

บัญชีการระบายมลพิษอากาศฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM_{2.5}) และการสูญเสียทางสุขภาพจากแหล่งกำเนิดยานพาหนะในจังหวัดเชียงใหม่

Emission Inventory of Fine Particulate Matter (PM_{2.5}) and Health Loss from Transport Sources in Chiang Mai Province

ฐิติรัตน์ วิญญูสิริวรกุล* ศษ.ม. (การศึกษานอกระบบ)	Thitirat Vinsirivorakul* M.Ed. (Nonformal Education)
เอกบดินทร์ วินิจกุล** Ph.D. (Environmental Engineering)	Ekbordin Winijkul** Ph.D. (Environmental Engineering)
ตระการ ประภัสพงษา*** Ph.D. (Environmental Engineering)	Trakarn Prapasongsa*** Ph.D. (Environmental Engineering)
วรัญญู จันทงประสาทร**** พ.บ.	Warunyou Jamnongprasatporn**** M.D.
ธงชัย ขนบแก้ว***** Ph.D. (Environmental Engineering)	Thongchai Kanabkaew***** Ph.D. (Environmental Engineering)
กันตชัย ไพจิตรโยธี***** วท.ม. (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อมและการจัดการ)	Kantachai Pajityote***** M.Sc. (Environmental Engineering and Management)
สุพัฒน์ หวังวงศ์วัฒนา***** Ph.D. (Environmental Engineering)	Supat Wangwongwatana***** Ph.D. (Environmental Engineering)

* นิสิตหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ Master of Science program student, Faculty of Public Health, Thammasat University

** คณะสิ่งแวดล้อม ทรัพยากรและการพัฒนา สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย School of Environment, Resources and Development, Asian Institute of Technology

*** คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล Faculty of Engineering, Mahidol University

**** สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเชียงใหม่ Chiangmai Provincial Public Health Office

***** คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ Faculty of Public Health, Thammasat University

***** นิสิตหลักสูตรวิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ Ph.D. Candidate, Faculty of Public Health, Thammasat University

Received: Sep 14, 2025

Revised: Nov 5, 2025

Accepted: Dec 9, 2025

บทคัดย่อ

เชียงใหม่ประสบปัญหาฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM_{2.5}) ต่อเนื่องทุกปี แม้ว่าจะมีการศึกษาถึงแหล่งที่มาของมลพิษทางอากาศในบางมิติแล้ว แต่ยังขาดการศึกษาที่ให้ข้อมูลเชิงประจักษ์เกี่ยวกับปริมาณการระบายมลพิษทางอากาศจากแหล่งกำเนิดยานพาหนะที่ครอบคลุมทั้งจังหวัดเชียงใหม่ การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) จัดทำบัญชีการระบายมลพิษทางอากาศจากแหล่งกำเนิดยานพาหนะด้วยเครื่องมือ PCD-AIT-CCAS Emission Inventory Database Workbook Version 1.0 ของสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย ปรับปรุงเมื่อปี พ.ศ. 2565 และการศึกษานี้ได้ปรับปรุงแก้ไขให้เหมาะสมกับสถานการณ์ของจังหวัดเชียงใหม่ โดยใช้ปีฐาน พ.ศ. 2562 ก่อนสถานการณ์โควิด 19 2) ประเมินการสูญเสียทางสุขภาพ ในรูปการสูญเสียปีสุขภาวะ (DALYs) และ 3) ประเมินการสูญเสียทุนทางสุขภาพ ผลการศึกษาพบว่า บัญชีการระบาย PM_{2.5} จากแหล่งกำเนิดยานพาหนะทุกประเภทประมาณ 2,642 ตันต่อปี จำแนก 6 ส่วนหลัก ได้แก่ การสันดาปเชื้อเพลิงขณะวิ่งและสตาร์ท 2,343.60 ตันต่อปี (ร้อยละ 88.71) การเสียดสีล้อยางกับพื้นผิวถนน 146.65 ตันต่อปี (ร้อยละ 5.55) รถทางการเกษตรและอุตสาหกรรม 136.35 ตันต่อปี (ร้อยละ 5.16) เครื่องบิน 14.85 ตันต่อปี (ร้อยละ 0.56) และจากรถไฟและเรือ 0.35 และ 0.18 ตันต่อปี (ร้อยละ 0.01 และ 0.01 ตามลำดับ) การสูญเสียทางสุขภาพจากสิ่งแวดล้อมมลพิษทางอากาศ PM_{2.5} ส่งผลต่อการสูญเสียปีสุขภาวะ 21,110 DALYs ต่อปี และสูญเสียเป็นทุนทางสุขภาพ 12,090 ล้านบาทต่อปี การลดมลพิษทางอากาศ PM_{2.5} จากแหล่งกำเนิดยานพาหนะ ควรมีการจัดการภาคคมนาคมที่มีประสิทธิภาพอย่างยั่งยืน เช่น การสนับสนุนยานยนต์พลังงานไฟฟ้า เชื้อเพลิงสะอาดแทนเชื้อเพลิงดีเซล รวมถึงการพัฒนาและส่งเสริมระบบขนส่งมวลชนและระบบขนส่งทางราง เพื่อทดแทนการใช้นยานพาหนะส่วนบุคคลในเขตเมือง

คำสำคัญ: บัญชีการระบายมลพิษทางอากาศ, ฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน, การสูญเสียปีสุขภาวะ, การสูญเสียทุนทางสุขภาพ

ABSTRACT

Chiang Mai Province has faced recurring problems with fine particulate matter (PM_{2.5}) pollution annually. While some studies have explored the sources of PM_{2.5}, comprehensive empirical data on vehicular emissions across the province remain limited. This study aimed to: 1) develop a vehicular Emission Inventory (EI) using the PCD-AIT-CCAS Emission Inventory Database Workbook, Version 1.0 by the Asian Institute of Technology. Adapted to Chiang Mai's local context with the baseline year of 2019 (pre-COVID-19), 2) The emissions of PM_{2.5} from vehicular sources result in substantial health loss, quantified as disability-adjusted life years (DALYs) attributable to air pollution exposure. and 3) From a health-economics loss of healthy life years translates directly into a significant depletion of the Chiang Mai province's health capital caused by air pollution. The findings reveal that total PM_{2.5} emissions from all vehicular types amount to 2,642 tons annually. These emissions contribute to an environmental health burden in terms of DALYs of 21,110 years and an associated health economics loss of 12,090 billion THB per year. Among these, combustion-related emissions of PM_{2.5} from vehicles are the most significant, totaling 2,343 tons annually, or 88.71% of the total emissions. The remaining emissions are from non-combustion mobile sources such as tire and road surface abrasion (5.55%, or 146.65 tons/year), emissions from agricultural and industrial vehicle uses (5.16%, or 136.35 tons/year), emissions from air domestic and international airlines (0.56%, or 14.85 tons) and emissions from train (0.01%, or 0.35 tons/year) and boats for travel (0.01%, 0.18 tons/year) Policy recommendations for sustainable mitigation of PM_{2.5} from transport sector in Chiang Mai province should emphasize sustainable transport management For example, promoting electric vehicles and clean fuels instead of diesel, and development efficient public transport and rail system to replace the use of personal vehicles in Muang Chiang Mai District.

Key words: Emission inventory (EI), Fine particulate matter not larger than 2.5 microns (PM_{2.5}), Disability-adjusted life years (DALYs), Health loss, Health economics loss

บทนำ

จังหวัดเชียงใหม่เป็นศูนย์กลางความเจริญทางเศรษฐกิจภาคเหนือของประเทศไทย สร้างรายได้มากกว่า 2 แสนล้านบาทต่อปี (สำนักงานส่งเสริมเศรษฐกิจดิจิทัล, 2564; สำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดเชียงใหม่, 2567) ขณะเดียวกันจังหวัดเชียงใหม่เผชิญปัญหาฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน (Particulate Matter: PM_{2.5}) มาเป็นเวลานานมากกว่า 10 ปี องค์การระหว่างประเทศเพื่อการวิจัยโรคมะเร็ง ได้จัดให้มลพิษทางอากาศภายนอก ฝุ่นละอองขนาดเล็ก (Particulate Matter: PM) อยู่ในกลุ่มที่ 1 ของสาร

ก่อมะเร็งในมนุษย์ โดยมีหลักฐานชัดเจนว่าการสัมผัส PM_{2.5} เชื่อมโยงกับการเกิดมะเร็งปอดที่เป็นสาเหตุเสียชีวิต ข้อมูลในปี พ.ศ. 2553 พบว่าทั่วโลกมีผู้เสียชีวิตจากมะเร็งปอดที่เชื่อมโยงกับมลพิษทางอากาศราว 223,000 ราย อีกทั้งมลพิษทางอากาศยังเพิ่มความเสี่ยงต่อมะเร็งอื่นๆ (International Agency for Research on Cancer, 2013) การระบายมลพิษทางอากาศ PM_{2.5} จากแหล่งกำเนิด สะท้อนภาระโรคจนเกิดการสูญเสียสุขภาพ จากการป่วย ความพิการ การเสียชีวิต หรือการสูญเสียปีสุขภาวะ (Disability Adjusted Life

Years: DALYs) (Chavanaves *et al.*, 2021) ข้อมูลปี พ.ศ. 2560 พบว่า การระบายมลพิษทางอากาศโดยเฉพาะฝุ่น PM_{2.5} ส่งผลให้มีผู้เสียชีวิตทั่วโลกราว 2.9 ล้านคน คิดเป็นร้อยละ 5.2 ของการสูญเสียปีสุขภาวะ รวมทั้งสิ้น 83 ล้าน DALYs และการสูญเสียชีวิตก่อนวัยอันควร (Premature Death) คิดเป็นร้อยละ 3.3 (Health Effects Institute [HEI], 2019) โดยรวมแล้วปัญหามลพิษทางอากาศ PM_{2.5} เป็นสาเหตุสำคัญของการเสียชีวิตก่อนวัยอันควรในระดับโลก โดยเฉพาะในภูมิภาคเอเชียตอนกลาง เอเชียใต้ และเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ โดยมลพิษทางอากาศจากฝุ่น PM_{2.5} มีแนวโน้มก่อให้เกิดการเสียชีวิตมากกว่า 3.4 ล้านคน หรือประมาณ 1 ใน 3 ของผู้เสียชีวิตทั้งหมดในภูมิภาคเอเชีย (HEI, 2025)

