

ดัชนีประสิทธิภาพการใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ของรถโดยสารประจำทางในเมืองขอนแก่น

Energy Efficiency Index and CO₂ Emission of Public Buses in Khon Kaen City

พงศธร เหล่าอัน (Pongsatorn Laoan)* ดร.ธเนศ เสถียรนาม (Dr.Thaned Satiennam)^{1**}

ดร.วิชชุดา เสถียรนาม (Dr.Wichuda Satiennam)*** ดร.นุวงศ์ ชลคุป (Dr.Nuwong Chollacoop)****

ดร.พีรวัฒน์ สายศิริรัตน์ (Dr.Peerawat Saisirirat)***** ณัฐพล พรสัตยวงศ์ (Nattaphon Bhonsattayawong)*****

(Received: July 15, 2021; Revised: August 25, 2021; Accepted: August 30, 2021)

บทคัดย่อ

ปัจจุบัน ภาคการขนส่งในประเทศไทยมีการใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากที่สุด การใช้พลังงานไฟฟ้าทดแทนการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงในรถโดยสารประจำทางในเขตเมืองเป็นหนึ่งมาตรการที่น่าสนใจ การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์ 1) ศึกษาอิทธิพลของ ปัจจัยลักษณะการให้บริการ และลักษณะของรถโดยสารประจำทาง ที่ส่งผลกระทบต่อ อัตราการใช้พลังงาน, ดัชนีประสิทธิภาพการใช้พลังงาน, และการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 2) สร้างแบบจำลองเพื่อ คำนวณอัตราการใช้น้ำมัน, ดัชนีประสิทธิภาพการใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ของรถโดยสาร ประจำทาง และ 3) เสนอการใช้รถไฟฟ้าแทนรถน้ำมัน ผ่านกรณีศึกษา ระบบรถโดยสารประจำทางเขตเมืองขอนแก่น การศึกษานี้ได้สำรวจข้อมูลการให้บริการ ลักษณะของรถ และอัตราการใช้น้ำมันของระบบรถโดยสารประจำทางในเขต เมืองขอนแก่น จำนวน 12 สาย ด้วยการสัมภาษณ์ผู้ขับรถโดยสารประจำทาง การศึกษานี้ประยุกต์ใช้การวิเคราะห์การ ถดถอยเชิงเส้นพหุคูณเพื่อสร้างแบบจำลอง ผลการศึกษาพบว่า ระบบรถโดยสารประจำทางใช้น้ำมันดีเซล ในเขตเมือง ขอนแก่น มีอัตราการใช้พลังงานเฉลี่ย เท่ากับ 3.187 MJ/km และใช้พลังงานรวมทั้งระบบ เท่ากับ 28,489,767 MJ/year มีค่าดัชนีประสิทธิภาพการใช้พลังงานเฉลี่ย เท่ากับ 0.376 MJ/P-km และมีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เฉลี่ย เท่ากับ 0.235 t-CO₂/km และมีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวมทั้งระบบ เท่ากับ 2,112 t-CO₂/year ปัจจัยที่มี อิทธิพลต่ออัตราการใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของระบบรถโดยสารประจำทางในเขตเมือง ขอนแก่น คือ อายุการใช้งานของรถ และความเร็วเฉลี่ยขณะวิ่งให้บริการ และปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อดัชนีประสิทธิภาพการใช้ พลังงาน คือ จำนวนผู้โดยสารเฉลี่ย และอายุการใช้งานของรถ เมื่อเสนอให้ใช้รถไฟฟ้าทดแทนรถที่ใช้น้ำมันดีเซลอยู่ใน ปัจจุบันของระบบรถโดยสารประจำทางในเขตเมืองขอนแก่น พบว่า สามารถลดการใช้พลังงานทั้งระบบได้ ร้อยละ 69 ค่า ดัชนีประสิทธิภาพการใช้พลังงานลดลง (ประสิทธิภาพการใช้พลังงานเพิ่มขึ้น) ร้อยละ 70 และการปล่อยก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์ทั้งระบบลดลง ร้อยละ 53

¹Corresponding author: sthaned@kku.ac.th

*นักศึกษา หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

**ศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

***รองศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

****นักวิจัยอาวุโสและหัวหน้าทีมวิจัยพลังงานทดแทนและประสิทธิภาพพลังงาน กลุ่มวิจัยนวัตกรรมพลังงาน ศูนย์เทคโนโลยีพลังงานแห่งชาติ

*****นักวิจัย สังกัดทีมวิจัยพลังงานทดแทนและประสิทธิภาพพลังงาน กลุ่มวิจัยนวัตกรรมพลังงาน ศูนย์เทคโนโลยีพลังงานแห่งชาติ

*****นักวิจัย ศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างมูลฐานอย่างยั่งยืน สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ABSTRACT

Currently, transportation sector in Thailand consumes highest amount of energy and emits highest amount of CO₂ emission. A replacement of existing gasoline with electric power in the city bus system is interesting. The objectives of this study are to 1) determine the factors, including service operation and vehicle characteristics, that influence energy consumption, Energy Efficiency Index (EEI), and carbon dioxide (CO₂) emissions of public buses, 2) develop models for estimating energy consumption, Energy Efficiency Index (EEI), and carbon dioxide (CO₂) emissions of public buses, and 3) propose a replacement of existing diesel buses with electric buses through a case study of the Khon Kaen City bus system. This study conducted interviews with bus drivers on twelve routes in order to gather information about service quality, vehicle characteristics, and fuel consumption. A multiple linear regression analysis was applied to develop the models. The results found that existing bus system has average energy consumption of 3.187 MJ/km, total energy consumption of 28,489,767 MJ/year, EEI of 0.376 MJ/P-km, average CO₂ emission of 0.235 t-CO₂/km, and total CO₂ emission of 2,112 t-CO₂/year. The factors influencing energy consumption and CO₂ emission of Khon Kaen City bus system are vehicle age and average overall speed. The factors influencing EEI are average ridership and vehicle age. Replacement of existing gasoline buses with electric buses could decrease 69% of total energy consumption, 70% of EEI, and 53% of total CO₂ emission.

คำสำคัญ: ดัชนีประสิทธิภาพการใช้พลังงาน การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ รถโดยสารประจำทาง

Keywords: Energy efficiency index, CO₂ emission, Public bus

บทนำ

ปัจจุบัน พลังงานเป็นปัจจัยที่สำคัญในการดำเนินชีวิตของมนุษย์และเป็นต้นทุนที่สำคัญสำหรับการดำเนินกิจกรรมต่าง ๆ ทั้งในด้านอุตสาหกรรม เกษตรกรรม และการขนส่ง จากข้อมูลรายงานดุลยภาพพลังงานของประเทศไทยประจำปี พ.ศ. 2561 [1] พบว่าอัตราการใช้พลังงานในขั้นสุดท้ายของประเทศไทย มีปริมาณ 83,952 ktoe (พินตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ) และมีแนวโน้มของการใช้พลังงานที่สูงขึ้นด้วย ซึ่งในการแบ่งกิจกรรมการใช้พลังงานเป็นภาคต่าง ๆ พบว่า ภาคการขนส่ง เป็นภาคที่มีการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายมากที่สุด และใช้พลังงานไปกว่า 1 ใน 3 ของประเทศ ซึ่งตามแผนการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2558-2579 มีเป้าหมายที่จะลดการใช้พลังงานลงร้อยละ 30 ใน พ.ศ. 2579 หรือประมาณ 56,142 ktoe ซึ่งแผนอนุรักษ์พลังงานดังกล่าวประกอบด้วย 10 มาตรการหลัก โดยมาตรการที่มีเป้าหมายการอนุรักษ์พลังงานที่มากที่สุด คือ การอนุรักษ์พลังงานภาคขนส่ง ซึ่งมีเป้าหมายการอนุรักษ์พลังงานถึง 30,213 ktoe หรือประมาณร้อยละ 58 จากพลังงานทั้งหมด

