วารสารเศรษฐศาสตร์และกลยุทธ์การจัดการ
ปีที่ 10 ฉบับที่ 1 มกราคม–มิถุนายน 2566

Journal of Economics and Management Strategy
Vol. 10, No. 1, January–June 2023

การเปลี่ยนผ่านสู่การขนส่งสาธารณะคาร์บอนต่ำ: แบบจำลองสภาวะเสมอภาคของต้นทุนความเป็นเจ้าของรถโดยสารประจำทางไฟฟ้า

(The Transition to Low-carbon Public Transport: An Equity Model of the Cost of Ownership of Electric Buses)

ภูรี สิรสุนทร[1] และ เพ็ชรธรินทร์ วงศ์เจริญ[2]

Puree Sirasoontorn [1] and Petchtharin Wongcharoen [2]

Received: April 12, 2022
Revised: August 4, 2022
Accepted: August 29, 2022

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในการเปลี่ยนผ่านสู่การขนส่งสาธารณะคาร์บอนต่ำหากนำรถโดยสารประจำทางไฟฟ้ามาให้บริการแทนรถโดยสารเครื่องยนต์สันดาปภายในในพื้นที่เขตกรุงเทพและปริมณฑลขององค์การขนส่งมวลชนกรุงเทพ (ขสมก.) โดยคำนึงถึง “ต้นทุนรวมในการเป็นเจ้าของทางเศรษฐศาสตร์” อันได้แก่ต้นทุนเอกชนและต้นทุนผลกระทบภายนอกจากการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกและการก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศ นอกจากนี้บทความนี้ยังได้ใช้ “แบบจำลองสภาวะเสมอภาคของต้นทุนรวมในการเป็นเจ้าของ” ในการวิเคราะห์ความสามารถในการแข่งขันในระยะยาวของรถโดยสารประจำทางไฟฟ้าและประเมินประสิทธิผลของมาตรการส่งเสริมการใช้รถโดยสารประจำทางไฟฟ้าอีกด้วย

ผลการศึกษาพบว่า การนำรถโดยสารเครื่องยนต์ดีเซลมาใช้มีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์มากกว่ารถโดยสารไฟฟ้าไม่มากนัก เนื่องจากราคาซื้อรถโดยสารไฟฟ้ามีมูลค่าสูงกว่ามาก ดังนั้นหากแบตเตอรี่ซึ่งเป็นชิ้นส่วนสำคัญในรถโดยสารไฟฟ้ามีแนวโน้มราคาที่ลดลงจะส่งผลให้รถโดยสารไฟฟ้าเข้าสู่สภาวะเสมอภาคและสามารถให้บริการแทนรถโดยสารเครื่องยนต์ดีเซลได้อย่างคุ้มค่าภายในปี พ.ศ. 2565 หากรัฐต้องการนำรถโดยสารไฟฟ้ามาให้บริการแทนรถโดยสารเครื่องยนต์ดีเซลในทันที การศึกษานี้พบว่ามาตรการทางการเงินโดยยกเว้นดอกเบี้ยเงินกู้เพื่อซื้อรถโดยสารไฟฟ้าเป็นมาตรการที่มีประสิทธิผลมากที่สุด นอกจากนี้ การยืดระยะเวลาใช้งานรถโดยสารประจำทางให้นานยิ่งขึ้น จะทำให้การใช้รถโดยสารไฟฟ้ามีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์มากกว่ารถโดยสารประจำทางประเภทอื่นๆ เป็นที่น่าสังเกตว่าการใช้รถโดยสารเครื่องยนต์ดีเซลที่ได้รับการอุดหนุนค่า

[1] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
Assistant Professor, Faculty of Economics, Thammasat University, E-mail: puree.sirasoontorn@econ.tu.ac.th

[2] ผู้ประพันธ์บรรณกิจ อาจารย์ คณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
Corresponding Author, Lecturer, Faculty of Economics, Thammasat University, Email: petchtharin.w@econ.tu.ac.th

เชื้อเพลิงจากกองทุนน้ำมันเชื้อเพลิง ทำให้มีต้นทุนรวมในการเป็นเจ้าของต่ำกว่ารถโดยสารประเภทอื่น หากยกเลิกการแทรกแซงราคาน้ำมันดีเซลแล้วจะทำให้รถโดยสารไฟฟ้าเข้าสู่สภาวะเสมอภาคได้ทันที ดังนั้นกองทุนน้ำมันเชื้อเพลิงจึงเป็นอุปสรรคในการเปลี่ยนผ่านสู่การขนส่งสาธารณะคาร์บอนต่ำในประเทศไทย

คำสำคัญ: การขนส่งสาธารณะ รถโดยสารประจำทาง ต้นทุนความเป็นเจ้าของ ยานยนต์ไฟฟ้า

ABSTRACT

This paper aims to assess the effective adoption of electric buses by Bangkok Mass Transit Authority (BMTA) in the Bangkok Metropolitan Area to achieve low-carbon transition in public transport. In this study, the economic model of the total cost of ownership (TCO) is employed. TCO includes private costs and external costs from greenhouse gas emissions and air pollution. This paper also adopts the TCO parity model to analyze the long-term competitiveness of electric buses and assess the effectiveness of government measures to promote the use of electric buses.

The results shows that diesel-powered buses are much more economically competitive than electric buses owing to the high purchase price of electric buses. Therefore, if the price of battery, which is a key component in electric buses, tends to fall, electric buses will reach TCO parity and be able to serve as a cost-effective replacement for diesel-powered buses by 2022. If the government aims to replace diesel-powered buses with electric buses immediately, this study found that the zero-interest loan program for electric buses would be the most effective government measure. In addition, if the useful lifespan of electric buses is extended, the electric buses will be more economical than other types of buses. Last but not least, the public transport will be transitioned toward low-carbon economy immediately if the government restructures diesel prices by eliminating the price subsidization through the Oil Fund.

Keywords: Public Transport, Fixed Route Bus, Total Cost of Ownership, Electric Vehicles

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในการบรรเทาปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและสภาวะโลกร้อนรวมไปถึงปัญหามลพิษทางอากาศที่ทั่วโลกเผชิญอยู่ในปัจจุบัน จำเป็นต้องอาศัยการเปลี่ยนผ่านสู่สังคมคาร์บอนต่ำโดยเฉพาะการเปลี่ยนผ่านด้านการใช้พลังงานในภาคเศรษฐกิจที่สำคัญโดยเฉพาะภาคขนส่งและภาคอุตสาหกรรม ภาคขนส่งเป็นภาคเศรษฐกิจที่มีอัตราการเติบโตของการปลดปล่อยมลพิษสูงที่สุด โดยเฉพาะภาคขนส่งทางถนนทั้งในการขนส่งส่วนบุคคลและการขนส่งสาธารณะ (Köhler, 2006) จึงทำให้รัฐบาลในประเทศต่างๆ ออกมาตรการส่งเสริมการ

เปลี่ยนผ่านสู่การขนส่งที่ยั่งยืนและลดการใช้เชื้อเพลิงที่ก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางอากาศโดยหันไปใช้พลังงานไฟฟ้าทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิงในการขนส่ง

ยานยนต์ไฟฟ้าสามารถนำมาใช้ใน “การขนส่งสาธารณะ” โดยภาครัฐมีบทบาทในการสนับสนุนให้ใช้ยานยนต์ไฟฟ้าทดแทนรถยนต์ที่ใช้เครื่องยนต์สันดาปภายใน (Internal Combustion Engine: ICE) ในการให้บริการขนส่งสาธารณะอันได้แก่ รถโดยสารไม่ประจำทาง รถยนต์รับจ้าง (หรือที่เรียกว่ารถแท็กซี่) และรถโดยสารประจำทาง ตลอดจนรถยนต์ที่ใช้ในหน่วยงานราชการต่างๆ

ประเทศไทยได้กำหนด “แผนการขับเคลื่อนภารกิจพลังงานเพื่อส่งเสริมยานยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทย พ.ศ. 2559-2579” (แผนขับเคลื่อนฯ) โดยคัดเลือกให้ “รถโดยสารประจำทางไฟฟ้า” เป็นหนึ่งในประเภทยานยนต์ไฟฟ้าที่อยู่ใน “แผนงานนำร่องระยะที่ 1 (พ.ศ. 2559-2560)” เนื่องจากเป็นรูปแบบการขนส่งสาธารณะที่เข้าถึงได้ง่ายที่สุดสำหรับประชาชนทั่วไปและใช้งานอย่างแพร่หลายทั้งในเขตเมืองและเขตชนบท ดังนั้น รัฐบาลจึงได้กำหนดให้มีความร่วมมือระหว่างรัฐบาลกับองค์การขนส่งมวลชนกรุงเทพ (ขสมก.) ในการจัดหารถโดยสารประจำทางไฟฟ้ามาให้บริการแก่ประชาชน

เนื่องจากประชาชนในเขตกรุงเทพและปริมณฑลใช้บริการขนส่งสาธารณะของ ขสมก. เป็นหลัก และใช้เพื่อเชื่อมต่อไปยังบริการขนส่งสาธารณะประเภทอื่น เช่น เรือ รถไฟ และรถไฟฟ้า ได้ง่าย การนำรถโดยสารไฟฟ้ามาให้บริการจึงเปิดโอกาสในการรับรู้และเข้าถึงยานยนต์ไฟฟ้าในวงกว้าง นอกจากนี้ รถโดยสารประจำทางที่ให้บริการในปัจจุบันของ ขสมก. เป็นรถโดยสารเครื่องยนต์ ICE ซึ่งกว่าร้อยละ 60 มีอายุการใช้งานเกิน 20 ปี มีสภาพทรุดโทรมและชำรุด และอยู่ระหว่างการจัดหารถใหม่มาให้บริการแทนกระทรวงคมนาคมจึงมีนโยบายที่จะเปลี่ยนรถโดยสารประจำทางจากรถเครื่องยนต์ดีเซลไปเป็นรถโดยสารไฟฟ้าภายในปี พ.ศ. 2565

ในการประเมินความคุ้มค่าในการเปลี่ยนผ่านสู่รถโดยสารประจำทางไฟฟ้าจำเป็นต้องพิจารณาอย่างรอบด้านทั้งทางด้านการเงิน เศรษฐกิจ และสังคม การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์โดยใช้ “ต้นทุนรวมในการเป็นเจ้าของ” (Total Cost of Ownership: TCO) เป็นวิธีที่ได้รับความนิยมและใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากวิธีการประเมินนี้สามารถเปรียบเทียบความคุ้มค่าในการเป็นเจ้าของและการใช้รถโดยสาร ICE และรถโดยสารไฟฟ้า โดยคำนึงถึงปัจจัยทางการเงินอันได้แก่ต้นทุนเอกชน (Private Cost) ซึ่งประกอบด้วยราคาซื้อรถโดยสารและต้นทุนค่าใช้จ่ายต่างๆ รวมทั้งปัจจัยทางด้านเศรษฐศาสตร์และสังคมโดยเฉพาะต้นทุนผลกระทบภายนอกเชิงลบ (Negative External Cost) ในระหว่างที่ใช้รถโดยสารทั้งสองประเภทตลอดอายุการใช้งาน อีกทั้งยังสามารถประเมินประสิทธิผลของมาตรการทางการเงินและที่มิใช่การเงินที่รัฐใช้เพื่อส่งเสริมการเปลี่ยนผ่านสู่การขนส่งสาธารณะคาร์บอนต่ำอีกด้วย

