วัฏจักรการขับขี่บนถนนจริงของรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าและน้ำมันบนโครงข่ายถนนในเมืองที่การจราจรไม่ติดขัด

Real-world Driving Cycles of Electric and Gasoline Motorcycles on Uncongested City Road Network

ไตรลักษณ์ กุศลาอภิรมย์ (Triluck Kusalaphirom)* ธเนศ เสถียรนาม (Thaned Satiennam)[1]**

(Received: *February 27, 2023*; Revised: *June 2, 2023*; Accepted: *June 2, 2023*)

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างวัฏจักรการขับขี่บนโครงข่ายถนนจริงที่การจราจรไม่ติดขัดของรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าและรถจักรยานยนต์น้ำมัน และเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานและการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของรถจักรยานยนต์ทั้งสองประเภท อุปกรณ์ติดตั้งบนรถจักรยานยนต์ทดสอบถูกพัฒนาขึ้น เพื่อตรวจวัด ความเร็ว อัตราการสิ้นเปลืองพลังงาน และตำแหน่งของรถจักรยานยนต์รายวินาที การศึกษานี้คัดเลือกเส้นทางบนโครงการข่ายถนนภายในมหาวิทยาลัยขอนแก่นเพื่อวิ่งเก็บข้อมูลการขับขี่ในช่วงเวลาไม่เร่งด่วน และผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์ทั้งเพศชายและหญิง มาขับขี่รถจักรยานยนต์ทดสอบ ผลการศึกษาพบว่า วัฏจักรการขับขี่บนถนนจริงที่สร้างขึ้น รถจักรยานยนต์น้ำมันมีความเร็วขณะวิ่งเฉลี่ย ความเร่งเฉลี่ย และความหน่วงเฉลี่ย สูงกว่ารถจักรยานยนต์ไฟฟ้าทั้งวัฏจักรการขับขี่ รถจักรยานยนต์ไฟฟ้านั้นมีอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานและอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อกิโลเมตรและต่อวินาทีต่ำกว่ารถจักรยานยนต์น้ำมัน โดยเฉพาะช่วงขณะจอดหยุดนิ่งรถจักรยานยนต์ไฟฟ้ามีอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานและมีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อวินาทีต่ำกว่ารถจักรยานยนต์น้ำมันมาก

ABSTRACT

The objectives of this study were to develop real-world driving cycles of electric and gasoline motorcycles on uncongested road network and to compare their energy consumptions and CO_2 emissions. The onboard measurement equipment, installed on test motorcycles, was developed to measure their speed, energy consumption, and position every second. This study selected the route on road network in Khon Kaen University to collect the riding data during off-peak period, and also participants, including male and female riders, to ride the test motorcycle. Results revealed that the developed real-world driving cycle of gasoline motorcycle has an average running speed, average acceleration and average deceleration higher than those of electric motorcycle. As entire driving cycle, the electric motorbike consumed energy and emitted CO_2 per kilometer and per second lower than the gasoline motorcycle. Especially during idling, the electric motorbike consumed energy per second and emitted CO_2 obviously lower than the gasoline motorcycle.

คำสำคัญ: วัฏจักรการขับขี่บนถนนจริง รถจักรยานยนต์ไฟฟ้า การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

Keywords: Real-world driving cycle, Electric motorcycle, CO_2 Emissions

[1]*Corresponding author: sthaned@kku.ac.th*

**นักศึกษา หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น*

Student, Doctor of Engineering, Program in Civil Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University

***ศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น*

Professor, Civil Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University

บทนำ

ปัจจุบันก๊าซเรือนกระจกมีการปลดปล่อยที่เพิ่มส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศทั่วทั้งโลก จึงมีความจำอย่างเร่งด่วน ที่จะต้องการชะลอปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก อัตราการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกต้องถูกลดลงให้ได้ร้อยละ 50 ในปี 2050 เพื่อไม่ให้การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิสูงขึ้นเกิน 2 องศาเซลเซียส [1-2]

ภาคการขนส่งเป็นภาคหลักที่ปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เนื่องจากใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิลเป็นหลัก ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สู่ชั้นบรรยากาศ ถึงร้อยละ 22 ซึ่งรถยนต์ไฟฟ้า (Electric Vehicle, EV) เป็นทางเลือกหนึ่งที่จะช่วยลดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากภาคการขนส่งได้ งานวิจัยที่ผ่านมา พบว่า รถจักรยานยนต์ไฟฟ้าสามารถลดการปล่อย CO_2 เมื่อเปรียบเทียบกับรถจักรยานยนต์น้ำมัน เช่น การศึกษาในประเทศไทยลดลงร้อยละ 56 [3] และการศึกษาในประเทศอูกันดาลดลงได้ร้อยละ 36 [4]

รถยนต์ไฟฟ้า (Electric Vehicle, EV) เป็นยานพาหนะที่ใช้เครื่องยนต์ไฟฟ้าแทนการใช้เครื่องยนต์สันดาป ซึ่งแบ่งประเภทตามระบบส่งกำลัง ได้แก่ 1) รถยนต์ไฟฟ้าไฮบริด (Hybrid Vehicle, HEV) คือ การรวมกันของเครื่องยนต์สันดาปภายในและมอเตอร์ไฟฟ้าแต่ไม่สามารถชาร์จจากจากแหล่งไฟฟ้าภายนอกได้ 2) รถยนต์ไฟฟ้าไฮบริดแบบเสียบปลั๊ก (Plug-in Hybrid Electric Vehicle, PHEV) ซึ่งมีลักษณะคล้ายคลึงกับรถยนต์ไฮบริด แต่สามารถชาร์จไฟฟ้าใหม่ได้โดยใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าภายนอก และ 3) รถยนต์ไฟฟ้าแบบแบตเตอรี่ (Battery Electric Vehicle, BEV) ใช้เพียงมอเตอร์ไฟฟ้าเป็นตัวส่งกำลัง และสามารถชาร์จไฟฟ้าใหม่จากแหล่งจ่ายไฟฟ้าภายนอก อย่างไรก็ตาม ถึงแม้รถยนต์ไฟฟ้าไม่มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ขณะขับขี่ แต่กระบวนการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟภายนอก ที่นำมาชาร์จไฟฟ้าให้รถยนต์ไฟฟ้า มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ระหว่างกระบวนการผลิตเมื่อใช้พลังงานที่ไม่สะอาดมาผลิตไฟฟ้า เช่น ลิกไนต์ ถ่านหิน และน้ำมัน เป็นต้น

ปัจจุบัน ทั่วโลกผลิตพลังงานไฟฟ้าจาก 1) ถ่านหินซึ่งมีสัดส่วนที่มากที่สุดเป็นร้อยละ 36.7 2) ก๊าซธรรมชาติร้อยละ 23.6 3) พลังงานน้ำร้อยละ 15.7 4) พลังงานจากขยะร้อยละ 10.8 5) เชื้อเพลิงนิวเคลียร์ร้อยละ 10.7 และน้ำมันร้อยละ 2.8 ซึ่งจะพบว่า พลังงานไฟฟ้าส่วนใหญ่ถูกผลิตจากพลังงานคาร์บอนเป็นหลัก ซึ่งไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้และมีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ [5] สำหรับประเทศไทย การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยรายงานว่า ปี พ.ศ. 2565 พลังงานไฟฟ้าผลิตจาก ก๊าซธรรมชาติร้อยละ 53 นำเข้าจากต่างประเทศร้อยละ 17 พลังงานหมุนเวียนร้อยละ 10 ลิกไนต์ร้อยละ8 ถ่านหินร้อยละ 7 พลังงานน้ำร้อยละ 3 และน้ำมันร้อยละ 1 [6] กระบวนการผลิตไฟฟ้ามีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 0.435 kg·CO_2/kWh [6] อย่างไรก็ตาม การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานสะอาดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เช่น จากพลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม เป็นต้น ซึ่งไม่มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้แนวโน้มกระบวนการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทยมีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงอย่างต่อเนื่อง