รายงานของกรมการขนส่งทางบกกองแผนงาน กลุ่มสถิติการขนส่ง ประจำปี พ.ศ. 2561 [2] พบว่า ประเทศไทยมีจำนวนรถจดทะเบียนสะสมทั่วประเทศ จำนวน 39,551,789 คัน โดยเป็นรถขนส่งสาธารณะที่จดทะเบียนภายใต้กฎหมายการขนส่งทางบกเพียง 1,285,685 หรือร้อยละ 3.2 ของจำนวนรถทั้งหมด แสดงให้เห็นว่าประชากรส่วนใหญ่นิยมใช้รถส่วนบุคคลมากกว่ารถขนส่งสาธารณะในการเดินทาง ซึ่งจะก่อให้เกิดปัญหาการจราจรติดขัด การใช้พลังงานอย่างมหาศาล และการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) จำนวนมาก ซึ่งก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนตามมา ดังนั้น การพัฒนาระบบรถ

ขนส่งสาธารณะในปัจจุบัน จะช่วยส่งเสริมให้มีการหันมาใช้รถขนส่งสาธารณะเพื่อการเดินทางมากขึ้น โดยการเริ่มพัฒนาดัชนีประสิทธิภาพการใช้พลังงาน (Energy Efficiency Index, EEI) ของระบบรถโดยสารสาธารณะ จะช่วยประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานของรถโดยสารสาธารณะในปัจจุบัน และช่วยวางแผนนโยบายการอนุรักษ์พลังงานต่อไปในอนาคต

ปัจจุบัน องค์การสหประชาชาติ (United Nations) ได้กำหนดเป้าประสงค์การพัฒนาโดยอาศัยกรอบแนวคิดในมุมมองของการพัฒนาด้านเศรษฐกิจ ด้านสังคม และด้านสิ่งแวดล้อม ให้มีความเชื่อมโยงกัน โดยเรียกว่าเป้าประสงค์การพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals, SDGs) ซึ่งการพัฒนาขนส่งอย่างยั่งยืน (Sustainable Transport Development) ถือเป็นเป้าหมายที่สำคัญต่อเป้าประสงค์การพัฒนาอย่างยั่งยืน (SDGs) [3]

Ratanavaraha V. และ Jomnonkwao S. [4] ได้ทำการศึกษาเพื่อคาดการณ์ปริมาณการปล่อย CO₂ และปัจจัยที่ส่งผลต่อการปล่อย CO₂ ในประเทศไทย รวมไปถึงการประเมินผลกระทบในการกำหนดนโยบายการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ผลการศึกษาพบว่า ขนาดของยานพาหนะ ค่า GDP และจำนวนประชากร ส่งผลต่อการปล่อย CO₂ โดยจากการคาดการณ์ปริมาณการปล่อย CO₂ ในปี ค.ศ. 2030 พบว่าสูงสุดอยู่ที่ 225.33 ล้านตัน และน้อยสุดอยู่ที่ 91.68 ล้านตัน

ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ [5] ได้พัฒนาดัชนีประสิทธิภาพการใช้พลังงาน (Energy Efficiency Index, EEI) ของรถขนส่งผู้โดยสารในประเทศไทย และวิเคราะห์ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ต่อดัชนีประสิทธิภาพการใช้พลังงาน โดยการศึกษานี้ได้ขยายผลการศึกษา โดยคำนวณอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และปัจจัยที่ส่งผลต่ออัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ผ่านกรณีศึกษาระบบรถโดยสารประจำทางในเขตเมืองขอนแก่น วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้ประกอบด้วย 1) ศึกษาอิทธิพลของ ปัจจัยลักษณะการให้บริการ และลักษณะของรถโดยสารประจำทาง ที่ส่งผลกระทบต่ออัตราการใช้พลังงาน, ดัชนีประสิทธิภาพการใช้พลังงาน, และการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 2) สร้างแบบจำลองเพื่อคำนวณอัตราการใช้น้ำมัน, ดัชนีประสิทธิภาพการใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ของรถโดยสารประจำทาง และ 3) เสนอการใช้รถไฟฟ้าแทนรถน้ำมัน ผ่านกรณีศึกษา ระบบรถโดยสารประจำทางเขตเมืองขอนแก่น

บททวนวรรณกรรม

ผู้วิจัยทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับรถเชื้อเพลิงน้ำมัน พบว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่ออัตราการใช้เชื้อเพลิงมีด้วยกัน 7 ปัจจัย ได้แก่ 1) อัตราเร็ว 2) ความเร่ง 3) ความหน่วง 4) ประเภทของรถ 5) จำนวนผู้โดยสาร 6) สภาพอากาศ และ 7) สัดส่วนเวลาของโหมดการขับเคลื่อน และปัจจัยที่ส่งผลต่อการปล่อยมลพิษทางอากาศมีด้วยกัน 8 ปัจจัย ได้แก่ 1) อัตราเร็ว 2) ความเร่ง 3) ความหน่วง 4) ประเภทของรถ 5) จำนวนผู้โดยสาร 6) สภาพอากาศ และ 7) ระยะทางการใช้งานสะสมบนแผงหน้าปัด โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 1

ผู้วิจัยทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับรถไฟฟ้า พบว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่ออัตราการใช้เชื้อเพลิงและการปล่อยมลพิษทางอากาศ มีด้วยกัน 4 ปัจจัย ได้แก่ 1) อัตราเร็ว 2) ความเร่ง 3) ความหน่วง 4) ประเภทของรถ และปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าใช้จ่ายตลอดวงจรชีวิตของรถไฟฟ้ามีด้วยกัน 4 ปัจจัย ได้แก่ 1) อายุการใช้งาน 2) ต้นทุนการผลิต 3) ความสามารถในการใช้พลังงานและ 4) ต้นทุนเชื้อเพลิงและการผลิตเชื้อเพลิง โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 1

ผู้วิจัยทบทวนเกี่ยวกับงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่า ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ [5] ประยุกต์ใช้วิธีการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ (Multiple Regression Analysis) [6] เพื่อสร้างแบบจำลองคาดการณ์ดัชนีประสิทธิภาพการใช้พลังงานของรถขนส่งผู้โดยสารในประเทศไทย

