วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ปีที่ 28 (ฉบับที่ 1) มกราคม – เมษายน พ.ศ. 2566
BURAPHA SCIENCE JOURNAL Volume 28 (No.1) January – April 2023 บทความวิจัย

การประเมินการระบายก๊าซเรือนกระจกจากยานพาหนะในจังหวัดกรุงเทพมหานคร

Evaluation of Greenhouse Gas Emissions from Motor Vehicles in Bangkok, Thailand

พรรณทิสชา ธนตระกลศรี*, เดือนเพ็ญ ศิริเถียร และ สุรางค์รัตน์ พ้องพาน

Pantitcha Thanatrakolsri*, Duanpen Siritian and Surangrat Pongpan

คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

Faculty of Public Health, Thammasat University

Received : 23 February 2022

Revised : 10 May 2022

Accepted : 21 July 2022

บทคัดย่อ

ภาวะโลกร้อนเป็นปัญหาที่ทุกประเทศทั่วโลกให้ความสำคัญอย่างมาก และการลดการระบายก๊าซเรือนกระจกที่เป็นสาเหตุหลักของการเกิดภาวะโลกร้อนได้นำมาเป็นนโยบายสำคัญลำดับต้นในหลายประเทศ ซึ่งยานพาหนะเป็นแหล่งกำเนิดหนึ่งที่สำคัญในการระบายก๊าซเรือนกระจก ดังนั้น การศึกษาวิจัยนี้ได้ทำการประเมินการระบายก๊าซเรือนกระจกจากยานพาหนะของจังหวัดกรุงเทพมหานคร โดยใช้แบบจำลองการระบายมลพิษจากยานพาหนะ และใช้ผลการตรวจวัดก๊าซเรือนกระจกจากห้องปฏิบัติการตรวจวัดมลพิษจากยานพาหนะ เป็นตัวปรับค่าการระบายก๊าซเรือนกระจกในแบบจำลอง ผลการศึกษาพบว่า ในปี พ.ศ. 2561 จังหวัดกรุงเทพมหานคร มีปริมาณการระบายก๊าซเรือนกระจกจากยานพาหนะ 11,715.47 $GgCO_2eq$ โดยรถยนต์รับจ้างบรรทุกคนโดยสารไม่เกิน 7 คน มีปริมาณการระบายก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด รองลงมา ได้แก่ รถยนต์นั่งส่วนบุคคลไม่เกิน 7 คน รถบรรทุกส่วนบุคคล รถจักรยานยนต์ รถบรรทุก รถโดยสาร รถยนต์นั่งส่วนบุคคลเกิน 7 คน และรถจักรยานยนต์สาธารณะ โดยคิดเป็นสัดส่วน 28.50%, 25.94%, 20.47% 8.90%, 7.56% 6.28%, 2.16% และ 0.19% ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาสถานการณ์จำลองจากมาตรการทางเลือกในการลดปริมาณการระบายก๊าซเรือนกระจกของรถโดยสาร รถยนต์รับจ้างบรรทุกคนโดยสารไม่เกิน 7 คน รถยนต์นั่งส่วนบุคคลไม่เกิน 7 คนและรถบรรทุกส่วนบุคคล ด้วยการใช้เทคโนโลยียานพาหนะที่มีการระบายมลพิษต่ำสำหรับยานพาหนะใหม่ การลดการใช้ยานพาหนะส่วนบุคคลและเปลี่ยนมาใช้บริการระบบขนส่งสาธารณะ รวมถึงการยกเลิกใช้ยานพาหนะที่มีอายุมากกว่า 15 ปี พบว่า การนำมาตรการเพียงมาตรการเดียวมาใช้ในการจัดการก๊าซเรือนกระจกอาจจะยังไม่สามารถลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกในภาพรวมได้ แต่หากนำทุกมาตรการมาใช้ร่วมกันจะสามารถทำให้ก๊าซเรือนกระจกที่ระบายจากยานพาหนะในกรุงเทพมหานครลดลงได้มากถึง 23.68%

คำสำคัญ : ก๊าซเรือนกระจก ; ยานพาหนะ ; กรุงเทพมหานคร ; สัมประสิทธิ์การระบาย ; แบบจำลองคณิตศาสตร์

Abstract

Global warming is a worldwide problem that is growing in importance. Reducing greenhouse gas emissions, the main cause of global warming has been a priority of policies in almost all countries, including Thailand. Motor vehicles have been the most important source of greenhouse gas emissions. Therefore, this study aimed to estimate the greenhouse gas emissions emitted from motor vehicles in Bangkok by using an International Vehicle Emission (IVE) model. The emission rates of greenhouse gases calculated from measurements by the Automotive Emission Laboratory of Thailand were input into the model as the base emission rates. The results found that greenhouse gas emissions from motor vehicles were 11,715.47 $GgCO_2eq$. Taxis had the highest greenhouse gas emissions, followed by passenger cars, pickups, motorcycles, trucks, buses, vans, and public motorcycles, accounting for 28.50%, 25.94%, 20.47%, 8.90%, 7.56%, 6.28%, 2.16%, and 0.19%, respectively. The results by considering scenarios designed for reducing greenhouse gas emissions including using low-emission vehicle technology for new vehicles, reducing the use of personal motor vehicles, switching to public transport, and eliminating vehicles older than 15 years, the implementation of a single mitigation measure may not be able to reduce overall greenhouse gas emissions from motor vehicles. However, using an integrated approach that combines all mitigation measures could reduce greenhouse gas emissions by 23.68%.

Keywords : greenhouse gas ; vehicle ; Bangkok ; emission factor ; international vehicle emission model

***Corresponding author. E-mail :** pantitcha.o@fph.tu.ac.th

บทนำ

การระบายก๊าซเรือนกระจกที่เพิ่มขึ้นจากกิจกรรมของมนุษย์อย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกที่มีแนวโน้มรุนแรงมากขึ้น ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพ (Myhre *et al*., 2013) จึงทำให้เกิดความร่วมมือจากประชาคมโลก ได้แก่ ความตกลงปารีส ซึ่งอยู่ภายใต้อนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ กำหนดให้ทุกประเทศมีการดำเนินการลดปริมาณการระบายก๊าซเรือนกระจก ซึ่งประเทศไทยเป็นหนึ่งในประเทศที่เข้าร่วมภาคี โดยได้มีการกำหนดเป้าหมายการลดก๊าซเรือนกระจก หลังจากปี พ.ศ. 2563 ร้อยละ 20-25 จากเดิม และได้จัดทำแผนที่นำทางการลดก๊าซเรือนกระจกของประเทศ ปี พ.ศ. 2564-2573

ข้อมูลจากรายงานแห่งชาติ ฉบับที่ 3 พบว่า ประเทศไทยมีการระบายก๊าซเรือนกระจกในปี พ.ศ. 2543, 2556 และ 2559 ประมาณ 245,758.21, 342,675.36 และ 354,357.61 กิกะกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ($GgCO_2eq$) ตามลำดับ โดยพบว่า พ.ศ.2556 และ 2559 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับปี พ.ศ. 2543 ซึ่งเป็นปีแรกที่ดำเนินการ ประมาณร้อยละ 40 และ ร้อยละ 44 ตามลำดับ โดยภาคพลังงานและขนส่งเป็นภาคที่มีสัดส่วนการระบายก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด รองลงมา คือ ภาคเกษตรกรรม ภาคกระบวนการทางอุตสาหกรรมและภาคของเสีย ตามลำดับ ซึ่งการคมนาคมขนส่งเป็นหนึ่งในกิจกรรมภายใต้ภาคพลังงานและการขนส่ง ที่ระบายก๊าซเรือนกระจก (ร้อยละ 27.21) เป็นอันดับรองลงมาจากการใช้พลังงานในอุตสาหกรรม (ร้อยละ 42.84) ในปี พ.ศ. 2559 (ONEP, 2019)

การเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตั้งแต่ปี พ.ศ. 2554 ถึง ปี พ.ศ. 2562 ส่งผลให้เกิดความต้องการในการใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้น จึงทำให้การใช้พลังงานมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน และในปี พ.ศ. 2563 พบว่า ประเทศไทยมีจำนวนประชากรลดลง รวมถึงการใช้พลังงานก็ลดลงเช่นเดียวกัน ซึ่งสอดคล้องกับอัตราการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจของไทย (Gross domestic product: GDP) ที่ลดลงถึง ร้อยละ 6.1 จากสถานการณ์โรคระบาดโควิด 19 ที่เกิดขึ้นทั่วโลก (EPPO, 2021) อย่างไรก็ตาม การพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมยังต้องดำเนินการอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะการขนส่งและสัญจรด้วยยานพาหนะ จะเห็นได้จากข้อมูลสถิติจำนวนรถที่สะสมของประเทศไทยมีอัตราเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 5 ปี (พ.ศ. 2559-2563) ที่ร้อยละ 2.06 หรือเพิ่มขึ้นประมาณ 1 ล้านคันต่อปี โดยพบว่า จังหวัดกรุงเทพมหานครมีจำนวนรถจดทะเบียนสะสมมากที่สุดของประเทศ ถึง ร้อยละ 26.25 ดังนั้น ปริมาณการใช้พลังงานเชื้อเพลิงของยานพาหนะยังคงเป็นอีกประเด็นหนึ่งที่จำเป็นในการบริหารจัดการด้านพลังงานภายใต้การขับเคลื่อนเศรษฐกิจและสังคม รวมถึงการประเมินปริมาณการระบายก๊าซเรือนกระจกเพื่อเป็นฐานข้อมูลที่สำคัญในการกำหนดมาตรการที่สอดคล้องกับนโยบายและยุทธศาสตร์ชาติต่อไป

การประเมินการระบายก๊าซเรือนกระจกในประเทศไทยใช้วิธีการประเมินด้วยวิธีการ Top-Down จากข้อมูลปริมาณการใช้เชื้อเพลิงภาพรวมในประเทศ พิจารณาร่วมกับค่าสัมประสิทธิ์การระบายของเชื้อเพลิงแต่ละชนิดในกิจกรรมนั้นๆ โดยแยกภาคกิจกรรมตามคู่มือ IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories และ วิธีการ Bottom-up พิจารณาจากข้อมูลเชื้อเพลิง และเทคโนโลยีของกิจกรรมนั้นๆ ร่วมกับค่าสัมประสิทธิ์การระบายของเชื้อเพลิงแต่ละชนิดเฉพาะของกิจกรรมที่พัฒนาจากการตรวจวัดหรือการใช้แบบจำลองสมการทางคณิตศาสตร์ในการคำนวณ โดยการประเมินการระบายก๊าซเรือนกระจกจากยานพาหนะโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การระบายก๊าซเรือนกระจกที่คงที่ในทุกปี อาจจะทำให้ประเมินปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณการระบายได้ไม่ครอบคลุม เช่น ความหลากหลายของเทคโนโลยีและมาตรฐานของยานพาหนะแต่ละประเภท ขนาด

ของยานพาหนะ ชนิดของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ในยานพาหนะแต่ละประเภท ลักษณะการขับขี่ เป็นต้น ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ส่งผลต่อปริมาณก๊าซเรือนกระจกของยานพาหนะแต่ละประเภทในแต่ละปีที่แตกต่างกัน (Outapa *et al*., 2017; Noichaisin, 2017; Vieweg, 2017)

ดังนั้น การศึกษานี้จึงได้ทำการประเมินการระบายก๊าซเรือนกระจกจากยานพาหนะในจังหวัดกรุงเทพมหานคร จากการพัฒนาค่าสัมประสิทธิ์การระบายจากแบบจำลองการระบายมลพิษของยานพาหนะ ได้แก่ International Vehicle Emission (IVE) Model ที่พัฒนาขึ้นโดยมหาวิทยาลัยแคลิฟอร์เนีย แอท ริเวอร์ไซด์ ด้วยการสนับสนุนทุนวิจัยโดยองค์กรพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา (United States Environmental Protection Agency: U.S. EPA) โดยใช้ข้อมูลอัตราการระบายก๊าซเรือนกระจกจากยานพาหนะ จากห้องปฏิบัติการตรวจวัดมลพิษจากยานพาหนะ กรมควบคุมมลพิษ (หน่วยกรัมต่อกิโลเมตร) ในการปรับค่าสัมประสิทธิ์การระบายก๊าซเรือนกระจกของแบบจำลอง เพื่อพัฒนาค่าสัมประสิทธิ์การระบายก๊าซเรือนกระจกของยานพาหนะ โดยพิจารณาก๊าซเรือนกระจก 3 ชนิด ได้แก่ ก๊าซมีเทน (CH_4) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_2O) ที่ระบายจากยานพาหนะแต่ละประเภท ภายใต้ปัจจัยความแตกต่างของประเภท ลักษณะน้ำมันเชื้อเพลิง และอายุของยานพาหนะบนฐานข้อมูลระยะทางในการขับขี่โดยเฉลี่ยของยานพาหนะ (หน่วยกิโลเมตรต่อปี) และพิจารณาสถานการณ์จำลองภายใต้มาตรการลดก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมการขนส่งทางบกของประเทศไทยต่อไป เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ประกอบการวิเคราะห์ และการวางแผนในการกำหนดนโยบายและมาตรการสำหรับขับเคลื่อนการพัฒนาระบบขนส่งทางบกของประเทศอย่างยั่งยืน บนพื้นฐานการใช้พลังงานเชื้อเพลิงอย่างมีประสิทธิภาพ

