

Discussion Paper Series

การเปลี่ยนผ่านสู่การขนส่งสาธารณะคาร์บอนต่ำ :
แบบจำลองสถานะเสมอภาคของต้นทุนความเป็นเจ้าของรถโดยสาร
ประจำทางไฟฟ้า

ผศ.ดร.ณัฐ สิริสุนทร
อ.เพชรชรินทร์ วงศ์เจริญ

Discussion Paper No.65

15 มีนาคม 2565

คณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

**การเปลี่ยนผ่านสู่การขนส่งสาธารณะคาร์บอนต่ำ:
แบบจำลองสถานะเสมอภาคของต้นทุนความเป็นเจ้าของรถโดยสารประจำทางไฟฟ้า¹**

*ผศ.ดร.กฤษี ลีรสุนทร²
อ.เพ็ชรธรินทร์ วงศ์เจริญ³*

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในการเปลี่ยนผ่านสู่การขนส่งสาธารณะคาร์บอนต่ำหากนำรถโดยสารประจำทางไฟฟ้ามาให้บริการแทนรถโดยสารเครื่องยนต์สันดาปภายในในพื้นที่เขตกรุงเทพและปริมณฑลขององค์การขนส่งมวลชนกรุงเทพ (ขสมก.) โดยคำนึงถึง “ต้นทุนรวมในการเป็นเจ้าของทางเศรษฐศาสตร์” อันได้แก่ต้นทุนเอกชนและต้นทุนผลกระทบภายนอกจากการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกและการก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศ นอกจากนี้บทความนี้ยังได้ใช้ “แบบจำลองสถานะเสมอภาคของต้นทุนรวมในการเป็นเจ้าของ” ในการวิเคราะห์ความสามารถในการแข่งขันในระยะยาวของรถโดยสารประจำทางไฟฟ้าและประเมินประสิทธิภาพของมาตรการส่งเสริมการใช้รถโดยสารประจำทางไฟฟ้าอีกด้วย

ผลการศึกษาพบว่า การนำรถโดยสารเครื่องยนต์ดีเซลมาใช้มีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์มากกว่ารถโดยสารไฟฟ้าไม่มากนัก เนื่องจากราคาซื้อรถโดยสารไฟฟ้ามีมูลค่าสูงกว่ามาก ดังนั้นหากแบตเตอรี่ซึ่งเป็นชิ้นส่วนสำคัญในรถโดยสารไฟฟ้ามีแนวโน้มราคาที่ลดลงจะส่งผลให้รถโดยสารไฟฟ้าเข้าสู่สถานะเสมอภาคและสามารถให้บริการแทนรถโดยสารเครื่องยนต์ดีเซลได้อย่างคุ้มค่าภายในปี พ.ศ. 2565 หากรัฐต้องการนำรถโดยสารไฟฟ้ามาให้บริการแทนรถโดยสารเครื่องยนต์ดีเซลในทันที การศึกษานี้พบว่ามาตรการทางการเงินโดยยกเว้นดอกเบี้ยเงินกู้เพื่อซื้อรถโดยสารไฟฟ้าเป็นมาตรการที่มีประสิทธิผลมากที่สุด นอกจากนี้ การยืดระยะเวลาใช้งานรถโดยสารประจำทางให้นานยิ่งขึ้น จะทำให้การใช้รถโดยสารไฟฟ้ามีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์มากกว่ารถโดยสารประจำทางประเภทอื่นๆ เป็นที่น่าสังเกตว่าการใช้รถโดยสารเครื่องยนต์ดีเซลได้รับการอุดหนุนค่าเชื้อเพลิงจากกองทุนน้ำมันเชื้อเพลิง จึงทำให้มีต้นทุนรวมในการเป็นเจ้าของต่ำกว่ารถโดยสารประเภทอื่น หากยกเลิกการแทรกแซงราคาน้ำมันดีเซลแล้วจะทำให้รถโดยสารไฟฟ้าเข้าสู่สถานะเสมอภาคได้ทันที ดังนั้นกองทุนน้ำมันเชื้อเพลิงจึงเป็นอุปสรรคในการเปลี่ยนผ่านสู่การขนส่งสาธารณะคาร์บอนต่ำในประเทศไทย

คำสำคัญ: การขนส่งสาธารณะ รถโดยสารประจำทาง ต้นทุนความเป็นเจ้าของ ยานยนต์ไฟฟ้า

¹ งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการศึกษาและประเมินการให้บริการขนส่งทางเศรษฐศาสตร์เพื่อส่งเสริมการใช้ยานยนต์ไฟฟ้า โดยได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม และการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

² อาจารย์ประจำคณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ Email: puree.sirasontorn@econ.tu.ac.th

³ อาจารย์ประจำคณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ Email: petchtharin.w@econ.tu.ac.th

1. บทนำ

ในการบรรเทาปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและสภาวะโลกร้อนรวมไปถึงปัญหามลพิษทางอากาศที่ทั่วโลกกับเผชิญอยู่ในปัจจุบัน จำเป็นต้องอาศัยการเปลี่ยนผ่านสู่สังคมคาร์บอนต่ำโดยเฉพาะการเปลี่ยนผ่านด้านการใช้พลังงานในภาคเศรษฐกิจที่สำคัญโดยเฉพาะภาคขนส่งและภาคอุตสาหกรรม ภาคขนส่งเป็นภาคเศรษฐกิจที่มีอัตราการเติบโตของการปลดปล่อยมลพิษสูงที่สุด โดยเฉพาะภาคขนส่งทางถนนทั้งในการขนส่งส่วนบุคคลและการขนส่งสาธารณะ (Köhler, 2006) จึงทำให้รัฐบาลในประเทศต่างๆ ออกมาตรการส่งเสริมการเปลี่ยนผ่านสู่การขนส่งที่ยั่งยืนและลดการใช้เชื้อเพลิงที่ก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางอากาศโดยหันไปใช้พลังงานไฟฟ้าทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิงในการขนส่ง นอกจากนี้ นวัตกรรมยานยนต์ไฟฟ้ายังเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่สำคัญในการผลักดันให้เกิดการเปลี่ยนผ่านสู่การขนส่งที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

เพื่อสร้างการรับรู้เกี่ยวกับสมรรถนะของยานยนต์ไฟฟ้าให้แก่ผู้ใช้ยานยนต์ทั่วไป ยานยนต์ไฟฟ้าจึงมักถูกนำไปใช้ใน “การขนส่งสาธารณะ” โดยภาครัฐมีบทบาทในการสนับสนุนให้ใช้ยานยนต์ไฟฟ้าทดแทนรถยนต์ที่ใช้เครื่องยนต์สันดาปภายในในการให้บริการขนส่งสาธารณะอันได้แก่รถโดยสารไม่ประจำทาง รถยนต์รับจ้าง (หรือที่เรียกว่ารถแท็กซี่) และรถโดยสารประจำทาง ตลอดจนรถยนต์ที่ใช้ในหน่วยงานราชการต่างๆ

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

แผนงานนำร่องนี้มีเป้าหมายเพื่อสร้างการรับรู้เกี่ยวกับยานยนต์ไฟฟ้าให้แก่ผู้โดยสารและผู้ใช้รถยนต์เนื่องจากประชาชนในเขตกรุงเทพและปริมณฑลใช้บริการขนส่งสาธารณะของ ขสมก. เป็นหลัก และเพื่อใช้เชื่อมต่อไปยังบริการขนส่งสาธารณะประเภทอื่น เช่น เรือ รถไฟ และรถไฟฟ้า ได้ง่าย ข้อมูลจำนวนผู้โดยสารที่ใช้บริการรถโดยสารประจำทางของ ขสมก. ปัจจุบันสูงกว่า 7 แสนคนต่อวัน (องค์การขนส่งมวลชนกรุงเทพ, 2562) การนำรถโดยสารไฟฟ้ามาให้บริการจึงเปิดโอกาสในการรับรู้และเข้าถึงยานยนต์ไฟฟ้าในวงกว้าง

นอกจากนี้ รถโดยสารประจำทางที่ให้บริการในปัจจุบันของ ขสมก. เป็นรถโดยสารเครื่องยนต์สันดาปภายใน (Internal Combustion Engine: ICE) ซึ่งกว่าร้อยละ 60 ของรถโดยสารที่ให้บริการทั้งหมด มีอายุการใช้

งานเกิน 20 ปี มีสภาพทรุดโทรมและชำรุด และอยู่ระหว่างการจัดการใหม่มาให้บริการ กระทรวงคมนาคมจึงมีนโยบายที่จะเปลี่ยนรถโดยสารประจำทางจากรถเครื่องยนต์ดีเซลไปเป็นรถโดยสารไฟฟ้าภายในปี พ.ศ. 2565 อีกด้วย

ในการประเมินความคุ้มค่าในการเปลี่ยนผ่านสู่รถโดยสารประจำทางไฟฟ้าจำเป็นต้องพิจารณาอย่างรอบด้านทั้งทางด้านการเงิน เศรษฐกิจ และสังคม การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์โดยใช้ “ต้นทุนรวมในการเป็นเจ้าของ” (Total cost of ownership: TCO) จึงเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมและใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากวิธีการประเมินนี้สามารถเปรียบเทียบความคุ้มค่าในการเป็นเจ้าของและการใช้รถโดยสาร ICE และรถโดยสารไฟฟ้า โดยคำนึงถึงปัจจัยทางการเงินอันได้แก่ต้นทุนเอกชน (Private cost) ซึ่งประกอบด้วยราคาซื้อรถโดยสารและต้นทุนค่าใช้จ่ายต่างๆ รวมทั้งปัจจัยทางด้านเศรษฐศาสตร์และสังคมโดยเฉพาะต้นทุนผลกระทบภายนอกเชิงลบ (Negative External Cost) ในระหว่างที่ผู้โดยสารทั้งสองประเภทตลอดอายุการใช้งาน อีกทั้งยังสามารถประเมินประสิทธิผลของมาตรการทางการเงินและที่มิใช่การเงินที่รัฐใช้เพื่อส่งเสริมการเปลี่ยนผ่านสู่การขนส่งสาธารณะคาร์บอนต่ำอีกด้วย

การวิเคราะห์โดยใช้ TCO ยังคำนึงถึงความแตกต่างของพฤติกรรมการใช้รถยนต์โดยสาร เช่น พฤติกรรมการขับขี่ในพื้นที่ที่มีความแออัดหรือในเวลาที่การจราจรหนาแน่น และแปรผันตามช่วงเวลาการศึกษาซึ่งส่งผลทำให้ราคาและต้นทุนต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นราคาจำหน่ายรถโดยสาร ต้นทุนเชื้อเพลิง และค่าใช้จ่ายมีมูลค่าที่แตกต่างกันไป (Wu et al., 2015)

