การศึกษาผลกระทบของยานยนต์ไฟฟ้าประเภทรถยนต์ต่อการใช้พลังงานของประเทศไทย

โดย

นายอธิวัฒน์ ศรีวิไล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ปีการศึกษา 2558

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

การศึกษาผลกระทบของยานยนต์ไฟฟ้าประเภทรถยนต์ต่อการใช้พลังงานของประเทศไทย

โดย

นายอธิวัฒน์ ศรีวิไล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศ
ปีการศึกษา 2558

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

THE STUDY ON THE EFFECT OF ELECTRIC VEHICLE TO ENERGY CONSUMPTION IN THAILAND

BY

Mr. ATIWAT SRIWILAI

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS
FOR THE DEGREE OF MASTER DEGREE OF ENGINEERING
(ENERGY AND ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY MANAGEMENT)
DEPARTMENT OF CHEMICAL ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING
THAMMASAT UNIVERSITY
ACADEMIC YEAR 2015

COPYRIGHT OF THAMMASAT UNIVERSITY

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์

วิทยานิพนธ์

ของ

นายอธิวัฒน์ ศรีวิไล

เรื่อง

การศึกษาผลกระทบของยานยนต์ไฟฟ้าประเภทรถยนต์ต่อการใช้พลังงาน
ของประเทศไทย

ได้รับการตรวจสอบและอนุมัติ ให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

เมื่อ วันที่ 8 สิงหาคม พ.ศ. 2559

ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ _____
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรณี แพ่งจันทึก)

กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ _____
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรรัตน์ ปัตรประกร)

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ _____
(อาจารย์ ดร.พรระพีพัฒน์ ภาสบุตร)

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ _____
(ดร.ภานุวัฒน์ เทียนศรี)

คณบดี _____
(รองศาสตราจารย์ ดร.ประภัสสร์ วังศกาญจน์)

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาผลกระทบของยานยนต์ไฟฟ้าประเภทรถยนต์ต่อการใช้พลังงานของประเทศไทย
ชื่อผู้เขียน	นายอธิวัฒน์ ศรีวิไล
ชื่อปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา/คณะ/มหาวิทยาลัย	เทคโนโลยีการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรรัตน์ ปัตรประกร
ปีการศึกษา	2558

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เสนอผลประหยัดของพลังงานที่ได้จากการแทนที่ของรถยนต์เชื้อเพลิงฟอสซิลด้วยรถยนต์ไฟฟ้าด้วยวิธีการวิเคราะห์พื้นผิวแบบจำลองด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบฟัซซี (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System: ANFIS) ตามแผนอนุรักษ์พลังงาน ประสิทธิภาพการใช้พลังงานในภาคขนส่งได้รับการส่งเสริมและรถยนต์ไฟฟ้าจะเข้ามามีบทบาทและความสำคัญมากยิ่งขึ้นเนื่องจากรถยนต์ไฟฟ้าสามารถช่วยลดการใช้พลังงานในภาคขนส่งและยังไม่มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ งานวิจัยนี้ได้มีการศึกษาและสำรวจปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อการใช้พลังงานของรถยนต์นั่งส่วนบุคคล,รถยนต์บริการสาธารณะและรถยนต์ไฟฟ้า เพื่อนำปัจจัยที่ได้ศึกษามาเป็นข้อมูลอินพุตของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบฟัซซี โดยกำหนดให้เอาท์พุตที่ได้อยู่ในหน่วยของเมกะจูลต่อกิโลเมตรและจำลองความสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีผลต่อการใช้พลังงานเพื่อคำนวณหาผลประหยัดพลังงานจากการแทนที่ของรถยนต์เชื้อเพลิงฟอสซิลด้วยรถยนต์ไฟฟ้า ผลที่ได้แสดงให้เห็นผลประหยัดที่เกิดขึ้นที่สถานการณ์ทั่วไป, สถานการณ์ความเป็นไปได้และสถานการณ์ที่เกินความคาดหมายในปี พ.ศ. 2573 โดยรถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงเป็นน้ำมันเบนซิน ที่ขนาดเครื่องยนต์อยู่ระหว่าง 1,600-1,800 ซีซี และมีการใช้งานในระยะทางสะสมไม่น้อยกว่า 14,000 กิโลเมตรต่อปีและพิจารณาอายุรถยนต์ 7 ปีขึ้นไปนำมาเปรียบเทียบอัตราการใช้พลังงานกับรถยนต์ไฟฟ้าขนาดกำลังมอเตอร์ 60 กิโลวัตต์ ปรากฏว่า รถยนต์นั่งส่วนบุคคลแทนที่ด้วยรถยนต์ไฟฟ้าสามารถประหยัดพลังงานเนื่องจากการแทนที่ได้ 153,979, 10,625,600 และ 15,849,555 จิกะจูลต่อปี และลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สู่ชั้นบรรยากาศได้ 10,710,019, 739,066,498 และ 1,102,420,158 ตันเทียบเท่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อปีตามลำดับ และเมื่อกำหนดรถยนต์

บริการสาธารณะที่ใช้เชื้อเพลิงเป็นก๊าซธรรมชาติที่ขนาดเครื่องยนต์เท่ากับ 1,800 ซีซี และมีการใช้งานในระยะทางสะสมไม่น้อยกว่า 93,500 กิโลเมตรต่อปีและพิจารณาอายุรถยนต์ 9 ปีขึ้นไป นำมาเปลี่ยนเป็นรถยนต์บริการสาธารณะไฟฟ้าที่ขนาดกำลังมอเตอร์ 80 กิโลวัตต์ จากการแทนที่ด้วยรถยนต์บริการสาธารณะไฟฟ้าสามารถประหยัดพลังงานไปได้ 19,124, 1,318,841และ 1,959,532 จิกะจูลต่อปี สามารถลดการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์สู่ชั้นบรรยากาศได้ 1,384,106, 95,449,291 และ 141,818,395 ตันเทียบเท่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อปี อย่างไรก็ตามยังต้องมีการพิจารณาโครงสร้างพื้นฐานสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการบริหารจัดการพลังงาน

คำสำคัญ: รถยนต์ไฟฟ้า, โครงข่ายประสาทเทียมแบบฟัซซี, ผลประหยัดพลังงาน

Thesis Title	THE STUDY ON THE EFFECT OF ELECTRIC VEHICLE TO ENERGY CONSUMPTION IN THAILAND
Author	Mr. Atiwat Sriwilai
Degree	Master of Engineering
Major Field/Faculty/University	Energy and Environmental Technology Management Engineering Thammasat University
Thesis Advisor	Asst. Prof. Woraratana Pattaraprakorn, D.Eng.
Academic Years	2015

ABSTRACT

This paper presents the result of energy saving from replacing of fossil-fuel cars with electric cars by Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System: ANFIS. According to Thailand Energy Efficiency Development Plan (EEDP), energy efficiency in transportation sector will be promoted and electric cars will play a great and substantial role because of lower energy consumption and no carbon dioxide release. This research has studied and surveyed the essential factors affecting the energy consumption of personal cars, taxi and electric cars so that the studied parameters will be used as inputs of the ANFIS Model. The output is specified in MJ/ km and simulated relations of energy consumption parameters in order to calculate energy- saving of the electric car replacement. The result represents in different conditions comprising of business as usual, probable case and extreme case in 2030. The personal cars considering in term of Gasoline vehicle with engine sizes of 1,600-1,800 CC, average distance of 14,000 km/year and vehicle age more than 7 years are replaced with the electric cars with motor size of 60 kW. In case of the personal cars, energy savings of the replacement are 153,979, 10,625,600 and 15,849,555 GJ/year and the decrease of carbon dioxide release are 10,710,019, 739,066,498 and 1,102,420,158 tonCO_2eq/year. Taxi considering

on Natural gas as fuel with engine size of 1,800 CC, average distance of 93,500 km/year and the vehicle age more than 9 year is replaced with taxi electric car with motor size of 80 kW. The replacement of taxi electric cars can save energy of 19,124, 1,318,841 and 1,959,532 GJ/year and reduce the release of CO_2 emission of 1,384,106, 95,449,291 and 141,818,395 tonCO_2eq/year. However, the infrastructure for electrical vehicle should be considered to enhance the energy management.

Keywords: Electric Cars, Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS), Energy saving

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีต้องขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. วรรัตน์ ปัตรประกร และ อาจารย์ ดร. พรระพีพัฒน์ ภาสบุตร ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำช่วยเหลือที่ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบรูณ์ อีกทั้งยังให้ข้อคิดในการศึกษาและการชีวิตแก่ผู้วิจัย ขอบพระคุณพี่ๆร่วมวิจัยในโครงการนี้ที่ได้ให้คำแนะนำติชมและคอยช่วยเหลือผู้วิจัยเสมอมา

ขอขอบพระคุณ คุณศิโรตม์ ดวงรัตน์ ผู้อำนวยการท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการเก็บข้อมูลในพื้นที่ท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ ตลอดจนผู้ตอบแบบสอบถามทุกท่านที่ทำให้งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้

ขอมอบคุณประโยชน์และความสำเร็จที่พึงได้จากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้แด่ทุกท่านที่มีส่วนเกี่ยวข้องและมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ หากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีข้อผิดพลาดประการใด ผู้วิจัยขอน้อมรับไว้เพื่อปรับปรุงในภายภาคหน้าต่อไป

นายอธิวัฒน์ ศรีวิไล

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	(1)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	(3)
กิตติกรรมประกาศ	(5)
สารบัญตาราง	(9)
สารบัญภาพ	(10)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	5
1.3 ขอบเขตการศึกษา	6
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ	6
บทที่ 2 เอกสาร ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	7
2.1 รถยนต์	7
2.1.1 พระราชบัญญัติรถยนต์ พ.ศ. 2522	7
2.1.2 ลักษณะและขนาดของรถยนต์ประเภทต่างๆ	8
2.1.3 ทฤษฎีและชนิดของเครื่องยนต์รถยนต์	12
2.1.4 หลักการทำงานเครื่องยนต์	14
2.2 รถยนต์ไฟฟ้า	16
2.2.1 หลักการทำงานของรถยนต์ไฟฟ้า	18

2.2.1.1 มอเตอร์ขับเคลื่อน 18
2.2.1.2 ชุดเฟืองขับเคลื่อน 20
2.2.1.3 แบตเตอรี่ 21
2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 23
2.3.1 ทฤษฎีทาโรยามาเน (Taro Yamane' theory) 23
2.3.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) 23
2.3.3 ฟัซซีลอจิก (fuzzy logic) 25
2.3.3.1 ระบบฟัซซี (Fuzzy system) 25
2.3.3.2 พื้นฐานแนวคิดแบบฟัซซี (fuzzy logic) 25
2.3.3.3 ฟัซซีเซต (Fuzzy Set) 26
2.3.3.4 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (membership function) 26
2.3.3.5 ตัวแปรภาษา (linguistic variable) 28
2.3.3.6 กฎฟัซซี (fuzzy rules) 28
2.3.4 โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks) 29
2.3.5 โครงข่ายประสาทเทียมฟัซซี่ 29
(Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System: ANFIS)
2.3.6 ค่าเฉลี่ยร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์ (Mean absolute percent error) 33
2.3.7 การคำนวณผลประหยัดทางพลังงานของรถยนต์ 33
2.3.8 การคำนวณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 34
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 35
2.4.1 งานวิจัยด้านรถยนต์และรถยนต์ไฟฟ้า 35
2.4.2 งานวิจัยด้านระบบฟัซซีและโครงข่ายประสาทเทียมแบบฟัซซี 40

บทที่ 3 วิธีการวิจัย 42

บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล 53

4.1 ผลจากการสำรวจ 53
4.2 การทดสอบสมมุติฐานในการหาความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่อการใช้พลังงาน 55

4.3 การเปรียบเทียบละกำหนดปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการใช้พลังงานของรถยนต์ไฟฟ้า 56
4.4 ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการใช้พลังงานของรถยนต์ฟอสซิล 57
4.5 ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการใช้พลังงานของรถยนต์ไฟฟ้า 58
4.6 การสร้างแบบจำลองประสิทธิภาพการใช้พลังงานด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบฟัซซี 60
4.6.1 การกำหนดอินพุตของรถยนต์เชื้อเพลิงฟอสซิล 60
4.6.2 การกำหนดอินพุตของรถยนต์ไฟฟ้า 64
4.7 ประสิทธิภาพการใช้พลังงานจากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบฟัซซี 72
4.8 ผลประหยัดพลังงานจากการใช้รถยนต์ไฟฟ้าและรถยนต์บริการสาธารณะไฟฟ้า 89
4.9 การคาดการณ์การใช้พลังงานไฟฟ้า 101
4.10 แนวทางการส่งเสริมการใช้งานจากสถานการณ์จำลอง 102

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 106

5.1 สรุปผลการวิจัย 106
5.2 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัย 109

รายการอ้างอิง 110

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก ตัวอย่างแบบสอบถามรถยนต์นั่งส่วนบุคคลและรถยนต์บริการสาธารณะ 114
ภาคผนวก ข ผลจากการสำรวจและแบบจำลองของรถยนต์เชื้อเพลิงฟอสซิล 120

ประวัติผู้เขียน 147

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	จำนวนรถยนต์ที่จดทะเบียนสะสมในเขตกรุงเทพและปริมณฑล	3
1.2	การคาดการณ์ยอดจำหน่ายรถยนต์ไฟฟ้าและจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าสะสมที่วิ่งบนท้องถนนในสถานการณ์ต่างๆของประเทศไทย	4
2.1	ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากกิจกรรมการเผาไหม้แบบเคลื่อนที่	34
4.1	ค่าการทดสอบระดับนัยสำคัญของรถยนต์แต่ละประเภท	56
4.2	ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการใช้พลังงานของรถยนต์ไฟฟ้าแต่ละประเภท	57
4.3	ลักษณะของรถยนต์ไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ที่มีการใช้งานอยู่ในประเทศไทย	59
4.4	การกำหนดรหัสอ้างอิงกับขนาดของเครื่องยนต์	61
4.5	การกำหนดรหัสอ้างอิงกับชนิดเชื้อเพลิง	61
4.6	การกำหนดรหัสอ้างอิงกับความเร็วเฉลี่ย	62
4.7	การกำหนดรหัสอ้างอิงกับอายุของรถยนต์	62
4.8	การกำหนดรหัสอ้างอิงกับจำนวนผู้โดยสาร	63
4.9	การกำหนดรหัสอ้างอิงกับสภาพการจราจร	63
4.10	การกำหนดค่าความเป็นสมาชิกฟังก์ชั่นของตัวแปร	64
4.11	การกำหนดรหัสอ้างอิงกับขนาดของมอเตอร์ไฟฟ้า	64
4.12	การกำหนดรหัสอ้างอิงกับความเร็วเฉลี่ย	65
4.13	การกำหนดรหัสอ้างอิงกับจำนวนผู้โดยสาร	65
4.14	การกำหนดรหัสอ้างอิงกับสภาพการจราจร	66
4.15	การกำหนดค่าความเป็นสมาชิกฟังก์ชั่นของตัวแปร	66
4.16	การคาดการณ์จำนวนรถยนต์ส่วนบุคคลไฟฟ้าและรถยนต์รับริการสาธารณะไฟฟ้าที่ใช้ในการจำลองแต่ละสถานการณ์	90
4.17	สถานการณ์จำลองที่ศึกษาเพื่อส่งเสริมการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้า	104
4.18	ผลการคำนวณผลประหยัดและการลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากสถานการณ์จำลอง	104

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1.1	ปริมาณการใช้พลังงานรูปแบบต่างๆ	1
1.2	ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงจำแนกตามสาขาเศรษฐกิจ	2
2.1	รถยนต์นั่งส่วนบุคคลไม่เกินเจ็ดคน (รย.1)	8
2.2	รถยนต์นั่งส่วนบุคคลเกินเจ็ดคน (รย.2)	9
2.3	รถยนต์บรรทุกส่วนบุคคล (รย.3)	10
2.4	รถยนต์สามล้อส่วนบุคคล (รย.4)	10
2.5	รถยนต์บริการสาธารณะ (รย.5)	12
2.6	วัฏจักรการทำงานของเครื่องยนต์เบนซิน 4 จังหวะ	14
2.7	วัฏจักรการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ	15
2.8	ยานยนต์ไฟฟ้ารูปแบบต่างๆ	18
2.9	ความแตกต่างของตรรกะจริงกับตรรกะฟัซซี	26
2.10	โครงสร้างของระบบอนุมานฟัซซีบนฐานโครงข่ายปรับตัวได้	30
2.11	โครงสร้างของฟัซซีโมเดลฟัซซีซูเกโน	33
3.1	แผนผังขั้นตอนการศึกษาผลกระทบของยานยนต์ไฟฟ้าประเภทรถยนต์ต่อการใช้พลังงานของประเทศไทย	42
3.2	การบันทึกข้อมูลเพื่อป้อนเข้า ANFIS	46
3.3	การพิมพ์คำสั่ง anfisedit เพื่อเรียก toolbox ของ ANFIS	47
3.4	ชุดข้อมูลที่ให้ระบบทำการเรียนรู้และสร้างแบบจำลอง	47
3.5	การกำหนดคุณสมบัติเครื่องตีความหมายของฟัซซี	48
3.6	การกำหนดคุณสมบัติการเรียนรู้ของ ANFIS	49
3.7	การ plot error การเรียนรู้ข้อมูลของ ANFIS	49
3.8	เอาท์พุตที่ได้จากแบบจำลองและเอาท์พุตจากการทดสอบ	50
3.9	พื้นผิวของแบบจำลองที่ได้รับการเรียนรู้จาก ANFIS	50
3.10	ผลลัพธ์ของกฎที่ได้รับการเรียนรู้จาก ANFIS	51
3.11	ฟังก์ชั่นที่ใช้ในการปรับแต่ง ANFIS	52
4.1	สัดส่วนขนาดของเครื่องยนต์ของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่ได้จากการสำรวจ	54
4.2	สัดส่วนชนิดของเชื้อเพลิงที่ใช้กับรถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่ได้จากการสำรวจ	54

4.3 รูปแบบสมาชิกฟังก์ชั่นของอินพุตที่ 1 (ขนาดเครื่องยนต์) ของรถยนต์เชื้อเพลิงฟอสซิล 67
4.4 รูปแบบสมาชิกฟังก์ชั่นของอินพุตที่ 2 (ชนิดเชื้อเพลิง) ของรถยนต์เชื้อเพลิงฟอสซิล 67
4.5 รูปแบบสมาชิกฟังก์ชั่นของอินพุตที่ 3 (ความเร็วเฉลี่ย) ของรถยนต์เชื้อเพลิงฟอสซิล 68
4.6 รูปแบบสมาชิกฟังก์ชั่นของอินพุตที่ 4 (อายุของรถยนต์) ของรถยนต์เชื้อเพลิงฟอสซิล 68
4.7 รูปแบบสมาชิกฟังก์ชั่นของอินพุตที่ 5 (จำนวนผู้โดยสาร) ของรถยนต์เชื้อเพลิงฟอสซิล 69
4.8 รูปแบบสมาชิกฟังก์ชั่นของอินพุตที่ 6 (สภาพการจราจร) ของรถยนต์เชื้อเพลิงฟอสซิล 69
4.9 รูปแบบสมาชิกฟังก์ชั่นของอินพุตที่ 1 (ขนาดมอเตอร์ไฟฟ้า) ของรถยนต์ไฟฟ้า 70
4.10 รูปแบบสมาชิกฟังก์ชั่นของอินพุตที่ 2 (ความเร็วเฉลี่ย) ของรถยนต์ไฟฟ้า 70
4.11 รูปแบบสมาชิกฟังก์ชั่นของอินพุตที่ 3 (จำนวนผู้โดยสาร) ของรถยนต์ไฟฟ้า 71
4.12 รูปแบบสมาชิกฟังก์ชั่นของอินพุตที่ 4 (สภาพการจราจร) ของรถยนต์ไฟฟ้า 71
4.13 ระบบประมวลผลด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบฟัซซีของรถยนต์เชื้อเพลิงฟอสซิล 73
4.14 ความสัมพันธ์ของขนาดเครื่องยนต์ต่อการใช้พลังงานรถยนต์เชื้อเพลิงฟอสซิล 73
4.15 ความสัมพันธ์ของความเร็วเฉลี่ยต่อการใช้พลังงานรถยนต์เชื้อเพลิงฟอสซิล 74
4.16 ความสัมพันธ์ของจำนวนผู้โดยยสารต่อการใช้พลังงานรถยนต์เชื้อเพลิงฟอสซิล 75
4.17 ความสัมพันธ์ของสภาพการจราจรต่อการใช้พลังงานรถยนต์เชื้อเพลิงฟอสซิล 75
4.18 ความสัมพันธ์ของชนิดเชื้อเพลิงต่อการใช้พลังงานรถยนต์เชื้อเพลิงฟอสซิล 76
4.19 ความสัมพันธ์ของอายุรถยนต์ต่ออัตราการใช้พลังงานรถยนต์เชื้อเพลิงฟอสซิล 76
4.20 ความสัมพันธ์ของอินพุตขนาดของเครื่องยนต์กับความเร็วเฉลี่ยของแบบจำลองประสิทธิภาพการใช้พลังงานของรถยนต์เชื้อเพลิงฟอสซิลด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบฟัซซี 78
4.21 ความสัมพันธ์ของอินพุตขนาดของเครื่องยนต์กับสภาพการจราจรของแบบจำลองประสิทธิภาพการใช้พลังงานของรถยนต์เชื้อเพลิงฟอสซิลด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบฟัซซี 78
4.22 ความสัมพันธ์ของอินพุตความเร็วเฉลี่ยกับสภาพการจราจรของแบบจำลองประสิทธิภาพการใช้พลังงานของรถยนต์เชื้อเพลิงฟอสซิลด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบฟัซซี 79
4.23 ความสัมพันธ์ของอินพุตขนาดของเครื่องยนต์กับอายุของรถยนต์ของแบบจำลองประสิทธิภาพการใช้พลังงานของรถยนต์เชื้อเพลิงฟอสซิลด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบฟัซซี 80

4.24 ความสัมพันธ์ของอินพุตขนาดของเครื่องยนต์กับจำนวนผู้โดยสารของแบบจำลอง ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของรถยนต์เชื้อเพลิงฟอสซิลด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบฟัซซี 80
4.25 ความสัมพันธ์ของอินพุตจำนวนผู้โดยสารกับอายุของรถยนต์ของแบบจำลอง ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของรถยนต์เชื้อเพลิงฟอสซิลด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบฟัซซี 81
4.26 ระบบประมวลผลด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบฟัซซีของรถยนต์ไฟฟ้า 82
4.27 ความสัมพันธ์ของขนาดมอเตอร์ไฟฟ้าต่อการใช้พลังงานรถยนต์ไฟฟ้า 82
4.28 ความสัมพันธ์ของความเร็วเฉลี่ยต่อการใช้พลังงานรถยนต์ไฟฟ้า 83
4.29 ความสัมพันธ์ของจำนวนผู้โดยสารต่อการใช้พลังงานรถยนต์ไฟฟ้า 83
4.30 ความสัมพันธ์ของสภาพการจราจรต่อการใช้พลังงานรถยนต์ไฟฟ้า 84
4.31 ความสัมพันธ์ของอินพุตขนาดของมอเตอร์ไฟฟ้ากับความเร็วเฉลี่ยของแบบจำลอง ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของรถยนต์ไฟฟ้าด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบฟัซซี 85
4.32 ความสัมพันธ์ของอินพุตขนาดของมอเตอร์ไฟฟ้ากับจำนวนผู้โดยสารของแบบจำลอง ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของรถยนต์ไฟฟ้าด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบฟัซซี 86
4.33 ความสัมพันธ์ของอินพุตขนาดของมอเตอร์ไฟฟ้ากับสภาพการจราจรของแบบจำลอง ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของรถยนต์ไฟฟ้าด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบฟัซซี 86
4.34 ความสัมพันธ์ของอินพุตความเร็วเฉลี่ยกับจำนวนผู้โดยสารของแบบจำลองประสิทธิภาพการใช้พลังงานของรถยนต์ไฟฟ้าด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบฟัซซี 87
4.35 ความสัมพันธ์ของอินพุตความเร็วเฉลี่ยกับสภาพการจราจรของแบบจำลองประสิทธิภาพการใช้พลังงานของรถยนต์ไฟฟ้าด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบฟัซซี 88
4.36 ความสัมพันธ์ของอินพุตจำนวนผู้โดยสารกับสภาพการจราจรของแบบจำลอง ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของรถยนต์ไฟฟ้าด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบฟัซซี 88
4.37 ผลประหยัดพลังงานที่เกิดจากการแทนที่ของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลไฟฟ้า ในสถานการณ์ทั่วไป 92
4.38 มูลค่าจากของประหยัดที่เกิดจากการแทนที่ของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลไฟฟ้า ในสถานการณ์ทั่วไป 92
4.39 การลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการแทนที่ของ รถยนต์นั่งส่วนบุคคลไฟฟ้าในสถานการณ์ทั่วไป 93
4.40 ผลประหยัดพลังงานที่เกิดจากการแทนที่ของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลไฟฟ้า ในสถานการณ์ที่มีความเป็นไปได้ 93

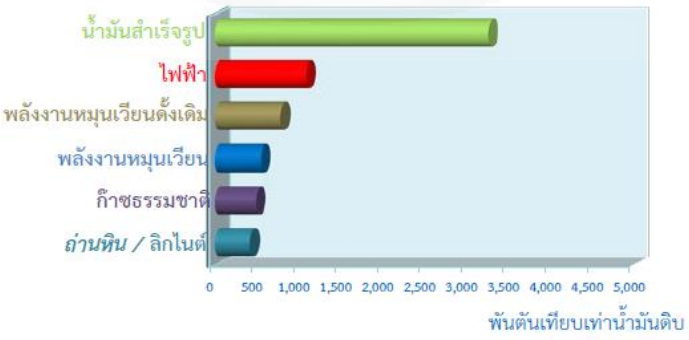
4.41 มูลค่าจากผลประหยัดที่เกิดจากการแทนที่ของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลไฟฟ้า ในสถานการณ์ที่มีความเป็นไปได้ 94
4.42 การลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการแทนที่ของ รถยนต์นั่งส่วนบุคคลไฟฟ้าในสถานการณ์ที่มีความเป็นไปได้ 94
4.43 ผลประหยัดที่เกิดจากการแทนที่ของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลไฟฟ้าในสถานการณ์ เกินความคาดหมาย 95
4.44 มูลค่าจากผลประหยัดที่เกิดจากการแทนที่ของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลไฟฟ้า ในสถานการณ์เกินความคาดหมาย 95
4.45 การลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการแทนที่ของ รถยนต์นั่งส่วนบุคคลไฟฟ้าในสถานการณ์เกินความคาดหมาย 96
4.46 ผลประหยัดที่เกิดจากการแทนที่ของรถยนต์บริการสาธารณะไฟฟ้าในสถานการณ์ทั่วไป 97
4.47 มูลค่าจากผลประหยัดที่เกิดจากการแทนที่ของรถยนต์บริการสาธารณะไฟฟ้า ในสถานการณ์ทั่วไป 97
4.48 การลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซน์จากการแทนที่ของ รถยนต์บริการสาธารณะไฟฟ้าในสถานการณ์ทั่วไป 98
4.49 ผลประหยัดที่เกิดจากการแทนที่ของรถยนต์บริการสาธารณะไฟฟ้าในสถานการณ์ ที่มีความเป็นไปได้ 98
4.50 มูลค่าจากผลประหยัดที่เกิดจากการแทนที่ของรถยนต์บริการสาธารณะไฟฟ้า ในสถานการณ์ที่มีความเป็นไปได้ 99
4.51 การลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการแทนที่ของ รถยนต์บริการสาธารณะไฟฟ้าในสถานการณ์ที่มีความเป็นไปได้ 99
4.52 ผลประหยัดที่เกิดจากการแทนที่ของรถยนต์บริการสาธารณะไฟฟ้าในสถานการณ์ เกินความคาดหมาย 100
4.53 มูลค่าจากผลประหยัดที่เกิดจากการแทนที่ของรถยนต์บริการสาธารณะไฟฟ้า ในสถานการณ์เกินความคาดหมาย 100
4.54 การลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการแทนที่ของ รถยนต์บริการสาธารณะไฟฟ้าในสถานการณ์เกินความคาดหมาย 101
4.55 การคาดการณ์ความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าของประเทศไทยที่เพิ่มขึ้นเนื่องจาก การใช้รถยนต์ไฟฟ้า 102

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากในปัจจุบันด้วยอัตราการขยายตัวของประชากรโลกที่เพิ่มสูงขึ้น ประกอบกับการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจและเทคโนโลยีมีความก้าวหน้าไปกว่าเดิมมาก พลังงานถือเป็นปัจจัยสำคัญที่ใช้ขับเคลื่อนเศรษฐกิจ ประเทศไทยเองจัดอยู่ในประเทศที่เศรษฐกิจกำลังขยายตัว (Emerging Economy) มีการพัฒนาอุตสาหกรรมในบางเขต แม้ประชากรส่วนใหญ่ยังยากจนล้าหลัง แต่ก็เป็นประเทศเศรษฐกิจที่กำลังขยายตัว ประเทศที่มีการพัฒนาสูงจำเป็นต้องการพลังงานจำนวนมหาศาลเช่นเดียวกัน ซึ่งในความต้องการใช้พลังงานที่มากขึ้นส่งผลกระทบคุณภาพทางสิ่งแวดล้อมที่ประชากรในโลกเองต้องเผชิญอยู่ในทุกวัน ในขณะที่สิ่งแวดล้อมถูกทำร้ายรอบด้านทำให้ประชากรในโลกหันมาใส่ใจคุณภาพสิ่งแวดล้อมมากขึ้น

จากที่ได้กล่าวข้างต้นความต้องการพลังงานของประเทศไทยยังเพิ่มสูงขึ้น ประเทศไทยมีการใช้พลังงานในช่วงเดือนแรกของปี พ.ศ. 2558 มีปริมาณ 6,585 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ เพิ่มขึ้นจากช่วงเดียวกันของปีก่อนร้อยละ 2.1 คิดเป็นมูลค่ากว่า 73,179 ล้านบาท จากการเติบโตทางเศรษฐกิจที่ชะลอตัวตามภาวะเศรษฐกิจโลก แต่ความต้องการพลังงานยังคงเพิ่มสูงขึ้นเมื่อจำแนกตามชนิดของเชื้อเพลิงพบว่าความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าคิดเป็นร้อยละ 16.5 พลังงานหมุนเวียนดั้งเดิมคิดเป็นร้อยละ 11.9 พลังงานหมุนเวียนคิดเป็นร้อยละ 8.3 พลังงานจากก๊าซธรรมชาติคิดเป็นร้อยละ 7.5 พลังงานจากถ่านหิน/ลิกไนต์คิดเป็นร้อยละ 6.4 และพลังงานที่มีความต้องการใช้มากที่สุดคงหนีไม่พ้นพลังงานจากน้ำมันสำเร็จรูปคิดเป็นร้อยละ 49.4 ของพลังงานขั้นสุดท้ายทั้งหมด



ภาพที่ 1.1 ปริมาณการใช้พลังงานรูปแบบต่างๆ. จาก *รายงานสรุปสถานการณ์พลังงานของประเทศไทยเดือนมกราคม 2558* (น.2), โดย กลุ่มสถิติข้อมูลพลังงาน ศูนย์ข้อมูลสารสนเทศข้อมูลพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2558.

เมื่อศึกษาตามสาขาเศรษฐกิจในสาขาที่มีอัตราส่วนการใช้เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบจากช่วงเดียวกันในปีก่อนพบว่า สาขาบ้านอยู่อาศัยมีสัดส่วนการใช้เพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 7.4 สาขาการขนส่งคิดเป็นร้อยละ 3.2 และสาขาธุรกิจคิดเป็นร้อยละ 2.1 และสาขาที่มีอัตราส่วนการใช้ลดลงเมื่อเทียบจากช่วงเดียวกันในปีก่อนพบว่า สาขาเกษตรกรรมมีการใช้ลดลงคิดเป็นร้อยละ 0.6 และสาขาอุตสาหกรรมคิดเป็นร้อยละ 0.8 เมื่อมองภาพรวมของการใช้พลังงานตามสาขาเศรษฐกิจสรุปได้ว่า สาขาการเกษตรใช้พลังงานคิดเป็นร้อยละ 5.2 สาขาธุรกิจใช้พลังงานคิดเป็นร้อยละ 7.2 สาขาบ้านอยู่อาศัยใช้พลังงานคิดเป็นร้อยละ 15.1 สาขาอุตสาหกรรมใช้พลังงานคิดเป็นร้อยละ 35.7 และสาขาที่มีการใช้พลังงานสูงสุดคือสาขาการขนส่งใช้พลังงานคิดเป็นร้อยละ 36.8

ภาพที่ 1.2 ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงจำแนกตามสาขาเศรษฐกิจ. จาก *รายงานสรุปสถานการณ์พลังงานของประเทศไทยเดือนมกราคม 2558* (น.2), โดย กลุ่มสถิติข้อมูลพลังงาน ศูนย์ข้อมูลสารสนเทศข้อมูลพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2558.

จากสถานการณ์พลังงานที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอยู่ปัจจุบัน รัฐบาลโดยกระทรวงพลังงานมีนโยบายเพื่อส่งเสริมให้มีประสิทธิภาพในการใช้พลังงานเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะภาคขนส่งที่มีการใช้ปริมาณพลังงานมากที่สุดจากการใช้พลังงานโดยรวมของประเทศ ซึ่งภาคขนส่งมีปริมาณการใช้พลังงานสูงกว่าภาคอุตสาหกรรมที่เป็นปัจจัยขับเคลื่อนเศรษฐกิจของประเทศ โดยแผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี (พ.ศ. 2554 - 2573) กระทรวงพลังงานตั้งเป้าหมายให้ค่าประสิทธิภาพการใช้เชื้อเพลิง (Fuel economy) มีอัตราที่ดีขึ้นโดยตั้งเป้าให้ลดลงภายใน 20 ปีข้างหน้าคิดเป็นร้อยละ 40 ในปี พ.ศ. 2573 โดยกระทรวงพลังงานได้มีการวิจัยและส่งเสริมเทคโนโลยียานยนต์สมัยใหม่เพื่อให้เกิดการใช้พลังงานที่มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น รวมถึงศึกษา วิจัยการใช้รถยนต์ไฟฟ้าให้มีสัดส่วนทดแทนกับรถยนต์ที่ใช้พลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิล ประโยชน์ที่ได้คาดการณ์ว่าจากการอนุรักษ์พลังงานจะส่งผลให้การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) สะสมลดลง 20 ล้านตันต่อปีโดยเฉลี่ย

ในภาคการขนส่งเมื่อศึกษาจากตารางที่ 1.1 แสดงปริมาณรถยนต์สะสม ณ วันที่ 31 ตุลาคม 2558 ของทั้งประเทศอยู่ที่ 36,622,017 คัน เมื่อลองศึกษาอัตราส่วนพบว่าปริมาณรถยนต์(ประเภท รย.1 - รย.11)สะสมพบว่าปริมาณรถยนต์สะสมมากที่สุด 3 ลำดับได้แก่ รถยนต์นั่งส่วนบุคคลไม่เกิน 7 คน, รถยนต์บรรทุกส่วนบุคคล และรถยนต์รับจ้างบรรทุกคนโดยสารไม่เกิน 7 คน ตามสัดส่วนคิดเป็นร้อยละ 26.66, 17.23 และ 0.29 ตามลำดับของรถตามกฎหมายว่าด้วยรถยนต์ เมื่อเทียบตามภูมิภาคพบว่าในเขตกรุงเทพและปริมณฑลอันประกอบด้วย จังหวัดนครปฐม จังหวัดปทุมธานี จังหวัดนนทบุรี จังหวัดสมุทรปราการ และจังหวัดสมุทรสาคร มีปริมาณรถยนต์สะสมมากที่สุดจึงคิดเป็นตัวแทนของทั้งประเทศ ปริมาณรถตามกฎหมายว่าด้วยรถยนต์สะสมในเขตกรุงเทพและปริมณฑลมีรถยนต์นั่งส่วนบุคคลไม่เกิน 7 คนสะสม 3,946,407 คันคิดเป็นร้อยละ 51 ของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลทั้งประเทศ และรถยนต์รับจ้างสาธารณะไม่เกิน 7 คนสะสม 101,509 คันคิดเป็นร้อยละ 97 ของรถยนต์รับจ้างทั้งประเทศ ให้เป็นกลุ่มตัวอย่างในการศึกษาเพื่อหาผลกระทบการใช้พลังงานและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของรถยนต์ทั้งประเทศเมื่อนโยบายของกระทรวงพลังงานมีความต้องการให้อัตราส่วนรถยนต์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นทดแทนรถยนต์ที่ใช้พลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิลตามอัตราส่วนของกระทรวงพลังงานตามแผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี

ตารางที่ 1.1

จำนวนรถยนต์ที่จดทะเบียนสะสมในเขตกรุงเทพและปริมณฑล (ณ วันที่ 31 ตุลาคม 2558)

ประเภทรถ Type of Vehicle	ทั่วประเทศ Whole Kingdom	กรุงเทพและปริมณฑล Bangkok Metropolitan Region
รวมทั้งสิ้น Grand Total	**36,622,017**	**10,118,498**
ก. รวมรถตามกฎหมายว่าด้วยรถยนต์ Total Vehicle under Motor Vehicle Act	35,440,931	9,823,939
รย. 1 รถยนต์นั่งส่วนบุคคลไม่เกิน 7 คน Sedan (Not more than 7 Pass.)	7,679,660	3,946,407
รย. 2 รถยนต์นั่งส่วนบุคคลเกิน 7 คน Microbus & Passenger Van	428,876	232,280
รย. 3 รถยนต์บรรทุกส่วนบุคคล Van & Pick Up	6,108,046	1,429,386
รย. 4 รถยนต์สามล้อส่วนบุคคล Motortricycle	1,645	1,199
รย. 5 รถยนต์รับจ้างระหว่างจังหวัด Interprovincial Taxi	9	-
รย. 6 รถยนต์รับจ้างบรรทุกคนโดยสารไม่เกิน 7 คน Urban Taxi	105,147	101,509
รย. 7 รถยนต์สี่ล้อเล็กรับจ้าง Fixed Route Taxi	3,002	2,488
รย. 8 รถยนต์รับจ้างสามล้อ Motortricycle Taxi (Tuk Tuk)	20,312	11,844
รย. 9 รถยนต์บริการธุรกิจ Hotel Taxi	3,835	756
รย.10 รถยนต์บริการทัศนาจร Tour Taxi	3,986	1,398
รย.11 รถยนต์บริการให้เช่า Car For Hire	57	55
รย.12 รถจักรยานยนต์ส่วนบุคคล Motorcycle	20,300,139	3,854,901
รย.13 รถแทรกเตอร์ Tractor	480,581	102,931
รย.14 รถบดถนน Road Roller	12,262	3,848
รย.15 รถใช้งานเกษตรกรรม Farm Vehicle	103,060	17
รย.16 รถพ่วง Automobile Trailer	3,533	2,079
รย.17 รถจักรยานยนต์สาธารณะ Public Motorcycle	186,781	132,841

หมายเหตุ. จาก *รายงานจำนวนรถยนต์ที่จดทะเบียนสะสมในเขตกรุงเทพและปริมณฑล*, โดย กลุ่มสถิติการขนส่ง กองแผนงาน กรมการขนส่งทางบก, 2558.

จากความต้องการพลังงานในภาคขนส่งและปริมาณรถยนต์สะสมที่เพิ่มสูงขึ้นในปัจจุบัน ได้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างเห็นได้ชัดเนื่องจากการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และก๊าซเรือนกระจกอื่นๆซึ่งประชากรบนโลกเองเป็นผู้ที่ได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมโดยตรง ส่งผลให้มีการคิดค้นเทคโนโลยีใหม่เพื่อให้ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกแต่ยังมีการใช้การคมนาคมด้วยรถยนต์ที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเช่นเดิม เทคโนโลยียานยนต์ไฟฟ้าถือเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในปัจจุบันที่ทางภาครัฐบาลเริ่มมีการสนับสนุนการใช้งานให้มากขึ้น จากตารางที่ 1.2 แสดงยอดจำหน่ายรถยนต์ไฟฟ้า และจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าสะสมที่วิ่งบนท้องถนนในสถานการณ์ต่างๆของประเทศไทย ซึ่งรวมทุกประเภทคาดว่าในปี พ.ศ. 2573 (ค.ศ. 2030) การจำหน่ายรถไฟฟ้าของประเทศไทยจะมียอดการจำหน่ายที่ 37,000 คัน สถานการณ์ปัจจุบันที่การใส่ใจต่อสิ่งแวดล้อมถือเป็นสิ่งสำคัญมีผลให้ธุรกิจที่มีการใส่ใจต่อสิ่งแวดล้อมเป็นภาพลักษณ์ที่น่าสนใจและมีแรงดึงดูดในการใช้บริการ การบริการรถยนต์สาธารณะได้มีการออกโครงการที่ใช้รถยนต์ไฟฟ้าประเภทไฮบริดได้แก่ Toyota Prius ที่สามารถประหยัดค่าพลังงานได้มากกว่ารถเครื่องยนต์สันดาปภายในขนาดเดียวกันได้โดยเฉพาะการขับขี่ในเมืองที่มีสภาพการจราจรติดขัด โดยมีอัตราการประหยัดเชื้อเพลิงที่ 22.5 กิโลเมตรต่อลิตรสำหรับการขับขี่ในเมือง และ 19.6 กิโลเมตรต่อลิตรสำหรับการขับขี่บนไฮเวย์ (EPA Fuel Economy Standards) และลดการปล่อยก๊าซมลพิษคิดเป็นร้อยละ 29

ตารางที่ 1.2

การคาดการณ์ยอดจำหน่ายรถยนต์ไฟฟ้าและจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าสะสมที่วิ่งบนท้องถนนในสถานการณ์ต่างๆของประเทศไทย

	สถานการณ์ทั่วไป (Business as Usual)				สถานการณ์ที่มีความเป็นได้ (Probable case)				สถานการณ์ที่เกินความคาดหมาย (Extreme case)			
	ยอดจำหน่าย		จำนวนสะสม[5]		ยอดจำหน่าย		จำนวนสะสม[5]		ยอดจำหน่าย		จำนวนสะสม[5]	
	จำนวน	%	จำนวน	%	จำนวน	%	จำนวน	%	จำนวน	%	จำนวน	%
รถยนต์ไฟฟ้า *,‡ (Light-duty electric vehicl)												
ปีฐาน (2012)	935	0.20%	10,297	0.20%	1,538	0.32%	10,929	0.214%	4,394	0.92%	14,126	0.27%
2015	1,156	0.20%	12,810	0.20%	7,411	1.26%	28,107	0.43%	38,966	6.62%	99,194	1.0552
2020	1,637	0.20%	18,467	0.20%	55,163	6.63%	186,234	1.98%	137,916	16.57%	540,109461	5.75%
2025	2,302	0.20%	26,573	0.20%	193,938	16.57%	805,942	5.96%	397,554	33.96%	1,886,365	13.96%
2030	3,140	0.20%	37,901	0.20%	542,405	33.96%	2,665,057	13.824%	786,906	49.26%	4,820,146	25.00%

หมายเหตุ. จาก *การศึกษาการพัฒนาของเทคโนโลยียานยนต์ไฟฟ้าและผลกระทบที่เกิดขึ้นสำหรับประเทศไทย* (น. 23), โดย ยศพงษ์ ลออนวล และคณะ, 2555, กรุงเทพฯ: สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

* รถยนต์ไฟฟ้า ประกอบด้วยรถยนต์ Hybrid Electric Vehicle (HEV), Plug-in Hybrid Electric Vehicle (PHEV) และ Battery Electric Vehicle(BEV) และรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า เป็นแบบ BEV อย่างเดียว โดยเปรียบเทียบกับประเภทรถยนต์สันดาปภายใน (internal combustion engine : ICE)

‡ ยอดจำหน่ายรถยนต์ไฟฟ้า ขยายตัวตามรูปแบบที่อ้างอิงจาก Roadmap ขององค์กรพลังงานระหว่างประเทศ (International Energy Agency: IEA) ในสถานการณ์ที่เกินความคาดหมาย (Extreme case) แต่กำหนดให้การขยายตัวล่าช้าออกไปเป็นเวลา 5 ปี ในสถานการณ์ที่มีความเป็นไปได้ (Probable case) โดยในปี 2030 มียอดจำหน่ายรถยนต์ไฟฟ้าในสัดส่วนของ ICE:HEV:PHEV:BEV เท่ากับ 66:18:12:4 และ 51:22:20:7 ในกรณีที่มีความเป็นไปได้และกรณีเกินความคาดหมาย ตามลำดับ

§ ยอดสะสม คำนวณจากจำนวนรถใหม่ที่เข้าสู่ระบบและรถที่เสื่อมสภาพตามสถิติการเสื่อมสภาพของรถในประเภทนั้นๆ โดยในปี ค.ศ. 2030 มียอดสะสมรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าในสัดส่วนของ ICE:BEV เท่ากับ 78:22 และ 56:44 ในสถานการณ์ที่มีความเป็นไปได้ และสถานการณ์เกินความคาดหมาย ตามลำดับ และมียอดสะสมรถยนต์ไฟฟ้าในสัดส่วนของ ICE:HEV:PHEV:BEV เท่ากับ 86:8:4:2 และ 75:13:9:3 ในสถานการณ์ที่มีความเป็นไปได้ และสถานการณ์เกินความคาดหมาย ตามลำดับ

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษา วิเคราะห์การใช้งานและพลังงานเชื้อเพลิงของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลไม่เกิน 7 คน และรถยนต์บริการสาธารณะไม่เกิน 7 คน ในเขตกรุงเทพและปริมณฑลในปัจจุบัน พร้อมพิจารณาปัจจัยที่มีผลต่อการใช้พลังงาน

1.2.2 ศึกษาคุณลักษณะของยานยนต์ไฟฟ้าเชิงเปรียบเทียบด้านพลังงาน เศรษฐศาสตร์ และสิ่งแวดล้อมสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าที่มีการใช้งานจริงในประเทศไทย พร้อมพิจารณาปัจจัยที่มีผลต่อการใช้พลังงาน

1.2.3 เพื่อพัฒนาแบบจำลองการใช้พลังงานของรถยนต์ไฟฟ้า รถยนต์นั่งส่วนบุคคลไม่เกิน 7 คน และรถยนต์บริการสาธารณะไม่เกิน 7 คน ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบฟัซซีภายใต้ปัจจัยที่มีผลต่อการใช้พลังงาน พร้อมทั้งเปรียบเทียบการใช้พลังงานของรถยนต์ไฟฟ้า รถยนต์นั่งส่วนบุคคลไม่เกิน 7 คน และรถยนต์บริการสาธารณะไม่เกิน 7 คน

1.2.4 ประเมินผลกระทบทั้งทางด้านพลังงาน เศรษฐศาสตร์ และสิ่งแวดล้อม พร้อมทั้งศึกษากรณีตัวอย่างจากการกำหนดสถานการณ์จำลองเพื่อหาความเป็นไปได้ของการใช้ยานยนต์ไฟฟ้าเพื่อทดแทนรถยนต์นั่งส่วนบุคคลไม่เกิน 7 คน และรถยนต์บริการสาธารณะไม่เกิน 7 คนของประเทศไทย

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1.3.1.กลุ่มตัวอย่างงานวิจัยเป็นผู้ขับขี่รถยนต์นั่งส่วนบุคคลไม่เกิน 7 คน และผู้ขับรถยนต์บริการสาธารณะไม่เกิน 7 คน ในเขตกรุงเทพและปริมณฑล อย่างน้อยประเภทละ 400 จากการคำนวณด้วยวิธี Taro Yamane ที่ขนาดความคลาดเคลื่อน $\pm$5%

1.3.2.ยานพาหนะที่ใช้พิจารณาคือรถยนต์นั่งส่วนบุคคลไม่เกิน 7 คน และรถยนต์บริการสาธารณะไม่เกิน 7 คน ในเขตกรุงเทพและปริมณฑล เนื่องจากมีปริมาณรถยนต์สะสมในเขตกรุงเทพและปริมณฑลมากที่สุดเพื่อเก็บข้อมูลที่เป็นปัจจัยในการใช้พลังงานเชื้อเพลิงในปัจจุบัน

1.3.3. เปรียบเทียบ วิเคราะห์ผลที่ได้จากการพัฒนาแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบฟัซซีและกำหนดสถานการณ์จำลองเป็นกรณีศึกษาจากการใช้พลังงานของรถยนต์ไฟฟ้า รถยนต์นั่งส่วนบุคคล และรถยนต์บริการสาธารณะทั้งทางด้านพลังงาน เศรษฐศาสตร์ และสิ่งแวดล้อม

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

1.4.1 ทราบถึงปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมการใช้งานและการใช้พลังงานเชื้อเพลิงของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลไม่เกิน 7 คน และรถยนต์บริการสาธารณะไม่เกิน 7 คน ในเขตกรุงเทพและปริมณฑลจากแบบสำรวจ

1.4.2 ทราบถึงปัจจัยที่เป็นคุณลักษณะเชิงเปรียบเทียบของด้านพลังงาน เศรษฐศาสตร์ และสิ่งแวดล้อมสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าที่มีการใช้งานจริงในประเทศไทย

1.4.3 แบบจำลองการใช้พลังงานของรถยนต์ไฟฟ้า รถยนต์นั่งส่วนบุคคลไม่เกิน 7 คน และรถยนต์บริการสาธารณะไม่เกิน 7 คน ภายใต้ปัจจัยที่มีผลต่อการใช้พลังงานด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบฟัซซี

1.4.4 ผลการเปรียบเทียบการใช้พลังงานของรถยนต์ไฟฟ้า รถยนต์นั่งส่วนบุคคลไม่เกิน 7 คน และรถยนต์บริการสาธารณะไม่เกิน 7 คน จากแบบจำลองการใช้พลังงานของรถยนต์ไฟฟ้า รถยนต์นั่งส่วนบุคคลไม่เกิน 7 คน และรถยนต์บริการสาธารณะไม่เกิน 7 คน

1.4.5 วิเคราะห์ผล และการวิเคราะห์สถานการณ์จำลอง (Scenario analysis) ความต้องการใช้พลังงาน ผลกระทบทางเศรษฐศาสตร์และทางสิ่งแวดล้อมของประเทศไทยในอนาคต จากการทดแทนรถยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลด้วยรถยนต์ไฟฟ้า

บทที่ 2
เอกสาร ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 รถยนต์

รถ หมายความว่า ยานพาหนะทุกชนิดที่ใช้ในการขนส่งทางบกซึ่งเดินด้วยกำลังเครื่องยนต์ กำลังไฟฟ้า หรือพลังงานอื่น และหมายความรวมตลอดถึงรถพ่วงของรถนั้นด้วย ทั้งนี้ เว้นแต่รถไฟ(พจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ. 2542 พิมพ์ครั้งแรก พ.ศ. 2546) รถยนต์ หมายความว่า รถที่มีล้อตั้งแต่สามล้อและเดินด้วยกำลังเครื่องยนต์ กำลังไฟฟ้าหรือพลังงานอื่น ยกเว้นรถที่เดินบนราง (พระราชบัญญัติจราจรทางบก พ.ศ. 2522)

2.1.1 พระราชบัญญัติรถยนต์ พ.ศ. 2522

รถ ตามบทนิยามของมาตรา 4 หมายความว่า รถยนต์ รถจักรยานยนต์ รถพ่วง รถบดถนน รถแทรกเตอร์ และรถอื่น รวมถึง รถใช้งานเกษตรกรรม (กฎกระทรวง ฉบับที่ 11 (พ.ศ. 2524)) ซึ่งตามพระราชบัญญัติฉบับดังกล่าวได้กำหนดความหมายของรถยนต์ไว้ ดังนี้

รถยนต์ หมายความว่า รถยนต์สาธารณะ รถยนต์บริการ และรถยนต์ส่วนบุคคล

2.1.1.1 รถยนต์สาธารณะ หมายความว่า

1 รถยนต์รับจ้างระหว่างจังหวัด ซึ่งได้แก่รถยนต์รับจ้างบรรทุกคนโดยสารไม่เกินเจ็ดคนที่ใช้รับจ้างระหว่างจังหวัด โดยรับส่งคนโดยสารได้เฉพาะที่นายทะเบียนกำหนด

2 รถยนต์รับจ้าง ซึ่งได้แก่รถยนต์รับจ้างบรรทุกคนโดยสารไม่เกิน เจ็ดคน หรือรถยนต์สาธารณะอื่นนอกจากรถยนต์โดยสารประจำทาง

2.1.1.2 รถยนต์บริการ หมายความว่า รถยนต์บรรทุกคนโดยสารหรือให้เช่าซึ่งบรรทุกคนโดยสารไม่เกินเจ็ดคน ดังต่อไปนี้

(1) รถยนต์บริการธุรกิจ ซึ่งได้แก่รถยนต์ที่ใช้บรรทุกคนโดยสารระหว่างท่าอากาศยาน ท่าเรือเดินทะเล สถานีขนส่งหรือสถานีรถไฟกับโรงแรมที่พักอาศัยที่ทำการของผู้โดยสาร หรือที่ทำการของผู้บริการธุรกิจนั้น

(2) รถยนต์บริการทัศนาจร ซึ่งได้แก่รถยนต์ที่ผู้ประกอบธุรกิจเกี่ยวกับการท่องเที่ยวใช้รับส่งคนโดยสารเพื่อการท่องเที่ยว

(3) รถยนต์บริการให้เช่า ซึ่งได้แก่รถยนต์ที่จัดไว้ให้เช่าซึ่งมิใช่เป็นการเช่าเพื่อนำไปรับจ้างบรรทุกคนโดยสารหรือสิ่งของ

2.1.1.3 รถยนต์ส่วนบุคคล หมายความว่า

1 รถยนต์นั่งส่วนบุคคลไม่เกินเจ็ดคน

2 รถยนต์นั่งส่วนบุคคลเกินเจ็ดคนแต่ไม่เกินสิบสองคน และรถยนต์บรรทุกส่วนบุคคลที่มีน้ำหนักรถไม่เกินหนึ่งพันหกร้อยกิโลกรัม ซึ่งมิได้ใช้ประกอบการขนส่งเพื่อสินจ้างตามกฎหมายว่าด้วยการขนส่งทางบก

2.1.2 ลักษณะและขนาดของรถยนต์ประเภทต่างๆ

กฎกระทรวงกำหนดลักษณะ และขนาดของรถที่จะรับจดทะเบียนเป็นรถประเภทต่างๆ พ.ศ. 2548 ได้กำหนดเกี่ยวกับลักษณะ และขนาด ของรถที่จะรับจดทะเบียนเป็นรถประเภทต่างๆ ไว้ดังต่อไปนี้

2.1.2.1 รถยนต์ส่วนบุคคล

1. รถยนต์นั่งส่วนบุคคลไม่เกินเจ็ดคน (รย.1) ต้องมีความกว้างไม่เกิน 2.55 เมตร ความยาวไม่เกิน 12 เมตร ความสูงไม่เกิน 4 เมตร กรณีที่รถมีความกว้างไม่เกิน 2.30 เมตร ให้มีความสูงได้ไม่เกิน 3.20 เมตร

ภาพที่ 2.1 รถยนต์นั่งส่วนบุคคลไม่เกินเจ็ดคน(รย.1) จาก *ลักษณะรถตามกฎหมายว่าด้วยรถยนต์*, โดย กรมการขนส่งทางบก, 2522.

2. รถยนต์นั่งส่วนบุคคลเกินเจ็ดคน (รย.2) ต้องมีลักษณะและขนาดเช่นเดียวกับ (รย.1) และต้องมีความสูงภายในไม่น้อยกว่า 1.60 เมตร เว้นแต่รถนั้นมีความยาวตลอด

ช่องทางเดินไม่เกิน 2 เมตร ความสูงภายในจะน้อยกว่า 1.60 เมตร ก็ได้แต่ต้องไม่น้อยกว่า 1.20 เมตร ในกรณีที่รถมีแถวที่นั่งติดกับประตูทางขึ้นลงและแถวที่นั่งนั้น มีที่นั่งเรียงติดต่อกันไม่เกินสามที่นั่ง เมื่อวัดในแนวดิ่งจากส่วนต่ำสุดของเพดานรถ ถึงกึ่งกลางของเบาะที่นั่งแต่ละที่นั่งต้องมีระยะห่างไม่น้อยกว่า 90 เซนติเมตร

ภาพที่ 2.2 รถยนต์นั่งส่วนบุคคลเกินเจ็ดคน (รย.2) จาก *ลักษณะรถตามกฎหมายว่าด้วยรถยนต์*, โดย กรมการขนส่งทางบก, 2522.

3. รถยนต์บรรทุกส่วนบุคคล (รย.3) ต้องมีความกว้างไม่เกิน 2.55 เมตร ความยาวไม่เกิน 12 เมตร ความสูงไม่เกิน 4 เมตร กรณีที่รถมีความกว้างไม่เกิน 2.30 เมตร ให้มีความสูงได้ไม่เกิน 3 เมตร ส่วนยื่นท้ายต้องไม่เกินสองในสามของช่วงล้อ เว้นแต่ตัวถังส่วนที่บรรทุกเป็นกระบะบรรทุกส่วนยื่นท้ายต้องไม่เกินกึ่งหนึ่งของช่วงล้อ

ภาพที่ 2.3 รถยนต์บรรทุกส่วนบุคคล (รย.3) จาก *ลักษณะรถตามกฎหมายว่าด้วยรถยนต์*, โดย กรมการขนส่งทางบก, 2522.

4. รถยนต์สามล้อส่วนบุคคล (รย.4) ต้องมีความกว้างไม่เกิน 2 เมตร ความยาวไม่เกิน 4 เมตร ความสูงไม่เกิน 2 เมตร เครื่องยนต์ต้องมีความจุในกระบอกสูบรวมกัน ไม่เกิน 660 ลูกบาศก์เซนติเมตรส่วนยื่นท้ายของรถตาม (รย.1) และ (รย.2) ต้องไม่เกินสองในสามของช่วงล้อและไม่เกินกึ่งหนึ่งของช่วงล้อสำหรับรถที่มีทางขึ้นลงของผู้โดยสารด้านท้าย

ความสูงของรถตาม (รย.1) (รย.2) และ (รย.3) ต้องไม่ทำให้รถมีการทรงตัวได้น้อยกว่าเกณฑ์ที่กรมการขนส่งทางบกประกาศกำหนด

ภาพที่ 2.4 รถยนต์สามล้อส่วนบุคคล (รย.4) จาก *ลักษณะรถตามกฎหมายว่าด้วยรถยนต์*, โดย กรมการขนส่งทางบก, 2522.

