การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อแนวทางการพัฒนารถยนต์ไฟฟ้า ด้วยวิธี FAHP และ TOPSIS

Influencing Factor Analysis for Development Orientations of Electric Vehicle using FAHP and TOPSIS

ฐิติพงศ์ ชัยวรรณคุปต์[1] ฆนิศา รุ่งแจ้ง[2,*] และ พงษ์ศักดิ์ สุริยวนากุล[2]

[1] สาขาวิชาวิศวกรรมโครงสร้างพื้นฐานและการบริหาร ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
[2] ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ม หาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
**Corresponding author; E-mail address: fengksr@ku.ac.th*

บทคัดย่อ

การพัฒนารถยนต์ไฟฟ้าโดยการเปลี่ยนมาใช้พลังงานสะอาดของภาคขนส่งเป็นการดำงานตามเป้าหมายการพัฒนาอย่างยั่งยืน (Sustainable Development Goals, SDGs) ข้อ 7 ขององค์การสหประชาชาติ (United Nations 2022, UN) การกำหนดแนวทางการลงทุนเพื่อพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานเพื่อรองรับการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าเป็นสิ่งสำคัญ นโยบายการลงทุนที่เอื้อต่อพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมประกอบด้วย การลงทุนสถานีชาร์จไฟฟ้า การใช้แอพพลิเคชั่น การส่งเสริมความปลอดภัย และการสร้างความเชื่อมั่นซึ่งเป็นการตัดสินใจที่มีความซับซ้อนและเกี่ยวข้องกับหลายฝ่าย งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อแนวทางการพัฒนารถยนต์ไฟฟ้าภายใต้มุมมองด้านความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ด้านสิ่งแวดล้อม ด้านสังคม การวิเคราะห์ปัจจัยด้วยกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์แบบฟัซซี (FAHP) และการจัดลำดับทางเลือกรถยนต์ไฟฟ้าด้วยวิธีเทคนิคการเรียงลำดับตามอุดมคติ (TOPSIS) ผลการตัดสินใจรวบรวมได้จากผู้เชี่ยวชาญจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ผลการวิเคราะห์พบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลได้แก่ ความปลอดภัย ความคุ้มค่าด้านราคา ความคุ้มค่าด้านวิศวกรรม การปล่อยก๊าซเรือนกระจก และความเชื่อมั่นในนวัตกรรม ผลการเลือกใช้รถยนต์ที่เหมาะสมได้แก่ รถยนต์ไฟฟ้าพลังงานแบตเตอรี่ รถยนต์ไฟฟ้าเซลล์เชื้อเพลิง รถยนต์ไฟฟ้าไฮบริด รถยนต์ไฟฟ้าปลั๊กอินไฮบริด และรถเครื่องยนต์สันดาปภายใน ตามลำดับ ผลงานวิจัยแสดงให้เห็นว่าแนวทางการพัฒนารถยนต์ไฟฟ้าในปี พ.ศ. 2566 มุ่งเน้นไปที่การรองรับรถยนต์ไฟฟ้าพลังงานแบตเตอรี่และในระยะยาวมีแนวโน้มที่จะพัฒนาไปใช้รถยนต์ไฟฟ้าเซลล์เชื้อเพลิงเมื่อมีความพร้อมมากขึ้น

คำสำคัญ: รถยนต์ไฟฟ้า, กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์แบบฟัซซี, เทคนิคการเรียงลำดับตามอุดมคติ, การพัฒนาอย่างยั่งยืน

Abstract

The development of Electric Vehicles (EV) by utilizing clean energy sources in the transportation sector is a target outlined in sustainable development goals (SDGs), Goal 7, as published by the United Nations (UN) in 2022. The setting of investment guideline for the improvement of infrastructure to support the uses of EV is a significant. The investment policy that sustains economic and social development including investments in charging stations, application utilization, safety enhancement, and trust-building which depends on decision complexity of various parties. The objective of this research is to analyze the influencing factors of the EV transition within economic, environmental, social aspects using Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP) and rank the EV alternatives using Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS). The questionnaire data are the syntheses of academic experts' judgments working in related organizations. The results indicate that the influencing factors are safety, Value for Money, Value for Engineering, greenhouse gases emission and innovation adoption respectively. The practicable EV models are Battery Electric Vehicle (BEV), Fuel Cell Electric Vehicle (FCEV), Hybrid Electric Vehicle (HEV), Plug-in Hybrid Electric Vehicle (PHEV), and Internal Combustion Engine Vehicle (ICE) respectively. The result demonstrates that the approach to developing EV in 2023 focuses on BEV. In the long term, a trend moving towards development for FCEV as the technology are more reachable.