ตารางที่ 1 การทบทวนวรรณกรรม

ผู้วิจัย	วัตถุประสงค์การศึกษา	ปัจจัยที่ศึกษา (ตัวแปรต้น)	ปัจจัยที่ส่งผล (ตัวแปรตาม)
รถเชื้อเพลิงน้ำมัน			
ธเนศ, วิชุดา, สมโภช, ศุภกร และ กิตติภพ, 2014 [7]	เพื่อสำรวจระยะทางการเดินทาง สะสม (VKT) และ การใช้พลังงาน เชื้อเพลิงเพื่อสร้างแบบจำลอง ของยานพาหนะแต่ละประเภทและ คำนวณหาปริมาณการใช้พลังงาน เชื้อเพลิงและการปล่อยก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO ₂)	- อัตราการใช้ เชื้อเพลิงของรถแต่ ละประเภท - อายุการใช้งานของ รถแต่ละประเภท	- ระยะทางการใช้ งานสะสมบนแผง หน้าปัด - การปล่อยมลพิษ
Nakamichi K., Hanaoka S., Mogi S., Satiennam T., 2015 [8]	เพื่อศึกษาการกระจายของการขนส่ง สินค้าทางเมืองโดยการสัมภาษณ์ และประมาณการปล่อยก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์	- ระยะทางการใช้ งานสะสมบนแผง หน้าปัด - ประเภทของรถ	- การปล่อยมลพิษ
Yu Q., Li T., Li H., 2016 [9]	วัดปริมาณอิทธิพลของการบรรทุก ผู้โดยสารที่มีต่อการปล่อยรถโดยสาร ดีเซลและการสิ้นเปลืองน้ำมัน เชื้อเพลิง	- อัตราเร็ว - ความเร่ง - ความหน่วง - ชนิดของรถ - จำนวนผู้โดยสาร - สภาพอากาศ	- อัตราการใช้ เชื้อเพลิง - การปล่อยมลพิษ
Yu H., Li M., Li J., Liu Y., Lv H., Ma K., 2018 [10]	วิเคราะห์ผลกระทบของความเร็ว และความเร่งของยานพาหนะที่มีต่อ การปล่อยก๊าซ NO _x และอัตราการ ใช้เชื้อเพลิง	- อัตราเร็ว - ความเร่ง - สภาพอากาศ	- อัตราการใช้ เชื้อเพลิง - การปล่อยมลพิษ
Tong H.Y., 2019 [11]	เพื่อเปลี่ยนรถโดยสารดีเซลให้เป็นรถ โดยสารที่ไม่ปล่อยมลพิษทางอากาศ ในฮ่องกง	- สภาพอากาศ - อัตราเร็ว - สัดส่วนเวลาของ โหมดการขับขี่	- อัตราการใช้ เชื้อเพลิง
รถไฟฟ้า			
Al-Samari A., 2017 [12]	ตรวจสอบผลประโยชน์ที่อาจเกิดขึ้น โดยใช้รถยนต์ไฟฟ้ากับรอบการขับขี่ บนถนนจริงเพื่อเปรียบเทียบกับรถ รุ่นทั่วไป	- อัตราเร็ว - ความเร่ง - ความหน่วง - ชนิดของรถ	- อัตราการใช้ เชื้อเพลิง - การปล่อยมลพิษ

ตารางที่ 1 การทบทวนวรรณกรรม (ต่อ)

ผู้วิจัย	วัตถุประสงค์การศึกษา	ปัจจัยที่ศึกษา (ตัวแปรต้น)	ปัจจัยที่ส่งผล (ตัวแปรตาม)
Lajunen A., 2018 [13]	กำหนดพลังงานการชาร์จและความ ต้องการแบตเตอรี่รวมถึงการใช้ พลังงานและค่าใช้จ่ายวงจรชีวิต	- อายุการใช้งาน - ต้นทุนการผลิต - ความสามารถในการใช้พลังงาน - ต้นทุนเชื้อเพลิงและ การผลิต	- ค่าใช้จ่ายตลอด วงจรชีวิตของ รถไฟฟ้า
Lee D., Elgowainy A., Vijayagopal R., 2019 [14]	ประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม รถยนต์ไฟฟ้าเปรียบเทียบกับ เครื่องยนต์ดีเซล	- ประสิทธิภาพของรถ	- อัตราการใช้ เชื้อเพลิงของรถแต่ ละประเภท

ผู้วิจัยกำหนดสมมติฐาน ดังนี้

- สมมติฐานวิจัย: ดัชนีประสิทธิภาพการใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีความสัมพันธ์กับ
ลักษณะการให้บริการและลักษณะของรถโดยสารประจำทางในเมืองขอนแก่น
- สมมติฐานทางสถิติ H_0 : ตัวแปรตาม (Y) ขึ้นกับตัวแปรอิสระ (X) ของงานวิจัยที่ผ่านมาทั้ง k ตัว
 H_1 : ตัวแปรตาม (Y) ไม่ขึ้นกับตัวแปรอิสระ (X) ของงานวิจัยที่ผ่านมาอย่างน้อย 1 ตัว
โดย Y = ดัชนีประสิทธิภาพการใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
 X_i = ลักษณะการให้บริการและลักษณะของรถโดยสารประจำทางในเมืองขอนแก่นที่ i
- เมื่อเสนอรถใช้พลังงานไฟฟ้าทดแทนรถใช้พลังงานน้ำมันในปัจจุบันของระบบรถโดยสารประจำทางในเมือง
ขอนแก่นน่าจะทำให้ดัชนีประสิทธิภาพการใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของระบบฯ ลดลง

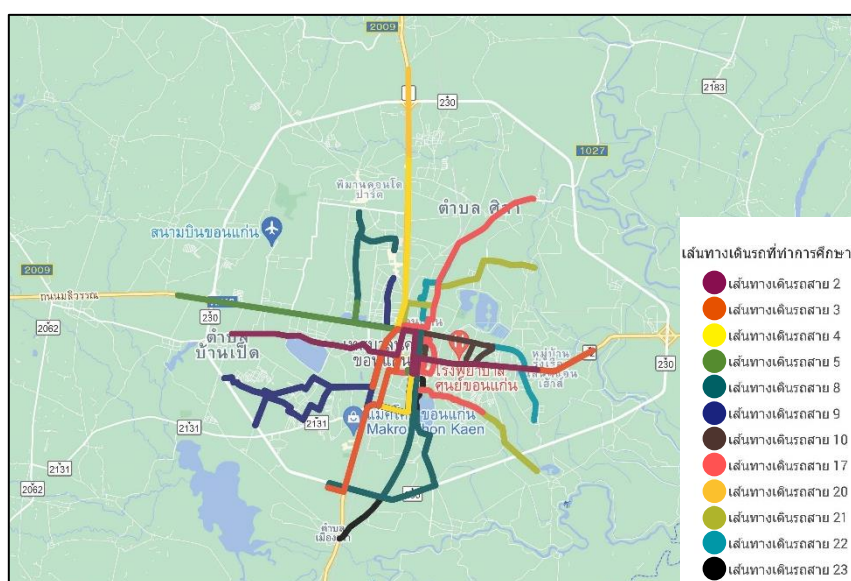
วิธีการศึกษา

1. กรณีศึกษาระบบรถโดยสารประจำทางในเขตเมืองขอนแก่น

จังหวัดขอนแก่นถือได้ว่าเป็นหนึ่งในสี่จังหวัดใหญ่ทางภาคอีสาน โดยมีประชากรในเขตเมือง (ฝั่งเมืองรวมขอนแก่น) ประมาณ 340,000 คน [15] และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นต่อไปในอนาคต เนื่องจากมีเป้าหมายพัฒนาเมืองเป็น Smart City โดย ปัจจุบันในเขตเมืองขอนแก่น มีรถโดยสารประจำทางให้บริการ 21 สายการเดินรถ (หมวดที่ 1) แต่การศึกษานี้ กำหนดกลุ่มสายทางเดินรถเพื่อทำการศึกษากำหนด 12 สายทางเดินรถ แสดงดังตารางที่ 2 เนื่องจากสายทางเดินรถที่ เหลือ มีจำนวนรอบและรถให้บริการน้อยเนื่องจากได้รับผลกระทบการระบาดของโควิด-19 ทำให้มีจำนวนผู้ใช้บริการ น้อยลง