วิธีดำเนินการวิจัย

ขอบเขตการศึกษา

การศึกษานี้ ทำการประเมินปริมาณการระบายก๊าซเรือนกระจกจากยานพาหนะทางถนนในพื้นที่กรุงเทพมหานคร ซึ่งมีจำนวนรถจดทะเบียนสะสมมากที่สุดของประเทศ ด้วยการพัฒนาค่าสัมประสิทธิ์จากแบบจำลองการระบายมลพิษของยานพาหนะ (IVE model) โดยใช้ค่าอัตราการระบายที่ตรวจวัดจริงจากห้องปฏิบัติการยานพาหนะ กรมควบคุมมลพิษ ในการปรับค่าของแบบจำลอง เพื่อให้ค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้มีความเหมาะสมกับยานพาหนะที่ใช้ในประเทศไทยมากที่สุด โดยพิจารณาร่วมกับข้อมูลสัดส่วนยานพาหนะ เทคโนโลยีเครื่องยนต์ ชนิดน้ำมันเชื้อเพลิง วัฏจักรการขับขี่ของกรุงเทพมหานคร (Bangkok Driving cycle) กำหนดให้ ปี พ.ศ. 2561 เป็นปีฐาน และทำการคาดการณ์ปริมาณก๊าซเรือนกระจก ถึงปี พ.ศ. 2571 โดยแสดงรายละเอียดขั้นตอนการศึกษาได้ดัง Figure 1

ประเภทยานพาหนะ

ประเภทของยานพาหนะที่ทำการศึกษามี 8 ประเภท ได้แก่ รถจักรยานยนต์ (Motorcycle: MC) รถยนต์นั่งส่วนบุคคลไม่เกิน 7 คน (Passenger Car: PC) รถบรรทุกส่วนบุคคล (Pick up) รถยนต์นั่งส่วนบุคคลเกิน 7 คน (Van) รถจักรยานยนต์สาธารณะ (Public Motorcycle: PMC) รถยนต์รับจ้างบรรทุกคนโดยสารไม่เกิน 7 คน (Taxi) รถโดยสาร (Bus) และรถบรรทุก (Truck) ซึ่งแบ่งตามกฎหมายว่าด้วยรถยนต์ และกฎหมายว่าด้วยการขนส่งทางบก โดยพิจารณาข้อมูลสถิติยานพาหนะจดทะเบียนสะสม จากข้อมูลกรมการขนส่งทางบก กระทรวงคมนาคม จาก Figure 2 แสดงประเภทของยานพาหนะใน

กรุงเทพมหานครในปี พ.ศ. 2561 ซึ่งมีจำนวนยานพาหนะจดทะเบียนสะสม 10,244,144 คัน พบว่า รถยนต์นั่งส่วนบุคคลไม่เกิน 7 คน (PC) มีสัดส่วนมากที่สุด (ร้อยละ 44.46) รองลงมาคือ รถจักรยานยนต์ (MC) (ร้อยละ 36.24) รถยนต์บรรทุกส่วนบุคคล (Pick up) (ร้อยละ 13.56) รถยนต์นั่งส่วนบุคคลเกิน 7 คน (Van) รถจักรยานยนต์สาธารณะ (PMC) รถยนต์รับจ้างบรรทุกคนโดยสารไม่เกิน 7 คน (Taxi) รถบรรทุก (Truck) และรถโดยสาร (Bus) ตามลำดับ โดยการศึกษานี้ ศึกษาจำนวนยานพาหนะที่มีอายุไม่เกิน 20 ปี ยกเว้น รถโดยสาร (Bus) ซึ่งศึกษาจำนวนรถที่มีอายุมากกว่า 20 ปีด้วย เนื่องจากยังคงมีการใช้งานอยู่ในปัจจุบัน และรถยนต์รับจ้างบรรทุกคนโดยสารไม่เกิน 7 คน (Taxi) ซึ่งศึกษาจำนวนยานพาหนะที่มีอายุไม่เกิน 12 ปี ตามระเบียบกรมการขนส่งทางบกว่าด้วยเรื่องการดำเนินการทางทะเบียนสำหรับรถยนต์รับจ้างบรรทุกคนโดยสารไม่เกิน 7 คน เพื่อขยายอายุการใช้งานจาก 9 ปีเป็น 12 ปี พ.ศ. 2564

การประเมินการระบายก๊าซเรือนกระจก

ก๊าซเรือนกระจกที่ทำการศึกษา ประกอบไปด้วย ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ก๊าซมีเทน (CH_4) และก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_2O) ซึ่งเป็นก๊าซที่ระบายจากการสันดาปของเชื้อเพลิง ในการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การระบายก๊าซเรือนกระจกจากยานพาหนะ พิจารณาปัจจัยมาตรฐานทางด้านเทคโนโลยีของเครื่องยนต์ยานพาหนะ ระยะทางการขับขี่ของยานพาหนะ (Vehicle Kilometer Traveled: VKT) องค์ประกอบที่สำคัญของประเภทของน้ำมันเชื้อเพลิง วัฏจักรการขับขี่ยานพาหนะของกรุงเทพมหานคร ซึ่งพัฒนาโดยกรมควบคุมมลพิษ และค่าการตรวจวัดก๊าซเรือนกระจก ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซมีเทน จากห้องปฏิบัติการตรวจวัดมลพิษของยานพาหนะ กรมควบคุมมลพิษ เพื่อปรับค่าสัมประสิทธิ์จากแบบจำลองให้ใกล้เคียงกับยานพาหนะที่ใช้ในประเทศไทย สำหรับก๊าซไนตรัสออกไซด์นั้นไม่มีข้อมูลการตรวจวัดจากห้องปฏิบัติการตรวจวัดมลพิษจากยานพาหนะ โดยขั้นตอนการประเมินการระบายก๊าซเรือนกระจกมีรายละเอียด ดังนี้

การเก็บข้อมูลเพื่อนำเข้าในแบบจำลอง IVE

การศึกษานี้ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการประเมินการระบายก๊าซเรือนกระจกจากยานพาหนะ ได้แก่ แบบจำลอง IVE ที่พัฒนาขึ้นโดยมหาวิทยาลัยแคลิฟอร์เนีย แอท ริเวอร์ไซด์ ด้วยการสนับสนุนทุนวิจัยโดยองค์กรพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา (U.S. EPA) เพื่อใช้คำนวณค่าการระบายมลพิษของยานพาหนะในประเทศที่กำลังพัฒนา เนื่องจากมีเทคโนโลยีเครื่องยนต์ที่หลากหลายและในบางเทคโนโลยีของยานพาหนะยังคงใช้อยู่ในกลุ่มประเทศที่กำลังพัฒนา ได้แก่ ประเทศอินเดีย ประเทศเม็กซิโก ประเทศจีน ประเทศเคนย่า ประเทศตุรกี ประเทศเปรู ประเทศอิหร่าน เป็นต้น (ISSRC, 2008; Feng *et al*., 2013; Shafie-Pour and Tavakoli, 2013) สำหรับสมการทางคณิตศาสตร์พื้นฐานของแบบจำลอง IVE แสดงได้ ดังนี้

$$EF = B^* K_{(1)} {}^*K_{(2)} {}^*.....K_{(n)} \qquad (1)$$

โดยที่ EF (Emission factor) คือ ค่าสัมประสิทธิ์การระบายก๊าซเรือนกระจกของยานพาหนะแต่ละประเภท ที่ปรับแก้จาก B ซึ่งเป็นค่าสัมประสิทธิ์จากฐานข้อมูลการระบายก๊าซเรือนกระจกของยานพาหนะแต่ละประเภท และ $K_{(1,2...n)}$ คือ ปัจจัยที่ 1 ถึง n ที่ส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การระบายก๊าซเรือนกระจกของยานพาหนะแต่ละประเภท เช่น อุณหภูมิ ความชื้น ความเร็วเฉลี่ย สัดส่วนยานพาหนะ เทคโนโลยียานพาหนะ เป็นต้น

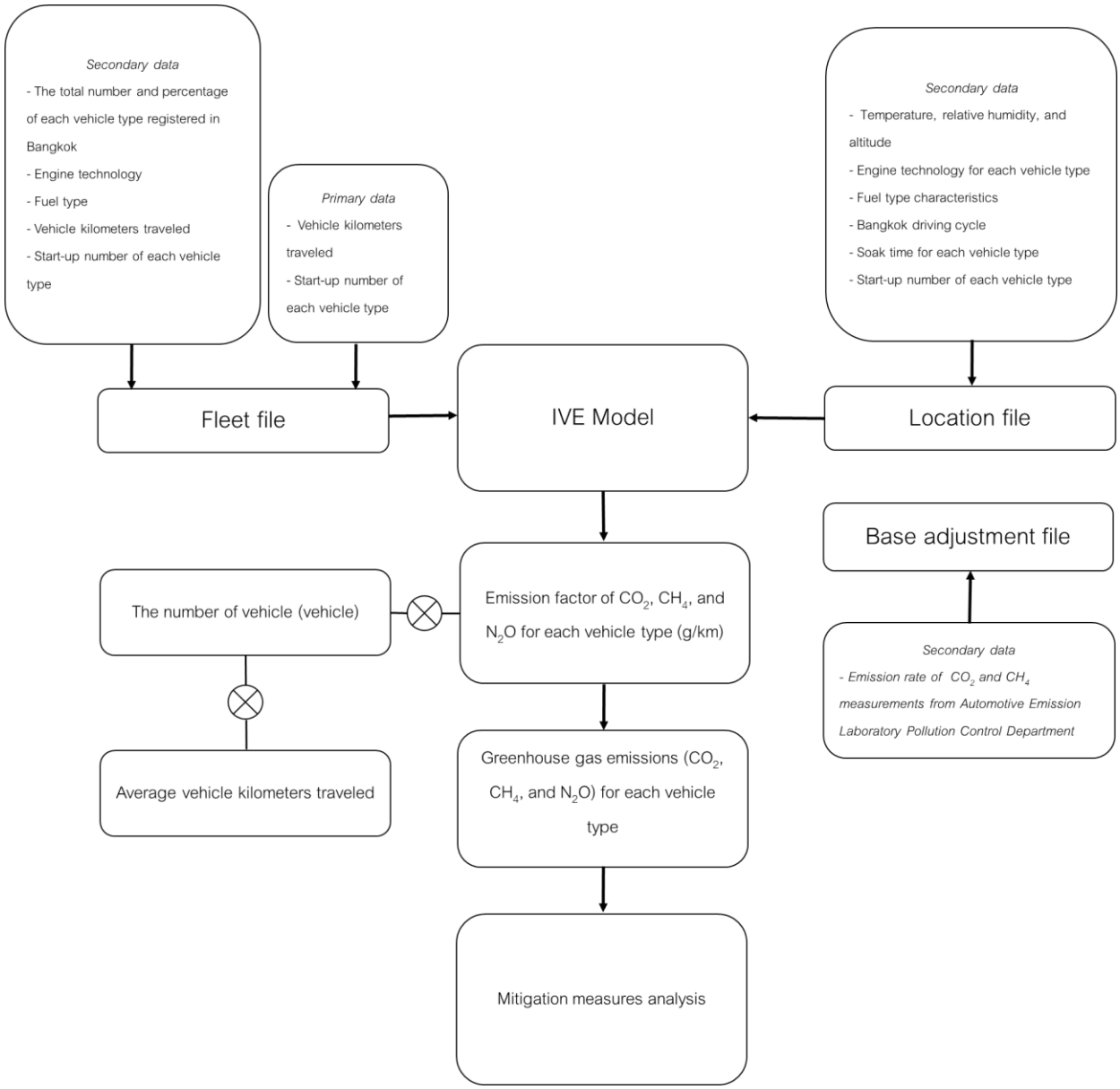


Figure 1 Flowchart of the research procedure.

