

บัญชีการปล่อย PM_{2.5} ของเขตเมืองในกลุ่มจังหวัดนครชัยบุรินทร์ PM_{2.5} Emission Inventory of Urban Areas in Nakhonchaiburin Provincial Cluster

สุดจิต ครุจิต*, อภิชน วัชรนทร์วงศ์

Sudjit Karuchit*, Apichon Watcharenwong

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี นครราชสีมา ประเทศไทย

Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand

สมพงษ์ บุญเฟื่อง

Sompong Boonfrueng

สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 11 นครราชสีมา ประเทศไทย

Environmental and Pollution Control Office 11, Nakhon Ratchasima, Thailand

นิรันดร์ คงฤทธิ์

Nirun Kongritti

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา นครราชสีมา ประเทศไทย

Faculty of Science and Technology, Nakhon Ratchasima Rajabhat University,

Nakhon Ratchasima, Thailand

* Corresponding author E-mail: sudjit@sut.ac.th

Received 22 July 2025; Revised 27 October 2025; Accepted 8 December 2025

บทคัดย่อ

ความเป็นมาและวัตถุประสงค์ : ปัญหาฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM_{2.5}) เป็นปัญหาหลักของประเทศไทยที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนและก่อให้เกิดความวิตกกังวลอย่างมากของทุกฝ่าย แม้ว่าในบางท้องถิ่นยังไม่พบปัญหา แต่เมื่อมีการพัฒนาทางเศรษฐกิจมากขึ้นก็อาจต้องเผชิญปัญหาคุณภาพอากาศเช่นกัน ดังนั้น การเสริมสร้างศักยภาพในการรับมือปัญหา PM_{2.5} ให้กับประชาชนและหน่วยงานระดับท้องถิ่น เช่น เทศบาลนครและเทศบาลเมือง จึงเป็นสิ่งสำคัญและจำเป็นสำหรับการดำเนินการในปัจจุบันและการป้องกันไม่ให้เกิดปัญหาเพิ่มขึ้นในอนาคต งานวิจัยนี้มีเป้าหมายในการจัดทำบัญชีแหล่งกำเนิดและการปล่อย PM_{2.5} ของเขตเมืองในกลุ่มจังหวัดนครชัยบุรินทร์ ได้แก่ เขตเทศบาลนครนครราชสีมา เทศบาลเมืองชัยภูมิ เทศบาลเมืองบุรีรัมย์ และเทศบาลเมืองสุรินทร์ และศึกษาเปรียบเทียบสัดส่วนการปล่อยฝุ่น PM_{2.5} ระหว่างแหล่งกำเนิด รวมทั้งวิเคราะห์ผลเชิงพื้นที่โดยการจัดทำแผนที่แสดงอัตราการปล่อยฝุ่น PM_{2.5} ในพื้นที่ศึกษา

วิธีดำเนินการวิจัย : ทบทวนการศึกษาที่เกี่ยวข้องและคัดเลือกแหล่งกำเนิดที่มีนัยสำคัญ โดยแบ่งเป็น 3 กลุ่มหลัก ได้แก่ (1) แบบจุด ได้แก่ โรงงานอุตสาหกรรม วัด และสถานประกอบการขนาดใหญ่ (2) แบบเคลื่อนที่ได้ ได้แก่ ยานพาหนะทางบก และยานพาหนะทางราง และ (3) แบบพื้นที่ ได้แก่ ที่พักอาศัยและอาคารพาณิชย์ ตลาด และพื้นที่เกษตรกรรม จากนั้นเก็บข้อมูลแหล่งกำเนิดด้วยการสำรวจภาคสนาม ด้วยแบบสอบถาม

ติดต่อขอข้อมูลจากหน่วยงาน และสำรวจปริมาณจราจร และนำข้อมูลมาประมาณการปล่อยด้วยวิธีค่าปัจจัยการปล่อยมลสาร (Emission Factor) โดยกำหนดให้ปีฐาน คือ ปี พ.ศ. 2566

ผลการวิจัย : การสัญจรทางถนนเป็นแหล่งกำเนิดสำคัญที่สุดของฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ในทุกพื้นที่ศึกษา มีสัดส่วนการปล่อยเกินกึ่งหนึ่งของแหล่งกำเนิดทั้งหมด คืออยู่ในช่วงร้อยละ 51 – 61 แหล่งกำเนิดที่มีนัยสำคัญรองลงมาในทุกพื้นที่ คือ กลุ่มที่พักอาศัยและพาณิชยกรรม มีสัดส่วนการปล่อยอยู่ในช่วงร้อยละ 19 – 33 แหล่งกำเนิดอันดับที่ 3 เป็นกลุ่มโรงงานอุตสาหกรรมใน 3 พื้นที่ ยกเว้นเทศบาลเมืองชัยภูมิ เป็นกลุ่มพื้นที่เกษตรกรรม แหล่งกำเนิดที่มีส่วนในการปล่อย $PM_{2.5}$ น้อยในทุกพื้นที่ ได้แก่ วัด สถานประกอบการขนาดใหญ่ การสัญจรทางราง และตลาด เมื่อพิจารณาอัตราการปล่อย $PM_{2.5}$ ต่อหน่วยพื้นที่ พบว่า เทศบาลเมืองบุรีรัมย์ซึ่งมีขนาดพื้นที่เล็กที่สุด เพียง 6 ตร.กม. มีอัตราการปล่อย $PM_{2.5}$ ต่อพื้นที่สูงที่สุด คือ 2,384 กก./ตร.กม./ปี เทศบาลนครนครราชสีมา มีอัตราการปล่อย $PM_{2.5}$ ต่อพื้นที่ต่ำกว่าเล็กน้อย คือ 2,239 กก./ตร.กม./ปี ส่วนเทศบาลเมืองสุรินทร์และเทศบาลเมืองชัยภูมิมีค่ารองลงมาเป็นอันดับที่ 3 และ 4 คือ 1,725 กก./ตร.กม./ปี และ 1,004 กก./ตร.กม./ปี ตามลำดับ อัตราการปล่อย $PM_{2.5}$ ต่อประชากร เรียงลำดับค่าสูงที่สุดไปค่าต่ำที่สุด คือ เทศบาลเมืองชัยภูมิ เทศบาลนครนครราชสีมา เทศบาลเมืองบุรีรัมย์ และเทศบาลเมืองสุรินทร์ มีค่าเท่ากับ 0.84 0.72 0.61 และ 0.53 กก./คน/ปี ตามลำดับ

สรุป : จากผลการจัดทำบัญชีการปล่อย $PM_{2.5}$ พบว่า แหล่งกำเนิดสำคัญ คือ กลุ่มยานพาหนะ กลุ่มที่พักอาศัยและพาณิชยกรรม และกลุ่มโรงงานอุตสาหกรรม อัตราการปล่อย $PM_{2.5}$ ต่อหน่วยพื้นที่อยู่ในช่วง 1,004 – 2,384 กก./ตร.กม./ปี อัตราการปล่อย $PM_{2.5}$ ต่อประชากรอยู่ในช่วง 0.53 – 0.84 กก./คน/ปี ผลการวิเคราะห์การปล่อย $PM_{2.5}$ เชิงพื้นที่สำหรับเทศบาลขนาดใหญ่แสดงให้เห็นว่าแนวโน้มสายหลักมีการปล่อยสูงกว่าบริเวณอื่นอย่างชัดเจน

การนำไปใช้ประโยชน์ในเชิงปฏิบัติ : ผลการศึกษาเป็นประโยชน์กับเทศบาลนครและเทศบาลเมืองทั้ง 4 แห่ง หน่วยงานภาครัฐที่เกี่ยวข้องกับการจัดการคุณภาพอากาศ หน่วยงานด้านสาธารณสุข นักวิชาการ และประชาชนทั่วไป การทราบแหล่งกำเนิดที่สำคัญและอัตราการปล่อยมลสารย่อมนำไปสู่การวางมาตรการลดปริมาณการปล่อยและแก้ปัญหาฝุ่น $PM_{2.5}$ ในพื้นที่ศึกษาได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ : บัญชีการปล่อย, $PM_{2.5}$, ฝุ่นละออง, คุณภาพอากาศ, แหล่งกำเนิดมลพิษอากาศ

Abstract

Background and Objectives: Particulate matter smaller than 2.5 microns ($PM_{2.5}$) is a major problem in the country, having adverse effects on public health and causing much concern to all parties. Although some local areas have not yet encountered the problem, as the economy develops, they may eventually face air quality issues. Therefore, building the capacity to cope with the $PM_{2.5}$ problem for the public and local agencies, such as municipali-

ties and towns, is important and necessary for their operations and to prevent the problem from increasing in the future. The present research aimed to create an inventory of $PM_{2.5}$ sources and emissions of urban areas in the Nakhonchaiburin provincial cluster, namely, Nakhon Ratchasima Municipality, Chaiphum Municipality, Buriram Municipality, and Surin Municipality, and to study and compare the proportion of $PM_{2.5}$ emissions between sources, as well as spatial analysis by creating $PM_{2.5}$ emission maps of the study areas.

Methodology: The methodology consisted of reviewing relevant studies and selecting significant sources, which were divided into 3 main groups: (1) point type, including industrial plants, temples, and large establishments; (2) mobile type, including road transport and rail transport; and (3) area type, including residences and commercial buildings, markets, and agricultural areas. Then, data on sources were collected through field surveys, questionnaire data collection, contacting agencies for information, and traffic volume surveys. Emissions were estimated using the emission factor method, with the base year set to be 2023.

Main Results: Road transport group was the most important source of $PM_{2.5}$ emissions in all study areas, accounting for more than half of all sources, or 51-61 percent. The second most significant source in all areas was the residential and commercial building group, accounting for 19-33 percent. The third most significant source was the industrial factory group in 3 areas, except for Chaiphum Municipality, which is an agricultural area group. The sources that contributed the least to $PM_{2.5}$ emissions in all areas were temples, large businesses, rail travel, and markets. When considering the pollutant emission rate per unit area, it was found that Buriram Municipality, which has the smallest area of only 6 sq.km, exhibited the highest pollutant emission rate per area, at 2,384 kg/sq.km/year, while Nakhon Ratchasima Municipality had a slightly lower pollutant emission rate per area at 2,239 kg/sq.km/year. Surin and Chaiphum municipalities ranked 3rd and 4th with values of 1,725 kg/sq.km/year and 1,004 kg/sq.km/year, respectively. The pollutant emission rate per capita, ranked from the highest to the lowest, was Chaiphum, Nakhon Ratchasima, Buriram, and Surin municipalities with values of 0.84, 0.72, 0.61, and 0.53 kg/person/year, respectively.