จุดมุ่งหมายและขอบเขตของการวิจัย

บทความนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อนำแนวคิด TCO ที่รวมทั้งต้นทุนเอกชนและต้นทุนผลกระทบภายนอกจากการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกและการก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศมาประยุกต์ใช้ในการประเมินความคุ้มค่าของการจัดหารถโดยสารประจำทางไฟฟ้าเพื่อมาทดแทนรถโดยสารประจำทาง ICE ของ ขสมก. รวมถึงวิเคราะห์ความสามารถในการแข่งขันในระยะยาวของรถโดยสารประจำทางไฟฟ้าโดยเปรียบเทียบกับรถโดยสารประจำ

ทางในปัจจุบันโดยใช้ “แบบจำลองสภาวะเสมอภาคของ TCO (หรือ TCO Parity)” ภายในกรอบระยะเวลาตามแผนขับเคลื่อนฯ ปี พ.ศ. 2559-2579 และประเมินประสิทธิผลของมาตรการส่งเสริมการใช้รถโดยสารประจำทางไฟฟ้าเพื่อเร่งให้เกิดการเปลี่ยนผ่านสู่การขนส่งสาธารณะคาร์บอนต่ำด้วยการวิเคราะห์ความอ่อนไหว (Sensitivity Analysis)

กรอบแนวคิดและแบบจำลองที่ใช้ในการวิจัย

แนวคิดเกี่ยวกับต้นทุนรวมในการเป็นเจ้าของ

ต้นทุนรวมในการเป็นเจ้าของ (TCO) คือต้นทุนที่แท้จริงอันเกิดจากการเป็นเจ้าของและการใช้งานตลอดช่วงอายุของสินค้า มักนำมาใช้เพื่อประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ก่อนการตัดสินใจเลือกซื้อ ดังนั้นหลักการคำนวณ TCO คือการคำนวณมูลค่าปัจจุบัน (Present Value) ของต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์ทั้งหมดที่จะเกิดขึ้นในอนาคตหากได้ซื้อและเป็นเจ้าของรวมทั้งได้ใช้งานสินค้านั้น เมื่อนำค่า TCO มาประยุกต์ใช้ในการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในการเป็นเจ้าของรถยนต์ประเภทต่างๆ จึงมีความเหมาะสมกว่าการประเมินความคุ้มค่าด้วยราคาซื้อหรือต้นทุนทางการเงินเพียงอย่างเดียว หากค่า TCO ของรถยนต์ที่คำนวณได้มีค่าต่ำกว่าโดยเปรียบเทียบยิ่งแสดงให้เห็นว่ารถยนต์ประเภทนั้นๆ มีความสามารถที่จะแข่งขันในตลาดได้และมีความคุ้มค่าในการใช้กว่ารถยนต์ที่มีค่า TCO สูง

ตลอดทศวรรษที่ผ่านมา แนวคิดนี้ถูกนำไปใช้เพื่อศึกษาเปรียบเทียบ TCO ของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลประเภทต่าง ๆ อย่างแพร่หลาย เช่นงานศึกษาของ Van Vliet et al. (2010), Propfe et al. (2012), Wu et al. (2015), Hangman et al. (2016), Bubeck et al. (2016), Breet & Deborah (2017), Harvey (2018), และ Pavlenko et al. (2019) เป็นต้น โดยวิธีการนำเสนอค่า TCO ที่คำนวณได้ส่วนมากจะนำเสนอในรูปของ TCO ต่อกิโลเมตร เพื่อเปรียบเทียบระหว่างรถยนต์ที่ใช้งานวิ่งในระยะทางที่แตกต่างกันได้ และแบ่งออกเป็นผลในกรณีฐาน (Base) และในกรณีภายใต้สถานการณ์จำลองต่างๆ (Scenarios) หรือที่เรียกว่าการวิเคราะห์ความอ่อนไหว (Sensitivity Analysis) โดยมักจะวิเคราะห์ความอ่อนไหวของ TCO ที่มีต่อมาตรการส่งเสริมของภาครัฐ ซึ่งช่วยให้ภาครัฐสามารถวิเคราะห์ประสิทธิผลของมาตรการส่งเสริมที่ภาครัฐควรนำใช้เพื่อให้ยานยนต์ไฟฟ้าสามารถแข่งขันกับยานยนต์ ICE ได้ และทำให้ผู้ใช้หันมาพิจารณาเลือกใช้ยานยนต์ไฟฟ้าแทนยานยนต์ ICE มากยิ่งขึ้น

Slowik et al. (2018) นำแนวคิดดังกล่าวไปต่อยอดและประยุกต์ใช้กับกรณีของรถโดยสารสาธารณะที่ให้บริการในกรุงเซาเปาโล ประเทศบราซิล ผลการศึกษาชี้ว่ารถโดยสารไฟฟ้ามี TCO ต่อกิโลเมตรต่ำกว่ารถโดยสาร ICE ผลที่ได้สอดคล้องกันกับงานศึกษาของ Bloomberg New Energy Finance (2018) ที่ทำการศึกษารถโดยสารไฟฟ้าในยุโรปและสหรัฐอเมริกา และพบว่าปัจจัยสำคัญที่ทำให้ TCO ต่อกิโลเมตรของรถโดยสารไฟฟ้าต่ำกว่ารถโดยสาร ICE คือระยะทางใช้งาน โดยรถโดยสารไฟฟ้าที่วิ่งระยะไกลมีข้อได้เปรียบในเรื่องต้นทุนเชื้อเพลิงหรือค่าไฟฟ้าที่ต่ำกว่า ซึ่งข้อได้เปรียบนี้มักเกิดขึ้นเฉพาะในเมืองใหญ่ ทำนองเดียวกัน งานศึกษาของ Jürg Grütter et al. (2018) เปรียบเทียบค่า TCO ของรถโดยสารในประเทศจีน โดยจำแนกประเภทของรถโดยสารออกเป็นกลุ่มเล็ก กลาง และใหญ่ และได้ข้อสรุปที่ใกล้เคียงกัน

อย่างไรก็ตาม การศึกษา TCO กรณีรถโดยสารของประเทศไทยยังอยู่ในวงจำกัด งานส่วนใหญ่ศึกษาเฉพาะรถยนต์นั่งส่วนบุคคล เช่นงานศึกษาของ ยศพงษ์ ลออนวล (2556) ชัยวัฒน์ ศิริพจนากุล (2559) และ ภูรี สิรสุนทร และคณะ (2562) ขณะที่งานศึกษาความคุ้มค่าจากการใช้รถโดยสารไฟฟ้าภายใต้ความร่วมของ ขสมก. และสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (2559) ก็มิได้รวมต้นทุนผลกระทบภายนอกที่ตกแก่สังคมไว้อีกด้วย

บทความนี้ จึงจะใช้ TCO ในความหมายกว้างโดยวิเคราะห์ต้นทุนทางสังคม (Social Cost) หรือ ต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์ในการเป็นเจ้าของและใช้งานยานยนต์ประเภทต่างๆ ซึ่งประกอบด้วย ต้นทุนเอกชน (Private cost) และ ต้นทุนผลกระทบภายนอก (External Cost)

โดยทั่วไปต้นทุนเอกชน ของการเป็นเจ้าของประกอบด้วย 2 ส่วน คือ 1) ต้นทุนค่าใช้จ่ายในการลงทุน (Capital Expenditure) ต้นทุนส่วนนี้มักเป็นต้นทุนคงที่ (Fixed Cost) ประกอบด้วยค่าใช้จ่ายจากการซื้อรถและครอบคลุมถึงต้นทุนค่าเสื่อมราคาที่เกิดจากการใช้งานรถยนต์ และ 2) ต้นทุนจากการใช้รถยนต์ (Operating Expenditure) ประกอบด้วย ต้นทุนคงที่เช่น ค่าประกันภัย และต้นทุนแปรผันตามระยะทางที่ใช้รถยนต์ เช่น ค่าเชื้อเพลิง ค่าบำรุงรักษา เป็นต้น ขณะที่ต้นทุนผลกระทบภายนอก (External Cost) ประกอบด้วยมูลค่าผลกระทบภายนอกเชิงลบที่เกิดจากการใช้งานรถยนต์แต่ละประเภทที่ตกแก่บุคคลที่สาม (Third Parties) โดยเฉพาะมลพิษทางอากาศ และทางเสียงที่เกิดจากการใช้รถยนต์

การคำนวณ TCO ในบทความนี้ได้พัฒนาจากแบบจำลองในงานศึกษาของ Wu et al. (2015) โดยปรับรูปแบบจำลองให้มีความเหมาะสมกับบริบทของการดำเนินกิจการรถโดยสารสาธารณะของไทยดังสมการที่ (1)

$$TCO_t = \sum_{t=1}^{N} \left[\frac{(P-R)\delta_t + F_t + M_t + I_t + S_t + T_t + ESC_t}{(1+r)^t} \right] \quad (1)$$

โดยที่ t คือ ปีที่ใช้งาน, N คือ ปีสุดท้ายที่ใช้งาน หรือ $t \in [1,2,\dots,N]$, P คือ ราคาของรถโดยสาร, R คือ ราคาขายต่อ, δ คือ ค่าปรับสภาพรถตามอายุการใช้งาน, F คือ ราคาเชื้อเพลิง, M คือ ค่าบำรุงรักษาระหว่างปี, I คือ ดอกเบี้ยจ่ายที่เกิดจากการเช่าซื้อรถยนต์, S คือ ค่าประกันภัยรถยนต์, T คือ ภาษีประจำปี, ESC คือ ต้นทุนผลกระทบภายนอก และ r คือ อัตราคิดลด (Discount Rate) โดยมีรายละเอียดดังนี้

ค่าใช้จ่ายในการลงทุน ประกอบด้วยส่วนต่างราคาซื้อ (P) รถกับราคาขายต่อ (R) ที่ถูกปรับสภาพตามอายุการใช้งาน (δ) ซึ่งสามารถมองเป็นต้นทุนค่าเสื่อมราคาที่เกิดขึ้นในแต่ละปีที่ใช้งาน ค่าปรับอายุการใช้งานที่นำมาคำนวณค่าเสื่อมราคามีหลากหลายวิธี แต่หนึ่งในวิธีที่นิยมใช้ในกรณีคิดค่าเสื่อมรถยนต์คือ วิธี Sum of Year' Digits (สำนักงานเศรษฐกิจการคลัง, 2548) ซึ่งวิธีดังกล่าวเป็นการกำหนดให้ค่าเสื่อมจากการใช้งานในปีแรก ๆ สูงกว่าปีท้าย ๆ ซึ่งสอดคล้องกับบริบทของรถยนต์ที่ราคาในปีต้นจะลดลงเร็วกว่าในปีท้าย โดยกำหนดให้ $\delta_t = 2(N-t+1)/N(N+1)$

ต้นทุนจากการใช้รถยนต์ ประกอบด้วยค่าเชื้อเพลิง ค่าบำรุงรักษา ดอกเบี้ย ค่าเบี้ยประกันภัย และภาษีรถยนต์ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ค่าเชื้อเพลิงต่อปี (F) ขึ้นอยู่กับประเภทของเชื้อเพลิง ราคาเชื้อเพลิงต่อหน่วย ระยะทางใช้งาน และอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง โดยที่ประสิทธิภาพเครื่องยนต์ สภาพการจราจร ความหนาแน่นบนท้องถนน รวมถึงพฤติกรรมการขับขี่เป็นปัจจัยกำหนดอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง ค่าเชื้อเพลิงต่อปีสามารถคำนวณได้ดังนี้