Keywords: Electric Vehicle, FAHP, TOPSIS, Sustainable Development

1. คำนำ

อุตสาหกรรมยานยนต์ไฟฟ้าทั่วโลกมีแนวโน้มของการเติบโตที่รวดเร็ว และการแข่งขันของตลาดยานยนต์ไฟฟ้าในปี พ.ศ. 2565 เพิ่มสูงขึ้นเป็นที่ยอมรับว่าเป็นอนาคตสำคัญของภาคการขนส่ง [1] ความต้องการใช้พลังงานเชื้อเพลิงของรถยนต์ที่มากขึ้นทุกปีทำให้อัตราการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากขึ้นตามและส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางสภาพภูมิอากาศ (Climate Change) [2] เนื่องจากภาคการขนส่งใช้ทรัพยากรน้ำมันเป็นพลังงานเชื้อเพลิงหลักของระบบขับเคลื่อนยานพาหนะหลายประเภทรวมถึงรถยนต์โดยสาร [3] ทั่วโลกจึงหันมาใช้พลังงานที่ไม่เป็นมลพิษตามนโยบายการกำหนดเป้าหมายในการพัฒนาอย่างยั่งยืน (Sustainable Development Goals) เป้าหมายที่ 7 ขององค์กรสหประชาชาติ (United Nations 2022, UN) ได้แก่การนำพลังงานสะอาดมาใช้และการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก [4], [5] ประเทศไทยมีแนวคิดด้านการพัฒนารถยนต์ไฟฟ้าภายใต้การเปลี่ยนผ่านด้านพลังงาน (Energy Transition) เพื่อผลักดันอุตสาหกรรมยานยนต์ทั้งระบบไปสู่อุตสาหกรรมยานยนต์ไฟฟ้าอัจฉริยะตามแผนยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี [5] และมุ่งเน้นการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานของระบบขนส่งที่เกี่ยวข้องกับรถยนต์ไฟฟ้าตามยุทธศาสตร์การพัฒนาระบบคมนาคมขนส่งของไทยระยะ 20 ปี [6] สอดคล้องตามยุทธศาสตร์ชาติ โดยการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการใช้พลังงานเชื้อเพลิงไปจากเดิมเช่น การใช้พลังงานแบบไฮบริด การใช้พลังงานไฟฟ้าล้วน หรือการใช้พลังงานทางเลือกอื่น (เซลล์เชื้อเพลิง) และการพัฒนาเทคโนโลยีระบบส่งกำลังขับเคลื่อน (Powertrain) [7] อย่างไรก็ตามการลงทุนพัฒนารถยนต์ไฟฟ้ามีความเสี่ยงที่ควรตระหนักถึง เช่น เทคโนโลยีตัวรถ แบตเตอรี่ และระบบเครือข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะ (Smart Grid Infrastructure) ซึ่งมีผลกระทบสูงทั้งด้านต้นทุนพลังงานและระยะเวลาดำเนินการ [8] การบริหารความเสี่ยงทำได้โดยการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อแนวทางการพัฒนารถยนต์ไฟฟ้าและจัดลำดับทางเลือกของรถยนต์ไฟฟ้าที่เหมาะสมที่สุด เพื่อแสดงให้เห็นว่าภาคการขนส่งจะพัฒนาไปในทิศทางใดภายใต้ปัจจัยความยั่งยืนทางด้าน ด้านด้านเศรษฐศาสตร์ ด้านสิ่งแวดล้อม และด้านสังคม [9] งานวิจัยนี้จึงให้ความสำคัญต่อปัจจัย 1.ความคุ้มค่าด้านราคา ซึ่งราคาต้นทุนของรถยนต์ไฟฟ้าจัดอยู่ในเกณฑ์สูงแต่ว่ามีข้อดีที่ค่าบำรุงรักษาต่ำเมื่อเทียบกับรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายใน ราคาต้นทุนของการใช้เชื้อเพลิงที่มีประสิทธิภาพสูงจะแปลผันตามราคาของแบตเตอรี่และราคาของเชื้อเพลิงสะอาดตามลำดับ [10] 2.ความคุ้มค่าทางวิศวกรรมโครงสร้างพื้นฐานที่เกี่ยวกับรถยนต์ไฟฟ้า ซึ่งแบ่งเป็น 2 ส่วนหลักคือ สถานีชาร์จไฟฟ้า (Charging Station) และ คุณภาพของแบตเตอรี่ (Battery Performance) ซึ่งทั้ง 2 ส่วนนี้จะส่งผลโดยตรงกับระยะเวลาที่ใช้ในการชาร์จไฟฟ้า (Charging Time) [11] 3.การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก การเปลี่ยนมาใช้รถยนต์ไฟฟ้าเป็นความคาดหวังที่จะช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากตัวรถยนต์ไฟฟ้ามีปริมาณน้อยมาก อย่างไรก็ตามก๊าซที่ปล่อยจากกระบวนการผลิตพลังงานเชื้อเพลิงและแบตเตอรี่ที่นำมาใช้ในรถยนต์ไฟฟ้า (Well to Wheel, WTW) ยังจำเป็นต้องได้รับการพิจารณาเนื่องจากมีส่วนสำคัญเกี่ยวข้องกับการปล่อยก๊าซเรือนกระจก [12] 4.ความปลอดภัยในการใช้งาน ได้แก่มาตรฐานในการผลิตและประกอบตัวรถ โดยส่วนใหญ่อุบัติเหตุเกิดขึ้นจากความผิดพลาดของเซลล์แบตเตอรี่ทั้งในด้านเชิงกลและเชิงไฟฟ้า สาเหตุหลักมาจากวัสดุที่ใช้มีความเสถียรทางความร้อนต่ำรวมถึงการเก็บกู้สถานที่เกิดอุบัติเหตุซึ่งยังเป็นเรื่องใหม่ในประเทศไทย [13] และ 5.ความเชื่อมั่นในนวัตกรรมของประชาชนเกี่ยวกับรถยนต์ไฟฟ้าในส่วนของผลประโยชน์ที่จะได้รับ ซึ่งเป็นเหตุผลหลักในการเลือกเปลี่ยนไปใช้รถยนต์ไฟฟ้า ประชาชนส่วนใหญ่ยังตัดสินใจเลือกใช้ตามความคิดเห็นของสภาพสังคมอีกด้วย [14] สถานีชาร์จไฟฟ้าจะถูกติดตั้งอยู่ในที่ที่มีสิ่งปลูกสร้างเดิมเพื่ออำนวยความสะดวก จึงเป็นสิ่งที่ควรระวังว่าสถานที่ตั้งของสถานีชาร์จไฟฟ้าจะต้องไม่สร้างความลำบากในการเดินทางและไม่ทำให้การจราจรติดขัดมากกว่าเดิม [15]

นานาชาติตั้งเป้าที่จะทำให้การปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ (Net-zero emission) ในปี ค.ศ.2050 ด้วยนวัตกรรมรถยนต์ไฟฟ้า โดยรถยนต์ไฟฟ้าแบ่งได้เป็น 4 ประเภท [16] ได้แก่ 1.รถยนต์ไฟฟ้าไฮบริด (Hybrid Electric Vehicle, HEV) ที่ขับเคลื่อนด้วยแหล่งพลังงาน 2 ทาง ได้แก่เครื่องยนต์สันดาปภายในที่ใช้น้ำมันเป็นเชื้อเพลิงหลักและเครื่องยนต์ไฟฟ้าเสริมที่ใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ 2.รถยนต์ไฟฟ้าปลั๊กอินไฮบริด (Plug-in Hybrid Electric Vehicle, PHEV) ที่ถูกพัฒนามากจากรถยนต์ไฟฟ้า HEV โดยมีแบตเตอรี่ที่คุณภาพสูงกว่าและสามารถชาร์จไฟฟ้าได้จากสถานีชาร์จไฟฟ้าได้โดยตรง 3.รถยนต์ไฟฟ้าพลังงานแบตเตอรี่ (Battery Electric Vehicle, BEV) ที่ถูกออกแบบมาให้ขับเคลื่อนด้วยระบบไฟฟ้าเพียงอย่างเดียวโดยใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ที่มีขนาดใหญ่เมื่อเทียบกับรถประเภทอื่น ชาร์จไฟฟ้าได้ที่สถานีชาร์จไฟฟ้าได้ อย่างไรก็ตามการชาร์จไฟฟ้าต้องใช้เวลานานมากกว่ารถยนต์ไฟฟ้า PHEV [17] และ 4.รถยนต์ไฟฟ้าเซลล์เชื้อเพลิง (Fuel Cell Electric Vehicle, FCEV) ประกอบด้วยเซลล์เชื้อเพลิงที่ทำมาจาก Polymer Electrolyte Membrane (PEM) มีหน้าที่ในการผลิตกระแสไฟฟ้าเข้าแบตเตอรี่ผ่านเชื้อเพลิงไฮโดรเจนสามารถวิ่งได้ในระยะทางไกลและเติมเชื้อเพลิงได้เร็ว [18] แต่มีราคาสูงเมื่อเทียบกับรถยนต์ประเภทเดิม [19] การวิเคราะห์ค่าน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยสามารถทำได้โดยวิธีการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์ (Multiple Criteria Decision Making, MCDM) การวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น (Analytical Hierarchy Process, AHP) และการนำทฤษฎีความครุมเครือร่วมกับวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น (Fuzzy Analytical Hierarchy Process, FAHP) มาใช้ในการตัดสินใจของมนุษย์ที่ยังคงมีความคลุมเครือเพราะว่าปัจจัยแต่ละตัวมีความเป็นนามธรรมและมีหน่วยวัดไม่เหมือนกัน [20], [21] การจัดลำดับทางเลือกประเภทของรถยนต์ไฟฟ้าการใช้ทฤษฎีเทคนิคการเรียงลำดับตามอุดมคติ (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution, TOPSIS) เพื่อจัดลำดับทางเลือกของรูปแบบรถยนต์ไฟฟ้าภายใต้ปัจจัยที่มีอิทธิพลดังที่กล่าวมาข้างต้นเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ใกล้เคียงกับหลักการตัดสินใจของมนุษย์และเป็นอุดมคติมากที่สุด โดยการค้นหาทางเลือกมีความใกล้เคียงกับผลลัพธ์ที่ดีที่สุดและห่างไกลจากผลลัพธ์ที่แย่ที่สุดในแต่ละปัจจัยในเวลาเดียวกัน [22]

งานวิจัยนี้ถูกจัดทำขึ้นเพื่อวัตถุประสงค์ในการวิเคราะห์ค่าน้ำหนักปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อแนวทางการพัฒนารถยนต์ไฟฟ้าและจัดลำดับทางเลือกที่เหมาะสมของรถยนต์ไฟฟ้า ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นถึงแนวทางของการพัฒนาอุตสาหกรรมรถยนต์ไฟฟ้าและโครงสร้างพื้นฐานของประเทศไทยในอนาคตว่าควรมุ่งเน้นไปในทิศทางใด โดยยึดหลักแนวคิดการพัฒนาอย่างยั่งยืนเพื่อช่วยลดปัญหาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเข้าสู่ชั้นบรรยากาศและแก้ไขปัญหาภาวะโลกร้อน

2. วัตถุประสงค์

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ค่าน้ำหนักปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อแนวทางการพัฒนารถยนต์ไฟฟ้าโดยใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์แบบฟัซซี (FAHP) และจัดลำดับทางเลือกรถยนต์ไฟฟ้าโดยใช้เทคนิคการเรียงลำดับตามอุดมคติ (TOPSIS)

3. วิธีการวิจัย

3.1 การกำหนดปัญหา วัตถุประสงค์ และการทบทวนเอกสารงานวิจัย

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาทบทวนเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อแนวทางการพัฒนารถยนต์ไฟฟ้าด้วยวิธีการตัดสินใจแบบพหุหลักเกณฑ์ (MCDM) และกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (AHP) ผู้วิจัยได้กำหนดปัญหา วัตถุประสงค์ และปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อแนวทางการพัฒนารถยนต์ไฟฟ้า รวมถึงปัจจัยที่มีความสำคัญในการตัดสินใจเลือกใช้รถยนต์ไฟฟ้าผ่านทางบทความทางวิชาการและรายงานการศึกษา

3.2 การกำหนดโครงสร้างการตัดสินใจตามทฤษฎีกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ AHP โดยการจัดแบ่งโครงสร้างการตัดสินใจเป็นแบบลำดับชั้น (Hierarchy) ดังแสดงในรูปที่ 1 ประกอบด้วย

3.2.1 โครงสร้างระดับที่ 1

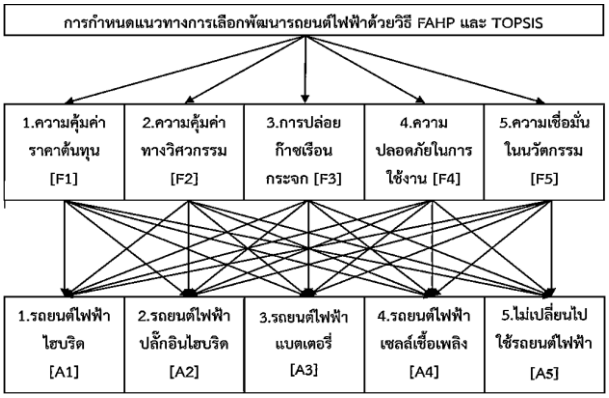
เป้าหมาย (Goal) คือการกำหนดแนวทางการพัฒนารถยนต์ไฟฟ้าซึ่งอยู่ระดับบนสุดของลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์

3.2.2 โครงสร้างระดับที่ 2

หลักเกณฑ์ (Criteria) หรือปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อแนวทางการพัฒนารถยนต์ไฟฟ้าประกอบด้วย 1. ปัจจัยความคุ้มค่าด้านราคา (Value for Money) หมายถึงราคาของรถยนต์ไฟฟ้า เงินสนับสนุนจากนโยบายของรัฐบาล ราคาเชื้อเพลิงที่ใช้ [10] 2. ปัจจัยความคุ้มค่าทางวิศวกรรม (Value for Engineering) หมายถึงการพัฒนารถยนต์ไฟฟ้า ความเร็วในการชาร์จไฟฟ้า สถานีชาร์จไฟฟ้า คุณภาพแบตเตอรี่ และระยะทางสามารถวิ่งได้ [11] 3. ปัจจัยด้านการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gas Emission) หมายถึงการควบคุมการปล่อยก๊าซเรือนกระจก การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าแทนน้ำมัน และจากกระบวนการผลิตแบตเตอรี่และเซลล์เชื้อเพลิง [12] 4. ปัจจัยด้านความปลอดภัยในการใช้งาน (Safety) หมายถึงความแข็งแรงของตัวรถและอุปกรณ์ มาตรฐานและความพร้อมในการติดตั้งจุดชาร์จไฟฟ้าที่บ้าน การติดตั้งอุปกรณ์สร้างเสียงสังเคราะห์เพื่อความปลอดภัยของคนโดยรอบ การติดไฟของแบตเตอรี่จากอุบัติเหตุ และความปลอดภัยด้านการกู้ภัย [13] 5. ปัจจัยด้านความเชื่อมั่นในนวัตกรรม (Technology Adoption) หมายถึงการยอมรับในความพร้อมของโครงสร้างพื้นฐาน การตัดสินใจในการเปลี่ยนไปใช้รถยนต์ไฟฟ้า ความคิดเห็นของสภาพสังคมโดยรอบเกี่ยวกับเทคโนโลยีใหม่ ความเสถียรของตัวรถเมื่อเจอเหตุการณ์ไม่ปกติ เช่น น้ำท่วมขัง ฝนตกหนัก และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการใช้รถยนต์ไฟฟ้า [14]

3.2.3 โครงสร้างระดับที่ 3

ทางเลือก (Alternatives) ของรถยนต์ไฟฟ้า ประกอบด้วย รถยนต์ไฟฟ้าไฮบริด (HEV) รถยนต์ไฟฟ้าปลั๊กอินไฮบริด (PHEV) รถยนต์ไฟฟ้าพลังงานแบตเตอรี่ (BEV) รถยนต์ไฟฟ้าเซลล์เชื้อเพลิง (FCEV) และรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายใน (ICE)



รูปที่ 1 โครงสร้างการคัดเลือกรถยนต์ไฟฟ้า

3.3 การเก็บข้อมูลการตัดสินใจของผู้เชี่ยวชาญ

งานวิจัยนี้เก็บข้อมูลแบบสอบถามจากผู้เชี่ยวชาญที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการพัฒนารถยนต์ไฟฟ้าจำนวน 35 ท่าน ประกอบไปด้วยผู้เชี่ยวชาญจากสำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค บริษัทผลิตรถยนต์ และหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง โดยผู้ตอบแบบสอบถามแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มตามความเกี่ยวข้องกับในการเปลี่ยนไปใช้รถยนต์ไฟฟ้า ได้แก่ กลุ่มหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการกำหนดนโยบาย (กลุ่ม 1) กลุ่มหน่วยงานที่เชี่ยวชาญด้านการพัฒนารถยนต์ไฟฟ้า (กลุ่ม 2) และกลุ่มหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการผลิตและพัฒนารถยนต์ไฟฟ้า (กลุ่ม 3) การตัดสินใจเป็นการเปรียบเทียบค่าน้ำหนักความสำคัญ (wi/wj) ระหว่างปัจจัยหรือทางเลือกเป็นรายคู่ i และ j ใดๆ จำนวนทั้งสิ้น n ปัจจัย โดยใช้ตัวเลขแทนค่าความสำคัญเชิงเปรียบเทียบของส่วนย่อยในแต่ละระดับชั้น ค่ามาตรฐานที่ใช้เปรียบเทียบระดับความสำคัญแบ่งเป็นตัวเลข 1 ถึง 9 แสดงระดับความสำคัญที่เท่ากันจนถึงระดับความสำคัญที่สูงกว่าอย่างมาก (ดังตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 มาตราส่วนในการวินิจฉัยเปรียบเทียบ

ระดับความความสำคัญ	ความหมาย
1	สำคัญเท่ากัน
3	สำคัญกว่าปานกลาง
5	สำคัญกว่ามาก
7	สำคัญกว่ามากที่สุด
9	สำคัญกว่าสูงสุด
2,4,6,8	ค่าความสำคัญระหว่างกลางของค่าที่กล่าวไว้ข้างต้น

ที่มา: ดัดแปลงจาก Saaty, T.L. [19], [20].

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลและทดสอบความสอดคล้องของการตัดสินใจ

นำผลสำรวจมาทดสอบความสอดคล้องของข้อมูลโดยการทดสอบความสอดคล้องของการตัดสินใจเป็นการวิเคราะห์เมตริกค่าน้ำหนักที่ได้จากการเปรียบเทียบรายคู่ (Pairwise Comparison) โดยวิเคราะห์ค่าความสอดคล้องของเหตุผล (Consistency Ratio, C.R.) จากสัดส่วนระหว่างดัชนีความสอดคล้อง (Consistency Index, C.I.) และค่าดัชนีความสอดคล้องเชิงสุ่ม (Random Index, R.I.) หากมีค่าน้อยกว่า 0.1 แสดงว่าความไม่สอดคล้องของการหรือขึ้นอยู่กับขนาดของเมตริกตามการพิสูจน์ของ Saaty ทั้งนี้ค่า C.I. มีค่าเท่ากับ (λmax-n)/(n-1) โดยที่ λmax เป็นค่าสูงสุดของ Eigenvalue ของเมตริก และค่า R.I. สำหรับจำนวนปัจจัยหรือทางเลือก n ปัจจัยหรือทางเลือก (ดังตารางที่ 2 และตารางที่ 3)

ตารางที่ 2 เมทริกซ์การเปรียบเทียบปัจจัยภายใต้วัตถุประสงค์ของปัญหา

ปัจจัย	ปัจจัยที่ 1	ปัจจัยที่ 2	ปัจจัยที่ n	น้ำหนัก
ปัจจัยที่ 1	$1*W_1$	$A_{12}*W_2$	$A_{1n}*W_n$	S_1
ปัจจัยที่ 2	$A_{21}*W_1$	$1*W_2$	$A_{2n}*W_n$	S_2
ปัจจัยที่ n	$A_{n1}*W_1$	$A_{n2}*W_2$	$1*W_n$	S_3

ตารางที่ 3 ค่าดัชนีความสอดคล้องเชิงสุ่ม (R.I.)

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R.I.	0.00	0.00	0.52	0.89	1.11	1.25	1.35	1.40	1.45	1.49

ที่มา: การดัดแปลงจาก Saaty, T.L. [19], [20].

3.5 การคำนวณค่าน้ำหนักของปัจจัย

การคำนวณน้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์ในแต่ละชั้นสามารถหาได้จากการสังเคราะห์ข้อมูล โดยคำนวณได้ดังแสดงในสมการที่ (1) และ (2)

$$W_i = \frac{v_i}{\sum_{i=1}^{n} v_i} \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^{n} W_i = 1.0 \quad (2)$$

เมื่อ Wi คือ น้ำหนักคะแนนของแต่ละหลักเกณฑ์
Vi คือ ค่าเฉลี่ยทางเรขาคณิต
n คือ จำนวนตัวเลขที่นำมาหาค่าเฉลี่ย

3.6 กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์แบบฟัซซี (Fuzzy Analytical Hierarchy Process, FAHP)

การจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อแนวทางการพัฒนารถยนต์ไฟฟ้าด้วยการนำทฤษฎีความครุมเครือ (Fuzzy Theory) เข้ามาประยุกต์ใช้กับทฤษฎี AHP เพื่อให้ได้ค่าน้ำหนักปัจจัยที่ชัดเจนยิ่งขึ้น การใช้ตรรกศาสตร์คลุมเครือ (Fuzzy Logic) ทำให้ผู้วิจัยสามารถวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้รับจากการถ่ายทอดความรู้หรือประสบการณ์ของผู้ตัดสินใจซึ่งยังมีความไม่ชัดเจนออกมาเป็นตัวเลขได้ ดังนั้นความสำคัญระหว่างปัจจัยจึงควรได้รับการวิเคราะห์ด้วยวิธีการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์แบบฟัซซี (Fuzzy AHP Method) เพื่อหาค่าน้ำหนักของปัจจัยที่มีอิทธิพลตามทฤษฎีให้เหมาะสมกับการตัดสินใจในชีวิตจริงของมนุษย์มากขึ้น

3.7 ทฤษฎีเทคนิคการเรียงลำดับตามอุดมคติ (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution, TOPSIS)

การวิเคราะห์หาค่าความใกล้สัมพัทธ์ (Relative Closeness) เพื่อจัดลำดับทางเลือกโดยใช้กระบวนการเทคนิคการเรียงลำดับตามอุดมคติ (TOPSIS) การค้นหาทางเลือกมีระยะทางใกล้กับผลลัพธ์ที่ดีที่สุดของแต่ละปัจจัยและมีระยะที่ห่างไกลจากผลลัพธ์ที่แย่ที่สุดในแต่ละปัจจัยในเวลาเดียวกันเพื่อจัดลำดับความสำคัญของทางเลือกและค้นหาทางเลือกที่เหมาะสมที่สุดภายใต้ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อแนวทางการพัฒนารถยนต์ไฟฟ้า