Conclusions: The main sources of $PM_{2.5}$ emission were the road transport group, the residential and commercial building group, and the industrial group. The emission rate per unit area was in the range of 1,004 - 2,384 kg/sq.km/year. The emission rate per population was in the range of 0.53 - 0.84 kg/person/year. The results of the spatial emission analysis for large municipalities clearly show that higher emission areas were along the main roads.

Practical Application: Results are useful for the four municipalities, government agencies involved in air quality management, public health agencies, academics, and the general public. Knowing the pollutant main sources and emission rates would lead to effective measures to reduce emissions and solve PM_{2.5} problem in the study areas.

Keywords: Emission Inventory, PM_{2.5}, Particulate Matter, Air Quality, Air Pollution Source

Introduction

ฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM_{2.5}) เป็นปัญหามลพิษอากาศระดับประเทศที่ส่งผลเสียต่อสุขภาพของประชาชนและก่อให้เกิดความวิตกกังวลอย่างมากของทุกฝ่าย โดยเฉพาะผลกระทบต่อสุขภาพนั้นมีตั้งแต่อาการทางระบบการหายใจ ระคายเคืองผิวหนัง ตาแดง ปวดศีรษะ แสบหน้าอก ไปจนถึงการเพิ่มความเสี่ยงต่อการเป็นโรคเรื้อรัง อาทิ โรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง ภาวะหลอดเลือดสมองตีบ โรคหัวใจขาดเลือด และโรคมะเร็งปอด เป็นต้น [1-3] โดยในปี 2567 Health Effect Institute รายงานว่ามลพิษอากาศเป็นหนึ่งในห้าอันดับแรกของปัจจัยเสี่ยงต่อการเสียชีวิตของประชากรทั่วโลก และ PM_{2.5} เป็นตัวขับเคลื่อนหลักของ "ภาระโรค" (disease burden) หรือผลกระทบด้านสุขภาพทั้งหมดที่เกิดขึ้นจากมลพิษทางอากาศ ภาระโรคที่เชื่อมโยงกับ PM_{2.5} ในบรรยากาศและมลพิษทางอากาศในครัวเรือนมีความแตกต่างกันอย่างมากทั่วโลก เนื่องจากรูปแบบการได้รับมลพิษที่แตกต่างกัน รวมถึงความแตกต่างของอายุประชากรและปัจจัยด้านสุขภาพพื้นฐาน [4] ข้อมูลของกระทรวงสาธารณสุขระบุว่าในปี 2567 คนไทยมีการเจ็บป่วยด้วยโรคที่เกี่ยวข้องกับมลพิษทางอากาศทั้งหมด 12,006,695 ราย (คิดเป็น 18,469 ต่อแสนประชากร) โดยพบการเจ็บป่วยด้วยกลุ่มโรคระบบทางเดินหายใจ 5,198,207 ราย (คิดเป็น 7,996 ต่อแสนประชากร) [5] นอกจากนั้น ผลการสำรวจข้อมูลจากประชาชนของกรมควบคุมมลพิษ ในปีเดียวกัน พบว่าผู้ตอบร้อยละ 34.7 มีอาการที่เกี่ยวข้องกับการรับสัมผัสฝุ่นขนาดเล็ก โดยอาการที่พบมากที่สุด คือ ระบบทางเดินหายใจ ร้อยละ 32.9 ระบบตา ร้อยละ 33.4 หูคอจมูก ร้อยละ 14.2 ระบบหัวใจและหลอดเลือด ร้อยละ 9.3 และผิวหนัง ร้อยละ 10.1 [5]

นับตั้งแต่สังคมไทยมีความตื่นตัวต่อปัญหาฝุ่น PM_{2.5} เมื่อประมาณปลายปี 2561 จนถึงปัจจุบัน หน่วยงานด้านสิ่งแวดล้อมทั้งภาครัฐ สถาบันการศึกษา และภาคประชาสังคม ต่างมีส่วนในความพยายามวิเคราะห์และแก้ไขปัญหา [6-8] รวมทั้งปรับปรุงเรื่องการสื่อสารข้อมูลเรื่องฝุ่นอย่างถูกต้อง [9] โดยในเดือนกุมภาพันธ์ 2562 คณะรัฐมนตรีมีมติให้ “การแก้ไขปัญหาหามลภาวะด้านฝุ่นละออง” เป็นวาระแห่งชาติ และต่อมากรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ได้จัดทำแผนปฏิบัติการขับเคลื่อนวาระแห่งชาติ “การแก้ไขปัญหาหามลพิษด้านฝุ่นละออง” [10] และคู่มือปฏิบัติการในการป้องกันและแก้ไขปัญหาฝุ่นละออง PM_{2.5} ระดับจังหวัด เพื่อใช้เป็นแนวทางปฏิบัติในการดำเนินการแก้ไขปัญหาฝุ่นละอองในภาพรวมของประเทศ [11] ทั้งนี้ หนึ่งในมาตรการระยะสั้นที่กำหนดไว้ในแผนปฏิบัติการขับเคลื่อนวาระแห่งชาติดังกล่าว คือการจัดทำบัญชีการปล่อยมลพิษอากาศ (Emission Inventory) ซึ่งเป็นวิธีการพื้นฐานที่ใช้ระบุแหล่งกำเนิดมลพิษ

อากาศในระดับพื้นที่เชิงปริมาณ ทำให้สามารถระบุสัดส่วนแหล่งกำเนิดฝุ่นที่สำคัญในพื้นที่ศึกษา และสามารถนำไปประเมินผลกระทบทางเศรษฐศาสตร์ และกำหนดแนวทางควบคุมแหล่งกำเนิดฝุ่นในระดับท้องถิ่นได้ [12]

กลุ่มจังหวัด “นครชัยบุรินทร์” ประกอบด้วย 4 จังหวัดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง ได้แก่ นครราชสีมา ชัยภูมิ บุรีรัมย์ และสุรินทร์ แม้ว่าในอดีตจะไม่มีสถานการณ์ปัญหาฝุ่น $PM_{2.5}$ ที่รุนแรง [13] แต่เนื่องจากเป็นพื้นที่ที่มีศักยภาพสูงและเป็นกำลังสำคัญในการขับเคลื่อนการพัฒนาประเทศ โดยเฉพาะจังหวัดนครราชสีมาเป็นศูนย์กลางการคมนาคมและโลจิสติกส์ที่สำคัญ มีขนาดเศรษฐกิจที่ใหญ่และมีความเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจอย่างต่อเนื่อง จึงควรมีการเตรียมพร้อมในการรับมือกับสถานการณ์มลพิษอากาศที่จะเพิ่มสูงขึ้นในอนาคต การจัดการคุณภาพอากาศของเมืองหรือจังหวัดไม่ใช่ภารกิจที่สามารถทำได้โดยง่ายหรือรวดเร็ว ด้วยแต่ละท้องถิ่นมีความแตกต่างทั้งทางกายภาพจำนวนประชากร สภาพทางเศรษฐกิจและสังคม และแหล่งกำเนิดมลพิษ หน่วยงานภาครัฐและองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นจำเป็นต้องสร้างองค์ความรู้เกี่ยวกับแหล่งกำเนิดฝุ่น $PM_{2.5}$ ในพื้นที่ และสัดส่วนการก่อมลพิษของแหล่งกำเนิดแต่ละประเภท เพื่อการบริหารจัดการเพื่อบรรเทาปัญหาและป้องกันปัญหาอย่างมีประสิทธิภาพ

จากเหตุผลและความเป็นมาดังกล่าวข้างต้น งานวิจัยนี้มีเป้าหมายในการเสริมสร้างศักยภาพในการรับมือปัญหา $PM_{2.5}$ ให้กับหน่วยงานระดับท้องถิ่น โดยการจัดทำบัญชีการปล่อย $PM_{2.5}$ (Emission Inventory) ของ 4 พื้นที่เขตเมืองในกลุ่มจังหวัดนครชัยบุรินทร์ ได้แก่ เขตเทศบาลนครนครราชสีมา เทศบาลเมืองชัยภูมิ เทศบาลเมืองบุรีรัมย์และเทศบาลเมืองสุรินทร์ และศึกษาเปรียบเทียบสัดส่วนการปล่อยฝุ่น $PM_{2.5}$ ระหว่างแหล่งกำเนิด รวมทั้งวิเคราะห์ผลเชิงพื้นที่โดยการจัดทำแผนที่แสดงอัตราการปล่อยฝุ่นในพื้นที่ศึกษา

Methodology

การรวบรวมข้อมูลของแหล่งกำเนิด

งานวิจัยนี้เลือกศึกษามลสารประเภทเดียว คือ ฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) โดยผู้วิจัยทำการคัดเลือกแหล่งกำเนิด $PM_{2.5}$ ที่สำคัญที่ควรบรรจุไว้ในบัญชีการปล่อยมลสารทางอากาศโดยการทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง โดยเฉพาะผลการศึกษาของ German International Cooperation agency (GIZ) ในโครงการ Clean Air for Smaller Cities ซึ่งทำการศึกษาและจัดทำบัญชีการปล่อยมลสารทางอากาศในเมือง 10 เมืองของประเทศในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ 6 ประเทศ ในช่วงปี 2552 – 2560 [14] และรายงานการสำรวจมลสารทางอากาศ การจำแนกแหล่งกำเนิดของฝุ่น กรณีศึกษาพื้นที่รอบโรงไฟฟ้าพระนครเหนือ ของสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย [15] และรายงานอื่นที่เกี่ยวข้อง [16-17] สามารถคัดเลือกแหล่งกำเนิด $PM_{2.5}$ ที่มีนัยสำคัญได้ทั้งหมด 8 กลุ่ม ซึ่งจัดเป็นประเภทแหล่งกำเนิดได้ 3 แบบ ได้ดังนี้

