal-calm มีความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเฉลี่ย (Average speed) และ Acceleration noise เป็นเส้นตรงดังรูปที่ 20 ความสัมพันธ์ระหว่าง Acceleration noise และ Average speed จากการขับขี่ด้วย Normal-calm พฤติกรรม และ Aggressive ซึ่งความสัมพันธ์มีแนวโน้มคล้ายคลึงกับลักษณะการขับขี่ในงานวิจัยของ Zhou et al. (2013) ซึ่งแสดงในรูปที่ 17 ความสัมพันธ์ระหว่าง Acceleration noise Average speed และปริมาณการใช้น้ำมัน กล่าวคือ ที่ความเร็วเฉลี่ยต่ำ เช่น ในการจราจรแบบ City Acceleration noise มักมีค่าสูงกว่าการขับขี่ที่ความเร็วเฉลี่ยสูง เนื่องจากในการจราจรที่ใช้ความเร็วต่ำ มักประกอบด้วย Microtrip ขนาดเล็ก ระยะทางสั้น มีการเคลื่อนตัวสลับหยุดนิ่ง ทำให้มีการเร่งและเบรคบ่อยครั้งกว่า

สำหรับแนวโน้มข้อมูลของพฤติกรรมการขับขี่แบบ Aggressive พบว่ามีความแตกต่างจากข้อมูลของพฤติกรรมการขับขี่แบบ Normal-calm กล่าวคือ ยิ่งความเร็วสูงขึ้น แนวโน้มของ Acceleration noise จะเพิ่มขึ้นตาม จนถึงที่ความเร็วเฉลี่ยประมาณ 70 km/h จากนั้นค่า Acceleration noise จึงตกลง โดยข้อสังเกตที่น่าสนใจ คือ Microtrip ที่มีความเร็วเฉลี่ยอยู่ในช่วงระหว่าง 10-70 km/h ระดับความก้าวร้าวในการขับขี่สามารถเพิ่มสูงขึ้นได้อย่างมีนัยสำคัญ และมีการกระจายตัวของค่า Acceleration noise สูงกว่าการขับขี่แบบ Normal-calm

อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบผลกับงานวิจัยของ Zhou et al. 2013 พบว่ามีข้อมูลความเร็วเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 5-30 km/h และ Acceleration noise อยู่ในช่วง 0-1 m/s^2 ขณะที่ข้อมูล

การทดสอบจากกรุงเทพมหานครอยู่ที่ 0-100 km/h และ Acceleration noise อยู่ในช่วง 0-1 m/s^2 เช่นเดียวกัน แต่ความชันของแนวโน้มข้อมูลจากกรุงเทพมหานคร มีความชันน้อยกว่าประมาณ 3 เท่า ของงานวิจัย Zhou et al. 2013 ซึ่งลักษณะเช่นนี้แสดงถึงการขับขี่ในการจราจรที่ติดขัดและใช้ความเร็วต่ำ มักต้องการความก้าวร้าวในการขับขี่สูงกว่าการจราจรที่เคลื่อนตัวได้ดีและไม่ติดขัด



รูปที่ 20 ความสัมพันธ์ระหว่าง Acceleration noise และ Average speed จากการขับขี่ด้วย Normal-calm พฤติกรรม และ Aggressive

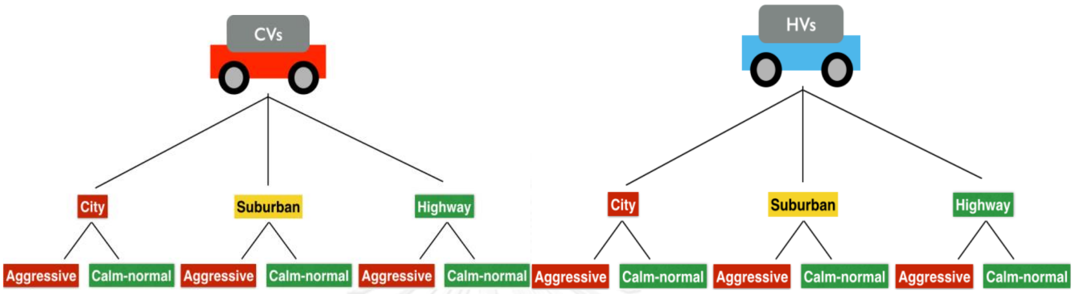
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.2 แผนการทดสอบ

แผนการทดสอบจะทดสอบรถยนต์ไฮบริดและรถยนต์สันดาปภายใน ภายใต้ลักษณะการจราจรเดียวกัน โดยเริ่มจากปล่อยรถยนต์ทั้งสองคันออกจากจุดเริ่มต้นที่เวลาเดียวกัน เพื่อรักษาลักษณะการจราจรของรถยนต์ทั้งสองคันให้ใกล้เคียงกันมากที่สุด โดยใช้นักขับทดสอบที่มีพฤติกรรมเดียวกันเป็นผู้ขับ หลังจากการขับทดสอบครั้งแรกเสร็จสิ้น ผู้ขับทดสอบจะต้องสลับรถยนต์เพื่อลดปัญหาเรื่องความไม่คุ้นเคยรถยนต์ เช่น ความแตกต่างของขาคันเร่ง และ เบรค [31] ดังนั้นในหนึ่งเส้นทางที่ทำการทดสอบ จะมีการขับทดสอบทั้งหมด 4 ครั้ง คือ การขับขี่แบบ Naormal-calm 2

ครั้ง และ Aggressive 2 ครั้ง ดังรูปที่ 21 แผนการทดสอบ ซึ่งจำนวนครั้งในการทดสอบขั้นต่ำอยู่ที่ 24 การทดสอบ

สำหรับการควบคุมคุณภาพข้อมูล หากข้อมูลที่ได้มีค่าต่าง ๆ ไม่ตรงตามช่วงที่กำหนดไว้ตามตารางที่ 8 หลักเกณฑ์ลักษณะแบ่งลักษณะการจราจร [23] การทดสอบในเงื่อนไขดังกล่าวจะถูกทำซ้ำจนกว่าลักษณะการจราจรที่ได้จะอยู่ในช่วงที่กำหนด



รูปที่ 21 แผนการทดสอบ

3.3 การเก็บข้อมูลในการทดสอบและการปรับปรุงคุณภาพข้อมูล

ในการวิเคราะห์ข้อมูลจำเป็นต้องใช้ค่าทางสถิติ ได้แก่ ปริมาณการใช้น้ำมัน ความเร็วเฉลี่ย และ ความเร่งเฉลี่ย ดังนั้น ข้อมูลเบื้องต้นที่จำเป็นต้องบันทึกระหว่างการทดสอบ คือ ปริมาณการใช้น้ำมัน ความเร็ว และ ความเร่ง

สำหรับปริมาณการใช้น้ำมัน ในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้วิธีการเก็บข้อมูลปริมาณการฉีดน้ำมันจากหัวฉีดโดยตรง ผ่านช่องสื่อสาร On-board diagnosis (OBD) โดยใช้อุปกรณ์ Vehicle Interface Module (VIM) ดังรูปที่ 22 อุปกรณ์วัดอัตราการใช้น้ำมัน VIM และโปรแกรม GTH ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่สามารถบันทึกสัญญาณ CAN (Controller Area Network) ที่ความถี่ต่ำสุด 8 Hz โดยวิธีการคำนวณอัตราการใช้น้ำมันเป็นดังสมการที่ 3 สมการการคำนวณอัตราการใช้น้ำมันจากหัวฉีด

รูปที่ 22 อุปกรณ์วัดอัตราการใช้น้ำมัน VIM และโปรแกรม GTH

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

$$Fuel\ (\frac{g}{s}) = \frac{injection\ volumn\ \times rpm\ \times\ \rho_{fuel} \times n}{K\ \times 10\ \times 1000 \times 60}$$

สมการที่ 3 สมการการคำนวณอัตราการใช้น้ำมันจากหัวฉีด

โดย

Injection volume ปริมาณการฉีดน้ำมันของหัวฉีด (มิลลิลิตร) 10 เท่าของการฉีด 1 ครั้ง

rpm ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ (rpm)

P_{fuel} ความหนาแน่นของ Gasohol 91= 737 kg/m3

n จำนวนหัวฉีด (รถยนต์ทดสอบมี 4 หัวฉีด)

K จำนวนรอบของเครื่องยนต์ต่อการฉีดเชื้อเพลิง 1 ครั้ง

VIM และโปรแกรม GTH เป็นอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้น โดยบริษัทโตโยต้า มอเตอร์ เอเชีย แปซิฟิค เอ็นจิเนียริ่ง แอนด์ แมนูแฟคเจอริ่ง เพื่อใช้ในการทดสอบมาตรฐานรถยนต์ภายใต้ข้อกำหนดของ

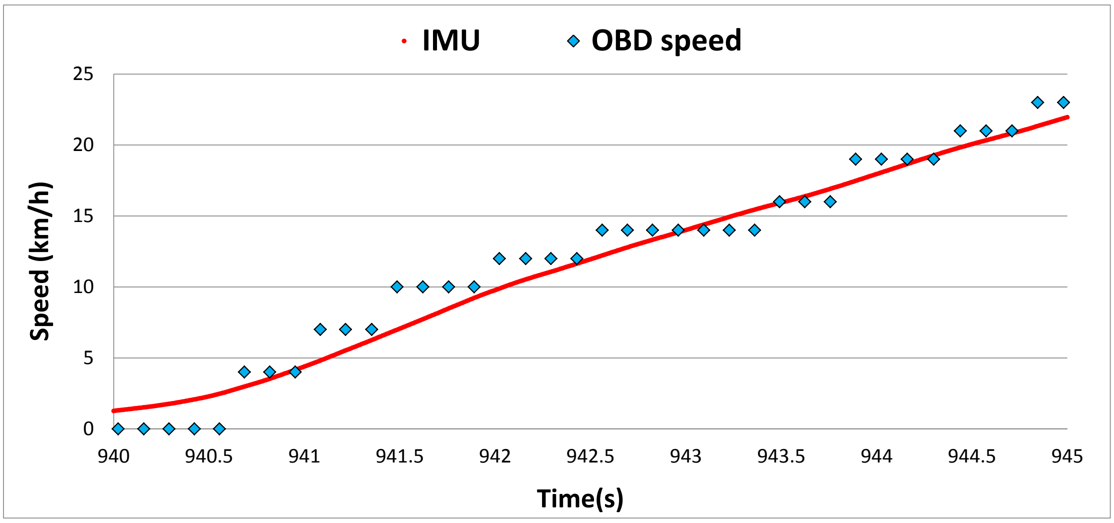
กรมควบคุมมลพิษ และ วิเคราะห์การทำงานของรถยนต์ และเหตุผลในการเลือกอุปกรณ์อธิบายเพิ่มเติมในภาคผนวก ก

นอกจากนี้ก่อนการทดสอบได้มีการสอบเทียบ VIM กับ อุปกรณ์วัดอัตราการไหล Sparling/OVAL รุ่น LSF40 ซึ่งมีความแม่นยำอยู่ที่ ±1% ของค่าที่อ่านได้ จากผลการทดสอบจากระยะทางทดสอบทั้งหมด 175 km ภายใต้การทดสอบแบบการจราจรผสมระหว่างการจราจรแบบ City และ Highway พบว่าค่าจาก VIM มีความผิดพลาดเพียง 8% เมื่อเทียบกับอุปกรณ์วัดอัตราการไหล และ 1.36% เมื่อเทียบกับวิธีการเติมน้ำมันกลับให้เต็มถัง

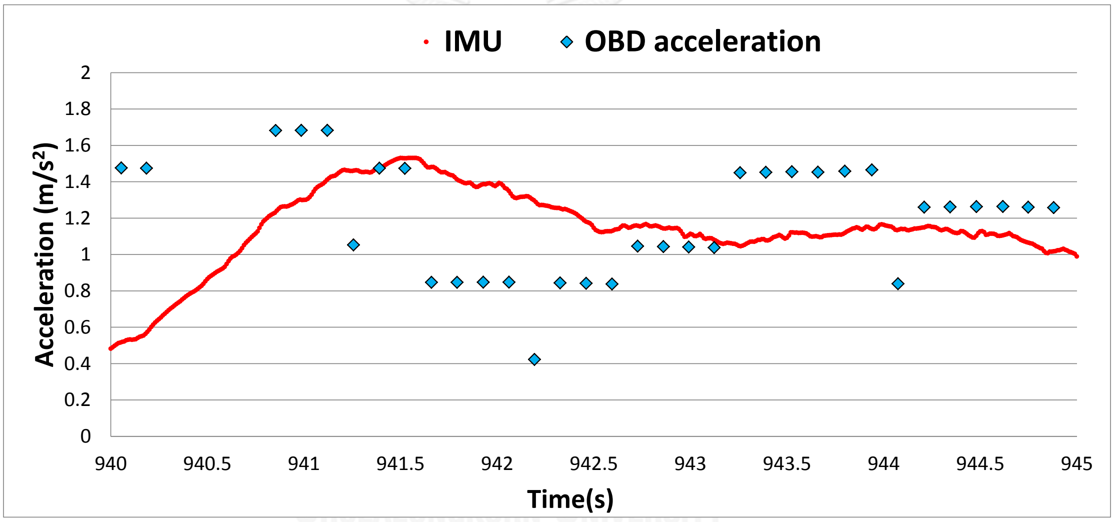
สำหรับอุปกรณ์วัดความเร็ว ในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้เซ็นเซอร์วัดความเร็วของรถยนต์ (OBD speed sensor) เนื่องจากมีความเหมาะสมในการใช้งานจริง เช่น การใช้งานสะดวกทั้งขณะทดสอบและการจัดการข้อมูล ความแม่นยำที่อยู่ในช่วงที่รับได้ มีความเหมาะสมด้านราคา มีเสถียรภาพของสัญญาณสูงกว่าอุปกรณ์ Multi-GNSS ที่มักพบปัญหาสัญญานขาดหายเมื่อใช้งานในเมืองใหญ่ที่มักมีตึกสูง สะพาน ต้นไม้ ฯลฯ บดบัง [33]

อย่างไรก็ตาม ค่าความเร็วรถยนต์ที่บันทึกค่าผ่านทางช่อง OBD นั้นยังมีปัญหาเรื่องข้อมูลความเร็วไม่ต่อเนื่อง กล่าวคือ ข้อมูลมีความละเอียดต่ำ ซึ่งอยู่ที่ 1 km/h ดังนั้นเมื่อนำความเร็วจาก OBD มาคำนวนหาความเร่งจะทำให้ข้อมูลเกิดความผิดพลาดดังรูปที่ 23 ปัญหาความไม่ต่อเนื่องของข้อมูลความเร็วจาก OBD โดย (ก) แสดงถึงปัญหาข้อมูลมีความละเอียดต่ำ และ (ข) คือ ผลกระทบเมื่อนำความเร็วมาคำนวณหาความเร่ง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



(ก)



(ข)

รูปที่ 23 ปัญหาความไม่ต่อเนื่องของข้อมูลความเร็วจาก OBD

จากปัญหาดังกล่าว งานวิจัยได้ใช้ Wavelet transform วิธี Daubechies 5 (Db5) Level4 [34, 35] เพื่อปรับปรุงคุณภาพข้อมูล ภายหลังจากการปรับปรุงคุณภาพข้อมูลพบว่าเมื่อนำข้อมูลที่ผ่านการ Wavelet transform แล้ว มาคำนวณ ความเร็วเฉลี่ย ความเร่งเฉลี่ย และ Acceleration noise และหา Correlation (R^2) เทียบกับอุปกรณ์มาตรฐาน (IMU) พบว่า Wavelet transform สามารถปรับปรุงค่า R^2 ของ ความเร่งเฉลี่ยที่คำนวนจาก OBD จาก 0.3 เป็น 0.91 และ ค่า R^2 ของ Acceleration noise อยู่ที่ 0.97 โดยรายละเอียดการศึกษาวิธีการปรับปรุงคุณภาพข้อมูลที่นิยมใช้ในงานวิจัยอื่น ๆ และการตรวจสอบความถูกต้องได้อธิบายเพิ่มเติมในภาคผนวก

บทที่ 4
หลักการทำงานของระบบ Toyota Hybrid System

โตโยต้าพรีอุสที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นรถยนต์ไฮบริดที่มีระบบขับเคลื่อนที่ผสานการทำงานระหว่างมอเตอร์ไฟฟ้าและเครื่องยนต์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้พลังงาน โดยการหลีกเลี่ยงการใช้งานอุปกรณ์ในช่วงการทำงานที่ให้ประสิทธิภาพต่ำ และสามารถนำพลังงานที่สูญเสียจากเบรค (Regenerative braking) บางส่วนกลับมาใช้ขับเคลื่อนรถยนต์ได้อีกครั้ง

ระบบ Toyota hybrid system (THS) เป็นการนำข้อได้เปรียบของเครื่องต้นกำลังมอเตอร์ไฟฟ้า และเครื่องยนต์มาช่วยเสริมการทำงานของกันและกัน กล่าวคือ ลักษณะเฉพาะของเครื่องยนต์น้ำมันเบนซินที่สร้างแรงบิดได้น้อยที่รอบต่ำ ทำให้ต้องมีการทดรอบเกียร์และเร่งเครื่องยนต์ ทำให้เกิดการสิ้นเปลืองพลังงานเมื่อใช้งานในการจราจรติดขัด ใช้ความเร็วต่ำ มีการหยุดและออกตัวบ่อยครั้ง เช่นการจราจรในเมืองใหญ่ ดังนั้น THS จึงนำเอามอเตอร์ไฟฟ้ามาทดแทนเครื่องยนต์ในช่วงดังกล่าว เนื่องจากมอเตอร์ไฟฟ้าสามารถให้แรงบิดตั้งแต่รอบต่ำหรือหยุดนิ่ง ซึ่งเหมาะแก่การนำมาใช้ในการออกตัวและขับขี่ในย่านความเร็วต่ำ ในทางกลับกันเมื่อมีการใช้งานในช่วงความเร็วสูงขึ้น เช่น ในการจราจรแบบ highway ความต้องการกำลังขับเพิ่มขึ้น แต่ด้วยข้อจำกัดของขนาดมอเตอร์และแบตเตอรี่ของรถยนต์ไฮบริดที่มีขนาดค่อนข้างเล็ก ประกอบกับเครื่องยนต์สามารถให้ประสิทธิภาพสูงกว่าที่ความเร็วประมาณ 60-80km/h ทำให้เครื่องยนต์มีความเหมาะสมมากกว่าจึงถูกนำมาใช้งานในช่วงการขับขี่ดังกล่าว ในขณะเดียวกันหากผู้ขับขี่ทำการเร่งความเร็วอย่างฉับพลัน หรือขึ้นทางลาดชันมอเตอร์ไฟฟ้าจะเข้ามาช่วยเสริมแรงบิดให้กับเครื่องยนต์ ทำให้การตอบสนองของเร็วขึ้นและประสิทธิภาพการใช้พลังงานเพิ่มขึ้น

นอกจากนี้การชาร์จไฟฟ้าของรถยนต์ไฮบริด ระบบ THS จะพยายามรักษารอบการทำงานของเครื่องยนต์ให้อยู่ในช่วงประสิทธิภาพสูง กล่าวคือ ในบางครั้ง THS จะทำงานที่รอบเครื่องยนต์สูงกว่าปกติเพื่อขยับให้เครื่องยนต์ทำงานในช่วงที่ประสิทธิภาพสูงขึ้น และนำพลังงานส่วนเกินที่ได้มาชาร์จเก็บที่แบตเตอรี่เพื่อนำไปใช้งานในจังหวะที่เหมาะสม ตัวอย่างเช่น ในขณะจอดหยุดนิ่งและระดับแบตเตอรี่ (%SOC) ต่ำกว่า 39.6% เครื่องยนต์จะสตาร์ทขึ้นเพื่อทำการชาร์จแบตเตอรี่ที่รอบเครื่องประมาณ 990-1030 rpm โดยเป็นการชาร์จแบบกระแสคงที่ที่ 20 amp โดยการรอบเครื่องยนต์ที่เปลี่ยนแปลงจะขึ้นอยู่กับการทำงานของ Compressor เครื่องปรับอากาศ ซึ่งเป็นรอบการทำงานที่ให้ประสิทธิภาพสูงกว่ารอบเดินเบาของเครื่องยนต์ปกติที่ 780 rpm

จากที่ได้กล่าวมาจะพบว่าการทำงานของรถยนต์ไฮบริดนี้มีความซับซ้อน ระบบต้องผสานการทำงานระหว่างเครื่องยนต์และมอเตอร์ไฟฟ้าอย่างสอดคล้องโดยอาศัยการทำงานของระบบส่งกำลัง

เกียร์ e-CVT หรือที่เรียกว่า Power Split Device (PSD) อุปกรณ์ชิ้นนี้ใช้ตัดต่อกำลังระหว่างเครื่องยนต์ Motor/Generator 1 (MG1) และ Motor/Generator 2 (MG2) ให้สามารถส่งกำลังสู่เพลาขับเดียวกันได้อย่างนุ่มนวลโดยอุปกรณ์สำคัญและหลักการทำงานจะอธิบายดังต่อไปนี้

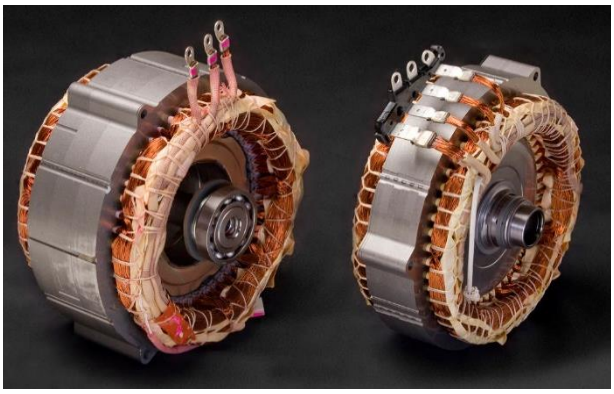
4.1 ส่วนประกอบของเครื่องต้นกำลัง

เครื่องยนต์ต้นกำลังของรถยนต์ไฮบริดประกอบด้วย 3 ส่วน ได้แก่ เครื่องยนต์ Atkinson cycle Motor/Generator 1 (MG1) และ Motor/Generator 2 (MG2)

เครื่องยนต์ Atkinson cycle เป็นเครื่องยนต์ที่สามารถปรับลดกำลังอัดในห้องเผาไหม้ได้ด้วยการยกวาล์วไอดีขึ้นขณะจังหวะอัดเล็กน้อย เพื่อเพิ่มอัตราส่วนปริมาตรการขยายต่อการอัด (Expansion ration) ซึ่งจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ และยังเป็นการช่วยลดอุณหภูมิในห้องเผาไหม้ซึ่งเป็นสาเหตุหลักของการเกิด NOX และมลพิษอื่น ๆ ซึ่งลักษณะเช่นนี้จะเปรียบเสมือนการลดขนาดของกระบอกสูบทำให้เครื่องยนต์สามารถให้กำลังในช่วงที่กว้างขึ้นได้

MG เป็นอุปกรณ์ที่สามารถทำหน้าที่ได้ทั้ง AC motor และ AC generator แบบ 3 เฟสในตัวเดียวกัน โดยรูปที่ 24 Motor/Generator 2 (ซ้าย) และ Motor/Generator 1 (ขวา)

MG2 ทำหน้าที่เป็นมอเตอร์ขับเคลื่อนหลักส่งกำลังขับล้อโดยตรงทั้งในช่วงการขับเคลื่อนแบบไฟฟ้าล้วน และช่วงเสริมการทำงานให้เครื่องยนต์ นอกจากนี้ยังทำหน้าที่เป็น Generator เก็บพลังงานในช่วงการเบรกและชาร์จกลับเข้าแบตเตอรี่ ข้อสังเกต คือ ขนาดของ MG2 จะใหญ่กว่า MG1 เนื่องจาก MG1 ทำหน้าที่หลักเป็น Generator ที่สร้างไฟฟ้าจากการทำงานของเครื่องยนต์และทำหน้าที่เป็นมอเตอร์ที่สร้างอัตราทดเกียร์ นอกจากนี้ยังทำงานเป็นจะทำหน้าที่เป็นมอเตอร์สตาร์เมื่อกดปุ่ม Engine on และการสตาร์ทของเครื่องยนต์โดยอัตโนมัติขณะขับขี่



รูปที่ 24 Motor/Generator 2 (ซ้าย) และ Motor/Generator 1 (ขวา) [36]

อุปกรณ์ MG1 และ MG2 มีส่วนประกอบที่คล้ายกัน คือ จะประกอบด้วย stator ซึ่งอยู่บริเวณรอบนอกที่อัดแน่นด้วยมัดขดลวดทองแดง 18 มัดและสายไฟสามเส้นใหญ่เชื่อมต่อออกมา สำหรับ Rotor ที่ทำหน้าที่ในการส่งกำลังอยู่บริเวณแกนกลางประกอบด้วยตั้งแผ่นลามิเนทที่ซ้อนกันและมีขั้วแม่เหล็กถาวรอยู่ภายใน วางทำมุมเป็นรูปตัว V จำนวนแปดคู่ดังรูปที่ 25 ส่วนประกอบภายใน Rotor หลักการพื้นฐานในการควบคุม MG คือ แรงบิดจะแปรผันตามปริมาณกระแสที่จ่ายให้ขดลวด และความเร็วรอบจะแปรผันตามระดับแรงดันและความถี่ของไฟฟ้ากระแสสลับที่จ่ายเข้ามอเตอร์ ซึ่งพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการขับเคลื่อน MG2 นี้จะนำมาจากแบตเตอรี่ชนิด NiMH ขนาด 6.5Ah 201.6V และการปั่นไฟของเครื่องยนต์ผ่าน MG1 โดยมีอุปกรณ์ Converter ที่ทำหน้าที่แปลงไฟระหว่าง AC เป็น DC และ Invertor ที่ทำหน้าที่ปรับแรงดันและความถี่ซึ่งใช้ในการควบคุมรอบของมอเตอร์ดังที่กล่าวมาข้างต้น [37]

จากที่ได้กล่าวมาจะพบว่าพลังงานที่ใช้ในการขับเคลื่อนสามารถได้รับจากสองส่วน คือ พลังงานจากน้ำมัน และ พลังงานที่ได้กลับคืนจากการเบรค นอกจากนี้ระบบต้นกำลังของระบบไฮบริดยังต้องสามารถผสานการทำงานของ เครื่องยนต์ MG1 และ MG2 เพื่อส่งไปขับเคลื่อนล้อ รวมถึงส่งกลับมาชาร์จแบตเตอรี่ซึ่งถือเป็นหัวใจในการทำงานของระบบ THS โดยอาศัยอุปกรณ์ Power Split Device ซึ่งจะกล่าวในลำดับต่อไป [37]

