การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการจราจรหลายปัจจัยเชิงพื้นที่ กรณีศึกษาเมืองขอนแก่น

Area-Wide Multicriteria Traffic Environmental Impacts Evaluation: Khon Kaen City Case Study

ภาคิน ธนณรงค์ (Pakhin Thonnarong)* ดร.พนกฤษณ คลังบุญครอง (Dr.Pongrid Klungboonkrong)[1]**
วินัย ศรีอำพร (Winai Sri-Amporn)*** สุรัตน์ ประมวลศักดิกุล (Surat Pramualsakdikul)****
ดร.ชาติชาย ไวยสุระสิงห์ (Dr.Chattichai Waisurasingha)*****

(Received: *May 31, 2019*; Revised: *July 23, 2019*; Accepted: *July 24, 2019*)

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันชุมชนในเขตเมืองของประเทศต่างๆทั่วโลกมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วทั้งด้านเศรษฐกิจ การใช้ประโยชน์ที่ดินและการขนส่ง ส่งผลให้การใช้รถยนต์ส่วนบุคคลเพื่อการเดินทางเพิ่มขึ้น และส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่น ปัญหามลพิษทางอากาศ มลพิษทางเสียงและปัญหาภาวะโลกร้อน เป็นต้น การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการจราจรมีความซับซ้อนและยุ่งยากเนื่องจากมีหลายปัจจัยเกี่ยวข้องที่หลากหลาย ซึ่งแต่ละปัจจัยมีน้ำหนักความสำคัญแตกต่างกันไปตามประเภทของถนนและการใช้ประโยชน์ที่ดิน ตลอดจนลักษณะของบุคคลหรือกลุ่มบุคคลที่พิจารณา งานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Modelling Method, MMM) และวิธีการตัดสินใจแบบหลายปัจจัย (Multi Criteria Decision Making, MCDM) ในการประเมินค่าดัชนีผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมจากการจราจรแบบหลายปัจจัยเชิงพื้นที่รวม (Composite Area-Wide Multicriteria Traffic Environmental Impact Indices, CATEII) ค่า CATEII สามารถนำมาใช้จัดลำดับความสำคัญของพื้นที่ตามผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการจราจร และสามารถระบุสาเหตุของปัญหาที่เกิดในแต่ละพื้นที่ เพื่อเสนอแนะแนวทางแก้ไขปัญหาในอนาคตต่อไป

ABSTRACT

Various urban areas in global cities have experienced rapid growth of urbanization, economy and motorization. One of the most important adverse effects of such growth is traffic environmental impacts (eg air pollution, noise levels, climate change). The estimation and prediction of traffic environmental impacts were difficult and complicated by several of environmental impact factors, differences in the relative importance of these criteria in different land-use types and the differences in awareness of environmental impacts in individual or group judgments.

[1]*Corresponding author: ponklung@gmail.com*
**นักศึกษา หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น*
***รองศาสตราจารย์ ศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างมูลฐานอย่างยั่งยืน (SIRDC) สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น*
****รองศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น*
*****อาจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น*
******ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างมูลฐานอย่างยั่งยืน (SIRDC) สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น*

In this research, mathematical modelling method (MMM) was applied to quantify traffic environmental impacts and Multi Criteria Decision Making (MCDM) approach were adopted to estimate the Composite Area-wide Traffic Environmental Impact Evaluation (CATEII) indices. Such composite indices can be utilized to integrate multiple criteria traffic environmental impacts scores. This composite indices (CATEII) is capable of identifying and prioritizing the area-wide traffic environmental problem locations. When the likely causations of the problems can be specified, the appropriate treatments can be recommended accordingly.

คำสำคัญ: ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมจากการจราจรเชิงพื้นที่ กระบวนการตัดสินใจอย่างเป็นลำดับชั้น วิธีการตัดสินใจแบบหลายปัจจัย

Keywords: Area-wide traffic environmental impacts, Analytic Hierarchy Process (AHP), Multi Criteria Decision Making (MCDM)

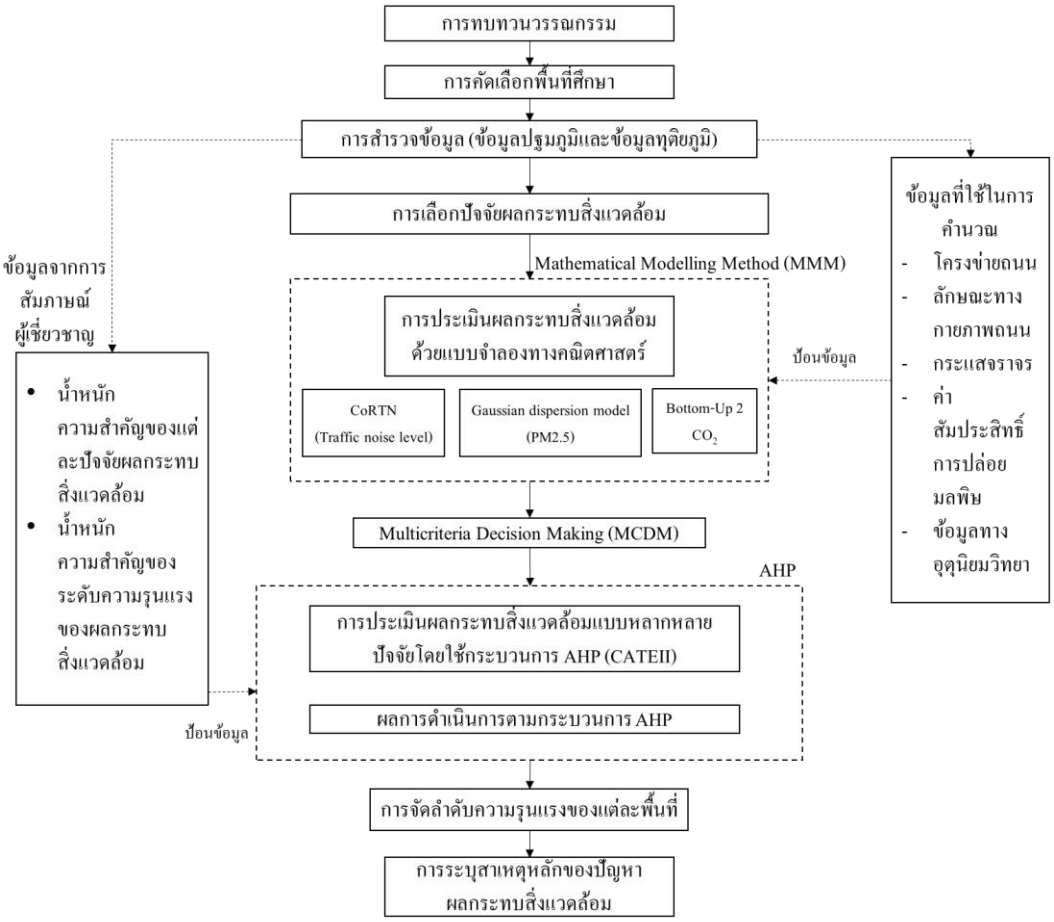
บทนำ

ในช่วงต้นศตวรรษที่ 21 คาดว่าพื้นที่ชุมชนในเขตเมืองทั่วโลกจะขยายตัวด้วยอัตราเฉลี่ยร้อยละ 60 ภายในปี ค.ศ. 2030 [1] ผลที่ตามมาคือการเพิ่มขึ้นของอุปสงค์ในการเดินทางอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้เกิดปัญหาต่างๆ เช่น การจราจรติดขัด อุบัติเหตุจากการจราจร ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม ภาวะโลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ เป็นต้น จังหวัดขอนแก่นมีการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจอย่างรวดเร็วจึงส่งผลให้เกิดการขยายตัวของเมืองและการเพิ่มขึ้นของอุปสงค์ในการเดินทาง ทำให้เกิดปัญหาผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการจราจรตามมา ปัญหาผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการจราจรดังกล่าวมีผลกระทบทั้งบนช่วงถนน (Link-based) และเป็นพื้นที่กว้าง (Area-Wide) ในขณะที่ผลกระทบสิ่งแวดล้อมบางประเภท เช่น การจราจรติดขัดก่อให้เกิดเพียงความรำคาญ แต่ผลกระทบสิ่งแวดล้อมบางประเภท เช่น มลพิษทางอากาศนั้นสามารถส่งผลอันตรายต่อสุขภาพโดยตรงได้ ผลกระทบสิ่งแวดล้อมบางประเภทสามารถวัดค่าเป็นตัวเลขได้ เช่น ระดับเสียงจากการจราจร แต่ผลกระทบสิ่งแวดล้อมบางประเภทสามารถประเมินผลกระทบได้โดยวิธีเชิงคุณภาพเท่านั้น เช่น ทัศนียภาพที่เปลี่ยนแปลงไป และความสำคัญของผลกระทบสิ่งแวดล้อมแต่ละประเภทยังแปรผันไปตามประเภทของการใช้ประโยชน์ที่ดิน ประเภทของโครงข่ายถนน และลักษณะของประชาชนผู้ได้รับผลกระทบ [2-3] กระบวนการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมในลักษณะดังกล่าวมักเกี่ยวข้องกับปัญหาที่มีโครงสร้างการตัดสินใจที่ไม่ชัดเจน (Ill-structured) และควรพิจารณาจากหลายหลักเกณฑ์หรือปัจจัย ทำให้การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมมีความซับซ้อนและยากลำบาก [3] ด้วยเหตุนี้วิธี Multicriteria Traffic Environmental Impacts Evaluation (MCTEIE) [2, 4] จึงถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้เป็นเครื่องมือช่วยในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการจราจร งานวิจัยนี้ได้ประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการจราจรเชิงพื้นที่จากหลายปัจจัยโดยเลือกใช้วิธี MCTEIE ซึ่งอาศัยหลักการตัดสินใจแบบหลายปัจจัย (MCDM) โดยใช้วิธี Analytic Hierarchy Process (AHP) ในการหาค่าน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยที่ส่งผลกระทบสิ่งแวดล้อม เพื่อจัดลำดับความรุนแรงของพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบ และระบุสาเหตุหลักของปัญหาผลกระทบในแต่ละพื้นที่เพื่อนำไปสู่การเสนอแนะแนวทางแก้ไขปัญหาผลกระทบสิ่งแวดล้อมต่อไป

วัตถุประสงค์การวิจัย

วัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยนี้เพื่อประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมจากการจราจรทั้งแบบแยกปัจจัยและแบบบูรณาการหลายปัจจัยเชิงพื้นที่ ตามแนวถนนสายหลัก (มิตรภาพ)ภายในพื้นที่ผังเมืองรวมเมืองขอนแก่นเพื่อจัดลำดับความสำคัญตามความรุนแรงของพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบ และเพื่อระบุสาเหตุหลักของปัญหาผลกระทบในแต่ละพื้นที่ พร้อมเสนอแนวทางแก้ไขปัญหาในอนาคต

วิธีการวิจัย



ภาพที่ 1 วิธีการวิจัย

ขั้นตอนดำเนินงานวิจัยนี้แสดงในภาพที่ 1 และสามารถอธิบายแต่ละขั้นตอนโดยสังเขปได้ดังนี้

การทบทวนวรรณกรรม

การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมจากการจราจรได้มีการพัฒนาหลายวิธี เพื่อประยุกต์ใช้ในการคาดการณ์ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านคมนาคมและขนส่ง หรือการพัฒนาโครงการด้านการจราจรซึ่งสามารถประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมจากการจราจรได้ใน 2 รูปแบบคือการประเมินผลบนช่วงถนน (Link-based) และการประเมินผลเชิงพื้นที่ (Area-Wide) ในการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมจะต้องเลือกรูปแบบการประเมินผลให้เหมาะสมกับปัจจัยที่นำมาใช้ในการประเมิน เช่นหากปัจจัยที่พิจารณาคือความ

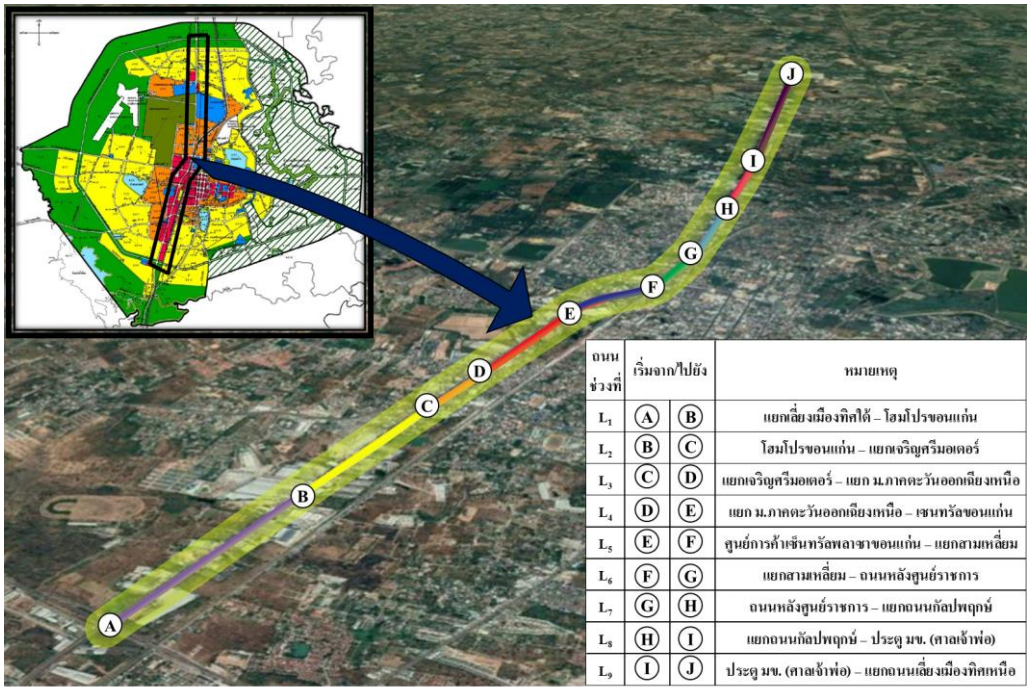
ยากลำบากในการเข้าออกพื้นที่ (Difficultly of access) หรือความล่าช้าของคนเดินเท้า (Pedestrian delays) จะต้องประเมินผลกระทบบนช่วงถนน แต่หากพิจารณาจากปัจจัยมลพิษทางอากาศ มลพิษทางเสียง จะต้องมีการประเมินผลกระทบเชิงพื้นที่ [5]

Woolley and Klungboonkrong [6] ได้ศึกษาการประเมินผลกระทบจากค่าระดับเสียงที่เกิดจากการจราจรในชุมชน Unley ซึ่งเป็นย่านชานเมืองทางตอนใต้ของเมือง Adelaide ประเทศออสเตรเลีย โดยได้พัฒนาซอฟท์แวร์ NetNoise เพื่อใช้ประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากเสียงจากการจราจรโดยอาศัยวิธีการของ Calculation of Road Traffic Noise (CoRTN) จากการศึกษา พบว่าเมื่อวางตำแหน่งเครื่องรับ (Receptor) ด้านข้างของถนนเป็นระยะห่างเท่าๆกัน จะสามารถคำนวณหาผลกระทบด้านเสียงที่เกิดจากการจราจรในรูปแบบการประเมินเชิงพื้นที่กว้างได้ และสามารถระบุและจัดลำดับความสำคัญของบริเวณหรือตำแหน่งของอาคารหรือที่พักอาศัยที่ได้รับผลกระทบมากที่สุดจากเสียงที่เกิดจากการจราจรได้

Shiran and Hidas [5] ได้เสนอแนวคิดเกี่ยวกับความจุทางสิ่งแวดล้อมเชิงพื้นที่กว้าง (Area-Wide Environmental Capacity, AWEC) ที่เกิดจากก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) ในปี ค.ศ. 1996 ที่เมือง Sydney ประเทศออสเตรเลีย และได้สรุปว่ามลพิษทางอากาศไม่เหมาะที่จะนำมาเป็นปัจจัยในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมโดยใช้หลักการความจุทางสิ่งแวดล้อมในระดับพื้นที่เล็ก ๆ แต่ควรพิจารณาจากมลพิษทางอากาศที่มาจากการจราจรทั้งหมดที่เกิดขึ้นในเขตเมือง นอกจากนี้มลพิษทางอากาศที่เกิดจากการจราจรสามารถแพร่กระจายออกไปยังพื้นที่ด้านข้างที่อยู่ใกล้เคียงได้ ดังนั้นจึงควรประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมสำหรับมลพิษทางอากาศในเชิงพื้นที่กว้าง

Klungboonkrong [7] ได้ศึกษาการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมการจราจรจากหลายปัจจัย ด้วยการประยุกต์ใช้วิธี Environmental Sensitivity Methodology (ESM) และ วิธีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (The Mathematical Modelling Method, MMM) กับการตัดสินใจแบบหลายปัจจัย (MCDM) เพื่อประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมจากการจราจร โดยปัจจัยที่ใช้ในการประเมิน 3 ปัจจัย ประกอบด้วยความยากลำบากในการเข้าออกพื้นที่ ค่าระดับเสียงจากการจราจร และความปลอดภัยของคนเดิน และหาค่าน้ำหนักความสำคัญของแต่ละปัจจัยด้วยวิธี AHP และประยุกต์ใช้หลักการ Fuzzy Scoring Method (FSM) เพื่อเปลี่ยนค่าคะแนนที่อยู่ในรูปแบบเชิงคำพูดให้เป็นค่าตัวเลข ผลจากการประเมินเปรียบเทียบระหว่างทั้งสองวิธี พบว่าค่าคะแนนที่ได้จากการประเมินด้วยวิธี MMM มีความเหมาะสมมากกว่าวิธี ESM

การเลือกพื้นที่ศึกษา



ถนนช่วงที่	เริ่มจาก/ไปยัง		หมายเหตุ
L_1	A	B	แยกเลี่ยงเมืองทิศใต้ – โฮมโปรขอนแก่น
L_2	B	C	โฮมโปรขอนแก่น – แยกเจริญศรีมอเตอร์
L_3	C	D	แยกเจริญศรีมอเตอร์ – แยก ม.ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
L_4	D	E	แยก ม.ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ – เซนทรัลขอนแก่น
L_5	E	F	ศูนย์การค้าเซ็นทรัลพลาซาขอนแก่น – แยกสามเหลี่ยม
L_6	F	G	แยกสามเหลี่ยม – ถนนหลังศูนย์ราชการ
L_7	G	H	ถนนหลังศูนย์ราชการ – แยกถนนกัลปพฤกษ์
L_8	H	I	แยกถนนกัลปพฤกษ์ – ประตู มข. (ศาลเจ้าพ่อ)
L_9	I	J	ประตู มข. (ศาลเจ้าพ่อ) – แยกถนนเลี่ยงเมืองทิศเหนือ

ภาพที่ 2 การกำหนดพื้นที่ศึกษา

พื้นที่ผังเมืองรวมเมืองขอนแก่นมีพื้นที่ประมาณ 228 ตารางกิโลเมตร มีค่าผลิตภัณฑ์มวลรวมจังหวัด (Gross Provincial Product, GPP) จำนวนประชากร และจำนวนยานพาหนะที่จดทะเบียนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเนื่องจากการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจของเมืองขอนแก่น ถนนมิตรภาพในเขตเมืองขอนแก่นได้ถูกเลือกเป็นพื้นที่ศึกษาเนื่องจากเป็นถนนสายหลักที่พาดผ่านเมืองขอนแก่นและมีโครงสร้างพื้นฐานและพื้นที่ชุมชนที่สำคัญตั้งอยู่ตามแนวเส้นทาง เช่น สถานีขนส่งผู้โดยสารของจังหวัดแห่งใหม่ มหาวิทยาลัยขอนแก่น โรงพยาบาลขนาดใหญ่และศูนย์ประชุม นอกจากนี้ในอนาคตยังจะมีการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านการขนส่งขนาดใหญ่เช่นรถไฟรางคู่ รถไฟความเร็วสูง การปรับปรุงท่าอากาศยานนานาชาติ ด้วยเหตุนี้จึงก่อให้เกิดการเพิ่มขึ้นของปริมาณจราจรและผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่ตามมา งานวิจัยนี้แบ่งถนนมิตรภาพ (ระยะทางรวม 14 กิโลเมตรในเขตผังเมืองรวมขอนแก่น) ออกเป็น 9 ช่วง และพิจารณาพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากกึ่งกลางถนนถนนออกไปข้างละ 150 เมตรดังแสดงในภาพที่ 2

การสำรวจข้อมูล

ข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัยนี้ประกอบไปด้วยข้อมูลปฐมภูมิที่เป็นข้อมูลจากการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้หาค่าน้ำหนักความสัมพันธ์ของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมแต่ละประเภท และข้อมูลทุติยภูมิยังเป็นข้อมูลตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณผลกระทบสิ่งแวดล้อม 3 ปัจจัยประกอบด้วย 1) ข้อมูลการคาดการณ์ค่าระดับเสียงจากการจราจร ได้แก่ ข้อมูลปริมาณจราจร ความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะ ประเภทของยานพาหนะ สัดส่วนรถบรรทุก ความยาวของถนน ความชันของถนน ประเภทของผิวถนน ความกว้างของถนน และค่าปรับแก้ต่างๆ 2) ข้อมูลที่ใช้ในการคาดการณ์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และ 3) ข้อมูลที่ใช้คาดการณ์ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM 2.5) จะอาศัยข้อมูลปริมาณจราจร ความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะ สัดส่วนประเภทของยานพาหนะ ความยาวของถนน ความกว้างของถนน

ความเร็วลม ความสูงผสม อุณหภูมิในอากาศ ทิศทางลม และอัตราการปล่อยมลพิษประเภทต่างๆ ในยานพาหนะแต่ละประเภท เป็นต้น

การเลือกปัจจัยผลกระทบสิ่งแวดล้อม

จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการจราจรพบว่า ปัญหามลพิษทางอากาศและค่าระดับเสียงส่งผลให้เกิดความรำคาญจนถึงเป็นอันตรายต่อสุขภาพได้ งานวัยนี้จึงเลือกพิจารณาปัจจัยปัญหามลพิษทางอากาศและค่าระดับเสียงที่เกิดจากการจราจร โดยใช้ PM 2.5 ที่กำลังเป็นสาเหตุหลักของปัญหามลพิษทางอากาศในปัจจุบัน [8] เป็นตัวแทนมลพิษทางอากาศจากการจราจร และ CO_2 ซึ่งเป็นก๊าซเรือนกระจก (GHG) ที่ก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ (Climate change) นอกจากนี้ปัจจัยดังกล่าวยังสอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals, SDGs) สำหรับการจัดการผลกระทบสิ่งแวดล้อมในเขตเมือง [9] อีกทั้งปัจจัยเหล่านี้ยังเป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบสิ่งแวดล้อมในเชิงพื้นที่กว้าง (Area-wide)

งานวิจัยนี้ได้กำหนดค่ามาตรฐานของ PM 2.5 จาก EPA [10] โดยกำหนดให้ปริมาณของ PM 2.5 ใน 1 ชั่วโมงที่จะส่งผลกระทบต่อสุขภาพมีค่าตั้งแต่ 80 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ส่วนค่าระดับเสียงมาตรฐานได้จากประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ [11] ซึ่งกำหนดค่ามาตรฐานของค่าระดับเสียงเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ไม่เกิน 70 เดซิเบลเอ และค่ามาตรฐานสำหรับ CO_2 กำหนดจากค่าเฉลี่ยของปริมาณ CO_2 ที่เกิดขึ้นจากการจราจรในเขตผังเมืองรวมขอนแก่นต่อพื้นที่เขตผังเมืองรวมซึ่งได้จากการศึกษาของ Sina Long [12] โดยปริมาณ CO_2 มีค่าเฉลี่ยต่อพื้นที่เท่ากับ 0.000225 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ส่วนระดับความรุนแรงของผลกระทบสิ่งแวดล้อมในแต่ละปัจจัยแบ่งเป็น 3 ระดับดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การแบ่งระดับความรุนแรงของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม [10-12]

ปัจจัยผลกระทบสิ่งแวดล้อม	หน่วย	ระดับความรุนแรง			อ้างอิง
		ต่ำ	ปานกลาง	สูง	
ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน	มคก./ลบ.ม.	< 75	75 - 85	> 85	[10]
ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	กก./ตร.ม.	< 0.000212	0.000212 - 0.000225	> 0.000225	[11]
เสียงจากการจราจร	เดซิเบลเอ	< 65	65 - 70	> 70	[12]

การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM 2.5)

งานวิจัยนี้พิจารณาแหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศเป็นแบบแนวเส้น ตามแนวถนน ดังนั้นแนวคิดหรือทฤษฎีที่เหมาะกับการศึกษาการกระจายของมลพิษในอากาศจึงประยุกต์ใช้ทฤษฎีการแพร่กระจายแบบสุ่ม (Gaussian Dispersion Theory) และคำนวณได้จาก Gaussian Dispersion Model [13] ส่วนการคาดการณ์ปริมาณ PM 2.5 ที่เกิดจากการจราจรคำนวณได้จากสมการที่ 1

$$C = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z u}\exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right]\left\{\exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z-H}{\sigma_z}\right)^2\right]+\exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z+H}{\sigma_z}\right)^2\right]\right\} \quad (1)$$

โดยที่ H คือ ความสูงที่มีประสิทธิภาพ (เมตร), y คือ แนวลม (เมตร), z คือ ทิศทางในแนวตั้ง (เมตร), u คือ ความเร็วลมที่ความสูง H ของการปล่อย (เมตร/วินาที), σ_y, σ_z คือ ค่าสัมประสิทธิ์การฟุ้งกระจาย (เมตร), Q คือ อัตราการปล่อยมลพิษจากแหล่งกำเนิด (กรัม/วินาที) และ C คือ ค่าความเข้มข้น (กรัมต่อลูกบาศก์เมตร) ค่าอัตราการปล่อยมลพิษ

(Emission Factors) ของ PM 2.5 และ CO_2 ของยานพาหนะแต่ละประเภทที่พิจารณาในงานวิจัยนี้ (รถจักรยานยนต์ รถยนต์โดยสาร รถโดยสารขนาดใหญ่ และรถบรรทุก) สามารถแสดงได้ในรูปแบบของสมการดังสรุปในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 Emission Factors ของยานพาหนะ [11, 14]

ประเภทของยานพาหนะ	สมการ Emission Factors			
	CO_2	R^2	PM 2.5	R^2
จักรยานยนต์	$Y = 0.0169X^2 - 1.3909X + 57.674$	0.8	-	-
รถยนต์โดยสาร	$Y = 0.0686X^2 - 7.7792X + 340.01$	0.92	-	-
รถกระบะ	$Y = 0.0695X^2 - 8.0605X + 373.14$	0.94	$Y = 0.00003X^2 - 0.0023X + 0.0804$	0.89
รถโดยสารขนาดใหญ่	$Y = 0.1955 X^2 - 21.345X + 836.12$	0.90	$Y = 0.0005 X^2 - 0.0055X + 0.5959$	0.98
รถบรรทุก	$Y = 0.2889X^2 - 33.506X + 1493.7$	0.93	$Y = -0.0018X^2 + 0.0761X + 0.3661$	0.97

*เมื่อ x = ความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะ Y = Emission Factor และ Emission Factor ของ PM 2.5 จะพิจารณาเฉพาะเครื่องยนต์ดีเซลเท่านั้น

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)

การคาดการณ์ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของยานพาหนะประเภทต่างๆที่แล่นอยู่บนช่วงถนน ในงานวิจัยนี้ใช้วิธี Bottom-Up 2 [11] ในการคำนวณหาปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ที่เกิดจากการจราจรดังสมการที่ 2

$$TE_k = \sum_e \sum_i \sum_j \left(Ef_{kij} \times D_e \times V_{ije} \right) \quad (2)$$

โดยที่ TE_k คือ ปริมาณการปล่อยก๊าซ CO_2 จากยานพาหนะทุกประเภทที่ใช้พลังงานเชื้อเพลิงทุกชนิดบนช่วงถนนต่างๆ, EF_{kij} คือ Emission factors ของมลพิษประเภท k จากยานพาหนะประเภท i และชนิดพลังงานเชื้อเพลิง j (กรัม/กิโลเมตร) [11], D_e = ความยาวของช่วงถนน e (เมตร) และ V_{ije} คือ ปริมาณจราจรของพาหนะประเภท i และ ชนิดพลังงานเชื้อเพลิง j บนช่วงถนน e โดยที่ค่า Emission Factor (EF) แสดงดังตารางที่ 2 จากนั้นจะนำค่าปริมาณการปล่อยก๊าซ CO_2 ในแต่ละพื้นที่ไปหาการกระจายตัวของ CO_2 ในแต่ละพื้นที่ด้วย Gaussian Dispersion Model ดังสมการที่ 1

ค่าระดับเสียงที่เกิดจากการจราจร

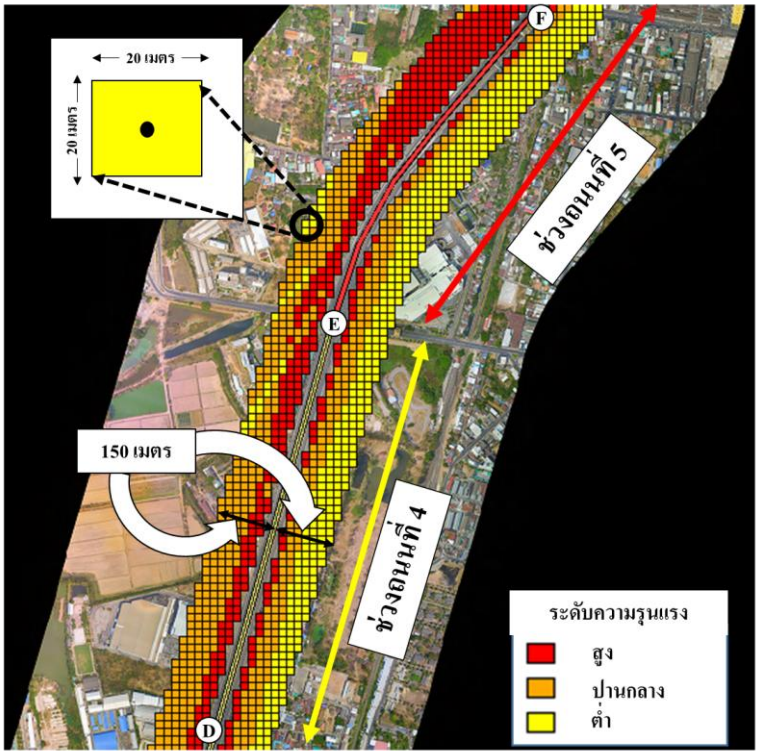
แบบจำลอง CoRTN ถูกพัฒนาขึ้นสำหรับ United Kingdom Department of Transport [15] โดยสมมติให้แหล่งกำเนิดเสียงเป็นแบบเส้นและความเร็วของกระแสจราจรเป็นแบบการไหลอิสระ (Free flow) การคำนวณหาค่าระดับเสียงเริ่มจากการคำนวณหาค่าระดับเสียงพื้นฐาน (Basic Noise Level, BNL) สำหรับช่วงถนน ซึ่งค่าระดับเสียงพื้นฐาน ที่คำนวณออกมาได้นั้นได้จะอยู่ในรูป L_{10}(18 h) มีหน่วยเป็น dB(A) [6] สำหรับสมการที่ใช้ในการคำนวณค่าระดับเสียงพื้นฐาน (BNL) ในระยะเวลา 18 ชั่วโมง แสดงในสมการที่ 3

$$L_{10}(18-hour) = 29.1 + 10\log_{10} Q \quad (3)$$

โดยที่ Q คือปริมาณจราจรในช่วงระยะเวลา 18 ชั่วโมง เมื่อทำการปรับแก้ค่าระดับเสียงพื้นฐาน (Basic Noise Level, BNL) ด้วย ค่าปรับแก้ (Corrections) เช่นค่าปรับแก้สำหรับความเร็วและปริมาณรถบรรทุก (C_{sh}) ค่าปรับแก้จากความลาดชันของถนน (C_g) ค่าปรับแก้จากชนิดของผิวจราจร (C_{rs}) และค่าปรับแก้เนื่องจากระยะห่างจากแนวของแหล่งกำเนิด

เสียง (C_d) เป็นต้น จึงจะได้ค่าระดับเสียงสุดท้าย (Final Noise Level, FNL) ณ จุดรับเสียง (Receptor Point) จากช่วงถนนที่พิจารณา [6]

ผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมแยกรายปัจจัย



ภาพที่ 3 ตัวอย่างค่า ATEII ของ PM 2.5 ที่เกิดจากการจราจรในบริเวณช่วงถนนที่ 4 และ 5

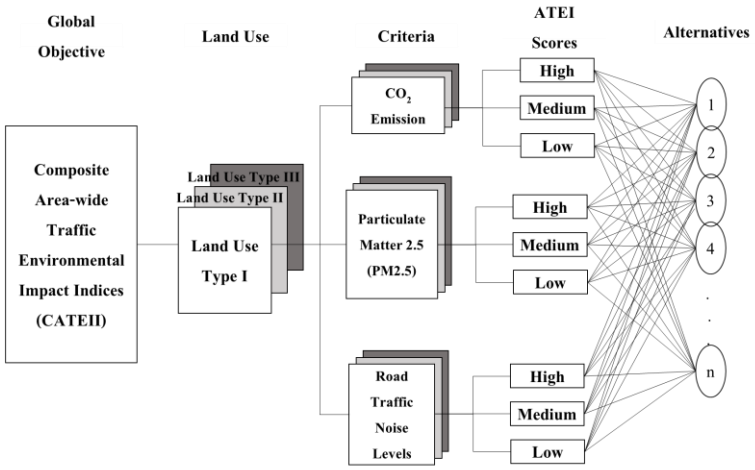
ในบทความนี้แสดงตัวอย่างการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการจราจรใน 2 ช่วงถนน (ช่วงถนนที่ 4 และ 5) เนื่องจากประเภทของการใช้ประโยชน์ที่ดินบริเวณริมถนนของทั้ง 2 ช่วงเป็นแบบผสมผสานจึงใช้เป็นตัวอย่างในการศึกษาครั้งนี้ ผลที่ได้จากการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมรายปัจจัยจะอยู่ในเชิงตัวเลข เมื่อนำผลลัพธ์ที่คำนวณได้มาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานดังแสดงในตารางที่ 2 เพื่อหาค่าดัชนีผลกระทบสิ่งแวดล้อมแยกรายปัจจัยในแต่ละพื้นที่ย่อยที่มีขนาด 20×20 ตารางเมตร โดยใช้จุดกึ่งกลางของพื้นที่ย่อยเป็นตำแหน่งคาดการณ์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมของแต่ละปัจจัยและเป็นตัวแทนในรูปแบบเชิงพื้นที่ โดยค่า ATEII ของ PM 2.5 ที่เกิดจากการจราจรที่คำนวณได้จากสมการที่ 1 แสดงในภาพที่ 3 จากนั้นทำการหาค่า ATEII ของระดับเสียงและ CO_2 ที่เกิดจากการจราจรในพื้นที่ต่างๆ จากสมการที่ 2 และ 3 ตามลำดับ

การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมแบบหลายปัจจัยโดยใช้กระบวนการ AHP

ในงานวิจัยนี้กล่าวถึงกระบวนการของ AHP โดยทั่วไป 3 ส่วน [16] คือ (1) การจำแนกองค์ประกอบการตัดสินใจออกเป็นองค์ประกอบย่อย (Decomposition) (2) การจัดลำดับความสำคัญ (Prioritisation) และ (3) การสังเคราะห์ (Synthesis) ซึ่งสามารถอธิบายโดยสังเขปได้ดังนี้

การจำแนกปัจจัยการตัดสินใจออกเป็นเป็นองค์ประกอบย่อย (Decomposition)

การสร้างโครงสร้างลำดับชั้นของ AHP ขึ้นอยู่กับความรู้ ประสบการณ์ และความเชี่ยวชาญของผู้ตัดสินใจ โดยผู้ตัดสินใจจะจำแนกปัจจัยการตัดสินใจต่าง ๆ ออกเป็นกลุ่มๆ เพื่อเข้าสู่การจัดรูปแบบโครงสร้างการตัดสินใจ (Hierarchy structure) [7] ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 โครงสร้างลำดับชั้นในงานวิจัย (Hierarchy structure)

ในงานวิจัยนี้แบ่งประเภทของการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็น 3 ประเภท ได้แก่ 1) พื้นที่ที่มีความอ่อนไหวต่อผลกระทบสิ่งแวดล้อมมาก (Land Use Type I) เช่น ที่พักอาศัย สถานศึกษา โรงพยาบาล เป็นต้น 2) พื้นที่ที่มีความอ่อนไหวต่อผลกระทบสิ่งแวดล้อมในระดับปานกลาง (Land Use Type II) เช่น ตลาด ห้างสรรพสินค้า สำนักงาน เป็นต้น และ 3) พื้นที่ที่มีความอ่อนไหวต่อผลกระทบสิ่งแวดล้อมน้อย (Land Use Type III) เช่น เขตพื้นที่อุตสาหกรรม โรงงาน เป็นต้น ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินที่แตกต่างกันจะมีผลต่อการให้ค่าน้ำหนักความสำคัญของแต่ละปัจจัยผลกระทบสิ่งแวดล้อม [17] สำหรับการแบ่งเกณฑ์ช่วงคะแนนผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เป็นคำพูดได้แก่ ต่ำ ปานกลาง และสูง จะมีค่าเกณฑ์ช่วงคะแนนที่เท่ากันในแต่ละประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน เนื่องจากใช้ค่าระดับมาตรฐานผลกระทบสิ่งแวดล้อมแต่ละปัจจัยเป็นตัวกำหนดช่วงคะแนนผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เป็นคำพูด

การจัดลำดับความสำคัญ (Prioritisation)

ขั้นตอนนี้เป็นการพิจารณาค่าน้ำหนักความสำคัญในแต่ละระดับชั้นของโครงสร้าง ซึ่งอาศัยวิธีการให้อัตราส่วน (Ratio scale) โดยการเปรียบเทียบเป็นคู่ (Pairwise comparisons) ข้อมูลที่ใช้ในขั้นตอนนี้ได้มาจากการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญ โดยที่รูปแบบของเมตริกซ์ทั่วไป w_i และ w_j เป็นค่าน้ำหนักความสำคัญสัมพัทธ์ของปัจจัยการตัดสินใจ i และ j ตามลำดับ ส่วนค่าคะแนนความสำคัญเปรียบเทียบ มีค่าตั้งแต่ 1 (สำคัญเท่ากัน) 3 (สำคัญกว่าปานกลาง) 5 (สำคัญกว่ามาก) 7 (สำคัญกว่ามากมาก) 9 (สำคัญสูงสุด) และค่า 2 4 6 และ 8 ใช้เพื่อเปรียบเทียบในลักษณะที่ก้ำกึ่งหรือไม่สามารถอธิบายด้วยคำพูดที่เหมาะสมได้ [18] ซึ่งตัวอย่างการเปรียบเทียบเป็นคู่ปัจจัยผลกระทบสิ่งแวดล้อมและการเปรียบเทียบเป็นคู่ระดับ ATEIIในงานวิจัยนี้สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4 และ 5 ตามลำดับ

Normalised Principle Right Eigen vector ($W = \{ w_1, w_2,..., w_n,\}^T$) ของเมตริกซ์จัตุรัส **A** สามารถคำนวณหาค่าน้ำหนักความสำคัญสำหรับแต่ละปัจจัยการตัดสินใจได้ โดยการพิจารณาจะตั้งอยู่บนฐานความรู้ ประสบการณ์ และความสามารถของผู้ตัดสินใจ ดังนั้นจึงเป็นไปได้ยากในการที่เมตริกซ์ **A** จะมีความสอดคล้อง (Consistent) อย่างสมบูรณ์ ซึ่ง Saaty [18] พบว่า เมื่อแทน Right Eigen vector (W) ด้วย Largest Eigen value (λ_{max}) ของเมตริกซ์ **A** (สมการที่ 4) จะสามารถหาค่าน้ำหนักความสำคัญสำหรับทุกปัจจัยการตัดสินใจที่ทำการพิจารณาเปรียบเทียบได้เช่นกัน

$$\mathbf{AW} = \lambda_{max}\mathbf{W} \quad (4)$$

ดัชนีความสอดคล้อง (Consistency Index, CI) โดยที่ $CI = (\lambda_{max} - n)/(n-1)$ ได้ถูกสร้างขึ้นเป็นดัชนีชี้วัดจากการทดสอบเมตริกซ์จัตุรัส (500 ตัวอย่าง) [18] เรียกว่า ดัชนีความสอดคล้องสุ่ม (Random Consistency Index, RCI) ดังแสดงในตารางที่ 3 ค่าอัตราส่วนระหว่าง CI และRCI เรียกว่า อัตราส่วนความสอดคล้อง (Consistency Ratio, CR) หรือ $CR = CI / RCI$ โดยทั่วไปค่า CR จะยอมรับได้เมื่อมีค่าน้อยกว่า 0.10 ซึ่งเป็นค่าที่บอกถึงความสอดคล้องของกระบวนการตัดสินใจ [18]

ตารางที่ 3 ค่าดัชนีความสอดคล้องจากการสุ่มตัวอย่าง [16]

จำนวนปัจจัย	1	2	3	4	5	6	7	8	9
RCI	0.00	0.00	0.52	0.89	1.11	1.25	1.35	1.40	1.49

โดยทั่วไปวิธี Normalisation of the Geometric Mean of the Row (NGM) [16] สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการประมาณการค่า Principle Right Eigenvector (W) เนื่องจากง่ายต่อการคำนวณและการทำความเข้าใจค่า Largest Eigen value (λ_{max}) ของเมตริกซ์จัตุรัส A [3]

การสังเคราะห์ (Synthesis)

เมื่อได้ค่าน้ำหนักความสำคัญแต่ละปัจจัย ในการเปรียบเทียบในแต่ละชั้นของโครงสร้างลำดับชั้นทั้งหมด โดยทั่วไปกระบวนการตัดสินใจแบบ AHP จะใช้วิธี “Principle of Hierarchy Composition” ในการสังเคราะห์เพื่อหาค่าน้ำหนักความสำคัญแต่ละค่าของปัจจัยเป็นน้ำหนักความสำคัญสัมพัทธ์รวม (Global Relative Importance) เพื่อพิจารณาหาทางเลือกที่ดีที่สุด น้ำหนักความสำคัญของแต่ละทางเลือก จะเป็นตัวบ่งชี้ลำดับความสำคัญของทางเลือก [18]

ผลการดำเนินการตามกระบวนการ AHP

จากการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 15 คน สามารถแบ่งประเภทของผู้เชี่ยวชาญออกเป็น 3 กลุ่ม จำนวนกลุ่มละ 5 คน ประกอบด้วย กลุ่มที่ 1 นักวิชาการด้านการขนส่งและจราจร กลุ่มที่ 2 นักวิชาการด้านสิ่งแวดล้อม กลุ่มที่ 3 ผู้ปฏิบัติงานดูแลด้านสิ่งแวดล้อม ผลจากการสัมภาษณ์สามารสรุปค่าน้ำหนักความสำคัญแบบกลุ่มได้จากวิธีค่าเฉลี่ยเรขาคณิต (Geometric Mean Method, GMM) ได้ในรูปแบบแผนภูมิดังแสดงในภาพที่ 5

ตารางที่ 4 ตัวอย่างการเปรียบเทียบคู่ปัจจัยผลกระทบสิ่งแวดล้อมในรูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทที่ 1 จากผู้เชี่ยวชาญท่านที่ 1

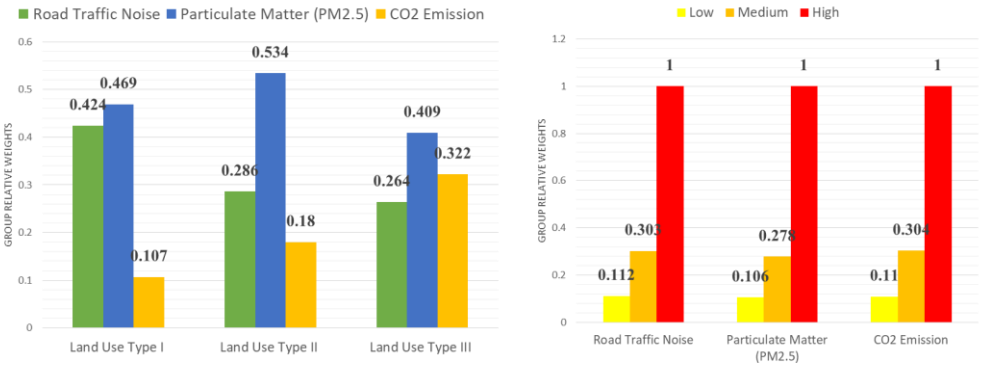
Criteria	(1) เสียงจากการจราจร	(2) PM 2.5	(3) CO_2	น้ำหนักความสำคัญ
(1) เสียงจากการจราจร	1	1/9	1/3	0.066
(2) ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM 2.5)	9	1	7	0.785
(3) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)	3	1/7	1	0.149
Total				1.000

λ(max) = 3.080, CI = 0.04, CR = 0.084

ตารางที่ 5 ตัวอย่างการเปรียบเทียบคู่ระดับ ATEII ของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM 2.5) จากผู้เชี่ยวชาญท่านที่ 1

ATEII	(1) High	(2) Medium	(3) Low	Weights
(1) High	1	3	5	0.637
(2) Medium	1/3	1	3	0.258
(3) Low	1/5	1/3	1	0.105
Total				1.000

$\lambda_{(max)} = 3.039$, CI = 0.0195, CR = 0.04

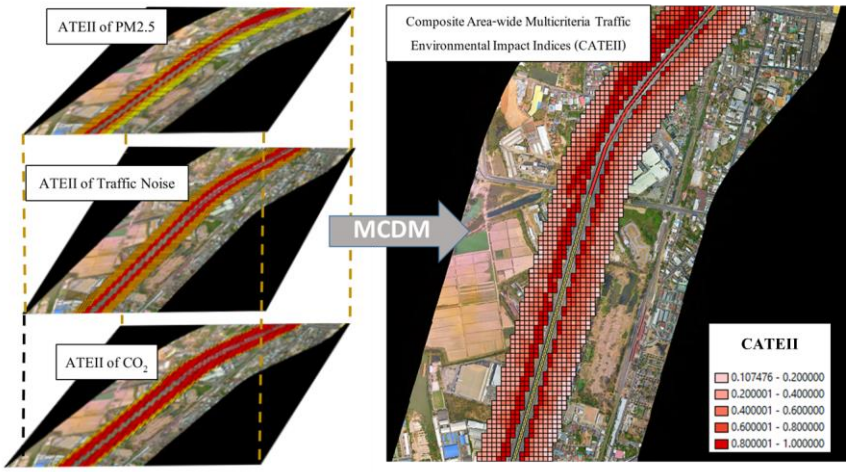


(a) ค่าน้ำหนักความสำคัญของแต่ละปัจจัย (b) ค่าน้ำหนักความสำคัญของระดับความรุนแรง

ภาพที่ 5 (a) ค่าน้ำหนักความสำคัญของแต่ละปัจจัยผลกระทบสิ่งแวดล้อมในแต่ละประเภทการใช้สอยประโยชน์ที่ดิน และ (b) น้ำหนักความสำคัญของระดับความรุนแรงของผลกระทบสิ่งแวดล้อมในแต่ละปัจจัยผลกระทบสิ่งแวดล้อม

ผลการวิจัย

ผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมแบบหลากหลายปัจจัยด้วยวิธีการ AHP



ภาพที่ 6 ผลการคำนวณหาค่า CATEII ด้วยวิธี AHP

จากกระบวนการทาง AHP ข้างต้นสามารถคำนวณหาค่าดัชนีผลกระทบสิ่งแวดล้อมรวมจากการจราจรเชิงพื้นที่ (CATEII) ได้โดยอาศัยหลักการ “Principle of Hierarchy Composition” ซึ่งได้ค่า Group Weights ของแต่ละปัจจัยผลกระทบในแต่ละประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน ตัวอย่างการคำนวณ CATEII ในแต่ละพื้นที่ ในบทความนี้ใช้กรณีพื้นที่ย่อยหมายเลข 2387 ซึ่งเป็นพื้นที่ที่ตั้งอยู่บนพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทที่ 2 คือพื้นที่ที่มีความอ่อนไหวต่อผลกระทบสิ่งแวดล้อมในระดับปานกลาง โดยพบว่าค่าดัชนี ATEII ของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมในด้านระดับเสียงจากการจราจร อยู่ในระดับ ‘สูง’ การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ในระดับ ‘สูง’ และฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน อยู่ในระดับ ‘ปานกลาง’ ตามลำดับ ส่วนค่า CATEII คำนวณได้จากวิธี Simple Additive Weight (SAW) โดยมีสมการคือ $CATEII_{ik} = \sum_{j=1}^{n}\left(w_{jk} \times s_{ij}\right)$ เมื่อ w_{jk} คือค่าน้ำหนักความสำคัญของปัจจัย j ในการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภท k และ s_{ij} คือค่าคะแนนของผลกระทบสิ่งแวดล้อมของปัจจัย j ในช่วงระดับความรุนแรง i ค่า CATEII ในพื้นที่ย่อยหมายเลข 2387 มีค่า [(0.286×1) + (0.180×1) + (0.534×0.276)] = 0.6134 และเมื่อประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้วยค่า CATEII ในทุกพื้นที่ และจัดเรียงตามระดับของ CATEII ในแต่ละพื้นที่ (ดังภาพที่ 6) โดยสาเหตุหลักของปัญหาผลกระทบสิ่งแวดล้อมในพื้นที่นี้เกิดจากระดับเสียงที่เกิดจากการจราจร [0.286 = (0.286×1)] CO_2 [0.180 = (0.180×1)] และ PM 2.5 [0.147 = (0.534×0.276)] ตามลำดับ

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

จากผลงานวิจัยในครั้งนี้สามารถวิเคราะห์และประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการจราจร ทั้งในลักษณะวิเคราะห์แยกรายปัจจัยและวิเคราะห์แบบรวมหลายปัจจัยในรูปแบบผลกระทบเชิงพื้นที่ช่วงถนนสายหลัก (มิตรภาพ) ในผังเมืองรวมเมืองขอนแก่นด้วยวิธี MMM ดำเนินการร่วมกับ MCDM ซึ่งได้ใช้วิธี AHP ด้วยวิธี SAW ในการคำนวณหาค่า CATEII เพื่อใช้ในการจัดลำดับความรุนแรงของพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบ และพบว่าสาเหตุหลักของปัญหาผลกระทบในพื้นที่โดยรอบช่วงถนนในบทความนี้เกิดจากระดับเสียงที่เกิดจากการจราจร และเมื่อพิจารณาจากสาเหตุหลักของปัญหาผลกระทบในพื้นที่ ทำให้สามารถเสนอแนวทางการแก้ปัญหาผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการจราจรในแต่ละพื้นที่ได้อย่างเหมาะสมต่อไป

เนื่องจากในบางพื้นที่อาจมีค่า CATEII เท่ากัน แต่จำนวนประชากรในพื้นที่มีความแตกต่างกัน ดังนั้นจำนวนประชากรในพื้นที่จึงเป็นปัจจัยที่ควรนำมาพิจารณาในการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมในอนาคต และเพื่อให้ค่าน้ำหนักความสำคัญของแต่ละปัจจัยที่ใช้ในการประเมินสะท้อนความเห็นของประชาชนที่อยู่ในพื้นที่ ควรสำรวจความเห็นของประชาชนในพื้นที่โดยพิจารณาเปรียบเทียบกับความเห็นที่ได้จากผู้เชี่ยวชาญ นอกจากนี้ควรคำนึงถึงผลกระทบของสิ่งก่อสร้างที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในพื้นที่ที่อยู่ด้านหลังอาคารหรือสิ่งก่อสร้างมาวิเคราะห์เพื่อคาดการณ์ค่าระดับผลกระทบสิ่งแวดล้อมให้มีความใกล้เคียงกับสถานการณ์จริงมากที่สุด

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณผู้เชี่ยวชาญทุกท่านที่เกี่ยวข้องอย่างสูง ที่ให้ความร่วมมือและความอนุเคราะห์ตอบแบบสอบถามที่ในการทำวิจัยในครั้งนี้ ตลอดจนความช่วยเหลือในการทำวิจัยในครั้งนี้จากศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างมูลฐานอย่างยั่งยืน (SIRDC) มหาวิทยาลัยขอนแก่น

เอกสารอ้างอิง

1. Chavez-Baeza C, Sheinbaum-Pardo C. Sustainable passenger road transport scenarios to reduce fuel consumption, air pollutants, and GHG (greenhouse gas) emissions in the Mexico City metropolitan area. Energy. 2014; 66: 624–634.
2. Widiantono DJ, Samuels S E. Towards a general model for the environmental capacity of roads. Proceedings of the 9th Road Engineering Association of Asia and Australasian (REAAA) Conference. 1998; 9(1): 287-292.
3. Klungboonkrong P. Sustainable Urban Transportation Planning: Principle and Practice. Sustainable infrastructure research and development center. Faculty of civil engineering KhonKaen University; 2018; 349-385.
4. Klungboonkrong P, Taylor MAP. A multicriteria environmental sensitivity evaluation of urban road networks: the Khon Kaen case study. Thailand. In the 1st Asia Pacific Conference on Transportation and the Environment. 1998; 260-268.
5. Shiran G, Hidas P. Area-wide environmental capacity based on air pollution: an urban development evaluation tool. Proceedings of the 18th Australian Road Research Board Transport Research Conference and Transit NZ Land Transport Symposium. 1996; 18(6): 249-263.
6. Woolley JE, Klungboonkrong P, Taylor MAP. Some considerations of network traffic noise and a decision support system. WIT Transactions on The Built Environment. 1970; 26.
7. Klungboonkrong P, Taylor MAP. A microcomputer-based-system for multicriteria environmental impacts evaluation of urban road networks. Computers, Environment and Urban Systems. 1998; 22(5): 425-446.
8. Moran J, NaSuwan C, Poocharoen OO. The haze problem in Northern Thailand and policies to combat it: A review. Environmental Science & Policy. 2019; 97: 1-15.
9. United Nation UN. The Sustainable Development Goals Report. New York. USA. 2016.
10. Environment Protection Authority (EPA). PM2.5 particles in air [Internet]. 2017 [updated 2018 May 10]. Available from: https://www.epa.vic.gov.au/~/media/Publications/1709.pdf
11. Pollution Control Department. Air Pollution and Air Pollution Management Plan in Bangkok from 2012 - 2016. Bangkok: Pollution Control Department. Ministry of Natural Resources and Environment. 2012.
12. Long S. The consequences of electric vehicle and mass transit system development and land use planning on the transport related performances and energy and environmental aspects: the Khon Kaen case study. Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University, Thailand. 2017.
13. Schulze RH, Turner DB. Practical guide to atmospheric dispersion modeling. Trinity Consultants, Incorporated; 1996.
14. OTP. The Study to Develop Master Plan for Sustainable Transport Systemand Mitigation of Climate Change Impacts, Bankok, Thailand; 2015.
15. UK DoT. Calculation of Road Traffic Noise (CoRTN). London: UK Department of Transport, Welsh Office; 1988.

16. Saaty TL, Vargas LG. The Decision by the US Congress on China's Trade Status: A Multicriteria Analysis. In: Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process. International Series in Operations Research & Management Science, vol 34. Springer, Boston, MA. 2001.
17. Singleton DJ, Twiney PJ. Environmental sensitivity of arterial roads, Papers of the Australian Transport Research Forum. 1985; 10(2): 165-182.
18. Saaty TL. The analytical hierarchy process. Priority setting, resource allocation. New York: McGraw-Hill international book; 1980.