- (1) แหล่งกำเนิดแบบจุด เป็นแหล่งกำเนิดที่สามารถระบุตำแหน่งการปล่อยมลสารได้ชัดเจน มีลักษณะเฉพาะและมีความสำคัญต่อการปล่อยมลสาร ซึ่งสามารถพิจารณาการปล่อยมลสารจากขอบเขตพื้นที่ของแหล่งกำเนิดนั้นเสมือนเป็นจุดหนึ่งในพื้นที่ศึกษา ประกอบด้วยแหล่งกำเนิด 3 กลุ่ม ได้แก่ โรงงาน วัด และสถานประกอบการขนาดใหญ่ โดยกลุ่มหลังแบ่งเป็นอีก 3 กลุ่มย่อย

คือ โรงพยาบาล โรงแรม และห้างสรรพสินค้า

- (2) แหล่งกำเนิดแบบเคลื่อนที่ คือยานพาหนะประเภทต่าง ๆ ประกอบด้วยแหล่งกำเนิด 2 กลุ่ม ได้แก่ ยานพาหนะที่สัญจรทางถนน และทางรางรถไฟ
- (3) แหล่งกำเนิดแบบพื้นที่ คือแหล่งกำเนิดที่มีจำนวนมากและกระจายตัวในบริเวณกว้าง จึงไม่เหมาะกับการระบุตำแหน่งการปล่อยมลสารเป็นจุดแต่ควรพิจารณาเป็นภาพรวมของพื้นที่ ประกอบด้วย แหล่งกำเนิด 3 กลุ่ม ได้แก่ ที่พักอาศัยและอาคารพาณิชย์ ตลาด และพื้นที่เกษตรกรรม

Table 1 สรุปข้อมูลแหล่งกำเนิด PM_{2.5} ที่ศึกษาและวิธีการเก็บข้อมูล โดยปีฐานที่ใช้ในการศึกษา คือ ปี 2566 วิธีการรวบรวมข้อมูลทั่วไปและข้อมูลกิจกรรมที่จำเป็นสำหรับการศึกษามีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิดแต่ละประเภท สามารถแบ่งตามการได้มาของข้อมูลเป็น 3 ลักษณะ ดังนี้

(1) การเก็บข้อมูลทุติยภูมิ ใช้กับแหล่งกำเนิด 3 กลุ่ม คือ โรงงานอุตสาหกรรม การขนส่งทางราง และพื้นที่เกษตรกรรม วิธีการนี้เป็นการใช้ข้อมูลที่มีการเก็บรวบรวมไว้โดยแหล่งข้อมูลหรือข้อมูลที่สืบค้นได้ อาทิ ข้อมูลพื้นฐานของโรงงาน ข้อมูลกำลังม้าของโรงงาน ข้อมูลปริมาณการใช้เชื้อเพลิง ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน ข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) ในการศึกษานี้ผู้วิจัยได้รวบรวมข้อมูลโรงงานจำพวกที่ 2 และ 3 ในพื้นที่ศึกษาทั้งหมดจำนวน 332 แห่ง ข้อมูลการสัญจรทางรางโดยรถไฟซึ่งมีเส้นทางเดินรถผ่านพื้นที่ศึกษา 3 พื้นที่ ได้แก่ เทศบาลนครนครราชสีมา เทศบาลเมืองบุรีรัมย์ และเทศบาลเมืองสุรินทร์ และข้อมูลพื้นที่เกษตรกรรมใช้พื้นที่นา พืชสวน พืชไร่ ไม้ผล และไม้ยืนต้น จากฐานข้อมูล GIS ของพื้นที่ศึกษา และใช้ข้อมูลจากการทบทวนวรรณกรรมในการประมาณวัสดุเหลือทิ้งแห้งและประมาณสัดส่วนที่ถูกเผา

(2) การเก็บข้อมูลปฐมภูมิโดยการสำรวจภาคสนามและการสัมภาษณ์ ใช้กับแหล่งกำเนิด 4 กลุ่ม ได้แก่ วัด สถานประกอบการขนาดใหญ่ ที่พักอาศัยและอาคารพาณิชย์ และตลาด วิธีการนี้อาศัยการสอบถามโดยตรงกับเจ้าของสถานที่ ผู้ประกอบกิจการ หรือผู้พักอาศัย โดยมีคำถามหลักเกี่ยวกับกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการเกิดมลพิษอากาศ และข้อมูลอัตราการกิจกรรม อาทิ ชนิดและปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ เพื่อนำมาประมาณโดยหลักการทางสถิติเป็นค่าเฉลี่ยต่อปี โดยสรุปการเก็บข้อมูลได้ดังนี้ วัดที่มีเมรุ 22 วัด จากทั้งหมด 40 วัด (ร้อยละ 55) โรงพยาบาล 15 แห่ง (ร้อยละ 100) โรงแรม 19 แห่ง จากทั้งหมด 188 แห่ง (ร้อยละ 10) ห้างสรรพสินค้า 7 แห่ง จากทั้งหมด 52 แห่ง (ร้อยละ 13) ตลาด 18 แห่ง จากทั้งหมด 58 แห่ง (ร้อยละ 31) ส่วนแหล่งกำเนิดประเภทที่พักอาศัยในแต่ละเทศบาล เก็บข้อมูลบ้านเดี่ยว อาคารพาณิชย์ และห้องแถว โดยวิธีแบ่งกลุ่มพื้นที่ให้มีความครอบคลุมและทำการสุ่มอย่างง่ายภายในกลุ่ม รวม 30 แห่ง ต่อเทศบาล รวมเป็นจำนวนแหล่งกำเนิดที่สำรวจและเก็บตัวอย่างทุกประเภทและทุกพื้นที่เท่ากับ 201 แห่ง รูปตัวอย่างการเก็บข้อมูลด้วยการสำรวจและสอบถามในการศึกษานี้ แสดงดัง Figure 1

Table 1 Summary of emission sources and data collection methods

Source Category	Scope	Pollutant Source Description	Activity Rate (AR)	Data Collection Method
1. Industry	Type 2 and 3 factories	Production processes, fuel combustion in boilers, furnaces, and heating systems	Horsepower (HP)	Secondary data from Provincial Industry Office
2. Temples	Temples with crematoriums	Cremation process and fuel combustion in incinerators	Number of cremated bodies/year, fuel volume/year	Field survey and interviews (sampling)
3. Large Establishments	Hospitals (with in-patient), hotels, shopping malls	Fuel use for cooking (LPG/charcoal), boilers, waste incineration systems	Fuel volume/year (liters or kilograms)	Field survey and interviews (sampling)
4. Road Transport	Highways, main roads, and secondary roads	Fuel consumption by vehicles	VKT (Vehicle Kilometer Traveled) per road segment	Road segment traffic count using Mid-block Count method
5. Rail Transport	Rail routes crossing the study area	Fuel use by locomotive cars (passenger and freight trains)	Fuel volume/year (liters)	Secondary data from State Railway of Thailand
6. Residential & Commercial Buildings	Detached houses, shophouses, townhouses using fuel for cooking	Household/commercial cooking using LPG and charcoal	Fuel volume/year (kilograms)	Field survey and interviews (sampling)
7. Market Places	Market places with street vendors and stalls using grilling or cooking	Cooking and grilling using LPG and charcoal	Fuel volume/year (kilograms)	Field survey and interviews (sampling)
8. Agricultural Areas	Farmland used for crop production	Open burning of biomass residues from harvesting	Dry biomass residue weight/year (kilograms)	Secondary data from GIS database and literature



Figure 1 Primary data collection (from left: temple, large establishment, residence and market place)

(3) การเก็บข้อมูลปริมาณภูมิโดยการนับปริมาณจราจร ใช้กับแหล่งกำเนิดกลุ่มการสัญจรทางถนน โดยการศึกษาที่กำหนดขอบเขตของแหล่งกำเนิดประเภทการสัญจรทางถนนภายในพื้นที่ศึกษา เฉพาะทางหลวงแผ่นดิน ถนนสายหลัก และถนนสายรอง โดยได้ทำการแบ่งถนนออกเป็นช่วง (Road Link) รวมทั้งสิ้นจำนวน 139 ช่วง แยกเป็นเขตเทศบาลนครนครราชสีมา เขตเทศบาลเมืองชัยภูมิ เขตเทศบาลเมืองบุรีรัมย์ และเขตเทศบาลเมืองสุรินทร์ จำนวน 29, 20, 27 และ 63 ช่วง ตามลำดับ จากนั้นทำการเก็บข้อมูลยานพาหนะแบบแยกประเภทโดยวิธี Mid-block Count และนำข้อมูลที่เก็บได้มาวิเคราะห์จำนวนพาหนะเฉลี่ยต่อวันในแต่ละช่วงถนน แยกเป็น 7 ประเภท ได้แก่ 1) รถยนต์นั่งไม่เกิน 7 คน และรถกระบะส่วนบุคคล 2) รถยนต์นั่งเกิน 7 คน และรถตู้ 3) รถกระบะบรรทุก และรถสองแถว 4) รถโดยสาร 5) รถบรรทุก 6) รถจักรยานยนต์ และ 7) รถสามล้อเครื่อง และแยกเป็นวันธรรมดาและวันหยุด

การกำหนดช่วงถนนและตำแหน่งจุดตรวจวัดของพื้นที่ศึกษาทั้ง 4 พื้นที่ แสดงไว้ใน Supplementary 1 โดยตัวอย่างการกำหนดช่วงถนนสำหรับเขตเทศบาลนครนครราชสีมา ซึ่งมีทั้งหมดจำนวน 29 ช่วง แสดงไว้ใน Figure 2 และรูปตัวอย่างวิธีการติดตั้งกล้องเพื่อการสำรวจปริมาณจราจร แสดงใน Figure 3