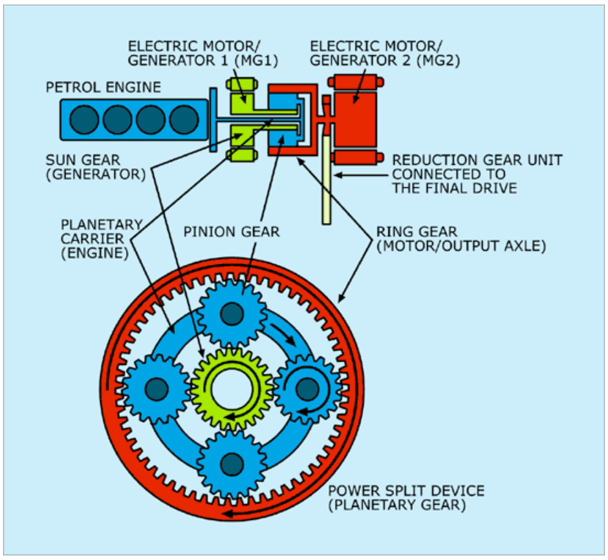
รูปที่ 25 ส่วนประกอบภายใน Rotor [36]

4.2 ระบบส่งกำลัง Power Split Device

การผสานการทำงานของ เครื่องยนต์ MG1 และ MG2 จำเป็นต้องอาศัยการทำงานของชุดเกียร์ส่งกำลัง ที่มีชื่อว่า Power Split Device (PSD) เพื่อช่วยในการแบ่งกำลังการขับของเครื่องยนต์ไปยังอุปกรณ์ต่าง ๆ PSD เป็นอุปกรณ์ที่เป็นหัวใจสำคัญในการทำงานของรถ Hybrid ซึ่งได้นำชุด Planetary gear มาใช้ในการส่งถ่ายกำลัง โดยหลักการจะแตกต่างจาก Planetary ในเกียร์ออโต้ทั่วไป เนื่องจากในเกียร์ออโต้การสร้างอัตราทดจะเกิดจากการจับยึด Sun gear Carrier หรือ Ring gear ชิ้นใดชิ้นหนึ่งไว้และทำการใส่กำลังเข้าและส่งกำลังออกไปยัง 2 ชิ้นที่เหลือตามที่ต้องการ แต่การทำงานของ PSD ทุกส่วนจะสามารถหมุนถึงกันได้อย่างอิสระทำให้สามารถปรับอัตราทดได้อย่างต่อเนื่องทำให้ PSD มีอีกชื่อเรียกหนึ่งคือ e-CVT โดยใช้การปรับรอบและแรงบิดของ MG1 MG2 และเครื่องยนต์ [37]

จากรูปที่ 26 Power Split Device แสดงการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ทั้งสามชิ้น โดยแกน Rotor ของ MG1 จะเชื่อมต่อกับ Sun gear ซึ่งอยู่ที่จุดศูนย์กลางของชุดเกียร์ มีจำนวนฟัน 30 ซี่ แกน Rotor ของ MG2 จะถูกเชื่อมต่อที่ Ring gear ซึ่งเป็นเกียร์วงนอกสุด มีจำนวนฟัน 78 ซี่ เชื่อมต่อกับล้อรถยนต์โดยตรง โดยจะผ่าน Reduction fear unit เพื่อลดรอบความเร็วและเพิ่มแรงบิดเพื่อให้เหมาะกับการขับเคลื่อนที่ล้อ เครื่องยนต์จะเชื่อมต่อกับ Planetary carrier ซึ่งเป็นชุดเกียร์ที่อยู่ตรงกลางโดยปล่อยให้ Pinion gear ที่เป็นเฟืองดาวเคราะห์ภายในสามารถหมุนได้อย่างอิสระ ทำให้การส่งถ่ายกำลังระหว่างอุปกรณ์สามชิ้นเป็นไปอย่างอย่างต่อเนื่อง โดย Pinion gear มีจำนวนฟังทั้งหมด 23 ซี่ [37]

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 26 Power Split Device [38]

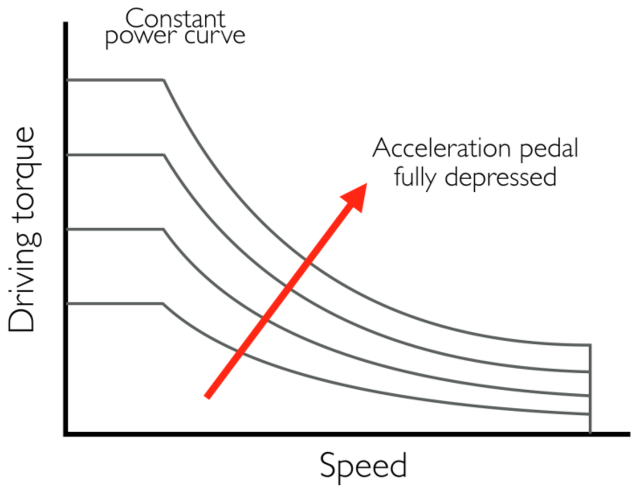
เพื่อความเข้าใจที่ดีขึ้นจะขออธิบายตัวอย่างการทำงานในเงื่อนไขที่มีการใช้พลังงานระดับปานกลาง เครื่องยนต์ติด และแบตเตอรี่ยังไม่เต็ม โดยปกติ THS จะแบ่งกำลังจากเครื่องยนต์ส่วนหนึ่งไปหมุน MG1 เพื่อผลิตไฟฟ้าและแบ่งกำลังอีกส่วนหนึ่งจากเครื่องยนต์ไปขับล้อ ในขณะเดียวกันไฟฟ้าที่ผลิตได้จาก MG1 ส่วนหนึ่งจะถูกนำไปขับ MG2 เพื่อช่วยเสริมแรงบิดให้กับเครื่องยนต์ หากแรงบิดที่ต้องการใช้ในขณะนั้นต่ำกว่ากระแสไฟที่ผลิตได้ ระบบจะนำพลังงานไฟฟ้าส่วนเกิดไปเก็บไว้ที่แบตเตอรี่เพื่อรอนำมาใช้ในยามที่เหมาะสมต่อไป แต่หากระดับแบตเตอรี่ในขณะนั้นอยู่ที่ประมาณ 60%SOC ซึ่งถือเป็นระดับแบตเตอรี่สูงสุดที่เครื่องยนต์สามารถชาร์จได้ (โดยจะสำรองแบตเตอรี่ส่วนที่เหลือไว้ใช้เก็บพลังงานจาก Regenerative braking) เครื่องยนต์จะลดรอบการทำงานลงเพื่อลดการสร้างกระไฟฟ้าโดยรอบเครื่องยนต์จะถูกควบคุมให้ทำงานในช่วงที่ให้ประสิทธิภาพสูง และยังคงใช้ MG2 เพื่อช่วยเสริมแรงบิดให้กับเครื่องยนต์ในเวลาที่แรงบิดไม่เพียงพอ เพื่อหลีกเลี่ยงการทำงานของเครื่องยนต์ในช่วงประสิทธิภาพต่ำ เช่น ขณะเร่งแบบฉับพลัน

4.3 หลักการทำงานของระบบเครื่องต้นกำลังของระยนต์ไฮบริด

การทำงานที่ซับซ้อนของระบบ THS ในรถยนต์ไฮบริดที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นนั้น ทั้งการชาร์จไฟการใช้ไฟ การผสมผสานการทำงานของเครื่องยนต์และมอเตอร์ไฟฟ้าทั้งสองตัวในเงื่อนไขการทำงานต่าง ๆ มีหลักการทำงานดังนี้

ขณะที่ตำแหน่งเกียร์อยู่ที่ D และมีการเหยียบคันเร่ง ระบบจะทำการประมาณความเร็วที่ผู้ขับขี่ต้องการและนำไปคำนวณแรงบิดที่ต้องใช้ในการขับเคลื่อน (Driver-request torque) ดังรูปที่ 27 กราฟแรงบิดและความเร็วที่ล้อที่ขาคันเร่งตำแหน่งต่าง ๆ โดยใช้ข้อมูลตำแหน่งขาคันเร่ง และความเร็วรถยนต์ ณ ขณะนั้น ๆ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 27 กราฟแรงบิดและความเร็วที่ล้อที่ขาคันเร่งตำแหน่งต่าง ๆ [37]

จากนั้นระบบจะคำนวณกำลังที่ผู้ขับต้องใช้ในการขับเคลื่อน (Driver-request output power) จากสมการที่ 4 กำลังที่ใช้ในการขับเคลื่อน

กำลังที่ใช้ในการขับเคลื่อน (driver-request output power) =

แรงบิดที่ใช้ในการขับเคลื่อน (driving torque) x รอบการหมุนของล้อ(wheel rotation speed)

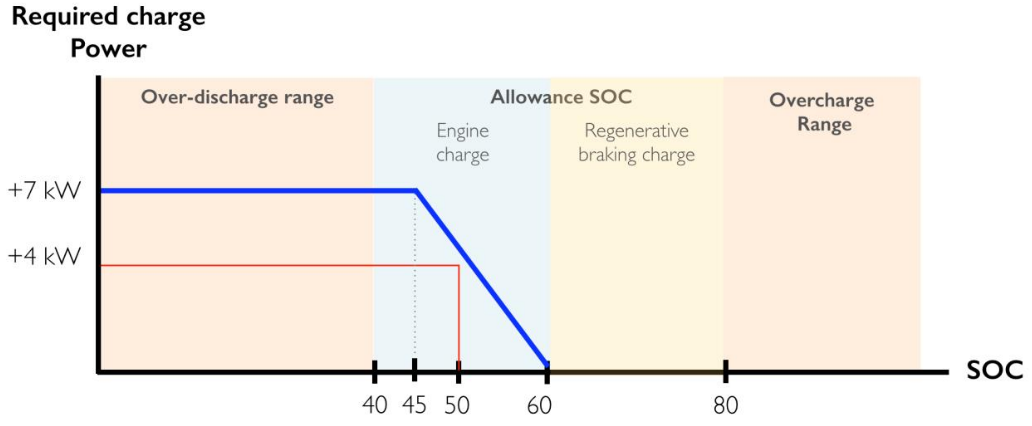
สมการที่ 4 กำลังที่ใช้ในการขับเคลื่อน [37]

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

หลังจากทราบกำลังทั้งหมดที่ต้องการใช้ ระบบจะพิจารณาความต้องการการชาร์จของแบตเตอรี่ไฮบริด โดยพิจารณาจากระดับพลังงานในแบตเตอรี่ (% State of Charge) ณ ขณะนั้น ๆ ปกติช่วงการใช้งานของแบตเตอรี่จะถูกกำหนดไว้ที่ประมาณ 40-80% SOC โดยระบบจะพยายามควบคุมระดับ SOC ให้อยู่ที่ 60% (Target SOC) และจะสำรองความจุแบตเตอรี่ระหว่าง 60-80% ไว้สำหรับ regenerate braking เพื่อป้องกันการชาร์จแบตเตอรี่จนเต็มเกินไปและเพื่อรักษาเสถียรภาพการแบ่งแรงเบครของทั้งสองระบบ ได้แก่ Regenerative braking และ ระบบเบรคไฮดรอลิค เมื่อระดับแบตเตอรี่ลดลงต่ำกว่า 40% ระบบจะสั่งให้เครื่องยนต์สตาร์ทขึ้นเพื่อชาร์จแบตเตอรี่ โดยในสภาวะการทำงานที่ความเร็วเกิน 64 km/h ระบบจะทำการชาร์จดังเส้นกราฟสีน้ำเงินแสดงในรูปที่ 28 หลักการการชาร์จและใช้แบตเตอรี่ของรถยนต์ไฮบริด กล่าวคือ ระบบจะชาร์จแบตเตอรี่จาก 40%SOC จนถึง 60%SOC ซึ่งเป็นระดับสูงสุดที่เครื่องยนต์สามารถชาร์จได้ จากนั้นเครื่องยนต์จะ

หยุดการชาร์จและจะเริ่มนำแบตเตอรี่ไปใช้งาน ขณะใช้งานค่า%SOC จะลดต่ำลงดังนั้นระบบจะนำค่ากำลังที่ต้องใช้เพื่อชาร์จแบตเตอรี่ (Required charge power) ซึ่งสามารถทราบได้จากกราฟเส้นสีน้ำเงินในรูปที่ 28 หลักการการชาร์จและใช้แบตเตอรี่ของรถยนต์ไฮบริด ไปรวมกับค่ากำลังที่ใช้ในการขับเคลื่อนซึ่งสามารถคำนวณจากสมการที่ 5 กำลังที่ต้องการทั้งหมด เพื่อนำไปใช้ตัดสินใจการสตาร์ทเครื่องยนต์

อย่างไรก็ตามจากการสังเกตพฤติกรรมการชาร์จแบตเตอรี่ ที่การใช้งานในการจราจรที่ติดขัดที่มีความเร็วต่ำกว่า 64 km/h พฤติกรรมการชาร์จจะเปลี่ยนไปเล็กน้อย โดยช่วงใช้งานของแบตเตอรี่จะลดลงอยู่ที่ 40-50% ดังเส้นกราฟสีแดงบนรูปที่ 28 หลักการการชาร์จและใช้แบตเตอรี่ของรถยนต์ไฮบริด เมื่อ %SOC ต่ำกว่า 40% เครื่องยนต์จะติดขึ้นเพื่อทำการชาร์จและจะดับลงเมื่อ%SOC เท่ากับ 50%



รูปที่ 28 หลักการการชาร์จและใช้แบตเตอรี่ของรถยนต์ไฮบริด [37]

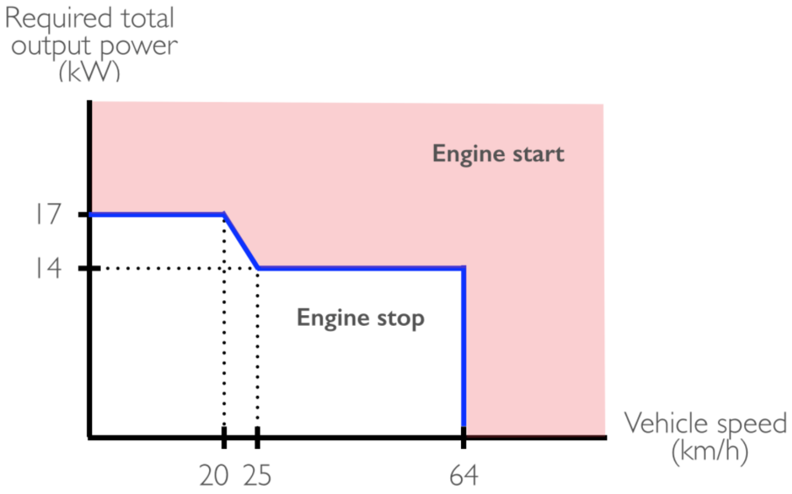
กำลังที่ต้องการทั้งหมด (required total output power) = กำลังที่ใช้ในการขับเคลื่อน (driver-request output power) + กำลังที่ใช้ชาร์จแบตเตอรี่ (require hybrid battery charging power)

สมการที่ 5 กำลังที่ต้องการทั้งหมด [37]

ลักษณะพิเศษของรถยนต์ไฮบริดนั้นจะมีการสตาร์ทและดับเครื่องยนต์ตลอดเวลา ซึ่งการควบคุมการทำงานของเครื่องยนต์นี้จะขึ้นอยู่กับ กำลังที่ต้องการทั้งหมด (Required total output power) ระบบจะนำดังกล่าวมาใช้ในการตัดสินใจสตาร์ทเครื่องยนต์โดยมีเงื่อนไขเป็นไปตามรูปที่ 29 เงื่อนไขที่ใช้พิจารณาการสตาร์ทเครื่องยนต์ เช่น ที่การขับขี่ที่ใช้ความเร็วต่ำกว่า 20 km/h หาก

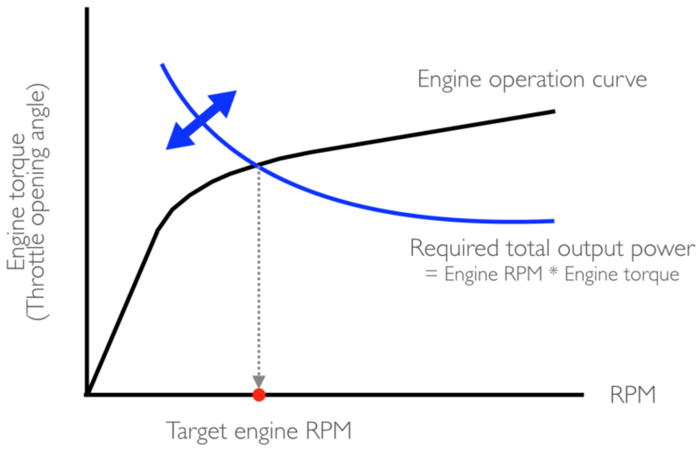
กำลังที่ต้องการทั้งหมดของรถยนต์ต่ำกว่า 17 kW และ %SOC ของแบตเตอรี่สูงกว่า 40% ระบบจะยังสามารถทำงานด้วยพลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่เพียงอย่างเดียว แต่เมื่อใดที่กำลังที่ต้องการมากกว่า 17 kW หรือ %SOC ของแบตเตอรี่ต่ำกว่า 40% เครื่องยนต์จะสตาร์ทขึ้นเพื่อขับเคลื่อนรถยนต์และชาร์จไฟกลับเข้าแบตเตอรี่

นอกจากนี้จากรูปที่ 29 เงื่อนไขที่ใช้พิจารณาการสตาร์ทเครื่องยนต์ พบว่าที่ความเร็วสูงขึ้นขีดจำกัดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการขับเคลื่อนจะต่ำลงและเมื่อความเร็วรถยนต์สูงกว่า 64km/h เครื่องยนต์จะสตาร์ทขึ้นและเป็นทำหน้าที่เป็นตัวขับเคลื่อนหลักแทนพลังงานจากแบตเตอรี่ ยกเว้นขณะเบรคหรือถอนคันเร่ง ระบบ THS จะสั่งการให้เครื่องยนต์หยุดทำงานเพื่อลดการใช้น้ำมันและเกิด Regenerative braking เพื่อดึงพลังงานจากการหยุดรถกลับเข้าแบตเตอรี่



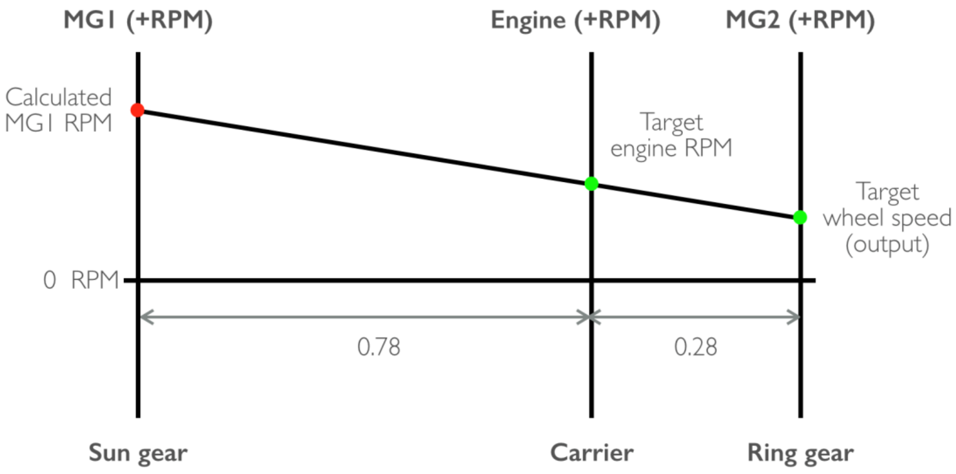
รูปที่ 29 เงื่อนไขที่ใช้พิจารณาการสตาร์ทเครื่องยนต์ [37]

ในกรณีที่ระบบต้องการการทำงานของเครื่องยนต์ การควบคุมจะมีความซับซ้อนมากขึ้น เริ่มจากระบบจะคำนวณหา รอบการทพงานของเครื่องยนต์ (Target engine rpm) ดังรูปที่ 30 การคำนวณรอบการทำงานของเครื่องยนต์ โดยจุดทำงานจะเป็นจุดที่กราฟ กำลังที่ต้องการทั้งหมด (Required total output power) ตัดกับกราฟการทำงานของเครื่องยนต์ (Engine operation curve) นอกจากนี้การเลือกรอบการทำงานของเครื่องยนต์ยังขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพ ณ จุดทำงานของเครื่องยนต์ด้วย ดังนั้นระบบจะพยายามควบคุมให้รอบเครื่องยนต์อยู่ในช่วงที่ให้ประสิทธิภาพการทำงานสูงสุดซึ่งจะต่างจากรถยนต์สันดาปภายในธรรมดาที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงการใช้งานในช่วงประสิทธภาพต่ำได้



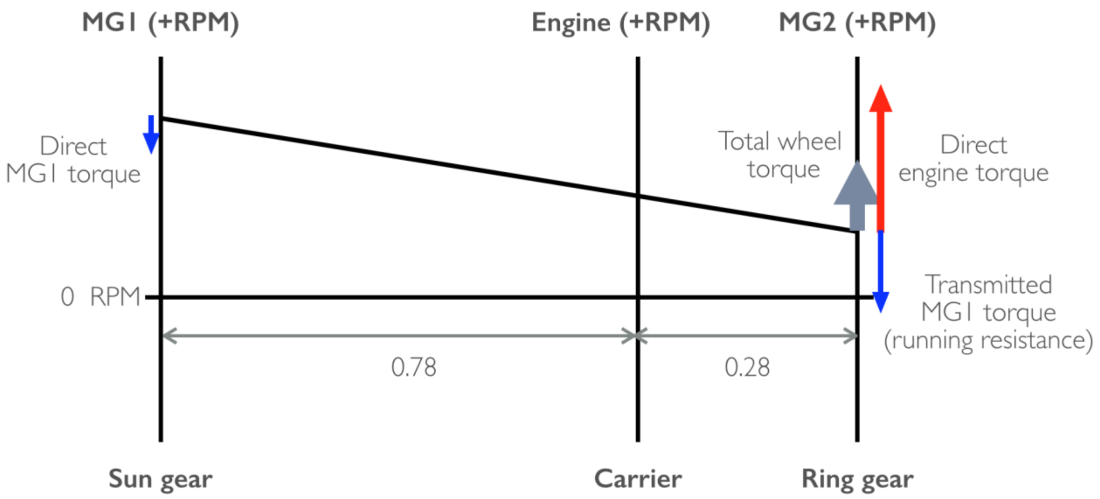
รูปที่ 30 การคำนวณรอบการทำงานของเครื่องยนต์ [37]

หลังจากทราบค่ารอบการทำงานของเครื่องยนต์แล้ว จะทำการคำนวณหารอบการทำงานของ MG1 (Target MG1 rpm) โดยใช้ Nomogram chart สร้างจากความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนฟันเฟืองดังรูปที่ 31 Nomogram chart คำนวณรอบการทำงานของ MG1 ใช้ในการคำนวณรอบการทำงานของชุด Planetary gear รอบการทำงานของ MG2 สามารถคำนวณได้จากความเร็วล้อรถยนต์ดังนั้นเมื่อเราใช้ความสัมพันธ์ของสามเหลี่ยมคล้ายจะทำให้สามารถคำนวณรอบการทำงานของ MG1 และแรงบิดที่ใช้ในการหมุน ณ ความเร็วรอบนั้น ๆ



รูปที่ 31 Nomogram chart คำนวณรอบการทำงานของ MG1 [37]

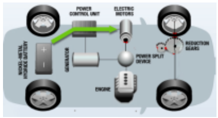
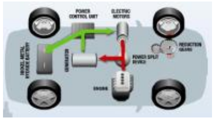
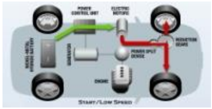
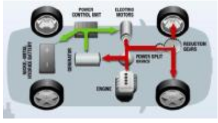
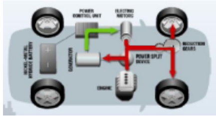
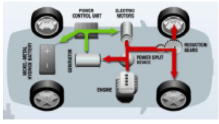
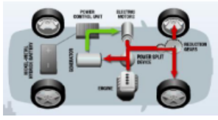
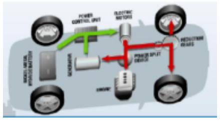
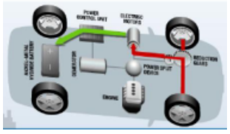
จากนั้นระบบจะทำการคำนวณหาแรงบิดของเครื่องยนต์โดยนำแรงบิดทั้งหมดลบแรงบิดจาก MG1 หากแรงบิดจากเครื่องยนต์และ MG1 ยังไม่เพียงพอ MG2 จะช่วยเสริมแรงบิดในส่วนนั้น หลักการที่ใช้ในการคำนวณแรงระหว่าง Sun gear และ Ring gear คือ สมดุลคานโดยมี Carrier เป็นจุดหมุน สำหรับแรงบิดจากเครื่องยนต์จะถูกส่งไปที่ Ring gear โดยตรงดังรูปที่ 32 Nomogram chart คำนวณแรงบิดรวมของระบบ



รูปที่ 32 Nomogram chart คำนวณแรงบิดรวมของระบบ [37]

เนื่องจากระบบการทำงานของรถยนต์ไฮบริดมีความซับซ้อน เพื่อให้เห็นภาพการทำงานในตารางที่ 9 สรุปลักษณะการทำงานของเครื่องยนต์ MG1และ MG2 จะสรุปถึงลักษณะการทำงานของเครื่องยนต์ MG1 และ MG2 ไว้ตามลักษณะการใช้งาน 5 ลักษณะต่าง ๆ โดยสังเขป

ตารางที่ 9 สรุปลักษณะการทำงานของเครื่องยนต์ MG1และ MG2 [37]

Operation Mode	Engine	MG1	MG2	HV battery	Picture
Idle stage High %SOC Low% SOC	- /	- /	/ /	Discharge Charge (%SOC40–50)	 
Speed<64 km/h High %SOC Low %SOC Low load High load	- / /	- / /	/ / /	Discharge Charge -	  
Speed>=64 km/h Low Load High Load	/ /	/ /	/ /	Charge -	 
High Power	/	/	/	Discharge	
Regenerative	-	-	/	Charge	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 5
ผลการทดสอบ