2.1.2.2 รถยนต์สาธารณะ

1. รถยนต์รับจ้างระหว่างจังหวัด ต้องเป็นรถเก๋งสองตอน รถเก๋งสองตอนแวน รถเก๋งสามตอน รถเก๋งสามตอนแวน รถยนต์นั่งสองตอน รถยนต์นั่งสองตอนแวน รถยนต์นั่งสามตอน รถยนต์นั่งสามตอนแวน หรือรถลักษณะอื่นตามแบบที่กรมการขนส่งทางบกให้ความเห็นชอบ มีประตูไม่น้อยกว่าสี่ประตู ความกว้างไม่เกิน 2.50 เมตร ความยาวไม่เกิน 6 เมตร ความสูงไม่เกิน 2 เมตรเครื่องยนต์ต้องมีความจุในกระบอกสูบรวมกันไม่ต่ำกว่า 1,500 ลูกบาศก์เซนติเมตรในกรณีที่เป็นรถยนต์นั่งสองตอน รถยนต์นั่งสองตอนแวน รถยนต์นั่งสามตอน หรือรถยนต์นั่งสามตอนแวน เบาะนั่งต้องมีระยะห่างจากพื้นถึงส่วนบนสุดของเบาะนั่งไม่น้อยกว่า 24 เซนติเมตรและมีระยะห่างจากส่วนต่ำสุดของเบาะนั่งถึงเพดานไม่น้อยกว่า 85 เซนติเมตร

2. รถยนต์รับจ้าง ต้องมีลักษณะ ขนาด หรือกำลังของเครื่องยนต์และของรถเช่นเดียวกับ (รย.1) และต้องมิได้ติดตั้งระบบควบคุมการปิดเปิดประตูรถจากศูนย์กลาง (CENTRAL LOCK) กระจกกันลมต้องเป็นกระจกที่โปร่งใสสามารถมองเห็นสภาพภายในรถและสภาพการจราจรภายนอกรถได้ชัดเจน และห้ามมิให้นำวัสดุอื่นใดมาติดหรือบังส่วนหนึ่งส่วนใดของกระจก เว้นแต่เป็นการติดเครื่องหมายหรือเอกสารตามที่กฎหมายกำหนด หรือการติดวัสดุสำหรับบังหรือกรองแสงแดดที่กระจกกันลมด้านหน้าตามที่กรมการขนส่งทางบกประกาศกำหนด

3. รถยนต์รับจ้างสามล้อ ต้องมีลักษณะประทุน โดยมีที่นั่งสองตอนหรือสองแถวความกว้างไม่เกิน 1.50 เมตร ความยาวไม่เกิน 4 เมตร ความสูงไม่เกิน 2 เมตร ความสูงภายในไม่น้อยกว่า 1.20 เมตร เครื่องยนต์ต้องมีความจุในกระบอกสูบรวมกันไม่เกิน 660 ลูกบาศก์เซนติเมตร

4. รถยนต์สี่ล้อเล็กรับจ้าง ต้องเป็นรถสองตอน มีประตูไม่น้อยกว่าสองประตูความกว้างไม่เกิน 1.50 เมตร ความยาวไม่เกิน 4 เมตร ความสูงไม่เกิน 2 เมตร ความสูงภายในไม่น้อยกว่า 1.20 เมตร เครื่องยนต์ต้องมีความจุในกระบอกสูบรวมกันไม่เกิน 800 ลูกบาศก์เซนติเมตร

2.1.2.3 รถยนต์บริการ

รถยนต์บริการ (รย.5) ต้องมีลักษณะ ขนาด หรือกำลังของเครื่องยนต์ของรถเช่นเดียวกับรถยนต์สาธารณะ(รย.1)

ภาพที่ 2.5 รถยนต์บริการสาธารณะ (รย.5) จาก *ลักษณะรถตามกฎหมายว่าด้วยรถยนต์*, โดย กรมการขนส่งทางบก, 2522.

2.1.3 ทฤษฎีและชนิดของเครื่องยนต์รถยนต์

เครื่องยนต์ หมายถึงเครื่องจักรที่สามารถเปลี่ยนพลังงานความร้อนจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงให้เป็นพลังงานกล เครื่องยนต์ถือเป็นส่วนหนึ่งของเครื่องต้นกำลังที่สำคัญ เนื่องจากสามารถจัดส่งกำลังให้กับส่วนประกอบและอุปกรณ์เครื่องทุ่นแรงต่างๆ เพื่อให้เกิดการขับเคลื่อนจึงถือได้ว่าเครื่องยนต์เป็นอีกสิ่งหนึ่งที่สามารถทำประโยชน์ให้กับมนุษย์ได้อย่างมาก

เครื่องยนต์สันดาปภายใน(Internal Combustion Engine หรือ ICE) หมายถึงเครื่องยนต์ที่เปลี่ยนพลังงานทางเคมีให้เป็นพลังงานกล โดยผ่านกลไกการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเกิดขึ้นในระบบปิด รถยนต์ส่วนใหญ่ในปัจจุบันเป็นเครื่องยนต์สันดาปภายในมีหลายแบบจำแนกตามชนิดเชื้อเพลิงได้แก่ เครื่องยนต์ก๊าซโซลีน เครื่องยนต์ดีเซล เครื่องยนต์ก๊าซเหลว เป็นต้น

2.1.3.1 เครื่องยนต์เบนซิน

เครื่องยนต์เบนซินหรือเครื่องยนต์ก๊าซโซลีน (Gasoline Engine หรือ Petrol Engine) เป็นเครื่องยนต์สันดาปภายใน (Internal Combustion Engine หรือ ICE) ชนิดหนึ่งที่มีการทำงานตามวัฏจักรออตโต(Otto Cycle) ประดิษฐ์ขึ้นในปี ค.ศ. 1876 ซึ่งเป็นเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ (Spark-Ignition Engine) (ต้องใช้หัวเทียน) เครื่องยนต์เบนซินมีหลักการทำงานด้วยการนำอากาศกับเชื้อเพลิงผสมกันในคาร์บูเรเตอร์ก่อนถูกดูดเข้าไปบรรจุอยู่ภายในกระบอกสูบในจังหวะดูด และถูกอัดตัวในจังหวะอัด เนื่องจากรถยนต์ประเภทนี้มีอัตราส่วนการอัดต่ำประมาณ 6 ถึง 11 ต่อ 1 จึงทำให้ความดันและอุณหภูมิของการอัดอากาศในตอนปลายจังหวะอัดต่ำ

โดยความร้อนประมาณ 752 ถึง 1,112 องศาฟาเรนไฮต์ (400 ถึง 600 องศาเซลเซียส) ซึ่งความร้อนเพียงเท่านี้ยังไม่สามารถจุดระเบิดได้ จึงจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ที่ทำให้เกิดประกายไฟ ซึ่งอาจจะได้รับกำลังมาจากแบตเตอรี่หรือแมกนีโต ความดันสูงสุดอันเกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อระเบิดในจังหวะระเบิดของเครื่องยนต์ประเภทนี้อยู่ที่ 580 ถึง 870 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เครื่องยนต์ประเภทนี้ส่วนใหญ่เป็นเครื่องยนต์ขนาดเล็กและขนาดกลางที่ใช้กับรถยนต์นั่งทั่วไปและรถยนต์บรรทุกขนาดเล็ก เครื่องยนต์อากาศยาน หรือเครื่องยนต์ที่ต้องใช้ในพื้นที่ซึ่งมีอุณหภูมิต่ำ

2.1.3.2 เครื่องยนต์ดีเซล

เครื่องยนต์ดีเซลเป็นเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง ส่วนมากเครื่องยนต์ดีเซล จะใช้เป็นต้นกำลังของรถบรรทุก รถบัส รถโดยสาร รถกระบะ รถแทรกเตอร์ รถไถนา เรือหางยาวขนาดใหญ่ เรือด่วน เครื่องผลิตไฟฟ้าขนาดใหญ่ อาศัยการทำงานโดยการนำอากาศเพียงอย่างเดียวบรรจุในกระบอกสูบในจังหวะดูด และถูกอัดตัวในจังหวะอัด ที่ตอนปลายของจังหวะอัดเชื้อเพลิงจะถูกฉีดเข้าไปยังห้องเผาไหม้ แล้วใช้ความดันจากการอัดของเครื่องยนต์ประมาณ 14 ถึง 22 ต่อ 1 จึงทำให้อากาศอัดในตอนปลายจังหวะอัดมีความดันสูงประมาณ 435 ถึง 798 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ความร้อนจากการอัดตัวของอากาศในห้องเผาไหม้อยู่ที่ 1,292 ถึง 1,652 องศาฟาเรนไฮต์ (700 ถึง 900 องศาเซลเซียส) หรืออาจมากกว่านั้น ซึ่งสูงมากพอที่จะจุดเชื้อเพลิงที่ฉีดเข้าไปทำให้เกิดการเผาไหม้ ดังนั้นเครื่องยนต์ดีเซลไม่ต้องการระบบจุดระเบิดซึ่งต่างกับเครื่องยนต์เบนซิน หรือเครื่องยนต์ก๊าซปิโตรเลียมเหลว แต่จำเป็นต้องมีระบบหัวฉีดเชื้อเพลิงความดันสูงและหัวฉีดความดันสูงสุดทำให้เกิดการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงในจังหวะระเบิดของเครื่องยนต์นี้มีความดันสูงประมาณ 943 ถึง 1,305 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

2.1.3.3 เครื่องยนต์ก๊าซปิโตรเลียมเหลว

เครื่องยนต์ก๊าซปิโตรเลียมเหลวหรือเรียกอีกอย่างว่าเครื่องยนต์แอลพีจี (Liquefied Petroleum Gas:LPG) เป็นเครื่องยนต์ที่ได้การดัดแปลงมาจากเครื่องยนต์เบนซินเพื่อใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลวเป็นเชื้อเพลิง จึงมีส่วนประกอบและลักษณะเหมือนกับเครื่องยนต์เบนซินทุกประการ ยกเว้นระบบการเก็บรักษาและจัดส่งเชื้อเพลิง เนื่องจากก๊าซปิโตรเลียมเหลวหรือแอลพีจีซึ่งใช้เป็นเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ประเภทนี้ระเหยตัวได้ที่อุณหภูมิต่ำจึงจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์สำหรับเก็บก๊าซที่ละเอียดมากกว่าเชื้อเพลิงเบนซิน นอกจากนั้นอุปกรณ์ลดความดันต้องใช้อุปกรณ์ลดความดันเพื่อให้ก๊าซปิโตรเลียมเหลวระเหยตัวกลายเป็นไอก่อนที่จะเข้าสู่คาร์บูเรเตอร์หรือหัวฉีดเชื้อเพลิงเพื่อให้ผสมกันระหว่างก๊าซปิโตรเลียมเหลวกับอากาศเกิดขึ้นสมบูรณ์ อันเป็นผลทำให้การเผาไหม้ที่เกิดขึ้นภายในห้องเผาไหม้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ และเนื่องจากก๊าซปิโตรเลียมเหลวที่ใช้กับ

เครื่องยนต์จะให้ค่าความร้อนสูงกว่าน้ำมันเบนซิน จึงสามารถเพิ่มกำลังอัดของเครื่องยนต์ได้มากกว่าเดิม 1 ถึง 2 ส่วนซึ่งการเพิ่มอัตราส่วนดังกล่าวทำให้มีแนวโน้มในการประหยัดค่าใช้จ่ายมากขึ้น

2.1.3.3 เครื่องยนต์ก๊าซธรรมชาติ

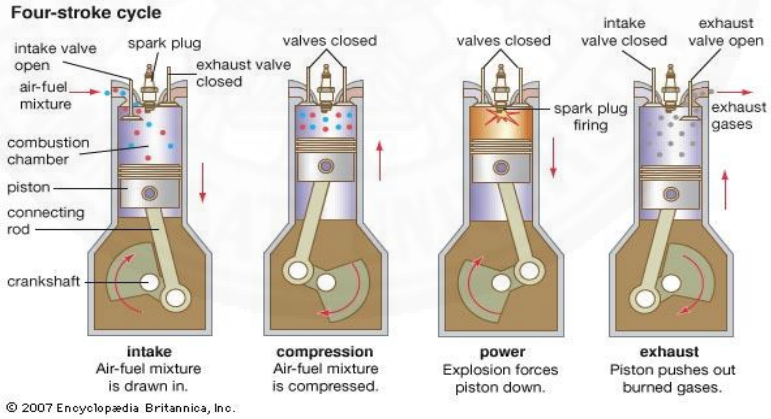
เครื่องยนต์ประเภทนี้ในระยะแรกจะใช้เครื่องยนต์เบนซินนำมาดัดแปลงใช้กับเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติหรือก๊าซมีเทน แต่ในปัจจุบันได้มีการดัดแปลงเครื่องยนต์ดีเซลมาใช้กับก๊าซธรรมชาติด้วยเช่นกันด้วยลักษณะสำคัญคล้ายกับเครื่องยนต์ก๊าซปิโตรเลียมเหลว คือจะต้องมีอุปกรณ์เก็บและควบคุมก๊าซเหมือนกันแต่อาจต่างกันอยู่บ้างเล็กน้อยเนื่องจากการใช้เชื้อเพลิงคนละประเภท

2.1.4 หลักการทำงานเครื่องยนต์

เครื่องยนต์แต่ละประเภทวัตถุประสงค์และหลักการการทำงานคล้ายกันส่วนใหญ่รถยนต์จะมีหลักการทำงานแบบ 4 จังหวะ จะต่างอยู่ที่ลักษณะการใช้และการจุดระเบิดภายในกระบอกสูบ ระบบระบายความร้อนของเครื่องยนต์ และจังหวะการทำงานของเครื่องยนต์

2.1.4.1 การทำงานเครื่องยนต์เบนซิน 4 จังหวะ

เครื่องยนต์มีลักษณะการทำงานเพลาข้อเหวี่ยงจะหมุน 2 รอบ ต่อการจุดระเบิดให้กำลังงาน 1 ครั้ง นั่นหมายถึงลูกสูบจะเคลื่อนที่ขึ้น-ลงรวม 4 ครั้ง (ขึ้น 2 ครั้ง และลง 2 ครั้ง) แล้วจังหวะจะวนกลับมาเริ่มใหม่อีกครั้งหมุนเวียนอยู่เช่นนี้



ภาพที่ 2.6 วัฏจักรการทำงานของเครื่องยนต์เบนซิน 4 จังหวะ จาก *วัฏจักรการทำงานของเครื่องยนต์เล็ก*, โดย ภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกล คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี.

จังหวะดูด (Intake) จังหวะดูดเริ่มต้นจากลูกสูบอยู่ด้านบนของกระบอกสูบ เคลื่อนที่ลงสู่ด้านล่าง ลิ้นไอดีเปิดเพื่อดูดส่วนผสมไอดี (น้ำมันเบนซินผสมกับอากาศ) เข้ากระบอกสูบจนลูกสูบเคลื่อนที่ลงสู่ศูนย์ตายล่างลิ้นไอดีจึงอยู่ในตำแหน่งปิด

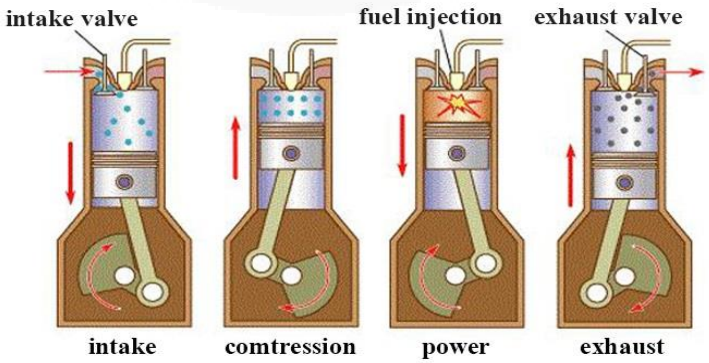
จังหวะอัด (Compression) จังหวะอัดลกสูบเคลื่อนที่จากศูนย์ตายล่างขึ้นสู่ศูนย์ตายบนของกระบอกสูบ เพื่ออัดส่วนผสมไอดีที่ถูกดูดเข้ามาภายในกระบอกสูบจากจังหวะดูด ส่งผลทำให้ภายในกระบอกสูบมีอัตราส่วนการอัดสูงขึ้นประมาณ 1 : 6 ถึง 1 : 10 ความดันประมาณ 6.0 – 10.0 กก./ซม^2

จังหวะระเบิดหรือจังหวะงาน (Expansion) ก่อนลูกสูบเคลื่อนที่ถึงศูนย์ตายบนเล็กน้อยจะเกิดประกายขึ้นที่เขี้ยวหัวเทียนทำให้เกิดการจุดระเบิดของเชื้อเพลิงขึ้นภายในกระบอกสูบในจังหวะนี้เป็นจังหวะที่ให้งานออกมา หลังจากนั้นลูกสูบก็จะเคลื่อนที่จากศูนย์ตายบนลงสู่ศูนย์ตายล่าง โดยในจังหวะนี้วาล์วไอดีอยู่ในตำแหน่งปิดและเปิดวาล์วไอเสีย

จังหวะคาย (Exhaust) จังหวะคายเป็นการทำงานต่อจากจังหวะระเบิด เมื่อลูกสูบเคลื่อนที่จากศูนย์ตายบนลงสู่ศูนย์ตายล่างเนื่องจากการได้รับแรงกระแทกจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง จากนั้นลูกสูบจะเคลื่อนที่ขึ้นสู่ด้านบนของกระบอกสูบเพื่อไล่ไอออกผ่านทางลิ้นไอเสีย เมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ถึงศูนย์ตายบนวาล์วไอเสียก็จะปิด วาล์วไอดีก็จะอยู่ในตำแหน่งเริ่มเปิดอีกครั้งเพื่อเข้าสู่จังหวะดูดใหม่อีกครั้ง

2.1.4.2 การทำงานเครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ

เครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะมีหลักการทำงานคือใน 1 กลวัตร (Cycle) ของแต่ละสูบ เพลาข้อเหวี่ยงจะหมุน 2 รอบ ต่อการจุดระเบิดให้กำลังงาน 1 ครั้ง นั่นหมายถึงลูกสูบจะเคลื่อนที่ขึ้น-ลงรวม 4 ครั้ง (ขึ้น 2 ครั้ง และลง 2 ครั้ง) คือเพลาข้อเหวี่ยงหมุนรอบที่ 1 ลูกสูบเคลื่อนที่ลงในจังหวะดูด (Intake Stroke) ต่อมาลูกสูบเคลื่อนที่ขึ้นในจังหวะอัด (Compression Stroke) เพลาข้อเหวี่ยงหมุนรอบที่ 2 ลูกสูบเคลื่อนที่ลงในจังหวะกำลัง หรือจังหวะระเบิด (Power Stroke or Expansion Stroke) สุดท้ายลูกสูบเคลื่อนที่ขึ้นในจังหวะคาย (Exhaust Stroke) ถ้าเครื่องยนต์มีหลายสูบ แต่ละสูบจะทำงานเวียนตามลำดับการจุดระเบิด



ภาพที่ 2.7 วัฏจักรการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ จาก *วัฏจักรการทำงานของเครื่องยนต์เล็ก*, โดย ภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกล คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี.

จังหวะดูด (Intake Stroke) ลิ้นไอดีจะเริ่มเปิดก่อนที่ลูกลูบจะเคลื่อนที่ถึงศูนย์ตายบน (ดังแสดงในรูปที่ 2.7 ในตำแหน่งที่ 1) เมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ลงจากศูนย์ตายบน (TDC หรือ Top Dead Center) อากาศจะถูกดูดเข้ากระบอกสูบ เมื่อลูกสูบเคลื่อนที่เลยจากศูนย์ตายล่าง (BDC หรือ Bottom Dead Center) อากาศจะยังคงไหลเข้ากระบอกสูบด้วยแรงเฉื่อยจนกว่าลิ้นไอดีจะปิด

จังหวะอัด (Compression Stroke) เมื่อลิ้นไอดีปิดอันเป็นจุดเริ่มต้นของจังหวะอัดซึ่งลูกสูบจะเคลื่อนที่ขึ้นไปสู่ศูนย์ตายบน จังหวะนี้อากาศประมาณ 16 - 22 ส่วนที่ถูกดูดเข้ากระบอกสูบมาในจังหวะดูดจะถูกอัดตัวให้มีปริมาตรเล็กลงเหลือประมาณ 1 ส่วน ดังนั้นอากาศจึงมีความดันและอุณหภูมิที่สูงขึ้นพร้อมสำหรับการสันดาป

หมายเหตุ. ช่วงปลายของจังหวะอัดคือก่อนที่ลูกสูบจะเคลื่อนที่ถึงศูนย์ตายบน (ดังแสดงในรูปที่ 2.7 ในตำแหน่งที่ 3) หัวฉีดจะเริ่มฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงก่อนที่หัวลูกสูบจะเคลื่อนถึงศูนย์ตายบนกี่องศานั้นขึ้นอยู่กับสภาวะต่างๆ เช่นความเร็วรอบ, อุณหภูมิ และภาระ (Load) ของเครื่องยนต์ เป็นต้น ซึ่งเครื่องยนต์ดีเซลบางรุ่นบางสภาวะอาจเริ่มฉีดน้ำมันที่ศูนย์ตายบน หรือหลังศูนย์ตายบนเล็กน้อย)

จังหวะกำลัง (Power Stroke) (ซึ่งเริ่มนับจากหัวลูกสูบอยู่ที่ศูนย์ตายบน) หรือบางครั้งเรียกว่า จังหวะระเบิด (Expansion Stroke) (ซึ่งเริ่มนับจากหัวฉีด ฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง) กำลังจากการระเบิดหรือการสันดาป (Combustion) ภายในห้องเผาไหม้จะผลักดันให้ลูกสูบเคลื่อนที่ลงมาเป็นกำลังงานขับเคลื่อนเครื่องยนต์ ในจังหวะนี้จะไปสิ้นสุดจนกว่าลิ้นไอเสียจะเปิด

จังหวะคาย (Exhaust Stroke) จังหวะนี้เริ่มต้นจากลิ้นไอเสียจะเริ่มเปิดก่อนที่ลูกสูบจะเคลื่อนที่ถึงศูนย์ตายล่าง ก๊าซไอเสียซึ่งยังมีความดันจากการขยายตัวอยู่จะระบายออกทางลิ้นไอเสีย เมื่อลูกสูบเคลื่อนที่เลยจากศูนย์ตายล่าง (BDC) จะผลักดันให้ไอเสียไหลออกไปจากกระบอกสูบ

2.2 รถยนต์ไฟฟ้า

ปัจจุบันรถยนต์ไฟฟ้าไม่ได้หมายถึงรถยนต์ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าในการขับเคลื่อนเพียงอย่างเดียว โดยมีแนวคิดในการพึ่งพาเครื่องยนต์เผาไหม้ภายในในการขับเคลื่อนร่วมกับการผลิตพลังงานไฟฟ้า หรือเทคโนโลยีของการใช้ไฮโดรเจนในการผลิตพลังงานไฟฟ้าโดยนำเซลล์เชื้อเพลิงมาเป็นต้น

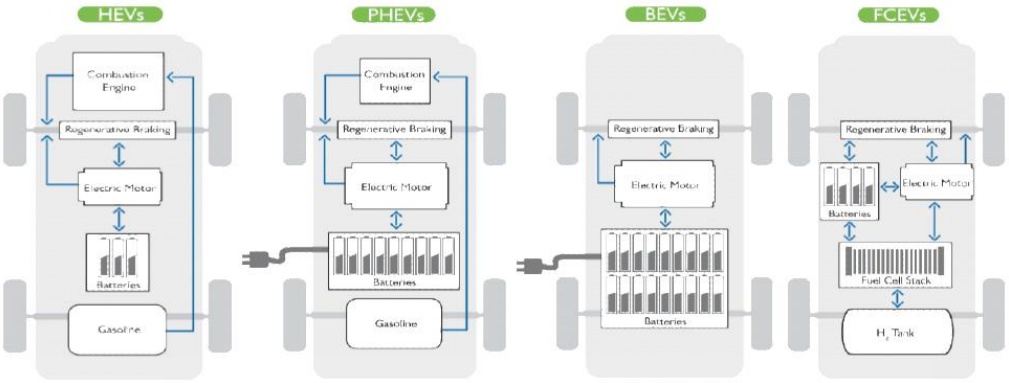
กำลังในการขับเคลื่อน โดยในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้มุ่งเน้นศึกษาในวิจัยในส่วนของรถยนต์ไฟฟ้าแบตเตอรี่ที่สามารถนำมาแทนที่การใช้งานของรถยนต์เชื้อเพลิงฟอสซิลในปัจจุบัน ซึ่งถือว่าเป็นยานยนต์ไฟฟ้าด้วยจึงสามารถแบ่งยานยนต์ไฟฟ้าออกเป็น 4 รูปแบบดังต่อไปนี้

1) ยานยนต์ไฟฟ้าไฮบริด (Hybrid Electric Vehicle, HEV) ประกอบด้วยเครื่องยนต์ลูกสูบเป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อนหลัก ซึ่งใช้เชื้อเพลิงที่บรรจุในยานยนต์ และทำงานร่วมกับมอเตอร์ไฟฟ้าเพื่อเพิ่มกำลังของยานยนต์ให้เคลื่อนที่ ซึ่งทำให้เครื่องยนต์มีประสิทธิภาพสูงขึ้น จึงมีความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงต่ำกว่ายานยนต์ปกติ กำลังที่ผลิตจากเครื่องยนต์และมอเตอร์ไฟฟ้า ทำให้อัตราเร่งของยานยนต์สูงกว่ายานยนต์ที่มีเครื่องยนต์ลูกสูบขนาดเดียวกัน รวมทั้งยังสามารถนำพลังงานกลที่เหลือหรือไม่ใช้ประโยชน์เปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าเก็บในแบตเตอรี่

2) ยานยนต์ไฟฟ้าไฮบริดปลั๊กอิน (Plug-in Hybrid Electric Vehicle, PHEV) เป็นยานยนต์ไฟฟ้าที่พัฒนาต่อมาจากยานยนต์ไฟฟ้าไฮบริด โดยสามารถประจุพลังงานไฟฟ้าได้จากแหล่งภายนอก (Plug-in) ทำให้ยานยนต์สามารถใช้พลังงานพร้อมกันจาก 2 แหล่ง จึงสามารถวิ่งในระยะทางและความเร็วที่เพิ่มขึ้นด้วยพลังงานจากไฟฟ้าโดยตรง ยานยนต์ไฟฟ้าแบบ PHEV มีการออกแบบอยู่ 2 ประเภท ได้แก่ แบบ Extended range EV (EREV) และแบบ Blended PHEV โดยแบบ EREV จะเน้นการทำงานโดยใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นหลักก่อน แต่แบบ Blended PHEV มีการทำงานผสมผสานระหว่างเครื่องยนต์และไฟฟ้า ดังนั้น ยานยนต์ไฟฟ้าแบบ EREV สามารถวิ่งด้วยพลังงานไฟฟ้าอย่างเดียวมากกว่าแบบ Blended PHEV

3) ยานยนต์ไฟฟ้าแบตเตอรี่ (Battery Electric Vehicle, BEV) เป็นยานยนต์ไฟฟ้าที่มีเฉพาะมอเตอร์ไฟฟ้าเป็นต้นกำลังให้ยานยนต์เคลื่อนที่ และใช้พลังงานไฟฟ้าที่อยู่ในแบตเตอรี่เท่านั้น ไม่มีเครื่องยนต์อื่นในยานยนต์ ดังนั้นระยะทางการวิ่งของยานยนต์จึงขึ้นอยู่กับการออกแบบขนาดและชนิดของแบตเตอรี่ รวมทั้งน้ำหนักบรรทุก อย่างไรก็ดีในปัจจุบันบริษัทรถยนต์ได้มีการผลิตและจำหน่ายยานยนต์ไฟฟ้าแบตเตอรี่ขึ้น ในประเทศพัฒนาแล้ว เช่น ญี่ปุ่น ยุโรป และสหรัฐอเมริกา เป็นต้น ทำให้เทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าแบตเตอรี่มีความเป็นไปได้มากขึ้น

4) ยานยนต์ไฟฟ้าเซลล์เชื้อเพลิง (Fuel Cell Electric Vehicle, FCEV) เป็นยานยนต์ไฟฟ้าที่มีเซลล์เชื้อเพลิง (Fuel cell) ที่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง รถยนต์ไฟฟ้าเซลล์เชื้อเพลิงมีข้อดีหลายๆ ประการ ข้อดีที่สำคัญที่สุดคือประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงมีค่าสูงถึง 60% และความจุพลังงานจำเพาะที่สูงกว่าแบตเตอรี่ที่มีอยู่ในปัจจุบันรถยนต์ไฟฟ้าเซลล์เชื้อเพลิงจึงเป็นเทคโนโลยีที่บริษัทรถยนต์เชื่อว่าเป็นคำตอบที่แท้จริงของพลังงานสะอาดในอนาคต อย่างไรก็ดียังมีข้อจำกัดในเรื่องการผลิตไฮโดรเจนและโครงสร้างพื้นฐาน



ภาพที่ 2.8 ยานยนต์ไฟฟ้ารูปแบบต่างๆ จาก *การศึกษาการพัฒนาของเทคโนโลยียานยนต์ไฟฟ้าและผลกระทบที่เกิดขึ้นสำหรับประเทศไทย* (น. 7), โดย ยศพงษ์ ลออนวล และคณะ, 2555, กรุงเทพฯ: สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

2.2.1 หลักการทำงานของรถยนต์ไฟฟ้า

รถยนต์ที่ใช้ระบบขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้านั้นถูกสร้างขึ้นเพื่อทดแทนระบบขับเคลื่อนด้วยเชื้อเพลิงแบบดั้งเดิม เครื่องยนต์มีต้นกำลังด้วยแหล่งไฟฟ้าเช่นแบตเตอรี่ร่วมกับต้นกำลังมอเตอร์ไฟฟ้าส่วนประกอบหลักของรถยนต์ไฟฟ้านี้คือ มอเตอร์ขับเคลื่อน ชุดควบคุมมอเตอร์ ระบบไฟฟ้ากำลัง และระบบสนับสนุนย่อย โดยที่มอเตอร์มีหน้าที่ในการเป็นต้นกำลังการขับเคลื่อนแทนเครื่องยนต์ในแบบเดิม

2.2.1.1 มอเตอร์ขับเคลื่อน

มอเตอร์ คือเครื่องกลไฟฟ้ามีหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล โดยมอเตอร์จะเหมือนกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงทุกประการแต่อาจมีความแตกต่างไปบ้างเล็กน้อย เนื่องจากสภาพที่นำมาใช้งานมีความแตกต่างกัน เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบทั่วไปจะเป็นชนิดเปิด (open type) หมายถึงขดลวดอาร์เมเจอร์ และขดลวดสนามแม่เหล็กจะพันเป็นแบบเปิดเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายขึ้นกับลวด อย่างไรก็ตามเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรงเครื่องเดียว สามารถใช้ทำเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือเป็นมอเตอร์ไฟฟ้าได้ ในปัจจุบันมอเตอร์ที่มีความนิยมใช้ในอุสาหกรรมยานยนต์ไฟฟ้าได้แก่มอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านและมอเตอร์ไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ ซึ่งมอเตอร์ชนิดนี้ให้ประสิทธิภาพการทำงานสูงสุดอยู่ที่ 98% และยังทนทานต่อการใช้งานในยานยนต์ไฟฟ้า แต่เนื่องจากการพัฒนาของเทคโนโลยีมีการคาดหวังว่าในอนาคตมอเตอร์แบบ switched reluctance จะสามารถเข้ามามีบทบาทในอุตสาหกรรมยานยนต์ไฟฟ้า เพราะมีพิกัดกำลังต่อค่าประสิทธิภาพสูง และมีโครงสร้างที่ทนทานได้มากกว่ามอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านและมอเตอร์ไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ แต่มอเตอร์แบบ switched reluctance ยังมีข้อจำกัดเรื่องการส่ง

แรงบิดที่ไม่สม่ำเสมอ (torque ripple) ที่ความเร็วต่ำ รวมไปถึงปัญหาเรื่องการรบกวนจากแม่เหล็กไฟฟ้า (EMI) และปัญหาเรื่องเสียง แต่หากเปรียบเทียบในระยะยาวมอเตอร์แบบ switched reluctance จะสามารถมีข้อได้เปรียบเนื่องจากวัสดุที่ใช้ปริมาณทองแดงที่น้อยกว่ามอเตอร์ทั้งสองประเภทแรก

(1) มอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปลงถ่าน

มอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปลงถ่าน หรือ เรียกอีกอย่างว่า Brushless DC Motor (BLDC) มีลักษณะคือ เป็นมอเตอร์ที่ปราศจากแปรงถ่าน สลิปริง และ คอมมิวเตเตอร์ ซึ่งสิ่งเหล่านั้นเป็น สิ่งจำเป็นสำหรับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงหรือมอเตอร์ซิงโครนัส เพื่อทำหน้าที่ในการจ่ายแรงดัน ให้กับขดลวดอาร์เมเจอร์ที่พันอยู่บนโรเตอร์ ถือเป็นตัวเลือกพื้นฐานที่นิยมใช้สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า เนื่องจากราคาไม่สูงมาก เมื่อนำไปประยุกต์ใช้กับงานที่ขับเคลื่อนด้วยความเร็วคงที่ เช่น ขับเคลื่อนในฮาร์ดดิสก์ มอเตอร์แบบไร้แปรงถ่านมีโครงสร้างประกอบด้วย ตัวอยู่กับที่เป็นขดลวดอาร์เมเจอร์ ส่วนตัวที่เคลื่อนที่เป็นขั้วแม่เหล็กถาวรและที่ขดลวดอาร์เมเจอร์จะต่อเชื่อมเข้ากับวงจรสวิตช์ชิงอิเล็กทรอนิกส์ เป็นผลทำให้ทิศทางการไหลของกระแสในขดลวดอาร์เมเจอร์เกิดการเปลี่ยนแปลงตามความถี่ของการสวิตช์ของทรานซิสเตอร์กำลัง ทำให้โรเตอร์ที่เป็นแม่เหล็กถาวรหมุนตามการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กที่ขดลวดอาร์เมเจอร์ ส่วนตำแหน่งในการตรวจจับที่เพลาจะใช้ในตอนเริ่มต้น เพื่อให้ได้เวลาในการสวิตช์ที่มีความเหมาะสม ซึ่งวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้กับมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านเป็นส่วนที่มีความยุ่งยากซับซ้อนพอสมควร

เมื่อกระแสของเฟสในมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน ถูกกลับขั้วทำให้เกิดขั้วแม่เหล็กตามลำดับ มอเตอร์จะทำงานในรูปแบบการกระตุ้นแบบรูปคลื่นสี่เหลี่ยม (Square Wave) และแรงเคลื่อนไฟต้าน (Back-EMF) ในกรณีนี้จะถูกสร้างขึ้นให้เป็นรูปสี่เหลี่ยม ในรูปคลื่นสี่เหลี่ยมของแรงเคลื่อนไฟฟ้าจะถูกใช้ในการอ้างถึงมอเตอร์ และชุดควบคุมถึงอย่างไรก็ตามยังมีโหมดการทำงานรูปแบบอื่นซึ่งกระแสเฟสจะถูกสร้างขึ้นเป็นรูปคลื่นไซน์ (Sine Wave) และเป็นเหตุที่ทำให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าในอุดมคติเป็นรูปคลื่นไซน์ด้วย รูปร่างของมอเตอร์และชุดควบคุมจะเหมือนกับมอเตอร์ที่ขับด้วยรูปคลื่นสี่เหลี่ยม แต่ทั้งสองชนิดมีความแตกต่างกันที่สำคัญคือ มอเตอร์ที่ขับแบบรูปคลื่นไซน์ ในการหมุนจะมีการกระจายอัตราส่วนกระแสต่อตัวนำที่ดีกว่าเหมือนกับสนามแม่เหล็กหมุนในอินดักชั่นมอเตอร์หรือมอเตอร์ไฟฟ้าแบบซิงโครนัสมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงปราศจากแปรงถ่านแบบนี้คือ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับแบบซิงโครนัสที่แท้จริงจากการกระตุ้นที่คงที่จากแม่ เหล็กถาวร ดูเหมือนกับซิงโครนัส มอเตอร์มากกว่ามอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงทั่วไป และเป็นสาเหตุที่ทำให้เรียกว่า มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับแบบไร้แปรงถ่าน มอเตอร์แบบไร้แปรงถ่านที่ใช้แม่เหล็กถาวร

(2) มอเตอร์เหนี่ยวนำ

การเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าเกิดขึ้นได้จากการนำเอาสนามแม่เหล็กเคลื่อนที่ตัดผ่านตัวนำ ทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำและกระแสไหลในตัวนำ กระแสไฟฟ้าที่ไหลอยู่ภายใต้เส้นแรงแม่เหล็กทำให้เกิดแรงขึ้นที่ตัวนำเคลื่อนที่ไปตามทิศทางของสนามแม่เหล็ก โดยสนามแม่เหล็กหมุนที่เกิดขึ้นที่สเตเตอร์ของมอเตอร์เกิดจากการจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟสให้กับขดลวดสองชุดที่มีมุมห่างกัน 90 องศาไฟฟ้า และจ่ายไฟฟ้า 3 เฟสให้กับขดลวดสามชุด มีมุมห่างกัน 120 องศาไฟฟ้า ตามการเปลี่ยนแปลงที่เวลาต่างๆ กัน หมุนด้วยความเร็วซิงโครนัสในหน่วย รอบต่อนาที (rpm) และเมื่อสนามแม่เหล็กหมุนเคลื่อนที่ตัดผ่านตัวนำที่โรเตอร์ ทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำและกระแสไฟฟ้าไหลในตัวนำที่โรเตอร์ ผลรวมของเส้นแรงแม่เหล็กที่สเตเตอร์กับที่โรเตอร์จะทำให้เกิดแรงขึ้นที่ตัวนำนั้น เคลื่อนที่ไปตามทิศทางของสนามแม่เหล็กหมุน

(3) มอเตอร์แบบ Switched Reluctance

มอเตอร์แบบ Switched Reluctance เป็นมอเตอร์อีกประเภทหนึ่งมีลักษณะคล้ายกับ BLDC แต่เป็นมอเตอร์ที่มีลักษณะที่เรียบง่ายกว่าโดยมอเตอร์มีขดลวดสเตเตอร์เป็นขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าตามแกนหมุนแทนที่จะเป็นแม่เหล็กถาวรใช้เป็นแกนเหล็กอ่อนแทน การทำงานมอเตอร์แบบ Switched Reluctance อาศัยหลักการที่เมื่อวัสดุที่มีคุณสมบัติเป็นแม่เหล็ก เช่น แกนเหล็กอ่อนถูกวางภายใต้สนามแม่เหล็ก โดยวัสดุที่มีลักษณะคล้ายกับแม่เหล็กจะพยายามวางตัวให้อยู่ในตำแหน่งที่มีความต้านทานต่อสนามแม่เหล็ก (Reluctance) น้อยที่สุด เมื่อเนื้อวัสดุของแกนหมุนหลบห่างออกจากขั้วแม่เหล็กสเตเตอร์ ความต้านทานต่อสนามแม่เหล็กก็จะมีสูง แกนหมุนพยายามหมุนเคลื่อนไปในทิศทางตามเข็มนาฬิกา เมื่อขั้วของแกนหมุนเข้ามาอยู่ในแนวเดียวกับขั้วแม่เหล็กก็จะลดความต้านทานต่อสนามแม่เหล็ก

2.2.1.2 ชุดเฟืองขับเคลื่อน

สำหรับรถยนต์ไฟฟ้าอาจจะมีความจำเป็นในการใช้ชุดเฟืองทดไม่มากนักเมื่อเทียบกับระบบขับเคลื่อนที่ใช้เครื่องยนต์สันดาปภายใน ทั้งนี้มอเตอร์ไฟฟ้ามีลักษณะเฉพาะในการเปลี่ยนแรงบิดกับความเร็วรอบที่เหมาะสมกับการขับเคลื่อน คือมีแรงบิดสูงสุดที่ความเร็วเป็นศูนย์ ทำให้ออกตัวไปได้อย่างสมบูรณ์ และเมื่อความเร็วรอบสูงเกินความเร็วฐานของมอเตอร์ รูปแบบการขับเคลื่อนจะเป็นรูปแบบคงที่ ดังนั้นการพัฒนายานยนต์ไฟฟ้าโดยทั่วไปจะใช้เพียงชุดเฟืองทดให้ได้อัตราคงที่ที่ต้องการค่าหนึ่งเท่านั้น

2.2.1.3 แบตเตอรี่

แบตเตอรี่เป็นแหล่งการจ่ายพลังงานไฟฟ้าที่แปลงรูปมาจากพลังงานเคมีที่เก็บสะสมไว้ในแหล่งสะสม โดยโครงสร้างพื้นฐานของแบตเตอรี่ประกอบไปด้วย ขั้วลบ ขั้วบวก สารอิเล็กโทรไลต์และแผ่นกั้นไฟฟ้า ขั้วลบ (negative electrode) เรียกอีกชื่อหนึ่งว่าแอโนด (anode) คือขั้วบริเวณที่คายประจุอิเล็กตรอนออกนอกวงจรไฟฟ้า ขั้วลบส่วนใหญ่ทำด้วย ตะกั่ว สังกะสี ลิเทียม หรือโลหะผสมที่เมื่ออยู่ในสารอิเล็คโทรไลต์จะให้ศักย์ที่เป็นลบ และเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นคายอิเล็กตรอนได้ ต่างจากขั้วบวก (positive electrode) หรือที่เรียกอีกชื่อหนึ่งว่าแคโทด (cathode) คือขั้วบริเวณที่ทำการรับอิเล็กตรอนจากการเชื่อมต่อวงจรไฟฟ้าจากภายนอก โดยมักเป็นออกไซต์หรือซัลไฟล์ของโลหะซึ่งอยู่ในสารอิเล็กโทรไลต์จะให้ศักย์ที่เป็นบวก การนำอิเล็กตรอนเข้าสู่ปฏิกิริยารีดักชั่นได้ระหว่างขั้วบวกและขั้วลบ ปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีจะเกิดขึ้นได้ต่อเมื่อมีการเคลื่อนที่ของตัวไอออนที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาและการเคลื่อนตัวของอิเล็กตรอนซึ่งหมายถึงกระแสไฟฟ้า สารอิเล็กโทรไลต์ (electrolyte) คือตัวกลางขั้วไฟฟ้าทั้งสองและยอมให้มีการนำไอออนไปมาระหว่างกัน รวมทั้งต้องมีลักษณะไม่นำอิเล็กตรอนเพื่อป้องกันการคายประจุด้วยตัวเองของแบตเตอรี่ สุดท้ายแผ่นกั้นไฟฟ้า (separator) มีหน้าที่กั้นไม่ให้ขั้วทั้งสองมาติดกันในระหว่างการทำงานของเซลไฟฟ้า

จากการสำรวจในปัจจุบันรถยนต์ไฟฟ้าประเภทรถยนต์ไฟฟ้าแบบลูกผสมนิยมใช้แบตเตอรี่ประเภทนิกเกิลเมทัลไฮไดรต์ ส่วนรถยนต์ไฟฟ้าแบตเตอรี่นิยมใช้แบตเตอรี่ประเภทลิเทียมไอออนเป็นหลัก เนื่องจากข้อจำกัดของแบตเตอรี่ประเภทตะกั่ว-น้ำกรดที่มีปัญหาในเรื่องของความจุพลังงานที่จำกัดประกอบกับอายุการใช้งานไม่ยาวนานเท่าไหร่นักและต้องมีการบำรุงรักษาอย่างมากทำให้รถยนต์ไฟฟ้าประเภทรถยนต์ไฟฟ้าแบบลูกผสมนิยมใช้แบตเตอรี่ประเภทนิกเกิลเมทัลไฮไดรต์ซึ่งมีข้อได้เปรียบในด้านของสมรรถนะอีกทั้งมีความคงทนต่อการใช้งานสูงกว่าและน้ำหนักน้อยกว่าทำให้ยานยนต์ลูกผสมของโตโยต้าพรีอุสได้มีการนำแบตเตอรี่ประเภทนี้นำมาใช้ทดแทนกับแบตเตอรี่แบบเก่า โดยแบตเตอรี่ประเภทนิกเกิลเมทัลไฮไดรต์สามารถมีอายุการใช้งานได้มากถึง 10 ปี ส่วนรถยนต์ไฟฟ้าแบตเตอรี่นิยมใช้แบตเตอรี่ประเภทลิเทียมไอออนจากการที่แบตเตอรี่ประเภทนี้มีจุดเด่นจากการที่มีความจุพลังงานสูงซึ่งสูงกว่าแบตเตอรี่นิกเกิลเมทัลไฮไดรต์ถึงสองเท่า ระดับแรงดันต่อหน่วยสูงกว่าแบตเตอรี่นิกเกิลเมทัลไฮไดรต์ถึงสามเท่า และข้อดีอื่นๆ ทำให้แบตเตอรี่แบบลิเทียมไอออนนิยมใช้กับรถยนต์ไฟฟ้าแบตเตอรี่ ทั้งนี้ในส่วนของแบตเตอรี่จึงพูดถึงแต่เพียงแบตเตอรี่ประเภทนิกเกิลเมทัลไฮไดรต์และแบตเตอรี่ประเภทลิเทียมไอออนเท่านั้น

(1) แบตเตอรี่นิกเกิลเมทัลไฮไดรต์

ปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี

แบตเตอรี่นิกเกิลเมทัลไฮไดรต์มีสูตรทางเคมี NiMH ประกอบไปด้วยแผ่นขั้วบวกที่เป็น nickel hydroxyoxide [NiO(OH)] เมื่อขั้วลบประกอบด้วยอนุภาคอัลลอยของโลหะที่มีความสามารถในการดูดซับไฮโดรเจนที่เรียกว่า metal hydride ทั้งสองจะถูกกั้นด้วยแผ่นใยที่ชุ่มด้วยสารอิเล็กโทรไลต์ของ potassium hydroxide เมื่อขั้วบวกจ่ายกระแสจะรับอิเล็กตรอนและเกิดการผลิตไอออน OH^- ขึ้น และเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นที่ขั้วลบเมื่อเมทัลไฮไดรต์จะคายไฮโดรเจนเพื่อรวมกับไอออน OH^- ผลที่ได้คือ น้ำกับอิเล็กตรอน สำหรับแบตเตอรี่นิกเกิลเมทัลไฮไดรต์จะมีขนาดกำลังไฟฟ้า 1.2 โวลต์

ข้อได้เปรียบของแบตเตอรี่ประเภทนี้คือมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าต่อระดับพลังงานที่เป็นเชิงเส้น ทำให้การระบุระดับแรงดันมีความแม่นยำ อีกทั้งการจ่ายและรับประจุมีการเปลี่ยนระดับของแรงดันที่ไม่ขึ้นกับระดับของกระแสมากนัก แต่ข้อจำกัดของแบตเตอรี่ประเภทนี้มีการจ่ายกำลังที่ค่าสูงได้ไม่ดีในอุณหภูมิต่ำและมีประสิทธิภาพและการคายตัวของประจุค่อนข้างสูง ในปัจจุบัน Panasonic เป็นผู้ผลิตหลักในอุตสาหกรรมประเภทนี้โดยส่วยใหญ่ผลิตให้กับผู้ผลิตยานยนต์เช่น โตโยต้า ฮอนด้า หรือฟอร์ด เป็นต้น

(2) แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน

ปฏิริยาไฟฟ้าเคมี

ในปัจจุบันแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนได้มีการพัฒนาสูตรเคมีออกมาหลายสูตรแบตเตอรี่ที่ใช้สารประกอบของลิเทียมจึงเรียกรวมว่า แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน โดยขั้วบวกจะเป็นสารประกอบประเภทลิเทียมเช่น $LiCoO_2$ เคลือบเป็นแผ่นอลูมิเนียม ในขณะที่ขั้วลบจะเป็นแกรไฟต์ที่มี intercalation compounds ของลิเทียมเคลือบอยู่กับแผ่นทองแดง โดยใช้สารอิเล็คโทรไลต์แบบอินทรีย์ขั้นระหว่างกลาง เมื่อสารอิเล็กโทรดคาร์บอนที่เก็บไอออนของลิเทียมอยู่นั้นจะทำการถ่ายเทลิเทียมไอออนไปยังขั้วบวก พร้อมกับกระจายอิเล็กตรอนออกไปยังขั้วลบ จากนั้นไอออนของลิเทียมจะไปแทรกในโครงสร้าง CoO_2 เป็นต้น

จากหลักการทำงานของเครื่องยนต์ในรถยนต์เชื้อเพลิงฟอสซิล (เครื่องยนต์เบนซิน, เครื่องยนต์ดีเซลและเครื่องยนต์ก๊าซ) และมอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้เป็นตัวส่งกำลังในการขับเคลื่อนของรถยนต์แต่ละประเภทจากที่กล่าวมาจะเห็นได้ถึงความแตกต่างอย่างเห็นได้ชัด สามารถแบ่งออกได้ 3 ประเภทคือ รถยนต์ที่ขับเคลื่อนด้วยกำลังจากการสันดาปภายในได้แก่เครื่องยนต์เชื้อเพลิงฟอสซิล รถยนต์ที่ขับเคลื่อนแบบผสมคือใช้การสันดาปภายในในการขับเคลื่อนร่วมกับมอเตอร์ไฟฟ้าได้แก่

รถยนต์ไฟฟ้าไฮบริดและรถยนต์ไฟฟ้าไฮบริดปลั๊กอิน และรถยนต์ที่ใช้ไฟฟ้าในการขับเคลื่อนเพียงอย่างเดียวได้แก่รถยนต์ไฟฟ้าแบตเตอรี่และยานยนต์ไฟฟ้าเซลล์เชื้อเพลิง ในปัจจุบันพระราชกิจจานุเบกษาจากกรมการขนส่งทางบกได้มีการกำหนดขอบเขตของรถยนต์ไฟฟ้าที่สามารถใช้วิ่งบนท้องถนนได้ โดยที่รถยนต์ไฟฟ้าที่อนุญาติให้ใช้งานบนท้องถนนได้ต้องมีกำลังการขับเคลื่อนไม่ต่ำกว่า 15 กิโลวัตต์ และสามารถขับเคลื่อนให้รถยนต์ไฟฟ้ามีความเร็วสูงสุดไม่ต่ำกว่า 45 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ทั้งนี้ด้วยรถยนต์ไฟฟ้ามีการใช้พลังงานน้อยและการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ต่ำกว่ารถยนต์สันดาปภาย โดยการจัดเก็บภาษีเป็นไปตามอัตราภาษีของ พ.ร.บ.รถยนต์ พ.ศ. 2522 โดยรถยนต์สันดาปภายในจะจัดเก็บตามขนาดความจุกระบอกกระบอกสูบ ส่วนรถยนต์ที่ขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้าจัดเก็บภาษีตามน้ำหนักของรถยนต์ประเภทนั้นๆ

2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.3.1 ทฤษฎีทาโรยามาเน (Taro Yamane’ theory)

ทฤษฎีทาโรยามาเน (Taro Yamane’ theory) เป็นเครื่องมือในการคำนวณหากลุ่มประชากรตัวอย่างของรถยนต์นั่งส่วนบุคคล และรถยนต์บริการสาธารณะในทางสถิติเพื่อหาจำนวนประชากรที่เหมาะสมสำหรับการสำรวจในการวิจัยในครั้งนี้ วิธีนี้เป็นที่นิยมของการศึกษาวิจัยทั่วไป โดยการคำนวณหากลุ่มประชาการตัวอย่างของทาโร ยามาเน สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 3.1

สมการ $$\square = \frac{N}{1+Ne^2} \quad (3.1)$$

เมื่อ n = จำนวนตัวอย่างที่ต้องการศึกษา

N = จำนวนตัวอย่างของรถยนต์ และรถยนต์บริการสาธารณะ

e = ค่าความคลาดเคลื่อนที่สามารถยอมรับได้ที่ 5%

2.3.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA)

ความแปรปรวน (Variance) คือมาตรการวัดการกระจายของข้อมูลซึ่งมีความสัมพันธ์กับส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เมื่อความแปรปรวนสามารถคำนวณได้จากส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานยกกำลังสอง ความแปรปรวนจึงเป็นการวัดการกระจายของข้อมูลในรูปของพื้นที่ สำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) หรือเรียกอย่างย่อว่า ANOVA คือวิธีหนึ่งของการทดสอบสมมติฐานในการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของประชากรที่มากกว่า 2 กลุ่มขึ้นไป ซึ่งใช้หลักการ

เปรียบเทียบระหว่างกลุ่มประชากรกลุ่มเดียวหรือ 2 กลุ่มในการใช้ z หรือ t ทดสอบ กล่าวคือ ถ้าเป็นการเปรียบเทียบกับประชากรเพียงกลุ่มเดียว ส่วนใหญ่จะเป็นการเปรียบเทียบค่าระหว่างค่าเฉลี่ยกับค่าที่ผู้วิจัยสนใจหรือค่าที่กำหนดขึ้น ส่วนการเปรียบเทียบระหว่างประชากร 2 กลุ่ม จะเป็นการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างประชากรทั้ง 2 กลุ่มตามสมมติฐานที่กำหนดไว้ ในกรณีที่มีประชากรมากกว่า 2 กลุ่มหรือมีสิ่งทีต้องการศึกษามากกว่า 2 สิ่ง ความแตกต่างระหว่างกลุ่มจะถูกวัดในรูปของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานหรือความแปรปรวน ซึ่งในที่นี้คือค่าเฉลี่ยของความแปรผัน (Mean Squares) โดยที่ความแปรผันเกิดจากผลรวมยกกำลังสองของความแตกต่างระหว่างค่าแต่ละค่าของค่าเฉลี่ย การวิเคราะห์ความแปรปรวน จึงเป็นการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มกับความแตกต่างภายในกลุ่มในกรณีที่ประชากรมีมากกว่า 2 กลุ่มในลักษณะของความแปรผัน โดยมีเงื่อนไขว่าข้อมูลที่ได้จากกลุ่มประชากรที่นำมาทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยข้อมูลของแต่ละกลุ่มจะต้องมีการแจกแจงแบบปกติเท่านั้น

การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One-way Analysis of Variance) เป็นเครื่องมือทางสถิติที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับค่าเฉลี่ยของประชากรตั้งแต่สามกลุ่มขึ้นไปว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่โดยมีสมมติฐานหลัก (H_0) และสมมติฐานรอง (H_a) ของการทดสอบ คือ

H_0: ค่าเฉลี่ยของประชากรทุกกลุ่มมีค่าเท่ากัน

H_a: ค่าเฉลี่ยของประชากรอย่างน้อย 2 กลุ่มมีค่าไม่เท่ากัน

หรือเขียนเป็นสัญลักษณ์ได้ดังนี้ (□ คือจำนวนกลุ่มประชากรที่ต้องการทดสอบ)

$□_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_1 = \mu_□$; $\mu_□$แทนค่าเฉลี่ยของประชากรกลุ่มที่ □

$□_□ : \mu_□ \neq \mu_□$ อย่างน้อย 1 คู่ $□ \neq □$; □. $□ = 1,2, \dots, □$ เมื่อ $□ \geq 3$

หลักในการวิเคราะห์ความแปรปรวน เป็นการแยกความผันแปรรวมของข้อมูลออกเป็นส่วน ๆ ตามแหล่งที่มาของความผันแปร (Source of Variation: SOV) โดยแหล่งที่มาของความผันแปรนั้น จะแบ่ง เป็นแหล่งที่มาของความผันแปรที่ทราบสาเหตุ และไม่ทราบสาเหตุ สำหรับแหล่งความผันแปรที่ทราบสาเหตุอาจจะมีหนึ่งแหล่ง หรือมากกว่าหนึ่งแหล่ง และการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว เป็นการวิเคราะห์ความแปรปรวน เมื่อมีแหล่งความผันแปรที่ทราบสาเหตุเพียงแหล่งเดียว คือมีสาเหตุจากการที่ข้อมูลมาจากประชากรที่ต่างกัน ซึ่งจะทำให้เกิดความผันแปรที่เรียกว่า ความผันแปรระหว่างกลุ่ม (Variance between Groups) ส่วนความผันแปรที่ไม่ทราบสาเหตุนั้น จะทำให้เกิดความผันแปรที่เรียกว่า ความผันแปรภายในกลุ่ม (Variation within Groups)

ในการวิเคราะห์เพื่อหาข้อสรุปว่าจะปฏิเสธสมมุติฐานหรือไม่นั้น จะพิจารณาจากอัตราส่วนของความผันแปรระหว่างกลุ่มและความผันแปรภายในกลุ่ม กล่าวคือ ถ้าค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มมีค่าแตกต่างกันอย่างชัดเจน อัตราส่วนนี้จะมีค่ามาก แต่ถ้าค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มมีค่าใกล้เคียงกัน อัตราส่วนนี้จะมีค่าน้อย และเนื่องจากอัตราส่วนนี้มีการแจกแจง F จึงเรียกตัวสถิติที่ใช้ในการทดสอบว่า สถิติทดสอบ F

2.3.3 ฟัซซีลอจิก (fuzzy logic)

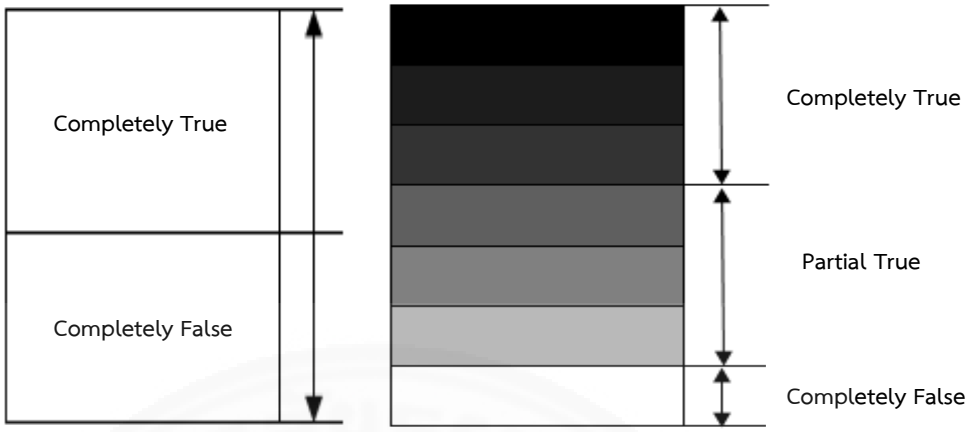
ฟัซซีลอจิกศาสตร์ด้านการคำนวณที่เข้ามามีบทบาทมากขึ้นในวงการวิจัยด้านคอมพิวเตอร์ และได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้ในงานต่าง ๆ มากมาย เช่น ด้านการแพทย์ ด้านการทหาร ด้านธุรกิจ ด้านอุตสาหกรรม เป็นต้น

2.3.3.1 ระบบฟัซซี (Fuzzy system)

เป็นระบบด้านคอมพิวเตอร์ที่ทำงานโดยอาศัยฟัซซีลอจิกที่คิดค้นโดย L. A. Zadeh. (1965) ซึ่งเป็นผลงานวิทยานิพนธ์ระดับปริญญาเอก ฟัซซีลอจิกเป็นตรรกะที่อยู่บนพื้นฐานความเป็นจริงที่ว่า ทุกสิ่งบนโลกแห่งความเป็นจริงไม่ใช่มีเฉพาะสิ่งมีความแน่นอนเท่านั้น แต่มีหลายสิ่งหลายเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นอย่างไม่เที่ยงและไม่แน่นอน (uncertain) อาจเป็นสิ่งที่คลุมเครือ (fuzzy) ไม่ใช่ชัดเจน (exact) ยกตัวอย่างเช่น เซตของอายุคน อาจแบ่งเป็น วัยทารก วัยเด็ก วัยรุ่น วัยกลางคน และวัยชรา จะเห็นได้ว่าในแต่ละช่วงอายุคนไม่สามารถระบุได้แน่ชัดว่าวัยทารกกับวัย เด็กแยกจากกันแน่ชัดช่วงใด วัยทารกอาจถูกตีความว่าเป็นอายุระหว่าง 0 ถึง 1 ปี บางคนอาจตีความว่าวัยทารกอยู่ในช่วงอายุ 0 ถึง 2 ปี ในทำนองเดียวกัน วัยเด็กและวัยรุ่น ก็ไม่สามารถระบุได้ชัดเจนว่าช่วงต่อของอายุควรจะอยู่ในช่วงใด อาจตีความว่าวัยเด็กมีอายุอยู่ในช่วง 1 ถึง 12 ปี หรืออาจเป็น 2 ถึง 10 ปี เป็นต้น สิ่งเหล่านี้เป็นตัวอย่างของความไม่แน่นอน ซึ่งเป็นลักษณะทางธรรมชาติที่เกิดขึ้นทั่วไป เซตของเหตุการณ์ที่ไม่แน่นอนเช่นนี้เรียกว่าฟัซซีเซต (fuzzy set) จากแนวความคิดของ Zadeh เกี่ยวกับความไม่แน่นอนได้มีการขยายแนวคิดเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในด้านต่าง ๆ มากมายจนนับไม่ถ้วน ได้มีนักวิจัยได้คิดค้นทฤษฎีเสริมกับแนวคิดเดิมจนทำให้ฟัซซีเซตโดดเด่นในวงการคอมพิวเตอร์