ในปี พ.ศ. 2560 มีการศึกษาแหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศ PM_{2.5} ประเทศไทย ครอบคลุม 75 จังหวัด (บริษัท ไลน์แอปพลิเคชันซิสเต็มส์ จำกัด, 2563) ในภาคเหนือ การศึกษาแหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศ PM_{2.5} ปีฐาน พ.ศ. 2563 โดยวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี และแหล่งที่มาของมลพิษทางอากาศด้วยเทคนิค Positive Matrix Factorization (PMF) และศึกษาสัดส่วนของแหล่งกำเนิดด้วยเทคนิค Potential Source Contribution Function (PSCF) PM_{2.5} พบว่าในช่วงหมอกควันมีสาเหตุจากการเผาไหม้ไฟฟ้า และนอกช่วงฤดูหมอกควันมีสาเหตุจากการจราจร โรงงานอุตสาหกรรม และการเผาชีวมวล (สมพร จันทระ และคณะ, 2567; Chansuebsri *et al.*, 2024) ส่วนการจัดทำบัญชีการระบายมลพิษทางอากาศจังหวัดเชียงใหม่ มีการจัดทำในเขตเทศบาลนครเชียงใหม่ ปีฐาน 2553 พบว่ามีปริมาณมลพิษทางอากาศ PM₁₀ เท่ากับ 103.0 ตันต่อปี จากแหล่งกำเนิดแบบเคลื่อนที่บนถนน (เทศบาลนครเชียงใหม่, 2565)

จากระบบคลังข้อมูลด้านการแพทย์และสุขภาพกระทรวงสาธารณสุข ปี พ.ศ. 2565-2567 พบว่าจังหวัดเชียงใหม่มีรายงานผู้ป่วยที่ได้รับผลกระทบจากมลพิษทางอากาศ PM_{2.5} จากกลุ่มโรคที่เฝ้าระวัง คือ กลุ่มโรคทางเดินหายใจ กลุ่มโรคหัวใจหลอดเลือด กลุ่มโรคตาอักเสบ กลุ่มโรคผิวหนังอักเสบ และ

กลุ่มโรคอื่นๆ (โรคมะเร็งปอด) จำนวนรวม 301,989 ราย, 360,263 รายและ 359,672 ราย ตามลำดับ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อจัดทำบัญชีการระบายมลพิษทางอากาศ PM_{2.5} ปฐมภูมิจากแหล่งกำเนิดยานพาหนะจังหวัดเชียงใหม่ การสูญเสียทางสุขภาพในรูปการสูญเสียปีสุขภาวะ (DALYs) และการสูญเสียทุนสุขภาพ (Health Economic Loss หรือ Health Impact Cost) จากแหล่งกำเนิด ซึ่งข้อมูลที่ได้สามารถนำไปใช้เป็นข้อเสนอเชิงนโยบาย การศึกษาก่อให้เกิดประโยชน์ต่อผู้กำหนดนโยบาย และส่วนราชการจังหวัดเชียงใหม่ ในการทำความเข้าใจแหล่งกำเนิดยานพาหนะและบ่งชี้การจัดการแก้ไขปัญหาหมอกควันได้อย่างเฉพาะเจาะจงให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

วิธีการศึกษา

การศึกษาเชิงพรรณนาภาคตัดขวาง (Cross-sectional descriptive study) ระยะเวลาการศึกษา ตั้งแต่วันที่ 1 สิงหาคม 2565 - 3 พฤษภาคม 2568 โดยแบ่งเป็น 4 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 สำรวจการใช้รถในจังหวัดเชียงใหม่ เพื่อนำข้อมูลปริมาณระยะทางการเดินทางและชนิดของเชื้อเพลิงที่ใช้จำแนกประเภทรถ รวมถึงข้อมูลพฤติกรรมเพื่อใช้คำนวณปริมาณการระบายมลพิษทางอากาศ PM_{2.5}

ขั้นตอนที่ 2 จัดทำบัญชีการระบายมลพิษทางอากาศ PM_{2.5}

ขั้นตอนที่ 3 นำผลจากบัญชีการระบายมลพิษทางอากาศ PM_{2.5} จากแหล่งกำเนิดยานพาหนะมาคำนวณการสูญเสียทางสุขภาพจากมลพิษทางอากาศ PM_{2.5} ในรูปแบบการสูญเสียปีสุขภาวะ (DALYs)

ขั้นตอนที่ 4 นำผลจากการสูญเสียปีสุขภาวะมาคำนวณการสูญเสียทุนทางสุขภาพ โดยการประเมินต้นทุนทางอ้อมจากปีสุขภาวะที่สูญเสียไป (DALYs)

ประชากร คือ ข้อมูลปริมาณยานพาหนะจังหวัดเชียงใหม่ ปีฐาน พ.ศ. 2562 จำนวน 1,501,474 คัน (กลุ่มสถิติการขนส่ง กองแผนงาน กรมการขนส่งทางบก, ม.ป.ป.)

กลุ่มตัวอย่าง แบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ 1) การสำรวจการใช้รถ 6 ประเภท ได้แก่ รถยนต์ส่วนบุคคลไม่เกิน 7 ที่นั่ง รถกระบะ รถตู้ รถบัส รถจักรยานยนต์และรถบรรทุก และ 2) ข้อมูลเพิ่มเติมในส่วนของการจราจรที่ไมได้รับการสำรวจ และข้อมูลยานพาหนะชนิดอื่นๆจากรายงานบนเว็บไซต์และจากหน่วยงานภาครัฐ เอกชน ระดับจังหวัด ระดับองค์กร และระดับชาติ ปีฐาน พ.ศ. 2562 ขนาดกลุ่มตัวอย่างที่ใช้สำหรับการประเมินการระบายมลพิษอากาศ PM_{2.5} ดังนี้

1. การสำรวจการใช้รถ

กลุ่มตัวอย่างรถ 6 ประเภท ได้แก่ รถยนต์ส่วนบุคคลไม่เกิน 7 ที่นั่ง รถกระบะ รถจักรยานยนต์ รถตู้ รถบัส และรถบรรทุกแล้วคำนวณขนาดกลุ่มตัวอย่าง โดยใช้สูตรของ Yamane (1973) และปรับจำนวนตัวอย่างของรถทุกประเภทที่จะสำรวจได้ โดยจำนวนรถแต่ละประเภทๆ ละ 400 คัน รวม 2,400 คัน ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 จำนวนกลุ่มตัวอย่างจากการสำรวจการใช้รถจำแนกตามประเภทรถ

ประเภทรถ	จำนวนรถทั้งหมด (คัน)	จำนวนตัวอย่าง (คัน)
รถยนต์ส่วนบุคคลไม่เกิน 7 ที่นั่ง	360,594	400
รถจักรยานยนต์	840,513	400
รถกระบะ	257,119	400
รถตู้	11,856	400
รถบัส	7,667	400
รถบรรทุก	23,725	400
รวม	1,501,474	2,400

2. ฐานข้อมูลการระบายมลพิษทางอากาศ ใช้ข้อมูลเชิงปริมาณและแหล่งข้อมูล ดังนี้

1) ทางบกหรือทางถนน (Road) ใช้จำนวนรถทุกประเภท จำนวน 1,501,474 คัน (กลุ่มสถิติการขนส่ง กองแผนงาน กรมการขนส่งทางบก, ม.ป.ป.) สำหรับการคำนวณทางสถิติยกเว้นรถไฟ รถที่ไม่ใช่เชื้อเพลิงจำนวน 1,498,990 คัน และข้อมูลหุติยภูมิที่อยู่ในข้อจำกัด ใช้จำนวนระยะทางของรถ 3 ประเภท (รถแท็กซี่ รถตุ๊กตุ๊ก และรถสองแถว) และจำนวนการสตาร์ทรถ 9 ประเภท จากสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย (เอกบดินทร์ วินิจกุล, 2565, 2567)

2) ทางอากาศ (Air) ใช้จำนวนเที่ยวบินภายในประเทศ และระหว่างประเทศ จำนวน 55,412 และ 25,122 เที่ยวบินต่อปี ตามลำดับ (บริษัทท่าอากาศยานไทย จำกัด (มหาชน), ม.ป.ป.)

3) ทางราง (Railways) ใช้ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้เดินทางจากเชียงใหม่ถึงเขตรอยต่อลำพูน เท่ากับ

36.7 ตันต่อปี (สถานีขนส่งรถไฟจังหวัดเชียงใหม่-ลำปาง, 2567)

4) ทางน้ำ (Inland Waterways) ใช้ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้เดินเรือ เชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์หรือเบนซิน 68.7 ตันต่อปี (สำนักงานเจ้าท่าภูมิภาคที่ 1, 2567)

5) การใช้รถทางการเกษตร และอุตสาหกรรม (Other Transportation) ที่ไม่ใช้การเดินทางและการขนส่ง ภาคเกษตรใช้ปริมาณเชื้อเพลิงดีเซล 2,900 กิโลตันต่อปี และภาคอุตสาหกรรมใช้ปริมาณเชื้อเพลิงดีเซล 101 กิโลตันต่อปี ตามลำดับ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, ม.ป.ป.)