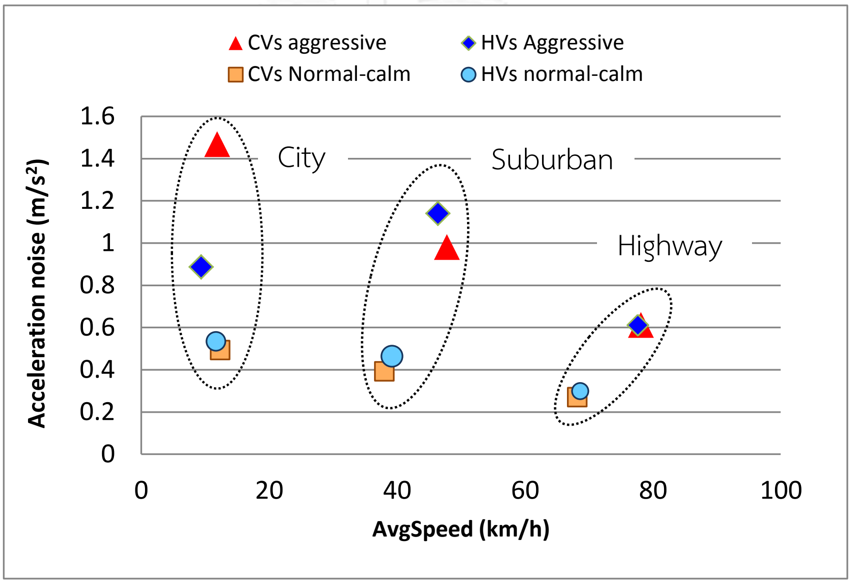
ในส่วนนี้จะแบ่งผลการทดสอบออกเป็นสามส่วน โดย เริ่มจากอธิบายสภาพการจราจรของกรุงทพมหานครและลักษณะการขับขี่ที่ทำการศึกษาและใช้ในการทดสอบ เพื่อนำลักษณะดังกล่าวมาเชื่อมโยงกับลักษณะการใช้น้ำมัน และปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของรถยนต์สันดาปภายใน (CVs) และรถยนต์ไฮบริด (HVs) ซึ่งอยู่ในส่วนที่สอง และเพื่ออธิบายลักษณะการใช้พลังงานของรถยนต์ทดสอบทั้งสองคันที่แตกต่างกัน เพื่อนำไปวิเคราะห์ลักษณะการใช้งานที่เหมาะสมของรถยนต์ประเภทต่าง ๆ โดยข้อมูลทั้งหมดที่นำเสนอคำนวณจากการทดสอบระยะทางมากกว่า 1,000 km ระยะเวลาในการเก็บข้อมูลมากกว่า 32 ชั่วโมง โดยทำการทดสอบในช่วงชั่วโมงเร่งด่วน ซึ่งคิดเป็นข้อมูลทั้งหมดมากกว่า 2,000 Microtrip ที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ครั้งนี้

5.1 ผลการทดสอบการใช้พลังงาน

ในการทดสอบ การเก็บข้อมูลการจราจรจริงเป็นเรื่องยากที่จะควบคุมให้ปัจจัยต่าง ๆ คงที่ ดังนั้นรูปที่ 33 ลักษณะการจราจรที่ทดสอบของรถยนต์สันดาปภายใน (CVs) และรถยนต์ไฮบริด (HVs) จึงใช้ในการอธิบายความแตกต่างของลักษณะการจราจรที่รถยนต์ทดสอบทั้งสองคันทดสอบ เพราะถึงแม้ในการทดลองจะมีการปล่อยรถยนต์ทดสอบในการจราจรเดียวกัน และมีการสลับคนขับให้ทดสอบรถยนต์ทั้งสองคัน แต่ลักษณะเฉพาะของรถยนต์ เช่น อัตราเร่ง ระยะเบรค ของรถยนต์ทั้งสองมีความต่างกัน รวมถึงปัจจัยในการจราจรอีกมากมายที่อยู่นอกเหนือการควบคุม จากข้อมูลพบว่าการขับขี่แบบ Normal-calm รถยนต์สันดาปภายใน (CVs) และ รถยนต์ไฮบริด (HVs) มีความเร็วเฉลี่ย และ Acceleration noise อยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกัน สำหรับการขับขี่แบบ Aggressive พบว่าค่าความเร็วเฉลี่ยของรถยนต์ทั้งสองคันอยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกัน แต่ค่า Acceleration noise ในการจราจรแบบ City และ Suburban ต่างกัน โดยในการจราจรแบบ City รถยนต์สันดาปภายในมีระดับความก้าวร้าวสูงกว่ารถยนต์ไฮบริด ซึ่งอาจเนื่องมาจากลักษณะขาคันเร่งของรถยนต์ไฮบริดมีความไวต่ำกว่ารถยนต์สันดาปภายในมาก โดยเฉพาะขาคันเร่งช่วงต้น กล่าวคือ หากรถทั้งสองคันออกตัวพร้อมกันรถยนต์ไฮบริดจะต้องกดขาคันเร่งในระดับที่ลึกกว่ารถยนต์สันดาปภายใน ซึ่งลักษณะขาคันเร่งที่เป็นเอกลักษณ์ของรถยนต์ไฮบริดนี้สามารถช่วยลดพฤติกรรมการขับขี่แบบ Aggressive ได้ในระดับหนึ่ง ในขณะที่การจราจรแบบ Suburban รถยนต์ไฮบริดมีค่า Acceleration noise สูงกว่ารถยนต์สันดาปภายในซึ่งอาจเนื่องมาจากการขับขี่ที่ความเร็วค่อนข้างสูงขาคันเร่งของรถยนต์ไฮบริดเริ่มมีความไวสูงขึ้นประกอบกับในการจราจรแบบ Suburban เครื่องยนต์ติดทำงานบ่อยครั้งทำให้

ระดับแบตเตอรี่อยู่ในระดับระดับสูงอยู่ตลอดเวลาทำให้ เมื่อเกิดการเร่งรถยนต์ไฮบริดจะนำมอเตอร์ไฟฟ้าเข้ามาช่วยเสริมแรงบิด ซึ่งเป็นการเพิ่มสมรรถนะในการเร่ง และยังช่วยประหยัดน้ำมันได้อีกทางหนึ่ง

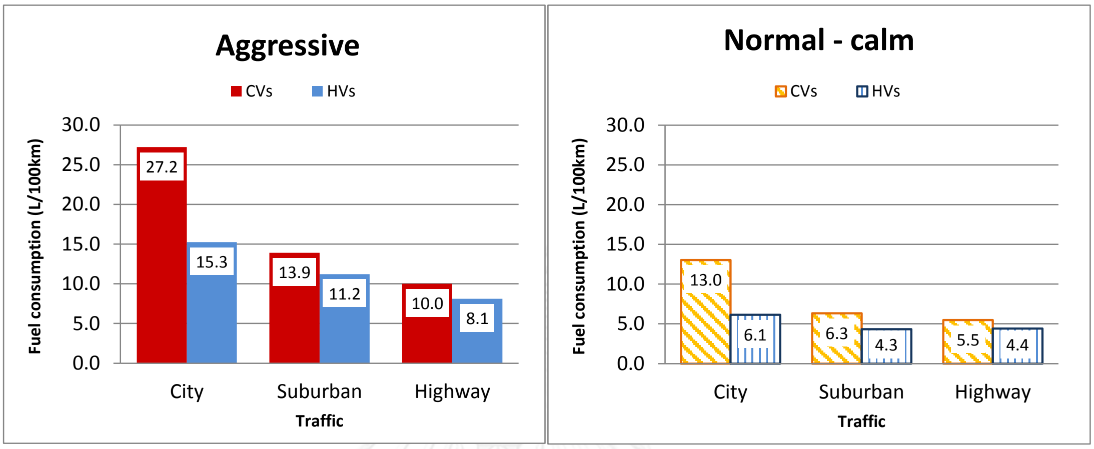
นอกจากนี้จากจากรูปที่ 33 ลักษณะการจราจรที่ทดสอบของรถยนต์สันดาปภายใน (CVs) และรถยนต์ไฮบริด (HVs) พบว่าการขับขี่แบบ Aggressive ในการจราจรแบบ City ไม่ส่งผลต่อเวลาในการเดินทาง กล่าวคือ การขับขี่แบบ Aggressive ไม่ช่วยทำให้ถึงจุดหมายเร็วขึ้น ซึ่งทราบได้จากความเร็วเฉลี่ยของทั้งสองทั้งสองพฤติกรรมอยู่ในระดับเดียวกัน ในขณะที่การขับขี่แบบ Aggressive ในการจราจร Suburban และ Highway สามารถช่วยลดเวลาในการเดินทางได้สูงสุด 28% และ 10% ตามลำดับ จากเวลาที่ใช้ในการเดินทางทั้งหมด



รูปที่ 33 ลักษณะการจราจรที่ทดสอบของรถยนต์สันดาปภายใน (CVs) และรถยนต์ไฮบริด (HVs)

ผลการทดสอบการขับขี่ ที่ใช้พฤติกรรมการขับขี่ในสภาพการจราจรต่าง ๆ ที่กล่าวมาในข้างต้นทำให้รถยนต์สันดาปภายใน (CVs) และรถยนต์ไฮบริด (HVs) มีการใช้พลังงานดังรูปที่ 34 การเปรียบเทียบการใช้พลังงานของรถยนต์สันดาปภายใน (CVs) และรถยนต์ไฮบริด (HVs) โดยแยกตามลักษณะการขับขี่ พบว่าลักษณะการจราจรมีผลต่อการใช้พลังงานของรถยนต์สันดาปภายในและรถยนต์ไฮบริดในทั้งสองพฤติกรรมการขับขี่ โดยพฤติกรรมการขับขี่แบบ Aggressive สามารถทำให้การใช้น้ำมันของรถยนต์ทั้งสองคันเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ในการขับขี่แบบ Normal-calm นั้นอัตราการใช้น้ำมันของรถยนต์สันดาปภายในอยู่ในช่วง 13-5.5 L/100km ในขณะที่รถยนต์ไฮบริดมี

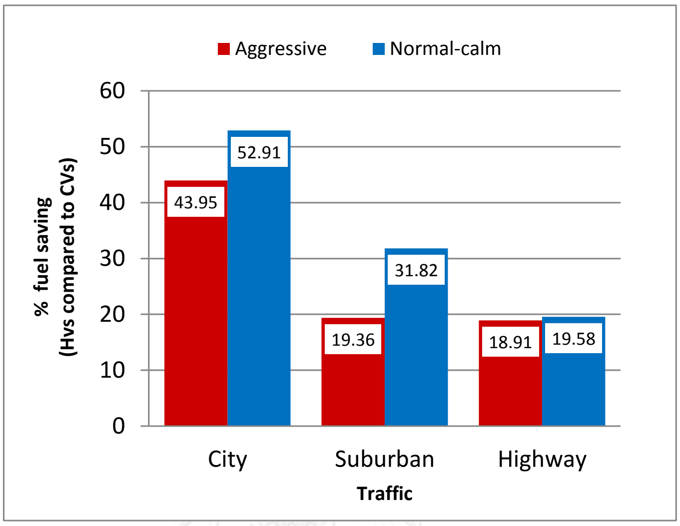
การใช้พลังงานอยู่ในช่วง 6.1-4.4 L/100km ซึ่งอยู่ในช่วงที่แคบกว่ามาก โดยมีแนวโน้มเช่นเดียวกันกับการใช้พฤติกรรมการขับขี่แบบ Aggressive เพราะฉะนั้นจากข้อมูลแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการประหยัดน้ำมันของรถยนต์ไฮบริด ภายใต้การใช้งานในการจราจรที่หลากหลาย หรือ อาจกล่าวได้ว่ารถยนต์ไฮบริดมีความอ่อนไหวในเชิงพลังงานต่อสภาพการจราจร ต่ำกว่ารถยนต์สันดาปภายใน



รูปที่ 34 การเปรียบเทียบการใช้พลังงานของรถยนต์สันดาปภายใน (CVs) และรถยนต์ไฮบริด (HVs) โดยแยกตามลักษณะการขับขี่

จากรูปที่ 35 ความสามารถในการประหยัดน้ำมันของรถยนต์ไฮบริดต่อรถยนต์สันดาปภายในภายใต้ลักษณะการใช้งานต่าง ๆ พบว่ารถยนต์ไฮบริดสามารถลดการใช้น้ำมันจากรถยนต์สันดาปภายในได้ ในทุกลักษณะการขับขี่ โดยประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานที่ได้จากการทดสอบอยู่ในช่วงระหว่าง 18.91-52.91% ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพการจราจร และ พฤติกรรมการขับขี่ เมื่อเปรียบเทียบการขับขี่แบบ Normal-calm พบว่ารถยนต์ไฮบริดสามารถประหยัดน้ำมันได้สูงสุดประมาณ 53% ในการจราจรแบบ City และต่ำสุดในการจราจรแบบ Highway ซึ่งประมาณ 20% สำหรับการขับขี่แบบ Aggressive จากรูปที่ 33 ลักษณะการจราจรที่ทดสอบของรถยนต์สันดาปภายใน (CVs) และรถยนต์ไฮบริด (HVs) แสดงให้เห็นถึงระดับความก้าวร้าวของข้อมูลการจราจรแบบ City และ Suburban มีความแตกต่างกัน ในการจราจรแบบ City พบว่าความสามารถในการประหยัดน้ำมันของรถยนต์ไฮบริดลดลงเหลือประมาณ 44% ซึ่งในการทดสอบรถยนต์สันดาปภายในมีการใช้ความเร่งที่สูงกว่ารถยนต์ไฮบริดมาก ดังนั้นค่าพลังงานของรถยนต์สันดาปภายในควรลดลงหากทดสอบที่ความก้าวร้าวระดับเดียวกันกับรถยนต์ไฮบริด เพราะฉะนั้นแนวโน้มความสามารถในการประหยัดน้ำมันของรถยนต์ไฮบริดควรมีค่าต่ำกว่า 44% ในขณะที่การจราจรแบบ Suburban รถยนต์

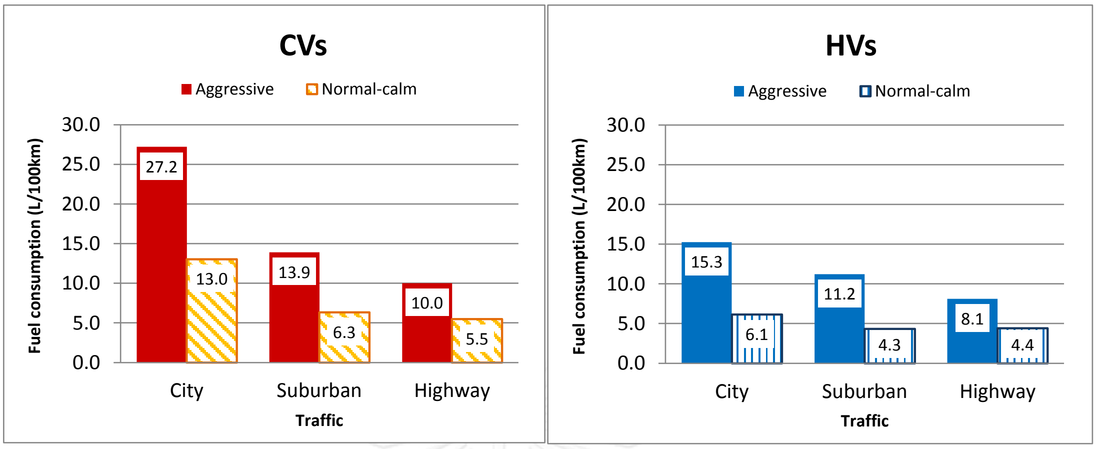
ไฮบริดมีระดับความก้าวร้าวสูงกว่ารถยนต์สันดาปภายในเล็กน้อย ดังนั้นความสามารถในการประหยัดน้ำมันของรถยนต์ไฮบริดควรมีค่าสูงกว่ากว่า 19% เล็กน้อยเช่นกัน อย่างไรก็ตามการขับขี่แบบ Aggressive ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานของรถยนต์ไฮบริดลดลงในทุกลักษณะการจราจร โดยเฉพาะในการจราจรแบบ City และ Suburban



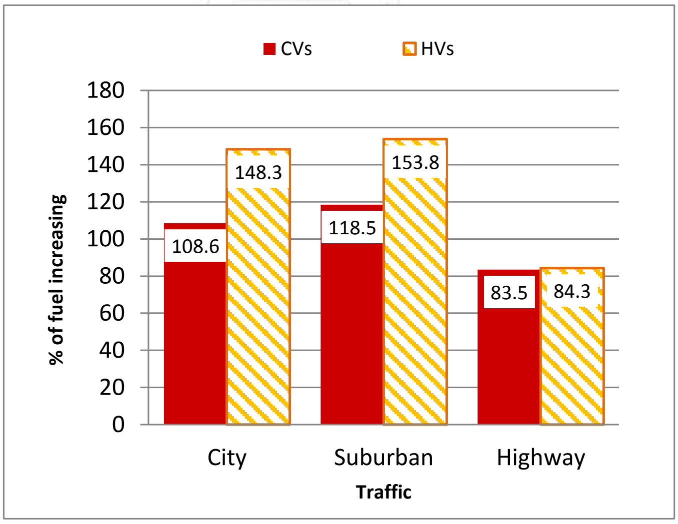
รูปที่ 35 ความสามารถในการประหยัดน้ำมันของรถยนต์ไฮบริดต่อรถยนต์สันดาปภายในภายใต้ลักษณะการใช้งานต่าง ๆ

จากรูปที่ 36 การเปรียบเทียบการใช้พลังงานของรถยนต์สันดาปภายใน (CVs) และรถยนต์ไฮบริด (HVs) โดยแยกตามประเภทรถยนต์ แสดงถึงผลกระทบของพฤติกรรมการขับขี่แบบก้าวร้าวต่ออัตราการใช้น้ำมัน การขับขี่แบบ Aggressive สามารถเพิ่มอัตราการการใช้น้ำมันขึ้น โดยเมื่อคำนวณเป็นเปอร์เซ็นจะได้ผลดังรูปที่ 37 เปอร์เซ็นการเพิ่มขึ้นของอัตราการใช้น้ำมันภายใต้ผลกระทบพฤติกรรมการขับขี่ พบว่าการขับขี่แบบ Aggressive สามารถส่งผลกระทบต่ออัตราการใช้น้ำมันของรถยนต์ทั้งสองคันได้ประมาณสองเท่า เมื่อเปรียบเทียบระหว่างรถยนต์สันดาปภายใน (CVs) และรถยนต์ไฮบริด (HVs) พบว่าสัดส่วนการเพิ่มของอัตราการใช้ของรถยนต์ไฮบริด (HVs) อยู่ที่ 148% 153% และ 84% ตามลำดับซึ่งสูงกว่าสัดส่วนการเพิ่มของอัตราการใช้น้ำมันรถยนต์สันดาปภายใน (CVs) ซึ่งอยู่ที่ 109% 119% และ 84% ตามลำดับ โดยการเพิ่มของอัตราการใช้น้ำมันจะสูงที่สุดในการจราจรแบบ Suburban รองลงมาคือ City และ Highway ถึงแม้ว่ารถยนต์ไฮบริดจะบริโภคน้ำมันต่ำว่ารถยนต์สันดาปภายใน อย่างไรก็ตามสัดส่วนการเพิ่มของอัตราการใช้น้ำมันของรถยนต์

ไฮบริดนั้นสูงกว่ารถยนต์สันดาปภายใน หรืออาจกล่าวได้ว่ารถยนต์ไฮบริดมีความอ่อนไหวในเชิงการใช้พลังงานต่อความก้าวร้าวในการขับขี่สูงกว่ารถยนต์สันดาปภายใน



รูปที่ 36 การเปรียบเทียบการใช้พลังงานของรถยนต์สันดาปภายใน (CVs) และรถยนต์ไฮบริด (HVs) โดยแยกตามประเภทรถยนต์



รูปที่ 37 เปอร์เซ็นการเพิ่มขึ้นของอัตราการใช้น้ำมันภายใต้ผลกระทบพฤติกรรมการขับขี่

5.2 การศึกษาลักษณะการทำงานของรถยนต์ด้วยเทคนิค Microtrip

จากผลการทดสอบข้างต้น ทำให้ทราบถึงอัตราการใช้น้ำมันโดยเฉลี่ยของรถยนต์ทั้งสองประเภท ภายใต้การขับขี่ในลักษณะต่าง ๆ ดังนั้นในหัวข้อนี้จะนำเทคนิคการวิเคราะห์ข้อมูลด้วย Microtrip มาอธิบายลักษณะการใช้พลังงานของรถยนต์ทั้งสองประเภท

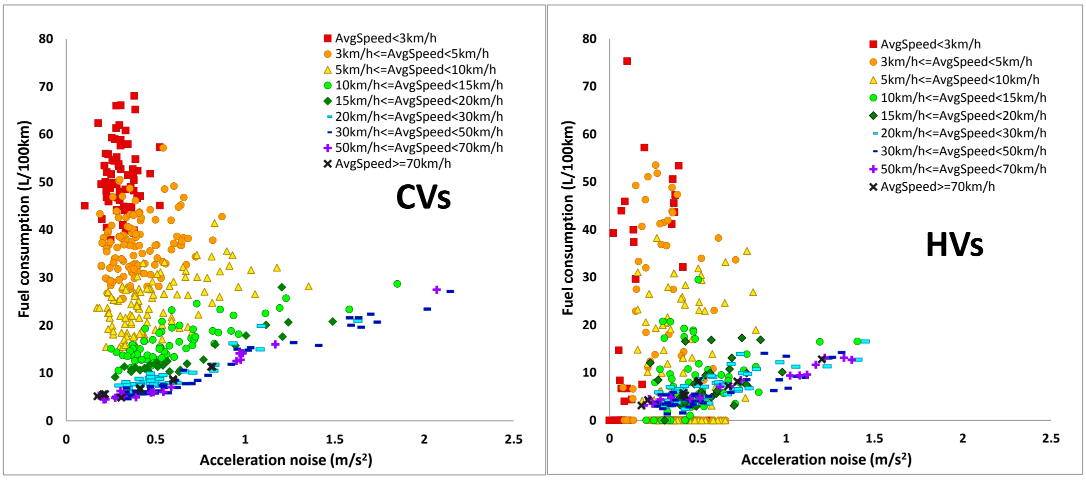
จากรูปที่ 38 การใช้พลังงานของรถยนต์สันดาปภายในและรถยนต์ไฮบริด (ก) หนึ่งจุดข้อมูลแสดงถึงข้อมูลจากหนึ่ง Microtrip โดยข้อมูลทั้งหมดจะถูกแบ่งตามช่วงความเร็วต่าง ๆ สำหรับรถยนต์สันดาปภายในพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการใช้น้ำมัน Acceleration noise และความเร็วเฉลี่ยมีความชัดเจน และให้แนวโน้มที่น่าสนใจอย่างยิ่ง สังเกตได้จากแถบสีข้อมูลที่เรียงเป็นชั้นอย่างเป็นระเบียบ เมื่อความเร็วเฉลี่ยต่ำลงจะพบว่าอัตราการใช้น้ำมันจะสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อความเร็วเฉลี่ยเริ่มเพิ่มขึ้นอัตราการใช้น้ำมันจะลดลง ซึ่งแนวโน้มเช่นนี้คล้ายคลึงกับรถยนต์ไฮบริด อย่างไรก็ตามจากรูปที่ 38 การใช้พลังงานของรถยนต์สันดาปภายในและรถยนต์ไฮบริด (ข) พบว่าการกระจายตัวของข้อมูลของรถยนต์ไฮบริดแตกต่างจากรถยนตสันดาปภายในอย่างชัดเจน กล่าวคือ แถบสีของรถยนต์ไฮบริดมีการกระจายตัวตามแนวดิ่ง โดยเฉพาะข้อมูลช่วงความเร็วต่ำกว่า 20 km/h ลักษณะเช่นนี้เกิดจากลักษณะเฉพาะของระบบการทำงานของรถยนต์ไฮบริดดังที่อธิบายไว้ในบทที่ 4 กล่าวคือ รถยนต์ไฮบริดจะพยายามรักษาประสิทธิภาพการทำงานของระบบเครื่องต้นกำลังให้สูงตลอดเวลาช่วงการทำงาน เป็นผลให้จุดข้อมูลที่มีอัตราการใช้น้ำมันสูง ที่ความเร็วต่ำของรถยนต์ไฮบริดมีตำแหน่งต่ำลงเมื่อเปรียบเทียบกับรถยนต์สันดาปภายใน หรือสามารถลดอัตราการใช้น้ำมันจนเป็นศูนย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งข้อมูล Microtrip ช่วงความเร็วเฉลี่ยต่ำกว่า 20 km/h ซึ่งเป็นช่วงที่เครื่องยนต์สันดาปภายในให้ประสิทธิภาพการทำงานต่ำถึงปานกลาง จะพบว่าจุดข้อมูลในช่วงดังกล่าวของรถยนต์ไฮบริดมีค่าอัตราการใช้น้ำมันลดลงอย่างชัดเจน รวมถึงขณะจอด (Idle) รถยนต์ไฮบริดใช้พลังงานเพียง 6.93 มิลลิลิตร/นาที (mmL/min) ในขณะที่รถยนต์สันดาปภายในใช้พลังงานถึง 20.14 mmL/min ซึ่งระยะเวลาเฉลี่ยในการจอดในแต่ละครั้งอยู่ที่ประมาณ 39.23 s

นอกจากนี้อัตราการใช้น้ำมันในแต่ละช่วงความเร็ว ยังสื่อถึงประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องยนต์ในช่วงความเร็วต่าง ๆ อีกด้วย กล่าวคือ เครื่องยนต์สันดาปภายในจะให้ประสิทธิภาพการทำงานสูงที่ลักษณะการจราจรที่มีความเร็วเฉลี่ยสูงกว่า 20 km/h ขึ้นไป ในขณะที่ความเร็วเฉลี่ยต่ำประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องยนต์จะต่ำ จึงทำให้การขับขี่ในช่วงดังกล่าวมีความสิ้นเปลืองสูง ในขณะที่รถยนต์ไฮบริดสามารถลดการใช้พลังงานลงได้อย่างมีนัยสำคัญ ด้วยการหลีกเลี่ยงการใช้เครื่องยนต์ โดยการนำมอเตอร์ไฟฟ้ามาใช้แทนขณะที่เครื่องยนต์ให้ประสิทธิภาพการทำงานต่ำ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

จากตารางที่ 10 อัตราการใช้น้ำมันตามช่วงความเร็วเฉลี่ยต่าง ๆ และ % EV microtrip พบว่าอัตราการใช้น้ำมันของรถยนต์สันดาปภายในมีอัตราการใช้พลังงานอยู่ระหว่าง 50.91-7.44 L/100km ในขณะที่รถยนต์ไฮบริดสามารถรักษาอัตราการใช้พลังงานให้อยู่ระหว่าง 11.48-6.83 L/100km ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า ความติดขัดของการจราจรส่งผลกระทบต่ออัตราการใช้พลังงานของรถยนต์สันดาปภายในมากกว่ารถยนต์ไฮบริด หรือ อาจกล่าวได้ว่ารถยนต์สันดาปภายในอ่อนไหวต่อสภาพการจราจรในเชิงการใช้น้ำมันมากกว่ารถยนต์ไฮบริด ซึ่งความสามารถในการประหยัดน้ำมันนั้นจะขึ้นอยู่กับลักษณะการจราจร โดยสัดส่วนจำนวน Microtrip ในแต่ละการจราจรเป็นดังรูปที่ 39 สัดจำนวน Microtrip ในแต่ละลักษณะการจราจร ซึ่งมีความสอดคล้องกับผลการทดสอบที่แสดงในบท 5.1 ผลการทดสอบการใช้พลังงาน กล่าวคือ อัตราการใช้พลังงานของรถยนต์ทั้งสองจะสูงที่การจราจรแบบ City และค่อย ๆ ลดลงเมื่อความเร็วสูงขึ้น เนื่องจากลักษณะการจราจรที่เหมาะสมในการใช้งานรถยนต์สันดาปภายใน คือ การจราจรที่มีความเร็วเฉลี่ยสูงกว่า 20 km/h ดังนั้นยิ่งเครื่องยนต์ทำงานที่ความเร็วต่ำบ่อยครั้งจะทำให้เกิดความสิ้นเปลืองมากขึ้น