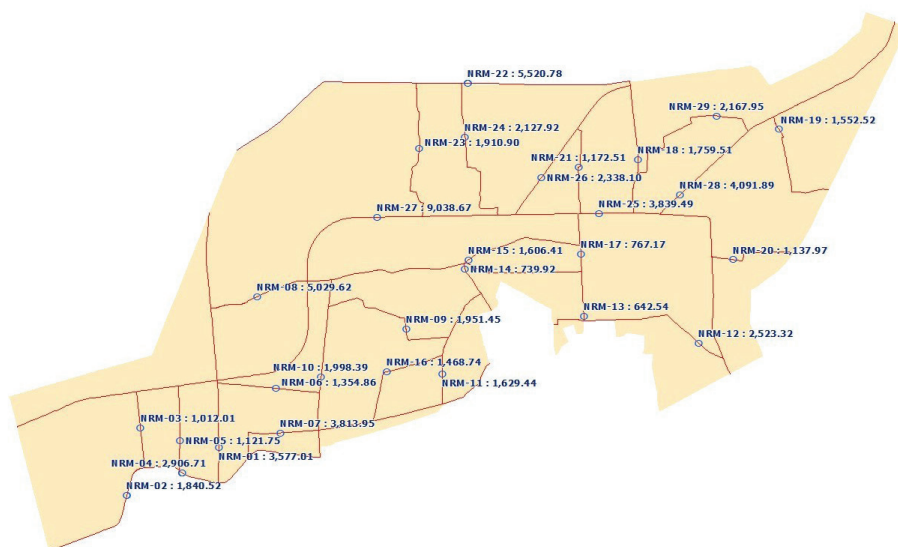


Figure 2 Road segments assigned in Nakhon Ratchasima municipality area

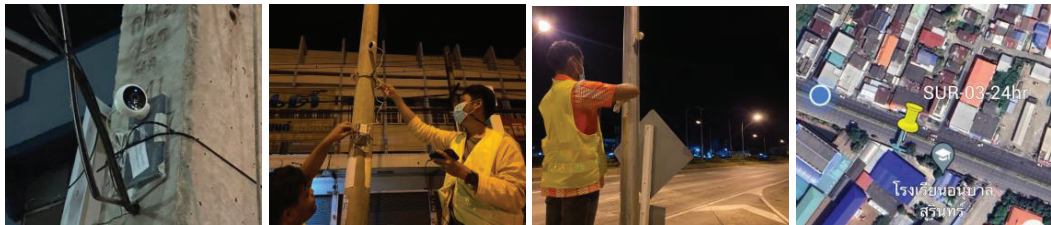


Figure 3 Traffic data collection using Mid-block Count method

การประมาณอัตราการปล่อยมลสาร

ข้อมูลค่าปัจจัยการปล่อยมลสาร (Emission Factor, EF) ที่ใช้กับแหล่งกำเนิดในพื้นที่ มีการรวบรวมจากฐานข้อมูลหลักของหน่วยงานสิ่งแวดล้อมยุโรป [18] และสหรัฐอเมริกา [19] รวมทั้งรายงานการวิจัยที่เกี่ยวข้องของไทย [15, 20] โดยข้อมูล Emission Factor ที่ใช้ในการศึกษานี้ทั้งหมด ได้แสดงไว้ใน Supplementary 2 และตัวอย่างค่า Emission Factor ที่ใช้สำหรับกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิงในสถานประกอบการขนาดใหญ่ แสดงใน Tabel 2

Table 2 Emission Factors used for Fuel Combustion in Large Establishments [18]

Solid Biomass		Liquid Fuel			Gaseous Fuel
Firewood (g/kg)	Charcoal (g/kg)	Diesel (g/L)	Fuel Oil (g/L)	Kerosene (g/L)	LPG (g/kg)
2.56	4.62	0.66	0.72	0.62	0.04

การประมาณปริมาณการปล่อยมลสาร ในหน่วยมวลต่อเวลา มีสมการคำนวณพื้นฐานดังนี้

$$E = AR \times EF$$

โดย

E	=	ปริมาณการปล่อยมลสาร (ตัน/ปี)
AR	=	อัตราการเกิดกิจกรรม (หน่วยกิจกรรม/ปี)
EF	=	ค่าปัจจัยการปล่อยมลสาร (ตัน/หน่วยกิจกรรม)

สำหรับกรณีการสัญจรทางถนน การประมาณปริมาณการปล่อยมลสารใน 1 วันของยานพาหนะ 1 ประเภท จากช่วงถนนหนึ่ง ค่า AR คือ ค่าผลคูณของจำนวนยานพาหนะกับความยาวช่วงถนนที่วิ่ง หรือค่า Vehicle Kilometers Traveled (VKT) มีหน่วยเป็น คัน.กิโลเมตร/วัน ค่า EF คือ ค่าปัจจัยการปล่อยมลสาร มีหน่วยเป็น กิโลกรัม/คัน.กิโลเมตร และค่า E คือ ปริมาณการปล่อยมลสาร มีหน่วยเป็น กิโลกรัม/วัน

การประมาณการปล่อยมลสาร ใช้ข้อมูลจำนวนยานพาหนะที่สำรวจใน 2 กรณี คือ วันธรรมดา (จันทร์-ศุกร์) และวันหยุด (เสาร์-อาทิตย์ และวันหยุดราชการ) และนำมาคำนวณเป็นการปล่อยมลสารตลอดปีโดยคิดจากจำนวนวันธรรมดา 242 วันต่อปี และจำนวนวันหยุด 123 วันต่อปี จากการคำนวณข้างต้น เมื่อรวมผลจากทุกช่วงถนนจะสามารถประมาณปริมาณการปล่อยมลสารรวมของยานพาหนะแต่ละประเภท และปริมาณการปล่อยมลสารรวมของการสัญจรทางถนนได้ตามลำดับ

Results and Discussion

บัญชีการปล่อย PM_{2.5}

ผลการจัดทำบัญชีการปล่อย PM_{2.5} จากแหล่งกำเนิดที่มีนัยสำคัญทั้ง 8 กลุ่ม ในพื้นที่ศึกษาเขตเทศบาลทั้ง 4 พื้นที่ แสดงดัง Table 3 และวิเคราะห์ในรูปแบบของสัดส่วนการระบายมลสารของแต่ละแหล่งกำเนิดได้ดัง Figure 4 โดยใช้ตัวอักษรย่อ NR, CP, BR และ SR แทนพื้นที่เทศบาลนครนครราชสีมา เทศบาลเมืองชัยภูมิ เทศบาลเมืองบุรีรัมย์ และเทศบาลเมืองสุรินทร์ ตามลำดับ

Table 3 Emission from 8 source groups in 4 study areas

Source	PM _{2.5} Emission (kg/yr)			
	NR	CP	BR	SR
1. Point Source	12,129	2,408	702	1,140
1.1 Industry	12,002	2,375	675	1,112
1.2 Temple	95	29	22	22
1.3 Large establishments	32	4	6	6
2. Mobile Source	43,492	16,962	8,816	11,667
2.1 Road transport	42,840	16,962	8,702	11,501
2.2 Rail transport	652	-	114	167
3. Area Source	28,349	11,537	4,789	6,859
3.1 Residential and commercial area	23,362	5,836	4,676	5,908
3.2 Market place	181	47	89	296
3.3 Agricultural area	4,806	5,655	24	655
Total	83,970	30,908	14,307	19,667

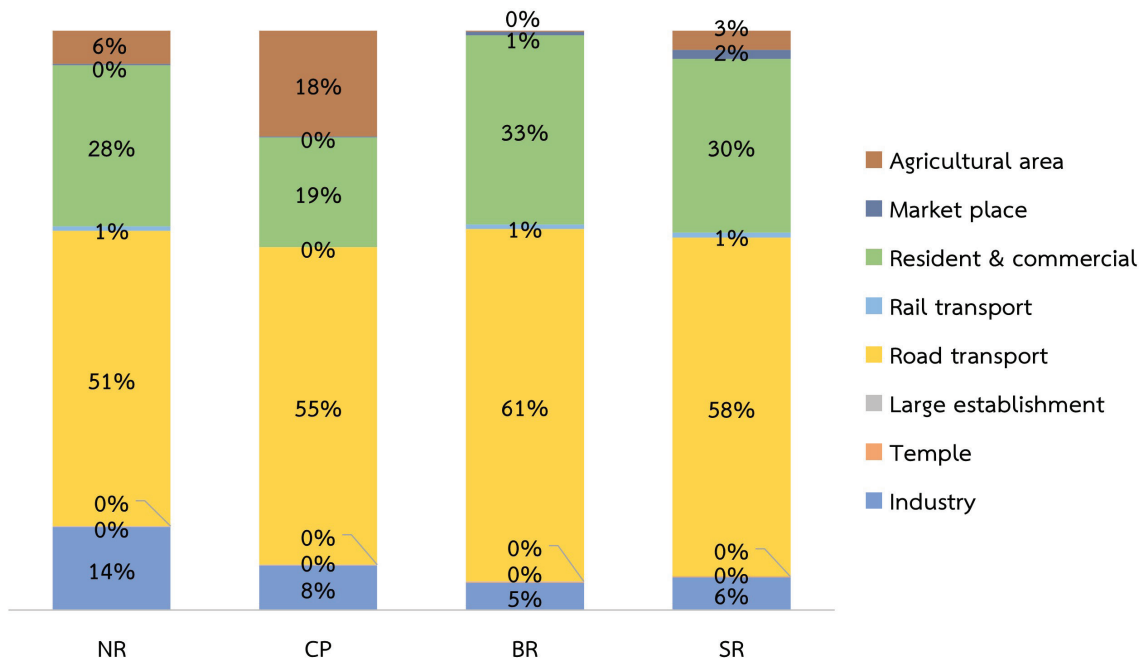


Figure 4 Proportion of emission from the 8 source groups in the 4 study areas

จากการวิเคราะห์พบว่า การสัญจรทางถนนเป็นแหล่งกำเนิดสำคัญที่สุดในการปล่อยฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ในทุกพื้นที่ศึกษา มีสัดส่วนการปล่อยเกินครึ่งหนึ่งของแหล่งกำเนิดทั้งหมด คืออยู่ในช่วงร้อยละ 51 – 61 แหล่งกำเนิดที่มีนัยสำคัญรองลงมาในทุกพื้นที่เช่นกัน คือกลุ่มที่พักอาศัยและพาณิชยกรรม มีสัดส่วนการปล่อยอยู่ในช่วงร้อยละ 19 – 33 ส่วนแหล่งกำเนิดอันดับที่ 3 เป็นกลุ่มโรงงานอุตสาหกรรมใน 3 พื้นที่ ยกเว้นเทศบาลเมืองชัยภูมิ เป็นกลุ่มพื้นที่เกษตรกรรม ด้านสัดส่วนของการปล่อยจากแหล่งกำเนิดแต่ละประเภทมีความแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ โดยโรงงานมีสัดส่วนมากในเทศบาลนครนครราชสีมา แต่ที่พักอาศัยและอาคารพาณิชย์มีสัดส่วนสำคัญกว่าในเทศบาลเมืองบุรีรัมย์และเทศบาลเมืองสุรินทร์ ส่วนเทศบาลเมืองชัยภูมิมีพื้นที่เกษตรมากกว่าพื้นที่อื่น คือมีพื้นที่ถึง 6,838 ไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 36 ของพื้นที่ จึงมีสัดส่วนการปล่อย $PM_{2.5}$ จากพื้นที่เกษตรมากกว่าเทศบาลอื่น ทั้งนี้ แหล่งกำเนิดอื่น ๆ นอกเหนือจากที่กล่าวมาข้างต้น ได้แก่ วัด สถานประกอบการขนาดใหญ่ การสัญจรทางราง และตลาด มีสัดส่วนในการปล่อย $PM_{2.5}$ ต่ำในทุกพื้นที่ศึกษา

