Thammasat Engineering Journal. 2019; 5(2):

การประยุกต์ DEMATEL เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการเติบโตของอุตสาหกรรมยานยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทย

Application of DEMATEL for Relational Analysis of Factors Affecting the Growth of Thailand EVs Industry

ธัยธฉา ขุนศักดา[1)] และ เตือนใจ สมบูรณ์วิวัฒน์[2)]

Thaithacha Koonsakda[1)] and Tuanjai Somboonwiwat [2)]

[1) 2)] ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี จังหวัดกรุงเทพมหานคร 10140

บทคัดย่อ

ยานยนต์ไฟฟ้านั้นเติบโตขึ้นอย่างต่อเนื่องในหลายประเทศเพื่ออนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม แต่ประเทศไทยยังมีจ านวนยานยนต์ไฟฟ้าที่จดทะเบียนแล้วในปริมาณที่น้อยมาก บทความนี้จึงได้ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการเติบโตของอุตสาหกรรมยานยนต์ไฟฟ้าไทย โดยวิธีการวิจัยเริ่มจากศึกษาปัจจัยจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง แล้วน ามาให้ผู้เชี่ยวชาญก าหนดปัจจัยที่จะน ามาศึกษาผลกระทบต่อการเติบโตของอุตสาหกรรมยานยนต์ไฟฟ้าไทย จากนั้นประยุกต์ใช้เทคนิค DEMATEL วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัจจัยเหล่านั้น จากผลการวิเคราะห์พบว่า ปัจจัยด้านราคาที่คุ้มค่ากับสิ่งที่ได้รับ และความพร้อมของเทคโนโลยีแบตเตอรี่ เป็นปัจจัยที่มีระดับอิทธิพลสูงที่สุดตามล าดับ และจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัจจัยพบว่า ปัจจัยด้านราคาที่คุ้มค่ากับสิ่งที่ได้รับนั้นมีความสัมพันธ์เชิงผลกระทบจากปัจจัยด้านความพร้อมของเทคโนโลยีแบตเตอรี่และปัจจัยอื่นๆ และบทความนี้ได้เสนอแนะแนวทางเชิงนโยบายที่จะสนับสนุนอุตสาหกรรมยานยนต์ไฟฟ้า เช่น การให้เงินสนับสนุนส่วนต่างของราคายานยนต์ไฟฟ้ากับยานยนต์ที่ใช้น้ ามัน และรัฐควรให้งบสนับสนุนเพื่อการวิจัยและพัฒนาแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้า โดยสร้างความร่วมมือระหว่างรัฐบาล ภาคอุตสาหกรรม และนักวิชาการ เป็นต้น

ค าส าคัญ : DEMATEL ความสัมพันธ์ของปัจจัย ยานยนต์ไฟฟ้า วิเคราะห์ปัจจัย อุตสาหกรรมยานยนต์ไฟฟ้า

Abstract

Electric vehicle (EVs) has continually grown in many countries for being to conserve energy and environment. However, Thailand still has very few portion of registered EVs. This paper therefore aimed to study the factors affecting the growth of Thai EVs industry. The research methodology started from compiling factors from relevant researches and bringing them to experts to determine the factors that were evaluated in this study. Then DEMATEL technique was applied to analyze the relationship of those factors. The conclusion showed that both purchasing price and battery technology readiness are the most influential factors respectively. The cause-effect relationship analysis, purchasing price is also affected by battery technology readiness and other factors. In addition, this study also proposed policy recommendations that contribute Thai EVs industry such as providing support for price gap between EVs and ICE. Government should support for R&D of EVs battery and create cooperation among government, private sectors and academics.

Keywords : DEMATEL Electric vehicle EVs industry Factors analysis Relational analysis

1. บทน า

ก๊าซเรือนกระจกและมลพิษที่ถูกปล่อยออกมานั้นส่วนหนึ่งเกิดจากภาคการขนส่งของอุตสาหกรรมยานยนต์ โดยเฉพาะจากรถยนต์สันดาปภายในที่แล้วแต่จะมีจำนวนเพิ่มมากขึ้น ทำให้แนวโน้มของปริมาณก๊าซเรือนกระจกและมลพิษก็จะมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นการพัฒนายานยนต์ไฟฟ้าจึงเป็นสิ่งที่จำเป็นในระยะยาวอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้

ปัจจุบันอุตสาหกรรมยานยนต์ไฟฟ้าได้แพร่หลายในหลายประเทศ (1) โดยรถยนต์ไฟฟ้าที่จดทะเบียนในปี 2016 ทำ

สถิติสูงสุด มากกว่า 750,000 คัน ทั่วโลก โดยประเทศจีนเป็นประเทศที่มีตลาดรถยนต์ไฟฟ้าสูงที่สุด มีรถยนต์ไฟฟ้าที่จดทะเบียนในปี 2016 มากกว่า 336,000 คัน มากกว่าประเทศสหรัฐอเมริกาอยู่กว่า 2 เท่า ส่วนประเทศในสหภาพยุโรป มีจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าที่จดทะเบียนอยู่กว่า 215,000 คัน และแม้ว่าในประเทศไทย ปริมาณรถยนต์ไฟฟ้าที่จดทะเบียนแล้วในปี 2016 นั้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตามเมื่อมองภาพรวมรถยนต์ทั้งหมดแล้ว รถยนต์ไฟฟ้า ยังมีส่วนแบ่งการตลาดที่น้อยมาก ประมาน 0.0008% (2) ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 จำนวนยานยนต์จดทะเบียนสะสมในประเทศไทย (คัน)

Year	ICE*	% Growth	PHEV**+ BEV***	% Growth	% Share of PHEV+ BEV
2011	11,643,183	7.3	68	4.6	0.0006
2012	12,849,636	10.4	71	4.4	0.0006
2013	14,096,209	9.7	88	23.9	0.0006
2014	14,906,452	5.7	85	-3.4	0.0006
2015	15,557,375	4.4	100	17.6	0.0006
2016	16,159,528	3.9	132	32.0	0.0008