อย่างไรก็ตามสิ่งสำคัญที่ควรทำความเข้าใจเกี่ยวกับระบบไฮบริด คือ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการขับเคลื่อนล้วนมาจากการปั่นไฟจากเครื่องยนต์ดังที่อธิบายไว้ในบทที่ 4 เมื่อใดที่ระดับแบตเตอรี่ต่ำกว่า 40 %SOC หรือ มีการใช้พลังงานสูงกว่าค่าที่ระบบกำหนด เครื่องยนต์จะติดขึ้นเพื่อขับภาระดังกล่าว ดังนั้นภายในหนึ่ง Microtrip การทำงานของเครื่องต้นกำลังสามารถผสมผสานระหว่างการใช้เครื่องยนต์ การใช้มอเตอร์ไฟฟ้า หรือ ใช้ทั้งสองอย่างควบคู่กัน นอกจากนี้ในขณะที่เครื่องยนต์ทำงาน ระบบสามารถปั่นไฟชาร์จแบตเตอรี่เพื่อเก็บไว้ใช้ในจังหวะการขับขี่ที่เหมาะสม หรือ นำไฟฟ้ามาช่วยเสริมแรงบิดให้เครื่องยนต์ในขณะที่กำลังปั่นไฟ นอกจากนี้ขณะที่ผู้ขับขี่ถอนคันเร่ง หรือ เบรคระบบจะตัดการฉีดน้ำมันของเครื่องยนต์ และใช้ MG2 ในการดึงพลังงานที่สูญเสียจากการเบรคกลับมาใช้ขับเคลื่อนได้อีกครั้ง ด้วยเหตุนี้อัตราการใช้น้ำมันของรถยนต์ไฮบริดจึงมีความผันผวนสูง ซึ่งทราบจากการกระจายตัวของจุดข้อมูล ยิ่งช่วงที่มีการใช้มอเตอร์ไฟฟ้ามาก เช่น ช่วงความเร็วเฉลี่ยต่ำกว่า 20 km/h ความแปรปรวนของอัตราการใช้พลังงานจึงยิ่งสูงตาม นอกจากนี้ในช่วงความเร็วสูงกว่า 20 km/h ก็ยังมีความแปรปรวนปรากฏให้เห็นโดยสังเกตจากขนาดแถบข้อมูลที่กว้างขึ้นเมื่อเทียบกับแถบข้อมูลของรถยนต์สันดาปภายใน



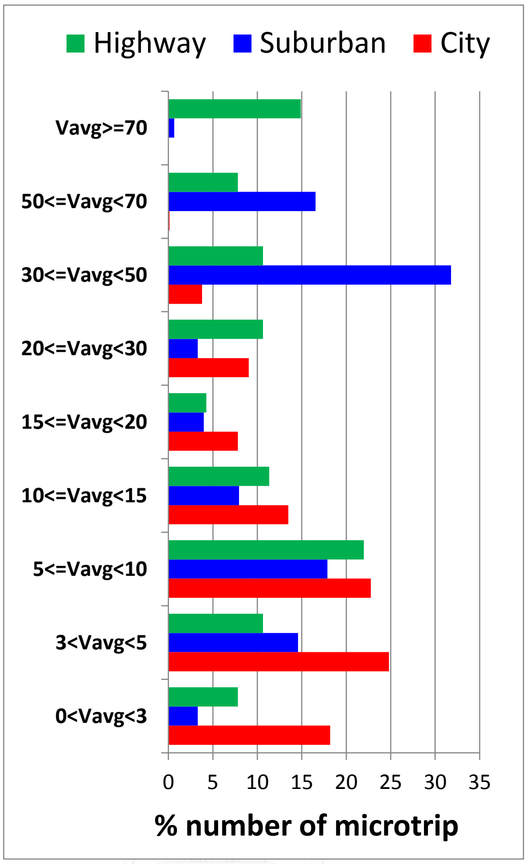
(ก) (ข)

รูปที่ 38 การใช้พลังงานของรถยนต์สันดาปภายในและรถยนต์ไฮบริด

ตารางที่ 10 อัตราการใช้น้ำมันตามช่วงความเร็วเฉลี่ยต่าง ๆ และ % EV microtrip

ช่วงความเร็วเฉลี่ย	อัตราการใช้น้ำมัน		
	CVs	HVs	% EV microtrip
AvgSpeed = 0 km/h (Idle)	20.14 mmL/min	6.93 mL/ min	76.30%
AvgSpeed < 3 km/h	50.91 L/100km	11.48 L/100km	65.63%
3 km/h <= AvgSpeed < 5 km/h	36.53 L/100km	11.30 L/100km	62.50
5 km/h <= AvgSpeed < 10 km/h	23.88 L/100km	9.54 L/100km	46.66
10 km/h <= AvgSpeed < 15 km/h	16.22 L/100km	8.35 L/100km	13.56
15 km/h <= AvgSpeed < 20 km/h	12.78 L/100km	7.68 L/100km	3.23
20 km/h <= AvgSpeed < 30 km/h	9.33 L/100km	7.28 L/100km	0
30 km/h <= AvgSpeed < 50 km/h	10.17 L/100km	5.63 L/100km	0
50 km/h <= AvgSpeed < 70 km/h	9.05 L/100km	7.76 L/100km	0
AvgSpeed >= 70 km/h	7.44 L/100km	6.83 L/100km	0

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

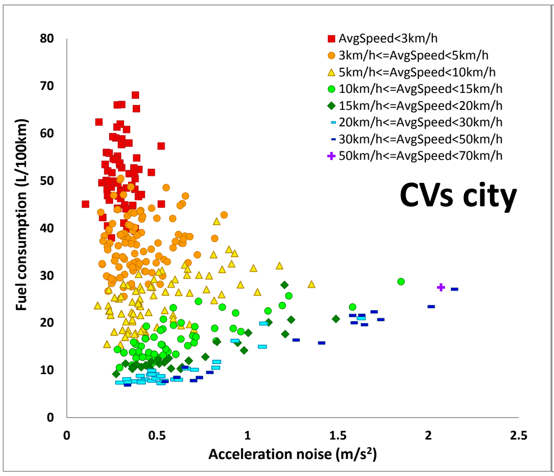


รูปที่ 39 สัดจำนวน Microtrip ในแต่ละลักษณะการจราจร

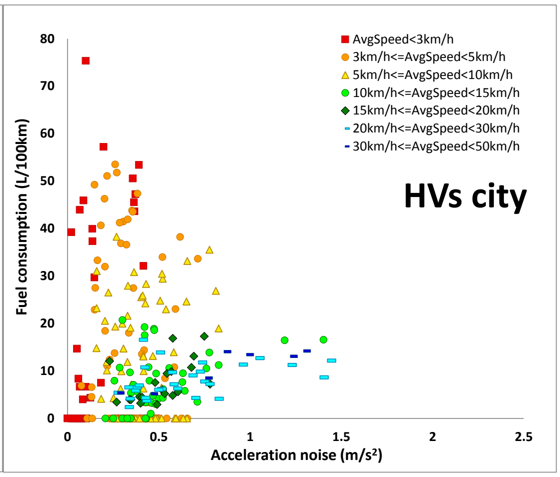
นอกจากนี้จากรูปที่ 40 การใช้พลังงานของรถยนต์สันดาปภายในและรถยนต์ไฮบริด ในการจราจรต่าง ๆ พบว่าในการจราจรแบบ City (ก) และ (ข) เป็นช่วงที่เครื่องยนต์มีการทำงานที่ประสิทธิภาพต่ำ และมีอัตราการใช้น้ำมันค่อนข้างสูงเป็นส่วนใหญ่ ในการจราจรแบบ City มักประกอบด้วย Microtrip ที่มีระยะทางสั้น ความเร็วเฉลี่ยต่ำ โดยส่วนมากความเร็วเฉลี่ยจะต่ำกว่า 15 km/h ซึ่งเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้การจราจรแบบ City มีอัตราการใช้น้ำมันเฉลี่ยสูงกว่าการจราจรแบบอื่น ๆ แต่จากรูปที่ 40 การใช้พลังงานของรถยนต์สันดาปภายในและรถยนต์ไฮบริด ในการจราจรต่าง ๆ จะพบว่ารถยนต์ไฮบริดสามารถลดการทำงานของเครื่องยนต์ที่ประสิทธิภาพต่ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยทราบได้จากความหนาแน่นของจุดข้อมูลสีแดงและสีส้มตกลงสู่ด้านล่าง นอกจากนี้ Microtrip ที่มีความเร็วเฉลี่ยน้อยกว่า 15 km/h มี EV microtrip คิดเป็น 16.67% ของข้อมูลทั้งหมดที่ไม่รวมช่วงจอด (Idle) และเมื่อคำนวณเฉพาะช่วง idle จะคิดเป็น 63% ของช่วง Idle ที่ไม่เกิดการใช้น้ำมัน

สำหรับการจราจรแบบ Suburban และ Highway ดังรูปที่ 40 การใช้พลังงานของรถยนต์สันดาปภายในและรถยนต์ไฮบริด ในการจราจรต่าง ๆ จาก (ก)–(ฉ) พบว่าเครื่องยนต์ทำงานที่ประสิทธิภาพสูงเป็นส่วนใหญ่ และอาจมีการทำงานที่ประสิทธิภาพปานกลางเล็กน้อย ซึ่งเกิดจากช่วงการจราจรติดขัดที่ปะปนอยู่ในการจราจร สำหรับลักษณะการขับขี่ พบว่าความเร็วเฉลี่ยของ Microtrip ส่วนใหญ่อยู่ที่ระหว่าง 20-70 km/h ในขณะที่การจราจรแบบ Highway อยู่ระหว่าง 20 km/h ขึ้นไปโดยการจราจรแบบ Highway จะมี Microtrip ที่ความเร็วเฉลี่ยสูงกว่าการจราจรแบบ Suburban แต่มีค่า Acceleration noise ต่ำกว่าการจราจรแบบ Suburban

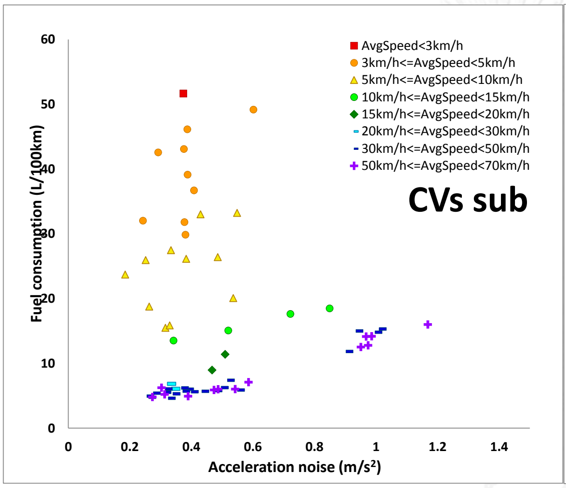
จากลักษณะการจราจรของ City และ Highway ที่ความเร็วเฉลี่ยสูงกว่า 20 km/h มักเป็นช่วงที่มีการใช้ความเร็วเกิน 64 km/h ซึ่งความเร็วที่ระบบ THS จำกัด หรือ มีการใช้พลังงานเกินค่าที่ THS กำหนดไว้ ซึ่งอยู่ระหว่าง 14-17 kW จึงทำให้ระบบใช้เครื่องยนต์ในการขับเคลื่อนเป็นหลักในการจราจรแบบ Suburban และ Highway ทำให้เกิดข้อแตกต่างระหว่างลักษณะการใช้น้ำมันของรถยนต์สันดาปภายใน และ รถยนต์ไฮบริด กล่าวคือ ที่ความเร็วเฉลี่ยสูงกว่า 20 km/h ลักษณะการใช้น้ำมันของรถยนต์ไฮบริด จะมีแนวโน้มใกล้เคียงกับรถยนต์สันดาปภายใน แต่แถบข้อมูลของรถยนต์ไฮบริดมีการกระจายตัวมากกว่า เนื่องจากขณะที่มีการเร่งอย่างฉับพลัน ระบบจะนำมอเตอร์ไฟฟ้ามาช่วยเสริมแรงบิด เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเร่ง และประหยัดพลังงาน นอกจากนี้ขณะที่เครื่องยนต์ของรถยนต์ไฮบริดทำงาน ระบบจะแบ่งพลังงานส่วนหนึ่งชาร์จไฟเก็บเข้าแบตเตอรี่ และนำมาใช้ขับเคลื่อน Microtrip ที่มีความเร็วเฉลี่ยต่ำจึงทำให้จุดข้อมูลของรถยนต์ไฮบริดที่ความเร็วเฉลี่ยต่ำมีอัตราการใช้น้ำมันที่ต่ำลง และบางส่วนเป็นการขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้าตลอดทั้ง Microtrip (EV microtrip) ซึ่งคิดเป็น 18.13% และ 14.12% ในการจราจรแบบ Suburban และ Highway ตามลำดับ มากกว่านั้นรถยนต์ไฮบริดยังสามารถดึงพลังงานจากการเบรค และช่วงลงทางชันกลับมาใช้ได้อีกครั้ง ซึ่งเป็นข้อได้เปรียบในการใช้งานในการจราจรแบบ Suburban และ Highway เมื่อเปรียบเทียบกับการจราจรแบบ City เนื่องจาก Regenerative braking จะทำงานได้มากในช่วงการเบรคที่ความเร็วสูง และปานกลาง



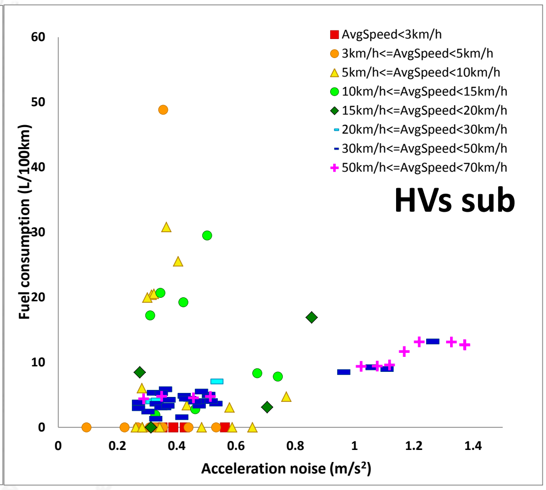
(ก)



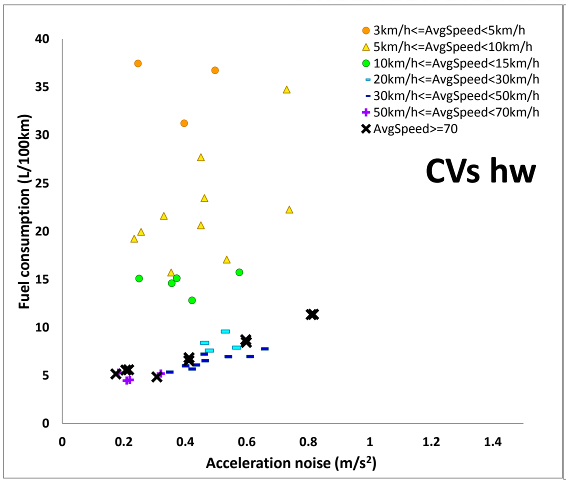
(ข)



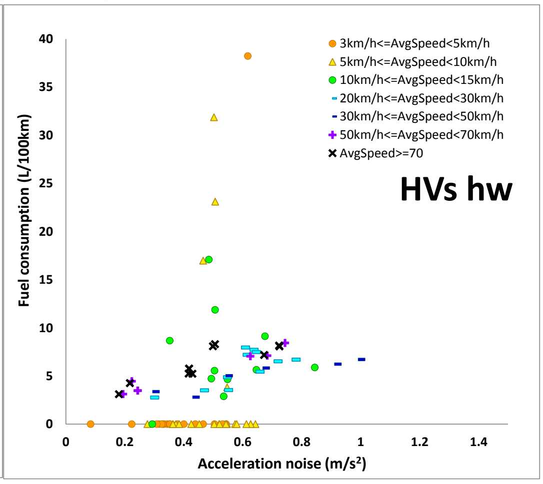
(ค)



(ง)



(จ)

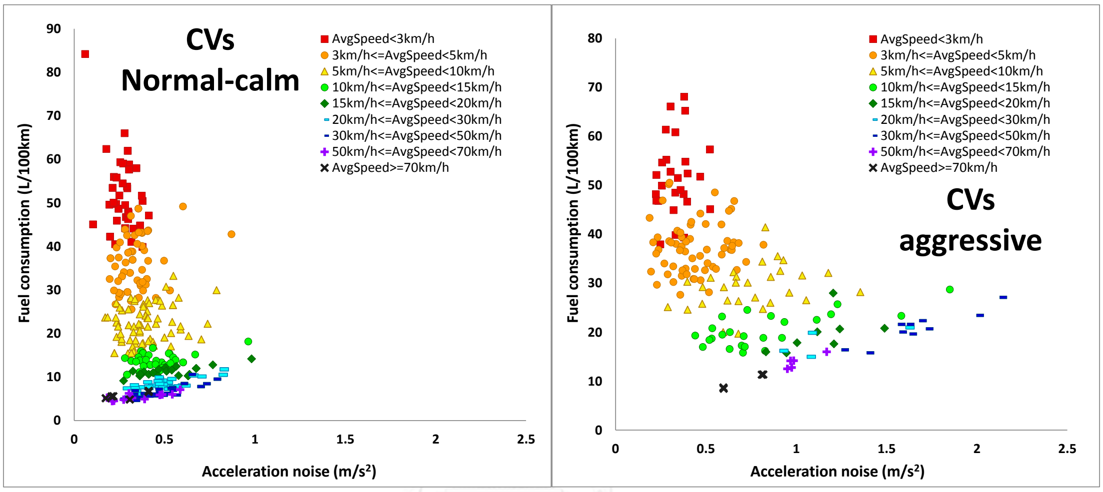


(ฉ)

รูปที่ 40 การใช้พลังงานของรถยนต์สันดาปภายในและรถยนต์ไฮบริด ในการจราจรต่าง ๆ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สำหรับพฤติกรรมการขับขี่จากรูปที่ 41 การใช้พลังงานของรถยนต์สันดาปภายในแยกตามพฤติกรรมการขับขี่ พบว่าการใช้พฤติกรรมการขับขี่แบบ Aggressive (ข) จะทำให้อัตราการใช้น้ำมันของรถยนต์สันดาปภายในเพิ่มสูงขึ้นจากการขับขี่แบบ Normal-calm โดยข้อมูลการขับขี่แบบ Aggressive จะเคลื่อนเฉียงขึ้นไปทางขวาเล็กน้อย ซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนในข้อมูลที่ความเร็วเฉลี่ยกว่า 5 km/h ขึ้นไป โดยยิ่งความเร็วสูงขึ้น ความ Aggressive จะยิ่งปรากฏชัดเจนขึ้น



(ก) (ข)

รูปที่ 41 การใช้พลังงานของรถยนต์สันดาปภายในแยกตามพฤติกรรมการขับขี่

จากหลักการทำงานของรถยนต์ไฮบริด สัดส่วนการทำงานระหว่างมอเตอร์ไฟฟ้า และเครื่องยนต์ จะขึ้นอยู่กับพลังงานที่ผู้ขับขี่ต้องการใช้ ซึ่งระบบจะคำนวณจากตำแหน่งขาคันเร่ง และความเร็วของรถยนต์ ดังนั้นพฤติกรรมการขับขี่แบบ Aggressive ที่ผู้ขับมักมีการเหยียบคันเร่งในระดับที่ลึกกว่า และใช้ความเร็ว ความเร่งในระดับสูงกว่าการขับขี่แบบ Normal-calm จึงสามารถส่งผลกระทบโดยตรงต่อการทำงาน และอัตราการใช้น้ำมันของรถยนต์ไฮบริด

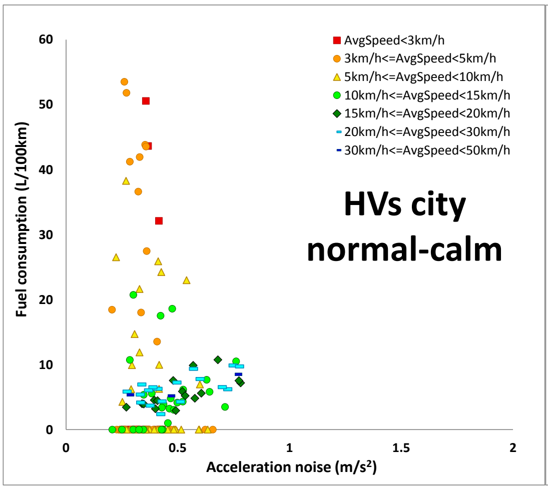
จากรูปที่ 42 การใช้พลังงานของรถยนต์ไฮบริดแยกตามสภาพการจราจร และพฤติกรรมการขับขี่พบว่าในการจราจรแบบ City และ Suburban ระดับความ Aggressive ในการขับขี่ สามารถเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับการขับขี่แบบ Normal-calm อย่างชัดเจน ในขณะที่ Highway การวางตัวของจุดข้อมูลของทั้งสองพฤติกรรมยมีความคล้ายคลึงกัน แต่เมื่อพิจารณาที่ Microtrip ความเร็วเฉลี่ยสูง พบว่ามีระดับความ Aggressive ที่ต่างกัน

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างรูป (ก) และ (ข) พบว่าลักษณะการขับขี่แบบ Aggressive มีค่า Acceleration noise สูงสุดอยู่ที่ 1.48 m/s^2 ในขณที่การขับขี่แบบ Normal-calm มีค่าอยู่ที่ 0.78 m/s^2 เมื่อพิจารณา Microtrip ที่มีความเร็วเฉลี่ยต่ำพบว่า% EV microtrip ของการขับแบบ Aggressive และ Normal-calm อยู่ที่ 9.6% และ 22% การขับแบบ Normal-calm มอเตอร์ไฟฟ้าสามารถขับ Microtrip ที่มีขนาดใหญ่กว่าและมีความเร็วเฉลี่ยไม่เกิน 15 km/h ในขณะที่การขับแบบ Aggressive EV microtrip มีขนาเล็กและความเร็วเฉลี่ยต่ำกว่า โดยความเร็วเฉลี่ยสูงสุดที่ทำได้ในการทดสอบอยู่ที่ไม่เกิน 10 km/h นอจากนี้ที่ความเร็ว 10-50 km/h ในบริเวณที่มี acceleration noise ในระดับใกล้เคียงกันพบว่าอัตราการใช้น้ำมันของการขับแบบ Normal-calm มีค่าต่ำกว่าและมีแถบการใช้พลังงานที่กว้างกว่า การขับแบบ Aggressive ซึ่งลักษณะการใช้น้ำมันที่แตกต่างระหว่างสองพฤติกรรมนั้นเกิดจาก การขับขี่แบบ Aggressive จะใช้ความเร่งและความเร็วสูงกว่าทำให้เครื่องยนต์ต้องติดขึ้นและมีการใช้ MG2 เพื่อสร้างแรงบิดเสริมช่วยในการเร่งความเร็ว ดังนั้นประมาณไฟฟ้าที่ชาร์จเข้าแบตเตอรี่จึงมีปริมาณน้อย ทำให้ไม่เพียงพอในการขับ Microtrip ขนาดใหญ่ และการทำงานของมอเตอร์ที่ความเร็วสูงจะลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลจาก Normal-calm

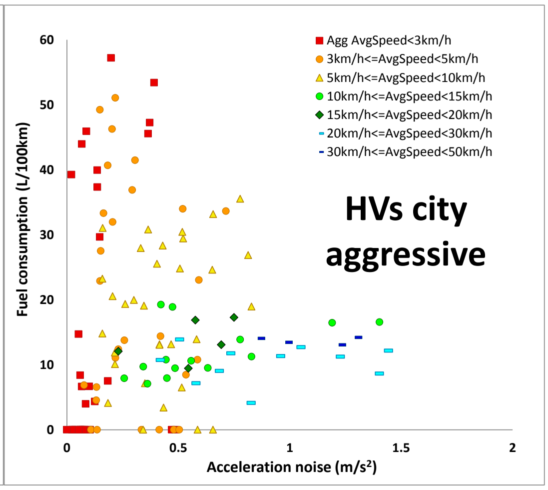
ในการจราจรแบบ Suburban (ค) และ (ง) มีความเร็วเฉลี่ย Microtrip หลักอยู่ในช่วง 30-70 km/h โดยการขับขี่แบบ Aggressive Microtrip ส่วนใหญ่จะอยู่ที่ 50-70 km/h และมี Acceleration noise อยู่ในช่วง 1.1-1.3 m/s^2 ในขณะที่การขับขี่แบบ Normal-calm จะอยู่ที่ 30-50 km/h และมี Acceleration noise อยู่ในช่วง 0.3-0.5 m/s^2 จึงทำให้การขับขี่แบบ Normal-calm ประหยัดน้ำมันมากกว่าชัดเจน และเมื่อสังเกตรูป (ง) พบว่าแถบข้อมูลมีการกระจายตัวสูงกว่ารูป (ค) ซึ่งแสดงถึงการใช้เมอเตอร์ไฟฟ้าเข้ามาช่วยขับเคลื่อน

CHULALONGKORN UNIVERSITY

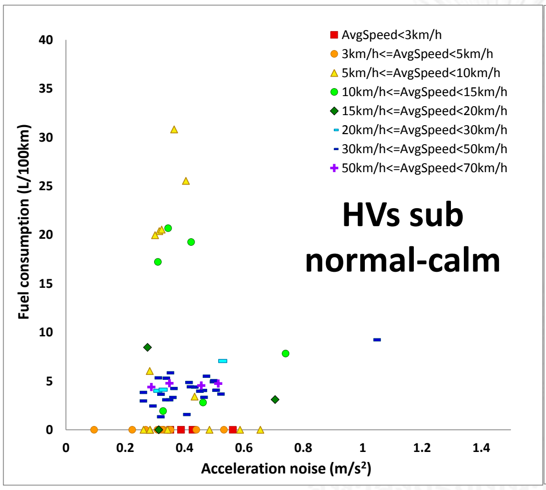
สำหรับการจราจรแบบ Highway พบว่าข้อมูล Microtrip หลักมีการใช้ความเร็วเฉลี่ยอยู่ที่ 50 km/h ขึ้นไป โดยอาจมีการติดขัดในบางช่วงจึงทำให้ข้อมูลบางส่วนมีความเร็วเฉลี่ยอยู่ในช่วง 10-20 km/h จากรูป (จ) และ (ฉ) จะพบว่าการขับขี่แบบ Aggressive มีค่า Acceleration noise สูงกว่าซึ่งอยู่ในระดับ 0.5-0.7 m/s^2 ในขณะที่การขับแบบ Normal-calm มีค่า Acceleration noise อยู่ที่ 0.2-0.4 m/s^2 ซึ่งมีผลโดยตรงทำให้อัตราการใช้น้ำมันเพิ่มสูงขึ้น



