



วารสารวิชาการ วิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ. UBU Engineering Journal

บทความวิจัย

การคาดการณ์ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ลดลงจากการพัฒนาระบบ รถไฟฟ้ารางเบาและการพัฒนาเน้นการขนส่งเชื่อมต่อโดยใช้วิธีบอททอมอัป 2

Prediction of carbon dioxide emissions reductions from light rail transit and transit oriented development by using the bottom-up 2 method

ณัฐพจน์ ฝ่ายบุญ¹ พนภุชณ คลังบุญครอง^{1*} พัฒนพงศ์ โตภาคนาม² พีร์นิธิ อักษร³ ณัฐพล พรสัตยวงศ์¹

¹ ศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานอย่างยั่งยืน สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40002

² วิทยาลัยการปกครองท้องถิ่น มหาวิทยาลัยขอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40002

³ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40002

Natthapoj Faiboun¹ Pongrid Klungboonkrong^{1*} Pattanapong Topark-ngarm² Preenithi Aksorn³

Nattaphon Bhonsattayawong¹

¹Sustainable Infrastructure Research and Development Center (SIRDC), Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University, Khon Kaen 40002, Thailand

² College of Local Administration, Khon Kaen University, Khon Kaen 40002, Thailand

³ Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University, Khon Kaen 40002, Thailand

* Corresponding author.

E-mail: ponklung@gmail.com; Telephone: 081 544 2187

วันที่รับบทความ 28 พฤษภาคม 2563; วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 1 25 มิถุนายน 2563 ; วันที่ตอบรับบทความ 13 สิงหาคม 2563

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์และประเมินผลปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ที่ลดลงจากการพัฒนารถไฟฟ้ารางเบา (Light Rail Transit, LRT) การพัฒนาเน้นการขนส่งเชื่อมต่อ (Transit-Oriented Development, TOD) และมาตรการสนับสนุนต่าง ๆ เช่น การปรับปรุงระบบรถเสริม (Feeder system) และการใช้ระบบตั๋วร่วม (Integrated ticket system) เป็นต้น ในพื้นที่ผังเมืองรวมเมืองขอนแก่น งานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลองอุปสงค์การเดินทางแบบหลายประเภท (Multimodal Travel Demand Model, MTDM) เพื่อคาดการณ์ปริมาณการเดินทางในพื้นที่ศึกษาในระหว่างปี พ.ศ. 2562 ถึง 2592 และประยุกต์ใช้วิธีบอททอมอัป 2 (Bottom-Up 2 method) เพื่อคำนวณหาปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ ภายใต้สถานการณ์จำลองต่าง ๆ ที่กำหนดขึ้น จากการวิเคราะห์พบว่าเมื่อมีการดำเนินการโครงการพัฒนาระบบ LRT TOD และมาตรการสนับสนุนต่าง ๆ ใน ปี พ.ศ. 2564 2568 2572 2582 และ 2592 จะส่งผลให้ค่าปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ ลดลง (เมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่มีโครงการ) ในปีดังกล่าวเท่ากับ 1,296 (0.5%) 16,610 (6.1%) 36,430 (11.9%) 53,848 (13.3%) และ 63,588 (13.3%) ตามลำดับ และในช่วงระยะเวลา 30 ปี (ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2562 ถึง 2592) จะสามารถลดการปล่อยก๊าซ CO₂ สะสมได้ ประมาณ 1.23 ล้านตัน

คำสำคัญ

การลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์, ก๊าซเรือนกระจก, วิธีบอททอมอัป 2, แบบจำลองอุปสงค์การเดินทางแบบหลายประเภท, รถไฟฟ้ารางเบา, การพัฒนาเน้นการขนส่งเชื่อมต่อ

Abstract

This paper aims to analyze and evaluate the reduction of carbon dioxide (CO₂) emissions as a result of the development of Light Rail Transit (LRT), Transit-Oriented Development (TOD) as well as others supporting measures such as the improvement of the feeder systems and integrated ticket system in Khon Kaen town planning area. This research applied the Multimodal Travel Demand Model (MTDM) to estimate the travel demands in the study area in the year 2019 to 2049 and also adopt the Bottom-Up 2 method to calculate the amount of CO₂ emissions under various set up scenarios. From the analysis result, it was found that when the LRT, TOD and other supporting measure development were implemented in 2021, 2025, 2029, 2039 and 2049 the magnitudes of CO₂ emissions would reduce (when compared to the without project cases in the same year, equal to 1,296 (0.5%) 16,610 (6.1%) 36,430 (11.9%) 53,848 (13.3%) and 63,588 (13.3%) tons per year, respectively. In addition, in the 30 years period (from 2019 to 2049), the summation of the CO₂ emission reduction will be approximately 1.23 million tons.

Keywords

CO₂ emission reduction; greenhouse gases; bottom-up 2; multimodal travel demand model (MTDM); light rail transit (LRT); transit-oriented development (TOD)

1. บทนำ

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเป็นหนึ่งในปัญหาระดับโลกที่สำคัญที่สุดในปัจจุบัน กิจกรรมด้านการขนส่งเป็นแหล่งกำเนิดที่สำคัญในการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ทั่วโลก และแนวโน้มเช่นนี้จะยังคงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ถึงแม้จะมีการปรับปรุงเทคโนโลยียานยนต์ เครื่องยนต์และเชื้อเพลิงให้ทันสมัยอย่างมากก็ตาม ในการลดปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ จากภาคการขนส่งเป็นเรื่องยากและมีความซับซ้อนสูง [1] การใช้น้ำมันเชื้อเพลิงในภาคการขนส่งทั่วโลกคิดเป็นร้อยละ 64.5 และคิดเป็นร้อยละ 25 ของการปล่อยก๊าซ CO₂ ทั่วโลก [2] การใช้พลังงานเชื้อเพลิงในกิจกรรมการขนส่งคาดว่าจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าภายในปี ค.ศ. 2050 [3]

การพัฒนาการขนส่งอย่างยั่งยืน (Sustainable transport development) มีความเชื่อมโยงที่เหนียวแน่นกับเป้าประสงค์การพัฒนาอย่างยั่งยืน (Sustainable Development Goals, SDGs) [4] ซึ่ง SDGs ข้อที่ 13 ได้กล่าวถึงการดำเนินการเร่งด่วนเพื่อรับมือกับปัญหาด้านผลกระทบสิ่งแวดล้อม ความปลอดภัยและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของโลก และในเป้าหมายที่ 13.2 คือ การบูรณาการมาตรการด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในการวางแผนระดับชาติ [4] ดังนั้นปัญหาผลกระทบสิ่งแวดล้อมจึงเป็นปัญหาที่สำคัญที่จะต้องได้รับการแก้ไข โดยเฉพาะอย่างยิ่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในภาคการขนส่ง

เมืองหลักในประเทศไทยส่วนใหญ่ได้รับผลกระทบจากการขยายตัวของเมืองอย่างไร้ทิศทาง (City sprawl) ซึ่งทำให้ประชาชนจำเป็นต้องเดินทางด้วยรถยนต์ส่วนบุคคล การขาดโครงสร้างพื้นฐานด้านระบบขนส่งสาธารณะที่เหมาะสม และการควบคุมการใช้ประโยชน์ที่ดินที่มีประสิทธิภาพจะนำไปสู่ผลกระทบและปัญหาต่าง ๆ เช่น การจราจรติดขัด อุบัติเหตุทางถนน ผลกระทบสิ่งแวดล้อม การใช้พลังงานเชื้อเพลิงที่ไร้ประสิทธิภาพ ภาวะโลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ เป็นต้น ดังนั้นการเสนอยุทธศาสตร์และนโยบายด้านการขนส่งและการใช้ประโยชน์ที่ดินแบบบูรณาการสำหรับเมืองที่พัฒนาแล้วและเมืองที่กำลังพัฒนาเพื่อส่งเสริมการพัฒนาการขนส่งอย่างยั่งยืนจึงเป็นสิ่งที่มีความสำคัญอย่างยิ่ง

สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร (สนข.) ได้มีโครงการการศึกษาออกแบบรายละเอียดระบบขนส่งสาธารณะในเขตจังหวัดขอนแก่นและผลกระทบสิ่งแวดล้อม [5] โดยผลการศึกษาพบว่าระบบขนส่งสาธารณะที่เหมาะสมกับเมืองขอนแก่น คือ รถไฟฟ้ารางเบา (Light Rail Transit, LRT) และได้มีการศึกษาเบื้องต้นในการพัฒนานำการขนส่งเชื่อม ต่อ (Transit-Oriented Development, TOD) TOD เป็นแนวทางการพัฒนาพื้นที่ที่เกิดขึ้นควบคู่ไปกับการพัฒนาระบบขนส่งสาธารณะในเมือง หมายถึง แนวคิดการพัฒนาพื้นที่โดยรอบสถานีขนส่งเพื่ออำนวยความสะดวกแก่การ