ตารางที่ 2 เส้นทางเดินรถของรถโดยสารประจำทางในเขตเมืองขอนแก่นที่ทำการศึกษ

สาย	ต้นทาง	ปลายทาง	ระยะทาง ให้บริการ (km)	จำนวนรอบ ให้บริการต่อวัน
2	บ้านโคกพันโปง	บ้านโคกน้อย	32	5
3	สถานีขนส่งจังหวัดขอนแก่น แห่งที่ 3	บ้านพรหมนิมิตร	40	5
4	สถานีขนส่งจังหวัดขอนแก่น แห่งที่ 3	บ้านหนองน้ำเกลี้ยง	30	6
5	ตลาดหนองไผ่ล้อม	บ้านพุ่ม	36	4
8	มหาวิทยาลัยขอนแก่น	บ้านดอนบม	36	5
9	บ้านสามเหลี่ยม	บ้านสะอาด	22	7
10	มหาวิทยาลัยขอนแก่น	สนามม้าขอนแก่น	32	5
17	บ้านโนนทัน	บ้านโคกท่า	40	5
20	ตลาดหนองไผ่ล้อม	บ้านกลางสูง	36	6
21	บ้านโนนเขว	บ้านดอนยาง	42	4
22	บ้านหนองไฮ	บ้านดอนหญ้านาง	26	5
23	ตลาดสดเทศบาล 1	บ้านห้วยเตย	40	3



ภาพที่ 1 แผนที่เส้นทางเดินรถของรถโดยสารประจำทางในเขตเมืองขอนแก่นที่ทำการศึกษา

2. กำหนดขนาดตัวอย่าง

การคำนวณหาขนาดของกลุ่มตัวอย่างในกรณีทราบจำนวนประชากรที่แน่นอน (Finite Population) จะใช้สูตรของ Taro Yamane โดยกำหนดให้ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ (e) เท่ากับ 5% สมการของ Taro Yamane แสดงดังสมการที่ (1)

$$n = \frac{N}{1+Ne^2} \quad (1)$$

โดยที่ n = ขนาดของกลุ่มตัวอย่างที่ต้องการ
 N = ขนาดของประชากร
 e = ความคลาดเคลื่อนของการสุ่มตัวอย่างที่ยอมรับได้

ผู้วิจัยกำหนดขนาดของประชากรของระบบรถโดยสารประจำทางในเขตเมืองขอนแก่น จากข้อมูลจำนวนรถโดยสารที่จดทะเบียนสะสม ณ วันที่ 31 มีนาคม 2564 [16] โดยรถโดยสารหมวดที่ 1 มาตราฐานที่ 3 มีจำนวนทั้งสิ้น 503 คัน ดังนั้น สามารถคำนวณขนาดของกลุ่มตัวอย่างได้เท่ากับ 225 ตัวอย่าง

3. การพัฒนาแบบสอบถาม

การศึกษานี้พัฒนาแบบสอบถาม โดยแบ่งโครงสร้างแบบสอบถามเป็น 4 ส่วน ดังนี้ 1) ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับผู้ตอบแบบสอบถาม, 2) ข้อมูลรถโดยสารประจำทาง เช่น ยี่ห้อรถ อายุการใช้งาน ขนาดเครื่องยนต์ ระยะทางการใช้งานบนแผงหน้าปัด เป็นต้น, 3) ข้อมูลการให้บริการเดินรถ เช่น ระยะทางในการเดินทางต่อรอบ เวลาที่ใช้ในการเดินทางต่อรอบ และจำนวนผู้โดยสาร เป็นต้นและ 4) ข้อมูลการใช้พลังงานเชื้อเพลิง เช่น ชนิดเชื้อเพลิง ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ เป็นต้น ซึ่งจะใช้ข้อมูลดังกล่าว เพื่อคำนวณและวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ต่ออัตราการใช้พลังงาน ดัชนีประสิทธิภาพการใช้พลังงาน (EEI) และการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ต่อไป [17]

4. การสำรวจข้อมูล

การศึกษานี้จะทำการสำรวจและเก็บข้อมูลโดยแบบสอบถามซึ่งมีขอบเขตของการศึกษาคือ รถโดยสารประจำทางภายในเขตอำเภอเมืองจังหวัดขอนแก่น โดยจะทำการสัมภาษณ์โดยใช้แบบสอบถามเป็นเครื่องมือในการดำเนินการเก็บข้อมูลจากพนักงานขับรถ ณ บริเวณที่รถมีการจอดรอคิวรถ เช่น สถานีขนส่งแห่งที่ 3 จังหวัดขอนแก่น สถานีต้นทาง และสถานีปลายทาง เป็นต้น ในแบบสอบถามประกอบไปด้วยรายละเอียดทั้งหมด 4 ส่วน 1) ข้อมูลรถขนส่งผู้โดยสาร 2) ข้อมูลการเดินรถ 3) ข้อมูลอัตราการใช้พลังงาน และ 4) ข้อมูลการบรรทุกผู้โดยสาร

5. การวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยประยุกต์ใช้สมการของ IEA [17] เพื่อคำนวณหา อัตราการใช้พลังงานเฉลี่ย (EC) และดัชนีประสิทธิภาพการใช้พลังงานของระบบรถโดยสารประจำทาง (EEI) แสดงดังสมการที่ (2) และ (3)

$$EC_i = \frac{\sum_{i,j}(NV_{i,j} \times VKT_{i,j} \times FE_{i,j})}{\sum_{i,j}(NV_{i,j} \times VKT_{i,j})} \quad (2)$$

$$EEI_i = \frac{\sum_{i,j}(NV_{i,j} \times VKT_{i,j} \times FE_{i,j})}{\sum_{i,j}(NV_{i,j} \times VKT_{i,j} \times LD_{i,j})} \quad (3)$$

เมื่อ

EC = อัตราการใช้พลังงานเฉลี่ยของระบบรถโดยสาร (MJ/km)
EEI = ดัชนีประสิทธิภาพการใช้พลังงานของระบบรถโดยสาร (MJ/passenger-km)
NV = จำนวนรถโดยสาร (คัน)
VKT = ระยะทางวิ่งเฉลี่ยต่อคัน (km)
FE = อัตราการใช้พลังงานเฉลี่ยต่อคัน (MJ/km)
LD = อัตราบรรทุกผู้โดยสาร (passenger/veh)

- i = จำนวนประเภทของรถโดยสาร
j = จำนวนชนิดของพลังงานเชื้อเพลิง

ในการหาปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากระยะการเดินทางสะสมเฉลี่ยต่อปีของรถโดยสาร จำเป็นต้องทราบปริมาณเชื้อเพลิงทั้งหมดที่ถูกใช้ตลอดอายุการใช้งานซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2) แล้วจึงสามารถนำมาคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ [7] แสดงดังสมการที่ (4)

$$Total\ CO_2\ Emission = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m FC_{ij} \times EF_{ij} \quad (4)$$

เมื่อ

Total CO₂ Emission = ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งหมดของระบบ (t-CO₂/year)

FC_{ij} = ปริมาณพลังงานของเชื้อเพลิงประเภท j ที่ถูกใช้โดยรถโดยสารประเภท i (MJ/year)

EF_{ij} = CO₂ Emission factor ของรถประเภท i ใช้พลังงานเชื้อเพลิง j (t-CO₂/km) (ตารางที่ 3)

i = จำนวนประเภทของรถโดยสาร (1, ..., n)

j = จำนวนชนิดของพลังงานเชื้อเพลิง (1, ..., m)

ผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้ CO₂ Emission factors (kg-CO₂/Unit) เพื่อคำนวณปริมาณการปล่อย CO₂ จากระบบที่ใช้ใช้น้ำมันดีเซลและพลังงานไฟฟ้า และประยุกต์ใช้ Energy factors (MJ/Unit) เพื่อแปลงหน่วยการพลังงานเชื้อเพลิง น้ำมันดีเซล (ลิตร) และพลังงานไฟฟ้า (kWh) ให้อยู่ในรูปของพลังงานความร้อน (MJ) เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานได้ โดย factors ต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 3 [18–20]