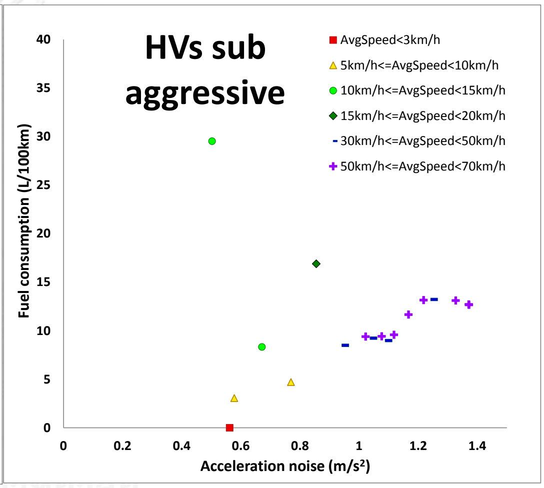
(ก)



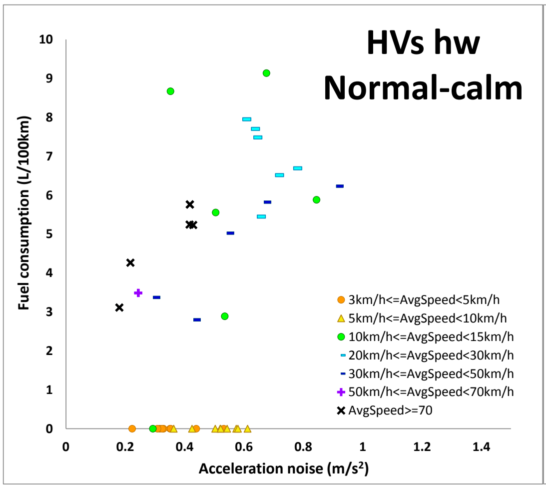
(ข)



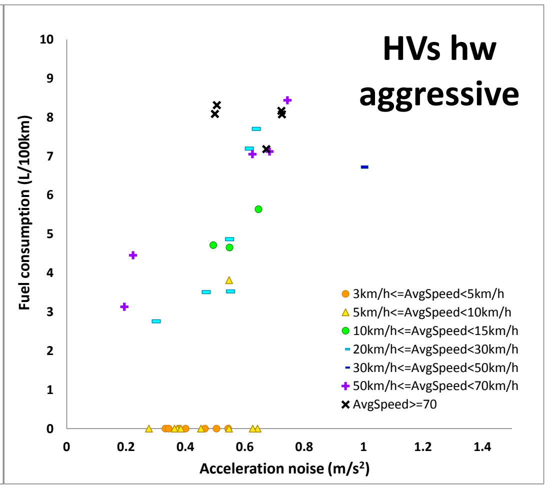
(ค)



(ง)



(จ)



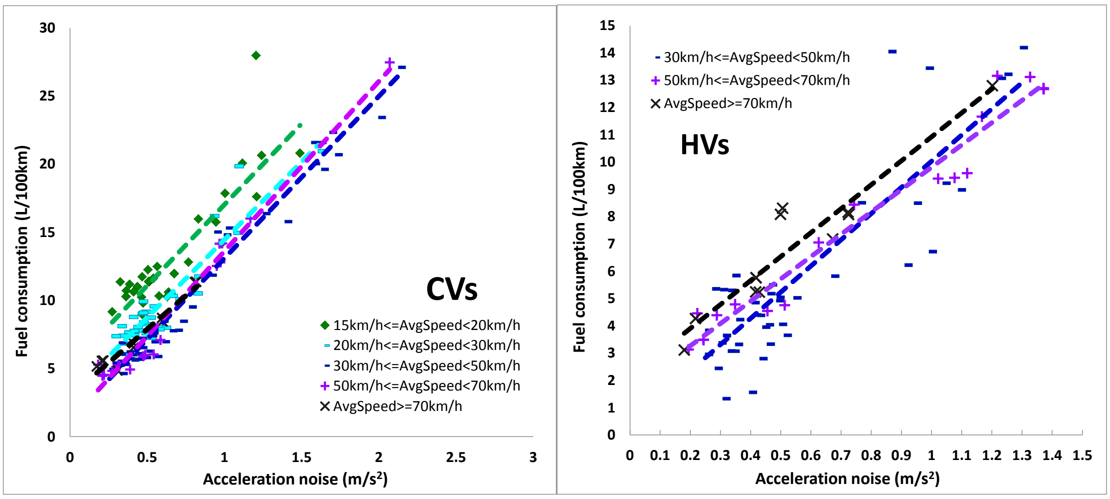
(ฉ)

รูปที่ 42 การใช้พลังงานของรถยนต์ไฮบริดแยกตามสภาพการจราจร และพฤติกรรมการขับขี่

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างรถยนต์ทั้งสองคัน พบว่าในการจราจรแบบ City ไฮบริดมีข้อมูล Acceleration noise ต่ำกว่ารถยนต์สันดาปภายในตั้งแต่ช่วงความเร็วเฉลี่ยมากกว่า 5 km/h โดยค่า Acceleration noise สูงสุดที่รถยนต์สันดาปภายในทำได้อยู่ที่ประมาณ 2.1 m/s^2 ในขณะที่รถยนต์ไฮบริดอยู่ที่ 1.5 m/s^2 ซึ่งเป็นผลมาจากลักษณะขาคันเร่งของรถยนต์ไฮบริดที่มีความหน่วงมากกว่ารถยนต์สันดาปภายในในช่วงต้น กล่าวคือ ต้องกดคันเร่งลึกกว่าเพื่อให้ได้ความเร็วและความเร่งในระดับเดียวกัน อย่างไรก็ตามการจราจรแบบ Suburban รถยนต์ไฮบริดมีค่า Acceleration noise สูงกว่ารถยนต์สันดาปภายใน โดยค่าสูงสุดที่รถยนต์ไฮบริดทำได้อยู่ที่ 1.37 m/s^2 ในขณะที่รถยนต์สันดาปภายในทำได้เพียง 1.16 m/s^2 รวมถึงการจราจรใน Highway รถยนต์ไฮบริดมีค่า Acceleration noise อยู่ที่ 0.9 m/s^2 แต่รถยนต์สันดาปภายในทำได้เพียง 0.8 m/s^2 ซึ่งข้อมูลที่ได้กล่าวมาข้างต้น สามารถนำไปสู่การศึกษาผลกระทบจากลักษณะการตอบสนองของรถยนต์ไฮบริดต่อลักษณะการเคลื่อนตัวของการจราจรได้

นอกจากนี้รูปที่ 43 การเปรียบเทียบผลกระทบจากพฤติกรรมการขับขี่ต่ออัตราการใช้พลังงานของรถยนต์สันดาปภายในและรถยนต์ไฮบริด โดยข้อมูลในแต่ละช่วงความเร็วเฉลี่ยมีแนวโน้มเป็นเส้นตรง ที่มีค่า R^2 มากกว่า 0.7 พบว่าความชันสมการเส้นตรงของรถยนต์สันดาปภายในมีความชันมากกว่ารถยนต์ไฮบริด ในช่วงความเร็วเฉลี่ย 30<=Vavg<50 50<=Vavg<70 และ Vavg>=70 กล่าวคือ ภายใต้การขับขี่ในช่วงความเร็วเฉลี่ยดังกล่าว เมื่อพฤติกรรมการขับขี่ก้าวร้าวมากขึ้นอัตราการใช้น้ำมันของรถยนต์สันดาปภายในจะเพิ่มขึ้นในสัดส่วนที่มากกว่ารถยนต์ไฮบริด หรือ อาจกล่าวได้ว่ารถยนต์สันดาปภายในมีความอ่อนไหวต่อพฤติกรรมการขับขี่ที่ก้าวร้าว มากกว่ารถยนต์ไฮบริดในเชิงการใช้พลังงาน ในช่วงการขับขี่ที่ความเร็วเฉลี่ยมากกว่า 30 km/h ขึ้นไป จากผลการทดสอบนี้แสดงว่ารถยนต์ไฮบริดนั้นสามารถขับขี่ให้ประหยัดพลังงานได้ง่ายกว่ารถยนต์สันดาปภายในประมาณ 30 %

นอกจากนี้ผลการทดสอบที่ได้ พบว่ามีความขัดแย้งกับงานวิจัยของ Sherer et al. (2007) ที่ได้กล่าวไว้ว่า รถยนต์ไฮบริดมีความอ่อนไหวต่อพฤติกรรมการขับขี่ที่ก้าวร้าวมากกว่ารถยนต์สันดาปภายใน โดย Sherer et al. (2007) ได้ทำการทดสอบภายใต้วัฏจักรการขับขี่แบบ UDDS ที่มีความเร็วเฉลี่ยประมาณ 37 km/h



(ก) (ข)

รูปที่ 43 การเปรียบเทียบผลกระทบจากพฤติกรรมการขับขี่ต่ออัตราการใช้พลังงานของรถยนต์สันดาปภายในและรถยนต์ไฮบริด

ตารางที่ 11 สมการ Regression และ R^2 ที่ความเร็วเฉลี่ย 30 km/h ขึ้นไป

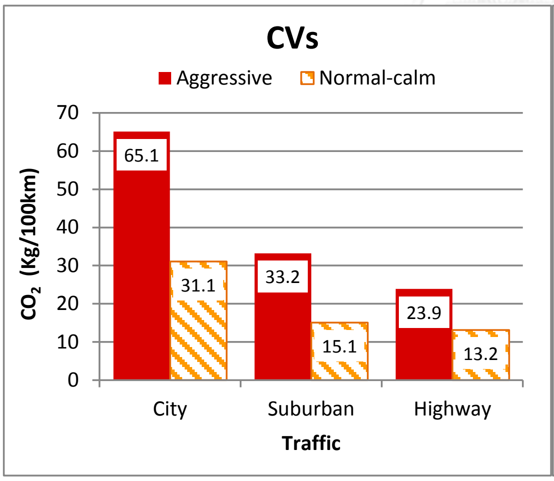
Powertrain	CVs		HVs	
Vavg (km/h)	สมการ Regression	R2	สมการ Regression	R2
30<=Vavg<50	y = 11.9x + 1.2	R^2 = 0.9	y = 9.60x + 0.43	R^2 = 0.76
50<=Vavg<70	y = 12.5x + 1.1	R^2 = 0.97	y = 8.18x + 1.63	R^2 = 0.96
Vavg>=70	y = 9.80x + 3.0	R^2 = 0.95	y = 8.77x + 2.15	R^2 = 0.89

CHULALONGKORN UNIVERSITY

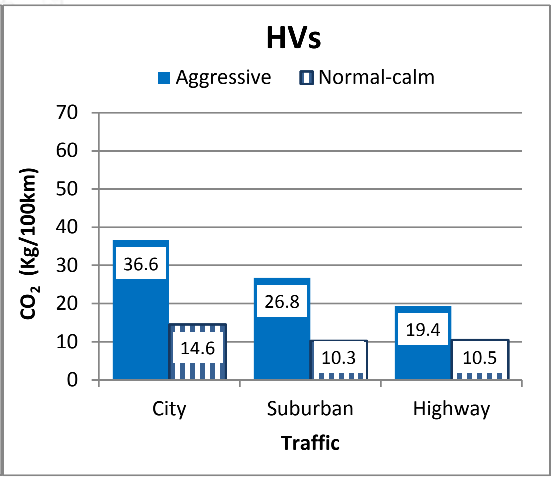
5.3 ผลการทดสอบปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

จากสถิติการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของประเทศไทยในช่วงปี 2010-2014 พบว่าภาคการจราจรขนส่งเป็นภาคที่มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากถึง 24,031.17 KTon ต่อปี ซึ่งคิดเป็น 92.13% ของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งหมดในบริเวณกรุงเทพมหานคร

จากการทดสอบพบว่า รถยนต์ไฮบริดสามารถช่วยลดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ต่อการขับทุก ๆ 100 km ในการจราจรแบบ City Suburban และ Highway ดังรูปที่ 44 การเปรียบเทียบการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของรถยนต์สันดาปภายใน (CVs) และรถยนต์ไฮบริด (HVs) โดยคิดจากวิธีสมดุลคาร์บอน น้ำมัน 1 ลิตรเท่ากับคาร์บอนไดออกไซด์ปริมาณ 2,392 gram [11] จากการทดสอบ ในการขับขี่แบบ Normal-calm ทุก ๆ 100 km รถยนต์สันดาปภายในจะปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ระหว่าง 13.2-31.1 kg/100km ในขณะที่รถยนต์ไฮบริดสามารถลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลงอยู่ในช่วง 10.5-14.6 kg/100km โดยในการจราจรแบบ City รถยนต์ไฮบริดจะสามารถลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้สูงสุดถึง 53.1% และ 31.7% 20.0% สำหรับการจราจรแบบ Suburban และ Highway จากรถยนต์สันดาปภายใน



(ก)



(ข)

รูปที่ 44 การเปรียบเทียบการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของรถยนต์สันดาปภายใน (CVs) และรถยนต์ไฮบริด (HVs)

บทที่ 6
สรุปผลการทดสอบ

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างสภาพการจราจรติดขัดและเคลื่อนตัวได้ดี พบว่าลักษณะการจราจรส่งผลต่ออัตราการใช้พลังงานของรถยนต์สันดาปภายในและรถยนต์ไฮบริด 136% 41.8% ภายใต้พฤติกรรมการขับขี่แบบ Normal-calm และ 172% 88.9% ภายใต้พฤติกรรมการขับขี่แบบ Aggressive ตามลำดับ การขับขี่ที่ความเร็วเฉลี่ยต่ำเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ การขับขี่ในกรุงเทพมหานครภายใต้การขับขี่แบบ Normal-calm อัตราการใช้พลังงานของรถยนต์สันดาปภายในอยู่ระหว่าง 5.5-13 L/100km รถยนต์ไฮบริดอยู่ระหว่าง 4.4-6.1 L/100km ซึ่งไฮบริดสามารถลดการใช้พลังงานจาก รถยนต์สันดาปภายใน ได้ 53% 32% และ 20% ในการจราจรแบบ City Suburban และ Highway ตามลำดับ และเมื่อใช้พฤติกรรมการขับขี่แบบก้าวร้าว ความสามารถในการประหยัดพลังงานจะลดลงเหลือ 44% 19% และ 19%

สำหรับการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จากการทดสอบในการขับขี่แบบ Normal-calm ทุก ๆ 100 km รถยนต์สันดาปภายในจะปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ระหว่าง 13.2-31.1 kg/100km ในขณะที่รถยนต์ไฮบริดสามารถลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลงอยู่ในช่วง 10.5-14.6 kg/100km โดยในการจราจรแบบ City รถยนต์ไฮบริดจะสามารถลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้สูงสุดถึง 53.1% และ 31.7% 20.0% สำหรับการจราจรแบบ Suburban และ Highway

สำหรับพฤติกรรมการขับขี่แบบ Aggressive จะกระทบต่ออัตราการใช้พลังงานมากสุดในการจราจรแบบ City และ Suburban โดยรถยนต์สันดาปภายในเพิ่มสูงสุดประมาณ 100% และรถยนต์ไฮบริดเพิ่มสูงสุดประมาณ 150% และใน Highway เพิ่มสูงสุดประมาณ 80% ทั้งนี้การขับแบบ Aggressive ไม่ช่วยทำให้ถึงจุดหมายเร็วขึ้นในการจราจรแบบ City แต่ในการจราจรแบบ Suburban และ Highway สามารถทำให้ถึงจุดหมายเร็วขึ้น 28% และ 10% ของเวลาที่ใช้ในการเดินทางทั้งหมดตามลำดับ

นอกจากนี้การวิเคราะห์ผลด้วย A_{noise} และ Microtrip สามารถระบุความอ่อนไหวในการเพิ่มของอัตราการใช้พลังงานต่อความก้าวร้าวในการขับขี่ ที่ความเร็วเฉลี่ยสูงกว่า 30 km/h พบว่ารถยนต์สันดาปภายในมีความอ่อนไหวมากกว่า รถยนต์ไฮบริดโดยค่าความชันเฉลี่ยต่างกันประมาณ 30% ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า ในช่วงความเร็วดังกล่าวรถยนต์ไฮบริดง่ายต่อการขับขี่ให้ประหยัดน้ำมันมากกว่ารถยนต์สันดาปภายใน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายการอ้างอิง

1. 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.
2. De Vlieger, I., D. De Keukeleere, and J.G. Kretzschmar, Environmental effects of driving behaviour and congestion related to passenger cars. Atmospheric Environment, 2000. 34(27): p. 4649-4655.
3. Graver, B.M., H.C. Frey, and H.-W. Choi, In-Use Measurement of Activity, Energy Use, and Emissions of a Plug-in Hybrid Electric Vehicle. Environmental Science & Technology, 2011. 45(20): p. 9044-9051.
4. Atabani, A.E., et al., A review on global fuel economy standards, labels and technologies in the transportation sector. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2011. 15(9): p. 4586-4610.
5. กระทรวงพลังงาน, สถิติพลังงานของประเทศไทย (เบื้องต้น), ศ. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, Editor. 2012.
6. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, ข่าวสารสิ่งแวดล้อม. 2008.
7. กระทรวงพลังงาน, สถิติการใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกบริเวณกรุงเทพมหานครปี 2005-2012. 2012.
8. กระทรวงคมนาคม, โครงการศึกษาเพื่อจัดทำแผนแม่บทในการพัฒนาระบบการขนส่งที่ยั่งยืนและลดปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ, สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและการจราจร, Editor. 2012.
9. สุขสมบูรณ์, ว., สถิติรถยนต์จดทะเบียน 2012, สถาบันยานยนต์, Editor. 2014.
10. Nylund, N.-O., IEA EGRD Workshop Mobility: Technology Priorities and Strategic Urban Planning, V.T.R.C.o. Finland, Editor. 2011.
11. Ecoscore. How to calculate the CO2 emission level from the fuel consumption. 2015 [cited 2015 10 June]; Available from: http://www.ecoscore.be/en/how-calculate-co2-emission-level-fuel-consumption.

12. TRANSPORTATION, I.C.O.C., EU CO2 EMISSION STANDARDS FOR PASSENGER CARS AND LIGHT-COMMERCIAL VEHICLES. 2014.
13. Barkenbus, J.N., Eco-driving: An overlooked climate change initiative. Energy Policy, 2010. 38(2): p. 762-769.
14. Ding, Y. and H. Rakha, Trip-Based Explanatory Variables for Estimating Vehicle Fuel Consumption and Emission Rates, in Urban Air Quality — Recent Advances. 2002, Springer Science + Business Media. p. 61-77.
15. 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.
16. Raykin, L., H.L. MacLean, and M.J. Roorda, Implications of driving patterns on well-to-wheel performance of plug-in hybrid electric vehicles. Environ Sci Technol, 2012. 46(11): p. 6363-70.
17. Raykin, L., M.J. Roorda, and H.L. MacLean, Impacts of driving patterns on tank-to-wheel energy use of plug-in hybrid electric vehicles. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2012. 17(3): p. 243-250.
18. Neubauer, J.S. and E. Wood, Accounting for the Variation of Driver Aggression in the Simulation of Conventional and Advanced Vehicles, in SAE Technical Paper Series. 2013, SAE International.
19. 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.
20. Zhou, X., et al., Fuel Consumption Estimates Based on Driving Pattern Recognition, in 2013 IEEE International Conference on Green Computing and Communications and IEEE Internet of Things and IEEE Cyber, Physical and Social Computing. 2013, Institute of Electrical & Electronics Engineers (IEEE).
21. Carlson B., S.M., Geller B., Factors Affecting the Fuel Consumption of Plug-In Hybrid Electric Vehicles, in 25th World Battery, Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicle Symposium and Exhibition November 2010. 2010: China.

22. Sharer, P., R. Leydier, and A. Rousseau, Impact of Drive Cycle Aggressiveness and Speed on HEVs Fuel Consumption Sensitivity, in SAE Technical Paper Series. 2007, SAE International.

23. Tamsanya, N. and S. Chungpaibulpatana, Influence of driving cycles on exhaust emissions and fuel consumption of gasoline passenger car in Bangkok. Journal of Environmental Sciences, 2009. 21(5): p. 604-611.

24. กรมขนส่ง, สถิตารเดินทางในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล จำแนกตามการครอบครองญานภาหนะ และวัตถุประสงค์การเดินทางปี 2012, สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร, Editor. 2012.

25. Shankar, R. and J. Marco, Method for estimating the energy consumption of electric vehicles and plug-in hybrid electric vehicles under real-world driving conditions. IET Intelligent Transport Systems, 2013. 7(1): p. 138-150.

26. Agency, U.S.E.P. Learn about the new label. Available from: http://www.fueleconomy.gov/feg/Find.do?action=bt1.

27. บริษัทโตโยต้ามอเตอร์ประเทศไทยจำกัด. เปรียบเทียบข้อมูลทางเทคนิค. 2012; Available from: http://www.toyota.co.th/index.php/app/productmodel/prius/fnc/specification.

28. Wang, H., et al., Modelling of the fuel consumption for passenger cars regarding driving characteristics. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2008. 13(7): p. 479-482.

29. Restricted, B.M.A., Bangkok city plan 2013, C.p. department, Editor. 2013.

30. Berry, I.M., The Effects of Driving Style and Vehicle Performance on the Real-World Fuel Consumption of U.S. Light-Duty Vehicles, in Mechanical Engineering and the Engineering Systems Division. 2010, Massachusetts Institute of Technology: Massachusetts Institute of Technology.

31. Stichter, J.S., Investigation of vehicle and driver aggressivity and relation to fuel economy testing, in Mechanical Engineering. 2012, University of Iowa: University of Iowa.

32. Belz, N. and L. Aultman-Hall, Analyzing the Effect of Driver Age on Operating Speed and Acceleration Noise. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2011. 2265: p. 184-191.

33. Ho, S.-H., Y.-D. Wong, and V.W.-C. Chang, Developing Singapore Driving Cycle for passenger cars to estimate fuel consumption and vehicular emissions. Atmospheric Environment, 2014. 97: p. 353-362.

34. Bao, W., Vehicle Dynamic Testing Data Processing Using Wavelet Analysis, in Proceedings of the Third International Conference on Control, Automation and Systems Engineering. 2013, Atlantis Press.

35. 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, Institute of Electrical & Electronics Engineers (IEEE).

36. Prius, M. Hybrid and electric car information for South Africa. 2009; Available from: http://www.myprius.co.za/technical.htm.

37. Toyota, Toyota hybrid system manual. 2006.

38. Engineering, T.T. Hybrid and electric car technology. 2014 25 Novenber 2014; Available from: http://www.twinkletoesengineering.info/hybrid_car.htm.

39. Song, G., L. Yu, and Z. Wang, Aggregate Fuel Consumption Model of Light-Duty Vehicles for Evaluating Effectiveness of Traffic Management Strategies on Fuels. J. Transp. Eng., 2009. 135(9): p. 611-618.

40. Thitipatanapong, R., et al., Vehicle Safety Monitoring System with Next Generation Satellite Navigation: Part 2 Excessive Acceleration Detection, in SAE Technical Paper Series. 2015, SAE International.

41. Duran, A. and M. Earleywine, GPS Data Filtration Method for Drive Cycle Analysis Applications, in SAE Technical Paper Series. 2012, SAE International.

42. Katzourakis, D.I., et al., Race-Car Instrumentation for Driving Behavior Studies. IEEE Trans. Instrum. Meas., 2012. 61(2): p. 462-474.

43. O'Kane, T. and J.V. Ringwood, Vehicle Speed Estimation
Using GPS/RISS (Reduced Inertial Sensor System), in ISSC 2013. 2013: LYIT Letterkenny.

44. Racelogic, VBOX3i 100Hz GPS Data Logger User Guide. 2014.

45. Gorry, P.A., General least-squares smoothing and differentiation by the convolution (Savitzky-Golay) method. Anal. Chem., 1990. 62(6): p. 570-573.