F_t = (ระยะทางใช้งานต่อปี/อัตราสิ้นเปลือง) × ราคาเชื้อเพลิงต่อหน่วย

ค่าบำรุงรักษาต่อปี (M) คือค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษารถโดยสาร ค่าอะไหล่สิ้นเปลืองต่างๆ เช่น ผ้าเบรก ยางล้อ การเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่อง น้ำมันเกียร์ น้ำมันเบรก น้ำมันหล่อลื่น ค่าน้ำยาเครื่องปรับอากาศ ตลอดจนค่าดำเนินการรายวันต่าง ๆ เช่น ค่าใช้จ่ายในการทำความสะอาดล้างรถรายวัน

งานศึกษานี้กำหนดให้ดอกเบี้ยรายปีในกรณีที่เจ้าของรถยนต์มีการเช่าซื้อมาเพื่อให้บริการ (I_t) เป็นอัตราคงที่ (Flat Rate) โดยที่ ดอกเบี้ยต่อปี = อัตราดอกเบี้ยต่อปี × (ราคารถยนต์ - เงินดาวน์) ในขณะที่ ค่าเบี้ยประกันภัย (S_t) จะกำหนดตามการประกันภัยยานยนต์ภาคบังคับ และ ค่าภาษีรถยนต์ประจำปี (T_t) จะกำหนดตามอัตราที่กำหนดในพระราชบัญญัติการขนส่งทางบก

ผลรวมข้างต้นเรียกรวมว่าต้นทุนเอกชน หรือต้นทุนที่เป็นตัวเงินที่ตกแก่ผู้ใช้งาน อย่างไรก็ตาม การใช้งานรถยนต์ ICE จะปลดปล่อยสารมลพิษออกมาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์และส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมในพื้นที่ที่มีการปล่อยสารมลพิษ ต้นทุนผลกระทบภายนอก (External Social Cost: ESC) ที่เกิดจากรถโดยสารประจำทางในบทความนี้พัฒนาจากงานศึกษาของ Tseng et al. (2013) และ Danielis et al. (2019) และแบ่งเป็นสองส่วน ส่วนแรกคือผลกระทบที่เกิดจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ซึ่งครอบคลุมทั้ง CO_2 ที่ปล่อยจากท่อไอเสียเมื่อขับเคลื่อนตัวรถ (Vehicle Operation) และปล่อยจากกระบวนการผลิตเชื้อเพลิง (Fuel Production) คำนวณได้ดังนี้

ปริมาณ CO_2 จากการเดินรถ = สัมประสิทธิ์การปล่อยต่อกิโลเมตร × ระยะทางขับเคลื่อน

ปริมาณ CO_2 จากการผลิตเชื้อเพลิง = สัมประสิทธิ์การปล่อยต่อหน่วยเชื้อเพลิง × ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้

ส่วนที่สองคือผลกระทบที่เกิดจากมลพิษทางอากาศ[3] อันประกอบด้วยก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ก๊าซไฮโดรคาร์บอน (HC) และอนุภาคฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM) คำนวณได้จาก

ปริมาณมลพิษทางอากาศ = สัมประสิทธิ์การปล่อยต่อกิโลเมตร × ระยะทางขับเคลื่อน

ค่า TCO ที่คำนวณได้จากสมการที่ (1) จึงสะท้อนทั้งต้นทุนของเอกชน และต้นทุนผลกระทบภายนอก หรือรวมเรียกว่าต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์

แนวคิดสภาวะเสมอภาคของต้นทุนรวมในการเป็นเจ้าของ

แบบจำลองสภาวะเสมอภาคของ TCO (TCO Parity) เป็นแบบจำลองที่ใช้ในการคาดการณ์ระยะเวลาที่ TCO ของยานยนต์ไฟฟ้าจะเข้าสู่ “สภาวะเสมอภาค (Parity)” หรือมีค่าเท่ากับ TCO ของยานยนต์ ICE โดยคาดการณ์ TCO ของยานยนต์ทั้งสองประเภทในแต่ละปีไปตลอดช่วงระยะเวลาที่ต้องการศึกษาเพื่อนำมาพิจารณาแนวโน้ม (Trend) ในอนาคต และภายใต้สมมติฐานที่ว่าราคาของยานยนต์ไฟฟ้าจะลดลง ทำให้ ณ จุด

[3] เกณฑ์การคัดเลือกประเภทสารพิษในบทความนี้อ้างอิงจากมาตรฐานการควบคุมปริมาณสารมลพิษ ECE R.83-05 (EURO 4) ซึ่งตรงกับมาตรฐาน มอก. 2540-2554 และ มอก. 2550 – 2554

หนึ่งของเวลาในอนาคต ค่า TCO ของยานยนต์ทั้งสองประเภทจะเท่ากัน หรือเข้าสู่สภาวะเสมอภาคนั่นเอง การศึกษา TCO Parity จะทำให้คาดการณ์ได้ว่ายานยนต์ไฟฟ้าจะต้องใช้ระยะเวลานานเท่าใดจึงจะสามารถแข่งขันกับยานยนต์ ICE ได้ในท้ายที่สุด

แบบจำลอง TCO Parity สามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ความอ่อนไหว (Sensitivity Analysis) จากการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมการใช้ยานยนต์ ระยะทาง ไปจนกระทั่งการเลือกใช้เชื้อเพลิงและความผันผวนของราคาเชื้อเพลิงที่จะส่งผลต่อการเข้าสู่สภาวะเสมอภาคของยานยนต์ไฟฟ้า อีกทั้งยังสามารถนำมาใช้ประเมินประสิทธิผลของมาตรการทางการเงินและที่มิใช่ทางการเงินของรัฐเพื่อส่งเสริมการใช้ยานยนต์ไฟฟ้าและการเปลี่ยนผ่านสู่การขนส่งสาธารณะคาร์บอนต่ำอีกด้วย

การสร้างแนวโน้มของค่า TCO ของรถโดยสารแต่ละประเภทจะเริ่มจากการกำหนดช่วงเวลาที่ต้องการศึกษา หากกำหนดให้ช่วงเวลาที่เราต้องการศึกษาค่าแนวโน้มคือ n ปีนับจากปีที่ t และต้องคำนวณค่า TCO ทั้งสิ้น n ค่า ($TCO_t, TCO_{t+1}, \dots, TCO_{t+n}$) และจึงนำแนวโน้มค่า TCO ของรถโดยสารแต่ละประเภทที่ได้มาวิเคราะห์สภาวะเสมอภาคต่อไป

การวิเคราะห์สภาวะเสมอภาคในบทความนี้จะอ้างอิงจากงานของ Bubeck et al. (2016) ที่นำเสนอในรูปของ “ค่าส่วนต่างของ TCO ต่อกิโลเมตรระหว่าง TCO ต่อกิโลเมตรของรถโดยสารไฟฟ้าและรถโดยสารประเภทอื่นๆ” หากผลของค่าส่วนต่างมีเครื่องหมายเป็นบวก (ลบ) แสดงว่า TCO ต่อกิโลเมตรของรถโดยสารไฟฟ้าสูง (ต่ำ) กว่ารถโดยสารประเภทอื่นที่นำมาเปรียบเทียบ และปีแรกที่ “ค่าส่วนต่างของ TCO ต่อกิโลเมตร” มีเครื่องหมายเป็นลบแสดงว่าปีนั้นเป็นปีที่เกิดสภาวะเสมอภาค

วิธีดำเนินการวิจัย

กลุ่มตัวอย่างรถโดยสารประจำทาง

รถโดยสารประจำทางที่ใช้เป็นกลุ่มตัวอย่างในงานศึกษานี้ จะอ้างอิงจากรถโดยสารประจำทางที่มีการใช้งานจริงของ ขสมก. เนื่องจากเป็นผู้ให้บริการขนส่งสาธารณะรายใหญ่ที่สุดของไทย รถโดยสารที่เลือกเป็นตัวอย่างในงานศึกษานี้เป็นรถโดยสารปรับอากาศทั้งหมด[4] แบ่งออกเป็นสามประเภทตามประเภทเชื้อเพลิงที่ใช้ดังต่อไปนี้

รถโดยสารประจำทางประเภทแรก คือรถโดยสารกลุ่มเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้งานในปัจจุบัน และเป็นรุ่นที่มีการปรับปรุงเครื่องยนต์ให้สามารถใช้น้ำมันดีเซล B-20 ตามแนวทางการใช้เชื้อเพลิงที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและการส่งเสริมเกษตรกรของรัฐ รถประเภทนี้มีการใช้งานมานานและใกล้ครบอายุการใช้งานแล้ว และเป็นกลุ่มที่ ขสมก. ต้องจัดเตรียมหารถใหม่มาทดแทน

ประเภทที่สอง คือกลุ่มรถโดยสารประจำทางที่ใช้ก๊าซธรรมชาติสำหรับรถยนต์ (Natural Gas Vehicles: NGV) จัดซื้อในระหว่างปี พ.ศ. 2561-2562 รถโดยสารกลุ่มนี้เป็นรถยนต์รุ่น BONLUCK รุ่น JKK6120L-NGV-01 ประกอบในประเทศจีนและนำเข้ามาโดยกลุ่ม ช.ทวี จำกัด (มหาชน) และ สแกน อินเตอร์

[4] แม้ว่ารถโดยสารปรับอากาศในปัจจุบันจะคิดเป็นสัดส่วนน้อยกว่ารถโดยสารไม่ปรับอากาศ (รถครีมแดง) แต่รถโดยสารไม่ปรับอากาศที่ใช้ในปัจจุบันมีอายุการใช้งานมานาน โดยนำมาใช้ครั้งแรกตั้งแต่ปี พ.ศ. 2534 จึงมีสภาพชำรุดและค่าซ่อมบำรุงสูง และเป็นเป้าหมายหลักในการหารถใหม่มาเปลี่ยนเพื่อให้บริการแทนรถกลุ่มนี้ โดยรถโดยสารใหม่ที่มาแทนจะเป็นรถโดยสารปรับอากาศทั้งหมดเพื่อเพิ่มความสะดวกสบายให้กับผู้ใช้บริการ

ประเภทสุดท้ายคือรถโดยสารประจำทางไฟฟ้า ถึงแม้ปัจจุบัน ขสมก. จะยังไม่เคยมีการจัดซื้อจริงมาก่อน แต่ได้มีการนำรถมาทดลองวิ่งอยู่หลายครั้งในช่วงหลายปีที่ผ่านมาเพื่อประเมินศักยภาพและความคุ้มค่าจากการเดินรถด้วยรถโดยสารไฟฟ้า[5] และจัดทำเป็นแผนจัดซื้อรถโดยสารไฟฟ้าในระหว่างปี พ.ศ. 2560-2562[6] อย่างไรก็ตามแผนการดำเนินกิจการรถโดยสารประจำทางในอนาคต ขสมก. จะทำหน้าที่เป็นผู้นำรถโดยสารไปใช้ตามเส้นทางต่างๆ และจัดหารถโดยสารประจำทางไฟฟ้าด้วยวิธีการเช่ารถพร้อมบริการซ่อมบำรุงทั้งหมดจากผู้ประกอบการเอกชนโดยใช้วิธีการประมูลในการคัดเลือกผู้ประกอบการ