2.3.3.2 พื้นฐานแนวคิดแบบฟัซซี (fuzzy logic)

ตรรกะแบบฟัซซีเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการตัดสินใจภายใต้ความไม่แน่นอนของข้อมูลโดยยอมให้มีความยืดหยุ่นได้ ใช้หลักเหตุผลที่คล้ายการเลียนแบบวิธีความคิดของมนุษย์ที่มีความซับซ้อน ฟัซซีลอจิกมีลักษณะที่พิเศษกว่าตรรกะแบบจริงเท็จ (Boolean logic) เป็นแนวคิดที่มีการต่อขยายในส่วนของความจริง(partial true) โดยค่าความจริงจะอยู่ในช่วงระหว่างจริง (completely true) กับเท็จ(completely false) ส่วนตรรกศาสตร์เดิมจะมีค่าเป็นจริงกับเท็จเท่านั้น แสดงดังภาพที่ 2.9



ภาพที่ 2.9 ความแตกต่างของตรรกะจริงกับตรรกะฟัซซี

2.3.3.3 ฟัซซีเซต (Fuzzy Set)

ฟัซซีเซตจะมีขอบเขตแบบฟัซซีที่ไม่ใช่การเปลี่ยนแปลงในทันทีจากขาวเป็นดำ ตัวอย่างเช่น เซตของคู่แต่งงานที่มีความสุข จะเห็นได้ว่าสมาชิกในเซตนี้จะไม่มีเฉพาะคู่แต่งงานที่มีความสุขระดับเดียวกันหมด บางคู่จะมีความสุขมาก บางคู่มีความสุขน้อย แตกต่างกันไป การใช้เซตแบบดั้งเดิมจึงไม่เหมาะสม ทฤษฎีฟัซซีเซตสามารถแก้ปัญหาข้อจำกัดของเซตแบบดั้งเดิมได้ โดยฟัซซีเซตยอมให้มีค่าหรือดีกรีของความเป็นสมาชิก (degree of membership) ซึ่งแสดงด้วยค่าตัวเลขระหว่าง 0 และ 1 หรือเขียนเป็นสัญลักษณ์ [0, 1], โดย 0 หมายถึง ไม่เป็นสมาชิกในเซต 1 หมายถึง เป็นสมาชิกในเซต และค่าระหว่าง 0 กับ 1 เป็นสมาชิกบางส่วนในเซต การทำเช่นนี้ ทำให้เกิดความราบเรียบในการเปลี่ยนจากพื้นที่นอกเซตไปอยู่ในเซตของสมาชิกต่าง ๆ โดยมีฟังก์ชันสมาชิก (membership function) เป็นฟังก์ชันจัดเทียบ (mapping function) วัตถุในโดเมนใด ๆ ให้เป็นค่าความเป็นสมาชิกในฟัซซีเซต

2.3.3.4 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (membership function)

ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกเป็นฟังก์ชันที่มีการกำหนดระดับความเป็นสมาชิกของตัวแปรที่ต้องการใช้งาน โดยเริ่มจากการแทนที่กับตัวแทนที่มีความไม่ชัดเจน ไม่แน่นอนและคลุมเครือ ดังนั้นส่วนที่สำคัญต่อคุณสมบัติหรือการดำเนินการของฟัซซี เพราะรูปร่างของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกมีความสำคัญต่อกระบวนการคิดและแก้ไขปัญหา โดยฟังก์ชันความเป็นสมาชิกจะไม่สมมาตรกันหรือสมมาตรกันทุกประการก็ได้ การเลือกฟังก์ชันของความเป็นสมาชิก จะต้องเลือกตามความเหมาะสมความครอบคลุมข้อมูลที่จะรับเข้ามา โดยสามารถทับซ้อนกันเพื่อให้การดำเนินงานราบเรียบ ซึ่งมีความเป็นสมาชิกหลายค่าได้ และฟังก์ชันความเป็นสมาชิกเปลี่ยนแปลงแก้ไขให้เหมาะ

กับงานที่กำลังปฏิบัติงานหรือตามความต้องการ ชนิดของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่ใช้งานทั่วไปมีหลายชนิด แต่ในที่นี้จะกล่าวถึงเพียง 7 ชนิดดังนี้

(1) ฟังก์ชันสามเหลี่ยม (triangular membership function)

ฟังก์ชันสามเหลี่ยมมีทั้งหมด 3 พารามิเตอร์คือ {a, b, c}

$$\square\square\square\square\square\square\square\square\square\square\square(\square:\square,\square,\square)=\begin{cases}0, & \square<\square\\ (\square-\square)/(\square-\square), & \square\leq\square\leq\square\\ (\square-\square)/(\square-\square), & \square\leq\square\leq\square\\ 0, & \square>\square\end{cases} \quad (3.2)$$

(2) ฟังก์ชันสี่เหลี่ยมคางหมู (trapezoidal membership function)

ฟังก์ชันสี่เหลี่ยมคางหมูมีทั้งหมด 4 พารามิเตอร์คือ {a, b, c, d}

$$\square\square\square\square\square\square\square\square\square\square\square\square(\square:\square,\square,\square,\square)=\begin{cases}0, & \square<\square\\ (\square-\square)/(\square-\square), & \square\leq\square\leq\square\\ 1, & \square\leq\square\leq\square\\ (\square-\square)/(\square-\square), & \square\leq\square\leq\square\\ 0, & \square\geq\square\end{cases} \quad (3.3)$$

(3) ฟังก์ชันซิกมอยด์ดัล (Sigmodal membership function)

ฟังก์ชันซิกมอยด์ดัลมีทั้งหมด 2 พารามิเตอร์ คือ{a, b}

$$\square\square\square\square\square\square\square\square\square(\square:\square,\square)=\frac{1}{1+\square^{(-\square(\square-\square))}} \quad (3.4)$$

(4) ฟังก์ชันเกาส์เซียน (Gaussian membership function)

ฟังก์ชันเกาส์เซียนมีทั้งหมด 2 พารามิเตอร์คือ {m, σ} ซึ่ง m หมายถึงค่าเฉลี่ย และ σ หมายถึง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$$\square\square\square\square\square\square\square\square\square(\square:\square,\sigma)=\square\square\square\left[-\frac{(\square-\square^2)}{\square^2}\right] \quad (3.5)$$

(5) ฟังก์ชันระฆังคว่ำ (Bell-shaped membership function)

ฟังก์ชันรูประฆังคว่ำมีพารามิเตอร์ทั้งหมด 3 ค่าคือ {a, b, c}

$$\square\square\square\square-\square\square\square\square\square\square\square(\square:\square,\square,\square)=\frac{1}{1+\left|\frac{\square-\square}{\square}\right|^{2\square}} \quad (3.6)$$

(6) ฟังก์ชันตัวเอส (Smooth Membership Function)

ฟังก์ชันรูปตัวเอสมีพารามิเตอร์ทั้งหมด 2 ค่าคือ {a, b}

$$\square(\square:\square,\square)=\begin{cases}0, & \square<\square\\ 2\left(\frac{\square-\square}{\square-\square}\right)^2, & \square\leq\square\leq\frac{\square+\square}{2}\\ 1-2\left(\frac{\square-\square}{\square-\square}\right)^2, & \frac{\square+\square}{2}\leq\square\leq\square\\ 1, & \square\geq\square\end{cases} \tag{3.7}$$

(8) ฟังก์ชันตัวแซด (Z-membership function)

ฟังก์ชันรูปตัวเอสมีพารามิเตอร์ทั้งหมด 2 ค่าคือ {a, b}

$$\square(\square:\square,\square)=\begin{cases}1, & \square<\square\\ 1-2\left(\frac{\square-\square}{\square-\square}\right)^2, & \square\leq\square\leq\frac{\square+\square}{2}\\ 2\left(\frac{\square-\square}{\square-\square}\right)^2, & \frac{\square+\square}{2}\leq\square\leq\square\\ 0, & \square\geq\square\end{cases} \tag{3.8}$$

2.3.3.5 ตัวแปรภาษา (linguistic variable)

เซตแบบฟัซซีสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการอธิบายค่าของตัวแปรเช่นเดียวกับเซตแบบดั้งเดิม ตัวแปรภาษา (linguistic variable) ซึ่งเป็นแนวคิดที่สำคัญมากในตรรกะแบบฟัซซี ตัวแปรภาษาช่วยกำหนดค่าของสิ่งที่จะอธิบายทั้งในรูปคุณภาพ โดยใช้พจน์ภาษา (linguistic term) และในรูปปริมาณ โดยใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (membership function) ซึ่งแสดงความหมายของเซตแบบฟัซซี พจน์ภาษาใช้สำหรับการแสดงแนวคิดและองค์ความรู้ในการสื่อสารของมนุษย์ ส่วนฟังก์ชันความเป็นสมาชิกมีประโยชน์ในการจัดการกับอินพุตที่เป็นข้อมูลเชิงตัวเลข

2.3.3.6 กฎฟัซซี (fuzzy rules)

วิทยาการเกี่ยวกับฟัซซีลอจิกมีจำนวนมากแต่ที่นิยมและการประยุกต์ใช้งานมากที่สุดได้แก่ กฎฟัซซีแบบถ้า-แล้ว (fuzzy if-then rule) เมื่อสมมุติให้กฎข้อ l, l = 1, 2, ..., L เป็นลำดับของกฎ ให้ข้อมูลเป็น x = [x1, x2, ..., xn] เมื่อ n เป็นจำนวนมิติของข้อมูล ให้ Ali เป็นพจน์ภาษาในกฎข้อที่ l มิติที่ i และให้กลุ่มข้อมูลเป็น Ck, k = 1, 2, ..., K รูปแบบทั่วไปของกฎฟัซซีสามารถเขียนได้ดังนี้

กฎข้อ 1: ถ้า x1 มีค่า A11 และ x2 มีค่า A12 และ L และ xn มีค่า A1n แล้ว ข้อมูล x เป็นกลุ่ม C1

กฎข้อ 2: ถ้า x1 มีค่า A21 และ x2 มีค่า A22 และ L และ xn มีค่า A2n แล้ว ข้อมูล x เป็นกลุ่ม C2

กฎข้อ l: ถ้า x1 มีค่า Al1 และ x2 มีค่า Al2 และ L และ xn มีค่า Aln แล้ว ข้อมูล x เป็นกลุ่ม Ck

2.3.4 โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks)

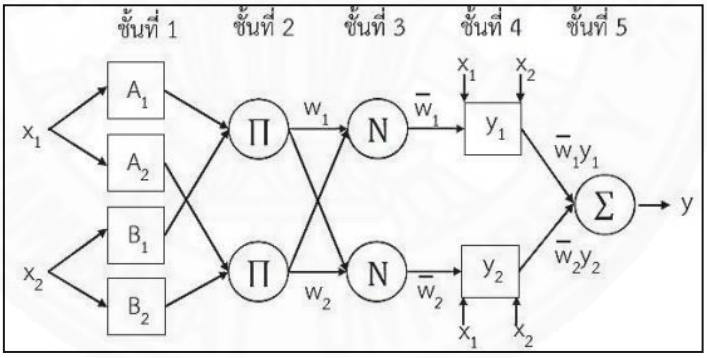
เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า โครงข่ายประสาท (Neural Networks หรือ Neural Net) เป็นหนึ่งในเทคนิคของการรวบรวมข้อมูล (Data Mining) คือแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยการประมวลผลด้วยสารสนเทศเป็นการคำนวณแบบคอนเนคชันนิสต์ (Connectionist) เพื่อจำลองการทำงานของโครงข่ายประสาทในของสมองมนุษย์ ด้วยวัตถุประสงค์ที่จะสร้างเครื่องมือที่มีความสามารถในการเรียนรู้ประกอบกับการจดจำรูปแบบ(Pattern Recognition) และการสร้างความรู้ใหม่ (Knowledge Extraction) เหมือนกับความสามารถของสมองมนุษย์ โดยแนวคิดเริ่มต้นของเทคนิคนี้ได้มาจากการศึกษาโครงข่ายไฟฟ้าชีวภาพ (Bioelectric Network) ในสมองของมนุษย์ ซึ่งประกอบด้วย เซลล์ประสาท หรือ "นิวรอน" (Neurons) และ "จุดประสานประสาท" (Synapses) โดยแต่ละเซลล์ประสาทจะประกอบไปด้วยปลายในการรับกระแสประสาท เรียกว่า "เดนไดรท์" (Dendrite) ซึ่งเป็น input และปลายประสาทส่งกระแสกลับมาเรียกว่า "แอคซอน" (Axon) ซึ่งเป็นเหมือนเอาท์พุตของเซลล์ เซลล์เหล่านี้ทำงานด้วยปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี เมื่อมีการกระตุ้นด้วยสิ่งเร้าภายนอกหรือกระตุ้นด้วยเซลล์ด้วยกัน กระแสประสาทจะวิ่งผ่านเดนไดรท์เข้าสู่นิวเคลียสซึ่งจะเป็นตัวตัดสินว่าต้องกระตุ้นเซลล์อื่น ๆ ต่อหรือไม่ ถ้ากระแสประสาทแรงพอ นิวเคลียสก็จะกระตุ้นเซลล์อื่น ๆ ต่อไปผ่านทางแอคซอนของมัน โดยหลักการทำงานสำหรับในคอมพิวเตอร์นิวรอนประกอบด้วยอินพุตและเอาท์พุตเหมือนกัน โดยจำลองให้อินพุตแต่ละอันมีการกำหนดน้ำหนักของแต่ละอินพุตโดยนิวรอนแต่ละหน่วยจะมีค่า threshold เป็นตัวกำหนดว่าน้ำหนักรวมของอินพุตต้องมากขนาดไหนจึงจะสามารถส่งเอาท์พุตไปยังนิวรอนตัวอื่นได้ เมื่อนำนิวรอนแต่ละหน่วยมาต่อกันให้ทำงานร่วมกันการทำงานนี้ในทางตรรกะแล้วก็จะเหมือนกับปฏิกิริยาเคมีที่เกิดในสมอง เพียงแต่ในคอมพิวเตอร์ทุกอย่างเป็นตัวเลขเท่านั้นเอง

2.3.5 โครงข่ายประสาทเทียมแบบฟัซซี (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System: ANFIS)

โครงข่ายประสาทเทียมแบบฟัซซีหรือ ANFIS เป็นโมเดลหนึ่งของฟัซซีที่ได้รับการอ้างถึงและนำไปประยุกต์ใช้งานหลากหลายการทำงานภายในของ ANFIS เป็นการประยุกต์ผสมผสานทั้งวิธีการโครงข่ายประสาทเทียมและฟัซซีเข้าด้วยกัน ทำให้สามารถนำข้อดีในแต่ละวิธีการมาสนับสนุนกันและช่วยลดข้อจำกัดของแต่ละวิธีการการปรับตัวเรียนรู้ในรูปแบบของข้อมูลนับว่าเป็นข้อเด่นของโครงข่ายประสาทเทียม แต่ด้วยข้อจำกัดในเรื่องการอธิบายการปรับเรียนรู้ภายในที่ยากต่อ

การสื่อสารให้เกิดความเข้าใจเมื่อเทียบกับในมุมมองของมนุษย์ทั่วไปหรือในภาษาสื่อทั่วไป ขณะที่พื้นฐานของโมเดลฟัซซีซึ่งมีการพัฒนาจากการตัดสินใจแบบตรรกะเชิงทวินัย (Crisp Logic) ด้วยการเปรียบเทียบกฎแบบถ้า-แล้ว (if-then) มาเป็นการตัดสินใจแบบคลุมเครือหรือตรรกะแบบฟัซซี (Fuzzy Logic) โมเดลฟัซซีพื้นฐานที่ได้รับการอ้างถึงคือ โมเดลฟัซซีแมนดานิ (Mandani Fuzzy) และโมเดลฟัซซีซูเกโน (Sugeno Fuzzy) ทั้งสองวิธีการมีข้อแตกต่างหลักที่ผลค่าเอาต์พุตฟังก์ชัน ความเป็นสมาชิก (Output Membership Function) ซึ่งวิธีหลังสามารถเลือกได้ทั้งฟังก์ชันเชิงเส้นหรือเลือกเป็นค่าคงที่ได้กรณีโมเดล ANFIS ซึ่งได้รับการพัฒนามาจากโมเดลฟัซซีซูเกโน

ระบบอนุมานนิวโรฟัซซีแบบปรับตัวได้ (Adaptive Network-Based Fuzzy Inference System: ANFIS) เป็นการผสมผสานการทำงานระหว่างระบบฟัซซีกับโครงข่ายประสาทเทียม โดยที่ระบบฟัซซีจะใช้สร้างกฎฟัซซีจากการเรียนรู้ของตัวแปรอินพุต และตัวแปรเอาท์พุต ส่วนโครงข่ายประสาทเทียมจะมีการเรียนรู้แบบไปข้างหน้า และแบบย้อนกลับ เพื่อปรับพารามิเตอร์ด้านอินพุต และด้านเอาท์พุตของแต่ละกฎฟัซซี ซึ่งนำเสนอโดย Jang (1993) ระบบอนุมานฟัซซีบนฐานโครงข่ายที่ปรับตัวได้ มีโครงสร้างดังภาพที่ 2.10 โดยโนดที่เป็นสี่เหลี่ยมหมายถึงโนดที่มีพารามิเตอร์ที่ปรับได้ ส่วนโนดที่เป็นวงกลมจะไม่สามารถปรับพารามิเตอร์ได้



ภาพที่ 2.10 โครงสร้างของระบบอนุมานฟัซซีบนฐานโครงข่ายปรับตัวได้
(ภาพจาก http://www.intechopen.com สืบค้นเมื่อ 10 มิถุนายน 2559)

กฎฟัซซีจะถูกสร้างด้วยการอนุมานกฎฟัซซีแบบ Sugeno ที่มีเอาท์พุตสุดท้ายได้เพียงตัว เดียว แบ่งเป็นด้านอินพุตกับด้านเอาท์พุต แต่ละด้านจะมีพารามิเตอร์ที่ต้องปรับให้เหมาะสมกับชุดข้อมูล โดยที่ด้านอินพุตเรียกว่า พารามิเตอร์ข้อตั้ง (Premise parameters) จะอยู่ในฟังก์ชันความเป็นสมาชิก ส่วนด้านเอาท์พุตเรียกว่า พารามิเตอร์ข้อตาม (Consequent parameters) อยู่ในเอาท์พุตเชิงเส้นของ แต่ละกฎฟัซซี ตัวอย่างเช่น กรณีที่มีตัวแปรอินพุต 2 ตัว คือ x_1 และ x_2 และมีตัวแปรเอาท์พุตคือ y จะได้กฎอยู่ 2 กฎ ดังนี้

กฎข้อที่ 1 IF x_1 is A_1 and x_2 is B_1 THEN $y_1= p_1x_1+ q_1x_2+r_1$

กฎข้อที่ 2 IF x_1 is A_2 and x_2 is B_2 THEN $y_2= p_2x_1+ q_2x_2+r_2$

โดยที่ A_1 , A_2 , B_1 , B_2 เป็นฟัซซีเซตของพจน์ภาษา ส่วน p_1 , q_1 , r_1 , p_2 , q_2 , r_2 เป็นพารามิเตอร์ข้อตามของกฎของฟัซซี

โครงสร้างหลักของ ANFIS แบ่งออกเป็น 5 ชั้นได้แก่ ชั้นที่ 1: Antecedent Parameters เป็นชั้นพารามิเตอร์ของส่วนข้อตั้งของกฎฟัซซี (2) ชั้นที่ 2 : T-norm Operator เป็นชั้นทำการเชื่อมโยงค่าฟัซซีจากแต่ละมิติ ชั้นที่ 3 : Normalize firing strength เป็นชั้นที่ทำค่าฟัซซีผลรวมจากข้อตั้งทุกกฎให้เป็นหนึ่ง ชั้นที่ 4 : Consequent Parameters เป็นชั้นพารามิเตอร์ของข้อตาม ชั้นที่ 5 : Overall Output เป็นชั้นเอาท์พุตของโครงข่าย

ชั้นที่ 1: Antecedent Parameters

ทุกโนด j ของชั้นนี้จะเป็นสี่เหลี่ยม หมายถึง ตัวพารามิเตอร์สามารถปรับได้โดยมีฟังก์ชั่นโนดเป็นที่ทำการหาค่าฟัซซีจากคริสป์อินพุต $(\square)$ ผ่านทางฟังก์ชั่นความเป็นสมาชิก $\mu_{\square_\square}(\square)$ ดังสมการ 3.9

$$\square_\square^1 = \mu_{\square_\square}(\square) \tag{3.9}$$

เมื่อ $\square_\square^1$ เป็นค่าความเป็นสมาชิกของพจน์ภาษา $\square_\square$ โดยฟังก์ชั่นความเป็นสมาชิก $\mu_{\square_\square}(\square)$ อาจเป็นลักษณะฟังก์ชั่นรูประฆังคว่ำ

$$\mu_{\square_\square}(\square) = \frac{1}{1+\left[\left(\frac{\square-\square_\square}{\square_\square}\right)^2\right]^{\square_\square}} \tag{3.10}$$

หรือแบบเกาส์เซียน เช่น

$$\mu_{\square_\square}(\square) = \square\square\square\left[-\left(\frac{\square-\square_\square}{\square_\square}\right)^2\right] \tag{3.11}$$

เมื่อ $\{a_i, b_i, c_i\}$ เป็นเซตพารามิเตอร์ c_i เป็นค่ากลางของฟังก์ชั่น a_i และ b_i เป็นตัวกำหนดความชันของฟังก์ชั่น เป็นต้น

ชั้นที่ 2 : T-norm Operator

ฟังก์ชั่นของโนดนี้เป็นแบบวงกลมหมายถึงไม่สามารถปรับค่าพารามิเตอร์ โดยมีสัญลักษณ์เป็นเครื่องหมาย $\prod$ เป็นชั้นทำการเชื่อมโยงค่าฟัซซีจากแต่ละมิติโดยคูณสัญญาณที่เป็นฟัซซีเข้าด้วยกันและส่งค่าฟัซซีผลคูณเป็นสัญญาณออก

$$□_□ = \mu_{□1}(□_1) \times \mu_{□2}(□_2), □ = 1 \dots □ \quad (3.11)$$

เมื่อ $□_□$ เป็นค่า firing strength จากกฎแต่ละข้อ และ $\mu_{□□}(□_□)$ เป็นค่าฟัซซีจากมิติที่ □ ของกฎข้อที่ □

ชั้นที่ 3 : Normalize firing strength

ฟังก์ชั่นของโนดนี้เป็นแบบวงกลมสัญลักษณ์ของโนดเป็นเครื่องหมาย N หมายถึงการทำ Normalize firing strength เป็นชั้นที่ทำค่าฟัซซีผลรวมจากข้อตั้งทุกกฎให้เป็นหนึ่ง โดยค่าฟัซซีจากกฎแต่ละข้อจะถูกหารด้วยผลรวมของค่าฟัซซีจากทุกกฎ

$$\bar{□}_□ = \frac{□_□}{□_1+□_2+\cdots+□_□}, □ = 1 \dots □ \quad (3.12)$$

ชั้นที่ 4 : Consequent Parameters

เป็นชั้นของพารามิเตอร์ข้อตามฟังก์ชั่นของโนดนี้เป็นแบบสี่เหลี่ยม พารามิเตอร์ $□_{□0}, □_{□1}$ และ $□_{□2}$ สามารถปรับค่าได้สำหรับค่าเอาต์พุตจากชั้นนี้หาได้จาก

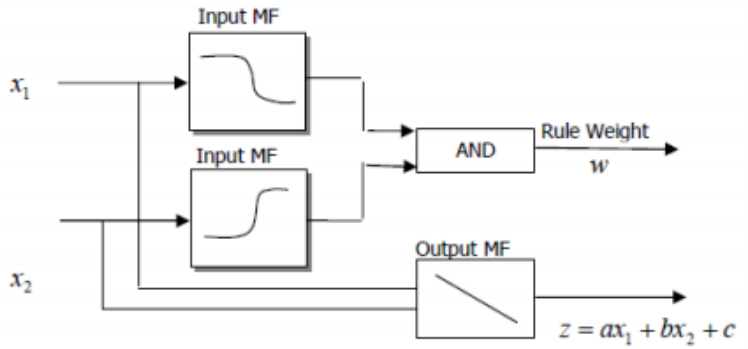
$$□_□^4 = \bar{□}_□□_□ = \bar{□}_□(□_{□0} + □_{□1}□_1 + □_{□2}□_2) \quad (3.13)$$

ชั้นที่ 5 : Overall Output

เป็นชั้นเอาต์พุตของโครงข่ายฟังก์ชั่นของโนดนี้เป็นแบบวงกลมพารามิเตอร์ของโนดนี้จะคงที่ไม่เปลี่ยนแปลง ทำหน้าที่รวมสัญญาณเข้าด้วยกันโดยมีสัญลักษณ์ของโนดเป็นเครื่องหมาย ∑ เอาต์พุตของโนดหาได้จาก

$$□_1^5 = \bar{□}_□{}^□□ = \sum_{□=1}^{□} \bar{□}_□ □_□ = \frac{\sum_□ □_□□_□}{\sum_□ □_□} \quad (3.14)$$

ฟัซซีโมเดลฟัซซีซูเกโน (Sugeno Fuzzy) โครงสร้างของฟัซซีซูเกโนหรือฟัซซีทีเอส (TS: Takagi-Sugeno Fuzzy) ตัวอย่างจำนวนข้อมูลอินพุตขนาด 2 มิติ (Dimension) นำมาประมวลผลในส่วนของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกด้านอินพุต (Input MF) ผลที่ได้นำมาเพื่อใช้ประกอบการกำหนดค่าน้ำหนักของกฎ (Rule Weight หรือ Firing Strength) สำหรับใช้เป็นค่าตัวแปรของการประมวลผลที่เอาต์พุตและสามารถแสดงความสัมพันธ์ในสมการ



ภาพที่ 2.11 โครงสร้างของฟัซซีโมเดลฟัซซีซูเกโน (ภาพจาก http://www.intechopen.com สืบค้นเมื่อ 10 มิถุนายน 2559)

2.3.6 ค่าเฉลี่ยร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percent Error: MAPE)

จากการสร้างแบบจำลองด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบฟัซซีเพื่อหาอัตราการใช้พลังงานของรถยนต์เชื้อเพลิงฟอสซิล และรถยนต์ไฟฟ้า เพื่อแสดงให้เห็นถึงความถูกต้องของแบบจำลองที่ได้สร้างขึ้น จำเป็นต้องหาเครื่องมือในการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองนี้ โดยใช้ค่าเฉลี่ยร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์เป็นการวัดค่าความถูกต้องของแบบจำลองที่วัดจากขนาดของค่าความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองเทียบกับค่าจากการสำรวจ โดยใช้การคำนวนค่าเฉลี่ยร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์ดังสมการที่ 3.15

สมการ $$\square\square\square\square = \frac{1}{\square}\sum\frac{|\square-\square|}{\square} \times 100 \quad (3.15)$$

เมื่อ n = จำนวนข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบ

S = ข้อมูลจากการสำรวจ

M = ข้อมูลจากแบบจำลอง

2.3.7 การคำนวณหาผลประหยัดพลังงานของรถยนต์

ในงานวิจัยชิ้นนี้คำนึงถึงอัตราการใช้พลังงานของรถยนต์แต่ละประเภท เนื่องจากค่าอัตราการใช้พลังงานสามารถบ่งบอกถึงประสิทธิภาพการใช้พลังงานเชื้อเพลิงของขนส่งบนท้องถนนในปัจจุบันโดยสามารถคำนวณอัตราการใช้พลังงานได้ตามสมการที่ 3.16 ในหน่วยของเมกะจูลต่อกิโลเมตร เมื่อได้อัตราการใช้พลังงานของรถยนต์แต่ละประเภทแล้วนำผลมาคำนวณาผลประหยัดที่เกิดขึ้นเนื่องจากการแทนที่รถยนต์เชื้อเพลิงฟอสซิลด้วยรถยนต์ไฟฟ้าภายใต้เงื่อนไขที่สามารถระบุให้กับแบบจำลองได้ ดังสมการที่ 3.17

$$\text{อัตราการใช้พลังงาน} = \frac{\text{ปริมาณการใช้เชื้อเพลิง (□) } \times \text{ ความร้อนสุทธิของเชื้อเพลิง (□□/□□)}}{\text{ระยะทางการใช้งาน (□□)}} \quad (3.16)$$

$$\text{ผลประหยัดพลังงาน} = \square\square_{\square\square\square} - \square\square_{\square\square} \quad (3.17)$$

เมื่อ EC_{ICE} = อัตราการใช้พลังงานของรถยนต์เชื้อเพลิงฟอสซิล

EC_{EV} = อัตราการใช้พลังงานของรถยนต์ไฟฟ้า

2.3.7 การคำนวณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

งานวิจัยชิ้นนี้ยังคำนึงถึงผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นเนื่องจากการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากกิจกรรมการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ในรูปของปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อหน่วย โดยวิธีการคำนวณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สามารถคำนวนได้จากสมการที่ 3.18 โดยอ้างอิงค่า Emission Factor จากกิจกรรมการเผาไหม้ของเครื่องยนต์จำแนกตามชนิดของเชื้อเพลิงดังตารางที่ 2.1

สมการ $$\square\square = \square\square \times \square\square \quad (3.18)$$

เมื่อ PR = ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ *(kg CO_2 eq)*

EV = ปริมาณการใช้พลังงานเชื้อเพลิง *(L, kg)*

EF = สัมประสิทธิ์การปล่อย CO_2 จากกิจกรรมการเผาไหม้แบบเคลื่อนที่ *(kg CO_2 eq/L,kg)*

ตารางที่ 2.1

ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากกิจกรรมการเผาไหม้แบบเคลื่อนที่

ชื่อ	หน่วย	Emission Factor *(kg CO_2 eq/Unit)*	แหล่งข้อมูลอ้างอิง	วันที่อัพเดท
ดีเซล	L	2.7446	IPCC	Update_19March13
ก๊าซธรรมชาติ (CNG*)*	kg	2.2472	IPCC	Update_19March13
ก๊าซหุงต้ม (LPG*)*	L	1.7226	IPCC	Update_19March13
เบนซิน	L	2.1896	IPCC	Update_19March13

หมายเหตุ. จาก *ค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์* (น. 47), โดย *องค์การบริหารก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน).* http://www.tgo.or.th สืบค้นเมื่อ 15กรกฎาคม 2559.

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.4.1 งานวิจัยด้านรถยนต์และรถยนต์ไฟฟ้า

ตะวัน รัตนพงศ์ (2556) ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกซื้อรถยนต์ยี่ห้อต่างๆของประชาชน ในอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา เนื่องจากผู้บริโภคมีความต้องการในการเลือกซื้อรถยนต์ที่แตกต่างกันออกไป ผู้วิจัยจึงทำการสำรวจเพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกซื้อรถยนต์แต่ละยี่ห้อ สีของกลุ่มตัวอย่างในพื้นที่ที่ทำการศึกษาเพื่อให้ตอบสนองต่อความต้องการของผู้บริโภค ผลการศึกษาพบว่ามี 5 ปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกซื้อรถยนต์ของประชาชน ในอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ได้แก่ ปัจจัยด้านผลิตภัณฑ์และการออกแบบ ด้านคุณภาพ ด้านราคา ความพึงพอใจ และเหตุผลของการใช้งาน โดยสีสันของผลิตภัณฑ์ สมรรถนะของเครื่องยนต์ ราคาที่ไม่สูงจนเกินไป บุคลิกภาพของผู้บริโภคตลอดจนความปลอดภัยและความสะดวกสบายของผู้ขับขี่เองเป็นตัวกำหนดการเลือกซื้อรถยนต์

วรมน (2552) กล่าวว่าการพัฒนายานยนต์ต้องคำนึงถึงเรื่องมลภาวะเป็นสำคัญ รถยนต์ไฮบริดแบบชาร์ตไฟฟ้ามี ศักยภาพในการลดก๊าซเรือนกระจกซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดภาวะโลกร้อนและยังสามารถลดปริมาณ การใช้ก๊าซโซลีน รถยนต์ไฮบริดแบบชาร์ตไฟฟ้าขับเคลื่อนโดยพลังงานจากก๊าซโซลีนและไฟฟ้า การแทรกแซงของรถยนต์ไฮบริดแบบชาร์ตไฟฟ้าในตลาดอุตสาหกรรมยานยนต์มีผลกระทบต่อระบบ ไฟฟ้าในงานวิจัยนี้จึงมีจุดประสงค์เพื่อศึกษาผลจากการแทรกแซงของรถยนต์ไฮบริดแบบชาร์ตไฟฟ้า ต่อปริมาณการใช้ไฟฟ้าในช่วงสูงสุดและช่วงปกติและปริมาณการซื้อรถยนต์ได้ถูกพัฒนาขึ้นโดยวิธีการ ถดถอยแบบเชิงเส้นและแบบไม่เป็นเชิงเส้น ตัวแปรที่ใช้ในการพยากรณ์ได้แก่สภาพอากาศ ประชากร และเศรษฐกิจ จากการศึกษาพบว่าในปลาย พ.ศ.2568 ซึ่งมีจำนวนรถยนต์ไฮบริดแบบชาร์ตไฟฟ้าทั้งสิ้น 890,362 คันปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ในจังหวัดออนตาริโอสูงกว่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าในช่วงสูงสุดประมาณ 7,778 เมกะวัตต์ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าไฟฟ้าที่ ผลิตได้ในจังหวัดออนตาริโอ ประเทศแคนนาดา นั้นเพียงพอต่อการชาร์ตรถยนต์ไฮบริดแบบชาร์ตไฟฟ้าในกรณีศึกษา ดังกล่าวตั้งแต่ พ.ศ. 2553 ถึงพ.ศ. 2568

ชวลิต คงศักดิ์ไพบูลย์ (2551) “การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้รถยนต์ไฮบริดเพื่อประหยัดพลังงานในประเทศไทย” พบว่าสำหรับการศึกษาความคุ้มค่าทางการเงินของรถยนต์ไฮบริดมีความผันตรงกับระยะทางการที่ใช้งาน ราคาน้ำมัน และสัดส่วนการใช้งานในเมืองคือ ยิ่งมีระยะทางการใช้งานมาก ราคาน้ำมันสูงขึ้นเรื่อยๆ และสัดส่วนการใช้ในเมืองมาก รถยนต์ไฮบริดจะยิ่งคุ้มค้า ส่วนการศึกษาระยะเวลาการคืนทุนพบว่าโอกาสที่ผู้ใช้รถยนต์ไฮบริดจะสามารถคืนทุนส่วนต่างราคารวมค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนแปลงแบตเตอร์รี่มีค่อนข้างน้อย คือโอกาสคืนทุนได้เฉพาะกรณี

สำหรับผู้ใช้รถยนต์ไฮบริดมากวันละ 80 กิโลเมตรเท่านั้น และต้องเป็นการใช้งานในเมืองคิดเป็นร้อยละ 80 ขึ้นไป แต่เมื่อคำนึงถึงผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมแล้วพบว่ารถยนต์ไฮบริดมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่ารถยนต์ธรรมดา โดยเมื่อประเมินผลกระทบทั้งวงจรผลิตภัณฑ์ตั้งแต่การผลิต การใช้งาน จนถึงขั้นตอนการทำลายรถแล้ว พบว่ารถยนต์ไฮบริดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์น้อยกว่ารถยนต์ธรรมดาถึงร้อยละ 27 และสิ้นเปลืองพลังงานน้ำมันขณะใช้งานน้อยกว่ารถธรรมดาร้อยละ 30

พีรวัฒน์ และคณะ (2555) ได้วิเคราะห์สถานการณ์จำลองจากการขยายตัวของเทคโนโลยียานยนต์ไฟฟ้า กรณีศึกษาสำหรับภาคขนส่งทางถนนในกรุงเทพมหานคร โดยปัญหาการจราจรในกรุงเทพมหานครเป็นปัญหาสำคัญในการเดินทางในเขตเมือง (Urban travelling) และข้อจำกัดจากระบบสาธารณูปโภคเพื่อการเดินทางสาธารณะด้วยรถยนต์ส่วนตัวจึงเป็นทางเลือกหลักของคนกรุงเทพมหานคร อย่างไรก็ตามจากแนวโน้มราคาเชื้อเพลิงฟอสซิลและปัญหามลพิษในเขตการจราจรคับคั่ง ส่งผลให้เทคโนโลยียานยนต์ไฟฟ้าได้รับความสนใจด้วยความเป็นเทคโนโลยีสะอาดและมีประสิทธิภาพสำหรับการเดินทางในอนาคต งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินผลกระทบที่จะเกิดขึ้น หากเทคโนโลยียานยนต์ไฟฟ้าเกิดการขยายตัวในกรุงเทพมหานคร จากการวิเคราะห์สถานการณ์จำลอง (Scenario analysis) โดยผลกระทบที่ต้องการศึกษาได้แก่ ความเปลี่ยนแปลงปริมาณความต้องการพลังงานไฟฟ้า (Electric energy demand) และปริมาณความต้องการเชื้อเพลิงฟอสซิล ผลการศึกษาพบว่าเทคโนโลยียานยนต์ไฟฟ้าสามารถลดปริมาณการใช้พลังงานเชื้อเพลิงในภาคขนส่งบนท้องถนนได้อย่างมีนัยสำคัญและยังศึกษาพบอีกว่าเทคโนโลยียานยนต์ไฟฟ้าสามารถประหยัดพลังงานได้ถึง 2.2 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบภายในปี 2030 โดยรถยนต์ทั้งสองประเภทที่ได้ศึกษาได้แก่ รถจักรยานยนต์ และรถยนต์นั่งส่วนบุคคล

ยศพงษ์ ลออนวล และคณะ (2555) “การศึกษาการพัฒนาของเทคโนโลยียานยนต์ไฟฟ้าและผลกระทบที่เกิดขึ้นสำหรับประเทศไทย” การศึกษานี้เป็นงานวิจัยเชิงนโยบายเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของการพัฒนาเทคโนโลยียานยนต์ไฟฟ้าและผลกระทบจากการขยายตัวของเทคโนโลยีดังกล่าวในภาคขนส่งของประเทศไทย โดยเน้นในภาคส่วนของรถจักรยานยนต์และรถยนต์ส่วนบุคคลที่จะเกิดขึ้นกับประเทศไทยใน ปี ค.ศ. 2030 (พ.ศ. 2573) โดยวิธีการวิจัยแบ่งออกเป็นสามส่วนดังนี้

ส่วนแรกทำการประเมินภาพรวมเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยียานยนต์ไฟฟ้าทั้งหมด ตลอดจนนำเสนอแนวทางและทิศทางการพัฒนาเทคโนโลยีต่างๆ พบว่าเทคโนโลยียานยนต์ไฟฟ้าจะสามารถเติบโตได้ในอนาคตต้องมีระยะทางวิ่งต่อการชาร์จไฟฟ้า 1 ครั้ง ใกล้เคียงกับระยะทางของการเติมเชื้อเพลิงในเทคโนโลยียานยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายใน รวมทั้งมีต้นทุนในการ

ครอบครองยานยนต์ไฟฟ้าไม่แตกต่างกันดังนั้นเทคโนโลยีแบตเตอรี่จะเป็นตัวแปรหลักที่สำคัญ ซึ่งราคา ขนาดและน้ำหนัก อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ยังเป็นข้อจำกัด

ส่วนที่สองทำการสำรวจความคิดเห็นเกี่ยวกับแนวโน้มของเทคโนโลยียานยนต์ไฟฟ้าในระดับโลก ภูมิภาค ASEAN และประเทศไทยซึ่งทั้งภาครัฐและเอกชนเห็นตรงกันในเรื่องของการขยายตัวของยานยนต์ไฟฟ้าจะเกิดขึ้นได้ช้าเนื่องจากเป็นช่วงเริ่มต้นของการพัฒนาเทคโนโลยี สำหรับความคิดเห็นเกี่ยวกับผลกระทบต่ออุตสาหกรรมยานยนต์ไทย ภาคอุตสาหกรรมยานยนต์ส่วนใหญ่มองเห็นตรงกันว่าผลกระทบต่อผู้ผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ในประเทศไทยจะไม่มากนักในช่วงประมาณ 20 ปีต่อจากนี้ ทั้งนี้เนื่องจากการขยายตัวของยานยนต์ไฟฟ้าเป็นไปอย่างช้าๆ และการเพิ่มขึ้นจะเห็นได้จากรถเฉพาะกลุ่มเท่านั้น คือ รถยนต์นั่งเป็นหลัก

ส่วนที่สาม ได้ทำการประเมินผลกระทบทางเศรษฐศาสตร์ สิ่งแวดล้อมและระบบการผลิตไฟฟ้า โดยสร้างแบบจำลองทำนายความต้องการพลังงานสำหรับภาคการขนส่งทางถนน เพื่อประเมินความต้องการพลังงานไฟฟ้าจากรถยนต์ในกลุ่มเป้าหมาย และได้กำหนดสถานการณ์การขยายตัวของเทคโนโลยียานยนต์ไฟฟ้าเป็น 3 กรณี คือ กรณีปกติตามความพร้อมของภาคอุตสาหกรรม (Business as Usual-BAU) กรณีบนพื้นฐานที่มีความเป็นไปได้ของประเทศไทยหรือมีความเป็นไปได้จริง (Probable case) และกรณีที่เกินคาดหมายหรือสูงสุด (Extreme case) สามารถสรุปโดยสังเขปได้ว่า ในกรณีที่มีการขยายตัวของยานยนต์ไฟฟ้าสูงสุด (Extreme case) พบว่า ความต้องการไฟฟ้าในปี พ.ศ. 2573 (ค.ศ. 2030) จะเพิ่มขึ้นสูงสุดคิดเป็นร้อยละ 2.3 ของความต้องการพลังงานไฟฟ้าทั้งหมด และภาระทางไฟฟ้าสูงสุดที่เพิ่มขึ้นในปี ค.ศ. 2030 คิดเป็นร้อยละ 17.2 เมื่อเทียบกับศักยภาพการผลิตไฟฟ้า ดังนั้นการขยายตัวของยานยนต์ไฟฟ้าจะไม่มีผลกระทบต่อแผนการจัดหาไฟฟ้าของประเทศ

สำหรับในกรณีที่มีความเป็นไปได้จริง (Probable case) พบว่าการส่งเสริมเทคโนโลยียานยนต์ไฟฟ้าจะสามารถลดการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงได้สูงสุดถึง 2,090 ktoe หรือคิดเป็นร้อยละ 12.9 ของศักยภาพการประหยัดพลังงานในภาคขนส่งตามแผน EEDP และสามารถช่วยลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้เทียบเท่ากับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 6.13 ล้านตัน หรือคิดเป็นร้อยละ 12.1 เมื่อเปรียบเทียบกับการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากภาคการขนส่งของประเทศไทยในปี ค.ศ. 2008 นอกจากนี้จากการประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์และการเงินสามารถสรุปได้ว่าการสนับสนุนยานยนต์ไฟฟ้าตั้งแต่ปี พ.ศ. 2553 ถึง พ.ศ. 2573 จะช่วยให้ประเทศชาติลดการนำเข้าน้ำมันเชื้อเพลิงคิดเป็นมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ได้เฉลี่ย 12,893 ล้านบาท/ปี และช่วยลดมลพิษทางอากาศซึ่งคิดเป็นมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ได้เฉลี่ย 67,437 ล้านบาท/ปี

Zhengdong, Y.และคณะ (2012) “การคาดการณ์ปริมาณการใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของรถยนต์กับสภาวการณ์ของระบบขับเคลื่อน/ระบบเชื้อเพลิงที่แตกต่างกันในกรุงปักกิ่ง”ได้ทำการศึกษาโดยวิธีการวิเคราะห์วัฏจักรชีวิต (life cycle analysis) ได้ถูกนำมาใช้ในการคำนวณอัตราการใช้พลังงานน้ำมันเชื้อเพลิงและอัตราการปล่อย CO_2 ต่อหนึ่งกิโลเมตรของรถยนต์เครื่องสันดาปภายใน (ICEV) และรถยนต์ที่ขับเคลื่อนด้วยพลังงานไฟฟ้าประเภทต่างๆ ได้แก่ รถยนต์พลังงานไฟฟ้าลูกผสมหรือรถไฮบริด (HEV), รถยนต์พลังงานไฟฟ้าลูกผสมแบบเสียบปลั๊ก (PHEV) และรถยนต์พลังงานไฟฟ้าแท้ (EV) สำหรับกรุงปักกิ่ง ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่ารถยนต์ HEV, PHEV และ EV ให้ผลที่ดีในด้านประสิทธิภาพการใช้เชื้อเพลิงโดยรวม (WTW) อย่างมีนัยสำคัญในอัตราการประหยัดพลังงานต่อหนึ่งกิโลเมตรเมื่อนำมาเทียบกับรถยนต์ ICEV, HEV, PHEV และ EV แล้วรถยนต์ HEV, PHEV และ EV จะสามารถลดอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงต่อหนึ่งกิโลเมตรลงไปได้ถึง 29%, 30% และ 40% ตามลำดับในปี 2030 ในขณะที่ผลการลด CO_2 ของรถ PHEV และ EV มีน้อยกว่าเนื่องจากผลเสียของการปล่อย CO_2 จากโรงไฟฟ้าถ่านหินต้นทาง ยกตัวอย่างเช่น PHEV และ EV สามารถลดปริมาณการปล่อย CO_2 ต่อหนึ่งกิโลเมตรได้เพียง 15%–20% เมื่อเทียบกับ ICEV ในปี 2030 เรายังคาดการณ์ว่าปริมาณรถยนต์ทั้งหมดในกรุงปักกิ่งจะมีถึง 8.9-11.0 ล้านคันในปี 2030 อีกด้วย สภาวการณ์ของส่วนแบ่งของโหลดรถยนต์ไฟฟ้าทั้ง 4 สภาวการณ์ได้รับการออกแบบมาเพื่อประเมินผลกระทบของการประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิงและการลดการปล่อยก๊าซ CO_2 ตามจำนวนรถยนต์ทั้งหมด WTW ของการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงกับสภาวการณ์ปกติ (base case scenario) จะถึงจุดสูงสุดในปี 2020 คือมีการใช้พลังงานเชื้อเพลิงประมาณ 80 × 1015 จูล สภาวการณ์ที่รุนแรงมากที่สุด (สภาวการณ์ 4) สามารถประหยัดพลังงาน WTW ของพลังงานเชื้อเพลิงได้ 21% เมื่อเทียบกับสภาวการณ์ปกติในปี 2030 WTW ของการปล่อย CO_2 ในสภาวการณ์ปกติก็จะถึงจุดสูงสุดคือ 35 ล้านตันในปี 2020 ด้วยการสนับสนุนการใช้รถยนต์ไฟฟ้า สภาวการณ์ 1-4 สามารถลด WTW ของการปล่อย CO_2 ได้ 5%–16% ของรถยนต์ทั้งหมดในปักกิ่งได้เมื่อเทียบกับสภาวการณ์ปกติในปี 2030

Amir F. และคณะ (2015). ได้ทำการศึกษา“ความไม่แน่นอนและความแตกต่างในการปล่อยก๊าซเรือนกระจกระหว่างรถยนต์ไฟฟ้าและรถยนต์ที่ใช้น้ำมันเบนซินธรรมดากับผลที่มีต่อการกำหนดนโยบายการขนส่ง” พบว่ามีความไม่แน่นอนที่เกิดขึ้นได้เป็นอย่างมากในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG) กับระบบการจ่ายไฟฟ้าในการขนส่ง การใช้การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment, LCA) ปกติในการสร้างแบบจำลองเส้นทางด้วยการลดสิ่งที่รู้กันเกี่ยวกับพารามิเตอร์ของแบบจำลองให้เป็นแบบค่าเดียวเพื่อให้การประมาณการปล่อย GHG เป็นแบบจุดเดียวนำไปสู่รายงานต่าง ๆ ในเอกสารข้อมูล ว่ามีความความแตกต่างของการปล่อย GHG ระหว่างรถยนต์ไฟฟ้า (EV) กับรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายใน (ICE) ธรรมดา ซึ่งมีความแตกต่างระหว่างน้อยสุดกับ

มากสุดอย่างชัดเจนคือตั้งแต่ต่ำกว่า 10% จนถึงสูงกว่า 60% ในการศึกษานี้เราทำ LCA ร่วมกับการจำลองสถานการณ์มอนติคาร์โลแบบไม่แน่นอน (Monte Carlo stochastic simulation) เพื่อหาความไม่แน่นอนของความแตกต่างในการปล่อย GHG ระหว่าง EV และ ICE โดยนำเอาการเปลี่ยนแปลงทุกรูปแบบที่เป็นไปได้ที่อาจส่งผลกระทบต่อการประมาณวงจรชีวิตการปล่อย GHG ในรถ EV และ ICE โดยใช้เทคโนโลยีที่มีอยู่แล้วในตลาดปัจจุบัน การศึกษานี้ให้ข้อมูลเชิงลึกถึงความสำคัญของปัจจัยที่ทำให้เกิดความแตกต่างของวงจรชีวิตของการปล่อย GHG ระหว่าง EV และ ICE และการตรวจวัดความน่าจะเป็น EV ให้ผลลัพธ์โดยรวมดีกว่า ICE ทั้งในปัจจุบันและการคาดการณ์ในปี 2040 รายงานการวิจัยนี้เสนอแง่มุมสำคัญในการที่จะบอกถึงบทบาทที่มีการอภิปรายกันอย่างกว้างขวางของระบบการจ่ายไฟฟ้าในการขนส่งว่าเป็นวิธีสู่อนาคตการเดินทางคาร์บอนต่ำและผลที่ได้ให้กับผู้กำหนดนโยบาย

Howey, D.A. และคณะ (2011). ได้ทำการศึกษา ”การวัดเชิงเปรียบเทียบการใช้พลังงานของรถยนต์ไฟฟ้า รถยนต์ไฮบริดและรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายใน 51 คัน” โดยบทความนี้นำเสนอการใช้พลังงานที่วัดได้จากความแตกต่างของรถยนต์ "ประหยัดเชื้อเพลิง" ในระยะทางกว่า 57 ไมล์บนเส้นทางการขับขี่ในเมือง (urban)/การใช้ความเร็วในการขับขี่ในเมือง (extra-urban) (ถ้าเทียบกับของไทย Urban ใช้ความเร็วสูงสุดไม่เกิน 50 กิโลเมตร/ชั่วโมง ส่วน extra-urban มักจะใช้ความเร็วมากกว่าที่ระดับตั้งแต่ 50 - 120 กิโลเมตร/ชั่วโมง) ผลการศึกษาพบว่าโดยเฉลี่ยแล้วรถยนต์ไฟฟ้าใช้พลังงานน้อยที่สุด (0.62 ล้านจูล/กิโลเมตร โดยเฉลี่ย) ตามมาด้วยรถยนต์ไฮบริด (1.14 ล้านจูล/กิโลเมตร) และรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายใน (1.68 ล้านจูล/กิโลเมตร) การประเมินการปล่อย CO_2 พบว่าไฮบริดมีการปล่อย CO_2 ต่ำสุด ซึ่งประมาณครึ่งหนึ่งของจำนวนรถปล่อย CO_2 น้อยกว่า 70 กรัม CO2/กิโลเมตร รถยนต์เครื่องยนต์ดีเซลที่มีประสิทธิภาพสูงสุด ปล่อย CO_2 ออกมาประมาณ 80 กรัม CO2/กิโลเมตร แต่ส่วนใหญ่เกิน 110 กรัม CO_2/ กิโลเมตร รถยนต์ไฟฟ้าส่วนใหญ่ปล่อย CO_2 ออกมา 70-110 กรัม CO_2/กิโลเมตร โดยกำหนดให้ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของสหราชอาณาจักรเฉลี่ยอยู่ที่ 542 กรัม CO_2/กิโลเมตร

Rui Z. และคณะ (2015). ได้นำเสนอ“การประมาณการใช้พลังงานของรถยนต์ไฟฟ้าด้วยข้อมูลสภาพการขับขี่จริง” การใช้รถยนต์ไฟฟ้า (EV) ถูกมองว่าเป็นตัวเลือกที่น่าสนใจในการลดการปล่อย CO_2 และการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงที่เป็นผลมาจากภาคการขนส่ง แต่การได้รับความนิยมของรถ EVs ก็ถูกขัดขวางด้วยข้อจำกัดของระยะทางการใช้งาน (cruising range) และความไม่สะดวกในขั้นตอนการชาร์จไฟ การวิเคราะห์ลักษณะการใช้พลังงานเป็นพื้นฐานสำคัญในการศึกษาที่ตำแหน่งวางโครงสร้างการชาร์จไฟ พฤติกรรมการขับขี่อย่างประหยัดพลังงาน การวางแผนเส้นทางที่ช่วยประหยัดพลังงานซึ่งมีส่วนช่วยในการขยายระยะการใช้งานของ EV ได้ ในมุมมองทางกายภาพและ

ทางสถิติแล้วงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาแนวทางในการประมาณการใช้พลังงานที่เหมาะสมอย่างเป็นระบบสำหรับวงจรการขับขี่รถยนต์ไฟฟ้าจริง วิธีแรกเป็นการใช้ข้อมูลสภาพการขับขี่จริงวินาทีต่อวินาทีที่เก็บรวบรวมจากเส้นทางการเดินทางในเมืองปกติ การวิเคราะห์ลักษณะการใช้พลังงานจะทำเฉพาะกับพารามิเตอร์การขับขี่ในระดับจุลภาค (อัตราความเร็วและอัตราเร่ง ณ ขณะหนึ่ง) และสถานะประจุแบตเตอรี่ (SOC) จากนั้นด้วยการพิจารณาที่ครอบคลุมลักษณะพลวัตรเชิงกลและระบบเครื่องยนต์ไฟฟ้าของรถ ชุดแบบจำลองการประมาณอัตราการใช้พลังงานก็จะถูกสร้างขึ้นภายใต้โหมดการปฏิบัติการที่แตกต่างกันในมุมมองทางสถิติ สุดท้ายประสิทธิภาพของแบบจำลองที่นำเสนอก็จะมีการประเมินอย่างเต็มรูปแบบด้วยวิธีการประเมินการใช้พลังงานธรรมดา ผลการศึกษาพบว่าวิธีการสร้างแบบจำลองที่นำเสนอนั้นแสดงให้เห็นถึงความแม่นยำมากขึ้นในการประมาณการใช้พลังงานในโลกแห่งความจริงอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะยิ่งความแม่นยำของแบบจำลองเพิ่มขึ้น 25.25% ในโหมดการลดความเร็วเมื่อเทียบกับแบบจำลองเดิม ขณะที่มีการพัฒนาเล็กน้อยในโหมดเร่งความเร็วและโหมดขับช้าด้วยภาวะสารูปสนิทดี (goodness of fit) เป็นที่น่าพอใจ

2.4.2 งานวิจัยด้านระบบฟัซซีและโครงข่ายประสาทเทียมแบบฟัซซี

บุญพิทักษ์ และ เกวลิน (2555) ได้ศึกษาถึง ”ระบบควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิก” การจำลองตัวอย่างการทำงานของตัวควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิกโดยในด้านซอร์ฟแวร์นั้นจะใช้การเขียนโปรแกรมด้วยภาษาซี เพื่อที่จะจำลองการทำงานบนคอมพิวเตอร์ และจะเชื่อมต่อออกไปยังรูปแบบของอุปกรณ์ด้านฮาร์ดแวร์ซึ่งทำการควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ ซึ่งในโครงงานนี้จะประยุกต์กับการควบคุมความเข้มของแสงสว่างของหลอดไฟ เพื่อปรับความเข้มของแสงให้มีความราบเรียบของการทำงานและได้ระดับตามต้องการ

มาณวิกา รัตนะ (2556) ได้ศึกษา “แบบจำลองการประหยัดพลังงานในอุตสาหกรรมประเภทผลิตภัณฑ์โลหะ เครื่องจักรและอุปกรณ์โดยวิธีฟัซซี่ลอจิกและวิธีการวิเคราะห์ความถดถอย” โดยรวบรวมข้อมูลด้านการอนุรักษ์พลังงานที่นำมาวิเคราะห์ ได้แก่ ปริมาณการใช้พลังงาน เงินลงทุนของแต่ละมาตรการ มาตรการการอนุรักษ์พลังงาน และเงินที่ประหยัดได้ โดยมาตรการการอนุรักษ์พลังงานที่นำมาศึกษาได้แก่ M1.การใช้เครื่องทำความเย็น (ชิลเลอร์) ใหม่ประสิทธิภาพสูงทดแทนของเดิม M2.การใช้เครื่องปรับอากาศชุดใหม่ที่มีประสิทธิภาพสูง(High EER) ทดแทนชุดเดิม M3.การใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง M4.การใช้หลอดฟูลออเรสเซนต์แทนหลอดHID M5.การติดตั้งระบบอัตโนมัติควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ M6.การลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องอัดอากาศ M7.การใช้ชุดเครื่องอัดอากาศที่มีประสิทธิภาพสูงทดแทนชุดเดิม M8.การใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอดฟูออเรสเซนต์ เมื่อเปรียบเทียบร้อยละของค่าเฉลี่ยความผิดพลาดสัมบูรณ์ พบว่าแบบจำลองฟัซซี่ลอจิกมีความเหมาะสมสำหรับนำมาใช้วิเคราะห์การประหยัดจากการ

ดำเนินงานมาตรการอนุรักษ์พลังงาน ผลการวิจัยพบว่าถ้าโรงงานทั้งหมดดำเนินงานมาตรการทั้ง 8 จะสามารถประหยัดเงินได้ถึง 908,658,000 บาท คิดเป็นร้อยละ 28.77 ถือว่ามีความคุ้มทุนในทางเศรษฐศาสตร์