ระหว่าง ปี 2016 – 2021 ที่ผ่านมา ความต้องการใช้รถยนต์ไฟฟ้าทั่วโลกมีจำนวนเพิ่มสูงขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศกำลังพัฒนาในทวีปเอเชีย มีการเติบโตเพิ่มขึ้นสองเท่าจากปี 2020 ถึงปี 2021 ถึงแม้ว่ามีการระบาดเชื้อไวรัสโควิด 19 ซึ่งสามารถส่งผลกระทบต่อการขนส่งและขาดแคลนชิ้นส่วนประกอบ [7] อย่างไรก็ตาม ความต้องการใช้รถไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นส่วนใหญ่ เป็นความต้องการใช้รถยนต์นั่งส่วนบุคคลไฟฟ้า แต่ความต้องการใช้รถจักรยานยนต์ไฟฟ้ายังมีจำนวนน้อยกว่า (จำนวนรถยนต์นั่งส่วนบุคคลไฟฟ้าต่อจำนวนรถยนต์นั่งส่วนบุคคลน้ำมันคิดเป็นร้อยละ 0.12 และ จำนวนรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าต่อจำนวนรถจักรยานยนต์น้ำมันคิดเป็นร้อยละ 0.07 [8]) ดังนั้น การศึกษาและวิจัยการพัฒนาและ

ใช้รถจักรยานยนต์ไฟฟ้าในทุกมิติ จึงมีความสำคัญในการสนับสนุนให้ผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์น้ำมันหันมาใช้รถจักรยานยนต์ไฟฟ้ามากขึ้น

นอกจาก การเปลี่ยนเทคโนโลยีของเครื่องยนต์รถจากเครื่องยนต์สันดาปมาเป็นมอเตอร์ไฟฟ้า การปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการขับขี่ยังสามารถลดการใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ วัฏจักรการขับขี่ที่ประหยัดพลังงาน (Eco-driving cycle) เป็นพฤติกรรมการขับขี่ที่ประหยัดเชื้อเพลิงซึ่งส่งผลให้การปล่อยก๊าซคาร์บอนได้ออกไซด์ลดลงได้ ผู้ขับขี่ที่มีพฤติกรรมการขับขี่แบบประหยัดพลังงานใช้น้ำมัน และปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์น้อยกว่าผู้ขับขี่ที่มีพฤติกรรมการขับขี่แบบไม่ประหยัดพลังงาน ถึงร้อยละ 39.3 และ 17.4 ตามลำดับ [9]

การศึกษาที่ผ่านมา [3] เปรียบเทียบวัฏจักรการขับขี่บนถนนจริง การใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าและน้ำมันบนโครงข่ายถนนที่การจราจรติดขัด ซึ่งพฤติกรรมการขับขี่ของผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์ถูกจำกัด และใช้ผู้ขับขี่เพียงหนึ่งคน ซึ่งไม่สามารถประเมินพฤติกรรมการขับขี่ที่หลากหลายที่อาจส่งผลต่อการใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของรถจักรยานยนต์ได้ ดังนั้น การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมการขับขี่ของผู้ขับขี่มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าและน้ำมัน โดยสร้างวัฏจักรการขับขี่บนโครงข่ายถนนจริงที่การจราจรไม่ติดขัดของรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าชนิดแบตเตอรี่และรถจักรยานยนต์น้ำมัน กำหนดให้กลุ่มผู้ขับขี่บนโครงข่ายถนนที่การจราจรไม่ติดขัด ซึ่งผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์สามารถแสดงพฤติกรรมการขับขี่ได้อย่างเป็นอิสระ และเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานและการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของรถจักรยานยนต์ทั้งสองประเภท บทความนี้ ประกอบด้วย 5 หัวข้อ คือ บทนำ ทบทวนวรรณกรรม วิธีการศึกษา ผลการศึกษาและการอภิปรายผล และสรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

ทบทวนวรรณกรรม

ผลการทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับงานวิจัยศึกษาการสิ้นเปลืองพลังงานและการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของยานพาหนะ พบว่า การศึกษาการใช้พลังงานไฟฟ้าของยานพาหนะที่ผ่านมา ส่วนใหญ่ศึกษาในรถยนต์ไฟฟ้า [10–12] แต่มีส่วนน้อยที่การศึกษาในรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า [3-4, 12] การศึกษาส่วนใหญ่ใช้แบบจำลองเพื่อประเมินการใช้พลังงานไฟฟ้า [4, 10–14] ซึ่งมีความแม่นยำน้อยกว่าการวัดค่าการใช้น้ำมันหรือไฟฟ้าบนถนนจริง [3, 9, 15] และการศึกษาวัดค่าการใช้น้ำมันหรือไฟฟ้าบนถนนจริงส่วนใหญ่ [3] ใช้ผู้ขับขี่เพียงคนเดียวขับรถทดสอบซึ่งไม่สามารถเป็นตัวแทนพฤติกรรมการขับขี่ของผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์ทั่วไปได้ และถึงแม้บางการศึกษาที่ผ่านมาใช้ผู้ขับขี่หลายคน [9, 15] แต่ขับขี่บนโครงข่ายถนนที่มีการจราจรติดขัดทำให้ผู้ขับขี่ไม่สามารถแสดงพฤติกรรมการขับขี่ได้อย่างอิสระ ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการสิ้นเปลืองพลังงานและการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของยานพาหนะน้ำมันและไฟฟ้า สามารถสรุปดังตารางที่ 1 ซึ่งประกอบด้วย เทคโนโลยีของเครื่องยนต์ [3-4] พฤติกรรมการขับขี่ [9, 15] น้ำหนักของรถไฟฟ้า [11-12] กายภาพของถนน [14] สภาพการจราจร [12] ระดับการเก็บประจุของแบตเตอรี่ของรถไฟฟ้า [10] และประสิทธิภาพของมอเตอร์ของรถไฟฟ้า [12]

ดังนั้น ควรมีการศึกษาการวัดการใช้พลังงานของรถจักรยานยนต์บนถนนจริงที่การจราจรไม่ติดขัด ซึ่งขับขี่ด้วยผู้ขับขี่หลายคน การศึกษาเพื่อสร้างวัฏจักรการขับขี่บนโครงข่ายถนนจริง ที่การจราจรไม่ติดขัดของรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าชนิดแบตเตอรี่และรถจักรยานยนต์น้ำมัน เพื่อเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานและการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของรถจักรยานยนต์ทั้งสองประเภท กำหนดผู้ขับขี่หลายคน ขับขี่บนโครงข่ายถนนที่การจราจรไม่

ติดขัดเพื่อให้สามารถแสดงพฤติกรรมการขับขี่ได้อย่างเป็นอิสระ และกำหนดสมมติฐานงานวิจัย ดังนี้ พฤติกรรมการขับขี่และเทคโนโลยีของเครื่องยนต์มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของรถจักรยานยนต์

ตารางที่ 1 ปัจจัยที่อิทธิพลต่อการสิ้นเปลืองพลังงานและการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของยานพาหนะ

ผู้แต่ง	ชนิดรถ/ประเภทถนน	วิธีการประเมิน	ปัจจัยที่มีอิทธิพล
Saxena et al., 2014 [12]	- รถจักรยานยนต์และรถยนต์ไฟฟ้า	- แบบจำลองระบบส่งกำลัง	สภาพการจราจร (ในเมืองความเร็วต่ำหรือนอกเมืองความเร็วสูง), น้ำหนักของรถไฟฟ้า และประสิทธิภาพของมอเตอร์
Seedam et al., 2017 [15]	- รถจักรยานยนต์น้ำมัน - ถนนการจราจรติดขัด	- ติดตั้งอุปกรณ์วัดบนรถ (On-road) ที่วิ่งบนถนนจริง (Real world) - ผู้ขับขี่หลายคน	พฤติกรรมการขับขี่
Farzaneh et al., 2018 [14]	- รถยนต์ไฟฟ้า	- แบบจำลองการใช้พลังงานของรถไฟฟ้า	มุมเอียงตามขวางของผิวถนนบริเวณโค้ง
Koossalapeerom et al., 2019 [3]	- รถจักรยานยนต์ไฟฟ้าและน้ำมัน - ถนนในเขตเมืองการจราจรติดขัด	- ติดตั้งอุปกรณ์วัดบนรถ (On-road) ที่วิ่งบนถนนจริง (Real world) - ผู้ขับขี่คนเดียว	เทคโนโลยีเครื่องยนต์ (น้ำมันหรือไฟฟ้า)
Liao et al., 2021 [10]	- รถยนต์ไฟฟ้า	- แบบจำลองระบบส่งกำลัง	ระดับการเก็บประจุหรือการชาร์จไฟของแบตเตอรี่
Hieu et al., 2021 [11]	- รถยนต์ไฟฟ้า	- แบบจำลองระบบส่งกำลัง	น้ำหนักของรถไฟฟ้า (น้ำหนักผู้ขับขี่มีผลน้อย หรือไม่มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ) มีผลต่ออัตราการใช้พลังงานไฟฟ้า
Vanatta et al., 2022 [4]	- รถจักรยานยนต์ไฟฟ้าและน้ำมัน	- รถจักรยานยนต์น้ำมัน: สมการคำนวณการปล่อยก๊าซ - รถจักรยานยนต์ไฟฟ้า: แบบจำลองระบบส่งกำลัง	เทคโนโลยีเครื่องยนต์ (น้ำมันหรือไฟฟ้า)
Kusalaphirom et al., 2022 [9]	- รถจักรยานยนต์น้ำมัน - ถนนการจราจรไม่ติดขัด	- ติดตั้งอุปกรณ์วัดบนรถ (On-road) ที่วิ่งบนถนนจริง (Real world) - ผู้ขับขี่หลายคน	พฤติกรรมการขับขี่

วิธีการศึกษา

งานวิจัยนี้เก็บข้อมูลการขับขี่บนถนนจริงของรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า และใช้ข้อมูลการขับขี่บนถนนจริงของรถจักรยานยนต์น้ำมันของงานวิจัยก่อนหน้า [9] ที่ได้สำรวจข้อมูลบนเส้นทางเดียวกัน และช่วงวันสำรวจข้อมูลใกล้เคียงกัน เพื่อนำมาวิเคราะห์ และเปรียบเทียบการสิ้นเปลืองพลังงานและการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

การพัฒนาอุปกรณ์เก็บข้อมูลติดตั้งบนรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า

อุปกรณ์ติดตั้งบนรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าถูกพัฒนาตามงานวิจัยที่ผ่านมา [3] มีการปรับปรุงเซนเซอร์วัดระยะทางให้มีความแม่นยำมากขึ้นจากงานวิจัยที่ผ่านมา อุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นสามารถตรวจวัด ความเร็ว, อัตราการใช้ไฟฟ้า และตำแหน่งของรถจักรยานยนต์รายวินาที อุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นมีส่วนประกอบดังนี้ 1) เครื่องบันทึกข้อมูล (Data logger) ทำหน้าที่บันทึกข้อมูลที่เก็บได้จากอุปกรณ์วัดต่างๆ รายวินาที ติดตั้งไว้ใต้เบาะที่นั่งของผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์ 2) เซนเซอร์วัดระยะทาง

(Hall effect sensor) ทำหน้าที่เพื่อวัดระยะทาง และนำมาคำนวณร่วมกับเวลาเพื่อหาความเร็วรายวินาที ติดตั้งที่ล้อหน้าของรถจักรยานยนต์ 3) เซนเซอร์วัดการใช้พลังงาน (Energy consumption sensor) ทำหน้าที่วัดการใช้ไฟฟ้าของรถจักรยานยนต์ ติดตั้งไว้บริเวณด้านในของตัวรถจักรยานยนต์ ใช้เซนเซอร์ (electric current sensors) วัดกระแสไฟฟ้าในหน่วยแอมแปร์ และเซนเซอร์วัดความต่างศักย์ ในหน่วยโวลต์ (เพื่อนำมาคำนวณหา กำลังไฟฟ้า ในหน่วยวัตต์) และ 4) อุปกรณ์ GPS ทำหน้าที่วัดพิกัดหรือตำแหน่งรถจักรยานยนต์ ติดตั้งบริเวณด้านท้ายของรถจักรยานยนต์ความเที่ยงตรงของเซนเซอร์วัดระยะทางของอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นถูกทดสอบโดยเปรียบเทียบระยะทางที่วัดได้ด้วยอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นกับระยะทางอ้างอิงที่ถูกวัดด้วยสายวัดระยะทาง (ที่มีความละเอียด 0.05 เมตร ซึ่งมีความละเอียดมากกว่าเซนเซอร์วัดระยะทาง) ทำการติดตั้งอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นบนรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า และวิ่งวัดระยะทางบนถนนจริง ซึ่งวัดระยะทางอ้างอิงไว้ 1,000 เมตร จำนวนทั้งหมด 5 ครั้ง และคำนวณหาค่าเฉลี่ยความความเคลื่อนระหว่างระยะทางอ้างอิง และระยะทางที่วัดได้ ผลการทดสอบความเที่ยงตรง พบว่า อุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นที่ติดตั้งบนรถทดสอบสามารถวัดระยะทางมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า 0.01% ซึ่งถือว่าสามารถวัดระยะทางได้อย่างแม่นยำ