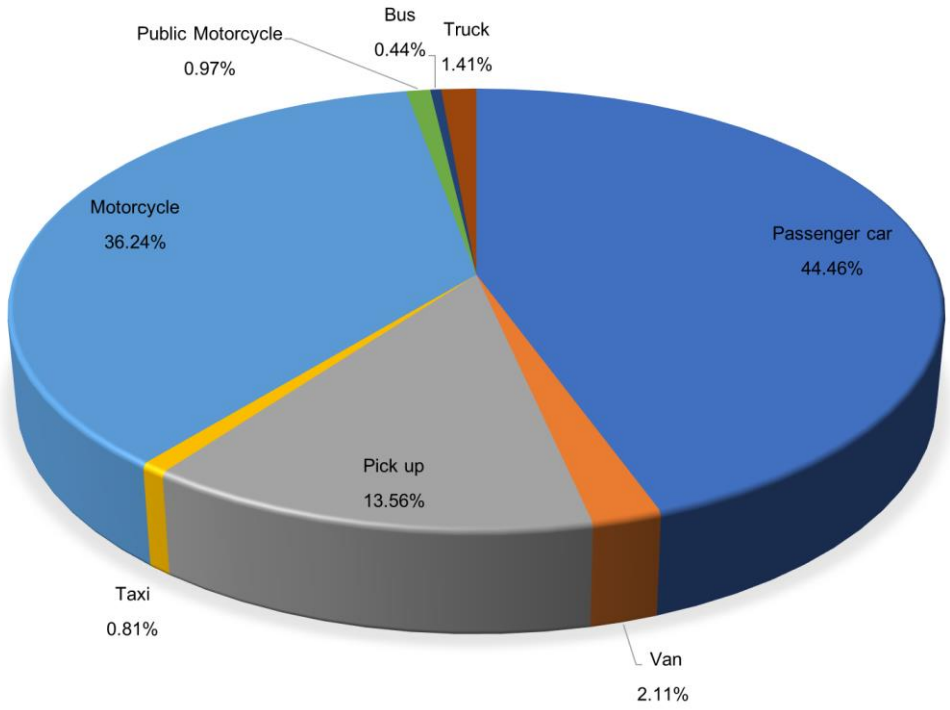


Figure 2 Vehicle type distribution in Bangkok (2018).

สำหรับการเก็บข้อมูลเพื่อนำเข้าแบบจำลอง IVE มีทั้งหมด 2 ขั้นตอน ได้แก่

1. การเก็บข้อมูลภาคสนามชนิดปฐมภูมิ โดยเก็บข้อมูลจากการสอบถามผู้ใช้ยานพาหนะ ได้แก่ ข้อมูลระยะทางสะสมของยานพาหนะแต่ละประเภท อายุยานพาหนะ และประเภทยานพาหนะที่จดทะเบียน

2. การเก็บข้อมูลทุติยภูมิ โดยรวบรวมข้อมูลจากรายงาน และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ข้อมูลระยะทางสะสมของยานพาหนะแต่ละประเภท อายุยานพาหนะ และประเภทยานพาหนะที่จดทะเบียน ข้อมูลลักษณะของน้ำมันเชื้อเพลิง ชนิดดีเซลและเบนซิน ซึ่งปัจจุบันประเทศไทยใช้น้ำมันเชื้อเพลิงมาตรฐาน Euro4 ข้อมูลสภาพอากาศ เช่น อุณหภูมิเฉลี่ย ความชื้นสัมพัทธ์ เป็นต้น และข้อมูลลักษณะการขับขี่ของกรุงเทพมหานคร (Bangkok driving cycle)

การวิเคราะห์ ประมวลผลและรายงานผลของแบบจำลอง IVE

เมื่อเก็บข้อมูลเรียบร้อยแล้ว จากนั้น เข้าสู่การวิเคราะห์ ประมวลผลและรายงานผลของแบบจำลอง ประกอบไปด้วย

1. การวิเคราะห์และประมวลผลด้วยโปรแกรมในแบบจำลอง IVE มีรายละเอียด ดังนี้

a. การวิเคราะห์รูปแบบเทคโนโลยีของยานพาหนะ โดยวิเคราะห์ข้อมูลบนพื้นฐานของค่ามาตรฐานการระบายมลพิษของยานพาหนะในประเทศไทยในแต่ละช่วงเวลา ซึ่งพิจารณาร่วมกับอายุของยานพาหนะหรือปีที่จดทะเบียนของ

ยานพาหนะ รวมถึงข้อมูลเทคโนโลยีเครื่องยนต์ของยานพาหนะในช่วงเวลาที่รถจดทะเบียน เพื่อกำหนดสัดส่วนเทคโนโลยีของยานพาหนะแต่ละประเภทในแต่ละปี ในรูปแบบ Fleet file และนำเข้าสู่แบบจำลองต่อไป

b. การวิเคราะห์ Vehicle Specific Power (VSP) และ Engine stress โดยข้อมูลลักษณะการขับขี่ของกรุงเทพมหานครจะถูกนำมาคำนวณและจัดกลุ่มตามลักษณะค่ากำลังเฉพาะของเครื่องยนต์ (Vehicle Specific Power: VSP) และความเครียดของเครื่องยนต์ (Engine stress) ซึ่งค่าความเร่งและค่าแรงเสียดทานของยานพาหนะเป็นปัจจัยที่มีผลต่อค่า VSP โดย ค่าเฉลี่ยของ VSP จากวินาทีที่ 5 ถึง 25 และรอบของการทำงานเครื่องยนต์เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อค่า Engine stress ในการศึกษานี้ ใช้โปรแกรมพิเศษที่สามารถดาวน์โหลดได้จากเว็บไซต์ของแบบจำลองในการคำนวณและกระจายสัดส่วนในรูปแบบ VSP Bin เพื่อนำเข้าสู่แบบจำลองในส่วนของ Location file ต่อไป (Ghadiri *et al*., 2016; Outapa and Thepanondh, 2014)

c. การวิเคราะห์ Base emission factor adjustment และการปรับแก้ค่าสัมประสิทธิ์การระบายก๊าซเรือนกระจก ซึ่งต้องใช้ข้อมูลสัมประสิทธิ์การระบายก๊าซเรือนกระจกจากฐานข้อมูลอัตราการระบายก๊าซเรือนกระจกที่ได้ข้อมูลจากห้องปฏิบัติการตรวจวัดมลพิษของยานพาหนะแต่ละประเภทของประเทศไทย เพื่อปรับฐานของค่าสัมประสิทธิ์การระบายก๊าซเรือนกระจกจากค่าสัมประสิทธิ์การระบายก๊าซเรือนกระจกของแบบจำลอง ด้วยการคำนวณสัดส่วนความต่างของค่าสัมประสิทธิ์การระบายในแบบจำลองและค่าสัมประสิทธิ์การระบายจากห้องปฏิบัติการตรวจวัดมลพิษของยานพาหนะ โดยข้อมูลส่วนนี้จะนำเข้าสู่แบบจำลองในส่วนของ Base adjustment file หลังจากนั้น นำเข้า Base adjustment file ในแบบจำลองในส่วน Location file ต่อไป (Outapa *et al*., 2017; Outapa *et al*., 2018)

2. การรายงานผลของแบบจำลอง IVE ซึ่งจะรายงานผลได้ทั้งในรูปแบบค่าการระบายมลพิษในหน่วยปริมาณ และค่าสัมประสิทธิ์การระบายมลพิษในหน่วยปริมาณต่อกิโลเมตร โดยการศึกษานี้การรายงานผลของแบบจำลองจะแสดงรูปแบบของค่าสัมประสิทธิ์การระบายก๊าซเรือนกระจกในหน่วย กรัมต่อกิโลเมตร (g/km)

รายละเอียดขั้นตอนการดำเนินการวิจัยแสดงได้ดัง Figure 1 และรายละเอียดข้อมูลนำเข้าแสดงดัง Table 1 โดยรายละเอียดนำเข้าข้อมูลของชนิดเชื้อเพลิง เทคโนโลยีควบคุมไอเสีย ขนาดของยานพาหนะ และระยะทางเฉลี่ย ซึ่งพิจารณาจากข้อมูลสถิติทุติยภูมิจากกรมการขนส่งทางบกและข้อมูลในแบบจำลอง IVE

<u>การคำนวณปริมาณการระบายก๊าซเรือนกระจกจากยานพาหนะ</u>

ระยะทางเฉลี่ยของยานพาหนะแต่ละประเภทของจังหวัดกรุงเทพมหานคร รวบรวมจากข้อมูลปฐมภูมิ จากการเก็บข้อมูลยานพาหนะในบางประเภท ได้แก่ รถจักรยานยนต์ (MC) รถยนต์นั่งส่วนบุคคลไม่เกิน 7 คน (PC) รถบรรทุกส่วนบุคคล (Pickup) รถยนต์นั่งส่วนบุคคลเกิน 7 คน (Van) ร่วมกับข้อมูลทุติยภูมิจากรายงานงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Limanond *et al*., 2009) และข้อมูลยานพาหนะที่ตรวจวัดจากกรมควบคุมมลพิษ จากนั้นนำข้อมูลระยะทางเฉลี่ย และจำนวนยานพาหนะ มาคำนวณร่วมกับค่าสัมประสิทธิ์การระบายก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor) ของยานพาหนะแต่ละชนิดต่อปี เพื่อประเมินปริมาณการระบายก๊าซเรือนกระจกจากยานพาหนะในจังหวัดกรุงเทพมหานคร โดยแสดงการคำนวณได้ดังสมการที่ (2)

$$Emission_{i,j} = [EF_{i,j} \times VKT_j] / 1000 \quad (2)$$

โดย ค่า $Emission_{i,j}$ คือ ค่าปริมาณการระบายก๊าซเรือนกระจกชนิด i ของยานพาหนะประเภท j (ตัน/ปี) ซึ่งเป็นผลมาจาก $EF_{i,j}$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การระบายก๊าซเรือนกระจกชนิด i ของยานพาหนะประเภท j (กรัม/กิโลเมตร) คูณกับ VKT_j ซึ่งเป็นระยะทางเฉลี่ยของยานพาหนะประเภท j (กิโลเมตร/ปี)

การกำหนดสถานการณ์ทางเลือก

การกำหนดสถานการณ์ทางเลือกในการลดปริมาณก๊าซเรือนกระจก ซึ่งจังหวัดกรุงเทพมหานคร ได้มีการกำหนดมาตรการด้านยานยนต์จากแผนแม่บทกรุงเทพมหานครว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ พ.ศ. 2556-2566 เช่น การใช้ยานยนต์มลพิษต่ำ (Low Emission Vehicle: LEV) เริ่มที่ยานยนต์สาธารณะ การใช้รถโดยสารประจำทางที่ใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติ (Natural Gas for Vehicle: NGV) หรือ LEV เป็นต้นซึ่งในการศึกษานี้ กำหนดสถานการณ์จำลองภายใต้มาตรการทางเลือก ได้แก่ ปรับเปลี่ยนรถโดยสารประจำทางเป็นเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติ การใช้ยานพาหนะใหม่ ที่เป็นยานยนต์มลพิษต่ำโดยเลือกจากประเภทยานพาหนะที่ระบายก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด การใช้มาตรการลดการใช้ยานพาหนะส่วนบุคคลมาใช้บริการรถสาธารณะ ร่วมกับการยกเลิกการใช้ยานพาหนะที่มีอายุมากกว่า 15 ปี สำหรับยานพาหนะที่มีสัดส่วนการระบายก๊าซเรือนกระจกในลำดับรองลงมา และการนำทุกมาตรการภายใต้สถานการณ์จำลองทั้งหมด พิจารณาใช้ร่วมกัน

ผลการวิจัย

ข้อมูลนำเข้าแบบจำลอง IVE

ข้อมูลนำเข้าแบบจำลอง IVE ในปี พ.ศ. 2561-2571 ประกอบไปด้วยข้อมูล Location file ซึ่งเป็นข้อมูลทั่วไปของพื้นที่ ได้แก่ อุณหภูมิเฉลี่ย ความชื้นสัมพัทธ์ ลักษณะการขับขี่และลักษณะเชื้อเพลิง โดยรวมข้อมูล Base Adjustment file ซึ่งเป็นข้อมูลการตรวจวัดจริงของก๊าซ CO_2 ที่ระบายจากยานพาหนะจากห้องปฏิบัติการตรวจวัดมลพิษอากาศจากยานพาหนะของกรมควบคุมมลพิษ ในบางเทคโนโลยีควบคุมไอเสียของยานพาหนะแต่ละประเภท สำหรับข้อมูล Fleet file เป็นข้อมูลรายละเอียดของยานพาหนะ ได้แก่ ประเภทเชื้อเพลิง เทคโนโลยียานพาหนะ โดยแบ่งสัดส่วนตามระยะทางเฉลี่ย 3 กลุ่ม คือ มากกว่า 79,000 กิโลเมตร 80,000 – 161,000 กิโลเมตร และ มากกว่า 161,000 กิโลเมตร ซึ่งแสดงรายละเอียดข้อมูล Location file ข้อมูล Base Adjustment file ข้อมูล Fleet file จากส่วนข้อมูลเทคโนโลยีควบคุมไอเสียที่ใช้ในยานพาหนะแต่ละประเภท และ ข้อมูล Fleet file จากส่วนข้อมูลชนิดและสัดส่วนของเชื้อเพลิงที่ใช้ในยานพาหนะแต่ละประเภทของจังหวัดกรุงเทพมหานคร ดัง Table 2 Table 3 Table 4 และ Table 5 ตามลำดับ

Table 1 Input data of the IVE model.