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำแนวคิด TCO ที่รวมทั้งต้นทุนเอกชนและต้นทุนผลกระทบภายนอกในรูปแบบของมลพิษทางอากาศที่เกิดจากการใช้งานรถโดยสารประเภทต่าง ๆ มาประยุกต์ใช้เพื่อประเมินความคุ้มค่าของการนำรถโดยสารประจำทางไฟฟ้ามาให้บริการ รวมถึงวิเคราะห์ความสามารถในการแข่งขันในระยะยาวของรถโดยสารประจำทางไฟฟ้าเทียบกับรถโดยสารประจำทางในปัจจุบันด้วย ภายในกรอบระยะเวลาตามแผนขับเคลื่อนฯ ปี พ.ศ. 2559-2579 นอกจากนี้ งานศึกษานี้จะใช้ “แบบจำลองสถานะเสมอภาคของ TCO (TCO parity)” เพื่อประเมินประสิทธิผลของมาตรการส่งเสริมการใช้รถโดยสารประจำทางไฟฟ้าเพื่อเร่งให้เกิดการเปลี่ยนผ่านสู่การขนส่งสาธารณะคาร์บอนต่ำ

ในส่วนถัดไปของบทความนี้จะนำเสนอกรอบแนวคิดในการคำนวณ TCO และ TCO parity ในส่วนที่ 3 จะนำเสนอข้อมูลและข้อสมมติที่ใช้ในการศึกษา ผลการศึกษาในกรณีฐานและผลการทดสอบความอ่อนไหว

(Sensitivity analysis) จะนำเสนอในส่วนที่ 4 และส่วนสุดท้ายของบทความคือการนำเสนอข้อสรุปและนัยยะเชิงนโยบาย

2. กรอบแนวคิดและวิธีการศึกษา

2.1 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 ที่คำนวณได้ส่วนมากจะแบ่งออกเป็นผลในกรณีฐาน (Base) และในกรณีภายใต้การจำลองสถานการณ์ต่างๆ (Scenarios) หรือที่เรียกว่าการวิเคราะห์ความอ่อนไหว (Sensitivity analysis) โดยมักจะวิเคราะห์ความอ่อนไหวของ TCO ที่มีต่อมาตรการส่งเสริมของภาครัฐ ซึ่งช่วยให้ภาครัฐสามารถวิเคราะห์ประสิทธิภาพของมาตรการส่งเสริมที่ภาครัฐควรนำไปใช้เพื่อให้ยานยนต์ไฟฟ้าสามารถแข่งขันกับยานยนต์ ICE ได้ และทำให้ผู้ใช้หันมาพิจารณาเลือกใช้นานยนต์ไฟฟ้าแทนยานยนต์ ICE มากยิ่งขึ้น

ผลการศึกษาในงานส่วนใหญ่พบว่า TCO ของยานยนต์ไฟฟ้าสูงกว่ายานยนต์ ICE ทั่วไป และการเปรียบเทียบค่า TCO มักนำเสนอในรูปของ TCO ต่อกิโลเมตร เพื่อเปรียบเทียบระหว่างรถยนต์ที่ใช้งานวิ่งในระยะทางที่แตกต่างกันได้ การศึกษาในกรณีข้างต้นเป็นการคำนวณจากมุมมองของการเป็นเจ้าของรถ (Owner) ที่เป็นผู้ใช้รถเอง (User) พร้อมกัน ซึ่งอาจไม่ถูกต้องนักในกรณีของการนำแบบจำลองการคำนวณไปประยุกต์ใช้กับกรณีที่เจ้าของยานยนต์กับผู้ใช้ยานยนต์ไม่ได้เป็นคนเดียวกัน (Schimeczek et al., 2016)

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 งานส่วนใหญ่มีขอบเขตการวิเคราะห์ไว้ที่ผู้ใช้ยานยนต์ไฟฟ้าจะต้องเป็นผู้ซื้อและเป็นเจ้าของยานยนต์ไฟฟ้าเท่านั้น และส่วนใหญ่ศึกษาเฉพาะรถยนต์นั่งส่วนบุคคล เช่นงานศึกษาของ ยศพงษ์ ลอนนวล (2556) ชัยวัฒน์ ศิริพจนากุล (2559) และ ภูริ สิริสุนทร และคณะ (2562) ขณะที่งานศึกษาความคุ้มค่าจากการใช้รถโดยสารไฟฟ้าภายใต้ความร่วมมือของ ขสมก. และสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (2559) ก็ได้รวมการต้นทุนผลกระทบภายนอกที่ตกแก่สังคมไว้อีกด้วย

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

โดยทั่วไปต้นทุนเอกชน (Private cost) ของการเป็นเจ้าของประกอบด้วย 2 ส่วนสำคัญ คือ 1) ต้นทุนการซื้อรถยนต์ (Capital expenditure) ต้นทุนส่วนนี้มักเป็นต้นทุนคงที่ (Fixed cost) ประกอบด้วยค่าใช้จ่ายจากการซื้อรถ และครอบคลุมถึงต้นทุนค่าเสื่อมราคาที่เกิดจากการใช้งานรถยนต์ และ 2) ต้นทุนจากการใช้รถยนต์ (Operating expenditure) ประกอบด้วย ต้นทุนคงที่เช่น ค่าประกันภัย และต้นทุนแปรผันตามระยะทางที่ใช้รถยนต์ เช่น ค่าเชื้อเพลิง ค่าบำรุงรักษา เป็นต้น ขณะที่ต้นทุนผลกระทบภายนอก (External cost) ประกอบด้วยมูลค่าผลกระทบภายนอกเชิงลบที่เกิดจากการใช้งานรถยนต์แต่ละประเภทที่ตกแก่บุคคลที่สาม (Third parties) โดยเฉพาะมลพิษทางอากาศ และทางเสียงที่เกิดจากการใช้รถยนต์

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

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

โดยที่ t คือ ปีที่ใช้งานตั้งแต่ปีแรกจนถึงปีสิ้นสุด N หรือ $t \in [1, 2, \dots, N]$, P คือ ราคาของรถโดยสาร, R คือ ราคาขายต่อ, δ คือ ค่าปรับสภาพรถตามอายุการใช้งาน, F คือ ราคาเชื้อเพลิง, M คือ ค่าบำรุงรักษาประจำปี, I คือ ดอกเบี้ยจ่ายที่เกิดจากการเช่าซื้อรถยนต์, S คือ ค่าประกันภัยรถยนต์, T คือ ภาษีประจำปี และ r คือ อัตราคิดลด (Discount rate) มีรายละเอียดดังนี้

1. ค่าใช้จ่ายในการลงทุน (Capital expenditure)

ค่าใช้จ่ายในการลงทุนประกอบด้วยส่วนต่างราคาซื้อ (P) รถกับราคาขายต่อ (R) ที่ถูกปรับสภาพตามอายุการใช้งาน (δ) ซึ่งสามารถมองเป็นต้นทุนค่าเสื่อมราคาที่เกิดขึ้นในแต่ละปีที่ใช้งาน ค่าปรับอายุการใช้งานที่นำมาคำนวณค่าเสื่อมราคามีหลากหลายวิธี แต่หนึ่งในวิธีที่นิยมใช้ในกรณีคิดค่าเสื่อมรถยนต์คือ วิธี Sum of year' digits (สำนักงานเศรษฐกิจการคลัง, 2548) ดังนี้

$$\delta_t = \frac{N-t}{1+2+3+\dots+N} \quad (2)$$

วิธีดังกล่าวเป็นการกำหนดให้ค่าเสื่อมจากการใช้งานในปีแรก ๆ สูงกว่าปีท้าย ๆ ซึ่งสอดคล้องกับบริบทของรถยนต์ที่ราคาในปีต้นจะลดลงเร็วกว่าในปีท้าย

2. ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ (Operation expenditure)

ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการประกอบด้วยค่าเชื้อเพลิง ค่าบำรุงรักษา ดอกเบี้ย ค่าเบี้ยประกันภัย และภาษีรถยนต์ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ค่าเชื้อเพลิงต่อปี (F) ซึ่งแปรผันขึ้นกับประเภทของเชื้อเพลิง ราคาเชื้อเพลิงต่อหน่วย ระยะทางใช้งาน และอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง โดยที่ประสิทธิภาพเครื่องยนต์ สภาพการจราจร ความหนาแน่นบนท้องถนน รวมถึงพฤติกรรมขับขี่เป็นปัจจัยกำหนดอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง ค่าเชื้อเพลิงต่อปีสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$F_t = (\text{ระยะทางใช้งานต่อปี} / \text{อัตราสิ้นเปลือง}) \times \text{ราคาเชื้อเพลิงต่อหน่วย} \quad (3)$$

ค่าบำรุงรักษาต่อปี (M_t) คือค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาโดยสาร ค่าอะไหล่สิ้นเปลืองต่างๆ เช่น ผ้าเบรค ยางล้อ การเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่อง น้ำมันเกียร์ น้ำมันเบรค น้ำมันหล่อลื่น ค่าน้ำยาเครื่องปรับอากาศ ตลอดจนค่าดำเนินการรายวันต่าง ๆ เช่นค่าใช้จ่ายในการทำความสะดวกล้างรถรายวัน (รายละเอียดเพิ่มเติมอยู่ในส่วนที่ 3)

งานศึกษานี้กำหนดให้ดอกเบี้ยรายปีในกรณีที่เจ้าของรถยนต์มีการเช่าซื้อมาเพื่อให้บริการ (I_t) เป็นอัตราคงที่ (Flat rate) โดยที่

$$\text{ดอกเบี้ยต่อปี} = \text{อัตรดอกเบี้ยต่อปี} \times (\text{ราคารถยนต์} - \text{เงินดาวน์}) \quad (4)$$

ค่าเบี้ยประกันภัย (S_t) จะกำหนดตามการประกันภัยยานยนต์ภาคบังคับ และ ค่าภาษีรถยนต์ประจำปี (T_t) จะกำหนดตามอัตราที่กำหนดในพระราชบัญญัติการขนส่งทางบก

3. ต้นทุนผลกระทบภายนอก (External cost)

การใช้งานรถยนต์ ICE จะปลดปล่อยสารมลพิษออกมาจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์และส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพในพื้นที่ที่มีการปล่อยสารมลพิษ ต้นทุนผลกระทบภายนอกที่เกิดจากรถโดยสารประจำทางในบทความนี้เกิดจากองค์ประกอบสองส่วน ส่วนแรกคือต้นทุนผลกระทบภายนอกเชิงลบ (Negative externalities) จากการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยเฉพาะก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และส่วนที่สองคือต้นทุนผลกระทบภายนอกที่เกิดจากมลพิษทางอากาศที่ทวีความสำคัญขึ้นมาในปัจจุบัน