เดินทางของผู้โดยสารที่จะเปลี่ยนการเดินทาง เป็นการส่งเสริมให้ผู้โดยสารลดใช้รถยนต์ส่วนบุคคลและหันมาใช้บริการขนส่งมวลชนโดยเฉพาะการขนส่งระบบราง [6] โดยในงานวิจัยนี้จะใช้มาตรการ LRT TOD และมาตรการสนับสนุนต่าง ๆ เพื่อวิเคราะห์และประเมินผลปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ ที่ลดลงในพื้นที่ผังเมืองรวมเมืองขอนแก่นต่อไป

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ คือ เพื่อวิเคราะห์และประเมินผลปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ ที่ลดลงจากการพัฒนาระบบ LRT TOD และมาตรการสนับสนุนต่าง ๆ ในพื้นที่ผังเมืองรวมเมืองขอนแก่น

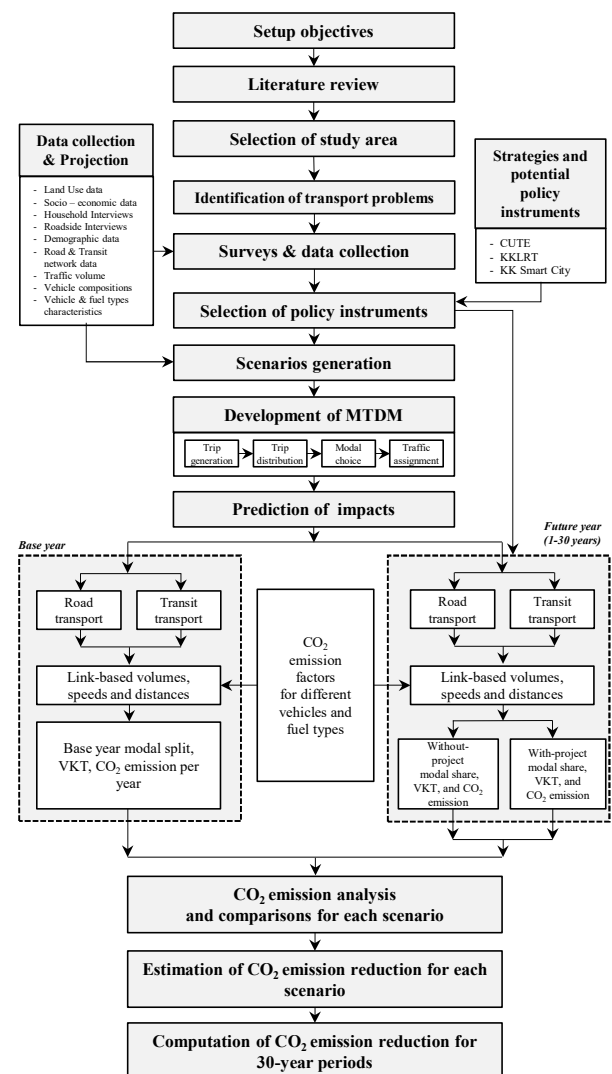
2. ระเบียบวิธีวิจัย

ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัยสามารถสรุปได้ดังนี้ คือ การกำหนดวัตถุประสงค์ของงานวิจัย (ได้อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 1) โดยขั้นตอนถัดมาจะเป็นการทบทวนวรรณกรรม (ได้อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 2.1) การคัดเลือกพื้นที่ศึกษา (ได้อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 2.2) การระบุปัญหาปัญหาด้านการจราจรและขนส่ง (ได้อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 2.3) การสำรวจและรวบรวมข้อมูล (ได้อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 2.4) การคัดเลือกมาตรการเชิงนโยบาย (ได้อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 2.5) เพื่อนำไปสู่การสร้างสถานการณ์จำลอง (ได้อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 2.6) และการประยุกต์ใช้แบบจำลองอุปสงค์การเดินทางแบบหลายประเภท (Multimodal Travel Demand Model, MTDM) ซึ่งใช้ในคาดการณ์อุปสงค์การเดินทางในอนาคต (ได้อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 2.7) และผลจากการประยุกต์ใช้แบบจำลอง MTDM จะนำไปสู่การคาดการณ์ปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ จากภาคการขนส่งโดยวิธี Bottom-Up 2 ภายใต้สถานการณ์จำลองในปีปัจจุบันและอนาคตทั้งกรณีที่มีโครงการและไม่มีโครงการในปีที่พิจารณา (ได้อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 2.8) รวมถึงวิเคราะห์และเปรียบเทียบการประมาณการปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ ที่ลดลงในรอบระยะเวลา 30 ปี (ได้อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 2.9) โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยแสดงไว้ในรูปที่ 1 และขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยในรูปที่ 1 มีรายละเอียดดังนี้

2.1 การทบทวนวรรณกรรม

S6-5 Group [8] ได้ประยุกต์ใช้วิธี Leap-frog method และวิธี Back-casting approach กับโครงข่ายถนนในพื้นที่ผัง

เมืองรวมเมืองขอนแก่น และได้พิจารณาสถานการณ์จำลองหลายสถานการณ์จากหลักการของ CUTE [9] สำหรับการลดการปล่อยก๊าซ CO₂ และสรุปว่าการบูรณาการกลยุทธ์การหลีกเลี่ยง (Avoid, A) (มาตรการการพัฒนาเน้นการขนส่งเชื่อมต่อ หรือ TOD) กลยุทธ์การการเปลี่ยนรูปแบบการเดินทาง (Shift, S) (มาตรการรถโดยสารด่วนพิเศษ) และกลยุทธ์การปรับปรุงระบบการขนส่ง (Improve, I) (การใช้มาตรการไฟฟ้าและยานพาหนะไฮบริด) จะสามารถลดการปล่อยก๊าซ CO₂ จากภาคการขนส่งได้ประมาณร้อยละ 50 ในปี ค.ศ. 2030 เมื่อเทียบกรณีฐาน



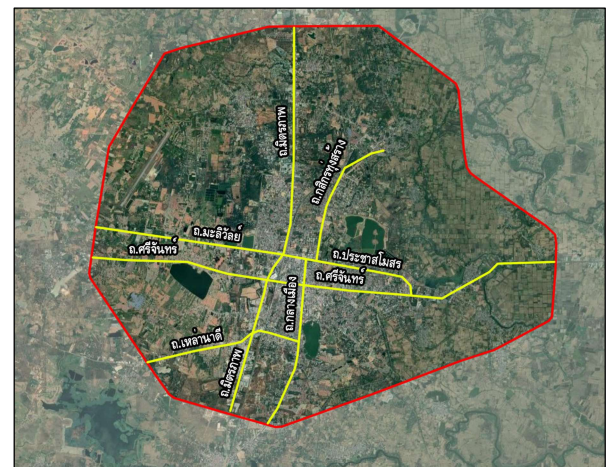
Remark: CUTE = Comparative study on Urban Transport and the Environment (CUTE) (Nakamura, Hayashi & May, 2004)
 KKLRT = Khon Kaen Light Rail Transit (OTP, 2018)
 KK Smart City = Khon Kaen Smart City (OTP, 2018)

รูปที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย (ดัดแปลงมาจาก [7])

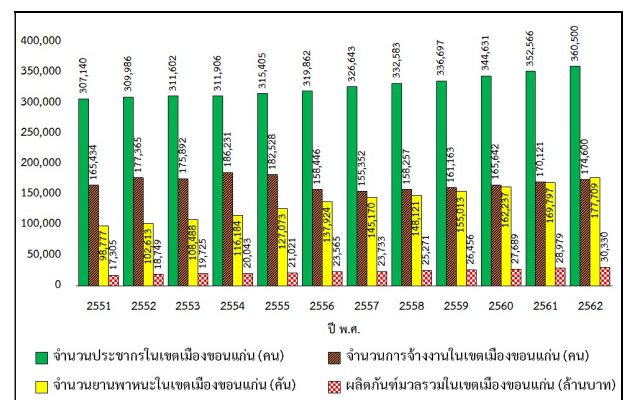
ในการคัดเลือกมาตรการต่าง ๆ เพื่อกำหนดเป็นสถานการณ์จำลองและใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ ที่ลดลงต่อไป

พื้นที่ผังเมืองรวมเมืองขอนแก่นครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 228 ตารางกิโลเมตร ตั้งอยู่ในจังหวัดขอนแก่นในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ดังแสดงใน