การสำรวจข้อมูลบนถนนจริง

โครงข่ายถนนในมหาวิทยาลัยขอนแก่นถูกกำหนดเป็นพื้นที่ศึกษา ให้สอดกับการศึกษาที่ผ่านมาของรถจักรยานยนต์น้ำมัน [9] เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบการสิ้นเปลืองน้ำมันและการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของรถทั้ง 2 ประเภทได้ เส้นทางประกอบด้วยช่วงถนนมีระยะทางยาวและผ่านทางแยกสัญญาณไฟจราจรน้อยที่สุด และกำหนดให้วิ่งสำรวจข้อมูลช่วงเวลาไม่เร่งด่วน เนื่องจากการจราจรไม่ติดขัด เพื่อให้ผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์สามารถขับขี่รถจักรยานยนต์ทดสอบด้วยความเร็วที่การไหลอิสระ (free-flow speed) เพื่อให้ผู้ขับขี่สามารถแสดงพฤติกรรมการใช้ความเร็วได้ตามความต้องการมากที่สุด ผู้วิจัยพิจารณาเลือกรุ่นของรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า ที่มีขายในท้องตลาดทั่วไป และเป็นที่นิยมใช้เป็นรถจักรยานยนต์ทดสอบ และติดตั้งอุปกรณ์เก็บข้อมูลที่พัฒนาขึ้นบนรถจักรยานยนต์ ยี่ห้อ Strom รุ่น Panther PNT-300L (ปี 2020) มอเตอร์ขนาด 3,000 W ความเร็วสูงสุด 95 km/h น้ำหนักรถ 90 กิโลกรัม ส่วนรถจักรยานยนต์น้ำมัน เป็นยี่ห้อ Honda รุ่น Scoopy i (ปี 2010) เครื่องยนต์ขนาด 108 cc ความเร็วสูงสุด 120 km/h น้ำหนักรถ 98.8 กิโลกรัม [9] ผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์ทั้งเพศชายและหญิงถูกคัดเลือกเพื่อขับขี่รถจักรยานยนต์ไฟฟ้าจำนวน 110 คน ซึ่งทุกคนต้องมีใบขับขี่ (รถจักรยานยนต์น้ำมัน จำนวน 78 คน [9]) บนเส้นทางของโครงข่ายถนนที่เป็นพื้นที่ศึกษา ช่วงเวลาไม่เร่งด่วนที่การจราจรไม่ติดขัด เพื่อให้ผู้ขับขี่สามารถใช้ความเร็วได้อย่างอิสระ (free-flow speed) รอบที่ 1 จะให้ผู้ขับขี่ทดลองขับรถจักรยานยนต์ทดสอบตามเส้นทางที่กำหนดเพื่อให้คุ้นชินกับรถทดสอบและเส้นทาง และรอบที่ 2 จึงทำการเก็บข้อมูลการขับขี่จริง

การสร้างวัฏจักรการขับขี่บนถนนจริง

ผู้วิจัยนำข้อมูลการขับขี่บนถนนจริงที่สำรวจได้ของรถจักรยานยนต์ทั้ง 2 ประเภท มาสร้างวัฏจักรการขับขี่บนถนนจริง ตามวิธีการสร้างวัฏจักรการขับขี่ของงานวิจัยที่ผ่านมา [3,16] กำหนดพารามิเตอร์เป้าหมาย จำนวน 9 พารามิเตอร์ เพื่อใช้สร้างวัฏจักรการขับขี่บนถนนจริง แสดงดังตารางที่ 2 ซึ่งค่าพารามิเตอร์ของวัฏจักรการขับขี่บนถนนจริงที่สร้างขึ้นจะต้องมีค่าคลาดเคลื่อนไม่เกินร้อยละ 5 เมื่อเปรียบเทียบกับค่าพารามิเตอร์เป้าหมาย

ตารางที่ 2 พารามิเตอร์เป้าหมายที่ใช้สร้างวัฏจักรการขับขี่บนถนนจริง

ตัวแปร	สัญลักษณ์	คำอธิบาย
ความเร็วโดยรวมเฉลี่ย (กม./ชม.)	Vavg	ความเร็วเฉลี่ยรวมเวลาทั้งหมด
ความเร็วขณะวิ่งเฉลี่ย (กม./ชม.)	V1avg	ความเร็วเฉลี่ยไม่รวมเวลาที่รถหยุด (ความเร็วเป็นศูนย์)
ความเร่งเฉลี่ย (ม./วินาที^{2})	Acc_{avg}	อัตราการเพิ่มขึ้นของความเร็วที่มากกว่า 0.27m/s^2 [16]
ความหน่วงเฉลี่ย (ม./วินาที^{2})	Dec_{avg}	อัตราการลดลงของความเร็วที่น้อยกว่า -0.27 m/s^2 [16]
ช่วงเร่งความเร็ว (ร้อยละ)	%Acc	สัดส่วนของช่วงเวลาที่รถกำลังเร่ง
ช่วงหน่วงความเร็ว (ร้อยละ)	%Dec	สัดส่วนของช่วงเวลาที่รถกำลังหน่วง
ช่วงจอดหยุดนิ่ง (ร้อยละ)	%Idle	สัดส่วนของช่วงเวลาที่รถจอดหยุดนิ่ง (ความเร็วเป็นศูนย์)
ช่วงความเร็วคงที่ (ร้อยละ)	%Cruise	สัดส่วนของช่วงเวลาที่รถมีความเร็วคงที่ (ค่าสัมบูรณ์ของอัตราการเปลี่ยนแปลงความเร็ว น้อยกว่า 0.27 m/s^2)
Positive Kinetic Energy (ม./วินาที^{2})	PKE	ค่าผลรวมของผลต่างระหว่างความเร็วสุดท้าย (v_{i-1}) ยกกำลังสองและความเร็วเริ่มต้น (v_i) ยกกำลังสองของอัตราเร่งที่เป็นบวก หารด้วยระยะทาง (L) $\frac{1}{L}\sum(v_i^2 - v_{i-1}^2)$ เมื่อ $v_i^2 > v_{i-1}^2$

การคำนวณการใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ข้อมูลวัฏจักรการขับขี่บนถนนจริงที่พัฒนาขึ้นถูกมาใช้คำนวณการใช้น้ำมัน (ลิตร, l) ของรถจักรยานยนต์น้ำมันและการใช้กำลังไฟฟ้า (วัตต์, Watt) ของรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า เป็นการใช้พลังงาน (กิโลวัตต์-ชั่วโมง, kWh) เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบการใช้พลังงานได้ การคำนวณการใช้พลังงานของรถจักรยานยนต์น้ำมัน กำหนดน้ำมัน 1 ลิตร ให้พลังงานเท่ากับ 9.4 กิโลวัตต์-ชั่วโมง (ค่าเฉลี่ยจากหลายแห่ง [17-18]) และคำนวณการใช้พลังงาน (กิโลวัตต์-ชั่วโมง, kWh) ของรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า โดยคูณกำลังไฟฟ้า (วัตต์, Watt) ด้วยช่วงเวลา (วินาที) ข้อมูลวัฏจักรการขับขี่บนถนนจริงถูกใช้คำนวณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของรถจักรยานยนต์น้ำมัน โดยประยุกต์ใช้สมการที่พัฒนาจากงานวิจัยก่อนหน้า [19] ส่วนรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าซึ่งไม่มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ระหว่างการขับขี่บนถนน แต่กระบวนการผลิตพลังงานไฟฟ้าของประเทศไทยมีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยรายงานว่ากระบวนการผลิตพลังงานไฟฟ้ามีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงอย่างต่อเนื่อง ในปี พ.ศ. 2565 มีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 0.435 kg•CO_2/kWh [6] ดังนั้น จึงใช้ค่านี้ในการคำนวณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าจากกระบวนการผลิตไฟฟ้าของรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า

ผลการศึกษาและการอภิปรายผลการศึกษา

ผลจากการสำรวจข้อมูลการขับขี่บนถนนจริง

ผลการวิเคราะห์สถิติเชิงพรรณนาของข้อมูลการขับขี่บนถนนจริงของรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าของผู้ขับขี่จำนวน 110 คน ประกอบด้วย ผู้ขับขี่เพศชาย จำนวน 70 คน (ร้อยละ 63.6) และผู้ขับขี่เพศหญิง จำนวน 40 คน (ร้อยละ 36.4) แสดงดังตารางที่ 3 พบว่า ค่าเฉลี่ยของความเร็วเฉลี่ยและในขณะวิ่งเท่ากับ 27.76 กม./ชม. และ 31.83 กม./ชม. ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยของความเร่งเฉลี่ยและความหน่วงเฉลี่ย เท่ากับ 0.77 และ -0.79 ม./วินาที^{2} ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยของช่วงเร่งความเร็ว ช่วงหน่วงความเร็ว ช่วงความเร็วคงที่ และช่วงจอดหยุดนิ่ง เท่ากับร้อยละ 28.27, 27.21, 31.81 และ 12.73 ตามลำดับ ค่าเฉลี่ย PKE (Positive Kinetic Energy) เท่ากับ 0.99 ม./วินาที^{2} ค่าเฉลี่ยพลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 59.33