ต้นทุนเอกชน

การซื้อรถโดยสารที่เกิดขึ้นมักเป็นการซื้อแบบพิเศษที่ ขสมก. เปิดให้ผู้ที่สนใจเข้ามาประมูลทั้งสิ้น ซึ่งรถโดยสารส่วนใหญ่เป็นรถที่ประกอบภายในประเทศโดยนำเข้าชิ้นส่วนจากต่างประเทศมาประกอบกับตัวถังรถที่ผลิตในประเทศ และราคาจัดซื้อรถโดยสาร (P) จะถูกกำหนดไว้ในสัญญาเรียบร้อยแล้ว

ในกรณีของรถโดยสารที่ใช้เครื่องยนต์ดีเซลที่มีการใช้งานมากกว่า 20 ปี การอ้างอิงราคาจัดซื้อในอดีตจึงเป็นราคาที่ไม่สะท้อนต้นทุนในปัจจุบัน ดังนั้น งานศึกษานี้จึงจะอ้างอิงราคาประเมินจากอู่ต่อรถโดยสารประจำทางที่ประกอบตัวถังรถโดยสารประจำทางประเภทนี้ ซึ่งจากการสัมภาษณ์พบว่าราคาเฉลี่ยของรถโดยสารประจำทางปรับอากาศที่ใช้เครื่องยนต์ดีเซลอยู่ที่ 4,500,000 บาทต่อคัน[7] ในขณะที่รถโดยสาร NGV จะใช้ราคาตามสัญญาซื้อขายในระหว่างปี พ.ศ. 2561-2562 ที่มีการส่งมอบจริงของรถ BONLUCK รุ่น JKK6120L-NGV-01 จำนวน 489 คัน โดยราคาต่อคันอยู่ที่ 3,868,000 บาท

อย่างไรก็ตาม ขสมก. ยังไม่มีการจัดซื้อรถโดยสารประจำทางไฟฟ้ามาใช้งานในปัจจุบัน ทำให้ไม่มีราคาซื้อขายที่เกิดจริง การศึกษานี้จึงใช้ราคากลางที่มีการประกาศจาก ขสมก. โดยที่ราคาอ้างอิงจะอยู่ที่ 10,000,000 บาทต่อคัน ซึ่งเป็นราคาที่อยู่ภายใต้ข้อสมมติว่ารถโดยสารไฟฟ้านี้ได้รับยกเว้นภาษีนำเข้าชิ้นส่วนเพื่อมาประกอบตัวรถในประเทศ และเป็นราคาที่รวมการติดตั้งสถานีสำหรับชาร์จไฟฟ้าที่สถานีปลายทางแล้ว[8] ขนาดของแบตเตอรี่ที่เหมาะสมจะต้องมีขนาดความจุราว 320 กิโลวัตต์ชั่วโมง ซึ่งเป็นขนาดความจุที่เพียงพอสำหรับการชาร์จครั้งเดียวเพื่อวิ่งเป็นระยะทางอย่างน้อย 250 กิโลเมตรต่อวัน โดยไม่ต้องชาร์จระหว่างทาง เนื่องจากการชาร์จระหว่างทางในกรณีรถโดยสารเป็นเรื่องที่สามารถทำได้ยากในปัจจุบัน โดยมีสาเหตุสำคัญคือ สภาพการจราจรและโครงสร้างพื้นฐานที่ยังไม่เอื้ออำนวย[9]

นอกจากนี้ เนื่องจากประเทศไทยยังไม่มีตลาดมือสองของรถโดยสาร อีกทั้งรถมือสองที่ขายในตลาดเป็นการขายซากรถที่ไม่สามารถนำไปให้บริการได้แล้ว และจากการสัมภาษณ์ผู้ประกอบการเดินรถพบว่าอายุการใช้

---

[5] การทดลองครั้งแรกเกิดจากความร่วมมือกับบริษัทล็อกเลย์ ในปี พ.ศ. 2558 ครั้งที่ 2 ต่อมา ขสมก. ได้ทดลองวิ่งรถจาก Edison Motor ในปี พ.ศ. 2561 และในปี พ.ศ. 2562 ได้ทดลองวิ่งรถโดยบริษัทไทยอีวี

[6] ประกาศจัดซื้อครั้งแรกอยู่ใน ประกาศ ร่าง TOR จัดซื้อพร้อมว่าจ้างซ่อมรถโดยสารไฟฟ้า จำนวน 200 คัน (ครั้งที่ 2) ในปี พ.ศ. 2560 ก่อนจะปรับเป้าซื้อลดลงเหลือ 35 คันในปี 2562 และเปลี่ยนรูปแบบมาเป็นการเช่า 2,511 คันในปี พ.ศ.2563

[7] ข้อมูลจากการสัมภาษณ์ ราคาจะอยู่ประมาณ 4-5 ล้านบาท ผู้เขียนจึงใช้ค่ากลางที่ 4.5 ล้านบาท

[8] TOR จัดซื้อพร้อมว่าจ้างซ่อมรถโดยสารไฟฟ้า จำนวน 200 คัน (ครั้งที่ 2)

[9] ข้อมูลจากการสัมภาษณ์เชิงลึกกับผู้ให้บริการเดินรถ ขสมก. และผู้ประกอบการรถโดยสารประจำทางเอกชน

งานสูงสุดของรถโดยสารขึ้นกับสภาพของตัวแชสซี (Chassis) หรือโครงรถ ซึ่งหากตัวโครงรถยังสมบูรณ์ก็สามารถนำไปปรับปรุงเพื่อนำรถกลับมาให้บริการต่อได้ ซึ่งโดยเฉลี่ยรถโดยสารในกลุ่มนี้จะมีอายุการใช้งานประมาณ 20-25 ปี และราคาขายต่อ ณ ปีสุดท้ายเท่ากับศูนย์ ($R = 0$)

การคำนวณค่าเชื้อเพลิง (F) จะใช้ข้อมูลระยะทางเคลื่อนที่ต่อปี โดยคำนวณจากระยะทางวิ่งขั้นต่ำของรถโดยสารไฟฟ้าที่กำหนดไว้ในประกาศจัดซื้อรถโดยสารไฟฟ้าของ ขสมก. ที่เท่ากับ 250 กิโลเมตรต่อวัน ดังนั้นระยะทางใช้งานต่อปีจึงเท่ากับ 91,250 กิโลเมตร และกำหนดให้รถโดยสารทั้งสามประเภทมีระยะทางวิ่งเท่ากัน

ราคาเชื้อเพลิงใช้ค่าเฉลี่ยของราคาขายปลีกในปี พ.ศ. 2562 โดยที่ ราคาก๊าซ NGV เท่ากับ 15.9 บาทต่อกิโลกรัม ราคาน้ำมันดีเซล B-20 ใช้ราคาซื้อขาย Business-to-business เท่ากับ 18.95 บาทต่อลิตร ขณะที่อัตราค่าไฟฟ้าเท่ากับ 2.63 บาทต่อหน่วย ซึ่งเป็นอัตราตามประกาศของคณะกรรมการบริหารนโยบายพลังงานที่กำหนดให้มีอัตราคงที่เพื่อส่งเสริมการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้า

ถึงแม้ว่าในกรณีที่ดีที่สุด อัตราสิ้นเปลืองพลังงานจะคำนวณจากการทดลองใช้งานรถโดยสารแต่ละประเภทโดยควบคุมให้ปัจจัยต่างๆ เช่น สภาพจราจรบนท้องถนน สภาพอากาศ พฤติกรรมการขับขี่ ให้เหมือนกัน ไม่ว่าจะใช้รถโดยสารประเภทใดก็ตาม อย่างไรก็ตาม ในทางปฏิบัติ การทดลองใช้งานภายใต้การควบคุมปัจจัยต่างๆ ให้เหมือนกันทำได้ยากและมีต้นทุนสูง ในการศึกษานี้จึงได้กำหนดให้อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของรถโดยสารที่ใช้เครื่องยนต์ดีเซล รถโดยสาร NGV และรถโดยสารไฟฟ้า เท่ากับ 3.14 กิโลเมตรต่อลิตร, 1.59 กิโลเมตรต่อกิโลกรัม และ 0.88 กิโลเมตรต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง ตามลำดับ[10]

รายละเอียดค่าบำรุงรักษา (M) ใช้ข้อมูลอ้างอิงจากสัญญาซื้อรถโดยสาร NGV ปี พ.ศ. 2561 และงานศึกษาแนวทางการประเมินต้นทุนราคารถโดยสารไฟฟ้าและค่าซ่อมบำรุงของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (2559) (ดูรายละเอียดในตารางภาคผนวกที่ 1) และกำหนดอายุการใช้งานแบตเตอรี่ให้เท่ากับ 10 ปี

ดอกเบี้ยรายปี (I) คำนวณจากอัตราดอกเบี้ยเช่าซื้อ โดยใช้อัตราดอกเบี้ยสำหรับลูกค้ารายใหญ่ชั้นดีต่ำสุด (MLR) เฉลี่ยในปี พ.ศ. 2562 เท่ากับร้อยละ 6.03 เนื่องจากกรณีนี้ผู้จัดซื้อรถโดยสารอาจเป็น ขสมก. เอง หรือบริษัทเอกชนที่ชนะประมูลในการจัดหารถโดยสาร และกำหนดให้ผู้จัดหารถโดยสารประจำทางมีการวางเงินดาวน์เหมือนกับการซื้อรถยนต์ทั่วไปในสัดส่วนร้อยละ 15 ของราคาซื้อ

ค่าเบี้ยประกันภัยต่อปี (S) กำหนดจากการสมมติให้รถโดยสารทุกประเภทซื้อประกันภัยเหมือนกันคือประกันยานยนต์ภาคบังคับตาม พ.ร.บ. ประเภทรถยนต์โดยสารหมวด 4 ประเภทรถยนต์โดยสารเกิน 20-40 ที่นั่ง ตามที่กำหนดไว้โดยสำนักงานคณะกรรมการกำกับและส่งเสริมการประกอบธุรกิจประกันภัย และทำประกันภาคสมัครใจ (ประกันชั้น 3) รวมภาษีมูลค่าเพิ่มอีกเท่ากับ 35,360 บาทต่อปี[11]

ภาษีรถยนต์ประจำปี (T) ให้เป็นไปตามพระราชบัญญัติการขนส่งทางบก ที่กำหนดให้จัดเก็บภาษีตามน้ำหนักรถยนต์ รถโดยสารเครื่องยนต์ดีเซลจะถูกจัดเก็บปีละ 2,900 บาท ตามอัตราของรถที่มีน้ำหนักตั้งแต่

---

[10] อัตราสิ้นเปลืองของรถโดยสาร NGV และรถโดยสารไฟฟ้าอ้างอิงจากผลการเดินรถในงานศึกษาของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (2559) และรถโดยสารดีเซลจาก EMEP/EEA (2019)

[11] ข้อมูลจากศูนย์บริการประกันภัย เอ็ม.ที. โบรกเกอร์

7,001 กิโลกรัมขึ้นไป ในขณะที่ รถโดยสาร NGV ได้รับการลดหย่อนกึ่งหนึ่งจากอัตราที่เก็บกับรถโดยสารเครื่องยนต์ดีเซลในอัตรา 1,450 บาทต่อปี และในขณะที่กำลังดำเนินการวิจัย ยังไม่มีประกาศอัตราภาษียานยนต์ไฟฟ้าที่ชัดเจน ดังนั้น จึงสมมติให้ภาษีรถยนต์สำหรับรถโดยสารไฟฟ้าเก็บในอัตราเดียวกันเท่ากับรถโดยสาร NGV