การวิเคราะห์แยกตามกลุ่มของแหล่งกำเนิด

หากพิจารณาการปล่อย $PM_{2.5}$ ตามกลุ่มของแหล่งกำเนิด 3 กลุ่มใหญ่ คือ แบบจุด แบบเคลื่อนที่ และแบบพื้นที่ พบว่าทั้ง 4 พื้นที่มีลำดับสัดส่วนที่เหมือนกันคือ แหล่งกำเนิดแบบเคลื่อนที่ที่มีสัดส่วนในการปล่อย $PM_{2.5}$ สูงที่สุดในทุกเทศบาล อยู่ในช่วงร้อยละ 52 – 62 แหล่งกำเนิดแบบพื้นที่ที่มีสัดส่วนในการปล่อยรองลงมา อยู่ในช่วงร้อยละ 33 – 37 และแหล่งกำเนิดแบบจุดมีสัดส่วนต่ำที่สุด อยู่ในช่วงร้อยละ 5 – 14 ทั้งนี้ เทศบาลนครนครราชสีมา มีสัดส่วนการปล่อยจากแหล่งกำเนิดแบบจุดสูงกว่าพื้นที่อื่น เนื่องจากมีจำนวน

โรงงานในพื้นที่กว่า 200 โรง ในขณะที่อีก 3 เทศบาลเมือง มีจำนวนโรงงานเพียงไม่เกิน 50 โรงต่อพื้นที่

การวิเคราะห์แยกตามประเภทโรงงาน

กลุ่มโรงงานที่มีค่าการปล่อย $PM_{2.5}$ สูงสุด 3 ลำดับแรก ได้แก่ โรงงานประเภทผลิตภัณฑ์อาหารจากแป้ง เช่น ผลิตภัณฑ์จากแป้งสาลี ขนมปัง สาคุ โคนโศกริม และโรงงานประเภทผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับคอนกรีต เช่น คอนกรีตผสมเสร็จ ท่อคอนกรีต ซีเมนต์บล็อก มีนัยสำคัญต่อค่าการปล่อยมลสารสูงกว่าโรงงานประเภทอื่น ๆ อย่างชัดเจน ด้วยเหตุที่มีค่าปัจจัยการปล่อยสูงและโรงงานมีข้อมูลเครื่องจักรที่มีแรงม้าสูง

การวิเคราะห์แยกตามประเภทยานพาหนะ

Figure 5 แสดงสัดส่วนการปล่อย $PM_{2.5}$ จากยานพาหนะในพื้นที่ศึกษา 7 ประเภท ได้แก่ 1) รถยนต์นั่งไม่เกิน 7 คน และรถกระบะส่วนบุคคล (PAS) 2) รถยนต์นั่งเกิน 7 คน และรถตู้ (VAN) 3) รถกระบะบรรทุก และรถสองแถว (PIC) 4) รถโดยสาร (BUS) 5) รถบรรทุก (TRU) 6) รถจักรยานยนต์ (MOT) และ 7) รถสามล้อเครื่อง (TUK) ผลการศึกษาพบว่ารถจักรยานยนต์เป็นยานพาหนะที่มีการปล่อย $PM_{2.5}$ สูงที่สุดในทุกพื้นที่ศึกษา และปริมาณการปล่อยมีค่าสูงกว่ารถยนต์ส่วนบุคคลที่เป็นอันดับที่สองมากกว่าเท่าตัว แม้ว่าในเชิงจำนวนนั้นรถจักรยานยนต์มีสัดส่วนสูงกว่ารถยนต์ส่วนบุคคลไม่มากนัก ทั้งนี้สาเหตุเป็นเพราะรถจักรยานยนต์มีค่าปัจจัยการปล่อย $PM_{2.5}$ สูงกว่ารถยนต์ส่วนบุคคลมาก โดยค่าปัจจัยการปล่อยของรถจักรยานยนต์และรถยนต์ส่วนบุคคล คิดเป็นค่าเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนักตามสัดส่วนที่ใช้เชื้อเพลิงประเภทต่าง ๆ ทุกชนิดเชื้อเพลิง เท่ากับ 0.119 และ 0.037 กรัมต่อกิโลเมตร ตามลำดับ

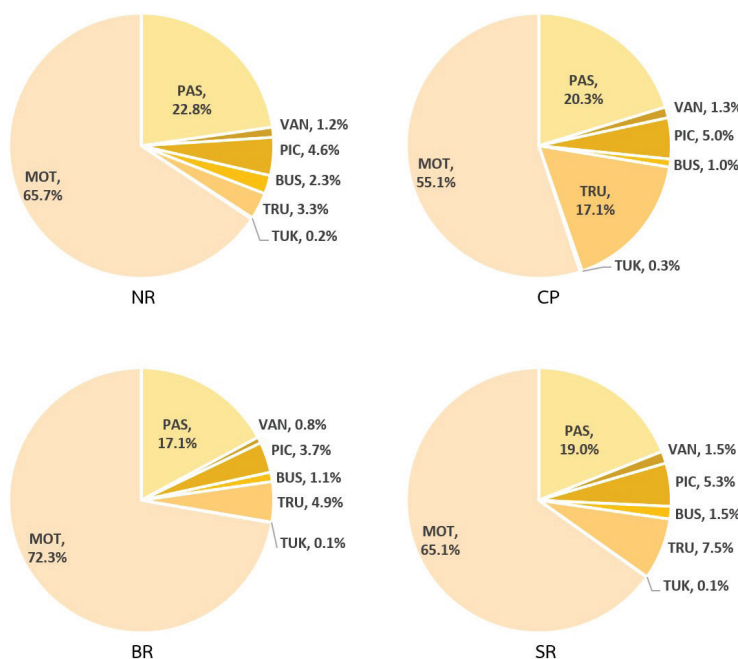


Figure 5 Proportion of emission from the 7 types of vehicle in the 4 study areas

อัตราการปล่อยมลสารต่อพื้นที่และต่อประชากร

การเปรียบเทียบระหว่างพื้นที่ศึกษา โดยวิเคราะห์อัตราการปล่อยมลสารต่อพื้นที่และต่อประชากร เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบเมืองที่มีขนาดและจำนวนประชากรแตกต่างกันได้ ผลการวิเคราะห์แสดงได้ดัง Table 4 โดยจากการวิเคราะห์พบว่าเทศบาลเมืองบุรีรัมย์ซึ่งมีขนาดพื้นที่เล็กที่สุด เพียง 6 ตร.กม. มีอัตราการปล่อย $PM_{2.5}$ ต่อพื้นที่สูงที่สุด คือ 2,384 กก./ตร.กม./ปี และเทศบาลนครนครราชสีมา มีอัตราการปล่อย $PM_{2.5}$ ต่อพื้นที่ต่ำกว่าเล็กน้อย คือ 2,239 กก./ตร.กม./ปี ส่วนเทศบาลเมืองสุรินทร์และเทศบาลเมืองชัยภูมิมีค่ารองลงมาเป็นอันดับที่ 3 และ 4 คือ 1,725 กก./ตร.กม./ปี และ 1,004 กก./ตร.กม./ปี ตามลำดับ สำหรับอัตราการปล่อยมลสารต่อประชากร เรียงลำดับค่าสูงที่สุดไปค่าต่ำที่สุด คือ เทศบาลเมืองชัยภูมิ เทศบาลนครนครราชสีมา เทศบาลเมืองบุรีรัมย์ และเทศบาลเมืองสุรินทร์ มีค่าเท่ากับ 0.84 0.72 0.61 และ 0.53 กก./คน/ปี ตามลำดับ

ผลการวิเคราะห์ข้างต้นมีข้อสังเกตว่า เทศบาลนครนครราชสีมา แม้จะเป็นเมืองใหญ่ที่มีปริมาณการปล่อย $PM_{2.5}$ รวมต่อปีสูงที่สุด แต่เมื่อพิจารณาต่อหน่วยพื้นที่และต่อประชากรพบว่าไม่ได้มีอัตราการปล่อยสูงที่สุด หากเปรียบเทียบกับเทศบาลที่มีพื้นที่ขนาดใหญ่ใกล้เคียงกัน คือ เทศบาลเมืองชัยภูมิ พบว่าเทศบาลเมืองชัยภูมิมีอัตราการปล่อยต่อพื้นที่ต่ำกว่าเทศบาลนครนครราชสีมา เนื่องจากมีจำนวนแหล่งกำเนิดทุกประเภทน้อยกว่า ยกเว้นพื้นที่เกษตรกรรม ในทางตรงข้าม เทศบาลเมืองชัยภูมิมีอัตราการปล่อยต่อประชากรสูงกว่าเทศบาลนครนครราชสีมา เพราะมีจำนวนประชากรในเขตเทศบาลน้อยกว่า การใช้มาตรวัดทั้ง 2 แบบนี้สามารถเพิ่มข้อมูลให้กับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องนำไปใช้ประโยชน์ได้ เช่น การกำหนดเป้าหมายหรือเกณฑ์ในการลดประมาณการปล่อย $PM_{2.5}$ เป็นปริมาณต่อพื้นที่ หรือปริมาณต่อประชากร

Table 4 Emission per area and emission per person in 4 study areas

Data	NR	CP	BR	SR
Area (sq.km)	37.5	30.8	6.0	11.4
Population (person)	115,970	36,588	23,494	37,258
Emission (kg/yr)	83,970	30,908	14,307	19,667
Emission per area (kg/sq.km/yr)	2,239	1,004	2,384	1,725
Emission per person (kg/person/yr)	0.72	0.84	0.61	0.53