6) การเสียดสีล้อยางกับพื้นผิวถนน (ที่ไม่ใช่การเผาไหม้เชื้อเพลิง) ใช้ข้อมูลจำนวนรถ จำนวน 1,501,474 คัน (กลุ่มสถิติการขนส่ง กองแผนงาน กรมการขนส่งทางบก, ม.ป.ป.) และจำนวนวันฝนตกมากกว่า 0.25 มิลลิเมตร เท่ากับ 101 วัน (ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ, 2567)

เกณฑ์การคัดเลือก (Inclusion Criteria)

1. การสำรวจการใช้รถ อาสาสมัครเป็นเจ้าของรถ หรือผู้เช่ารถหรือผู้ขับประจำรถหรือผู้ที่มาทำการต่อใบอนุญาตหรือตรวจสภาพรถและ/หรือผู้มาติดต่อทุกรายที่สำนักงานขนส่งจังหวัด และผู้ให้ข้อมูลเป็นผู้ที่มีความสามารถในการอ่านและเขียนภาษาไทย กรณีรถจักรยานยนต์อาสาสมัครต้องมีอายุตั้งแต่ 18 ปีบริบูรณ์

2. ฐานข้อมูลการระบายมลพิษทางอากาศ เป็นข้อมูลจากกลุ่มสถิติการขนส่ง กองแผนงาน กรมการขนส่งทางบก กระทรวงคมนาคม การทำอากาศยาน เชียงใหม่และตารางคุณภาพพลังงานแห่งประเทศไทย กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน และข้อมูลปริมาณการใช้เชื้อเพลิง รถไฟเชียงใหม่-ลำปาง จากขนส่งทางรางรถไฟ และการทำเรือเชียงใหม่ ได้ข้อมูลตัวแปร หรือข้อมูลกิจกรรม (Activity Data) ครอบคลุมทุกประเภทของยานพาหนะในการศึกษานี้

เกณฑ์การคัดออก

1. ข้อมูลปฐมภูมิ รถที่ไม่ได้อยู่ในจังหวัดเชียงใหม่ และไม่จดทะเบียนจังหวัดเชียงใหม่ แม้จะมีการวิ่งบนถนนในจังหวัดเชียงใหม่ และอาสาสมัครที่ใช้รถอายุน้อยกว่า 18 ปี จะถูกคัดออกจากการสำรวจ

2. ข้อมูลทุติยภูมิ ยานพาหนะที่ใช้เชื้อเพลิงไฟฟ้า และรถที่จดทะเบียนแต่ไม่ได้ใช้เชื้อเพลิง เช่น รถพ่วง และรถที่ไม่ระบุการใช้เชื้อเพลิง เป็นต้น ในฐานข้อมูลการระบายมลพิษทางอากาศ

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. แบบสำรวจการใช้รถ ลักษณะข้อคำถามเป็นแบบเลือกตอบและคำถามปลายเปิด จำนวน 5 ข้อ ประกอบด้วย ประเภทรถ ชนิดเชื้อเพลิงรถ ปีที่จดทะเบียนรถครั้งแรก เลขไมล์รถ ณ วันที่สำรวจ และระยะทางที่ใช้รถเดินทางต่อวัน พัฒนาจากเครื่องมือสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ และสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย (เอกภดินทร์ วินิจกุล, 2566)

2. เครื่องมือคำนวณการระบายมลพิษทางอากาศ (PM_{2.5}) ใช้เครื่องมือ PCD-AIT-CCAS Emission Inventory Database Workbook Version 1.0 รูปแบบ Excel Workbook (กรมควบคุมมลพิษ,

2562; เอกภดินทร์ วินิจกุล, 2566) โดยสอบเทียบเครื่องมือ 2 ครั้ง คือ เมื่อวันที่ 30 มกราคม 2563 (คิม อ่อง เหวียน ถิ และคณะ, 2563) และเมื่อวันที่ 12-13 พฤษภาคม 2565 ปรับปรุงเพื่อใช้ในการคำนวณเฉพาะจังหวัดเชียงใหม่ โดยคำนึงถึงค่าสัมประสิทธิ์ตัวคูณมลพิษร่วมด้วย (เอกภดินทร์ วินิจกุล, 2565)

3. เครื่องมือวิเคราะห์การสูญเสียทางสุขภาพ

3.1 เครื่องมือประเมินการสูญเสียทางสุขภาพ (Health Loss: HL) ใช้ผลลัพธ์อัตราการระบายมลพิษทางอากาศ PM_{2.5} จากแหล่งกำเนิดคุณค่าปัจจัยจำแนกลักษณะจำเพาะ (Deuja, 2022) และแสดงผลกระทบต่อสุขภาพ ในรูปจำนวนปีที่สูญเสียสุขภาพ (Disability-Adjusted Life Years, DALYs) มีหน่วยเป็น DALYs ต่อปี หรือจำนวนปีที่สูญเสียสุขภาพจากมลพิษทางอากาศต่อเวลา 1 ปี

3.2 เครื่องมือประเมินการสูญเสียทุนทางสุขภาพ (Health Economic Loss: HEL) เป็นการประเมินค่าใช้จ่ายทางสุขภาพที่ต้องเสียไปในการดูแลรักษาผลกระทบต่อสุขภาพที่เกิดจากมลพิษสิ่งแวดล้อมอากาศ หรือ DALYs ต่อปี การศึกษาครั้งนี้ใช้มูลค่าของ 1 DALY จากการศึกษาในประเทศไทย ปี พ.ศ. 2562 (Kaenchan & Gheewala, 2017; Deuja *et al.*, 2022; Chalongsang *et al.*, 2023)

การตรวจสอบเครื่องมือ

1. แบบสำรวจผ่านการตรวจสอบคุณภาพโดยผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน ได้ค่าดัชนีความสอดคล้องของแบบสอบถาม (IOC) เท่ากับ 1.00 แบบสำรวจนี้ใช้เครื่องมือของสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ ที่ผ่านการนำไปทดลองใช้โดยสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย (เอกภดินทร์ วินิจกุล, 2566)

2. เครื่องมือคำนวณการระบายมลพิษเพื่อจัดทำบัญชีสำหรับแหล่งกำเนิด PM_{2.5} มีการปรับปรุงการคำนวณเฉพาะสำหรับจังหวัดเชียงใหม่ และใช้อบรมเชิงปฏิบัติการการใช้งานข้อมูลและจัดทำบัญชีการระบายมลพิษทางอากาศ PM_{2.5} จังหวัดเชียงใหม่ โดยศูนย์วิชาการเพื่อการแก้ไขปัญหาหมอกควันและสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2565 จนถึงปัจจุบัน (เอกภดินทร์ วินิจกุล, 2565)

ขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูล

หลังจากได้รับการอนุมัติจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในคน คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ผู้วิจัยจึงแจ้งขออนุญาตเก็บข้อมูลต่อผู้ว่าราชการจังหวัดเชียงใหม่ และหัวหน้าหน่วยงานทุกสังกัดที่เกี่ยวข้อง โดยวิเคราะห์และสรุปรายงานผลการวิจัยในภาพรวมเท่านั้น

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. คำนวณการระบายมลพิษอากาศ PM_{2.5} จากการทบทวนวรรณกรรมของเอกภดินทร์ วินิจกุล (2566)

1.1 รถทุกประเภท

1.1.1 ขณะรถแต่ละประเภทวิ่ง ดังสมการที่ 1

$$E_{j,k,p,run} = EF_{j,k,p,run} \times VKT_{j,k,p} \times NV_{j,k,p} \quad (1)$$

โดยที่ $E_{j,k,p,run}$ = ปริมาณการระบายมลพิษ PM_{2.5} ประเภทรถ j เชื้อเพลิง k ขณะวิ่ง (กิโลกรัมต่อปี)

$EF_{j,k,p,run}$ = สัมประสิทธิ์ตัวคูณการระบายมลพิษ PM_{2.5} ประเภทรถ j เชื้อเพลิง k ขณะวิ่ง (กรัมต่อกิโลเมตร และกรัมต่อการสตาร์ท)

$VKT_{j,k,p}$ = ปริมาณการเดินทางของประเภทรถ j เชื้อเพลิง k ต่อปี (กิโลเมตรต่อปี)

$NV_{j,k,p}$ = จำนวนรถแต่ละประเภท j เชื้อเพลิง k ใช้งาน (คัน)

j = ประเภทของรถ

k = ประเภทของเชื้อเพลิงที่ใช้

p = ประเภทของเทคโนโลยีรถ

หมายเหตุ *ค่าระยะทางการเดินทางของรถต่อวัน หรือ ค่า VKT รถแท็กซี่ รถตุ๊กตุ๊ก และรถสองแถว (เอกภดินทร์ วินิจกุล, 2567)

1.1.2 ขณะรถแต่ละประเภทสตาร์ท ดังสมการที่ 2

$$E_{j,k,start} = (EF_{j,k,start}/1,000) \times MV_{j,k} \times NV_{j,k} \quad (2)$$

โดยที่ $E_{j,k,start}$ = ปริมาณการระบายมลพิษอากาศ PM_{2.5} ประเภทรถ j เชื้อเพลิง k ขณะสตาร์ทเครื่องยนต์ (กิโลกรัมต่อปี)

$EF_{j,k,start}$ = สัมประสิทธิ์ตัวคูณการระบายมลพิษ PM_{2.5} ประเภทรถ j เชื้อเพลิง k ที่ถูกระบายออกมาขณะสตาร์ทเครื่องยนต์ (กรัมต่อการสตาร์ท)

$MV_{j,k}$ = จำนวนครั้งการสตาร์ทประเภทรถ j เชื้อเพลิง k ต่อปี (ครั้งต่อปีต่อคัน)

$NV_{j,k}$ = จำนวนประเภทรถ j เชื้อเพลิง k ใช้งาน (คัน)

J = ประเภทของรถ

k = ประเภทของเชื้อเพลิงที่ใช้

หมายเหตุ *ค่า MV หรือ จำนวนครั้งการสตาร์ทรถต่อวัน ของ Updated ABC EI Template ที่ปรับปรุงสำหรับจังหวัดเชียงใหม่ ปี พ.ศ. 2565 (เอกภดินทร์ วินิจกุล, 2565)

1.1.3 ขณะรถวิ่งและสตาร์ทเครื่องยนต์ ดังสมการที่ 3

$$\Sigma E_{run+start} = E_{j,k,run} + E_{j,k,start} \quad (3)$$

โดยที่ $\Sigma E_{run+start}$ = ปริมาณรวมของการระบายมลพิษอากาศ PM_{2.5} จากประเภทรถ j เชื้อเพลิง k ขณะเครื่องยนต์กำลังวิ่ง (กิโลกรัมต่อปี) และสตาร์ทเครื่องยนต์ (กิโลกรัมต่อปี)

$E_{j,k,run}$ = ปริมาณการระบายมลพิษอากาศ PM_{2.5} ประเภทรถ j เชื้อเพลิง k ขณะวิ่ง (กิโลกรัมต่อปี)