อัตราคิดลด (r) สำหรับใช้ในการคำนวณมูลค่าปัจจุบัน งานศึกษานี้ใช้อัตราผลตอบแทนที่ไม่มีความเสี่ยง (Risk Free Rate) ในอัตราร้อยละ 1.95 ซึ่งเท่ากับอัตราผลตอบแทนพันธบัตรออมทรัพย์ของกระทรวงการคลังในปีงบประมาณ พ.ศ. 2563

ต้นทุนผลกระทบภายนอก

การคำนวณต้นทุนผลกระทบภายนอกจากก๊าซ CO_2, CO, NOx, HC และ PM จากการขับเคลื่อนรถยนต์ (Vehicle Operation) จะใช้ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อย (Emission Factor: EF) (กรัมต่อกิโลเมตร) ของรถโดยสารดีเซลและรถโดยสาร NGV จาก EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook 2019

ค่า EF ของ CO_2 จากกระบวนการผลิตเชื้อเพลิง (Fuel Production) ของน้ำมันดีเซลและก๊าซ NGV อ้างอิงจากองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) กำหนดให้เท่ากับ 242.31 และ 754.4 กรัมต่อหน่วยเชื้อเพลิง ตามลำดับ และปริมาณการปลดปล่อย CO_2 จากการผลิตไฟฟ้าในปี พ.ศ. 2562 กำหนดให้เท่ากับ 478.0 กรัมต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง โดยอ้างอิงจากรายงานการปล่อย CO_2 จากการใช้พลังงานประจำปี พ.ศ. 2562 ของ สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน อย่างไรก็ตาม อัตราการปล่อย CO_2 จากผลิตไฟฟ้าในอนาคตมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง จากสัดส่วนการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนที่เพิ่มขึ้นทดแทนการผลิตไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าถ่านหิน การศึกษานี้จึงกำหนดให้การผลิตไฟฟ้าตั้งแต่ปี พ.ศ. 2563 เป็นต้นไป มีอัตราการปล่อยก๊าซ CO_2 ลดลง และเป็นไปตามแผนพัฒนากำลังการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ. 2561-2580 (PDP2018 Revision 1)

ปริมาณสารมลพิษทุกตัวจะถูกนำมาแปลงเป็นตัวเงินในรูปสกุลเงินบาทโดยวิธีที่ใช้ในงานของ ภูรี สิรสุนทร และคณะ (2562) ที่อาศัยมูลค่าผลกระทบของ CO_2 จากการศึกษาของของ United States Government (2016) และ Carbon Brief Ltd (2017) ที่พยากรณ์มูลค่าผลกระทบของ CO_2 ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2020-2050 และอาศัยมูลค่าผลกระทบของสารมลพิษทางอากาศจากงานศึกษาของ Song (2016) จากนั้นจึงใช้หลักการถ่ายโอนลักษณะ Unit Value Transfer เพื่อแปลงเป็นผลกระทบในรูปสกุลเงินบาท (สามารถดูค่าที่ใช้คำนวณในตารางภาคผนวกที่ 2 และ 3 และรายละเอียดการคำนวณใน ภูรี และคณะ (2562))

สมมติฐานที่ใช้ในแบบจำลองสภาวะเสมอภาคของต้นทุนรวมในการเป็นเจ้าของ

ในงานศึกษานี้ได้กำหนดระยะเวลาที่ใช้ในแบบจำลองสภาวะเสมอภาคของ TCO อยู่ในระหว่างปี พ.ศ. 2562-2579 ดังนั้นจึงต้องคำนวณค่า TCO ทั้งสิ้น 18 ค่า สำหรับรถโดยสารแต่ละประเภท โดยค่าสุดท้ายคือค่า TCO ในปี พ.ศ. 2579 และกำหนดให้เวลาถือครองรถโดยสารคือ 10 ปี ($N = 10$) ซึ่งเท่ากับระยะเวลาสิ้นสุดสัญญาบริการซ่อมบำรุงรถของ ขสมก. ดังนั้นการพยากรณ์ค่าตัวแปรแต่ละตัวจะสิ้นสุดที่ปี พ.ศ. 2589

งานศึกษานี้ กำหนดให้ราคาซื้อของรถโดยสาร ICE ในอนาคตมีราคาคงที่ ในขณะที่กำหนดให้ราคาซื้อของรถโดยสารไฟฟ้าในอนาคตเปลี่ยนแปลงตามราคาแบตเตอรี่ โดยที่ Bloomberg New Energy Finance (2019) พบว่าราคาแบตเตอรี่จะลดลงอย่างรวดเร็วจากที่เคยสูงเกินกว่า 1,000 USD ต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง ในปี ค.ศ. 2010

เหลือต่ำว่า 100 และ 61 USD ต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง ภายในปี ค.ศ. 2025 และ 2030 ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม การลดลงของราคาแบตเตอรี่เป็นแบบอัตราลด ราคาในช่วงปี ค.ศ. 2010-2020 ลดเฉลี่ยร้อยละ 8.9 ในปี ค.ศ. 2020-2030 เหลือร้อยละ 7.0 งานศึกษานี้จึงสมมติให้อัตราการลดลงหลังปี ค.ศ. 2030 เป็นต้นไปเหลือร้อยละ 3.5 เพื่อให้สะท้อนถึงขีดจำกัดด้านราคาวัตถุดิบตั้งต้นของแบตเตอรี่

ราคาซื้อรถโดยสารในปีที่ $t+j$ สำหรับการคำนวณค่า TCO ในอนาคต คำนวณจาก $P_{t+j} = P_{0,t} + P_{\text{Battery},t+j}$ โดยที่ $P_{0,t}$ คือราคารถโดยสาร ณ ปีที่ t ที่ยังไม่รวมแบตเตอรี่ และ $P_{\text{Battery},t+j}$ คือราคาแบตเตอรี่ต่อหน่วยในปีที่ $t+j$ คูณกับค่าความจุแบตเตอรี่ และปรับค่าให้เป็นสกุลเงินบาทโดยใช้ค่าเฉลี่ยอัตราแลกเปลี่ยนของปี พ.ศ. 2562 ของธนาคารแห่งประเทศไทย (31.04 บาทต่อ USD) และสมมติให้การนำเข้ามาใช้งานได้รับยกเว้นภาษีนำเข้าและภาษีสรรพสามิต ในขณะที่ ตัวแปรอื่นๆ ที่ได้รับผลกระทบจากราคาซื้อของรถโดยสารไฟฟ้าที่คาดการณ์ว่าจะลดลงในอนาคตคือ ค่าเสื่อมราคา และค่าใช้จ่ายดอกเบี้ยที่ลดลงจากจำนวนเงินที่กู้น้อยลง

สำหรับแนวโน้มราคาพลังงานในอนาคต อ้างอิงจากอัตราการเติบโตของราคาพลังงานในอนาคตที่พยากรณ์โดย U.S. Energy Information Administration (2018) และกำหนดให้ราคาน้ำมันดีเซล B-20 และก๊าซ NGV โตเฉลี่ยร้อยละ 2.3 ต่อปี ในขณะที่อัตราค่าไฟโตในอัตราร้อยละ 2.3 ทุก 4 ปี ตามรอบการพิจารณาโครงสร้างอัตราค่าไฟฟ้าของคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน เนื่องจากการผลิตไฟฟ้าของไทยพึ่งพาก๊าซธรรมชาติที่อ้างอิงตามราคาน้ำมันดิบ จึงส่งผลให้ต้นทุนในการผลิตไฟฟ้าและค่า Ft ได้รับผลกระทบจากราคาน้ำมันดิบในตลาดโลกโดยตรง

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

ตารางที่ 1 แสดงผลการศึกษาใน “กรณีฐาน” โดยพบว่าใน “กรณีที่ไม่รวมต้นทุนผลกระทบภายนอก” ค่า TCO ต่อกิโลเมตรของรถโดยสารเครื่องยนต์ดีเซล B-20 มีค่าต่ำที่สุดอยู่ที่ 14.9 บาทต่อกิโลเมตร รองมาคือรถโดยสารไฟฟ้า 16.4 บาทต่อกิโลเมตร และรถโดยสาร NGV มีค่าสูงที่สุดอยู่ที่ 17.9 บาทต่อกิโลเมตร แสดงให้เห็นว่าหากไม่คำนึงถึงปัญหาสิ่งแวดล้อมและมลพิษทางอากาศ การใช้รถโดยสารเครื่องยนต์ดีเซลมีความคุ้มค่าด้านต้นทุนเอกชนในการใช้งานมากที่สุด และได้เปรียบรถโดยสารไฟฟ้าอยู่เพียงเล็กน้อยเท่านั้น เนื่องจากรถโดยสารดีเซลมีราคาต่ำกว่ารถโดยสารไฟฟ้า ส่งผลให้ค่าเสื่อมราคาและดอกเบี้ยที่ต้องจ่ายต่อกิโลเมตรต่ำกว่ารถโดยสารไฟฟ้ามาก

ในทางตรงกันข้าม รถโดยสาร NGV กลับมี TCO ต่อกิโลเมตรสูงที่สุด และกว่าครึ่งของต้นทุนเอกชนเป็นต้นทุนที่เกิดจากการใช้เชื้อเพลิงโดยมีสัดส่วนสูงถึงร้อยละ 50.2 ของต้นทุนเอกชนทั้งหมด ในขณะที่ต้นทุนเอกชนส่วนอื่นต่ำกว่ารถโดยสารเครื่องยนต์ดีเซลทุกรายการ ส่วนหนึ่งเป็นเพราะโครงสร้างราคาน้ำมันดีเซลถูกบิดเบือนผ่านกองทุนน้ำมันเชื้อเพลิงจึงทำให้ราคาขายปลีกดีเซล B-20 ต่ำกว่าที่ควร

ใน “กรณีที่รวมต้นทุนผลกระทบภายนอก” พบว่ายังได้ข้อสรุปเช่นเดิม กล่าวคือรถโดยสารดีเซลยังมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์มากที่สุด โดย TCO ต่อกิโลเมตรของรถโดยสารดีเซลเท่ากับ 15.9 บาทต่อกิโลเมตร

และคงต่ำกว่า TCO ต่อกิโลเมตรของรถโดยสารไฟฟ้า ถึงแม้รถโดยสารประจำทางไฟฟ้าจะไม่มีต้นทุนผลกระทบภายนอกที่เกิดจากมลพิษทางอากาศ แต่กลับมีต้นทุนผลกระทบภายนอกจากการปลดปล่อย CO_2 จากกระบวนการผลิตไฟฟ้าที่สูงกว่ากระบวนการผลิตเชื้อเพลิงประเภทอื่น

ถึงแม้ว่า TCO ต่อกิโลเมตร ของรถโดยสารไฟฟ้าจะสูงกว่ารถโดยสารเครื่องยนต์ดีเซลเล็กน้อย แต่เมื่อพิจารณาองค์ประกอบย่อยของต้นทุนจะพบว่า สัดส่วนของค่าใช้จ่ายในการลงทุนของรถโดยสารไฟฟ้าอยู่ในระดับสูงถึง 6.27 บาทต่อกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 38.3 ของต้นทุนเอกชน และสูงกว่ารถโดยสารประเภทอื่นกว่าเท่าตัว นับเป็นข้อเสียเปรียบด้านต้นทุนในการจัดซื้อรถโดยสารไฟฟ้า อีกทั้งราคาซื้อที่สูงยังส่งผลให้ต้นทุนดอกเบี้ยสูงกว่ารถโดยสารประเภทอื่นด้วย