Wh/km และค่าการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 26.46 g·CO_2/กม. หรือ 0.20 g·CO_2/วินาที ส่วนผลการวิเคราะห์สถิติเชิงพรรณนาของข้อมูลการขับขี่บนถนนจริงของรถจักรยานยนต์น้ำมัน แสดงในการศึกษาที่ผ่านมา [9]

ผลการทดสอบการแจกแจงของข้อมูลการขับขี่บนถนนจริงทั้ง 2 ชุด (รถจักรยานยนต์ไฟฟ้าและน้ำมัน) ด้วยการใช้สถิติทดสอบ Kolmogorov-Smirnov Test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 พบว่า ข้อมูลความเร็วขณะวิ่งเฉลี่ยของข้อมูลทั้ง 2 ชุด มีการแจกแจงแบบปกติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งอาจกล่าวได้ว่า จำนวนผู้ขับขี่รถทดสอบเพียงพอสามารถเป็นตัวแทนพฤติกรรมการใช้ความเร็วของประชากรผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์ได้

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์สถิติเชิงพรรณนาของข้อมูลการขับขี่บนถนนจริงของรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า

ตัวแปร	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
มวลคนขับ (กก.)	80.00	63.40	72.10	4.34
ความเร็วโดยรวมเฉลี่ย (กม./ชม.)	34.47	22.16	27.76	2.59
ความเร็วขณะวิ่งเฉลี่ย (กม./ชม.)	38.28	26.66	31.83	2.07
ความเร่งเฉลี่ย (ม./วินาที^{2})	0.94	0.61	0.77	0.07
ความหน่วงเฉลี่ย (ม./วินาที^{2})	-1.02	-0.62	-0.79	0.07
ช่วงเร่งความเร็ว (ร้อยละ)	34.29	21.5	28.27	2.93
ช่วงหน่วงความเร็ว (ร้อยละ)	35.09	19.8	27.21	3.26
ช่วงความเร็วคงที่ (ร้อยละ)	49.00	22.55	31.81	5.68
ช่วงจอดหยุดนิ่ง (ร้อยละ)	29.70	0.96	12.73	6.70
PKE (ม./วินาที^{2})	1.32	0.65	0.99	0.13
พลังงานไฟฟ้า (Wh/km)	116.37	32.81	59.33	15.64
การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (g·CO^2/กม.)	51.90	14.63	26.46	6.98
การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (g·CO^2/วินาที)	0.39	0.10	0.20	0.05

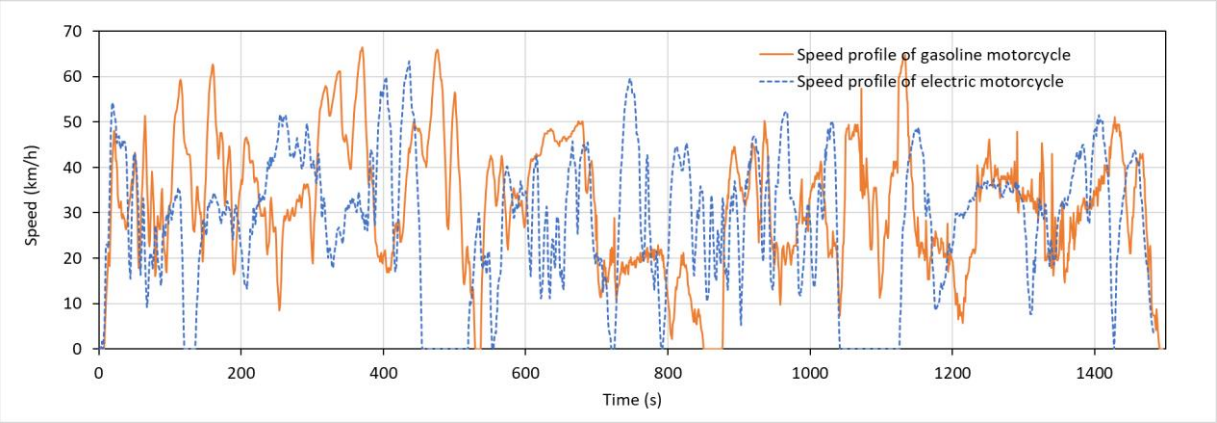
ผลการสร้างวัฏจักรการขับขี่บนถนนจริง

ผลการสำรวจข้อมูลการขับขี่รถจักรยานยนต์ไฟฟ้าและรถจักรยานยนต์น้ำมันบนถนนจริง ถูกนำสร้างวัฏจักรการขับขี่บนถนนจริงรถจักรยานยนต์น้ำมันและรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า ค่าพารามิเตอร์ของวัฏจักรการขับขี่บนถนนจริงที่สร้างขึ้นของรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าและรถจักรยานยนต์น้ำมัน แสดงดังตารางที่ 4 ซึ่งพบว่า ค่าเฉลี่ยพารามิเตอร์ของวัฏจักรการขับขี่บนถนนจริงที่สร้างขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับค่าพารามิเตอร์เป้าหมาย มีค่าคลาดเคลื่อน ร้อยละ 2.7 และ 1.9 ซึ่งผ่านเกณฑ์ที่กำหนด (ไม่เกินร้อยละ 5) โดยความเร็วขณะวิ่งเฉลี่ย ความเร่งเฉลี่ย และความหน่วงเฉลี่ยของรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าน้อยกว่ารถจักรยานยนต์น้ำมัน ร้อยละ 11.5, 4.8 และ 8.0 ตามลำดับ เนื่องจากรถจักรยานยนต์น้ำมันมีเครื่องยนต์ที่ผู้ขับขี่สามารถทำความเร็วสูงสุดได้มากกว่ารถจักรยานยนต์ไฟฟ้า แต่ผลเหล่านี้แตกต่างจากงานวิจัยที่ผ่านมา [3] ที่ความเร็วขณะวิ่งเฉลี่ยของรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าและรถจักรยานยนต์น้ำมันมีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากขับขี่บนโครงข่ายถนนที่มีการจราจรติดขัดทำให้ผู้ขับขี่ไม่สามารถทำความเร็วสูงได้ วัฏจักรการขับขี่บนถนนจริงของรถจักรยานยนต์น้ำมันและรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าที่ถูกสร้างขึ้น แสดงดังภาพที่ 1 วัฏจักรการขับขี่บนถนนจริงของรถจักรยานยนต์น้ำมันและรถจักรยานยนต์ไฟฟ้ามีความยาวรอบวัฏจักร (length) เท่ากับ 1,496 และ 1,482 วินาที ซึ่งใกล้เคียงกัน โดยค่าความเร็วสูงสุดของรถจักรยานยนต์น้ำมัน (V_{max}=66.43 กม./ชม.) มากกว่าของรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า (V_{max}=63.39 กม./ชม.) ค่าความเร่งสูงสุดของรถจักรยานยนต์น้ำมัน (Acc_{max}=6.98 ม./วินาที^{2}) มากกว่าของรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า (Acc_{max}=2.48