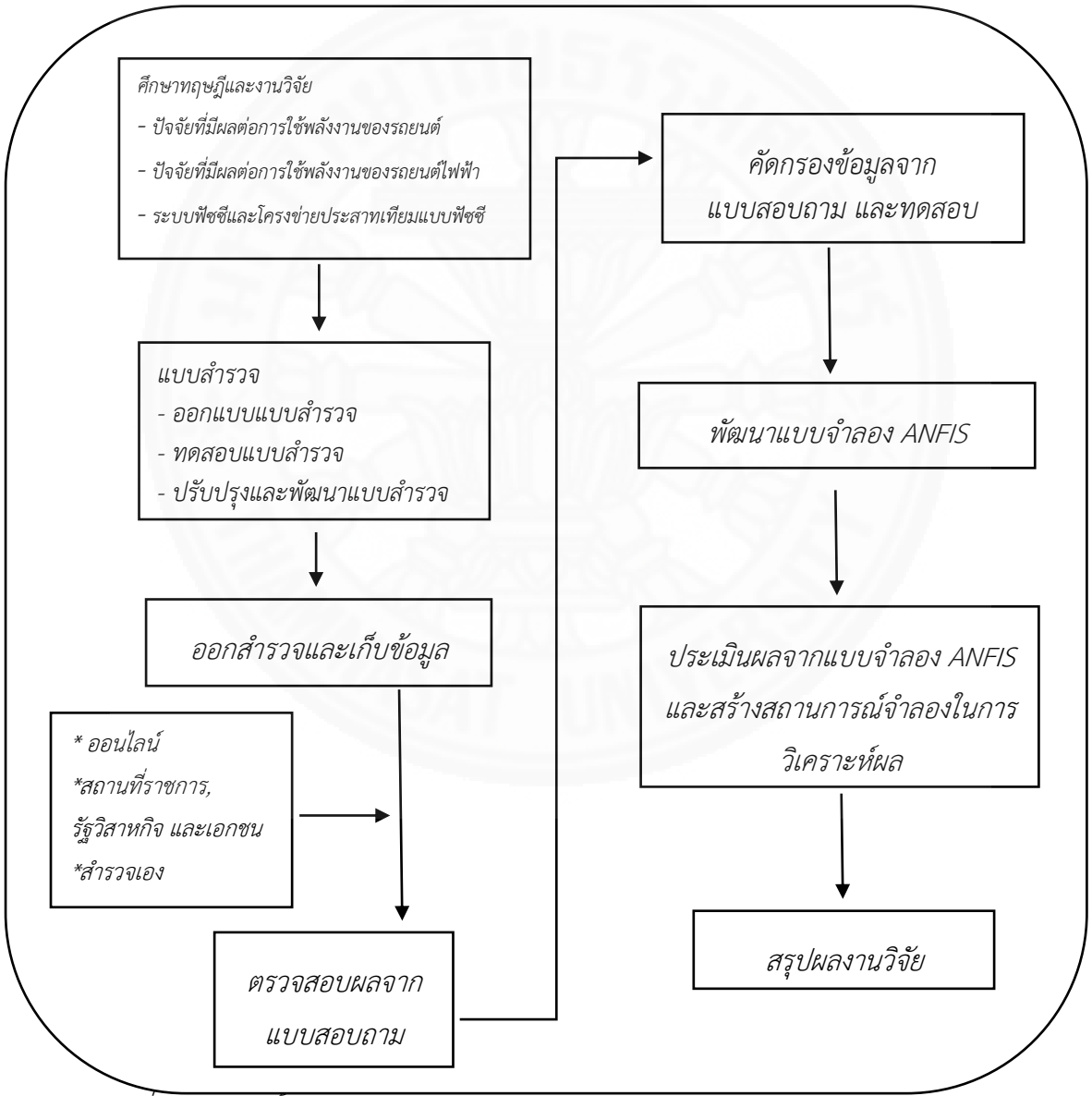
ภานุวัฒน์ เทียนศรี และคณะ (2552) ได้เสนอแนวคิดการสร้างแบบจำลองมูลค่าความเสียหายจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทอุตสาหกรรมจำนวน 300 แห่งด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบฟัซซี ซึ่งอินพุตที่ใช้เป็นข้อมูลที่ได้จากการสำรวจโรงงานและผ่านการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ในเชิงสถิติอันประกอบด้วยค่าไฟฟ้า ความถี่การเกิดไฟฟ้าขัดข้อง ระยะเวลาที่ไฟฟ้าขัดข้อง ระยะเวลาการกู้ และกระบวนการผลิต นำมาเป็นปัจจัยอินพุตในการสร้างแบบจำลอง ผลการศึกษาวิจัยพบว่าจำนวนอินพุต และจำนวนของฟังก์ชั่นความเป็นสมาชิก มีผลกับความถูกต้องของการทำนายมูลค่าความเสียหายจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องโดยอาศัยข้อมูลจากการสำรวจเป็นข้อมูลอ้างอิง

ณรงค์กรณ์ อุทาทิพย์ (2553). ได้เสนอแนวคิดการประเมินมูลค่าความเสียหายจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องของผู้ใช้ไฟฟ้าในอุตสาหกรรมประเภทอาหารในประเทศไทยด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบฟัซซี โดยทำการเก็บข้อมูลผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทอุตสาหกรรมอาหารจำนวน 338 แห่งและทดสอบสมมุติฐานด้วยวิธีไควสแควร์ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ในการหาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อมูลค่าความเสียหายจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องของอุตสาหกรรมอาหาร ทำการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการสำรวจ แบบจำลองฟัซซี และแบบจำลองจากโครงข่ายประสาทเทียมแบบฟัซซี ปรากฏว่าจากกระบวนการเรียนรู้จากลักษณะของข้อมูลที่ได้จากการสำรวจด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อปรับค่าพารามิเตอร์ส่งผลให้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมให้ผลที่แม่นยำและเหมาะสมกว่าแบบจำลองด้วยวิธีฟัซซีลอจิก

บทที่ 3
วิธีการวิจัย

3.1 วิธีการวิจัย

ในขั้นตอนการศึกษาการทำวิจัยเรื่องการศึกษาผลกระทบของยานยนต์ไฟฟ้าประเภทรถยนต์ต่อการใช้พลังงานของประเทศไทย สามารถแบ่งหัวข้อวิธีการวิจัยได้ดังต่อไปนี้



ภาพที่ 3.1 แผนผังขั้นตอนการศึกษาผลกระทบของยานยนต์ไฟฟ้าประเภทรถยนต์ต่อการใช้พลังงานของประเทศไทย

3.1.1 ศึกษาบทความ งานวิจัย และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องการศึกษาผลกระทบของยานยนต์ไฟฟ้าประเภทรถยนต์ต่อการใช้พลังงานของประเทศไทย

1. ศึกษาบทความ งานวิจัย และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องของยานยนต์ที่มีการใช้งานในประเทศไทยโดยพิจารณา คุณลักษณะของการใช้งาน รสนิยมของผู้บริโภค สถานภาพทางเศรษฐกิจและลักษณะของสังคม เป็นต้น เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างกระบวนการตัดสินใจบริโภคและพฤติกรรมการใช้งานของรถยนต์แต่ละประเภทที่ใช้งาน โดยเหตุผลที่ได้จากการศึกษาพบว่า เนื่องจากความต้องการความสะดวกสบายในการเดินทาง ระยะของการเดินทางของผู้บริโภคในแต่ละวัน ความปลอดภัย ขนาดของเครื่องยนต์ โครงสร้างและการออกแบบของผลิตภัณฑ์ รายได้ การสร้างแรงจูงใจของผลิตภัณฑ์ รวมไปถึงสภาพการจราจร เป็นต้น เหล่านี้เป็นปัจจัยการตัดสินใจเลือกซื้อรถยนต์

2. ศึกษา บทความ งานวิจัย และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องของรถยนต์ไฟฟ้า รถยนต์นั่งส่วนบุคคลไม่เกิน 7 คน และรถยนต์บริการสาธารณะไม่เกิน 7 คน โดยศึกษาถึงข้อแตกต่างทางด้านคุณลักษณะเชิงวิศวกรรม พฤติกรรมการใช้งาน การซ่อมบำรุง เป็นต้น เพื่อใช้กำหนดปัจจัยที่มีผลต่อการใช้พลังงาน อันได้แก่ลักษณะการทำงานของเครื่องยนต์ อัตราความสิ้นเปลืองของเชื้อเพลิง อัตราการใช้งานรถยนต์ และการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่อง เป็นต้น ดังกล่าวที่ได้ศึกษามาจะนำมากำหนดปัจจัยที่มีผลต่อการใช้พลังงาน

3. ศึกษาบทความ งานวิจัย ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องของวิธีฟัซซี่ลอจิกโดยศึกษาระบบการทำงาน ฟัซซี่เซท กฎของฟัซซี่ที่ใช้ในการพิจารณาข้อมูล การเชื่อมโยงของข้อมูลใช้เพื่อพัฒนาแบบจำลองการใช้พลังงานของรถยนต์ไฟฟ้า รถยนต์นั่งส่วนบุคคลไม่เกิน 7 คน และรถยนต์บริการสาธารณะไม่เกิน 7 คน

3.1.2 กำหนดปัจจัยที่มีผลต่อการใช้พลังงาน

กำหนดปัจจัยต่างๆที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานจากการศึกษาบทความ งานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อสร้างแบบสอบถาม

1. กำหนดปัจจัยหลักที่มีผลต่อการใช้พลังงานของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลไม่เกิน 7 คน และรถยนต์บริการสาธารณะไม่เกิน 7 คน โดยพิจารณาพฤติกรรมการขับขี่ยานยนต์และสภาพการจราจรในแต่ละช่วงเวลาในเขตกรุงเทพและปริมณฑล รวมถึงคุณลักษณะเชิงวิศวกรรมของยานยนต์แต่ละประเภท ซึ่งในเบื้องต้นได้กำหนดปัจจัยหลักดังต่อไปนี้ ความเร็วเฉลี่ย ระยะทาง ระยะเวลาการใช้งาน วัตถุประสงค์การใช้งาน สภาพการจราจร ขนาดของเครื่องยนต์ เป็นต้น เพื่อใช้ปัจจัย

ดังกล่าวเป็นตัวกำหนดสมมุติฐานที่ใช้สำหรับแบบสอบถามและนำไปทดสอบความสัมพันธ์ของปัจจัยต่อการใช้พลังงานในเชิงสถิติ

2. กำหนดปัจจัยรองที่มีผลต่อการใช้พลังงานของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลไม่เกิน 7 คน และรถยนต์บริการสาธารณะไม่เกิน 7 คน โดยวิเคราะห์จากการใช้งานตามความจริงของรถยนต์แต่ละประเภทในเรื่องของความเร็วเฉลี่ย ระยะทาง ระยะเวลาการใช้งาน สภาพการจราจร ขนาดของเครื่องยนต์ จากการวิเคราะห์สามารถกำหนดปัจจัยรองดังต่อไปนี้ ระยะเวลาที่ใช้รถยนต์(ชั่วโมงต่อวัน) สถานที่พักและสถานที่ทำงานของผู้ตอบแบบสอบถาม ความเร็วเฉลี่ย ช่วงเวลาที่ใช้รถยนต์ อายุ เพศ ระดับของรายได้ เป็นต้น ปัจจัยทั้งหมดข้างต้นเป็นปัจจัยที่ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่ทำการสำรวจจากการใช้งานของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลและรถยนต์บริการสาธารณะที่มีผลต่อการใช้พลังงาน

3. กำหนดปัจจัยอื่นๆเพื่อให้ได้ผลการวิเคราะห์จากปัจจัยหลักและปัจจัยรองมีความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น โดยพิจารณาจากข้อมูลจำเป็นพื้นฐานที่ได้จากหัวข้ออื่นในแบบสอบถาม ได้แก่ คุณลักษณะส่วนบุคคลเช่น เพศ อายุ จำนวนบุคคลในครอบครัว รายได้เป็นต้น ปัจจัยดังกล่าวอาจส่งผลหรือไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการวิจัยเพื่อให้แบบสอบถามมีค่าความน่าเชื่อถือของข้อมูลและเป็นที่ยอมรับได้สำหรับงานวิจัย

3.1.3 ออกแบบและพัฒนาแบบสอบถามที่ใช้ในการเก็บข้อมูล

1. ออกแบบแบบสอบถามฉบับร่างเพื่อรวบรวมการใช้งานและการใช้พลังงานเชื้อเพลิงของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลไม่เกิน 7 คน และรถยนต์บริการสาธารณะไม่เกิน 7 คน โดยนำปัจจัยหลัก ปัจจัยรอง และปัจจัยอื่นๆ ที่ได้ศึกษาข้างต้น โดยการตั้งคำถามในแบบสอบถามด้วยภาษาที่สุภาพ ไม่คลุมเครือ ครอบคลุมปัจจัยที่ได้ศึกษาไว้ อ่านและเข้าใจง่าย และคำตอบก็เช่นกันมีจำนวนเนื้อหาคำตอบที่ครอบคลุมกับสถานการณ์ในปัจจุบันมากที่สุด โดยแบบสอบถามฉบับร่างต้องมีเนื้อหาเป็นไปตามปัจจัยที่ศึกษาไว้ มีปริมาณคำถามที่พอเหมาะ ตัวอักษรชัดเจน เพื่อให้สะดวกต่อผู้ตอบแบบสอบถาม และคำนึงถึงเวลาที่ใช้ในการทำแบบสอบถามฉบับร่างนี้ด้วย

2 การออกสำรวจโดยใช้แบบสอบถามฉบับร่างเพื่อเก็บข้อมูลเบื้องต้นหาข้อบกพร่องของแบบสอบถามโดยพิจารณาจากความเห็นของผู้ตอบแบบสอบถาม และสถานการณ์รอบตัวในปัจจุบัน เพื่อให้บ่งชี้ความผิดพลาดของการตอบแบบสอบถามอันได้แก่ อัตราค่าครองชีพขั้นต่ำ ราคาน้ำมัน รวมถึงสภาพการจราจรในปัจจุบัน ข้อมูลดังกล่าวรับรู้ได้จากการฟังความคิดเห็นจากผู้ตอบแบบสอบถามเอง การติดตามข่าวสาร เป็นต้น ข้อบกพร่องเหล่านี้นำมาพัฒนาแบบสอบถามเพื่อให้ได้ฉบับสมบูรณ์และครอบคลุมข้อมูลที่ต้องการมากยิ่งขึ้น

3.1.4 ศึกษา วิเคราะห์หากลุ่มเป้าหมายของการเก็บแบบสอบถามและลงพื้นที่เพื่อเก็บข้อมูล

1. ศึกษาจากบทความ สถิติ งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการกำหนดขอบเขตพื้นที่ที่ต้องศึกษาโดยการสำรวจ พิจารณาจากข้อมูลทางสถิติที่มีความน่าเชื่อถือโดยคำนึงถึงพื้นที่ที่มีจำนวนประชากรที่สามารถเป็นตัวแทนของการศึกษาในครั้งนี้ จากสถิติพบว่าปริมาณรถยนต์สะสมส่วนใหญ่อยู่ในเขตกรุงเทพและปริมณฑลเมื่อศึกษาในเชิงลึก พบว่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลไม่เกิน 7 คน และรถยนต์บริการสาธารณะไม่เกิน 7 คน มีปริมาณสะสมอยู่ในเขตกรุงเทพและปริมณฑลมากกว่าที่อื่นในประเทศไทยจึงใช้ตัวแทนในการศึกษา

2. ศึกษา วิเคราะห์หาขนาดกลุ่มประชากรตัวอย่างพิจารณาจากปริมาณรถยนต์นั่งส่วนบุคคลไม่เกิน 7 คน และรถยนต์บริการสาธารณะไม่เกิน 7 คน ด้วยวิธี Taro Yamane ขนาดความคลาดเคลื่อนร้อยละ $\pm$5 จากประชากรตามค่าสถิติที่ได้ศึกษาไว้ จะได้ตัวอย่าง 400 ตัวอย่างของรถยนต์แต่ละประเภท โดยมีรายละเอียดการคำนวณขนาดตัวอย่าง ใช้วิธีการของยามาเน (Taro Yamane) ที่กำหนดระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ยอมให้มีความผิดพลาดได้ร้อยละ 5

3. ทำการสำรวจเก็บข้อมูลโดยใช้แบบสอบถามที่พิจารณาจำนวนของข้อมูลตามปริมาณรถยนต์สะสมแต่ละประเภทในเขตกรุงเทพและปริมณฑล เพื่อให้ได้ข้อมูลตามขนาดของตัวอย่างประชากรที่ได้กำหนดไว้ โดยในงานวิจัยที่ได้เก็บข้อมูลแบบสอบถามจากการออกไปสำรวจโดยตรงที่สถานที่ราชการ รัฐวิสากิจ บริษัทเอกชน และกลุ่มสหกรณ์ รวมถึงจากการสอบถามออนไลน์

4. หาความสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีผลต่อการใช้พลังงานจากแบบสอบถามการใช้งานและการใช้พลังงานเชื้อเพลิงของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลไม่เกิน 7 คน และรถยนต์บริการสาธารณะไม่เกิน 7 คน ที่ได้จากการสำรวจเก็บข้อมูล โดยในการหาความสัมพันธ์ของปัจจัยดังกล่าวในเชิงสถิติคำนึงถึง ค่าความเชื่อมั่นของข้อมูล ค่าความแปรปรวน ค่ากลาง เป็นต้น

3.1.5 ศึกษาและเก็บข้อมูลรถยนต์ไฟฟ้า

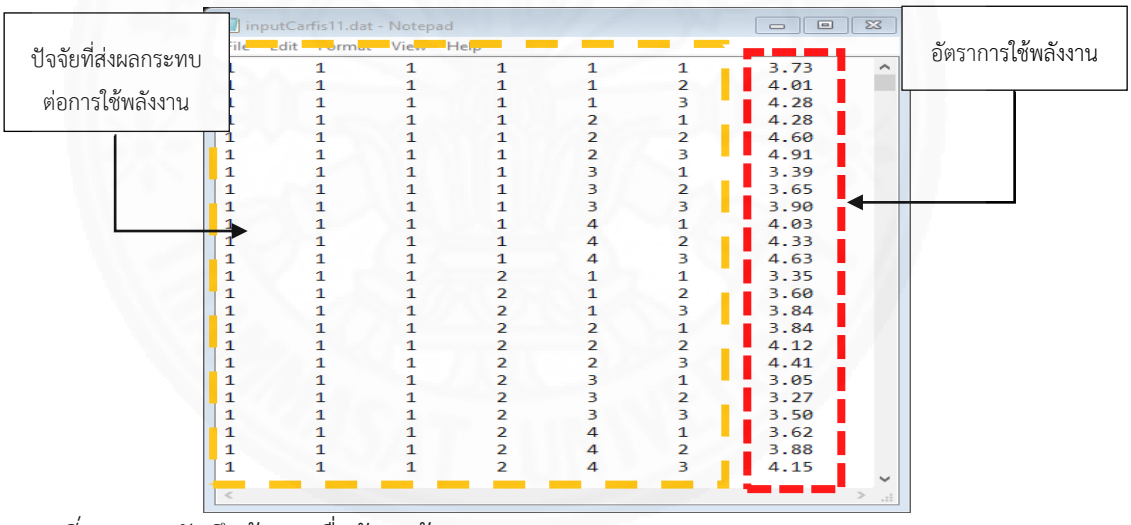
ศึกษา เก็บรวบรวมข้อมูลของรถยนต์ไฟฟ้าที่มีการใช้งานในประเทศไทยจากหน่วยงานราชการ รัฐวิสาหกิจ เอกชน ผู้แทนผลิตและจำหน่าย ที่มีการจำหน่ายและหน่วยที่ทดลองใช้งานจริงในประเทศไทย เพื่อสำรวจข้อมูลคุณลักษณะเชิงวิศวกรรม อันได้แก่ ขนาดของแบตเตอร์รี่ ระยะเวลาในการชาร์ตไฟฟ้า เป็นต้น เหล่านี้นำมาเป็นปัจจัยในการศึกษาที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อพัฒนาแบบจำลองด้วยวิธี ANFIS

3.1.6 พัฒนาแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบฟัซซี

ศึกษาและพัฒนาแบบจำลองการใช้พลังงานของรถยนต์ไฟฟ้า รถยนต์นั่งส่วนบุคคลไม่เกิน 7 คน และรถยนต์บริการสาธารณะไม่เกิน 7 คน ด้วยวิธี ANFIS โดยนำปัจจัยที่มีผลต่อการใช้พลังงานของการรถยนต์ไฟฟ้า รถยนต์นั่งส่วนบุคคลและรถยนต์บริการสาธารณะที่ได้จากการศึกษาและสำรวจจากแบบสอบถามนำมาใช้เป็นข้อมูลอินพุต เพื่อสร้างแบบจำลองการใช้พลังงานของรถยนต์แต่ละประเภทพอสังเขปดังนี้

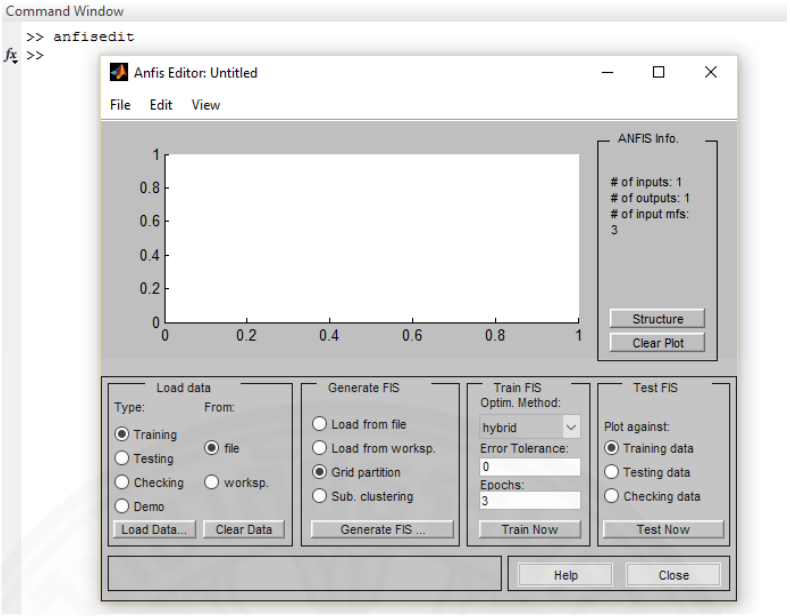
ขั้นตอนที่ 1 ทำการแปลค่าของตัวแปรที่ได้จากแบบสอบถามโดยแปลค่าของอินพุตเป็นตัวแปรทางฟัซซี และให้เอาต์พุตเป็นค่าจริง

ขั้นตอนที่ 2 ป้อนข้อมูลของรถยนต์เชื้อเพลิงฟอสซิลและรถยนต์ไฟฟ้า ที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองของระบบโครงข่างประสาทเทียมแบบฟัซซีโดยการบันทึกข้อมูลเป็นไฟล์ Notepad แล้วบันทึกไฟล์เป็นนามสกุล .dat ดังภาพที่ 3.2



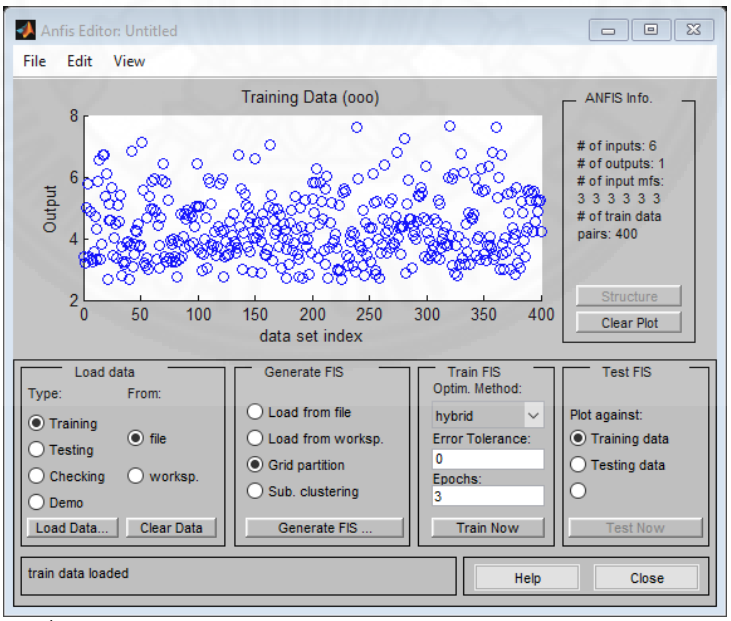
ภาพที่ 3.2 การบันทึกข้อมูลเพื่อป้อนเข้า ANFIS

ขั้นตอนที่ 3 เข้าสู่โปรแกรม MATLAB เปิด toolbox ของ ANFIS ด้วยคำสั่ง anfisedit ในช่อง command windows ดังภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.3 การพิมพ์คำสั่ง anfisedit เพื่อเรียก toolbox ของ ANFIS

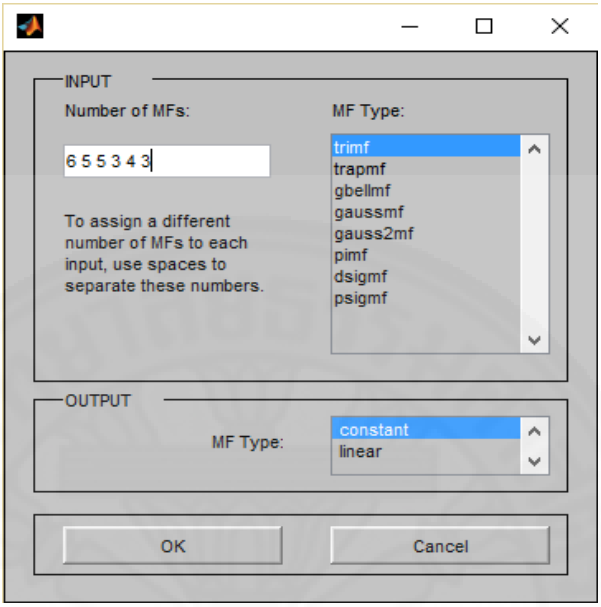
ขั้นตอนที่ 4 ทำการ load data ที่ได้บันทึกไฟล์เป็นนามสกุล .dat จากขั้นตอนที่ 2 โดยเลือกไฟล์ที่จะให้ระบบทำการเรียนรู้ และเลือกช่อง Training



ภาพที่ 3.4 ชุดข้อมูลที่ให้ระบบทำการเรียนรู้และสร้างแบบจำลอง

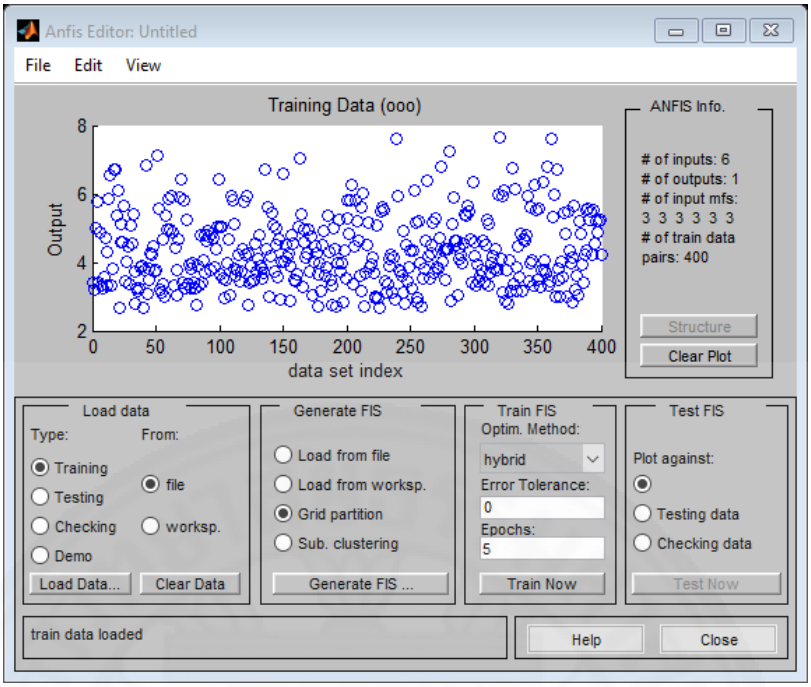
ขั้นตอนที่ 5 กำหนดรูปแบบการตีความหมายของฟัซซี โดยทำการเปิดหน้าต่าง Generate FIS ซึ่งจะมีอยู่ 2 ส่วนหลักได้แก่ อินพุตและเอาท์พุต โดยอินพุตกำหนดฟังก์ชั่นความเป็นสมาชิกเป็นแบบ

Gaussian และกำหนดฟังก์ชั่นความเป็นสมาชิกเป็นค่าตัวแปรสูงสุดที่ทำการแปลงจากค่าแบบสอบถามเป็นค่าฟัซซี และเอาท์พุตกำหนดฟังก์ชั่นความเป็นสมาชิกเป็น Constant

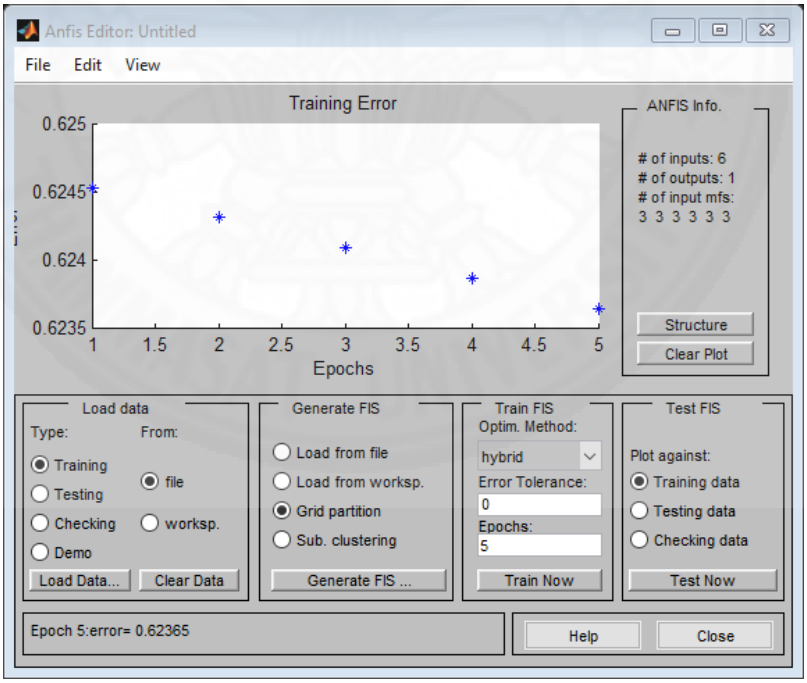


ภาพที่ 3.5 การกำหนดคุณสมบัติเครื่องตีความหมายของฟัซซี

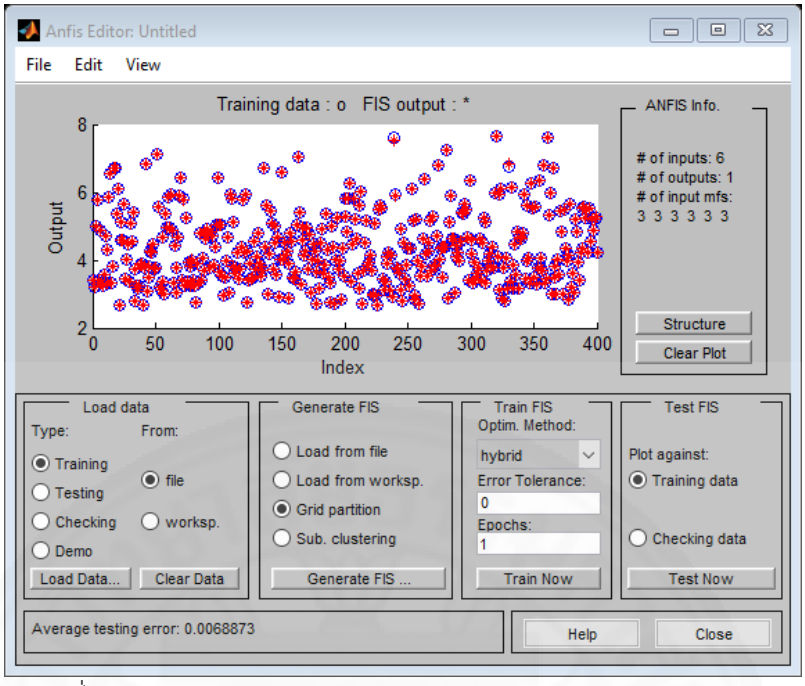
ขั้นตอนที่ 6 การกำหนดรูปแบบการเรียนรู้ของ Optimal method เลือกรูปแบบ Hybrid และกำหนดช่วงของค่าความผิดพลาดที่สามารถยอมรับได้ของการเรียนรู้ในช่องของ Error tolerance ซึ่งอยู่กับกระบวนการในการตัดสินใจของผู้วิจัย แต่ในการจำลองครั้งนี้จะว่างไว้โดยไม่ใส่ค่า และสุดท้ายการกำหนดจุด plot ของค่าความผิดพลาดที่ได้จากการเรียนรู้ข้อมูลว่าต้องการให้แสดงผลกี่จุด ดังแสดงในภาพที่ 3.6 ได้กำหนดจุดให้มีการ plot 5 จุด เนื่องจากค่าความผิดพลาดไม่ต่างไปจากเดิมมากนัก เพราะการกำหนดจุดการเรียนรู้นั้นเมื่อพบว่าค่าความผิดพลาดมีค่าคงที่ก็อาจทำการหยุดการเรียนรู้ เนื่องจากยิ่งข้อมูลมีปริมาณมากระยะเวลาที่ใช้ในการเรียนรู้จะเพิ่มขึ้นตามจำนวนของข้อมูล ดังนั้นเมื่อกำหนดค่าต่างๆที่ใช้ในการเรียนรู้ข้อมูลครบถ้วน ก็สามารถเริ่มกระบวนการเรียนรู้ข้อมูลดังกล่าวได้เลย แต่ละรอบของการเรียนรู้สามารถสังเกตแนวโน้มประสิทธิภาพการเรียนรู้ได้จาก plot error ในช่องของ Test FIS ดังแสงในภาพที่ 3.7 ซึ่งเป็นการ plot ค่าเอาท์พุตของแบบจำลองที่ได้จากการเรียนรู้ของ ANFIS สามารถดูได้จาก menu › view ซึ่งจะพบอยู่ 2 หน้าต่างได้แก่ หน้าต่างพื้นผิว (Surface) และหน้าต่างกฎ (Rule viewer) ดังภาพที่ 3.9 แสดงหน้าต่างของพื้นผิวแบบจำลองที่ได้จาก ANFIS และภาพที่ 3.10 แสดงหน้าต่างของกฎฟัซซีที่ได้จากการประมวลผลจาก ANFIS



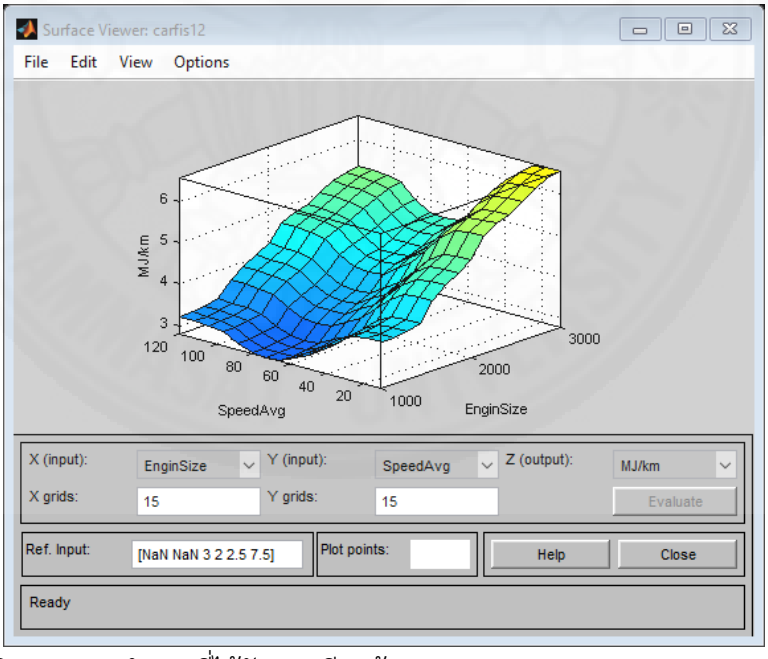
ภาพที่ 3.6 การกำหนดคุณสมบัติการเรียนรู้ของ ANFIS



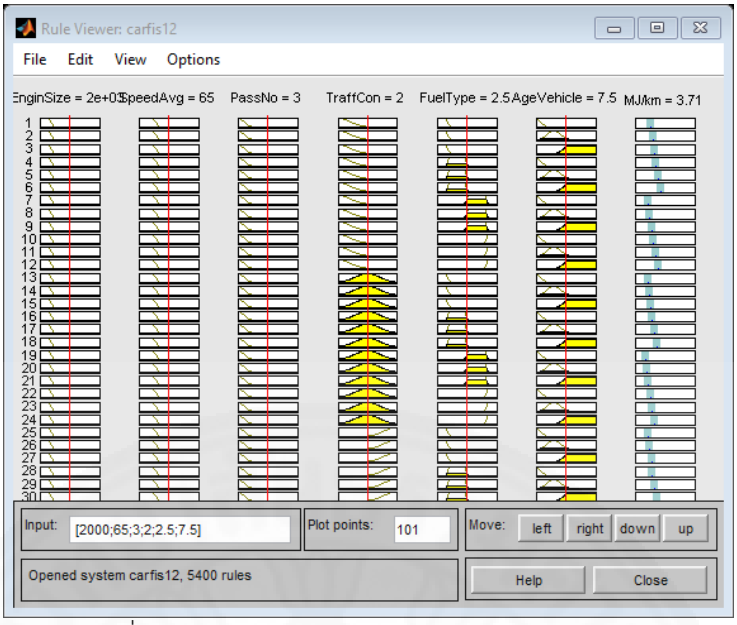
ภาพที่ 3.7 การ plot error การเรียนรู้ข้อมูลของ ANFIS



ภาพที่ 3.8 เอาท์พุตที่ได้จากแบบจำลองและเอาท์พุตจากการทดสอบ



ภาพที่ 3.9 พื้นผิวของแบบจำลองที่ได้รับการเรียนรู้จาก ANFIS

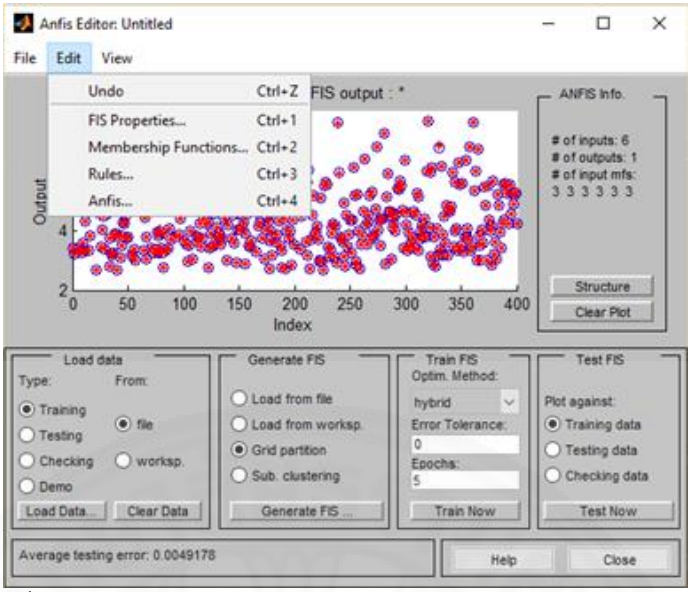


ภาพที่ 3.10 ผลลัพธ์ของกฎที่ได้รับการเรียนรู้จาก ANFIS

ขั้นตอนที่ 7 การปรับแต่งแบบจำลองเนื่องจากเอาท์พุตที่ได้จากการเรียนรู้นั้น อาจมีค่าความผิดพลาดอยู่บ้าง เพื่อให้แบบจำลองมีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้นอาจจะต้องทำการปรับแต่งฟังก์ชั่นค่าพารามิเตอร์ใน toolbox สามารถทำการปรับแต่งได้หลากหลายรูปแบบดังแสดงในภาพที่ 3.11 เช่นการปรับแต่งแก้ไขใน menu edit สามารถปรับแต่ง

- FIS properties เป็นการปรับแต่งระบบการวิเคราะห์ผลของฟัซซี
- Membership function เป็นการปรับแต่งรูปร่างและค่าพารามิเตอร์ของความเป็นสมาชิก
- Rule เป็นการปรับแต่งกฎฟัซซีที่นอกเหนือไปจากการเรียนรู้
- ANFIS เป็นการปรับข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบและการเรียนรู้

กระบวนการการปรับแต่งขึ้นอยู่กับการพิจารณาและดุลยพินิจของผู้วิจัยเพื่อให้แบบจำลองมีความสมบูรณ์มากขึ้น



ภาพที่ 3.11 ฟังก์ชั่นที่ใช้ในการปรับแต่ง ANFIS

3.1.7 วิเคราะห์ผลจากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบฟัซซี

วิเคราะห์ เปรียบเทียบผลจากแบบจำลองการใช้พลังงานของรถยนต์แต่ละประเภท และประเมินผลกระทบจากแบบจำลองการใช้พลังงานของรถยนต์แต่ละประเภทตามสถานการณ์จากการคาดการณ์ปริมาณรถยนต์ในด้านต่างๆ

- ด้านพลังงาน วิเคราะห์ ประเมินผล เมื่อสัดส่วนการใช้พลังงานของน้ำมันที่ลดลง แต่ความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของจำนวนรถยนต์ไฟฟ้า และแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของกำลังการผลิตไฟฟ้า
- ด้านเศรษฐศาสตร์ วิเคราะห์ และประเมินผลผลประหยัดจากการใช้รถยนต์ไฟฟ้าทดแทนรถยนต์นั่งส่วนบุคคลไม่เกิน 7 คน และรถยนต์บริการสาธารณะไม่เกิน 7 คนในปัจจุบัน
- ด้านสิ่งแวดล้อม วิเคราะห์ การลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของรถยนต์ไฟฟ้าและรถยนต์เชื้อเพลิงฟอสซิลในชั้นบรรยากาศ

3.1.8 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ขั้นตอนสุดท้ายเป็นการสรุปผลการวิจัยเรื่องการศึกษาผลกระทบของยานยนต์ไฟฟ้าประเภทรถยนต์ต่อการใช้พลังงานของประเทศไทย

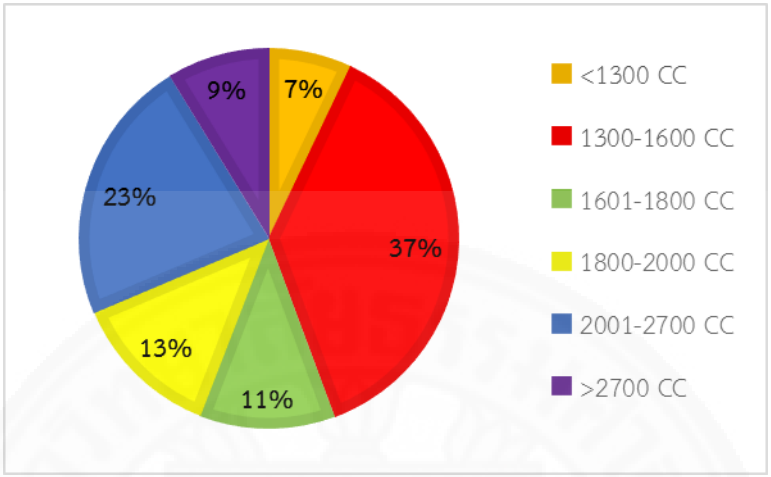
บทที่ 4
ผลการวิจัยและอภิปรายผล

4.1 ผลจากการสำรวจ

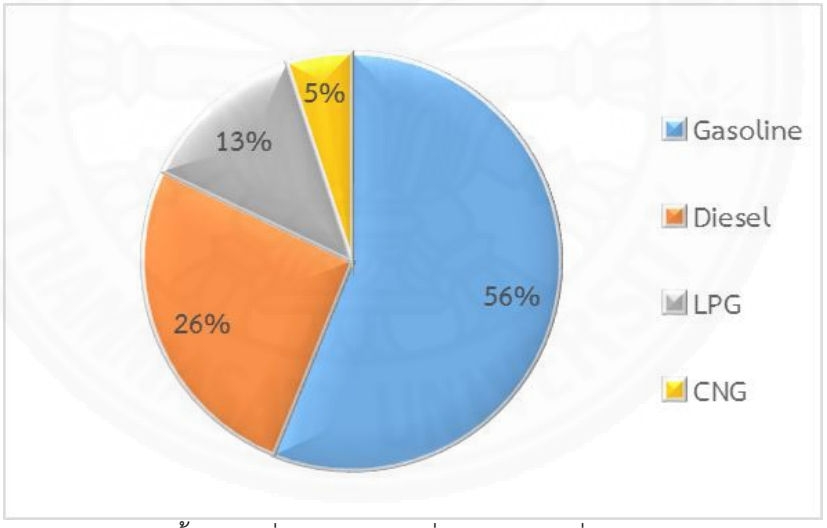
จากที่ได้ลงพื้นที่สำรวจและเก็บข้อมูลของรถยนต์นั่งส่วนบุคคล, รถยนต์บริการสาธารณะและรถยนต์ไฟฟ้าที่มีการใช้งานในเขตกรุงเทพฯและปริมณฑล จากการศึกษาขนาดของกลุ่มประชากรตัวอย่างในการเก็บข้อมูลของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลและรถยนต์บริการสาธารณะ จำเป็นต้องใช้กลุ่มตัวอย่างอย่างน้อย 400 ตัวอย่าง ทั้งนี้ผู้วิจัยได้ทำการออกกระจายแบบสอบถามในหลายรูปแบบเช่นออนไลน์ หน่วยงานราชการ รัฐวิสาหกิจ เอกชน และการสอบถามด้วยผู้วิจัย ทั้งนี้มีผู้ตอบแบบสอบถามของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลจำนวน 424 ตัวอย่างและรถยนต์บริการสาธารณะจำนวน 408 ตัวอย่าง นำแบบสอบถามทั้งหมดมาวิเคราะห์และคำนวณอัตราการใช้พลังงานเชื้อเพลิงของรถยนต์แต่ละประเภท โดยขออธิบายคุณลักษณะในเชิงวิศวกรรมและพฤติกรรมของข้อมูลที่ได้จากแบบสอบถามพอสังเขปดังต่อไปนี้

ในส่วนนี้ผู้วิจัยมุ่งเน้นศึกษารถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่มีการจดทะเบียน โดยพบว่ารถยนต์ส่วนบุคคลไม่เกิน 7 คน มีปริมาณรถยนต์สะสมในเขตกรุงเทพและปริมณฑลถึงร้อยละ 50 จากจำนวนรถยนต์ส่วนบุคคลที่มีการจดทะเบียนของทั้งประเทศ โดยรถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่ได้จากการสำรวจจาก 424 ตัวอย่างในเขตกรุงเทพและปริมณฑลส่วนใหญ่ประชากรที่สำรวจได้มีการใช้งานรถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่มีขนาดเครื่องยนต์ 1,300 – 1,600 ซีซี มีอัตราส่วนร้อยละ 37 ดังภาพที่ 4.1 ซึ่งรถยนต์ขนาดนี้ยังมีส่วนเป็นรถยนต์อีโคคาร์มีขนาดเล็กถึงปานกลางทำให้มีความคล่องตัวในการขับขี่ และมีอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไม่สูงนักจึงเหมาะสำหรับการใช้งานในเขตกรุงเทพและปริมณฑล เชื้อเพลิงที่ใช้กับรถยนต์นั่งส่วนบุคคลก็มีการใช้งานในหลากหลายรูปแบบได้แก่ น้ำมันเบนซิน น้ำมันดีเซล LPG และ NGV จากการสำรวจพบว่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลส่วนใหญ่มีการใช้งานเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันเบนซินโดยมีสัดส่วนจากการสำรวจมากถึงร้อยละ 56 ดังภาพที่ 4.2 รถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่ได้สำรวจมานั้นส่วนใหญ่มีจุดประสงการเพื่อการใช้งานทั่วไปเช่น การขับไปทำงาน หรืออื่นๆ โดยมีความถี่ในการใช้รถยนต์มากกว่า 5 วันต่อสัปดาห์โดยเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 53 โดยเฉลี่ยแล้วรถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่ได้จากการสำรวจมีระยะการใช้งานสะสมอยู่ที่ 14,000 กิโลเมตรต่อปี การขับขี่รถยนต์นั่งส่วนบุคคลนั้นส่วนใหญ่มีการใช้งานในช่วงเช้า และเย็นซึ่งเป็นช่วงเวลาที่มีการจราจรติดขัดถึงติดขัดมากส่งผลต่อการใช้พลังงานโดยตรง และการขับขี่ต่อครั้งส่วนใหญ่จะมีผู้โดยสารซึ่งรวมกับผู้ขับขี่แล้วเฉลี่ย 2 – 3 คน

ต่อครั้ง เมื่อนำข้อมูลจากการสำรวจไปคำนวณหาอัตราการใช้พลังงานพบว่าจากข้อมูลทั้งหมดรถยนต์นั่งส่วนบุคคลในเขตกรุงเทพและปริมณฑลมีการใช้พลังงานในช่วง 0.24 – 7.50 เมกะจูลต่อกิโลเมตร



ภาพที่ 4.1 สัดส่วนขนาดของเครื่องยนต์ของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่ได้จากการสำรวจ



ภาพที่ 4.2 สัดส่วนชนิดของเชื้อเพลิงที่ใช้กับรถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่ได้จากการสำรวจ

ส่วนรถยนต์บริการสาธารณะที่มีการจดทะเบียน โดยพบว่ารถยนต์บริการสาธารณะไม่เกิน 7 คนหรือ แท็กซี่ จากสถิติรายงานปริมาณรถยนต์สะสมในเขตกรุงเทพและปริมณฑลมากกว่าร้อยละ 90 จากจำนวนรถยนต์บริการสาธารณะที่มีการจดทะเบียนของทั้งประเทศ โดยรถยนต์บริการสาธารณะที่ได้จากการสำรวจจาก 408 ตัวอย่างในเขตกรุงเทพและปริมณฑลส่วนใหญ่ประชากรที่สำรวจได้มีการ เชื้อเพลิงที่ใช้กับรถยนต์บริการสาธารณะส่วนใหญ่เป็นการใช้เชื้อเพลิงประเภทน้ำมันเบนซินประกอบกับก๊าซธรรมชาติ โดยใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงหลักมากกว่าร้อยละ 71 เนื่องจาก

ตามกฎกระทรวงว่าด้วยรถยนต์รับจ้างบรรทุกคนหรือรถยนต์แท็กซี่โดยสารไม่เกินเจ็ดคนที่จดทะเบียนในเขตกรุงเทพมหานคร พ.ศ.2550 กำหนดให้เครื่องยนต์ต้องมีความจุกระบอกสูบหรือขนาดเครื่องยนต์มากกว่า 1,500 ซีซี โดยให้มีอายุการใช้งานรถยนต์ไม่เกิน 9 ปีนับตั้งแต่ครั้งแรกที่ได้รับการจดทะเบียน และให้ใช้ก๊าซธรรมชาติหรือก๊าซธรรมชาติร่วมกับน้ำมันเชื้อเพลิง โดยบังคับใช้สำหรับรถยนต์รับจ้างดังกล่าวที่จดทะเบียนในเขตกรุงเทพมหานคร ตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ 2551 เป็นต้นไป โดยมีความถี่ในการใช้รถยนต์มากกว่า 6 วันต่อสัปดาห์คิดเป็นร้อยละ 93 โดยเฉลี่ยแล้วรถยนต์รถยนต์บริการสาธารณะที่ได้จากการสำรวจมีระยะการใช้งานสะสมอยู่ที่ 93,500 กิโลเมตรต่อปี ซึ่งสูงกว่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลถึง 6 เท่า เนื่องจากวัตถุประสงค์ของการใช้งานเพื่อประกอบอาชีพ การขับขี่รถยนต์บริการสาธารณะนั้นส่วนใหญ่มีการใช้งานตลอดทั้งวัน โดยผู้ขับรถยนต์บริการสาธารณะสามารถพบเจอกับสภาพการจรจราจรทุกรูปแบบถึงทำให้มีการใช้ความเร็วส่วนใหญ่ไม่สูงมากนัก และจำนวนผู้โดยสารที่มีการใช้บริการรถยนต์บริการสาธารณะมีจำนวนที่หลากหลาย โดยเมื่อนำข้อมูลที่ได้จากการสำรวจมาคำนวณหาอัตราการใช้พลังงานของรถยนต์บริการสาธารณะที่มีการให้บริการอยู่ในเขตกรุงเทพและปริมณฑลมีการใช้พลังงานอยู่ในช่วง 1.97 – 8.09 เมกะจูลต่อกิโลเมตร

4.2 การทดสอบสมมุติฐานในการหาความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่อการใช้พลังงาน

ในการทดสอบสมมุติฐานจากตัวแปรที่ได้จากแบบสอบถามเพื่อหาความสัมพันธ์ที่ส่งผลกระทบต่อการใช้พลังงานในหน่วยของ เมกะจูลต่อกิโลเมตร จากการสำรวจรถยนต์นั่งส่วนบุคคลจำนวน 424 ตัวอย่างและรถยนต์บริการสาธารณะจำนวน 408 ตัวอย่าง ทั้งนี้ได้ทดสอบปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการใช้พลังงานในเชิงวิศวกรรมและพฤติกรรมการขับขี่ของรถยนต์แต่ละประเภท ด้วยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยหาความแปรปรวนระหว่างกลุ่มที่ใช้ทดสอบสมมติฐานในการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของประชากรตั้งแต่ 2 กลุ่มขึ้นไป ทำการทดสอบปัจจัยด้วย F-test โดยการกำหนดค่าความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 (ระดับค่านัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05) ในการตัดสินใจปฏิเสธหรือยอมรับสมมุติฐาน พิจารณาค่านัยสำคัญที่คำนวณได้มีค่าน้อยกว่าค่านัยสำคัญที่ใช้ในการทดสอบดังตารางที่ 4.1 เพื่อใช้ปัจจัยเหล่านี้เป็นอินพุตในการสร้างแบบจำลองด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบฟัซซี

ตารางที่ 4.1

ค่าการทดสอบระดับนัยสำคัญของรถยนต์แต่ละประเภท

ปัจจัยที่ทดสอบ	ค่านัยสำคัญ	
	รถยนต์นั่งส่วนบุคคล	รถยนต์บริการสาธารณะ
ขนาดเครื่องยนต์	000.0	0.000
ชนิดเชื้อเพลิง	00.00	0.000
ความเร็วเฉลี่ย	00.00	0.644*
ระยะทางเฉลี่ย	00.04	0.000
อายุรถ	00.02	0.009
จำนวนผู้โดยสาร	0.002	0.001
สภาพการจราจร	0.040	0.002

เมื่อพิจารณาตารางที่ 4.1 ค่าระดับนัยสำคัญของปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการใช้พลังงานที่มาค่าต่ำกว่า 0.05 สามารถนำปัจจัยดังกล่าวไปเป็นตัวแปรในการสร้างแบบจำลองได้อันประกอบด้วย ขนาดเครื่องยนต์ (ซีซี), ชนิดเชื้อเพลิง (น้ำมันเบนซิน, น้ำมันดีเซล, LPG และ NGV), ความเร็วเฉลี่ย (กิโลเมตรต่อชั่วโมง), ระยะทางเฉลี่ย (กิโลเมตรต่อวัน), อายุรถ (ปี), จำนวนผู้โดยสาร (คน) และสภาพการจราจร พบว่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลและรถยนต์บริการสาธารณะมีปัจจัยที่มีความคล้ายคลึงทั้งลักษณะโครงสร้างในเชิงวิศวกรรมแต่มีความแตกต่างในพฤติกรรมการใช้งานเมื่อทดสอบความแปรปรวนแล้วนั้น รถยนต์นั่งส่วนบุคคลมีปัจจัยที่มีค่าระดับนัยสำคัญต่ำกว่าที่กำหนดทั้งหมด แต่เมื่อพิจารณาในส่วนของรถยนต์บริการสาธารณะพบว่าปัจจัยในเรื่องของ ความเร็วเฉลี่ย (กิโลเมตรต่อชั่วโมง) มีค่าเกินกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่ได้กำหนดไว้ ทั้งนี้รถยนต์สาธารณะมีการให้บริการผู้โดยสารและขับขี่ตลอดทั้งวันจึงสามารถพบเจอสภาพการจราจรได้ทุกรูปแบบทำให้ความเร็วที่สามารถขับไม่ได้มีความแตกต่างกันมากนัก

4.3 การเปรียบเทียบและกำหนดปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการใช้พลังงานของรถยนต์ไฟฟ้า

จากการทดสอบปัจจัยที่ได้จากการสำรวจในเชิงสถิติที่ส่งผลกระทบต่อการใช้พลังงานของรถยนต์ฟอสซิล นำมาพิจารณาลักษณะในเชิงวิศวกรรมที่คาดว่าจะเป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อ

การใช้พลังงานของรถยนต์ไฟฟ้า และนำผลที่ได้จากการศึกษาในทางทฤษฎีมาเป็นเหตุผลประกอบ ซึ่งปัจจัยที่คาดว่าน่าจะส่งผลกระทบต่อการใช้พลังงานของรถยนต์ไฟฟ้าแสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2

ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการใช้พลังงานของรถยนต์ไฟฟ้าแต่ละประเภท

ปัจจัย	รถยนต์นั่งส่วนบุคคลไฟฟ้า	รถยนต์บริการสาธารณะไฟฟ้า
ขนาดมอเตอร์ไฟฟ้า	O	O
ชนิดเชื้อเพลิง	X	X
ความเร็วเฉลี่ย	O	X
ระยะทางเฉลี่ย	O	O
อายุรถ	X	X
จำนวนผู้โดยสาร	O	O
สภาพการจราจร	O	O

หมายเหตุ: O หมายถึง ปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงานของยานยนต์ไฟฟ้า

X หมายถึง ปัจจัยที่ไม่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงานของยานยนต์ไฟฟ้า

4.4 ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการใช้พลังงานของรถยนต์ฟอสซิล

จากปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการใช้พลังงานของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลและรถยนต์บริการสาธารณะที่ค่าระดับนัยสำคัญต่ำว่า 0.05 ดังตารางที่ 4.1 ประกอบกับผลวิเคราะห์ผลทางสถิติพบว่าโดยส่วนใหญ่รถยนต์นั่งส่วนบุคคลในเขตกรุงเทพและปริมณฑลมี การใช้งานที่ขนาดเครื่องยนต์ 1,300 – 1,600 ซีซี อยู่ร้อยละ 37.3 มีการใช้เชื้อเพลิงทั้งหมด 4 ชนิดได้แก่ น้ำมันเบนซิน น้ำมันดีเซล LPG และ NGV ทั้งนี้ส่วนใหญ่มีการใช้เชื้อเพลิงประเภทน้ำมันเบนซินอยู่ร้อยละ 56.1 โดยที่การขับขี่ส่วนใหญ่ใช้ความเร็วเฉลี่ยที่ 61 – 90 กิโลเมตรต่อชั่วโมงร้อยละ 46.5 ระยะทางการวิ่งสะสมต่อวันอยู่ที่ 31- 60 กิโลเมตรต่อวัน เมื่อคำนวณการใช้งานพบว่าระยะทางการวิ่งสะสมอยู่ที่ 14,000 กิโลเมตรต่อปี อายุของรถยนต์มีการกระจายตัวในช่วงของ 1 – 25 ปี โดยส่วนใหญ่อายุของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลจะมีอายุต่ำกว่า 5 ปี ถึงร้อยละ 50 จำนวนผู้โดยสารที่ได้จากการสำรวจส่วนใหญ่มีจำนวนผู้โดยสารอยู่ระหว่าง 1 – 2 คนต่อครั้ง และส่วนใหญ่ประชากรของกรุงเทพและปริมณฑลมีการพบเจอ

สภาพการจราจรติดขัดมาก และรถยนต์บริการสาธารณะส่วนใหญ่นิยมขนาดเครื่องยนต์ 1,600 – 1,800 ซีซี อยู่ร้อยละ 78.2 โดยที่รถยนต์บริการสาธารณะส่วนใหญ่มีการใช้งานก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงประกอบกับน้ำมันเบนซินคิดเป็นร้อยละ 71.6 ความเร็วเฉลี่ยส่วนใหญ่พบมากถึงร้อยละ 79 มีการใช้ความเร็วเฉลี่ยอยู่ที่ 60 – 90 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ส่งผลให้ความเร็วเฉลี่ยไม่ส่งผลต่อการใช้พลังงานอย่างมีนัยสำคัญ ระยะทางการวิ่งสะสมของรถยนต์เป็นปัจจัยที่ส่งผลมาก จากการสำรวจส่วนใหญ่รถยนต์นั่งส่วนบุคคลมีระยะการวิ่งสะสมอยู่ที่ 30 – 60 กิโลเมตรต่อวันหรือคิดเป็นร้อยละ 14,000กิโลเมตรต่อปี และโดยส่วนใหญ่ผู้ขับรถยนต์บริการสาธารณะมีระยะการวิ่งสะสมต่อวันอยู่ที่ 250 - 350 กิโลเมตรต่อวัน เมื่อคำนวณเป็นจำนวนปีพบว่ารถยนต์บริการสาธารณะมีระยะการวิ่งสะสมอยู่ถึง 93,500 กิโลเมตรต่อปีเลยทีเดียว ส่วนอายุของรถยนต์บริการสาธารณะมีการกระจายตัวอยู่ในช่วง 1 – 9 ปี จำนวนผู้โดยสารที่พบเจอมีจำนวนระหว่าง 1 - 2 คน ทั้งนี้จำนวนผู้โดยสารนั้นไม่รวมถึงผู้ให้บริการหรือผู้ขับขี่ และสภาพการจราจรส่วนใหญ่ที่พบก็เป็นแบบการจราจรติดขัดมากเช่นกัน จะเห็นได้ว่าผลจากการสำรวจในเชิงของวิศวกรรมและพฤติกรรมของผู้ขับขี่รถยนต์นั่งส่วนบุคคลและรถยนต์บริการสาธารณะมีความแตกต่างกันที่ระยะทางสะสมซึ่งรถยนต์บริการสาธารณะมีระยะทางการวิ่งสะสมมากกว่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลถึง 6 เท่า เนื่องจากปัจจัยมีความใกล้เคียงกันจึงนำปัจจัยเหล่านี้มารวมเป็นตัวแปรในการสร้างแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบฟัซซีของรถยนต์เชื้อเพลิงฟอสซิล เมื่อนำปัจจัยที่ได้จากการสำรวจข้างต้นมาปรับค่าให้เหมาะสมความเป็นจริงมากที่สุดและทำการคำนวณหาประสิทธิภาพการใช้พลังงานพบว่ารถยนต์เชื้อเพลิงฟอสซิลมีประสิทธิภาพการใช้พลังงานอยู่ในช่วง 2.67 – 7.67 เมกะจูลต่อกิโลเมตร โดยเฉลี่ยอยู่ที่ 4.34 เมกะจูลต่อกิโลเมตร

4.5 ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการใช้พลังงานของรถยนต์ไฟฟ้า

จากการสำรวจรถยนต์ไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ที่มีการใช้งานในประเทศไทย พบว่าในประเทศไทยมีการใช้งานอยู่ 3 ลักษณะโดยรายละเอียดดังตารางที่ 4.3 โดยจำแนกลักษณะตามขนาดกำลังสูงสุดมอเตอร์ไฟฟ้าแบ่งเป็นขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ อ้างอิงจากขนาดเครื่องยนต์ของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลและรถยนต์บริการสาธารณะ จากลักษณะเหล่านี้นำมาเป็นตัวแปรในการสร้างแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบฟัซซี โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากทฤษฎีและการสำรวจเป็นเหตุผลประกอบในการสร้างแบบจำลองนี้

ตารางที่ 4.3

ลักษณะของรถยนต์ไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ที่มีการใช้งานอยู่ในประเทศไทย

ตัวอย่างหมายเลข	**1***	**2***	**3***
ขนาดของรถยนต์ไฟฟ้า	Small (S)	Medium (M)	Large (L)
ผู้ผลิตรถยนต์ไฟฟ้า	MITSUBISHI	NISSAN	BYD
รุ่นของรถยนต์ไฟฟ้า	i-MiEV	LEAF	E6
กำลังสูงสุดมอเตอร์ไฟฟ้า	49 kW/66 hp	80 kW/107 hp	75 kW/100 hp
แรงบิดสูงสุด (Nm)	180	280	450
ชนิดของแบตเตอรี่	Li-ion	Li-ion	Li-ion
ความจุแบตเตอรี่ (kWh)	16	24	60
ความยาว (mm)	3,675	4,445	4,560
ความกว้าง (mm)	1,585	1,770	1,822
ความสูง (mm)	1,615	1,545	1,723
น้ำหนัก (kg)	1,450	1,960	2,700
ผู้โดยสาร (ที่นั่ง)	4	5	5
ค่าใช้จ่าย (บาท/กม.)	0.80	1.00	1.50
อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานเฉลี่ย (kWh/km)	0.16	0.21	0.33
ราคาขาย (ดอลล่า:US)**	23,845	29,860	35,000
ราคาขาย (บาท)***	834,575	1,045,100	1,225,000

หมายเหตุ. ข้อมูลรถยนต์ไฟฟ้า

* Research Vehicles จาก http://www.caranddriver.com สืบค้นเมื่อ 16 กรกฎาคม 2559

**ราคาขายที่ยังไม่รวมภาษีและอื่นๆ

*** ที่อัตราแลกเปลี่ยนค่าเงิน 1 USD: 35 บาท

4.6 การสร้างแบบจำลองประสิทธิภาพการใช้พลังงานด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบฟัซซี

จากการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของรถยนต์เชื้อเพลิงฟอสซิล (รถยนต์นั่งส่วนบุคคลและรถยนต์บริการสาธารณะ) ที่ได้จากการทดสอบสมมุติฐานที่ระดับค่านัยสำคัญ 0.05 มีตัวแปรที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบฟัซซี่จำนวน 6 ตัวแปรอินพุต ประกอบไปด้วย ขนาดเครื่องยนต์ (ซีซี), ชนิดเชื้อเพลิง (น้ำมันเบนซิน, น้ำมันดีเซล, LPG และ NGV), ความเร็วเฉลี่ย (กิโลเมตรต่อชั่วโมง), อายุรถ (ปี), จำนวนผู้โดยสาร (คน) และสภาพการจราจร และรถยนต์ไฟฟ้าที่ได้มีการศึกษาเปรียบเทียบกับรถยนต์เชื้อเพลิงฟอสซิล ตัวแปรที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบฟัซซี่จำนวน 4 ตัวแปรอินพุตประกอบไปด้วย ขนาดมอเตอร์ไฟฟ้า (กิโลวัตต์), ความเร็วเฉลี่ย (กิโลเมตรต่อชั่วโมง), จำนวนผู้โดยสาร (คน) และสภาพการจราจร โดยรถยนต์เชื้อเพลิงฟอสซิลมีจำนวนกฎที่เท่ากับความเป็นไปได้ทั้งหมดจากจำนวนความเป็นสมาชิกฟังก์ชั่นของอินพุต 6 อินพุต (6x4x5x3x5x3) มีจำนวนกฎเท่ากับ 5,400 กฎจากความเป็นไปได้ของข้อมูล และรถยนต์ไฟฟ้ามีจำนวนกฎที่เท่ากับความเป็นไปได้ทั้งหมดจากจำนวนความเป็นสมาชิกฟังก์ชั่นของอินพุต 4 อินพุต (3x5x4x3) มีจำนวนกฎเท่ากับ 180 กฎจากความเป็นไปได้ของข้อมูล ทำการแปลงปัจจัยข้างต้นเป็นตัวแปรเพื่อป้อนเข้าสู่แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบฟัซซี ทั้งนี้ได้ทำการทดสอบรูปแบบความเป็นสมาชิกฟังก์ชั่นโดยทดสอบใช้ทุกรูปแบบ ผลปรากฏว่ารูปแบบความเป็นสมาชิกฟังก์ชั่นแบบเกาส์เซียนให้ค่าสัมประสิทธิความผิดพลาดน้อยที่สุดจึงเลือกใช้รูปแบบฟังก์ชั่นนี้ในการสร้างแบบจำลอง และทำการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบฟัซซีดังรายละเอียดต่อไปนี้

4.6.1 การกำหนดอินพุตของรถยนต์เชื้อเพลิงฟอสซิล

ก่อนการสร้างแบบจำลองต้องมีการกำหนดอินพุตและความหมายของอินพุตที่จะใช้เป็นตัวแปรในแบบจำลองการใช้พลังงานของรถยนต์เชื้อเพลิงฟอสซิลด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม จำนวน 6 อินพุต ซึ่งสามารถอธิบายรายละเอียดได้ดังต่อไปนี้

<u>อินพุตที่ 1 ขนาดเครื่องยนต์</u> อินพุตนี้ได้พิจารณาจากขนาดของเครื่องยนต์ของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลและรถยนต์บริการสาธารณะประกอบไปด้วย 6 ความเป็นสมาชิกฟังก์ชั่นโดยพิจารณาข้อมูลที่ได้จากการสำรวจดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4

การกำหนดรหัสอ้างอิงกับขนาดของเครื่องยนต์

ขนาดของเครื่องยนต์	รหัสอ้างอิง
ต่ำกว่า 1,300 ซีซี	1
1,300 – 1,600 ซีซี	2
1,601 – 1,800 ซีซี	3
1,800 – 2,000 ซีซี	4
2,001 – 2,700 ซีซี	5
สูงกว่า 2,700 ซีซี	6

<u>อินพุตที่ 2 ชนิดเชื้อเพลิง</u> อินพุตนี้ได้พิจารณาชนิดเชื้อเพลิงของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลและรถยนต์บริการสาธารณะที่มีการใช้งานอยู่ในเขตกรุงเทพและปริมณฑลประกอบไปด้วย 4 ความเป็นสมาชิกฟังก์ชั่นโดยพิจารณาข้อมูลที่ได้จากการสำรวจดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5

การกำหนดรหัสอ้างอิงกับชนิดเชื้อเพลิง

ชนิดเชื้อเพลิง	รหัสอ้างอิง
น้ำมันเบนซิน	1
น้ำมันดีเซล	2
LPG	3
CNG	4

<u>อินพุตที่ 3 ความเร็วเฉลี่ย</u> อินพุตนี้ได้พิจารณาความเร็วเฉลี่ยจากการสำรวจของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลและรถยนต์บริการสาธารณะที่มีการใช้งานอยู่ในเขตกรุงเทพและปริมณฑลประกอบไปด้วย 5 ความเป็นสมาชิกฟังก์ชั่นโดยพิจารณาข้อมูลที่ได้จากการสำรวจดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6

การกำหนดรหัสอ้างอิงกับความเร็วเฉลี่ย

ความเร็วเฉลี่ย	รหัสอ้างอิง
ต่ำกว่า 30 กิโลเมตรต่อชั่วโมง	1
31 - 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง	2
61 - 90 กิโลเมตรต่อชั่วโมง	3
90 - 120 กิโลเมตรต่อชั่วโมง	4
สูงกว่า 120 กิโลเมตรต่อชั่วโมง	5

<u>อินพุที่ 4 อายุของรถยนต์</u> อินพุตนี้ได้พิจารณาอายุของรถยนต์จากการสำรวจของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลและรถยนต์บริการสาธารณะที่มีการใช้งานอยู่ในเขตกรุงเทพและปริมณฑลประกอบไปด้วย 3 จำนวนความเป็นสมาชิกฟังก์ชั่น โดยจัดช่วงอายุของรถยนต์กำหนดให้พิจารณาข้อมูลที่ได้จากการสำรวจดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7

การกำหนดรหัสอ้างอิงกับอายุของรถยนต์

อายุของรถยนต์	รหัสอ้างอิง	ความหมาย
1 – 3 ปี	1	รถยนต์ใหม่
4 – 6 ปี	2	รถยนต์ใหม่ปานกลาง
มากกว่า 7 ปีขึ้นไป	3	รถยนต์เก่า

<u>อินพุตที่ 5 จำนวนผู้โดยสาร</u> อินพุตนี้ได้พิจารณาจำนวนผู้โดยสารที่ได้จากการสำรวจรถยนต์นั่งส่วนบุคคลและรถยนต์บริการสาธารณะที่มีการใช้งานอยู่ในเขตกรุงเทพและปริมณฑลประกอบไปด้วย 5 ความเป็นสมาชิกฟังก์ชั่นโดยพิจารณาข้อมูลที่ได้จากการสำรวจดังตารางที่ 4.8 ทั้งนี้ในกรณีของรถยนต์บริการสาธารณะได้รวมถึงผู้ขับขี่เข้าไปด้วย

ตารางที่ 4.8

การกำหนดรหัสอ้างอิงกับจำนวนผู้โดยสาร

จำนวนผู้โดยสาร	รหัสอ้างอิง
1 คน	1
2 คน	2
3 คน	3
4 คน	4
มากกว่า 4 คน	5

<u>อินพุตที่ 6 สภาพการจราจร</u> อินพุตนี้ได้พิจารณาสภาพการจราจรจากการสำรวจของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลและรถยนต์บริการสาธารณะที่มีการใช้งานอยู่ในเขตกรุงเทพและปริมณฑลประกอบไปด้วย 3 ความเป็นสมาชิกฟังก์ชั่นโดยพิจารณาข้อมูลที่ได้จากการสำรวจดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9

การกำหนดรหัสอ้างอิงกับสภาพการจราจร

สภาพการจราจร	รหัสอ้างอิง	ความหมาย
การจราจรติดขัดมาก	1	สามารถทำความเร็วได้ 0-10 กิโลเมตรต่อชั่วโมง
การจราจรติดขัดปานกลาง	2	สามารถทำความเร็วได้ 10-20 กิโลเมตรต่อชั่วโมง
การจราจรติดขัดน้อย	3	สามารถทำความเร็วได้ 20 – 30 กิโลเมตรต่อชั่วโมง หรือสูงกว่า

เมื่อพิจารณาปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงานของรถยนต์ฟอสซิลที่ได้จากการสำรวจ ทำการกำหนดรหัสอ้างอิงพร้อมความหมายให้กับปัจจัยที่ใช้เป็นตัวแปรทั้งหมด 6 ตัวแปร ค่าความเป็นสมาชิกฟังก์ชั่นได้จากค่าสูงสุดของข้อมูลโดยครอบคลุมกับข้อมูลมากที่สุด โดยแสดงในตารางที่ 4.10 เป็นการแสดงการแจกแจงค่าความเป็นสมาชิกฟังก์ชั่นที่ได้จากการสำรวจ

ตารางที่ 4.10

การกำหนดค่าความเป็นสมาชิกฟังก์ชั่นของตัวแปร

อินพุต	อินพุตที่ 1	อินพุตที่ 2	อินพุตที่ 3	อินพุตที่ 4	อินพุตที่ 5	อินพุตที่ 6
ค่าความเป็นสมาชิกฟังก์ชั่น	6	4	5	3	5	3

4.6.2 การกำหนดอินพุตของรถยนต์ไฟฟ้า

ก่อนการสร้างแบบจำลองต้องมีการกำหนดอินพุตและความหมายของอินพุตที่จะใช้เป็นตัวแปรในแบบจำลองการใช้พลังงานของรถยนต์ไฟฟ้าด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม จำนวน 4 อินพุต ซึ่งสามารถอธิบายรายละเอียดได้ดังต่อไปนี้

<u>อินพุตที่ 1 ขนาดมอเตอร์ไฟฟ้า</u> อินพุตนี้ได้พิจารณาขนาดมอเตอร์ไฟฟ้าที่ได้จากการสำรวจประกอบกับเหตุผลในเชิงทฤษฎี อันประกอบไปด้วย 3 ความเป็นสมาชิกฟังก์ชั่นโดยพิจารณาข้อมูลที่ได้จากการสำรวจดังตารางที่ 4.11 อ้างอิงตารางที่ 4.3.พิจารณาในส่วนของขนาดของมอเตอร์ไฟฟ้า แรงบิดสูงสุด ความจุของแบตเตอรี่และโครงสร้างของรถยนต์ไฟฟ้าประกอบกัน

ตารางที่ 4.11

การกำหนดรหัสอ้างอิงกับขนาดของมอเตอร์ไฟฟ้า

ขนาดของมอเตอร์ไฟฟ้า	รหัสอ้างอิง	
ขนาดเล็ก	1	ขนาดมอเตอร์ 49 kW/66 hp, แรงบิด 180 Nm และความจุแบตเตอรี่ 16 kWh
ขนาดกลาง	2	ขนาดมอเตอร์ 80 kW/107 hp, แรงบิด 280 Nm และความจุแบตเตอรี่ 24 kWh
ขนาดใหญ่	3	ขนาดมอเตอร์ 75 kW/100 hp, แรงบิด 450 Nm และความจุแบตเตอรี่ 60 kWh

<u>อินพุตที่ 2 ความเร็วเฉลี่ย</u> อินพุตนี้ได้อ้างอิงความเร็วเฉลี่ยจากการสำรวจของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลและรถยนต์บริการสาธารณะที่มีการใช้งานอยู่ในเขตกรุงเทพและปริมณฑลประกอบไปด้วย 5 ความเป็นสมาชิกฟังก์ชั่นโดยพิจารณาข้อมูลที่ได้จากการสำรวจดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12

การกำหนดรหัสอ้างอิงกับความเร็วเฉลี่ย

ความเร็วเฉลี่ย	รหัสอ้างอิง
ต่ำกว่า 30 กิโลเมตรต่อชั่วโมง	1
31 - 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง	2
61 - 90 กิโลเมตรต่อชั่วโมง	3
90 - 120 กิโลเมตรต่อชั่วโมง	4
สูงกว่า 120 กิโลเมตรต่อชั่วโมง	5

<u>อินพุตที่ 3 จำนวนผู้โดยสาร</u> อินพุตนี้ได้อ้างอิงจำนวนผู้โดยสารที่ได้จากการสำรวจรถยนต์นั่งส่วนบุคคลและรถยนต์บริการสาธารณะที่มีการใช้งานอยู่ในเขตกรุงเทพและปริมณฑลประกอบไปด้วย 5 ความเป็นสมาชิกฟังก์ชั่นโดยพิจารณาข้อมูลที่ได้จากการสำรวจดังตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13

การกำหนดรหัสอ้างอิงกับจำนวนผู้โดยสาร

จำนวนผู้โดยสาร	รหัสอ้างอิง
1 คน	1
2 คน	2
3 คน	3
มากกว่า 4 คน	4

<u>อินพุตที่ 4 สภาพการจราจร</u> อินพุตนี้ได้อ้างอิงสภาพการจราจรจากการสำรวจรถยนต์นั่งส่วนบุคคลและรถยนต์บริการสาธารณะที่มีการใช้งานอยู่ในเขตกรุงเทพและปริมณฑลประกอบไปด้วย 3 ความเป็นสมาชิกฟังก์ชั่นโดยพิจารณาข้อมูลที่ได้จากการสำรวจดังตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14

การกำหนดรหัสอ้างอิงกับสภาพการจราจร

สภาพการจราจร	รหัสอ้างอิง	ความหมาย
การจราจรติดขัดมาก	1	สามารถทำความเร็วได้ 0-10 กิโลเมตรต่อชั่วโมง
การจราจรติดขัดปานกลาง	2	สามารถทำความเร็วได้ 10-20 กิโลเมตรต่อชั่วโมง
การจราจรติดขัดน้อย	3	สามารถทำความเร็วได้ 20 – 30 กิโลเมตรต่อชั่วโมง หรือสูงกว่า

เมื่อพิจารณาปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงานของรถยนต์ไฟฟ้าที่ได้จากการศึกษาทฤษฎีและอ้างอิงกับข้อมูลของรถยนต์เชื้อเพลิงฟอสซิล ทำการกำหนดรหัสอ้างอิงพร้อมความหมายให้กับปัจจัยที่ใช้เป็นตัวแปรทั้งหมด 4 ตัวแปร ค่าความเป็นสมาชิกฟังก์ชั่นได้จากค่าสูงสุดของข้อมูลโดยครอบคลุมกับข้อมูลมากที่สุด โดยแสดงในตารางที่ 4.15 เป็นการแสดงการแจกแจงค่าความเป็นสมาชิกฟังก์ชั่นที่ได้จากการสำรวจ

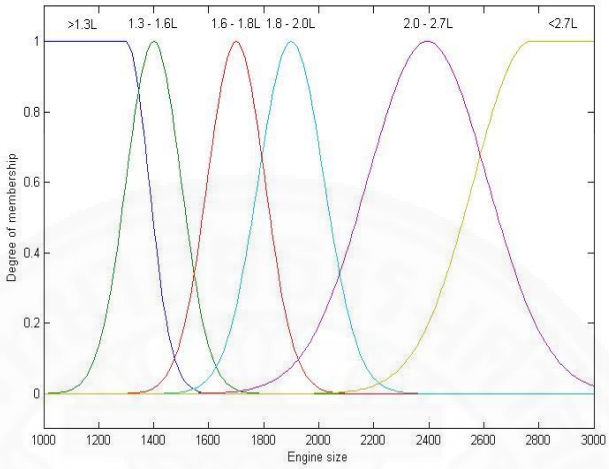
ตารางที่ 4.15

การกำหนดค่าความเป็นสมาชิกฟังก์ชั่นของตัวแปร

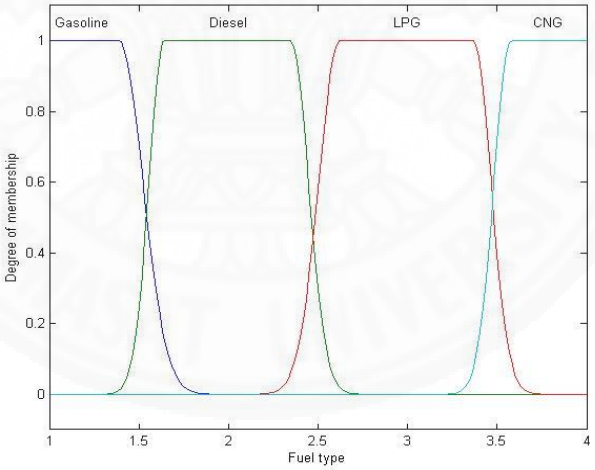
อินพุต	อินพุตที่ 1	อินพุตที่ 2	อินพุตที่ 3	อินพุตที่ 4
ค่าความเป็นสมาชิกฟังก์ชั่น	3	5	4	3

ทำการประมวลผลด้วยโครงข่ายประสาทเทียมจากตัวแปรที่ได้ทำการแปลงค่าเป็นรหัสอ้างอิง เมื่อได้แบบจำลองที่ประมวลผลเสร็จแล้วทำการตรวจสอบข้อมูลความถูกต้องและปรับแก้ไขในส่วนของรูปแบบความเป็นสมาชิกฟังก์ชั่นให้เหมาะสำหรับแบบจำลองแต่ละประเภท ทั้งนี้ได้มีการเปลี่ยนรูปแบบความเป็นสมาชิกฟังก์ชั่นโดยการเพิ่มรูปแบบสี่เหลี่ยมคางหมู ตามความเหมาะสม และทำการปรับค่าช่วงของพารามิเตอร์ในความเป็นสมาชิกฟังก์ชั่นให้เหมาะสมกับความเป็นจริงมากที่สุด โดยรูปแบบความเป็นสมาชิกฟังก์ชั่นของอินพุตที่ 1, อินพุตที่ 2, อินพุตที่ 3, อินพุตที่ 4, อินพุตที่ 5 และอินพุตที่ 6 ของแบบจำลองประสิทธิภาพการใช้พลังงานรถยนต์เชื้อเพลิงฟอสซิล

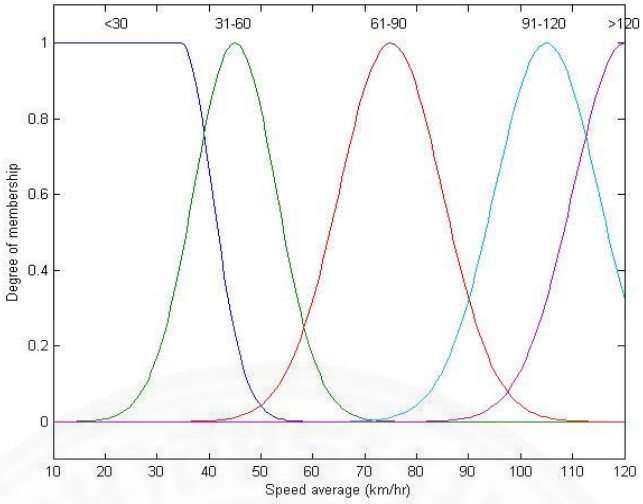
แสดงดังภาพที่ 4.3 – 4.8 และรูปแบบความเป็นสมาชิกฟังก์ชั่นของอินพุตที่ 1, อินพุตที่ 2, อินพุตที่ 3 และอินพุตที่ 4, ของแบบจำลองประสิทธิภาพการใช้พลังงานรถยนต์ไฟฟ้า แสดงดังภาพที่ 4.9 – 4.12 ตามลำดับ



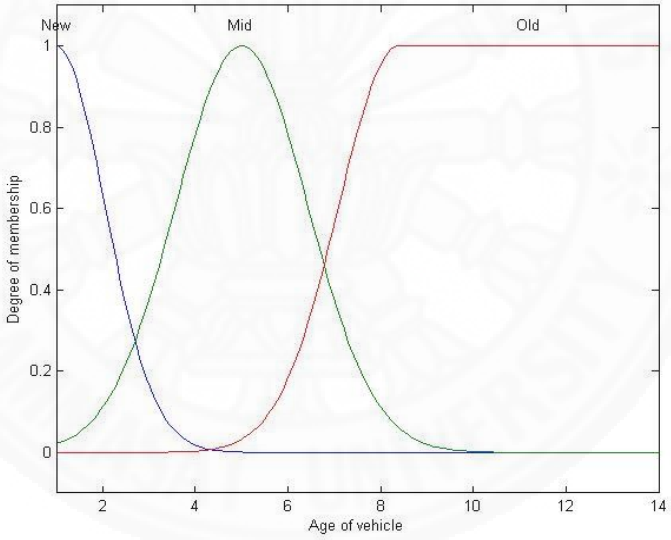
ภาพที่ 4.3 รูปแบบสมาชิกฟังก์ชั่นของอินพุตที่ 1 (ขนาดเครื่องยนต์) ของรถยนต์เชื้อเพลิงฟอสซิล



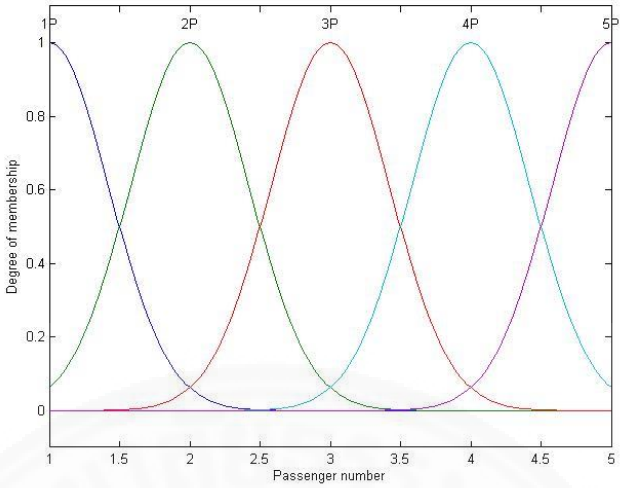
ภาพที่ 4.4 รูปแบบสมาชิกฟังก์ชั่นของอินพุตที่ 2 (ชนิดเชื้อเพลิง) ของรถยนต์เชื้อเพลิงฟอสซิล



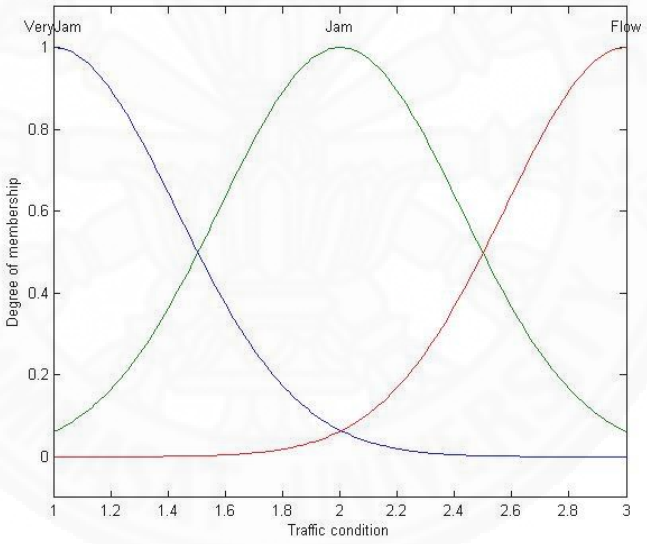
ภาพที่ 4.5 รูปแบบสมาชิกฟังก์ชั่นของอินพุตที่ 3 (ความเร็วเฉลี่ย) ของรถยนต์เชื้อเพลิงฟอสซิล



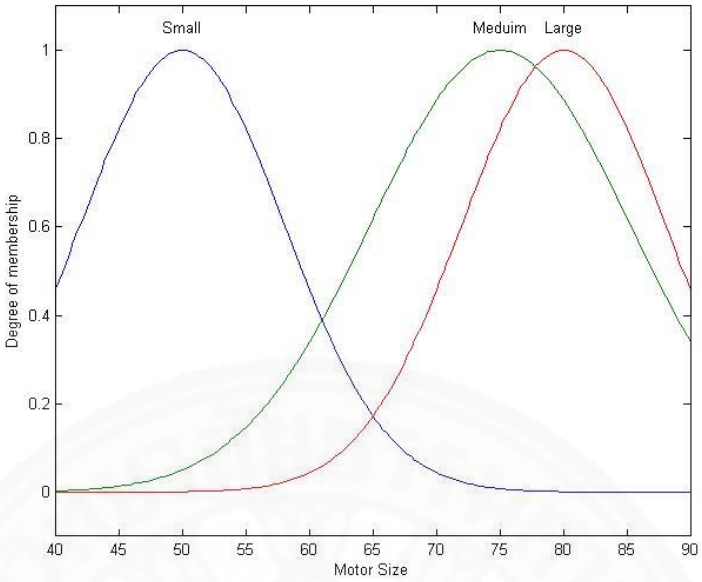
ภาพที่ 4.6 รูปแบบสมาชิกฟังก์ชั่นของอินพุตที่ 4 (อายุของรถยนต์) ของรถยนต์เชื้อเพลิงฟอสซิล



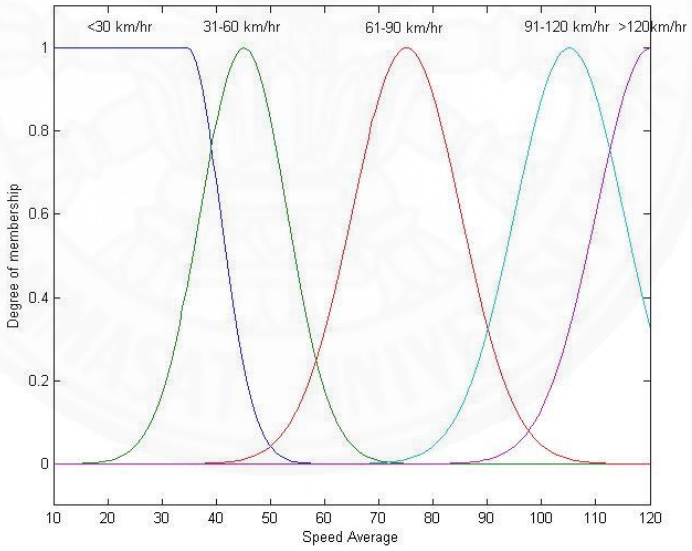
ภาพที่ 4.7 รูปแบบสมาชิกฟังก์ชั่นของอินพุตที่ 5 (จำนวนผู้โดยสาร) ของรถยนต์เชื้อเพลิงฟอสซิล



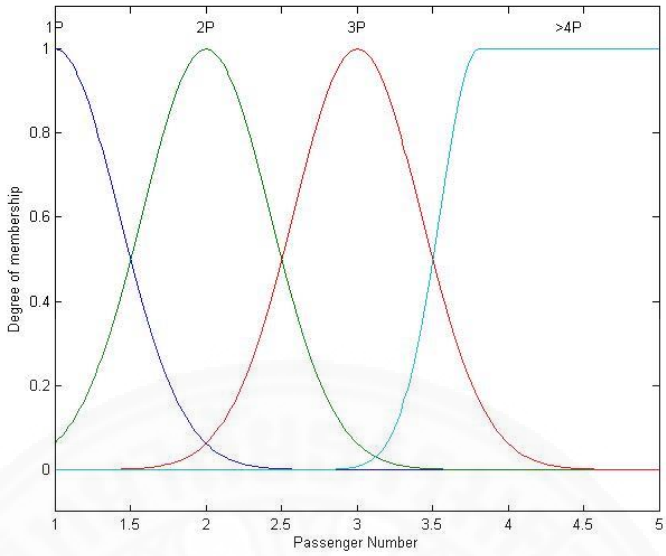
ภาพที่ 4.8 รูปแบบสมาชิกฟังก์ชั่นของอินพุตที่ 6 (สภาพการจราจร) ของรถยนต์เชื้อเพลิงฟอสซิล



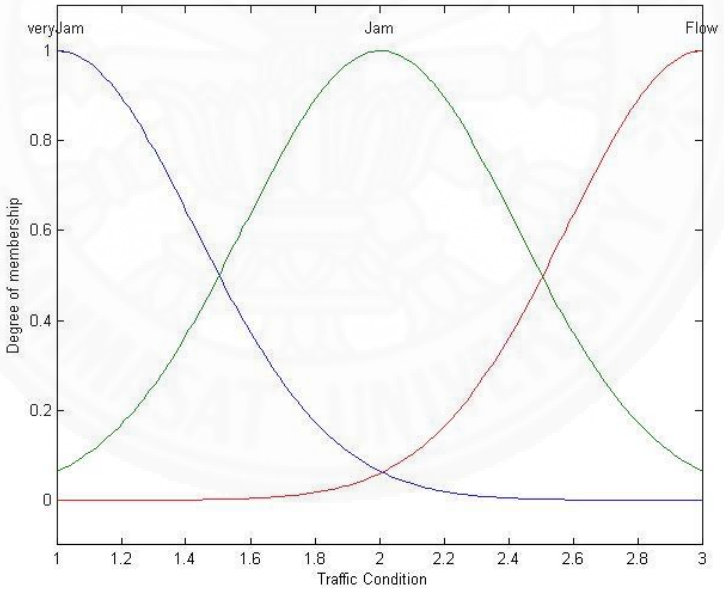
ภาพที่ 4.9 รูปแบบสมาชิกฟังก์ชั่นของอินพุตที่ 1 (ขนาดมอเตอร์ไฟฟ้า) ของรถยนต์ไฟฟ้า



ภาพที่ 4.10 รูปแบบสมาชิกฟังก์ชั่นของอินพุตที่ 2 (ความเร็วเฉลี่ย) ของรถยนต์ไฟฟ้า



ภาพที่ 4.11 รูปแบบสมาชิกฟังก์ชั่นของอินพุตที่ 3 (จำนวนผู้โดยสาร) ของรถยนต์ไฟฟ้า



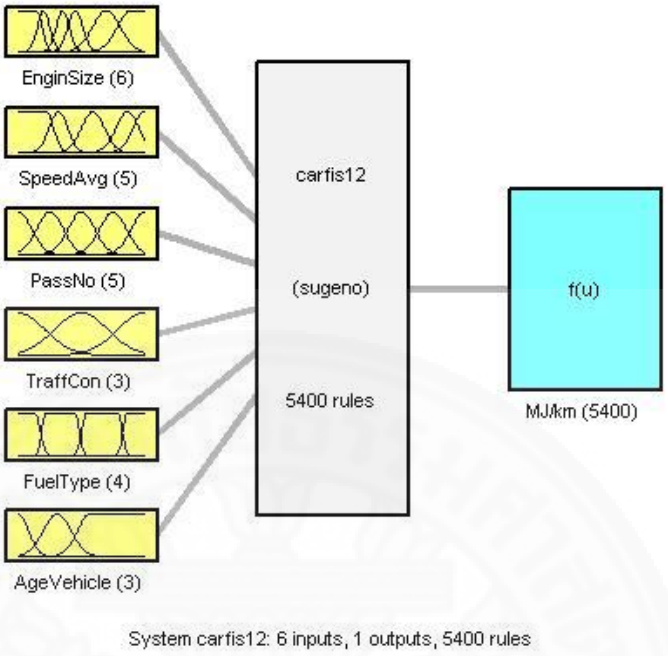
ภาพที่ 4.12 รูปแบบสมาชิกฟังก์ชั่นของอินพุตที่ 4 (สภาพการจราจร) ของรถยนต์ไฟฟ้า

4.7 ประสิทธิภาพการใช้พลังงานจากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบฟัซซี

เมื่อทำการพัฒนาและปรับแต่งแบบจำลองจนได้ผลเป็นที่น่าพอใจ โดยนำแบบจำลองการใช้พลังงานของรถยนต์ฟอสซิลที่ได้รับการพัฒนาขึ้นด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบฟัซซีมาคำนวณหาความน่าเชื่อถือของแบบจำลองด้วยวิธีการหาค่าเฉลี่ยร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percent Error: MAPE) พบว่าจากการพัฒนาแบบจำลองการใช้พลังงานของรถยนต์เชื้อเพลิงฟอสซิลด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบฟัซซีเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้ทำการสำรวจมีค่าผิดพลาดจากแบบจำลองอยู่ที่ร้อยละ 10.02 หรือคิดเป็นค่าความเชื่อมั่นจากแบบจำลองที่ร้อยละ 89.98 และเนื่องจากแบบจำลองการใช้พลังงานของรถยนต์ไฟฟ้าได้มีการเก็บข้อมูลจากการสำรวจเป็นเพียงส่วนพิจารณาประกอบทฤษฎีผู้วิจัยจึงไม่คำนวณหาค่าเฉลี่ยร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์ของแบบจำลองนี้ เมื่อได้แบบจำลองที่มีความน่าเชื่อถือจึงนำมาวิเคราะห์ผลในแต่ละแบบจำลองโดยวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของอินพุตที่ได้จากแบบจำลองของรถยนต์เชื้อเพลิงฟอสซิลและรถยนต์ไฟฟ้า อธิบายพอสังเขปดังรายละเอียดต่อไปนี้

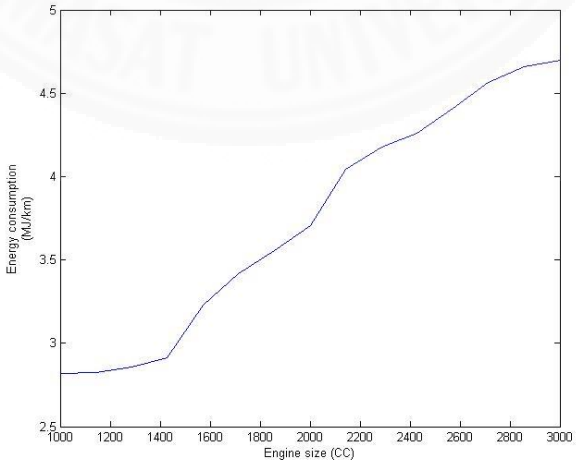
4.7.1 รถยนต์เชื้อเพลิงฟอสซิล

จากที่ได้ทำการพัฒนาแบบจำลองประสิทธิภาพการใช้พลังงานของรถยนต์เชื้อเพลิงฟอสซิลด้วยจำนวนอินพุตทั้งหมด 6 ตัวแปร ทำให้ได้กฎฟัซซีทั้งหมด 5,400 กฎจากภาพที่ 4.13 โดยเอาท์พุทของแบบจำลองที่ได้เป็นประสิทธิภาพการใช้พลังงานในหน่วยของ เมกะจูลต่อกิโลเมตร จากนั้นทำการวิเคราะห์ผลกระทบต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงานโดยวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของอินพุตของรถยนต์เชื้อเพลิงฟอสซิลได้ดังต่อไปนี้



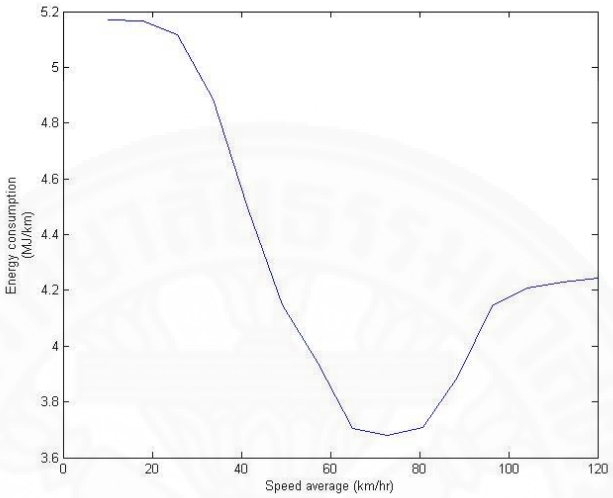
ภาพที่ 4.13 ระบบประมวลผลด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบฟัซซีของรถยนต์เชื้อเพลิงฟอสซิล โดยใช้อินพุต 6 ตัวแปรและ 5,400 กฎฟัซซี

ผลจากการพัฒนาแบบจำลองการใช้พลังงานของรถยนต์เชื้อเพลิงฟอสซิล ในส่วนนี้แสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตที่ส่งผลต่อเอาท์พุตในแต่ละปัจจัยมีความหลากหลายรูปแบบโดยแสดงผลดังนี้ต่อไปนี้



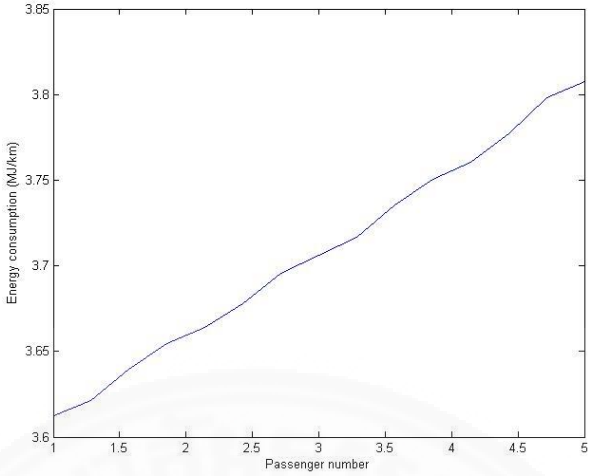
ภาพที่ 4.14 ความสัมพันธ์ของขนาดเครื่องยนต์ต่อการใช้พลังงานรถยนต์เชื้อเพลิงฟอสซิล

จากภาพที่ 4.14 แสดงให้เห็นความสัมพันธ์ของขนาดเครื่องยนต์ที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานของรถยนต์เชื้อเพลิงฟอสซิล จากภาพจะเห็นได้ว่ารถยนต์เชื้อเพลิงฟอสซิลที่มีขนาดความจุกระบอกสูบที่สูงขึ้นเรื่อยๆจะส่งผลให้อัตราการใช้พลังงานเชื้อเพลิงตามปริมาณการใช้พลังงานที่ใช้ในระบบการเผาไหม้ในกระบอกสูบเพื่อส่งกำลังการขับเคลื่อน



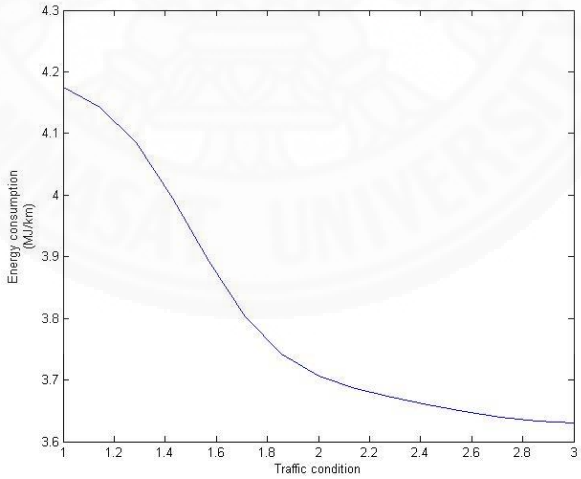
ภาพที่ 4.15 ความสัมพันธ์ของความเร็วเฉลี่ยต่อการใช้พลังงานรถยนต์เชื้อเพลิงฟอสซิล

จากภาพที่ 4.15 แสดงความสัมพันธ์ของความเร็วเฉลี่ยกับการใช้พลังงานของรถยนต์เชื้อเพลิงฟอสซิล จะพบว่าที่รถยนต์เชื้อเพลิงฟอสซิลที่ใช้ความเร็วในการขับขี่ตั้งแต่ 0 - 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เป็นช่วงของการใช้ความเร็วต่ำจะส่งผลให้มีอัตราการใช้พลังงานงานสูงสุดในช่วงความเร็วนี้ เปรียบเทียบรถยนต์ที่จอดติดเครื่องในขณะหยุดนิ่งรถยนต์เองนอกจากการใช้เชื้อเพลิงเพื่อสร้างกำลังในการขับขี่แล้วยังคงใช้เชื้อเพลิงในการหล่อเลี้ยงส่วนอื่นของรถยนต์ด้วยเช่น ระบบไฟฟ้าในรถยนต์ เป็นต้น ทั้งนี้อัตราการใช้พลังงานจะต่ำลงในระดับที่ความเร็วเฉลี่ยในช่วง 60 – 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และจะสูงขึ้นเมื่อใช้ความเร็วมากขึ้น



ภาพที่ 4.16 ความสัมพันธ์ของจำนวนผู้โดยสารต่อการใช้พลังงานรถยนต์เชื้อเพลิงฟอสซิล

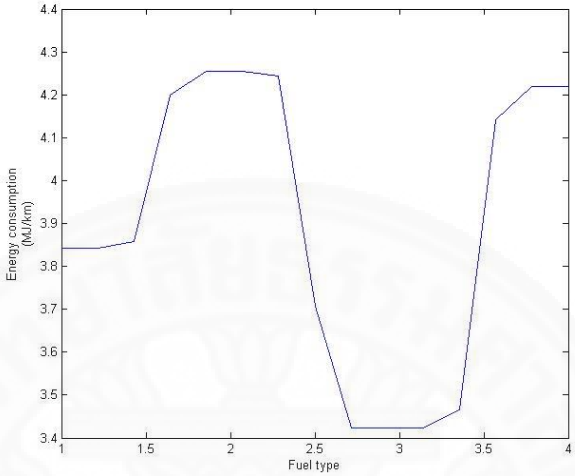
จากภาพที่ 4.16 แสดงความสัมพันธ์ของจำนวนผู้โดยสารกับการใช้พลังงานของรถยนต์เชื้อเพลิงฟอสซิล จากภาพจะพบว่าเมื่อรถยนต์มีภาระการบรรทุกน้ำหนักเพิ่มขึ้นเนื่องจากจำนวนผู้โดยสารมากขึ้นจะส่งผลให้อัตราการใช้พลังงานเพิ่มสูงขึ้น เป็นไปตามกฎของการเคลื่อนที่เมื่อรถยนต์มีภาระการบรรทุกน้ำหนักมากขึ้นทำให้เครื่องยนต์ต้องส่งกำลังเพื่อให้เคลื่อนที่สูงขึ้น เมื่อเครื่องยนต์ต้องใช้กำลังสูงขึ้นก็จำเป็นต้องใช้พลังงานเพิ่มมากขึ้นเช่นกัน



ภาพที่ 4.17 ความสัมพันธ์ของสภาพการจราจรต่อการใช้พลังงานรถยนต์เชื้อเพลิงฟอสซิล

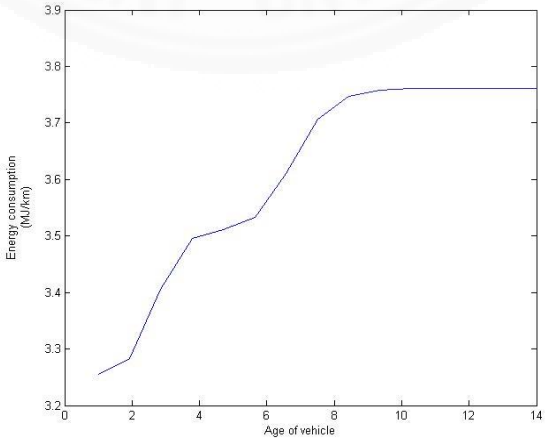
จากภาพที่ 4.17 แสดงความสัมพันธ์ของสภาพการจราจรกับการใช้พลังงานของรถยนต์เชื้อเพลิงฟอสซิล ตามการกำหนดรหัสอ้างอิงของสภาพการจราจรโดยจากภาพจะพบว่ารถยนต์ที่พบเจอกับสภาพการจราจรที่ติดขัดมากส่งผลให้มีการใช้ความเร็วต่ำเกี่ยวเนื่องกับ

ความสัมพันธ์ของความเร็วเฉลี่ยต่ออัตราการใช้พลังงานจะทำให้มีอัตราการใช้พลังงานที่สูงกว่าสภาพการจราจรแบบอื่น จากที่ได้กล่าวไปแล้วการใช้ความเร็วต่ำส่งผลให้อัตราการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นอย่างแปรผกผันต่อกัน



ภาพที่ 4.18 ความสัมพันธ์ของชนิดเชื้อเพลิงต่อการใช้พลังงานรถยนต์เชื้อเพลิงฟอสซิล

จากภาพที่ 4.18 แสดงความสัมพันธ์ของสภาพการจราจรกับการใช้พลังงานของรถยนต์เชื้อเพลิงฟอสซิล เนื่องจากรถยนต์เชื้อเพลิงฟอสซิลมีการใช้พลังงานเชื้อเพลิงในหลากหลายรูปแบบอ้างอิงจากรหัสอ้างอิงของชนิดเชื้อเพลิง โดยอัตราการใช้พลังงานของรถยนต์แต่ละประเภทขึ้นอยู่กับค่าความจุความร้อนจำเพาะในการเผาไหม้ของชนิดเชื้อเพลิง ชนิดเชื้อเพลิงที่มีค่าความจุความร้อนสูงสุดได้แก่น้ำมันดีเซล และระดับถูกลดหลั่นลงมาได้แก่ ก๊าซธรรมชาติ, น้ำมันเบนซิน และก๊าซปิโตรเลียมเหลว ตามลำดับ

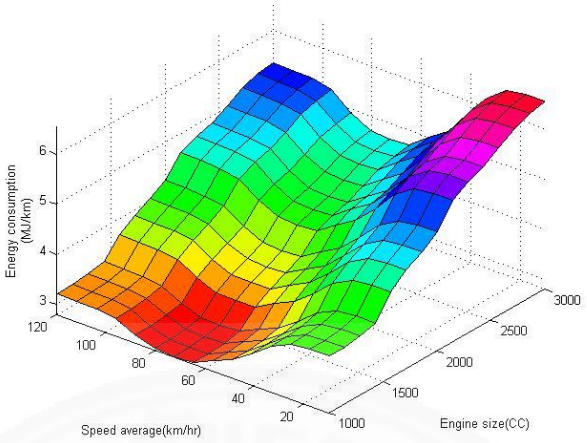


ภาพที่ 4.19 ความสัมพันธ์ของอายุรถยนต์ต่ออัตราการใช้พลังงานรถยนต์เชื้อเพลิงฟอสซิล

จากภาพที่ 4.19 แสดงความสัมพันธ์ของอายุรถยนต์ต่ออัตราการใช้พลังงานของรถยนต์เชื้อเพลิงฟอสซิล จากภาพแสดงให้เห็นว่ารถยนต์ที่ผ่านการใช้งานโดยนับอายุการใช้งานนี่มีอายุเพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลต่ออัตราการใช้พลังงานให้เพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากเมื่อรถยนต์ที่ผ่านการใช้งานมากขึ้นทำให้เครื่องยนต์มีการสึกหรอส่งผลให้ยิ่งมีอายุการใช้งานมากขึ้นก็ต้องการกำลังที่มากขึ้นทำให้มีอัตราการใช้พลังงานที่สูงขึ้นตามไปด้วยเช่นกัน

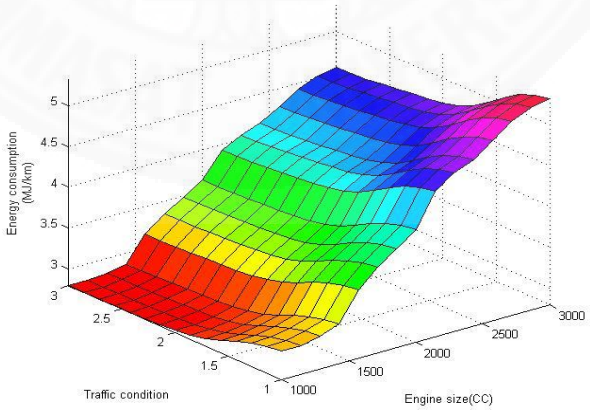
จากความสัมพันธ์ของแต่ละปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานที่ได้จากการเรียนรู้และประมวลผลด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบฟัซซี จะเห็นได้จากความสัมพันธ์ที่มีความหลากหลายรูปแบบความสัมพันธ์ มีทั้งความสัมพันธ์เป็นแบบเชิงเส้นและไม่เป็นแบบเชิงเส้น และการพิจารณาปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานของรถยนต์นี้จำเป็นต้องพิจารณาปัจจัยต่างๆดังที่กล่าวมาประกอบกัน ผู้วิจัยจึงเล็งเห็นว่าการสร้างแบบจำลองด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบฟัซซีจึงตอบสนองต่อความสมจริงของการใช้พลังงานในรถยนต์เชื้อเพลิงฟอสซิลมากที่สุด

เมื่อนำผลจากแบบจำลองมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของอินพุตจากภาพที่ 4.20 – 4.25 โดยภาพรวมพบว่า ขนาดของเครื่องยนต์ที่มีขนาดใหญ่ขึ้นก็ส่งผลให้มีการใช้พลังงานสูงขึ้นไปด้วยไม่ว่าจะให้เชื้อเพลิงชนิดใดก็ตาม แต่ชนิดเชื้อเพลิงที่มีการใช้พลังงานสูงสุดได้แก่ น้ำมันดีเซลและก๊าซธรรมชาติเนื่องจากมีค่าความร้อนของเชื้อเพลิงสูงทำให้มีการใช้พลังงานสูงตามไปด้วย จากความเร็วเฉลี่ยที่อยู่ในระดับปานกลางหรืออีกนัยหนึ่งคือมีการใช้ความเร็วระดับคงที่แล้วที่ประมาณ 60 – 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง จะส่งผลให้มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่น้อยกว่าความเร็วที่ต่ำไปหรือสูงไปกว่านี้ ในขณะที่รถยนต์ที่ใช้ความเร็วต่ำหรืออีกนัยหนึ่งคือการพบเจอสภาพการจราจรติดขัดมาก เนื่องจากเครื่องยนต์ต้องการอาศัยเชื้อเพลิงในการเผาไหม้ของเครื่องยนต์แล้วยังต้องอาศัยเชื้อเพลิงในการหล่อเลี้ยงส่วนอื่นๆเช่น ระบบไฟฟ้าและระบบปรับอากาศในรถยนต์ เป็นต้น ทั้งนี้สภาพการจราจรที่ติดขัดมากส่งผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงาน ภาระการบรรทุกน้ำหนักจากจำนวนผู้โดยสารเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่สำคัญ เนื่องจากภาระการบรรทุกมากเท่าไหร่จะทำให้มีการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นมากเท่านั้น และสุดท้ายอายุของรถยนต์ก็มีส่วนต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงานรถยนต์ที่มีอายุการใช้งานสูงทำให้อัตราการเผาไหม้เสื่อมไปตามกาลเวลาจำเป็นต้องใช้พลังงานในการเผาไหม้สูงขึ้นเช่นกัน



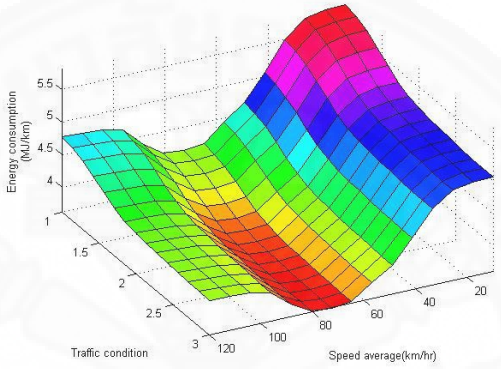
ภาพที่ 4.20 ความสัมพันธ์ของอินพุตขนาดของเครื่องยนต์กับความเร็วเฉลี่ยของแบบจำลองประสิทธิภาพการใช้พลังงานของรถยนต์เชื้อเพลิงฟอสซิลด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบฟัซซี

จากภาพที่ 4.20 แสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรของขนาดเครื่องยนต์กับความเร็วเฉลี่ยของรถยนต์เชื้อเพลิงฟอสซิล โดยจากภาพความสัมพันธ์จะเห็นได้ว่า เครื่องยนต์ที่มีขนาดสูงขึ้นจะส่งผลให้มีการใช้พลังงานมากขึ้น และความเร็วที่ใช้มีความเร็วตั้งแต่ 0 – 40 กิโลเมตรต่อชั่วโมงจะมีการใช้พลังงานสูงกว่าช่วงอื่นๆอีกนัยหนึ่งของความเร็วต่ำคือการพบเจอกับสภาพการจราจรจรที่ติดขัดและที่ความเร็วเฉลี่ยที่ 60 – 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งเป็นความเร็วที่มีการขับขี่มาถึงระดับหนึ่งจนเป็นความเร็วคงที่ที่ใช้ในการขับขี่ทำให้มีการใช้พลังงานน้อยลง พิจารณาจากภาพจะพบว่าจุดที่มีการใช้พลังงานสูงสุดที่ขนาดเครื่องยนต์ที่ 3,000 ซีซี และมีความเร็วเป็นศูนย์หรือหยุดนิ่งนั่นเอง



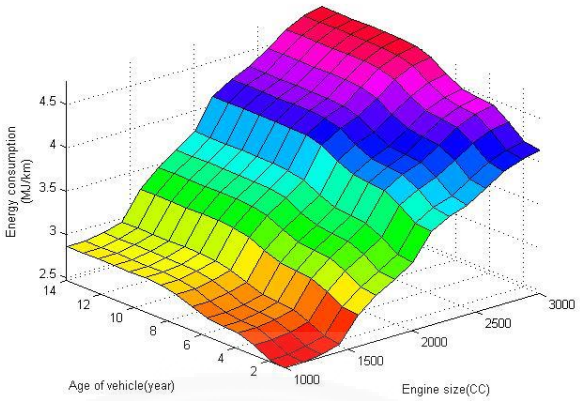
ภาพที่ 4.21 ความสัมพันธ์ของอินพุตขนาดของเครื่องยนต์กับสภาพการจราจรของแบบจำลองประสิทธิภาพการใช้พลังงานของรถยนต์เชื้อเพลิงฟอสซิลด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบฟัซซี

จากภาพที่ 4.21 แสดงความสัมพันธ์ของขนาดเครื่องยนต์กับสภาพการจราจรของรถยนต์เชื้อแพลิงฟอสซิล พิจารณาความสัมพันธ์ต่อจากภาพที่ 4.14 จะเห็นได้ว่าที่ความเร็วต่ำหรืออีกนัยหนึ่งคือการพบเจอสภาพการจราจรที่ติดขัด จากภาพในส่วนของสภาพการจราจรตามตารางการกำหนดรหัสอ้างอิงที่ 4.9 เมื่อหมายเลข 1 คือสภาพการจราจรติดขัดมาก, หมายเลข 2 คือสภาพการจราจรติดขัดปานกลาง และ หมายเลข 3 คือสภาพการจราจรติดขัด จะเห็นว่าที่สภาพการจราจรติดขัดมากมีการใช้พลังงานสูงสุดประกอบกับขนาดเครื่องยนต์ขนาดใหญ่จึงมีการใช้พลังงานที่สูงตามไปด้วย สอดคล้องกับความสัมพันธ์ก่อน



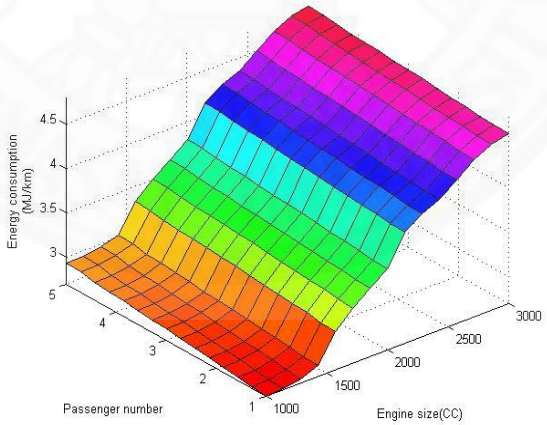
ภาพที่ 4.22 ความสัมพันธ์ของอินพุตความเร็วเฉลี่ยกับสภาพการจราจรของแบบจำลองประสิทธิภาพการใช้พลังงานของรถยนต์เชื้อเพลิงฟอสซิลด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบฟัซซี

จากภาพที่ 4.22 แสดงความสัมพันธ์ของความเร็วเฉลี่ยกับสภาพการจราจรของรถยนต์เชื้อเพลิงฟอสซิล ก็มีความสอดคล้องกันโดยที่รถยนต์ที่มีการใช้ความเร็วต่ำที่ 0 - 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมงและมีการพบเจอสภาพการจราจรติดขัดมากทำให้มีการใช้พลังงานที่สูงตามกันไปด้วย ถึงความเร็วจะอยู่ในช่วงของ 60 – 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง แต่อยู่ในเขตของสภาพการจราจรติดขัดมากก็ทำให้มีการใช้พลังงานที่สูงกว่าสภาพการจราจรรูปแบบอื่นทั้งที่ใช้ระดับความเร็วที่เท่ากัน



ภาพที่ 4.23 ความสัมพันธ์ของอินพุตขนาดของเครื่องยนต์กับอายุของรถยนต์ของแบบจำลองประสิทธิภาพการใช้พลังงานของรถยนต์เชื้อเพลิงฟอสซิลด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบฟัซซี

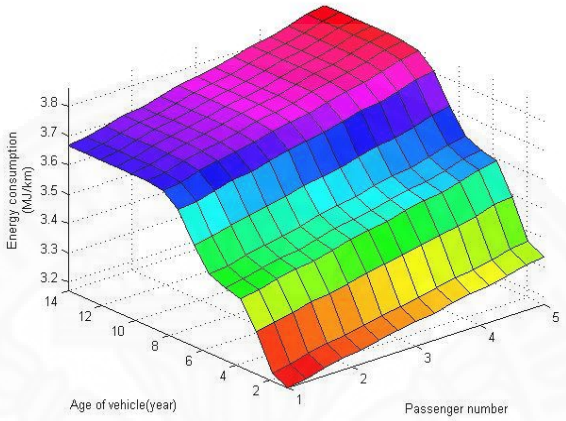
ภาพที่ 4.23 แสดงความสัมพันธ์ของขนาดเครื่องยนต์กับอายุของรถยนต์เชื้อเพลิงฟอสซิล จากที่ได้กล่าวมาในข้างต้นรถยนต์ที่มีการใช้งานที่ขนาดเครื่องยนต์ที่ใหญ่ขึ้นส่งผลให้มีการใช้พลังงานสูงตามขนาดของเครื่องยนต์เมื่อพิจารณาประกอบกับอายุของรถยนต์ เมื่อรถยนต์มีอายุการใช้งานที่สูงขึ้นทำให้มีการเสื่อมของเครื่องยนต์ส่งผลให้มีอัตราการใช้พลังงานที่สูงขึ้นตามไปด้วย ทั้งนี้จะเห็นได้จากภาพ เมื่อรถยนต์ที่มีอายุตั้งแต่8ปีขึ้นไปจะมีระดับการใช้พลังงานที่สูงสังเกตจากสีของพื้นผิวและที่ขนาดเครื่องยนต์ 2,500 ซีซี ขึ้นไปยิ่งมีการใช้พลังงานสูงที่สุดขึ้น



ภาพที่ 4.24 ความสัมพันธ์ของอินพุตขนาดของเครื่องยนต์กับจำนวนผู้โดยสารของแบบจำลองประสิทธิภาพการใช้พลังงานของรถยนต์เชื้อเพลิงฟอสซิลด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบฟัซซี

จากภาพที่ 4.24 แสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรขนาดของเครื่องยนต์กับจำนวนผู้โดยสารของรถยนต์เชื้อเพลิงฟอสซิล จะเห็นได้ว่าขนาดของเครื่องยนต์เมื่อมีขนาดที่สูงขึ้นส่งผลให้มี

การใช้พลังงานที่สูงขึ้นตามไปด้วยตามที่กล่าวไว้ในข้างต้น จำนวนผู้โดยสารของรถยนต์ถือเป็นอีกตัวแปรที่สำคัญเนื่องจากการที่รถยนต์มีผู้โดยสารเพิ่มขึ้นส่งผลให้ภาระการทำงานของเครื่องยนต์สูงขึ้นด้วยเช่นกัน เมื่อเครื่องยนต์มีการทำงานที่สูงขึ้นส่งผลให้มีการใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้นตามไปด้วย โดยจะเห็นได้ว่าพื้นผิวจากภาพมีการเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของขนาดเครื่องยนต์และจำนวนผู้โดยสารนั่นเอง

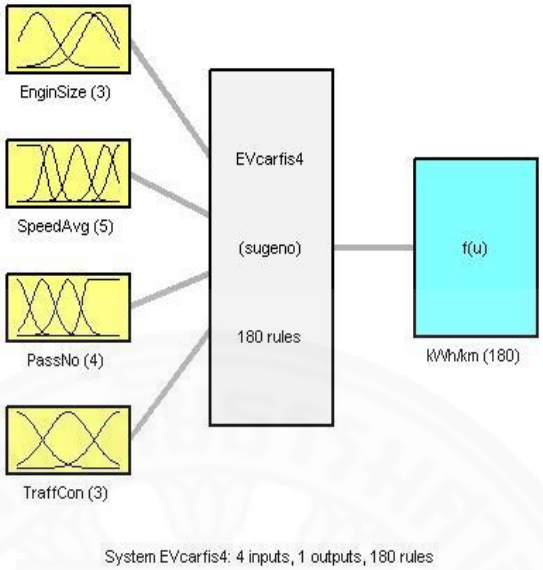


ภาพที่ 4.25 ความสัมพันธ์ของอินพุตจำนวนผู้โดยสารกับอายุของรถยนต์ของแบบจำลองประสิทธิภาพการใช้พลังงานของรถยนต์เชื้อเพลิงฟอสซิลด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบฟัซซี

ภาพที่ 4.25 แสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรจำนวนผู้โดยสารกับอายุของรถยนต์เชื้อเพลิงฟอสซิล จากอายุการใช้งานที่เพิ่มสูงขึ้นส่งผลให้มีการใช้พลังงานสูงขึ้นตามไปด้วยเนื่องจากประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ที่ถดถอยทำให้มีความต้องการใช้เชื้อเพลิงในการสร้างกำลังงานส่งผลให้มีการใช้พลังงานสูง ประกอบกับภาระการบรรทุกของรถยนต์ที่เพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากจำนวนผู้โดยสารที่เพิ่มขึ้น จากภาพจะเห็นได้ว่าจุดที่มีการใช้พลังงานสูงสุดอยู่ในช่วงอายุของรถยนต์ตั้งแต่ 8 ปีขึ้นไปและที่จำนวนผู้โดยสารจำนวน 5 คนต่อคัน

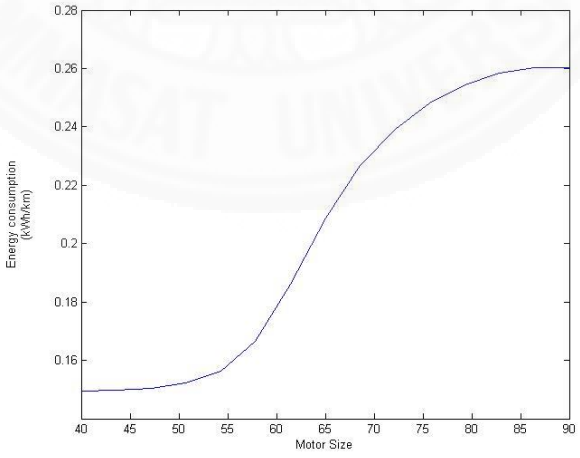
4.7.1 รถยนต์เชื้อเพลิงไฟฟ้า

จากที่ได้ทำการพัฒนาแบบจำลองประสิทธิภาพการใช้พลังงานของรถยนต์ไฟฟ้าจำนวนอินพุตทั้งหมด 4 ตัวแปร ทำให้ได้กฎฟัซซีทั้งหมด 180 กฎจากภาพที่ 4.20 โดยเอาท์พุตของแบบจำลองที่ได้เป็นประสิทธิภาพการใช้พลังงานในหน่วยของ กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อกิโลเมตร จากนั้นทำการวิเคราะห์ผลกระทบต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงานโดยวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของอินพุตของรถยนต์ไฟฟ้าได้ดังต่อไปนี้



ภาพที่ 4.26 ระบบประมวลผลด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบฟัซซีของรถยนต์ไฟฟ้าโดยใช้อินพุต 4 ตัวแปรและ 180 กฎฟัซซี

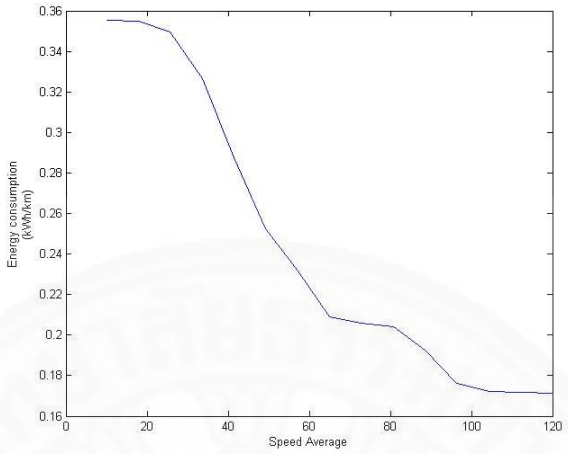
ผลจากการเรียนรู้และประมวลผลด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบฟัซซี เมื่อทำการศึกษาแต่ละปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการใช้พลังงานของรถยนต์ไฟฟ้า ทั้งนี้อินพุตที่ป้อนเพื่อให้โครงข่ายประสาทเทียมแบบฟัซซีทำการเรียนรู้เกิดจากผลการเก็บข้อมูลการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าที่มีการใช้งานอยู่ในประเทศไทยประกอบกับการศึกษาจากทฤษฎีสามารถวิเคราะห์ได้ดังต่อไปนี้



ภาพที่ 4.27 ความสัมพันธ์ของขนาดมอเตอร์ไฟฟ้าต่อการใช้พลังงานรถยนต์ไฟฟ้า

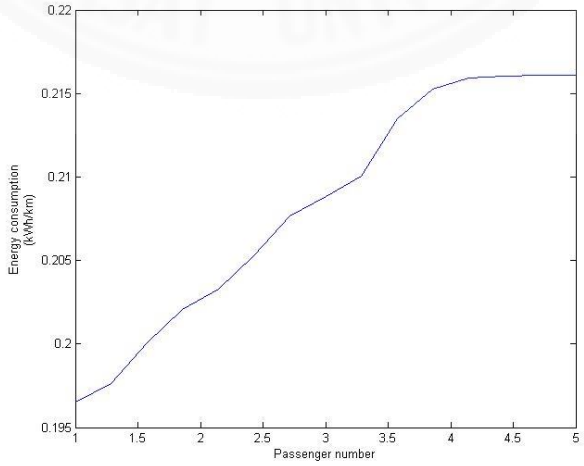
จากภาพที่ 4.27 แสดงความสัมพันธ์ของขนาดมอเตอร์ไฟฟ้าที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานของรถยนต์ไฟฟ้า จากภาพจะพบว่าเมื่อขนาดมอเตอร์ไฟฟ้าที่เป็นสิ่งที่สร้างแรงในการ

ขับเคลื่อนรถยนต์ไฟฟ้ายิ่งมีขนาดสูงขึ้นส่งผลให้มีการใช้พลังงานสูงขึ้นตามไปด้วย คล้ายกับขนาดของเครื่องยนต์ในรถยนต์เชื้อเพลิงฟอสซิล



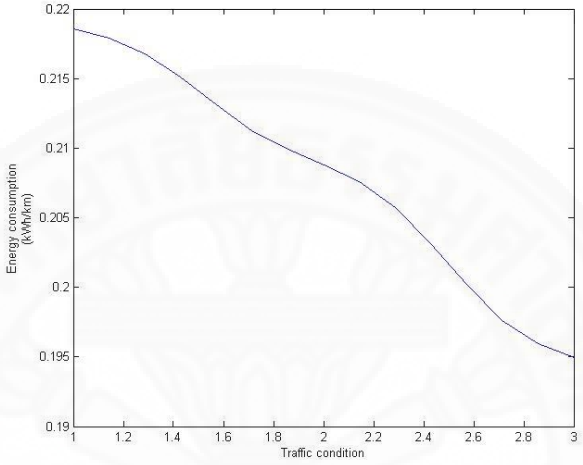
ภาพที่ 4.28 ความสัมพันธ์ของความเร็วเฉลี่ยต่อการใช้พลังงานรถยนต์ไฟฟ้า

จากภาพที่ 4.28 แสดงความสัมพันธ์ของความเร็วเฉลี่ยที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานของรถยนต์ไฟฟ้า จากความสัมพันธ์จะพบว่าที่ความเร็วเฉลี่ยต่ำจะมีปริมาณการใช้พลังงานที่สูงกว่าขนาดความเร็วเฉลี่ยอื่นๆ เนื่องด้วยรถยนต์ไฟฟ้าใช้ไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ในการขับเคลื่อนและที่ความเร็วเฉลี่ยต่ำเปรียบเสมือนการติดเครื่องรถยนต์ในสภาพหยุดนิ่ง จากการใช้พลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่เพื่อติดเครื่องยนต์แล้ว ภายในรถยนต์ยังใช้ไฟฟ้าไปกับระบบอื่นๆด้วยเช่น ระบบทำความเย็นในรถยนต์เป็นต้น จึงทำให้ในสภาพความเร็วต่ำส่งผลให้มีการใช้พลังงานที่สูงกว่าและลดหลั่นลงมาตามขนาดความเร็วที่ขับขี่ได้



ภาพที่ 4.29 ความสัมพันธ์ของจำนวนผู้โดยสารต่อการใช้พลังงานรถยนต์ไฟฟ้า

จากภาพที่ 4.29 แสดงความสัมพันธ์ของจำนวนผู้โดยสารต่อการใช้พลังงานของรถยนต์ไฟฟ้า ความสัมพันธ์ของปัจจัยนี้ของรถยนต์ไฟฟ้าด้วยเหตุผลเดียวกับรถยนต์เชื้อเพลิงฟอสซิล ด้วยภาระที่เพิ่มขึ้นส่งผลทำให้มอเตอร์ไฟฟ้าทำงานหนักขึ้นเพื่อส่งกำลังให้ระบบขับเคลื่อน เคลื่อนที่ได้ตามกฎการเคลื่อนที่โดยเมื่อมีภาระการบรรทุกมากขึ้นการใช้แรงเพื่อส่งกำลังก็เพิ่มขึ้นไปด้วยส่งผลให้ต้องใช้พลังงานเพิ่มสูงขึ้น



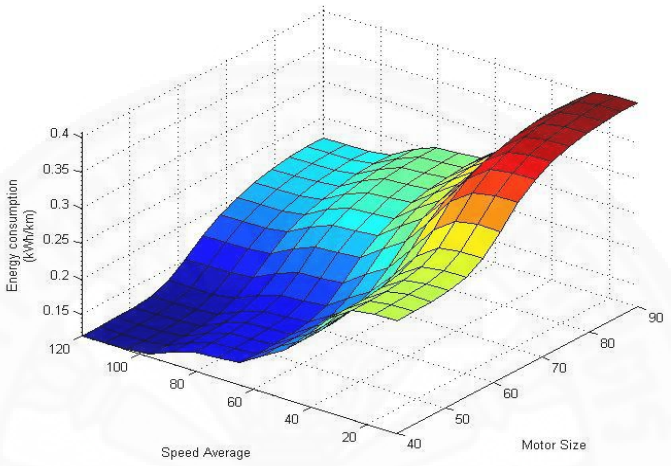
ภาพที่ 4.30 ความสัมพันธ์ของสภาพการจราจรต่อการใช้พลังงานรถยนต์ไฟฟ้า

จากภาพที่ 4.30 แสดงความสัมพันธ์ของสภาพการจราจรต่อการใช้พลังงานของรถยนต์ไฟฟ้า เกี่ยวเนื่องจากความเร็วเฉลี่ยที่ใช้ในการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า ยิ่งรถยนต์ที่ใช้ความเร็วต่ำเปรียบเสมือนอีกนัยหนึ่งคือการพบเจอกับสภาพการจราจรที่ติดขัดมากก็ส่งผลให้มีการใช้พลังงานเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย

ทั้งนี้จากความสัมพันธ์ของแต่ละปัจจัยของรถยนต์ไฟฟ้าที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานจะพบว่ามีการเพิ่มขึ้นและลดลงอย่างต่อเนื่อง ผู้วิจัยจึงเล็งเห็นว่าการสร้างแบบจำลองด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบฟัซซีจึงตอบสนองต่อความเป็นจริงและสามารถเปรียบเทียบการใช้งานกับแบบจำลองการใช้พลังงานด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบฟัซซีของรถยนต์เชื้อเพลิงฟอสซิลได้อีกด้วย

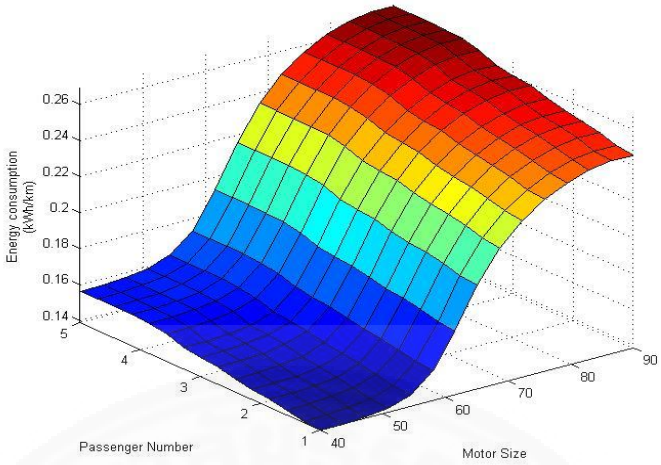
เมื่อนำผลจากแบบจำลองมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของอินพุตจากภาพที่ 4.30 – 4.35 โดยภาพรวมพบว่า ที่ขนาดเครื่องมอเตอร์ยิ่งมีขนาดใหญ่ส่งผลให้อัตราการใช้พลังงานสูงขึ้น รถยนต์ที่มีขนาดมอเตอร์ไฟฟ้าที่มีขนาดใหญ่ขึ้นประกอบกับความเร็วต่ำอีกนัยหนึ่งคือการพบเจอสภาพการจราจรติดขัดจะส่งผลต่ออัตราการใช้ไฟฟ้าสูงกว่าความสัมพันธ์อื่นๆ ปัจจัยรองลงมาเป็นจำนวนผู้โดยสาร เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่สำคัญเนื่องจากภาระบรรทุกน้ำหนักของแบตเตอรี่มีน้ำหนักมาก

พอสมควรอยู่แล้วประกอบกับมีผู้โดยสารร่วมด้วยขณะวิ่งส่งผลให้มีผลต่ออัตราการใช้พลังงานเชื้อเพลิงอย่างมีนัยสำคัญ สภาพการจราจรและจำนวนผู้โดยสาร สภาพการจราจรติดขัดมากส่งผลต่ออัตราการใช้พลังงานโดยตรงอยู่แล้วเนื่องจากเครื่องยนต์จำเป็นต้องใช้ไฟฟ้าในการขับเคลื่อนในส่วนอื่นเช่น ระบบทำความเย็น ระบบไฟฟ้าในรถยนต์เป็นต้น สภาพการจราจรติดขัดหรืออีกนัยหนึ่งคือการจอดรถยนต์อยู่กับที่ก็เป็นการใช้พลังงานไฟฟ้าเช่นกัน



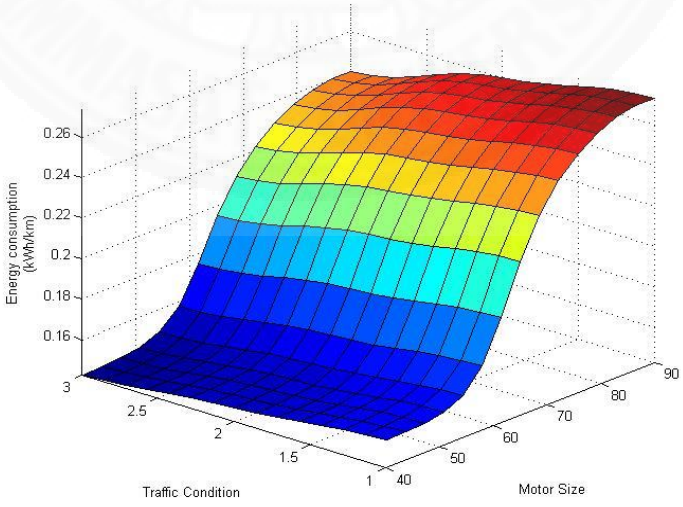
ภาพที่ 4.31 ความสัมพันธ์ของอินพุตขนาดของมอเตอร์ไฟฟ้ากับความเร็วเฉลี่ยของแบบจำลองประสิทธิภาพการใช้พลังงานของรถยนต์ไฟฟ้าด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบฟัซซี

จากภาพที่ 4.31 แสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรขนาดของมอเตอร์ไฟฟ้ากับความเร็วเฉลี่ยของรถยนต์ไฟฟ้า จากภาพจะเห็นได้ว่าเมื่อขนาดมอเตอร์ไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้ามีขนาดใหญ่ส่งผลให้มีการใช้พลังงานมากขึ้น เมื่อพิจารณาพร้อมกับความเร็วเฉลี่ยที่รถยนต์ไฟฟ้าวิ่งได้ที่ความเร็วต่ำ จะมีการใช้พลังงานสูงเนื่องจากพลังงานไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้านี้มิใช่แค่ใช้ขับเคลื่อนเครื่องยนต์เพียงเท่านั้นแต่หากยังใช้ไปกับส่วนอื่นๆด้วย เช่น ระบบไฟฟ้าในรถยนต์ ระบบทำความเย็นเป็นต้น ดังนั้นรถยนต์ไฟฟ้าที่มีกำลังไฟฟ้าสูงประกอบกับการขับขี่ในความเร็วต่ำจะส่งผลให้มีการใช้พลังงานสูง



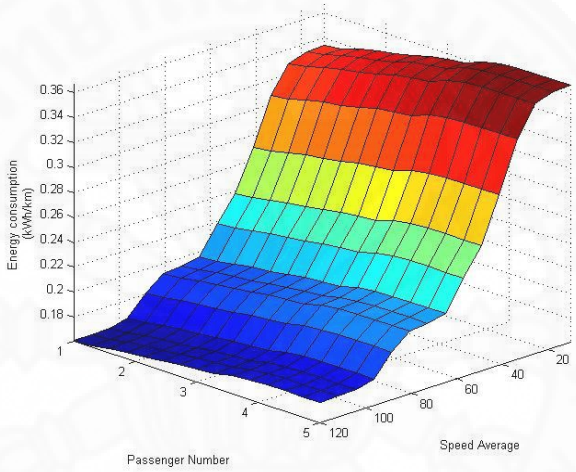
ภาพที่ 4.32 ความสัมพันธ์ของอินพุตขนาดของมอเตอร์ไฟฟ้ากับจำนวนผู้โดยสารของแบบจำลองประสิทธิภาพการใช้พลังงานของรถยนต์ไฟฟ้าด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบฟัซซี

จากภาพที่ 4.32 แสดงความสัมพันธ์ของขนาดมอเตอร์ไฟฟ้ากับจำนวนผู้โดยสารของรถยนต์ไฟฟ้า จากกำลังขนาดมอเตอร์ที่สูงขึ้นส่งผลให้ขนาดของโครงสร้างรถยนต์ไฟฟ้ามีความใหญ่ขึ้นตามไปด้วยนั่นเป็นสาเหตุให้มีการใช้พลังงานสูงขึ้นตามภาพ เมื่อพิจารณาร่วมกับจำนวนผู้โดยสารทำให้การใช้พลังงานเพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากการเพิ่มภาระน้ำหนักของรถยนต์ทำให้ต้องใช้กำลังในการขับขี่มากกว่าเดิม ดังนั้นเมื่อขนาดของมอเตอร์ไฟฟ้าใหญ่ขึ้นประกอบกับมีผู้โดยสารที่เป็นตัวเพิ่มภาระน้ำหนักในการขับขี่ความสัมพันธ์ของตัวแปรเหล่านี้ทำให้มีการใช้พลังงานสูงขึ้น



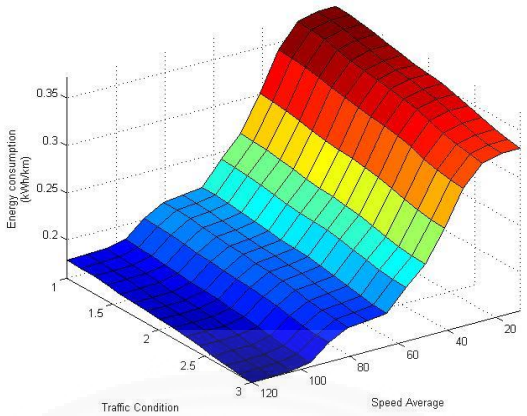
ภาพที่ 4.33 ความสัมพันธ์ของอินพุตขนาดของมอเตอร์ไฟฟ้ากับสภาพการจราจรของแบบจำลองประสิทธิภาพการใช้พลังงานของรถยนต์ไฟฟ้าด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบฟัซซี

เมื่อมาพิจารณาความสัมพันธ์ของตัวแปรจากขนาดของมอเตอร์ไฟฟ้ากับสภาพการจราจรของรถยนต์ไฟฟ้าจากภาพที่ 4.33 จากที่ได้กล่าวไปข้างต้นเรื่องขนาดของมอเตอร์ที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อการใช้พลังงาน เมื่อนำมาพิจารณาประกอบกับสภาพการจราจรจากการระบุรหัสอ้างในส่วนข้างต้นคือ หมายเลข 1 คือสภาพการจราจรติดขัดมาก, หมายเลข 2 คือสภาพการจราจรติดขัดปานกลาง และ หมายเลข 3 คือสภาพการจราจรติดขัดเล็กน้อย พบว่าที่สภาพการจราจรติดขัดมากจะมีการใช้พลังงานสูงสุด เนื่องจากรถยนต์ไฟฟ้าไม่ได้มีภาระการจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้มอเตอร์ไฟฟ้าเพื่อขับเคลื่อนพียงอย่างเดียวแต่ยังใช้พลังงานไฟฟ้าไปกับระบบอื่นๆด้วย ประกอบกับความเร็วต่ำที่สภาพการจราจรติดขัดมากทำให้เวลาการขับเคลื่อนต้องใช้แรงบิดสูงส่งผลให้มีการใช้พลังงานสูงตามไปด้วย



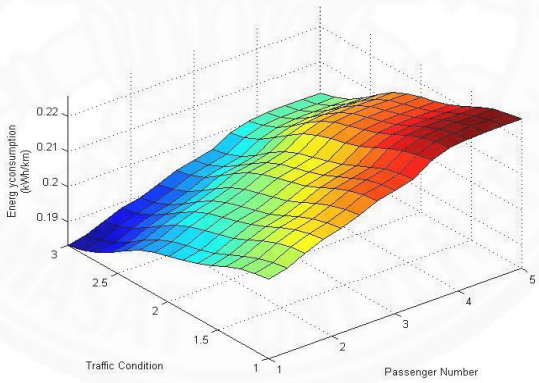
ภาพที่ 4.34 ความสัมพันธ์ของอินพุตความเร็วเฉลี่ยกับจำนวนผู้โดยสารของแบบจำลองประสิทธิภาพการใช้พลังงานของรถยนต์ไฟฟ้าด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบฟัซซี

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของความเร็วเฉลี่ยกับจำนวนผู้โดยสารของรถยนต์ไฟฟ้าจากภาพที่ 4.34 จากความเร็วเฉลี่ยต่ำเนื่องจากการพบเจอสภาพการจราจรติดขัดส่งผลให้รถยนต์ไฟฟ้าต้องใช้กำลังงานเพิ่มขึ้นในการขับเคลื่อนเพราะนอกจากน้ำหนักของตัวรถยนต์ไฟฟ้าเองแล้ว รถยนต์ไฟฟ้าต้องรับภาระการบรรทุกผู้โดยสารอีกด้วย



ภาพที่ 4.35 ความสัมพันธ์ของอินพุตความเร็วเฉลี่ยกับสภาพการจราจรของแบบจำลองประสิทธิภาพการใช้พลังงานของรถยนต์ไฟฟ้าด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบฟัซซี

จากภาพที่ 4.35 แสดงความสัมพันธ์ของความเร็วเฉลี่ยกับสภาพการจราจรของรถยนต์ไฟฟ้าจากภาพจะเห็นได้ว่าการใช้ความเร็วต่ำที่ส่งผลมาจากสภาพการจราจรที่ติดขัดนั้นทำให้มีการใช้พลังงานที่สูงที่สุด เนื่องพลังงานไฟฟ้าไม่เพียงแต่ใช้ในระบบการขับเคลื่อนเท่านั้นยังใช้ไปกับระบบอื่นๆด้วยรวมไปถึงภาระการบรรทุกน้ำหนักเป็นความสัมพันธ์ที่เกี่ยวโยงกันอย่างเห็นได้ชัด



ภาพที่ 4.36 ความสัมพันธ์ของอินพุตจำนวนผู้โดยสารกับสภาพการจราจรของแบบจำลองประสิทธิภาพการใช้พลังงานของรถยนต์ไฟฟ้าด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบฟัซซี

จากภาพที่ 4.36 แสดงความสัมพันธ์ของจำนวนผู้โดยสารกับสภาพการจราจรต่อการใช้พลังงานของรถยนต์ไฟฟ้า จากที่ได้กล่าวมาแล้วจำนวนผู้โดยสารที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ภาระการบรรทุกของรถยนต์ไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้น เมื่อภาระการบรรทุกน้ำหนักของรถยนต์ไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้นส่งผลให้ต้องการกำลังในการขับเคลื่อนและทำให้มีการใช้พลังงานในปริมาณที่สูงขึ้นจากภาพ ประกอบกับการพบเจอสภาพการจราจรที่ติดขัดมากที่ให้มีการใช้พลังงานที่เพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย

4.8 ผลประหยัดพลังงานจากการใช้รถยนต์ไฟฟ้าและรถยนต์บริการสาธารณะไฟฟ้า

จากผลที่ได้จากแบบจำลองประสิทธิภาพการใช้พลังงานด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมนำมาวิเคราะห์ร่วมกับการคาดการณ์ยอดจำหน่ายรถยนต์ไฟฟ้าและจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าสะสมที่วิ่งบนท้องถนนในสถานการณ์ต่างๆของประเทศไทย จากที่ได้ทำการศึกษาไว้แล้วในรายงาน “การศึกษาการพัฒนาของเทคโนโลยียานยนต์ไฟฟ้า และผลกระทบที่เกิดขึ้นสำหรับประเทศไทย” (มจธ. 2555) โดยผู้วิจัยได้คำนึงถึงรถยนต์ไฟฟ้าจากแบตเตอรี่เท่านั้น โดยแบ่งการวิเคราะห์สถานการณ์ออกเป็น 3 สถานการณ์ได้แก่ สถานการณ์ทั่วไป (Business as Usual), สถานการณ์ที่มีความเป็นไปได้ (Probable case) และสถานการณ์ที่เกินความคาดหมาย (Extreme case) ทั้งนี้ตามสถานการณ์ต่างๆจะคำนวณผลประหยัดในส่วนของปริมาณรถยนต์ไฟฟ้าสะสมเท่านั้น พิจารณาในระยะ 20 ปีข้างหน้า หากไม่มีมาตรการอนุรักษ์และเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานหรือปรับโครงสร้างอุตสาหกรรมและระบบขนส่งที่มีนัยสำคัญ ความต้องการพลังงานในกรณีปกติ (Business-as usual,BAU) จะเพิ่มขึ้นจาก 71,000 ktoe (พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ) ต่อปีในปัจจุบัน เป็น 151,000 ktoe หรือประมาณ 2.1 เท่าของปัจจุบัน หรือเพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 3.9 ต่อปีภายใต้สมมุติฐานของปริมาณพลังงานที่ใช้ต่อหน่วยผลิตภัณฑ์มวลรวมของประเทศ (GDP) จะขยายตัวเฉลี่ยร้อยละ 4.2 ต่อปี โดยในภาคการขนส่งจะมีความต้องการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายคิดเป็นร้อยละ 31 ในปี พ.ศ. 2573

- สถานการณ์ทั่วไปการกำหนดแนวโน้มในสถานการณ์นี้จึงกำหนดให้ยานยนต์ในภาคการขนส่งทางบกมีความเปลี่ยนแปลงตามแนวโน้มในปัจจุบัน โดยมีอัตราการเติบโตของยานยนต์ในภาคการขนส่งทางถนนกำหนดจากการขยายตัวของตัวแปรพื้นฐานทางเศรษฐศาสตร์ในข้างต้น
- สถานการณ์ที่มีการขยายตัวของยานยนต์ไฟฟ้าบนพื้นฐานความเป็นไปได้ของประเทศไทย (Probable case) การขยายตัวของยานยนต์ไฟฟ้าในกลุ่มรถยนต์นั่งส่วนบุคคลมีสัดส่วนรถยนต์ไฟฟ้าร้อยละ 34 โดยรถยนต์ไฟฟ้าแบตตเตอรี่สะสมเป็นร้อยละ 2 จากการจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าสะสมร้อยละ 14 หรือคิดเป็นร้อยละ 5.88 จากปริมาณรถยนต์ไฟฟ้าสะสมทั้งหมดจากตลาดรถยนต์นั่งส่วนบุคคล ซึ่งเป็นผลจากการกำหนดให้มีการขยายตัวล่าช้าไป 5 ปี จากกรณี Blue map ในแผนที่นำทาง Technology Roadmap: Electric and Plug-in Hybrid Electric Vehicles ขององค์กร International Energy Agency (IEA)

- สถานการณ์ที่มีการขยายตัวของยานยนต์ไฟฟ้าอย่างเกินความคาดหมา (Extreme case) การขยายตัวของยานยนต์ไฟฟ้าในกลุ่มรถยนต์นั่งส่วนบุคคลมีสัดส่วนรถยนต์ไฟฟ้าใหม่เป็นคิดเป็นร้อยละ 50 จากตลาดรถยนต์นั่งส่วนบุคคล ซึ่งเป็นผลจากการกำหนดให้มีการขยายตัวตรงตามกรณี Blue map ของ IEA โดยรถยนต์ไฟฟ้าแบตเตอรี่สะสมคิดเป็นร้อยละ 3 จากปริมาณสะสมขอรถยนต์ไฟฟ้าทั้งหมดคิดเป็นร้อยละ 25 จากจำนวนรถยนต์นั่งส่วนบุคคลสะสมหรือคิดเป็นร้อยละ 12 จากจำนวนรถยนต์สะสมทั้งหมด

ทั้งนี้ด้วยลักษณะในเชิงวิศวกรรมของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลและรถยนต์บริการสาธารณะที่มีความคล้ายคลึงกันจึงนำสัดส่วนของรถยนต์ไฟฟ้าที่มีการคาดการณ์มาแบ่งเป็นรถยนต์ส่วนบุคคลไฟฟ้าและรถยนต์สาธารณะไฟฟ้า ในปัจจุบันเมื่อเทียบสัดส่วนของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลและรถยนต์บริการสาธารณะสะสม สัดส่วนของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลมีปริมาณร้อยละ 98.7 และรถยนต์บริการสาธารณะมีปริมาณร้อยละ 1.2 จากจำนวนรถยนต์สะสมของทั้งสองประเภทจึงคำนวณเป็นการคาดการณ์จำนวนรถยนต์ส่วนบุคคลไฟฟ้าและรถยนต์รับบริการสาธารณะไฟฟ้าที่ใช้ในการจำลองแต่ละสถานการณ์ดังตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16

การคาดการณ์จำนวนรถยนต์ส่วนบุคคลไฟฟ้าและรถยนต์รับบริการสาธารณะไฟฟ้าที่ใช้ในการจำลองแต่ละสถานการณ์

ปี	สถานการณ์ทั่วไป (Business as Usual)			สถานการณ์ที่มีความเป็นไปได้ (Probable case)			สถานการณ์ที่เกินความคาดหมาย (Extreme case)		
	จำนวนสะสม (คัน)			จำนวนสะสม (คัน)			จำนวนสะสม (คัน)		
	ส่วนบุคคล	แท็กซี่	รวม	ส่วนบุคคล	แท็กซี่	รวม	ส่วนบุคคล	แท็กซี่	รวม
2558	1,807	23	1,830	3,982	50	4,032	11,752	151	11,903
2559	1,944	25	1,969	8,503	108	8,611	17,520	225	17,745
2560	2,092	27	2,119	12,118	155	12,273	24,984	321	25,305
2561	2,250	29	2,279	15,705	201	15,906	34,792	448	35,240
2562	2,421	31	2,452	20,141	258	20,399	47,594	612	48,206
2563	2,605	34	2,639	26,304	337	26,641	64,034	824	64,858

ตารางที่ 4.16

การคาดการณ์จำนวนรถยนต์ส่วนบุคคลไฟฟ้าและรถยนต์รับบริการสาธารณะไฟฟ้าที่ใช้ในการจำลองแต่ละสถานการณ์(ต่อ)

ปี	สถานการณ์ทั่วไป (Business as Usual)			สถานการณ์ที่มีความเป็นไปได้ (Probable case)			สถานการณ์ที่เกินความคาดหมาย (Extreme case)		
	จำนวนสะสม (คัน)			จำนวนสะสม (คัน)			จำนวนสะสม (คัน)		
	ส่วนบุคคล	แท็กซี่	รวม	ส่วนบุคคล	แท็กซี่	รวม	ส่วนบุคคล	แท็กซี่	รวม
2564	2,802	36	2,838	35,072	450	35,522	84,763	1,090	85,853
2565	3,015	39	3,054	47,321	607	47,928	110,425	1,420	111,845
2566	3,243	42	3,285	63,931	821	64,752	141,670	1,822	143,492
2567	3,487	45	3,532	85,779	1,102	86,881	179,146	2,304	181,450
2568	3,748	49	3,797	113,742	1,461	115,203	223,498	2,875	226,373
2569	4,028	52	4,080	148,697	1,911	150,608	275,376	3,542	278,918
2570	4,327	56	4,383	191,524	2,461	193,985	335,427	4,315	339,742
2571	4,646	60	4,706	243,099	3,125	246,224	404,298	5,201	409,499
2572	4,985	65	5,050	304,299	3,912	308,211	482,637	6,208	488,845
2573	5,347	70	5,417	376,004	4,834	380,838	571,092	7,346	578,438

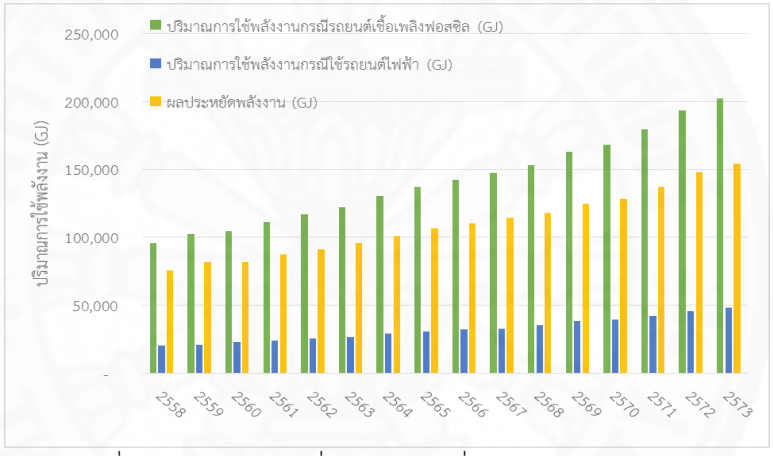
4.8.1 รถยนต์นั่งส่วนบุคคลไฟฟ้า

จากการสำรวจพฤติกรรมการใช้รถยนต์นั่งส่วนบุคคลใช้ผลจากสถิติที่ได้จากการสำรวจ และผลการศึกษาจากแบบจำลองประกอบด้วยเงื่อนไขดังต่อไปนี้ รถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงเป็นน้ำมันเบนซิน ที่ขนาดเครื่องยนต์อยู่ระหว่าง 1,600-1,800 ซีซี และรถยนต์นั้นมีอายุมากกว่า 7 ปีขึ้นไป นำมาเปลี่ยนเป็นรถยนต์ไฟฟ้าเมื่อเทียบขนาดเครื่องยนต์ที่มีขนาดกำลังมอเตอร์ 60 กิโลวัตต์ โดยมีการใช้งานในระยะทางสะสมที่เท่ากันไม่น้อยกว่า 14,000 กิโลเมตรต่อปี เพื่อคำนวณหาผลประหยัดและมลพิษที่เกิดขึ้นพบว่า ถ้าเปลี่ยนรถยนต์นั่งส่วนบุคคลโดยการสุ่มความเป็นไปได้ของสถานการณ์จำลองทุกสถานการณ์ดังกล่าวเป็นรถยนต์ไฟฟ้าต่อหนึ่งคันสามารถประหยัดพลังงานประเภทน้ำมันเบนซินได้ถึง 1,298.29 ลิตรต่อปี คิดเป็นมูลค่า 34,950 บาท สามารถลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ถึง 2,905 กิโลกรัมเทียบเท่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อปี และคำนวณผลประหยัดที่เกิดขึ้นจากการแทนที่ของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลด้วยรถยนต์นั่งส่วนบุคคลไฟฟ้า

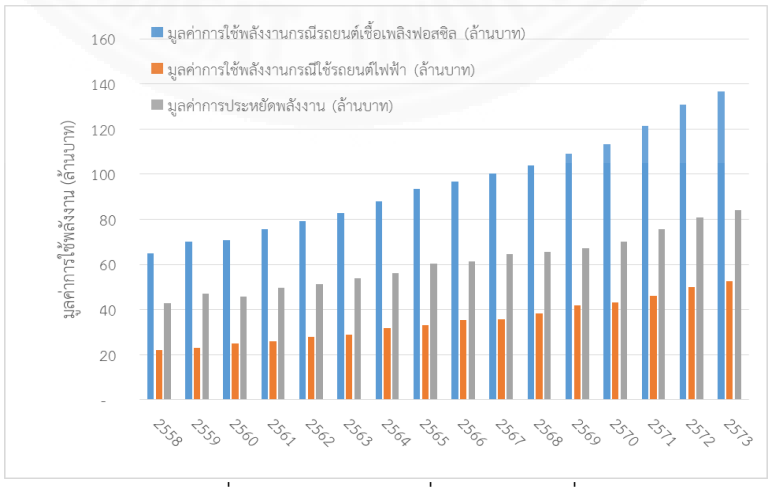
อ้างอิงและดัดแปลงการคาดการณ์ปริมาณรถยนต์ไฟฟ้าสะสมที่เกิดขึ้นในประเทศไทยโดยคำนวณแบ่งออกเป็น 3 สถานการณ์ข้างต้น

4.8.1.1 สถานการณ์ทั่วไป

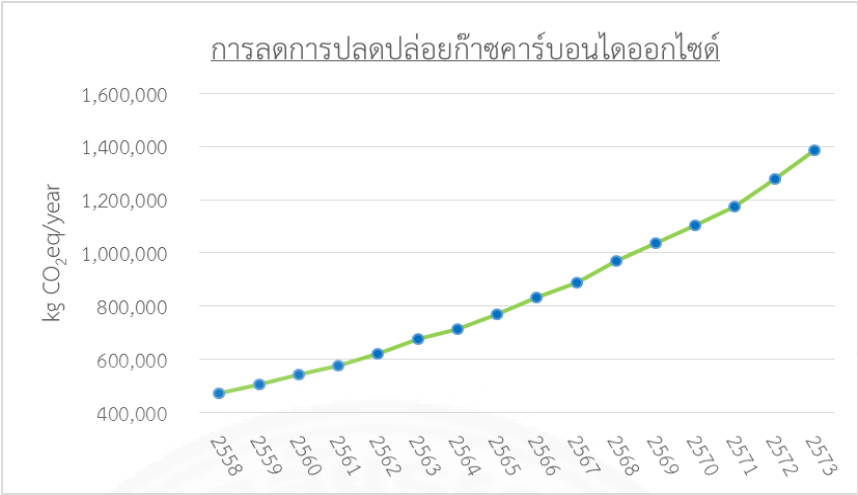
ผลประหยัดที่ได้จากแบบจำลองของสถานการณ์ทั่วไปจะแสดงภาพที่ 4.37 – 4.39 เมื่อทำการคำนวณผลประหยัดในในช่วงปี พ.ศ. 2558 – 2573 พบว่าเมื่อมีรถยนต์ไฟฟ้าแทนที่รถยนต์นั่งส่วนบุคคลในสถานการณ์ทั่วไปสามารถประหยัดการใช้พลังงานโดยเฉลี่ย 109,763 จิกะจูลต่อปี ส่งผลให้ลดการนำเข้าน้ำมันเบนซินในภาคการขนส่งคิดเป็นมูลค่า 61 ล้านบาทต่อปีและยังลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้เฉลี่ยปีละ 7,634,564 กิโลกรัมเทียบเท่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อปี



ภาพที่ 4.37 ผลประหยัดที่เกิดจากการแทนที่ของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลไฟฟ้าในสถานการณ์ทั่วไป



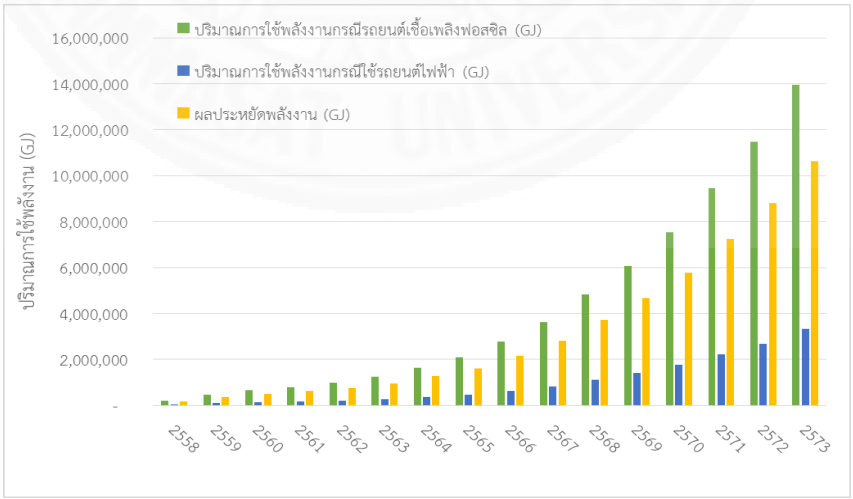
ภาพที่ 4.38 มูลค่าจากผลประหยัดที่เกิดจากการแทนที่ของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลไฟฟ้าในสถานการณ์ทั่วไป



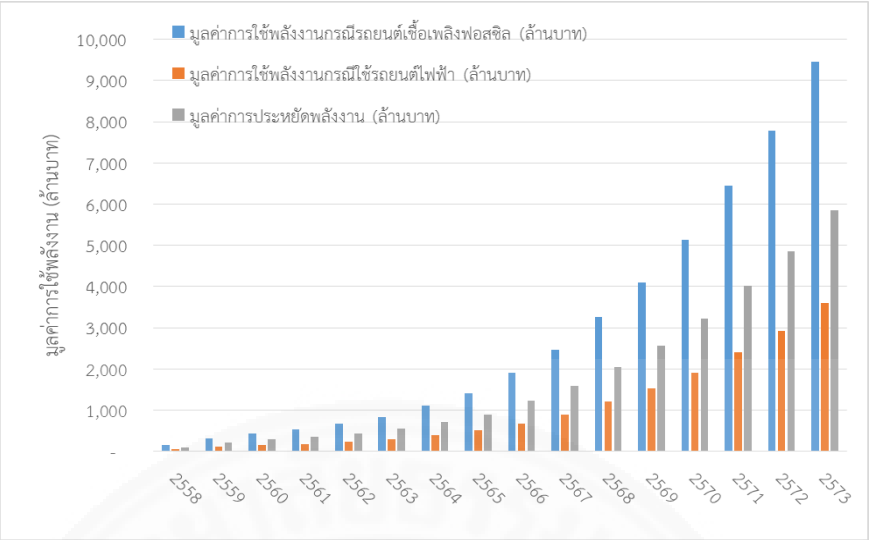
ภาพที่ 4.39 การลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการแทนที่ของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลไฟฟ้าในสถานการณ์ทั่วไป

4.8.1.2 สถานการณ์ที่มีความเป็นไปได้

ผลประหยัดที่ได้จากแบบจำลองของสถานการณ์ที่มีความเป็นไปได้จะแสดงภาพที่ 4.40 – 4.42 เมื่อทำการคำนวณผลประหยัดในในช่วงปี พ.ศ. 2558 – 2573 พบว่าเมื่อมีรถยนต์ไฟฟ้าแทนที่รถยนต์นั่งส่วนบุคคลในสถานการณ์ที่มีความเป็นไปได้สามารถประหยัดการใช้พลังงานโดยเฉลี่ย 3,249,546 จิกะจูลต่อปี ส่งผลให้ลดการทำเข้าน้ำมันเบนซินในภาคการขนส่งคิดเป็นมูลค่า 1,807 ล้านบาทต่อปีและยังลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้เฉลี่ยปีละ 226,023,053 กิโลกรัมเทียบเท่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อปี



ภาพที่ 4.40 ผลประหยัดที่เกิดจากการแทนที่ของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลไฟฟ้าในสถานการณ์ที่มีความเป็นไปได้



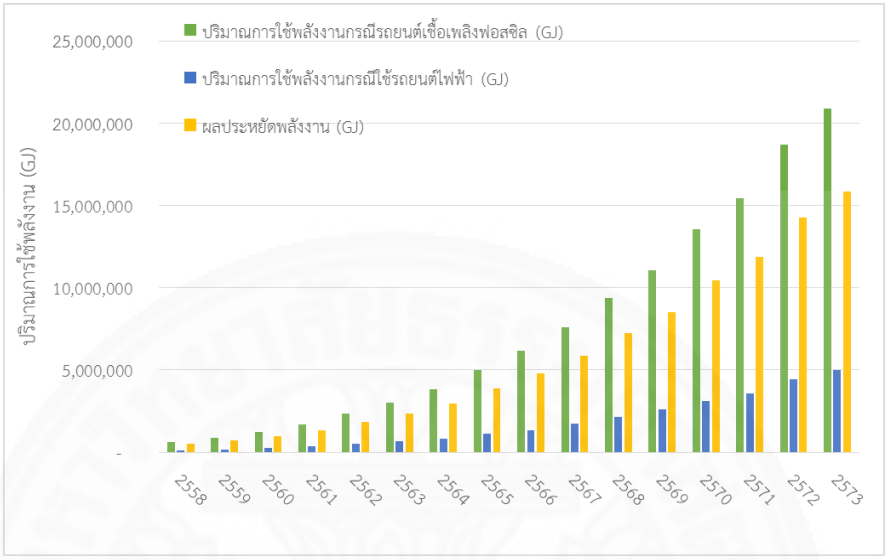
ภาพที่ 4.41 มูลค่าจากผลประหยัดที่เกิดจากการแทนที่ของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลไฟฟ้าในสถานการณ์สถานการณ์ที่มีความเป็นไปได้

ภาพที่ 4.42 การลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการแทนที่ของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลไฟฟ้าในสถานการณ์ที่มีความเป็นไปได้

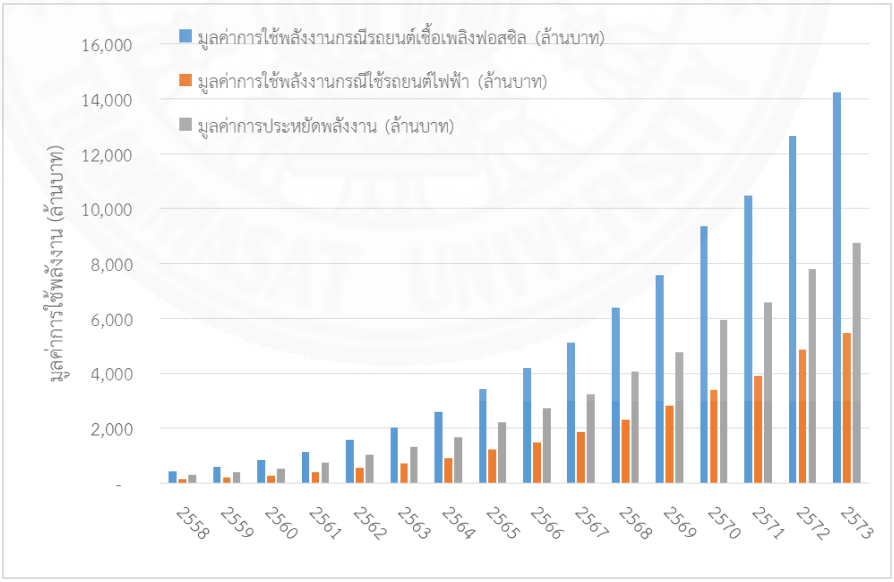
4.8.1.3 สถานการณ์เกินความคาดหมาย

ผลประหยัดที่ได้จากแบบจำลองของสถานการณ์ที่เกินความคาดหมายจะแสดงภาพที่ 4.43 – 4.45 เมื่อทำการคำนวณผลประหยัดในในช่วงปี พ.ศ. 2558 – 2573 พบว่าเมื่อมีรถยนต์ไฟฟ้าแทนที่รถยนต์นั่งส่วนบุคคลในสถานการณ์เกินความคาดหมายสามารถประหยัดการใช้พลังงานโดยเฉลี่ย 5,837,302 จิกะจูลต่อปี ส่งผลให้ลดการทำเข้าน้ำมันเบนซินในภาคการขนส่งคิด

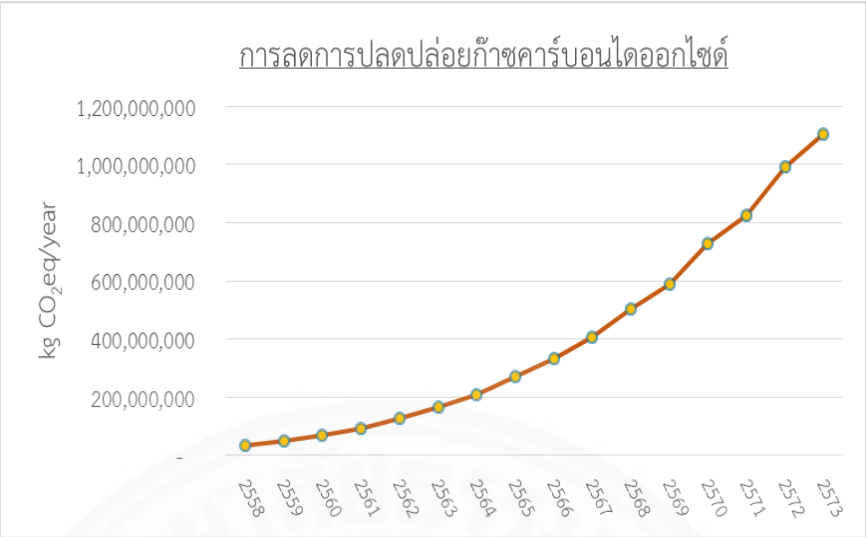
เป็นมูลค่า 3,260 ล้านบาทต่อปีและยังลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้เฉลี่ยปีละ 406,015,123 กิโลกรัมเทียบเท่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อปี



ภาพที่ 4.43 ผลประหยัดที่เกิดจากการแทนที่ของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลไฟฟ้าในสถานการณ์เกินความคาดหมาย



ภาพที่ 4.44 มูลค่าจากผลประหยัดที่เกิดจากการแทนที่ของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลไฟฟ้าในสถานการณ์สถานการณ์เกินความคาดหมาย



ภาพที่ 4.45 การลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการแทนที่ของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลไฟฟ้าในสถานการณ์เกินความคาดหมาย

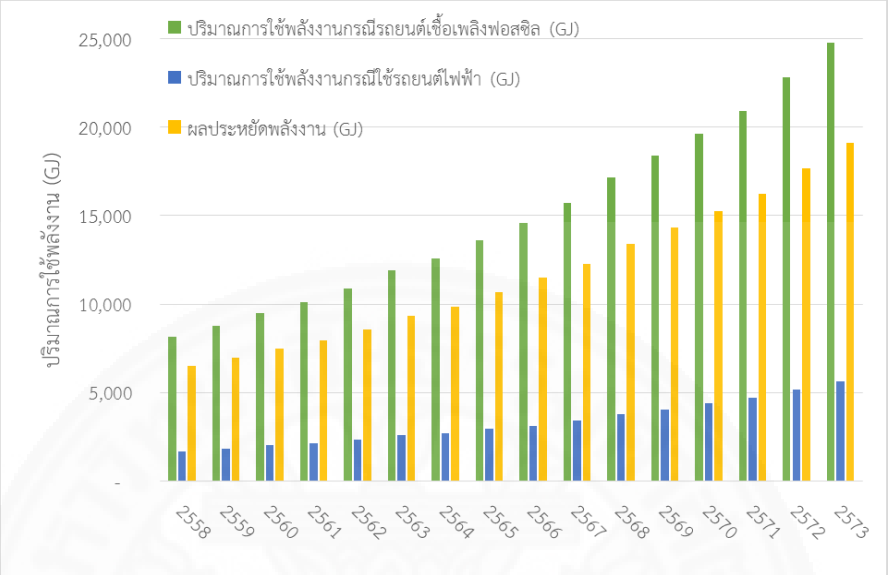
4.8.2 รถยนต์บริการสาธารณะไฟฟ้า

รถยนต์บริการสาธารณะใช้ผลจากสถิติที่ได้จากการสำรวจ และผลการศึกษาจากแบบจำลองประกอบด้วยเงื่อนไขดังต่อไปนี้ รถยนต์บริการสาธารณะที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงเป็นก๊าซธรรมชาติที่ขนาดเครื่องยนต์เท่ากับ 1,800 ซีซี และรถยนต์นั้นมีอายุมากกว่า 9 ปีขึ้นไป นำมาเปลี่ยนเป็นรถยนต์บริการสาธารณะไฟฟ้าเมื่อเทียบขนาดเครื่องยนต์ที่เป็นขนาดกำลังมอเตอร์70-80 กิโลวัตต์ โดยมีการใช้งานในระยะทางสะสมที่เท่ากันไม่น้อยกว่า 93,500 กิโลเมตรต่อปีเพื่อคำนวณหาผลประหยัดและมลพิษที่เกิดขึ้นพบว่า ถ้าเปลี่ยนรถยนต์บริการสาธารณะโดยการสุ่มความเป็นไปได้ของสถานการณ์จำลองทุกสถานการณ์ดังกล่าวเป็นรถยนต์บริการสาธารณะไฟฟ้าต่อหนึ่งคันสามารถประหยัดเชื้อเพลิงประเภทก๊าซธรรมชาติได้ถึง 10,392.57 กิโลกรัมต่อปี คิดเป็นมูลค่า 135,103 บาท สามารถลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ถึง 23,354 กิโลกรัมเทียบเท่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อปี และคำนวณผลประหยัดที่เกิดขึ้นจากการแทนที่ของรถยนต์บริการสาธารณะด้วยรถยนต์บริการสาธารณะไฟฟ้า อ้างอิงและดัดแปลงการคาดการณ์ปริมาณรถยนต์ไฟฟ้าสะสมที่เกิดขึ้นในประเทศไทยโดยคำนวณแบ่งออกเป็น 3 สถานการณ์ข้างต้น

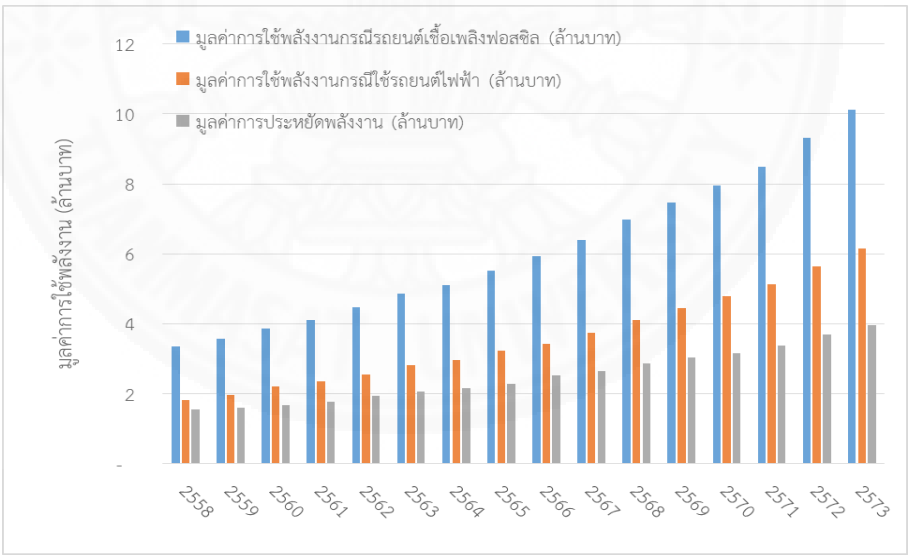
4.8.2.1 สถานการณ์ทั่วไป

ผลประหยัดที่ได้จากแบบจำลองของสถานการณ์ทั่วไปจะแสดงภาพที่ 4.46 – 4.48 เมื่อทำการคำนวณผลประหยัดในในช่วงปี พ.ศ. 2558 – 2573 พบว่าเมื่อรถยนต์ไฟฟ้าแทนที่รถยนต์บริการสาธารณะในสถานการณ์ทั่วไปสามารถประหยัดการใช้พลังงานโดยเฉลี่ย 11,692 จิกะจูลต่อปี ส่งผลให้ลดการทำเข้าก๊าซธรรมชาติในภาคการขนส่งคิดเป็นมูลค่า 3 ล้านบาทต่อปีและ

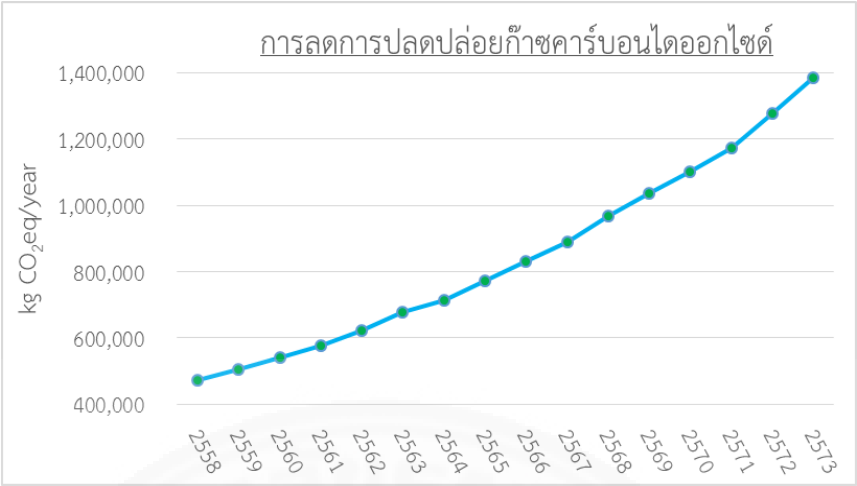
ยังลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้เฉลี่ยปีละ 846,184 กิโลกรัมเทียบเท่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อปี



ภาพที่ 4.46 ผลประหยัดที่เกิดจากการแทนที่ของรถยนต์บริการสาธารณะไฟฟ้าในสถานการณ์ทั่วไป



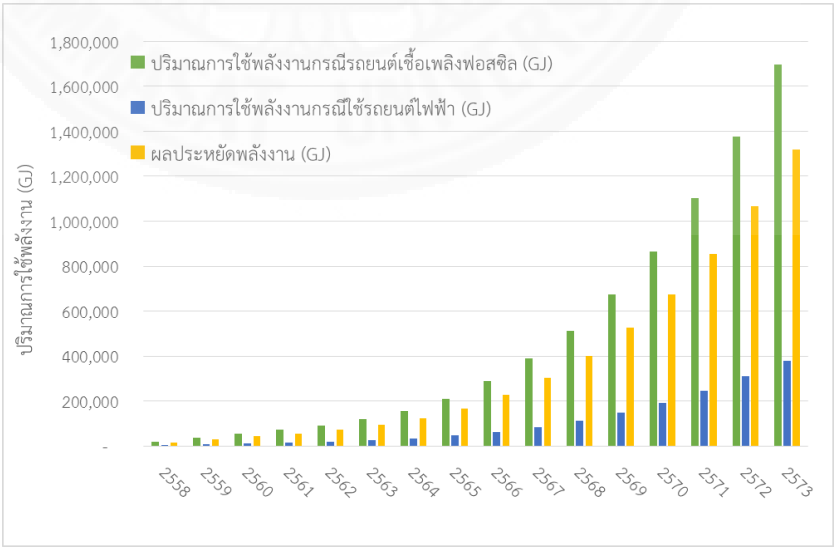
ภาพที่ 4.47 มูลค่าจากผลประหยัดที่เกิดจากการแทนที่ของรถยนต์บริการสาธารณะไฟฟ้าในสถานการณ์ทั่วไป



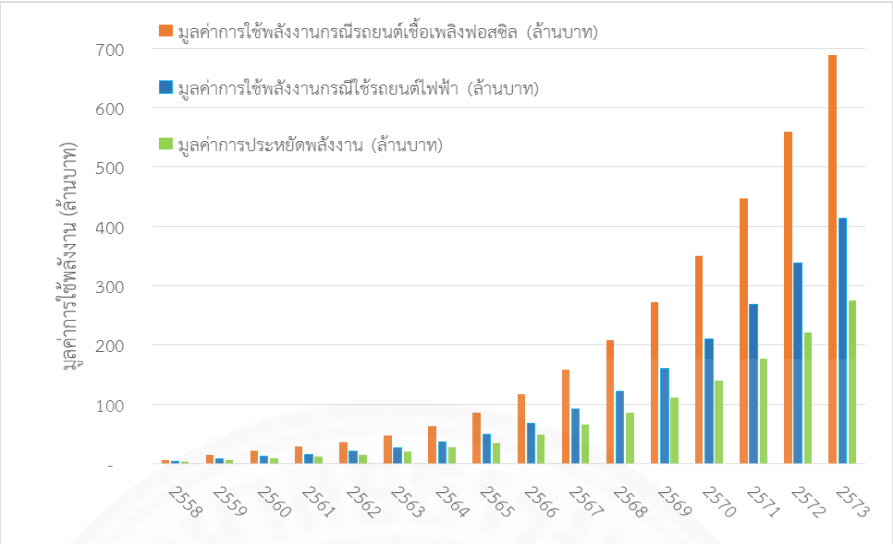
ภาพที่ 4.48 การลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการแทนที่ของรถยนต์บริการสาธารณะไฟฟ้าในสถานการณ์ทั่วไป

4.8.2.2 สถานการณ์ที่มีความเป็นไปได้

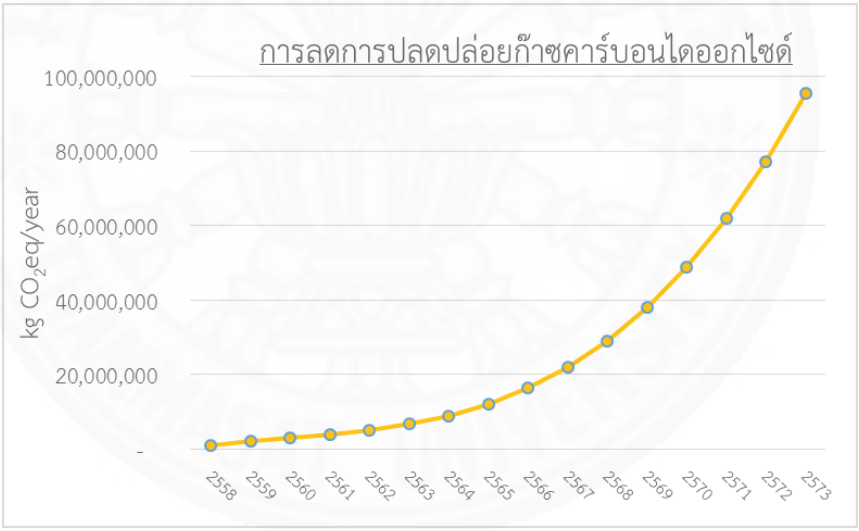
ผลประหยัดที่ได้จากแบบจำลองของสถานการณ์ที่มีความเป็นไปได้จะแสดงภาพที่ 4.49 – 4.51 เมื่อทำการคำนวณผลประหยัดในในช่วงปี พ.ศ. 2558 – 2573 พบว่าเมื่อรถยนต์ไฟฟ้าแทนที่รถยนต์บริการสาธารณะในสถานการณ์ที่มีความเป็นไปได้สามารถประหยัดการใช้พลังงานโดยเฉลี่ย 372,951 จิกะจูลต่อปี ส่งผลให้ลดการทำเข้าก๊าซธรรมชาติในภาคการขนส่งคิดเป็นมูลค่า 79 ล้านบาทต่อปีและยังลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้เฉลี่ยปีละ 26,991,779 กิโลกรัมเทียบเท่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อปี



ภาพที่ 4.49 ผลประหยัดที่เกิดจากการแทนที่ของรถยนต์บริการสาธารณะไฟฟ้าในสถานการณ์ที่มีความเป็นไปได้



ภาพที่ 4.50 มูลค่าจากผลประหยัดที่เกิดจากการแทนที่ของรถยนต์บริการสาธารณะไฟฟ้าในสถานการณ์ที่มีความเป็นไปได้

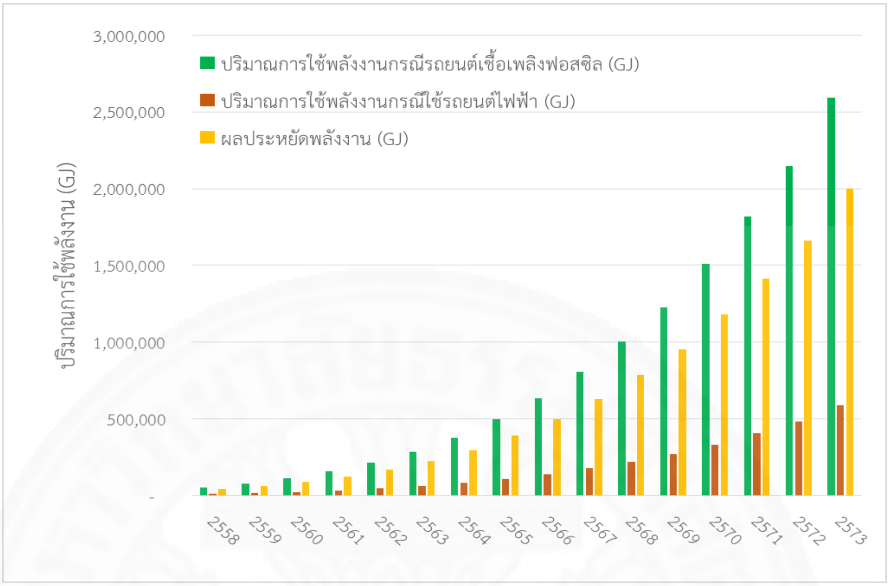


ภาพที่ 4.51 การลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการแทนที่ของรถยนต์บริการสาธารณะไฟฟ้าในสถานการณ์ที่มีความเป็นไปได้

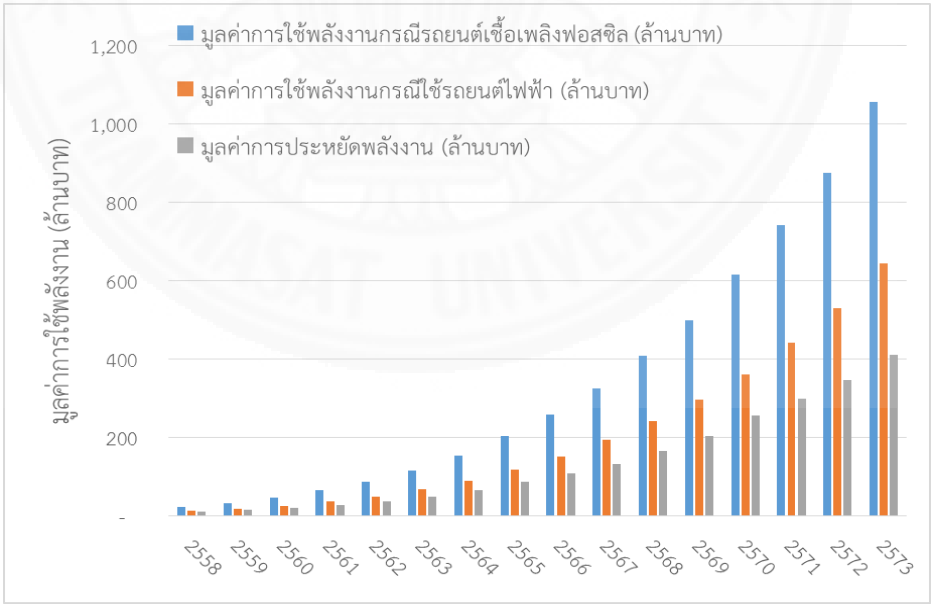
4.8.2.3 สถานการณ์เกินความคาดหมาย

ผลประหยัดที่ได้จากแบบจำลองของสถานการณ์ที่เกินความคาดหมายจะแสดงภาพที่ 4.52 – 4.54 เมื่อทำการคำนวณผลประหยัดในในช่วงปี พ.ศ. 2558 – 2573 พบว่าเมื่อรยนต์ไฟฟ้าแทนที่รถยนต์บริการสาธารณะในสถานการณ์เกินความคาดหมายสามารถประหยัดการใช้พลังงานโดยเฉลี่ย 658,520 จิกะจูลต่อปี ส่งผลให้ลดการทำเข้าก๊าซธรรมชาติในภาคการขนส่ง

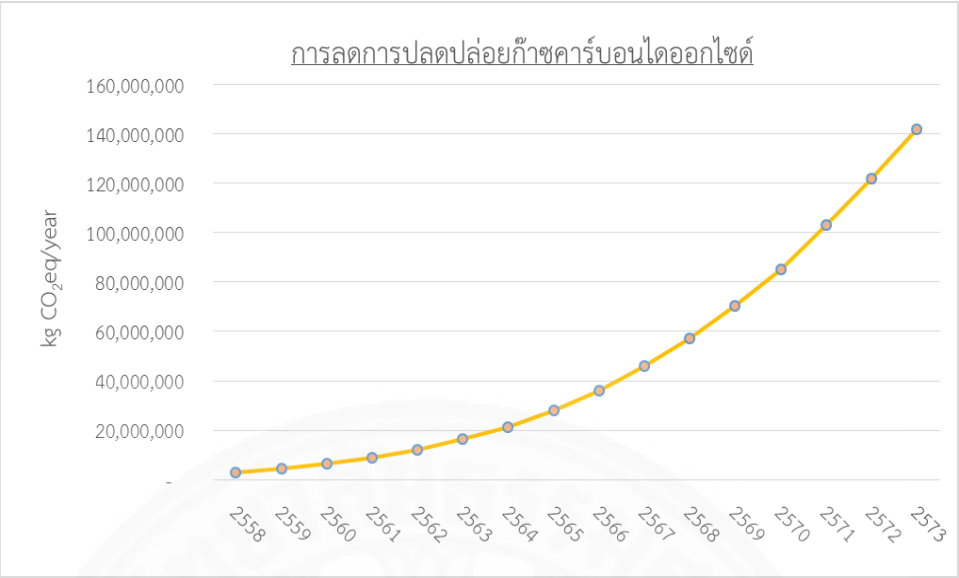
คิดเป็นมูลค่า 139 ล้านบาทต่อปีเช่นเดียวกับสถานการณ์ทั่วไปและยังลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้เฉลี่ยปีละ 47,659,457 กิโลกรัมเทียบเท่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อปี



ภาพที่ 4.52 ผลประหยัดที่เกิดจากการแทนที่ของรถยนต์บริการสาธารณะไฟฟ้าในสถานการณ์เกินความคาดหมาย



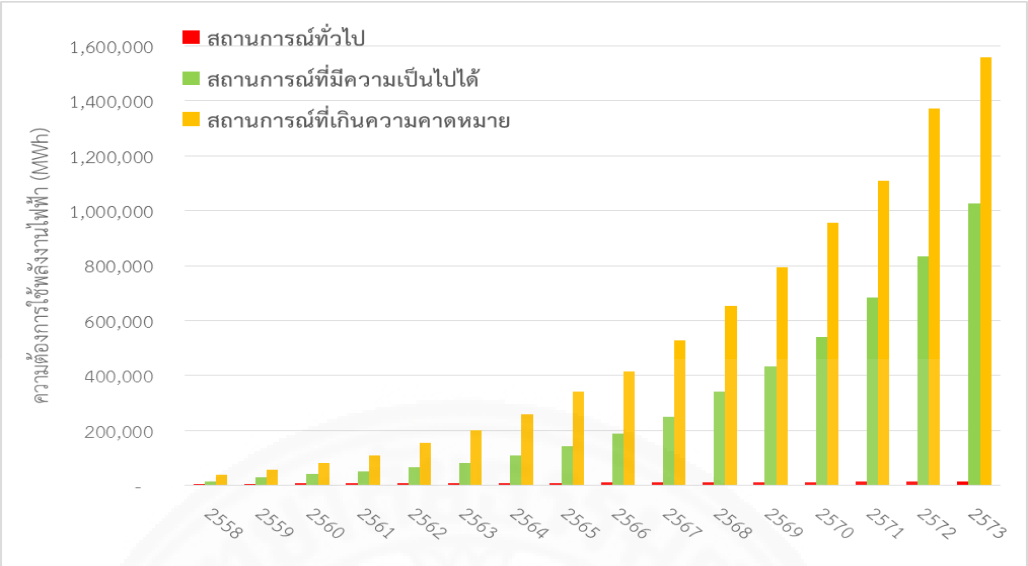
ภาพที่ 4.53 มูลค่าจากผลประหยัดที่เกิดจากการแทนที่ของรถยนต์บริการสาธารณะไฟฟ้าในสถานการณ์เกินความคาดหมาย



ภาพที่ 4.54 การลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการแทนที่ของรถยนต์บริการสาธารณะไฟฟ้าในสถานการณ์เกินความคาดหมาย

4.9 การคาดการณ์การใช้พลังงานไฟฟ้า

จากการคาดการณ์การเพิ่มขึ้นของรถยนต์ไฟฟ้าแต่ละประเภท เมื่อนำมาศึกษาในส่วนของความต้องการใช้งานไฟฟ้าจากการแทนที่ของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลไฟฟ้าและรถยนต์บริการสาธารณะไฟฟ้าจากการคาดการณ์ปริมาณรถยนต์ไฟฟ้าสะสมในประเทศไทยตามสถานการณ์ความเป็นไปได้ทั้ง 3 สถานการณ์ในข้างต้น จากดังภาพที่ 4.54 แสดงความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าเนื่องจากการแทนที่ของรถยนต์ไฟฟ้า โดยความต้องการพลังงานไฟฟ้าในภาคขนส่งในสถานการณ์ทั่วไปจะมีความต้องการพลังงานไฟฟ้าโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 9,843 เมกะวัตต์ชั่วโมงต่อปี และในปี 2573 จะมีความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุดที่ 14,976 เมกะวัตต์ชั่วโมง ในสถานการณ์ที่มีความเป็นไปได้จะมีความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยเฉลี่ย 302,229 เมกะวัตต์ชั่วโมงต่อปี และในปี 2573 จะมีความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุดที่ 1,027,272 เมกะวัตต์ชั่วโมง และสุดท้ายที่สถานการณ์เกินความคาดหมายจะมีความต้องการพลังงานไฟฟ้าโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 539,470 เมกะวัตต์ชั่วโมงต่อปี และในปี 2573 จะมีความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุดที่ 1,559,385 เมกะวัตต์ชั่วโมง โดยความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้นในทุกๆปีแปรผันตามจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าที่มีการใช้งานเพิ่มขึ้นตามการคาดการณ์ ทั้งนี้เพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทางภาครัฐควรมีการศึกษาและวางแผนให้สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อรองรับการใช้งานของรถยนต์ไฟฟ้า



ภาพที่ 4.55 การคาดการณ์ความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าของประเทศไทยที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการใช้รถยนต์ไฟฟ้า

4.10 แนวทางการส่งเสริมการใช้งานจากสถานการณ์จำลอง

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงแนวทางในการส่งเสริมการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าโดยการสร้างสถานการณ์จำลองเพื่อสนับสนุนการตัดสินใจในการเลือกใช้รถยนต์ไฟฟ้าทดแทนรถยนต์แบบเก่า โดยกำหนดสถานการณ์จำลองหรือเงื่อนไขในการสนับสนุนการใช้งานจากภาครัฐ ทั้งนี้จะพิจารณาถึงผลประหยัดที่เกิดขึ้นจากการแทนที่ของรถยนต์แบบเก่าด้วยรถยนต์ไฟฟ้าโดยไม่คำนึงถึงการบำรุงรักษารายปีและค่าใช้จ่ายอื่นๆ แต่จะคำนึงถึงผลประหยัดทางพลังงานและผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นเท่านั้น สถานการณ์จำลองที่ผู้วิจัยจะนำเสนอต่อไปนี้เป็นผลจากการศึกษาจากแบบจำลองด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบฟัซซีประกอบกับสถานการณ์ความเป็นจริงที่มีความน่าจะเป็นตามดุลพินิจของผู้วิจัยเอง ทั้งนี้จากการพัฒนาแบบจำลองการใช้พลังงานด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบฟัซซี ประกอบไปด้วย 6 ปัจจัยในเชิงวิศวกรรมและพฤติกรรมการใช้งานของรถยนต์เชื้อเพลิงฟอสซิล ผู้วิจัยเลือกปัจจัยอายุของรถยนต์และระยะทางการใช้งานมาเป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจในการส่งเสริมการเปลี่ยนรถยนต์เชื้อเพลิงฟอสซิลมาใช้งานเป็นรถยนต์ไฟฟ้า เนื่องจากระยะทางการวิ่งสะสมต่อปีส่งผลโดยตรงกับอัตราการใช้พลังงาน เมื่อมีการใช้งานในระยะทางสะสมที่สูงขึ้นจะส่งผลให้มีอัตราการใช้พลังงานที่สูงขึ้นไปด้วยจากการสำรวจการใช้งานของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลในเขตกรุงเทพและปริมณฑล รถยนต์นั่งส่วนบุคคลมีการใช้งานโดยเฉลี่ย 14,000 กิโลเมตรต่อปี ทั้งนี้การตรวจสภาพ

รถยนต์ตามระยะทางโดยปรกติมีการตรวจสภาพการใช้งานทุกๆ 10,000 กิโลเมตร และเพื่อการส่งเสริมการใช้งานให้คลอบคลุมยิ่งขึ้นจึงศึกษารถยนต์ที่มีการใช้งาน 18,000 กิโลเมตร และจากภาพที่ 4.19 เป็นภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอายุของรถยนต์ต่ออัตราการใช้พลังงานจากการประมวลผลและเรียนรู้ข้อมูลด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบฟัซซี จะเห็นได้ว่ารถยนต์ที่มีอายุการใช้งานน้อยตั้งแต่ 0 – 9 ปี จะมีลักษณะอัตราการใช้พลังงานที่เพิ่มสูงขึ้นตามอายุการใช้งานที่มากขึ้นด้วย แต่เมื่อรถยนต์ที่มี 10 ปีขึ้นไปจะเริ่มมีอัตราการใช้พลังงานที่สูงแบบคงที่ ทั้งนี้ผู้วิจัยจึงเลือกปัจจัยอายุของรถยนต์มาพิจารณาในการส่งเสริมการใช้งาน อีกประการหนึ่งปัจจัยอื่นๆที่ไม่นำมาใช้เป็นเกณฑ์ในการพิจารณาเนื่องจากปัจจัยในเชิงวิศวกรรมเช่น ขนาดเครื่องยนต์และชนิดของเชื้อเพลิง ขึ้นอยู่กับความพึงพอใจของผู้ใจงานมากกว่าที่จะใช้เป็นเกณฑ์ในการกำหนดและปัจจัยในเชิงพฤติกรรม ขึ้นอยู่กับสถานการณ์ ณ ขณะนั้น ซึ่งเป็นปัจจัยที่เกินการควบคุมผู้วิจัยเองไม่สามารถกำหนดหรือจำกัดขอบเขตได้ เนื่องจากรถยนต์นั่งส่วนบุคคลและรถยนต์บริการสาธารณะมีความคล้ายคลึงกันในเชิงวิศวกรรม ประกอบกับความเป็นไปได้ในการแทนที่ของรถยนต์ไฟฟ้า รถยนต์ส่วนบุคคลมีความเป็นไปได้ที่สูงกว่าเนื่องจากระยะทางการวิ่งสะสมไม่มากประกอบกับข้อจำกัดความจุแบตเตอรี่ของรถยนต์ไฟฟ้าในปัจจุบัน ผู้วิจัยจึงสนใจในการส่งเสริมการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าแทนที่รถยนต์นั่งส่วนบุคคล โดยปัจจัยอื่นๆที่อยู่นอกเหนือการควบคุมของผู้วิจัยจะทำการสุ่มทุกความเป็นไปได้เพื่อให้เหมาะสมกับสภาพความเป็นจริงที่สามารถพบเจอได้ในปัจจุบัน

จากที่ได้กล่าวมาในข้างต้นผู้วิจัยจะศึกษาสถานการณ์จำลองเพื่อหาแนวทางการส่งเสริมการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าแทนที่รถยนต์นั่งส่วนบุคคล โดยปัจจัยที่ไม่ได้กล่าวถึงของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเชื้อเพลิงฟอสซิลเช่น ขนาดของเครื่องยนต์, ชนิดเชื้อเพลิง, สภาพการจราจร, ความเร็วเฉลี่ยและจำนวนผู้โดยสาร จะทำการสุ่มทุกความเป็นไปได้จากแบบจำลองเพื่อให้เหมาะกับสภาพความเป็นจริงที่สามารถพบเจอได้บนท้องถนน โดยปัจจัยที่กล่าวของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเชื้อเพลิงฟอสซิลเปลี่ยนเป็นรถยนต์ส่วนบุคคลไฟฟ้าใหม่ โดยสถานการณ์จำลองจะแบ่งออกเป็น 3 สถานการณ์ดังตารางที่ 4.17 โดยรถยน์ไฟฟ้าที่ใช้พิจารณาเป็นรถยนต์ไฟฟ้าขนาดกลางสมมุติให้มีราคาขายไม่รวมภาษีและค่าใช้จ่ายอื่นๆอยู่ที่ 1,000,000 บาท

ตารางที่ 4.17

สถานการณ์จำลองที่ศึกษาเพื่อส่งเสริมการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้า

สถานการณ์ที่	เงื่อนไข	การส่งเสริมสนับสนุน
1	รถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่มีอายุมากกว่า 10 ปีขึ้นไป โดยตลอดอายุการใช้งานมีผู้ถือครองรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเพียงคนเดียว และมีระยะทางการใช้งานอย่างน้อย 10,000 กิโลเมตรต่อปี หรือไม่ต่ำกว่า 100,000 กิโลเมตรตลอดอายุการใช้งาน	ในการเงินสนับสนุนการเปลี่ยนการใช้งานจากรถยนต์แบบเก่าเป็นรถยนต์ไฟฟ้าด้วยเงินสนับสนุนร้อยละ 15 ของราคารถยนต์ไฟฟ้าไม่รวมภาษี
2	รถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่มีอายุมากกว่า 10 ปีขึ้นไป โดยตลอดอายุการใช้งานมีผู้ถือครองรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเพียงคนเดียว และมีระยะทางการใช้งานอย่างน้อย 14,000 กิโลเมตรต่อปี หรือไม่ต่ำกว่า 140,000 กิโลเมตรตลอดอายุการใช้งาน	ในการเงินสนับสนุนการเปลี่ยนการใช้งานจากรถยนต์แบบเก่าเป็นรถยนต์ไฟฟ้าด้วยเงินสนับสนุนร้อยละ 20 ของราคารถยนต์ไฟฟ้าไม่รวมภาษี
3	รถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่มีอายุมากกว่า 10 ปีขึ้นไป โดยตลอดอายุการใช้งานมีผู้ถือครองรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเพียงคนเดียว และมีระยะทางการใช้งานอย่างน้อย 18,000 กิโลเมตรต่อปี หรือไม่ต่ำกว่า 180,000 กิโลเมตรตลอดอายุการใช้งาน	ในการเงินสนับสนุนการเปลี่ยนการใช้งานจากรถยนต์แบบเก่าเป็นรถยนต์ไฟฟ้าด้วยเงินสนับสนุนร้อยละ 25 ของราคารถยนต์ไฟฟ้าไม่รวมภาษี

ตาราที่ 4.18

ผลการคำนวณผลประหยัดและการลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากสถานการณ์จำลอง

สถานการณ์	อัตราการใช้พลังงาน (MJ/คัน)	รัฐสนับสนุน (บาท/คัน)	ผลประหยัดพลังงาน (MJ/คัน)	มูลค่าการลดการใช้พลังงาน (บาท/คัน)	ลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (kg CO_2 eq/คัน)
Scenario1	43,035	150,000	34,323	19,651	6,414.27
Scenario2	60,154	200,000	47,883	27,415	8,948.45
Scenario3	77,159	250,000	61,311	35,103	11,457.84

ผลจากการสร้างสถานการณ์จำลองจากตารางที่ 4.18 แสดงผลการประหยัดพลังงานและการลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากสถานการณ์ที่กำหนดไว้ข้างต้น ทั้งนี้หากเปลี่ยนจุดประสงค์ของการส่งเสริมการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าโดยเปลี่ยนปัจจัยที่ต่างออกไป ผลการประหยัดและการปลอดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ก็ต่างไปด้วยเช่นกัน

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ในการวิจัยเรื่องการศึกษาผลกระทบของยานยนต์ไฟฟ้าประเภทรถยนต์ต่อการใช้พลังงานของประเทศไทย ด้วยการประยุกต์นำการสร้างแบบจำลองของวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบฟัซซีมาช่วยในการทำนายประสิทธิภาพการใช้พลังงานของรถยนต์เชื้อเพลิงฟอสซิล (รถยนต์นั่งส่วนบุคคลและรถยนต์บริการสาธารณะ) เมื่อมีการแทนที่ด้วยรถยนต์ไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ เพื่อวิเคราะห์ผลประหยัดในเชิงเศรษฐศาสตร์และสิ่งแวดล้อม ซึ่งได้มาจากการสำรวจและเก็บข้อมูลของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลและรถยนต์บริการสาธารณะจากการตอบแบบสอบถามของประชาชนทั้งในส่วนของราชการ รัฐวิสหกิจ และภาคเอกชนที่มีการใช้งานรถยนต์แต่ละประเภทอยู่ในเขตกรุงเทพและปริมณฑล จากนั้นนำข้อมูลที่ได้จากการสำรวจมาทดสอบด้วยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยหาความแปรปรวนแบบทิศทางเดียวเพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานอย่างมีนัยสำคัญ โดยกำหนดค่าความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 (ระดับค่านัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05) จากการทดสอบปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการใช้พลังงานอันประกอบด้วย ขนาดเครื่องยนต์ (ซีซี), ชนิดเชื้อเพลิง (น้ำมันเบนซิน, น้ำมันดีเซล, LPG และ NGV), ความเร็วเฉลี่ย (กิโลเมตรต่อชั่วโมง), ระยะทางเฉลี่ย (กิโลเมตรต่อวัน), อายุรถ (ปี), จำนวนผู้โดยสาร (คน) และสภาพการจราจร พบว่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลและรถยนต์บริการสาธารณะมีปัจจัยของที่มีความคล้ายคลึงทั้งลักษณะโครงสร้างในเชิงวิศวกรรมแต่มีความแตกต่างในพฤติกรรมการใช้งานเมื่อทดสอบความแปรปรวนแล้วนั้น รถยนต์นั่งส่วนบุคคลมีปัจจัยที่มีค่าระดับนัยสำคัญต่ำกว่าที่กำหนดทั้งหมด แต่เมื่อพิจารณาในส่วนของรถยนต์บริการสาธารณะพบว่าปัจจัยในเรื่องของ ความเร็วเฉลี่ย (กิโลเมตรต่อชั่วโมง) มีค่าเกินกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่ได้กำหนดไว้ เมื่อได้ปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงานของรถยนต์เชื้อเพลิงฟอสซิลแล้ว นำปัจจัยเหล่านั้นมาวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของปัจจัยที่จะส่งผลต่อการใช้พลังงานของรถยนต์ไฟฟ้าโดยศึกษาร่วมกับทฤษฎี ผลปรากฏว่าปัจจัยที่คาดว่าน่าจะมีผลต่อรถยนต์ไฟฟ้าได้แก่ ขนาดของมอเตอร์ไฟฟ้า (กิโลวัตต์), ความเร็วเฉลี่ย (กิโลเมตรต่อชั่วโมง), จำนวนผู้โดยสาร (คน) และสภาพการจราจร นำปัจจัยทั้งหมดเหล่านี้เป็นตัวแปรในการสร้างแบบจำลองการใช้พลังงานด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบฟัซซี จากการพัฒนาแบบจำลองการใช้พลังงานของรถยนต์เชื้อเพลิงฟอสซิลได้ทำการเรียนรู้ข้อมูลและสร้างแบบจำลองการใช้พลังงานด้วยอินพุทจำนวน 6 อินพุท ทำให้ได้กฎฟัซซีจำนวน 5,400 กฎความเป็นไปได้ และแบบจำลองการใช้พลังงานของรถนต์ไฟฟ้าด้วย

อินพุทจำนวน 4 อินพุท ทำให้กฎฟัซซีจำนวน 180 กฎความเป็นไปได้ ทั้งนี้ได้ทำการคัดเลือกรูปแบบความเป็นสมาชิกโดยเลือกรูปแบบเกาส์เซียนและค่าความเป็นสมาชิกจากค่าสูงสุดของตัวเลือกในแบบสอบถาม เมื่อได้แบบจำลองทำการปรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆตามความเห็นสมควรของผู้วิจัย

เมื่อได้แบบจำลองการใช้พลังงานที่สมบรูณ์แล้ว วิเคราะห์ผลประหยัดในเชิงเศรษฐศาสตร์และสิ่งแวดล้อม โดยอ้างอิงและดัดแปลงผลการคาดการณ์จำนวนรถยนต์ไฟฟ้าสะสมจากงานวิจัยเรื่องการศึกษาการพัฒนาของเทคโนโลยียานยนต์ไฟฟ้า และผลกระทบที่เกิดขึ้นสำหรับประเทศไทย มจพ. โดยแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 3 สถานการณ์ได้แก่ สถานการณ์ทั่วไป, สถานการณ์ที่มีความเป็นไปได้ และสถานการณ์เกินความคาดหมาย ตามแผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปีของกระทรวงพลังงาน

ที่สถานการณ์ทั่วไปจากการคาดการณ์ปริมาณรถยนต์ไฟฟ้าสะสมในปี พ.ศ. 2573 มีจำนวนรถยนต์นั่งส่วนบุคคลไฟฟ้าสะสม 5,347 คัน จะสามารถประหยัดพลังงาน 153,979 จิกะจูล คิดเป็นมูลค่าการประหยัดพลังงาน 84 ล้านบาท สามารถลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ 10,710,019 กิโลกรัมเทียบเท่าคาร์บอนไดออกไซด์ มีจำนวนรถยนต์บริการสาธารณะไฟฟ้าสะสม 70 คัน จะสามารถประหยัดพลังงาน 19,124 จิกะจูล คิดเป็นมูลค่าการประหยัดพลังงาน 6 ล้านบาท สามารถลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ 1,384,106 กิโลกรัมเทียบเท่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ที่สถานการณ์ที่มีความเป็นไปได้จากการคาดการณ์ปริมาณรถยนต์ไฟฟ้าสะสมในปี พ.ศ. 2573 มีจำนวนรถยนต์นั่งส่วนบุคคลไฟฟ้าสะสม 376,004 คัน จะสามารถประหยัดพลังงาน 10,625,600 จิกะจูล คิดเป็นมูลค่าการประหยัดพลังงาน 5,848 ล้านบาท สามารถลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ 739,066,498 กิโลกรัมเทียบเท่าคาร์บอนไดออกไซด์ มีจำนวนรถยนต์บริการสาธารณะไฟฟ้าสะสม 4,834 คัน จะสามารถประหยัดพลังงาน 1,318,841 จิกะจูล คิดเป็นมูลค่าการประหยัดพลังงาน 275 ล้านบาท สามารถลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ 95,449,291 กิโลกรัมเทียบเท่าคาร์บอนไดออกไซด์

ที่สถานการณ์เกินความคาดหมายจากการคาดการณ์ปริมาณรถยนต์ไฟฟ้าสะสมในปี พ.ศ. 2573 มีจำนวนรถยนต์นั่งส่วนบุคคลไฟฟ้าสะสม 571,092 คัน จะสามารถประหยัดพลังงาน 15,849,555 จิกะจูล คิดเป็นมูลค่าการประหยัดพลังงาน 8,768 ล้านบาท สามารถลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 1,102,420,158 กิโลกรัมเทียบเท่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มีจำนวนรถยนต์บริการสาธารณะไฟฟ้าสะสม 7,346 คัน จะสามารถประหยัดพลังงาน 1,959,532 จิกะจูล คิดเป็น

มูลค่าการประหยัดพลังงาน 403 ล้านบาท สามารถลดการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ได้ 141,818,395 กิโลกรัมเทียบเท่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ทั้งนี้ค่าผลการประหยัดขึ้นอยู่กับเงื่อนไขของปัจจัยที่ใช้ในการวิเคราะห์ โดยเงื่อนไขการแทนที่ของรถยนต์นั่นส่วนบุคคลเป็นรถยนต์นั่งส่วนบุคคลไฟฟ้า ใช้เงื่อนไขที่ได้จากฐานนิยมจากสถิติที่ได้จากการเก็บข้อมูลได้แก่ รถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงเป็นน้ำมันเบนซิน ที่ขนาดเครื่องยนต์อยู่ระหว่าง 1,600-1,800 ซีซี และรถยนต์นั้นมีอายุมากกว่า 7 ปีขึ้นไป นำมาเปลี่ยนเป็นรถยนต์ไฟฟ้าเมื่อเทียบขนาดเครื่องยนต์ที่เป็นขนาดกำลังมอเตอร์ 60 กิโลวัตต์ โดยมีการใช้งานในระยะทางสะสมที่เท่ากันไม่น้อยกว่า 14,000 กิโลเมตรต่อปี และรถยนต์บริการสาธารณะที่ใช้เชื้อเพลิงเป็นก๊าซธรรมชาติที่ขนาดเครื่องยนต์เท่ากับ 1,800 ซีซี และรถยนต์นั้นมีอายุมากกว่า 9 ปีขึ้นไป นำมาเปลี่ยนเป็นรถยนต์บริการสาธารณะไฟฟ้าเมื่อเทียบขนาดเครื่องยนต์ที่เป็นขนาดกำลังมอเตอร์ 70 - 80 กิโลวัตต์ โดยมีการใช้งานในระยะทางสะสมที่เท่ากันไม่น้อยกว่า 93,500 กิโลเมตรต่อปี โดยที่ตัวแปรอื่นเช่นความเร็วเฉลี่ยตลอดจนสภาพการจราจรได้มีการสุ่มความเป็นไปได้ของสถานการณ์จำลองทุกสถานการณ์ที่มีความเป็นไปได้ในการเกิดขึ้นจริงบนท้องถนนเพื่อให้ข้อมูลและผลลัพธ์ที่ได้มีความเสมือนจริงมากที่สุด

จากผลประหยัดทางพลังงานและการลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ตามการคาดการณ์จำนวนรถยนต์นั่งส่วนบุคคลไฟฟ้าและรถยนต์บริการสาธารณะไฟฟ้าสะสมในแต่ละสถานการณ์ 3 สถานการณ์ พิจารณาตามเงื่อนไขข้างต้นส่งผลให้เห็นผลประหยัดการใช้พลังงาน การลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และสามารถคาดการณ์การใช้พลังงานไฟฟ้าในภาคครัวเรือนเนื่องจากการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้า และเพื่อสนุบสนุนการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าผู้วิจัยได้ทำการศึกษาสถานการณ์จำลอง โดยการสนับสนุนจากภาครัฐคิดเป็นร้อยละ 15, 20 และ 25 ตามเงื่อนไขที่กำหนดเพื่อสร้างแรงจูงใจในการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้า

5.2 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัย

ในการวิจัยเรื่องการศึกษาผลกระทบของยานยนต์ไฟฟ้าประเภทรถยนต์ต่อการใช้พลังงานของประเทศไทย โดยประยุกต์นำการสร้างแบบจำลองของวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบฟัซซีมาช่วยในการทำนายประสิทธิภาพการใช้พลังงานของรถยนต์เชื้อเพลิงฟอสซิล (รถยนต์นั่งส่วนบุคคลและรถยนต์บริการสาธารณะ) เมื่อมีการแทนที่ด้วยรถยนต์ไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ ยังสามารถทำการพัฒนาและศึกษาวิจัยต่อได้เช่น

- การศึกษาจำนวนที่ตั้งและความเหมาะสมของสถานีชาร์ตพลังงานไฟฟ้าสำหรับรถยนต์ไฟฟ้า เพื่อรองรับการนำรถยนต์ไฟฟ้ามาใช้งานในประเทศไทย
- ศึกษาผลกระทบต่อความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าในภาพรวมของทั้งประเทศเมื่อมีการนำรถยนต์ไฟฟ้าเข้ามาใช้งานในประเทศ
- ศึกษาเทคโนโลยีของแบตเตอรี่ที่เป็นแหล่งให้พลังงานของรถยนต์ไฟฟ้า เพื่อเพิ่มความสามารถในการใช้งานของรถยนต์ไฟฟ้าให้มีระยะการวิ่งสะสมได้ไกลขึ้น

รายการอ้างอิง

หนังสือและบทความในหนังสือ

ประณต กุลประสูตร. (2551). *ทฤษฎีเครื่องยนต์เบนซิน* (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประณต กุลประสูตร. (2533). *เครื่องยนต์เล็ก (ก๊าซโซลีน ดีเซล และก๊าซเหลว).* กรุงเทพฯ : โครงการสนับสนุนเทคนิคอุตสาหกรรม สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)

ศิริชัย กาญจนวาสี. (2550). *สถิติประยุกต์สำหรับการวิจัย = Applied statistics for behavioral research* (พิมพ์ครั้งที่ 5). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ธานินทร์ ศิลป์จารุ. (2551). *การวิจัยและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วย SPSS* (พิมพ์ครั้งที่ 9).กรุงเทพฯ : ห้างหุ้นส่วนสามัญ บิสซิเนสอาร์แอนด์ดี.

วรรณี แกมเกตุ. (2551). *วิธีวิทยาการวิจัยทางพฤติกรรมศาสตร์ = Research methodology in behavioral sciences* (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อังคีย์ ศรีภคากร และ กิตติพันธุ์ เตชะกิตติโรจน์. (2556). *ยานยนต์ไฟฟ้า พื้นฐานการทำงานและการออกแบบ* (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

International Energy Agency. (2011). “Technology roadmap: Electric and Plug-in Hybrid Electric Vehicles” Retrieved from http://www.iea.org/.

บทความ

พีรวัฒน์ สายสิริรัตน์, มานิดา ทองรุณ และ นุวงศ์ ชลคุป. (2555). การวิเคราะห์ทัศนภาพจากการขยายตัวของเทคโนโลยียานยนต์ไฟฟ้า: กรณีศึกษาสำหรับภาคการขนส่งทางถนนในกรุงเทพมหานคร.สืบค้นเมื่อ 20 ธันวาคม 2558, จาก http://www.tci-thaijo.org/index.php/scimsujournal/article/view/19431/17070

ปริญญานิพนธ์

ตะวัน รัตนพงศ์. (2556). *ปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกซื้อรถยนต์ยี่ห้อต่างๆของประชาชน ในอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา.* (ปริญญานิพนธ์บัณฑิต), มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, คณะเศรษฐศาสตร์.

วิทยานิพนธ์

วรมน อุ่นบางหลวง. (2552). *การพยากรณ์ผลจากการแทรกแซงของรถยนต์ไฮเบิดแบบชาร์ตไฟฟ้าต่อระบบไฟฟ้าในจังหวัดออนทาริโอ.* (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต), มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, คณะวิศวกรรมศาสตร์.

ชวลิต คงศักดิ์ไพบูลย์. (2551). *การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้รถยนต์ไฮบริดเพื่อประหยัดพลังงานในประเทศไทย*. (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต), มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, คณะเศรษฐศาสตร์.

มาณวิการ รัตนะ. (2556*). แบบจำลองการประหยัดพลังงานในอุตสาหกรรมประเภทผลิตภัณฑ์โลหะเครื่องจักรและอุปกรณ์โดยวิธีฟัซซี่ลอจิกและวิธีการวิเคราะห์ความถดถอด.* (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต), มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, วิศวกรรมศาสตร์.

ภาณุวัฒน์ เทียนศรี. (2552). *มูลค่าความเสียหายจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องในกลุ่มโรงงานอุตสาหกรรมด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบฟัซซี่*, (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต), มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, คณะวิศวกรรมศาสตร์.

ณรงค์กรณ์ อุทาทิพย์. (2553). *มูลค่าความเสียหายจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องของกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทอุตสาหกรรมอาหารในประเทศไทยด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบฟัซซี่*, (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต), มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, คณะวิศวกรรมศาสตร์.

อภิสิทธิ์ สุขยอด. (2556). *มูลค่าความเสียหายจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องของกลุ่มพาณิชยกรรมในประเทศไทยด้วยวิธีฟัซซีลอจิก.* (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต), มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, คณะวิศวกรรมศาสตร์.

งานวิจัยทางวิชาการ

ยศพงษ์ ลออนวล และคณะ. (2555). การศึกษาการพัฒนาของเทคโนโลยียานยนต์ไฟฟ้าและผลกระทบที่เกิดขึ้นสำหรับประเทศไทย. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี(มจธ.) และ ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC).

บทความที่ตีพิมพ์ในวารสาร

Amir, F.N.; Abdul, M. (2015). “Uncertainty and Differencesin GHG Emissions between Electric and Conventional Gasoline Vehicles with Implications for Transport Policy Making” Energy Policy, Sciencedirect on Volume: 87, December 2015, Pages 1–7.

Clemens, L.; Ricardo, F.; David, A.; Cussons, B.; Lytton, L. (2011). “Comparative analysis of the energy consumption and CO_2 emissions of 40 electric, plug-in hybrid electric, hybrid electric and internal combustion engine vehicles” Transportation Research Part D: Transport and Environment, Sciencedirect on Volume: 23, August 2013, Pages 12–19.

Howey, D.A.; Martinez-Botas, R.F.; Cussons, B.; Lytton, L. (2011). “Comparative measurements of the energy consumption of 51 electric, hybrid and internal combustion engine vehicles” Transportation Research Part D, Sciencedirect on Volume: 16, Issue: 6, August 2011, Pages 459–464.

Oriol, T.; Marti, R.; Eric, J. (2015). “Transport energy consumption in mountainous roads. A comparative case study for internal combustion engines and electric vehicles in Andorra” Transportation Research Part D: Transport and Environment, Sciencedirect on Volume: 34, January 2015, Pages 16–26.

Rui, Z.; Enjian, Y. (2015). “Electric vehicles’ energy consumption estimation with real driving condition data” Transportation Research Part D: Transport and Environment, Sciencedirect on Volume: 41, December 2015, Pages 177–187.

Somayeh, H.; Mohammad A.S.; Syed M. (2015). “Real-time charging coordination of plug- in electric vehicles based onhybrid fuzzy discrete particle swarm optimization” Electric Power Systems Research, Sciencedirect on Volume: 128, November 2015, Pages 19–29.

Stefan, B.; Achim, K.; Dennis, G. (2015). “Developments of CO_2-emissions and costs for small electric and combustion engine vehicles in Germany” Transportation Research Part D: Transport and Environment, Sciencedirect on Volume: 36, May 2015, Pages 138–151.

Zhengdong, Y.; Ye, W. (2012). “Projection of automobile energy consumption and CO_2 emissions with different propulsion/fuel system scenarios in Beijing” Remote Sensing, Environment and Transportation Engineering (RSETE), 2012 2nd International Conference on 1-3 June 2012, Page(s): 1 – 4.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
ตัวอย่างแบบสอบถามรถยนต์นั่งส่วนบุคคลและรถยนต์บริการสาธารณะ

แบบสอบถามข้อมูลการใช้งานและพลังงานของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล

คำชี้แจง

แบบสอบถามฉบับนี้จัดทำขึ้นเพื่อเก็บข้อมูลการใช้งานและพลังงานของยานพาหนะในกรุงเทพและปริมณฑล ซึ่งข้อมูลจากท่านจะมีประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับการวิจัยและการนำผลไปใช้ประโยชน์ในโครงการ การพัฒนาแบบจำลองการใช้พลังงานในระดับผู้ใช้ (End – use model) เพื่อคาดการณ์การใช้พลังงานและวิเคราะห์นโยบายในภาคขนส่ง ซึ่งเป็นโครงการในความร่วมมือระหว่างสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน และคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ เพื่อนำไปเป็นข้อมูลในการทำนายการใช้พลังงานยานยนต์และยานยนต์ไฟฟ้าของภาคขนส่งในอนาคต จึงขอความกรุณาให้ท่านตอบตามความรู้สึกที่แท้จริง บนพื้นฐานของข้อเท็จจริงที่ท่านได้ใช้สอยรถ

การประมวลผลจะนำเสนอในภาพรวม โดยปราศจากรายละเอียดของข้อมูลที่อาจชี้ตัวผู้ตอบได้ การตอบแบบสอบถามฉบับนี้จึงไม่มีผลกระทบแก่ท่านในทางเสื่อมเสีย คณะผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าจะได้รับข้อมูลที่เป็นประโยชน์จากท่าน และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

กรุณาทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่อง ☐ และเติมคำตอบลงในช่องว่างตามความเป็นจริง

ส่วนที่ 1 ข้อมูลเบื้องต้นของผู้ตอบแบบสอบถาม

1. เพศ ☐ 1) ชาย ☐ 2) หญิง
2. อายุ ☐ 1) ต่ำกว่า20 ปี ☐ 2) 20 -30 ปี ☐ 3) 31-40 ปี ☐4) 41-50 ปี ☐ 5) 51 ปีขึ้นไป
3. ระดับการศึกษา ☐ 1) ต่ำกว่าปริญญาตรี ☐ 2) ปริญญาตรี ☐ 3) ปริญญาโท ☐ 4) ปริญญาเอก
4. รายได้ต่อเดือน ☐ 1) น้อยกว่า 10,000บาท ☐ 2) 10,001 – 20,000 บาท ☐ 3) 20,001 – 30,000 บาท
   ☐ 4) 30,001 – 50,000 บาท ☐ 5) มากกว่า 50,000 บาท โปรดระบุ .....
5. จำนวนคนในครอบครัว ☐ 1) 1 คน ☐ 2) 2 คน ☐ 3) 3 คน ☐ 4) 4 คน
   ☐ 5) มากกว่า 4 คน โปรดระบุ .....
6. จำนวนรถยนต์นั่งส่วนบุคคล ☐ 1) 1 คัน ☐ 2) 2 คัน ☐ 3) 3 คัน ☐ 4) 4 คัน
   ☐ 5) มากกว่า 4 คัน โปรดระบุ .....
7. สถานที่พัก รหัสไปรษณีย์ ..... จังหวัด
   ☐ 1) กรุงเทพมหานคร ☐ 2) สมุทรปราการ ☐ 3) นนทบุรี
   ☐ 4) ปทุมธานี ☐ 5) อื่นๆ โปรดระบุ .....
8. สถานที่ทำงาน รหัสไปรษณีย์ ..... จังหวัด
   ☐ 1) กรุงเทพมหานคร ☐ 2) สมุทรปราการ ☐ 3) นนทบุรี
   ☐ 4) ปทุมธานี ☐ 5) อื่นๆ โปรดระบุ .....

ส่วนที่ 2 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับรถยนต์นั่งส่วนบุคคล

1. ยี่ห้อรถ..... รุ่น..... อายุรถยนต์ของท่าน ..... ปี
2. ขนาดเครื่องยนต์ ☐ 1) ไม่เกิน 1,300ซีซี ☐ 2) 1,300 – 1,600 ซีซี ☐ 3) 1,601 – 1,800 ซีซี
   ☐ 4) 1,801 – 2,000 ซีซี ☐ 5) 2,001 – 2,700 ซีซี ☐ 6) มากกว่า 2,700 ซีซี โปรดระบุ.....
3. เชื้อเพลิงที่ใช้ (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ) ☐ 1) น้ำมันเบนซิน (โปรดให้รายละเอียดในข้อ 3.1)
   ☐ 2) น้ำมันดีเซล (โปรดให้รายละเอียดในข้อ 3.2)
   ☐ 3) ก๊าซ /แก๊ส (โปรดให้รายละเอียดในข้อ 3.3)

3.1 เชื้อเพลิงที่ใช้น้ำมันเบนซิน

☐ 1) น้ำมันเบนซิน 91 ☐ 2) แก๊สโซฮอล์ 91 ☐ 3) แก๊สโซฮอล์ 95

☐ 4) แก๊สโซฮอล์ E20 ☐ 5) แก๊สโซฮอล์ E85 ☐6) อื่นๆ โปรดระบุ.....

3.2 เชื้อเพลิงที่ใช้น้ำมันดีเซล

☐ 1) น้ำมันดีเซล ☐ 2) น้ำมันดีเซล พรีเมี่ยม ☐ 3) ไบโอดีเซล ☐ 4) อื่นๆ โปรดระบุ.....

3.3 เชื้อเพลิงที่ใช้ก๊าซ ☐ 1) ก๊าซปิโตรเลี่ยมเหลว (LPG) ☐ 2) ก๊าซธรรมชาติ (NGV/CNG)

4 รถยนต์ของท่านมีการเติมน้ำมันเชื้อเพลิง (ครั้งต่อสัปดาห์) ☐ 1) น้อยกว่า 1 ☐ 2) 1 ☐ 3) 2 ☐ 4) 3

☐ 5) มากกว่า 4 โปรดระบุ.....

5 รถยนต์ของท่านมีการเติมน้ำมันเชื้อเพลิง (บาทต่อครั้ง) ☐ 1) น้อยกว่า 500 ☐ 2) 501-900

☐ 3) 901-1,400 ☐ 4) 1,401-1,800 ☐ 5) มากกว่า 1,800 โปรดระบุ..... (เฉพาะน้ำมันไปข้อ 11)

6 รถยนต์ของท่านมีการเติมก๊าซ (ครั้งต่อสัปดาห์) ☐ 1) 1 ☐ 2) 2 ☐ 3) 2

☐ 4) 3 ☐ 5) มากกว่า 4 โปรดระบุ.....

7 รถยนต์ของท่านมีการเติมก๊าซ (บาทต่อครั้ง) ☐ 1) น้อยกว่า100 ☐ 2) 101-300

☐ 3) 301-500 ☐ 4) 501 – 800 ☐ 5) มากกว่า 800 โปรดระบุ.....

8 รถยนต์ของท่านมีการใช้งานเป็นระยะทาง (กิโลเมตรต่อวัน) ☐ 1) น้อยกว่า 10 ☐ 2) 11-30

☐ 3) 31-60 ☐ 4) 61-80 ☐ 5) มากกว่า 80 โปรดระบุ.....

9 ท่านขับรถยนต์ความเร็วเฉลี่ย (กิโลเมตร/ชั่วโมง) ☐ 1) น้อยกว่า 30 ☐ 2) 31-60

☐ 3) 61-90 ☐ 4) 90-120 ☐ 5) มากกว่า 120 โปรดระบุ.....

10 รถยนต์ของท่านมีจำนวนผู้โดยสาร(รวมผู้ขับขี่) ☐ 1) 1 คน ☐ 2) 2 คน

☐ 3) 3 คน ☐ 4) 4 คน ☐ 5) มากกว่า 5 คนขึ้นไป โปรดระบุ.....

11 รถยนต์ของท่านมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่องปีละกี่ครั้ง ☐ 1) น้อยกว่า 1ครั้ง ☐ 2) 1 ครั้ง

☐ 3) 2 ครั้ง ☐ 4) 3 ครั้ง ☐ 5) มากกว่า 3 ครั้ง โปรดระบุ.....

12 รถยนต์ของท่านมีการใช้น้ำมันเครื่อง เป็นแบบ

☐ 1) แบบธรรมดา (เปลี่ยนทุก 5,000 กิโลเมตร) ☐ 2) แบบกึ่งสังเคราะห์ (เปลี่ยนทุก 10,000 กิโลเมตร)

☐ 3) แบบสังเคราะห์ (เปลี่ยนทุก 15,000 กิโลเมตร) ☐ 4) อื่นๆ โปรดระบุ.....

13 ช่วงเวลาใดที่ท่านใช้ยานพาหนะ เรียงจากมากไปน้อย

เวลาที่ใช้รถ	06:01-09:00	09:01-11:00	11:01-13:00	13:01-16:00	16:01-19:00	19:01-06:00	**รวม**
เปอร์เซ็นต์							**100%**

14 รถยนต์ของท่านได้เปลี่ยนยางทุกกี่ปี ☐ 1) 1ปี ☐ 2) 2 ปี ☐ 3) 3 ปี ☐ 4) 4 ปี

☐ 5) อื่นๆ โปรดระบุ.....

ส่วนที่ 3 พฤติกรรมการขับขี่รถและสภาพจราจร

1. วัตถุประสงค์หลักในการขับขี่รถของท่าน ☐ 1) ใช้ประกอบอาชีพ ☐ 2) ใช้ขับขี่ทั่วไป
   ☐ 3) ใช้ในการท่องเที่ยว ☐ 4) อื่นๆ โปรดระบุ .....
2. ความถี่ในการใช้รถของท่าน ☐ 1) 1 วัน/สัปดาห์ ☐ 2) 2 วัน/สัปดาห์
   ☐ 3) 3 วัน/สัปดาห์ ☐ 4) 4 วัน/สัปดาห์ ☐ 5) 5 วัน/สัปดาห์
   ☐ 6) มากกว่า 5 วัน/สัปดาห์โปรดระบุ .....
3. ท่านใช้รถในการเดินทางไปต่างจังหวัด ☐ 1) น้อยกว่า 1 ครั้ง/เดือน ☐ 2) 1 ครั้ง/เดือน
   ☐ 3) 2 ครั้ง/เดือน ☐ 4) 3 ครั้ง/เดือน ☐ 5) มากกว่า 3 ครั้ง/เดือน โปรดระบุ .....
4. ท่านใช้เวลาในการใช้งานยานพาหนะต่อวัน ☐ 1) น้อยกว่า 1 ชั่วโมง ☐ 2) 1 ชั่วโมง ☐ 3) 2 ชั่วโมง
   ☐ 4) 3 ชั่วโมง ☐ 5) มากกว่า 3 ชั่วโมง โปรดระบุ .....
5. สภาพจราจรที่ท่านเจอเป็นประจำ (ไปและกลับ)

สภาพจราจร	รถติดมาก (0-10กิโลเมตรต่อชั่วโมง)	รถติดปานกลาง (10-20 กิโลเมตรต่อชั่วโมง)	รถติดน้อย (20-30 กิโลเมตรต่อชั่วโมง)	รถไม่ติด (30 กิโลเมตรต่อชั่วโมงขึ้นไป)	**รวม**
เปอร์เซ็นต์					**100%**

----- ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงที่กรุณาเสียสละเวลาอันมีค่าของท่านตอบแบบสอบถาม -----

----- คณะผู้วิจัย ----

แบบสอบถามข้อมูลการใช้งานและพลังงานของรถยนต์รับจ้างสาธารณะในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล

คำชี้แจง

แบบสอบถามฉบับนี้จัดทำขึ้นเพื่อเก็บข้อมูลการใช้งานและพลังงานของยานพาหนะในกรุงเทพและปริมณฑล ซึ่งข้อมูลจากท่านจะมีประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับการวิจัยและการนำผลไปใช้ประโยชน์ในโครงการ การพัฒนาแบบจำลองการใช้พลังงานในระดับผู้ใช้ (End – use model) เพื่อคาดการณ์การใช้พลังงานและวิเคราะห์นโยบายในภาคขนส่ง ซึ่งเป็นโครงการในความร่วมมือระหว่างสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน และคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ เพื่อนำไปเป็นข้อมูลในการทำนายการใช้พลังงานยานยนต์และยานยนต์ไฟฟ้าของภาคขนส่งในอนาคต จึงขอความกรุณาให้ท่านตอบตามความรู้สึกที่แท้จริง บนพื้นฐานของข้อเท็จจริงที่ท่านได้ใช้สอยรถ

การประมวลผลจะนำเสนอในภาพรวม โดยปราศจากรายละเอียดของข้อมูลที่อาจชี้ตัวผู้ตอบได้ การตอบแบบสอบถามฉบับนี้จึงไม่มีผลกระทบแก่ท่านในทางเสื่อมเสีย คณะผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าจะได้รับข้อมูลที่เป็นประโยชน์จากท่าน และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

กรุณาทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่อง ☐ และเติมคำตอบลงในช่องว่างตามความเป็นจริง

ส่วนที่ 1 ข้อมูลเบื้องต้นของผู้ตอบแบบสอบถาม

1. เพศ ☐ 1) ชาย ☐ 2) หญิง
2. อายุ ☐ 1) 30- 20 ปี ☐ 2) 40-31 ปี ☐3) 50-41 ปี ☐ 4) 51-60 ปี ☐ 5) มากกว่า 61 ปีขึ้นไป
3. ระดับการศึกษา ☐ 1) ต่ำกว่า ม.3 ☐ 2) ม.4-ม.6 / ปวช. ☐ 3) ปวส.
   ☐ 4) ปริญญาตรี ☐ 5) สูงกว่าปริญญาตรี
4. รายได้ต่อวัน (หลังหักค่าใช้จ่าย)
   ☐ 1) น้อยกว่า 500 บาท ☐ 2) 501 – 1,000 บาท ☐ 3) 1,001 – 1,500 บาท
   ☐ 4) 1,501 – 2,000 บาท ☐ 5) มากกว่า 2,000 บาท โปรดระบุ .....
5. จำนวนคนในครอบครัว ☐ 1) 1คน ☐ 2) 2 คน ☐ 3) 3 คน ☐ 4) 4 คน
   ☐5) มากกว่า 4 คน โปรดระบุ .....
6. รถยนต์รับจ้างสาธารณะของท่านเป็นประเภทใด ☐ 1) ส่วนบุคคล ☐ 2) สหกรณ์
   ☐ 3) อื่นๆ โปรดระบุ .....
7. ค่าเช่ารถยนต์บริการสาธารณะ(ต่อรอบเวลา)..... บาท
8. ท่านให้บริการในรอบเวลาใดบ้าง ☐ 1) รอบกลางวัน ☐ 2) รอบกลางคืน ☐ 3) ทั้ง 2 รอบเวลา
9. สถานที่พัก รหัสไปรษณีย์ ..... จังหวัด
   ☐ 1) กรุงเทพมหานคร ☐ 2) สมุทรปราการ ☐ 3) นนทบุรี
   ☐ 4) ปทุมธานี ☐ 5) อื่นๆ โปรดระบุ .....
10. พื้นที่ที่ให้บริการเป็นประจำ รหัสไปรษณีย์ ..... จังหวัด
    ☐ 1) กรุงเทพมหานคร ☐ 2) สมุทรปราการ ☐ 3) นนทบุรี
    ☐ 4) ปทุมธานี ☐ 5) อื่นๆ โปรดระบุ .....

ส่วนที่ 2 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับรถยนต์บริการสาธารณะ

1. ยี่ห้อรถ.....รุ่น .....อายุรถยนต์ของท่าน .....ปี
2. ขนาดเครื่องยนต์

☐ 1) 1,301-1,600 ซีซี ☐ 2) 1,601-1,800 ซีซี ☐ 3) 1,801-2,000 ซีซี

☐ 4) 2,001-2,700 ซีซี ☐ 5) มากกว่า 2,700 ซีซี โปรดระบุ.....

3. เชื้อเพลิงที่ใช้ (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ) ☐ 1) น้ำมันเบนซิน (โปรดให้รายละเอียดในข้อ 3.1)

☐ 2) น้ำมันดีเซล (โปรดให้รายละเอียดในข้อ 3.2)

☐ 3) ก๊าซ /แก๊ส (โปรดให้รายละเอียดในข้อ 3.3)

3.1 เชื้อเพลิงที่ใช้น้ำมันเบนซิน

☐ 1) น้ำมันเบนซิน 91 ☐ 2) แก๊สโซฮอล์ 91 ☐ 3) แก๊สโซฮอล์ 95

☐ 4) แก๊สโซฮอล์ E20 ☐ 5) แก๊สโซฮอล์ E85 ☐ 6) อื่นๆ โปรดระบุ.....

3.2 เชื้อเพลิงที่ใช้น้ำมันดีเซล ☐ 1) น้ำมันดีเซล ☐ 2) น้ำมันดีเซล พรีเมี่ยม ☐ 3) ไบโอดีเซล

3.3 เชื้อเพลิงที่ใช้ก๊าซ ☐ 1) ก๊าซปิโตรเลี่ยมเหลว (LPG) ☐ 2) ก๊าซธรรมชาติ (NGV/CNG)

4. รถยนต์ของท่านมีการเติมน้ำมันเชื้อเพลิง (ครั้งต่อสัปดาห์) ☐ 1) น้อยกว่า 1 ☐ 2) 1 ☐ 3) 2 ☐ 4) 3

☐ 5) มากกว่า 4 โปรดระบุ.....

5. รถยนต์ของท่านมีการเติมน้ำมันเชื้อเพลิง (บาทต่อครั้ง) ☐ 1) น้อยกว่า 100 ☐ 2) 101-200

☐ 3) 201-400 ☐ 4) 401-600 ☐ 5) มากกว่า 600 โปรดระบุ.....

6. รถยนต์ของท่านมีการเติมก๊าซ (ครั้งต่อวัน) ☐ 1) 1 ☐ 2) 2 ☐ 3) 3 ☐ 4) 4

☐ 5) มากกว่า 4 โปรดระบุ.....

7. รถยนต์ของท่านมีการเติมก๊าซ (บาทต่อครั้ง) ☐ 1) 100 - 200 ☐ 2) 201 - 300 ☐ 3) 301 - 400

☐ 4) 401 – 500 ☐ 4) 501 – 600 ☐ 5) มากกว่า 600 โปรดระบุ.....

8. รถยนต์ของท่านมีการใช้งานเป็นระยะทาง (กิโลเมตรต่อวัน) ☐ 1) น้อยกว่า 50 ☐ 2) 51-150

☐ 3) 151 - 250 ☐ 4) 251 - 350 ☐ 5) มากกว่า 350 โปรดระบุ.....

9. ท่านขับรถยนต์ความเร็วเฉลี่ย (กิโลเมตร/ชั่วโมง) ☐ 1) น้อยกว่า 30 ☐ 2) 31-60

☐ 3) 61-90 ☐ 4) 90-120 ☐ 5) มากกว่า 120 โปรดระบุ.....

10. รถยนต์ของท่านมีจำนวนผู้โดยสาร ☐ 1) 1 คน ☐ 2) 2 คน ☐ 3) 3 คน

☐ 4) 4 คน ☐ 5) มากกว่า 4 คนขึ้นไป โปรดระบุ.....

11. รถยนต์ของท่านมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่องปีละกี่ครั้ง ☐ 1) น้อยกว่า 1ครั้ง ☐ 2) 1 ครั้ง

☐ 3) 2 ครั้ง ☐ 4) 3 ครั้ง ☐ 5) มากกว่า 3 ครั้ง โปรดระบุ.....

12. รถยนต์ของท่านมีการใช้น้ำมันเครื่อง เป็นแบบ

☐ 1) แบบธรรมดา (เปลี่ยนทุก 5,000 กิโลเมตร) ☐ 2) แบบกึ่งสังเคราะห์ (เปลี่ยนทุก 10,000 กิโลเมตร)

☐ 3) แบบสังเคราะห์ (เปลี่ยนทุก 15,000 กิโลเมตร) ☐ 4) อื่นๆ โปรดระบุ.....

13. ช่วงเวลาใดที่ท่านใช้ยานพาหนะ เรียงจากมากไปน้อย

เวลาที่ใช้รถ	06:01-09:00	09:01-11:00	11:01-13:00	13:01-16:00	16:01-19:00	19:01-06:00	**รวม**
เปอร์เซ็นต์							**100%**

14. รถยนต์ของท่านได้เปลี่ยนยางทุกกี่ปี ☐ 1) 1ปี ☐ 2) 2 ปี ☐ 3) 3 ปี

☐ 4) 4 ปี ☐ 5) อื่นๆ โปรดระบุ.....

ส่วนที่ 3 พฤติกรรมการขับขี่รถและสภาพจราจร

1. วัตถุประสงค์หลักในการขับขี่รถของท่าน ☐ 1) ใช้ประกอบอาชีพ ☐ 2) ใช้ขับขี่ทั่วไป
   ☐ 3) ใช้ในการท่องเที่ยว ☐ 4) อื่นๆ โปรดระบุ .....

2. ความถี่ในการใช้รถของท่าน ☐ 1) 1 วัน/สัปดาห์ ☐ 2) 2 วัน/สัปดาห์ ☐ 3) 3 วัน/สัปดาห์
   ☐ 4) 4 วัน/สัปดาห์ ☐ 5) 5 วัน/สัปดาห์ ☐ 6) มากกว่า 5 วัน/สัปดาห์โปรดระบุ .....

3. ท่านใช้เวลาในการใช้งานยานพาหนะต่อรอบ ☐ 1) น้อยกว่า 3 ชั่วโมง ☐ 2) 3 – 6 ชั่วโมง
   ☐ 3) 6 - 9 ชั่วโมง ☐ 4) 9 - 12 ชั่วโมง ☐ 5) มากกว่า 12 ชั่วโมง โปรดระบุ .....

4. สภาพจราจรที่ท่านเจอเป็นประจำ (ไปและกลับ)

สภาพจราจร	รถติดมาก (0-10กิโลเมตรต่อชั่วโมง)	รถติดปานกลาง (10-20 กิโลเมตรต่อชั่วโมง)	รถติดน้อย (20-30 กิโลเมตรต่อชั่วโมง)	รถไม่ติด (30 กิโลเมตรต่อชั่วโมงขึ้นไป)	**รวม**
เปอร์เซ็นต์					**100%**

----- ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงที่กรุณาเสียสละเวลาอันมีค่าของท่านตอบแบบสอบถาม -----

----- คณะผู้วิจัย ----

ภาคผนวก ข
ผลจากการสำรวจและแบบจำลองของรถยนต์เชื้อเพลิงฟอสซิล

ผลการสำรวจรถยนต์นั่งส่วนบุคคล

เมื่อทำการลงพื้นที่เพื่อเก็บข้อมูลของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลในเขตกรุงเทพฯและปริมณฑล โดยแบบสอบถามที่คลอบคลุมประกอบด้วยข้อมูลในเชิงวิศวกรรมและการสำรวจพฤติกรรมการใช้งานของรถยนต์นั่งส่วนบุคคล มีผู้ทำแบบสำรวจของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลจำนวน 424 ตัวอย่าง โดยข้อมูลดังกล่าวสามารถแจกแจงได้ดังตาราต่อไปนี้

ตารางที่ ข.1

รายละเอียดเพศของผู้ตอบแบบสอบถาม

เพศ	ความถี่	ร้อยละ	ร้อยละสะสม
เพศชาย	227	53.5	53.5
เพศหญิง	197	46.5	100.0
รวมทั้งหมด	424	100.0	

ตารางที่ ข.2

รายละเอียดอายุของผู้ตอบแบบสอบถาม

อายุ	ความถี่	ร้อยละ	ร้อยละสะสม
น้อยกว่า 20 ปี	20	4.7	4.7
20-30 ปี	96	22.6	27.4
31-40 ปี	121	28.5	55.9
41-50 ปี	127	30.0	85.8
มากกว่า 50 ปี	60	14.2	100.0
รวมทั้งหมด	424	100.0	

ตารางที่ ข.3

รายละเอียดระดับการศึกษาของผู้ตอบแบบสอบถาม

ระดับการศึกษา	ความถี่	ร้อยละ	ร้อยละสะสม
ต่ำกว่าปริญญาตรี	107	25.2	25.2
ปริญญาตรี	216	50.9	76.2
ปริญญาโท	93	21.9	98.1
ปริญญาเอก	8	1.9	100.0
รวมทั้งหมด	424	100.0	

ตารางที่ ข.4

รายละเอียดระดับเงินเดือนของผู้ตอบแบบสอบถาม

ระดับเงินเดือน	ความถี่	ร้อยละ	ร้อยละสะสม
ต่ำกว่า 10,000 บาท	25	5.9	5.9
10,001 - 20,000 บาท	104	24.5	30.4
20,001 – 30,000 บาท	93	21.9	52.4
30,001 – 50,000 บาท	112	26.4	78.8
สูงกว่า 50,000 บาท	90	21.2	100.0
รวมทั้งหมด	424	100.0	

ตารางที่ ข.5

รายละเอียดจำนวนผู้ร่วมอาศัยในครอบครัวของผู้ตอบแบบสอบถาม

จำนวนผู้ร่วมอาศัยในครอบครัว	ความถี่	ร้อยละ	ร้อยละสะสม
1 คน	93	21.9	21.9
2 คน	86	20.3	42.2
3 คน	85	20.0	62.3
4 คน	97	22.9	85.1
มากกว่า 4 คน	63	14.9	100.0
รวมทั้งหมด	424	100.0	

ตารางที่ ข.6

รายละเอียดจำนวนรถยนต์ในครอบครัวของผู้ตอบแบบสอบถาม

จำนวนรถยนต์ในครอบครัว	ความถี่	ร้อยละ	ร้อยละสะสม
1 คัน	256	60.4	60.4
2 คัน	109	25.7	86.1
3 คัน	31	7.3	93.4
4 คัน	19	4.5	97.9
มากกว่า 4 คัน	9	2.1	100.0
รวมทั้งหมด	424	100.0	

ตารางที่ ข.7

รายละเอียดพื้นที่ที่อยู่อาศัยของผู้ตอบแบบสอบถาม

พื้นที่ที่อยู่อาศัย	ความถี่	ร้อยละ	ร้อยละสะสม
กรุงเทพมหานคร	215	50.7	50.7
สมุทรปราการ	28	6.6	57.3
นนทบุรี	51	12.0	69.3
ปทุมธานี	101	23.8	93.2
พื้นที่อื่นในเขตปริมณฑล	29	6.8	100.0
รวมทั้งหมด	424	100.0	

ตารางที่ ข.8

รายละเอียดพื้นที่ที่ทำงานของผู้ตอบแบบสอบถาม

พื้นที่ที่ทำงาน	ความถี่	ร้อยละ	ร้อยละสะสม
กรุงเทพมหานคร	296	69.8	69.8
สมุทรปราการ	15	3.5	73.3
นนทบุรี	16	3.8	77.1
ปทุมธานี	66	15.6	92.7
พื้นที่อื่นในเขตปริมณฑล	31	7.3	100.0
รวมทั้งหมด	424	100.0	

ตารางที่ ข.9

รายละเอียดอายุรถยนต์ของผู้ตอบแบบสอบถาม

อายุของรถยนต์	ความถี่	ร้อยละ	ร้อยละสะสม
1 ปี	42	9.9	10.0
2 ปี	61	14.4	24.4
3 ปี	71	16.7	41.2
4 ปี	62	14.6	55.9
5 ปี	50	11.8	67.8
6 ปี	27	6.4	74.2
7 ปี	17	4.0	78.2
8 ปี	21	5.0	83.2
9 ปี	5	1.2	84.4
10 ปี	27	6.4	90.8
11 ปี	3	0.7	91.5
12 ปี	5	1.2	92.7
13 ปี	3	0.7	93.4
14 ปี	4	0.9	94.3
15 ปี	13	3.1	97.4
17 ปี	2	0.5	97.9
18 ปี	2	0.5	98.3
20 ปี	4	0.9	99.3
22 ปี	1	0.2	99.5
23 ปี	1	0.2	99.8
25 ปี	1	0.2	100.0
รวมทั้งหมด	424	100.0	

ตารางที่ ข.10

รายละเอียดขนาดของเครื่องยนต์ของรถยนต์ผู้ตอบแบบสอบถาม

ขนาดของเครื่องยนต์	ความถี่	ร้อยละ	ร้อยละสะสม
ต่ำกว่า 1,300 ซีซี	30	7.1	7.1
1,300 – 1,600 ซีซี	158	37.3	44.3
1,601 – 1,800 ซีซี	49	11.6	55.9
1,800 – 2,000 ซีซี	54	12.7	68.6
2,001 – 2,700 ซีซี	96	22.6	91.3
สูงกว่า 2,700 ซีซี	37	8.7	100.0
รวมทั้งหมด	424	100.0	

ตารางที่ ข.11

รายละเอียดชนิดเชื้อเพลิงที่ใช้ของรถยนต์ผู้ตอบแบบสอบถาม

ชนิดเชื้อเพลิง	ความถี่	ร้อยละ	ร้อยละสะสม
น้ำมันเบนซิน	238	56.1	56.1
น้ำมันดีเซล	110	25.9	82.1
LPG	55	13.0	95.0
CNG	21	5.0	100.0
รวมทั้งหมด	424	100.0	

ตารางที่ ข.12

รายละเอียดชนิดเชื้อเพลิงเบนซินที่ใช้กับรถยนต์ผู้ตอบแบบสอบถาม

ชนิดเชื้อเพลิงเบนซิน	ความถี่	ร้อยละ	ร้อยละสะสม
Gasoline91	38	12.1	12.1
Gasohol 91	68	21.7	33.8
Gasohol 95	111	35.4	69.1
Gasohol E20	73	23.2	92.4
Gasohol E85	24	7.6	100.0
รวมทั้งหมด	314	100.0	

ตารางที่ ข.13

รายละเอียดชนิดเชื้อเพลิงดีเซลที่ใช้กับรถยนต์ผู้ตอบแบบสอบถาม

ชนิดเชื้อเพลิงดีเซล	ความถี่	ร้อยละ	ร้อยละสะสม
น้ำมันดีเซล	68	61.8	61.8
น้ำมันดีเซล พรีเมี่ยม	41	37.3	99.1
ไบโอดีเซล	1	0.9	100.0
รวมทั้งหมด	110	100.0	

ตารางที่ ข.14

รายละเอียดการเติมน้ำมันเชื้อเพลิงรถยนต์ผู้ตอบแบบสอบถาม

การเติมน้ำมันเชื้อเพลิง	ความถี่	ร้อยละ	ร้อยละสะสม
น้อยกว่า 1 ครั้งต่อสัปดาห์	64	15.1	15.1
1 ครั้งต่อสัปดาห์	197	46.5	61.6
2 ครั้งต่อสัปดาห์	121	28.5	90.1
3 ครั้งต่อสัปดาห์	36	8.5	98.6
มากกว่า 3 ครั้งต่อสัปดาห์	6	1.4	100.0
รวมทั้งหมด	424	100.0	

ตารางที่ ข.15

รายละเอียดอัตราการเติมน้ำมันเชื้อเพลิงรถยนต์ผู้ตอบแบบสอบถาม

อัตราการเติมน้ำมันเชื้อเพลิง	ความถี่	ร้อยละ	ร้อยละสะสม
น้อยกว่า 500 บาทต่อครั้ง	17	4.0	4.0
501 - 900 บาทต่อครั้ง	192	45.3	49.4
901 - 1400 บาทต่อครั้ง	170	40.1	89.6
1401 - 1800 บาทต่อครั้ง	39	9.2	98.8
มากกว่า 1800 บาทต่อครั้ง	6	1.2	100.0
รวมทั้งหมด	424	100.0	

ตารางที่ ข.16

รายละเอียดการเติมก๊าซเชื้อเพลิงรถยนต์ผู้ตอบแบบสอบถาม

การเติมก๊าซเชื้อเพลิง	ความถี่	ร้อยละ	ร้อยละสะสม
1 ครั้งต่อสัปดาห์	15	19.7	19.7
2 ครั้งต่อสัปดาห์	17	22.4	42.1
3 ครั้งต่อสัปดาห์	9	11.8	53.9
4 ครั้งต่อสัปดาห์	31	40.8	94.7
มากกว่า 4 ครั้งต่อสัปดาห์	4	5.3	100.0
รวมทั้งหมด	76	100.0	

ตารางที่ ข.17

รายละเอียดอัตราการเติมก๊าซเชื้อเพลิงรถยนต์ผู้ตอบแบบสอบถาม

อัตราการเติมก๊าซเชื้อเพลิง	ความถี่	ร้อยละ	ร้อยละสะสม
น้อยกว่า 100 บาทต่อครั้ง	4	5.3	5.3
101 - 300 บาทต่อครั้ง	20	26.3	31.6
301 - 500 บาทต่อครั้ง	20	26.3	57.9
501 - 800 บาทต่อครั้ง	30	39.5	97.4
มากกว่า 800 บาทต่อครั้ง	2	2.6	100.0
รวมทั้งหมด	76	100.0	

ตารางที่ ข.18

รายละเอียดระยะทางเฉลี่ยที่ใช้ของรถยนต์ผู้ตอบแบบสอบถาม

ระยะทางเฉลี่ย	ความถี่	ร้อยละ	ร้อยละสะสม
ต่ำกว่า 10 กิโลเมตรต่อวัน	34	8.0	8.0
11 - 30 กิโลเมตรต่อวัน	71	16.7	24.8
31 - 60 กิโลเมตรต่อวัน	155	36.6	61.3
61 - 80 กิโลเมตรต่อวัน	120	28.3	89.6
มากกว่า 80 กิโลเมตรต่อวัน	44	10.4	100.0
รวมทั้งหมด	424	100.0	

ตารางที่ ข.19

รายละเอียดความเร็วเฉลี่ยที่ใช้ของรถยนต์ผู้ตอบแบบสอบถาม

ความเร็วเฉลี่ย	ความถี่	ร้อยละ	ร้อยละสะสม
ต่ำกว่า 30 กิโลเมตรต่อชั่วโมง	3	0.7	0.7
31 - 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง	36	8.5	9.2
61 - 90 กิโลเมตรต่อชั่วโมง	197	46.5	55.7
90 - 120 กิโลเมตรต่อชั่วโมง	182	42.9	98.6
สูงกว่า 120 กิโลเมตรต่อชั่วโมง	6	1.4	100.0
รวมทั้งหมด	424	100.0	

ตารางที่ ข.20

รายละเอียดจำนวนผู้โดยสารของรถยนต์ผู้ตอบแบบสอบถาม

จำนวนผู้โดยสาร*	ความถี่	ร้อยละ	ร้อยละสะสม
1 คน	159	37.5	37.5
2 คน	168	39.6	77.1
3 คน	52	12.3	89.4
4 คน	38	9.0	98.3
มากกว่า 4 คน	7	1.7	100.0
รวมทั้งหมด	424	100.0	

***รวมผู้ขับขี่**

ตารางที่ ข.21

รายละเอียดจำนวนการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่องของรถยนต์ผู้ตอบแบบสอบถาม

จำนวนการเปลี่ยนถ่าย น้ำมันเครื่อง	ความถี่	ร้อยละ	ร้อยละสะสม
น้อยกว่า 1 ครั้งต่อปี	23	5.4	5.4
1 ครั้งต่อปี	106	25.0	30.4
2 ครั้งต่อปี	182	42.9	73.3
3 ครั้งต่อปี	88	20.8	94.1
4 ครั้งต่อปี	25	5.9	100.0
รวมทั้งหมด	424	100.0	

ตารางที่ ข.22

รายละเอียดชนิดของน้ำมันเครื่องที่ใช้กับรถยนต์ผู้ตอบแบบสอบถาม

ชนิดของน้ำมันเครื่อง	ความถี่	ร้อยละ	ร้อยละสะสม
แบบธรรมดา	63	14.9	14.9
แบบกึ่งสังเคราะห์	277	65.3	80.2
แบบสังเคราะห์	84	19.8	100.0
รวมทั้งหมด	424	100.0	

ตารางที่ ข.23

รายละเอียดความถี่ในการเปลี่ยนยางของรถยนต์ผู้ตอบแบบสอบถาม

จำนวนการเปลี่ยนยาง	ความถี่	ร้อยละ	ร้อยละสะสม
1 ปีต่อครั้ง	35	8.3	8.3
2 ปีต่อครั้ง	169	40.0	48.2
3 ปีต่อครั้ง	160	37.8	86.1
4 ปีต่อครั้ง	47	11.1	97.2
มากกว่า 4 ปีต่อครั้ง	12	2.8	100.0
รวมทั้งหมด	424	100.0	

ตารางที่ ข.24

รายละเอียดจุดประสงค์การใช้งานของรถยนต์ผู้ตอบแบบสอบถาม

จุดประสงค์	ความถี่	ร้อยละ	ร้อยละสะสม
ใช้ประกอบอาชีพ	164	38.7	38.7
ใช้ขับขี่ทั่วไป	252	59.4	98.1
ใช้ในการท่องเที่ยว	8	1.9	100.0
รวมทั้งหมด	424	100.0	

ตารางที่ ข.25

รายละเอียดความถี่ในการใช้งานของรถยนต์ผู้ตอบแบบสอบถาม

ความถี่ในการใช้งาน	ความถี่	ร้อยละ	ร้อยละสะสม
1 วันต่อสัปดาห์	12	2.8	2.8
2 วันต่อสัปดาห์	27	6.4	9.2
3 วันต่อสัปดาห์	20	4.7	13.9
4 วันต่อสัปดาห์	10	2.4	16.3
5 วันต่อสัปดาห์	129	30.4	46.7
มากกว่า 5 วันต่อสัปดาห์	226	53.3	100.0
รวมทั้งหมด	424	100.0	

ตารางที่ ข.26

รายละเอียดความถี่ในการเดินทางไปต่างจังหวัดของผู้ตอบแบบสอบถาม

ความถี่ในการเดินทางไปต่างจังหวัด	ความถี่	ร้อยละ	ร้อยละสะสม
น้อยกว่า 1 ครั้งต่อเดือน	152	35.8	35.8
1 ครั้งต่อเดือน	120	28.3	64.2
2 ครั้งต่อเดือน	81	19.1	83.3
3 ครั้งต่อเดือน	37	8.7	92.0
มากกว่า 3 ครั้งต่อเดือน	34	8.0	100.0
รวมทั้งหมด	424	100.0	

ตารางที่ ข.27

รายละเอียดระยะเวลาในใช้รถยนต์ของผู้ตอบแบบสอบถาม

ระยะเวลาในใช้รถยนต์	ความถี่	ร้อยละ	ร้อยละสะสม
ต่ำกว่า 1 ชั่วโมงต่อวัน	63	14.9	14.9
1 ชั่วโมงต่อวัน	80	18.9	33.8
2 ชั่วโมงต่อวัน	133	31.4	65.2
3 ชั่วโมงต่อวัน	89	21.0	86.3
สูงกว่า 3 ชั่วโมงต่อวัน	59	13.7	100.0
รวมทั้งหมด	424	100.0	

ตารางที่ ข.28

รายละเอียดสภาพการจราจรที่พบเจอของผู้ตอบแบบสอบถาม

สภาพการจราจร	ความถี่	ร้อยละ	ร้อยละสะสม
การจราจรติดขัดมาก	309	14.9	72.9
การจราจรติดขัด	97	18.9	95.8
การจราจรติดขัดน้อย	18	31.4	100.0
รวมทั้งหมด	424	100.0	

ผลการสำรวจรถยนต์บริการสาธารณะ

เมื่อทำการลงพื้นที่เพื่อเก็บข้อมูลของรถยนต์บริการสาธารณะในเขตกรุงเทพฯและปริมณฑล โดยแบบสอบถามที่คลอบคลุมประกอบด้วยข้อมูลในเชิงวิศวกรรมและการสำรวจพฤติกรรมการใช้งานของรถยนต์นั่งส่วนบุคคล มีผู้ทำแบบสำรวจของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลจำนวน 408 ตัวอย่าง โดยข้อมูลดังกล่าวสามารถแจกแจงได้ดังตาราต่อไปนี้

ตารางที่ ข.29

รายละเอียดเพศของผู้ตอบแบบสอบถาม

เพศ	ความถี่	ร้อยละ	ร้อยละสะสม
เพศชาย	370	90.7	90.7
เพศหญิง	38	9.3	100.0
รวมทั้งหมด	408	100.0	

ตารางที่ ข.30

รายละเอียดอายุของผู้ตอบแบบสอบถาม

อายุ	ความถี่	ร้อยละ	ร้อยละสะสม
20-30 ปี	16	3.9	3.9
31-40 ปี	55	13.5	17.4
41-50 ปี	126	30.9	48.3
51-60 ปี	154	37.7	86.0
มากกว่า 60 ปี	57	14.0	100.0
รวมทั้งหมด	408	100.0	

ตารางที่ ข.31

รายละเอียดระดับการศึกษาของผู้ตอบแบบสอบถาม

ระดับการศึกษา	ความถี่	ร้อยละ	ร้อยละสะสม
ต่ำกว่า ม.3	175	42.9	42.9
ม.4-ม.6 / ปวช.	128	31.4	74.3
ปวส.	96	23.5	97.8
ปริญญาตรี	9	2.2	100.0
รวมทั้งหมด	408	100.0	

ตารางที่ ข.32

รายละเอียดระดับรายได้ของผู้ตอบแบบสอบถาม

ระดับเงินเดือน	ความถี่	ร้อยละ	ร้อยละสะสม
น้อยกว่า 500 บาท	35	8.6	8.6
5001 - 1,000 บาท	123	30.1	38.7
1,001 – 1,500 บาท	237	58.1	96.8
1,501 – 2,000 บาท	13	3.2	100.0
รวมทั้งหมด	408	100.0	

ตารางที่ ข.33

รายละเอียดจำนวนผู้ร่วมอาศัยในครอบครัวของผู้ตอบแบบสอบถาม

จำนวนผู้ร่วมอาศัยในครอบครัว	ความถี่	ร้อยละ	ร้อยละสะสม
1 คน	25	6.1	6.1
2 คน	93	22.8	28.9
3 คน	145	35.5	64.5
4 คน	119	29.2	93.6
มากกว่า 4 คน	26	6.4	100.0
รวมทั้งหมด	408	100.0	

ตารางที่ ข.34

รายละเอียดประเภทของรถยนต์บริการสาธารณะของผู้ตอบแบบสอบถาม

ประเภทของรถยนต์บริการสาธารณะ	ความถี่	ร้อยละ	ร้อยละสะสม
ส่วนบุคคล	135	33.1	33.1
องค์กร/สหกรณ์	273	66.9	100.0
รวมทั้งหมด	408	100.0	

ตารางที่ ข.35

รายละเอียดช่วงเวลาการให้บริการของผู้ตอบแบบสอบถาม

ช่วงเวลาการให้บริการ	ความถี่	ร้อยละ	ร้อยละสะสม
รอบกลางวัน	31	7.6	7.6
รอบกลางคืน	14	3.4	11.0
ตลอดวัน	363	89.0	100.0
รวมทั้งหมด	408	100.0	

ตารางที่ ข.36

รายละเอียดพื้นที่ที่อยู่อาศัยของผู้ตอบแบบสอบถาม

พื้นที่ที่อยู่อาศัย	ความถี่	ร้อยละ	ร้อยละสะสม
กรุงเทพมหานคร	188	46.1	46.1
สมุทรปราการ	74	18.1	64.2
นนทบุรี	79	19.4	83.6
ปทุมธานี	66	16.2	99.8
พื้นที่อื่นในเขตปริมณฑล	1	0.2	100.0
รวมทั้งหมด	408	100.0	

ตารางที่ ข.37

รายละเอียดพื้นที่ที่ให้บริการของผู้ตอบแบบสอบถาม

พื้นที่ที่ให้บริการ	ความถี่	ร้อยละ	ร้อยละสะสม
กรุงเทพมหานคร	403	98.8	98.8
สมุทรปราการ	1	0.2	99.0
ปทุมธานี	4	1.0	100.0
รวมทั้งหมด	408	100.0	

ตารางที่ ข.38

รายละเอียดอายุรถยนต์ของผู้ตอบแบบสอบถาม

อายุของรถยนต์	ความถี่	ร้อยละ	ร้อยละสะสม
1 ปี	20	4.9	4.9
2 ปี	62	15.2	20.1
3 ปี	105	25.7	45.8
4 ปี	95	23.3	69.1
5 ปี	19	4.7	73.8
6 ปี	60	14.7	88.5
7 ปี	25	6.1	94.6
8 ปี	12	2.9	97.5
9 ปี	10	2.5	100.0
รวมทั้งหมด	408	100.0	

ตารางที่ ข.39

รายละเอียดขนาดของเครื่องยนต์ของรถยนต์ผู้ตอบแบบสอบถาม

ขนาดของเครื่องยนต์	ความถี่	ร้อยละ	ร้อยละสะสม
1,600 ซีซี	195	47.8	47.8
1,800 ซีซี	124	30.4	78.2
2,000 ซีซี	81	19.9	98.0
2,700 ซีซี	8	2.0	100.0
รวมทั้งหมด	408	100.0	

ตารางที่ ข.40

รายละเอียดชนิดเชื้อเพลิงที่ใช้ของรถยนต์ผู้ตอบแบบสอบถาม

ชนิดเชื้อเพลิง	ความถี่	ร้อยละ	ร้อยละสะสม
LPG	116	28.4	28.4
CNG	292	71.6	100.0
รวมทั้งหมด	408	100.0	

ตารางที่ ข.41

รายละเอียดการเติมก๊าซเชื้อเพลิงรถยนต์ผู้ตอบแบบสอบถาม

การเติมก๊าซเชื้อเพลิง	ความถี่	ร้อยละ	ร้อยละสะสม
1 ครั้งต่อสัปดาห์	16	3.9	3.9
2 ครั้งต่อสัปดาห์	209	51.2	55.1
3 ครั้งต่อสัปดาห์	177	43.4	98.5
4 ครั้งต่อสัปดาห์	5	1.2	99.8
มากกว่า 4 ครั้งต่อสัปดาห์	1	0.2	100.0
รวมทั้งหมด	408	100.0	

ตารางที่ ข.42

รายละเอียดอัตราการเติมก๊าซเชื้อเพลิงรถยนต์ผู้ตอบแบบสอบถาม

อัตราการเติมก๊าซเชื้อเพลิง	ความถี่	ร้อยละ	ร้อยละสะสม
100 - 200 บาทต่อครั้ง	173	42.4	42.4
201 - 300 บาทต่อครั้ง	198	48.5	90.9
301 - 400 บาทต่อครั้ง	20	4.9	95.8
401 - 500 บาทต่อครั้ง	15	3.7	99.5
501 - 600 บาทต่อครั้ง	2	0.5	100.0
รวมทั้งหมด	408	100.0	

ตารางที่ ข.43

รายละเอียดระยะทางเฉลี่ยที่ใช้ของรถยนต์ผู้ตอบแบบสอบถาม

ระยะทางเฉลี่ย	ความถี่	ร้อยละ	ร้อยละสะสม
50 - 150 กิโลเมตรต่อวัน	4	1.0	1.0
151 - 250 กิโลเมตรต่อวัน	64	15.7	16.7
251 - 350 กิโลเมตรต่อวัน	210	51.5	68.1
มากกว่า 350 กิโลเมตรต่อวัน	130	31.9	100.0
รวมทั้งหมด	408	100.0	

ตารางที่ ข.44

รายละเอียดความเร็วเฉลี่ยที่ใช้ของรถยนต์ผู้ตอบแบบสอบถาม

ความเร็วเฉลี่ย	ความถี่	ร้อยละ	ร้อยละสะสม
30 - 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง	17	4.2	4.2
61 - 90 กิโลเมตรต่อชั่วโมง	323	79.2	83.3
90 - 120 กิโลเมตรต่อชั่วโมง	65	15.9	99.3
สูงกว่า 120 กิโลเมตรต่อชั่วโมง	3	0.7	100.0
รวมทั้งหมด	408	100.0	

ตารางที่ ข.45

รายละเอียดจำนวนผู้โดยสารของรถยนต์ผู้ตอบแบบสอบถาม

จำนวนผู้โดยสาร	ความถี่	ร้อยละ	ร้อยละสะสม
1 คน	159	37.5	37.5
2 คน	168	39.6	77.1
3 คน	52	12.3	89.4
4 คน	38	9.0	98.3
มากกว่า 4 คน	7	1.7	100.0
รวมทั้งหมด	424	100.0	

ตารางที่ ข.46

รายละเอียดจำนวนผู้โดยสารของรถยนต์ผู้ตอบแบบสอบถาม

จำนวนผู้โดยสาร*	ความถี่	ร้อยละ	ร้อยละสะสม
1 คน	56	13.7	13.7
2 คน	133	32.6	46.3
3 คน	129	31.6	77.9
4 คน	69	16.9	94.9
มากกว่า 4 คน	21	5.1	100.0
รวมทั้งหมด	408	100.0	

***ไม่รวมผู้ขับขี่**

ตารางที่ ข.47

รายละเอียดจำนวนการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่องของรถยนต์ผู้ตอบแบบสอบถาม

จำนวนการเปลี่ยนถ่าย น้ำมันเครื่อง	ความถี่	ร้อยละ	ร้อยละสะสม
2 ครั้งต่อปี	1	0.2	0.2
3 ครั้งต่อปี	0	0.0	0.2
มากกว่า 3 ครั้งต่อปี	407	99.8	100.0
รวมทั้งหมด	408	100.0	

ตารางที่ ข.48

รายละเอียดชนิดของน้ำมันเครื่องที่ใช้กับรถยนต์ผู้ตอบแบบสอบถาม

ชนิดของน้ำมันเครื่อง	ความถี่	ร้อยละ	ร้อยละสะสม
แบบธรรมดา	8	2.0	2.0
แบบกึ่งสังเคราะห์	395	96.8	98.8
แบบสังเคราะห์	5	1.2	100.0
รวมทั้งหมด	408	100.0	

ตารางที่ ข.49

รายละเอียดความถี่ในการเปลี่ยนยางของรถยนต์ผู้ตอบแบบสอบถาม

จำนวนการเปลี่ยนยาง	ความถี่	ร้อยละ	ร้อยละสะสม
1 ปีต่อครั้ง	395	96.8	96.8
2 ปีต่อครั้ง	13	3.2	100.0
รวมทั้งหมด	408	100.0	

ตารางที่ ข.50

รายละเอียดความถี่ในการใช้งานของรถยนต์ผู้ตอบแบบสอบถาม

ความถี่ในการใช้งาน	ความถี่	ร้อยละ	ร้อยละสะสม
2 วันต่อสัปดาห์	1	0.2	0.2
3 วันต่อสัปดาห์	1	0.2	0.5
4 วันต่อสัปดาห์	0	0.0	0.5
5 วันต่อสัปดาห์	23	5.6	6.1
มากกว่า 5 วันต่อสัปดาห์	383	93.9	100.0
รวมทั้งหมด	408	100.0	

ตารางที่ ข.51

รายละเอียดระยะเวลาในใช้รถยนต์ของผู้ตอบแบบสอบถาม

ระยะเวลาในใช้รถยนต์	ความถี่	ร้อยละ	ร้อยละสะสม
ต่ำกว่า 3 ชั่วโมงต่อวัน	4	1.0	1.0
3 - 6 ชั่วโมงต่อวัน	9	2.2	3.2
6 - 9 ชั่วโมงต่อวัน	27	6.6	9.8
9 - 12 ชั่วโมงต่อวัน	201	49.3	59.1
สูงกว่า 12 ชั่วโมงต่อวัน	167	40.9	100.0
รวมทั้งหมด	408	100.0	

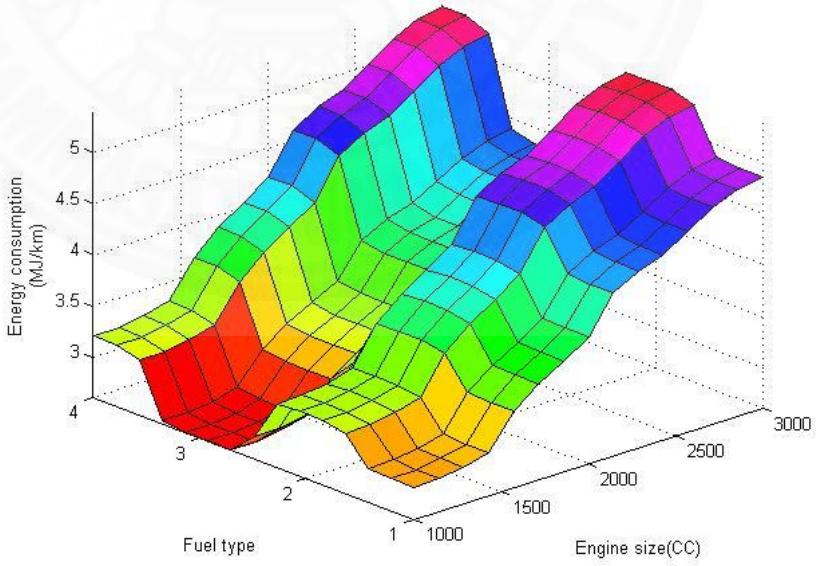
ตารางที่ ข.52

รายละเอียดสภาพการจราจรที่พบเจอของผู้ตอบแบบสอบถาม

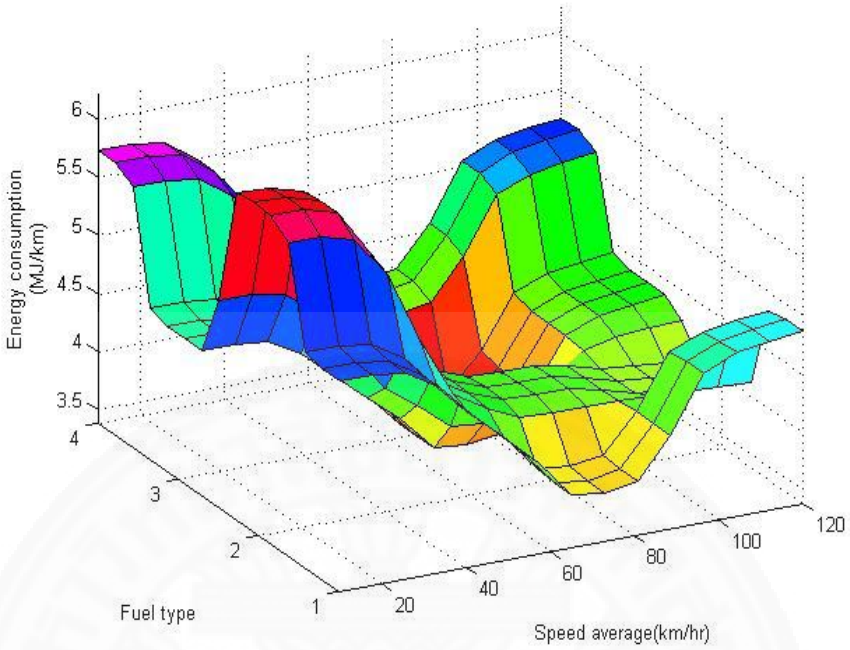
สภาพการจราจร	ความถี่	ร้อยละ	ร้อยละสะสม
การจราจรติดขัดมาก	182	44.6	44.6
การจราจรติดขัด	220	53.9	98.5
การจราจรติดขัดน้อย	6	1.5	100.0
รวมทั้งหมด	408	100.0	

แบบจำลองการใช้พลังงานด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบฟัซซี

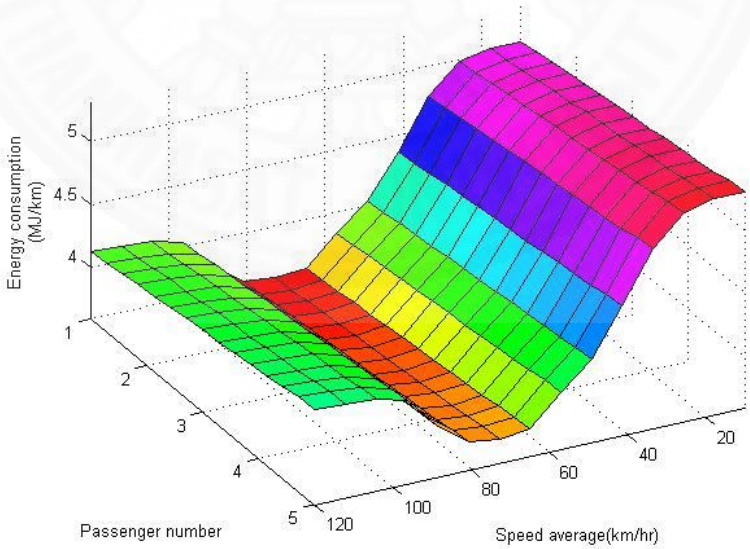
จากที่ได้ทำการพัฒนาแบบจำลองประสิทธิภาพการใช้พลังงานของรถยนต์เชื้อเพลิงฟอสซิลด้วยจำนวนอินพุตทั้งหมด 6 ตัวแปร ทำให้ได้กฎฟัซซีทั้งหมด 5,400 กฎ โดยเอาท์พุตของแบบจำลองที่ได้เป็นประสิทธิภาพการใช้พลังงานในหน่วยของ เมกะจูลต่อกิโลเมตร จากที่ได้แสดงผลพอสังเขปไปข้างต้นแล้วในส่วนนี้เป็นความสัมพันธ์ส่วนที่นอกเหนือจากการแสดงผลในบทที่ 4



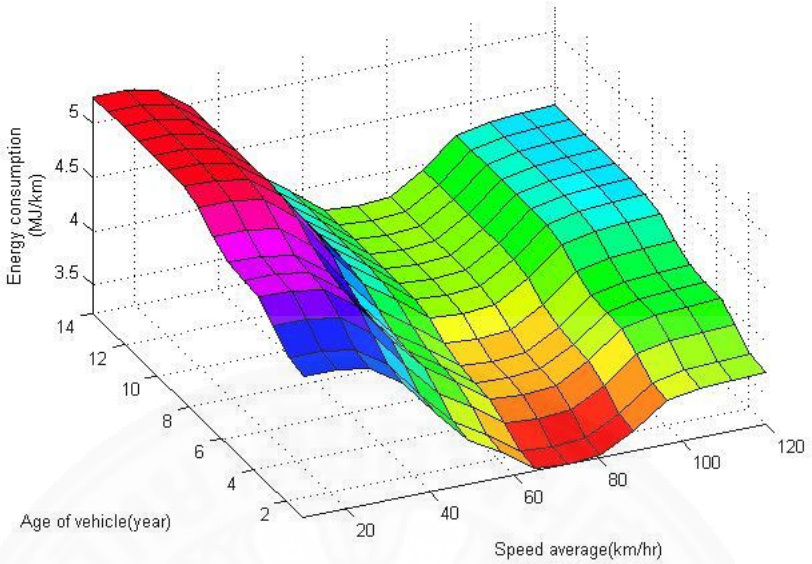
ภาพที่ ข.1 ความสัมพันธ์ของอินพุตขนาดของเครื่องยนต์กับชนิดของเชื้อเพลิงของแบบจำลองประสิทธิภาพการใช้พลังงานของรถยนต์เชื้อเพลิงฟอสซิลด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบฟัซซี



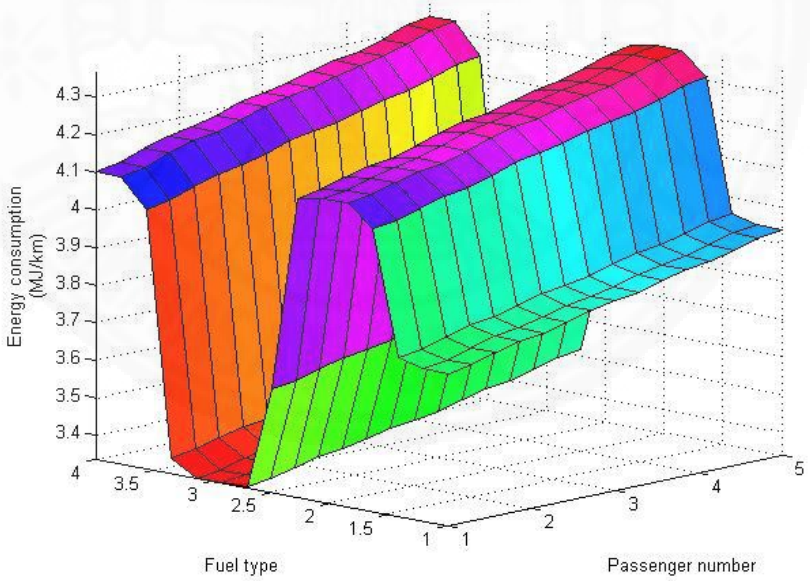
ภาพที่ ข.2 ความสัมพันธ์ของอินพุตความเร็วเฉลี่ยกับชนิดของเชื้อเพลิงของแบบจำลองประสิทธิภาพการใช้พลังงานของรถยนต์เชื้อเพลิงฟอสซิลด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบฟัซซี



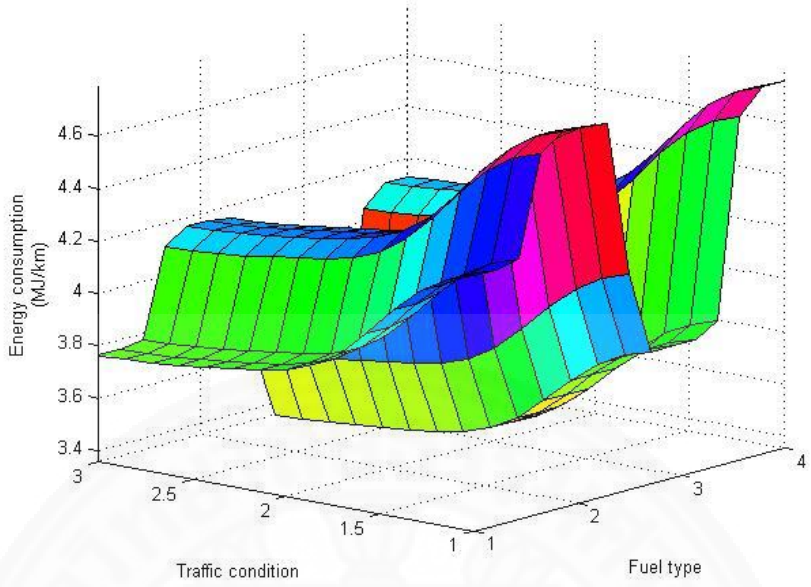
ภาพที่ ข.3 ความสัมพันธ์ของอินพุตความเร็วเฉลี่ยกับจำนวนผู้โดยสารของแบบจำลองประสิทธิภาพการใช้พลังงานของรถยนต์เชื้อเพลิงฟอสซิลด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบฟัซซี



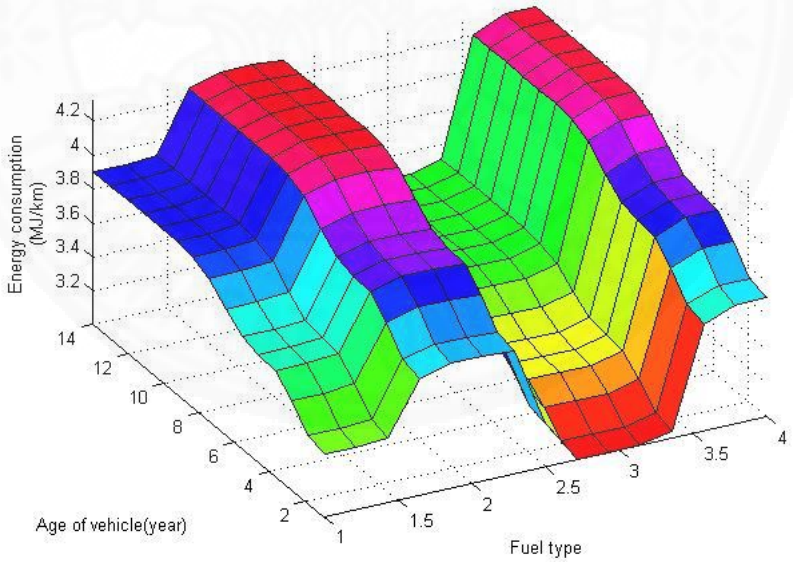
ภาพที่ ข.4 ความสัมพันธ์ของอินพุตความเร็วเฉลี่ยกับอายุของรถยนต์ของแบบจำลองประสิทธิภาพการใช้พลังงานของรถยนต์เชื้อเพลิงฟอสซิลด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบฟัซซี



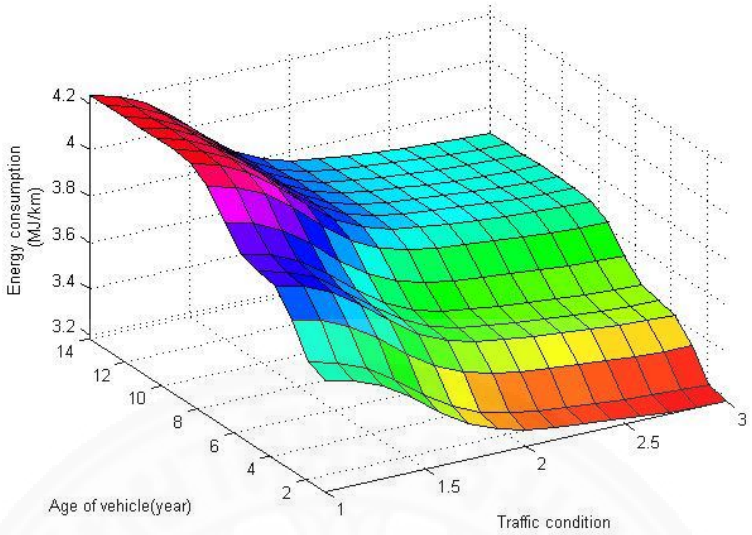
ภาพที่ ข.5 ความสัมพันธ์ของอินพุตจำนวนผู้โดยสารกับชนิดของเชื้อเพลิงของแบบจำลองประสิทธิภาพการใช้พลังงานของรถยนต์เชื้อเพลิงฟอสซิลด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบฟัซซี



ภาพที่ ข.6 ความสัมพันธ์ของอินพุตชนิดของเชื้อเพลิงกับสภาพการจราจรของแบบจำลองประสิทธิภาพการใช้พลังงานของรถยนต์เชื้อเพลิงฟอสซิลด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบฟัซซี



ภาพที่ ข.7 ความสัมพันธ์ของอินพุตชนิดของเชื้อเพลิงกับอายุของรถยนต์ของแบบจำลองประสิทธิภาพการใช้พลังงานของรถยนต์เชื้อเพลิงฟอสซิลด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบฟัซซี



ภาพที่ ข.8 ความสัมพันธ์ของอินพุตสภาพการจราจรกับอายุของรถยนต์ของแบบจำลองประสิทธิภาพการใช้พลังงานของรถยนต์เชื้อเพลิงฟอสซิลด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบฟัซซี

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นายอธิวัฒน์ ศรีวิไล
วันเดือนปีเกิด	4 สิงหาคม 2532
วุฒิการศึกษา	ปีการศึกษา 2554: วิทยาศาสตรบัณฑิต (เทคโนโลยีชนบท) มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ผลงานทางวิชาการ

อธิวัฒน์ ศรีวิไล, วรรัตน์ ปัตรประกร, วิวัฒน์ ชุติประภัสร์และพรระพีพัฒน์ ภาสบุตร. (2559).*การศึกษาผลกระทบของยานยนต์ไฟฟ้าประเภทรถยนต์ต่อการใช้พลังงานของประเทศไทย.* การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 12 ประจำปี 2559, มหาวิทยาลัยนเรศวร ณ โรงแรมวังจันทน์ ริเวอร์วิว จ.พิษณุโลก.

Atiwat Sriwilai, Woraratana Pattaraprakorn, Vivat Chutiprapat, Chokechai Sansilah and Pornrapeepat Bhasaputra. (2016). The Study on the Effect of Electric Car to Energy Consumption in Thailand. The 13th International Conference on Electrical Engineering/ Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology: ECTI-CON 2016, Rajamangala University of Technology Lanna (RMUTL) and ECTI Association in Chiang Mai.

ประสบการณ์ทำงาน	พ.ศ. 2555 -2556 ซอร์ฟแวร์โอเปอเรเตอร์ บริษัท โตโยต้า ทรูโช อิเล็กทรอนิคส์(ไทยแลนด์). จำกัด