รถโดยสารไฟฟ้ามีข้อได้เปรียบที่เห็นได้ชัดที่สุดคือค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานที่ต่ำกว่ารถโดยสารประเภทอื่น โดยเฉพาะค่าเชื้อเพลิงอยู่ที่ 2.69 บาทต่อกิโลเมตรเท่านั้น ซึ่งต่ำกว่ารถโดยสารเครื่องยนต์ดีเซล B-20 และ NGV ที่สูงถึง 5.44 และ 8.99 บาทต่อกิโลเมตร ตามลำดับ นอกจากนี้รถโดยสารไฟฟ้ายังมีค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาที่ต่ำกว่ารถโดยสารทั้งสองประเภทอีกด้วย

หากปรับข้อสมมติให้ระยะเวลาการใช้งานรถโดยสารเพิ่มขึ้นจาก 10 เป็น 15 ปี ($N = 15$) ผลการศึกษาแสดงอยู่ในตารางที่ 2 พบว่า เมื่อระยะเวลาใช้งานเพิ่มขึ้น รถโดยสารจะมีระยะทางวิ่งมากยิ่งขึ้น ทำให้รถโดยสารไฟฟ้ามีความได้เปรียบจากค่าใช้จ่ายในการใช้งานมากขึ้น แม้ว่าจะมีต้นทุนจากการเปลี่ยนแบตเตอรี่ไฟฟ้าเมื่อใช้จนถึงปีที่ 11 ก็ตาม โดยพบว่าใน “กรณีที่ไม่รวมต้นทุนผลกระทบภายนอก” TCO ต่อกิโลเมตร ของรถโดยสารไฟฟ้าจะลดลงเหลือ 14.7 บาทต่อกิโลเมตร ซึ่งยังสูงกว่ารถโดยสารดีเซล อย่างไรก็ดี ใน “กรณีที่รวมต้นทุนผลกระทบภายนอก” แล้วกลับพบว่า TCO ต่อกิโลเมตรของรถโดยสารไฟฟ้าต่ำกว่ารถโดยสารเครื่องยนต์ดีเซลและมีความคุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์มากที่สุด

เมื่อวิเคราะห์ความสามารถในการแข่งขันทางด้าน TCO ของรถโดยสารไฟฟ้าในระยะยาวครอบคลุมระหว่างปี พ.ศ. 2562-2579 ดังแสดงผลการศึกษาด้วย “ค่าส่วนต่างของ TCO ต่อกิโลเมตรระหว่าง TCO ต่อกิโลเมตรของรถโดยสารไฟฟ้าและรถโดยสารประเภทอื่นๆ” ในตารางที่ 3

ผลการศึกษาพบว่า ในกรณีฐาน การนำรถโดยสารไฟฟ้ามาให้บริการมีความคุ้มค่ามากกว่ารถโดยสาร NGV ไม่ว่าจะพิจารณาจากต้นทุนเอกชนและต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2562 สะท้อนให้เห็นว่า TCO ของรถโดยสารไฟฟ้าได้เข้าสู่สภาวะเสมอภาคตั้งแต่แรกแล้ว อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษากลับพบว่า การนำรถโดยสารไฟฟ้ามาให้บริการแทนรถโดยสารเครื่องยนต์ดีเซลจะเข้าสู่สภาวะเสมอภาคด้านต้นทุนเอกชนในปี พ.ศ. 2568 แต่เมื่อพิจารณาต้นทุนเศรษฐศาสตร์ การเข้าสู่สภาวะเสมอภาคจะเร็วยิ่งขึ้นเป็นภายในปี พ.ศ. 2565 ดังนั้นการนำรถโดยสารไฟฟ้ามาใช้แทนรถโดยสารเครื่องยนต์ดีเซลจะต้องใช้เวลาระยะหนึ่งจึงจะทำให้รถโดยสารไฟฟ้ามี TCO ต่อกิโลเมตรที่ต่ำกว่า

งานศึกษาในอดีตมักใช้มาตรการส่งเสริมของรัฐในการกำหนดสถานการณ์จำลอง เช่น Wu et al. (2015), Bubeck et al. (2016) หรือ Slowik et al. (2018) เป็นต้น มาตรการส่งเสริมทางการเงินที่มีประสิทธิผลคือมาตราการทางการคลังผ่านเครื่องมือทางด้านภาษี และมาตรการทางการเงินผ่านการช่วยเหลือด้านดอกเบี้ย แต่เนื่องจากราคารถโดยสารไฟฟ้าที่ใช้ในกรณีฐานได้สมมติให้อยู่ภายใต้เงื่อนไขการสนับสนุนด้านภาษีไว้แล้ว

การศึกษาในส่วนต่อไปจึงจะทดสอบความอ่อนไหวหากรัฐใช้ “มาตรการทางการเงิน” เท่านั้น โดยสมมติให้ได้รับยกเว้นดอกเบี้ยเงินกู้หากนำเงินไปใช้ซื้อยานยนต์ไฟฟ้า ดังนั้นอัตราดอกเบี้ยจากการกู้ยืมเท่ากับร้อยละ 0 และได้ศึกษาเปรียบเทียบรถโดยสารไฟฟ้ากับรถโดยสารเครื่องยนต์ดีเซลเท่านั้น เนื่องจากรถโดยสารไฟฟ้าสามารถแข่งขันได้กับรถโดยสาร NGV แล้วในกรณีฐาน

ตารางที่ 4 แสดงผลการทดสอบความอ่อนไหวจากมาตรการทางการเงินที่ให้แก่รถโดยสารไฟฟ้าโดยเปรียบเทียบกับการใช้รถโดยสารเครื่องยนต์ดีเซล ผลการศึกษาพบว่ามาตรการทางการเงินมีประสิทธิภาพสูงมาก การได้รับยกเว้นดอกเบี้ยเงินกู้ทำให้ TCO ต่อกิโลเมตรของรถโดยสารไฟฟ้าลดลงและสามารถเข้าสู่สภาวะเสมอภาคตั้งแต่ก่อนปี พ.ศ. 2562 ซึ่งทำให้รถโดยสารไฟฟ้ามีความคุ้มค่าในการใช้มากกว่ารถโดยสารเครื่องยนต์ดีเซล

นอกจากนี้ โครงสร้างราคาน้ำมันดีเซลมีบทบาทสำคัญที่ทำให้ค่า TCO ต่อกิโลเมตรของรถโดยสารเครื่องยนต์ดีเซลในกรณีฐานต่ำกว่าของรถโดยสารไฟฟ้า เนื่องจากราคาน้ำมันดีเซลถูกบิดเบือนจากการช่วยเหลือผ่านกองทุนน้ำมันเชื้อเพลิง อีกทั้ง ราคาน้ำมันดีเซลที่จำหน่ายให้ ขสมก. ต่ำกว่าราคาน้ำมันขายปลีกจากรูปแบบการซื้อระหว่างองค์กร (Business to Business) ดังนั้นเพื่อให้ราคาน้ำมันดีเซลสะท้อนต้นทุนเอกชนที่แท้จริง การทดสอบความอ่อนไหวในส่วนนี้จะแบ่งเป็นสองกรณี กรณีแรก คือการทดสอบความอ่อนไหวภายใต้สถานการณ์ที่ราคาน้ำมันดีเซลสะท้อนต้นทุนที่แท้จริง ปราศจากการแทรกแซงของภาครัฐในรูปของภาษีและจากกองทุนต่างๆ และกรณีที่สอง คือการทดสอบความอ่อนไหวภายใต้สถานการณ์ที่ ขสมก. ยังต้องเสียภาษีแต่ปราศจากการแทรกแซงของรัฐผ่านกองทุนต่าง ๆ

ในสถานการณ์ที่ให้การกำหนดราคาน้ำมันดีเซล B-20 สะท้อนต้นทุนที่แท้จริง พบว่าค่าเฉลี่ยของราคาลดลงจากราคาขายปลีกที่ 21.9 บาท เป็น 18.8 บาทเท่านั้น และน้อยกว่ากรณีฐานเล็กน้อย ทำให้ค่า TCO ต่อกิโลเมตร ของรถโดยสารดีเซลลดลง และจุดตัดระหว่างค่า TCO ต่อกิโลเมตร ของรถโดยสารดีเซลและรถโดยสารไฟฟ้าต้องใช้เวลานานออกไปเล็กน้อยจากกรณีฐานเป็นภายในปี พ.ศ. 2569 (2565 หากรวมต้นทุนภายนอก) นั่นหมายถึงหากไม่มีการแทรกแซงของรัฐในรูปแบบภาษีและกองทุนในปัจจุบันจะทำให้ความสามารถด้านต้นทุนของรถโดยสารดีเซลเพิ่มขึ้น และการเข้าสู่สภาวะเสมอภาคของรถโดยสารไฟฟ้าจะช้าลง

ในกรณีรัฐยกเลิกการแทรกแซงราคาผ่านกองทุนต่างๆ แต่ยังคงเก็บภาษีอยู่ ราคาเฉลี่ยของน้ำมันดีเซล B-20 จะเพิ่มขึ้นเป็น 26.16 บาทต่อลิตร ส่งผลให้ค่า TCO ต่อกิโลเมตรของรถโดยสารเครื่องยนต์ดีเซลเพิ่มขึ้นจากกรณีฐานอย่างมาก และสูงกว่า TCO ต่อกิโลเมตรของรถโดยสารไฟฟ้าตลอดระยะเวลาที่ศึกษา รถโดยสารไฟฟ้าจะเข้าสู่สภาวะเสมอภาคตั้งแต่ก่อนปี พ.ศ. 2562 จึงเห็นได้ว่าการยกเลิกการแทรกแซงราคาน้ำมันดีเซลผ่านกองทุนน้ำมันของรัฐ ทำให้รถโดยสารไฟฟ้ามีความคุ้มค่าในการใช้มากกว่ารถโดยสารเครื่องยนต์ดีเซล

ตารางที่ 1 ผลการคำนวณ TCO ต่อกิโลเมตร (บาท) : กรณีฐาน

ประเภทต้นทุน	รถโดยสารดีเซล B-20	รถโดยสาร NGV	รถโดยสารไฟฟ้า
ค่าเสื่อมราคา	2.82	2.43	6.27
ค่าเชื้อเพลิง	5.44	8.99	2.69
ค่าบำรุงรักษา	4.72	4.72	3.41
ดอกเบี้ย	1.64	1.41	3.64
ประกันภัย	0.35	0.35	0.35
ภาษีประจำปี	0.03	0.01	0.01
ต้นทุนภายนอกจากการปล่อย CO_2	0.04	0.24	0.21
ต้นทุนภายนอกจากมลพิษทางอากาศ	0.83	1.33	0.00
TCO ต่อกิโลเมตร ไม่รวมต้นทุนภายนอก	14.99	17.91	16.39
TCO ต่อกิโลเมตร รวมต้นทุนภายนอก	15.86	19.49	16.60

ที่มา: คำนวณโดยผู้เขียน

ตารางที่ 2 ผลการคำนวณ TCO ต่อกิโลเมตร (บาท) กรณีขยายระยะเวลาใช้งานเป็น 15 ปี

ประเภทต้นทุน	รถโดยสารดีเซล B-20	รถโดยสาร NGV	รถโดยสารไฟฟ้า
ค่าเสื่อมราคา	2.40	2.06	5.32
ค่าเชื้อเพลิง	5.19	8.59	2.57
ค่าบำรุงรักษา	4.99	4.99	4.02
ดอกเบี้ย	1.09	0.94	2.43
ประกันภัย	0.34	0.34	0.34
ภาษีประจำปี	0.03	0.01	0.01
ต้นทุนภายนอกจากการปล่อย CO_2	0.38	0.91	0.20
ต้นทุนภายนอกจากมลพิษทางอากาศ	0.79	1.27	0.00
TCO ต่อกิโลเมตร ไม่รวมต้นทุนภายนอก	14.03	16.92	14.69
TCO ต่อกิโลเมตร รวมต้นทุนภายนอก	15.20	19.10	14.88