$E_{j,k,start}$ = ปริมาณการระบายมลพิษอากาศ PM_{2.5} ประเภทรถ j เชื้อเพลิง k ขณะสตาร์ท (กิโลกรัมต่อปี)

1.2 เครื่องบิน ดังสมการที่ 4

$$E_j = LTO_j \times EF_j \quad (4)$$

โดยที่ E_j = การระบายมลพิษอากาศ PM_{2.5} จากยานพาหนะประเภทเครื่องบิน j (กิโลกรัมต่อปี)

LTO_j = จำนวนรอบเที่ยวบินการลงและขึ้น (LTO) ของยานพาหนะประเภทเครื่องบิน j (รอบ LTO ต่อปี)

EF_j = สัมประสิทธิ์ตัวคูณมลพิษ PM_{2.5} ต่อรอบการลงและขึ้นของยานพาหนะประเภทเครื่องบิน j (กิโลกรัมต่อรอบ LTO)

j = ประเภทของเครื่องบินเที่ยวบินในประเทศและต่างประเทศ

1.3 ทางราง (รถไฟ) และทางน้ำ (เรือ) ดังสมการที่ 5

$$E = FC_j \times (EF_j/1,000) \quad (5)$$

โดยที่ E = การระบายมลพิษอากาศ PM_{2.5} (กิโลกรัมต่อปี)

FC_j = ปริมาณการใช้เชื้อเพลิง j ของแหล่งอื่น ๆ ในภาคการขนส่ง (ลิตรต่อปี)

EF_j = สัมประสิทธิ์ตัวคูณมลพิษ PM_{2.5} โดยเฉลี่ยต่อหน่วยเชื้อเพลิง j ที่ใช้ (กิโลกรัมต่อลิตร)

J = ประเภทของเชื้อเพลิงที่ใช้

1.4 การใช้รถทางการเกษตรและอุตสาหกรรม ดังสมการที่ 6

$$E = FC \times EF \quad (6)$$

โดยที่ E = ปริมาณการระบายมลพิษอากาศ PM_{2.5} (กิโลกรัมต่อปี)

FC = ปริมาณเชื้อเพลิง (กิโลตันต่อปี)

EF = สัมประสิทธิ์ ตัวคูณมลพิษอากาศ PM_{2.5} (กิโลกรัมต่อปี)

1.5 การเสียดสีล้อยางและพื้นผิวถนน (ไม่ใช่ การเผาไหม้เชื้อเพลิง) ดังสมการที่ 7

$$E = VKT + EF \quad (7)$$

โดยที่ E = ปริมาณการระบายมลพิษอากาศ PM_{2.5} (กิโลกรัมต่อปี)

VKT = ปริมาณการเดินทางของรถ (กิโลเมตรต่อปี)

EF = สัมประสิทธิ์ ตัวคูณมลพิษอากาศ PM_{2.5} (กิโลกรัมต่อปี)

การคำนวณสัมประสิทธิ์ตัวคูณมลพิษอากาศ PM_{2.5} จากถนน โดยใช้สูตรในสมการที่ 8 (United States Environmental Protection Agency, 1997)

$$EF = [k(sL)^{0.91} \times (W)^{1.02}] (1-F) \quad (8)$$

โดยที่ EF = ค่าสัมประสิทธิ์ช่วงขนาดอนุภาคของ PM_{2.5} (กรัมต่อกิโลกรัม)

sL = ค่าสัมประสิทธิ์ตะกอนของถนน (กรัมต่อตารางเมตร)

W = น้ำหนักเฉลี่ยของยานพาหนะที่วิ่งในถนน (ตัน)

F = สัดส่วนวันที่มีปริมาณน้ำฝนมากกว่า 0.25 มิลลิเมตรตลอดทั้งปี (ค่าอยู่ระหว่าง 0-1)

หมายเหตุ สัมประสิทธิ์ตัวคูณมลพิษ PM_{2.5} หรือ Emission Factor; EF อ้างอิงจากเครื่องมือ PCD-AIT-CCAS Emission Inventory Database Workbook ปรับปรุงโดยสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย (AIT) (เอกภดินทร์ วินิจกุล, 2566)

2. วิเคราะห์การสูญเสียทางสุขภาพ จากการ ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง (Chalongklang et al., 2023; Chavanaves et al., 2021; Deuja, 2022; Kaenchan & Gheewala, 2017)

2.1 การสูญเสียปีสุขภาวะ (DALYs) ดังสมการที่ 9

$$HL = E \times CF \quad (9)$$

โดยที่ HL = การสูญเสียสุขภาพจาก PM_{2.5} (DALYs)

E = อัตราการระบาย PM_{2.5} จากแหล่งกำเนิด
ยานพาหนะ (กิโลกรัมต่อปี)

CF = Characterization Factor หรือ ปัจจัยจำแนก
คุณลักษณะจำเพาะของจังหวัดเชียงใหม่ (DALYs ต่อ
กิโลกรัม PM_{2.5} ที่ระบาย) โดยการศึกษาครั้งนี้ใช้
CF = 7.99E-03 DALYs ต่อกิโลกรัม PM_{2.5} ที่ระบาย

2.2 การสูญเสียทุนทางสุขภาพ (Health Economic Loss; HEL) ดังสมการที่ 10

$$HEL = \text{Damage Cost Factor}_{\text{เชียงใหม่}} \times HL \quad (10)$$

โดยที่ HEL = การสูญเสียทุนทางสุขภาพ

Damage Cost Factor_{เชียงใหม่} = Value_{เชียงใหม่} of 1
DALY (บาทต่อDALY) โดยการศึกษาครั้งนี้ใช้ Value_{เชียงใหม่}
of 1 DALY = 572,736 บาท/DALY

HL = การสูญเสียสุขภาพจาก PM_{2.5} (DALYs ต่อปี)

การพิทักษ์สิทธิกลุ่มตัวอย่าง

การศึกษานี้ผ่านการพิจารณาจริยธรรมการวิจัย
จากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในคน
สาขาวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ เลขที่
66PU048 วันที่รับรอง 31 กรกฎาคม 2566 และ
วันที่ต่ออายุการรับรอง ครั้งที่ 1 วันที่ 31 กรกฎาคม
2567 ข้อมูลจากการสำรวจจะถูกเก็บไว้เป็นความลับ
และนำเสนอผลการศึกษาในภาพรวมเท่านั้น ไม่บ่งชี้
ถึงข้อมูลส่วนบุคคล และทำลายเอกสารข้อมูลสำรวจ
การใช้รถหลังเสร็จสิ้นกระบวนการวิจัย

ผลการศึกษา

1. การระบายมลพิษอากาศ PM_{2.5} ของจังหวัด เชียงใหม่

1.1 การระบายมลพิษอากาศ PM_{2.5} จำแนกตาม ประเภทแหล่งกำเนิด

ผลการศึกษาบัญชีการระบายมลพิษอากาศ PM_{2.5}
ยานพาหนะจังหวัดเชียงใหม่ ปีฐาน พ.ศ. 2562
การระบายมลพิษอากาศ PM_{2.5} รวมทั้งสิ้น 2,642 ตัน
ต่อปี หรือ 2,641,980 กิโลกรัมต่อปี บัญชีการระบาย
มลพิษแยก 5 แหล่งกำเนิด คือ ทางบกหรือรถ
2,343.60 ตันต่อปี (ร้อยละ 88.71) การเสียดสีล้อยาง
รถกับพื้นผิวถนน 146.65 ตันต่อปี (ร้อยละ 5.55)
การใช้รถทางการเกษตรและอุตสาหกรรม 136.35
ตันต่อปี (ร้อยละ 5.16) ทางอากาศหรือเครื่องบิน

14.85 ตันต่อปี (ร้อยละ 0.56) และทางรถไฟและเรือ 0.35 และ 0.18 ตันต่อปี (ร้อยละ 0.01 และ 0.01) ตามลำดับ

1.2 การระบายมลพิษอากาศ PM_{2.5} จำแนกตามประเภทรถ

บัญชีการระบายมลพิษอากาศ PM_{2.5} ของรถบนถนนเท่ากับ 2,343.60 ตันต่อปี จำแนกตามประเภทรถพบว่า รถกระบะมีสัดส่วนการระบายมลพิษอากาศ PM_{2.5} สูงสุด จำนวน 1,077.86 ตันต่อปี (ร้อยละ 45.99) รองลงมาคือ รถจักรยานยนต์ 431.94 ตันต่อปี (ร้อยละ 18.43) รถบรรทุก 303.07 ตันต่อปี (ร้อยละ 12.93) และรถบัส 257.75 ตันต่อปี (ร้อยละ 11.0) รถยนต์ส่วนบุคคลไม่เกิน 7 ที่นั่ง 168.42 ตันต่อปี (ร้อยละ 7.19) รถตู้ รถสองแถว รถตุ๊กตุ๊ก และรถแท็กซี่ มีการระบายมลพิษอากาศ PM_{2.5} ปริมาณ 98.12, 6.02, 0.38 และ 0.04 ตันต่อปีตามลำดับ

1.3 การระบายมลพิษอากาศ PM_{2.5} จำแนกตามชนิดเชื้อเพลิง

เมื่อจำแนกการระบายมลพิษอากาศ PM_{2.5} ตามเชื้อเพลิงที่ใช้พบว่า รถที่ใช้เชื้อเพลิงดีเซล มีปริมาณการระบายมลพิษอากาศ PM_{2.5} สูงสุด 1,893.00 ตันต่อปี (ร้อยละ 80.77) รองลงมาเป็นเชื้อเพลิงแก๊สโซลีนหรือน้ำมันเบนซิน 444.73 ตันต่อปี (ร้อยละ 18.98) ส่วนที่ใช้เชื้อเพลิงแอลพีจีและซีเอ็นจี มีปริมาณ 3.38 และ 2.49 ตันต่อปี (ร้อยละ 0.14 และ 0.11) ตามลำดับ

1.4 การระบายมลพิษอากาศ PM_{2.5} จากแหล่งกำเนิดทางอากาศ (เครื่องบิน)

บัญชีการระบายมลพิษอากาศ PM_{2.5} จากเครื่องบินในจังหวัดเชียงใหม่ ปีฐาน 2562 รวมเท่ากับ 14.85 ตันต่อปี (ร้อยละ 0.56 ของยานพาหนะทั้งหมด) แยกเป็นสายการบินภายในประเทศ เท่ากับ 11.08 ตันต่อปี และระหว่างประเทศ เท่ากับ 3.77 ตันต่อปี