Vehicle type	Fuel type	Engine Technology		Vehicle size	VKT (km)
		Air/fuel control	Exhaust		
Passenger Car: PC	Gasoline Diesel NGV-gasoline LPG-gasoline Hybrid	FI/ Carburetor	Euro 1-4/ 3 Way	Light/ Medium	<79,000 80,000-16,1000 >161,000
Van	Gasoline Diesel NGV -gasoline LPG-gasoline	FI/ Carburetor	Euro 1-4/ 3 Way	Medium	<79,000 80,000-16,1000 >161,000
Pick up	Gasoline Diesel NGV	FI/ Carburetor	Euro 1-3/ 3 Way	Medium	<79,000 80,000-16,1000 >161,000
Taxi	Gasoline Diesel NGV -gasoline LPG-gasoline	FI/ Carburetor	Euro 3-4/ 3 Way	Medium	<79,000 80,000-16,1000 >161,000
Motorcycle: MC	Gasoline	2 cycle, 4cycle/FI	Catalyst	Medium	<25,000 25,000-50,000 >50,000
Public Motorcycle: PMC	Gasoline	2 cycle, 4cycle/FI	Catalyst	Medium	<25,000 25,000-50,000 >50,000
Bus	Diesel NGV LPG	Fuel Injection/ Carburetor	Euro 1-2 3Way/EGR	Medium	<79,000 80,000-16,1000 >161,000
Truck	Diesel NGV	FI/ Carburetor	Euro 2-3/ 3 Way/EGR	Medium	<79,000 80,000-16,1000 >161,000

EGR = Exhaust Gas Recirculation; FI = Fuel Injection; NGV = Natural Gas for Vehicle; LPG = Liquefied Petroleum Gas

Table 2 Location input data of the IVE model.

Input	Data
Average ambient temperature	30°C
Average relative Humidity	73%
Driving cycle	Light duty BKK driving cycle* (Average speed 33.4 km/hour) Heavy duty BKK driving cycle** (Average speed 23.4 กิโลเมตร/km/hour)
Fuel standard	Euro 4 standard

* Input data for PC, Van, Pick up, Taxi, MC & PMC

** Input data for Bus & Truck

Table 3 Base Adjustment input data of the IVE model.

Vehicle type	Fuel type	Engine Technology	VKT (km)	N
MC	Gasoline	4 cycle/Catalyst	<79,000	58
			80,000-161,000	
			> 161,000	
PC	Gasoline	Euro 2	<79,000	13
		Euro 3	<79,000	12
			80,000-161,000	16
		Euro 4	<79,000	12
	NGV	3Wy	> 161,000	11
Bus	Diesel	Euro 2	> 161,000	90
Pick up	Diesel	Euro 3	<79,000	16
			80,000-161,000	48
			> 161,000	92
		Euro 4	<79,000	116

Table 4 Engine technology for vehicles from 2018 to 2028.

Vehicle type	Year										
	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028
PC	Pre-Euro, Euro 1-4	Euro 1-4		Euro 2-4				Euro 3-4			
Van	Pre-Euro, Euro 1-4	Euro 1-4		Euro 2-4				Euro 3-4			
Pick up	Pre-Euro, Euro 1-4	Euro 1-4		Euro 2-4				Euro 3-4			
Taxi	Euro 3-4/ 3 Way/ EGR						Euro 4/ 3 Way/ EGR				
MC and PMC	2 cycle, 4 cycle/ catalyst									4 cycle/ catalyst	
Bus	Euro 1-2/ 3Way/EGR										
Truck	Euro 2-3/ 3Way/EGR										

Table 5 Vehicle fuel type contribution in Bangkok.

Vehicle type	Proportion of fuel type (%)				
	Gasoline	Diesel	NGV	LPG	Hybrid
PC	63.08	22.75	2.55	9.47	1.87
Van	9.22	79.82	4.3	4.7	-
Pick up	2.85	90.01	2.43	4.27	-
Taxi	0.88	73.95	24.08	0.61	-
MC and PMC	99.98	-	-	-	-
Bus	32.59	64.03	2.02	-	-
Truck	-	85.11	2.52	-	-

จำนวนยานพาหนะ ระยะทางเฉลี่ยของยานพาหนะแต่ละประเภท

การคาดการณ์ปริมาณยานพาหนะแต่ละประเภทเพื่อนำมาประเมินปริมาณการระบายก๊าซเรือนกระจกภายใต้มาตรการทางเลือก คำนวณจากอัตราการเพิ่มขึ้นเฉลี่ยของยานพาหนะใหม่ย้อนหลัง 10 ปี (พ.ศ. 2553-2563) โดยพบว่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลไม่เกิน 7 คน (PC) มีอัตราการเพิ่มขึ้นเฉลี่ยของยานพาหนะใหม่มากที่สุด ประมาณ ร้อยละ 3.8 รองลงมาได้แก่ รถบรรทุก (Truck) ประมาณ ร้อยละ 2.71 รถจักรยานยนต์ (MC) ประมาณ ร้อยละ 2.3 รถยนต์นั่งส่วนบุคคลเกิน 7 คน (Van) ประมาณ ร้อยละ 0.64 ส่วนรถยนต์บรรทุกส่วนบุคคล (Pick up) รถยนต์รับจ้างบรรทุกคนโดยสารไม่เกิน 7 คน (Taxi)

รถจักรยานยนต์สาธารณะ (PMC) และรถโดยสาร (Bus) มีอัตราการเพิ่มขึ้นของยานพาหนะใหม่คงที่ เนื่องจากข้อมูล พ.ศ. 2561- พ.ศ. 2563 มีฐานข้อมูลในระบบของกรมการขนส่งทางบกแล้ว ดังนั้น การศึกษานี้จึงทำการคาดการณ์จำนวนยานพาหนะตั้งแต่ปี พ.ศ. 2564 - พ.ศ. 2571 (ค.ศ. 2018- ค.ศ. 2028) แสดงได้ดัง Figure 3 ซึ่งจากการคาดการณ์ยานพาหนะประเภทรถยนต์นั่งส่วนบุคคลไม่เกิน 7 คน (PC) รถยนต์นั่งส่วนบุคคลเกิน 7 คน (Van) รถจักรยานยนต์ (MC) รถบรรทุก (Truck) มีจำนวนยานพาหนะสะสมเพิ่มขึ้น ส่วนรถยนต์รับจ้างบรรทุกคนโดยสารไม่เกิน 7 คน (Taxi) มีจำนวนยานพาหนะสะสมเพิ่มขึ้นและค่อยๆ ลดลงตั้งแต่ปี พ.ศ. 2568 เป็นต้นไป เนื่องจากสัดส่วนจำนวนยานพาหนะที่อายุมากกว่า 12 ปี ตามเงื่อนไขของการศึกษาสำหรับรถยนต์รับจ้างบรรทุกคนโดยสารไม่เกิน 7 คน (Taxi) มีมากกว่าจำนวนยานพาหนะใหม่ สำหรับรถโดยสาร (Bus) และรถจักรยานยนต์สาธารณะ (PMC) มีจำนวนยานพาหนะสะสมลดลงเล็กน้อยจากปีฐานและคงที่ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2564 เป็นต้นไป ส่วนรถยนต์บรรทุกส่วนบุคคล (Pick up) มีจำนวนยานพาหนะสะสมค่อนข้างคงที่ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าจำนวนยานพาหนะใหม่จนถึงยานพาหนะที่มีอายุ 20 ปี มีจำนวนใกล้เคียงกัน

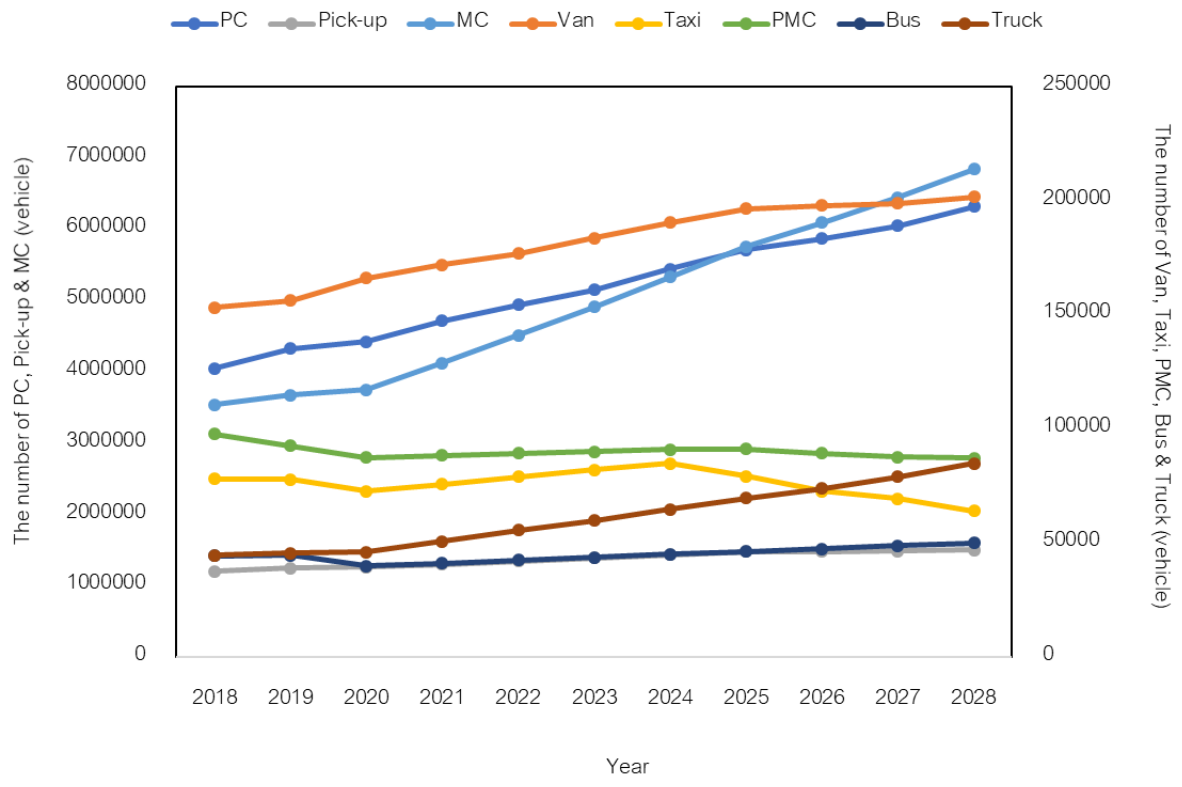


Figure 3 Number of registered vehicles from 2018 to 2028.

สำหรับระยะทางเฉลี่ยสะสมต่อปีของยานพาหนะแต่ละประเภทรวบรวมจากข้อมูลจากงานรายงานการวิเคราะห์ข้อมูลระยะทางของยานพาหนะแต่ละประเภทในเมืองใหญ่ของประเทศไทย ข้อมูลจากกรมควบคุมมลพิษ และสำรวจจากการศึกษานี้เพิ่มเติม ซึ่งรวบรวมข้อมูลของยานพาหนะที่มีอายุไม่เกิน 20 ปี ซึ่งแสดงรายละเอียดระยะทางเฉลี่ยสะสมต่อปีของยานพาหนะได้ ดัง Table 6

Table 6 Average vehicle kilometers traveled for each vehicle type.