การวิเคราะห์ผลเชิงพื้นที่

ผลการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ โดยจัดทำแผนที่แสดงอัตราการปล่อยมลสารตามพื้นที่ย่อยรูปทรง 6 เหลี่ยม ยาวด้านละ 100 เมตร พื้นที่ประมาณ 26,000 ตารางเมตร หรือประมาณ 16 ไร่ แต่ละรูปทรงมีระดับสีแสดงผลรวมของ $PM_{2.5}$ ที่ปล่อยภายในพื้นที่ แสดงใน Figure 6 – Figure 7 สำหรับแหล่งกำเนิดบางกลุ่ม ได้แก่

โรงงานอุตสาหกรรม การสัญจรทางถนน ที่พักอาศัยและอาคารพาณิชย์ และพื้นที่เกษตรกรรม ตามลำดับ ส่วน Figure 8 แสดงแผนที่การปล่อย $PM_{2.5}$ รวมทุกแหล่งกำเนิดในการศึกษา และแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินของพื้นที่ศึกษาเพื่อใช้ในการอภิปรายเปรียบเทียบ

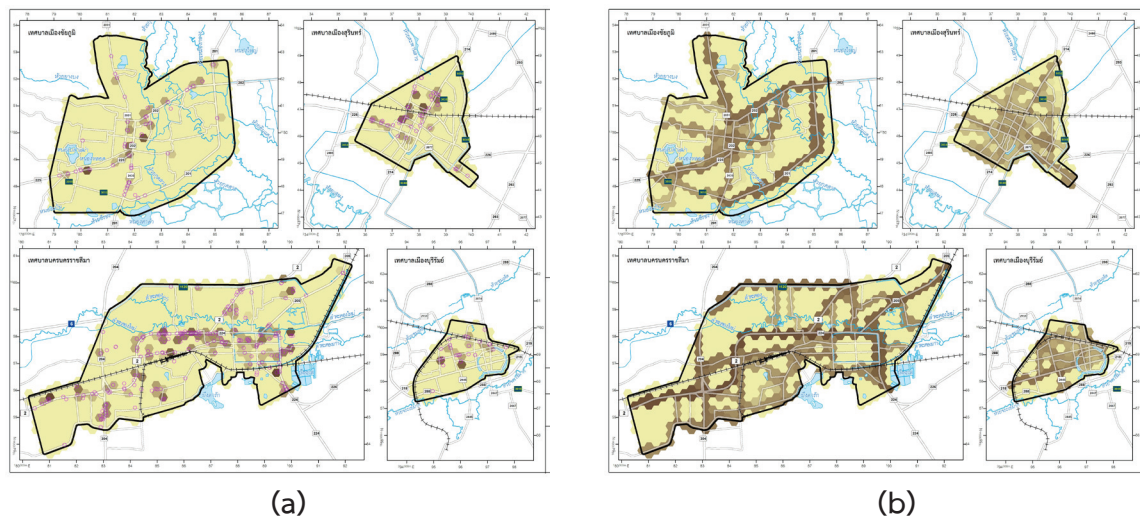


Figure 6 Emission maps of industry group (a) and road transport group (b) (clockwise from top left: CP, SR, BR and NR)

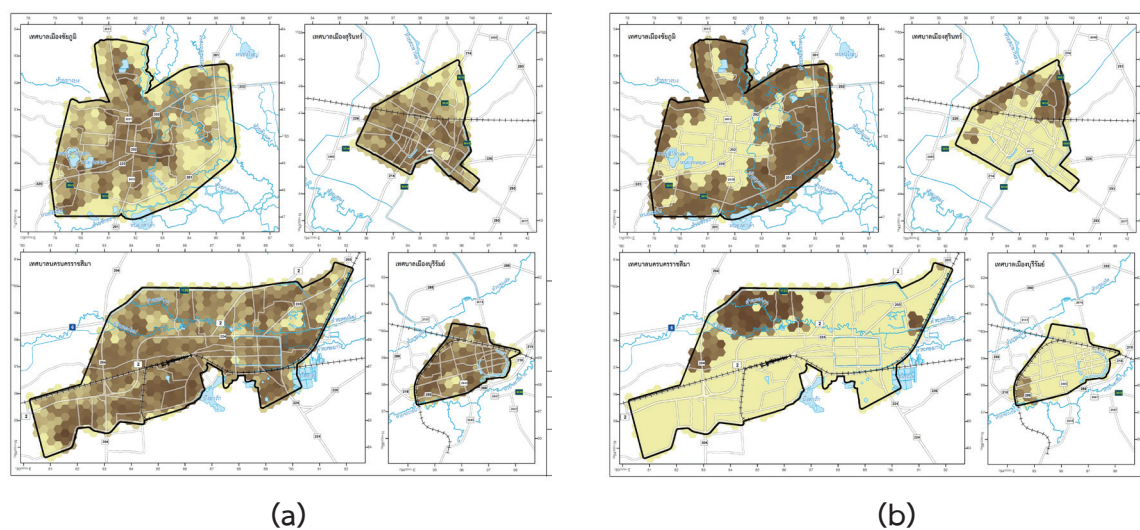


Figure 7 Emission maps of residential and commercial area group (a) and agricultural area group (b) (clockwise from top left: CP, SR, BR and NR)

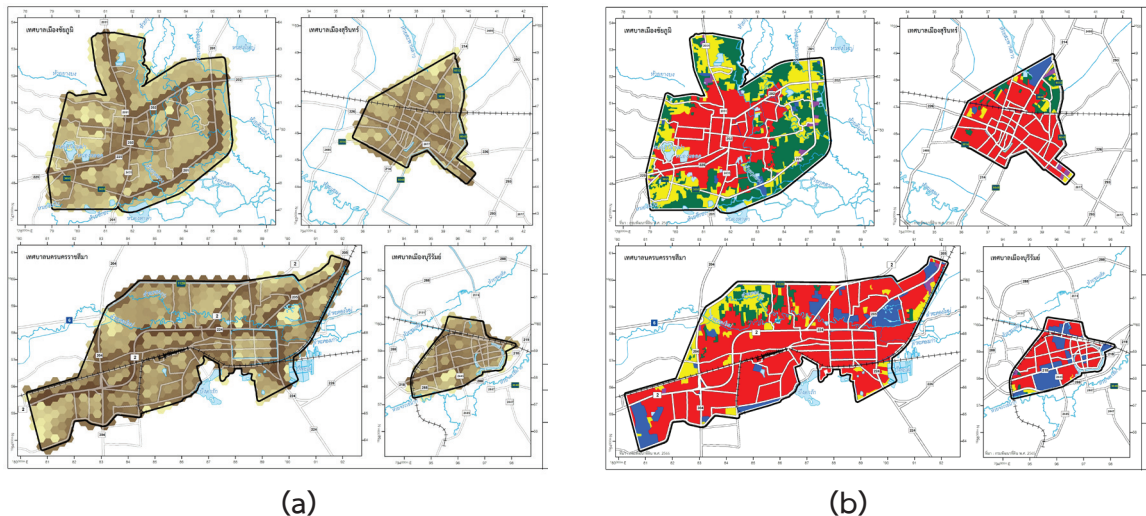


Figure 8 Emission maps of all groups (a) and land use map (b) (clockwise from top left: CP, SR, BR and NR; color indication: red = dense residential and commercial area, yellow = sub-urban area, green = agricultural area, blue = governmental and academic area)

เนื่องจากพื้นที่ศึกษาเป็นเขตเทศบาลเมืองและเทศบาลนครของทั้ง 4 จังหวัด จากแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินจึงเห็นได้ว่าพื้นที่ส่วนใหญ่จัดเป็นตัวเมืองและย่านการค้า รองลงมาเป็นพื้นที่หมู่บ้านและชุมชน พื้นที่ประเภทอื่น ๆ เช่น สถานที่ราชการ พื้นที่อุตสาหกรรม มีสัดส่วนน้อยกว่า สำหรับเทศบาลเมืองชัยภูมิมีความแตกต่างกับพื้นที่อื่นในด้านพื้นที่เกษตรกรรมที่มีสัดส่วนค่อนข้างสูง จากเหตุผลดังกล่าวจึงทำให้ได้แผนที่การปล่อย $PM_{2.5}$ ของที่พักอาศัยและอาคารพาณิชย์ และแผนที่การปล่อย $PM_{2.5}$ ของพื้นที่เกษตรกรรม มีลักษณะเป็นพื้นที่ใหญ่และสอดคล้องกับแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน

แผนที่การปล่อย $PM_{2.5}$ ของแหล่งกำเนิดรายกลุ่ม สำหรับ โรงงานอุตสาหกรรม วัด สถานประกอบการขนาดใหญ่ และตลาด พบว่ามีลักษณะกระจายเป็นจุดและไม่ได้ต่อเนื่องกันเป็นพื้นที่ใหญ่ ซึ่งการวิเคราะห์เชิงแผนที่ทำให้เห็นตำแหน่งที่มีการปล่อยและสามารถเปรียบเทียบระดับการปล่อยระหว่างตำแหน่งต่าง ๆ ทำให้เป็นประโยชน์ในการบริหารจัดการของผู้รับผิดชอบในพื้นที่ เช่น เทศบาลนครนครราชสีมามีการปล่อย $PM_{2.5}$ จากโรงงานอุตสาหกรรมกระจายตามแนวถนนสายหลักและพื้นที่เมืองชั้นใน โดยหลายจุดบนแนวทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 2 มีปริมาณการปล่อยสูงกว่าจุดอื่น ๆ

เมื่อพิจารณาในภาพรวมโดยใช้แผนที่แสดงผลรวมของทุกแหล่งกำเนิด พบว่ามีความแตกต่างระหว่างเทศบาล 2 กลุ่ม คือ เทศบาลนครนครราชสีมาและเทศบาลเมืองชัยภูมิ ซึ่งเป็นเทศบาลขนาดใหญ่ มีพื้นที่ 37.5 และ 30.8 ตร.กม. ตามลำดับ สามารถเห็นแนวถนนสายหลักมีสีเข้มกว่าพื้นที่อื่นอย่างชัดเจน ในขณะที่เทศบาลเมืองบุรีรัมย์และเทศบาลเมืองสุรินทร์ไม่พบลักษณะดังกล่าว เนื่องจากมีพื้นที่เล็กกว่าค่อนข้างมาก คือ 6.0 ตร.กม. และ 11.4 ตร.กม. ตามลำดับ ทำให้การรวมปล่อยมลสารด้วยรูปทรง 6 เหลี่ยมที่ใช้ด้านยาวด้านละ 100 ม. มีพื้นที่ใหญ่เมื่อเทียบกับพื้นที่รวมและไม่สามารถแสดงความแตกต่างเชิงพื้นที่ได้ชัดเจนนัก