1.5 การระบายมลพิษอากาศ PM_{2.5} จากแหล่งกำเนิดทางราง (รถไฟ) และทางน้ำ (เรือ)

บัญชีการระบายมลพิษอากาศ PM_{2.5} จากรถไฟและเรือ ประมาณ 0.53 ตันต่อปี ซึ่งมาจากรถไฟใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลระยะทางเฉพาะในจังหวัดเชียงใหม่ เท่ากับ 0.18 ตันต่อปี ส่วนทางเรือจากการ

ท่องเที่ยวที่แม่น้ำปิงและอ่างเก็บน้ำแม่งัดสมบูรณ์ชล จังหวัดเชียงใหม่ เท่ากับ 0.35 ตันต่อปี

1.6 กิจกรรมอื่น (Other Transportation)

1.6.1 การใช้รถทางการเกษตรกรรมและอุตสาหกรรม

การใช้เครื่องจักรกลที่มีลักษณะเป็นเครื่องยนต์ไม่ใช้บนทางถนนและไม่ใช้รถเพื่อการขนส่งสินค้าทางการเกษตรและอุตสาหกรรมการก่อสร้าง เช่น รถเครน รถไถ เครื่องปั้นไฟ รวมปริมาณการระบายมลพิษอากาศ PM_{2.5} รวมทั้งสิ้นประมาณ 136.35 ตันต่อปี ร้อยละ 5.16 ของแหล่งกำเนิดยานพาหนะทั้งหมด ซึ่งพบว่าประเภททางการเกษตร เท่ากับ 128.39 ตันต่อปี ประเภทการก่อสร้าง เท่ากับ 7.96 ตันต่อปี

1.6.2 การเสียดสีล้อยางกับพื้นผิวถนน (ที่ไม่ใช่การเผาไหม้เชื้อเพลิง)

การเสียดสีล้อยางกับพื้นผิวถนน เกิดการระบายมลพิษอากาศ PM_{2.5} รวมทั้งสิ้นประมาณ 146.65 ตันต่อปี คิดเป็น ร้อยละ 5.55 โดยแยกตามประเภทรถ ได้ดังนี้ จากรถกระบะ 66.82 ตันต่อปี รองลงมาคือ รถยนต์ส่วนบุคคลไม่เกิน 7 ที่นั่ง 26.42 ตันต่อปี และรถบรรทุก รถบัส รถจักรยานยนต์ รถตู้ รถสองแถว รถแท็กซี่ และรถตุ๊กตุ๊ก เท่ากับ 26.30, 19.14, 3.90, 3.83, 0.13, 0.07 และ 0.04 ตันต่อปี ตามลำดับ

2. ผลวิเคราะห์การสูญเสียทางสุขภาพ

2.1 การสูญเสียสุขภาพ (Health Loss)

มลพิษอากาศ PM_{2.5} ที่ระบายจากยานพาหนะในจังหวัดเชียงใหม่ ก่อให้เกิดการสูญเสียสุขภาพประมาณ 21,110 DALYs ต่อปี ดังนี้

$HL = 2,641,980 \text{ กิโลกรัมต่อปี} \times 0.00799 \text{ ปีต่อกิโลกรัม (Deuja, 2022)} = 21,109.42 \text{ DALYs ต่อปี}$

2.2 การสูญเสียทุนทางสุขภาพ (Health Economic Loss)

จากมลพิษอากาศ PM_{2.5} การสูญเสียสุขภาพ การเจ็บป่วย ความพิการ และการเสียชีวิต มีมูลค่าความเสียหายทางเศรษฐศาสตร์สุขภาพ ประมาณ 12,090 ล้านบาทต่อปี ดังนี้

$HEL = 572,736^a \text{ บาท/DALY} \times 21,110 \text{ DALYs ต่อปี} = 12,090,456,960 \text{ บาทต่อปี}$

^aKaenchan and Gheewala (2017); Deuja *et al.* (2022); Chalongsak et al. (2023)

อภิปรายผล

การระบายมลพิษอากาศ PM_{2.5} จากแหล่งกำเนิดยานพาหนะทุกประเภท ปีฐาน พ.ศ. 2562 ในจังหวัดเชียงใหม่ มีปริมาณโดยรวมประมาณ 2,642 ตันต่อปี (2,641,980 กิโลกรัมต่อปี) การสูญเสียสุขภาพเป็นการสูญเสียปีสุขภาวะ จำนวน 21,110 DALYs ต่อปี และการสูญเสียทุนทางสุขภาพ เป็นเงิน 12,090 ล้านบาทต่อปี โดยยานพาหนะที่ระบายมลพิษอากาศ PM_{2.5} สูงสุด ได้แก่ รถกระบะ รถจักรยานยนต์ รถบรรทุก รถบัส รถยนต์ส่วนบุคคล รถตู้ รถสองแถว รถตุ๊กตุ๊ก และรถแท็กซี่ และการเสียดสีล้อยางกับพื้นผิวถนน (ที่ไม่ใช่การเผาไหม้เชื้อเพลิง) นอกจากนี้ยังพบในยานพาหนะเพื่อการเกษตรและอุตสาหกรรม และทางอากาศ (เครื่องบิน) ทางเรือ และทางรถไฟ

จากผลการจัดทำบัญชีการระบายมลพิษอากาศ PM_{2.5} ด้วยเครื่องมือเดียวกัน ปีฐานต่างกันผลการศึกษาพบว่า ปริมาณการระบายมลพิษ PM_{2.5} ในจังหวัดเชียงใหม่ มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น โดยผลการศึกษาปีฐาน พ.ศ. 2562 สูงถึง 2,642 ตันต่อปี มากกว่าการศึกษาปีฐาน พ.ศ. 2560 (1,820 ตันต่อปี) (บริษัท ไลน์แอปเปิ้ลวิชั่นซิสเต็มส์ จำกัด, 2560) และปีฐาน พ.ศ. 2561 (1,714 ตันต่อปี) (เอกบดินทร์ วินิจกุล, 2565) อย่างไรก็ตามการศึกษาในปี พ.ศ. 2560 ไม่ครอบคลุมการระบายมลพิษจากการสตาร์ทรถ การใช้รถทางการเกษตรและอุตสาหกรรม การเสียดสีของล้อยางกับผิวถนน และเรือ (บริษัท ไลน์แอปเปิ้ลวิชั่นซิสเต็มส์ จำกัด, 2560) ส่วนปี พ.ศ. 2561 แตกต่างจากการศึกษาปี พ.ศ. 2562 ครั้งนี้ เนื่องจากการใช้ข้อมูลที่มีความละเอียดมากขึ้น โดยการสำรวจการใช้รถที่เกิดขึ้นในจังหวัดเชียงใหม่ แล้วปรับปรุงค่าสัดส่วนระยะการเดินทางของรถ และยังมีการประยุกต์ใช้ค่าการสตาร์ทรถที่มีการศึกษาปรับปรุงใหม่ ปี พ.ศ. 2565 (เอกบดินทร์ วินิจกุล, 2565) ที่สำคัญการศึกษานี้มีการคัดออกข้อมูลรถไฟและรถที่ไม่ได้ใช้เชื้อเพลิง และสำรวจการใช้รถทำให้ทราบสัดส่วนการใช้เชื้อเพลิงของรถแต่ละประเภทแม่นยำขึ้น อีกทั้งการระบายมลพิษรถขณะวิ่งแตกต่างกันขึ้นอยู่กับปริมาณรถ ประเภทรถ ระยะทางที่วิ่ง และชนิดเชื้อเพลิง (กรมควบคุมมลพิษ, 2559; Intergovernmental

Panel on Climate Change, 2006; European Environment Agency, 2023) ดังนั้นการจัดทำบัญชีการระบายมลพิษอากาศ PM_{2.5} ความแม่นยำจึงสำคัญโดยเฉพาะการสำรวจข้อมูลจริงระยะทางการเดินทางของรถแต่ละประเภท ระยะทางที่วิ่งปริมาณมากขึ้นส่งผลให้มีการระบายมลพิษมากตามไปด้วย หลายการศึกษาพบว่าการสตาร์ทรถจะก่อให้เกิดการปล่อยอนุภาค PM_{2.5} และสารมลพิษอื่นๆ ในอัตราที่ต่างจากการทำงานปกติของเครื่องยนต์ (Kawichai *et al.*, 2021) ขณะสตาร์ทเครื่องยนต์ระบบเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ที่ยังไม่ถึงอุณหภูมิทำงาน ทำให้มีการระบายจำนวนอนุภาคของมลพิษ เช่น PM_{2.5}, ไฮโดรคาร์บอน, คาร์บอนมอนอกไซด์ เพิ่มขึ้น (Ramadhas *et al.*, 2016) การศึกษานี้จึงมีคุณค่าทางวิชาการและนโยบายในบริบทเชียงใหม่ ซึ่งมีปัจจัยเฉพาะทั้งภูมิศาสตร์ แหล่งกำเนิดหลากหลาย การเพิ่มข้อมูลการระบายมลพิษขณะสตาร์ทเครื่องยนต์ และขณะวิ่ง ส่งผลให้มีข้อมูลเชิงประจักษ์เพื่อสนับสนุนการกำหนดนโยบาย มาตรการ และบังคับใช้กฎหมายลดการระบายมลพิษขณะสตาร์ทเครื่องยนต์ขณะเครื่องยนต์เย็น ตลอดจนการออกแบบเครื่องยนต์ ชนิดของเชื้อเพลิง การฉีดเชื้อเพลิง สารหล่อลื่น และสถานะอุณหภูมิแวดล้อม อาทิ การออกกฎหมายว่าด้วยการควบคุมการระบายมลพิษที่มีผลบังคับใช้ยานยนต์ที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลซึ่งระบายมลพิษสูง โดยเฉพาะในเมืองที่รถหยุดและสตาร์ทบ่อย เช่น การจราจรติดขัด จุดหยุดไฟจราจร ตลาด สถานีขนส่ง และขณะเดียวกัน เมื่อรถวิ่งปกติ การระบายมลพิษของรถแต่ละประเภทแตกต่างกัน จึงควรแก้ไขปัญหารถแต่ละประเภทแตกต่างกันสะท้อนให้เห็นความจำเป็นในการแก้ไขปัญหามลพิษทางอากาศจำเพาะตามยานพาหนะแต่ละประเภท การแก้ไขปัญหาก็ควรแตกต่างกัน