Vehicle type	Average VKT (km/year)	N	Source
MC	4,241	687	Limanond *et al*., 2009; PCD; Survey data in this study
PC	23,750	733	Limanond *et al*., 2009; PCD; Survey data in this study
Van and Pick up	27,140	545	Limanond *et al*., 2009; PCD; Survey data in this study
PMC	5,569	379	Limanond *et al*., 2009; PCD; Survey data in this study
Taxi	114,647	465	Limanond *et al*., 2009; PCD; Survey data in this study
Bus	74,532	508	Limanond *et al*., 2009; PCD; Survey data in this study
Truck	62,334	404	Limanond *et al*., 2009; Outapa *et al*. 2016

<u>บัญชีการระบายก๊าซเรือนกระจกของยานพาหนะของปีฐาน พ.ศ. 2561</u>

เมื่อนำข้อมูลเข้าในแบบจำลอง IVE ค่าสัมประสิทธิ์การระบายก๊าซเรือนกระจกของยานพาหนะในกรุงเทพมหานครจากแบบจำลองจะแสดงค่าสัมประสิทธิ์การระบายออกเป็น 2 ค่าการระบาย ได้แก่ ปริมาณการระบายต่อการติดเครื่องยนต์ (g/start) และปริมาณการระบายต่อระยะทาง (g/km) โดยค่าสัมประสิทธิ์การระบายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) มีค่ามากที่สุด รองลงมาคือ ก๊าซมีเทน (CH_4) และ ก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_2O) ตามลำดับ สำหรับค่าสัมประสิทธิ์การระบายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ต่อการติดเครื่องยนต์ (g/start) ของยานพาหนะแต่ละประเภท มีค่าอยู่ในช่วง 21.6623 -192.8077 g/start ซึ่งรถโดยสาร (Bus) มีค่ามากที่สุด และรถจักรยานยนต์สาธารณะ (PMC) มีค่าน้อยที่สุด ในส่วนค่าสัมประสิทธิ์การระบายต่อระยะทาง (g/km) ซึ่งเป็นค่าการระบายในขณะที่รถวิ่ง พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การระบายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ของยานพาหนะแต่ละประเภท มีค่าอยู่ในช่วง 88.1520 - 983.2768 g/km ซึ่งรถบรรทุก (Truck) มีค่ามากที่สุด และรถจักรยานยนต์ (MC) มีค่าน้อยที่สุด สำหรับค่าสัมประสิทธิ์การระบายก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_2O) ของยานพาหนะแต่ละ

ประเภท มีค่าอยู่ในช่วง 0.0024 - 0.1321 g/start ซึ่งรถโดยสาร (Bus) มีค่ามากที่สุด รถจักรยานยนต์สาธารณะ (PMC) มีค่าน้อยที่สุด ในส่วนค่าสัมประสิทธิ์การระบายต่อระยะทาง (g/km) พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การระบายก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_2O) ของยานพาหนะแต่ละประเภท มีค่าอยู่ในช่วง 0.0139 - 0.0727 g/km ซึ่งรถบรรทุก (Truck) มีค่ามากที่สุด และรถยนต์บรรทุกส่วนบุคคล (Pick up) มีค่าน้อยที่สุด สำหรับค่าสัมประสิทธิ์การระบายก๊าซมีเทน (CH_4) ของยานพาหนะแต่ละประเภท มีค่าอยู่ในช่วง 0.0095 - 11.7025 g/start ซึ่งรถยนต์รับจ้างบรรทุกคนโดยสารไม่เกิน 7 คน (Taxi) มีค่ามากที่สุด และรถบรรทุก (Truck) มีค่าน้อยที่สุด ในส่วนค่าสัมประสิทธิ์การระบายต่อระยะทาง (g/km) พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การระบายก๊าซมีเทน (CH_4) ของยานพาหนะแต่ละประเภท มีค่าอยู่ในช่วง 0.0849 -21.6837 g/km ซึ่งรถยนต์รับจ้างบรรทุกคนโดยสารไม่เกิน 7 คน (Taxi) มีค่ามากที่สุด และรถบรรทุก (Truck) มีค่าน้อยที่สุด โดยรายละเอียดค่าสัมประสิทธิ์การระบายของก๊าซ CO_2 N_2O และ CH_4 ของยานพาหนะแต่ละประเภทได้ แสดงดัง Table 7

Table 7 Emission factors of CO_2, N_2O, and CH_4 from the IVE model by different types of vehicles.

Vehicle type	CO_2		N_2O		CH_4	
	Start (g/start)	Running (g/km)	Start (g/start)	Running (g/km)	Start (g/start)	Running (g/km)
MC	22.8981	88.1520	0.0035	N/A	3.4184	1.0041
PC	62.9293	360.9631	0.0412	0.0150	0.8803	0.8032
Van	100.9860	361.7053	0.0330	0.0145	0.9325	1.2194
Pick-up	104.5035	347.4211	0.0309	0.0139	0.4675	0.6179
PMC	21.6623	95.1769	0.0024	N/A	9.2483	1.3317
Taxi	34.0177	383.6658	0.0356	0.0282	11.7025	21.6837
Bus	192.8077	891.3228	0.1321	0.0706	0.4964	1.8669
Truck	122.7907	983.2768	0.0796	0.0727	0.0095	0.0849

N/A = not applicable

เมื่อทำการประเมินปริมาณการระบายก๊าซเรือนกระจกจากการคำนวณโดยพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การระบายร่วมกับปริมาณยานพาหนะและระยะทางเฉลี่ยของยานพาหนะแต่ละประเภท พบว่า ปริมาณการระบายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ของยานพาหนะแต่ละประเภท มีค่าอยู่ในช่วง 15.0974- 2967.2469 Gg/year โดยรถยนต์นั่งส่วนบุคคลไม่เกิน 7 คน (PC) ระบายก๊าซ CO_2 มากที่สุด และรถจักรยานยนต์สาธารณะ (PMC) ระบายก๊าซ CO_2 น้อยที่สุด สำหรับปริมาณการระบายก๊าซมีเทน (CH_4) ของยานพาหนะแต่ละประเภท มีค่าอยู่ในช่วง 0.0022 - 81.4611 Gg/year โดยรถยนต์รับจ้างบรรทุกคนโดยสารไม่เกิน 7 คน (Taxi) ระบายก๊าซ CH_4 มากที่สุด และรถบรรทุก (Truck) ระบายก๊าซ CH_4 น้อยที่สุด สำหรับปริมาณการระบายก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_2O) ของยานพาหนะแต่ละประเภท มีค่าอยู่ในช่วง $8.1x10^{-8}$- 0.1191

Gg/year โดยรถยนต์นั่งส่วนบุคคลไม่เกิน 7 คน (PC) ระบายก๊าซ N_2O มากที่สุด และรถจักรยานยนต์สาธารณะ (PMC) ระบายก๊าซ N_2O น้อยที่สุด ซึ่งปริมาณก๊าซเรือนกระจกของยานพาหนะแต่ละประเภทแสดงได้ ดัง Table 8

Table 8 Emission of CO_2, N_2O, and CH_4 by different types of vehicles.

Greenhouse gas	Emission (Gg/year)							
	MC	PC	Van	Pick-up	PMC	Taxi	Bus	Truck
CO_2	830.0793	2967.2469	1025.9466	2368.9410	16.8021	1036.4931	644.3071	372.3792
CH_4	7.5827	1.4447	0.3751	0.1989	0.2153	81.4611	2.4482	0.0022
N_2O	$4.3x10^{-6}$	0.1191	0.0358	0.0894	$8.1x10^{-8}$	0.0818	0.0855	0.0327

เมื่อพิจารณาปริมาณการระบายก๊าซเรือนกระจกในภาพรวมของการขนส่งทางถนนในหน่วยของกิกะกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ($GgCO_2eq$) โดยใช้ค่าศักยภาพการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (Global Warming Potential: GWP) อ้างอิงจากรายงานการประเมินครั้งที่ 5 ของ IPCC โดย CH_4 มีค่า GWP เท่ากับ 28 และ N_2O มีค่า GWP เท่ากับ 265 จากผลการศึกษา พบว่า ในปี พ.ศ. 2561 ยานพาหนะประเภทรถยนต์รับจ้างบรรทุกคนโดยสารไม่เกิน 7 คน (Taxi) มีการระบายก๊าซเรือนกระจกในปริมาณที่มากที่สุด รองลงมา ได้แก่ รถยนต์นั่งส่วนบุคคลไม่เกิน 7 คน (PC) รถยนต์บรรทุกส่วนบุคคล (Pick up) รถจักรยานยนต์ (MC) รถบรรทุก (Truck) รถโดยสาร (Bus) รถยนต์นั่งส่วนบุคคลเกิน 7 คน (Van) และรถจักรยานยนต์สาธารณะ (PMC) ตามลำดับ (Figure 4)

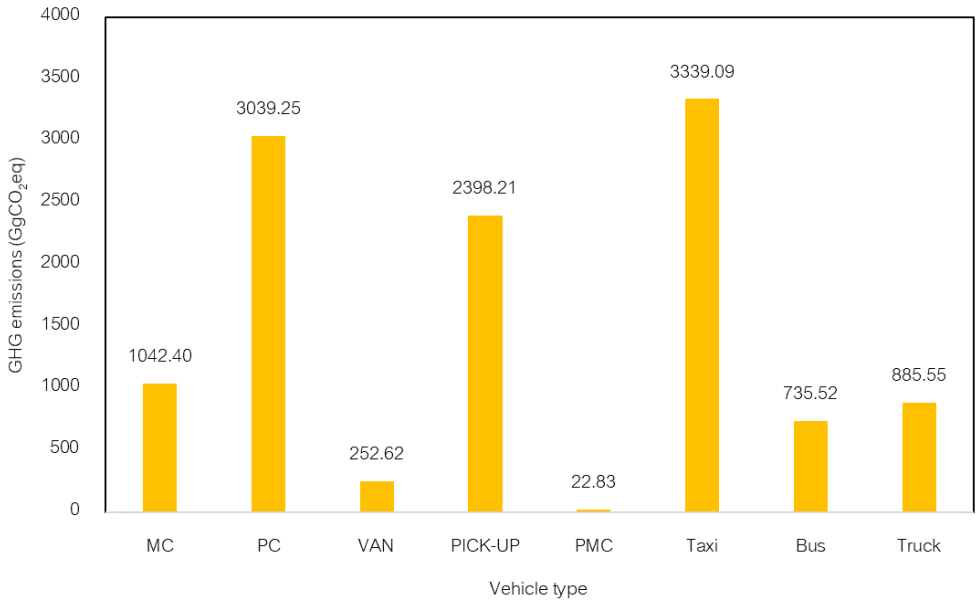


Figure 4 GHG emissions in Bangkok (2018)

มาตรการทางเลือกที่เหมาะสมจากการจำลองสถานการณ์

การศึกษานี้กำหนด ปี พ.ศ. 2561 (ค.ศ. 2018) เป็นปีฐาน โดยจะทำการคาดการณ์ปริมาณการระบายของก๊าซเรือนกระจกจากยานพาหนะของจังหวัดกรุงเทพมหานคร ไปจนถึง ปี พ.ศ. 2571 ซึ่งจำลองสถานการณ์ตามมาตรการการลดก๊าซเรือนกระจกของกรุงเทพมหานคร ได้แก่ 1) การใช้รถโดยสาร (Bus) ใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติ (Natural Gas for Vehicle: NGV) 100% สำหรับยานพาหนะใหม่ และยกเลิกการใช้รถที่มีอายุมากกว่า 20 ปี 2) การใช้รถยนต์รับจ้างบรรทุกคนโดยสารไม่เกิน 7 คน (Taxi) โดยใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติ (Natural Gas for Vehicle: NGV) 100% สำหรับยานพาหนะใหม่ และ 3) การลดการใช้รถยนต์นั่งส่วนบุคคลไม่เกิน 7 คน (PC) โดยหันมาใช้รถสาธารณะและยกเลิกการใช้รถที่มีอายุมากกว่า 15 ปี 4) ลดการใช้รถยนต์บรรทุกส่วนบุคคล (Pick up) มาใช้บริการรถสาธารณะ 50% และ 5) ใช้ทุกมาตรการร่วมกัน

เมื่อนำข้อมูลเข้าแบบจำลอง IVE เพื่อประเมินปริมาณการระบายก๊าซเรือนกระจกในแต่ละมาตรการในแต่ละสถานการณ์จำลอง พบว่า

สถานการณ์ตั้งต้น (Business As Usual: BAU) เป็นสถานการณ์ที่ยังไม่ได้พิจารณามาตรการ พบว่า ยานพาหนะแต่ละประเภท มีการระบายก๊าซเรือนกระจกเพิ่มมากขึ้น ยกเว้น รถยนต์รับจ้างบรรทุกคนโดยสารไม่เกิน 7 คน (Taxi) ที่มีการระบายเพิ่มขึ้นไปจนถึง พ.ศ. 2567 (ค.ศ. 2024) และลดลงตั้งแต่ปี พ.ศ. 2568 (ค.ศ. 2025) เป็นต้นไป เนื่องจากจำนวนยานพาหนะลดลง โดยแสดงข้อมูลปริมาณการระบายก๊าซเรือนกระจกจากยานพาหนะแต่ละประเภทได้ ดัง Figure 5