ม./วินาที^{2}) และค่าความหน่วงสูงสุดของรถจักรยานยนต์น้ำมัน (Dec_{max}=-6.25 ม./วินาที^{2}) มากกว่าของรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า (Dec_{max}=-2.78 ม./วินาที^{2})

ตารางที่ 4 ค่าพารามิเตอร์ของวัฏจักรการขับขี่บนถนนจริงของรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าและรถจักรยานยนต์น้ำมัน

พารามิเตอร์	รถจักรยานยนต์น้ำมัน	รถจักรยานยนต์ไฟฟ้า	ผลต่าง (ร้อยละ)
ความเร็วขณะวิ่งเฉลี่ย (กม./ชม.)	31.08	27.51	-3.57 (-11.50)
ความเร็วโดยรวมเฉลี่ย (กม./ชม.)	32.63	31.36	-1.27 (-3.89)
ความเร่งเฉลี่ย (ม./วินาที^{2})	0.84	0.80	-0.04 (-4.76)
ความหน่วงเฉลี่ย (ม./วินาที^{2})	-0.88	-0.81	-0.07 (-7.95)
ช่วงเร่งความเร็ว (ร้อยละ)	28.36	28.14	-0.22 (-0.78)
ช่วงหน่วงความเร็ว (ร้อยละ)	27.43	27.53	0.10 (0.36)
ช่วงความเร็วคงที่ (ร้อยละ)	39.47	32.05	-7.42 (-18.80)
ช่วงจอดหยุดนิ่ง (ร้อยละ)	4.74	11.94	7.20 (151.90)



Gasoline: V_{max}=66.43 km/h, Acc_{max}=6.98 m/s^2, Dec_{max}=-6.25 m/s^2, length=1,496 s, distance=13.12 km

Electric: V_{max}=63.39 km/h, Acc_{max}=2.48 m/s^2, Dec_{max}=-2.78 m/s^2, length=1,482 s, distance=11.33 km

ภาพที่ 1 กราฟเปรียบเทียบวัฏจักรการขับขี่ของรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าและรถจักรยานยนต์น้ำมัน

ผลการคำนวณการใช้พลังงาน

ผู้วิจัยนำข้อมูลของวัฏจักรการขับขี่บนถนนจริง มาคำนวณการใช้น้ำมันของรถจักรยานยนต์น้ำมันและการใช้กำลังไฟฟ้าของรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า เป็นการใช้พลังงาน (วัตต์-ชั่วโมง) เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบการใช้พลังงานได้ ซึ่งรถจักรยานยนต์ไฟฟ้านั้นจะมีการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อวินาทีในหน่วยวัตต์ แต่จักรยานยนต์น้ำมันจะใช้พลังงานในการขับขี่ในหน่วยมิลลิลิตร ซึ่งสามารถคำนวณเป็นหน่วยวัตต์ได้ (พลังงานน้ำมัน 1 ลิตร ให้พลังงาน 9.4 กิโลวัตต์-ชั่วโมง) ผลการคำนวณอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานระหว่างรถจักรยานยนต์น้ำมันและรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าแสดงดังตารางที่ 5 ซึ่งพบว่าทั้งวัฏจักรการขับขี่ รถจักรยานยนต์น้ำมันใช้พลังงาน 242.02 Wh/km ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับการใช้พลังงานของรถจักรยานยนต์น้ำมัน (228.4 Wh/km) ของงานวิจัยที่ผ่านมา [3] ซึ่งใช้รถคันเดียวกันในการวิ่งทดสอบ แต่วิ่งบนโครงข่ายถนนที่มีลักษณะการจราจรแตกต่างกัน และรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าใช้พลังงาน 42.79 Wh/km ซึ่งมีค่ามากกว่าการใช้พลังงานของรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า (28 Wh/km) ของงานวิจัยที่ผ่านมา [3] ที่ใช้รถจักรยานยนต์ไฟฟ้าที่มีมอเตอร์ขนาด

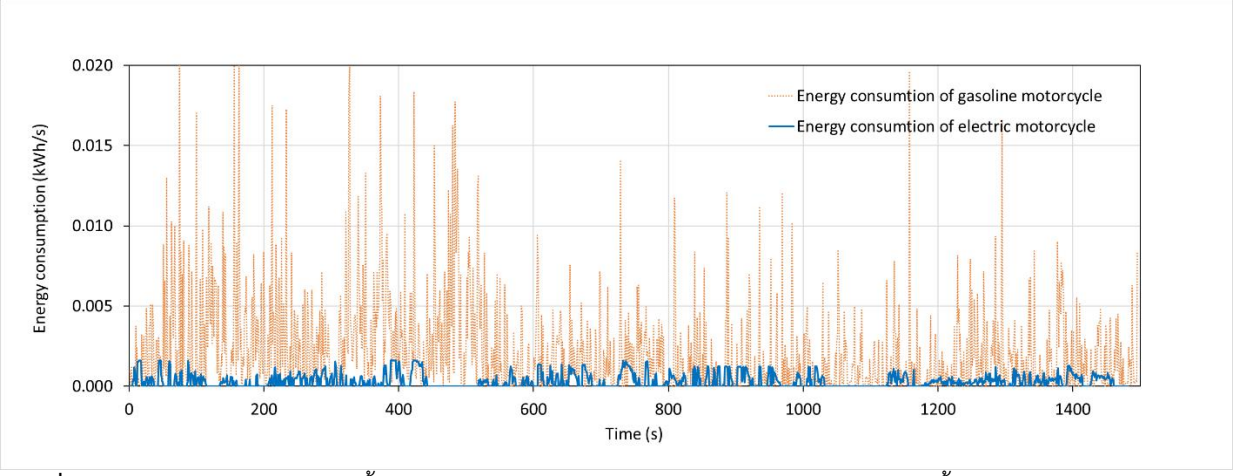
เล็กกว่า (1,000 W) ในการวิ่งทดสอบ และวิ่งบนโครงข่ายถนนที่มีลักษณะการจราจรแตกต่างกัน รวมทั้งมีค่ามากกว่าการใช้พลังงานของสกู๊ตเตอร์ไฟฟ้า (33 Wh/km) ขับขี่ในเมืองที่ประเทศอินเดีย [12]

เมื่อเปรียบเทียบการใช้พลังงานของรถจักรยานยนต์ทั้ง 2 ประเภท พบว่า รถจักรยานยนต์ไฟฟ้าใช้พลังงานต่อระยะทางวิ่ง 1 กิโลเมตร น้อยกว่ารถจักรยานยนต์ ถึงร้อยละ 82.32 หรือ รถจักรยานยนต์น้ำมันใช้พลังงานมากกว่ารถจักรยานยนต์ไฟฟ้าถึง 5.66 เท่า สาเหตุเนื่องจาก รถจักรยานยนต์ไฟฟ้าในช่วงชะลอความเร็ว จะใช้พลังงานน้อยกว่าอย่างชัดเจน และช่วงจอดหยุดนิ่งที่ทางแยกสัญญาณไฟจราจรไม่มีการใช้ไฟฟ้าในการขับเคลื่อนเลย ซึ่งแตกต่างจากรถจักรยานยนต์น้ำมัน ที่ยังมีการเผาพลาญน้ำมันอยู่ขณะชะลอความเร็วและจอดหยุดนิ่ง เนื่องจากเครื่องยนต์ยังทำงานอยู่ กราฟแสดงการเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานของรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าและจักยานยนต์น้ำมัน ตามระดับความเร็ว (speed profile) แสดงดังภาพที่ 2

ตารางที่ 5 อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานระหว่างรถจักรยานยนต์น้ำมันและรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า