การเปรียบเทียบผลกับงานวิจัยอื่น

เมื่อนำผลการศึกษาของงานวิจัยนี้มาเปรียบเทียบกับการศึกษาที่ใกล้เคียง พบว่า Cornet และ Bang [14] ซึ่งรายงานผลการศึกษการปล่อยมลสารทางอากาศที่สำคัญของ 10 เมืองในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ระบุแหล่งกำเนิดที่มีนัยสำคัญมากต่อการปล่อยมลสารในภาพรวม ได้แก่ โรงงานอุตสาหกรรม การจราจร การใช้เชื้อเพลิงของที่พักอาศัย และการประกอบอาหารของสถานประกอบการ โดยในรายงานระบุว่า พื้นที่เทศบาลนครนครราชสีมา พบว่าฝุ่นละอองรวมมีการปล่อยจากแหล่งกำเนิด 3 แบบ เรียงตามสัดส่วนจากมากไปน้อย คือ แบบพื้นที่ แบบเคลื่อนที่ทางถนน และแบบจุด มีค่าร้อยละ 45 31 และ 24 ตามลำดับ ส่วนพื้นที่เทศบาลนครเชียงใหม่ฝุ่นละอองรวมมีการปล่อยเรียงตามสัดส่วนจากมากไปน้อย คือ แหล่งกำเนิดแบบเคลื่อนที่ทางถนน แบบพื้นที่ แบบจุด และแบบเคลื่อนที่อื่น ๆ มีค่าร้อยละ 47 39 13 และ 1 ตามลำดับ ผลจากงานวิจัยดังกล่าวส่วนใหญ่อุดคล้องกับผลการศึกษาของโครงการนี้ ยกเว้นกรณีที่ผลของเทศบาลนครราชสีมาที่มีลำดับความสำคัญของแหล่งกำเนิดแบบพื้นที่สูงกว่าแบบเคลื่อนที่ ซึ่งอาจเป็นเพราะการเก็บข้อมูลกิจกรรมของแหล่งกำเนิดที่ใช้วิธีแตกต่างกัน นอกจากนี้ ยังเป็นผลการศึกษาของฝุ่นละอองรวม ไม่ใช่ฝุ่น $PM_{2.5}$ เหมือนในงานวิจัยนี้

ผลการศึกษาการปล่อยมลสารทางอากาศของโรงไฟฟ้าพระนครเหนือ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย [15] ซึ่งตั้งอยู่ที่อำเภอบางกรวย จังหวัดนนทบุรี กำหนดพื้นที่ศึกษารอบโรงไฟฟ้า ในรัศมี 5 กิโลเมตร พบว่าแหล่งกำเนิดแบบเคลื่อนที่ปล่อยฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ในสัดส่วนสูงที่สุด คือ 500 ตันต่อปี คิดเป็นร้อยละ 74 รองลงมาคือแหล่งกำเนิดแบบจุด 102 ตันต่อปี คิดเป็นร้อยละ 15 และแหล่งกำเนิดแบบพื้นที่ 73 ตันต่อปี คิดเป็นร้อยละ 11 นอกจากนี้ เมื่อเปรียบเทียบผลการศึกษาสัดส่วนการปล่อย $PM_{2.5}$ ของแหล่งกำเนิด 3 ประเภท ระหว่างเขตเทศบาลนครและเทศบาล 4 แห่ง ค่าเฉลี่ยของพื้นที่ศึกษารวม และพื้นที่ศึกษารอบโรงไฟฟ้าพระนครเหนือ พบว่าแหล่งกำเนิดแบบเคลื่อนที่มีอิทธิพลมากกว่าในการก่อมลพิษประเภทฝุ่น $PM_{2.5}$ กรณีพื้นที่รอบโรงไฟฟ้า เนื่องจากเป็นพื้นที่ปริมณฑลของกรุงเทพมหานคร มีการจราจรหนาแน่น และมีพื้นที่เกษตรกรรมน้อย แต่ลำดับความสำคัญของแหล่งกำเนิดยังคงสอดคล้องกันกับการศึกษานี้

การเปรียบเทียบผลการวิจัยกับพื้นที่เมืองอื่นในประเทศและทั่วโลก [16-25] โดยใช้มาตรวัดหรือเกณฑ์การเปรียบเทียบ 2 เกณฑ์ คือ อัตราการปล่อยมลสารต่อพื้นที่ และ อัตราการปล่อยมลสารต่อประชากร เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบระหว่างเมืองที่มีขนาดและจำนวนประชากรแตกต่างกัน แสดงดัง Table 5 อัตราการปล่อยมลสารต่อพื้นที่เป็นตัวชี้วัดความเข้มข้นของกิจกรรมการปล่อยมลสารภายในขอบเขตพื้นที่จำกัด โดยจากการเปรียบเทียบพบว่าแต่ละพื้นที่มีค่ากระจายตัวสูงมาก สำหรับพื้นที่ศึกษาของการศึกษานี้ กล่าวได้ว่าอัตราการปล่อย $PM_{2.5}$ รายปีต่อพื้นที่อยู่ในระดับค่อนข้างต่ำ (1.00-2.38 ตัน/ตร.กม.) เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับเมืองอื่นในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ สหรัฐอเมริกา ยุโรป และจีน โดยเมืองขนาดใหญ่ในจีน คือ Shanghai มีค่าการปล่อย $PM_{2.5}$ รายปี เท่ากับ 9.31 ตัน/ตร.กม. ซึ่งแสดงถึงความหนาแน่นของการปล่อยมลสารภายในพื้นที่ที่เกิดจากความแออัดของเมืองและกิจกรรมทางเศรษฐกิจและอุตสาหกรรม

อัตราการปล่อยมลสารต่อประชากรเป็นดัชนีชี้วัดการะด้านสิ่งแวดล้อมต่อประชากร โดยจากการเปรียบเทียบ พบว่า 4 พื้นที่เมืองของการศึกษานี้มีอัตราการปล่อยในระดับต่ำ (0.53 - 0.84 กก./คน) โดยกลุ่มพื้นที่ที่มีค่าสูง ได้แก่ พื้นที่เมืองและมณฑลหลายแห่งในประเทศจีน โดยเฉพาะพื้นที่เขตเศรษฐกิจ Yangtze River Delta Region มีค่าการปล่อย $PM_{2.5}$ รายปี เท่ากับ 7.20 กก./คน ส่วนพื้นที่เมืองในเขต South Coast Air Basin ของประเทศสหรัฐอเมริกา และพื้นที่ Greater London ของประเทศอังกฤษ มีค่าการปล่อย $PM_{2.5}$ รายปี เท่ากับ 1.34 กก./คน และ 0.37 กก./คน ตามลำดับซึ่งความแตกต่างของแต่ละพื้นที่อาจเกิดจากปัจจัยด้านกิจกรรมอุตสาหกรรม โครงสร้างพลังงานและการใช้เชื้อเพลิง เทคโนโลยีของยานพาหนะ นโยบายการควบคุมการปล่อยมลสาร และขนาดประชากร

นอกจากปัจจัยดังกล่าวข้างต้นแล้ว ผลการศึกษาของแต่ละงานวิจัยอาจมีความแตกต่างกันได้จากรายละเอียดการศึกษา อาทิ การกำหนดแหล่งกำเนิดที่อยู่ในขอบเขตการศึกษา วิธีการในการประมาณค่ากิจกรรมการเลือกค่าปัจจัยการปล่อยมลสาร รวมทั้งความคลาดเคลื่อนของการคำนวณ จึงทำให้การเปรียบเทียบและอภิปรายผลอาจมีข้อจำกัด ทั้งนี้การประเมินและวิเคราะห์เกี่ยวกับความไม่แน่นอนและความอ่อนไหว (Uncertainty และ Sensitivity Analysis) ของผลการศึกษาอยู่นอกเหนือขอบเขตของงานวิจัยนี้

Conclusions

ผลการจัดทำบัญชีการปล่อย $PM_{2.5}$ ของพื้นที่ศึกษา เขตเทศบาลนครและเทศบาลเมืองของ 4 จังหวัดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง ได้แก่ นครราชสีมา ชัยภูมิ บุรีรัมย์ และสุรินทร์ ได้ฐานข้อมูลแหล่งกำเนิด $PM_{2.5}$ ที่สำคัญและปริมาณการปล่อยต่อปี โดยพบว่าการสัญจรทางถนนเป็นแหล่งกำเนิดสำคัญที่สุดของ $PM_{2.5}$ ในทุกพื้นที่ศึกษา มีสัดส่วนการปล่อยในช่วงร้อยละ 51 – 61 รองลงมาเป็นกลุ่มที่พักอาศัยและพาณิชยกรรม มีสัดส่วนการปล่อยอยู่ในช่วงร้อยละ 19 – 33 และแหล่งกำเนิดอันดับที่ 3 เป็นกลุ่มโรงงานอุตสาหกรรม ส่วนแหล่งกำเนิดที่มีส่วนในการปล่อย $PM_{2.5}$ น้อยในทุกพื้นที่ ได้แก่ วัด สถานประกอบการขนาดใหญ่ การสัญจรทางราง และตลาด อัตราการปล่อย $PM_{2.5}$ ต่อหน่วยพื้นที่ เรียงลำดับค่าสูงที่สุดไปค่าต่ำที่สุด คือ เทศบาลเมืองบุรีรัมย์ เทศบาลนครนครราชสีมา เทศบาลเมืองสุรินทร์ และเทศบาลเมืองชัยภูมิ มีค่าเท่ากับ 2,384 2,239 1,725 และ 1,004 กก./ตร.กม./ปี ตามลำดับ ส่วนอัตราการปล่อย $PM_{2.5}$ ต่อประชากรเรียงลำดับค่าสูงที่สุดไปค่าต่ำที่สุด คือ เทศบาลเมืองชัยภูมิ เทศบาลนครนครราชสีมา เทศบาลเมืองบุรีรัมย์ และเทศบาลเมืองสุรินทร์ มีค่าเท่ากับ 0.84 0.72 0.61 และ 0.53 กก./คน/ปี ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์การปล่อยมลสารเชิงพื้นที่โดยจัดทำแผนที่แสดงอัตราการปล่อย $PM_{2.5}$ ภายในพื้นที่ย่อยรูปทรง 6 เหลี่ยมและใช้ระดับสีแสดงผลรวมของ $PM_{2.5}$ ที่ปล่อยภายในพื้นที่ แสดงให้เห็นตำแหน่งที่มีการปล่อย $PM_{2.5}$ จากแหล่งกำเนิดกลุ่มต่าง ๆ โดยสำหรับเทศบาลขนาดใหญ่พบว่าแนวโน้มสายหลักมีการปล่อยสูงกว่าบริเวณอื่นอย่างชัดเจน