สถานการณ์จำลองที่ 1 (Bus scenario) ปรับเปลี่ยนรถโดยสารประจำทาง (Bus) ที่เป็นรถใหม่เป็นเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติ 100% และยกเลิกการใช้รถที่มีอายุมากกว่า 20 ปี พบว่า รถโดยสารมีปริมาณการระบายลดลง แต่ในภาพรวมของการระบายปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากยานพาหนะทุกประเภท ยังคงมีปริมาณการระบายเพิ่มขึ้น

สถานการณ์จำลองที่ 2 (Taxi scenario) การใช้ยานพาหนะใหม่สำหรับก๊าซธรรมชาติ ที่ไม่ผ่านการดัดแปลงอุปกรณ์เพื่อเปลี่ยนเชื้อเพลิง ในประเภทรถยนต์รับจ้างบรรทุกคนโดยสารไม่เกิน 7 คน (Taxi) 100% พบว่า มีปริมาณการระบายลดลง แต่ในภาพรวมของการระบายปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากยานพาหนะทุกประเภท ยังคงมีปริมาณการระบายเพิ่มขึ้น

สถานการณ์จำลองที่ 3 (PC scenario) ลดการใช้รถยนต์นั่งส่วนบุคคลไม่เกิน 7 คน (PC) มาใช้บริการรถสาธารณะ 50% ร่วมกับการยกเลิกการใช้รถที่มีอายุมากกว่า 15 ปี พบว่า มีปริมาณการระบายในบางปีลดลงและในบางปีเพิ่มขึ้น แต่ในภาพรวมของการระบายปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากยานพาหนะทุกประเภท ยังคงมีปริมาณการระบายเพิ่มขึ้น

สถานการณ์จำลองที่ 4 (Pick up scenario) ลดการใช้รถยนต์บรรทุกส่วนบุคคล (Pick up) มาใช้บริการรถสาธารณะ 50% พบว่า มีปริมาณการระบายลดลง แต่ในภาพรวมของการระบายปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากยานพาหนะทุกประเภท ยังคงมีปริมาณการระบายเพิ่มขึ้น

สถานการณ์จำลองที่ 5 (Combined scenario) ใช้ทุกมาตรการจากสถานการณ์จำลองที่ 1-4 ร่วมกัน พบว่า ในภาพรวมของการระบายปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากยานพาหนะทุกประเภท มีปริมาณการระบายลดลง

จากสถานการณ์จำลองที่ 1-5 แสดงปริมาณการระบายก๊าซเรือนกระจกจากสถานการณ์จำลองจากมาตรการของยานพาหนะแต่ละประเภทและปริมาณการระบายก๊าซเรือนกระจกที่ระบายจากยานพาหนะทุกประเภท (Figure 6)

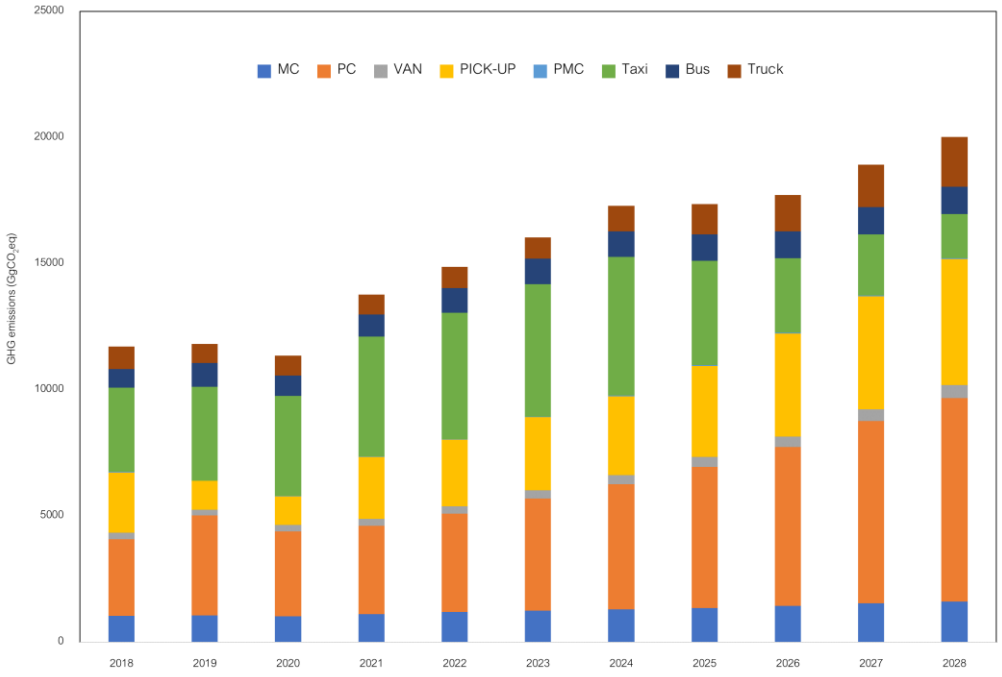
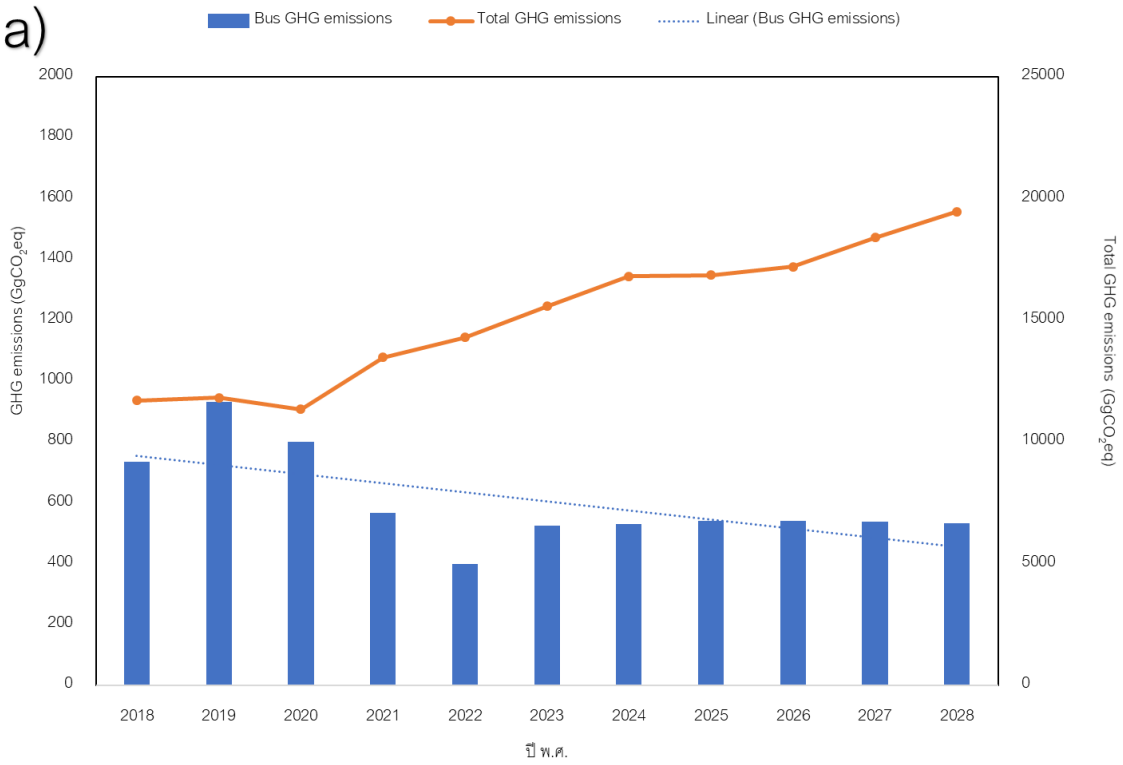
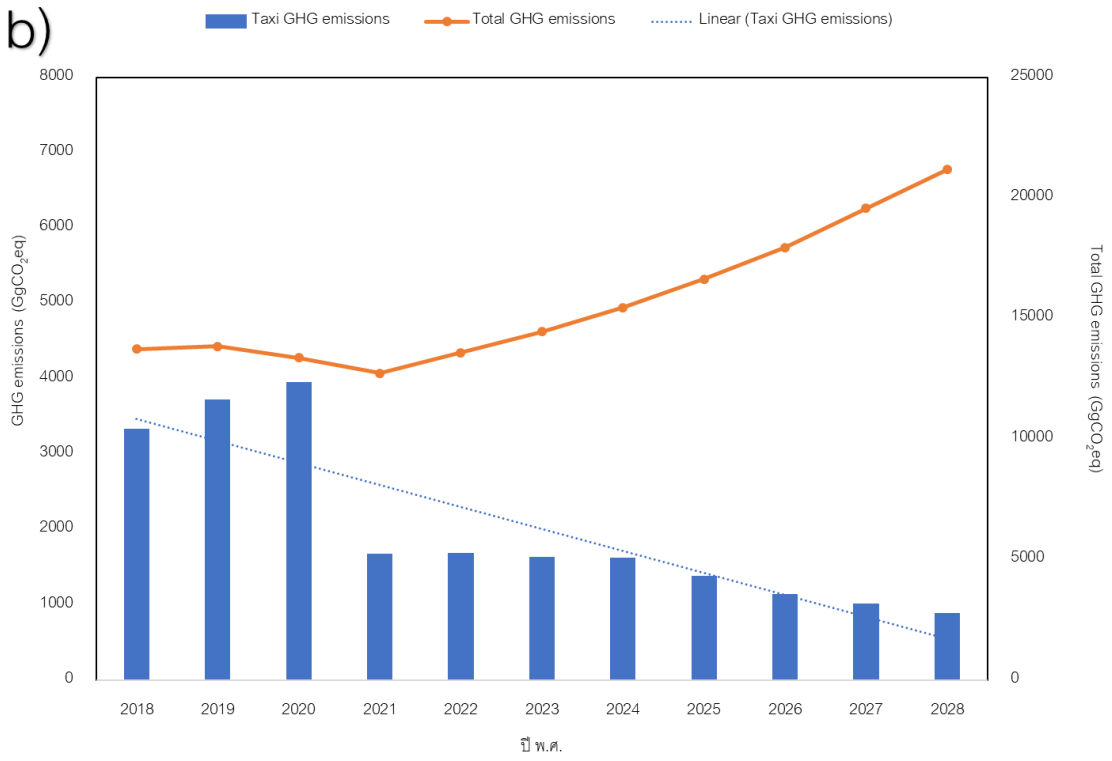


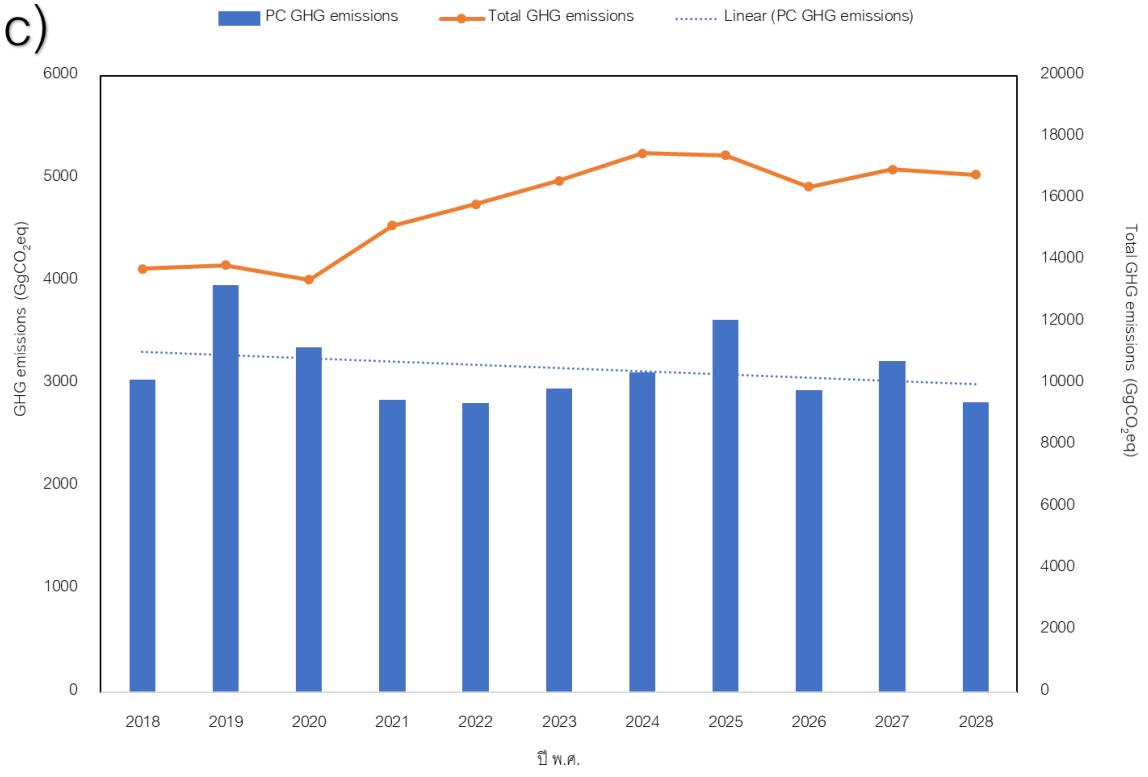
Figure 5 GHG emissions by different types of vehicles from 2018 to 2028 (BAU Scenario).



b)


Taxi GHG emissions
Total GHG emissions
Linear (Taxi GHG emissions)
GHG emissions (GgCO2eq)
Total GHG emissions (GgCO2eq)
8000
7000
6000
5000
4000
3000
2000
1000
0
25000
20000
15000
10000
5000
0
2018
2019
2020
2021
2022
2023
2024
2025
2026
2027
2028
ปี พ.ศ.

c)


PC GHG emissions
Total GHG emissions
Linear (PC GHG emissions)
GHG emissions (GgCO2eq)
Total GHG emissions (GgCO2eq)
6000
5000
4000
3000
2000
1000
0
20000
18000
16000
14000
12000
10000
8000
6000
4000
2000
0
2018
2019
2020
2021
2022
2023
2024
2025
2026
2027
2028
ปี พ.ศ.