รูปที่ 2 ในปี พ.ศ. 2562 มีประชากรอาศัยอยู่ในพื้นที่ประมาณ 360,500 คน แนวโน้มทั่วไปของผลิตภัณฑ์มวลรวมจังหวัด (GPP) จำนวนการจ้างงาน จำนวนประชากรและจำนวนยานพาหนะที่จดทะเบียนของเมืองขอนแก่นแสดงไว้ในรูปที่ 3 โดยทั่วไปแล้วค่า GPP จำนวนประชากรและจำนวนยานพาหนะจดทะเบียนในเขตเมืองขอนแก่นจะเพิ่มขึ้นในช่วงปี พ.ศ. 2551 และ พ.ศ. 2562 ในขณะที่จำนวนการจ้างงานมีการผันผวนในช่วงเวลาดังกล่าว



รูปที่ 2 เขตผังเมืองรวมเมืองขอนแก่น



รูปที่ 3 ข้อมูลพื้นฐานในเขตเมืองขอนแก่น [13]

Nakamichi, Hanaoka, Mogi และ Satiennam [11] ได้ศึกษาการขนส่งสินค้าในเมืองขอนแก่น เพื่อหามาตรการการที่ดีที่สุดในการลดการปล่อย CO₂ โดยพิจารณาจากการใช้ประโยชน์ที่ดิน การควบคุมการจราจรและการเปลี่ยนรูปแบบการใช้พลังงานเชื้อเพลิง ซึ่งพบว่าในสถานการณ์การที่รถบรรทุกใช้พลังงานไฟฟ้าจะสามารถลดการปล่อยก๊าซ CO₂ เมื่อเทียบกับกรณีฐานได้ประมาณร้อยละ 95 ในปี ค.ศ. 2050

Klungboonkrong, Jaensirisak และ Satiennam [7] ได้วิเคราะห์การปล่อยก๊าซ CO₂ จากภาคการขนส่งภายใต้สถานการณ์จำลองที่เกี่ยวข้องกับการขนส่งและการใช้ประโยชน์ที่ดินหลายสถานการณ์ในพื้นที่มหาวิทยาลัยขอนแก่น ในเมืองขอนแก่น และพบว่า การปรับปรุงเทคโนโลยีเครื่องยนต์ของยานพาหนะมีประสิทธิภาพในการลดการปล่อยก๊าซ CO₂ สูงสุด (11.6%) ตามมาด้วยเครื่องมือควบคุมการใช้ประโยชน์ที่ดิน (4.0%) การจำกัดการใช้รถยนต์ส่วนบุคคล (2.1%) และการปรับเปลี่ยนระบบขนส่งสาธารณะ (1.7%) ตามลำดับ เมื่อเทียบกับกรณีฐานในปี ค.ศ. 2031

Long, Klungboonkrong และ Chindaprasirt [12] ได้ใช้พื้นที่ผังเมืองรวมเมืองขอนแก่นเป็นกรณีศึกษาในการวิเคราะห์การลดการปล่อยก๊าซ CO₂ โดยพบว่าการพัฒนา LRT 5 เส้นทางสามารถลดการปล่อยก๊าซ CO₂ ได้ประมาณร้อยละ 15 ใน ปี ค.ศ. 2046

จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่ามาตรการที่ใช้ในการ
วิเคราะห์หาปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ ที่ลดลงนั้นแตกต่างกัน
และมีปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ ที่ลดลงที่แตกต่างกัน ซึ่งใน
งานวิจัยนี้จะนำผลที่ได้จากการวิจัยดังกล่าวมาใช้เป็นแนวทาง

พื้นที่เขตผังเมืองรวมขอนแก่นถูกเลือกให้เป็นพื้นที่ศึกษา เนื่องจากเป็นเมืองยุทธศาสตร์ที่สำคัญที่สุดของประเทศไทย เมืองขอนแก่นได้รับการยอมรับว่าเป็นศูนย์กลางการขนส่ง และโลจิสติกส์ ศูนย์กลางการศึกษา ศูนย์การแพทย์ (Medical hub) ศูนย์กลางการประชุมและการท่องเที่ยว (MICE city) เมืองคาร์บอนต่ำ (Low carbon society) รวมถึงเป็นเมืองอัจฉริยะ (Smart city) จังหวัดขอนแก่นได้กำหนดให้ Smart Mobility เป็นการพัฒนาหลักโดยเน้นหนักในการพัฒนาระบบ LRT TOD และมาตรการสนับสนุนต่าง ๆ

2.3 ปัญหาด้านการจราจรและขนส่งในเมืองขอนแก่น

ในพื้นที่เขตเมืองขอนแก่นในช่วงระยะเวลา 25 ปี (ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2533 ถึง 2558) มีการขยายตัวของเมืองอย่างไร้ทิศทาง สูงขึ้น 2.3 เท่า ซึ่งกระจายตัวจากพื้นที่ย่านศูนย์กลางธุรกิจ (Central Business District, CBD) ออกไปพื้นที่รอบนอก บริเวณพื้นที่ชานเมือง [14] ปัจจุบันเมืองขอนแก่นยังไม่มีระบบขนส่งสาธารณะและการควบคุมการใช้ประโยชน์ที่ดินที่มีประสิทธิภาพ จึงเป็นสาเหตุสำคัญของปัญหาต่าง ๆ ในเขตเมือง เช่น ปัญหาการจราจรติดขัด อุบัติเหตุจราจร ผลกระทบสิ่งแวดล้อม สภาวะโลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ เป็นต้น [5,13] ดังนั้นเมืองขอนแก่นจำเป็นต้องมีมาตรการเชิงนโยบายที่เหมาะสมกับเมืองที่สอดคล้องกับการพัฒนาการใช้ประโยชน์ที่ดินและระบบขนส่งสาธารณะในเขตเมืองอย่างยั่งยืน เพื่อนำไปสู่การแก้ไขปัญหาดังกล่าว

2.4 การสำรวจและรวบรวมข้อมูล

ข้อมูลส่วนใหญ่ในงานวิจัยครั้งนี้ได้จากรายงานผลการศึกษาโครงการศึกษาและออกแบบรายละเอียดระบบขนส่งสาธารณะในเขตจังหวัดขอนแก่นและผลกระทบสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2561 [5] เช่น การสัมภาษณ์ที่ครัวเรือน (Household Interview, HHI) และการสัมภาษณ์ริมถนน (Roadside Interview, RSI) เพื่อศึกษาตารางการเดินทางจากจุดต้นทางไปยังจุดปลายทาง (O-D matrix) และลักษณะของพฤติกรรมการเดินทางของคนในพื้นที่ศึกษา โดยแบ่งพื้นที่ออกเป็นพื้นที่ย่อยภายในจำนวน 182 พื้นที่ และภายนอกจำนวน 5 พื้นที่ รวมทั้งการสำรวจจำนวนผู้โดยสารในรถแต่ละประเภท เป็นต้น [5] และได้รวบรวมข้อมูลทุติยภูมิต่าง ๆ เช่น ลักษณะทางเศรษฐกิจสังคมและสิ่งแวดล้อม ลักษณะทางกายภาพของ

โครงข่ายถนน รวมถึงข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินและข้อมูลโครงการต่าง ๆ ด้านการขนส่งในปัจจุบันและอนาคต เป็นต้น [5] โดยในงานวิจัยนี้ได้สำรวจข้อมูลเพิ่มเติม ในปี พ.ศ. 2562 ได้แก่ ปริมาณจราจรบนโครงข่ายถนน ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ที่มีความสำคัญ (12 จุด) การสำรวจสัดส่วนองค์ประกอบยานพาหนะประเภทต่าง ๆ บนโครงข่ายถนนในเขตเมือง เพื่อปรับปรุงข้อมูลให้เป็นปัจจุบัน และใช้ในการตรวจสอบความถูกต้อง (Validation) ของแบบจำลองและได้สำรวจข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับเส้นทางของระบบขนส่งสาธารณะในปัจจุบัน

2.5 การคัดเลือกมาตรการเชิงนโยบาย

สนข. [5] ได้ดำเนินการศึกษาโครงการศึกษาออกแบบรายละเอียดระบบขนส่งสาธารณะในเขตจังหวัดขอนแก่นและผลกระทบสิ่งแวดล้อม จากผลการศึกษาโครงการฯ และการรับฟังความคิดเห็นของประชาชนในเขตเมืองขอนแก่นพบว่าระบบขนส่งสาธารณะที่เหมาะสมกับเมืองขอนแก่น คือ LRT และได้มีการศึกษาการพัฒนา TOD เบื้องต้น ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงนำเอามาตรการ LRT TOD และมาตรการสนับสนุนต่าง ๆ เช่น การปรับปรุงระบบรถเสริม (Feeder system) และการใช้ระบบตั๋วร่วม (Integrated ticket system) เป็นต้น เพื่อกำหนดสถานการณ์จำลองและคาดการณ์ปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ จากมาตรการดังกล่าว