Table 5 Comparison of annual emission per area and person in urban areas

City/Area	Country	Area (sq.km.)	Population	Pollutant	Annual Emission per area (ton/sq.km)	Annual Emission per person (kg/person)	Ref.
Vientiane	Lao PDR	46	197,530	PM	2	1	[14]
Phnom Penh	Cambodia	29	586,387	PM	8	0	[14]
Bac Ninh	Vietnam	83	174,821	PM	508	27	[14]
Can Tho	Vietnam	100	322,162	PM	4	0	[14]
Palembang	Indonesia	374	1,455,284	PM	15	0	[14]
Surakarta	Indonesia	44	536,500	PM	41	0	[14]
Iloilo	Philippines	78	424,619	PM	102	2	[14]
Cagayan de Oro	Philippines	570	618,263	PM	17	2	[14]
Nakhon Ratchasima	Thailand	38	166,217	PM	8.74	2.00	[16]
Chiang Mai	Thailand	40	141,361	PM ₁₀	5.41	1.53	[17]
South Coast Air Basin	U.S.A	17,100	16.8×10^6	PM _{2.5}	1.31	1.34	[21]
Greater London Area	England	1,572	8.96×10^6	PM _{2.5}	2.12	0.37	[22]
Yangtze River Delta Region	China	358,000	222×10^6	PM _{2.5}	4.46	7.20	[23]
Anhui Province	China	140,200	61.43×10^6	PM _{2.5}	2.30	5.26	[24]
Zhejiang Province	China	101,800	54.42×10^6	PM _{2.5}	1.81	3.38	[25]
Jiangsu Province	China	102,600	78.66×10^6	PM _{2.5}	3.91	5.10	[25]
Shanghai	China	6,341	23.02×10^6	PM _{2.5}	9.31	2.56	[25]
Nakhon Ratchasima	Thailand	37.5	115,970	PM _{2.5}	2.24	0.72	This study
Chaiyaphum	Thailand	30.8	36,588	PM _{2.5}	1.00	0.84	This study
Buriram	Thailand	6	23,494	PM _{2.5}	2.38	0.61	This study
Surin	Thailand	11.4	37,258	PM _{2.5}	1.73	0.53	This study

ผลการศึกษาสามารถนำไปสู่การใช้ประโยชน์ขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นทั้ง 4 แห่ง รวมทั้งหน่วยงานภาครัฐที่เกี่ยวข้อง ในด้านการกำหนดนโยบายและวางมาตรการลด $PM_{2.5}$ อย่างตรงจุด โดยเน้นที่แหล่งกำเนิดที่มีสัดส่วนในการก่อ $PM_{2.5}$ สูง เช่น ยานพาหนะและการจราจรตามแนวถนนสายหลัก รวมทั้งแหล่งกำเนิดรองที่สำคัญของบางพื้นที่ เช่น พื้นที่เกษตรกรรมในกรณีเทศบาลเมืองชัยภูมิ ซึ่งการใช้ประโยชน์จากผลการวิจัยสามารถนำไปสู่การบริหารจัดการเพื่อลดปริมาณการปล่อยและแก้ปัญหาฝุ่น $PM_{2.5}$ ในพื้นที่ศึกษาได้อย่างมีประสิทธิภาพ

นอกจากนี้ การศึกษาต่อยอดจากงานวิจัยนี้ในด้านการวิเคราะห์ความอ่อนไหว (Sensitivity Analysis) โดยการจำลองการลดค่าปัจจัยการปล่อย (EF) หรืออัตราการกิจกรรม (AR) จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการกำหนดทิศทางมาตรการอย่างมีประสิทธิภาพ อาทิ ช่วยให้องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นระบุได้ว่า การมุ่งเป้าไปที่การลดมลพิษการจราจรยานยนต์โดยการส่งเสริมการใช้ยานยนต์ไฟฟ้า หรือการส่งเสริมการใช้ประโยชน์จากเศษวัสดุทางการเกษตรเพื่อทดแทนการเผา จะมีประสิทธิผลในการลดปริมาณการปล่อย $PM_{2.5}$ รวมของพื้นที่ในระดับใด

Acknowledgements

งานวิจัยนี้ได้รับเงินอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม และกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (รหัสโครงการ NRIIS 195672)

References

1. Pope, C.A., III, Burnett, R.T., Thun, M.J., Calle, E.E., Krewski, D., Ito, K. and Thurston, G.D. 2002. Lung Cancer, Cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. *The Journal of the American Medical Association (JAMA)*, 287, 1132–1141.
2. Kim, K.H., Kabir, E. and Kabir, S. 2015. A review on the human health impact of airborne particulate matter. *Environment International*, 74, 136–143.
3. Genc, S., Zadeoglulari, Z., Fuss, S.H. and Genc, K. 2012. Air pollution and brain Health: An emerging issue. *International Journal of Neuroscience*, 122, 553–561.
4. Health Effects Institute. 2024. State of global air 2024. Special Report, Boston, Massachusetts, 15.
5. Pollution Control Department. 2025. Thailand State of Pollution Report 2024. Ministry of Natural Resources and Environment, Bangkok. (In Thai)

6. Ministry of Public Health. 2020. Medical and Public Health Operation Manual: Case of PM_{2.5} Year 2021. Department of Health, Ministry of Public Health, Bangkok. (In Thai)
7. Thai Health Watch Workgroup. 2022. Thai Health Watch 2022. Thai Health Promotion Foundation, Bangkok. (In Thai)
8. Kanabkaew, T. 2024. Thailand and overcoming the PM_{2.5} crisis. *Journal of Multidisciplinary Academic Research and Development (JMARD)*, 6, 1–9. (In Thai)
9. Karuchit, S. 2022. PM_{2.5} Data Communication and Roles of Associated Stakeholders, A Knowledge Series of Air Pollution Prevention and Solutions. Center of Clean Air Solutions, Environmental Engineering Association of Thailand, Bangkok. (In Thai)
10. Pollution Control Department. 2019. Action Plan to Drive the National Agenda: Solving Air Pollution Problems. Ministry of Natural Resources and Environment, Bangkok. (In Thai)
11. Pollution Control Department. 2020. Operational Manual for Prevention and Mitigation of PM_{2.5} in Provincial Areas. Ministry of Natural Resources and Environment, Bangkok. (In Thai)
12. Pongprueksa, P. 2022. Guidelines for Controlling Emissions Using an Emission Inventory and Receptor Modeling, A Knowledge Series of Air Pollution Prevention and Solutions. Center of Clean Air Solutions, Environmental Engineering Association of Thailand, Bangkok. (In Thai)
13. Karuchit, S., Yotsoongnoen, K., Ounhavidaya, P. and Saeheng, P. 2023. Impact of the new PM_{2.5} standard on indicators of the dust problem situation. *The 35th Annual Environmental Technology Academic Conference*, Environmental Engineering Association of Thailand, 1-9. (In Thai)
14. Cornet, B. and Bang, Q.H. 2017. Air emission inventory for smaller cities in ASEAN region: Findings and sensitivities. *Air Qual Atmos Health*, 10, 897-906.
15. Thailand Institute of Scientific and Technological Research. 2021. Air Pollution Survey, Source Apportionment of Particulate Matter: A Case Study of the Area around the North Bangkok Power Plant, Final Report. Thailand Institute of Scientific and Technological Research, Bangkok. (In Thai)
16. Suranaree University of Technology. 2012. Emission Inventory of Major Air Pollutants in Nakhon Ratchasima Municipality (NRM), Clean Air for Smaller Cities in the ASEAN Region Project by GlZ. Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima.

17. Air Pollution Measurement, Evaluation and Monitoring Group. 2012. Chiang Mai Municipality Atmospheric Emission Inventory 2012, Clean Air for Smaller Cities in the ASEAN Region Project by GIZ. Chiang Mai University, Chiang Mai.
18. European Environment Agency. EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook 2019: Technical Guidance to Prepare National Emission Inventories [Online]. Available: <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019>. [12 January 2025]
19. U.S. EPA, Compilation of Air Pollutant Emissions Factors from Stationary Sources (AP-42), [Online], Available: <https://www.epa.gov/air-emissions-factors-and-quantification/ap-42-compilation-air-emissions-factors-stationary-sources>.
20. Asian Institute of Technology. 2020. Study on the Sources of PM_{2.5} and Precursors of Secondary PM_{2.5} in Bangkok Metropolitan Region. Asian Institute of Technology, Pathum Thani. (In Thai)
21. South Coast Air Quality Management District. 2022. Draft Final 2022 Air Quality Management Plan - Appendix III: Base and Future Year Emission Inventory. South Coast AQMD Print Shop, Diamond Bar, California.
22. Greater London Authority. London Atmospheric Emissions Inventory (LAEI) 2019 [Online]. Available: <https://data.london.gov.uk/dataset/london-atmospheric-emissions-inventory-laei-2019-e758q/>. [19 October 2025]
23. An, J., Huang, Y., Huang, C., Wang, X., Yan, R., Wang, Q., Wang, H., Jing, S., Zhang, Y., Liu, Y., Chen, Y., Xu, C., Qiao, L., Zhou, M., Zhu, S., Hu, Q., Lu, J. and Chen, C. 2021. Emission inventory of air pollutants and chemical speciation for specific anthropogenic sources based on local measurements in the Yangtze River Delta Region, China. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 21, 2003-2025.
24. Sun, X., Cheng, S., Lang, J., Ren, Z. and Sun, C. 2018. Development of emissions inventory and identification of sources for priority control in the middle reaches of Yangtze River Urban agglomerations. *Science of The Total Environment*, 625, 155-167.
25. Fu, X., Wang, S., Zhao, B., Xing, J., Cheng, Z., Liu, H. and Hao, J. 2013. Emission inventory of primary pollutants and chemical speciation in 2010 for the Yangtze River Delta Region, China. *Atmospheric Environment*, 70, 39-50.