ตารางที่ 3 CO₂ Emission factors และ Energy factors

ประเภทพลังงาน	CO ₂ Emission
น้ำมันดีเซล (ลิตร)	2.7 kg-CO ₂ /ลิตร
พลังงานไฟฟ้า (kWh)	0.413 kg-CO ₂ /kWh
ประเภทพลังงาน	พลังงานความร้อน
น้ำมันดีเซล (ลิตร)	36.42 MJ/ลิตร
พลังงานไฟฟ้า (kWh)	3.6 MJ/kWh

ผู้วิจัยประยุกต์ใช้การวิเคราะห์สหสัมพันธ์เพียร์สัน (Pearson Correlation Analysis) เพื่อวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ตัว โดยตัวแปรอิสระใดมีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามสูงจะพิจารณาใส่ตัวแปรอิสระนั้นในแบบจำลองเพื่อคำนวณตัวแปรตาม และถ้าตัวแปรอิสระคู่ใดมีความสัมพันธ์กันสูง จะพิจารณาเลือกแค่ตัวแปรเดียวไว้ในแบบจำลอง เพื่อป้องกันปัญหาตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์กันเองสูง (Multicollinearity)

ผู้วิจัยประยุกต์ใช้การวิเคราะห์ถดถอยเชิงพหุ (Multiple Linear Regression; Stepwise) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (P<0.05) [6] เพื่อวิเคราะห์และสร้างแบบจำลองความสัมพันธ์ของตัวแปรตาม (อัตราการใช้พลังงาน, ดัชนีประสิทธิภาพการใช้พลังงาน, และการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์) และตัวแปรอิสระตั้งแต่ 2 ตัวแปรขึ้นไป โดยในการ

วิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ เป็นการพิจารณาความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างตัวแปรตาม (Y) ทั้งหมด 3 ตัวแปร ได้แก่ การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ค่าดัชนีการใช้พลังงานของรถโดยสาร และอัตราการใช้เชื้อเพลิง และตัวแปรอิสระ (X) ซึ่งวิธีการวิเคราะห์ มีดังนี้ 1) เลือกตัวแปรอิสระ (X) ใส่ในสมการ ซึ่งได้แก่ ยี่ห้อรถ(รุ่น) อายุการใช้งาน ขนาดของเครื่องยนต์ ระยะทางการใช้งานบนแผงหน้าปัด ความเร็วเฉลี่ย และจำนวนผู้โดยสารเฉลี่ย 2) นำตัวแปรทั้งหมดไปวิเคราะห์หาความสัมพันธ์โดยวิธีวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (Correlation analysis) 3) ตรวจสอบค่าความสัมพันธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ และเลือกตัวแปรอิสระ (X) ที่มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับตัวแปรตาม (Y) ไปสร้างแบบจำลอง

6. การเสนอรถไฟฟ้าทดแทนรถใช้น้ำมันในกลุ่มรถโดยสารประจำทางเมืองขอนแก่น

ผู้วิจัยเสนอรถไฟฟ้าทดแทนรถใช้น้ำมันดีเซลเพื่อปรับปรุงดัชนีประสิทธิภาพการใช้พลังงาน และการปล่อย CO₂ สำหรับรถโดยสารประจำทางในเขตเมืองขอนแก่น โดยพิจารณาจากรถไฟฟ้าที่มีขายอยู่ในประเทศไทยในปัจจุบัน ที่มีสมรรถนะในการให้บริการขนส่งผู้โดยสารได้เหมือนหรือใกล้เคียงกับรถโดยสารประจำทางที่วิ่งให้บริการอยู่ในปัจจุบัน โดยผู้วิจัยทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบอัตราการใช้พลังงาน ดัชนีประสิทธิภาพการใช้พลังงาน และการปล่อย CO₂ ของรถโดยสารทั้ง 2 ประเภท โดยเนื่องจากรถไฟฟ้าขณะวิ่งให้บริการ ไม่มีการปล่อย CO₂ แต่กระบวนการผลิตไฟฟ้ามีการปล่อย CO₂ เท่ากับ 0.413 kg-CO₂/kWh [19] ผู้วิจัยจึงนำมาใช้ในการคำนวณการปล่อย CO₂ ของรถไฟฟ้า

ผลการศึกษาและอภิปรายผล

1. ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพรรณนา

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพรรณนา แสดงดังตารางที่ 4 พบว่า กลุ่มตัวอย่างรถโดยสารประจำทาง มีอายุการใช้งานเฉลี่ย 16 ปี มีระยะทางการใช้งานบนแผงหน้าปัดเฉลี่ย 796,514.8 กิโลเมตร มีความเร็วให้บริการเฉลี่ย 24.2 กิโลเมตรต่อชั่วโมง มีอัตราการใช้พลังงานเชื้อเพลิงเฉลี่ย 11.6 กิโลเมตรต่อลิตร มีจำนวนผู้โดยสารเฉลี่ย 9.2 คนต่อเที่ยว โดยเป็นรถรุ่น Isuzu D-max ร้อยละ 59 รุ่น Isuzu TFR ร้อยละ 17 และ รุ่น Isuzu Dragon ร้อยละ 15 และรุ่นอื่น ๆ ร้อยละ 12 โดยมีเครื่องยนต์ ขนาด 2500 CC. ร้อยละ 92 และ ขนาด 1900 CC. ร้อยละ 8

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพรรณนา

ตัวแปร	Minimum	Maximum	Average	Std. Deviation
อายุการใช้งาน (ปี)	1.5	36	16	8.3
ระยะทางการใช้งานบนแผงหน้าปัด (km)	40,886	1,594,326	796,515	464,362
ความเร็วเฉลี่ย (km/hr)	13.3	34.3	24.2	5.0
อัตราการใช้พลังงานเชื้อเพลิง (km/l)	7.0	16.2	11.6	1.8
จำนวนผู้โดยสารเฉลี่ย (คน)	5.0	13	9.2	2.3

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพรรณนา (ต่อ)

ตัวแปร	ร้อยละ
ยี่ห้อรถ(รุ่น)	
Isuzu TFR	17
Isuzu Dragon	12
Toyota Vigo	8
Isuzu D-max	59
Other	4
ขนาดของเครื่องยนต์	
1900 CC.	8
2500 CC.	92

2. ผลการวิเคราะห์ถดถอยเชิงพหุ (Multiple Linear Regression)

ผลการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ศึกษา แสดงดังตารางที่ 5 ซึ่งพบว่า ดัชนีประสิทธิภาพการใช้พลังงาน (Y_2) มีความสัมพันธ์กับ จำนวนผู้โดยสารเฉลี่ย (X_9) อายุการใช้งานของรถ (X_5) ขนาดเครื่องยนต์ (X_6) และระยะทางการใช้งานบนแผงหน้าปัด (X_7) จากมากไปน้อย ตามลำดับ

อัตราการใช้พลังงาน (Y_1) มีความสัมพันธ์กับ อายุการใช้งานของรถ (X_5) ระยะทางการใช้งานบนแผงหน้าปัด (X_7) ขนาดเครื่องยนต์ (X_6) รุ่นรถ (X_1, X_3, X_4) และความเร็วเฉลี่ย (X_8) จากมากไปน้อย ตามลำดับ

อัตราการปล่อย CO_2 (Y_3) มีความสัมพันธ์กับ อายุการใช้งานของรถ (X_5) ระยะทางการใช้งานบนแผงหน้าปัด (X_7) ขนาดเครื่องยนต์ (X_6) รุ่นรถ (X_1, X_3, X_4) และความเร็วเฉลี่ย (X_8) จากมากไปน้อย ตามลำดับ

การวิเคราะห์วิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุ (Multiple Linear Regression) ผู้วิจัยจะไม่นำตัวแปรอิสระที่มีความสัมพันธ์กันสูง ($r > 0.6$) ใส่ไว้ในแบบจำลองเดียวกัน (เช่น ระยะทางการใช้งานบนแผงหน้าปัด และอายุการใช้งานของรถมีความสัมพันธ์กันสูง $r = 0.764$) เพื่อไม่ให้เกิดปัญหา Collinearity