2.6 การสร้างสถานการณ์จำลอง

จากผลการคัดเลือกมาตรการเชิงนโยบาย [5] คือ มาตรการพัฒนาระบบ LRT TOD และมาตรการสนับสนุนต่าง ๆ โดยใช้พื้นที่ผังเมืองรวมเมืองขอนแก่นมาศึกษาวิเคราะห์เพื่อสร้างสถานการณ์จำลอง ภายใต้กรณีไม่มีโครงการ (Without project) และกรณีมีโครงการ (With project) ในช่วงเวลา 30 ปี (ระหว่างปี พ.ศ. 2562 ถึง 2592) โดยที่ผลจากการพัฒนาแบบจำลอง MTDM ในสถานการณ์จำลองในปีต่าง ๆ สามารถนำไปวิเคราะห์หาค่าปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ ที่ลดลงในปัจจุบันและอนาคตได้ โดยสถานการณ์จำลองที่ได้กำหนดขึ้นมีรายละเอียดดังนี้

2.6.1 สถานการณ์ฐานปีปัจจุบัน (Base case)

สถานการณ์ฐานในปีปัจจุบัน ปี พ.ศ. 2562 จะดำเนินการให้บริการรถสองแถวและรถปรับอากาศ (Shuttle bus)

2.6.2 สถานการณ์ฐานป้อนาคต (Base line project)

สถานการณ์ฐานป้อนาคตจะดำเนินการระบบขนส่งสาธารณะที่ให้บริการเช่นเดิมในสภาพปัจจุบันในปี พ.ศ. 2562 ผวนกับข้อมูลโครงข่ายด้านคมนาคมขนส่งต่าง ๆ ที่จะเกิดขึ้นในเมืองขอนแก่นในอนาคต เช่น โครงการก่อสร้างรถไฟทางคู่ (ช่วงชุมทางถนนจิระ – ขอนแก่น) เปิดปี พ.ศ. 2562 โครงการก่อสร้างรถไฟความเร็วสูงสายนครราชสีมา – ขอนแก่น โครงการก่อสร้างถนนตามผังเมืองรวมถนนสาย ข3 ผังเมืองรวมเมืองขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น เปิดปี พ.ศ. 2567 โครงการทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง (สายนครราชสีมา – ขอนแก่น) เปิดปี พ.ศ. 2570 เป็นต้น

2.6.3 สถานการณ์จำลองกรณีมีโครงการ (With project)

สถานการณ์จำลองกรณีมีโครงการจะพิจารณาจากข้อมูลโครงข่ายถนนในปัจจุบันและอนาคต รวมถึงมาตรการสนับสนุนที่ได้รับการคัดเลือก เช่น การพัฒนาระบบ LRT 5 เส้นทาง การพัฒนา TOD การปรับปรุงระบบรถเสริม และการใช้ระบบตัวร่วม เป็นต้น การพัฒนา LRT 5 เส้นทางในเขตเมืองขอนแก่นมีรายละเอียด เส้นทาง ต้นทาง – ปลายทาง ระยะทาง และจำนวนสถานี ดังแสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การพัฒนา LRT 5 เส้นทาง ในเขตเมืองขอนแก่น [5]

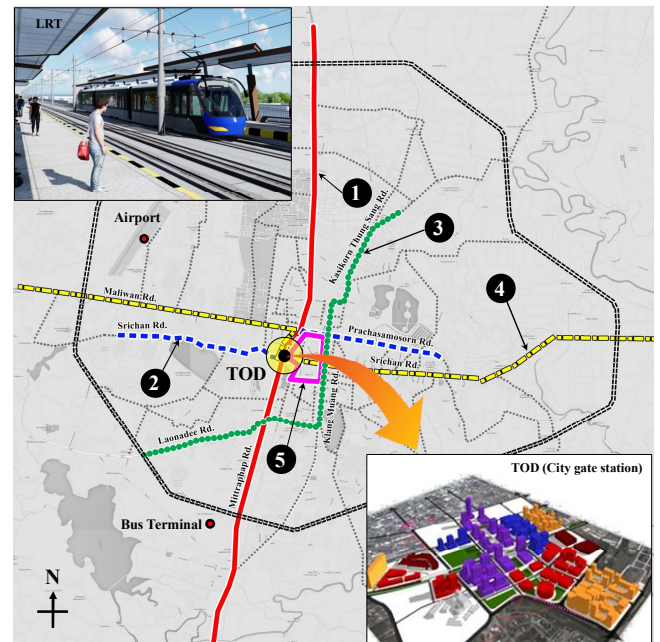
เส้นทาง	ต้นทาง - ปลายทาง	ระยะทาง (กม.)	จำนวน สถานี
(1) สายสีแดง	สำราญ - ท่าพระ	23	16
(2) สายสีน้ำเงิน	วิโอพีโฮม - มิตรสัมพันธ์	11	19
(3) สายสีเขียว	น้ำต้อน - คีลา	16	25
(4) สายสีเหลือง	บ้านทุ่ม - บึงเนียม	20	23
(5) สายสีชมพู	รอบในเมือง	6	10

ในการพัฒนา TOD ได้กำหนดให้มีการพัฒนาพื้นที่ทั้งหมดแล้วเสร็จในปี พ.ศ. 2572 (ร้อยละ 100) โดยแบ่งช่วงเวลาในการพัฒนาเป็น 3 ระยะ คือ ระยะที่ 1 (พ.ศ. 2562 – 2564) มีการพัฒนา TOD ร้อยละ 20 ระยะที่ 2 (พ.ศ. 2564 – 2568) มีการพัฒนา TOD เพิ่มขึ้นอีกร้อยละ 40 รวมเป็นร้อยละ 60 และระยะที่ 3 (พ.ศ. 2568 – 2572) มีการพัฒนา TOD เพิ่มขึ้นอีกร้อยละ 40 รวมเป็นร้อยละ 100

สถานการณ์ที่ใช้วิเคราะห์ในแบบจำลองในปีต่าง ๆ ในกรณีที่มีโครงการในแต่ละปีแสดงไว้ในตารางที่ 2 และตำแหน่งของเส้นทางระบบ LRT ทั้ง 5 เส้นทาง TOD และ Feeder system แสดงไว้ในรูปที่ 4

ตารางที่ 2 สถานการณ์ที่ใช้วิเคราะห์ในแบบจำลองในปีต่าง ๆ ในกรณีที่มีโครงการ [13]

ปี พ.ศ.	รายละเอียด
ปีฐาน (พ.ศ. 2562)	กรณีฐาน (ไม่มีโครงการ) + การพัฒนา TOD (20%)
ปีที่ 2- 6 (พ.ศ. 2564 - 2568)	การพัฒนา TOD (40%) + การพัฒนาระบบ LRT สายที่ (1) สายเหนือ – ใต้ + ปรับปรุง Feeder system
ปีที่ 6 – 10 (พ.ศ. 2568 - 2572)	การพัฒนา TOD (40%) + เพิ่มเติมนการพัฒนาระบบ LRT สายที่ (2) สีชมพู และสายที่ (3) สีเหลือง
ปีที่ 10 – 15 (พ.ศ. 2572 - 2577)	เพิ่มเติมนการพัฒนาระบบ LRT สายที่ (4) สีเขียว และสายที่ (5) สีน้ำเงิน
ปีที่ 15 – 30 (พ.ศ. 2577 – 2592)	ดำเนินการให้บริการระบบ LRT ทั้ง 5 เส้นทาง



รูปที่ 4 แนวเส้นทางและตำแหน่งของการพัฒนา LRT Feeder system และ TOD [13]

2.7 การประยุกต์ใช้แบบจำลองอุปสงค์การเดินทางแบบหลายประเภท (Multimodal Travel Demand Model, MTDM)

ในงานวิจัยที่ผ่านมา [5,12] ได้มีการพัฒนาแบบจำลอง MTDM โดยใช้ซอฟต์แวร์ CUBE [15] เพื่อคาดการณ์อุปสงค์ในการเดินทางในพื้นที่ผังเมืองรวมเมืองขอนแก่น ภายใต้สถานการณ์จำลองในปีต่าง ๆ ซึ่งในงานวิจัยนี้จะประยุกต์ใช้แบบจำลองดังกล่าวประกอบด้วย

(1) แบบจำลองการเกิดการเดินทาง (Trip generation) ประกอบด้วยแบบจำลองการกำเนิดการเดินทาง (Trip Production) จะประยุกต์ใช้วิธีวิเคราะห์แบบจำแนกประเภท (Category analysis) และแบบจำลองการดึงดูดการเดินทาง (Trip Attraction) จะประยุกต์ใช้วิธีการวิเคราะห์แบบถดถอยเชิงเส้นตรง (Multiple linear regression analysis) ผลจากการพัฒนาแบบจำลองแสดงไว้ในรูปที่ 5 โดยปริมาณการเกิดและการดึงดูดการเดินทางในปัจจุบันปี พ.ศ. 2562 ภายในพื้นที่ศึกษาพบว่าปริมาณการเดินทางรวมทั้งสิ้นประมาณ 712,000 เที่ยว/วัน และสมมติฐานในการวิเคราะห์ TOD คืออัตราการเดินทางภายในพื้นที่ TOD จะลดลงร้อยละ 50 [16]