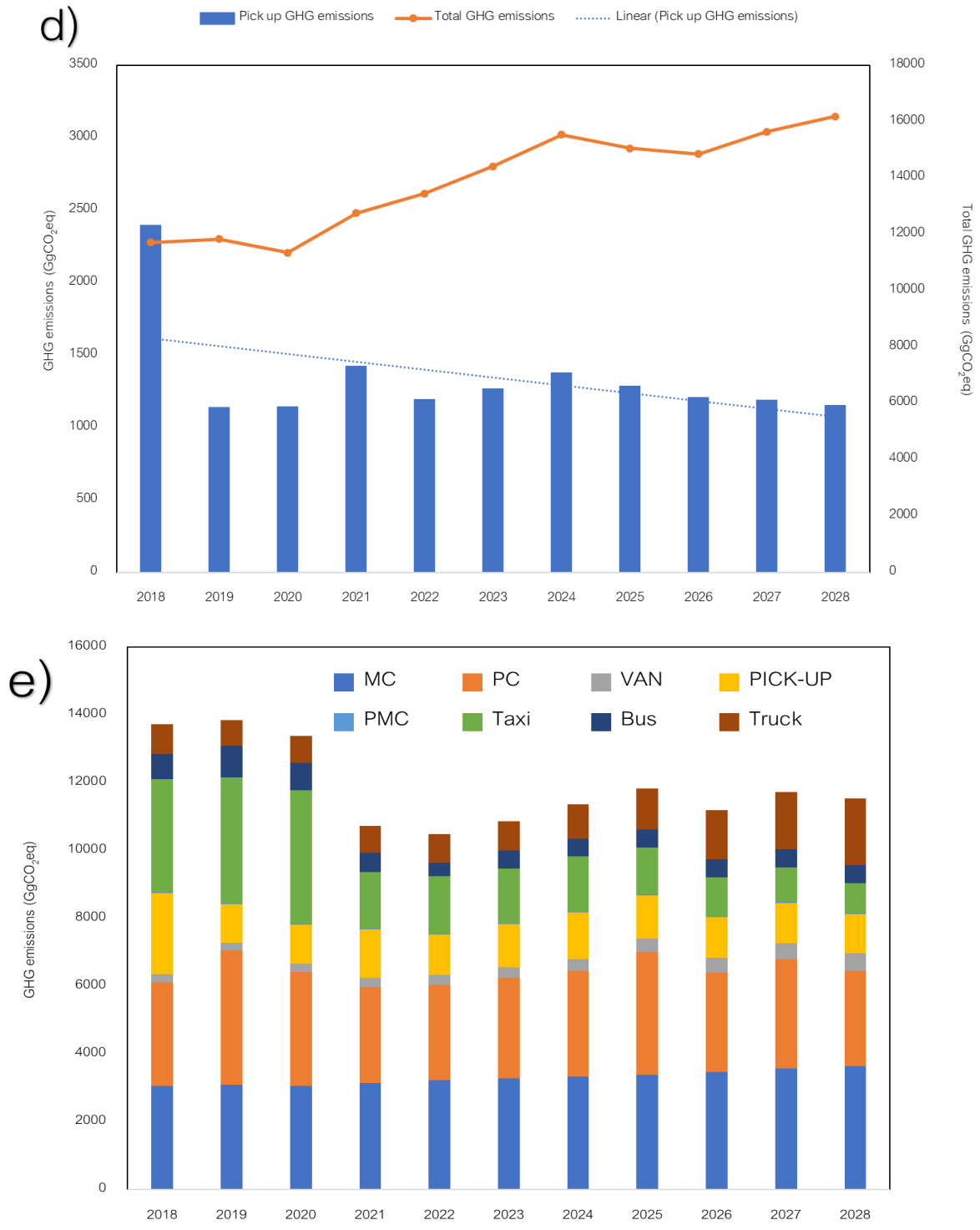


Figure 6 GHG vehicle emission scenarios from 2018 to 2028: a) Bus scenario; b) Taxi scenario; c) PC scenario; d) Pick up scenario; e) Combined scenario

วิจารณ์ผลการวิจัย

ภาพรวมการประเมินปริมาณการระบายก๊าซเรือนกระจกของยานพาหนะทั้งหมดในจังหวัดกรุงเทพมหานคร พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การระบายก๊าซเรือนกระจกต่อการติดเครื่องยนต์ (g/start) มีปริมาณการระบายน้อยกว่าค่าสัมประสิทธิ์การระบายก๊าซเรือนกระจกต่อระยะทาง (g/km) ดังนั้น ระยะทางสะสมเฉลี่ยของยานพาหนะ จึงเป็นปัจจัยสำคัญในการระบายก๊าซเรือนกระจก ภายใต้ปัจจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ เทคโนโลยีควบคุมไอเสีย ประเภทของเชื้อเพลิง และสัดส่วนระยะทางสะสมเฉลี่ยบนฐานอายุของยานพาหนะ (Shahid *et al*., 2014) ซึ่งเมื่อนำค่าสัมประสิทธิ์การระบายของก๊าซเรือนกระจกแต่ละชนิดในยานพาหนะแต่ละประเภท มาประเมินปริมาณการระบายของก๊าซเรือนกระจกแต่ละชนิดในหน่วย Gg/year โดยพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การระบายก๊าซเรือนกระจกแต่ละชนิดร่วมกับจำนวนยานพาหนะและระยะทางสะสมเฉลี่ยในการขับขี่ พบว่า ประเภทยานพาหนะที่มีค่าสัมประสิทธิ์การระบายก๊าซ CO_2 N_2O และ CH_4 สูงที่สุด อาจไม่ได้เป็นประเภทยานพาหนะที่ระบายก๊าซเรือนกระจกชนิดนั้นๆ ในปริมาณที่มากที่สุด ได้แก่ รถบรรทุก (Truck) เป็นยานพาหนะประเภทที่มีค่าสัมประสิทธิ์การระบายต่อระยะทาง (g/km) ของก๊าซ CO_2 และ N_2O มากที่สุด แต่เมื่อนำมาประเมินปริมาณการระบายก๊าซเรือนกระจกแต่ละชนิดในหน่วย Gg/year ในภาพรวม ปรากฏว่า รถยนต์นั่งส่วนบุคคลไม่เกิน 7 คน (PC) เป็นประเภทยานพาหนะที่ระบายก๊าซ CO_2 และ N_2O มากที่สุด เนื่องจากจำนวนรถยนต์นั่งส่วนบุคคลไม่เกิน 7 คน (PC) มีมากกว่ารถบรรทุก (Truck) ถึง 31 เท่า จึงทำให้การปริมาณการระบายก๊าซ CO_2 และ N_2O ในภาพรวมของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลไม่เกิน 7 คน (PC) มีปริมาณมากที่สุด นอกจากนี้ ผลการศึกษาปริมาณการระบายของก๊าซเรือนกระจก ทั้ง 3 ชนิด พบว่า ก๊าซ CO_2 มีปริมาณการระบายมากที่สุด ซึ่งเกิดจากการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ของเครื่องยนต์ โดยเฉพาะยานพาหนะใหม่ที่มีเทคโนโลยีการเผาไหม้ที่ดีที่สุด เมื่อเทียบกับยานพาหนะที่มีอายุมากขึ้น (Al-Arkawazi, 2020) สำหรับปริมาณการระบายของก๊าซเรือนกระจกในหน่วย Gg/year รองลงมาได้แก่ ก๊าซ CH_4 และ N_2O ตามลำดับ โดยก๊าซ CH_4 จะมีปริมาณการระบายในปริมาณที่มากจากการใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติ (NGV) ในเครื่องยนต์ที่มีการดัดแปลงมา เพื่อใช้ NGV และยานพาหนะที่มีอายุเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้เชื้อเพลิงลดลง โดยเฉพาะหากเป็นเครื่องยนต์ที่มีการดัดแปลง ยิ่งจะทำให้มีการระบายก๊าซ CH_4 เพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้ ก๊าซ CH_4 ยังมีการระบายจากยานพาหนะที่ใช้เชื้อเพลิงอื่นๆ นอกเหนือจาก NGV ได้แก่ LPG น้ำมันเบนซิน รวมถึงการใช้เชื้อเพลิงเบนซินร่วมกับ Hybrid แต่ในปริมาณที่น้อยมาก (Kalajahi *et al*., 2019)

นอกจากนี้ เมื่อนำค่าปริมาณการระบายก๊าซเรือนกระจกมาประเมินในหน่วย กิกะกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ($GgCO_2eq$) ในปี พ.ศ. 2561 พบว่า รถยนต์รับจ้างบรรทุกคนโดยสารไม่เกิน 7 คน (Taxi) มีปริมาณการระบายก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด เนื่องมาจากมีการระบายก๊าซมีเทน (CH_4) ในปริมาณที่มากที่สุด จากการใช้เชื้อเพลิงที่เป็นก๊าซธรรมชาติสำหรับรถยนต์ (NGV) ที่มีการดัดแปลงจากเครื่องยนต์เบนซินและนำไปติดตั้งอุปกรณ์เชื้อเพลิง NGV จึงทำให้มีค่าสัมประสิทธิ์การระบายสูงกว่ายานพาหนะที่เป็นเครื่องยนต์ที่ใช้ NGV โดยไม่ได้ผ่านการดัดแปลง (Pan *et al*., 2020) รวมถึงยังมีระยะทางเฉลี่ยต่อปี (กิโลเมตร) มากที่สุด และก๊าซมีเทน (CH_4) ยังเป็นก๊าซที่มีศักยภาพที่ทำให้เกิดโลกร้อนถึง 28 เท่าของก๊าซ CO_2 จึงทำให้รถยนต์รับจ้างบรรทุกคนโดยสารไม่เกิน 7 คน (Taxi) เป็นประเภทของยานพาหนะที่มีปริมาณการระบายก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดของจังหวัดกรุงเทพมหานคร อย่างไรก็ตาม เมื่อทำการคาดการณ์ในสถานการณ์ตั้งต้น (BAU scenario) ไปจนถึงปี พ.ศ. 2571 พบว่า ประเภทยานพาหนะที่ระบายก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดในกรุงเทพมหานครเปลี่ยนเป็นยานพาหนะประเภทรถยนต์

นั่งส่วนบุคคลไม่เกิน 7 คน (PC) ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2568 เป็นต้นไป จำนวนยานพาหนะสะสมลดลง เนื่องจากมีการยกเลิกใช้งานของยานพาหนะประเภทรถยนต์รับจ้างบรรทุกคนโดยสารไม่เกิน 7 คน (Taxi) ที่มีอายุมากกว่า 12 ปี ตามกฎหมายกำหนด จึงทำให้ปริมาณการระบายก๊าซเรือนกระจกของรถยนต์รับจ้างบรรทุกคนโดยสารไม่เกิน 7 คน (Taxi) ลดลงตามไปด้วย