*ICE: Internal Combustion Engine
*PHEV: Plug-in Hybrid Electric Vehicle
**BEV: Battery Electric Vehicle

สิ่งสำคัญที่ทำให้ยานยนต์ไฟฟ้าเป็นที่ยอมรับมากขึ้นในหลายประเทศก็คือการสนับสนุนด้านนโยบาย ความพร้อมของโครงสร้างพื้นฐาน และการสร้างข้อกำหนด และมาตรฐาน (1)

ต้นทุนของยานยนต์ไฟฟ้าสามารถทำให้ลดลงได้ หากมีนโยบายที่เหมาะสม เช่น นโยบายที่สนับสนุนการวิจัยและพัฒนา โดยเฉพาะการวิจัยและพัฒนาเกี่ยวกับแบตเตอรี่ที่ถือว่าเป็นชิ้นส่วนที่มีราคาสูง จากการประเมินคาดว่าในอีก 3 – 5 ปี ต้นทุนของแบตเตอรี่จะลดลงอย่างต่อเนื่อง พร้อมทั้งยังทำให้สมรรถนะในการขับขี่ของยานยนต์ไฟฟ้าให้ดียิ่งขึ้นอีกด้วย และ (3) ยังแนะนำอีกว่าการลดหย่อนภาษีตามขนาดของแบตเตอรี่ก็จะช่วยให้สามารถขยายตลาดของแบตเตอรี่ ทำให้เกิดการผลิตในปริมาณที่มากส่งผลให้ต้นทุนต่อหน่วยถูกลง และการจูงใจผู้ผลิตยานยนต์ให้เข้าสู่การผลิตยานยนต์ไฟฟ้า สามารถทำได้โดยการกำหนดนโยบายสินเชื่อเพื่อช่วยเหลือและสนับสนุนการเปลี่ยนแปลงรูปแบบสายการผลิตจากยานยนต์แบบเดิมให้เป็นยานยนต์ไฟฟ้า นอกจากนี้แรงจูงใจในการใช้ยานยนต์ไฟฟ้าสามารถสร้างได้โดยกำหนดนโยบาย เช่น การสนับสนุนทางการเงินเพื่อลดความต่างของราคาของยานยนต์ไฟฟ้ากับยานยนต์ประเภทเดิม การลดหรือการยกเว้นภาษีสำหรับยานยนต์ที่ปล่อยมลพิษก๊าซเรือนกระจกต่ำ ทั้งหมดนี้จะช่วยให้ราคาของยานยนต์ไฟฟ้านั้นสามารถจูงใจผู้ซื้อได้มากยิ่งขึ้น หรือนโยบายอื่นๆที่สามารถสร้างแรงจูงใจพิเศษที่เหนือกว่ายานพาหนะคู่แข่งอื่นๆ ยกตัวอย่างเช่น การจอดรถในที่พิเศษตามที่สาธารณะ หรือห้างสรรพ สินค้า เป็นต้น

ในส่วนของความพร้อมของสถานีอัดประจุนั้นเป็นที่ทราบกันว่าเป็นส่วนสำคัญที่ช่วยให้ยานยนต์ไฟฟ้ามีส่วนแบ่งการตลาดมากขึ้น โดย (International Energy Agency: IEA) ได้ร่างข้อเสนอแนะด้านนโยบายและมาตรการเพื่อการสนับสนุนอุปกรณ์ที่ใช้ในการอัดประจุ (Electric Vehicle Supply Equipment : EVSE) เช่น การกำหนดมาตรฐานเพื่อให้มั่นใจถึงการทำงานร่วมกันของ EVSE ในแต่ละพื้นที่ การกำหนดเป้าหมายของการใช้งาน EVSE การกำหนดสิ่งจูงใจทางการเงิน และการกำหนดข้อบังคับและข้ออนุญาต

ในประเทศไทยนั้นมีนโยบายและมาตรการจากภาครัฐที่สนับสนุนยานยนต์ไฟฟ้าอยู่เช่นกัน เช่น นโยบายด้านภาษี ที่จัดเก็บภาษีตามปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของรถยนต์ เพื่อปรับพฤติกรรมของผู้บริโภคให้เลือกรถยนต์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และเพื่อทำให้เกิดการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้เชื้อเพลิงจากฝั่งผู้ผลิตยานยนต์ (4) และในปัจจุบันรัฐบาลได้กำหนดแผน มาตรการ และมาตรฐานเพื่อการพัฒนาอุตสาหกรรมยานยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทย ยกตัวอย่างเช่น แผนด้านการวิจัยและพัฒนา โดยกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ในการทำวิจัยชิ้นส่วนยานยนต์ไฟฟ้าที่ประเทศไทยยังต้องพึ่งพาการนำเข้า อีกทั้งโครงการระเบียงเศรษฐกิจภาคตะวันออก (Eastern Economic Corridor: EEC) ที่รัฐบาลได้มีเป้าหมายให้เป็นศูนย์รวมผู้ผลิตอุปกรณ์เดิม (Original Equipment Manufacturer) ของภูมิภาค

เมื่อเปรียบเทียบถึงสถานการณ์ภาพรวมของยานยนต์ไฟฟ้าของทั่วโลกและประเทศไทย จะพบว่าแม้ประเทศไทยจะเริ่มสนับสนุนยานยนต์ไฟฟ้า แต่ปริมาณยานยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทยนั้นมีส่วนแบ่งการตลาดน้อยมากเมื่อเทียบกับประเทศอื่นๆ ดังนั้นบทความนี้มีจุดประสงค์เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีผลต่อการเติบโตของอุตสาหกรรมยานยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทย เพื่อจะทราบถึงปัจจัยที่สนับสนุนทำให้เกิดการเติบโตของอุตสาหกรรมยานยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทย และสามารถนำผลการวิเคราะห์ไปประกอบการพัฒนาของอุตสาหกรรมยานยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทยในอนาคต โดยใน