46. Wu, L.-j., Experimental study on vehicle speed estimation using accelerometer and wheel speed measurements, in 2011 Second International Conference on Mechanic Automation and Control Engineering. 2011, Institute of Electrical & Electronics Engineers (IEEE).
47. DESIGN, B.L., ANALOG FILTERS.
48. Misiti, M., et al., Wavelet Toolbox For Use with MATLAB. 1996, The MathWorks, Inc. p. 626.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ก
การเลือกใช้อุปกรณ์การวัดและปัญหาที่พบในการเก็บข้อมูล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ก.1 อุปกรณ์วัดอัตราการใช้น้ำมัน

จากงานวิจัยต่างจำนวนมากนิยมวัดปริมาณการใช้น้ำมันด้วยสามวิธีหลัก คือ การวัดจากอัตราการไหลของน้ำมัน [35] การใช้อุปกรณ์วัดมลพิษจากไอเสียรถยนต์ Portable Emission Measurement System (PEMS) [2, 39] และ การเก็บข้อมูลผ่านช่องสื่อสาร On-board diagnosis (OBD) [3]

การวัดอัตราการไหลของน้ำมัน สามารถทำได้โดยติดตั้งอุปกรณ์มาตรวัดการไหลคั่นที่ท่อน้ำมันความดันต่ำ เมื่อน้ำมันไหลผ่านอุปกรณ์จะทำให้ใบพัดภายในหมุน ซึ่งรอบในการหมุนนี้สามารถคำนวณเป็นปริมาตรการไหลต่อหนึ่งหน่วยเวลาได้ อุปกรณ์ชนิดนี้มีความแม่นยำค่อนข้างสูง และราคาแพง

Portable Emission Measurement System เป็นอีกหนึ่งอุปกรณ์ที่มีความแม่นยำ และมีราคาสูงเช่นกัน เนื่องจากอุปกรณ์ชนิดนี้สามารถวิเคราะห์ค่ามลพิษจากไอเสีย เช่น CO_2 CO NO_x SO_x และ ฝุ่นละอองขนาดเล็กต่าง ๆ รวมถึงสามารถวัดปริมาณน้ำมันที่ใช้ โดยคำนวณจากการวัดสัดส่วนเปอร์เซ็นต์ออกซิเจนที่เหลือบริเวณท่อไปเสีย และและใช้วิธีสมดุลคาร์บอน เพื่อคำนวณปริมาณน้ำมันที่ใช้ ซึ่งเป็นหลักการเดียวกันกับการเก็บข้อมูลจากออกซิเจนเซ็นเซอร์ในรถยนต์ ผ่านทางช่องสื่อสาร OBD

นอกจากนี้วิธีการเก็บข้อมูลผ่านจากช่องสื่อสาร OBD ยังสามารถวัดปริมาณการฉีดน้ำมันจากหัวฉีดโดยตรงได้อีกด้วย ซึ่งสามารถให้ความแม่นยำที่สูงกว่าวิธีวัดปริมาณออกซิเจน เนื่องจากในรถยนต์สมัยใหม่มักติดตั้ง Three-way catalytic convertor ซึ่งตั้งอยู่ระหว่างเครื่องยนต์และอุปกรณ์วัดปริมาณออกซิเจน Three-way catalytic convertor เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่หลักในการเร่งปฏิกิริยา การเปลี่ยน CO ให้เป็น CO_2 ดังนั้นผลของปฏิกิริยาดังกล่าว จะทำให้ปริมาณออกซิเจนลดลง ซึ่งส่งผลต่อการวัดปริมาณน้ำมัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงที่เครื่องยนต์มีการใช้พลังงานสูง อีกทั้งในสมการสมดุลคาร์บอน ยังเป็นการเผาไหม้สมบูรณ์ซึ่งไม่รวม CO อยู่ในสมการ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้วิธี การเก็บข้อมูลผ่านจากช่องสื่อสาร On-board diagnosis (OBD) แบบวัดปริมาณการฉีดน้ำมันจากหัวฉีดโดยตรง

อุปกรณ์ Vehicle Interface Module (VIM) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่สามารถบันทึกสัญญาณ CAN (Controller Area Network) ในระดับที่ลึกกว่าอุปกรณ์เก็บข้อมูลในท้องตลาดทั่วไปสามารถทำได้ เช่น Innovate LM2 และยังสามารถเก็บข้อมูลที่ความถี่ต่ำสุด 8 Hz โดยวิธีการคำนวณอัตราการใช้น้ำมันเป็นดังสมการที่ 3 สมการการคำนวณอัตราการใช้น้ำมันจากหัวฉีด

$$Fuel\ (\frac{g}{s}) = \frac{injection\ volumn\ \times rpm\ \times\ \rho_{fuel} \times n}{K\ \times 10\ \times 1000 \times 60}$$

สมการที่ 6 สมการการคำนวณอัตราการใช้น้ำมันจากหัวฉีด

โดย

Injection volume ปริมาณการฉีดน้ำมันของหัวฉีด (มิลลิลิตร) 10 เท่าของการฉีด 1 ครั้ง

rpm ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ (rpm)

P_{fuel} ความหนาแน่นของ Gasohol 91= 737 kg/m3

n จำนวนหัวฉีด (รถยนต์ทดสอบมี 4 หัวฉีด)

K จำนวนรอบของเครื่องยนต์ต่อการฉีดเชื้อเพลิง 1 ครั้ง

ลักษณะของอุปกรณ์เป็นดังรูปที่ 22 อุปกรณ์วัดอัตราการใช้น้ำมัน โดย VIM และโปรแกรม GTH ทำหน้าที่แปลงค่าความต่างศักย์ที่ได้จากเซ็นเซอร์ในรถยนต์ให้เป็นข้อมูลที่พร้อมใช้งาน นอกจากนี้อุปกรณ์ชิ้นนี้ได้ถูกพัฒนา โดย บริษัทโตโยต้า มอเตอร์ เอเชีย แปซิฟิค เอ็นจิเนียริ่ง แอนด์ แมนูแฟคเจอริ่ง เพื่อใช้ในการทดสอบมาตรฐานรถยนต์ภายใต้ข้อกำหนดของกรมควบคุมมลพิษ และวิเคราะห์การทำงานของรถยนต์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 45 อุปกรณ์วัดอัตราการใช้น้ำมัน VIM และโปรแกรม GTH

เพื่อความมันใจในความแม่นยำของ VIM ก่อนการทดสอบได้มีการสอบเทียบ VIM กับอุปกรณ์วัดอัตราการไหล Sparling/OVAL รุ่น LSF40 ซึ่งมีความแม่นยำอยู่ที่ ±1% ของค่าที่อ่านได้ จากผลการทดสอบจากระยะทางทดสอบทั้งหมด 175 km ภายใต้การทดสอบแบบการจราจรผสมระหว่างการจราจรแบบ City และ Highway พบว่าค่าจาก VIM มีความผิดพลาดเพียง 8% เมื่อเทียบกับอุปกรณ์วัดอัตราการไหล และ 1.36% เมื่อเทียบกับวิธีการเติมน้ำมันกลับให้เต็มถัง

ก.2 อุปกรณ์วัดความเร็ว

ความเร็ว และ ความเร่งของรถยนต์ เป็นข้อมูลสำคัญที่ใช้ในการศึกษาลักษณะการจราจรและพฤติกรรมการขับขี่ ในปัจจุบันอุปกรณ์ที่นิยมใช้ในการเก็บข้อมูลความเร็วรถยนต์ คือ การใช้ระบบดาวเทียม GNSS การวัดค่าจากเซ็นเซอร์วัดความเร็วของรถยนต์ และ การใช้ Inertia Mass Unit (IMU) โดยทั้งสามวิธีมีหลักการทำงาน ความแม่นยำ และ ข้อดีข้อเสียในการใช้งานที่ต่างกัน

ในปัจจุบันเทคโนโลยีสัญญาณดาวเทียม หรือ GNSS (Global Navigation Satellite System) ได้มีการพัฒนาอย่างรวดเร็วทำให้อุปกรณ์นำทางด้วยสัญญาณดาวเทียม (GNSS) ถูกนำมาใช้เป็นอุปกรณ์ระบุตำแหน่ง ความเร็ว และความเร่งของรถยนต์อย่างแพร่หลาย ในหลายงานวิจัยพบว่า GNSS มีความแม่นยำที่เพียงพอในการนำมาใช้ศึกษาการเคลื่อนที่ของรถยนต์ และพฤติกรรมการขับขี่ โดยเฉพาะความเร่งในแนวตามความยาวของรถยนต์ [40] ในงานวิจัยส่วนใหญ่นิยมใช้ GNSS แบบ Multi-GNSS [41, 42] ซึ่งเป็นอุปกรณ์นำทางด้วยสัญญาณดาวเทียมที่สามารถรับสัญญาณดาวเทียมได้หลายดวง และหลายชนิดในเวลาเดียวกัน เช่น GPS GLONASS Beidou OZSS ซึ่งเป็นของประเทศ สหรัฐอเมริกา รัสเซีย จีน และ ญี่ปุ่นตามลำดับ อุปกรณ์ชนิดนี้มีราคาไม่แพงและให้ความผิดพลาดอยู่ในช่วงน้อยกว่า 5m ตัวอย่างอุปกรณ์ เช่น Ublox M8N ดัง**Error! eference source not found.**ซึ่งสามารถรับสัญญาณ GPS GLONASS และ OZSS ที่ความถี่ 5 Hz และจากผลการทดสอบเทียบกับอุปกรณ์ที่มีความแม่นยำสูง เช่น IMU พบว่าค่าความเร็ว และความเร่งมีความแม่นยำใกล้เคียงกัน [40]

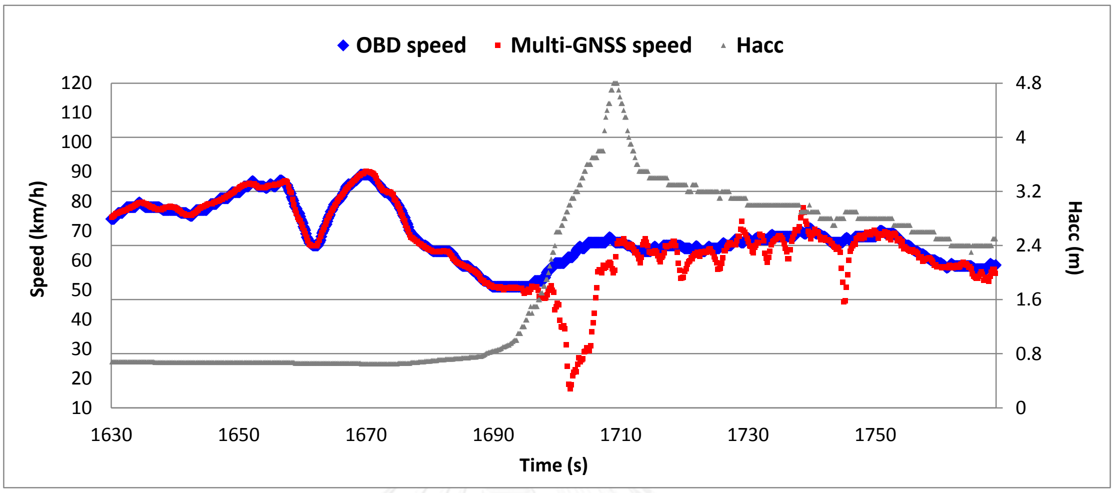
รูปที่ 46 Ublox GNSS

อย่างไรก็ตามข้อเสียของ GNSS ที่สำคัญ คือ สัญญาณดาวเทียมสามารถถูกรบกวนจากสิ่งกีดขวาง เช่น ต้นไม้ ตึกสูง สะพาน ทางด่วน และ รถไฟฟ้า นอกจากนี้ความแม่นยำของ GNSS จะลดลงที่ความเร็วต่ำ โดยปกติระบบ Multi-GNSS เช่น อุปกรณ์ Ublox จะระบุค่าความแม่นยำ ณ ขณะใด ๆ ผ่านทางตัวแปร Horizontal accuracy estimation (Hacc) ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงรัศมีความแม่นยำของตำแหน่งในแนวระนาบพื้นโลกมีหน่วยเป็นเมตร ระดับความแม่นยำที่รับได้โดยปกติควรมีค่า Hacc ต่ำกว่า 0.8 เมตร หากค่า Hacc มีค่ามากกว่า หรือ เท่ากับ 0.8 เมตร แสดงว่าสัญญาณ Multi-GNSS เริ่มมีการขาดหาย ซึ่งจะส่งผลให้ข้อมูล เวลา ตำแหน่ง และ ความเร็วคลาดเคลื่อนดังแสดงในรูปที่ 47 ลักษณะข้อมูลความเร็วช่วง Multi-GNSS สัญญาณขาดหายบนเส้นทาง Motorway 7 พบว่าในช่วงแรกขณะที่ข้อมูล Hacc ยังมีค่าต่ำกว่า 0.8 ข้อมูลความเร็วของ Multi-GNSS ใกล้เคียงกับความเร็วจาก OBD แต่ ณ วินาทีที่ 1690 รถยนต์ทดสอบได้วิ่งเข้าใต้ทางต่างระดับ ทำให้ค่า Hacc เพิ่มสูงขึ้นจนถึง 4.8 m ทำให้ค่าความเร็วจาก Multi-GNSS เกิดความผิดปกติเมื่อเทียบกับข้อมูลความเร็วจาก OBD

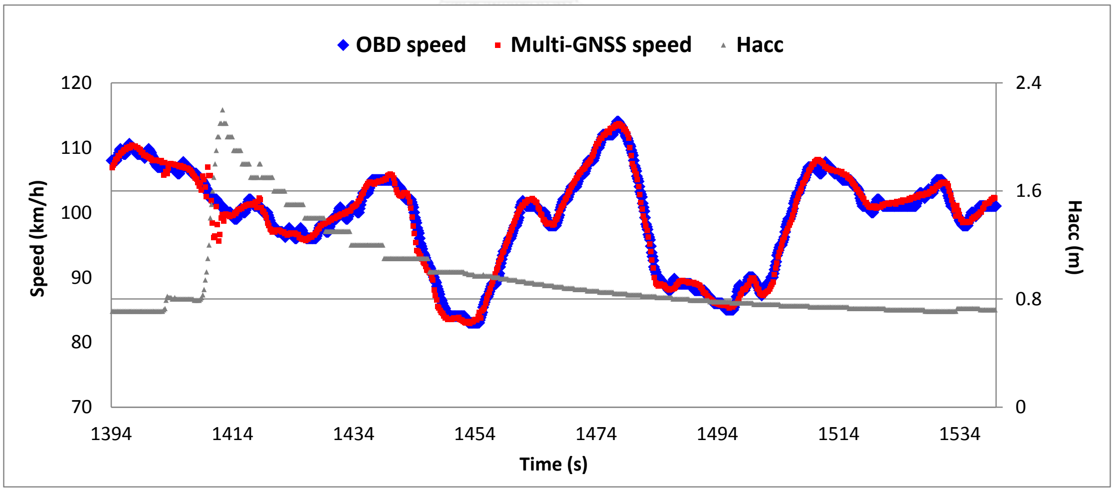
นอกจากนี้ทุกครั้งที่สัญญาณ Multi-GNSS ถูกรบกวนต้องใช้เวลาช่วงหนึ่งเพื่อให้อุปกรณ์จับสัญญาณได้อีกครั้ง ดังแสดงในรูปที่ 48 ระยะเวลาที่ใช้ในการจับสัญญาณ Multi-GNSS หลังสัญญาณถูกรบกวน ซึ่งระยะเวลาที่ใช้ในการจับสัญญาณหลังถูกรบกวนนั้นจะขึ้นอยู่กับลักษณะของสิ่งกีดขวาง โดยในที่นี้เป็นการขับผ่านทางยกระดับขนาด 2 ช่องทางการเดินรถ ซึ่งพาดขวางกับทิศทางการขับขี่บนถนน Motorway 7 ซึ่งจะพบว่าต้องใช้เวลาถึง 80 วินาทีในการรอให้สัญญาณมีค่า Hacc กลับมาที่ 0.8 m อีกครั้ง

โดยปกติ Motorway 7 เป็นเส้นทางย่านชานเมือง มีสิ่งบดบังสัญญาณน้อยเมื่อเทียบกับเส้นทาง City และ Suburban แต่ผลการทดสอบที่ได้พบว่า Multi-GNSS สัญญาณขาดหายเป็นระยะ

ตลอดเส้นทาง ซึ่งคิดเป็นสัดส่วนข้อมูลที่ใช้งานได้ หรือ มีค่า Hacc ต่ำกว่า 0.8 มีเพียง 39% ของการทดสอบทั้งหมด นอกจากนี้ Ublox ยังมีข้อจำกัดเรื่อง ความยาวไฟล์สูงสุดที่เก็บได้ประมาณ 4500 วินาทีซึ่งทำให้ข้อมูลขาดหายระหว่างเริ่มไฟล์ใหม่



รูปที่ 47 ลักษณะข้อมูลความเร็วช่วง Multi-GNSS สัญญาณขาดหายบนเส้นทาง Motorway 7



รูปที่ 48 ระยะเวลาที่ใช้ในการจับสัญญาณ Multi-GNSS หลังสัญญาณถูกรบกวน

เซ็นเซอร์วัดความเร็วของรถยนต์ (OBD speed sensor) เป็นอุปกรณ์ที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายในการศึกษาการจราจร เนื่องจากสะดวกในการใช้งานและราคาต่ำ และให้ความแม่นยำ

ในช่วงที่รับได้ จากงานวิจัยของ Zhou et al. ปี 2013 ได้ใช้ข้อมูลจาก OBD speed sensor พบว่าข้อมูลความเร็วและความเร่งมีแม่นยำในระดับที่สามารถนำไปใช้งานได้

หลักการทำงานของ OBD speed sensor ทำงานโดยใช้การนับสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าที่ตัดผ่านในช่วงเวลาหนึ่ง ๆ (Magnetic pick-up) อุปกรณ์จะถูกติดตั้งบริเวณเฟืองท้าย เมื่อฟันเฟืองเคลื่อนผ่านขดลวดจะทำให้เกิดสัญญาณไฟฟ้าเป็นจังหวะ จากนั้นสัญญาณไฟฟ้าจะถูกส่งไปประมวลผลต่อที่ Engine Control Unit (ECU) เพื่อคำนวณและแสดงค่าความเร็วที่หน้าปัดความเร็ว รวมถึงเป็น feedback กลับไปยังระบบควบคุมการทำงานของเครื่องยนต์ การเก็บข้อมูลความเร็วรถยนต์ผ่านช่องสื่อสาร On-board diagnostics (OBD) สามารถเก็บข้อมูลร่วมกับการวัดปริมาณการฉีดน้ำมันจากหัวฉีด โดยผ่านอุปกรณ์ VIM และ GTS

IMU เป็นอุปกรณ์ที่ประกอบด้วย Accelerometer และ Gyroscope สามชุด ที่วัดข้อมูลในสามแนวแกนที่ตั้งฉากกัน อุปกรณ์ประเภทนี้ให้ความแม่นยำสูง นิยมนำมาใช้วัดการเคลื่อนที่ของรถยนต์ [42, 43] มีราคาแพง และจำเป็นต้องใช้ Software ที่ซับซ้อนในการประมวลผลข้อมูล เพราะนอกจาก IMU จะบันทึกข้อมูลความเร่ง และ การเคลื่อนที่ของรถยนต์แล้ว ยังบันทึกข้อมูลรบกวนจากการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้น ได้แก่ การสั่นสะเทือนที่มาจากเครื่องยนต์ ความขรุขระของพื้นถนน และ การสั่นสะเทือนของช่วงล่าง ฯลฯ ซึ่งล้วนแต่เป็นสัญญาณรบกวนที่ทำให้ข้อมูลการเคลื่อนที่ของรถยนต์คลาดเคลื่อนไปจากความเป็นจริง และการติดตั้งอุปกรณ์ทำได้ยากเนื่องจากต้องติดตั้ง IMU ที่จุดศูนย์กลางมวลของรถยนต์ทดสอบ และ จัด Alignment ให้ตรงตามทิศทาง X Y Z ทำให้ในปัจจุบันมีการนำสัญญาณ GNSS มาใช้เพื่อช่วยลดปัญหาดังกล่าว เช่น อุปกรณ์ VBOX ดังรูปรูปที่ 49 ชุดอุปกรณ์ VBOX ซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์เก็บข้อมูล และ IMU ที่มีการนำสัญญาณ Multi-GNSS มาใช้ เพื่อช่วยปรับแก้สัญญาณรบกวนจาก IMU โดยใช้วิธี Kalman filter ซึ่งอุปกรณ์ชุดนี้สามารถให้ข้อมูลความเร่งที่ได้มีความแม่นยำระดับ ±0.03 g ความละเอียด (Resolution) 1 mg และความเร็วที่ระดับความแม่นยำ ±0.1 km/h ความละเอียด 0.01 km/h และ Hacc < 0.5 m ในกรณีที่สามารถจับสัญญาณดาวเทียมได้ครบสมบูรณ์ [44]

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

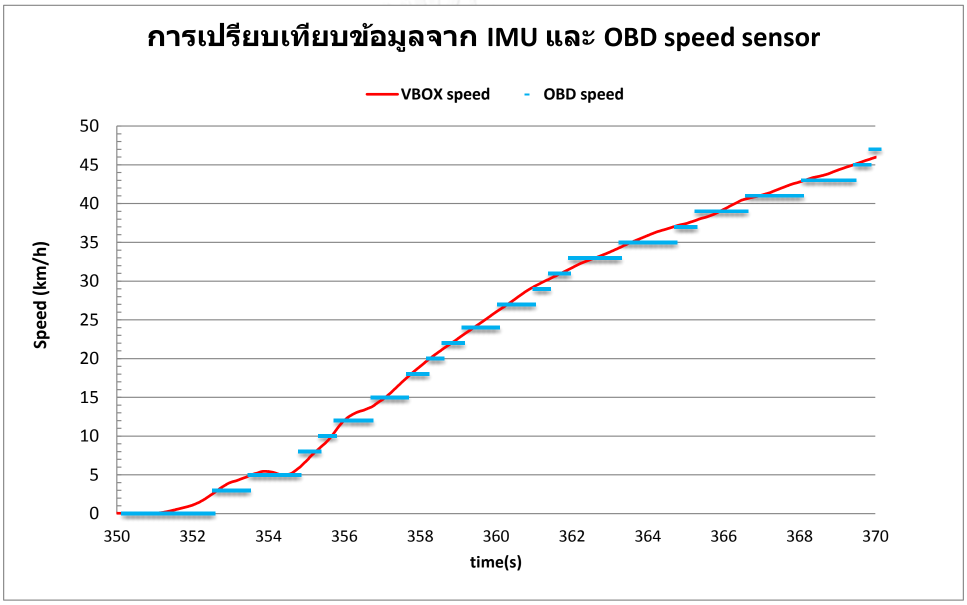
รูปที่ 49 ชุดอุปกรณ์ VBOX ซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์เก็บข้อมูล และ IMU

ในการทดสอบจำเป็นต้องทดสอบรถยนต์ทดสอบทั้งสองคันในเวลาเดียวกัน เพื่อควบคุมปัจจัยจากการจราจรให้ใกล้เคียงกันมากที่สุด ทำให้ต้องใช้อุปกรณ์เก็บข้อมูลสองเครื่องในเวลาเดียวกัน แต่ถึงแม้ IMU จะเป็นอุปกรณ์ที่สามารถให้ความแม่นยำได้สูงสุดเมื่อเทียบกับ GNSS และ OBD speed sensor แต่เนื่องจากราคาที่สูงในระดับหลักแสน จึงทำให้ไม่สามารถจัดหา IMU สองเครื่องมาใช้ในการทดสอบได้ และประกอบกับ IMU ที่มีอยู่ทำงานร่วมกับระบบ Multi-GNSS ทำให้เมื่อนำมาใช้เก็บข้อมูลในเขตเมืองบนเส้นทางที่มี ตึกสูง สะพาน ทางด่วน รถไฟฟ้าทำให้สัญญาณขาดหาย จนบางช่วงไม่สามารถใช้งานได้ เช่นเดียวกับปัญหาที่ปรากฏในงานวิจัยของ Ho et al. ปี 2014 ที่ทำการศึกษาลักษณะการจราจรในประเทศสิงคโปร์ได้ระบุถึงปัญหาสัญญาณ GNSS ขาดหายในบริเวณเขตเมืองใหญ่เช่นกัน ทำให้จำเป็นต้องเลือกอุปกรณ์ OBD speed sensor ในการเก็บข้อมูล นอกจากนี้การจราจรที่ติดขัดและใช้ความเร็วต่ำในเขตเมือง จะทำให้ความแม่นยำของ Multi-GNSS ลดลง กล่าวคือ การใช้อุปกรณ์ที่พึ่งพาสัญญาณ GNSS ไม่สามารถทำงานได้เต็มประสิทธิภาพเมื่อถูกบดบังสัญญาณเช่นเดียวกับ Multi-GNSS จากที่ได้กล่าวมาข้างต้น OBD speed sensor เป็นอุปกรณ์ที่สามารถใช้ในงานการศึกษาลักษณะการจราจรและลักษณะการขับขี่ได้ และเป็นตัวเลือกที่สามารถแก้ปัญหาเรื่องสัญญาณ GNSS ขาดหาย มีเสถียรภาพของสัญญาณสูง ความแม่นยำที่อยู่ในช่วงที่รับได้ รวมถึงมีความเหมาะสมด้านราคา และปัญหาที่ได้กล่าวมาข้างต้นข้อมูลจาก OBD speed sensor สามารถแก้ไขด้วยวิธีการปรับปรุงคุณภาพข้อมูลได้ ในขณะที่ปัญหาข้อมูลขาดหายของ Multi-GNSS นั้นไม่สามารถแก้ไขได้ ทั้งนี้วิธีการปรับปรุงข้อมูลได้ถูกอธิบายไว้ในบทต่อไป การปรับปรุงคุณภาพข้อมูลความเร็ว

ภาคผนวก ข
การปรับปรุงคุณภาพข้อมูลความเร็ว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากปัญหาสัญญาณขาดหายของอุปกรณ์ VBOX และ GNSS ทำให้เซ็นเซอร์วัดความเร็วของรถยนต์ (OBD speed sensor) เป็นเพียงอุปกรณ์เดียวที่ไม่พบปัญหาสัญญาณขาดหายและ สามารถใช้ในการทดสอบได้จริง และมีความคล่องตัวในการใช้งานมากที่สุด อย่างไรก็ตามปัญหาความไม่แม่นยำของอุปกรณ์ปรากฏ ดังรูปที่ 50 การเปรียบเทียบข้อมูลความเร็วจาก OBD และ VBOX พบว่าข้อมูลความเร็วจาก OBD จะเพิ่มขึ้นตามลำดับขั้น โดยมี Resolution เท่ากับ 1 km/h นอกจากนี้ยังอาจมีปัญหาสัญญาณรบกวนจากอุปกรณ์โลหะข้างเคียงและระดับความแม่นยำของอุปกรณ์ [35] ซึ่งในหัวข้อต่อไปนี้จะอธิบายวิธีการแก้ไขความไม่ต่อเนื่องของข้อมูลและสัญญาณรบกวนที่นิยมใช้ในงานวิจัยต่าง ๆ



รูปที่ 50 การเปรียบเทียบข้อมูลความเร็วจาก OBD และ VBOX

ข.1 วิธีการแก้ไขปัญหาความไม่ต่อเนื่องของข้อมูลความเร็ว

การเก็บข้อมูลในความเป็นจริง สัญญาณรบกวน (Noise) และ ความไม่ต่อเนื่องของข้อมูล (Discretization) เป็นปัญหาที่มักเกิดขึ้นกับทุกอุปกรณ์ และเมื่อนำข้อมูลความเร็วที่มีสัญญาณรบกวนไปหาอนุพันธ์ จะพบว่าสัญญาณรบกวนที่อยู่ในข้อมูลความเร่งจะยิ่งปรากฏชัดเจนขึ้น

ดังนั้นการปรับปรุงคุณภาพข้อมูลสามารถช่วยทำให้ข้อมูลที่ได้มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น โดยวิธีที่งานวิจัยส่วนใหญ่นิยมใช้ปรับปรุงคุณภาพข้อมูล ได้แก่ Curve fitting [41, 45] Lowpass filter

[42, 46] และ Wavelet transform [34, 35] ซึ่งแต่ละวิธีเหมาะสมกับการใช้งานที่ต่างกัน ซึ่งจะอธิบายดังต่อไปนี้

ข.1.1 Curve fitting

Curve fitting เป็นวิธีที่ใช้หลักการ Least-squares เพื่อสร้างสมการที่สามารถลากผ่านจุดและอยู่ใกล้เคียงกับทุกจุดมากที่สุด มาใช้เป็นตัวแทนข้อมูลในช่วงนั้น วิธีนี้เป็นวิธีที่สามารถลดปัญหาข้อมูลไม่ต่อเนื่องได้ [41] โดยวิธีที่นิยมใช้ คือ Savitzky-Golay เนื่องจากเป็นวิธีที่สามารถลดระยะเวลาในการคำนวณได้อยากมีประสิทธิภาพเมื่อเทียบกับวิธีอื่น

ในการสร้างสมการ สามารถกำหนดจำนวนข้อมูลที่ใช้สร้างสมการได้ตามสมการ 2m+1 โดย m เป็นจำนวนจุดที่อยู่ทางซ้ายและขวาของข้อมูล และสามารถกำหนดกำลังของสมการให้เหมาะสมกับลักษณะการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลได้ โดยสำหรับข้อมูลชุดนี้ เราเลือกใช้ m = 15 จุด และ กำลัง 2 เนื่องจากผลที่ได้ใกล้เคียงกับความเร็วจาก VBOX มากที่สุด