ที่มา: คำนวณโดยคณะผู้เขียน

ตารางที่ 3 ค่าส่วนต่าง TCO ต่อกิโลเมตรของรถโดยสารไฟฟ้ากับรถโดยสารประเภทอื่น: กรณีฐาน

ปี	รถโดยสารดีเซล B-20		รถโดยสาร NGV	
	ต้นทุนเอกชน	ต้นทุนเศรษฐศาสตร์	ต้นทุนเอกชน	ต้นทุนเศรษฐศาสตร์
2562	1.39	0.73	-1.52	-2.89
2563	1.10	0.43	-1.88	-3.25
2564	0.82	0.15	-2.22	-3.60
2565	0.55	-0.12	-2.56	-3.95
2566	0.34	-0.33	-2.83	-4.22
2567	0.09	-0.59	-3.16	-4.55
2568	-0.14	-0.81	-3.45	-4.85
2569	-0.37	-1.04	-3.75	-5.16
2570	-0.53	-1.20	-3.98	-5.39
2571	-0.75	-1.43	-4.28	-5.70
2572	-0.98	-1.65	-4.59	-6.01
2573	-1.21	-1.88	-4.89	-6.32
2574	-1.35	-2.02	-5.11	-6.54
2575	-1.56	-2.23	-5.40	-6.84
2576	-1.77	-2.45	-5.70	-7.14
2577	-1.99	-2.66	-6.00	-7.45
2578	-2.15	-2.82	-6.25	-7.69
2579	-2.37	-3.04	-6.56	-8.01

ที่มา: คำนวณโดยผู้เขียน

ตารางที่ 4 ค่าส่วนต่าง TCO ต่อกิโลเมตรของรถโดยสารไฟฟ้ากับรถโดยสารเครื่องยนต์ดีเซล: การทดสอบความอ่อนไหว

ปี	มาตรการทางการเงิน		ราคาดีเซล B-20 ที่ไม่รวมภาษีและเงินกองทุน		ราคาดีเซล B-20 ที่ไม่รวมเงินกองทุน	
	ต้นทุนเอกชน	ต้นทุนเศรษฐศาสตร์	ต้นทุนเอกชน	ต้นทุนเศรษฐศาสตร์	ต้นทุนเอกชน	ต้นทุนเศรษฐศาสตร์
2562	-2.25	-2.91	1.44	0.78	-0.49	-1.15
2563	-2.49	-3.15	1.17	0.50	-0.81	-1.47
2564	-2.72	-3.39	0.91	0.24	-1.12	-1.78
2565	-2.95	-3.62	0.66	-0.01	-1.42	-2.09
2566	-3.11	-3.78	0.48	-0.19	-1.65	-2.32
2567	-3.33	-4.00	0.25	-0.43	-1.93	-2.61
2568	-3.54	-4.21	0.04	-0.63	-2.19	-2.86
2569	-3.74	-4.41	-0.16	-0.83	-2.45	-3.12
2570	-3.88	-4.55	-0.30	-0.97	-2.64	-3.31
2571	-4.09	-4.76	-0.50	-1.17	-2.90	-3.57
2572	-4.30	-4.97	-0.70	-1.37	-3.16	-3.83

ตารางที่ 4 (ต่อ)

ปี	มาตรการทางการเงิน		ราคาดีเซล B-20 ที่ไม่รวมภาษีและเงินกองทุน		ราคาดีเซล B-20 ที่ไม่รวมเงินกองทุน	
	ต้นทุนเอกชน	ต้นทุนเศรษฐศาสตร์	ต้นทุนเอกชน	ต้นทุนเศรษฐศาสตร์	ต้นทุนเอกชน	ต้นทุนเศรษฐศาสตร์
2573	-4.51	-5.18	-0.90	-1.57	-3.42	-4.10
2574	-4.64	-5.32	-1.01	-1.69	-3.59	-4.27
2575	-4.84	-5.52	-1.20	-1.87	-3.84	-4.52
2576	-5.05	-5.72	-1.38	-2.06	-4.09	-4.77
2577	-5.26	-5.93	-1.57	-2.24	-4.35	-5.02
2578	-5.41	-6.08	-1.70	-2.37	-4.54	-5.21
2579	-5.63	-6.30	-1.89	-2.56	-4.80	-5.47

ที่มา: คำนวณโดยผู้เขียน

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

รถโดยสารประจำทางไฟฟ้าเป็นหนึ่งในประเภทยานยนต์ไฟฟ้าที่อยู่ในแผนงานนำร่องเพื่อการเปลี่ยนผ่านสู่การขนส่งสาธารณะคาร์บอนต่ำในประเทศไทย บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการนำรถโดยสารไฟฟ้ามาใช้แทนรถโดยสาร ICE โดยใช้แนวคิดต้นทุนรวมในการเป็นเจ้าของ (TCO) รวมถึงวิเคราะห์ความสามารถในการแข่งขันระยะยาวของรถโดยสารไฟฟ้าผ่านแบบจำลองสภาวะเสมอภาคของ TCO (TCO Parity)

กลุ่มตัวอย่างรถโดยสาร ICE ที่ใช้ในการศึกษามาจากรถโดยสารประจำทางของ ขสมก. ที่มีการใช้งานจริง อันได้แก่ รถโดยสารเครื่องยนต์ดีเซล (B-20) และรถโดยสาร NGV สำหรับรถโดยสารไฟฟ้า ได้ใช้รุ่นที่มีคุณสมบัติตามประกาศจัดซื้อของ ขสมก. โดยการศึกษาครอบคลุมช่วงเวลาระหว่างปี พ.ศ. 2559-2579

ผลการศึกษาในกรณีฐานพบว่ารถโดยสารเครื่องยนต์ดีเซลมีค่า TCO ต่อกิโลเมตรทั้งกรณีต้นทุนเอกชนและต้นทุนเศรษฐศาสตร์ต่ำที่สุด รองมาคือรถโดยสารไฟฟ้า และรถโดยสาร NGV อย่างไรก็ตาม ค่า TCO ต่อกิโลเมตรของรถโดยสารไฟฟ้าสูงกว่ารถโดยสารเครื่องยนต์ดีเซลเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ส่วนหนึ่งเป็นเพราะราคาซื้อรถโดยสารไฟฟ้าที่สูงกว่า นอกจากนี้ผลการศึกษายังพบว่าการใช้รถโดยสารไฟฟ้ามีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์หากมีการนำมาใช้งานแทนรถโดยสาร NGV

จากแนวโน้มของราคาแบตเตอรี่ที่ลดลงอย่างต่อเนื่องส่งผลให้ราคาซื้อและ TCO ต่อกิโลเมตรของรถโดยสารไฟฟ้าลดลงเรื่อย ๆ จนสามารถเข้าสู่สภาวะเสมอภาคและให้บริการแทนรถโดยสารเครื่องยนต์ดีเซลได้ภายในปี พ.ศ. 2568 การเข้าสู่สภาวะเสมอภาคจะเร็วยิ่งขึ้นเป็นภายในปี พ.ศ. 2565 หากพิจารณาต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์โดยรวมต้นทุนผลกระทบภายนอกจากการใช้งานรถโดยสารและการผลิตเชื้อเพลิงเข้าไปด้วย

อย่างไรก็ตาม หากรัฐต้องการนำรถโดยสารไฟฟ้ามาให้บริการแทนรถโดยสารเครื่องยนต์ดีเซลทันที รัฐควรใช้มาตรการส่งเสริมและสนับสนุนรถโดยสารไฟฟ้า ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวพบว่ามาตรการทาง

การเงินโดยยกเว้นดอกเบี้ยเป็นมาตรการที่มีประสิทธิผล โดยส่งผลทำให้รถโดยสารไฟฟ้าเข้าสู่สภาวะเสมอภาคได้ในทันที ดังนั้น รัฐควรขอความร่วมมือจากสถาบันการเงินหรือให้สินเชื่อพิเศษเพื่อให้มีการนำรถโดยสารไฟฟ้ามาทดแทนรถโดยสาร ICE อย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ การยืดระยะเวลาใช้งานรถโดยสารประจำทางให้นานมากยิ่งขึ้น จาก 10 ปี เป็น 15 ปี จะทำให้การใช้รถโดยสารประจำทางไฟฟ้ามีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์มากกว่าการใช้รถโดยสารประจำทาง ICE

ปัจจัยสำคัญที่ทำให้ TCO ต่อกิโลเมตรของรถโดยสารเครื่องยนต์ดีเซลมีค่าต่ำกว่ารถโดยสารประเภทอื่นในกรณีฐานก็เนื่องจากการอุดหนุนราคาผ่านกองทุนน้ำมันเชื้อเพลิง หากยกเลิกการแทรกแซงราคาน้ำมันดีเซลแล้วจะทำให้รถโดยสารไฟฟ้าสามารถเข้าสู่สภาวะเสมอภาคได้ในทันที ดังนั้น การอุดหนุนราคาน้ำมันเชื้อเพลิงของกองทุนน้ำมันเชื้อเพลิงจึงเป็นอุปสรรคสำคัญในการเปลี่ยนผ่านสู่การขนส่งสาธารณะคาร์บอนต่ำในประเทศไทย

เอกสารอ้างอิง

ชัยวัฒน์ ศิริพจนากุล (2559). *การประเมินต้นทุนรวมในความเป็นเจ้าของยานยนต์ไฟฟ้าในกรุงเทพมหานคร.* (ค้นคว้าอิสระปริญญามหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, คณะเศรษฐศาสตร์, สาขาเศรษฐศาสตร์ธุรกิจ.

ภูรี สิรสุนทร, ศุภวัจน์ รุ่งสุริยะวิบูลย์, รุ่งนภา โอภาสปัญญาสาร และ เพ็ชรธรินทร์ วงศ์เจริญ. (2562). *โครงการประเมินมาตรการส่งเสริมการใช้ยานยนต์ไฟฟ้าต่อการยอมรับของผู้บริโภคและประสิทธิภาพการใช้พลังงานในภาคขนส่ง.* (รายงานการวิจัย). การไฟฟ้าฝ่ายผลิต และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย

ยศพงษ์ ลออนวล. (2556). *การศึกษาการพัฒนาของเทคโนโลยียานยนต์ไฟฟ้าและผลกระทบที่เกิดขึ้นสาหรับประเทศไทย.* (รายงานการวิจัย). การไฟฟ้าฝ่ายผลิต และสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง (2559). *โครงการศึกษาแนวทางการจัดหารถโดยสารไฟฟ้าจำนวน 200 คัน*. รายงานวิจัยเสนอต่อ องค์การขนส่งมวลชนกรุงเทพ.