ขณะเดียวกันผลจากการศึกษานี้เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับผลการศึกษาด้วยเครื่องมือ GAINS โดย Hongthong *et al.* (2023) ได้ประเมินการระบายมลพิษอากาศช่วงเวลาที่ศึกษา ปี พ.ศ. 2555-2559 พบว่า การระบายมลพิษอากาศ PM_{2.5} ในจังหวัดเชียงใหม่ 10,124 ตันต่อปี ซึ่งมีปริมาณสูง

มากกว่าการศึกษาครั้งนี้นัก (2,642 คันต่อปี) ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากเครื่องมือ GAINs เป็นเครื่องมือ มาตรฐานยุโรป และใช้ในการประเมินยานพาหนะ พื้นฐานเทคโนโลยีหรือมาตรฐาน Euro แถบประเทศ ยุโรป ซึ่งแตกต่างกับมาตรฐานเทคโนโลยีรถของ ประเทศไทย ตลอดจน ค่าสัมประสิทธิ์ตัวคูณมลพิษ (Emission Factor) มีค่าสูงตามศักยภาพทาง เทคโนโลยีการลดมลพิษขั้นสูงกว่าจึงทำให้ มีความแตกต่างกับการศึกษานี้ ซึ่งใช้เครื่องมือ PCD-AIT-CCAS Emission Inventory Database Workbook Version 1.0 ซึ่งเหมาะสมกับการใช้งาน สำหรับประเทศไทย ภูมิภาค และระดับพื้นที่ (บริษัท โพน์แอปเปิ้ลวิชั่นซิสเต็มส์ จำกัด, 2563; พลักษ์ พงศ์พลศึกษา, 2565; เอกบดินทร์ วินิจกุล, 2566) นอกจากนี้ยังประยุกต์ใช้ข้อมูลประกอบการศึกษา เป็นแบบล่างขึ้นบน (Bottom Up) โดยปรับปรุง ข้อมูลการใช้งานให้สอดคล้องกับบริบทของเชียงใหม่ ได้แก่ สำรวจระยะเดินทางของรถ และจำนวนครั้ง การสตาร์ทรถตามที่ได้กล่าวร่วมด้วย รวมถึงปีหรือ ช่วงเวลาที่ศึกษา

จากผลจากการศึกษานี้ บัญชีการระบายมลพิษ อากาศ PM_{2.5} จากแหล่งกำเนิดยานพาหนะจังหวัด เชียงใหม่ ปีฐาน พ.ศ. 2562 ปริมาณ 2,642 คันต่อปี ก่อให้เกิดการสูญเสียทางสุขภาพ ในรูปแบบการ สูญเสียปีสุขภาวะเท่ากับ 21,110 DALYs ต่อปีหรือ เกิดการสูญเสียสุขภาพ 21,110 ปีใน 1 ปี สะท้อนให้ เห็นถึงภาระโรค (Burden of Disease) ที่รวมผลกระทบ ทั้งการสูญเสียชีวิตก่อนวัยอันควร (Years of Life Lost: YLLs) และการมีชีวิตอยู่ด้วยความทุพพลภาพ (Years Lived with Disability: YLDs) จากแหล่งกำเนิด ยานพาหนะ แสดงถึงประชาชนเชียงใหม่ต้องสูญเสีย ช่วงชีวิตที่มีสุขภาพดีสูงถึง 21,110 ปี ในระยะเวลา 1 ปี เมื่อเปรียบเทียบกับภาพรวมระดับประเทศ โดย ข้อมูลจากโครงการ Global Burden of Disease (GBD) ระบุว่าประเทศไทยมีการสูญเสียปีสุขภาวะ จากมลพิษอากาศภายนอกอาคาร (Ambient Particulate Matter Pollution) รวม ประมาณ 450,000-500,000 ปีสุขภาวะต่อปี (HEI, 2020) ซึ่ง เมื่อพิจารณาเทียบสัดส่วนแล้ว ความสูญเสียสุขภาพ

จากยานพาหนะในจังหวัดเชียงใหม่เพียงแหล่งกำเนิด เดียว คิดเป็นสัดส่วนที่มีนัยสำคัญต่อความสูญเสีย สุขภาพรวมของประเทศ ซึ่งในภาคองค์กรเอกชนชี้ ว่าจังหวัดเชียงใหม่เป็นพื้นที่ที่มีอัตราการเสียชีวิต ก่อนวัยอันควรที่เกี่ยวข้องกับ PM_{2.5} สูงเป็นอันดับ สองของประเทศไทย รองจากกรุงเทพมหานคร (Greenpeace Thailand, 2564) อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษาปีฐาน พ.ศ. 2562 จังหวัดเชียงใหม่ที่มา จากแหล่งกำเนิดยานพาหนะไม่รวมแหล่งกำเนิดอื่นๆ การสูญเสียปีสุขภาวะที่เกิดจากมลพิษอากาศ PM_{2.5} สูงถึง 21,110 DALYs ต่อปี ดังนั้น ยานพาหนะจึง เป็นแหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศที่สร้างภาระโรค ให้กับจังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งมีลักษณะภูมิประเทศ แอ่งกระทะ เอื้อต่อการสะสมตัวของมลพิษได้นาน กว่าพื้นที่เปิดโล่ง จึงควรให้ความสำคัญระดับนโยบาย เทียบเท่าแหล่งกำเนิดจากการเผาไหม้ชีวมวล และเผาในที่โล่งด้วยเช่นกัน

ขณะที่การสูญเสียทางสุขภาพในเชิงเศรษฐศาสตร์ คิดเป็นต้นทุนทางสุขภาพที่สูญเสียไปเป็นเงิน 12,090 ล้านบาทต่อปี หรือมูลค่าความเสียหายทางเศรษฐกิจ ที่เกิดขึ้นจากการเจ็บป่วย ทุพพลภาพและเสียชีวิตก่อน วัยอันควรจากแหล่งกำเนิด PM_{2.5} ประเภทยานพาหนะ ในจังหวัดเชียงใหม่ 572,736 บาท ใน 1 DALY ค่าความเสียหายต่อสุขภาพที่เกิดจากมลพิษอากาศ PM_{2.5} ในจังหวัดเชียงใหม่เป็นเงิน 12,090 ล้านบาท ต่อปี แม้ตัวเลขน้อยกว่าผลการศึกษาในเขต กรุงเทพมหานครที่คาดการณ์ความเสียหายในปี ค.ศ. 2027 ไว้ที่ 12,554 ล้านบาทต่อปี (Chalongklang et al., 2023) เนื่องด้วยปริมาณยานพาหนะที่ น้อยกว่า แต่เมื่อพิจารณาในบริบทของเศรษฐกิจระดับ จังหวัด ที่มีมูลค่าความเสียหายถึง 12,090 ล้านบาท จากการศึกษานี้ในประเทศไทย กรุงเทพมหานครและ สงขลา พบว่ามูลค่าความเสียหายทางเศรษฐกิจ ที่เกิดขึ้นจากการเจ็บป่วยและการเสียชีวิตจาก PM_{2.5} โดยรวม ต้นทุนส่วนใหญ่สูงถึงราวร้อยละ 99 ของ ต้นทุนทั้งหมดมาจากต้นทุนทางอ้อม (Indirect Cost) ที่เกิดจากการเสียชีวิตก่อนวัยอันควร (นพพร ระลึกมูล, 2567) สะท้อนให้เห็นว่ามลพิษจากยานพาหนะเป็น ภาระทางเศรษฐกิจที่สำคัญอย่างยิ่งของจังหวัด เชียงใหม่ นอกจากนี้ เมื่อเปรียบเทียบกับภาระโรค

อื่นๆ ความสูญเสียทางเศรษฐศาสตร์นี้มีนัยสำคัญ แม้จะน้อยกว่าความสูญเสียจากกลุ่มโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง (NCDs) ระดับประเทศที่สูงถึง 1.6 ล้านล้านบาท หรือร้อยละ 9.7 ของ GDP (United Nations Thailand, 2021) แต่ความเสียหายจากมลพิษอากาศ PM_{2.5} เฉพาะจากยานพาหนะในเชียงใหม่เพียงแหล่งเดียว กลับมีมูลค่าความเสียหายใกล้เคียงกับงบประมาณในการดูแลสุขภาพรายปี ของหลายภาคส่วน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของวิชญ์ อรรถวานิช (2562) ที่พบว่ามูลค่าความเสียหายทางสังคมจากมลพิษอากาศในภาพรวมของจังหวัดเชียงใหม่อาจสูงถึง 1,890 ล้านบาท เมื่อรวมแหล่งกำเนิดอื่นๆ เช่น การเผาในที่โล่ง นอกจากนี้การศึกษาของไอแดน ฟาร์โร และคณะ (2565) ชี้ให้เห็นว่าอัตราการเสียชีวิตจากมลพิษอากาศ PM_{2.5} ในประเทศไทยสูงกว่าอัตราการเสียชีวิตจากอุบัติเหตุบนท้องถนน การใช้ยาเสพติด และการฆาตกรรมรวมกัน ซึ่งเป็นข้อมูลสนับสนุนเพื่อการลงทุนเพื่อลดมลพิษจากยานพาหนะจะให้ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และสุขภาพ

การศึกษาทั่วโลกและเอเชียบ่งชี้วิธีการลดมลพิษอากาศ PM_{2.5} ที่แหล่งกำเนิดทั้งในและนอกช่วงหมอกควันเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพสูงสุด ดังนั้นการลดแหล่งกำเนิดในเชิงนโยบาย โดยมีมาตรการสนับสนุนผู้ใช้น้ำมันดีเซลพลังงานไฟฟ้าและเชื้อเพลิงสะอาด รวมถึงพัฒนาระบบขนส่งมวลชนและขนส่งทางรางที่มีประสิทธิภาพทดแทนรถส่วนบุคคล