ในการประเมินต้นทุนผลกระทบภายนอกจากการปลดปล่อย CO_2 ประกอบด้วยการปลดปล่อย CO_2 จากท่อไอเสียเมื่อขับเคลื่อนตัวรถ (Vehicle operation) และการปลดปล่อย CO_2 จากกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงหรือพลังงานไฟฟ้า (Fuel production) โดยคำนวณตามสมการที่ (5) และ (6) ตามลำดับ ทั้งนี้เพื่อให้ครอบคลุมผลกระทบภายนอกจากการใช้งานรถยนต์และการผลิตเชื้อเพลิงไม่ว่าจะเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงหรือไฟฟ้า

$$\text{ปริมาณ } \text{CO}_2 \text{ จากการเดินรถ} = \text{สัมประสิทธิ์การปล่อยต่อกิโลเมตร} \times \text{ระยะทางขับเคลื่อน} \quad (5)$$

$$\text{ปริมาณ } \text{CO}_2 \text{ จากการผลิตเชื้อเพลิง} = \text{สัมประสิทธิ์การปล่อยต่อหน่วยเชื้อเพลิง} \times \text{ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้} \quad (6)$$

นอกจากนี้ การใช้งานรถยนต์ ICE ยังก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศที่หลีกเลี่ยงได้ยากและส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชากรที่อาศัยในบริเวณที่มีการจราจรหนาแน่น ซึ่งหากได้รับในปริมาณที่มากเกินไปก็อาจทำงานศึกษานี้จะคำนวณต้นทุนผลกระทบภายนอกที่เกิดจากมลพิษทางอากาศ⁴ อันประกอบด้วย

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

ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NOx) ก๊าซไฮโดรคาร์บอน (HC) และอนุภาคฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM) หรือที่เรียกว่ามลพิษทางอนุภาค โดยใช้วิธีการดังนี้

$$\text{ปริมาณมลพิษทางอากาศ} = \text{สัมประสิทธิ์การปล่อยต่อกิโลเมตร} \times \text{ระยะทางขับเคลื่อน} \quad (7)$$

ปริมาณมลพิษทางอากาศที่คำนวณได้นี้จะถูกนำไปแปลงค่าให้อยู่ในรูปของตัวเงิน ก่อนจะนำไปรวมกับมูลค่าผลกระทบภายนอกจากการปลดปล่อย CO₂ ในขั้นตอนสุดท้าย

2.2 แบบจำลองสถานะเสมอภาคของต้นทุนรวมในการเป็นเจ้าของ

แบบจำลองสถานะเสมอภาคของ TCO (TCO parity) เป็นแบบจำลองที่ใช้ในการคาดการณ์ระยะเวลาที่ TCO ของยานยนต์ไฟฟ้าจะเข้าสู่ “สถานะเสมอภาค (Parity)” หรือมีค่าเท่ากับ TCO ของยานยนต์ ICE โดยคาดการณ์ TCO ของยานยนต์ทั้งสองประเภทในแต่ละปีไปตลอดช่วงระยะเวลาที่ต้องการศึกษาเพื่อนำมาพิจารณาแนวโน้ม (Trend) ของค่า TCO ที่คาดการณ์ และ ณ จุดหนึ่งของเวลาในอนาคต ค่าคาดการณ์ของยานยนต์ทั้งสองประเภทจะมีค่าเท่ากัน หรือเข้าสู่สถานะเสมอภาคนั่นเอง การศึกษา TCO parity จะทำให้คาดการณ์ได้ว่ายานยนต์ไฟฟ้าจะต้องใช้ระยะเวลานานเท่าใดจึงจะสามารถแข่งขันกับยานยนต์ ICE ได้ในท้ายที่สุด

แบบจำลอง TCO parity สามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ความอ่อนไหว (Sensitivity analysis) จากการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมการใช้ยานยนต์ ระยะทาง ไปจนกระทั่งการเลือกใช้และราคาเชื้อเพลิง ที่จะส่งผลต่อการเข้าสู่สถานะเสมอภาคของยานยนต์ไฟฟ้า อีกทั้งยังสามารถนำมาใช้ประเมินประสิทธิผลของมาตรการทางการเงินและที่มีใช้ทางการเงินของรัฐเพื่อส่งเสริมการใช้ยานยนต์ไฟฟ้าและการเปลี่ยนผ่านสู่การขนส่งสาธารณะคาร์บอนต่ำอีกด้วย

อย่างไรก็ตาม ข้อจำกัดสำคัญของการใช้แบบจำลอง TCO parity คือข้อจำกัดทางด้านข้อมูล ซึ่งจำเป็นต้องอาศัยการคาดการณ์ข้อมูลในอนาคต ความแม่นยำของผลที่ได้จากแบบจำลอง TCO parity จึงขึ้นกับการสร้างสมมติฐานในการคาดการณ์ตัวแปรที่ใช้คำนวณแต่ละตัว ทำให้การวิเคราะห์ลักษณะนี้มีไม่มากเมื่อเทียบกับการวิเคราะห์โดย TCO ตามปกติ งานศึกษาของ Ambrose (2017) และ Bloomberg New Energy Finance (2018) เป็นเพียงงานไม่กี่ชิ้นที่นำแบบจำลอง TCO parity มาประยุกต์ใช้กับรถโดยสารในระหว่างปี 2016-2028 และพบว่ารถโดยสารไฟฟ้าเกิดได้เข้าสู่สถานะเสมอภาคไปแล้วตั้งแต่ปี 2018 อันเนื่องมาจากราคาแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้าที่ลดลงอย่างรวดเร็ว ขณะที่งานศึกษาเกี่ยวกับ TCO parity อื่นๆ มักเป็นการศึกษาในกรณีรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเท่านั้น เช่น งานศึกษาของ Propfe et al. (2012), Wu et al. (2015) Bubeck et al. (2016) และ Danielis et al. (2018)

ในการคำนวณแนวโน้มของค่า TCO ของรถโดยสารแต่ละประเภทจะเริ่มจากการกำหนดช่วงเวลาที่ต้องการศึกษา หากกำหนดให้ช่วงเวลาที่เราต้องการศึกษาค่าแนวโน้มคือ n ปี นับจากปีที่ดำเนินการศึกษา และกำหนดให้ปีที่ดำเนินการศึกษาอยู่ ณ เวลา t การจะสร้างเส้นแนวโน้มภายใต้กรอบเวลาที่กำหนดต้องคำนวณค่า TCO ทั้งสิ้น n ค่า $TCO_t, TCO_{t+1}, \dots, TCO_{t+n}$ โดยใช้วิธีคำนวณ TCO แต่ละค่าตามรายละเอียดในหัวข้อ 2.1 และจึงนำ TCO มาสร้างเส้นแนวโน้มค่า TCO ของรถโดยสารแต่ละประเภทเพื่อวิเคราะห์สถานะเสมอภาคต่อไป

3. ข้อมูลที่ใช้ในงานศึกษา

3.1 กลุ่มตัวอย่างรถโดยสาร

รถโดยสารประจำทางที่ใช้เป็นกลุ่มตัวอย่างในงานศึกษานี้ จะอ้างอิงจากรถโดยสารประจำทางที่มีการใช้งานเดินรถจริงของ ขสมก. เนื่องจากเป็นผู้ให้บริการขนส่งสาธารณะรายใหญ่ที่สุดของไทย รถโดยสารที่เลือกเป็นตัวอย่างในงานศึกษานี้เป็นรถโดยสารปรับอากาศทั้งหมด⁵ แบ่งออกเป็นสามประเภทตามประเภทเชื้อเพลิงที่ใช้ดังต่อไปนี้

รถโดยสารประจำทางประเภทแรกคือรถโดยสารกลุ่มเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้งานในปัจจุบัน (ประมาณร้อยละ 70 ของรถโดยสารประจำทางที่ให้บริการ) และเป็นรุ่นที่มีการปรับปรุงเครื่องยนต์ให้สามารถใช้น้ำมันดีเซล B-20 ตามแนวทางการใช้เชื้อเพลิงที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและการส่งเสริมเกษตรกรของรัฐ รถประเภทนี้มีการใช้งานมานานและใกล้ครบอายุการใช้งานแล้ว และเป็นกลุ่มที่ ขสมก. ต้องจัดเตรียมหารถใหม่มาทดแทน

ประเภทที่สอง คือกลุ่มรถโดยสารประจำทางที่ใช้ก๊าซธรรมชาติสำหรับรถยนต์ (Natural Gas Vehicles: NGV) โดยรถโดยสารประจำทางประเภทนี้มีสัดส่วนคิดเป็นร้อยละ 26 ของรถโดยสารประจำทางที่ให้บริการทั้งหมดของ ขสมก. มีจำนวน 489 คัน จัดซื้อในระหว่างปี พ.ศ. 2561-2562 รถโดยสารกลุ่มนี้เป็นรถยนต์รุ่น BONLUCK รุ่น JKK6120L-NGV-01 ประกอบในประเทศจีนและนำเข้ามาโดยกลุ่ม ช.ทวี จำกัด (มหาชน) และสแกน อินเตอร์

รถโดยสารประเภทสุดท้ายคือรถโดยสารไฟฟ้า ถึงแม้ปัจจุบัน ขสมก. จะยังไม่เคยมีการจัดซื้อจริงมาก่อน แต่ได้มีการนำรถมาทดลองวิ่งอยู่หลายครั้งในช่วงหลายปีที่ผ่านมาเพื่อประเมินศักยภาพและความคุ้มค่าจากการ

⁵ แม้ว่ารถโดยสารปรับอากาศในปัจจุบันจะคิดเป็นสัดส่วนน้อยกว่ารถโดยสารไม่ปรับอากาศ (รถครีมแดง) แต่รถโดยสารไม่ปรับอากาศที่ใช้ในปัจจุบันมีอายุการใช้งานมานาน โดยนำมาใช้ครั้งแรกตั้งแต่ปี พ.ศ. 2534 จึงมีสภาพชำรุดและค่าซ่อมบำรุงสูง และเป็นเป้าหมายหลักในการหารถใหม่มาเปลี่ยนเพื่อให้บริการแทนรถกลุ่มนี้ โดยรถโดยสารใหม่ที่มาแทนจะเป็นรถโดยสารปรับอากาศทั้งหมดเพื่อเพิ่มความสะอาดสบายให้กับผู้ใช้บริการ

เดินรถด้วยรถโดยสารไฟฟ้า⁶ และจัดทำเป็นแผนจัดซื้อรถโดยสารไฟฟ้าในระหว่างปี พ.ศ. 2560-2562⁷ อย่างไรก็ตาม แผนการดำเนินกิจการรถโดยสารประจำทางในอนาคต ขสมก. จะทำหน้าที่เป็นผู้นำรถโดยสารไปใช้ตามเส้นทางต่างๆ และจัดการรถโดยสารประจำทางไฟฟ้าด้วยวิธีการเช่ารถพร้อมบริการซ่อมบำรุงทั้งหมดจากผู้ประกอบการเอกชนโดยใช้วิธีการประมูลในการคัดเลือกผู้ประกอบการ

3.2 ราคาซื้อรถโดยสาร

การซื้อรถโดยสารที่เกิดขึ้นมักเป็นการซื้อแบบพิเศษที่ ขสมก. เปิดให้ผู้สนใจเข้ามาประมูลทั้งสิ้น ซึ่งรถโดยสารส่วนใหญ่จะประกอบภายในประเทศโดยนำเข้าชิ้นส่วนจากต่างประเทศมาประกอบกับตัวถังรถที่ผลิตในประเทศ ราคาซื้อรถโดยสาร (*P*) จึงถูกกำหนดไว้ในสัญญา