สำหรับ 5 สถานการณ์จำลองที่กำหนดตามนโยบายในการจัดการก๊าซเรือนกระจกที่ระบายจากยานพาหนะของจังหวัดกรุงเทพมหานครร่วมกัน ผลการศึกษานั้น พบว่า สถานการณ์จำลองที่ 1 (Bus scenario) รถโดยสาร (Bus) มีปริมาณการระบายก๊าซเรือนกระจกมีแนวโน้มลดลง จากการใช้เชื้อเพลิง NGV สำหรับยานพาหนะใหม่ ทั้งหมด และยกเลิกการใช้รถโดยสารที่มีอายุมากกว่า 20 ปี ซึ่งสามารถลดก๊าซเรือนกระจกที่ระบายจากรถโดยสารได้สูงสุดถึง ร้อยละ 45.56 สถานการณ์จำลองที่ 2 (Taxi scenario) รถยนต์รับจ้างบรรทุกคนโดยสารไม่เกิน 7 คน (Taxi) มีปริมาณการระบายก๊าซเรือนกระจกมีแนวโน้มลดลง จากการใช้เชื้อเพลิง NGV โดยไม่ผ่านการดัดแปลงเครื่องยนต์ สำหรับยานพาหนะใหม่ทั้งหมด ซึ่งสามารถลดก๊าซเรือนกระจกที่ระบายจาก Taxi ได้สูงสุดถึง ร้อยละ 73.43 สถานการณ์จำลองที่ 3 (PC scenario) มีปริมาณการระบายก๊าซเรือนกระจกลดลงในบางปีและเพิ่มขึ้นในบางปี เนื่องจากมีสัดส่วนการใช้เทคโนโลยีของยานพาหนะ และสัดส่วนการใช้เชื้อเพลิงที่หลากหลาย อย่างไรก็ตาม ยังสามารถลดปริมาณการระบายก๊าซเรือนกระจกจาก รถยนต์นั่งส่วนบุคคลไม่เกิน 7 คน (PC) ได้มากที่สุดประมาณ ร้อยละ 7.31 ในปี พ.ศ. 2571 เนื่องจากยานพาหนะที่มีอายุมากกว่า 20 ปี ถูกยกเลิกใช้ ประกอบกับสัดส่วนยานพาหนะที่มีอายุมากหรือมีระยะทางขับขี่สะสมมากกว่า 161,000 กิโลเมตร ของทุกประเภทยานพาหนะมีสัดส่วนลดลงเล็กน้อยจากปี พ.ศ. 2570 ซึ่งส่งผลทำให้ก๊าซเรือนกระจกในภาพรวมลดลง สถานการณ์จำลองที่ 4 (Pick up scenario) มีปริมาณการระบายก๊าซเรือนกระจกมีแนวโน้มลดลง จากการลดปริมาณการใช้ยานพาหนะส่วนบุคคลไปใช้บริการขนส่งมวลชน ร้อยละ 50 ส่งผลให้ระยะทางสะสมเฉลี่ยรายปีของยานพาหนะลดลง โดยสามารถลดก๊าซเรือนกระจกที่ระบายจาก Pick up ได้สูงสุดถึง ร้อยละ 51.83 จากทั้ง 4 สถานการณ์จำลองดังกล่าว เมื่อพิจารณาปริมาณการระบายก๊าซเรือนกระจกจากยานพาหนะทุกประเภทในแต่ละสถานการณ์จำลอง พบว่า ในภาพรวมปริมาณการระบายก๊าซเรือนกระจกไม่ได้ลดลงเมื่อใช้เพียงมาตรการใดมาตรการหนึ่ง เนื่องจากในขณะที่ใช้มาตรการใดมาตรการหนึ่งจากสถานการณ์จำลอง ยานพาหนะประเภทอื่นๆก็ยังมีการระบายก๊าซเรือนกระจกอยู่ ดังนั้น สถานการณ์จำลองที่ 5 จึงเป็นการนำมาตรการทั้งหมดจากสถานการณ์จำลองที่ 1-4 มาใช้ร่วมกัน จะเห็นได้ว่า ปริมาณการระบายก๊าซเรือนกระจกในภาพรวมลดลงอย่างชัดเจน นั่นหมายความว่า การใช้มาตรการใดมาตรการหนึ่งในการจัดการก๊าซเรือนกระจกที่ระบายจากยานพาหนะในภาพรวมยังไม่สามารถทำให้ก๊าซเรือนกระจกลดลงได้ ควรพิจารณามาตรการอื่นๆ ที่สอดคล้องและเกี่ยวข้องในการลดก๊าซเรือนกระจกในภาพรวม

สรุปผลการวิจัย

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์ในการประเมินก๊าซเรือนกระจกที่ระบายจากยานพาหนะ 8 ประเภทในจังหวัดกรุงเทพมหานคร โดยใช้แบบจำลอง IVE เพื่อประเมินค่าสัมประสิทธิ์การระบายก๊าซเรือนกระจกจากปี พ.ศ. 2561 เป็นปีฐานและคาดการณ์ไปจนถึงปี พ.ศ. 2571 ซึ่งมีหลายปัจจัยที่ส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การระบายก๊าซเรือนกระจกมีความแตกต่างกันในแต่ละปี ประกอบไปด้วย ประเภทของยานพาหนะ จำนวนยานพาหนะ เทคโนโลยียานพาหนะ ชนิดและลักษณะของเชื้อเพลิง ลักษณะการขับขี่ และระยะทางในการขับขี่ จากผลการศึกษาในปีฐาน พ.ศ. 2561 พบว่า รถยนต์รับจ้างบรรทุก

คนโดยสารไม่เกิน 7 คน (Taxi) มีการระบายก๊าซเรือนกระจกในปริมาณที่มากที่สุด (ร้อยละ 28.50) รองลงมา ได้แก่ รถยนต์นั่งส่วนบุคคลไม่เกิน 7 คน (PC) (ร้อยละ 25.94) รถบรรทุกส่วนบุคคล (Pick up) (ร้อยละ 20.47) รถจักรยานยนต์ (MC) (ร้อยละ 8.90) รถบรรทุก (Truck) (ร้อยละ 7.56) รถโดยสาร (Bus) (ร้อยละ 6.28) รถยนต์นั่งส่วนบุคคลเกิน 7 คน (Van) (ร้อยละ 2.16) และ รถจักรยานยนต์สาธารณะ (PMC) (ร้อยละ 0.19) ตามลำดับ และเมื่อทำการคาดการณ์ปริมาณการระบายก๊าซเรือนกระจกไปจนถึงปี พ.ศ. 2571 พบว่า ในปี พ.ศ. 2568 รถยนต์นั่งส่วนบุคคลไม่เกิน 7 คน (PC) มีการระบายก๊าซเรือนกระจกในปริมาณที่มากที่สุด (ร้อยละ 32.22) รองลงมา ได้แก่ รถยนต์รับจ้างบรรทุกคนโดยสารไม่เกิน 7 คน (Taxi) (ร้อยละ 23.82) รถบรรทุกส่วนบุคคล (Pick up) (ร้อยละ 20.75) รถจักรยานยนต์ (MC) (ร้อยละ 7.80) รถบรรทุก (Truck) (ร้อยละ 6.94) รถโดยสาร (Bus) (ร้อยละ 6.06) รถยนต์นั่งส่วนบุคคลเกิน 7 คน (Van) (ร้อยละ 2.27) และ รถจักรยานยนต์สาธารณะ (PMC) (ร้อยละ 0.14) ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาสถานการณ์จำลองพบว่า สถานการณ์จำลองที่ 5 (Combined scenario) มีปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ระบายจากยานพาหนะทั้งหมดในภาพรวมลดลงประมาณ ร้อยละ 2.63-23.68 จะเห็นได้ว่า การใช้ยานพาหนะที่มีเทคโนโลยีการควบคุมมลพิษอากาศที่มีประสิทธิภาพดีขึ้น การใช้เชื้อเพลิงทางเลือกที่สะอาดมากขึ้น อาจจะไม่เพียงพอสำหรับการลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ระบายจากยานพาหนะในภาพรวมได้ แต่หากมีการลดการใช้ยานพาหนะส่วนบุคคลโดยหันมาใช้บริการขนส่งสาธารณะเพิ่มขึ้น จะทำให้การจัดการก๊าซเรือนกระจากในภาพรวมมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น กล่าวคือ การใช้มาตรการหลากหลายมาตรการร่วมกันจะส่งผลทำให้ภาพรวมของปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากยานะพาหนะมีแนวโน้มลดลงได้อย่างชัดเจน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณฐานข้อมูลอัตราการระบายก๊าซเรือนกระจกจากกรมควบคุมมลพิษ งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม เพื่อสนับสนุนงานมูลฐาน (Fundamental Fund)

เอกสารอ้างอิง

Al-Arkawazi, S.A.F. (2020). Studying the Relation between the Engine Size and Manufacturing Year of Gasoline-Fueled Vehicles and Exhaust Emission Percentages and Concentrations. *Journal of Materials and Environmental Sciences,* 11(2), 196-219.

Energy Policy and Planning Office (EPPO). (2021). *(1st ed.). Energy Statistics of Thailand 2021*. Nonthaburi : Sahamitr Printing & Publishing Company Limited.

Feng, X., Wang, T. & Zhao, Q. (2013). The Application of the IVE Model for Establishing the Vehicle Emission Inventory in the urban areas of Chongqing. *Applied Mechanics and Materials, 361-363*, 854-859.

Ghadiri, Z., Rashidi, Y. & Broomandi, P. (2017). Evaluation Euro IV of effectiveness in transportation systems of Tehran on air quality: Application of IVE model. *Pollution, 3*(4), 639-653.

International Sustainable Systems Research Center (ISSRC) (2008). *IVE Model Users Manual Version 2.0.*

Kalajahi, M.J., Khazini, L., Rashidi, Y. & Heris, S.Z. (2019). Development of Reduction Scenarios Based on Urban Emission Estimation and Dispersion of Exhaust Pollutants from Light Duty Public Transport: Case of Tabriz, Iran. *Emission Control Science and Technology, 6,* 86–104.

Limanond, Th., Pongthanaisawan, J., Watthanaklang, D., & Sangphong, O. (2009). An Analysis of Vehicle Kilometers of Travel of Major Cities in Thailand, Final Report, Bangkok: Asian Transportation Research Society (ATRANS).

Myhre, G., D. Shindell, F.-M. Bréon, W. Collins, J. Fuglestvedt, J. Huang, D. Koch, J.-F. Lamarque, D. Lee, B. Mendoza, T. Nakajima, A. Robock, G. Stephens, T. Takemura & H. Zhang. (2013). *Anthropogenic and Natural Radiative Forcing*. *In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Noichaisin, L. (2018). Carbon Dioxide Emission from Human Activities: A Case Study of Watthana Nakhon Municipal District, Watthana Nakhon District, Sa Kaeo Province. *Burapha Science Journal*, *22*(3), 157-167.

Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning (ONEP). (2019). *Thailand's third National Communication to the UNFCCC*. Bangkok: Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning

Outapa, P. and Thepanondh, S. (2014). Development of Air toxic emission Factor and inventory of On-road Mobile Sources. *Journal of Air Soil and Water Research*, *7*, 1–10.

Outapa, P., Ruangkawsakun, J., Khantee, W. & Thepanondh, S. (2017). Dynamic Air Toxic Emission Factor of Motorcycles in Bangkok, Thailand. *Environmental Engineering and Management Journal, 16*(12), 2823-2830.

Outapa, P., Thepanodh, S., & Kondo, A. (2016). Effect of speed on emissions of air pollutants in urban environment: Case study of truck emissions. *International Journal of GEOMATE, 11*(23), 2000–2007.

Outapa, P., Thepanondh, T., Kondo, A. & Pala-En, N. (2018). Development of air pollutant emission factors under real-world truck driving cycle. *International Journal of Sustainable Transportation, 12*(6*),* 432-440.

Pan, D., Tao, L., & Sun, K. (2020). Methane emissions from natural gas vehicles in China. *Nature Communications*, 11, 4588.

Shafie-Pour, M. & Tavakoli, A. (2013). On-Road Vehicle Emissions Forecast Using IVE Simulation Model. *International Journal of Environmental Research*, *7*(2), 367-376.

Shahid, S., Minhans, A., & Che Puan, O. (2014). Assessment of Greenhouse Gas Emission Reduction Measures in Transportation Sector of Malaysia. *Jurnal Teknologi*, 70(4), 1-8.

Vieweg, M. (2017). *Bottom-Up GHG Inventory and MRV of Measures: Synergies* and Limitations in the Transport Sector. Bonn and Eschborn, Germany: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH.