

2022

การประยุกต์ใช้แบบจำลองการแพร่กระจายฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM2.5) จากภาคการจราจรบริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ธรรมลักษณ์ รัตนารชัย
คณะวิศวกรรมศาสตร์

Follow this and additional works at: <https://digital.car.chula.ac.th/chulaetd>



Part of the [Environmental Engineering Commons](#)

Recommended Citation

รัตนารชัย, ธรรมลักษณ์, "การประยุกต์ใช้แบบจำลองการแพร่กระจายฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM2.5) จากภาคการจราจรบริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย" (2022). *Chulalongkorn University Theses and Dissertations (Chula ETD)*. 6589.

<https://digital.car.chula.ac.th/chulaetd/6589>

This Thesis is brought to you for free and open access by Chula Digital Collections. It has been accepted for inclusion in Chulalongkorn University Theses and Dissertations (Chula ETD) by an authorized administrator of Chula Digital Collections. For more information, please contact ChulaDC@car.chula.ac.th.

การประยุกต์ใช้แบบจำลองการแพร่กระจายฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM_{2.5}) จากภาค
การจราจรบริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2565
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Application of a PM_{2.5} Dispersion Model from Traffic Sector for Chulalongkorn
University Area



Mr. Thammaluck Ratanavalachai

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Environmental Engineering
Department of Environmental Engineering
FACULTY OF ENGINEERING
Chulalongkorn University
Academic Year 2022
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประยุกต์ใช้แบบจำลองการแพร่กระจายฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM _{2.5}) จากภาคการจราจรบริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
โดย	นายธรรมลักษณ์ รัตนวรชัย
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	อาจารย์ ดร.วิน ไตรวิทยานุรักษ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยพร ภูประเสริฐ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(อาจารย์ ดร.วิน ไตรวิทยานุรักษ์)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริมา ปัญญาเมธีกุล)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธงชัย ขนากแก้ว)

ธรรมลักษณ์ รัตนวรชัย : การประยุกต์ใช้แบบจำลองการแพร่กระจายฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM_{2.5}) จากภาคการจราจรบริเวณ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (Application of a PM_{2.5} Dispersion Model from Traffic Sector for Chulalongkorn University Area) อ.
ที่ปรึกษาหลัก : อ. ดร.วิน ไตรวิชญานุรักษ์

กรุงเทพมหานครเมืองหลวงของประเทศไทยประสบปัญหาฝุ่นละอองขนาด 2.5 ไมครอน (PM_{2.5}) เกินค่ามาตรฐานในบรรยากาศมาเป็นระยะเวลานานกว่า 10 ปี ซึ่งส่งผลเสียต่อสุขภาพของประชาชน ภาพลักษณ์และส่งผลกระทบทางเศรษฐกิจ จึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ในการใช้แบบจำลอง AERMOD ในการจำลองการแพร่กระจายของความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM_{2.5} เพื่อศึกษาสถานการณ์ของฝุ่นละออง PM_{2.5} ในปี พ.ศ.2561-2563 บริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กำหนดขอบเขตพื้นที่ 2.5 กิโลเมตร x 2.5 กิโลเมตร มีการนำเข้าข้อมูลแหล่งกำเนิดมลพิษสู่แบบจำลองที่ประกอบไปด้วยแหล่งกำเนิด PM_{2.5} จากการจราจรที่แบ่งตามประเภทรถยนต์จากรายงานสถิติการจราจร ซึ่งมีทั้งข้อมูลการจราจรภาคพื้นดินและการจราจรบนทางพิเศษ การกำหนดความผันแปรปริมาณจราจรจำแนกตามประเภทยานพาหนะนั้นวิเคราะห์ข้อมูลจากวิดีโอกล้อง CCTV บริเวณถนนบรรทัดทองเป็นเวลา 7 วันตลอด 24 ชั่วโมง นอกจากนี้ได้กำหนดปริมาณ PM_{2.5} ที่พัดพามาจากนอกพื้นที่ศึกษาที่จะมาตามข้อมูลทิศทางลมรายชั่วโมงและข้อมูลตรวจวัด PM_{2.5} จากสถานีในบริเวณต้นลม ผลที่ได้ในปี พ.ศ.2561-2563 พบว่าข้อมูลในปี พ.ศ.2563 มีความแม่นยำมากที่สุด โดยปี พ.ศ.2563 พบว่าค่าสูงสุดความเข้มข้น PM_{2.5} เฉลี่ย 1 ชั่วโมง (Hotspot) อยู่บริเวณแยกพงษ์พระราม ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 343.68 µg/m³ ตามลำดับ โดยมีสัดส่วนของแหล่งกำเนิดมลพิษ (Source contribution) มาจากการจราจรภาคพื้น 7.68 µg/m³ (2.21%) จากทางพิเศษ 302.08 µg/m³ (87.90%) และจากการพัดพาของ PM_{2.5} นอกพื้นที่ศึกษา 34 µg/m³ (9.89%) และสัดส่วนของแหล่งกำเนิดมลพิษจากประเภทของยานพาหนะทั้ง 4 ประเภท พบว่ามาจากรถยนต์ประเภท Personal car 112.97 µg/m³ (32.87%) Light duty 3.64 µg/m³ (1.06%) Heavy duty 192.68 µg/m³ (56.07%) Other vehicle 0.39 µg/m³ (0.11%) และการพัดพาของ PM_{2.5} นอกพื้นที่ศึกษา 34 µg/m³ (9.89%) จากการวิเคราะห์พบว่าที่แยกพงษ์พระรามมีจำนวนวันที่ PM_{2.5} เฉลี่ย 24 ชั่วโมงเกินค่ามาตรฐานในบรรยากาศที่ 50 µg/m³ เท่ากับ 84 วัน การทดสอบแบบจำลองโดยเปรียบเทียบผลกับข้อมูลตรวจวัด PM_{2.5} ในพื้นที่ศึกษา ทั้งจากสถานีตรวจวัดกรมควบคุมมลพิษและจากข้อมูลเซนเซอร์ ผลทดสอบแบบจำลองอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ โดยจะแสดงตัวอย่างบริเวณจุดรับมลพิษบริเวณโรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ที่มีค่าดัชนี FB = 0.22, R = 0.94, FAC2 = 0.99, และ NMSE = 0.08 นอกจากนี้ยังได้พิจารณาเปรียบเทียบในลักษณะ Q-Q plot ซึ่งข้อมูลเรียงตัวใกล้เคียงเส้นความชัน 1:1 ซึ่งดัชนีทางสถิติต่าง ๆ แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองมีความสามารถในการจำลองที่ดี ในงานวิจัยนี้ได้มีการสาธิตใช้จากทัศนการณ์การจัดการแหล่งกำเนิดมลพิษที่ทบทวนจากแผนปฏิบัติการขับเคลื่อนวาระแห่งชาติ “การแก้ไขปัญหามลพิษด้านฝุ่นละออง” ของประเทศไทย โดยคัดเลือกมาตรการสำคัญมาศึกษา ได้แก่ ประเด็นมาตรฐานเชื้อเพลิง EURO 6 และการส่งเสริมการเปลี่ยนวิธีการเดินทาง ซึ่งพบว่ามาตรการเปลี่ยนมาตรฐานเชื้อเพลิง EURO 6 ช่วยลดจำนวนวันที่ PM_{2.5} เกินค่ามาตรฐานในบรรยากาศได้มากกว่ามาตรการส่งเสริมการเปลี่ยนวิธีการเดินทาง แต่เมื่อรวม 2 มาตรการร่วมกันทำให้ความเข้มข้น PM_{2.5} สูงสุดเฉลี่ย 1 ชั่วโมงลดลงได้มากที่สุดที่ 53.18% นอกจากนี้ได้ศึกษาจากทัศนเพื่อวิเคราะห์ผลกระทบของการมีแหล่งกำเนิด PM_{2.5} เพิ่มจากการดำเนินรถประจำทาง (Shuttle bus) ของจุฬาลงกรณ์เปลี่ยนจากรถยนต์ EV เป็นรถยนต์เครื่องยนต์ Diesel พบว่ามีการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นเฉลี่ยรายปีในเส้นทางเดินรถมากที่สุดเพียง 0.002% ในบริเวณที่มีการสัญจรของรถประจำทางจุฬา เนื่องจากรถประจำทางจุฬาเครื่องยนต์ดีเซลที่เพิ่มมานั้นเป็นแหล่งกำเนิดที่น้อยเมื่อเทียบกับรถยนต์ที่สัญจรบนท้องถนนในปัจจุบัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามาตรการที่เปลี่ยนแปลงรถยนต์สาธารณะเครื่องยนต์ Diesel เป็นรถยนต์ EV ไม่ได้ช่วยลด PM_{2.5} ในภาพรวมอย่างมีนัยสำคัญ จากงานวิจัยนี้สรุปได้ว่าแบบจำลอง AERMOD สามารถนำมาประยุกต์ใช้จำลองสถานการณ์ PM_{2.5} ได้ใกล้เคียงกับข้อมูลตรวจวัดในพื้นที่จริง และยังช่วยเผยให้เห็นใจเกี่ยวกับสัดส่วนแหล่งที่มา (Source contribution) และช่วยตรวจนับจำนวนวันที่ PM_{2.5} เกินมาตรฐานในบรรยากาศได้อีกด้วย ทั้งนี้ต้องมีการนำข้อมูลที่แม่นยำและถูกต้องเพื่อนำไปสู่ผลลัพธ์ที่แม่นยำเพื่อนำไปสู่การจัดการแก้ไขปัญหามลพิษอากาศได้อย่างยั่งยืนต่อไปในอนาคต

สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา 2565

ลายมือชื่อนิสิต
ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

6370125821 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEYWORD: PM_{2.5}, Air Dispersion Model, AERMOD Model

Thammaluck Ratanavalachai : Application of a PM_{2.5} Dispersion Model from Traffic Sector for Chulalongkorn University Area. Advisor:
WIN TRIVITAYANURAK, Ph.D.

Over the past decade, Bangkok, the capital of Thailand, has been affected by events of fine particles with diameter less than 2.5 microns (PM_{2.5}) pollution exceeding the ambient air quality standard. which had negative impacts on public health, economy, and reputation of the city. The issue led to the motivation of this research to apply the AERMOD model to predict the dispersion of PM_{2.5} around Chulalongkorn University located in the central business district of Bangkok in the period between the year 2018 and 2020. The modeling domain centering at Chulalongkorn campus covers the boundary of 2.5 km x 2.5 km. Emission sources in the model include traffic volume classified by vehicle types and calculated from traffic statistics report of the roads and expressway locating in the modeling domain. Traffic variability was defined by analysis of continuous traffic video footage from traffic surveillance camera installed on Banthadthong Road covering a 7-day period. In addition, the concentrations of PM_{2.5} being transported from outside the modeling domain was determined based on hourly wind direction data and PM_{2.5} measurement data from stations in the upwind area. Out of the period of 2018 – 2020, the model performs the best for year 2020. For the result in 2020, the maximum 1-Hr averaged PM_{2.5} concentration (Hotspot) was at the Phong Rama Intersection at concentrations of 343.68 µg/m³. This peak concentration has source contributions of 7.68 µg/m³ (2.21%) from ground traffic, 302.08 µg/m³ (87.90%) from the expressway, and 34 µg/m³ (9.89%) from outside the domain. For the same instance of total concentration, a source contribution categorized by vehicle types reveals contribution of personal car 112.97 µg/m³ (32.87%), light duty 3.64 µg/m³ (1.06%), heavy duty 192.68 µg/m³ (56.07%), other vehicle 0.39 µg/m³ (0.11%), and 34 µg/m³ (9.89%) from outside the domain. At this hotspot, in 2020 simulation, there was 78 days with 24-Hr averaged PM_{2.5} concentrations exceeding the ambient standard of 50 µg/m³. The model was tested by comparing with PM_{2.5} measurement data in the study area, both from the Pollution Control Department's monitoring station and from the sensor data. The model performs satisfactorily. Presenting the comparison for Chulalongkorn Hospital as an example, the statistical indices are FB = 0.22, R = 0.94, FAC2 = 0.99, and NMSE = 0.08, indicating that the model had an acceptable performance. In this research, the ability of scenario study was demonstrated by simulating the PM_{2.5} mitigation measures reviewed from the National Agenda Action Plan to Eradicate Particulate Matter Pollution Problem issued in year 2019 Thailand. The selected measures are the fuel standard upgrading to EURO 6 and the promotion of travel mode shift and study. Comparing the two scenarios, the fuel standard scenario resulting in higher reduction of days with PM_{2.5} violating the 24-Hr average ambient standard but when the 2 measures were combined, the 1-Hr averaged PM_{2.5} concentration decreased the most at 53.18%. Another scenario investigated the impact of an additional source of PM_{2.5} from Chulalongkorn's shuttle bus operation hypothetically changed from EV to diesel engine fleets. This scenario study found that the highest increase of the annual PM_{2.5} concentration occur along the bus route at only 0.002%, in the area with Chulalongkorn's shuttle bus traffic because the additional diesel engine in Chulalongkorn's shuttle bus accounts for a small magnitude of emission compared to those from the existing fleets on the road. From this research, it can be concluded that the AERMOD model can be applied simulate the PM_{2.5} concentrations situation that reasonably resembles the real-world observations. Moreover, the AERMOD model can reveals source contribution information and report threshold exceedance counts. However, the model crucially requires accurate input data to produce accurate results to achieve sustainable solutions for air pollution management.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Field of Study: Environmental Engineering
Academic Year: 2022

Student's Signature
Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีด้วยความอนุเคราะห์จากบุคคลหลายท่าน ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณต่อผู้ที่ให้ความอนุเคราะห์ดังต่อไปนี้

อาจารย์ ดร.วิน ไตรวิทยานุรักษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่เป็นผู้ให้คำปรึกษา แนวทาง หลักการการดำเนินงานวิจัยและแก้ไขในสิ่งที่บกพร่องมาโดยตลอดและให้ความช่วยเหลือในทุก ๆ ด้านตลอดระยะเวลาในการทำงานวิจัย ซึ่งมีส่วนสำคัญมากที่ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

นางสาว กตาทิการ เหลืองดำรงศักดิ์ ผู้จัดทำงานวิจัยในหัวข้อ โครงการวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม: การพัฒนาข้อมูลนำเข้าให้กับแบบจำลองมลพิษ PM2.5 สำหรับบริเวณอุทยาน 100 ปี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (Development of Input Data for PM2.5 Dispersion modelling for the Chulalongkorn Centenary Park Area) ที่เป็นส่วนหนึ่งในการจัดทำข้อมูลเข้าสู่แบบจำลอง AERMOD เพื่อให้งานวิจัยได้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชัยพร ภูประเสริฐ, ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธงชัย ขนากแก้ว และรองศาสตราจารย์ ดร.ศิริมา ปัญญาเมธิกุล ผู้เป็นคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ในการให้คำแนะนำในงานวิจัยและทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอนและให้ความรู้

ขอขอบคุณทุนอุดหนุนวิทยานิพนธ์จากศูนย์ความเป็นเลิศด้านวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ศาสตราจารย์ อรุณ สรเทศน์ และสถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม

และสุดท้ายขอขอบคุณครอบครัว พี่ ๆ เพื่อน ๆ และทุก ๆ คนที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำปรึกษา ให้กำลังใจ และดูแลกันมาตลอดระยะเวลาในการทำงานวิจัย

ธรรมลักษณ์ รัตนวรชัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญรูป.....	ท
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 ความสำคัญของปัญหาของมลพิษ PM _{2.5}	5
2.2 องค์ความรู้เกี่ยวกับอนุภาคขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM _{2.5}).....	6
2.2.1 อนุภาค (Particulate Matter).....	6
2.2.2 มาตรฐานคุณภาพอากาศ.....	7
2.2.3 ดัชนีคุณภาพอากาศ (Air Quality Index: AQI).....	8
2.2.4 ความเสี่ยงที่เกิดจากอนุภาคขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM _{2.5}).....	11
2.2.4.1 ความเสี่ยงที่เกิดขึ้นต่อสุขภาพของมนุษย์.....	11
2.2.4.2 ความเสี่ยงจากอนุภาคที่เกิดขึ้นต่อปัญหาทางเศรษฐกิจ	14
2.2.4.3 ความเสี่ยงจากอนุภาคที่เกิดขึ้นต่อปัญหาด้านทัศนวิสัยในการมองเห็น	15

2.3	สภาวะการณ์มลพิษทางอากาศของกรุงเทพมหานคร	16
2.3.1	สภาวะการณ์ $PM_{2.5}$ ของกรุงเทพมหานคร	16
2.3.2	สภาวะการณ์แพร่กระจายของมลสารในอากาศของกรุงเทพมหานคร	17
2.3.2.1	ข้อมูลสภาวะการณ์การแพร่กระจายของสารมลพิษทางอากาศ พ.ศ.2561	17
2.3.2.2	ข้อมูลสภาวะการณ์การแพร่กระจายของสารมลพิษทางอากาศ พ.ศ.2562	18
2.3.2.3	ข้อมูลสภาวะการณ์การแพร่กระจายของสารมลพิษทางอากาศ พ.ศ.2563	19
2.3.3	แหล่งกำเนิดมลพิษ $PM_{2.5}$ ของกรุงเทพมหานคร	21
2.3.4	การจำแนกอนุภาค $PM_{2.5}$ ในบรรยากาศตามแหล่งที่มาของกรุงเทพมหานคร	26
2.4	หลักการทำงานของแบบจำลองคุณภาพอากาศ AERMOD	27
2.4.1	ข้อมูลแหล่งกำเนิดมลพิษอากาศ (Source Pathway)	28
2.4.2	ข้อมูลจุดรับมลพิษ (Receptor Pathway)	38
2.4.3	ข้อมูลนำเข้าโปรแกรมย่อย AERMET	40
2.4.4	ข้อมูลนำเข้าสำหรับโปรแกรมย่อย AERMAP	40
2.5	การศึกษาวิจัยที่เกี่ยวกับการพัฒนาบัญชีการปลดปล่อยมลสาร	41
2.6	เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	43
2.6.1	การศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแบบจำลองการแพร่กระจายมลพิษอากาศ	43
2.6.1.1	การใช้ AERMOD ในงานวิจัยในต่างประเทศ	43
2.6.1.2	การใช้ AERMOD ในงานวิจัยภายในประเทศไทย	45
2.6.2	การศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินแบบจำลองคุณภาพอากาศ	47
บทที่ 3	แผนการทดลองและการดำเนินงานวิจัย	48
3.1	แผนผังการดำเนินงานวิจัย	49
3.2	วิธีการดำเนินงานวิจัย	50
3.2.1	กำหนดขอบเขตของงานวิจัย	50
3.2.2	พัฒนาข้อมูลบัญชีการปลดปล่อยมลพิษ	50

4.2.3.1	ดัชนีทางสถิติและการอภิปราย	115
4.2.4	จำนวนครั้งของความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ที่เกินค่ามาตรฐานในจุดรับมลพิษ ($PM_{2.5}$ Threshold exceedance).....	117
4.3	ผลการศึกษาจากทัศนการจัดการแหล่งกำเนิด $PM_{2.5}$	120
4.3.1	ฉากทัศน์ที่ 1: Fuel standard scenario (FS).....	122
4.3.1.1	ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 1 ชั่วโมงของฉากทัศน์ FS	122
4.3.1.2	ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ยสูงสุด 24 ชั่วโมงของฉากทัศน์ FS	125
4.3.1.3	ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ยรายปีของฉากทัศน์ FS	128
4.3.2	ฉากทัศน์ที่ 2: Shift mode scenario (SM)	129
4.3.2.1	ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 1 ชั่วโมงของฉากทัศน์ SM	130
4.3.2.2	ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 24 ชั่วโมงของฉากทัศน์ SM	132
4.3.2.3	ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ยรายปีของฉากทัศน์ SM	134
4.3.3	ฉากทัศน์ที่ 3: FS plus SM scenario (FPS)	136
4.3.3.1	ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ยสูงสุด 1 ชั่วโมงของฉากทัศน์ FPS	136
4.3.3.2	ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ยสูงสุด 24 ชั่วโมงของฉากทัศน์ FPS	139
4.3.3.3	ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ยสูงสุดรายปีของฉากทัศน์ FPS	141
4.3.4	ฉากทัศน์ที่ 4: CU pop bus scenario (POP).....	143
4.3.4.1	ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ยสูงสุด 1 ชั่วโมงของฉากทัศน์ POP	143
4.3.4.2	ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ยสูงสุด 24 ชั่วโมงของฉากทัศน์ POP	146
4.3.4.3	ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ยรายปีของฉากทัศน์ POP	148
บทที่ 5	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	152
5.1	สรุปผลการวิจัย.....	152
5.2	ข้อจำกัดของงานวิจัย.....	154
5.3	ข้อเสนอแนะที่ได้จากงานวิจัย	154

บรรณานุกรม.....	155
ภาคผนวก.....	159
ประวัติผู้เขียน.....	180



สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2-1 เกณฑ์ของดัชนีคุณภาพอากาศของประเทศไทยเทียบกับค่าความเข้มข้นอนุภาคขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) ที่ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง	8
ตารางที่ 2-2 เกณฑ์ของดัชนีคุณภาพอากาศของประเทศไทยเทียบกับค่าความเข้มข้นอนุภาคขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) ที่ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง	9
ตารางที่ 2-3 เกณฑ์ของดัชนีคุณภาพอากาศของประเทศไทยเทียบกับค่าความเข้มข้นอนุภาคขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) ที่ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง	10
ตารางที่ 2-4 ประเมินมูลค่าทางเศรษฐกิจจังหวัดกรุงเทพมหานครเมื่อดัชนีค่าอนุภาค $PM_{2.5}$	14
ตารางที่ 2-5 สภาวะการณ์การแพร่กระจายของสารมลพิษทางอากาศ พ.ศ.2561	17
ตารางที่ 2-6 สภาวะการณ์การแพร่กระจายของสารมลพิษทางอากาศ พ.ศ.2562	18
ตารางที่ 2-7 สภาวะการณ์การแพร่กระจายของสารมลพิษทางอากาศ พ.ศ.2563	19
ตารางที่ 2-8 บัญชีการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศรายปีของแต่ละแหล่งกำเนิดของกรุงเทพมหานคร	23
ตารางที่ 2-9 ตำแหน่งสำหรับพิกัด X และ Y ของแหล่งกำเนิดมลพิษแต่ละชนิด.....	29
ตารางที่ 2-10 ตารางแสดงหน่วยของอัตราการปลดปล่อยมลพิษที่จากแบบจำลอง AERMOD	36
ตารางที่ 3-1 ตารางตัวอย่างตัวคูณมลพิษ (Emission Factor) ในหน่วยกรัมต่อกิโลเมตร (g/km)...	55
ตารางที่ 3-2 ตารางค่าปรับเทียบ ปี พ.ศ.2561-2563.....	60
ตารางที่ 3-3 จำนวนสัปดาห์ในเดือนต่าง ๆ ของปี 2563.....	62
ตารางที่ 3-4 จำนวนสัปดาห์ในเดือนต่าง ๆ ของปี	63
ตารางที่ 3-5 ความกว้างถนนต่าง ๆ ในขอบเขตพื้นที่ศึกษา	65
ตารางที่ 3-6 ข้อมูลตรวจวัด $PM_{2.5}$ เฉลี่ยรายชั่วโมงจากสถานีตรวจวัดที่นำมาใช้ศึกษาข้อมูลความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ที่พัดพาเข้ามาในพื้นที่ศึกษาที่ไม่มีการรายงาน.....	69
ตารางที่ 3-7 แสดงถึงสภาพทางอุตุนิยมวิทยาของกรุงเทพและ Porto Alegre.....	72

ตารางที่ 3-8 แสดงตำแหน่งจุดตรวจวัด PM _{2.5} ในปี พ.ศ.2561-2563.....	75
ตารางที่ 3-9 แสดงการเปรียบเทียบ Emission factor ระหว่าง Base case.....	86
ตารางที่ 3-10 ตัวอย่างอัตราการปลดปล่อย PM _{2.5} จากถนนพระราม 1 ช่วงที่ 3 แยกเซนทรัลเวิลด์ ของภาคตัดต่าง ๆ	89
ตารางที่ 4-1 ข้อมูลบัญชีการปลดปล่อยมลพิษปี พ.ศ.2563.....	90
ตารางที่ 4-2 แสดงเปอร์เซ็นต์ไฟล์ความเข้มข้น PM _{2.5} เฉลี่ย 1 ชั่วโมง (µg/m ³) ตั้งแต่ปี พ.ศ.2561- 2563.....	93
ตารางที่ 4-3 ความเข้มข้น PM _{2.5} เฉลี่ย 24 ชั่วโมง (µg/m ³) ณ เปอร์เซ็นต์ไฟล์ต่าง ๆ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2561-2563.....	97
ตารางที่ 4-4 แสดงความเข้มข้น PM _{2.5} เฉลี่ยรายปี (µg/m ³) สำหรับปี พ.ศ.2561-2563	98
ตารางที่ 4-5 ดัชนีทางสถิติของการเปรียบเทียบความเข้มข้น PM _{2.5} เฉลี่ย 24 ชั่วโมงจากแบบจำลอง และจากค่าที่ตรวจวัด สำหรับปี พ.ศ.2562-2563.....	115
ตารางที่ 4-7 การเปรียบเทียบจำนวนครั้งที่ความเข้มข้น PM _{2.5} เฉลี่ย 24 ชั่วโมงเกินมาตรฐาน 50 µg/m ³ ในช่วงปี พ.ศ.2561-2563	118
ตารางที่ 4-8 ตารางสรุปภาคตัดการจัดการแหล่งกำเนิด PM _{2.5}	120
ตารางที่ 4-9 แสดงการเปรียบเทียบความเข้มข้น PM _{2.5} เฉลี่ย 1 ชั่วโมง (µg/m ³) บริเวณแยกพงษ์ พระรามระหว่าง Base case กับ FS scenario.....	125
ตารางที่ 4-10 การเปรียบเทียบจำนวนครั้งที่เกินมาตรฐานเท่ากับ 50 µg/m ³ ที่ความเข้มข้น PM _{2.5} ที่ 24 ชั่วโมง ระหว่าง Base case และ Fuel standard scenario (FS)	127
ตารางที่ 4-11 แสดงการเปรียบเทียบความเข้มข้น PM _{2.5} เฉลี่ย 1 ชั่วโมง (µg/m ³) ระหว่าง Base case กับ Shift mode scenario บริเวณแยกพงษ์พระราม	132
ตารางที่ 4-12 การเปรียบเทียบจำนวนครั้งที่เกินมาตรฐานเท่ากับ 50 µg/m ³ ที่ความเข้มข้น PM _{2.5} ที่ 24 ชั่วโมง ระหว่าง Base case และ Shift mode scenario (SM)	134
ตารางที่ 4-13 แสดงการเปรียบเทียบความเข้มข้น PM _{2.5} สูงสุดเฉลี่ย 1 ชั่วโมง (µg/m ³) ระหว่าง Base case กับ Fuel standard scenario, Shift mode scenario และ FS plus SM scenario บริเวณแยกพงษ์พระราม	138

ตารางที่ 4-14 การเปรียบเทียบจำนวนครั้งที่เกินมาตรฐานเท่ากับ $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ที่ความเข้มข้น $\text{PM}_{2.5}$ ที่ 24 ชั่วโมง ระหว่าง Base case และ FS plus SM scenario (FPS).....	140
ตารางที่ 4-15 แสดงการเปรียบเทียบความเข้มข้น $\text{PM}_{2.5}$ เฉลี่ยรายปี ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ระหว่าง Base case กับ Fuel standard scenario, Shift mode scenario และ FS plus SM scenario บริเวณแยกพงษ์พระราม	142
ตารางที่ 4-16 แสดงการเปรียบเทียบความเข้มข้น $\text{PM}_{2.5}$ เฉลี่ย 1 ชั่วโมง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ระหว่าง Base case กับ CU pop bus scenario บริเวณแยกพงษ์พระราม	145
ตารางที่ 4-17 การเปรียบเทียบจำนวนครั้งที่เกินมาตรฐานเท่ากับ $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ที่ความเข้มข้น $\text{PM}_{2.5}$ ที่ 24 ชั่วโมง ระหว่าง Base case และ CU pop bus scenario (POP).....	148



สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1-1 แสดงถึงปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) เฉลี่ยรายปีบริเวณกรุงเทพมหานครและปริมณฑล	2
รูปที่ 2-1 การเปรียบเทียบขนาดของ Particulate Matter กับขนาดเส้นผม	5
รูปที่ 2-2 การเปรียบเทียบค่ามาตรฐานอนุภาค PM_{10} และ $PM_{2.5}$	8
รูปที่ 2-3 ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของอนุภาค $PM_{2.5}$ ในพื้นที่กรุงเทพมหานคร ในปี พ.ศ.2554-2564....	16
รูปที่ 2-4 ค่าสถิติปริมาณอนุภาค $PM_{2.5}$ พื้นที่กรุงเทพมหานคร ปี 2554-2563	17
รูปที่ 2-5 สัดส่วนการกระจาย $PM_{2.5}$ แบ่งตามชนิดของยานพาหนะแต่ละประเภท	25
รูปที่ 2-6 แสดงถึงการทำงานของแบบจำลอง AERMOD	27
รูปที่ 2-7 แสดงถึงหน้าต่าง Source Pathway ในแบบจำลอง AERMOD	28
รูปที่ 2-8 แสดงถึงหน้าต่าง Gas & Particle Data ในแบบจำลอง AERMOD	29
รูปที่ 2-9 แสดงถึงหน้าต่างวิธีการที่ 1: เส้นผ่านศูนย์กลางของ Particle ที่ 10% หรือมากกว่าในการกำหนด Particle data ในแบบจำลอง AERMOD	30
รูปที่ 2-10 แสดงถึงหน้าต่างวิธีการที่ 1: เส้นผ่านศูนย์กลางของ Particle ที่น้อยกว่า 10% ในการกำหนด Particle data ในแบบจำลอง AERMOD	31
รูปที่ 2-11 แสดงถึงหน้าต่าง Background Concentration ในแบบจำลอง AERMOD	32
รูปที่ 2-12 แสดงถึงหน้าต่าง Vary Background concentration by Downwind Sector ในแบบจำลอง AERMOD.....	32
รูปที่ 2-13 แสดงถึงหน้าต่างตัวอย่าง Downwind Sector ในแบบจำลอง AERMOD.....	33
รูปที่ 2-14 แสดงถึงตัวอย่างหน้าต่าง Specify Variable Background Values ในแบบจำลอง AERMOD	34
รูปที่ 2-15 แสดงถึงตัวอย่างหน้าต่าง Source Type ของแหล่งกำเนิดแบบ Line Area Source ในแบบจำลอง AERMOD.....	36

รูปที่ 2-16 แสดงถึงตัวอย่างหน้าต่าง Line Source Parameters ของแหล่งกำเนิดแบบ Line Area Source ในแบบจำลอง AERMOD.....	37
รูปที่ 2-17 แสดงถึงตัวอย่างหน้าต่างภาพรวมของฟังก์ชันจุดรับมลพิษ (Receptor) ของแบบจำลอง AERMOD.....	38
รูปที่ 2-18 แสดงถึงตัวอย่างของตัวรับมลพิษประเภท Uniform Cartesian Grid	39
รูปที่ 3-1 แผนผังการดำเนินงานวิจัย	49
รูปที่ 3-2 แสดงขอบเขตรอบจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2.5 กิโลเมตร x 2.5 กิโลเมตร	50
รูปที่ 3-3 ปริมาณจราจรบนทางพิเศษศรีรัช ส่วน A และ B รวมทุกด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษรายเดือน ปีงบประมาณ 2562	52
รูปที่ 3-4 ปริมาณจราจรบนทางพิเศษศรีรัช ส่วน A และ B รวมทุกด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษรายเดือน ปีงบประมาณ 2563	52
รูปที่ 3-5 ปริมาณจราจรบนทางพิเศษศรีรัช ส่วน A และ B ด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษหัวลำโพงรายเดือน ปีงบประมาณ 2562	53
รูปที่ 3-6 ปริมาณจราจรบนทางพิเศษศรีรัช ส่วน A และ B ด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษหัวลำโพงรายเดือน ปีงบประมาณ 2563	53
รูปที่ 3-7 ปริมาณจราจรบนทางพิเศษศรีรัช ส่วน A และ B ด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษสะพานสว่างรายเดือน ปีงบประมาณ 2562	53
รูปที่ 3-8 ปริมาณจราจรบนทางพิเศษศรีรัช ส่วน A และ B ด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษสะพานสว่างรายเดือน ปีงบประมาณ 2563	54
รูปที่ 3-9 ตาราง Monthly Traffic Volume Fraction	56
รูปที่ 3-10 ตาราง Day of week Traffic Volume Fraction	57
รูปที่ 3-11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนปริมาณการจราจรและช่วงเวลาของวันในสัปดาห์ของรถทั้ง 4 ประเภทในการศึกษา (Ratio plot).....	58
รูปที่ 3-12 กราฟ Nighttime Traffic Volume Fraction	59
รูปที่ 3-13 กราฟตัวอย่าง Hourly Traffic Fraction วันที่ 14 มีนาคม พ.ศ.2564	60

รูปที่ 3-14 ตัวอย่างตาราง Variable factor ของรถยนต์ประเภท Personal car (PC) ในเดือนมกราคม	67
รูปที่ 3-15 ภาพตัวอย่างการกรอกข้อมูลถนน 1 ท่อนในแบบจำลอง AERMOD.....	70
รูปที่ 3-16 ภาพตัวอย่างแสดงผลถนน 1 ท่อนในแบบจำลอง AERMOD.....	71
รูปที่ 3-17 ภาพตัวอย่างแสดงผลถนน 3 ท่อนต่อกันในแบบจำลอง AERMOD	71
รูปที่ 3-18 ภาพ Uniform Cartesian Receptor grids ที่กำหนดในแบบจำลอง.....	74
รูปที่ 3-19 ภาพตำแหน่งตัวรับมลพิษในพื้นที่ศึกษา	75
รูปที่ 3-20 ฝั่งลม (Wind Roses) บริเวณศึกษาในช่วงปีต่าง ๆ ก) พ.ศ.2561 ข) พ.ศ.2562 ค) พ.ศ. 2563.....	77
รูปที่ 3-21 ภาพ Contour ระดับพื้นดินบริเวณพื้นที่ศึกษา.....	78
รูปที่ 3-22 ตัวอย่างภาพการกำหนด Background Concentrations.....	79
รูปที่ 3-23 ตัวอย่างภาพ Time series graph.....	81
รูปที่ 3-24 ตัวอย่างภาพ Scatter plots.....	81
รูปที่ 3-25 ตัวอย่างภาพ Quantile-Quantile (Q-Q) plots.....	81
รูปที่ 3-26 ตัวอย่างภาพ Contour ความเข้มข้นสูงสุดของ PM _{2.5} เฉลี่ย 1 ชั่วโมง.....	84
รูปที่ 3-27 ตัวอย่างภาพ Contour ความเข้มข้นสูงสุดของ PM _{2.5} เฉลี่ย 24 ชั่วโมง.....	84
รูปที่ 3-28 ตัวอย่างภาพ Contour ความเข้มข้น PM _{2.5} เฉลี่ยรายปี	85
รูปที่ 3-29 ภาพเส้นทางเดินรถประจำทางภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (Chula pop bus).....	88
รูปที่ 3-30 ภาพการจำลอง Line area source เส้นทางเดินรถประจำทางภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (Chula pop bus) ในแบบจำลอง AERMOD	89
รูปที่ 4-1 ภาพ Contour ความเข้มข้น PM _{2.5} สูงสุดเฉลี่ยรายชั่วโมง ปี พ.ศ.2563.....	92
รูปที่ 4-2 ภาพ Contour เปอร์เซ็นไทล์ที่ 98 ของความเข้มข้น PM _{2.5} เฉลี่ยรายชั่วโมง ปี พ.ศ.2563	93
รูปที่ 4-3 ภาพ Contour เปอร์เซ็นไทล์ที่ 95 ของความเข้มข้น PM _{2.5} เฉลี่ยรายชั่วโมง ปี พ.ศ.2563	93

รูปที่ 4-4 ภาพ Contour ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ยสูงสุด 24 ชั่วโมง ปี พ.ศ.2563.....	95
รูปที่ 4-5 ภาพ Contour ที่ Percentile เท่ากับ 98 ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ปี พ.ศ. 2563.....	96
รูปที่ 4-6 ภาพ Contour ที่ Percentile เท่ากับ 95 ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ปี พ.ศ. 2563.....	96
รูปที่ 4-7 ภาพ Contour ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ยรายปี ปี พ.ศ.2563.....	98
รูปที่ 4-8 สัดส่วนแหล่งกำเนิดมลพิษ (Source contributions) ประเภทที่ 1 แบ่งตามประเภทของ ถนนในพื้นที่ศึกษา (ก) พ.ศ.2561 (ข) พ.ศ.2562 (ค) พ.ศ.2563.....	100
รูปที่ 4-9 สัดส่วนแหล่งกำเนิดมลพิษ (Source contributions) ประเภทที่ 2 แบ่งตามประเภทของ ยานพาหนะ.....	103
รูปที่ 4-10 กราฟ Time series ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง จากแบบจำลองและการ ตรวจวัดบริเวณโรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์.....	107
รูปที่ 4-11 การเปรียบเทียบความเข้มข้น $PM_{2.5}$ จากแบบจำลองและการตรวจวัดบริเวณโรงพยาบาล จุฬาลงกรณ์ ในรูปแบบ Scatter plot สำหรับปีต่างๆ (ก) พ.ศ.2562 (ข) พ.ศ.2563	108
รูปที่ 4-12 กราฟ Time series ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 24 ชั่วโมงจากแบบจำลองและการ ตรวจวัดบริเวณอาคารจุฬาพัฒน์ 14.....	109
รูปที่ 4-13 การเปรียบเทียบความเข้มข้น $PM_{2.5}$ จากแบบจำลองและการตรวจวัดบริเวณอาคาร จุฬาพัฒน์ 14.....	110
รูปที่ 4-14 กราฟ Time series ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 24 ชั่วโมงจากแบบจำลองและการ ตรวจวัดบริเวณโรงอาหารหอพักนิสิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.....	111
รูปที่ 4-15 การเปรียบเทียบความเข้มข้น $PM_{2.5}$ จากแบบจำลองและการตรวจวัดบริเวณโรงอาหาร หอพักนิสิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในรูปแบบ Scatter plot สำหรับปีต่างๆ (ก) พ.ศ.2562 (ข) พ.ศ. 2563.....	112
รูปที่ 4-16 กราฟ Time series ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 24 ชั่วโมงจากแบบจำลองและการ ตรวจวัดบริเวณโรงเรียนสาธิตจุฬาลงกรณ์ประถม ประถม 5.....	113

รูปที่ 4-17 การเปรียบเทียบความเข้มข้น $PM_{2.5}$ จากแบบจำลองและการตรวจวัดบริเวณโรงเรียน สาธิตจุฬาลงกรณ์ประถม ประตู่ 5 ในรูปแบบ Scatter plot สำหรับปีต่างๆ (ก) พ.ศ.2562 (ข) พ.ศ. 2563	114
รูปที่ 4-18 จุดรับมลพิษ (Receptors) 1.โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ 2.อาคารจุฬาพัฒน์ 14	117
รูปที่ 4-19 ภาพ $PM_{2.5}$ Threshold exceedance ของความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ที่เกินค่ามาตรฐานเฉลี่ย 24 ชั่วโมง (ก) พ.ศ.2561 (ข) พ.ศ.2562 (ค) พ.ศ.2563	119
รูปที่ 4-20 ภาพ Contour ค่าสูงสุดความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ยรายชั่วโมงของฉากทัศน์ FS	122
รูปที่ 4-21 ความเปลี่ยนแปลงหลังจัดทำฉากทัศน์ FS ที่ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 1 ชั่วโมง	123
รูปที่ 4-22 ภาพ Contour ค่าสูงสุดความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 24 ชั่วโมงของฉากทัศน์ FS	125
รูปที่ 4-23 ความเปลี่ยนแปลงหลังจัดทำฉากทัศน์ FS ที่ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง	126
รูปที่ 4-24 ภาพ Contour ค่าสูงสุดความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ยรายปีของฉากทัศน์ FS.....	128
รูปที่ 4-25 ความเปลี่ยนแปลงหลังจัดทำฉากทัศน์ FS ที่ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ยรายปี	129
รูปที่ 4-26 ภาพ Contour ค่าสูงสุดความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 1 ชั่วโมงของฉากทัศน์ SM	130
รูปที่ 4-27 ความเปลี่ยนแปลงหลังจัดทำฉากทัศน์ SM ที่ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 1 ชั่วโมง	131
รูปที่ 4-28 ภาพ Contour ค่าสูงสุดความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 24 ชั่วโมงของฉากทัศน์ SM.....	132
รูปที่ 4-29 ความเปลี่ยนแปลงหลังจัดทำฉากทัศน์ SM ที่ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง.....	133
รูปที่ 4-30 ภาพ Contour ค่าสูงสุดความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ยรายปีของฉากทัศน์ SM	134
รูปที่ 4-31 ความเปลี่ยนแปลงหลังจัดทำฉากทัศน์ SM ที่ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ยรายปี	135
รูปที่ 4-32 ภาพ Contour ค่าสูงสุดความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 1 ชั่วโมงของฉากทัศน์ FPS	136
รูปที่ 4-33 ความเปลี่ยนแปลงหลังจัดทำฉากทัศน์ FPS ที่ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 1 ชั่วโมง.....	137
รูปที่ 4-34 ภาพ Contour ค่าสูงสุดความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 24 ชั่วโมงของฉากทัศน์ FPS.....	139
รูปที่ 4-35 ความเปลี่ยนแปลงหลังจัดทำฉากทัศน์ FPS ที่ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง.....	140
รูปที่ 4-36 ภาพ Contour ค่าสูงสุดความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ยรายปีของฉากทัศน์ FPS.....	141
รูปที่ 4-37 ความเปลี่ยนแปลงหลังจัดทำฉากทัศน์ FPS ที่ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ยรายปี.....	142

รูปที่ 4-38 ภาพ Contour ค่าสูงสุดความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 1 ชั่วโมงจากเส้นทางรถประจำทางจุฬา ของฉกทศน์ POP	143
รูปที่ 4-39 ภาพ Contour ค่าสูงสุดความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 1 ชั่วโมงของฉกทศน์ POP	144
รูปที่ 4-40 ความเปลี่ยนแปลงหลังจัดทำฉกทศน์ FPS ที่ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 1 ชั่วโมง	145
รูปที่ 4-41 ภาพ Contour ค่าสูงสุดความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 24 ชั่วโมงของฉกทศน์ POP	146
รูปที่ 4-42 ความเปลี่ยนแปลงหลังจัดทำฉกทศน์ FPS ที่ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง	147
รูปที่ 4-43 ภาพ Contour ค่าสูงสุดความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ยรายปีของฉกทศน์ POP	148
รูปที่ 4-44 ความเปลี่ยนแปลงหลังจัดทำฉกทศน์ FPS ที่ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ยรายปี	149

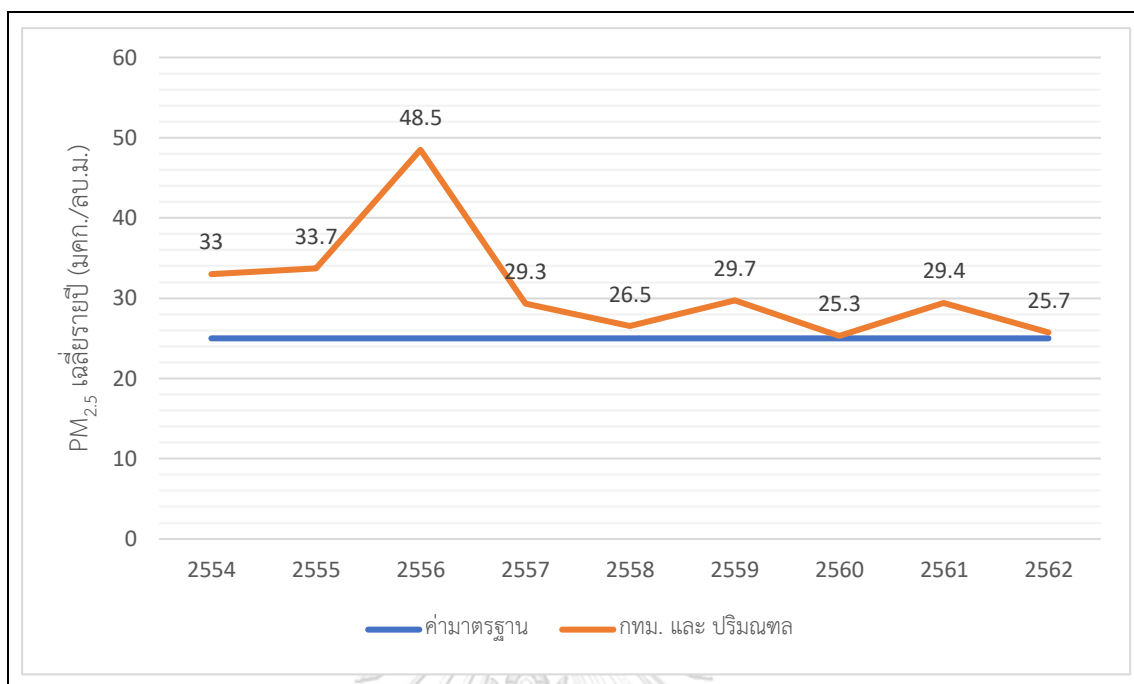


บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ประเทศไทยประสบปัญหามลพิษทางอากาศฝุ่นละอองขนาด 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) มาเป็นระยะเวลากว่า 10 ปีและเริ่มมีการตระหนักถึงความอันตรายมากขึ้นเรื่อย ๆ ในสังคมไทย จากข้อมูลของ (กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2563). เห็นได้ว่าพื้นที่กรุงเทพมหานครมีปริมาณ $PM_{2.5}$ ค่าเฉลี่ยรายปีที่เกินค่ามาตรฐาน 25 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรอย่างต่อเนื่อง เมื่อพิจารณาในรายละเอียดของเดือนที่เกิดวิกฤต $PM_{2.5}$ ส่วนใหญ่มักเกิดในช่วงเดือนมกราคมจนถึงเดือนเมษายน และในเดือนธันวาคมของทุกปี สาเหตุส่วนใหญ่มาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงของรถยนต์จากการจราจรจากการเผาไหม้ในที่โล่ง และอุตสาหกรรมซึ่งพบว่ามีมากที่สุดคือจากโรงงานกลั่นน้ำมันปิโตรเลียมมีปริมาณการระบายเท่ากับ 1,050 ตันต่อปี (Kim Oanh, 2563) ประกอบกับสภาพอุตุนิยมวิทยาที่ไม่เอื้อต่อการกระจายของฝุ่นละอองเนื่องจากเป็นช่วงฤดูหนาว ทำให้เกิดปรากฏการณ์อุณหภูมิผกผัน (Temperature Inversion) ซึ่งจำกัดการลอยตัวและการกระจายตัวของฝุ่นละอองจึงทำให้ค่าความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ในบรรยากาศเกินมาตรฐาน ในแง่ของแหล่งที่มาของ $PM_{2.5}$ การศึกษาโดย (Kim Oanh, 2563) ได้จัดทำบัญชีแหล่งกำเนิดมลพิษฝุ่น $PM_{2.5}$ ในกรุงเทพมหานคร ซึ่งระบุแหล่งกำเนิดมลพิษที่สำคัญ ได้แก่ ยานพาหนะและการขนส่ง (On-Road Transportation) ร้อยละ 73 ซึ่งมากที่สุด รองลงมาได้แก่ภาคอุตสาหกรรมร้อยละ 17 จากการเผาในที่โล่งร้อยละ 4 จากพื้นที่อยู่อาศัยและเชิงพาณิชย์ ร้อยละ 2 จากมลพิษจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ที่ไม่ใช่บนท้องถนน (Non-road Transportation) ร้อยละ 1 และจากอื่น ๆ อีกร้อยละ 3 มลพิษเหล่านี้ส่งผลเสียต่อสุขภาพของประชาชน สิ่งแวดล้อม และภาพลักษณ์อีกทั้งยังส่งผลกระทบต่อเศรษฐกิจของกรุงเทพมหานครอีกด้วย



รูปที่ 1-1 แสดงถึงปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) เฉลี่ยรายปีบริเวณกรุงเทพมหานครและปริมณฑล

ที่มา: (กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2563)

ที่ผ่านมากรุงเทพมหานครได้บูรณาการความร่วมมือกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เช่น กรมควบคุมมลพิษในการติดตามสถานการณ์และเตรียมมาตรการป้องกันและแก้ไขปัญหาฝุ่น $PM_{2.5}$ เช่น เข้มงวดการตรวจจับและห้ามใช้รถยนต์ควันดำทุกประเภทในพื้นที่ การรณรงค์ลดการเผาในที่โล่งและไม่ขับช่วยดับเครื่อง ประกอบกับความพยายามของภาครัฐได้จัดทำแผนปฏิบัติการวาระแห่งชาติการแก้ไขปัญหา $PM_{2.5}$ ตั้งแต่ปี พ.ศ.2562 อย่างไรก็ตามกรุงเทพมหานครก็ยังคงเผชิญกับสถานการณ์ $PM_{2.5}$ ที่เกินมาตรฐานอยู่

ในแง่ของการตรวจวัดความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ในบรรยากาศ มีการดำเนินการโดยกรมควบคุมมลพิษจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศภาคพื้นดินโดยวิธีมาตรฐาน ซึ่งมีข้อจำกัดต่าง ๆ เช่น สถานีตรวจวัดต้องมีการควบคุมคุณภาพเชิงวิเคราะห์ โดยจะต้องมีผู้เชี่ยวชาญในการติดตามตรวจสอบ สอบเทียบเครื่องมือตรวจวัดเพื่อให้การตรวจวัดเป็นไปได้อย่างถูกต้อง และข้อจำกัดด้านงบประมาณของภาครัฐ ทำให้ยังมีพื้นที่บางส่วนที่ไม่มีข้อมูลตรวจวัดจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ เพื่อเติมเต็มความต้องการของข้อมูลคุณภาพอากาศจึงได้มีการดำเนินการตรวจวัดปริมาณ $PM_{2.5}$ ด้วยอุปกรณ์แบบเซ็นเซอร์ ซึ่งสามารถดำเนินการได้ด้วยงบประมาณไม่มากและเป็นแหล่งข้อมูลทางเลือกให้กับสาธารณชน อย่างไรก็ตามการตรวจวัดด้วยวิธีการต่าง ๆ ก็ยังไม่สามารถเปิดเผยข้อมูลเชิงลึกถึง

ความสำคัญเชิงเปรียบเทียบ (Contribution) ของแหล่งที่มาที่แตกต่างกัน และไม่สามารถคาดการณ์ปริมาณ $PM_{2.5}$ ได้ ซึ่งเครื่องมือที่จะช่วยได้คือแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเป็นการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อศึกษาสภาวะการณ์ของฝุ่นละออง $PM_{2.5}$

งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของงานวิจัยการศึกษาผลกระทบและการจัดการมลพิษอากาศอย่างยั่งยืน อยู่ภายใต้โครงการวิจัยแพลตฟอร์มด้านความยั่งยืนด้านสิ่งแวดล้อม มีวัตถุประสงค์เพื่อจัดการมลพิษสิ่งแวดล้อมให้เป็นรูปธรรมและมีประสิทธิภาพสูงสุดและยั่งยืนซึ่งสอดคล้องกับนโยบายต่าง ๆ ของประเทศไทยโดยอยู่ในส่วนงานย่อยที่ 3 การใช้แบบจำลองสภาวะการณ์การกระจายตัวของมลพิษอากาศและการพัฒนาระบบคาดการณ์การเกิดและเป็นไปของสภาวะการณ์มลพิษอากาศ

งานวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้แบบจำลองในการศึกษาสภาวะการณ์ของฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ในปี พ.ศ.2561-2563 บริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและเป็นส่วนหนึ่งของ จุดเริ่มต้นในการสร้างระบบการสื่อสารสภาวะการณ์ของฝุ่นละอองขนาดเล็กบริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อันจะมีส่วนช่วยในการสื่อสารข้อมูลความเสี่ยงทางสุขภาพและการออกแบบการจัดการปัญหามลพิษอย่างยั่งยืนต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 จัดทำข้อมูลการปลดปล่อยฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) จากการจราจรบนท้องถนนบริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- 1.2.2 ประยุกต์ใช้แบบจำลองการแพร่กระจายฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) บริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยใช้แบบจำลอง AERMOD

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.3.1 แบบจำลองทำการจำลองในช่วงเวลาตั้งแต่ปี พ.ศ.2561-2563
- 1.3.2 พื้นที่ศึกษาบริเวณรอบจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยขนาด 2.5กิโลเมตรx2.5กิโลเมตร โดยจุดศูนย์กลางของพื้นที่ศึกษาอยู่ที่สระน้ำจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (พิกัด X,Y = 665452.00, 1519335.00)
- 1.3.3 พัฒนابัญชีการปลดปล่อย $PM_{2.5}$ จากการจราจรบนท้องถนน
- 1.3.4 ศึกษาฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) แบบปฐมภูมิ
- 1.3.5 ใช้แบบจำลอง AERMOD ซึ่งมีการคำนวณกระบวนการปลดปล่อย พัดพา แพร่กระจาย ตกสะสม แต่ไม่มีการคำนวณปฏิกิริยาทางเคมี
- 1.3.6 ใช้แบบจำลอง AERMOD ในการจัดทำฉากทัศน์ในการจัดการฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) จากการจราจรบนท้องถนน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 ทราบถึงข้อมูลการปลดปล่อยฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) จากภาคการจราจรบริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในช่วง พ.ศ.2561-2563 และสามารถเป็นข้อมูลนำเข้าให้แก่แบบจำลอง
- 1.4.2 ทราบถึงความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) จากภาคการจราจรและการพัฒนาบริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- 1.4.3 เป็นข้อมูลเบื้องต้นของคุณภาพอากาศให้แก่ผู้ที่สนใจทั่วไป
- 1.4.4 เป็นเครื่องมือสนับสนุนการออกแบบจากทัศนังค์การจัดการฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) จากภาคการจราจร

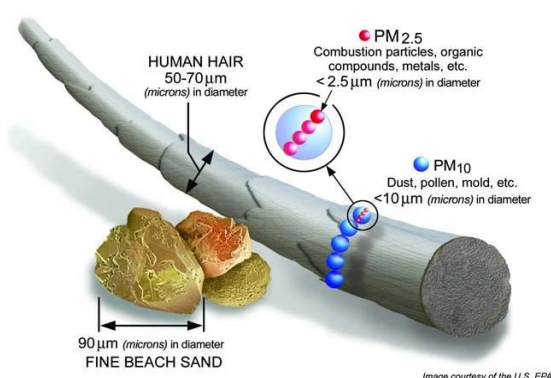


บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความสำคัญของปัญหาของมลพิษ PM_{2.5}

ธรรมชาติของมนุษย์พวกเราจะรู้อยู่แล้วว่าเมื่อไหร่ที่น้ำสกปรกหรืออาหารสกปรกจนไม่สามารถรับประทานได้ แต่หากเมื่อเป็นอากาศที่ไม่สะอาดมนุษย์เราไม่สามารถมองเห็นได้เพราะว่ามันมีขนาดเล็กและอีกทั้งมนุษย์ยังจำเป็นต้องหายใจตลอดเวลาทำให้มนุษย์เราไม่มีทางรู้เลยว่าอากาศที่เราหายใจเข้าไปเป็นอันตรายต่อร่างกายหรือไม่ โดย EPA ได้จัดกลุ่มขนาดของมลพิษไว้เป็นขนาดต่าง ๆ ซึ่งขนาดของมลพิษที่เราเห็นนั้นเป็นเพียงแค่มอกควันที่เกิดจากการรวมตัวกันของอนุภาคนับล้านที่มองเห็นผ่านการกระจายของแสงเพียงเท่านั้น โดยอนุภาคเหล่านี้ถูกเรียกว่า Particulate Matter (PM) ซึ่งเป็นการผสมกันระหว่างอนุภาคของแข็งและของเหลวที่ลอยอยู่ในบรรยากาศ อนุภาคเหล่านี้ถูกแบ่งออกเป็นอนุภาคขนาดใหญ่ ไม่เกิน 100 ไมครอน (Total Particulate Matter, TSP) อนุภาคขนาดเล็กที่หายาก ละเอียดและละเอียดมาก โดยอนุภาคขนาดเล็กที่หายากไปจนถึงละเอียดจะมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 ไมครอนถึง 10 ไมครอน (PM₁₀-PM_{2.5}) (เล็กกว่าเส้นผมเราถึง 25-100 เท่า) และขนาดละเอียดมากจะถูกเรียกว่า PM_{0.1} ซึ่ง PM_{2.5} ก็มีขนาดเล็กถึง 2.5 ไมครอนที่มีขนาดเล็กมากจึงเป็นสาเหตุที่ทำให้เรามองไม่เห็น และอนุภาคเหล่านี้ยังแพร่กระจายอยู่ในบรรยากาศและเข้าสู่ร่างกายผ่านทางเดินหายใจเข้าไปยังปอดและแม้กระทั่งในกระแสเลือดก็ตาม ทำให้ส่งผลเสียต่อสุขภาพเรา หากได้รับเข้าสู่ร่างกายในปริมาณมากอาจส่งผลให้เสียชีวิตได้ (พานิช, 2558)



รูปที่ 2-1 การเปรียบเทียบขนาดของ Particulate Matter กับขนาดเส้นผม
ที่มา: (US.EPA, 2022)

2.2 องค์ความรู้เกี่ยวกับอนุภาคขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM_{2.5})

2.2.1 อนุภาค (Particulate Matter)

อนุภาคของแข็งและหยดละอองของเหลวที่แขวนลอยกระจายในอากาศ ซึ่งอนุภาคที่แขวนลอยในอากาศนี้โดยทั่วไปมีขนาดตั้งแต่ 100 ไมครอนลงมา อนุภาคของอนุภาคที่แขวนลอยในอากาศปลดปล่อยจากแหล่งกำเนิดแบ่งได้ 2 แหล่งด้วยกันได้แก่ แหล่งกำเนิดทางธรรมชาติ เช่น อนุภาคจากดิน ทราย ละอองน้ำ และเขม่าไฟจากไฟป่าเป็นต้น และแหล่งกำเนิดจากกิจกรรมมนุษย์ เช่น การจราจร การก่อสร้าง อุตสาหกรรมและจากกิจกรรมอื่น ๆ เช่น การทำความสะอาด การทำอาหาร เป็นต้น โดยอนุภาคที่ถูกปลดปล่อยจากแหล่งกำเนิดโดยตรงและแขวนลอยอยู่ในบรรยากาศ เรียกว่า อนุภาคปฐมภูมิ (Primary particulate) อีกประเภทเรียกว่า อนุภาคทุติยภูมิ (Secondary particulate) ซึ่งเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาเคมีของสารตั้งต้น (Precursors) ในบรรยากาศ นอกจากนั้นอนุภาคที่แขวนลอยอยู่ในบรรยากาศทำปฏิกิริยาทางเคมีหรือฟิสิกส์เกิดเป็นอนุภาคที่มีลักษณะคุณสมบัติและองค์ประกอบที่แตกต่างไปจากเดิม เมื่ออนุภาคอยู่ในบรรยากาศ อนุภาคจะถูกควบคุมด้วยกระบวนการต่าง ๆ ของธรรมชาติ โดยพฤติกรรมเชิงพลวัต (Dynamic behavior) ซึ่งได้แก่ การตกตะกอน (Sedimentation) การแพร่ (Diffusion) การรวมตัว (Coagulation) นอกจากนี้อนุภาคในบรรยากาศยังสามารถเกิดปฏิกิริยาเคมีกับองค์ประกอบทางเคมีต่าง ๆ ที่อยู่ในสถานะก๊าซ และอนุภาคอนุภาคยังสามารถถูกกำจัดออกจากอากาศโดยกระบวนการนิวคลีเอชัน (Nucleation process) ในเมฆซึ่งตามมาด้วยการชะล้างของฝน หิมะ หรือลูกเห็บในบรรยากาศ

อนุภาคสามารถก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ สัตว์และสิ่งแวดล้อมต่างๆ ได้มากมาย นานาประเทศจึงได้มีการกำหนดมาตรฐานอนุภาคในบรรยากาศขึ้น สำหรับในประเทศสหรัฐอเมริกา US.EPA (United State Environmental Protection Agency) ได้มีการกำหนดค่ามาตรฐานอนุภาคขนาดเล็กเป็น 2 ชนิด คือ PM₁₀ และ PM_{2.5}

PM₁₀ ตามคำจำกัดความของ US.EPA หมายถึงอนุภาคหยาบ (Course Particles) เป็นอนุภาคที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5-10 ไมครอน มีแหล่งกำเนิดจากการจราจรบนท้องถนน จากการขนส่ง จากการก่อสร้าง เป็นต้น

PM_{2.5} ตามคำจำกัดความของ US.EPA หมายถึงอนุภาคละเอียด (Fine Particles) เป็นอนุภาคที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่า 2.5 ไมครอน อนุภาคละเอียดมีแหล่งกำเนิดจากควันเสียของรถยนต์โรงไฟฟ้า โรงงานอุตสาหกรรม และกิจกรรมที่เกิดการเผาไหม้เชื้อเพลิงต่าง ๆ เช่น การเผาป่า การหุงต้มอาหารโดยใช้ฟืน นอกจากนี้ ก๊าซ SO₂ NO_x และสาร VOCs จะทำปฏิกิริยากับสารอื่นในอากาศทำให้เกิดเป็นอนุภาคละเอียดได้ (พานิช, 2558)

2.2.2 มาตรฐานคุณภาพอากาศ

มาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศจัดทำขึ้นเพื่อป้องกันผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชน ทั้งนี้จะต้องมีการศึกษาทางระบาดวิทยาเพื่อพิสูจน์หลักฐานของผลกระทบต่อสุขภาพทั้งในระยะสั้นและระยะยาว รวมทั้งสถานการณ์คุณภาพอากาศและสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ ในท้องถิ่นและพิจารณาถึงผลกระทบจากการกำหนดมาตรฐานทั้งในด้านเศรษฐกิจและสังคม

ในประเทศไทยได้กำหนดมาตรฐานคุณภาพอากาศ ฉบับแรกประกาศในราชกิจจานุเบกษาปี พ.ศ.2524 และได้มีการปรับปรุงพัฒนามาตามลำดับ ซึ่งจากเดิมมีเพียงมาตรฐานของฝุ่นรวม (TSP) ได้เพิ่มมาตรฐานของอนุภาคขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) ขึ้นมาในปี พ.ศ.2547 และมาตรฐานอนุภาคไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) ในปี พ.ศ.2553 จากหลักฐานที่บ่งบอกถึง $PM_{2.5}$ สามารถเข้าสู่ร่างกายจากการหายใจสู่ระบบทางเดินหายใจส่วนล่างและถุงลมปอด ซึ่งทำให้ $PM_{2.5}$ มีผลกระทบที่รุนแรงกว่าฝุ่นขนาดใหญ่

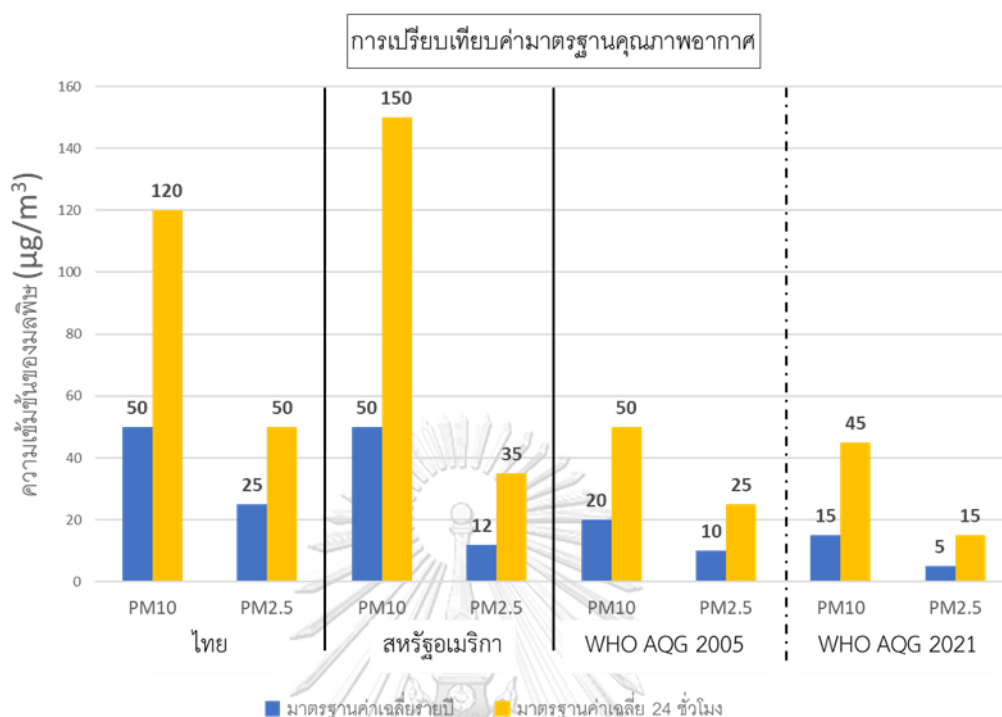
ซึ่งในปัจจุบัน (พฤษภาคม พ.ศ.2565) ทางคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ (กก.วล.) ได้มีมติกำหนดมาตรฐานอนุภาค $PM_{2.5}$ ใหม่ให้เข้มงวดมากขึ้นเพื่อยกระดับมาตรฐานคุณภาพอากาศของประเทศ ป้องกันผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชน ได้กำหนดมาตรฐาน $PM_{2.5}$ ใหม่จากเดิมค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมงมีค่ามาตรฐานเท่ากับ $50 \mu g/m^3$ ปรับเป็น $37.5 \mu g/m^3$ มีผลบังคับใช้วันที่ 1 มิถุนายน พ.ศ.2566 และค่าเฉลี่ยรายปี จากเดิม $25 \mu g/m^3$ ปรับเป็น $15 \mu g/m^3$ โดยจะมีผลบังคับใช้ทันที นับตั้งแต่วันประกาศในราชกิจจานุเบกษา

เมื่อเทียบกับเกณฑ์แนะนำจากองค์การอนามัยโลก (World Health Organization: WHO) ที่ได้มีการกำหนดเกณฑ์แนะนำดังนี้

เกณฑ์แนะนำ PM_{10} เฉลี่ย 24 ชั่วโมงในปี ค.ศ.2005 แนะนำที่ $50 \mu g/m^3$ และมีการเปลี่ยนแปลงในปี ค.ศ.2021 ซึ่งแนะนำที่ $45 \mu g/m^3$ ซึ่งลดลงจากเดิม 10% และเกณฑ์แนะนำมาตรฐาน PM_{10} เฉลี่ยรายปี ในปี ค.ศ.2005 แนะนำที่ $20 \mu g/m^3$ และในปี ค.ศ.2021 แนะนำที่ $15 \mu g/m^3$ ลดลงจากเดิม 25%

เกณฑ์แนะนำ $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ในปี ค.ศ.2005 แนะนำที่ $25 \mu g/m^3$ และในปี ค.ศ. 2021 แนะนำที่ $15 \mu g/m^3$ ลดลงจากเดิม 40% และค่าเฉลี่ย $PM_{2.5}$ รายปี ในปี ค.ศ.2005 แนะนำที่ $10 \mu g/m^3$ และเปลี่ยนแปลงในปี ค.ศ.2021 ที่ $5 \mu g/m^3$ ลดลงถึง 50%

เมื่อนำค่าเฉลี่ยมาตรฐานราย 24 ชั่วโมงและรายปี ของไทยเทียบกับค่ามาตรฐานของประเทศสหรัฐอเมริกาและเกณฑ์แนะนำจากองค์การอนามัยโลก (WHO) แสดงดังรูปที่ 2-2 ซึ่งในการใช้แบบจำลอง AERMOD สามารถใช้กราฟ Time series ในการเปรียบเทียบช่วงเวลาที่เกิดขึ้นมาตรฐานได้ และแบบจำลอง AERMOD สามารถนับวันที่ค่าเกินมาตรฐานของมลพิษได้



รูปที่ 2-2 การเปรียบเทียบค่ามาตรฐานอนุภาค PM₁₀ และ PM_{2.5}

2.2.3 ดัชนีคุณภาพอากาศ (Air Quality Index: AQI)

ดัชนีคุณภาพอากาศ เป็นการรายงานข้อมูลคุณภาพอากาศที่ให้ประชาชนทั่วไปสามารถเข้าใจได้ สามารถทราบถึงสถานการณ์มลพิษทางอากาศในแต่ละพื้นที่ว่าอยู่ในระดับใด มีผลกระทบต่อสุขภาพหรือไม่ ซึ่งแตกต่างจากการรายงานค่าความเข้มข้นมลพิษจากการตรวจวัดทั่วไปที่ไม่สามารถสื่อสารถึงผลกระทบและความเป็นอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์ให้เข้าใจได้อย่างง่าย ดังนั้นการใช้ดัชนีคุณภาพอากาศเข้ามาประกอบก็จะทำให้ประชาชนทั่วไปเข้าใจได้ง่ายมากยิ่งขึ้น อย่างไรก็ตาม การกำหนดเกณฑ์ระดับ AQI ที่แตกต่างกันออกไปในแต่ละประเทศได้แก่ ประเทศไทย ประเทศจีน ประเทศสหรัฐอเมริกา ดังแสดงตารางที่ 2-1 ตารางที่ 2-2 และตารางที่ 2-3 ตามลำดับ

ตารางที่ 2-1 เกณฑ์ของดัชนีคุณภาพอากาศของประเทศไทยเทียบกับค่าความเข้มข้นอนุภาคขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM_{2.5}) ที่ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง

AQI	ความหมาย	สีที่ใช้	คำอธิบาย
0-25	คุณภาพอากาศดีมาก	ฟ้า	คุณภาพอากาศดีมาก เหมาะสำหรับกิจกรรมกลางแจ้งและการท่องเที่ยว

26-50	คุณภาพอากาศดี	เขียว	คุณภาพอากาศดี สามารถทำกิจกรรมกลางแจ้งและการท่องเที่ยวได้ตามปกติ
100	ปานกลาง	เหลือง	<u>ประชาชนทั่วไป</u> : สามารถทำกิจกรรมกลางแจ้งได้ตามปกติ <u>ผู้ที่ต้องดูแลสุขภาพเป็นพิเศษ</u> : หากมีอาการเบื้องต้น เช่น ไอ หายใจลำบาก ระคายเคืองตา ควรลดระยะเวลาการทำกิจกรรมกลางแจ้ง
101-200	เริ่มมีผลกระทบต่อสุขภาพ	ส้ม	<u>ประชาชนทั่วไป</u> : ควรเฝ้าระวังสุขภาพ ถ้ามีอาการเบื้องต้น เช่น ไอ หายใจลำบาก ระคายเคืองตา ควรลดระยะเวลาการทำกิจกรรมกลางแจ้ง หรือใช้อุปกรณ์ป้องกันตนเองหากมีความจำเป็น <u>ผู้ที่ต้องดูแลสุขภาพตัวเองเป็นพิเศษ</u> : ควรลดระยะเวลาการทำกิจกรรมกลางแจ้งหรือใช้อุปกรณ์ป้องกันตนเองหากมีความจำเป็น ถ้ามีอาการทางสุขภาพ เช่น ไอ หายใจลำบาก ตาอักเสบ แสบหน้าอก ปวดศีรษะ หัวใจเต้นไม่เป็นปกติ คลื่นไส้ อ่อนเพลีย ควรปรึกษาแพทย์
201 ขึ้นไป	มีผลกระทบต่อสุขภาพ	แดง	ทุกคนควรหลีกเลี่ยงกิจกรรมกลางแจ้งหลีกเลี่ยงพื้นที่ที่มีมลพิษทางอากาศสูงหรือใช้อุปกรณ์ป้องกันตนเองหากมีความจำเป็น หากมีอาการทางสุขภาพควรปรึกษาแพทย์

ที่มา: (กรมควบคุมมลพิษ)

ตารางที่ 2-2 เกณฑ์ของดัชนีคุณภาพอากาศของประเทศไทยเทียบกับค่าความเข้มข้นอนุภาคขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM_{2.5}) ที่ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง

AQI	ความหมาย	สีที่ใช้	คำอธิบาย
0-50	คุณภาพอากาศดี	เขียว	คุณภาพอากาศดี สามารถทำกิจกรรมกลางแจ้งและการท่องเที่ยวได้ตามปกติ
51-100	คุณภาพอากาศปานกลาง	เหลือง	คุณภาพอากาศเหมาะสำหรับคนทั่วไปและกลุ่มผู้ที่ต้องดูแลสุขภาพอาจพบอาการเล็กน้อยถึงปานกลางหากอยู่ในพื้นที่นอกอาคารเป็นเวลานาน
101-150	คุณภาพอากาศต่ำ	ส้ม	<u>ผู้ที่ต้องดูแลสุขภาพ</u> : อากาศมีมลพิษในระดับสูง ไม่ควรอยู่ข้างนอกอาคารหากพบว่ามีอาการเช่น หายใจลำบากหรือ

			ระคายเคืองในลำคอ
151-200	มีผลกระทบ ต่อสุขภาพ	แดง	<u>ประชาชนทั่วไป:</u> อาจพบอาการหายใจลำบากหรือระคายเคืองในลำคอเมื่ออยู่ภายนอกอาคารเป็นเวลานาน <u>ผู้ที่ต้องดูแลสุขภาพตัวเองเป็นพิเศษ:</u> มีผลต่อสุขภาพโดยทันที งดกิจกรรมที่ต้องออกแรงหนักหรือยืดเยื้อ
201-300	มีผลกระทบ ต่อสุขภาพ มาก	ม่วง	<u>ประชาชนทั่วไป:</u> อาจพบอาการหายใจลำบาก ระคายเคืองในลำคอ ควรพิจารณาให้อยู่ภายในที่ร่ม หรือในอาคาร <u>ผู้ที่ต้องดูแลสุขภาพตัวเองเป็นพิเศษ:</u> หลีกเลี่ยงกิจกรรมกลางแจ้งทุกชนิด
301-500	เป็นอันตราย	สี น้ำตาล แดง	เป็นอันตรายต่อทุกคนหากหายใจเข้าไปในเวลาไม่กี่นาที ทุก คนควรงดกิจกรรมกลางแจ้งทั้งหมด

ที่มา: (Shanghai Expat Health and Safety, 2013)

ตารางที่ 2-3 เกณฑ์ของดัชนีคุณภาพอากาศของประเทศไทยเทียบกับค่าความเข้มข้นอนุภาคขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM_{2.5}) ที่ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง

AQI	ความหมาย	สีที่ใช้	คำอธิบาย
0-50	คุณภาพอากาศดี	เขียว	คุณภาพอากาศดี สามารถทำกิจกรรมกลางแจ้งและการท่องเที่ยวได้ตามปกติ
51-100	คุณภาพอากาศปานกลาง	เหลือง	<u>ผู้ที่ต้องดูแลสุขภาพเป็นพิเศษ:</u> ควรลดหรือลดกิจกรรมที่ต้องออกแรง
101-150	มีผลกระทบ ต่อสุขภาพ ของผู้ที่ต้อง ดูแลสุขภาพ	ส้ม	<u>ผู้ที่ต้องดูแลสุขภาพ:</u> ควรงดกิจกรรมที่ต้องออกแรงหนักหรือยืดเยื้อ
151-200	มีผลกระทบ ต่อสุขภาพ	แดง	<u>ประชาชนทั่วไป:</u> ควรงดกิจกรรมที่ต้องออกแรงหนักหรือยืดเยื้อ <u>ผู้ที่ต้องดูแลสุขภาพตัวเองเป็นพิเศษ:</u> งดกิจกรรมที่ต้องออกแรงหนักหรือยืดเยื้อ

201-300	มีผลกระทบ ต่อสุขภาพ มาก	ม่วง	ประชาชนทั่วไป: ควรงดกิจกรรมที่ต้องออกแรงหนักหรือ ยืดเยื้อ ผู้ที่ต้องดูแลสุขภาพตัวเองเป็นพิเศษ: งดกิจกรรมกลางแจ้งทุก ชนิด
301-400	เป็นอันตราย	ส้ม	ทุกคนควรงดกิจกรรมกลางแจ้งทั้งหมด
401-500		น้ำตาล แดง	

ที่มา: ("Revised air quality standard for particle pollution and updates to the air quality index," 2012)

2.2.4 ความเสี่ยงที่เกิดจากอนุภาคนาขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM_{2.5})

2.2.4.1 ความเสี่ยงที่เกิดขึ้นต่อสุขภาพของมนุษย์

อนุภาคนาขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM_{2.5}) สามารถผ่านเข้าสู่ระบบหายใจส่วนล่างและเข้าสู่กระแสเลือดได้ ซึ่งส่งผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจ ระบบหลอดเลือดหัวใจและหลอดเลือดในสมองได้ โดยกลุ่มเสี่ยงที่ได้รับผลกระทบง่าย ได้แก่ เด็ก ผู้สูงอายุ สตรีตั้งครรภ์และผู้ที่มีโรคประจำตัวเกี่ยวข้องกับระบบทางเดินหายใจ เช่น โรคปอด ไข้หวัดใหญ่ โรคหืด เป็นต้น

อันตรายคุกคามต่อระบบหัวใจ

จากบทความของ นายแพทย์ ชชาติทนง ยอดวุฒิ ระบุว่า “หากเกิดขึ้นแบบเฉียบพลันจะส่งผลให้เส้นเลือดเปราะบาง เส้นเลือดแตก และในผู้ป่วยโรคหัวใจจะเข้าไปกระตุ้นให้โรคที่เป็นอยู่รุนแรงขึ้น ส่วนในระยะยาวผลกระทบจะเกิดการเปลี่ยนแปลงในระดับเซลล์ กระตุ้นการอักเสบทั่วร่างกาย หลอดเลือดหนาตัวมากขึ้น ทำให้กล้ามเนื้อผนังหลอดเลือดเติบโตขึ้น มีอัตราเทียบเท่ากับคนที่สูบบุหรี่ และข้อมูลจากสมาคมโรคหลอดเลือดหัวใจแห่งยุโรป (European Society of Cardiology: ESC) ได้มีการจำลองผลกระทบจากแหล่งมลพิษทางอากาศส่งผลต่ออัตราการเสียชีวิตพบว่า 40-80% ของผู้เสียชีวิตเกิดจากโรคหลอดเลือดหัวใจ (CAD) เช่น หัวใจวายและหลอดเลือดสมอง” (Chattanong, 2022)

(McGuinn และคณะ, 2016) ใช้การผสมกันของข้อมูลความลึกเชิงแสงของละอองลอย (Aerosol optical density) จากดาวเทียมและสถานีตรวจวัด PM_{2.5} ภาคพื้นดินในการจำลองประมาณค่า PM_{2.5} รายวันของพื้นที่ศึกษา North Carolina ในขอบเขต 10 กิโลเมตร x 10 กิโลเมตร ตั้งแต่ปี พ.ศ.2545-2552 ในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการได้รับ PM_{2.5} เข้าสู่ร่างกายในระยะยาวกับความรุนแรงของโรคหลอดเลือดหัวใจ (The Coronary Artery Disease: CAD) และอุบัติการณ์

ของโรคกล้ามเนื้อหัวใจตาย (Myocardial Infarction: MI) ซึ่งทำการศึกษาโดยใช้ผู้ป่วยจำนวน 5,679 รายที่ได้รับการสวนหัวใจที่มหาวิทยาลัย Duke ระหว่างปี พ.ศ.2545-2552 จากการศึกษาพบว่า $PM_{2.5}$ เฉลี่ยรายปีเพิ่มขึ้น $1 \mu g/m^3$ สัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของโรคหลอดเลือดหัวใจ (CAD) 11% (95% CI: 4.0-18.6%) และการเพิ่มขึ้นของอัตราการกล้ามเนื้อหัวใจตาย (MI) 14.2% ภายในช่วงเวลาที่ศึกษา ซึ่งสรุปได้ว่าการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ในระยะยาวสัมพันธ์กับความเสี่ยงในการเป็นโรคหลอดเลือดหัวใจที่เพิ่มขึ้นและอุบัติการณ์ของกล้ามเนื้อหัวใจตายในกลุ่มผู้ป่วยที่ได้รับการใส่สายสวนหัวใจ

(Chen และคณะ, 2018) ได้ทำการตรวจสอบผลกระทบต่อสุขภาพแบบเฉียบพลันของ $PM_{2.5}$ ต่อความเสี่ยงที่เพิ่มขึ้นของการเสียชีวิตจากโรคหลอดเลือดหัวใจและสำรวจประชากรย่อยหลายกลุ่มที่ไวต่อการรับสัมผัส $PM_{2.5}$ ทั้งเพศชาย เพศหญิงและกลุ่มอายุสามกลุ่ม ได้แก่ <65 ปี, 65-74 ปีและมากกว่า 74 ปีขึ้นไป ในห้วงเวลา พ.ศ.2556-2558 ทั้งหมด 30 มณฑลในจีน ซึ่งจากการศึกษาพบว่า อัตราการเสียชีวิตจากทุกสาเหตุเพิ่มขึ้น 0.13% (95% CI, 0.04-0.22), โรคหัวใจและหลอดเลือด (Cardiovascular disease: CVD) เพิ่มขึ้น 0.12% (95% CI, 0.001-0.25), กล้ามเนื้อหัวใจตายเฉียบพลัน (Acute myocardial infarction: AMI) เพิ่มขึ้น 0.42% (95% CI, 0.03-0.81), โรคหลอดเลือดหัวใจ (Coronary heart disease) เพิ่มขึ้น 0.17% (95% CI, -0.04-0.40) และโรคหลอดเลือดสมอง (Stroke) เพิ่มขึ้น 0.13% (95% CI, -0.12-0.33) ซึ่งเปอร์เซ็นต์ของการเพิ่มขึ้นนี้สัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้น $PM_{2.5}$ $10 \mu g/m^3$ จากการศึกษาชี้ให้เห็นถึงความสัมพันธ์เชิงบวกของการสัมผัสอนุภาค $PM_{2.5}$ กับการตายโดยธรรมชาติ การตายที่มีสาเหตุเฉพาะและประชากรกลุ่มเสี่ยงในจีนซึ่งการค้นพบนี้เสริมหลักฐานที่เกี่ยวข้องกับความสัมพันธ์ระหว่างการสัมผัสอนุภาค $PM_{2.5}$ ที่ความเข้มข้นสูงซึ่งส่งผลให้อัตราการเสียชีวิตเพิ่มขึ้นในระยะสั้น

อันตรายคุกคามต่อปอดและทางเดินหายใจ

อาการที่เกิดขึ้นต่าง ๆ ขึ้นกับตัวบุคคล ซึ่งในระยะเฉียบพลันหรือได้รับสารพิษแบบฉับพลันจะทำให้รู้สึกแสบจมูก แสบตา แต่เมื่อได้รับมากขึ้นเรื่อย ๆ จนสะสมเข้าไปในร่างกายจะมีผลต่อเยื่อจมูกทำให้อักเสบ ทางเดินหายใจอักเสบเรื้อรัง บางคนได้รับอนุภาคเล็ก ๆ เข้าไปจนถึงส่วนลึกอาจทำให้เกิดโรคหลอดลมอักเสบเรื้อรัง โรคหอบหืด หรืออาจทำให้เกิดโรคปอดบวมได้

(Pun และคณะ, 2017) ได้ทำการศึกษาการได้รับผลกระทบจากการรับสัมผัสอนุภาค $PM_{2.5}$ ในระยะยาวตั้งแต่ปี พ.ศ.2543-2551 ต่ออัตราการเสียชีวิตจากโรคทางเดินหายใจ มะเร็งปอด โรคหลอดเลือดหัวใจในผู้ใหญ่ชาวอเมริกัน ผลที่ได้พบว่ามีความสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญต่อการได้รับ $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 12 เดือน (ต่อการเพิ่ม $10 \mu g/m^3$) กับระบบทางเดินหายใจ โรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง และการเสียชีวิตจากปอดบวม โดยมีอัตราส่วนความเสี่ยงตั้งแต่ 1.10 ถึง 1.24 นอกจากนี้ยังพบความเสี่ยงที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่เกี่ยวข้องกับ $PM_{2.5}$ ต่อการเสียชีวิตจากโรคหลอดเลือดหัวใจและ

มะเร็งปอด อัตราส่วนความเสี่ยงโดยทั่วไปจะเพิ่มขึ้นด้วยค่าเฉลี่ยที่สูงขึ้น เช่น เมื่อได้รับสัมผัส $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 60 เดือนส่งผลให้มีความเสี่ยงต่อการเสียชีวิตที่เพิ่มขึ้น 1.33 เท่า (95% CI, 1.24, 1.40) เมื่อเทียบกับระยะเวลาสัมผัส 12 เดือนที่มีอัตราความเสี่ยงเฉลี่ยต่อการเสียชีวิต 1.13 (95% CI, 1.11, 1.15) แม้ว่าจะมีหลักฐานที่ยังไม่แน่ชัด แต่ก็สามารถบ่งบอกได้ว่าการสัมผัส $PM_{2.5}$ ในระยะยาวส่งผลต่อการตายที่เพิ่มขึ้นจากโรคทางเดินหายใจ มะเร็งปอด และโรคหลอดเลือดหัวใจ

อันตรายคุกคามต่อสมอง

(Shou และคณะ, 2019) ได้ทำการรวบรวมการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับอนุภาคอนุภาค $PM_{2.5}$ ในบรรยากาศที่เกี่ยวข้องกับโรคทางเดินหายใจและหลอดเลือดหัวใจ ซึ่งผลการศึกษาล่าสุดพบว่า $PM_{2.5}$ สามารถทำให้เกิดโรคของระบบประสาทส่วนกลาง (Central Nervous System: CNS) ได้ซึ่งรวมถึงโรคทางระบบประสาท เช่น โรคอัลไซเมอร์ (Alzheimer's disease: AD) การกระตุ้น microglia ในระบบประสาทส่วนกลางจะนำไปสู่ความเสียหายทางระบบประสาท อนุภาค $PM_{2.5}$ สามารถเข้าสู่ร่างกายได้หลากหลายวิธีซึ่งส่งผลต่อสมองในระบบประสาทส่วนกลาง เช่น $PM_{2.5}$ สามารถทำลายความสมบูรณ์ของผนังกั้นเลือดและสมอง (Blood-brain barrier: BBB) และ $PM_{2.5}$ ยังสามารถเข้าสู่ทางเดินอาหารได้ ทำให้เกิดความไม่สมดุลในลำไส้ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อโรคของระบบประสาทส่วนกลางได้ ทั้งนี้การศึกษาทางระบาดวิทยาและทางพยาธิวิทยาเกี่ยวกับกลไกการรับสัมผัสของอนุภาค $PM_{2.5}$ และโรคทางระบบประสาทจำเป็นต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมต่อไป

กลุ่มที่มีภาวะความเสี่ยงสูง ได้แก่ เด็ก หญิงมีครรภ์ ผู้สูงอายุและผู้ที่เป็นโรคปอดหรือโรคหัวใจ

ในเด็ก จากงานวิจัยต่าง ๆ ได้ระบุไว้ว่ามลพิษในอากาศขัดขวางการเจริญเติบโตของปอดในเด็กวัยเรียนเมื่อเปรียบเทียบกับผู้ใหญ่แล้ว เด็กจะใช้เวลาอยู่กลางแจ้งเพื่อเล่นกีฬาและทำกิจกรรมนอกบ้านมากกว่า นอกจากนั้นเด็กยังมีอัตราการเป็นโรคหอบหืดและโรคระบบทางเดินหายใจที่รุนแรงมากกว่า ซึ่งโรคเหล่านี้สามารถกำเริบได้เมื่อมีมลพิษทางอากาศที่สูง

หญิงมีครรภ์ จากงานวิจัยต่าง ๆ ได้ระบุไว้ว่าอนุภาคในอากาศที่สูงมีความเชื่อมโยงกับการคลอดก่อนกำหนดซึ่งจะทำให้น้ำหนักทารกแรกคลอดจะต่ำ และอนุภาคในอากาศที่สูงยังเพิ่มความเสี่ยงที่จะเกิดการแท้งบุตรและอัตราการตายของทารกเพิ่มขึ้น

ผู้สูงอายุ ผู้สูงอายุมีความเสี่ยงเนื่องจากระบบภูมิคุ้มกันที่ลดลงและร่างกายที่มักจะอ่อนแอลง ทำให้มีความเสี่ยงเพิ่มมากขึ้นหากมีอาการเกี่ยวกับโรคทางเดินหายใจ โรคหัวใจ

ผู้ที่เป็นโรคปอดหรือโรคหัวใจ เช่น โรคหลอดเลือดหัวใจ ภาวะหัวใจล้มเหลว โรคหอบหืด โรคถุงลมในปอดโป่งพอง โรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง หากมีค่าอนุภาคที่พุ่งสูงขึ้นจะทำให้ผู้ที่เป็นโรคเหล่านี้มีอาการกำเริบหรือรุนแรงมากยิ่งขึ้นได้

2.2.4.2 ความเสี่ยงจากอนุภาคที่เกิดขึ้นต่อปัญหาทางเศรษฐกิจ

ในปี พ.ศ.2562 ได้มีการวิเคราะห์ผลทางเศรษฐกิจในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล จากบทความต่าง ๆ ได้กล่าวระบุไว้ว่า ค่าเสียโอกาสในประเด็นสุขภาพด้านการท่องเที่ยวและอื่น ๆ อยู่ที่ 1.45 หมื่นล้านบาทจากการประเมินผลกระทบที่ได้คาดการณ์ไว้ที่ 2.6 พันล้านบาท ซึ่งเพิ่มขึ้นจากการประเมินเป็นอย่างมาก เนื่องจาก กรอบเวลาที่นานขึ้น ซึ่งในทันทันหมายถึง ปัญหาเหตุการณ์ของ $PM_{2.5}$ มีระยะเวลานานซึ่งส่งผลกระทบต่อเศรษฐกิจทันที ซึ่งไม่เพียงแต่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ที่ต้องมีต้นทุนในการรักษาโรคเท่านั้น อีกทั้งยังมีต้นทุนในการจ่ายเพื่อซื้อหน้ากากอนามัยมาป้องกันอนุภาคซึ่งต้องใช้จ่ายเพิ่มขึ้นเมื่อมีกรอบเวลาที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังมีค่าเสียโอกาสด้านการท่องเที่ยว ทั้งต่อนักท่องเที่ยวไทยและต่างชาติที่ต้องมีการปรับแผนการในการท่องเที่ยว นั้น ยังมีค่าใช้จ่ายอื่น ๆ อีกด้วย

(Teerawat Namcome, 2021) ได้ศึกษาผลกระทบของอนุภาค $PM_{2.5}$ ต่อจำนวนนักท่องเที่ยวต่างชาติในกรุงเทพมหานครในปี พ.ศ.2557-2561 ได้วิเคราะห์โดยใช้แบบจำลอง Multivariate GARCH ในรูปของแบบ Diagonal BEKK จากการศึกษาพบว่าปัญหาอนุภาค $PM_{2.5}$ ส่งผลกระทบต่อให้จำนวนนักท่องเที่ยวลดลงและผลกระทบดังกล่าวจะแตกต่างกันในแต่ละช่วงเวลา โดยเฉพาะในเดือนเมษายนและเดือนพฤษภาคม หากค่าดัชนีอนุภาค $PM_{2.5}$ เพิ่มขึ้นร้อยละ 5 จากค่าเฉลี่ยรายเดือน จะทำให้จำนวนนักท่องเที่ยวในจังหวัดกรุงเทพมหานครลดลง 659,368 คน และเกิดมูลค่าทางเศรษฐกิจที่เสียโอกาสจากนักท่องเที่ยวจำนวน 4,105.13 ล้านบาท

ตารางที่ 2-4 ประเมินมูลค่าทางเศรษฐกิจจังหวัดกรุงเทพมหานครเมื่อดัชนีค่าอนุภาค $PM_{2.5}$ เปลี่ยนแปลง

เดือน	ค่าเฉลี่ยอนุภาค $PM_{2.5}$ ปี พ.ศ.2557-2561 (มคก./ลบ.ม.)	เฉลี่ยจำนวนนักท่องเที่ยว ปี พ.ศ.2557-2561 (คน)	การเปลี่ยนแปลงจำนวนนักท่องเที่ยว (คน)*	มูลค่าทางเศรษฐกิจ (บาท) (จำนวนนักท่องเที่ยว x ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่อคน)**
มกราคม	32.234	217,546	13,543.88	60,820,291.70
กุมภาพันธ์	47.802	201,022	-57,052.87	-256,202,168.22
มีนาคม	80.29	212,203	-50,303.38	-225,892,866.21
เมษายน	54.814	163,787	-68,826.10	-309,071,177.06
พฤษภาคม	25.108	156,594	-37,232.43	-167,196,305.43
มิถุนายน	15.098	147,373	-2,381.90	-10,696,181.49

กรกฎาคม	15.094	168,841	-22,878.60	-102,738,871.68
สิงหาคม	14.67	159,305	-28,071.85	-126,059,712.13
กันยายน	12.638	154,839	-140.32	-630,119.63
ตุลาคม	18.31	146,098	-5,420.72	-24,342,348.76
พฤศจิกายน	19.576	175,264	212,905.71	956,076,529.94
ธันวาคม	25.672	187,845	-59,674.82	-267,976,346.35

*แสดงการเปลี่ยนแปลงจำนวนนักท่องเที่ยว กรณีที่ดัชนีค่าอนุภาค $PM_{2.5}$ เพิ่มขึ้นร้อยละ 5 จากค่าเฉลี่ยรายเดือน

**ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่อคนของนักท่องเที่ยวต่างชาติในกรุงเทพมหานครปี พ.ศ.2561 (กรมการท่องเที่ยว)

ที่มา: (Teerawat Namcome, 2021)

2.2.4.3 ความเสี่ยงจากอนุภาคที่เกิดขึ้นต่อปัญหาด้านทัศนวิสัยในการมองเห็น

อนุภาคสามารถลดความสามารถในการมองเห็นลงได้ เนื่องจากอนุภาคในบรรยากาศทั้งที่เป็นของแข็งและของเหลว สามารถดูดซับและหักเหแสงได้ ทำให้ทัศนวิสัยในการมองเห็นเสื่อมลง ทั้งนี้ขึ้นกับขนาด ความหนาแน่น และองค์ประกอบทางเคมีของอนุภาคนั้น ๆ ด้วยเช่นกัน

(Aman et.al., 2019) ได้ทำการศึกษาวิเคราะห์การมองเห็นในระยะไกลของประเทศไทยในภาคตะวันออก ($53,000 \text{ km}^2$) โดยเน้นพื้นที่ชายฝั่งทะเลภายในเมืองและพื้นที่ที่มีอุตสาหกรรมสูงครอบคลุมช่วงเวลาปี พ.ศ.2524-2558 (9-35 ปี) สำหรับข้อมูลการมองเห็น และข้อมูลคุณภาพอากาศตั้งแต่ พ.ศ.2550-2558 (9-15 ปี) สำหรับสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศที่เลือก ผลที่ได้พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างอนุภาค PM_{10} และทัศนวิสัยการมองเห็นจะลดลงอย่างรุนแรงเมื่ออยู่ในช่วงสภาพอากาศที่แห้งแล้งซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์กันในเชิงลบระหว่างอนุภาค PM_{10} ความชื้นสัมพัทธ์และทัศนวิสัยขึ้นกับทิศทางลมเป็นอย่างมากทั้งนี้ขึ้นกับตำแหน่งของแหล่งกำเนิดมลพิษและปริมาณของมลพิษอากาศ อีกทั้งการก่อตัวของอนุภาคทุติยภูมิก็ส่งผลให้ทัศนวิสัยแย่ลงเช่นกัน ซึ่งการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าทัศนวิสัยที่เสื่อมโทรมลงของภาคตะวันออกได้รับผลกระทบจากมลพิษอากาศและอุตุนิยมวิทยา

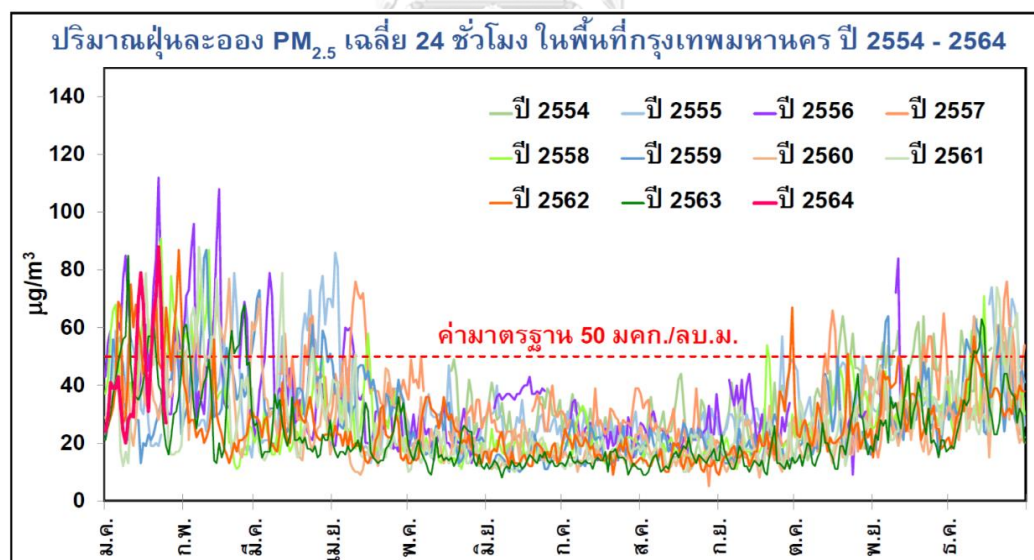
(Wang et.al., 2019) ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ ระหว่างความเข้มข้น $PM_{2.5}$ และความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศ (Relative Humidity: RH) กับ การมองเห็นในเมืองปักกิ่ง ประเทศจีน พบว่าการมองเห็นจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เพิ่มขึ้นในสภาวะอากาศปลอดโปร่งและลดลงอย่างช้า ๆ โดยความเข้มข้น $PM_{2.5}$ สามารถ อธิบายความแปรปรวน 50% ของการมองเห็นในสภาวะอากาศปลอดโปร่งและมีความชื้นสูง ในขณะที่เปอร์เซ็นต์ความแปรปรวนนี้ลดลงเมื่อความ

เข้มข้น $PM_{2.5}$ เกิน $200 \mu g/m^3$ และพบว่า RH มี ผลเพียงเล็กน้อยเมื่อความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เพิ่มขึ้นและ RH เกิน 40% ทศวรรษวิสัยในบรรยากาศมักจะ แสดงความผกผันในสภาวะบรรยากาศมีมลพิษและแบบ เอ็กซ์โปเนนเชียลในสภาวะบรรยากาศปลอดโปร่ง ในการศึกษาที่บ่งบอกได้ว่าทศวรรษวิสัยในบรรยากาศ แยกนอกจากจะสัมพันธ์กับความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ที่เพิ่มขึ้นต้องประกอบกับสภาพทางอุตุนิยมวิทยาอื่น ๆ โดยเฉพาะความชื้นสัมพัทธ์

2.3 สภาวะการณ์มลพิษทางอากาศของกรุงเทพมหานคร

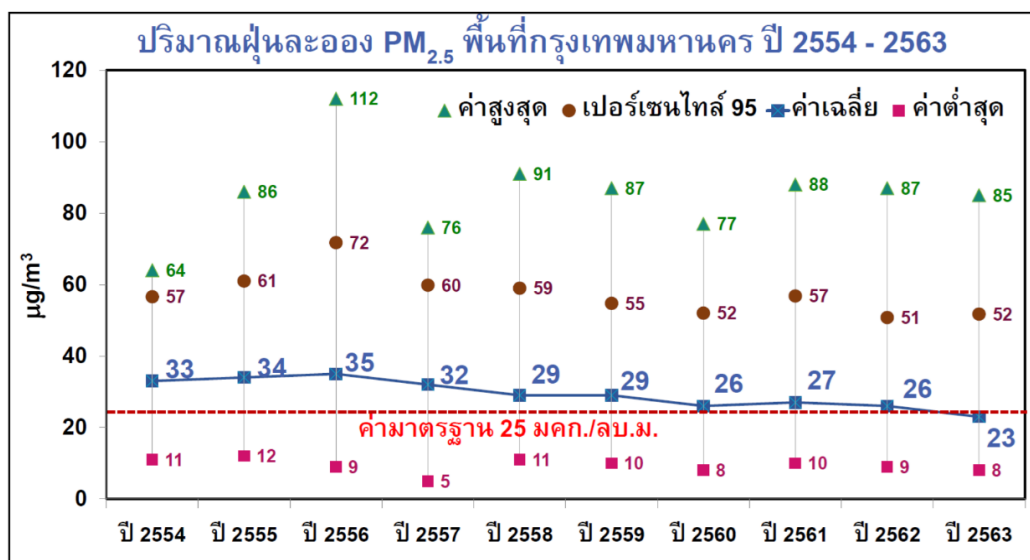
2.3.1 สภาวะการณ์ $PM_{2.5}$ ของกรุงเทพมหานคร

ในภาพรวมของสถานการณ์อนุภาค $PM_{2.5}$ ในกรุงเทพมหานคร ปี พ.ศ.2554-2563 ปริมาณ อนุภาค $PM_{2.5}$ จะเริ่มสูงขึ้นในเดือน มกราคมจนถึงเดือนเมษายนและเดือนพฤศจิกายนจนถึงเดือน ธันวาคมของทุกปี ซึ่งเป็นช่วงรอยต่อของฤดูหนาวเข้าสู่ฤดูร้อน มีสาเหตุหลักมาจากรถยนต์ดีเซลและ จากการจราจร อุตสาหกรรม และการเผาที่โล่งประกอบกับสภาพอุตุนิยมวิทยาที่ไม่เอื้อต่อการ กระจายตัวของอนุภาค $PM_{2.5}$ เช่น ความกดอากาศ การผกผันกลับของอุณหภูมิ (Temperature Inversion) ส่งผลให้การลอยตัวและการกระจายของอนุภาค $PM_{2.5}$ อยู่ในระดับต่ำ ไม่สามารถถ่ายเท ได้ดีส่งผลให้ $PM_{2.5}$ เกินค่ามาตรฐาน



รูปที่ 2-3 ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของอนุภาค $PM_{2.5}$ ในพื้นที่กรุงเทพมหานคร ในปี พ.ศ.2554-2564

ที่มา: ดร.สุพัฒน์ หวังวงศ์วัฒนา ใช้ข้อมูลจาก กรมควบคุมมลพิษ



รูปที่ 2-4 ค่าสถิติปริมาณอนุภาค PM_{2.5} พื้นที่กรุงเทพมหานคร ปี 2554-2563

ที่มา: ดร.สุพัฒน์ หวังวงศ์วัฒนา ใช้ข้อมูลจาก กรมควบคุมมลพิษ

2.3.2 สภาวะการแพร่กระจายของมลสารในอากาศของกรุงเทพมหานคร

2.3.2.1 ข้อมูลสภาวะการแพร่กระจายของสารมลพิษทางอากาศ พ.ศ.2561

ตารางที่ 2-5 สภาวะการแพร่กระจายของสารมลพิษทางอากาศ พ.ศ.2561

สถานี	อนุภาคขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM ₁₀)				อนุภาคขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM _{2.5})			
	ค่าเฉลี่ย 1 ชั่วโมง (มคก./ลบ.ม.)			ค่าเฉลี่ย 1 ปี	ค่าเฉลี่ย 1 ชั่วโมง (มคก./ลบ.ม.)			ค่าเฉลี่ย 1 ปี
	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง>std		ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง>std	
แขวงหิรัญรูจี เขตธนบุรี	117	20	0/315	42	#	#	#	#
แขวงบางนา เขตบางนา	153	13	1/353	42	99	4	19/346	23
แขวงคลองจั่น เขตบางกะปิ	116	10	0/291	41	65	8	7/68	30
แขวงดินแดง เขตดินแดง	74	24	0/34	44	64	12	5/76	30

แขวงช่องนนทรี เขตยานนาวา	136	21	5/62	77	#	#	#	#
แขวงพญาไท เขต พญาไท	128	13	2/360	36	97	6	13/300	20
แขวงพลับพลา เขต วังทองหลาง	119	18	0/322	42	90	8	27/319	25
มาตรฐาน	120			50	50			25
หมายเหตุ: ครึ่ง>std หมายถึง จำนวนครั้งที่เกินมาตรฐาน/จำนวนครั้งที่ตรวจวัด, # หมายถึง ไม่มีการตรวจวัด								

ที่มา : (ส่วนแผนงานสำนักการจัดการคุณภาพอากาศและเสียง, 2561)

2.3.2.2 ข้อมูลสภาวะการณ์การแพร่กระจายของสารมลพิษทางอากาศ พ.ศ.2562

ตารางที่ 2-6 สภาวะการณ์การแพร่กระจายของสารมลพิษทางอากาศ พ.ศ.2562

สถานี	อนุภาคขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM ₁₀)				อนุภาคขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM _{2.5})			
	ค่าเฉลี่ย 1 ชั่วโมง (มคก./ลบ.ม.)			ค่าเฉลี่ย 1 ปี	ค่าเฉลี่ย 1 ชั่วโมง (มคก./ลบ.ม.)			ค่าเฉลี่ย 1 ปี
	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครึ่ง>std		ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครึ่ง>std	
แขวงหิรัญรูจี เขต ธนบุรี	109	14	0/349	44	68	5.00	3/134	25
แขวงบางนา เขต บางนา	129	11	1/365	40	79	4	17/364	21
แขวงคลองจั่น เขต บางกะปิ	124	11	1/358	36	84	4	14/353	21
แขวงดินแดง เขต ดินแดง	113	14	0/170	45	81	7	18/360	24
แขวงช่องนนทรี เขตยานนาวา	127	31	3/283	58	59	5	1/136	24
แขวงพญาไท เขต	102	12	0/365	34	70	5	12/364	21

พญาไท								
แขวงพลับพลา เขต วังทองหลาง	126	19	1/362	45	94	7	23/358	26
มาตรฐาน	120			50	50			25
หมายเหตุ: ครึ่ง>std หมายถึง จำนวนครั้งที่เกินมาตรฐาน/จำนวนครั้งที่ตรวจวัด, # หมายถึง ไม่มีการตรวจวัด								

ที่มา : (ส่วนแผนงานสำนักการจัดการคุณภาพอากาศและเสียง, 2562)

2.3.2.3 ข้อมูลสภาวะการณ์การแพร่กระจายของสารมลพิษทางอากาศ พ.ศ.2563

ตารางที่ 2-7 สภาวะการณ์การแพร่กระจายของสารมลพิษทางอากาศ พ.ศ.2563

สถานี	อนุภาคขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM ₁₀)				อนุภาคขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM _{2.5})			
	ค่าเฉลี่ย 1 ชั่วโมง (มคก./ลบ.ม.)			ค่าเฉลี่ย 1 ปี	ค่าเฉลี่ย 1 ชั่วโมง (มคก./ลบ.ม.)			ค่าเฉลี่ย 1 ปี
	ค่าสูงสุด	ค่า ต่ำสุด	ครึ่ง> std		ค่าสูงสุด	ค่า ต่ำสุด	ครึ่ง>std	
แขวงหิรัญรูจี เขต ธนบุรี	145	15	7/362	44	97	6	24/263	24
แขวงบางนา เขต บางนา	130	10	1/365	34	100	4	17/366	19
แขวงคลองจั่น เขต บางกะปิ	104	12	0/352	35	74	6	9/357	20
แขวงดินแดง เขต ดินแดง	139	12	1/366	34	72	4	13/364	21
แขวงช่องนนทรี เขตยานนาวา	124	16	1/358	45	78	7	14/265	21
แขวงพญาไท เขต พญาไท	101	10	0/366	32	70	3	11/365	19
แขวงพลับพลา เขต วังทองหลาง	114	15	0/365	39	78	7	16/346	22

มาตรฐาน	120	50	50	25
หมายเหตุ: ครึ่ง>std หมายถึง จำนวนครั้งที่เกินมาตรฐาน/จำนวนครั้งที่ตรวจวัด, # หมายถึง ไม่มีการตรวจวัด				

ที่มา : (ส่วนแผนงานสำนักการจัดการคุณภาพอากาศและเสียง, 2563)

จากการตรวจวัดคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษ ในปี พ.ศ.2561-2563 ที่ผ่านมามีค่าอนุภาคขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) มีเพิ่มมากขึ้นในปี พ.ศ.2561 ลดลงในปี พ.ศ.2562 และมีจำนวนวันที่มีค่าเกินมาตรฐานเพิ่มมากขึ้นในปี พ.ศ.2563 ประกอบกับที่มีการตรวจวัดตลอดทั้งปีที่มีเพิ่มมากขึ้นในสถานี่ต่าง ๆ ได้แก่ สถานีแขวงทริธูริ เขตธนบุรีและสถานีแขวงช่องนนทรี เขตยานนาวา เป็นต้น และการเพิ่มขึ้นของวันที่เกินค่ามาตรฐานของอนุภาคขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนในปีดังกล่าวและสถานี่ที่เกินค่ามาตรฐานหลายวันส่วนใหญ่ในทุก ๆ ปี ได้แก่ สถานีแขวงบางนา เขตบางนา, สถานีแขวงดินแดง เขตดินแดง สถานีแขวงพญาไท เขตพญาไท และสถานีแขวงพลับพลา เขตวาทองกลาง ซึ่งสถานี่เหล่านี้เป็นพื้นที่ตั้งของเขตเศรษฐกิจ มีการทำงานของผู้คนทำให้มีการจราจรที่หนาแน่นจึงส่งผลให้มีค่าอนุภาคเกินมาตรฐาน ทั้งนี้ในปี พ.ศ.2563 อาจเกี่ยวข้องกับการที่มีการระบาดของไวรัส COVID-19 ทำให้ในช่วงปี พ.ศ.2563 อาจมีการผันแปรของความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ที่เกินมาตรฐานแตกต่างกันกับช่วงเวลาในปีที่ผ่านมา ๆ มาเนื่องจากมีการล็อกดาวน์ภายในเขตกรุงเทพมหานครทำให้รูปแบบกิจกรรมเปลี่ยนไปจากในอดีต

จากงานวิจัยของ (Dejchanchaiwong, 2021) ได้ทำการศึกษาผลกระทบของการปิดเมืองที่เกิดจาก Coronavirus ต่อ $PM_{2.5}$ และความเข้มข้นของก๊าซมลพิษในกรุงเทพฯ ค่าความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ก่อนและหลังช่วงวิกฤต COVID-19 ในพื้นที่ถนนทั่วไป เช่น ถนนกาญจนาภิเษก ถนนดินแดง และถนนที่เป็นพื้นที่เศรษฐกิจเช่น ถนนพญาไท บางนา ในกรุงเทพฯ พบว่าในพื้นที่เศรษฐกิจมีความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เพิ่มขึ้น 16.7% และพื้นที่ทั่วไปความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ลดลง 11.1% เมื่อเทียบระหว่างปี พ.ศ.2562 และ พ.ศ.2563 ที่มีภาวะ COVID-19 จึงทำให้ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ในปี พ.ศ.2563 ลดลงจากปี พ.ศ.2562 การเพิ่มขึ้นของระดับ $PM_{2.5}$ ระหว่างการปิดเมืองเป็นผลกระทบภายนอก แม้ว่าแหล่งที่มาในท้องถิ่นจะเปลี่ยนไปอย่างมีนัยสำคัญก็ตาม ค่าของอัตราส่วน OC/EC ในอนุภาคละเอียดและ The backward trajectory ยืนยันว่าค่าสูงสุดของระดับ $PM_{2.5}$ ได้รับผลกระทบจากการพัดพาอนุภาคข้ามพรมแดนและในพื้นที่จากการเผาไหม้มวลชีวภาพในที่โล่ง ดังนั้นจึงเป็นที่ชัดเจนว่าการจราจรบนท้องถนน รวมถึงอุตสาหกรรมหรือกิจกรรมอื่นๆ ของมนุษย์ ไม่ได้เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลมากที่สุดต่อระดับ $PM_{2.5}$ ที่สูงในกรุงเทพฯ ในสภาวะปกติ แนวทางแก้ไขที่เป็นไปได้ในการลดแหล่งที่มาของมลพิษทางอากาศในกรุงเทพฯ ได้แก่ การนำเครื่องจักรขนาดเล็กมาใช้ในการเก็บเกี่ยวอ้อยเพื่อลดการเผาไหม้มวลชีวภาพ การนำมาตรฐานที่สูงขึ้นมาใช้ในการควบคุมการปล่อย

เครื่องยนต์ดีเซล และข้อตกลงและการดำเนินการร่วมกันระหว่างสมาชิกอาเซียนในการลดหมอกควันข้ามแดน

2.3.3 แหล่งกำเนิดมลพิษ PM_{2.5} ของกรุงเทพมหานคร

จากงานวิจัย (Kim Oanh, 2563) ได้ระบุไว้ว่าในปี พ.ศ.2561 มีแหล่งกำเนิดของ PM_{2.5} ได้ตามลำดับดังนี้ 1) ยานพาหนะและการขนส่ง (On-road transportation) 73% 2) ภาคอุตสาหกรรม (Industry) 17% 3) การเผาวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร (CROB) 4% 4) การระบายมลพิษจากแหล่งกำเนิดอื่น ๆ เช่น เครื่องยนต์ที่ไม่ได้ใช้บนท้องถนน (Non-road) พื้นที่อยู่อาศัยและอื่น ๆ (Others) 6% และการระบายมลพิษจากประเภทของยานพาหนะต่าง ๆ ร้อยละ 73 มีรายละเอียดสัดส่วนของการปลดปล่อยมลพิษสูงสุดมาจากการใช้เครื่องยนต์ดีเซล ได้แก่ รถบรรทุกร้อยละ 39 รถยนต์ปิกอัพ ร้อยละ 29 รถยนต์ส่วนบุคคลร้อยละ 14 และรถบัสร้อยละ 9 และแบ่งย่อยตามชนิดของยานพาหนะแต่ละประเภทที่มีการปลดปล่อย PM_{2.5} ดังนี้

1. รถบรรทุก ปลดปล่อย PM_{2.5} ประเภท Diesel Pre-Euro ร้อยละ 49, Diesel Euro 3 ร้อยละ 29, Diesel Euro 2 ร้อยละ 18, Diesel Euro 1 ร้อยละ 4
2. รถยนต์ปิกอัพ ปลดปล่อย PM_{2.5} ประเภท Diesel Pre-Euro ร้อยละ 38, Diesel Euro 3 ร้อยละ 17, Diesel Euro 1 ร้อยละ 16, Diesel Euro 4 ร้อยละ 15 และ Diesel Euro 2 ร้อยละ 14
3. รถยนต์ส่วนบุคคล ปลดปล่อย PM_{2.5} ประเภท Diesel Pre-Euro ร้อยละ 44, Diesel Euro 3 ร้อยละ 16, Diesel Euro 4 ร้อยละ 14, Gasoline ร้อยละ 10, Diesel Euro 1 ร้อยละ 8, Diesel Euro 2 ร้อยละ 7
4. รถบัส ปลดปล่อย PM_{2.5} ประเภท Diesel Pre-Euro ร้อยละ 42, Diesel Euro 3 ร้อยละ 32, Diesel Euro 2 ร้อยละ 17, Gasoline ร้อยละ 6, Diesel Euro 1 ร้อยละ 3

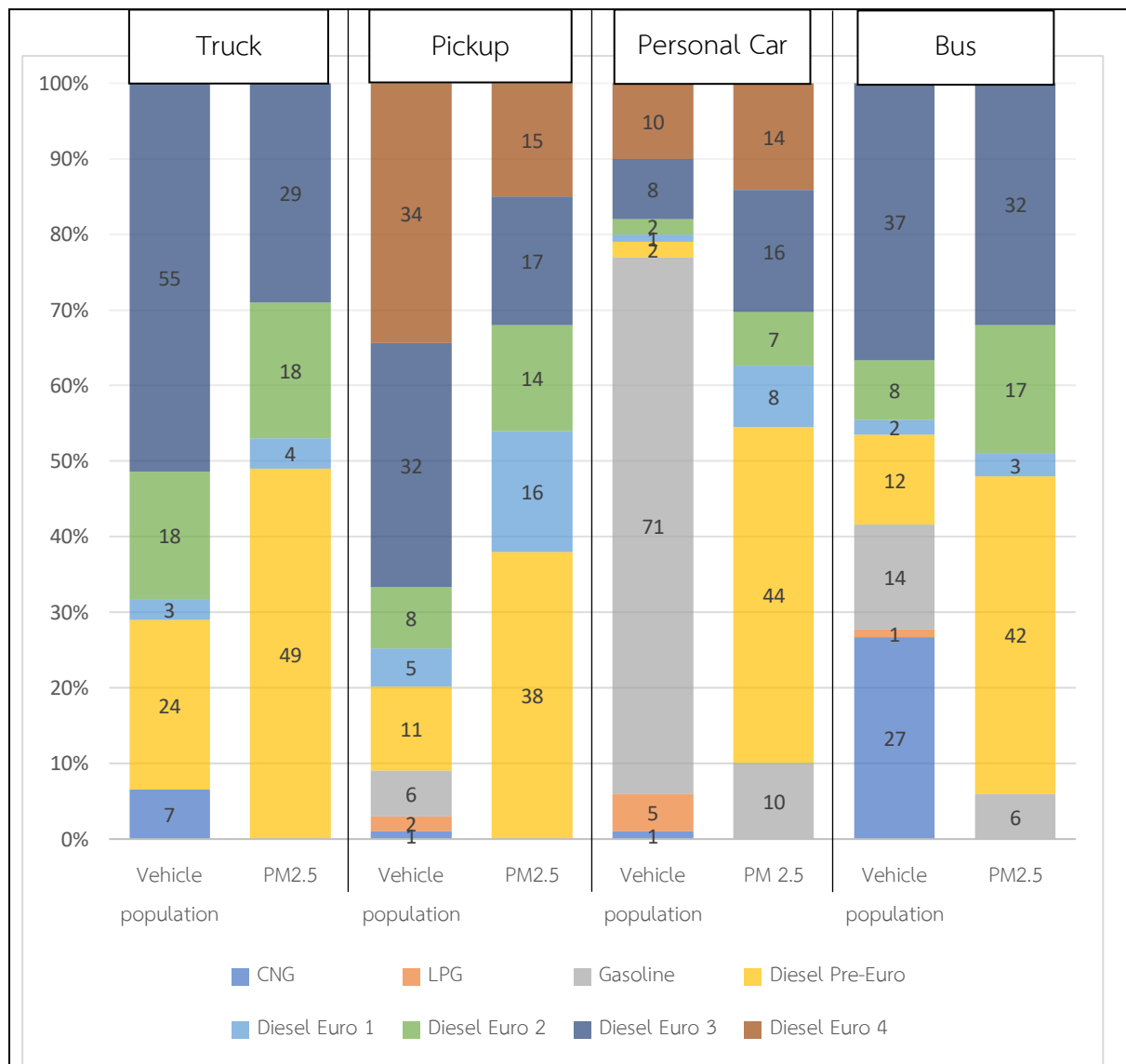
โดยมีการควบคุมมลพิษจากยานพาหนะเครื่องยนต์ดีเซลภายใต้มาตรฐานการควบคุมการปลดปล่อยมลพิษของยานยนต์ Pre-Euro แบ่งได้ 2 กรณี ดังนี้ 1) มาตรฐานไอเสีย Euro 5 และ 2) มาตรฐานไอเสีย Euro 6 ทั้งนี้จะถูกแทนที่ด้วย Pre-Euro

ตารางที่ 2-8 แสดงถึงบัญชีการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศรายปีของแต่ละแหล่งกำเนิดในกรุงเทพมหานคร ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้สนใจในส่วนมลพิษ PM_{2.5} ในส่วนการจราจร (Transportation) พบว่ามาจากการจราจรบนพื้นถนน (On-road) 12.43 Gg/yr การจราจรที่ไม่ได้มาจากบนท้องถนน (Non-road) เช่น จากระบบไฟฟ้า เรือ เป็นต้น 0.24 Gg/yr และจากรูปที่ 2-5 พบว่ารถยนต์ทั้ง 4 ประเภท ได้แก่ รถยนต์ส่วนบุคคล (2%) รถยนต์ปิกอัพ (11%) รถบรรทุก (24%) และรถบัส (12%) ที่ใช้เครื่องยนต์ Pre-Euro มีการปลดปล่อยอนุภาค PM_{2.5} มากที่สุด ถึงแม้ว่าจะมีปริมาณรถยนต์ที่น้อย

เนื่องจากเครื่องยนต์ Pre-Euro เป็นช่วงเวลาก่อนที่จะมีการควบคุมมาตรฐานไอเสียอุตสาหกรรมยานยนต์ จึงทำให้มีการปลดปล่อยมลพิษออกมาในปริมาณมากกว่ารถยนต์ที่มีการควบคุมมาตรฐานไอเสีย (European Emission Standards: EURO) ซึ่งในปัจจุบันก็มีการพัฒนามาตรฐาน EURO ให้มีการปลดปล่อยมลพิษจากยานยนต์ลดลงมาเรื่อย ๆ จนถึงปัจจุบัน ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาแหล่งกำเนิดจากการจราจรเนื่องจากเป็นแหล่งกำเนิดที่มีความสำคัญมากที่สุดในกรุงเทพมหานครที่มีแหล่งกำเนิดของ $PM_{2.5}$ จากยานพาหนะและการขนส่ง (On-road transportation) ที่สูงสุดเท่ากับ 73%



รูปที่ 2-5 สัดส่วนการกระจาย $PM_{2.5}$ แบ่งตามชนิดของยานพาหนะแต่ละประเภท



ที่มา: Adapted from (Kim Oanh, 2563)

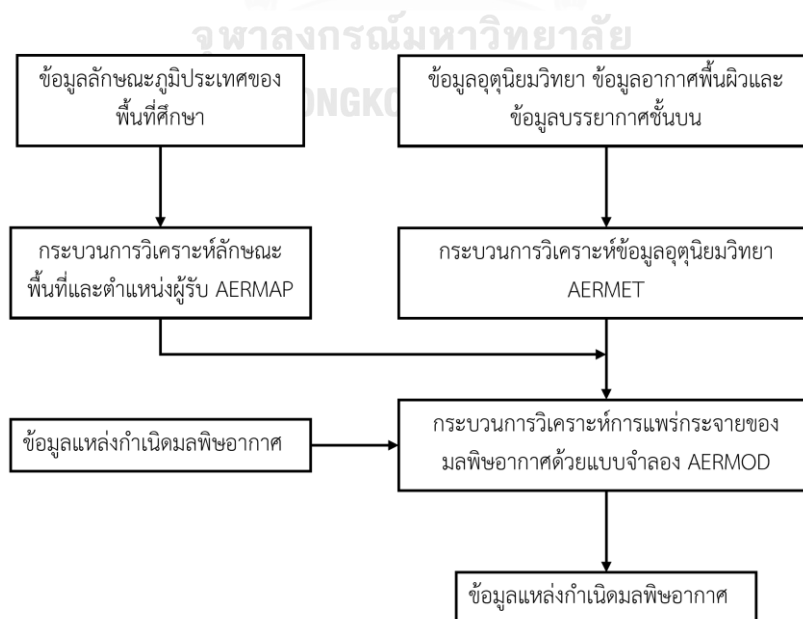
2.3.4 การจำแนกอนุภาค $PM_{2.5}$ ในบรรยากาศตามแหล่งที่มาของกรุงเทพมหานคร

การจำแนกแหล่งกำเนิดของมลพิษอากาศเป็นหนึ่งในวิธีการที่สำคัญในการจัดการคุณภาพอากาศ เพื่อให้ทราบถึงสัดส่วนของแหล่งที่มาของมลพิษอากาศเพื่อที่จะสามารถลด แก้ไขและจัดการมลพิษอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพ แบบจำลองผู้รับมลพิษ (Receptor model) เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการวิเคราะห์แหล่งกำเนิดมลพิษอากาศซึ่งใช้ลักษณะทางเคมีและกายภาพของฝุ่นละอองที่ตรวจวัดได้ในการประเมิน โดยองค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา (US.EPA) ได้พัฒนาและยอมรับแบบจำลองผู้รับมลพิษ ได้แก่ Chemical Mass Balance (CMB) และ Positive Matrix Factorization (PMF) ซึ่งทั้ง 2 แบบจำลองนี้จะใช้ข้อมูลจากการตรวจวัดฝุ่นละอองและองค์ประกอบด้านเคมีที่แหล่งกำเนิดมลพิษ (Source) หลาย ๆ แหล่งที่คาดว่าจะทำให้เกิดภาวะปนเปื้อนฝุ่นละอองบริเวณจุดรับ (Receptor) (US.EPA)

(Chuersuwan และคณะ, 2008) มีวัตถุประสงค์เพื่อระบุแหล่งที่มาสำคัญของ PM_{10} และ $PM_{2.5}$ ในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล โดยได้มีการเก็บตัวอย่างในพื้นที่ถนนดินแดงแสดงถึงความหนาแน่นจากการจราจร บริเวณบางนาแสดงถึงพื้นที่ประชากรอาศัยน้อยและตัวอย่างพื้นที่ที่อยู่อาศัย 2 แห่ง ได้แก่ จันทน์เกษม และบ้านสมเด็จ ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ.2545 ถึงมกราคม พ.ศ. 2546 ที่แตกต่างกันตามฤดูกาลระหว่างฤดูและและฤดูฝน โดยใช้วิธีการ Receptor model ซึ่งผลที่ได้พบว่าในฤดูร้อนฝุ่นละอองจะมีมากกว่าในฤดูฝนเนื่องจากการเผาชีวมวลประกอบกับไม่มีการเจือจางจากฝน แหล่งที่มาหลักของ $PM_{2.5}$ จากจุดตัวอย่างดินแดงมาจากการจราจรและการเผาชีวมวล คิดเป็น 32% และ 26% ตามลำดับ ในพื้นที่อยู่อาศัย 4% ฝุ่นจากถนน 1% อนุภาคทุติยภูมิ 0.1% และอื่น ๆ อีก 37% และในพื้นที่อยู่อาศัยทั้ง 2 แห่งพบว่าแหล่งกำเนิดหลักของ $PM_{2.5}$ มาจากการเผาชีวมวล 41% จากการจราจร 29% ฝุ่นจากถนน 2% อนุภาคทุติยภูมิ 0.1% และอื่น ๆ อีก 28% และในบริเวณบางนาที่ประชากรน้อยพบว่ามาจากที่อยู่อาศัย 31% การจราจร 10% การเผาชีวมวล 6% ฝุ่นจากถนน 5% อนุภาคทุติยภูมิ 1% และอื่น ๆ อีก 47%

2.4 หลักการทำงานของแบบจำลองคุณภาพอากาศ AERMOD

แบบจำลองคุณภาพอากาศ AERMOD (The American Meteorological Society/Environmental Protection Agency Regulatory Model Improvement Committee's Dispersion Model) เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการสร้างแบบจำลองคุณภาพอากาศที่ได้รับการพัฒนาขึ้นในประเทศสหรัฐอเมริกาในปี ค.ศ.1991 โดยมีแบบจำลองคุณภาพอากาศ ISC (Industrial source complex model) เป็นต้นแบบในการพัฒนาซึ่งใช้ความรู้เรื่องชั้นบรรยากาศที่ติดกับผิวโลกเป็นหลัก โดยแบ่งออกเป็นบรรยากาศที่อากาศเคลื่อนที่ของมวลอากาศเนื่องมาจากการพาความร้อน หรือ Convective boundary layer (CBL) และชั้นบรรยากาศที่ไม่ได้รับอิทธิพลจากการพาความร้อนโดยจะได้รับผลจากแรงเสียดทานจากผิวโลก หรือ Stable boundary layer (SBL) โดยแบบจำลองคุณภาพอากาศ AERMOD จะสมมติว่าในชั้น SBL มีการแพร่กระจายความเข้มข้นแบบ Gaussian ในแนวระดับแต่ในแนวดิ่งจะมีการแพร่กระจายแบบ Bi-Gaussian (วราวุธ เสือดี, 2551) โดยแบบจำลองคณิตศาสตร์ AERMOD มีโปรแกรมย่อยที่จำเป็นในการช่วยจัดเรียงข้อมูลด้วยกันคือ โปรแกรม AERMET ซึ่งจะเป็นการใช้ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาและโปรแกรม AERMAP ซึ่งจะเป็นข้อมูลทางด้านความสูงของพื้นที่ โดยแบบจำลองคณิตศาสตร์ AERMOD มีหลักการทำงานดังแสดงในรูปที่ 2-6 โดยหลักการทำงานเริ่มต้นจากการนำข้อมูลลักษณะพื้นที่และข้อมูลตำแหน่งเข้าสู่โปรแกรมย่อย AERMAP และนำข้อมูลอุตุนิยมวิทยาเข้าสู่โปรแกรม AERMET แล้วนำข้อมูลที่ได้จากการประมวลผลของโปรแกรม AERMAP และโปรแกรม AERMET เข้าสู่โปรแกรม AERMOD เพื่อทำการประเมินการแพร่กระจายความเข้มข้นมลพิษอากาศ



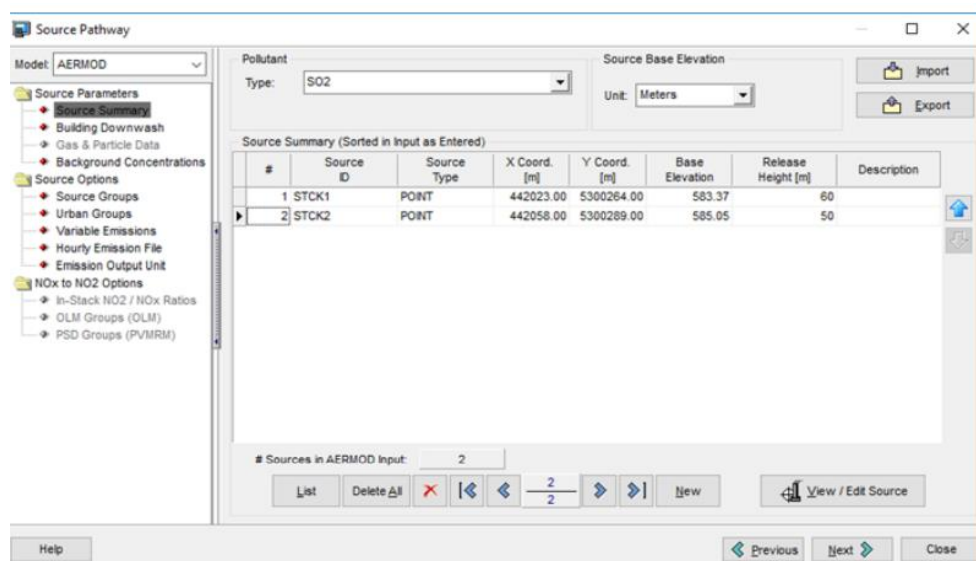
รูปที่ 2-6 แสดงถึงการทำงานของแบบจำลอง AERMOD

2.4.1 ข้อมูลแหล่งกำเนิดมลพิษอากาศ (Source Pathway)

ฟังก์ชันข้อมูลแหล่งกำเนิดมลพิษอากาศในการใช้งานสำหรับการนำเข้าแบบจำลอง AERMOD มีดังนี้

1. Source Summary

เป็นฟังก์ชันที่ใช้ในการระบุข้อมูลเกี่ยวกับแหล่งกำเนิดมลพิษ จำนวนของแหล่งกำเนิดมลพิษ ชนิดของมลพิษ และข้อมูลระดับความสูงของแหล่งกำเนิดมลพิษ ซึ่งข้อมูลแต่ละแหล่งกำเนิดประกอบด้วยข้อมูลดังนี้



รูปที่ 2-7 แสดงถึงหน้าต่าง Source Pathway ในแบบจำลอง AERMOD

ที่มา: (Tesse และคณะ, 2017)

- Source ID: จำนวนของแหล่งกำเนิดแต่ละแหล่งจะแสดง ID ที่แตกต่างกันที่ไว้ระบุแหล่งกำเนิดนั้น ๆ
- Source Type: ชนิดของมลพิษอากาศ
- Release Type: แสดงถึงชนิดของแหล่งกำเนิดมลพิษนั้น ๆ ถ้าหากกำหนดแหล่งกำเนิดแบบจุด (ทั้งแบบแนวตั้ง (Vertical), แบบครอบ (Capped), หรือแนวนอน (Horizontal)) เมื่อมีการใช้แหล่งกำเนิดแบบแนวนอน (Horizontal Releases)
- Base Elevation: ระดับความสูงของแหล่งกำเนิดแต่ละแหล่ง
- Description: คำอธิบายสำหรับแหล่งกำเนิดแต่ละแหล่ง
- Location of Source X and Y coordinates: ตำแหน่งพิกัด X และ Y สำหรับแหล่งกำเนิดมลพิษแต่ละประเภทที่จะระบุดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2-9 ตำแหน่งสำหรับพิกัด X และ Y ของแหล่งกำเนิดมลพิษแต่ละชนิด

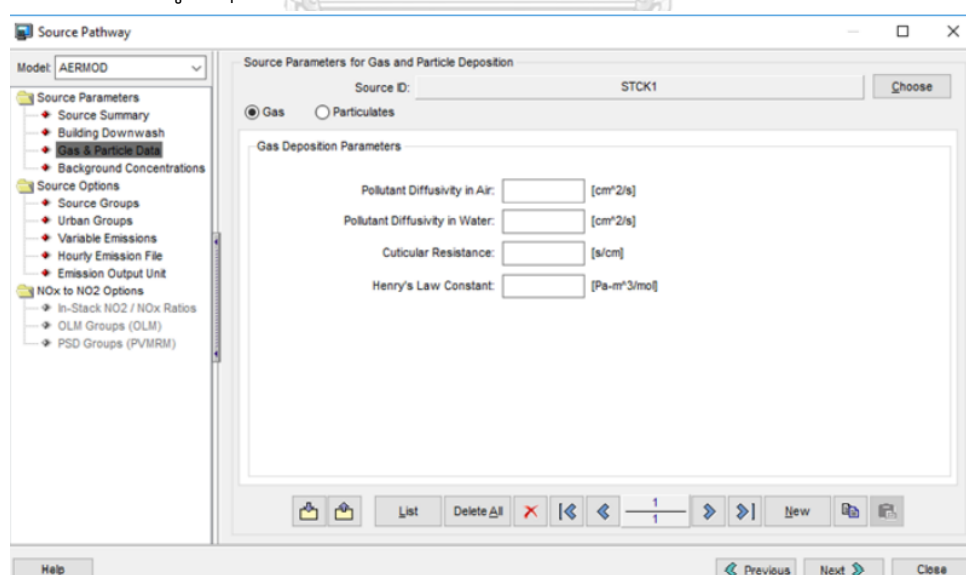
ชนิดของแหล่งกำเนิดมลพิษ	ตำแหน่งสำหรับพิกัด X และ Y
POINT	จุดศูนย์กลางของแหล่งกำเนิดมลพิษ
VOLUME	จุดศูนย์กลางของแหล่งกำเนิดมลพิษ
AREA	มุมตะวันตกเฉียงใต้
OPEN PIT	มุมตะวันตกเฉียงใต้
AREA CIRC	จุดศูนย์กลางของแหล่งกำเนิดมลพิษ
AREA POLY	จุดยอดแรกที่กำหนดไว้สำหรับรูปหลายเหลี่ยม
FLARE	จุดศูนย์กลางของแหล่งกำเนิดมลพิษ
LINE	จุดแรกที่กำหนดไว้สำหรับแหล่งกำเนิดแบบเส้น

หมายเหตุ: พิกัดแหล่งกำเนิดสำหรับ POLY และ LINE มีไว้สำหรับจุดยอดหรือจุดแรกที่ใช้กำหนด

ที่มา: (Tesse และคณะ, 2017)

2. Gas & Particle Data

ในส่วนนี้เป็นการระบุข้อมูลก๊าซและอนุภาค โดยสามารถระบุข้อมูลลักษณะของก๊าซ (Gas phase options) และข้อมูลอนุภาค (Particle data) ได้ดังนี้



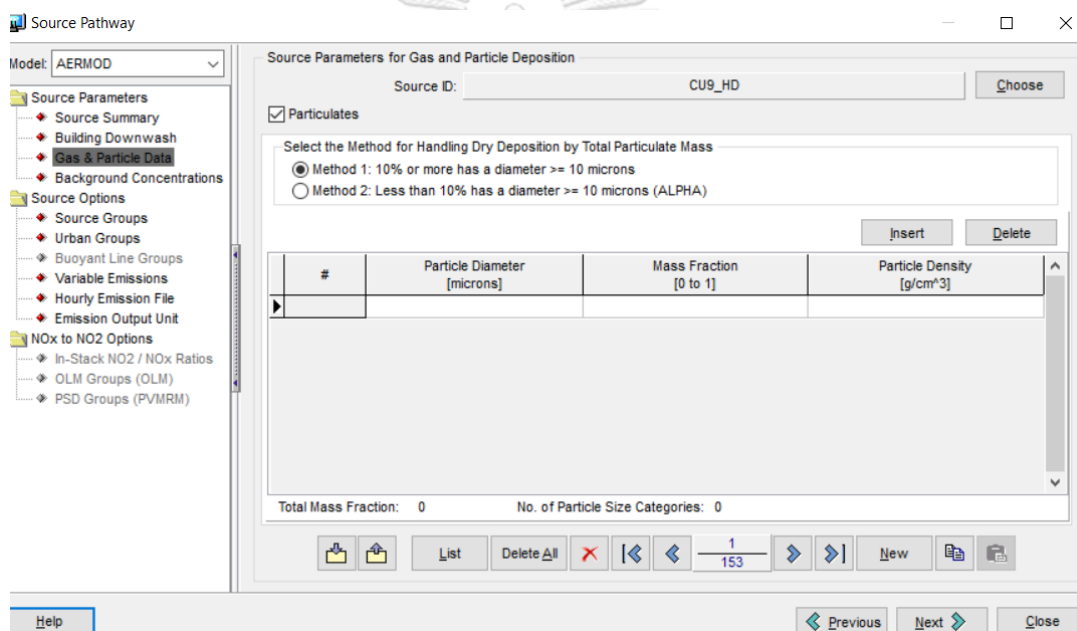
รูปที่ 2-8 แสดงถึงหน้าต่าง Gas & Particle Data ในแบบจำลอง AERMOD

ที่มา: (Tesse และคณะ, 2017)

1. ตัวเลือกเฟสของก๊าซ (Gas phase options) โดยในแบบจำลอง AERMOD ต้องการข้อมูลดังนี้

- Pollutant Diffusivity in Air
- Pollutant Diffusivity in Water
- Cuticular Resistance
- Henry's Law Constant

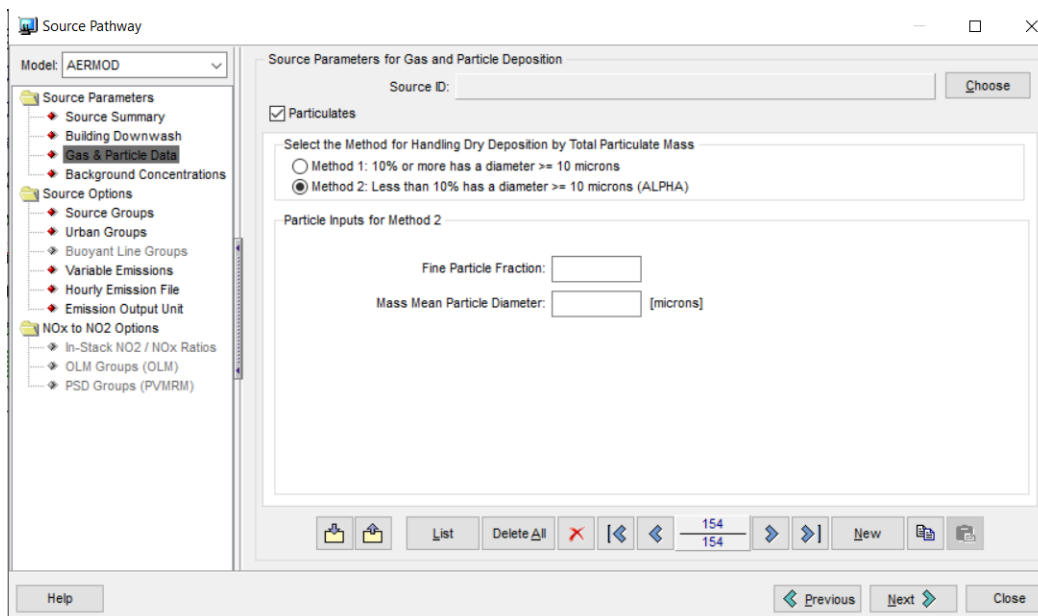
2. แบบจำลอง AERMOD ประกอบไปด้วย 2 วิธีในการกำหนด Particle data ซึ่งเป็นวิธีคำนวณการตกสะสมของอนุภาคอากาศของมลพิษ (Dry deposition of particulate emissions)



รูปที่ 2-9 แสดงถึงหน้าต่างวิธีการที่ 1: เส้นผ่านศูนย์กลางของ Particle ที่ 10% หรือมากกว่าในการกำหนด Particle data ในแบบจำลอง AERMOD
ที่มา: (Tesse และคณะ, 2017)

วิธีที่ 1

วิธีนี้เลือกใช้เมื่อสัดส่วนของมวลอนุภาคร้อยละ 10 หรือมากกว่า มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 10 ไมครอนหรือใหญ่กว่า 10 ไมครอน



รูปที่ 2-10 แสดงถึงหน้าต่างวิธีการที่ 1: เส้นผ่านศูนย์กลางของ Particle ที่น้อยกว่า 10% ในการกำหนด Particle data ในแบบจำลอง AERMOD

ที่มา: (Tesse และคณะ, 2017)