ในกรณีของรถโดยสารที่ใช้เครื่องยนต์ดีเซลและมีการใช้งานมากกว่า 20 ปี ราคาซื้อในอดีตจึงเป็นราคาที่ไม่สะท้อนต้นทุนในปัจจุบัน ดังนั้น งานศึกษานี้จึงอ้างอิงราคาประเมินจากคู่มือรถโดยสารประจำทางที่ประกอบด้วยตัวถังรถโดยสารประจำทางประเภทนี้ ซึ่งจากการสัมภาษณ์พบว่าราคาเฉลี่ยของรถโดยสารประจำทางปรับอากาศที่ใช้เครื่องยนต์ดีเซลอยู่ที่ 4,500,000 บาทต่อคัน⁸ ในขณะที่กรณีรถโดยสาร NGV คณะผู้วิจัยจะใช้ราคาตามสัญญาซื้อขายในระหว่างปี พ.ศ. 2561-2562 ที่มีการส่งมอบรถ BONLUCK รุ่น JKK6120L-NGV-01 จำนวน 489 คัน โดยราคาต่อคันอยู่ที่ 3,868,000 บาท

ขสมก. ยังไม่เคยจัดการรถโดยสารไฟฟ้าเพื่อนำมาให้บริการจริง จึงยังไม่มีราคาครรถโดยสารไฟฟ้าปรากฏอยู่ บทความนี้จึงใช้ราคากลางที่มีการประกาศจาก ขสมก. เป็นข้อมูลอ้างอิง โดยที่ราคาอ้างอิงจะอยู่ที่ 10,000,000 บาทต่อคัน ซึ่งราคาที่อยู่ภายใต้ข้อสมมติว่ารถโดยสารไฟฟ้านี้ได้รับยกเว้นภาษีนำเข้าชิ้นส่วนเพื่อมาประกอบตัวรถในประเทศ และเป็นราคาที่รวมการติดตั้งสถานีชาร์จไฟฟ้าแล้ว⁹

เนื่องจากประเทศไทยยังไม่มีตลาดมือสองของรถโดยสาร อีกทั้งรถมือสองที่ขายในตลาดเป็นการขายซากรถที่ไม่สามารถนำไปให้บริการได้แล้ว จากการสัมภาษณ์ผู้ประกอบการเดินรถพบว่าอายุการใช้งานสูงสุดขึ้นกับสภาพของตัวแชสซี (Chassis) หรือโครงรถ ซึ่งหากตัวโครงรถยังสมบูรณ์ก็สามารถนำไปปรับปรุงเพื่อนำรถกลับมา

⁶ การทดลองครั้งแรกเกิดจากความร่วมมือกับบริษัทล็อกเลย์ ในปี พ.ศ. 2558 ครั้งที่ 2 ต่อมา ขสมก. ได้ทดลองวิ่งรถจาก Edison Motor ในปี พ.ศ. 2561 และในปี พ.ศ. 2562 ได้ทดลองวิ่งรถโดยบริษัทไทยอีวี

⁷ 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

⁸ ข้อมูลจากการสัมภาษณ์ ราคาจะอยู่ประมาณ 4-5 ล้านบาท ผู้เขียนจึงใช้ค่ากลางที่ 4.5 ล้านบาท

⁹ TOR จัดซื้อพร้อมว่าจ้างซ่อมรถโดยสารไฟฟ้า จำนวน 200 คัน (ครั้งที่ 2)

ให้บริการต่อได้ โดยเฉลี่ยรถโดยสารในกลุ่มนี้จะมีอายุการใช้งานประมาณ 20-25 ปี และราคาขายต่อ ณ ปีสุดท้าย เท่ากับศูนย์ ($R = 0$)

3.3 ค่าเชื้อเพลิง

การคำนวณค่าเชื้อเพลิง (F) ตามสมการที่ 3 จะใช้ข้อมูลระยะทางใช้งานต่อปี โดยคำนวณจากระยะทางวิ่งขั้นต่ำของรถโดยสารไฟฟ้าที่กำหนดไว้ในประกาศจัดซื้อรถโดยสารไฟฟ้าของ ขสมก. ที่เท่ากับ 250 กิโลเมตรต่อวัน ดังนั้นระยะทางใช้งานต่อปีจึงเท่ากับ 91,250 กิโลเมตร และกำหนดให้รถโดยสารทั้งสามประเภทมีระยะทางวิ่งเท่ากัน

ในการศึกษานี้ ได้กำหนดให้อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง¹⁰ ของรถโดยสารที่ใช้เครื่องยนต์ดีเซล รถโดยสาร NGV และรถโดยสารไฟฟ้า เท่ากับ 3.14 กิโลเมตรต่อลิตร, 1.59 กิโลเมตรต่อกิโลกรัม และ 0.88 กิโลเมตรต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง¹¹ ตามลำดับ

ราคาเชื้อเพลิงประกอบด้วย ราคาก๊าซ NGV โดยใช้ค่าเฉลี่ยของราคาขายปลีกในปี 2562 เท่ากับ 15.9 บาทต่อกิโลกรัม ราคาน้ำมันดีเซล B-20 โดยใช้ราคาซื้อขาย Business-to-business ซึ่งจะต่ำกว่าราคาขายปลีกโดยเฉลี่ยในปี พ.ศ. 2562 เท่ากับ 18.95 บาทต่อลิตร ขณะที่อัตราค่าไฟต่อหน่วยเท่ากับ 2.63 บาทต่อหน่วย ซึ่งเป็นไปตามประกาศของคณะกรรมการบริหารนโยบายพลังงาน ที่กำหนดให้มีอัตราแบบคงที่เพื่อส่งเสริมการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้า

3.4 ค่าบำรุงรักษา

รายละเอียดของค่าบำรุงรักษา (M) ปรากฏในตารางที่ 1 ค่าซ่อมบำรุงรถโดยสารที่ใช้เครื่องยนต์ดีเซลและ NGV ใช้ข้อมูลจากรายละเอียดในสัญญาซื้อรถโดยสาร NGV พร้อมซ่อมแซมบำรุงรักษา ระยะ 10 ปี ที่มีการจัดซื้อเมื่อปลายปี 2561 ที่มีการจัดซื้อรถ NGV 489 คัน ในขณะที่ค่าซ่อมบำรุงของรถโดยสารไฟฟ้า ได้อ้างอิงจากงานศึกษาแนวทางการประเมินต้นทุนราคาการโดยสารไฟฟ้าและค่าซ่อมบำรุงของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (2559) ที่ได้ปรับปรุงรายการซ่อมจากรถโดยสาร ICE ข้างต้น โดยเฉพาะส่วนของอะไหล่สิ้นเปลืองที่ลดลงมาก อย่างไรก็ตาม เนื่องจากคุณสมบัติของรถโดยสารไฟฟ้าที่จะจัดทำกำหนดอายุการใช้งาน

¹⁰ ในกรณีที่ดีที่สุด อัตราสิ้นเปลืองพลังงานจะคำนวณจากผลการทดลองใช้งานรถโดยสารแต่ละประเภทโดยควบคุมให้ปัจจัยต่างๆ เช่น สภาพจราจรบนท้องถนน สภาพอากาศ พฤติกรรมการขับขี่ เป็นต้น ให้เหมือนกันไม่ว่าจะใช้รถโดยสารประเภทใดก็ตาม อย่างไรก็ตาม ในทางปฏิบัติ การทดลองใช้งานภายใต้การควบคุมปัจจัยต่างๆ ให้เหมือนกันทำได้ยากและมีต้นทุนสูง

¹¹ อัตราสิ้นเปลืองของรถโดยสาร NGV และรถโดยสารไฟฟ้าอ้างอิงจากผลการเดินรถในงานศึกษาของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (2559) และรถโดยสารดีเซลจาก EMEP/EEA (2019)

แบตเตอรี่กำหนดให้เท่ากับ 10 ปี และสมมติให้เปลี่ยนแบตเตอรี่ในตอนต้นปีที่ 11 ดังนั้นค่าซ่อมบำรุงรถโดยสารไฟฟ้าจึงยังไม่รวมค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนแบตเตอรี่

3.5 ดอกเบี้ยและอัตราคิดลด

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

อัตราคิดลด (r) สำหรับใช้ในการคำนวณมูลค่าปัจจุบัน งานศึกษานี้ใช้อัตราผลตอบแทนที่ไม่มีความเสี่ยง (Risk free rate) ในอัตราร้อยละ 1.95 ซึ่งเท่ากับอัตราผลตอบแทนพันธบัตรออมทรัพย์ของกระทรวงการคลัง ในปีงบประมาณ พ.ศ. 2563 ครั้งที่ 1 รุ่นอายุ 7 ปี

3.6 ค่าเบี้ยประกันภัยและค่าภาษีรถยนต์ประจำปี

ค่าเบี้ยประกันภัยต่อปี (S) กำหนดจากการสมมติให้รถโดยสาร ICE และไฟฟ้าซื้อประกันภัยเหมือนกันคือ ประกันยานยนต์ภาคบังคับตาม พ.ร.บ. ประเภทรถยนต์โดยสารหมวด 4 ประเภทรถยนต์โดยสารเกิน 20-40 ที่นั่ง รวมภาษีมูลค่าเพิ่มเป็นอัตรา 4,077 บาทต่อปี ตามที่กำหนดไว้โดยสำนักงานคณะกรรมการกำกับและส่งเสริมการประกอบธุรกิจประกันภัย และทำประกันภาคสมัครใจ (ประกันชั้น 3) รวมภาษีมูลค่าเพิ่มอีกเท่ากับ 31,283.6 บาทต่อปี¹²

ภาษีรถยนต์ประจำปี (T) ให้เป็นไปตามพระราชบัญญัติการขนส่งทางบก ที่กำหนดให้จัดเก็บภาษีตามน้ำหนักรถยนต์ รถโดยสารเครื่องยนต์ดีเซลจะถูกจัดเก็บปีละ 2,900 บาท ตามอัตราของรถที่มีน้ำหนักตั้งแต่ 7,001 กิโลกรัมขึ้นไป ในขณะที่ รถโดยสาร NGV ได้รับการลดหย่อนกึ่งหนึ่งจากอัตราที่เก็บกับรถโดยสารเครื่องยนต์ดีเซล ในอัตรา 1,450 บาทต่อปี และในขณะที่กำลังดำเนินการวิจัย ยังไม่มีประกาศอัตราภาษียานยนต์ไฟฟ้าที่ชัดเจน ดังนั้น จึงสมมติให้ภาษีรถยนต์สำหรับรถโดยสารไฟฟ้าเก็บในอัตราเดียวกันเท่ากับรถโดยสาร NGV