4. ผลและวิจารณ์ผล

ผลสำรวจการตัดสินใจและวิเคราะห์ค่าน้ำหนักของการตัดสินใจเลือกใช้รถยนต์ไฟฟ้าจากผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 35 ท่าน ซึ่งแบ่งตามหน้าที่รับผิดชอบแบ่งเป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มหน่วยงานผู้กำหนดนโยบาย ได้แก่ สำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ กลุ่มหน่วยงานผู้พัฒนาโครงสร้างพื้นฐานรถยนต์ไฟฟ้า ได้แก่ การไฟฟ้าฝ่ายผลิต การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค กลุ่มหน่วยงานผู้ผลิตรถยนต์ไฟฟ้า และบริษัทเอกชนที่เกี่ยวข้อง ผลการวิเคราะห์ค่าความสอดคล้องการตัดสินใจ (C.R.) พบว่าค่า C.R. ของแต่ละท่านอยู่ระหว่าง 0.000 ถึง 0.100 ซึ่งไม่เกินร้อยละ 10 หมายความว่าข้อมูลการตัดสินใจที่รวบรวมได้มีความสอดคล้องอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้และสามารถนำมาใช้วิเคราะห์ข้อมูล

4.1 ผลการวิเคราะห์ค่าน้ำหนักปัจจัยปัจจัยที่มีอิทธิพล

4.1.1 ค่าน้ำหนักปัจจัยจากวิธีการ Weight Average

ผลการวิเคราะห์การจัดลำดับปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อแนวทางการพัฒนารถยนต์ไฟฟ้าตามวิธีการหาค่าเฉลี่ยน้ำหนัก ปัจจัยที่มีอิทธิพลได้แก่ ความปลอดภัยในการใช้งาน (0.213) ความคุ้มค่าด้านราคา (0.202) ความคุ้มค่าทางวิศวกรรม (0.202) ความเชื่อมั่นในนวัตกรรม (0.202) และการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (0.183) ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 2

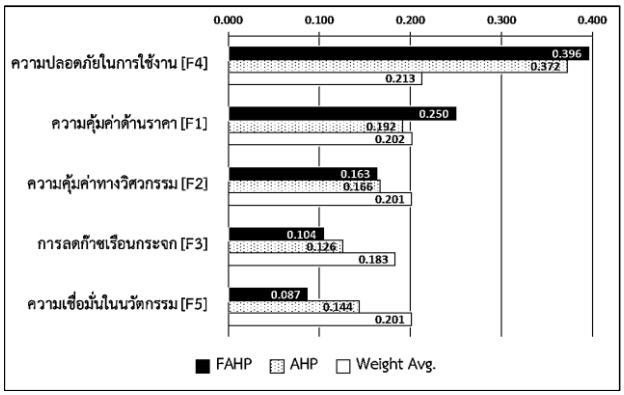
4.1.2 ค่าน้ำหนักปัจจัยจากวิธีการ AHP

ผลการวิเคราะห์การจัดลำดับปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อแนวทางการพัฒนารถยนต์ไฟฟ้าตามวิธีการ FAHP ปัจจัยที่มีอิทธิพลได้แก่ ความปลอดภัยใน

การใช้งาน (0.372) ความคุ้มค่าด้านราคา (0.192) ความคุ้มค่าทางวิศวกรรม (0.166) ความเชื่อมั่นในนวัตกรรม (0.144) และการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (0.126) ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 2

4.1.3 ค่าน้ำหนักปัจจัยจากวิธีการ FAHP

ผลการวิเคราะห์การจัดลำดับปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อแนวทางการพัฒนารถยนต์ไฟฟ้าตามวิธีการ FAHP ปัจจัยที่มีอิทธิพลได้แก่ ความปลอดภัยในการใช้งาน (0.396) ความคุ้มค่าด้านราคา (0.250) ความคุ้มค่าทางวิศวกรรม (0.163) การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (0.104) และความเชื่อมั่นในนวัตกรรม (0.087) ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 2 และตารางที่ 4



รูปที่ 2 ค่าน้ำหนักปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการจัดทำนโยบาย+การพัฒนารถยนต์ไฟฟ้า

ตารางที่ 4 ปัจจัยมีอิทธิพลต่อแนวทางการพัฒนารถยนต์ไฟฟ้าโดยวิธีการ FAHP

ผู้เชี่ยวชาญ	ปัจจัยที่ 1	ปัจจัยที่ 2	ปัจจัยที่ 3	ปัจจัยที่ 4	ปัจจัยที่ 5
1	0.372	0.162	0.000	0.465	0.000
2	0.191	0.182	0.166	0.277	0.185
3	0.286	0.141	0.000	0.337	0.236
.	.	.	.	.	.
35	0.295	0.202	0.000	0.504	0.000
Geometric Mean	0.250	0.163	0.104	0.396	0.087

4.2 ผลการวิเคราะห์การเลือกการใช้รถยนต์ไฟฟ้าด้วยวิธีการ TOPSIS

4.2.1 ค่าน้ำหนักทางเลือกภายใต้ปัจจัยจากวิธีการ Weight Average

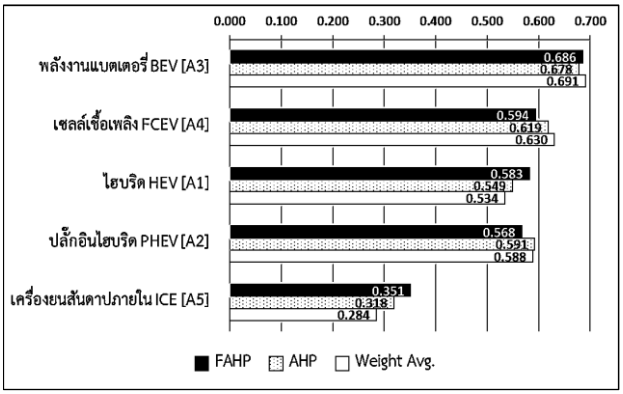
การจัดลำดับทางเลือกภายใต้ปัจจัยที่ได้จากวิธีการหาค่าเฉลี่ยน้ำหนักได้แก่ รถยนต์ไฟฟ้าพลังงานแบตเตอรี่ (0.691) รถยนต์ไฟฟ้าเซลล์เชื้อเพลิง (0.630) รถยนต์ไฟฟ้าปลั๊กอินไฮบริด (0.588) รถยนต์ไฟฟ้าไฮบริด (0.534) และรถเครื่องยนต์สันดาปภายใน (0.284) ดังแสดงในรูปที่ 3

4.2.2 ค่าน้ำหนักทางเลือกภายใต้ปัจจัยจากวิธีการ AHP

การจัดลำดับทางเลือกภายใต้ปัจจัยที่ได้จากวิธีการ AHP ได้แก่ รถยนต์ไฟฟ้าพลังงานแบตเตอรี่ (0.678) รถยนต์ไฟฟ้าเซลล์เชื้อเพลิง (0.619) รถยนต์ไฟฟ้าปลั๊กอินไฮบริด (0.591) รถยนต์ไฟฟ้าไฮบริด (0.549) และรถเครื่องยนต์สันดาปภายใน (0.318) ดังแสดงในรูปที่ 3

4.2.3 ค่าน้ำหนักทางเลือกภายใต้ปัจจัยจากวิธีการ FAHP

การจัดลำดับทางเลือกภายใต้ปัจจัยที่ได้จากวิธีการ FAHP ได้แก่ รถยนต์ไฟฟ้าพลังงานแบตเตอรี่ (0.686) รถยนต์ไฟฟ้าเซลล์เชื้อเพลิง (0.594) รถยนต์ไฟฟ้าไฮบริด (0.583) รถยนต์ไฟฟ้าปลั๊กอินไฮบริด (0.568) และรถเครื่องยนต์สันดาปภายใน (0.351) ดังแสดงในรูปที่ 3 และตารางที่ 5



รูปที่ 3 ค่าน้ำหนักทางเลือกของการเลือกใช้รถยนต์ไฟฟ้า

เมื่อพิจารณาทางเลือกรถยนต์ไฟฟ้าภายใต้ค่าน้ำหนักปัจจัยตามกระบวนการ FAHP ความปลอดภัยในการใช้งานมีค่าน้ำหนักความสำคัญสูงที่สุด (0.396) รองลงมาเป็นความคุ้มค่าด้านราคา (0.250) ซึ่งเป็นปัจจัยที่ส่งผลให้การพัฒนารถยนต์ไฟฟ้าพลังงานแบตเตอรี่มีความเหมาะสมที่สุดตามการคำนวนค่าน้ำหนักทางเลือกรถยนต์ไฟฟ้าดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ค่าน้ำหนักของทางเลือกของรถยนต์ไฟฟ้าภายใต้ปัจจัยจากวิธี FAHP

ผู้เชี่ยวชาญ ลำดับที่	ทางเลือก ที่ 1	ทางเลือก ที่ 2	ทางเลือก ที่ 3	ทางเลือก ที่ 4	ทางเลือก ที่ 5
1	0.000	0.824	0.824	0.000	0.521
2	0.370	0.670	1.000	0.598	0.000
3	0.665	1.000	1.000	1.000	0.335
.	.	.	.	.	.
35	0.383	1.000	0.862	0.383	0.000
Geometric Mean	0.583	0.568	0.686	0.594	0.351

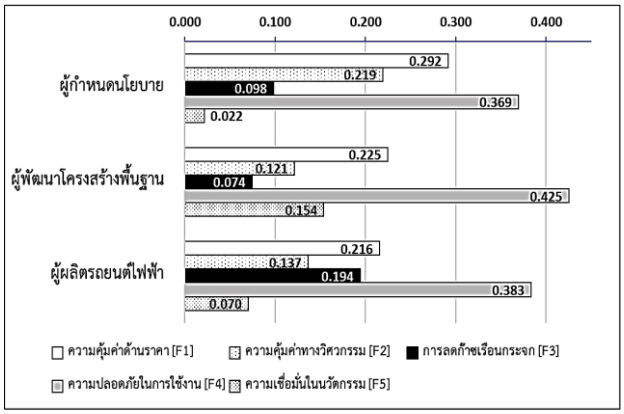
4.3 ปัจจัยที่มีอิทธิพลจำแนกตามกลุ่มผู้ตัดสินใจ

ปัจจัยที่มีความสำคัญต่อแนวทางการพัฒนารถยนต์ไฟฟ้าดังแสดงในรูปที่ 4 และข้อมูลในตารางที่ 6 เมื่อพิจารณาจำแนกตามกลุ่มผู้ตัดสินใจ มีดังนี้

กลุ่มหน่วยงานผู้กำหนดนโยบาย พบว่า ให้ความสำคัญปัจจัยด้านความปลอดภัยในการใช้งาน (0.369) มากที่สุด รองลงมาเป็นความคุ้มค่าด้านราคา (0.292) ความคุ้มค่าทางวิศวกรรม (0.219) การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (0.098) และ ความเชื่อมั่นในนวัตกรรม (0.022) ตามลำดับ

กลุ่มหน่วยงานผู้พัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านรถยนต์ไฟฟ้า พบว่า ให้ความสำคัญปัจจัยด้านความปลอดภัยในการใช้งาน (0.425) มากที่สุด รองลงมาเป็นความคุ้มค่าด้านราคา (0.225) ความเชื่อมั่นในนวัตกรรม (0.154) ความคุ้มค่าทางวิศวกรรม (0.121) และ การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (0.074) ตามลำดับ

กลุ่มหน่วยงานผู้ผลิตรถยนต์ไฟฟ้า พบว่า ให้ความสำคัญปัจจัยด้านความปลอดภัยในการใช้งาน (0.383) มากที่สุด รองลงมาเป็นความคุ้มค่าด้านราคา (0.216) การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (0.194) ความคุ้มค่าทางวิศวกรรม (0.137) และ ความเชื่อมั่นในนวัตกรรม (0.070) ตามลำดับ



รูปที่ 4 ค่าน้ำหนักปัจจัยที่มีอิทธิพลจำแนกตามกลุ่มผู้ตัดสินใจ

ตารางที่ 6 ค่าน้ำหนักปัจจัยที่มีอิทธิพลจำแนกตามกลุ่มผู้ตัดสินใจ

หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง	ปัจจัยที่ 1	ปัจจัยที่ 2	ปัจจัยที่ 3	ปัจจัยที่ 4	ปัจจัยที่ 5
ผู้กำหนดนโยบาย	0.292	0.219	0.098	0.369	0.022
ผู้พัฒนาโครงสร้างพื้นฐาน	0.225	0.121	0.074	0.425	0.154
ผู้ผลิตรถยนต์ไฟฟ้า	0.216	0.137	0.194	0.383	0.070

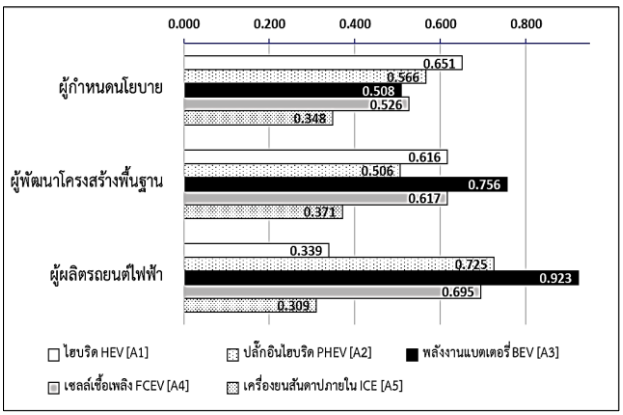
4.4 การเลือกใช้รถยนต์ไฟฟ้าจำแนกตามกลุ่มผู้ตัดสินใจ