(2) แบบจำลองการกระจายการเดินทาง (Trip distribution) แบบจำลองแรงดึงดูดของการเดินทาง (Gravity model) ถูกนำมาประยุกต์ใช้เพื่อคาดการณ์การกระจายการเดินทางระหว่างพื้นที่ย่อยต่าง ๆ ในพื้นที่ศึกษา ตัวอย่างรูปแบบการกระจายตัวของการเดินทางในปี พ.ศ. 2562 แสดงไว้ในรูปที่ 5

(3) แบบจำลองการเลือกประเภทการเดินทาง (Modal choice) เป็นแบบจำลองโลจิตแบบสองทางเลือก (Binary Logit Model) โดยสามารถแบ่งรูปแบบในการเดินทางออกเป็น 2 ประเภทหลัก ๆ คือ (1) ยานพาหนะส่วนบุคคล ได้แก่ รถยนต์ส่วนบุคคล และรถจักรยานยนต์ และ (2) รถขนส่งสาธารณะ ได้แก่ รถสาธารณะประจำทาง (รถบัส รถตู้ รถสองแถว และ LRT) ในการวิเคราะห์การเลือกรูปแบบการเดินทางจะจำแนกตามวัตถุประสงค์ของการเดินทางและการครอบครองยานพาหนะซึ่งได้จากการสัมภาษณ์ที่ครัวเรือนในขั้นตอนแบบจำลองการเกิดการเดินทาง และผลการวิเคราะห์พบว่ามีส่วนการใช้ยานพาหนะต่าง ๆ ในปี พ.ศ. 2562 ได้แก่ รถยนต์ส่วนบุคคล (ร้อยละ 31.1) รถจักรยานยนต์ (ร้อย

ละ 53.6) รถโดยสารสาธารณะ (ร้อยละ 10.3) และการเดิน (ร้อยละ 5.0)

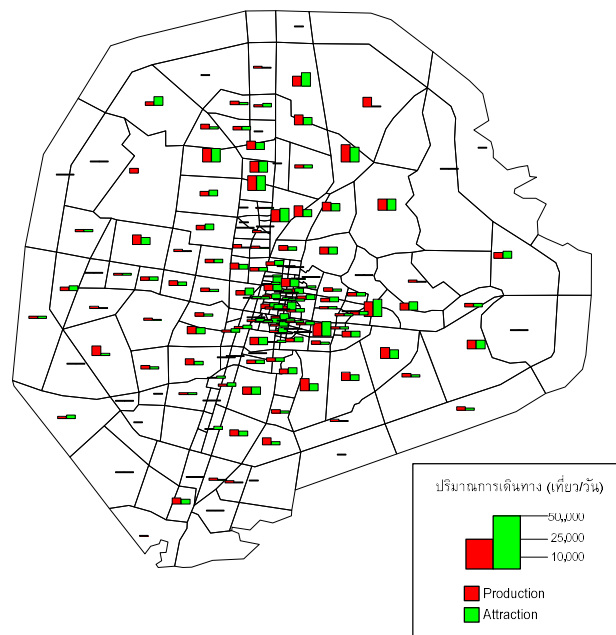
(4) แบบจำลองการแจกแจงเส้นทางการเดินทาง (Traffic assignment) แบบจำลอง Equilibrium ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการแจกแจงปริมาณการเดินทางทั้งหมดลงในโครงข่ายถนนและโครงข่ายระบบขนส่งสาธารณะในพื้นที่ศึกษาดังแสดงไว้ในรูปที่ 5

แบบจำลอง MTDM ได้รับการตรวจสอบความถูกต้องโดยการเปรียบเทียบปริมาณการเดินทางที่คาดการณ์จากแบบจำลองกับปริมาณการเดินทางที่ได้จากการสำรวจจริงในเส้นแบ่งส่วนของพื้นที่ (Screen line) ทั้ง 6 เส้นทาง และพบว่ามีความ Root Mean Square error (RMS) เท่ากับร้อยละ 3.6 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ จากผลการตรวจสอบความถูกต้องแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการคาดการณ์การเดินทางในพื้นที่ในอนาคต

2.8 การคาดการณ์ปริมาณการลดการปล่อยก๊าซ CO₂

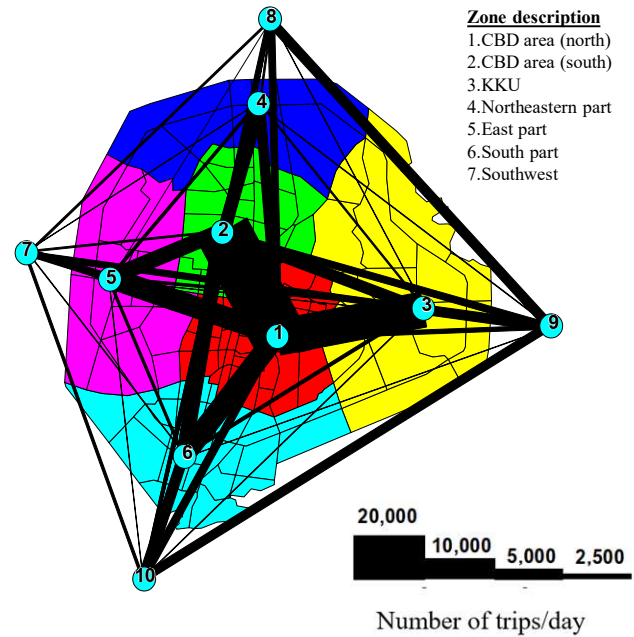
วิธีคำนวณหาปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ สำหรับโครงการต่าง ๆ ในภาคการขนส่งมีอยู่ 2 วิธีที่สำคัญ ได้แก่ (1) วิธี Top-Down คือ วิธีคำนวณการปล่อยก๊าซ CO₂ จากปริมาณการใช้พลังงานเชื้อเพลิงทั้งหมดของโครงการ และ (2) วิธี Bottom-Up คือ วิธีคำนวณการปล่อยก๊าซ CO₂ จากการใช้พลังงานเชื้อเพลิงของยานพาหนะแต่ละคันหรือช่วงถนนแต่ละช่วงของโครงข่ายที่เกี่ยวข้องกับโครงการ [7,12]

โดยที่วิธี Bottom-Up มีอยู่ 2 วิธี ได้แก่ (1) วิธี Bottom-Up 1 คือ การคาดการณ์หาปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ ของยานพาหนะแต่ละคัน และรวมปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ ของยานพาหนะทุกคันเป็นปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ ของทั้งโครงการ และ (2) วิธี Bottom-Up 2 คือ การประมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ ของปริมาณจราจรที่วิ่งอยู่บนช่วงถนนแต่ละเส้นบนโครงข่ายถนนที่พิจารณา และรวมปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ จากแต่ละช่วงถนนเป็นปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ รวมของทั้งโครงข่ายถนน [7]



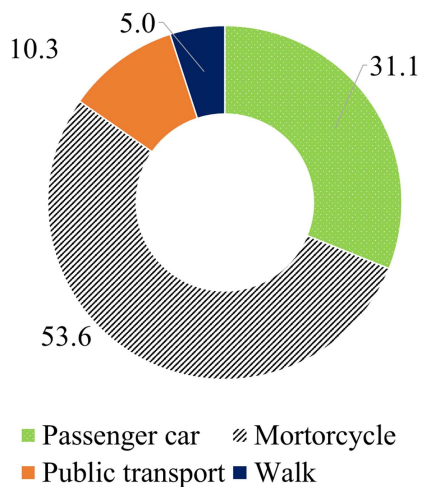
Step 1 Trip Generation

Method: Trip production (Category analysis) & Trip attraction (Multiple linear regression analysis)