¹² ข้อมูลจากศูนย์บริการประกันภัย เอ็ม.ที. โบรกเกอร์

ตารางที่ 1 ค่าบำรุงรักษาของรถโดยสารประเภทต่างๆ

หน่วย: บาท

รายการ	การซ่อมบำรุงปีที่ 1 - 5			การซ่อมบำรุงปีที่ 6 - 10 ¹		
	รถโดยสารดีเซล B-20	รถโดยสาร NGV	รถโดยสารไฟฟ้า	รถโดยสารดีเซล B-20	รถโดยสาร NGV	รถโดยสารไฟฟ้า
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: ¹ปีที่ 6-10 กำหนดให้สูงกว่าประกาศราคากลางซ่อมบำรุงรถ NGV ของ ขสมก. ร้อยละ 5.81 ทุกรายการ

² ค่าอะไหล่สิ้นเปลืองจะมีรายละเอียดแตกต่างกันไปตามประเภทรถ และระยะทางที่ขับซึ่ เช่น 10,000 กม. 20,000 กม. และ 100,000 กม. ดูรายละเอียดเพิ่มเติมในแนวทางการประเมินต้นทุนราคารถโดยสารประจำทางไฟฟ้าและค่าซ่อมบำรุงของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง (2559)

ที่มา: ปรับปรุงจากงานศึกษาแนวทางการประเมินต้นทุนราคารถโดยสารประจำทางไฟฟ้าและค่าซ่อมบำรุงของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง (2559) และสัญญาซื้อขายและจ้างซ่อมแซมบำรุงรักษารถยนต์โดยสารปรับอากาศใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติ (NGV)

ตารางที่ 2 ต้นทุนเอกชนของรถโดยสารประเภทต่างๆ

ตัวแปร	หน่วย	รถโดยสารดีเซล B-20	รถโดยสาร NGV	รถโดยสารไฟฟ้า
ราคาซื้อรถโดยสาร (P)	บาท	4,500,000	3,868,000	10,000,000
ค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิง (F)	บาท	550,776.84	911,208.73	273,713.07
ค่าบำรุงรักษา (M)	บาท	337,957.2 - 631,772.0	337,957.2 - 631,772.04	238,162.5 - 464,415.1
ค่าใช้จ่ายดอกเบี้ย (I)	บาท	230,647.5	198,254.34	512,550
ค่าประกันภัย (S)	บาท	35,360	35,360	35,360
ภาษีประจำปี (T)	บาท	2,900	1,450	1,450
อัตราคิดลด (r)	ร้อยละ	1.95	1.95	1.95

ที่มา: คำนวณโดยคณะผู้วิจัย

ตารางที่ 2 ได้สรุปรายละเอียดต้นทุนเอกชนที่ใช้ในการคำนวณ TCO ของรถโดยสารโดยแบ่งออกเป็นรถโดยสารเครื่องยนต์ดีเซล รถโดยสาร NGV และ รถโดยสารไฟฟ้า

3.7 ต้นทุนผลกระทบภายนอก

1. ต้นทุนผลกระทบภายนอกจากการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ในการคำนวณต้นทุนผลกระทบภายนอกจากการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการขับเคลื่อนรถยนต์ (Vehicle operation) จะใช้ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อย (Emission factor: EF) ของรถโดยสารดีเซลและรถโดยสาร NGV จาก EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 โดยกำหนดคุณภาพของน้ำมันดีเซล B-20 เทียบเท่ากับมาตรฐาน EUROIV และเนื่องจากค่า EF ในฐานข้อมูล EMEP/EEA มีการรายงานในหน่วยกรัมต่อกิโลเมตรจึงทำให้สามารถนำไปใช้คำนวณปริมาณ CO₂ จากการเดินรถได้โดยตรง

ค่า EF จากกระบวนการผลิตเชื้อเพลิง (Fuel production) ของน้ำมันดีเซลและก๊าซ NGV อ้างอิงค่าการปลดปล่อย CO₂ จากกระบวนการกลั่นจากองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) และปริมาณการปลดปล่อย CO₂ จากการผลิตไฟฟ้าจากรายงานการปล่อยก๊าซ CO₂ จากการใช้พลังงานประจำปี พ.ศ. 2562 ของ สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน ผลการคำนวณปริมาณปล่อยแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

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 กระทรวงพลังงานและคำนวณโดยคณะผู้วิจัย

ตารางที่ 4 ปริมาณปล่อยและมูลค่าต้นทุนมลพิษทางอากาศ

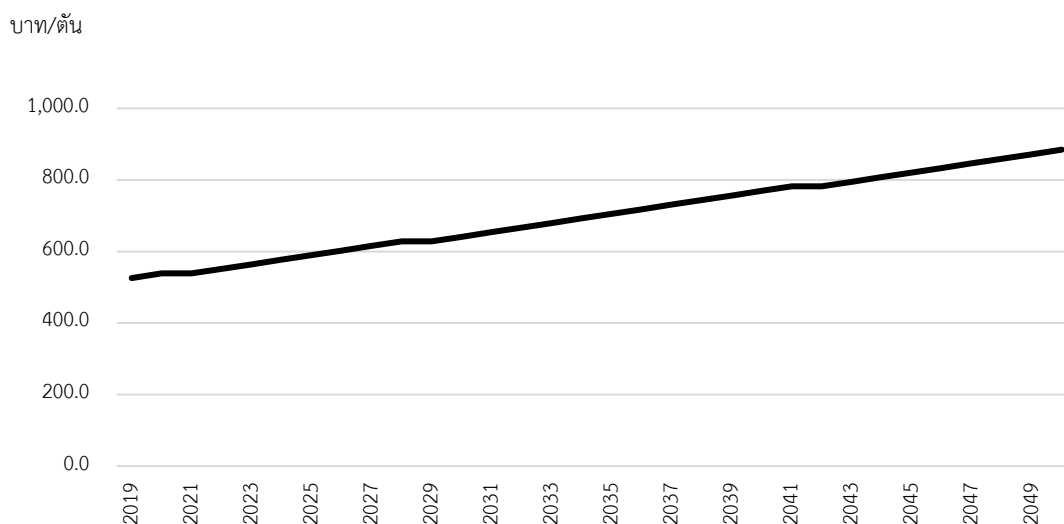
ประเภทรถโดยสาร	ประเภทมลพิษ	ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อย (กรัมต่อกิโลเมตร)	ปริมาณมลพิษ (ตัน)	มูลค่าผลกระทบต่อตัน ¹ (บาท)	มูลค่าผลกระทบต่อปี (บาท)
รถโดยสารดีเซล B-20	CO	0.81	0.07422	35,349.69	2,623.57
	HC	0.05	0.00444	53,726.49	238.47
	NOx	6.24	0.56912	136,161.12	77,491.42
	PM	0.04	0.00328	1,128,562.37	3,704.71
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 ฐรี สิริสุนทร และคณะ (2562)

ที่มา: EMEP/EEA (2019) และคำนวณโดยคณะผู้วิจัย

ค่าที่ได้จะถูกนำมาแปลงให้เป็นผลกระทบในรูปตัวเงิน โดยอ้างอิงวิธีการแปลงค่าในงานศึกษาภูรี สิริสุนทร และคณะ (2562) ที่นำค่าผลกระทบต่อหนึ่งตัน CO₂ ที่รายงานในงานศึกษาของ United States Government (2016) และ Carbon Brief Ltd (2017) มาแปลงให้เป็นสกุลบาท (บาทต่อตัน CO₂) ด้วยดัชนีวัดอำนาจซื้อเปรียบเทียบ (Purchasing Power Parity Index: PPPI) (รูปที่ 1)

รูปที่ 1 มูลค่าผลกระทบต่อตัน CO₂



หมายเหตุ: แปลงค่าจากสกุลเงินดอลลาร์ สรอ. เป็นสกุลเงินบาท โดยใช้ดัชนี PPPI = 12.82 บาท/ดอลลาร์ สรอ.

ที่มา: United States Government (2016)

2. ต้นทุนผลกระทบภายนอกจากมลพิษทางอากาศ

ปริมาณการปล่อย CO, NOx, HC และ PM สามารถคำนวณได้จากสูตรการคำนวณเดียวกันกับปริมาณการปล่อย CO₂ โดยใช้ค่า EF จากฐานข้อมูล EMEP/EEA จากนั้นจึงนำมาแปลงเป็นตัวเงินในรูปสกุลเงินบาทโดยวิธีที่ใช้ในงานของ ภูรี สิริสุนทรและคณะ (2562) ที่อาศัยผลการประเมินของ World Resource Institute (2016) ที่ศึกษาผลกระทบของมลพิษทางอากาศในประเทศจีน จากนั้นจึงใช้หลักการถ่ายโอนลักษณะ Unit Value Transfer เพื่อแปลงเป็นผลกระทบในรูปสกุลเงินบาท จึงได้ต้นทุนมลพิษทางอากาศดังแสดงของรถโดยสารที่ใช้เครื่องยนต์ดีเซลและรถโดยสาร NGV ในตารางที่ 4

3.8 สมมติฐานที่ใช้ในแบบจำลองสถานะเสมอภาคของต้นทุนรวมในการเป็นเจ้าของ

ในงานศึกษานี้ได้กำหนดระยะเวลาที่ใช้ในแบบจำลองสถานะเสมอภาคของ 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. ดังนั้นการพยากรณ์ค่าตัวแปรแต่ละตัวจนถึงปี พ.ศ. 2589

องค์ประกอบที่สำคัญในการคำนวณ TCO คือราคาซื้อรถโดยสาร จากตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่ารถโดยสารไฟฟ้ามีราคาซื้อสูงกว่ารถโดยสารประเภทอื่น โดย ขสมก. ได้กำหนดคุณสมบัติของรถโดยสารไฟฟ้าที่จะนำมาให้บริการไว้ดังต่อไปนี้ 1) ขับเคลื่อนด้วยพลังงานไฟฟ้าแบตเตอรี่เพียงอย่างเดียว 2) ความเร็วสูงสุดที่ได้ต้องไม่น้อยกว่า 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง 3) ต้องสามารถขับเคลื่อนรถโดยสารประจำทางไฟฟ้าให้สามารถวิ่งได้บนสะพานแขวนในขณะที่บรรทุกผู้โดยสารไม่น้อยกว่า 80 คน 4) มีระบบอำนวยความสะดวกสำหรับผู้พิการ และ 5) มีระยะทางที่วิ่งได้ต่อการประจุไฟฟ้าหนึ่งครั้งไม่ต่ำกว่า 250 กิโลเมตร ซึ่งทำให้ขนาดของแบตเตอรี่ที่เหมาะสมจะต้องมีขนาดความจุราว 320 กิโลวัตต์ชั่วโมง¹³ ด้วยขนาดของแบตเตอรี่ จึงทำให้ราคาแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนในปัจจุบันจะมีมูลค่าสูงถึง 49,920 ดอลลาร์ สหรัฐ. หรือประมาณ 1.5 ล้านบาท ดังนั้นราคาแบตเตอรี่จึงเป็นองค์ประกอบของต้นทุนที่สำคัญในการคาดการณ์ TCO ในอนาคต

สมมติฐานหลักที่ใช้ในแบบจำลอง TCO parity จึงมาจากแนวโน้มราคาแบตเตอรี่ซึ่งเป็นชิ้นส่วนที่สำคัญของรถโดยสารไฟฟ้ามีแนวโน้มลดลงอย่างรวดเร็วจากที่เคยสูงเกินกว่า 1,000 ดอลลาร์ สหรัฐ. ต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง ในปี ค.ศ. 2010 คาดว่าจะลดลงต่ำกว่า 100 ดอลลาร์ สหรัฐ. ต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง ภายในปี ค.ศ. 2025 (Bloomberg New Energy Finance, 2019)

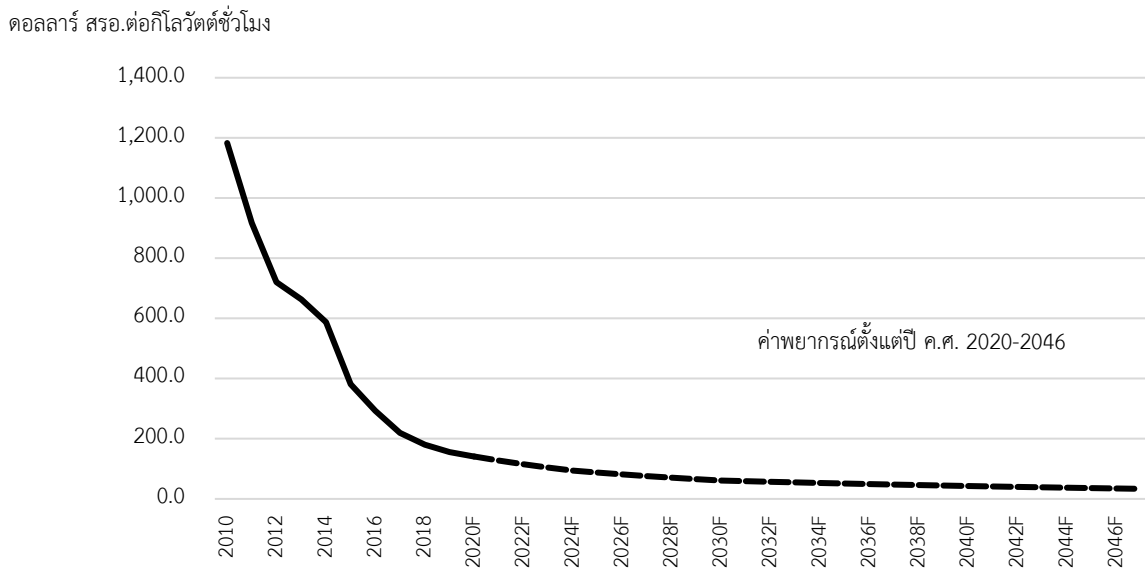
รูปที่ 2 แสดงแนวโน้มของราคาแบตเตอรี่ที่ขยายค่าพยากรณ์ออกไปจนถึงปี ค.ศ. 2046 (พ.ศ. 2579) ของอย่างไรก็ตามอัตราการลดลงของราคาแบตเตอรี่เป็นแบบอัตราลด ราคาในช่วงปี 2010-2020 ลดเฉลี่ยร้อยละ 8.9 ในปี 2010-2020 และเหลือร้อยละ 7.0 ในปี 2020-2030 สะท้อนถึงขีดจำกัดในการพัฒนาแบตเตอรี่ในปัจจุบัน คณะผู้วิจัยจึงสมมติให้อัตราการลดลงหลังปี 2030 เป็นต้นไปเหลือร้อยละ 3.5 เพื่อให้สอดคล้องกันทิศทางที่ลดลงในช่วงที่ผ่านมา

ตัวแปรอื่นๆ ที่ได้รับผลกระทบจากราคาซื้อของรถโดยสารไฟฟ้าที่คาดการณ์ว่าจะลดลงในอนาคตคือค่าเสื่อมราคา และค่าใช้จ่ายดอกเบี้ยที่ลดลงจากจำนวนเงินที่กู้ยืม

¹³ ข้อมูลจากการสัมภาษณ์เชิงลึกกับผู้ให้บริการเดินรถ ขสมก. และผู้ประกอบการรถโดยสารประจำทางเอกชน

สำหรับแนวโน้มราคาพลังงานในอนาคต งานวิจัยนี้จะอ้างอิงวิธีการกำหนดอัตราค่าการเติบโตของราคาพลังงานในอนาคตจากงานศึกษาของ ฐิริ สิริสุนทร และคณะ (2562) ที่อ้างอิงแนวโน้มราคาน้ำมันดิบที่ประมาณการได้จากงานศึกษาของ Energy Information Administration (EIA) โดยกำหนดให้ราคาน้ำมันดิบชนิด B-20 และ ก๊าซ NGV โตเฉลี่ยร้อยละ 2.3 ต่อปี ในขณะที่อัตราค่าไฟโตในอัตราร้อยละ 2.3 ทุก 4 ปี

รูปที่ 2 แนวโน้มราคาแบตเตอรี่ช่วงปี ค.ศ. 2010-2046



ที่มา: คณะผู้วิจัยปรับปรุงจากค่าพยากรณ์ของ Bloomberg New Energy Finance, 2019

4. ผลการศึกษา

ตารางที่ 5 แสดงผลการศึกษาใน “กรณีฐาน” โดยพบว่าใน “กรณีที่ไม่วางต้นทุนผลกระทบภายนอก” พบว่า ค่า TCO ต่อกิโลเมตรของรถโดยสารเครื่องยนต์ดีเซล B-20 มีค่าต่ำที่สุดอยู่ที่ 14.9 บาทต่อกิโลเมตร รองมาคือรถโดยสารไฟฟ้า 16.4 บาทต่อกิโลเมตร และรถโดยสาร NGV มีค่าสูงที่สุดอยู่ที่ 17.9 บาทต่อกิโลเมตร แสดงให้เห็นว่าหากไม่คำนึงถึงปัญหาสิ่งแวดล้อมและมลพิษทางอากาศ การใช้รถโดยสารเครื่องยนต์ดีเซลมีความคุ้มค่าด้านต้นทุนเอกชนในการใช้งานมากที่สุด แต่ได้เปรียบกว่ารถโดยสารไฟฟ้าอยู่เพียงเล็กน้อยเท่านั้น เนื่องจากรถโดยสารดีเซลมีราคาต่ำกว่ารถโดยสารไฟฟ้า ส่งผลให้ค่าเสื่อมราคาและดอกเบี้ยที่ต้องจ่ายต่อกิโลเมตรต่ำกว่ารถโดยสารไฟฟ้ามาก

ในทางตรงกันข้าม รถโดยสาร NGV กลับมี TCO ต่อกิโลเมตรสูงที่สุด และกว่าครึ่งของต้นทุนเอกชนเป็นต้นทุนที่เกิดจากการใช้เชื้อเพลิงโดยมีสัดส่วนสูงถึงร้อยละ 50.2 ของต้นทุนเอกชนทั้งหมด ในขณะที่ต้นทุนเอกชนส่วนอื่นต่ำกว่ารถโดยสารเครื่องยนต์ดีเซลทุกรายการ ส่วนหนึ่งเป็นเพราะโครงสร้างราคาน้ำมันดีเซลถูกบิดเบือนผ่านกองทุนน้ำมันเชื้อเพลิงจึงทำให้ราคาดีเซล B-20 ขยับปริ่มต่ำกว่าที่ควร

ใน “กรณีที่รวมต้นทุนผลกระทบภายนอก” พบว่ายังได้ข้อสรุปเช่นเดิม กล่าวคือรถโดยสารดีเซลยังมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์มากที่สุด โดย TCO ต่อกิโลเมตรของรถโดยสารดีเซลเท่ากับ 15.9 บาทต่อกิโลเมตร และคงต่ำกว่า TCO ต่อกิโลเมตรของรถโดยสารไฟฟ้า ถึงแม้ว่ารถโดยสารประจำทางไฟฟ้าจะไม่มีต้นทุนผลกระทบภายนอกที่เกิดจากมลพิษทางอากาศ แต่กลับมีต้นทุนผลกระทบภายนอกจากการปลดปล่อยก๊าซ CO₂ ในจากระบวนการผลิตไฟฟ้าที่สูงกว่ากระบวนการผลิตเชื้อเพลิงประเภทอื่น

ตารางที่ 5 ผลการคำนวณ TCO ต่อกิโลเมตร: กรณีฐาน

หน่วย: บาท

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
ดอกเบี่ย	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	0.28
ต้นทุนภายนอกจากมลพิษทางอากาศ	0.83	1.33	0.00
TCO ต่อกิโลเมตร ไม่รวมต้นทุนภายนอก	14.99	17.91	16.39
TCO ต่อกิโลเมตร รวมต้นทุนภายนอก	15.86	19.49	16.67

ที่มา: คำนวณโดยคณะผู้วิจัย

ถึงแม้ว่า TCO ต่อกิโลเมตร ของรถโดยสารไฟฟ้าจะสูงกว่ารถโดยสารเครื่องยนต์ดีเซลเล็กน้อย แต่เมื่อพิจารณาองค์ประกอบย่อยของต้นทุนจะพบว่าสัดส่วนของค่าใช้จ่ายในการลงทุนของรถโดยสารไฟฟ้าอยู่ในระดับสูงถึง 6.27 บาทต่อกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 38.3 ของต้นทุนเอกชน และสูงกว่ารถโดยสารประเภทอื่นกว่าเท่าตัว

นับเป็นข้อเสียเปรียบที่เป็นอุปสรรคใหญ่ในการจัดซื้อรถโดยสารไฟฟ้า อีกทั้งราคาซื้อที่สูงยังส่งผลให้ต้นทุนดอกเบี้ยสูงกว่ารถโดยสารประเภทอื่นด้วย

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

คณะผู้วิจัยได้ปรับข้อสมมติให้ระยะเวลาการใช้งานรถโดยสารเพิ่มขึ้นจาก 10 เป็น 15 ปี ($N = 15$) ผลการศึกษาแสดงอยู่ในตารางที่ 6 พบว่าเมื่อระยะเวลาใช้งานเพิ่มขึ้น รถโดยสารจะมีระยะทางวิ่งมากยิ่งขึ้น ทำให้รถโดยสารไฟฟ้ามีความได้เปรียบจากค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานมากขึ้น ถึงแม้จะคำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงเตอรีไฟฟ้าในปีที่ 11 เข้าไปแล้วก็ตาม โดยพบว่าใน “กรณีที่ไม่วางต้นทุนผลกระทบภายนอก” TCO ต่อกิโลเมตร ของรถโดยสารไฟฟ้าจะลดลงเหลือ 14.67 บาทต่อกิโลเมตร ซึ่งยังสูงกว่ารถโดยสารดีเซล อย่างไรก็ตาม ใน “กรณีที่รวมต้นทุนผลกระทบภายนอก” แล้วกลับพบว่า TCO ต่อกิโลเมตรของรถโดยสารไฟฟ้าต่ำกว่ารถโดยสารเครื่องยนต์ดีเซลและมีความคุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์มากที่สุด

ตารางที่ 6 ผลการคำนวณ TCO ต่อกิโลเมตร กรณีขยายระยะเวลาใช้งานเป็น 15 ปี

หน่วย: บาท

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	0.28
ต้นทุนภายนอกจากมลพิษทางอากาศ	0.79	1.27	0.00
TCO ต่อกิโลเมตร ไม่รวมต้นทุนภายนอก	14.03	16.92	14.69
TCO ต่อกิโลเมตร รวมต้นทุนภายนอก	15.20	19.10	14.97

ที่มา: คำนวณโดยคณะผู้วิจัย

เมื่อวิเคราะห์ความสามารถในการแข่งขันทางด้าน TCO ของรถโดยสารไฟฟ้าในระยะยาวโดยครอบคลุมระหว่างปี พ.ศ. 2562-2579 ดังแสดงผลการศึกษาด้วย “ค่าส่วนต่างของ TCO ต่อกิโลเมตรระหว่าง TCO ต่อกิโลเมตรของรถโดยสารไฟฟ้าและรถโดยสารประเภทอื่นๆ” ไว้ในตารางที่ 7 หากผลของค่าส่วนต่างมีเครื่องหมายเป็นบวก (ลบ) แสดงว่า TCO ต่อกิโลเมตรของรถโดยสารไฟฟ้าสูง (ต่ำ) กว่ารถโดยสารประเภทอื่นที่นำมาเปรียบเทียบ

ตารางที่ 7 ค่าส่วนต่าง TCO ต่อกิโลเมตรของรถโดยสารไฟฟ้ากับรถโดยสารประเภทอื่น: กรณีฐาน

หน่วย: บาท

ปี	รถโดยสารดีเซล B-20		รถโดยสาร NGV	
	ต้นทุนเอกชน	ต้นทุนเศรษฐศาสตร์	ต้นทุนเอกชน	ต้นทุนเศรษฐศาสตร์
2562	1.39	0.80	-1.52	-2.82
2563	1.10	0.51	-1.88	-3.17
2564	0.82	0.24	-2.22	-3.52
2565	0.55	-0.03	-2.56	-3.86
2566	0.34	-0.23	-2.83	-4.12
2567	0.09	-0.48	-3.16	-4.45
2568	-0.14	-0.70	-3.45	-4.74
2569	-0.37	-0.92	-3.75	-5.04
2570	-0.53	-1.08	-3.98	-5.27
2571	-0.75	-1.30	-4.28	-5.57
2572	-0.98	-1.52	-4.59	-5.88
2573	-1.21	-1.74	-4.89	-6.18
2574	-1.35	-1.88	-5.11	-6.40
2575	-1.56	-2.09	-5.40	-6.69
2576	-1.77	-2.30	-5.70	-6.99
2577	-1.99	-2.51	-6.00	-7.29
2578	-2.15	-2.66	-6.25	-7.53
2579	-2.37	-2.88	-6.56	-7.85

หมายเหตุ: เครื่องหมาย + (-) แสดงว่า TCO ต่อกิโลเมตร ของรถโดยสารไฟฟ้ามีค่ามากกว่า (น้อยกว่า)

ที่มา: คำนวณโดยคณะผู้วิจัย

ผลการศึกษาพบว่า ในกรณีฐาน การนำรถโดยสารไฟฟ้ามาให้บริการมีความคุ้มค่ามากกว่ารถโดยสาร NGV ไม่ว่าจะพิจารณาจากต้นทุนเอกชนและต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2562 สะท้อนให้เห็นว่า TCO ของรถโดยสารไฟฟ้าได้เข้าสู่สภาวะเสมอภาคตั้งแต่แรกแล้ว อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษากลับพบว่า การนำรถโดยสารไฟฟ้ามาให้บริการแทนรถโดยสารเครื่องยนต์ดีเซลจะเข้าสู่สภาวะเสมอภาคด้านต้นทุนเอกชนในปี พ.ศ. 2568 แต่เมื่อพิจารณาด้านต้นทุนเศรษฐศาสตร์ การเข้าสู่สภาวะเสมอภาคจะเร็วยิ่งขึ้นเป็นภายในปี พ.ศ. 2565 ดังนั้น การนำรถโดยสารไฟฟ้ามาใช้แทนรถโดยสารเครื่องยนต์ดีเซลจะต้องใช้เวลาระยะหนึ่งจึงจะทำให้รถโดยสารไฟฟ้ามี TCO ต่อกิโลเมตรที่ต่ำกว่า

งานศึกษาในอดีตมักใช้มาตรการส่งเสริมของรัฐในการกำหนดสถานการณ์จำลอง เช่น Wu et al. (2015), Bubeck et al. (2016) หรือ Slowik et al. (2018) เป็นต้น มาตรการส่งเสริมทางการเงินที่มีประสิทธิผลคือ มาตรการทางการคลังผ่านเครื่องมือทางด้านภาษี และมาตรการทางการเงินผ่านการช่วยเหลือด้านดอกเบี้ย แต่เนื่องจากราคารถโดยสารไฟฟ้าที่ใช้ในกรณีฐานได้สมมติให้อยู่ภายใต้เงื่อนไขการสนับสนุนด้านภาษีไว้แล้ว การศึกษาในส่วนต่อไปจึงจะทดสอบความอ่อนไหวหากรัฐใช้ “มาตรการทางการเงิน” เท่านั้น โดยสมมติให้ยกเว้นดอกเบี้ยเงินกู้หากนำไปใช้ซื้อยานยนต์ไฟฟ้า ดังนั้นอัตราดอกเบี้ยจากการกู้ยืมเท่ากับร้อยละ 0 และได้ศึกษาเปรียบเทียบรถโดยสารไฟฟ้ากับรถโดยสารเครื่องยนต์ดีเซลเท่านั้น เนื่องจากรถโดยสารไฟฟ้าสามารถแข่งขันได้กับรถโดยสาร NGV แล้วในกรณีฐาน

ตารางที่ 8 แสดงผลการทดสอบความอ่อนไหวจากมาตรการทางการเงินที่ให้แก่รถโดยสารไฟฟ้าโดยเปรียบเทียบกับการใช้รถโดยสารเครื่องยนต์ดีเซล ผลการศึกษาพบว่ามาตรการด้านดอกเบี้ยมีประสิทธิภาพสูงมาก การได้รับยกเว้นดอกเบี้ยเงินกู้ทำให้ TCO ต่อกิโลเมตรของรถโดยสารไฟฟ้าลดลงและสามารถเข้าสู่สภาวะเสมอภาคตั้งแต่ก่อนปี พ.ศ. 2562 ซึ่งทำให้รถโดยสารไฟฟ้ามีความคุ้มค่าในการใช้มากกว่ารถโดยสารเครื่องยนต์ดีเซล

ตารางที่ 8 ค่าส่วนต่าง TCO ต่อกิโลเมตรของรถโดยสารไฟฟ้ากับรถโดยสารเครื่องยนต์ดีเซล:

การทดสอบความอ่อนไหวจากมาตรการทางการเงิน

หน่วย: บาท

ปี	กรณีฐาน		มาตรการทางการเงิน	
	ต้นทุนเอกชน	ต้นทุนเศรษฐศาสตร์	ต้นทุนเอกชน	ต้นทุนเศรษฐศาสตร์
2562	1.39	0.80	-2.25	-2.84
2563	1.10	0.51	-2.49	-3.07
2564	0.82	0.24	-2.72	-3.30
2565	0.55	-0.03	-2.95	-3.53
2566	0.34	-0.23	-3.11	-3.68
2567	0.09	-0.48	-3.33	-3.90
2568	-0.14	-0.70	-3.54	-4.10
2569	-0.37	-0.92	-3.74	-4.30
2570	-0.53	-1.08	-3.88	-4.43
2571	-0.75	-1.30	-4.09	-4.63
2572	-0.98	-1.52	-4.30	-4.84
2573	-1.21	-1.74	-4.51	-5.04
2574	-1.35	-1.88	-4.64	-5.17
2575	-1.56	-2.09	-4.84	-5.37
2576	-1.77	-2.30	-5.05	-5.57
2577	-1.99	-2.51	-5.26	-5.78
2578	-2.15	-2.66	-5.41	-5.92
2579	-2.37	-2.88	-5.63	-6.14

ที่มา: คำนวณโดยคณะผู้วิจัย

นอกจากนี้ โครงสร้างราคาน้ำมันดีเซลมีบทบาทสำคัญทำให้ค่า TCO ต่อกิโลเมตรของรถโดยสารเครื่องยนต์ดีเซลในกรณีฐานต่ำกว่าของรถโดยสารไฟฟ้า เนื่องจากราคาน้ำมันดีเซลถูกบิดเบือนจากการช่วยเหลือผ่านกองทุนน้ำมันเชื้อเพลิง นอกจากนี้ ราคาน้ำมันดีเซลที่จำหน่ายให้ ชสมก. ต่ำกว่าราคาน้ำมันขายปลีกจากรูปแบบการซื้อระหว่างองค์กร (Business to Business) ดังนั้นเพื่อให้ราคาน้ำมันดีเซลสะท้อนต้นทุนเอกชนที่แท้จริง การทดสอบความอ่อนไหวในส่วนนี้จะแบ่งเป็นสองกรณี กรณีแรก คือการทดสอบความอ่อนไหวภายใต้สถานการณ์ที่ราคาน้ำมันดีเซลสะท้อนต้นทุนที่แท้จริง ปรากฏจากการแทรกแซงของภาครัฐในรูปแบบของภาษีและจาก

กองทุนต่างๆ และกรณีที่สอง คือการทดสอบความอ่อนไหวภายใต้สถานการณ์ที่ ขสมก. ยังต้องเสียภาษีแต่ปราศจากการแทรกแซงของรัฐผ่านกองทุนต่าง ๆ

ในสถานการณ์ที่ให้การกำหนดราคาน้ำมันดีเซล B-20 สะท้อนต้นทุนที่แท้จริง พบว่าค่าเฉลี่ยของราคา ลดลงจากราคาขายปลีกที่ 21.9 บาท เป็น 18.8 บาทเท่านั้น และน้อยกว่ากรณีฐานเล็กน้อย ทำให้ค่า TCO ต่อ กิโลเมตร ของรถโดยสารดีเซลลดลง และจุดตัดระหว่างค่า TCO ต่อกิโลเมตร ของรถโดยสารดีเซลและไฟฟ้าต้องใช้ เวลานานออกไปถึงปี พ.ศ. 2568 (2566 หากรวมต้นทุนภายนอก) นั้นหมายถึงบทบาทของภาษีและกองทุนในปัจจุบันทำให้ความสามารถของรถโดยสารดีเซลลดลง (ตารางที่ 9)

ผลการศึกษาในตารางที่ 9 แสดงให้เห็นว่าหากรัฐยกเลิกการแทรกแซงราคาผ่านกองทุนต่างๆ ราคาเฉลี่ย ของน้ำมันดีเซล B-20 จะเพิ่มขึ้นเป็น 26.16 บาทต่อลิตร ส่งผลให้ค่า TCO ต่อกิโลเมตรของรถโดยสารเครื่องยนต์ ดีเซลเพิ่มขึ้นจากกรณีฐานอย่างมาก และสูงกว่า TCO ต่อกิโลเมตรของรถโดยสารไฟฟ้าตลอดระยะเวลาที่ศึกษา การเข้าสู่ภาวะเสมอภาคตั้งแต่ก่อนปี พ.ศ. 2562 ผลดังกล่าวสะท้อนให้เห็นว่าการยกเลิกการแทรกแซงราคา น้ำมันดีเซลผ่านกองทุนน้ำมันของรัฐ ทำให้รถโดยสารมีความคุ้มค่าในการใช้มากกว่ารถโดยสารเครื่องยนต์ดีเซล

5. บทสรุปและนัยยะเชิงนโยบาย

รถโดยสารประจำทางไฟฟ้าเป็นหนึ่งในประเภทยานยนต์ไฟฟ้าที่อยู่ในแผนงานนำร่องเพื่อการเปลี่ยนผ่านสู่ การขนส่งสาธารณะคาร์บอนต่ำในประเทศไทย บทความวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ของการนำรถโดยสารไฟฟ้ามาใช้แทนรถโดยสาร ICE โดยใช้แนวคิดต้นทุนรวมในการเป็นเจ้าของ (TCO) รวมถึง วิเคราะห์ความสามารถในการแข่งขันระยะยาวของรถโดยสารไฟฟ้าด้วยแบบจำลองสถานะเสมอภาคของ TCO (TCO parity)

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

ผลการศึกษาในกรณีฐานพบว่ารถโดยสารเครื่องยนต์ดีเซลมีค่า TCO ต่อกิโลเมตรทั้งกรณีต้นทุนเอกชน และต้นทุนเศรษฐศาสตร์ต่ำที่สุด รองมาคือรถโดยสารไฟฟ้า และรถโดยสาร NGV อย่างไรก็ตาม ค่า TCO ต่อ กิโลเมตรของรถโดยสารไฟฟ้าสูงกว่ารถโดยสารเครื่องยนต์ดีเซลเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ส่วนหนึ่งเป็นเพราะราคาซื้อ รถโดยสารไฟฟ้าที่สูงกว่า นอกจากนี้ผลการศึกษายังพบว่าการใช้รถโดยสารไฟฟ้ามีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ หากมีการนำมาใช้งานแทนรถโดยสาร NGV

ตารางที่ 9 ค่าส่วนต่าง TCO ต่อกิโลเมตรของรถโดยสารไฟฟ้ากับรถโดยสารเครื่องยนต์ดีเซล:

การทดสอบความอ่อนไหวจากการปรับโครงสร้างราคาน้ำมันดีเซล B-20

หน่วย: บาท

ปี	กรณีฐาน		ราคาดีเซล B-20 ที่ไม่รวมภาษีและเงินกองทุน		ราคาดีเซล B-20 ที่ไม่รวมเงินกองทุน	
	ต้นทุนเอกชน	ต้นทุนเศรษฐศาสตร์	ต้นทุนเอกชน	ต้นทุนเศรษฐศาสตร์	ต้นทุนเอกชน	ต้นทุนเศรษฐศาสตร์
2562	1.39	0.80	1.44	0.85	-0.49	-1.08
2563	1.10	0.51	1.17	0.58	-0.81	-1.39
2564	0.82	0.24	0.91	0.33	-1.12	-1.70
2565	0.55	-0.03	0.66	0.08	-1.42	-2.00
2566	0.34	-0.23	0.48	-0.09	-1.65	-2.22
2567	0.09	-0.48	0.25	-0.32	-1.93	-2.50
2568	-0.14	-0.70	0.04	-0.52	-2.19	-2.75
2569	-0.37	-0.92	-0.16	-0.72	-2.45	-3.01
2570	-0.53	-1.08	-0.30	-0.85	-2.64	-3.19
2571	-0.75	-1.30	-0.50	-1.05	-2.90	-3.45
2572	-0.98	-1.52	-0.70	-1.24	-3.16	-3.70
2573	-1.21	-1.74	-0.90	-1.44	-3.42	-3.96
2574	-1.35	-1.88	-1.01	-1.55	-3.59	-4.13
2575	-1.56	-2.09	-1.20	-1.72	-3.84	-4.37
2576	-1.77	-2.30	-1.38	-1.90	-4.09	-4.61
2577	-1.99	-2.51	-1.57	-2.09	-4.35	-4.87
2578	-2.15	-2.66	-1.70	-2.21	-4.54	-5.05
2579	-2.37	-2.88	-1.89	-2.40	-4.80	-5.31

ที่มา: คำนวณโดยคณะผู้วิจัย

จากแนวโน้มของราคาแบตเตอรี่ที่ลดลงอย่างต่อเนื่องส่งผลให้ราคาซื้อและ TCO ต่อกิโลเมตรของรถโดยสารไฟฟ้าลดลงเรื่อย ๆ จนสามารถเข้าสู่สถานะเสมอภาคและให้บริการแทนรถโดยสารเครื่องยนต์ดีเซลได้ภายในปี พ.ศ. 2568 การเข้าสู่สถานะเสมอภาคจะเร็วขึ้นหากพิจารณาต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์โดยรวมต้นทุนผลกระทบภายนอกจากการใช้งานรถโดยสารและการผลิตเชื้อเพลิงเข้าไปด้วย รถโดยสารไฟฟ้าจะเข้าสู่สถานะเสมอภาคได้ภายในปี พ.ศ. 2565

อย่างไรก็ตามหากรัฐต้องการนำรถโดยสารไฟฟ้ามาให้บริการแทนรถโดยสารเครื่องยนต์ดีเซลทันที รัฐควรใช้มาตรการส่งเสริมและสนับสนุนรถโดยสารไฟฟ้า ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวพบว่ามาตรการทางการเงินโดยยกเว้นดอกเบี้ยเป็นมาตรการที่มีประสิทธิผล โดยส่งผลทำให้รถโดยสารไฟฟ้าเข้าสู่สถานะเสมอภาคได้ในทันที ดังนั้น รัฐควรขอความร่วมมือจากสถาบันการเงินหรือให้สินเชื่อพิเศษเพื่อให้มีการนำรถโดยสารไฟฟ้ามาทดแทนรถโดยสาร ICE อย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ การยืดระยะเวลาใช้งานรถโดยสารประจำทางให้นานมากยิ่งขึ้นจาก 10 ปี เป็น 15 ปี จะทำให้การใช้รถโดยสารประจำทางไฟฟ้ามีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์มากกว่าการใช้รถโดยสารประจำทาง ICE

ปัจจัยสำคัญที่ทำให้ TCO ต่อกิโลเมตรของรถโดยสารเครื่องยนต์ดีเซลมีค่าต่ำกว่ารถโดยสารประเภทอื่นในกรณีฐานก็เนื่องจากการอุดหนุนราคาผ่านกองทุนน้ำมันเชื้อเพลิง หากยกเลิกการแทรกแซงราคาน้ำมันดีเซลแล้วจะทำให้รถโดยสารไฟฟ้าสามารถเข้าสู่สถานะเสมอภาคได้ในทันที ดังนั้น การอุดหนุนราคาน้ำมันเชื้อเพลิงของกองทุนน้ำมันเชื้อเพลิงจึงเป็นอุปสรรคสำคัญในการเปลี่ยนผ่านสู่การขนส่งสาธารณะคาร์บอนต่ำในประเทศไทย

เอกสารอ้างอิง

ภาษาไทย

ชัยวัฒน์ ศิริพจนากุล (2559). การประเมินต้นทุนรวมในความเป็นเจ้าของยานยนต์ไฟฟ้าในกรุงเทพมหานคร.

(ค้นคว้าอิสระปริญญาโทมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, คณะเศรษฐศาสตร์, สาขาเศรษฐศาสตร์
ธุรกิจ.

ยศพงษ์ ลออนวล. (2556). การศึกษาการพัฒนาของเทคโนโลยียานยนต์ไฟฟ้าและผลกระทบที่เกิดขึ้นสำหรับ
ประเทศไทย (รายงานการวิจัย). การไฟฟ้าฝ่ายผลิต และสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
แห่งชาติ

ภุรี สิริสุนทร, ศุภวัจน์ รุ่งสุริยะวิบูลย์, รุ่งนภา โอภาสปัญญาสาร และ เพ็ชรธรินทร์ วงศ์เจริญ. (2562). โครงการ
ประเมินมาตรการส่งเสริมการใช้ยานยนต์ไฟฟ้าต่อการยอมรับของผู้บริโภคและประสิทธิภาพการใช้
พลังงานในภาคขนส่ง (รายงานการวิจัย). การไฟฟ้าฝ่ายผลิต และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง (2559). โครงการศึกษาแนวทางการจัดการโดยसारไฟฟ้า
จำนวน 200 คัน. รายงานวิจัยเสนอต่อ องค์การขนส่งมวลชนกรุงเทพ.

สำนักงานเศรษฐกิจการคลัง. (2548). เศรษฐศาสตร์นำรู้, ค่าเสื่อมราคา (Depreciation) สืบค้นจาก:

<http://www2.fpo.go.th/S-I/Source/ECO/ECO23.htm>

องค์การขนส่งมวลชนกรุงเทพ. (2559). ตารางแสดงวงเงินงบประมาณที่ได้รับจัดสรรและราคากลาง (ราคาอ้างอิง)
การจัดซื้อพร้อมว่าจ้างซ่อมรถโดยสารไฟฟ้าจำนวน 200 คัน. สืบค้นจาก:

http://www.bmta.co.th/sites/default/files/files/draft-tor/1taaraangaesdngwngengingbpramaanthiiaidrabcchadsrraelaraakhaaklaang_rthaiffaa_200_khan_0.pdf

องค์การขนส่งมวลชนกรุงเทพ. (2559). ประกาศ ราคากลางการซ่อมแซมบำรุงรักษารถโดยสารปรับอากาศยี่ห้อ.

สืบค้นจาก: <http://www.bmta.co.th/sites/default/files/files/procurement/middle-price/1-10-2559.pdf>

องค์การขนส่งมวลชนกรุงเทพ. (2559). ประกาศ ราคากลางการซ่อมแซมบำรุงรักษารถโดยสารปรับอากาศยี่ห้อ.

สืบค้นจาก: <http://www.bmta.co.th/sites/default/files/files/procurement/middle-price/1-10-2559.pdf>

องค์การขนส่งมวลชนกรุงเทพ. (2560). สรุปผลการจัดทำร่างขอบเขตของงาน และรายละเอียดคุณลักษณะเฉพาะของรถโดยสารปรับอากาศใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติ NGV พร้อมซ่อมแซมและบำรุงรักษารถโดยสารจำนวน 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. ๒๕๖๑ (ฉบับปรับปรุง). สืบค้นจาก: http://www.bmta.co.th/sites/default/files/files/about-us/rehabilitation-plan-may62_0.pdf

ภาษาอังกฤษ

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.