หัวข้อถัดไปของบทความนี้จะกล่าวถึง ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง วิธีการดำเนินงาน ผลการวิเคราะห์และสรุปผล สุดท้ายคืออภิปรายพร้อมข้อเสนอแนะ

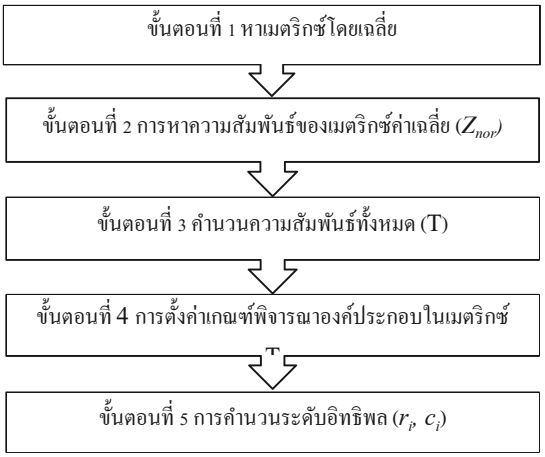
2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัจจัยด้วยเทคนิค DEMATEL

การวิเคราะห์ DEMATEL เป็นกระบวนการวิเคราะห์ที่มีประสิทธิภาพสำหรับการวิเคราะห์โครงสร้างปัญหาที่มีความสัมพันธ์เชิงสาเหตุและเชิงผลกระทบ โดยได้ถูกนำมาใช้ในการแบ่งกลุ่มปัจจัยเชิงสาเหตุและเชิงผลกระทบระหว่างกลุ่มปัจจัย สามารถทำให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยมากยิ่งขึ้น ซึ่งขั้นตอนการวิเคราะห์โดยสังเขป แสดงดังรูปที่ 1 ตัวอย่างงานวิจัยที่ประยุกต์ใช้ DEMATEL อาทิ (5) ได้ศึกษาและระบุความสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีผลต่อการแข่งขันของอุตสาหกรรมเหล็กและเหล็กกล้าไทย และ (6) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ของกระบวนการสนับสนุนของห่วงโซ่อุปทานในโรงพยาบาลว่ามีความสัมพันธ์กับกระบวนการเพื่อการรักษาอย่างไร เป็นต้น

2.2 งานวิจัยที่ศึกษาการพัฒนาและการเติบโตของอุตสาหกรรมยานยนต์ไฟฟ้า

งานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการศึกษาการพัฒนาและการขเติบโตของอุตสาหกรรมยานยนต์ไฟฟ้าโดยกล่าวถึงปัจจัยหลายด้านที่ส่งผลต่อการเติบโตของอุตสาหกรรมยานยนต์ไฟฟ้า อาทิ การสนับสนุนด้านนโยบายโดย (7) ได้วิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเติบโตของยานยนต์ไฟฟ้า ได้ข้อสรุปว่า การมอบสิทธิประโยชน์ทางภาษีและการจ่ายเงินอุดหนุนให้กับประชาชนส่งผลต่อการเติบโตของยานยนต์ไฟฟ้า เช่นเดียวกับ (8) ที่กล่าวถึงกลยุทธ์จากภาครัฐเพื่อการพัฒนาอุปทานของยานยนต์ไฟฟ้า เช่นการสนับสนุนการวิจัยและพัฒนา การสร้างแรงงานที่มีฝีมือ การสนับสนุนทางการเงินต่อธุรกิจ และการสนับสนุนการพัฒนาทั้งห่วงโซ่อุปทาน ทั้งหมดนี้ล้วนมีผลต่อการเติบโตของอุตสาหกรรมยานยนต์ไฟฟ้าทั้งสิ้น และนโยบายที่จะจูงใจผู้ผลิตโดยอาศัยความร่วมมือระหว่างภาครัฐและเอกชน อย่างที่ (9) ได้ระบุไว้ว่าการสนับสนุนจากรัฐบาลและการสร้างแรงจูงใจในการการพัฒนายานยนต์ไฟฟ้าปลั๊กอินไฮบริด เพื่อสร้างต้นแบบสาธิตโดยมุ่งเน้นการใช้งานในระยะอันใกล้ อีกทั้งกำหนดทิศทางและกฎเกณฑ์ที่เหมาะสมเพื่อพัฒนาการทดสอบและการรับรองสำหรับระบบของยานยนต์ไฟฟ้า เช่น ผู้ผลิตรถยนต์ควรเห็นพ้องกับมาตรฐานเกี่ยวกับแบตเตอรี่ซึ่งจะช่วยให้เทคโนโลยีแบตเตอรี่สามารถเติบโตได้