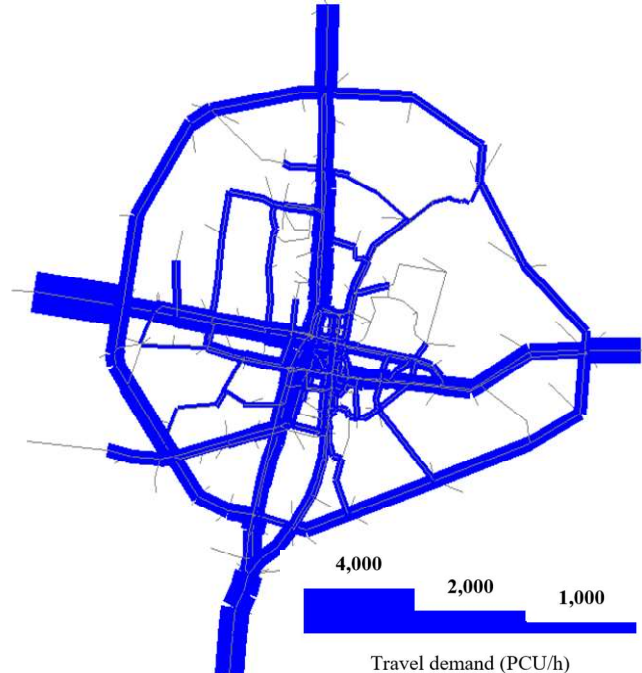
Step 2 Trip Distribution

Method: Gravity model



Step 3 Modal Choice

Method: Binary logit model



Step 4 Traffic Assignment

Method: The equilibrium approach

2.8.1 วิธี Bottom-Up 2

งานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้วิธี Bottom-Up 2 ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้แบบจำลอง MTDM เพื่อคาดการณ์ปริมาณจราจรจำแนกตามประเภทของยานพาหนะและความเร็วเฉลี่ยของกระแสจราจรบนโครงข่ายถนน เพื่อนำไปคำนวณหาค่าปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ จากยานพาหนะแต่ละประเภทบนโครงข่ายถนนที่พิจารณา ขั้นตอนการประมาณปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ ของการวิเคราะห์ปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ จากภาคการขนส่งโดยวิธี Bottom-Up 2 ได้แสดงไว้ในรูปที่ 6 และสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3 [7]

$$TE_k = \sum_i \sum_j \sum_k (Ef_{kij} \times D_e \times V_{ije}) \quad (3)$$

โดยที่

TE_k คือ การปล่อยก๊าซ CO₂ รายวันรวม จากน้ำมันเชื้อเพลิงชนิด k จากยานพาหนะประเภท i และเครื่องยนต์ประเภท j ของช่วงถนนทั้งหมด (e) ในโครงข่ายถนนข่ายถนน (g)

Ef_{kij} คือ ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยไอเสียของเชื้อเพลิงประเภท k ของยานพาหนะจากยานพาหนะประเภท i และเครื่องยนต์ประเภท j (กรัม/กม.)

D_e คือ ระยะทางของช่วงถนน (กม.)

V_{ije} คือ ปริมาณการจราจรของยานพาหนะประเภท i และประเภทเครื่องยนต์ j ในทุกช่วงถนน (e) (จำนวนยานพาหนะ/วัน)

การลดปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ ในปี y จะมีค่าเท่ากับ การปล่อยก๊าซ CO₂ กรณีฐาน (Baseline emission) ลบด้วยการปล่อยก๊าซ CO₂ ในกรณีที่มีโครงการ (Project emission) และลบด้วยการรั่วไหล (Leakage) ดังสมการที่ 4 [17]

$$ER_y = BE_y - PE_y - LE_y \quad (4)$$

โดยที่

ER_y คือ การลดลงของการปล่อยก๊าซ CO₂ ในปี y (tCO₂e/yr)

BE_y คือ ปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ กรณีที่ไม่มีโครงการ ในปี y (tCO₂e /yr)

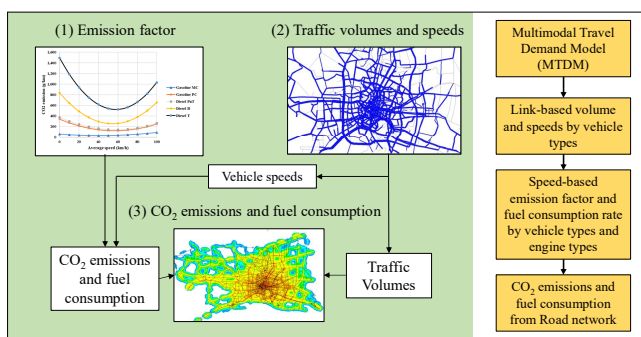
PE_y คือ ปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ กรณีที่มีโครงการในปี y (tCO₂e /yr)

LE_y คือ ปริมาณการรั่วไหล ในปี y (tCO₂e / yr)

โดยทั่วไปแล้วการดำเนินการระบบ LRT จะก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซ CO₂ เนื่องจากการใช้พลังงานไฟฟ้า อย่างไรก็ตามการดำเนินการระบบ LRT จะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ เช่น ประเภทเทคโนโลยีของตัวรถ LRT จำนวนของขบวน LRT ความถี่ในการให้บริการ (ตารางเวลาการให้บริการ) และความเร็วของการให้บริการจากระบบ LRT ทั้ง 5 เส้นทาง ซึ่งรายละเอียดดังกล่าวอยู่นอกเหนือขอบเขตของงานวิจัยนี้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้กำหนดสมมติฐานว่าปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ จากการใช้พลังงานไฟฟ้าในการให้บริการของระบบ LRT ทั้ง 5 เส้นทางมีค่าเป็นศูนย์ และไม่มีปริมาณการรั่วไหล ($LE_y = 0$) [7,8,12]

2.8.2 ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซ CO₂

ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซ CO₂ (Emission factors) สำหรับยานพาหนะแต่ละประเภทและเครื่องยนต์ที่ใช้แต่ละชนิดได้มาจากโครงการศึกษาและจัดทำ Baseline การปล่อยก๊าซ CO₂ จากภาคขนส่งในจังหวัดน่านรองและการศึกษาแนวทางในการส่งเสริมกิจกรรมลดการปล่อยก๊าซ CO₂ จากภาคขนส่ง โดยองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก [12,17] ประเภทของยานพาหนะในงานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 5 ประเภท ได้แก่ รถจักรยานยนต์ (MC) รถโดยสาร (PC) รถปิคอัพ (PUT)



รูปที่ 6 การประมาณการปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ โดยวิธี Bottom-Up 2 จากโครงข่ายถนน [7]

รถบัส (B) และรถบรรทุก (T) โดยมีรายละเอียดค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซ CO₂ แสดงไว้ในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซ CO₂ จำแนกตามประเภทยานพาหนะและเทคโนโลยีเครื่องยนต์ [12]

Vehicle types	CO ₂ emission factors	R ²
Gasoline Motorcycle (MC)	$Y = 0.0169X^2 - 1.3909X + 57.674$	0.80
Gasoline Passenger Car (PC)	$Y = 0.0686X^2 - 7.7792X + 340.01$	0.92
Diesel Pick-up Truck (PUT)	$Y = 0.0695X^2 - 8.0605X + 373.14$	0.94
Medium Diesel Bus (B)	$Y = 0.1955X^2 - 21.345X + 836.12$	0.90
Heavy Diesel Truck (T)	$Y = 0.2889X^2 - 33.506X + 1493.7$	0.93

หมายเหตุ: X=average traveling speed (km/h), and Y= CO₂ emission factors (g/km)

2.9 การวิเคราะห์ปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂

รายละเอียดผลการวิเคราะห์ระยะการเดินทางสะสม (Vehicle Kilometers Travel, VKT) ความเร็วเฉลี่ยและปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ กรณีไม่มีโครงการและกรณีมีโครงการในปี พ.ศ. 2564 (ปีที่ 2) 2568 (ปีที่ 6) 2572 (ปีที่ 10) 2582 (ปีที่ 20) และ 2592 (ปีที่ 30) ได้สรุปไว้ใน

ตารางที่ 4 ปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ ในช่วงระหว่างปีต่าง ๆ ที่พิจารณาได้ใช้วิธีการประมาณระหว่างช่วง (Interpolation) และผลจากวิเคราะห์การคาดการณ์ของสถานการณ์จำลองมีรายละเอียดดังนี้

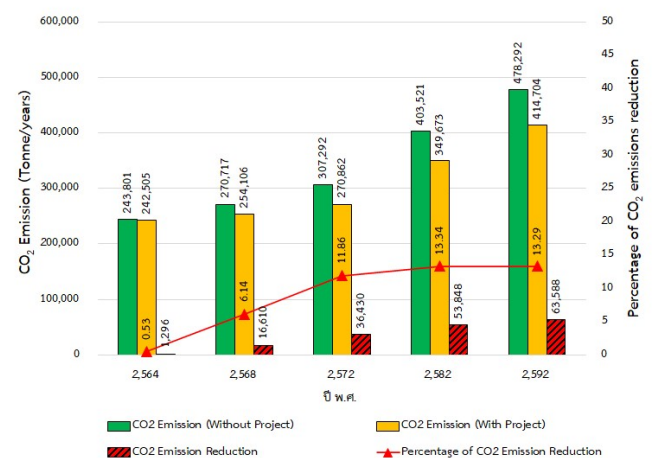
ผลการวิเคราะห์สัดส่วนการเลือกใช้ระบบขนส่งสาธารณะกรณีที่ไม่มีโครงการในปี พ.ศ. 2564 (ปีที่ 2) มีค่าเท่ากับร้อยละ 10.7 และกรณีที่มีโครงการเท่ากับ 11.3 ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.7 เมื่อเทียบกับกรณีไม่มีโครงการ และในปี พ.ศ. 2568 (ปีที่ 6) 2572 (ปีที่ 10) 2582 (ปีที่ 20) และ 2592 (ปีที่ 30) เมื่อมีโครงการสัดส่วนการใช้ระบบขนส่งสาธารณะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่มีโครงการในปีนั้น ๆ เท่ากับร้อยละ 8.39 12.60 13.19 และ 14.23 ตามลำดับ