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (Correlation Analysis)

ตัวแปร	Y_1	Y_2	Y_3	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9
อัตราการใช้พลังงาน (Y_1)	1											
ดัชนีประสิทธิภาพการใช้พลังงาน (Y_2)	.461**	1										
อัตราการปล่อย CO_2 (Y_3)	1.000**	.449**	1									
รถรุ่น Isuzu Dmax (X_1)	-.334**	-.117	-.315**	1								
รถรุ่น Vigo (X_2)	-.034	-.086	-.024	-.359**	1							
รถรุ่น Dragon (X_3)	.187**	.087	.166*	-.439**	-.109	1						
รถรุ่น TFR (X_4)	.223**	.114	.226**	-.542**	-.134	-.164*	1					
อายุการใช้งาน (X_5)	.451**	.275**	.454**	-.612**	-.188**	.276**	.627**	1				
ขนาดเครื่องยนต์ (X_6)	.301**	.233**	.279**	-.200**	.016	0.105	.130	.399**	1			
ระยะทางการใช้งานบนแผงหน้าปัด (X_7)	.341**	.226**	.341**	-.445**	-.118	.175*	.491**	.764**	.389**	1		
ความเร็วเฉลี่ย (X_8)	-.185*	-.114	-.185*	.013	-.018	-.113	.106	-.043	-.086	-.080	1	
จำนวนผู้โดยสารเฉลี่ย (X_9)	.097	-.795**	.123	-.067	.076	.040	-.022	-.046	-.135	-.058	.049	1

*มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P < 0.05$), **มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ($P < 0.001$)

ผลการสร้างแบบจำลอง 3 แบบจำลองด้วยการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุ แสดงดังตารางที่ 6

1) แบบจำลองอัตราการใช้พลังงานของรถโดยสารประจำทางในเขตเมืองขอนแก่น เป็นสมการเชิงเส้นตัวแปรอิสระกับอัตราการใช้พลังงาน (Y_1) พบว่า มี 2 ปัจจัยที่ส่งผลต่ออัตราการใช้พลังงาน ได้แก่ อายุการใช้งาน (X_5) ซึ่งมีเครื่องหมาย

หน้าสัมประสิทธิ์เป็นบวก หมายถึง ถ้าอายุการใช้งานของรถมากขึ้นส่งผลให้อัตราการใช้พลังงานมากขึ้นด้วย และความเร็วเฉลี่ย (X_8) ซึ่งมีเครื่องหมายหน้าสัมประสิทธิ์เป็นลบ หมายถึง ถ้าความเร็วเฉลี่ยมากขึ้นส่งผลให้อัตราการใช้พลังงานลดลง สอดคล้องกับงานวิจัยของศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ [5] และ Yu H., Li M., Li J., Liu Y., Lv H., Ma K., 2018 [10] พบว่า เมื่อความเร็วเฉลี่ยสูงขึ้นจะมีอัตราการใช้พลังงานที่น้อยลง โดยตัวแปรอิสระดังกล่าวสามารถอธิบายการผันแปรของสมการได้ ร้อยละ 21

2) แบบจำลองค่าดัชนีประสิทธิภาพการใช้พลังงานของรถโดยสารประจำทางในเขตเมืองขอนแก่น เป็นสมการเชิงเส้นตัวแปรอิสระกับดัชนีประสิทธิภาพการใช้พลังงาน (Y_2) พบว่า มี 2 ปัจจัยที่ส่งผลต่อดัชนีประสิทธิภาพการใช้พลังงานได้แก่ จำนวนผู้โดยสารเฉลี่ย (X_9) ซึ่งมีเครื่องหมายหน้าสัมประสิทธิ์เป็นลบ หมายถึง ถ้าจำนวนผู้โดยสารเฉลี่ยมากขึ้นจะส่งผลให้ดัชนีประสิทธิภาพการใช้พลังงานลดลง (ประสิทธิภาพการใช้พลังงานดีขึ้น) และอายุการใช้งาน (X_5) ซึ่งมีเครื่องหมายหน้าสัมประสิทธิ์เป็นบวก หมายถึง ถ้าอายุการใช้งานของรถมากขึ้นส่งผลให้ดัชนีประสิทธิภาพการใช้พลังงานมากขึ้นด้วย (ประสิทธิภาพการใช้พลังงานแย่ลง) โดยตัวแปรอิสระดังกล่าวสามารถอธิบายการผันแปรของสมการได้ ร้อยละ 71 สอดคล้องกับงานวิจัยของศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ [5] พบว่าเมื่ออายุของรถมีค่ามากขึ้นส่งผลให้รถมีประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่แย่ลง

3) แบบจำลองการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของรถโดยสารประจำทางในเขตเมืองขอนแก่น เป็นสมการเชิงเส้นตัวแปรอิสระกับการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Y_3) พบว่า มี 2 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ได้แก่ อายุการใช้งาน (X_5) ซึ่งมีเครื่องหมายหน้าสัมประสิทธิ์เป็นบวก หมายถึง ถ้าอายุการใช้งานของรถมากขึ้นจะส่งผลให้การปล่อย CO_2 มากขึ้นด้วย และความเร็วเฉลี่ย (X_8) ซึ่งมีเครื่องหมายหน้าสัมประสิทธิ์เป็นลบ หมายถึง ถ้าความเร็วเฉลี่ยมากขึ้นจะส่งผลให้การปล่อยก๊าซ CO_2 น้อยลง โดยตัวแปรอิสระดังกล่าวสามารถอธิบายการผันแปรของสมการได้ ร้อยละ 21

ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุ (Multiple Linear Regression)

ตัวแปร	B	t	Sig.
แบบจำลองอัตราการใช้พลังงาน, MJ/km (Y_1)			
ค่าคงที่	3.263	15.371	0.000
อายุการใช้งาน, Year (X_5)	0.023	5.523	0.000
ความเร็วเฉลี่ย, km/hr (X_8)	-0.018	-2.226	0.028
$Y_1 = 3.263 + 0.023X_5 - 0.018X_8$ (Adjusted $R^2 = 0.21$)			
แบบจำลองดัชนีประสิทธิภาพการใช้พลังงาน MJ/P-km			
ค่าคงที่	0.660	29.304	0.000
จำนวนผู้โดยสารเฉลี่ย, Persons (X_9)	-0.037	-17.185	0.000
อายุการใช้งาน, Year (X_5)	0.003	5.277	0.000
$Y_2 = 0.66 - 0.037X_9 + 0.003X_5$ (Adjusted $R^2 = 0.71$)			
แบบจำลองอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ t- CO_2 /km			
ค่าคงที่	0.242	15.371	0.000
อายุการใช้งาน, Year (X_5)	0.002	5.523	0.000
ความเร็วเฉลี่ย, km/hr (X_8)	-0.001	-2.226	0.028
$Y_3 = 0.242 + 0.002X_5 - 0.001X_8$ (Adjusted $R^2 = 0.21$)			

3. ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบดัชนีประสิทธิภาพการใช้พลังงานและการปล่อย CO₂