สำนักงานเศรษฐกิจการคลัง. (2548). *เศรษฐศาสตร์น่ารู้, ค่าเสื่อมราคา (Depreciation).* สืบค้นจาก http://www2.fpo.go.th/S-l/Source/ECO/ECO23.htm

องค์การขนส่งมวลชนกรุงเทพ. (2559). *ตารางแสดงวงเงินงบประมาณที่ได้รับจัดสรรและราคากลาง (ราคาอ้างอิง) การจัดซื้อพร้อมว่าจ้างซ่อมรถโดยสารไฟฟ้าจำนวน 200 คัน.* สืบค้นจาก http://www.bmta.co.th/sites/default/files/files/draft-tor/1taaraangaesdngwngen ginngbpramaanthiiaidrabcchadsrraelaraakhaaklaang_rthaiffaa_200_khan_0.pdf

องค์การขนส่งมวลชนกรุงเทพ. (2559). *ประกาศ ราคากลางการซ่อมแซมบำรุงรักษารถโดยสารปรับอากาศยูโรทู.* สืบค้นจาก http://www.bmta.co.th/sites/default/files/files/procurement/middle-price/1-10-2559.pdf

องค์การขนส่งมวลชนกรุงเทพ. (2560). *สรุปผลการจัดทำร่างขอบเขตของงาน และรายละเอียดคุณลักษณะเฉพาะของรถโดยสารปรับอากาศใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติ NGV พร้อมซ่อมแซมและบำรุงรักษารถโดยสาร จำนวน 489 คัน*. สืบค้นจาก http://www.bmta.co.th/sites/default/files/files/procurement /reportresults/3_srupraayngaanphlkaarcchadthamraang_tor_aelaraakhaaklaang.pdf

องค์การขนส่งมวลชนกรุงเทพ. (2561). *แผนฟื้นฟูกิจการองค์การขนส่งมวลชนกรุงเทพ (ขสมก.).* สืบค้นจาก http://www.bmta.co.th/sites/default/files/files/about-us/rehabilitation-plan-may61-edit.pdf

องค์การขนส่งมวลชนกรุงเทพ. (2561). *รายงานประจำปีองค์การขนส่งมวลชนกรุงเทพ 2561.* สืบค้นจาก http://www.bmta.co.th/sites/default/files/files/download/annualreport2561.pdf

องค์การขนส่งมวลชนกรุงเทพ. (2562). *แผนการฟื้นฟูกิจการองค์การขนส่งมวลชนกรุงเทพ (ขสมก.) พ.ศ. 2561 (ฉบับปรับปรุง).* สืบค้นจาก http://www.bmta.co.th/sites/default/files/files/about-us/rehabilitation-plan-may62_0.pdf

Ambrose, H., Pappas, N., Kendall, A. (2017). *Exploring the Costs of Electrification for California's Transit Agencies.* ITS Reports

Bloomberg (2018). *Electric Buses in Cities Driving Towards Cleaner Air and Lower CO2.* Bloomberg New Energy Finance: New York, NY, USA.

Bloomberg (2019). New Energy Outlook 2019. *Bloomberg New EnergyFinance: New York, NY, USA.* Retrieved from https://about.bnef.com/new-energy-outlook/

Breet H. & Salon D. (2017). Do electric vehicles need subsidies? ownership costs for conventional, hybrid, and electric vehicles in 14 U.S. cities. *Energy Policy*, 120, 238-249.

Bubeck, S., Tomaschek, J. & Fahl, U. (2016) "Perspectives of electric mobility: Total cost of ownership of electric vehicles in Germany", *Transport Policy*, 50, 63-77

Carbon Brief Ltd. (2017). *The social cost of carbon*. Retrieved from: https://www.carbonbrief.org/qa-social-cost-carbon

Danielis, R., Giansoldati, M. & Rotaris, L. (2018). A probabilistic total cost of ownership model to evaluate the current and future prospects of electric cars uptake in Italy. *Energy Policy*, 119, 268-281.

European Environment Agency (2019). *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019.*

Hagman, J. & Langbroek, J.H.M. (2018). *Conditions for electric vehicle taxi: A case study in the greater Stockholm region.* Transportation Research Board 97th Annual Meeting. Washington D.C., United States

Harvey, L.D.D. (2018). Cost and energy performance of advanced light duty vehicles: Implications for standards and subsidies. *Energy Policy*. 114, 1–12.

Köhler, j. (2006). Transport and the environment: the need for policy for long term radical change: a literature review for the DTI FORESIGHT project on Intelligent Infrastructure Systems. IEE Proc. *Intelligent Transport Systems*. 153 (4), 292-301.

Pavlenko, N., Slowik, P. & Lutsey, N. (2019). *When does electrifying shared mobility make economic sense?.* Working paper 2019-01. The International Council of Clean Transportation.

Propfe, B., Redelbach, M., Santini, D.J. & Friedrich, H. (2012). *Cost analysis of plug-in hybrid electric vehicles including maintenance & repair costs and resale values*. EVS26 International Battery, Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicle Symposium, Los Angeles.

Schimeczek, D. Özdemir, E. & Schmid, S. (2016) *"Effectiveness of monetary and non-monetary incentives on the purchase of plug-in electric vehicles considering national and regional frameworks within the European Union"*, European Transport Conference, Barcelona.

Slowik, P., Araujo, C., Dallmann, T., & Façanha, C. (2018). *International evaluation of public policies for electromobility in urban fleets.* International Council on Clean Transportation and Gesellschaft für International Zusammenarbeit (GIZ).

Song, S. (2016). *Transport Emissions & Social Cost Assessment: Methodology Guide*. World Resources Institute

van Vilet, O., Brower, A.S., Kuramochi, T., van Den Broek, M., Faaid, A. (2010). Energy use, cost and CO2 emissions of electric cars. *J. Power Sources 196*, 2298-2310.

Wu, G., Inderbitzin, A., & Bening, C. (2015) "Total cost of ownership of electric vehicles compared to conventional vehicles: A probabilistic analysis and projection across market", *Energy Policy*. 80, 196-214.

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการศึกษาและประเมินการให้บริการขนส่งทางเศรษฐศาสตร์เพื่อส่งเสริมการใช้ยานยนต์ไฟฟ้า โดยได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม และการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

ภาคผนวก

ตารางภาคผนวกที่ 1 ค่าบำรุงรักษาของรถโดยสารประเภทต่างๆ (บาท)

รายการ	การซ่อมบำรุงปีที่ 1 - 5			การซ่อมบำรุงปีที่ 6 - 10[1]		
	รถโดยสารดีเซล B-20	รถโดยสาร NGV	รถโดยสาร ไฟฟ้า	รถโดยสารดีเซล B-20	รถโดยสาร NGV	รถโดยสาร ไฟฟ้า
ค่าอะไหล่สิ้นเปลือง[2]	522.90	522.90	346.96	660.98	660.98	414.50
ค่าน้ำมันหล่อลื่น	50.54	50.54	-	84.13	84.13	-
ยาง	116.60	116.60	116.60	194.09	194.09	183.43
ตัวถัง	-	-	-	137.90	137.90	130.33
ค่าแรง	129.95	129.95	129.95	216.32	216.32	204.50
น้ำยาเครื่องปรับอากาศ	20.00	20.00	20.00	216.32	216.32	204.44
ค่าล้างรถ	14.44	14.44	14.44	24.04	24.04	22.72
ประตูอัตโนมัติ	-	-	-	78.12	78.12	73.83
น้ำมันเกียร์อัตโนมัติ	46.93	46.93	-	78.12	78.12	-
อื่น ๆ	10.11	10.11	10.11	16.82	16.82	15.90
ค่าดำเนินการ	14.44	14.44	14.44	24.04	24.04	22.72
รวมต่อวัน	925.91	925.91	652.50	1,730.88	1,730.88	1,272.37
รวมต่อปี	337,957.15	337,957.15	238,162.50	631,772.04	631,772.04	464,415.05

หมายเหตุ: [1] ปีที่ 6-10 กำหนดให้สูงกว่าประกาศราคากลางซ่อมบำรุงรถ NGV ของ ขสมก. ร้อยละ 5.81 ทุกรายการ

[2] ค่าอะไหล่สิ้นเปลืองจะมีรายละเอียดแตกต่างกันไปตามประเภทรถ และระยะทางที่ขับขี่ เช่น 10,000 กม. 20,000 กม. และ 100,000 กม. ดูรายละเอียดเพิ่มเติมในแนวทางการประเมินต้นทุนราคารถโดยสารประจำทางไฟฟ้าและค่าซ่อมบำรุงของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง (2559)

ที่มา: ปรับปรุงจากงานศึกษาแนวทางการประเมินต้นทุนราคารถโดยสารประจำทางไฟฟ้าและค่าซ่อมบำรุงของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง (2559) และสัญญาซื้อขายและจ้างซ่อมแซมบำรุงรักษารถยนต์โดยสารปรับอากาศใช้เชื้อเพลิงก๊าซ NGV

ตารางภาคผนวกที่ 2 ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จำแนกตามประเภทรถโดยสาร

ประเภทรถโดยสาร	การใช้งานรถโดยสาร			การผลิตเชื้อเพลิง		
	ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อย (กรัมต่อกิโลเมตร)	ระยะทาง (กิโลเมตร)	ปริมาณ CO_2 (ตัน)	ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อย[1] (กรัมต่อหน่วย)	เชื้อเพลิงที่ใช้[2]	ปริมาณ CO_2 (ตัน)
รถโดยสารดีเซล B-20	0.27	91,250.0	0.02	242.31	29,060.1 ลิตร	7.04
รถโดยสาร NGV	1.59	91,250.0	0.15	754.40	57,389.9 กิโลกรัม	43.29
รถโดยสารไฟฟ้า	0.00	91,250.0	0.00	478.00	103,693.2 กิโลวัตต์ชั่วโมง	49.56

หมายเหตุ:

[1] ข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยน้ำมันดีเซลรายงานเป็นหน่วยกิโลกรัม จึงต้องทำการแปลงให้เป็นลิตร โดยการกำหนดให้น้ำมันดีเซล 1 ลิตร เท่ากับ 0.86 กิโลกรัม

[2] จำนวนเชื้อเพลิงที่ใช้ = ระยะทาง/อัตราสิ้นเปลือง โดยที่อัตราสิ้นเปลืองของรถโดยสารเครื่องยนต์ดีเซล รถโดยสาร NGV และรถโดยสารไฟฟ้า เท่ากับ 3.14, 1.59 และ 0.88 ตามลำดับ

ที่มา: ปรับปรุงจาก EMEP/EEA 2019 องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) และ สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงานและคำนวณโดยผู้เขียน

ตารางภาคผนวกที่ 3 ปริมาณปล่อยและมูลค่าต้นทุนมลพิษทางอากาศ

ประเภทรถโดยสาร	ประเภทมลพิษ	ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อย (กรัมต่อกิโลเมตร)	ปริมาณมลพิษ (ตัน)	มูลค่าผลกระทบต่อตัน[1] (บาท)	มูลค่าผลกระทบต่อปี (บาท)
รถโดยสารดีเซล B-20	CO	0.81	0.07422	35,349.69	2,623.57
	HC	0.05	0.00444	53,726.49	238.47
	NOx	6.24	0.56912	136,161.12	77,491.42
	PM	0.04	0.00328	1,128,562.37	3,704.71
รถโดยสาร NGV	CO	1.00	0.091250	35,349.69	3,225.66
	HC	1.30	0.118625	53,726.49	6,373.30
	NOx	10.00	0.912500	136,161.12	124,247.02
	PM	0.01	0.000913	1,128,562.37	1,029.81

หมายเหตุ: [1] จากงานศึกษาของ ภูรี สิรสุนทร และคณะ (2562)

ที่มา: EMEP/EEA (2019) และคำนวณโดยคณะผู้วิจัย