ผลการวิเคราะห์ค่า VKT กรณีที่ไม่มีโครงการในปี พ.ศ. 2564 (ปีที่ 2) มีค่าเท่ากับ 4,738,470 คัน-กม./วัน และกรณีที่มีโครงการมีค่า VKT เท่ากับ 4,718,960 คัน-กม. ซึ่งมีค่าลดลงร้อยละ 0.4 และในปี พ.ศ. 2568 (ปีที่ 6) 2572 (ปีที่ 10) 2582 (ปีที่ 20) และ 2592 (ปีที่ 30) เมื่อมีโครงการพบว่า ค่า VKT มีค่าลดลง เท่ากับร้อยละ 6.1 8.1 9.3 และ 9.3 ตามลำดับ จากผลการวิเคราะห์สถานการณ์จำลองในกรณีที่มีโครงการค่า VKT จะลดลง เนื่องจากประชาชนเปลี่ยนวิธีการ

เดินทาง (Modal shift) จากระยะส่วนตัวบุคคลแล้วมาใช้ระบบ LRT ทำให้ปริมาณการเดินทางด้วยรถยนต์ส่วนบุคคลบนโครงข่ายถนนลดลง และจากสมมติฐานเกี่ยวข้องกับอัตราการเดินทางประชาชนที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ TOD จะลดลงร้อยละ 50 จึงส่งผลให้ VKT ลดน้อยลงด้วยเช่นกัน

ผลการวิเคราะห์ความเร็วเฉลี่ยของกระแสจราจรกรณีที่ไม่มีโครงการในปี พ.ศ. 2564 (ปีที่ 2) มีค่าเท่ากับ 28.0 กม./ชม. และกรณีที่มีโครงการเท่ากับ 29.4 กม./ชม. ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นร้อยละ 5.0 เมื่อเทียบกับกรณีไม่มีโครงการ และในปี พ.ศ. 2568 (ปีที่ 6) 2572 (ปีที่ 10) 2582 (ปีที่ 20) และ 2592 (ปีที่ 30) เมื่อมีโครงการค่าความเร็วเฉลี่ยมีค่าเพิ่มขึ้นเท่ากับร้อยละ 13.0 31.8 56.7 และ 56.7 ตามลำดับ

ผลการวิเคราะห์ปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ กรณีที่ไม่มีโครงการในปี พ.ศ. 2564 (ปีที่ 2) ค่าเท่ากับ 243,801 ตัน/ปี และกรณีที่มีโครงการมีค่าเท่ากับ 242,505 ตัน/ปี ซึ่งมีค่าลดลงร้อยละ 0.5 เมื่อเทียบกับกรณีไม่มีโครงการ และในปี พ.ศ. 2568 (ปีที่ 6) 2572 (ปีที่ 10) 2582 (ปีที่ 20) และ 2592 (ปีที่ 30) เมื่อมีโครงการปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ มีค่าลดลงเมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่มีโครงการในปีนั้น ๆ เท่ากับ 16,610 36,430 53,848 และ 63,588 ตัน/ปี ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละ 6.1 11.9 13.3 และ 13.3 ตามลำดับโดยมีรายละเอียดแสดงไว้ในรูปที่ 7



รูปที่ 7 ผลการวิเคราะห์ปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ (ตันต่อปี)

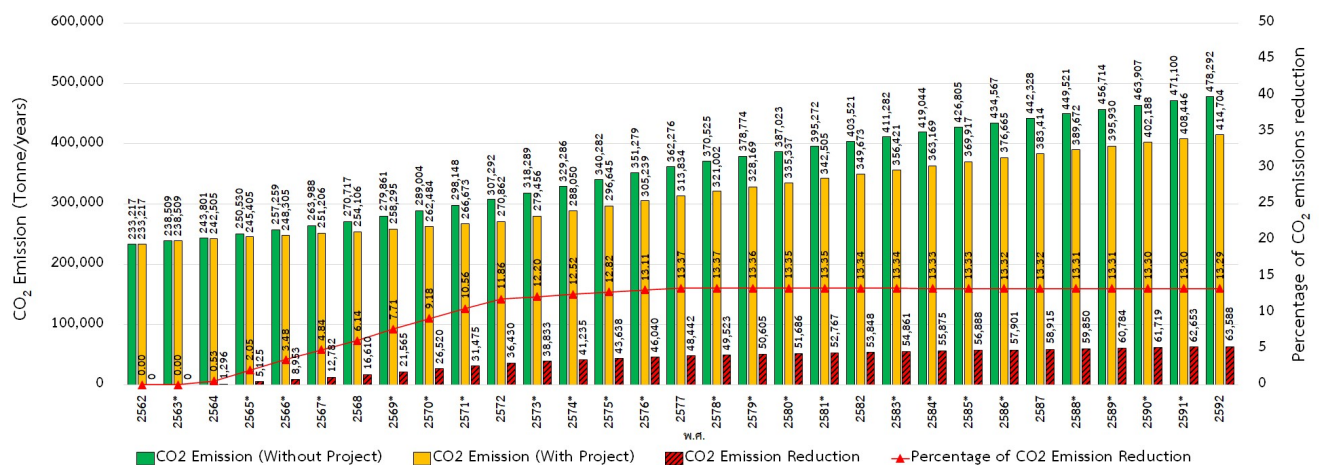
ผลการวิเคราะห์ปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ สะสมในช่วงเวลา 30 ปี (ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2562 - 2592) โดยวิธีการประมาณระหว่างช่วงพบว่าใน พ.ศ. 2592 (ปีที่ 30) เมื่อมีโครงการสามารถลดปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ สะสมได้เท่ากับ 1,230,408 ตัน (ร้อยละ 100) โดยกรณีที่มีการดำเนินโครงการในปี พ.ศ. 2564 (ปีที่ 2) พบว่ามีค่าการลดปริมาณการปล่อย

ก๊าซ CO₂ สะสม 1,296 ตันต่อปี คิดเป็นร้อยละ 0.1 และในปี พ.ศ. 2568 (ปีที่ 6) 2572 (ปีที่ 10) และ 2582 (ปีที่ 20) การลดปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ สะสมมีค่าเท่ากับ 44,766 160,757 และ 637,373 ตัน ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละ 3.6 13.0 และ 51.8 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับ พ.ศ. 2592 (ปีที่ 30) โดยมีรายละเอียดแสดงไว้ในรูปที่ 8

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์การคาดการณ์ปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ กรณีไม่มีโครงการและกรณีมีโครงการในปีที่พิจารณา

ตัวชี้วัด	หน่วย	พ.ศ. 2562 (ปีฐาน)	พ.ศ.2564 (ปีที่ 2)		พ.ศ.2568 (ปีที่ 6)		พ.ศ.2572 (ปีที่ 10)		พ.ศ.2582 (ปีที่ 20)		พ.ศ.2592 (ปีที่ 30)	
			ไม่มีโครงการ	มีโครงการ	ไม่มีโครงการ	มีโครงการ	ไม่มีโครงการ	มีโครงการ	ไม่มีโครงการ	มีโครงการ	ไม่มีโครงการ	มีโครงการ
ปริมาณการเดินทาง	เที่ยว/วัน	712,100	751,800		838,000		943,400		1,250,200		1,637,960	
ประชากร	คน	360,500	380,600		424,200		472,800		621,560		806,960	
PT Share	%	10.30	10.70	11.38 (+0.68%)	11.00	19.39 (+8.39%)	11.50	24.10 (+12.60%)	12.30	25.49 (+13.19%)	12.60	26.83 (+14.23%)**
VKT	คัน-กม./วัน	4,576,130	4,738,470	4,718,960 (-19,510)* (-0.41%)**	5,128,930	4,908,760 (-220,170)* (-4.29%)**	5,561,980	5,111,640 (-450,340)* (-8.10%)**	688,6190	6,249,190 (637,000)* (-9.25%)**	8,048,910	7,304,360 (-744,550)* (-9.25%)**
ความเร็วเฉลี่ย	กม./ชม.	28.64	27.97	29.35 (+1.38)* (+4.95%)**	25.89	29.26 (+3.37)* (+13.02%)**	21.84	28.78 (+6.94)* (+31.76%)**	16.92	26.52 (+9.6)* (+56.73%)**	16.41	25.72 (+9.3)* (+56.69%)**
CO ₂	ตัน/ปี	233,217	243,801	242,505 (-1,296)* (-0.53%)**	270,717	254,106 (-16,610)* (-6.14%)**	307,292	270,862 (-36,430)* (-11.86%)**	403,521	349,673 (-53,848)* (-13.34%)**	478,292	414,704 (-63,588)* (-13.29%)**