รูปที่ 1 ขั้นตอนการวิเคราะห์ด้วย DEMATEL

นอกจากนั้นปัจจัยด้านความพร้อมของโครงสร้างพื้นฐานและเทคโนโลยีก็เป็นปัจจัยสำคัญส่งผลต่อการเติบโตของยานยนต์ไฟฟ้าเช่นกัน โดย (10) ได้สำรวจผู้มีส่วนได้ส่วนเสียกับอุตสาหกรรมยานยนต์ในประเทศไทย และวิเคราะห์ปัจจัยผ่านทฤษฎีแรงเสริม-แรงต้าน ซึ่งได้ผลลัพธ์คือปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อแนวโน้มของการใช้รถยนต์ไฟฟ้าในกรุงเทพมหานคร ได้แก่ โครงสร้างพื้นฐานที่สนับสนุนการใช้รถยนต์ไฟฟ้าและการปรับปรุงเทคโนโลยีที่ดีขึ้น เช่นเดียวกับ (11) ที่ได้ระบุถึงอุปสรรคสำคัญในการพัฒนายานยนต์ไฟฟ้า ประกอบด้วย ความไม่พร้อมเรื่องเทคโนโลยี และโครงสร้างพื้นฐานในการอัดประจุไม่เพียงพอ โดยเทคโนโลยีที่เป็นความท้าทายนั้น (12) ได้ระบุว่าเทคโนโลยีการกักเก็บพลังงาน ระบบการจัดการพลังงาน ระบบขนส่งขับเคลื่อน และระบบมอเตอร์ไฟฟ้า โดยความพร้อมของเทคโนโลยีดังกล่าวจะส่งผลต่อการเติบโตของยานยนต์ไฟฟ้า นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่กล่าวถึงปัจจัยด้านการแข่งขันที่มีผลต่อการเติบโตของยานยนต์ไฟฟ้า โดย (13) ได้สรุปว่า แรงผลักดัน (Force) การแข่งขัน (Rivalry) การมีส่วนร่วมเป็นวงกว้าง (Dispersion) และการปรากฏตัวของผู้แข่งขันใหม่ (Presence of new entrants) มีผลต่อการพัฒนายานยนต์ที่ปล่อยมลพิษต่ำ ซึ่งส่งผลต่อโอกาสของการพัฒนายานยนต์ไฟฟ้าอย่างต่อเนื่องในปัจจุบัน

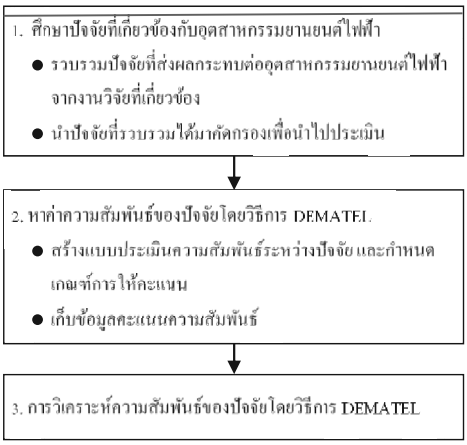
3. วิธีการดำเนินงาน

วิธีการดำเนินงานที่ใช้ในการศึกษานี้ เริ่มตั้งแต่การศึกษาและรวบรวมปัจจัยซึ่งนำมาจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและ

นำมาคัดกรองเพื่อนำมาประเมิน โดยการสร้างแบบประเมินความสัมพันธ์ของปัจจัยและเก็บข้อมูลเพื่อนำมาวิเคราะห์โดยวิธีการ DEMATEL โดยสามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 2

3.1 ศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมยานยนต์ไฟฟ้า

การศึกษานี้ได้ศึกษาและรวบรวมปัจจัยที่ส่งผลต่ออุตสาหกรรมยานยนต์ไฟฟ้าจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องโดยสามารถนำมาจัดหมวดหมู่ได้ทั้งหมด 13 ด้าน ซึ่งประกอบด้วย ปัจจัยด้านแรงงาน เทคโนโลยี ผู้ส่งมอบและลูกค้า โครงสร้างพื้นฐาน นโยบายจากรัฐบาล เศรษฐกิจ สัญลักษณ์ พื้นที่ใช้งาน ราคา การแข่งขัน ประชากรศาสตร์ ความตระหนักเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อม และสมรรถนะและความสวยงาม จากนั้นนำมาให้ผู้เชี่ยวชาญได้กำหนดปัจจัยที่จะนำมาศึกษาผลกระทบโดยได้ลดทอนปัจจัยเพื่อให้ง่ายต่อการทำแบบสอบถาม โดยคัดกรองปัจจัยเหลือปัจจัยหลักทั้งหมด 7 ปัจจัย และ 15 ปัจจัยย่อย ดังแสดงในตารางที่ 2



รูปที่ 2 ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.2 หาค่าความสัมพันธ์ของปัจจัยโดยวิธีการ DEMATEL

ขั้นตอนนี้เริ่มจากสร้างแบบประเมินซึ่งประกอบ ไปด้วย 2 ส่วน โดยส่วนแรกเป็นการเก็บข้อมูลทั่วไปของผู้ประเมิน ส่วนที่สองจะเป็นการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทั้ง 7 ปัจจัย 15 ปัจจัยย่อย โดยผู้ตอบแบบสอบถามต้องให้คะแนนความสัมพันธ์เป็นคู่ ๆ โดยมีเกณฑ์ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 2 ปัจจัยที่นำมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์

ปัจจัยหลัก	ปัจจัยย่อย	ปัจจัยที่นำมาวิเคราะห์
1) ปัจจัยด้านราคา	F1	ราคาที่คุ้มกับสิ่งที่ได้รับ
	F2	ค่าใช้จ่ายจากการใช้งาน
2) ปัจจัยด้านสมรรถนะ	F3	ระยะทางที่วิ่งได้มากสุดต่อการอัดประจุหนึ่งครั้ง
3) ปัจจัยด้านโครงสร้างพื้นฐาน	F4	ความพร้อมของสถานีอัดประจุ
	F5	ความพร้อมของศูนย์บริการ
4) ปัจจัยด้านเทคโนโลยี	F6	ความพร้อมของเทคโนโลยีแบตเตอรี่
5) ปัจจัยด้านประชากรศาสตร์	F7	ช่วงอายุของผู้บริโภค
6) ปัจจัยด้านความตระหนักเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อม	F8	การตระหนักต่อสภาพภูมิอากาศ เช่น ควัน ฝุ่น
	F9	การตระหนักต่อสภาวะโลกร้อนจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจก
	F10	การตระหนักต่อปรากฏการการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ
7) ปัจจัยด้านนโยบายจากรัฐบาล	F11	สิทธิประโยชน์ทางภาษี
	F12	การจ่ายเงินอุดหนุนให้กับประชาชน
	F13	การลงทุนจากภาครัฐในการสนับสนุนการวิจัยและพัฒนา
	F14	การสนับสนุนด้านการเงินต่อธุรกิจ
	F15	การสนับสนุนการจัดเข้ามาตรฐานและโครงสร้างพื้นฐาน