ผลการวิเคราะห์ทางเลือกของรถยนต์ไฟฟ้าโดยพิจารณาจำแนกตามกลุ่มผู้ตัดสินใจดังแสดงฝนรูปที่ 5 และตารางที่ 7

กลุ่มหน่วยงานผู้กำหนดนโยบายตัดสินใจเลือกใช้รถยนต์ไฟฟ้าไฮบริด (0.651) รองลงมาเป็นรถยนต์ไฟฟ้าปลั๊กอินไฮบริด (0.566) รถยนต์ไฟฟ้าเซลล์เชื้อเพลิง (0.526) รถยนต์ไฟฟ้าพลังงานแบตเตอรี่ (0.508) และ รถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายใน (0.348) ตามลำดับ

กลุ่มหน่วยงานผู้พัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านรถยนต์ไฟฟ้าตัดสินใจเลือกใช้ รถยนต์ไฟฟ้าพลังงานแบตเตอรี่ (0.756) รองลงมาเป็นรถยนต์ไฟฟ้าเซลล์เชื้อเพลิง (0.617) รถยนต์ไฟฟ้าไฮบริด (0.616) รถยนต์ไฟฟ้าปลั๊กอินไฮบริด (0.506) และ รถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายใน (0.371) ตามลำดับ

กลุ่มหน่วยงานผู้ผลิตรถยนต์ไฟฟ้าเลือกใช้รถยนต์ไฟฟ้าพลังงานแบตเตอรี่ (0.923) รองลงมาเป็นรถยนต์ไฟฟ้าปลั๊กอินไฮบริด (0.725) รถยนต์ไฟฟ้าเซลล์เชื้อเพลิง (0.695) รถยนต์ไฟฟ้าไฮบริด (0.339) และ รถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายใน (0.309) ตามลำดับ



รูปที่ 5 ค่าน้ำหนักปัจจัยที่มีอิทธิพลจำแนกตามกลุ่มผู้ตัดสินใจ

ตารางที่ 7 ค่าน้ำหนักทางเลือกรถยนต์ไฟฟ้าจำแนกตามกลุ่มผู้ตัดสินใจ

หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง	HEV	PHEV	BEV	FCEV	ICE
ผู้กำหนดนโยบาย	0.604	0.531	0.543	0.543	0.355
ผู้พัฒนาโครงสร้างพื้นฐาน	0.577	0.570	0.711	0.636	0.320
ผู้ผลิตรถยนต์ไฟฟ้า	0.339	0.725	0.923	0.695	0.309

5. บทสรุป

งานวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์ปัจจัยด้วยกระบวนการ FAHP และจัดลำดับทางเลือกด้วยวิธีการ TOPSIS ในการตัดสินใจแนวทางการพัฒนารถยนต์ไฟฟ้า โดยวิเคราะห์ข้อมูลจากการตอบแบบสอบถามผู้เชี่ยวชาญที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการพัฒนารถยนต์ไฟฟ้าจำนวน 35 ท่าน ผู้ตอบแบบสอบถามประกอบไปด้วยผู้เชี่ยวชาญจากกลุ่มหน่วยงานผู้กำหนดนโยบาย หน่วยงานผู้พัฒนาโครงสร้างพื้นฐานรถยนต์ไฟฟ้า กลุ่มหน่วยงานผู้ผลิตรถยนต์ไฟฟ้า และบริษัทเอกชนที่เกี่ยวข้อง ผลงานวิจัยแสดงให้เห็นว่า ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อแนวทางการพัฒนารถยนต์ไฟฟ้า ได้แก่ ความปลอดภัยในการใช้งาน ความคุ้มค่าด้านราคา ความคุ้มค่าทางวิศวกรรม การปล่อยก๊าซเรือนกระจก และความเชื่อมั่นในนวัตกรรม ตามลำดับ

เมื่อหน่วยงานมีนโยบายการลงทุนพัฒนารถยนต์ไฟฟ้าควรมุ่งเน้นเรื่องความปลอดภัยเป็นอันดับแรกตั้งแต่การออกแบบระบบไฟฟ้า การวางแบตเตอรี่ ระบบเบรก และระบบควบคุมการเคลื่อนที่ เพื่อช่วยป้องกันอุบัติเหตุได้อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตามราคารถยนต์ไฟฟ้ายังคงสูงกว่าราคารถยนต์เชื้อเพลิงทั่วไปมาก ดังนั้นหน่วยงานควรคำนึงถึงการพัฒนาที่จะช่วยลดราคาต้นทุนของรถยนต์ไฟฟ้า เพื่อช่วยเพิ่มจำนวนผู้ที่สามารถเข้าถึงรถยนต์ไฟฟ้าได้มากขึ้น โดยเฉพาะการพัฒนาด้านวิศวกรรมของแบตเตอรี่ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่ช่วยลดราคาของรถยนต์ไฟฟ้ามากที่สุด รถยนต์ไฟฟ้ายังเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมจากการใช้พลังงานสะอาดในการขับเคลื่อนเมื่อเทียบกับรถยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงทั่วไป นอกจากนี้รถยนต์ไฟฟ้ายังได้รับความเชื่อมั่นจากผู้บริโภคมากขึ้นผ่านการเผยแพร่ข่าวสารเกี่ยวกับ

ประโยชน์ของการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้า ทำให้มีความคุ้นเคยและความเข้าใจในเทคโนโลยีนี้มากกว่าเมื่อก่อนและเห็นว่าการเปลี่ยนใช้รถยนต์ไฟฟ้าเป็นทางเลือกที่เหมาะสม

ทางเลือกของรถยนต์ไฟฟ้าที่เหมาะสม ได้แก่ รถยนต์ไฟฟ้าพลังงานแบตเตอรี่ รถยนต์ไฟฟ้าเซลล์เชื้อเพลิง รถยนต์ไฟฟ้าไฮบริด รถยนต์ไฟฟ้าปลั๊กอินไฮบริด และรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายในตามลำดับ

รถยนต์ไฟฟ้าพลังงานแบตเตอรี่เป็นทางเลือกที่เหมาะสมที่สุดภายใต้ปัจจัยด้านความปลอดภัยในการใช้งาน รองลงมาเป็นปัจจัยด้านความคุ้มค่าด้านราคา (0.250) และความคุ้มค่าทางวิศวกรรม (0.163) ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลให้ทางเลือกรถยนต์ไฟฟ้าพลังงานแบตเตอรี่มีความเหมาะสมที่สุด (0.686) และรถยนต์ไฟฟ้าเซลล์เชื้อเพลิงมีความเหมาะสมรองลงมา (0.594) ภายใต้ปัจจัยสำคัญเดียวกัน