หมายเหตุ: *ค่าความต่างของจำนวนปริมาณเปรียบเทียบระหว่างกรณีไม่มีโครงการกับมีโครงการ; **ค่าร้อยละเปรียบเทียบระหว่างกรณีไม่มีโครงการกับมีโครงการ



รูปที่ 8 ผลการวิเคราะห์ปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ สะสม 30 ปี

3. สรุปผลการศึกษา

งานวิจัยนี้ศึกษาเพื่อวิเคราะห์และประเมินผลปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ ที่ลดลงจากการพัฒนาระบบ LRT TOD และมาตรการสนับสนุนต่าง ๆ ในพื้นที่ผังเมืองรวมเมืองขอนแก่น ผลจากการประยุกต์ใช้แบบจำลอง MTDM เมื่อมีการดำเนินการการพัฒนา TOD ในปี พ.ศ. 2562 – 2572 (สัดส่วน

การพัฒนาร้อยละ 10 ต่อปี) พร้อมทั้งการปรับปรุงเส้นทางระบบรถเสริม (Feeder) และดำเนินการให้บริการระบบ LRT โดยพัฒนาเส้นทางที่ (1) สายเหนือ – ใต้ ในปี พ.ศ. 2564 เส้นทางที่ (2) สายสีชมพูและ (3) สายสีเหลืองในปี พ.ศ. 2568 และเส้นทางที่ (4) สายสีเขียวและ (5) สายสีน้ำเงินในปี พ.ศ. 2572 พบว่าสัดส่วนการใช้ระบบขนส่งสาธารณะกรณีที่ไม่มีการโครงการในปี พ.ศ. 2564 (ปีที่ 2) มีค่าเท่ากับร้อยละ 10.70

และกรณีที่มีโครงการมีค่าเท่ากับ 11.38 ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.68 เมื่อเทียบกับกรณีไม่มีโครงการ และในปี พ.ศ. 2568 (ปีที่ 6) 2572 (ปีที่ 10) 2582 (ปีที่ 20) และ 2592 (ปีที่ 30) เมื่อมีโครงการพบว่าสัดส่วนการใช้ระบบขนส่งสาธารณะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่มีโครงการในปีนั้น ๆ เท่ากับร้อยละ 8.4 12.6 13.1 และ 14.2 ตามลำดับ

สำหรับผลการวิเคราะห์การลดการปล่อยก๊าซ CO₂ ในกรณีที่ไม่มีโครงการในปี พ.ศ. 2564 (ปีที่ 2) 2568 (ปีที่ 6) 2572 (ปีที่ 10) 2582 (ปีที่ 20) และ 2592 (ปีที่ 30) พบว่ามีค่าลดลงเท่ากับ 1,296 16,610 36,430 53,848 และ 63,588 ตัน/ปี ตามลำดับ เมื่อเทียบกับกรณีไม่มีโครงการในปีนั้น ๆ คิดเป็นร้อยละ 0.5 6.1 11.9 13.3 และ 13.3 ตามลำดับ และในช่วงระหว่างปีที่พิจารณาผู้วิจัยได้ใช้วิธีการประมาณระหว่างช่วงในการประมาณค่าปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ ซึ่งผลการวิเคราะห์พบว่าปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ สะสมใน พ.ศ. 2592 (ปีที่ 30) มีค่าลดลงเท่ากับ 1,230,408 ตัน (ร้อยละ 100 ของการดำเนินโครงการ 30 ปี) และในปี พ.ศ. 2564 (ปีที่ 2) 2568 (ปีที่ 6) 2572 (ปีที่ 10) 2582 (ปีที่ 20) การลดปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ สะสมมีค่าเท่ากับ 1,296 44,766 160,757 และ 637,373 ตัน ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละสะสมเท่ากับ 0.11 3.64 13.07 และ 51.8 ตามลำดับ

จากผลการวิเคราะห์พบว่าค่า VKT มีค่าลดลงเมื่อมีการดำเนินโครงการ LRT TOD และมาตรการสนับสนุนต่าง ๆ เนื่องจากประชาชนได้เปลี่ยนรูปแบบการเดินทาง (Modal shift) จากระบบขนส่งส่วนบุคคลและเปลี่ยนมาใช้ระบบ LRT แทน และมาตรการ TOD สามารถทำให้ประชาชนมีอัตราเดินทางลดลง (ร้อยละ 50) จึงส่งผลให้อัตราการปล่อยก๊าซ CO₂ จากภาคการขนส่งมีค่าลดลงด้วย

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโครงการพัฒนาแห่งสหประชาชาติ (UNDP) และวิทยาลัยปกครองท้องถิ่น มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ได้ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัยครั้งนี้ และขอขอบคุณทุนวิจัยสำหรับคณาจารย์บัณฑิตศึกษา เพื่อให้สามารถรับนักศึกษาที่มีความสามารถและศักยภาพสูงเข้าศึกษาในหลักสูตรและทำวิจัยในสาขาที่อาจารย์มีความเชี่ยวชาญประจำปีการศึกษา 2562 ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น

เอกสารอ้างอิง

- [1] Taylor MAP. Special issue on low carbon mobility. *International Journal of Sustainable Transportation*. 2017;11(1):1-2.
- [2] International Energy Agency. *Key world energy statistics*. 2016.
- [3] International Energy Agency. *Policy Pathways: A Tale of Renewed Cities*. 2013.
- [4] United Nation. *The Sustainable development goals report 2016*. New York; 2016.
- [5] สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร (สนข.). *รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการศึกษาออกแบบรายละเอียดระบบขนส่งสาธารณะ ในเขตจังหวัดขอนแก่น และผลกระทบสิ่งแวดล้อม*. มหาวิทยาลัยขอนแก่น; ขอนแก่น; 2561.
- [6] มนลิษา เพชรานนท์. *เมืองกับการพัฒนาเน้นการขนส่งเชื่อมต่อ*. ขอนแก่น: คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น; 2563.
- [7] Klungboonkrong P, Jaensirisak S, Satiennam T. Potential performance of urban land use and transport strategies in reducing greenhouse gas emissions: Khon Kaen case study, Thailand. *International Journal of Sustainable Transportation*. 2017 Jan 2;11(1):36-48.
- [8] S6-5 Group. Designing low-carbon transport system for Khon Kaen city: *Manual for Estimation of CO₂ Emission Reduction*. Chiba, Japan; 2014.
- [9] Nakamura H, Hayashi Y, May AD. Urban transport and the environment: *An International Perspective*. Elsevier Ltd; 2004.
- [10] Kikuchi H, Fukuda A, Ishizaka T, Ito H, Satiennam T. Possibility to realize low carbon city in medium-sized city of Asia: case study in Khon Kaen city, Thailand. In: *The 10th International Conference of Eastern Asia Society for Transportation Studies*. Taipei, Taiwan; 2013.
- [11] Nakamichi K, Hanaoka S, Mogi S, Satiennam T. Estimation of CO₂ emissions for low carbon urban freight transport in Khon Kaen, Thailand.

Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies. 2015;11:799–818.

- [12] Long S, Klungboonkrong P, Chindaprasirt P. Impacts of urban transit system development on modal shift and greenhouse gas (GHG) emission reduction: A Khon Kaen, Thailand case study. *Engineering and Applied Science Research*. 2018;45(1):8–16.
- [13] วิทยาลัยการปกครองท้องถิ่น. รายงานฉบับสมบูรณ์ (Final Report) โครงการวิจัยเรื่องการวิเคราะห์การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการพัฒนาระบบรถไฟฟ้ารางเบาในเขตเมืองขอนแก่น. ขอนแก่น; 2563.
- [14] Ninh TV, Waisurasingha C. A comparative study of applying maximum likelihood and support vector machine classifiers to analyze landsat imagery for evaluating land use changes in Khon Kaen city, Thailand. *KKU Research Journal*. 2017;17(4):49–60.
- [15] Citilabs. *Transportation & Land-Use Solutions*. 2016.
- [16] Cervero R, Arrington G. Vehicle trip reduction impacts of transit-oriented housing. *Journal of Public Transportation*. 2008;11(3):1–17.
- [17] องค์การบริหารก๊าซเรือนกระจก. รายงานฉบับสมบูรณ์ (Final Report) โครงการศึกษาและจัดทำ Baseline การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากภาคขนส่งในจังหวัดน่าน ร่องและการศึกษาแนวทางในการส่งเสริมกิจกรรมลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากภาคขนส่ง. ขอนแก่น; 2555.