ข้อเสียของวิธีนี้ คือ สามารถเลือกช่วงความกว้างได้เพียงค่าเดียว กล่าวคือ ความกว้างของ m มีผลต่อความแม่ยำของสมการ หากช่วงกว้างเกินไปรายละเอียดข้อมูลอาจหายไป ในทางกลับกันหากเลือกช่วงข้อมูลแคบเกินไป ความไม่ต่อเนื่องของข้อมูลอาจยังปรากฏอยู่ ดังนั้นวิธีนี้จึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้กับข้อมูลที่ความถี่สัญญาณไม่คงที่ หรือ มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา เช่น ข้อมูลการจราจร และ ขับขี่

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ข.1.2 Lowpass Filter

Lowpass filter เป็นวิธีการกรองสัญญาณรบกวนที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย การใช้งานของ Lowpass filter นั้นมักใช้กรองสัญญาณรบกวนที่มีความถี่สูงกว่าความถี่สัญญาณหลักมาก ๆ ตัวอย่างเช่น ในงานวิจัยของ Wu ปี 2011 ได้นำ Accelerometer มาช่วยปรับปรุงคุณภาพความเร็ว และ ความเร่งของรถยนต์ โดยในงานวิจัย ใช้ Lowpass filter วิธี Butterworth ในการปรับคุณภาพข้อมูลเป็นต้น Lowpass filter เนื่องจากความเร่งที่รถยนต์สามารถตอบสนองนั้น จะช้ากว่าความเร่งที่เกิดจากพื้นถนนที่ขรุขระ และ จากการสั่นสะเทือนของเครื่องยนต์ ดังนั้น Lowpass filter จึงเป็นวิธีสามารถนำมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพข้อมูล ปกติมักใช้ Cut-off frequency อยู่ที่ 0.4 Hz โดยมีสมการพื้นฐานดังสมการที่ 7 Lowpass filter [47]

$$H(s) = \frac{output}{input} = \frac{\omega_0^2}{S^2 + \frac{\omega_0}{Q}S + \omega_0^2}$$

สมการที่ 7 Lowpass filter [47]

โดย

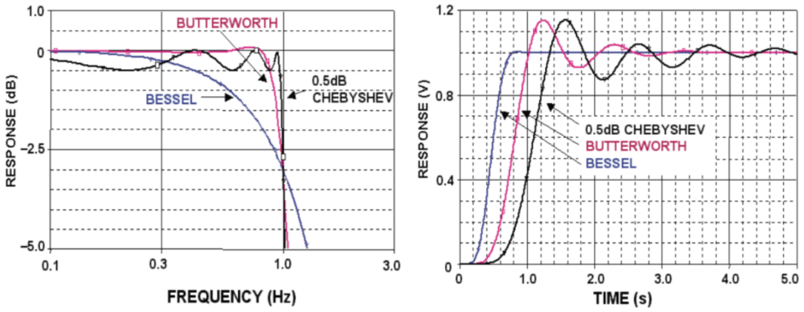
H ค่า Gain ของระบบ

F0 ค่าความถี่ Cutoff หรือ ความถี่ธรรมชาติ (Hz)

W0 ค่าความถี่ Cutoff หรือ ความถี่ธรรมชาติ (rad/sec)

Q Circuit quality factor

อย่างไรก็ตามข้อเสียของวิธีนี้ คือ สัญญาณที่ผ่านการ Lowpass filter จะมีเฟสที่เปลี่ยนไป ค่า Amplitude จะลดลงเล็กน้อย และเกิด Overshoot ตามมาดังรูปที่ 51 การตอบสนองของสัญญาณที่ผ่าน Lowpass filter แบบต่าง ๆ ซึ่งแสดงลักษณะการตอบสนองของสัญญาณ Lowpass filter สามวิธี ได้แก่ Bessel Butterworth และ Chebyshev นอกจากนี้จากรูปที่ 51 การตอบสนองของสัญญาณที่ผ่าน Lowpass filter แบบต่าง ๆ [47] จะพบความแตกต่างระหว่างการทำ Lowpass filter ทั้งสามวิธี โดยวิธี Butterworth จะเป็นวิธีที่สามารถตัดความถี่ที่ไม่ต้องการออกได้แม่นยำที่สุด กล่าวคือ ข้อมูลช่วงบริเวณรอบจุด Cut-off frequency ถึง Stop-band จะสั้น และไม่เกิดการสั่นของข้อมูล (Ripple) หลังจุด Cut-off frequency อย่างไรก็ตามจะพบว่าสัญญาณขาออกจะเกิด Overshoot และเฟสเกิดการเปลี่ยนแปลงมากกว่าวิธี Bessel ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าหากต้องการออกแบบให้ช่วง Transition แคบลง ผลที่ตามมา คือ จะพบ Overshoot และเฟสเกิดการเปลี่ยนแปลงมาก รวมถึงเกิด Ripple มากขึ้นตามอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้



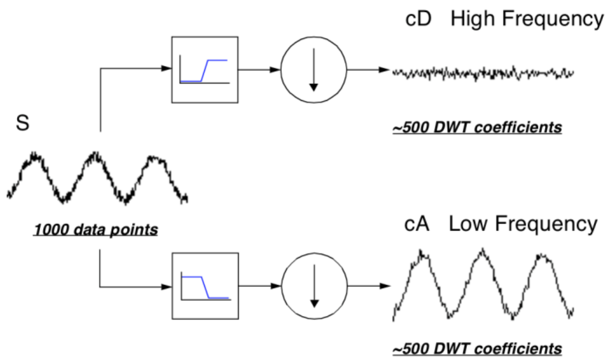
รูปที่ 51 การตอบสนองของสัญญาณที่ผ่าน Lowpass filter แบบต่าง ๆ [47]

ข.1.3 Wavelet transform

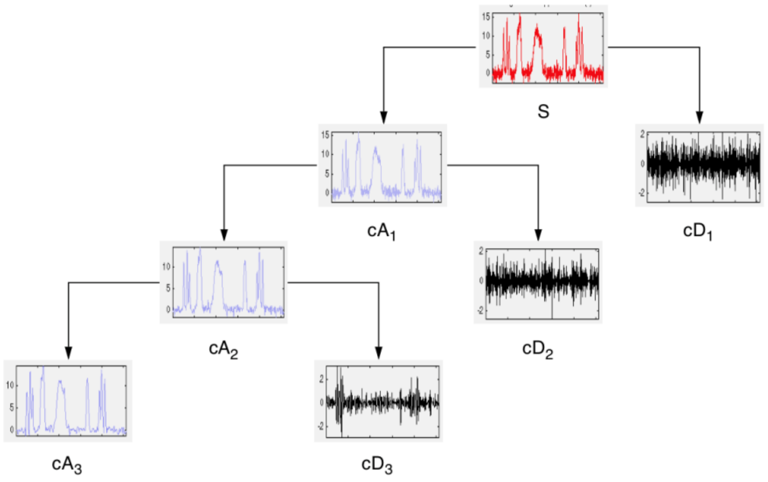
Wavelet transform เป็นวิธีที่พัฒนาขึ้นจาก Fourier transform โดยใช้เทคนิคการปรับขนาดหน้าต่างวิเคราะห์ข้อมูล (Windowing technic) ให้เหมาะสมกับความถี่ของข้อมูลที่ต้องการวิเคราะห์ เช่น ที่ความถี่สูงควรใช้ขนาดหน้าต่างที่แคบ และที่ความถี่ต่ำควรใช้หน้าต่างที่กว้าง เพื่อให้สามารถครอบคลุมรายละเอียดของข้อมูลทั้งหมด [48] ดังนั้น Wavelet transform จึงเหมาะกับการใช้งานกับสัญญาณที่มีความถี่ไม่คงที่ มากกว่าวิธี Fourier transform ที่ใช้หน้าต่างวิเคราะห์ข้อมูลขนาดคงที่ ซึ่งจะเหมาะกับการแก้ปัญหา Quantization และ วิเคราะห์สัญญาณที่ความถี่คงที และอีกข้อเสียอย่างหนึ่ง คือวิธี Fourier transform เป็นการแปลข้อมูลจาก Time domain เป็น Frequency domain ซึ่งจะทำให้ไม่สามารถระบุความถี่ต่าง ๆ ที่สนใจว่าเกิดขึ้น ณ เวลาใด ทำให้ยากต่อการวิเคราะห์ข้อมูล

หลักการของ Wavelet transform เป็นการแยกข้อมูลออกเป็นสองส่วน ได้แก่ ข้อมูลส่วนความถี่สูง และ ความถี่ต่ำ โดยใช้วิธี Highpass และ Lowpass filter ดังรูปที่ 52 การกรองข้อมูลด้วยวิธี Wavelet transform ในแต่ละชั้น ซึ่ง S คือ สัญญาณขาเข้า A คือ สัญญาณขาออกส่วนความถี่ต่ำ และ D คือ สัญญาณขาออกส่วนความถี่สูง ในแต่ละชั้นจะแยกข้อมูลออกมาเป็นสองส่วน ได้แก่ ส่วนความถี่ต่ำ (A) และ ส่วนความถี่สูง (D) ดังรูปที่ 53 แผนผังการประมวลผลสัญญาณวิธี Wavelet transform [48] ข้อมูลส่วนความถี่สูงจะเป็นข้อมูลที่บันทึกรายละเอียดของสัญญาณ รวมถึงสัญญาณรบกวนไว้ ซึ่งสามารถกรอง หรือ ลดทอนผลกระทบจากสัญญาณความถี่สูงด้วยการเลือกคูณค่า cD (Coefficient of detailed part) เข้ากับ Amplitude ของสัญญาณ โดยส่วนมากมักตั้งค่าที่ 0 (ตัดออกหมด) สำหรับข้อมูลความถี่ต่ำ ข้อมูลส่วนนี้เป็นสัญญาณที่ถูกกรองสัญญาณรบกวนออกไป ซึ่งเป็นส่วนที่จะนำไปใช้งาน โดยส่วนมากมักปรับค่า cA (Coefficient of approximated part) ให้มี

ค่าใกล้เคียง 1 จากนั้นโปรแกรม Wavelet transform จะนำข้อมูลส่วนดังกล่าวมาทำการแยกส่วนในชั้น (Layer) ต่อไป และทำเช่นนี้ต่อไปจนกว่าจะได้สัญญาณที่ต้องการ



รูปที่ 52 การกรองข้อมูลด้วยวิธี Wavelet transform ในแต่ละชั้น [48]

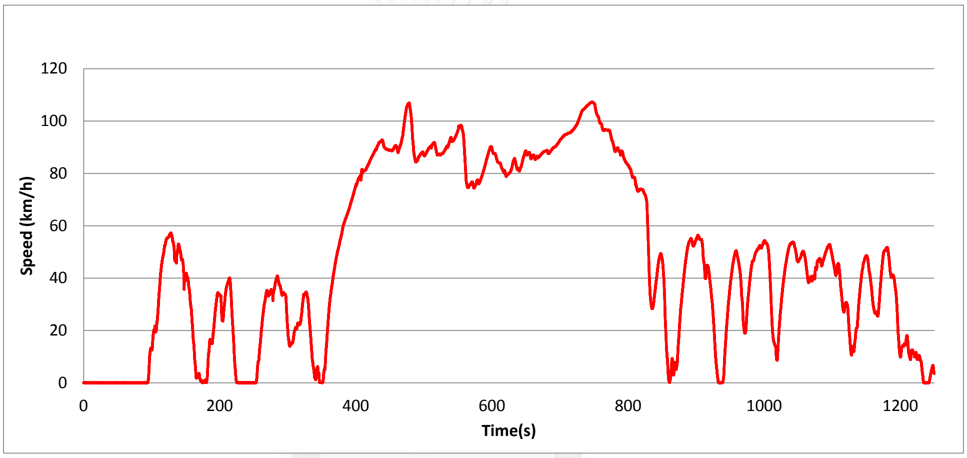


รูปที่ 53 แผนผังการประมวลผลสัญญาณวิธี Wavelet transform [48]

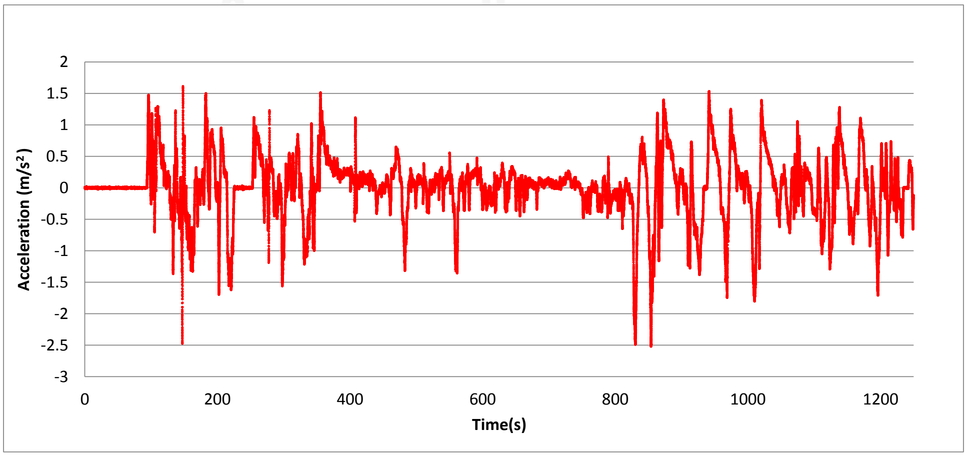
นอกจากนี้งานวิจัยของ Wang and Zhang ปี 2009 และ Bao ปี 2013 ยังได้ใช้วิธี Wavelet transform ในการปรับปรุงข้อมูลจากอุปกรณ์วัดความเร็วในรถยนต์ โดยได้ทำการทดสอบค่าตั้งต้นที่เหมาะจะนำมาใช้งานกับอุปกรณ์วัดความเร็วแบบ Magnetic pick up พบว่า Wavelet transform วิธี Daubechies 5 (Db5) Level4 เป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุด

ข.2 การเปรียบเทียบผลการปรับปรุงข้อมูลความเร็วของแต่ละวิธี

การปรับปรุงคุณภาพข้อมูลในงานวิจัยนี้ ทำโดยการนำข้อมูล OBD speed มาเปรียบเทียบกับ VBOX ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่สามารถให้ความแม่นยำสูงสุด และเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบรถยนต์อย่างแพร่หลาย โดยการทดสอบจะทำการเลือกเส้นทางที่สัญญาณ Multi-GNSS ของ VBOX ไม่ถูกรบกวน กล่าวคือ มี Hacc ต่ำกว่า 0.8 ตลอดการทดสอบ เส้นทางที่ใช้ทดสอบจะประกอบด้วยการจราจร และ ลักษณะการขับขี่ที่หลากหลาย เช่น การใช้ความเร็วสูง การใช้ความเร็วต่ำ การเร่ง และ เบรค ดังรูปที่ 54 ข้อมูลความเร็วและความเร่งที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพข้อมูล OBD speed sensor



(ก)



(ข)

รูปที่ 54 ข้อมูลความเร็วและความเร่งที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพข้อมูล OBD speed sensor

ในส่วนนี้เป็นการวิเคราะห์ผลจากการนำข้อมูล OBD speed ไปผ่านการปรับปรุง 3 วิธี ได้แก่ Curve fitting Lowpass filter และ Wavelet transform ซึ่งมีรายละเอียดดังตารางที่ 12 ค่าเริ่มต้นของการแก้ไขข้อมูลด้วยวิธีต่าง ๆ ในการวิเคราะห์ ได้มีการเลือกข้อมูลที่มีลักษณะการขับขี่แบบต่าง ๆ ที่มักเกิดขึ้นในการขับขี่จริง และ เป็นลักษณะที่สำคัญที่มีผลต่ออัตราการใช้พลังงานของรถยนต์มาวิเคราะห์ ซึ่งได้แก่ ช่วงออกตัว ช่วงความเร็วสูง ช่วงเบรคที่ความเร็วสูง ช่วงการเร่งและเบรคที่ความเร็วต่ำ และ ช่วงความเร็วเปลี่ยนแปลงขึ้นลงอย่างรวดเร็ว เพื่อหาวิธีที่เหมาสมในการแก้ปัญหาข้อมูล OBD speed ไม่ต่อเนื่อง

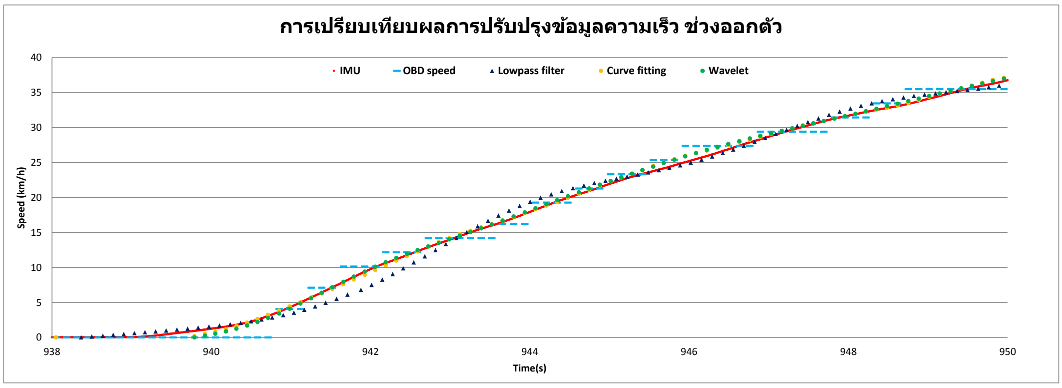
ตารางที่ 12 ค่าเริ่มต้นของการแก้ไขข้อมูลด้วยวิธีต่าง ๆ

วิธีการแก้ไข	การตั้งค่าเริ่มต้น
Curve fitting	วิธี Savitzky-Golay m=35 order=2 [41, 45]
Lowpass filter	วิธี Butterworth cut-off = 0.4Hz order 40 [42, 46]
Wavelet transform	วิธี Daubechies 5 (Db5) Level4 [34, 35]

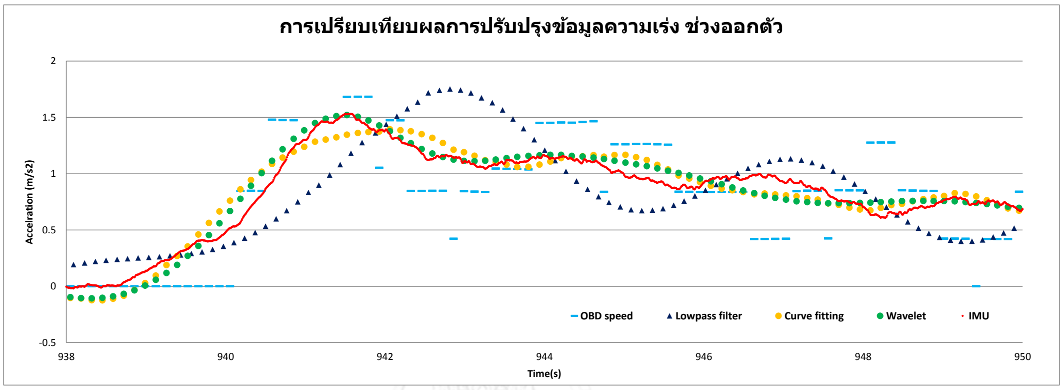
ข.2.1 ช่วงออกตัว

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 55 กราฟเปรียบเทียบผลการปรับปรุงข้อมูลช่วงออกตัว (ก) ซึ่งเป็นการเปรียบเทียงข้อมูลความเร็ว เมื่อนำข้อมูล OBD speed มาทำการปรับปรุงด้วยวิธี Lowpass filter Curve fitting และ Wavelet transform พบว่าทั้งสามวิธีสามารถแก้ไขความไม่ต่อเนื่องของข้อมูล OBD speed ได้ดี แต่เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลทั้งสามชุดกับข้อมูล IMU พบว่าวิธี Curve fitting และวิธี Wavelet transform เป็นวิธีที่ให้ค่าได้ถูกต้อง ใกล้เคียงกับ IMU มากกว่าวิธี Lowpass filter ซึ่งจะพบการสั่นของข้อมูลมากกว่าวิธีอื่น ในช่วงวินาทีที่ 941–945

สำหรับข้อมูลความเร่งจาก รูปที่ 55 กราฟเปรียบเทียบผลการปรับปรุงข้อมูลช่วงออกตัว (ข) จะพบว่า หากไม่มีการปรับปรุงข้อมูล OBD speed เมื่อนำข้อมูลมาคำนวณหาความเร่ง ข้อมูล OBD acceleration จะปรากฏความผิดพลาดดังกราฟข้อมูลเส้นประสีฟ้า ซึ่งมีค่าไม่ต่อเนื่องและคลาดเคลื่อนจากค่า IMU อย่างชัดเจน แต่เมื่อนำข้อมูล OBD speed มาผ่านการปรับปรุง พบว่าวิธี Curve fitting และ วิธี Wavelet transform สามารถปรับปรุงค่า OBD speed ให้มีค่าใกล้เคียงและมีความถูกต้องเมื่อเทียบกับ IMU ได้อย่างชัดเจน ในขณะที่วิธี Lowpass filter จะทำให้ข้อมูลเกิด Overshoot สูงกว่า และเฟสเกิดการเปลี่ยนแปลง



(ก)



(ข)

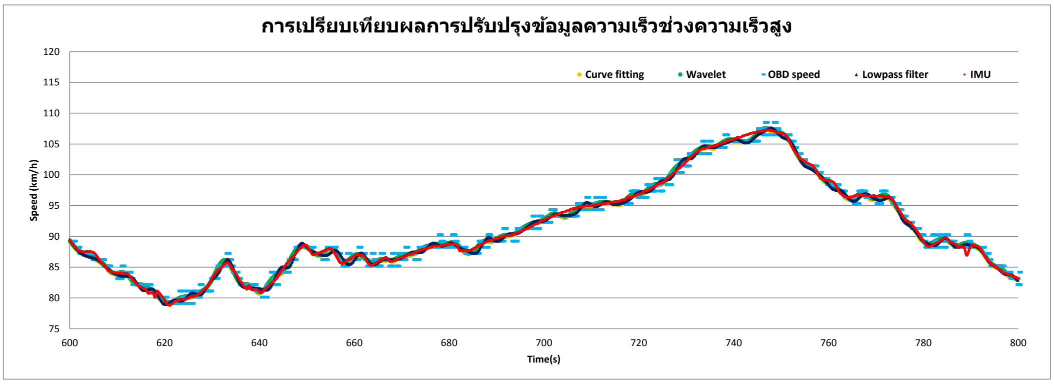
รูปที่ 55 กราฟเปรียบเทียบผลการปรับปรุงข้อมูลช่วงออกตัว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

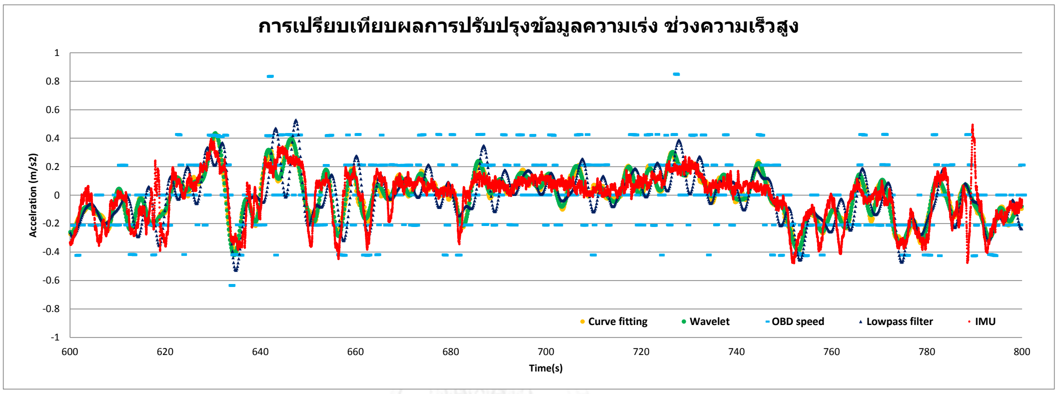
ข.2.2 ช่วงขับขี่ที่ความเร็วสูง

จากรูปที่ 56 กราฟเปรียบเทียบผลการปรับปรุงข้อมูลช่วงช่วงความเร็วสูง (ก) แสดงข้อมูลในช่วงเวลา 200 วินาที ที่มีการใช้ความเร็วระหว่าง 80-110 km/h พบว่าทั้งสามวิธีที่ใช้ปรับปรุงข้อมูลสามารถลดการกระจายตัวของข้อมูล OBD speed ให้มีค่าต่อเนื่อง และถูกต้องใกล้เคียงกับข้อมูล IMU ได้มากขึ้น โดยทราบจากเส้นกราฟของทั้งสามวิธี ทับกับข้อมูล IMU ตลอดช่วงการทอดสอบ

อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณารูปที่ 56 กราฟเปรียบเทียบผลการปรับปรุงข้อมูลช่วงช่วงความเร็วสูง (ข) ซึ่งเป็นข้อมูลความเร่ง พบว่าทั้งสามวิธีสามารถปรับให้ค่าความเร่งของ OBD speed ที่กระจายตัว มีแนวโน้มใกล้เคียง IMU มากขึ้นอย่างชัดเจน แต่เมื่อเปรียบเทียบทั้งสามวิธีกับ IMU จะพบว่าวิธี Lowpass filter เกิดปัญหา Overshoot สูงสุด และเฟสเกิดการเปลี่ยนแปลง ซึ่งมากกว่าวิธี Curve fitting และวิธี Wavelet transform โดยวิธี Curve fitting จะเกิด Overshoot สูงกว่าเล็กน้อย



(ก)



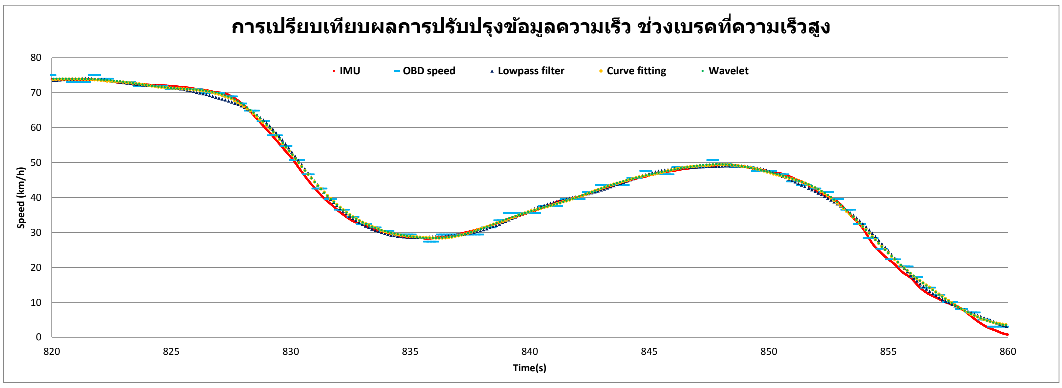
(ข)