อัตราการสิ้นเปลืองพลังงาน	รถจักรยานยนต์น้ำมัน	รถจักรยานยนต์ไฟฟ้า	ผลต่าง	ร้อยละ	อัตราส่วน
ทั้งวัฏจักรการขับขี่ (Wh/km)	242.02	42.79	-199.23	-82.32	5.66
ขณะชะลอความเร็ว (Wh/s)	0.74	0.10	-0.64	-86.49	7.40
ขณะจอดหยุดนิ่ง (Wh/s)	0.91	0.000	-0.91	-100.00	-

หมายเหตุ *อัตราส่วน คือ ค่าของรถจักรยานยนต์น้ำมันหารด้วยค่าของรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า



ภาพที่ 2 กราฟเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานของรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าและจักยานยนต์น้ำมัน

ผู้วิจัยคำนวณเปรียบเทียบเป็นค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงต่อระยะทาง พบว่า รถจักรยานยนต์มีค่าใช้จ่าย 0.89 บาทต่อกิโลเมตร และรถจักรยานยนต์ไฟฟ้ามีค่าใช้จ่าย 0.20 บาทต่อกิโลเมตร ซึ่งรถจักรยานยนต์ไฟฟ้ามีค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงต่อระยะทางถูกกว่าร้อยละ 77.53 หรือ 4.45 เท่า (เมื่อกำหนดค่าไฟฟ้าเท่ากับ 4.72 บาท/kWh [20] และค่าน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91 เท่ากับ 34.48 บาท/ลิตร [21])

ผลการคำนวณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ผู้วิจัยนำข้อมูลของวัฏจักรการขับขี่บนถนนจริง มาคำนวณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของรถจักรยานยนต์น้ำมันและรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า ผลการคำนวณอัตราปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของรถทั้ง 2 ประเภท แสดงดังตารางที่ 6 ซึ่งพบว่า ทั้งวัฏจักรการขับขี่ รถจักรยานยนต์น้ำมันปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 24.20 g·CO_2/km

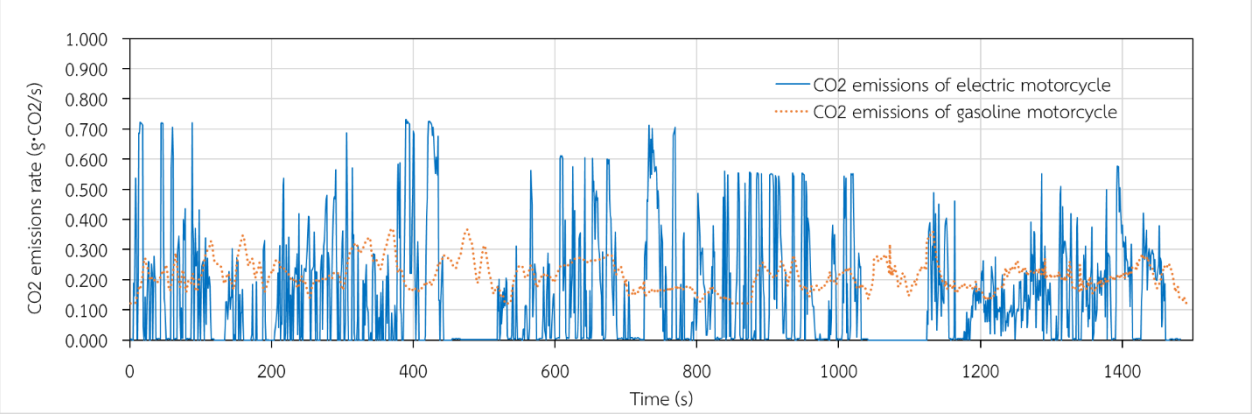
และ 0.21 g·CO_2/s ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับ การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของรถจักรยานยนต์น้ำมัน (31.81 g·CO_2/km และ 0.199 g·CO_2/s) ของงานวิจัยที่ผ่านมา [3] ที่ใช้รถคันเดียวกันในการวิ่งทดสอบ แต่วิ่งบนโครงข่ายถนนที่มีลักษณะการจราจรแตกต่างกัน และรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 19.04 g·CO_2/km และ 0.15 g·CO_2/s ซึ่งมีค่ามากกว่ากับ การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า (14.17 g·CO_2/km และ 0.09 g·CO_2/s) ของงานวิจัยที่ผ่านมา [3] ที่ใช้รถจักรยานยนต์ไฟฟ้าที่มีมอเตอร์ขนาดเล็กกว่า (1,000 W) ในการวิ่งทดสอบ และวิ่งบนโครงข่ายถนนที่มีลักษณะการจราจรแตกต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งวัฏจักรการขับขี่ของรถจักรยานยนต์ทั้ง 2 ประเภท พบว่า รถจักรยานยนต์ไฟฟ้ามีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (เทียบเท่าจากกระบวนการผลิตไฟฟ้า) ซึ่งมีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อกม. และต่อวินาที น้อยกว่ารถจักรยานยนต์น้ำมันร้อยละ 21.32 และ 28.57 ตามลำดับ หรือ รถจักรยานยนต์น้ำมันมีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่ารถจักรยานยนต์ไฟฟ้าถึง 1.27 และ 1.40 เท่า ตามลำดับ

กราฟแสดงการเปรียบเทียบอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าและจักรยานยนต์น้ำมันตามระดับความเร็ว (speed profile) แสดงดังภาพที่ 3 จากกราฟจะพบว่า ที่ในขณะที่รถจักยานยนต์ไฟฟ้าชะลอความเร็วและขณะจอดหยุดนิ่งที่แยกสัญญาณไฟจราจร จะการใช้ไฟฟ้าที่น้อยมากจนถึงไม่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าเลย ซึ่งส่งผลให้มีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำมากไปด้วย ซึ่งแตกต่างจากรถจักรยานยนต์น้ำมันที่เครื่องยนต์สันดาปจำเป็นต้องเผาพลาญน้ำมันอยู่ตลอดเวลา

ตารางที่ 6 อัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ระหว่างรถจักรยานยนต์น้ำมันและรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า

การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	รถจักรยานยนต์น้ำมัน	รถจักรยานยนต์ไฟฟ้า (เทียบเท่า)	ผลต่าง	ร้อยละ	อัตราส่วน*
ทั้งวัฏจักรการขับขี่ (g·CO_2/km)	24.20	19.04	-5.16	-21.32	1.27
ทั้งวัฏจักรการขับขี่ (g·CO_2/s)	0.21	0.15	-0.06	-28.57	1.40
ขณะชะลอความเร็ว (g·CO2/s)	0.21	0.04	-0.17	-80.95	5.25
ขณะจอดหยุดนิ่ง (g·CO_2/s)	0.12	0.00	-0.12	-100.00	-

หมายเหตุ *อัตราส่วน คือ ค่าของรถจักรยานยนต์น้ำมันหารด้วยค่าของรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า



ภาพที่ 3 กราฟเปรียบเทียบอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าและจักยานยนต์น้ำมัน

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างวัฏจักรการขับขี่บนโครงข่ายถนนจริงที่การจราจรไม่ติดขัดของรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าและรถจักรยานยนต์น้ำมัน เพื่อใช้เปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานและการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของรถจักรยานยนต์ทั้งสองประเภท ผู้วิจัยได้พัฒนาอุปกรณ์ติดตั้งบนรถจักรยานยนต์ทดสอบเพื่อตรวจวัด ความเร็ว อัตราการสิ้นเปลืองพลังงาน และตำแหน่งของรถจักรยานยนต์รายวินาที คัดเลือกเส้นทางบนโครงการข่ายถนนภายในมหาวิทยาลัยขอนแก่นเพื่อวิ่งเก็บข้อมูลการขับขี่ในช่วงเวลาไม่เร่งด่วน และคัดเลือกผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์ทั้งเพศชายและหญิง มาขับขี่รถจักรยานยนต์ทดสอบ