ผู้วิจัยได้เสนอรถไฟฟ้าทดแทนรถใช้น้ำมันดีเซลเพื่อปรับปรุงดัชนีประสิทธิภาพการใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในกลุ่มรถโดยสารประจำทางในเขตเมืองขอนแก่น โดยผลการสำรวจข้อมูลกลุ่มตัวอย่างรถโดยสารพบว่า มีระยะการเดินทางเฉลี่ยต่อวันเท่ากับ 216 กิโลเมตร และมีจำนวนผู้โดยสารสูงสุดต่อเที่ยว เท่ากับ 11 คน และมีความเร็วเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 40 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ดังนั้น ผู้วิจัยขอเสนอตัวอย่าง ยี่ห้อรถไฟฟ้า ที่มีขายในประเทศไทย และมีสมรรถนะให้บริการทดแทนรถโดยสารประจำทางที่ใช้น้ำมันดีเซลวิ่งให้บริการอยู่ในปัจจุบันได้ คือ รถไฟฟ้ายี่ห้อ Skywell รุ่น SHODAI - High Roof [21] มีระยะทางวิ่งสูงสุด 280 กิโลเมตรต่อการชาร์จแบตเตอรี่ 1 ครั้ง สามารถบรรทุกผู้โดยสารได้สูงสุด 11 คน และสามารถทำความเร็วได้สูงสุดที่ 100 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบอัตราการใช้พลังงานระหว่างรถโดยสารใช้น้ำมันดีเซลและรถโดยสารไฟฟ้า แสดงดังตารางที่ 7 ซึ่งพบว่า อัตราการใช้พลังงานเฉลี่ยรวมทุกสายของรถน้ำมันและรถไฟฟ้าเท่ากับ 3.187 และ 0.964 MJ/km และการใช้พลังงานทั้งระบบของรถน้ำมันและรถไฟฟ้าเท่ากับ 28,489,767 และ 8,731,258.42 MJ/Year ซึ่งพบว่ารถไฟฟ้าสามารถประหยัดการใช้พลังงานลงได้ ร้อยละ 70

ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบดัชนีประสิทธิภาพการใช้พลังงานระหว่างรถโดยสารใช้น้ำมันดีเซลและรถโดยสารไฟฟ้า แสดงดังตารางที่ 8 ซึ่งพบว่า ดัชนีประสิทธิภาพการใช้พลังงานของระบบ (รวมทุกสาย) ของรถน้ำมันและรถไฟฟ้าเท่ากับ 0.376 และ 0.114 MJ/passenger-km ซึ่งพบว่า รถไฟฟ้าสามารถลดดัชนีประสิทธิภาพการใช้พลังงานลงได้ (หรือประสิทธิภาพการใช้พลังงานดีขึ้น) ร้อยละ 70

ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบการปล่อย CO₂ ระหว่างรถโดยสารใช้น้ำมันดีเซลและรถโดยสารไฟฟ้า แสดงดังตารางที่ 9 ซึ่งพบว่า อัตราการปล่อย CO₂ เฉลี่ยรวมทุกสายของรถน้ำมันและรถไฟฟ้าเท่ากับ 0.235 และ 0.111 t-CO₂/km และการปล่อย CO₂ ทั้งระบบของรถน้ำมันและรถไฟฟ้าเท่ากับ 2,111.5 และ 1,001.7 t-CO₂/year ซึ่งพบว่ารถไฟฟ้าสามารถลดการปล่อย CO₂ ลงได้ ร้อยละ 53

ตารางที่ 7 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบอัตราการใช้พลังงาน

สายการ เดินรถ	ระยะการเดินทาง เฉลี่ย (km/veh/day)	อัตราการใช้พลังงานเฉลี่ย (MJ/km)		การใช้พลังงานเฉลี่ย (MJ/Year)		การลดการ ใช้พลังงาน (%)
		รถน้ำมัน	รถไฟฟ้า	รถน้ำมัน	รถไฟฟ้า	
2	160	3.667	0.964	214,135.28	56,314.29	-73.7
3	200	3.093	0.964	225,789.00	70,392.86	-68.8
4	180	3.101	0.964	203,742.27	63,353.57	-68.9
5	144	3.479	0.964	182,835.22	50,682.86	-72.3
8	180	3.221	0.964	211,619.70	63,353.57	-70.1
9	154	3.036	0.964	170,676.04	54,202.50	-68.2
10	160	3.331	0.964	194,524.56	56,314.29	-71.1
17	200	3.018	0.964	220,314.00	70,392.86	-68.0
20	216	3.353	0.964	264,366.29	76,024.29	-71.2
21	168	3.048	0.964	186,897.23	59,130.00	-68.4
22	130	3.114	0.964	147,745.07	45,755.36	-69.0

ตารางที่ 7 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบอัตราการใช้พลังงาน (ต่อ)

สายการ เดินรถ	ระยะการเดินทาง เฉลี่ย (km/veh/day)	อัตราการใช้พลังงานเฉลี่ย (MJ/km)		การใช้พลังงานเฉลี่ย (MJ/Year)		การลดการ ใช้พลังงาน (%)
		รถน้ำมัน	รถไฟฟ้า	รถน้ำมัน	รถไฟฟ้า	
23	120	3.508	0.964	153,654.78	42,235.71	-72.5
รวมทุกสาย	180	3.187	0.964	209,385.90	63,353.57	-69.7
การใช้พลังงานทั้งระบบ (MJ/Year)				28,489,766.65	8,731,258.42	-69.4

ตารางที่ 8 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบดัชนีประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

สายการเดินรถ	ดัชนีประสิทธิภาพการใช้พลังงาน (MJ/passenger-km)		การลดดัชนีประสิทธิภาพ การใช้พลังงาน (%)
	รถน้ำมัน	รถไฟฟ้า	
2	0.509	0.135	-73.5
3	0.339	0.107	-68.4
4	0.379	0.119	-68.6
5	0.374	0.103	-72.5
8	0.408	0.122	-70.1
9	0.250	0.069	-72.5
10	0.425	0.123	-71.1
17	0.448	0.139	-69.0
20	0.434	0.125	-71.2
21	0.333	0.104	-68.8
22	0.346	0.107	-69.1
23	0.270	0.074	-72.6
รวมทุกสาย	0.376	0.114	-69.7

ตารางที่ 9 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

สายการ เดินรถ	ระยะการเดินทาง เฉลี่ย (km/veh/day)	อัตราการปล่อย CO ₂ เฉลี่ย (t-CO ₂ /km)		การปล่อย CO ₂ เฉลี่ย (t-CO ₂ /year)		การลดการปล่อย CO ₂ (%)
		รถน้ำมัน	รถไฟฟ้า	รถน้ำมัน	รถไฟฟ้า	
2	160	0.272	0.111	15.885	6.461	-59.0
3	200	0.226	0.111	16.498	8.076	-50.9
4	180	0.227	0.111	14.914	7.268	-49.9
5	144	0.261	0.111	13.718	5.814	-57.2
8	180	0.238	0.111	15.637	7.268	-53.3
9	154	0.225	0.111	12.647	6.218	-49.0

ตารางที่ 9 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (ต่อ)

สายการ เดินรถ	ระยะการเดินทาง เฉลี่ย (km/veh/day)	อัตราการปล่อย CO ₂ เฉลี่ย (t-CO ₂ /km)		การปล่อย CO ₂ เฉลี่ย (t-CO ₂ /year)		การลดการปล่อย CO ₂ (%)
		รถน้ำมัน	รถไฟฟ้า	รถน้ำมัน	รถไฟฟ้า	
10	160	0.247	0.111	14.425	6.461	-54.7
17	200	0.210	0.111	15.330	8.076	-48.1
20	216	0.247	0.111	19.473	8.722	-55.6
21	168	0.225	0.111	13.797	6.784	-51.2
22	130	0.231	0.111	10.961	5.249	-52.1
23	120	0.270	0.111	11.826	4.845	-57.5
รวมทุกสาย	180	0.235	0.111	15.440	7.268	-52.6
การปล่อย CO ₂ ทั้งระบบ (t-CO ₂ /year)				2,111.5	1,001.7	-52.6