ในด้านการแก้ไขปัญหาระดับประเทศ รัฐบาลไทยมี “แผนปฏิบัติการขับเคลื่อนวาระแห่งชาติ การแก้ไขปัญหามลพิษ ด้านฝุ่นละออง พ.ศ. 2562-2567” (กรมควบคุมมลพิษ, 2562) และปัจจุบันมีการจัดทำ “แผนปฏิบัติการขับเคลื่อนวาระแห่งชาติ การแก้ไขปัญหามลพิษ ด้านมลพิษอากาศ พ.ศ. 2568-2570” (กรมควบคุมมลพิษ, 2568) สำหรับจังหวัดเชียงใหม่นั้น มีการจัดทำ “แผนปฏิบัติการเพื่อลดและขจัดมลพิษในเขตควบคุมมลพิษจังหวัดเชียงใหม่ ประจำปี พ.ศ. 2569-2671” (สำนักงานทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมจังหวัดเชียงใหม่, 2568) มุ่งเน้นความสำคัญต่อการลดแหล่งกำเนิดมลพิษอากาศในพื้นที่เป็นสำคัญเช่นกัน ซึ่งการศึกษานี้บัญชีการระบายมลพิษอากาศครั้งนี้ จะเป็นแหล่งข้อมูลสำคัญของ

ระดับพื้นที่ต่อการนำไปใช้กำหนดเป้าหมายจัดและลดมลพิษจากแหล่งกำเนิดต่อไป

ข้อเสนอแนะ

1. พัฒนาการจัดทำบัญชีการระบายมลพิษทางอากาศ ให้ครอบคลุมสารมลพิษทุกชนิด และควรมีการปรับปรุงเป็นระยะ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของแหล่งกำเนิดมลพิษอากาศต่างๆ ในอนาคต จากการพัฒนาเศรษฐกิจหรือมาตรการควบคุมแหล่งกำเนิด
2. ควรมีการนำเสนอข้อมูลในลักษณะเดียวกันกับงานที่ศึกษาสำหรับแหล่งกำเนิดมลพิษอากาศ PM_{2.5} ประเภทอื่นๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งมลพิษอากาศ PM_{2.5} ที่เกิดจากการเผาชีวมวลในที่โล่งทั้งจากไฟฟ้าและการเผาชีวมวลจากภาคการเกษตร
3. ปรับปรุงค่า Characterization Factor หรือปัจจัยจำแนกคุณลักษณะจำเพาะเป็นระยะเนื่องจากค่าดังกล่าวจะมีการเปลี่ยนแปลงไปตามสถานการณ์มลพิษอากาศที่เปลี่ยนแปลงไปในอนาคต
4. ประยุกต์ใช้แบบจำลองการแพร่กระจายสารมลพิษอากาศ (Dispersion Model) ซึ่งสามารถใช้ข้อมูลบัญชีการระบายมลพิษอากาศ PM_{2.5} เป็นข้อมูลนำเข้า เพื่อให้ทราบถึงการกระจายตัวของมลพิษอากาศละเอียดเชิงพื้นที่ นำไปสู่การกำหนดมาตรการการจัดการที่แม่นยำยิ่งขึ้น

ข้อจำกัดการศึกษา

1. บัญชีการระบายมลพิษอากาศ PM_{2.5} จากยานพาหนะประเภทต่างๆ ที่นำเสนอในการศึกษานี้ ครอบคลุมเฉพาะยานพาหนะโดยเฉพาะยานพาหนะทางบก (รถ) ที่จดทะเบียนในจังหวัดเชียงใหม่เท่านั้น ไม่ได้รวมถึงรถที่จดทะเบียนในจังหวัดอื่นที่เดินทางเข้าออกจังหวัดเชียงใหม่ โดยเฉพาะในช่วงฤดูการท่องเที่ยว
2. การศึกษานี้ครอบคลุมเฉพาะการระบายมลพิษอากาศ PM_{2.5} จากแหล่งกำเนิดยานพาหนะต่างๆ เท่านั้น ยังไม่ครอบคลุมแหล่งกำเนิดประเภทอื่น อาทิ แหล่งกำเนิดพื้นที่ เช่น โรงงานอุตสาหกรรม และแหล่งกำเนิดอยู่กับที่ เช่น การเผาในที่โล่ง ชยะมูลฝอย บ้านเรือนที่อยู่อาศัย และพาณิชย์ การก่อสร้างที่อยู่ถนน อาคารฯ เป็นต้น) ส่งผลให้ปริมาณการระบายมลพิษอากาศ PM_{2.5} ในการศึกษาจะต่ำกว่าความ

เป็นจริง รวมถึงการประเมินผลกระทบการสูญเสียสุขภาพและต้นทุนสุขภาพมีแนวโน้มต่ำด้วยเช่นกัน

3. มูลค่าต้นทุนสุขภาพที่เกิดจากผลกระทบของมลพิษอากาศ PM_{2.5} ที่ใช้ในการศึกษานี้เป็นค่าระดับประเทศ ซึ่งอาจมีความแตกต่างจากมูลค่าต้นทุนสุขภาพของจังหวัดเชียงใหม่ที่เกิดจากผลกระทบของมลพิษอากาศ PM_{2.5}

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ด้วยการสนับสนุนจากทุกฝ่าย ขอขอบพระคุณ นายทศพล

เผื่อนอุดม อดีตผู้ว่าราชการจังหวัดเชียงใหม่ นายแพทย์วรัญญู จ่านองประสาทพร นายแพทย์สาธารณสุขจังหวัดเชียงใหม่ อาจารย์ที่ปรึกษาการวิจัย มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล และสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย หน่วยงานในจังหวัดเชียงใหม่ สำนักงานขนส่งจังหวัดเชียงใหม่ ที่อนุญาตให้เก็บข้อมูล ขอขอบคุณสำนักงานเจ้าท่าภูมิภาคสาขาเชียงใหม่ และสถานีขนส่งรถไฟจังหวัดเชียงใหม่-ลำปาง

เอกสารอ้างอิง

- กรมควบคุมมลพิษ. (2559). คู่มือการคาดประมาณการปลดปล่อยมลพิษสำหรับแหล่งกำเนิดประเภทรถยนต์ในประเทศไทย [ออนไลน์]. [สืบค้นเมื่อ 27 พฤศจิกายน 2568]; แหล่งข้อมูล: https://www.pcd.go.th/wp-content/uploads/2020/05/pcdnew-2020-05-25_05-13-02_943383.pdf
- กรมควบคุมมลพิษ. (2562). แผนปฏิบัติการขับเคลื่อนวาระแห่งชาติ “การแก้ไขปัญหามลพิษด้านฝุ่นละออง” [ออนไลน์]. [สืบค้นเมื่อ 1 สิงหาคม 2566]; แหล่งข้อมูล: <https://www.pcd.go.th/strategy/แผนปฏิบัติการขับเคลื่อนวาระแห่งชาติ-การแก้ไขปัญหามลพิษด้านฝุ่นละออง/>
- กรมควบคุมมลพิษ. (2568). แผนปฏิบัติการขับเคลื่อนวาระแห่งชาติ “การแก้ไขปัญหามลพิษด้านฝุ่นละออง” ฉบับที่ 2 พ.ศ. 2568-2570 และระยะ 5 ปีต่อไป [ออนไลน์]. [สืบค้นเมื่อ 1 สิงหาคม 2568]; แหล่งข้อมูล: <https://www.pcd.go.th/strategy/แผนปฏิบัติการขับเคลื่อนวาระแห่งชาติ-การแก้ไขปัญหามลพิษด้านฝุ่นละออง-ฉบับที่-๒-พ-ศ-๒๕๖๘-๒๕๗๐-และระยะ-๕-ปีต่อไป/>
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (ม.ป.ป.). ตารางดุลยภาพพลังงานของประเทศไทย 2562 [ออนไลน์]. [สืบค้นเมื่อ 1 สิงหาคม 2566]; แหล่งข้อมูล: https://oldwww.dede.go.th/ewt_news.php?nid=47341
- กลุ่มสถิติการขนส่ง กองแผนงาน กรมการขนส่งทางบก. (ม.ป.ป.). สถิติการจดทะเบียนรถ จังหวัดเชียงใหม่ 2562 [ออนไลน์]. [สืบค้นเมื่อ 1 สิงหาคม 2566]; แหล่งข้อมูล: <https://web.dlt.go.th/statistics/>
- คิม อ่อง เหววียน ถิ และคณะ. (2563). รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการศึกษาแหล่งกำเนิดฝุ่นขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM_{2.5}) และสารมลพิษตั้งต้นของฝุ่นทุติยภูมิ (Secondary PM_{2.5}) ในพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล 30 มกราคม 2563. (เอกสารอัดสำเนา).
- นwor ะสิทธิ์กุล. (2567). การประเมินต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์ของผลกระทบทางสุขภาพอันเนื่องมาจากมลพิษทางอากาศ PM_{2.5} ในประเทศไทย: กรณีศึกษา จังหวัดกรุงเทพมหานครและสงขลา ในปี พ.ศ. 2565 [ออนไลน์]. [สืบค้นเมื่อ 9 ธันวาคม 2568]; แหล่งข้อมูล: <https://digital.car.chula.ac.th/cgi/viewcontent.cgi?article=75219&context=chulaetd>
- เทศบาลนครเชียงใหม่. (2565). แผนอากาศสะอาดเมืองจังหวัดเชียงใหม่ ปีฐาน 2553. (เอกสารอัดสำเนา)
- บริษัท ท่าอากาศยานไทย จำกัด (มหาชน). (ม.ป.ป.). รายงานประจำปี 2564 [ออนไลน์]. [สืบค้นเมื่อ 1 สิงหาคม 2566]; แหล่งข้อมูล: <http://investor-th.airportthai.co.th/ar.html>