ผลการศึกษา พบว่า วัฏจักรการขับขี่บนถนนจริงที่สร้างขึ้น รถจักรยานยนต์น้ำมันมี ความเร็วขณะวิ่งเฉลี่ย ความเร่งเฉลี่ยและความหน่วงเฉลี่ย สูงกว่ารถจักรยานยนต์ไฟฟ้า ร้อยละ 11.50, 4.76 และ 7.95 ตามลำดับ ทั้งวัฏจักรการขับขี่ รถจักรยานยนต์ไฟฟ้านั้นมีอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานต่อกิโลเมตร และต่อวินาที ต่ำกว่ารถจักรยานยนต์น้ำมัน ร้อยละ 82.32 และ 86.49 ตามลำดับ และมีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อกิโลเมตร และต่อวินาที ต่ำกว่ารถจักรยานยนต์น้ำมัน ร้อยละ 21.32 และ 28.57 ตามลำดับ ช่วงขณะชะลอความเร็ว รถจักรยานยนต์ไฟฟ้ามีอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานต่อวินาที ต่ำกว่ารถจักรยานยนต์น้ำมัน ถึงร้อยละ 86.49 และมีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อวินาที ต่ำกว่ารถจักรยานยนต์น้ำมัน ถึงร้อยละ 80.95 ตามลำดับ เฉพาะช่วงขณะจอดหยุดนิ่ง รถจักรยานยนต์ไฟฟ้ามีอัตราการสิ้นเปลืองพลังงาน และมีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อวินาที ต่ำกว่ารถจักรยานยนต์น้ำมัน ถึงร้อยละ 100.00 ระหว่างช่วงเปลี่ยนผ่านจากรถจักรยานยนต์น้ำมันเป็นรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าทั้งหมด รถจักรยานยนต์น้ำมันที่มีระบบ start-stop system ขณะจอดหยุดนิ่งจะสามารถช่วยลดการใช้น้ำมันและการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้มาก โดยเฉพาะเมื่อขับขี่รถจักรยานยนต์บนถนนในเขตเมืองที่มีการจราจรติดขัดและมีแยกสัญญาณไฟจราจรจำนวนมาก

การศึกษานี้ใช้กลุ่มตัวอย่างผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์ เป็นกลุ่มนักศึกษาที่ใช้รถจักรยานยนต์เป็นประจำเท่านั้น ดังนั้น การศึกษาต่อไปในอนาคตเพื่อให้ผลการศึกษาสะท้อนการใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ลดลงเมื่อหันมาใช้รถจักรยานยนต์ไฟฟ้าแทนน้ำมัน ควรขยายกลุ่มตัวอย่าง เป็นผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์ที่มีอายุ และอาชีพครอบคลุมกลุ่มประชากรที่ใช้รถจักรยานยนต์ รวมทั้งพิจารณาใช้รถจักรยานยนต์ไฟฟ้าหลายรุ่น ที่มีกำลังมอเตอร์และน้ำหนักที่หลากหลาย ในการวิ่งทดสอบบนถนนจริง

เอกสารอ้างอิง

1. IEA. Energy Technology Perspectives 2012: Pathways to a clean Energy System. Internatinoal Energy Agency. France; 2012.
2. UNEP. Emissions Gap Report 2020 [Internet]. 2020. Available from: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23528340%5Cnhttp://uneplive.unep.org/theme/index/13#.
3. Koossalapeerom T, Satiennam T, Satiennam W, Leelapatra W, Seedam A, Rakpukdee T. Comparative study of real-world driving cycles, energy consumption, and CO2 emissions of electric and gasoline motorcycles driving in a congested urban corridor. Sustain Cities Soc [Internet]. 2019 Feb 1 [cited 2019 May 30];45:619–627. Available from: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2210670718318031.

4. Vanatta M, Rathod B, Calzavara J, Courtright T, Sims T, Saint-Sernin É, et al. Emissions impacts of electrifying motorcycle taxis in Kampala, Uganda. Transp Res Part D Transp Environ. 2022 Mar;104:103193.
5. IEA. Global share of electricity generation [Internet]. 2019 [cited 2023 Jan 20]. Available from: https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2F%2Fwww.eppo.go.th%2Fepposite%2Fimages%2FEnergy-Statistics%2Fenergyinformation%2FEnergy_Statistics%2FElectricity%2FT05_02_03.ppt&wdOrigin=BROWSELINK.
6. EPPO. Share of power generation by fuel type, Thailand. Ministry of Energy. 2022.
7. IEA. Global EV Outlook 2022: Securing spplies for an electric future [Internet]. 2022. Available from: https://iea.blob.core.windows.net/assets/ad8fb04c-4f75-42fc-973a-6e54c8a4449a/GlobalElectricVehicleOutlook2022.pdf.
8. Department of Land Transport. Accumulated number of registered vehicles [Internet]. 2023 [cited 2023 May 23]. Available from: https://web.dlt.go.th/statistics/.
9. Kusalaphirom T, Satiennam T, Satiennam W, Seedam A. Development of a Real-World Eco-Driving Cycle for Motorcycles. Sustainability. 2022;14(10):6176.
10. Liao P, Tang TQ, Liu R, Huang HJ. An eco-driving strategy for electric vehicle based on the powertrain. Appl Energy. 2021 Nov;302:117583.
11. Hieu LT, Khoa NX, Lim O. An investigation on the effects of input parameters on the dynamic and electric consumption of electric motorcycles. Sustain. 2021;13(13).
12. Saxena S, Gopal A, Phadke A. Electrical consumption of two-, three- and four-wheel light-duty electric vehicles in India. Appl Energy. 2014 Feb;115:582–590.
13. Miri I, Fotouhi A, Ewin N. Electric vehicle energy consumption modelling and estimation-A case study. Int J Energy Res. 2021;(45):501–520.
14. Farzaneh A, Farjah E. Analysis of Road Curvature's Effects on Electric Motorcycle Energy Consumption. Energy. 2018;151:160–166.
15. Seedam A, Satiennam T, Radpukdee T, Satiennam W, Ratanavaraha V. Motorcycle on-road driving parameters influencing fuel consumption and emissions on congested signalized urban corridor. J Adv Transp. 2017;2017.
16. Seedam A, Satiennam T, Radpukdee T, Satiennam W. Development of an onboard system to measure the on-road driving pattern for developing motorcycle driving cycle in Khon Kaen city, Thailand. IATSS Res [Internet]. 2015 Jul 1 [cited 2019 May 31];39(1):79–85. Available from: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0386111215000175.
17. Packer N. A beginner's guide to energy and power. UK; 2011.
18. Smil V. Energy: a beginner's guide. England: Oneworld Publications; 2006.

19. Yu L. Remote vehicle exhaust emission sensing for traffic simulation and optimization models. Transp Res Part D Transp Environ. 1998;3(5):337–347.
20. Provincial Electricity Authority. Electricity Tariffs [Internet]. [cited 2023 May 16]. Available from: https://www.pea.co.th/electricity-tariffs.
21. PTT Oil and Retail Business Public Company Limited. Oil Price [Internet]. [cited 2023 May 16]. Available from: https://www.pttor.com/th.