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลกระทบต่ออัตราการใช้พลังงาน ดัชนีประสิทธิภาพการใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และสร้างแบบจำลองเพื่อคำนวณอัตราการใช้พลังงาน, ดัชนีประสิทธิภาพการใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ รวมทั้งเสนอการใช้พลังงานไฟฟ้าแทนน้ำมัน ผ่านกรณีศึกษา รถโดยสารประจำทางเขตเมืองขอนแก่น การศึกษานี้ได้สำรวจข้อมูลการให้บริการและอัตราการใช้น้ำมันของ ระบบรถโดยสารประจำทางในเขตเมืองขอนแก่น จำนวน 12 สาย ด้วยแบบสอบถาม

ผลการศึกษาพบว่า ระบบรถโดยสารประจำทางในเขตเมืองขอนแก่น ซึ่งปัจจุบันใช้น้ำมันดีเซล มีอัตราการใช้พลังงานเฉลี่ย เท่ากับ 3.187 MJ/km และใช้พลังงานรวมทั้งระบบ เท่ากับ 28,489,767 MJ/year มีค่าดัชนีประสิทธิภาพการใช้พลังงานเฉลี่ย เท่ากับ 0.376 MJ/P-km และมีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เฉลี่ย เท่ากับ 0.235 t- CO₂/km และมีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวมทั้งระบบ เท่ากับ 2,112 t-CO₂/ปี ในการศึกษา นี้เสนอให้รถไฟฟ้าทดแทนรถที่ใช้ในปัจจุบัน ซึ่งใช้น้ำมันดีเซล พบว่า สามารถลดการใช้พลังงานทั้งระบบได้ ร้อยละ 69, ค่าดัชนีประสิทธิภาพการใช้พลังงานลดลง (เพิ่มประสิทธิภาพในการใช้พลังงาน) ร้อยละ 70 และการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งระบบลดลง ร้อยละ 53

ผลการสร้างแบบจำลองพบว่า ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออัตราการใช้พลังงานของรถโดยสารประจำทางในเขตเมืองขอนแก่น คือ อายุการใช้งานของรถ และความเร็วเฉลี่ยขณะวิ่งให้บริการ โดยเมื่อ รถมีอายุการใช้งานมากขึ้น อัตราการใช้พลังงานจะมากขึ้นตาม แต่เมื่อความเร็วเฉลี่ยขณะวิ่งให้บริการสูงขึ้น อัตราการใช้พลังงานจะลดลง ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อดัชนีประสิทธิภาพการใช้พลังงานของรถโดยสารประจำทางในเขตเมืองขอนแก่น คือ จำนวนผู้โดยสารเฉลี่ย และอายุการใช้งานของรถ โดยเมื่อ รถมีจำนวนผู้โดยสารเฉลี่ยมากยิ่งขึ้นจะส่งผลให้ค่าดัชนีประสิทธิภาพการใช้พลังงานลดลง (ประสิทธิภาพการใช้พลังงานจะสูงขึ้น) แต่เมื่อรถมีอายุการใช้งานมากขึ้นจะส่งผลให้ค่าดัชนีประสิทธิภาพการใช้พลังงานเพิ่มขึ้น (ประสิทธิภาพการใช้พลังงานลดลง) ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของรถโดยสารประจำทางในเขตเมืองขอนแก่น คือ อายุการใช้งานของรถ และความเร็วเฉลี่ยขณะให้บริการ โดยเมื่อ รถมีอายุการใช้งานที่มากขึ้นจะส่งผลให้ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากขึ้นด้วย แต่เมื่อรถวิ่งให้บริการด้วยความเฉลี่ยที่สูงขึ้นจะส่งผลให้การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลง

ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาต่อในอนาคต ควรมีการศึกษาปัจจัยอื่น ๆ เพิ่มเติมที่คาดว่าจะมีอิทธิพลต่ออัตราการใช้พลังงาน, ดัชนีประสิทธิภาพการใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของรถโดยสารประจำทาง โดยพิจารณาติดตั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ บนตัวรถโดยสารประจำทาง ที่สามารถวัดและบันทึกข้อมูลต่าง ๆ ขณะรถวิ่งให้บริการอยู่ ได้ในระดับวินาที รวมทั้งควรมีการศึกษาความคุ้มค่าทางการเงินและเศรษฐศาสตร์เมื่อนำรถไฟฟ้ามาใช้แทนรถน้ำมันที่วิ่งให้บริการอยู่ในปัจจุบันด้วย

เอกสารอ้างอิง

1. Department of Alternative Energy Development and Efficiency. Energy Balance of Thailand. 2018(5).
2. Department of Land Transport, Transportation Statistics Group. Transportation statistics report for the year 2018.
3. Klungboonkrong P. Sustainable Urban Transportation Planning: Principle and Practice. Sustainable Infrastructure Research and Development Center Faculty of Engineering Khon Kaen University. 2018.
4. Ratanavaraha V., Jomnonkwao S. Trends in Thailand CO₂ emissions in the transportation sector and Policy Mitigation. Transp Policy. 2015;41:136–146.
5. Thailand National Metal and Materials Technology Center. Project report on data study and potential of energy conservation in the group of trucks and buses. 2020.
6. Vanichbuncha K., Vanichbuncha. Using SPSS for Window to analyze data. 2015. Samlada printing house; 2015. 531 p.
7. Satiennam T, Satiennam W, Gadsadayurat S, Aranyasen S, Srisa-ard K. Vehicle kilometers of travel and fuel consumption rate for estimating CO₂ emission of vehicles in Khon Kaen city. 2014:333–346.
8. Satiennam T, Mogi S, Hanaoka S, Nakamichi K. Estimation of CO₂ Emissions for Low Carbon Urban Freight Transport in Khon Kaen, Thailand. 2015;20.
9. Yu Q, Li T, Li H. Improving urban bus emission and fuel consumption modeling by incorporating passenger load factor for real world driving. Appl Energy. 2016;161:101–111.
10. Yu H, Li M, Li J, Liu Y, Lv H, Ma K. Real-road NO_x Emission and Fuel Consumption Characteristics of China IV Public Transit Buses. Energy Procedia. 2019;158:4623–4628.
11. Tong HY. Development of a driving cycle for a supercapacitor electric bus route in Hong Kong. Sustain Cities Soc. 2019;48:101588.
12. Al-Samari A. Study of emissions and fuel economy for parallel hybrid versus conventional vehicles on real world and standard driving cycles. Alex Eng J. 2017;56(4):721–726.
13. Lajunen A. Lifecycle costs and charging requirements of electric buses with different charging methods. J Clean Prod. 2018;172:56–67.
14. Lee D-Y, Elgowainy A, Vijayagopal R. Well-to-wheel environmental implications of fuel economy targets for hydrogen fuel cell electric buses in the United States. Energy Policy. 2019;128:565–83.
15. Ministry of Interior. Department of Provincial Administration [Internet]. 2020. Available at: <http://www.kkpao.go.th/E-PlanData/?mod=index&file=datapcat2-2>



16. Department of Land Transport, Transportation Statistics Group. Transportation statistics report for the year 2021.
17. International Energy Agency. Energy Efficiency Indicators: Fundamentals on Statistics [Internet]. OECD; 2014. Available at: https://www.oecd-ilibrary.org/energy/energy-efficiency-indicators_9789264215672-en
18. Department of Alternative Energy Development and Efficiency. Energy Balance of Thailand. 2015.
19. Ministry of Interior. Power Development Plan 2018-2037. 2020.
20. Office of Transport and Traffic Policy and Planning. Executive Summary Report. 2019.
21. SKYWELL Thailand. SHODAI – High Roof [Internet]. 2021. SHODAI – High Roof. Available at: <http://skywell.co.th/wp/line-up/shodai-high-roof/>