- บริษัท ไพน์แอปเปิ้ลวิชั่นซิสเต็มส์ จำกัด. (2563). รายงานผลการดำเนินการพัฒนาระบบเชื่อมโยงข้อมูลเพื่อการบริหารจัดการบัญชีมลพิษทางอากาศครั้งที่ 4. (เอกสารอัดสำเนา).
- พฤกษ์ พงศ์พฤกษา. (2565). รายงานองค์ความรู้ เรื่อง การกำหนดแนวทางควบคุมแหล่งกำเนิดมลพิษอากาศในระดับพื้นที่ โดยใช้ฐานข้อมูล แหล่งกำเนิดมลพิษ (Emission Inventory) และแบบจำลองสำหรับพื้นที่รับผลกระทบ (Receptor Modeling). (เอกสารอัดสำเนา)
- วิชญ์ อรรถวานิช. (2562). ต้นทุนของสังคมไทยจากมลพิษทางอากาศและมาตรการรับมือ [ออนไลน์]. [สืบค้นเมื่อ 9 ธันวาคม 2568]; แหล่งข้อมูล: <https://www.pier.or.th/abridged/2019/07/>
- ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ. (2567). ข้อมูลรายวันจำนวนวันฝนตกรวมมากกว่า 0.25 มิลลิเมตรตลอดทั้งปี จังหวัดเชียงใหม่ มกราคม - ธันวาคม 2562. (เอกสารอัดสำเนา).
- สถานีขนส่งรถไฟจังหวัดเชียงใหม่-ลำปาง. (2567). ข้อมูลย้อนหลังการใช้เชื้อเพลิงการขนส่งรถยนต์เชียงใหม่-ลำปาง. (เอกสารอัดสำเนา).
- สมพร จันทระ และคณะ. (2567). รายงานฉบับสมบูรณ์การจำลองสถานการณ์ควบคุมแหล่งกำเนิดฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM_{2.5} ประเมินมาตรการการจัดการของจังหวัดเชียงใหม่. (เอกสารอัดสำเนา).
- สำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดเชียงใหม่. (2567). ข้อมูลพื้นฐานของจังหวัดเชียงใหม่ [ออนไลน์]. [สืบค้นเมื่อ 2 เมษายน 2568]; แหล่งข้อมูล: <https://www.opsmoac.go.th/chiangmai-dwl-files-461691791926>
- สำนักงานทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมจังหวัดเชียงใหม่. (2568). (ร่าง) แผนปฏิบัติการเพื่อลดและขจัดมลพิษ ในเขตควบคุมมลพิษ จังหวัดเชียงใหม่ ประจำปี พ.ศ. 2569-2571. (เอกสารอัดสำเนา)
- สำนักงานส่งเสริมเศรษฐกิจดิจิทัล. (2564). แผนส่งเสริมเศรษฐกิจดิจิทัลจังหวัดเชียงใหม่ [ออนไลน์]. [สืบค้นเมื่อ 2 เมษายน 2568]; แหล่งข้อมูล: <https://www.chiangmai.go.th/managing/public/D2/2D01Feb2022091701.pdf>
- สำนักงานเจ้าท่าภูมิภาคที่ 1. (2567). ข้อมูลย้อนหลังการใช้เชื้อเพลิงการท่องเที่ยวลำนํ้าปิงและอ่างเก็บน้ำ จังหวัดเชียงใหม่. (เอกสารอัดสำเนา).
- เอกบดินทร์ วินิจกุล. (2565). ฝึกปฏิบัติการจัดทำบัญชีการระบายมลพิษอากาศ จังหวัดเชียงใหม่ ภายใต้ศูนย์วิชาการเพื่อขับเคลื่อนการป้องกันและแก้ไขปัญหามลพิษอากาศ (โปรแกรมและเอกสารประกอบการประชุม); การประชุมการพัฒนาบัญชีการระบายมลพิษอากาศของจังหวัดเชียงใหม่; วันที่ 12-13 พฤษภาคม 2565; โรงแรมคุ้มภูคำ จังหวัดเชียงใหม่.
- เอกบดินทร์ วินิจกุล. (2566). การหาสัดส่วนมลพิษจากแหล่งกำเนิดภายในและภายนอกกรุงเทพมหานครที่ส่งผลต่อความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กในกรุงเทพมหานคร (Contribution of Inside and Outside-city Air Pollution Sources to The PM_{2.5} Concentration in Bangkok) (รายงานการวิจัย). กรุงเทพมหานคร: สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ.
- เอกบดินทร์ วินิจกุล. (2567). เอกสารประธานที่ปรึกษาการพัฒนาฐานข้อมูลการระบายมลพิษอากาศทางถนนสำหรับเชียงใหม่ ประเทศไทย. (เอกสารอัดสำเนา).
- ไอแดน ฟาร์โรว, แอนเดีซ แอนเฮาส และอัลเลียา เหมื่อนอบ. (2565). ภาระชีวิตจากมลพิษทางอากาศของประเทศไทยปี 2564 [ออนไลน์]. [สืบค้นเมื่อ 10 ธันวาคม 2568]; แหล่งข้อมูล: https://www.greenpeace.org/static/planet4-thailand-stateless/2022/06/ce3e441f-the_burden_of_air_pollution_in_thailand_2021_th_compressed.pdf

Greenpeace Thailand. (2564). ฝุ่นพิษ PM2.5 เป็นสาเหตุของการเสียชีวิตก่อนวัยอันควรของประชากรราว 160,000 รายใน 5 เมืองใหญ่ของโลกในปี พ.ศ.2563 [ออนไลน์]. [สืบค้นเมื่อ 8 ธันวาคม 2568]; แหล่งข้อมูล:

<https://www.greenpeace.org/thailand/press/19014/tracking-cost-air-pollution-th/>

Chalongklang, P., Panyametheekul, S., Prapasongsa, T., *et al.* (2023). Assessment on health impacts and costs of fine particulate matter from passenger transport in Bangkok Metropolitan Region. *Thai Environmental Engineering Journal*, 37(3), 29-36. [cited 2025 March 19]; Available from:

<https://so05.tci-thaijo.org/index.php/teej/article/view/266987>

Chansuebsri, S., Kolar, P., Kraisitnitikul, P., *et al.* (2024). Chemical composition and origins of PM_{2.5} in Chiang Mai (Thailand) by integrated source apportionment and potential source areas. *Atmospheric Environment*, 327, 120517. [cited 2025 January 9]; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2024.120517>

Chavanaves, S., Fantke, P., Limpaseni, W., *et al.* (2021). Health impacts and costs of fine particulate matter formation from road transport in Bangkok Metropolitan Region. *Atmospheric Pollution Research*, 12(10), 101191. [cited 2023 January 24]; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.apr.2021.101191>

Deuja, A. (2022). Spatially differentiated health impacts and costs of fine particulate matter formation from agricultural waste management in Thailand. Master of Engineering. Faculty of Graduate Studies. Nakhon Pathom: Mahidol University.

Deuja, A., Ueda, K., Panyametheekul, S., Gheewala, S.H., & Prapasongsa, T. (2022). Health Impacts and Cost Assessment of Fine Particulate Matter Formation from Rice Straw Utilization in Thailand. *Thai Environmental Engineering Journal*, 36(1), 33-47. [cited 2024 December 25]; Available from:

<https://so05.tci-thaijo.org/index.php/teej/article/view/256260>

European Environment Agency. (2023). EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023: Technical guidance to prepare national emission inventories [online]. [cited 2025 November 27]; Available from:

<https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/emep-eea-guidebook-2023>

Health Effects Institute [HEI]. (2019). State of global air 2019. special report [online]. [cited 2025 May 20]; Available from:

https://www.stateofglobalair.org/sites/default/files/soga_2019_report.pdf

Health Effects Institute [HEI]. (2020). State of Global Air 2020 [online]. [cited 2025 December 9]; Available from:

<https://www.stateofglobalair.org/resources/archived/state-global-air-report-2020>

Health Effects Institute [HEI]. (2025). Trends in Air Quality and Health Impacts: Insights from Central, South, and Southeast Asia [online]. [cited 2025 May 20]; Available from:

<https://www.stateofglobalair.org/resources/report/trends-air-quality-and-health-impacts-insights-central-south-and-southeast-asia>

- Hongthong, A., Nanthapong, K., & Kanabkaew, T. (2023). Estimation of respiratory disease burden attributed to particulate matter from biomass burning in northern Thailand using 1-km resolution MAIAC-AOD. *Applied Environmental Research*, 45(2), 115-130. [cited 2025 May 20]; Available from: <https://doi.org/10.35762/AER.2023008>
- International Agency for Research on Cancer. (2013). IARC: Outdoor air pollution: a leading environmental cause of cancer deaths [online]. [cited 2025 May 20]; Available from: https://www.iarc.who.int/wp-content/uploads/2018/07/pr221_E.pdf
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2006). Chapter 3: Mobile Combustion. In 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 2: Energy [online]. [cited 2025 November 27]; Available from: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/2_Volume2/V2_3_Ch3_Mobile_Combustion.pdf
- Kaenchan, P. & Gheewala, S. H. (2017). Budget constraint and the valuation of environmental impacts in Thailand. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 22, 1678-1691. [cited 2025 May 2]; Available from: <https://doi.org/10.1007/S11367-016-1210-X>
- Kawichai, S., Prapamontol, T., Cao, F., *et al.* (2021). Significant contribution of C3 - type forest plants' burning to airborne PM_{2.5} pollutions in Chiang Mai Province, Northern Thailand. *Chiang Mai University Journal of Natural Sciences*, 20(4), e2021088. [cited 2025 May 2]; Available from: <https://colab.ws/articles/10.12982%2FCMUJNS.2021.088>
- Ramadhas, A. S., Xu, H., Liu, D., & Tian, J. (2016). Reducing cold start emissions from automotive diesel engine at cold ambient temperatures. *Aerosol and Air Quality Research*, 16, 3330-3337. [cited 2025 May 2]; Available from: <https://doi.org/10.4209/aaqr.2015.11.0616>
- United States Environmental Protection Agency. (1997). Fugitive Particulate Matter Emissions (Midwest Research Institute Project No. 4604-06). (Photocopy).
- United Nations Thailand. (2021). Prevention and control of noncommunicable diseases in Thailand: The case for investment [online]. [cited 2025 December 10]; Available from: <https://www.undp.org/thailand/publications/prevention-and-control-noncommunicable-diseases-thailand-case-investment>
- Yamane, T. (1973). *Statistics: An introductory analysis* [online]. [cited 2025 October 31]; Available from: <https://www.scribd.com/document/503362584/Yamane-1973-Statistics-an-Introductory-Analysis>