รูปที่ 56 กราฟเปรียบเทียบผลการปรับปรุงข้อมูลช่วงช่วงความเร็วสูง

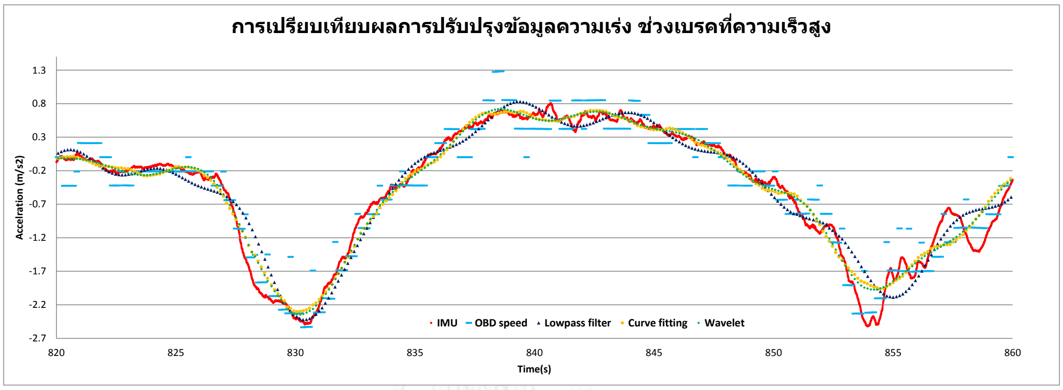
ข.2.3 ช่วงเร่งและเบรคที่ความเร็วสูง

จากรูปที่ 57 กราฟเปรียบเทียบผลการปรับปรุงข้อมูลช่วงช่วงเบรคที่ความเร็วสูง (ก) แสดงถึงการลดความเร็วจาก 75km/h ลงมาที่หยุดนิ่งภายใน 40 วินาที โดยมีการเบรคสองช่วง จะพบว่าทั้งสามวิธีสามารถปรับปรุงข้อมูล OBD speed ให้มีความใกล้เคียง IMU ได้มากขึ้น

สำหรับรูปที่ 57 กราฟเปรียบเทียบผลการปรับปรุงข้อมูลช่วงช่วงเบรคที่ความเร็วสูง (ข) ข้อมูลความเร่งทั้งสามวิธีสามารถปรับปรุงให้ข้อมูลความเร่งจาก OBD speed มีแนวโน้มใกล้เคียงและถูกต้องมากขึ้น อย่างไรก็ตามการสั่นของข้อมูลยังแตกต่างจาก IMU เล็กน้อย โดยเฉพาะวิธี Lowpass filter จะเกิด Overshoot ที่สูงกว่าเล็กน้อยและเฟสเกิดการเปลี่ยนแปลง



(ก)



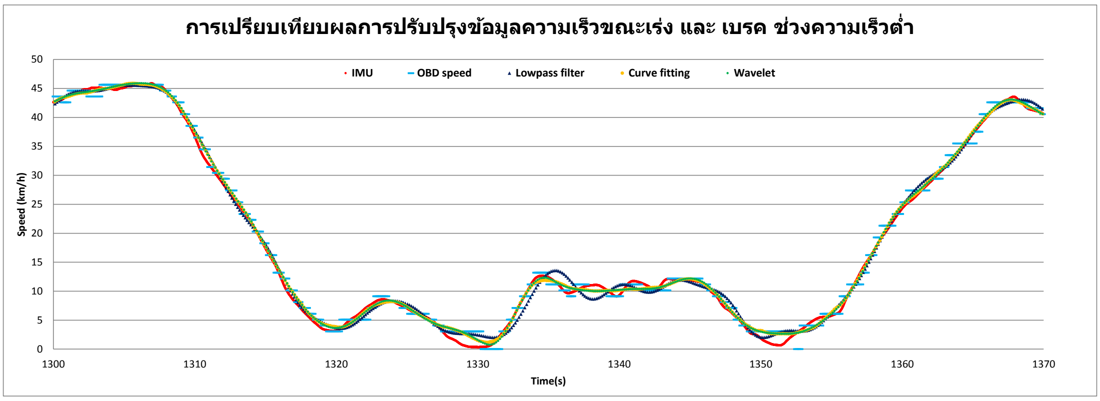
(ข)

รูปที่ 57 กราฟเปรียบเทียบผลการปรับปรุงข้อมูลช่วงช่วงเบรคที่ความเร็วสูง

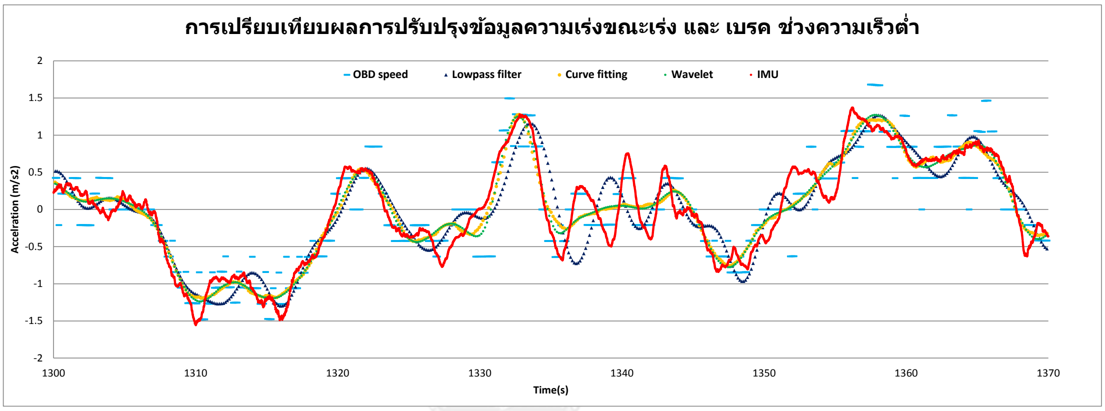
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ข.2.4 ช่วงเร่งและเบรคที่ความเร็วต่ำ

การเร่งและเบรคที่ความเร็วต่ำเป็นหนึ่งในลักษณะการขับขี่เกิดขึ้นบ่อยที่สุดภายใต้การจราจรแบบ City จากรูปที่ 58 กราฟเปรียบเทียบผลการปรับปรุงข้อมูลช่วงช่วงเร่งและเบรคที่ความเร็วต่ำ (ก) และ (ข) แสดงความเร็วและความเร่งในช่วงการเบรคที่ 45km/h จากนั้นขับขี่ที่ความเร็วต่ำคงที่ประมาณ 10 km/h และเร่งขึ้นไปที่ 45 km/h อีกครั้ง จะพบว่าข้อมูลจากทั้งสามวิธีสามารถแก้ไขเรื่องความความไม่ต่อเนื่องของข้อมูลความเร็ว และ ความเร่งจาก OBD speed ซึ่งให้แนวโน้มข้อมูลใกล้เคียงกับ IMU มากขึ้น แต่จะมีความคลาดเคลื่อนปรากฏอยู่ระหว่างวินาทีที่ 1327 – 1352 ซึ่งเป็นช่วงที่ความเร็วเปลี่ยนแปลงขึ้นลงอย่างฉับพลัน จะพบว่าวิธี Lowpass filter จะเกิดปัญหา Overshoot และเฟสเกิดการเปลี่ยนแปลง ขณะข้อมูลเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว เมื่อเปรียบเทียบกับวิธี Curve fitting และ Wavelet transform



(ก)



(ข)

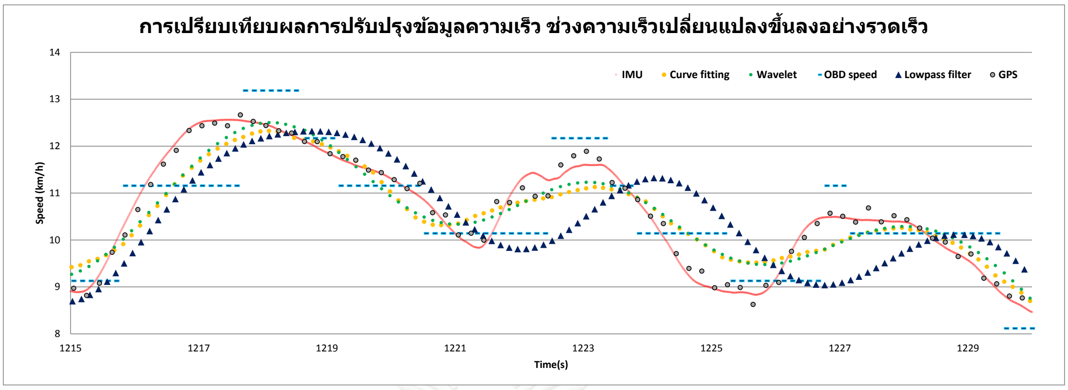
รูปที่ 58 กราฟเปรียบเทียบผลการปรับปรุงข้อมูลช่วงช่วงเร่งและเบรคที่ความเร็วต่ำ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

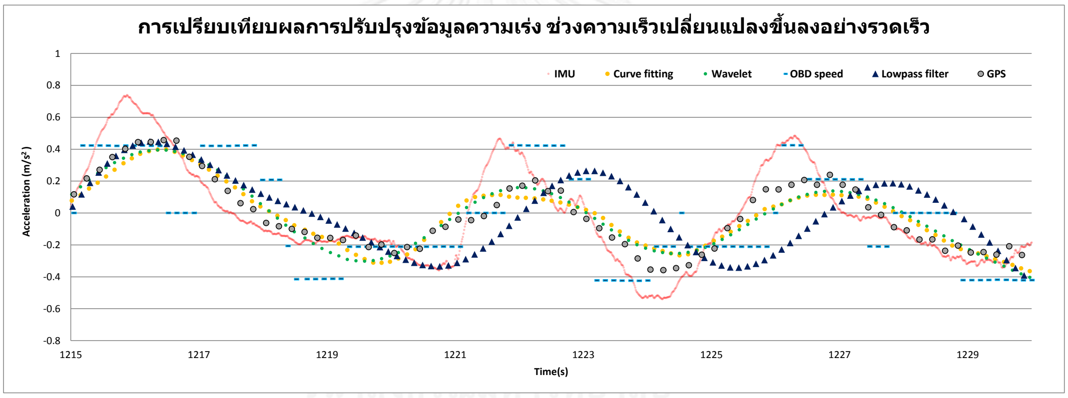
ข.2.5 ช่วงความเร็วเปลี่ยนแปลงขึ้นลงอย่างรวดเร็ว

รูปที่ 59 กราฟเปรียบเทียบผลการปรับปรุงข้อมูลช่วงช่วงความเร็วเปลี่ยนแปลขึ้นลงอย่างรวดเร็ว (ก) แสดงข้อมูลในช่วง 15 วินาที เพื่อทดสอบปัญหาการเปลี่ยนแปลงของเฟสที่เกิดจากวิธีการปรับปรุงคุณภาพข้อมูลทั้งสามวิธี เมื่อนำข้อมูลวิธี Lowpass filter Curve fitting และ Wavelet transform พบว่าทั้งสามวิธีสามารถแก้ไขปัญหาความเร็วไม่ต่อเนื่องของ OBD speed ให้ข้อมูลดิบมีใกล้เคียงกับข้อมูลจาก IMU มากขึ้นอย่างชัดเจนทั้ง สำหรับข้อมูลความเร่งจากรูปที่ 59 กราฟเปรียบเทียบผลการปรับปรุงข้อมูลช่วงช่วงความเร็วเปลี่ยนแปลขึ้นลงอย่างรวดเร็ว (ข) พบว่าจุดยอดของข้อมูลความเร่งจะต่ำลง และตำแหน่งคลาดเคลื่อนไปเล็กน้อยเมื่อเทียบกับ IMU อย่างไรก็ตามข้อมูล Lowpass filter เป็นข้อมูลที่เกิดความคลาดเคลื่อนจาก IMU มากที่สุด ซึ่งสามารถอธิบายได้โดยรูปที่ 60 Frequency response (กราฟสีน้ำเงิน) และ Phase response (กราฟสีเขียว) ของ Lowpass filter ที่ Cut-off frequency 0.4 Hz จะพบว่าช่วงข้อมูลความถี่ที่ต่ำกว่า 0.4

Hz เฟสจะเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว เป็นผลทำให้วิธี Lowpass filter ไม่เหมาะสมในการปรับปรุงคุณภาพข้อมูลความเร็ว และ ความเร่ง ในงานวิจัยนี้

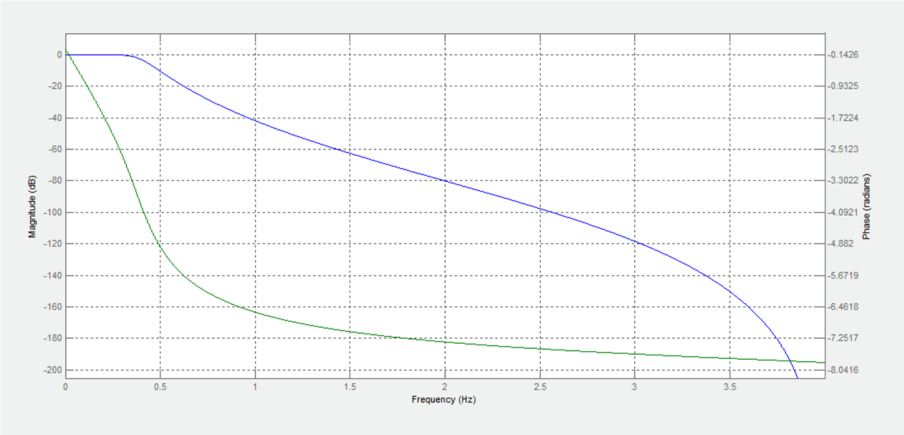


(ก)



(ข)

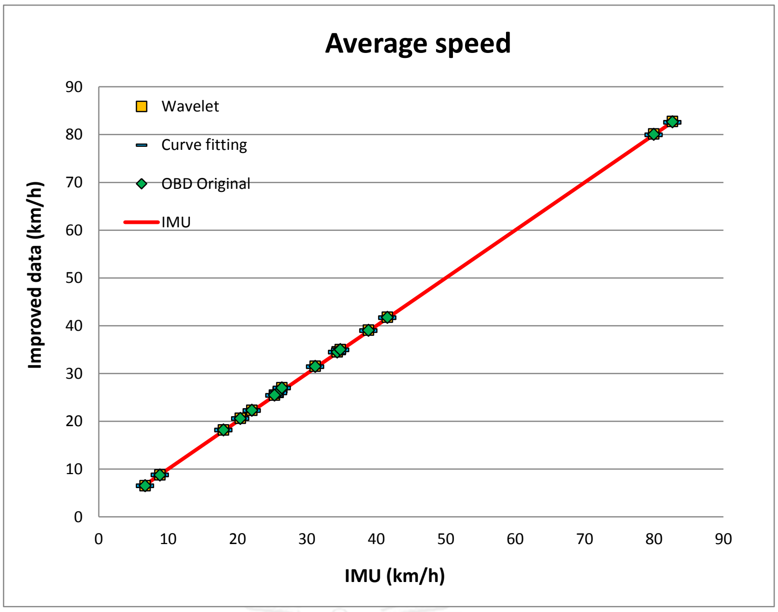
รูปที่ 59 กราฟเปรียบเทียบผลการปรับปรุงข้อมูลช่วงช่วงความเร็วเปลี่ยนแปลขึ้นลงอย่างรวดเร็ว



รูปที่ 60 Frequency response (กราฟสีน้ำเงิน) และ Phase response (กราฟสีเขียว) ของ Lowpass filter ที่ Cut-off frequency 0.4 Hz

หลังจากนำข้อมูล OBD speed ผ่านการปรับปรุงคุณภาพข้อมูลทั้งสามวิธี และทำการเปรียบเทียบลักษณะข้อมูลความเร็วและความเร่งในกรณีต่าง ๆ พบว่าวิธี Wavelet transform และวิธี Curve fitting ได้ผลที่ใกล้เคียงกัน ดังนั้นในส่วนนี้จะเป็นการนำข้อมูลความเร็ว และความเร่งที่ได้มาวิเคราะห์เพิ่มเติม โดยการนำข้อมูลมาคำนวณหาค่าทางสถิติ ได้แก่ค่า ความเร็วเฉลี่ย ความเร่งเฉลี่ย และ Acceleration noise ของแต่ละ Microtrip (ข้อมูลระหว่างช่วงรถออกตัวถึงรถหยุด) ซึ่งจะอธิบายเพิ่มเติมในลำดับต่อไป

จากรูปที่ 61 การเปรียบเทียบ Correlation ของข้อมูลความเร็วเฉลี่ยจาก OBD speed เทียบกับข้อมูลจาก IMU พบว่าความเร็วเฉลี่ยของแต่ละ Microtrip ที่ผ่านการ Wavelet transform และ Curve fitting รวมถึงค่าความเร็วเดิมที่จาก OBD (OBD original) ให้ค่า Correlation ใกล้เคียงกันกับ IMU กล่าวคือ จุดข้อมูลทับกันทุกจุด

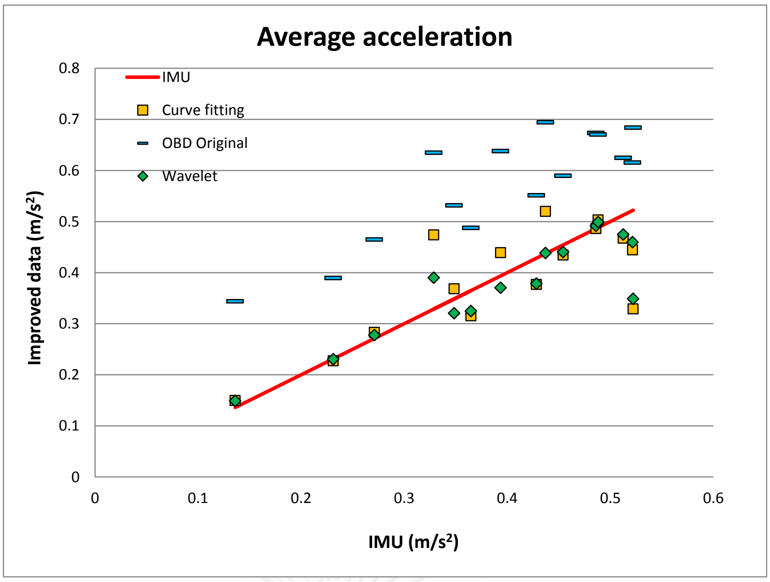


รูปที่ 61 การเปรียบเทียบ Correlation ของข้อมูลความเร็วเฉลี่ยจาก OBD speed เทียบกับข้อมูลจาก IMU

จากรูปที่ 62 การเปรียบเทียบ Correlation ของข้อมูลความเร่งเฉลี่ยจาก OBD speed เทียบกับข้อมูลจาก IMU เป็นการนำข้อมูลความเร็วเฉลี่ยของ Microtrip ที่ผ่านการปรับปรุงมาเทียบกับค่าเดิมที่คำนวณจาก OBD (OBD original) พบว่าค่าความเร่งเฉลี่ยที่คำนวณได้จาก OBD มีค่าสูงกว่า และผิดเพี้ยนจาก IMU มากที่สุด สำหรับวิธี Wavelet transform และ Curve fitting ได้ค่าที่ใกล้เคียงกับ IMU โดยวิธี Wavelet transform จะให้ค่าที่ใกล้เคียงกว่าเล็กน้อย เมื่อนำข้อมูลไปคำนวณหาสมการจะได้สมการ และ Correlation ดังตารางที่ 13 สมการและ Correlation ของข้อมูลความเร่งเฉลี่ยจากวิธีต่าง ๆ พบว่าวิธี Wavelet transform สามารถให้สมการ และ ค่า R^2 เท่ากับ 0.9 ซึ่งเป็นค่าที่ใกล้เคียง IMU มากที่สุด

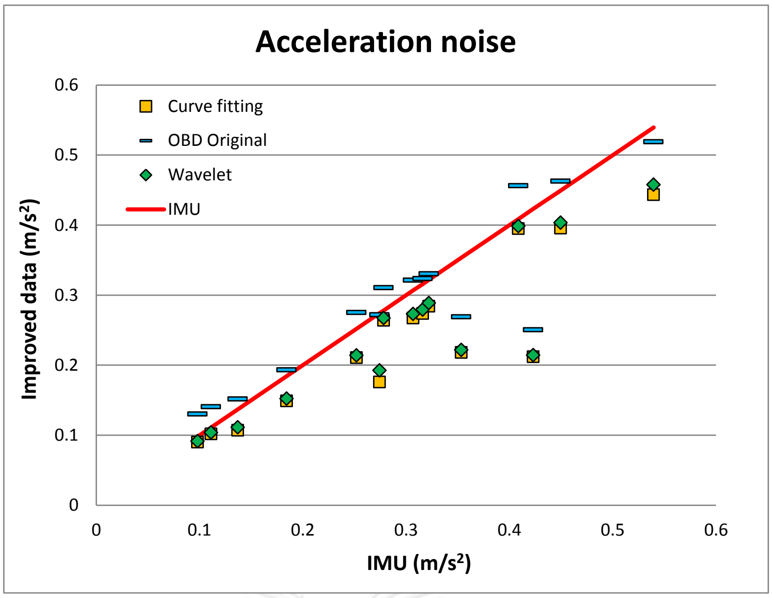
ตารางที่ 13 สมการและ Correlation ของข้อมูลความเร่งเฉลี่ยจากวิธีต่าง ๆ

วิธี	สมการ Correlation	Correlation (R^2)
OBD original	y=1.42x	R^2=0.3
Wavelet transform	y=1.00x	R^2=0.91
Curve fitting	y=0.96x	R^2=0.72



รูปที่ 62 การเปรียบเทียบ Correlation ของข้อมูลความเร่งเฉลี่ยจาก OBD speed เทียบกับข้อมูลจาก IMU

จากรูปที่ 63 การเปรียบเทียบ Correlation ของข้อมูล Acceleration noise จาก OBD speed เทียบกับข้อมูลจาก IMU พบว่าข้อมูล Acceleration noise ของแต่ละ Microtrip ที่ได้จากทั้งสามวิธี มีค่าใกล้เคียงกับ IMU โดยค่าจาก OBD original มีค่าสูงกว่า IMU เล็กน้อยในขณะที่ Wavelet transform และ Curve fitting มีค่าต่ำกว่า IMU เล็กน้อย โดยในแต่ละวิธีได้สมการและ Correlation ดังตารางที่ 14 สมการและ Correlation ของข้อมูล Acceleration noise จากวิธีต่าง ๆ จะพบว่าสมการและค่า Correlation ของ ODB original Wavelet transform และ Curve fitting มีค่าใกล้เคียงกับ IMU แต่หากพิจารณาร่วมกับการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้กล่าวมาข้างต้นพบว่าวิธี Wavelet transform เป็นวิธีที่ทำให้ข้อมูลถูกต้องมากที่สุด



รูปที่ 63 การเปรียบเทียบ Correlation ของข้อมูล Acceleration noise จาก OBD speed เทียบกับข้อมูลจาก IMU

ตารางที่ 14 สมการและ Correlation ของข้อมูล Acceleration noise จากวิธีต่าง ๆ

วิธี	สมการ Correlation	Correlation (R^2)
OBD original	y=1.04x	R^2=0.97
Wavelet transform	y=0.88x	R^2=0.97
Curve fitting	y=0.86x	R^2=0.96

จากการวิเคราะห์ข้อมูลความเร็วและความเร่งในข้างต้นสามารถสรุปวิธีการที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการปรับปรุงคุณภาพข้อมูลจาก OBD คือ วิธี Wavelet transform เนื่องจากหลักการทำงานที่สามารถปรับขนาดหน้าต่างวิเคราะห์ข้อมูล (Window) ให้มีขนาดเหมาะสมกับช่วงความถี่ของข้อมูลความเร็ว ในขณะที่วิธี Curve fitting และ Lowpass filter นั้นไม่สามารถทำได้ ทำให้ไม่เหมาะกับการนำมาใช้กับข้อมูลความเร็วที่เป็นสัญญาณไม่คงที่ นอกจากนี้จากการวิเคราะห์ข้อมูลในช่วงการใช้งานลักษณะต่าง ๆ พบว่าการทำ Lowpass filter จะส่งผลให้ข้อมูลเกิดปัญหาเฟสเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน ซึ่งเมื่อนำข้อมูลไปหาอนุพันธ์เพื่อหาความเร่ง ยิ่งทำให้ความผิดพลาดยิ่งปรากฏชัดเจนมากขึ้น สำหรับวิธี Curve fitting ถึงแม้จะเป็นวิธีที่ให้ผลความเร็ว และ ความเร่งใกล้เคียงกับวิธี Wavelet transform และ IMU อย่างไรก็ตามเมื่อนำค่าความเร็ว และ ความเร่งที่ได้มาคำนวณหาค่า

ทางสถิติ เช่น ความเร็วเฉลี่ย ความเร่งเฉลี่ย และ Acceleration noise จากข้อมูลช่วงสั้น ๆ พบว่าสมการ Correlation และ ค่า R^2 ของวิธี Curve fitting มีค่าต่ำกว่าวิธี Wavelet transform ซึ่งมีค่า R^2 ของ ความเร็วเฉลี่ย ความเร่งเฉลี่ย และ Acceleration noise อยู่ที่ 1.00 0.91 และ 0.97 ตามลำดับ ดังนั้นจากเหตุผลที่ได้แสดงในข้างต้น งานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ Wavelet transform ในการปรับปรุงคุณภาพข้อมูลความเร็วก่อนนำไปคำนวณหาข้อมูลความเร่ง อย่างไรก็ตามผลข้างเคียงของการทำ Wavelet transform ที่ตามมา คือ ปัญหา Zero drift ขณะช่วงรถยนต์เริ่มเคลื่อนตัว และกำลังจอด ซึ่งจะอธิบายวิธีแก้ไขในหัวข้อต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวสิริอร ปิตานุวัตร เกิดเมื่อวันที่ 13 มีนาคม พ.ศ. 2533 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมยานยนต์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2556 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2556 และมีผลงานวิชาการที่เผยแพร่ดังนี้

1. Pitanuwat, S. and A. Sripakagorn, The Possibility of Installing Extra Battery to Improve Hybrid to Electrical Vehicle-like in Bangkok Traffic, in The 2012-2013 JSAE KANTO International Conference of Automotive Technology for Young Engineer (ICATYE). 2013: Meiji University, Japan.

2. Pitanuwat, S. and A. Sripakagorn, The Application of VSP Fuel Consumption Model on Hybrid and Conventional Vehicles in Bangkok Traffic Conditions, in The 35th world automotive congress FISITA 2014. 2014: Maastricht, Netherlands.

3. Pitanuwat, S. and A. Sripakagorn, An investigation of fuel economy potential of hybrid vehicles under real-world driving conditions in Bangkok, in Proceedings of 2015 International Conference on Alternative Energy in Developing Countries and Emerging Economies. 2015. 2015: Bangkok, Thailand.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University