เมื่อวิเคราะห์จำแนกกลุ่มผู้ตัดสินใจพบว่ากลุ่มหน่วยงานผู้กำหนดนโยบายเห็นว่า รถยนต์ไฟฟ้าไฮบริด (0.651) มีความเหมาะสมที่สุด ในขณะที่กลุ่มหน่วยงานผู้พัฒนาโครงสร้างพื้นฐานรถยนต์ไฟฟ้าและกลุ่มหน่วยงานผู้ผลิตรถยนต์ไฟฟ้ามีความเห็นตรงกันว่า รถยนต์ไฟฟ้าพลังงานแบตเตอรี่ (0.756 และ 0.923 ตามลำดับ) มีความเหมาะสมที่สุด

สำหรับทางเลือกลำดับรองลงมานั้นกลุ่มหน่วยงานผู้กำหนดนโยบายและกลุ่มหน่วยงานผู้ผลิตรถยนต์ไฟฟ้ามีความเห็นตรงกันคือ รถยนต์ไฟฟ้าปลั๊กอินไฮบริด (0.566 และ 0.725 ตามลำดับ) ในขณะที่กลุ่มหน่วยงานผู้พัฒนาโครงสร้างพื้นฐานรถยนต์ไฟฟ้าตัดสินใจเลือกใช้ รถยนต์ไฟฟ้าเซลล์เชื้อเพลิง (0.617)

ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อแนวทางการพัฒนารถยนต์ไฟฟ้าโดยจำแนกตามกลุ่มผู้ตัดสินใจพบว่าผู้ตัดสินใจจากทุกกลุ่มหน่วยงานตัดสินใจเหมือนกันโดยพิจารณาปัจจัยด้านความปลอดภัยเป็นสำคัญรองลงมาเป็นปัจจัยด้านราคา ในขณะที่ปัจจัยด้านความคุ้มค่าทางวิศวกรรม การปล่อยก๊าซเรือนกระจก และความเชื่อมั่นในนวัตกรรม มีความสำคัญใกล้เคียงกันรองลงมา

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากสาขาวิชาวิศวกรรมโครงสร้างพื้นฐานและการบริหาร ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ และได้รับความอนุเคราะห์ข้อมูลจากผู้เชี่ยวชาญจากสำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค บริษัท เกรท วอลล์ มอเตอร์ แมนูแฟคเจอริ่ง (ประเทศไทย) จำกัด และบริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) ในการรวบรวมข้อมูล

เอกสารอ้างอิง

[1] International Energy Agency (2022), *Trends and developments in EV markets*. Global EV Outlook 2022, pp.12-53.

[2] Edenhofer, O., Madruga, R., Sokona, Y., Minx, J., Farahani, E., Kadner, S., Seyboth, K., Adler, A., Baum, I., Brunner, S., Eickemeier, P., Krieman, B., Savolainen, J., Schlömer, S., Stechow, C., and Zwickel, T. (2014). *Climate Change 2014 Mitigation of Climate Change*. Cambridge University Press. pp.603-610.

[3] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน (2565). *การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) จากการใช้พลังงาน ปี 2564*. สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน.

[4] United Nations. *The Sustainable Development Goals Report 2022*. United Nations. pp.40-53.

[5] สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ (2561). *ยุทธศาสตร์ชาติระยะ 20 ปี (พ.ศ. 2561-2580). สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ* หน้า 28 และหน้า 55.

[6] กระทรวงคมนาคม (2562). *ยุทธศาสตร์การพัฒนาระบบคมนาคมขนส่งของไทย ระยะ 20 ปี (พ.ศ. 2561-2580)*. กรมการขนส่งทางบก. ภาคผนวก ก หน้า 5.

[7] Wilberforce, T., El-Hassan, Z., Khatib, F.N., Makky, A., Baroutaji, A., Carton, J. and Olabi, A. (2017). Developments of electric cars and fuel cell hydrogen electric cars. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42, pp25695-25734.

[8] Capuder, T., Sprčić, D., Zoričić, D. and Pandžić, H. (2020). Review of challenges and assessment of electric vehicles integration policy goals: Integrated risk analysis approach. *Electrical Power and Energy Systems*, 119, 105894.

[9] Samaie, F., Javadi, S., Naimi, H. and Farahani, F. (2020). Environmental sustainability policy on plug-in hybrid electric vehicle penetration utilizing fuzzy TOPSIS and game theory. *Clean Technologies and Environmental*, 22, pp.787-801.

[10] Murugan, M. and Marisamynathan, S. (2022). Elucidating the Indian customers requirements for electric vehicle adoption: An integrated analytical hierarchy process – Quality function deployment approach. *Case Studies on Transport Policy*, 10, pp.1045-1057.

[11] Ahmad, A., Khan, Z., Alam, M. and Khateeb, S. (2018). A Review of the Electric Vehicle Charging Techniques, Standards, Progression and Evolution of EV Technologies in Germany. *Smart Science*, 6:1, pp.36-53.

[12] Kim, I., Kim. And Lee, J. (2020). Dynamic analysis of well-to-wheel electric and hydrogen vehicles greenhouse gas emissions: Focusing on consumer preferences and power mix changes in South Korea. *Applied Energy*, 260, 114281.

[13] Hu, G., Huang, P., Bai, Z., Wang, Q. and Qi, K. (2021). Comprehensively analysis the failure evolution and safety evaluation of automotive lithium-ion battery. *eTransportation*, 10, 100140.

[14] Bobeth, S. and Matthies, E. (2018). New opportunities for electric car adoption: the case of range myths, new forms of subsidies, and social norms. *Energy Efficiency*, 11, pp.1763-1782.

[15] Dhingra, A., Jareda, A., Choudhary, H. and Agrawal, S. (2021). Selection of optimal electric vehicle charging station location using AHP-fuzzy TOPSIS approach. *ICIDSSD*, EAI.

[16] Kene, R., Olwal, T. and Wyk, B. (2021). Sustainable Electric Vehicle Transportation. *Sustainability 2021*, 13, 12379.

[17] Li, W., Long, R., Chen, H. and Geng, J. (2017). A review of factors influencing consumer intentions to adopt battery electric vehicles. *Renewable and Sustainable Energy Reviews (2017)*, 78, pp.318-328.

[18] Cano, Z., Banham, D., Ye, S., Hintennach, A., Lu, J., Fowler, M. and Chen, Z. (2018). Batteries and fuel cells for emerging electric vehicle markets. *Nature Energy*, 3, pp.279-289.

[19] Thompson, S., James, B., Huya-Kouadio, J., Houchins, C., DeSantis, D., Ahluwalia, R., Wilson, A., Kleen, G. and Papageopoulos, D. (2018). Direct hydrogen fuel cell electric vehicle cost analysis: System and high-volume manufacturing description, validation, and outlook. *Journal of Power Source*, 399, pp.304-313.

[20] Thakkar, J.J. (2021). *Multi-Criteria Decision Making. Studies in Systems*. Decision and Control, 336, pp.33-39.

[21] Saaty, T. and Vargas, L. (2012). *Models, Method, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process*. International Series in Operations Research & Management Science, 175, pp.1-4.

[22] Hwang, C. and Yoon, K. (1981). *Multiple Attribute Decision Making Methods and Applications*. Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, 186, pp.128-130.