ตารางที่ 3 เกณฑ์การประเมินความสัมพันธ์ของปัจจัย

คะแนน	เกณฑ์และความหมาย
0	ปัจจัยทกาลงพจารณาไมมอทธพล หรอสงผลตออกปัจจยหนง
1	ปัจจัยทกาลงพจารณามอทธพล หรอสงผลตออกปัจจยหนงเพยงเลกน้อย
2	ปัจจัยทกาลงพจารณามอทธพล หรอสงผลตออกปัจจยหนงในระดบปานกลาง
3	ปัจจัยทกาลงพจารณามอทธพล หรอสงผลตออกปัจจยหนงในระดบสง
4	ปัจจัยทกาลงพจารณามอทธพล หรอสงผลตออกปัจจยหนงในระดบสงมาก

จากนั้นนำแบบประเมินไปให้ผู้มีประสบการณ์ในอุตสาหกรรมยานยนต์ โดยมีทั้งนักวิชาการ ผู้ผลิตประกอบรถยนต์ ผู้ผลิตชิ้นส่วนลำดับที่ 1 และ2 โดยการศึกษานั้นอยู่ในระดับสูงกว่าปริญญาตรี และมีประสบการณ์มากกว่า 3 ปี โดยจากการประเมินจะได้คะแนนความสัมพันธ์ของแต่ละท่านอยู่ในรูปเมตริกซ์ซึ่งสามารถนำมาหาคะแนนความสัมพันธ์เฉลี่ยในรูป

เมตริกซ์ดังสมการที่ 1 โดยเมตริกซ์คะแนนความสัมพันธ์เฉลี่ยแสดงดังในตารางที่ 4

$$Z_{ij} = \frac{\sum_{q=1}^{Q} Z_{ij}^{q}}{Q} \quad (1)$$

Z_{ij}: เมตริกซ์คะแนนความสัมพันธ์เฉลี่ย

Q: จำนวนผู้ตอบแบบสอบถามซึ่งมีเท่ากับ 10

Z_{ij}^{q} : เมตริกซ์ของคะแนนความสัมพันระหว่างปัจจัย i และปัจจัย j โดยที่ $i = 1, 2, \ldots, 15$

$j = 1, 2, \ldots, 15$

$q = 1, 2, \ldots, 10$

3.3 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัจจัยโดยวิธีการ DEMATEL

ในขั้นตอนนี้เป็นการนำเมตริกซ์คะแนนความสัมพันธ์เฉลี่ย Z_{ij} มาคำนวนเพื่อหาความสัมพันธ์ของปัจจัย โดยประกอบไปด้วยขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 การคำนวนหาเมตริกซ์ Normalized (Z_{nor}) โดยนำเมตริกซ์เฉลี่ย Z_{ij} มาหาผลรวมของคะแนนปัจจัยที่เป็นสาเหตุในแนวนอน (i) และในแนวตั้ง (j) จากนั้นหาค่าคะแนนสูงสุดระหว่างทั้งสองค่า (S) ซึ่งเขียนอธิบายดังสมการที่ 2

$$S = \max\left(\max \sum_{i=1}^{n} Z_{ij}, \max \sum_{j=1}^{n} Z_{ij} \right) \quad (2)$$

$$S = \max (37.6, 37.8)$$

$$S = 37.8$$

ระหว่างผลรวมคะแนนปัจจัยในแต่ละแถว (i) และผลรวมคะแนนปัจจัยแต่ละคอลัมน์ (j) พบว่าคะแนนที่สูงที่สุดมีค่าเท่ากับ 37.8 โดยค่านี้จะนำไปหารเมตริกซ์ค่าเฉลี่ย ดังสมการที่ 3 โดยแทนค่า S = 37.8 เพื่อหาเมตริกซ์ Normalized Z_{nor}

$$Z_{nor} = Z / S \quad (3)$$

ขั้นตอนที่ 2 คำนวนหาเมตริกซ์ความสัมพันธ์ทั้งหมด (T) โดยนำเมตริกซ์ Normalized Z_{nor} มาคำนวนหาความสัมพันธ์ของเมตริกซ์และผลกระทบจากความสัมพันธ์ของปัจจัยในแต่ละปัจจัยดังสมการที่ 4 โดยค่าของเมตริกซ์ความสัมพันธ์ทั้งหมดแสดงได้ดังตารางที่ 5

$$T = Z_{nor}(I - Z_{nor})^{-1} \quad (4)$$

โดยที่ $i,j = 1,2,3,\ldots,15$

การคำนวน $(I - Z_{nor})^{-1}$ ใช้คำสั่งฟังก์ชั่นในโปรแกรม Excel (=MINVERSE($F_{1,1}$:$F_{15,15}$) และ การคำนวน $Z_{nor}(I - Z_{nor})^{-1}$ ใช้คำสั่งการคูณเมตริกซ์ในโปรแกรม Excel (={MMULT(Z_{nor}),($I - Z_{nor}$)$^{-1}$})

ขั้นตอนที่ 3 การตั้งค่าเกณฑ์ (α) เพื่อพิจารณาปัจจัยในเมตริกซ์ T คำนวนได้โดยนำคะแนนความสัม พันธ์จากเมตริกซ์ T มาคำนวนคะแนนเฉลี่ยซึ่งในที่นี้คือ 0.4195 จากนั้นจะสามารถกำหนดเกณฑ์ α โดยคูณ 0.4195 ด้วย 1.25 จะได้ค่าเกณฑ์ α = 0.524 โดยค่าคะแนนความสัมพันธ์ที่มากกว่าเกณฑ์ จะเป็นคะแนนความสัมพันธ์ซึ่งมีความสัมพันธ์ที่มีผลกระทบ และสามารถตัดความสัมพันธ์ที่มีผลกระทบเล็กน้อยกว่า 0.524 ออก ซึ่งจะทำให้พบว่า ปัจจัยความสัมพันธ์ที่มีผลกระทบมากประกอบด้วย ราคาที่คุ้มกับสิ่งที่ได้รับ (F1) ค่าใช้จ่ายจากการใช้งาน (F2) ความพร้อมของสถานีอัดประจุ (F4) ความพร้อมของเทคโนโลยีแบตเตอรี่ (F6) สิทธิประโยชน์ทางภาษี (F11) การลงทุนจากภาครัฐในการสนับสนุนการวิจัยและพัฒนา (F13) ซึ่งสามารถจัดกลุ่มความสัมพันธ์ปัจจัยกลุ่มที่เป็นสาเหตุ (Cause) และกลุ่มที่ได้รับผลกระทบ (Effect) ดังตารางที่ 6

ขั้นตอนที่ 4 คำนวนระดับของอิทธิพล (ri, cj) จากความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ส่งผลต่ออุตสากรรมนั้นจะสามารถสรุปความสัมพันธ์รวมจากปัจจัยทีเป็นสาเหตุ (r_i+c_j) และ ปัจจัยที่บ่งชี้ผลกระทบรวม (r_i-c_j) ในลำดับปัจจัย โดยคำนวณจากสมการที่ (5) และ (6)

$$r_i = \sum_{j=1}^{n} t_{ij}, i = 1,2,\ldots n \quad (5)$$

$$c_j = \sum_{i=1}^{n} t_{ij}, j = 1,2,\ldots n \quad (6)$$

ตารางที่ 4 คะแนนความสัมพันธ์ของปัจจัยเฉลี่ย Z_{ij}

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13	F14	F15	Sum
F1	0.0	3.0	2.5	2.7	3.3	2.9	1.8	2.1	2.2	1.7	3.4	3.1	2.7	2.6	2.1	36.1
F2	2.6	0.0	2.5	2.6	2.9	2.4	2.0	1.6	1.6	1.5	2.7	2.8	2.3	2.5	2.4	32.4
F3	3.0	3.6	0.0	3.1	2.4	3.1	1.5	1.8	2.2	1.9	1.9	1.9	2.0	1.9	2.1	32.4
F4	2.9	2.8	3.0	0.0	2.6	3.2	1.9	2.2	2.2	2.2	2.4	2.4	2.6	2.5	2.6	35.5
F5	2.9	2.7	1.9	2.1	0.0	2.3	2.1	2.1	1.6	1.6	2.0	2.0	1.7	2.0	1.8	28.8
F6	3.2	3.3	3.6	3.1	2.4	0.0	2.0	2.3	2.4	1.9	3.1	2.9	2.7	2.2	2.5	37.6
F7	2.7	2.7	2.2	2.2	2.5	1.8	0.0	2.2	2.3	2.3	2.0	1.9	1.9	1.9	1.6	30.2
F8	1.7	1.8	1.8	1.9	1.8	2.4	2.0	0.0	2.7	2.2	2.1	2.4	1.9	2.1	2.6	29.4
F9	2.0	2.1	2.4	2.1	2.1	2.0	1.7	2.1	0.0	2.3	2.2	2.3	2.4	1.7	1.9	29.3
F10	2.0	1.8	2.2	1.8	1.9	2.6	1.6	2.4	2.7	0.0	1.7	2.5	2.2	1.8	2.3	29.5
F11	3.3	3.2	2.1	2.6	2.7	2.5	2.0	2.3	2.3	2.1	0.0	2.8	2.4	2.6	2.9	35.8
F12	2.8	3.1	1.4	1.8	1.6	1.8	1.9	2.3	2.3	2.0	2.2	0.0	2.2	2.4	1.8	29.6
F13	3.0	2.8	2.9	2.8	1.9	3.1	1.7	2.8	2.6	2.5	2.4	2.4	0.0	2.7	2.8	36.4
F14	3.2	2.5	2.1	2.2	2.5	2.5	2.0	2.0	1.7	1.9	2.7	2.2	2.0	0.0	2.4	31.9
F15	2.5	2.3	2.4	2.7	1.7	2.4	1.9	2.8	2.5	2.3	2.6	1.9	2.2	2.4	0.0	32.6
Sum	**37.8**	37.7	33.0	33.7	32.3	35.0	26.1	31.0	31.3	28.4	33.4	33.5	31.2	31.3	31.8	

ตารางที่ 5 เมตริกซ์ T (แสดงค่าความสัมพันธ์มากกว่าเกณฑ์ α ด้วยตัวหนา)

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13	F14	F15	Sum
F1	0.467	0.541	0.472	0.487	0.485	0.505	0.374	0.436	0.441	0.395	0.501	0.494	0.457	0.456	0.449	6.96
F2	0.487	0.423	0.433	0.444	0.437	0.452	0.347	0.387	0.39	0.356	0.445	0.446	0.41	0.416	0.417	6.29
F3	0.497	0.511	0.374	0.458	0.427	0.47	0.336	0.393	0.405	0.366	0.428	0.428	0.405	0.403	0.412	6.312
F4	0.531	0.529	0.479	0.414	0.463	0.506	0.371	0.433	0.436	0.402	0.472	0.471	0.449	0.448	0.455	6.858
F5	0.448	0.444	0.38	0.392	0.327	0.408	0.318	0.362	0.353	0.325	0.388	0.388	0.358	0.367	0.365	5.621
F6	0.564	0.567	0.515	0.514	0.481	0.452	0.391	0.456	0.462	0.414	0.511	0.506	0.473	0.463	0.474	7.243
F7	0.457	0.458	0.399	0.407	0.401	0.409	0.275	0.376	0.381	0.352	0.4	0.398	0.375	0.376	0.373	5.839
F8	0.424	0.426	0.381	0.391	0.375	0.414	0.318	0.314	0.383	0.343	0.394	0.401	0.367	0.372	0.388	5.69
F9	0.431	0.434	0.395	0.395	0.382	0.405	0.311	0.366	0.316	0.345	0.396	0.399	0.378	0.363	0.372	5.689
F10	0.432	0.428	0.392	0.39	0.379	0.42	0.31	0.375	0.385	0.289	0.386	0.405	0.375	0.367	0.382	5.716
F11	0.542	0.54	0.459	0.48	0.467	0.491	0.375	0.437	0.44	0.401	0.414	0.483	0.446	0.452	0.463	6.891
F12	0.454	0.461	0.375	0.392	0.375	0.404	0.319	0.374	0.377	0.341	0.401	0.346	0.377	0.383	0.373	5.75
F13	0.543	0.539	0.486	0.492	0.455	0.514	0.373	0.456	0.455	0.417	0.481	0.481	0.393	0.461	0.469	7.017
F14	0.494	0.478	0.419	0.429	0.423	0.449	0.342	0.392	0.387	0.361	0.44	0.428	0.398	0.349	0.413	6.202
F15	0.484	0.48	0.432	0.447	0.41	0.454	0.345	0.417	0.413	0.377	0.443	0.427	0.409	0.415	0.36	6.313
Sum	7.258	7.26	6.391	6.531	6.286	6.753	5.104	5.975	6.024	5.485	6.499	6.502	6.069	6.091	6.164	

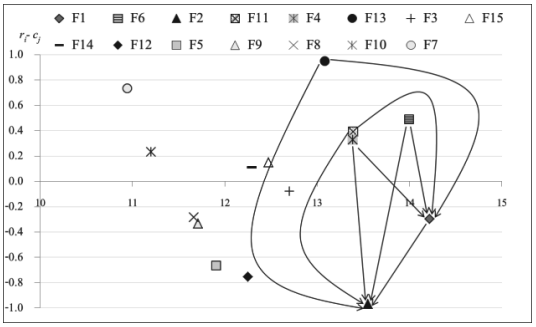
โดยความสัมพันธ์ทั้งหมดสามารถน ามาเรียงล าดับความส าคัญระดับของอิทธิพล ดังตารางที่ 7 โดยระดับของอิทธิพลของปัจจัยที่ได้รับการประเมินสามารถจัดล าดับมากสูงสุดไปต่ าสุด ได้ดังนี้ F1 ราคาที่คุ้มค่ากับสิ่งที่ได้รับ(r_i+c_j = 14.218) > F6 ความพร้อมของเทคโนโลยีแบตเตอรี่ (r_i+c_j =13.996) > F2 ค่าใช้จ่ายจากการใช้งาน (r_i+c_j = 13.550) > F11 สิทธิประโยชน์ทางภาษี (r_i+c_j = 14.169) ถัดมาคือ F14 > F13 > F3 > F15 > F14 > F12 > F5 > F9 > F8 > F10 > F7 ตามลำดับ

ตารางที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่เป็นสาเหตุ (Cause) และผลกระทบ (Effect)

Cause	Effect	Score
F1	F2	0.541
F4	F1,F2	0.531, 0.529
F6	F1,F2	0.564, 0.567
F11	F1,F2	0.542, 0.540
F13	F1,F2	0.543, 0.539

4. สรุปผล

จากตารางที่ 6 และ ตารางที่ 7 สามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่เป็นสาเหตุ (Cause) และปัจจัยที่ได้รับผลกระทบ (Effect) แสดงดังรูปที่ 2 โดยแสดงค่าความสัมพันธ์ที่บ่งชี้ระดับความสัมพันธ์ของปัจจัยที่เป็นสาเหตุ (r_i+c_j) ในแกน x และแสดงค่าความสัมพันธ์ที่บ่งชี้ระดับความสัมพันธ์ที่เป็นผลกระทบ (ri-cj) ในแกน y และจากการพิจารณาค่าความคะแนนความสัมพันธ์ที่มีค่าคะแนนมากกว่า α (0.524) โดยจะเขียน



รูปที่ 2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของแต่ละปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่ออุตสาหกรรมยานยนต์ไฟฟ้า

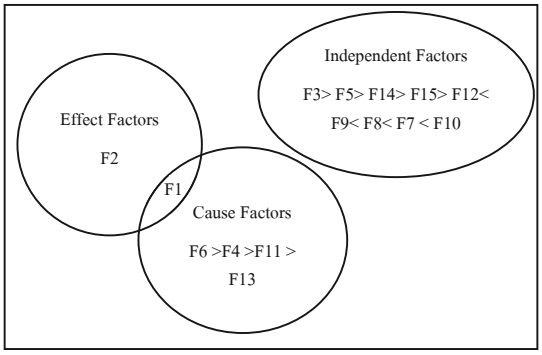
ตารางที่ 7 ระดับความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่ออุตสาหกรรมยานยนต์ไฟฟ้า

Factors	r_i	c_j	r_i+c_j	r_i-c_j
F1	6.960	7.258	14.218	-0.298
F6	7.243	6.753	13.996	0.490
F2	6.290	7.260	13.550	-0.970
F11	6.891	6.499	13.391	0.392
F4	6.858	6.531	13.388	0.327
F13	7.017	6.069	13.085	0.948
F3	6.312	6.391	12.703	-0.079
F15	6.313	6.164	12.477	0.149
F14	6.202	6.091	12.293	0.110
F12	5.750	6.502	12.252	-0.752
F5	5.621	6.286	11.906	-0.665
F9	5.689	6.024	11.713	-0.335
F8	5.690	5.975	11.665	-0.284
F10	5.716	5.485	11.201	0.231
F7	5.839	5.104	10.942	0.735

ลูกศรแสดงความสัมพันธ์จากสาเหตุไปยังผลกระทบ อาทิ F1 (Cause) → F2 (Effect) เป็นต้น

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัจจัยโดยวิธีการ DEMATEL สามารถสรุปความสัมพันธ์ของปัจจัยย่อย (F1-F15) ได้เป็นสามกลุ่ม คือ กลุ่มปัจจัยที่มีความสัมพันธ์เชิงผลกระทบ (Effect Factors) คือปัจจัยด้านค่าใช้จ่ายจากการใช้งาน (F2) กลุ่มปัจจัยที่มีความสัมพันธ์เชิงสาเหตุ (Cause Factors) ประกอบไปด้วยปัจจัยด้านความพร้อมของเทคโนโลยีแบตเตอรี่ (F6) ความพร้อมของสถานีอัดประจุ (F4) สิทธิประโยชน์ทางภาษี (F11) การลงทุนจากภาครัฐในการสนับสนุนการวิจัยและพัฒนา (F13) โดยปัจจัย ซึ่ง (F1) ราคาที่คุ้มค่ากับสิ่งที่ได้รับจะอยู่ในกลุ่มที่มีความสัมพันธ์ทั้งเชิงสาเหตุและเชิงผลกระทบ ส่วนกลุ่มสุดท้ายจะเป็นกลุ่มปัจจัยที่มีความสัมพันธ์เป็นอิสระไม่มีความสัมพันธ์เชิงสาเหตุ

หรือผลกระทบ (Independent Factors) โดยความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการเติบโตของอุตสาหกรรมยานยนต์ไฟฟ้า

5. อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

จากผลการวิเคราะห์ระดับอิทธิพลของปัจจัยสามารถเสนอแนะแนวทางเชิงนโยบายที่ส่งผลต่อปัจจัยด้านราคาที่คุ้มค่ากับสิ่งที่ได้รับ (F1) และปัจจัยความพร้อมของเทคโนโลยีแบตเตอรี่ (F6) ที่เป็นปัจจัยที่มีระดับอิทธิพลสูงที่สุดตามลำดับ โดยอ้างอิงจากในงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาอุตสาหกรรมยานยนต์ไฟฟ้า ตัวอย่างข้อเสนอแนะเชิงนโยบายที่สนับสนุนสองปัจจัยนี้ เช่น (3) การให้เงินสนับสนุนส่วนต่างของราคายานยนต์ไฟฟ้ากับยานยนต์ที่ใช้น้ำมัน และ(9) รัฐบาลจะต้องกำกับโครงการวิจัยมุ่งเน้นการเพิ่มประสิทธิภาพของแบตเตอรี่และระบบที่เกี่ยวข้อง โดยองค์กรต่างๆต้องตกลงร่วมกันที่จะสร้างมาตรฐานของพารามิเตอร์แบตเตอรี่ที่จะทำให้เทคโนโลยีแบตเตอรี่เติบโต เป็นต้น และจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัจจัย บ่งชี้ว่าปัจจัยด้านราคาที่คุ้มค่ากับสิ่งที่ได้รับ (F1) เป็นปัจจัยที่มีความสัมพันธ์เชิงผลกระทบจากปัจจัยในด้านอื่น ดังนั้นเราสามารถเสนอข้อเสนอแนะเชิงนโยบายที่มีผลต่อปัจจัยด้านอื่น เพื่อที่ปัจจัยด้านราคาที่คุ้มค่ากับสิ่งที่ได้รับนั้นได้รับผลกระทบไปด้วย เช่น การที่รัฐควรจะออกนโยบายลดหย่อนหรือละเว้นภาษีสำหรับการซื้อยานยนต์และอุปกรณ์ยานยนต์ไฟฟ้า และรัฐต้องเพิ่มปริมาณจำนวนสถานีอัดประจุในเครือข่ายถนนและในพื้นที่สาธารณะ (14) เป็นต้น

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Internal energy agency. Global EV outlook 2017 two million and counting. [Online] Available: http://www.iea.org/ [Cited 5 Apr 2018].

[2] Research Intelligence Krungsri Research. Thailand and the development of electric vehicles [Online] Available from: URL: https://www.krungsri.com [Cited 4 Apr 2018].

[3] Laoonual Y, KMUTT, MTEC, KMUTNB, NSTI. Assessment of electric vehicle technology development and its implication in Thailand. Pathumthani: NSTDA; 2015 [In Thai].

[4] Office of Natural Resources and Environment Policy and Planning. Thailand's first biennial update report under the United Nations framework convention on climate change [Online] Available: http://www.onep.go.th/ [Cited 4 Apr 2018].

[5] Rattanavijit S, Analysis of factors affecting competitiveness of Thai iron and steel industry. [ME Thesis]. Bangkok: King Mongkut's University of Technology Thonburi; 2014 [In Thai].

[6] Tuangyot S, Tuanjai S, Duangpun K. DEMATEL-modified ANP to evaluate internal hospital supply chain performance (Computers & Industrial Engineering) Journal of Elsevier 102 (2016) 318–330.

[7] Yong, T. A qualitative comparative analysis on factors affecting the deployment of electric vehicles [Online] Available: https://www.sciendirect.com [Cited 2 Apr 2018].

[8] International Economic Development Council, Creating the clean energy economy: Analysis of the electric vehicle Industry [Online] Available: https://www.iedconline.org [Cited 20 Nov 2018].

[9] Amjad, S. Review of design considerations and technological challenges for successful development and deployment of plug-in hybrid electric vehicles [Online] Available: https://www.sciendirect.com [Cited 19 Aug 2018].

[10] Payakkayart O, Assessment of key factors in implementation of electric vehicles in Bangkok. [ME Thesis]. Bangkok: Thai - Nichi Institute of Technology; 2015 [In Thai].

[11] Du, J. Progress of Chinese electric vehicles industrialization in 2015: A review [Online] Available: https://www.sciendirect.com [Cited 8 May 2018].

[12] Hannan, M. A. Hybrid electric vehicle and their challenge: A review [Online] Available: https://www.sciendirect.com [Cited 21 May 2018].

[13] Wesseling, J.H. How competitive forces sustain electric vehicle development [Online] Available: https://www.sciendirect.com [Cited 2 Apr 2018].

[14] Jensen, A.F., Cherchi, E., Mabit, S.L. On the stability of preferences and attitudes before and after experiencing an electric vehicle [Online] Available: https://www.sciendirect.com [Cited 25 Oct 2018].