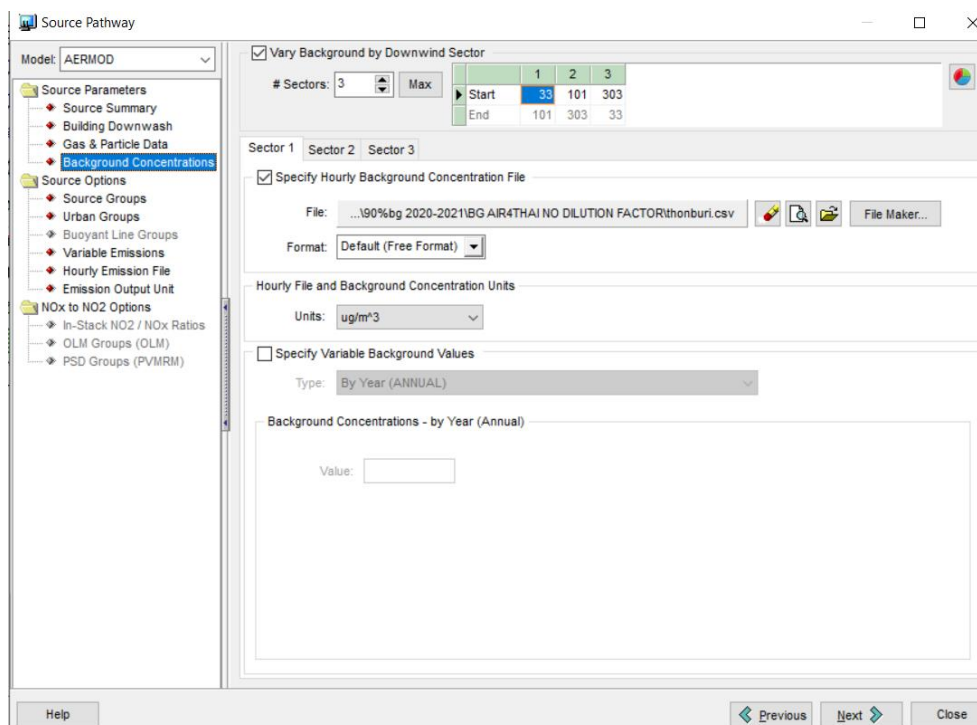
วิธีที่ 2

วิธีนี้ใช้เมื่อไม่ทราบการกระจายขนาดอนุภาคและเศษส่วนเล็ก ๆ (น้อยกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ของมวล) อยู่ในอนุภาคที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 ไมครอนหรือใหญ่กว่า

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

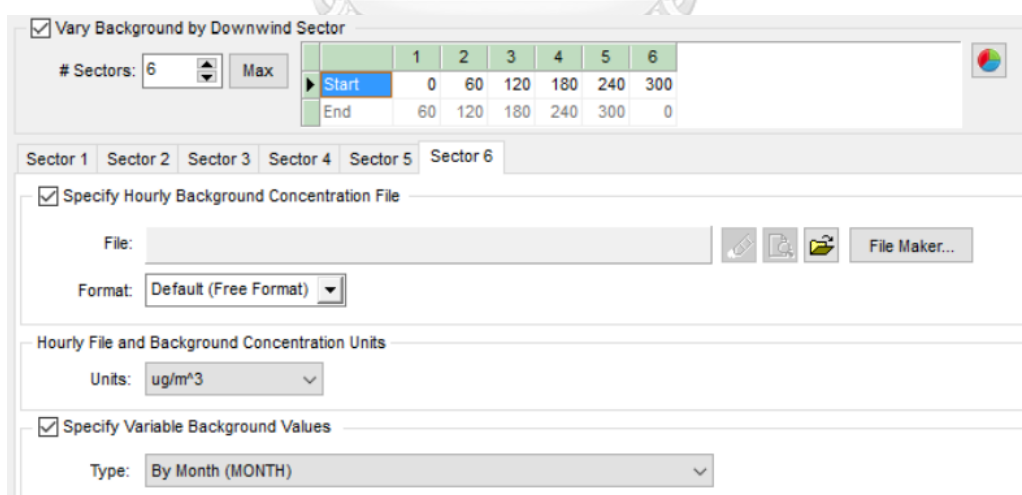
3. ความเข้มข้นมลพิษพื้นหลัง (Background Concentrations)

เป็นฟังก์ชันหนึ่งของแบบจำลอง AERMOD ในการระบุความเข้มข้นมลพิษอากาศที่พัฒามาจากพื้นที่นอกบริเวณศึกษาซึ่งสามารถกำหนดลักษณะความเข้มข้นมลพิษที่พัฒมาได้ 2 รูปแบบ ได้แก่ พัดพอย่างสม่ำเสมอและพัดพาตามการแปรผันตามเวลาได้ ซึ่งในแบบจำลองสามารถเลือกฟังก์ชันได้ดังนี้

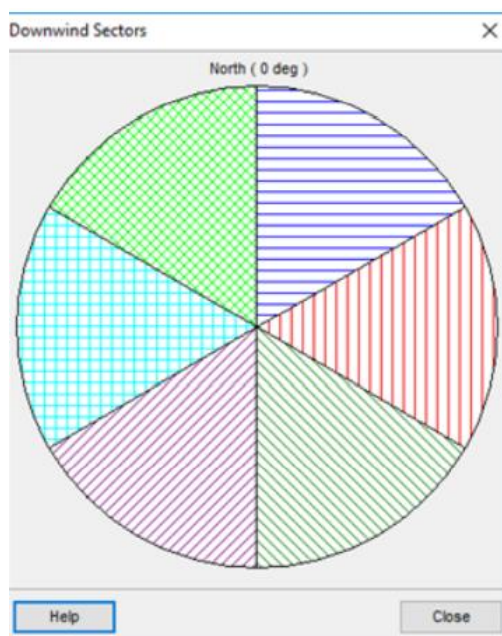


รูปที่ 2-11 แสดงถึงหน้าต่าง Background Concentration ในแบบจำลอง AERMOD
ที่มา: (Tesse และคณะ, 2017)

1. Vary Background concentration by Downwind Sector: ระบุความเข้มข้นมลพิษพื้นหลังตามผังลม (Downwind Sector)



รูปที่ 2-12 แสดงถึงหน้าต่าง Vary Background concentration by Downwind Sector ในแบบจำลอง AERMOD
ที่มา: (Tesse และคณะ, 2017)



รูปที่ 2-13 แสดงถึงหน้าต่างตัวอย่าง Downwind Sector ในแบบจำลอง AERMOD
ที่มา: (Tesse และคณะ, 2017)




2. Specify Variable Background Values

แบบจำลอง AERMOD สามารถเลือกใช้ค่าความผันแปรของมลพิษได้ดังต่อไปนี้

- ความผันแปรรายปี (ANNUAL - annual background value (n=1))
- ความผันแปรตามฤดูกาล (SEASON- background values vary seasonally (n=4))
- ความผันแปรรายเดือน (MONTH - background values vary monthly (n=12))
- ความผันแปรรายชั่วโมงในแต่ละวัน (HROFDY - background values vary by hour-of-day (n=24))
- ความผันแปรตามความเร็วลม (WSPEED - background values vary by wind speed (n=6))
- ความผันแปรตามฤดูกาลและชั่วโมงในแต่ละวัน (SEASHR - background values vary by season and hour-of-day (n=96))
- ความผันแปรตามชั่วโมงในแต่ละวันและวันในแต่ละสัปดาห์ (HRDOW - background values vary by hour-of-day, and day-of-week [M-F, Sat, Sun])

- h. ความผันแปรตามชั่วโมงในแต่ละวันและใน 7 วันของสัปดาห์ (HRDOW7 – background values vary by hour-of-day, and the seven days of the week [M, Tu, W, Th, F, Sat, Sun] (n=168))
- i. ความผันแปรตามฤดูกาล แต่ละชั่วโมงใน 1 วันและวันในสัปดาห์ที่แบ่งเป็น 3 ประเภท ได้แก่ วันจันทร์-ศุกร์, เสาร์, และอาทิตย์ (SHRDOW – background values vary by season, hour-of-day, and day-of-week [M-F, Sat, Sun] (n=288))
- j. ความผันแปรตามฤดูกาล ในแต่ละชั่วโมงของ 1 วันและในแต่ละวันตลอดสัปดาห์ (SHRDOW7 – background values vary by season, hour-of-day, and the seven days of the week [M, Tu, W, Th, F, Sat, Sun] (n=672))
- k. ความผันแปรในแต่ละเดือน ในแต่ละชั่วโมงตลอด 1 วันและวันในสัปดาห์ที่แบ่งเป็น 3 ประเภท ได้แก่ วันจันทร์-ศุกร์, เสาร์, และอาทิตย์ (MHRDOW – background values vary by month, hour-of-day, and day-of-week [M-F, Sat, Sun] (n=864))
- l. ความผันแปรในแต่ละเดือน ในแต่ละชั่วโมงตลอด 1 วันและในแต่ละวันตลอดสัปดาห์ (MHRDOW7 – background values vary by month, hour-of-day, and the seven days of the week [M, Tu, W, Th, F, Sat, Sun] (n=2,016))

Month	Concentration
January	8.0
February	8.0
March	8.0
April	8.0
May	8.0
June	8.0
...	8.0

Value:   

รูปที่ 2-14 แสดงถึงตัวอย่างหน้าต่าง Specify Variable Background Values ในแบบจำลอง AERMOD

ที่มา: (Tesse และคณะ, 2017)

4. Source Groups

ฟังก์ชัน Source group ในแบบจำลอง AERMOD ใช้ในการจัดกลุ่มแหล่งกำเนิดรวมกันได้ โดยสามารถจัดกลุ่มแหล่งกำเนิดรวมกันมากกว่า 1 กลุ่มในแต่ละครั้งได้ ซึ่งผลที่นอกเหนือจากผลคำนวณ

การแพร่กระจายจากทุกแหล่งกำเนิดแล้วแบบจำลองจะแสดงผลคำนวณให้สำหรับแต่ละกลุ่มแหล่งกำเนิดที่ได้กำหนดขึ้นด้วย

5. Variable Emissions

ฟังก์ชันในการระบุความแปรผันของอัตราการปลดปล่อยมลพิษสำหรับแหล่งกำเนิดแต่ละแหล่ง โดยมีประเภทในการกำหนดความผันแปรการปลดปล่อยมลพิษแตกต่างกันไปตามสถานการณ์ดังต่อไปนี้

รายฤดูกาล (By Season)

รายเดือน (By Month)

ชั่วโมงต่อวัน (By Hour-of-Day)

ความเร็วลม (By Wind Speed)

ฤดูกาล/ชั่วโมง (By Season/Hour)

ฤดูกาล/ชั่วโมง/วัน (By Season/Hour/Day)

ฤดูกาล/ชั่วโมง/7 วันในสัปดาห์ (By Season/Hour/Seven Days)

เดือน/ชั่วโมง/วัน (By Month/Hour/Day)

เดือน/ชั่วโมง/7 วันในสัปดาห์ (By Month/Hour/Seven Days)

ชั่วโมงในวัน/วันในสัปดาห์ (By Hour-of-Day/Day of Week)

ชั่วโมงในวัน/7 วันในสัปดาห์ (By Hour-of-Day/Seven Days)

6. หน่วยแสดงผลของอัตราการปลดปล่อยมลพิษ (Emission Output Unit)

แบบจำลอง AERMOD สามารถกำหนดหน่วยแสดงผลของอัตราการปลดปล่อยมลพิษได้ ซึ่งทั้งนี้แบบจำลอง AERMOD มีค่าที่กำหนดให้ดังตารางที่ 2-10 และก็สามารถกำหนดหน่วยในการปลดปล่อยมลพิษเองได้ เช่น ต้องการกำหนด Deposition rate ที่มีค่าน้อยมาก ๆ ก็สามารถกำหนดเป็นหน่วย Microgram / m² ได้เป็นต้น

ตารางที่ 2-10 ตารางแสดงหน่วยของอัตราการปลดปล่อยมลพิษที่จากแบบจำลอง AERMOD

ประเภทของแหล่งกำเนิดมลพิษ (Source Type)	หน่วยของมลพิษที่นำเข้า (Input Unit)	หน่วยของความเข้มข้นมลพิษที่แสดงผล (Output Unit Concentration)	หน่วยของมลพิษที่เกิดการตกสะสม (Output Unit Deposition)
POINT และ VOLUME	Grams/sec	Micrograms/m ³	Grams/m ²
AREA และ OPEN PIT	Grams/sec/m ²	Micrograms/m ³	Grams/m ²

ที่มา (Tesse และคณะ, 2017)

7. Source Inputs

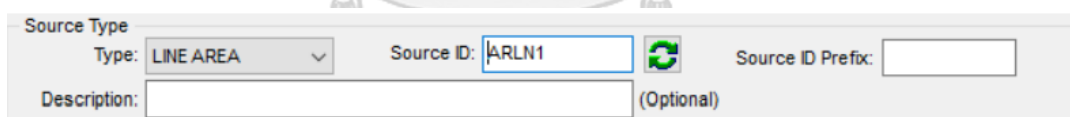
ในแบบจำลอง AERMOD ต้องมีการระบุแหล่งกำเนิดของมลพิษและอัตราการปลดปล่อยของมลพิษจากแหล่งกำเนิดประเภทต่าง ๆ ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้แหล่งกำเนิดมลพิษพื้นที่แบบเส้น (Line Area Sources) ที่จะต้องมีการนำเข้าสู่ข้อมูลดังนี้

1. ประเภทของแหล่งกำเนิดมลพิษ (Source Type)

ประเภทของแหล่งกำเนิดมลพิษ (Type): พื้นที่แบบเส้น (Line Area Source)

Source ID: เลขที่ระบุถึงแหล่งกำเนิดมลพิษนั้น ๆ

คำอธิบายสำหรับแหล่งกำเนิดมลพิษนั้น ๆ (Description)



รูปที่ 2-15 แสดงถึงตัวอย่างหน้าต่าง Source Type ของแหล่งกำเนิดแบบ Line Area Source ในแบบจำลอง AERMOD

ที่มา: (Tesse และคณะ, 2017)

2. พารามิเตอร์สำหรับแหล่งกำเนิดมลพิษพื้นที่แบบเส้น (Line Source Parameters (Represented by Area Source))

- Length of Side [m]: ความยาวของด้านข้างของแหล่งกำเนิดพื้นที่แบบเส้น หน่วยเมตร (m) หรือฟุต (ft)

- b. Initial Vertical Dimeter of the Plume (Option) [m]: พารามิเตอร์ทางเลือกนี้อาจใช้เพื่อระบุมิติในแนวตั้งเริ่มต้นของแหล่งกำเนิดในลักษณะ Plume หน่วยเมตร (m) หรือฟุต (ft)
- c. Emission Rate [g/s*m²]: อัตราการปลดปล่อยมลพิษ หน่วยเป็นกรัมต่อวินาทีต่อตารางเมตร
- d. Ratio 1: อัตราส่วนความยาว/ความกว้างสำหรับแหล่งกำเนิดของพื้นที่ โดยปกติแนะนำให้น้อยกว่า 100 ต่อ 1 หากต้องการให้แหล่งกำเนิดของพื้นที่สร้างให้เป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส ให้ระบุอัตราส่วน 1 (1:1) ถ้าจำเป็นต้องใช้อัตราส่วน 1:10 ให้ระบุค่า Ratio เท่ากับ 10
- e. Total Length [m]: ความยาวรวมสำหรับส่วนของเส้นตรงทั้งหมด
- f. # Area Sources Generated: ฟังก์ชันนี้แสดงจำนวนของแหล่งกำเนิดของพื้นที่ที่สร้างขึ้นเพื่อแสดงส่วนของเส้น

Line Source Parameters (Represented by Area Sources)

Length of Side: 16.0 [m]

Initial Vertical Dimension: 7.91 [m] (Optional)

Emission Rate: 0.01 [g/sec-m²] 195.899 [g/s]

Ratio 1: 2

Total Length [m]: 1224.4

Line Source Nodes

Generate 40 Area Sources Generated List... Actions Add Delete

Node #	X Coord. [m]	Y Coord. [m]	Base Elevation	Release Height [m]	Release Height [ft]
1	441616.65	5300190.27	0	0	0
2	441089.77	5299654.61	0	0	0
3	441089.77	5299546.31	0	0	0
4	441206.86	5299531.68	0	0	0

รูปที่ 2-16 แสดงถึงตัวอย่างหน้าต่าง Line Source Parameters ของแหล่งกำเนิดแบบ Line

Area Source ในแบบจำลอง AERMOD

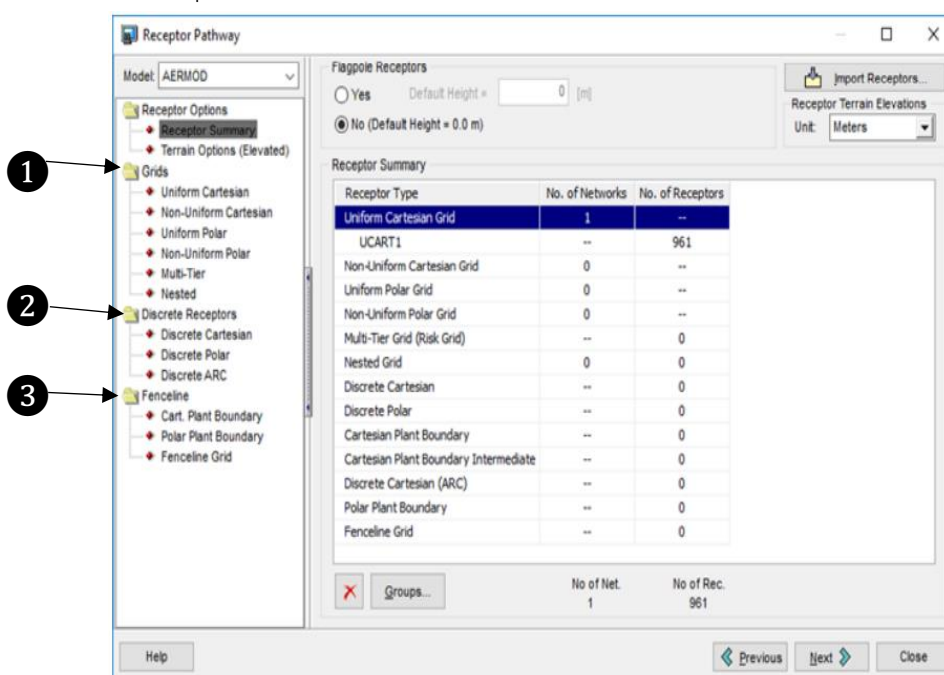
ที่มา: (Tesse และคณะ, 2017)

3. Line Source Nodes: จุดพิกัดของแต่ละแหล่งกำเนิดมลพิษ
 - a. X Coordinate [m]: พิกัด X สำหรับ Node ของแหล่งกำเนิดมลพิษแบบเส้น
 - b. Y Coordinate [m]: พิกัด Y สำหรับ Node ของแหล่งกำเนิดมลพิษแบบเส้น
 - c. Base Elevation [m]: ระดับความสูงของแหล่งกำเนิดจากระดับน้ำทะเลปานกลาง หน่วยของความสูงสามารถเป็นเมตร (m) หรือฟุต (ft)
 - d. Release Height [m]: ความสูงของการปล่อยมลพิษเหนือพื้นดิน หน่วยเมตร (m)

e. Release Height [ft]: ความสูงของการปล่อยมลพิษเหนือพื้นดิน หน่วยฟุต (ft)

2.4.2 ข้อมูลจุดรับมลพิษ (Receptor Pathway)

ฟังก์ชันสรุปจุดรับมลพิษ (Receptor Summary) สามารถดูสรุปประเภทของจุดรับมลพิษ จำนวนกริดและจำนวนจุดรับมลพิษทั้งหมดได้



รูปที่ 2-17 แสดงถึงตัวอย่างหน้าต่างภาพรวมของฟังก์ชันจุดรับมลพิษ (Receptor) ของแบบจำลอง AERMOD

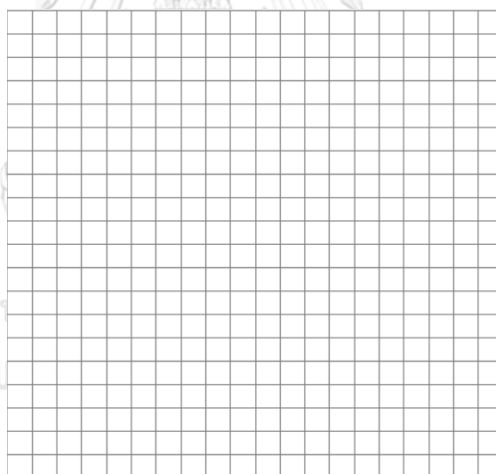
ที่มา: (Tesse และคณะ, 2017)

- Flagpole Receptors: สามารถเลือกได้ว่าการใช้เสาธงเป็นจุดรับมลพิษหรือไม่ โดยเสาธงถูกกำหนดให้เป็นจุดรับมลพิษที่อยู่เหนือระดับพื้นดิน ตัวอย่างเช่น เป็นตัวแทนจุดรับมลพิษของหลังคาหรือระเบียงของอาคาร
 - Receptor Terrain Elevation Units: หน่วยระดับความสูงภูมิประเทศของจุดรับมลพิษ เช่น เมตร (m) หรือ ฟุต (ft)
 - Terrain Options: ตัวเลือกในการเลือกความสูงของสภาพภูมิประเทศ ตำแหน่งของตัวรับมลพิษในแบบจำลอง AERMOD สามารถกำหนดจำนวนและประเภทของจุดรับมลพิษได้
- ในแบบจำลอง AERMOD สามารถกำหนดประเภทของตัวรับได้ 3 ประเภทดังรูปที่ 2-17 ได้แก่

1. Grids เป็นการกำหนดขอบเขตพื้นที่จุดรับมลพิษหลาย ๆ จุดรอบพื้นที่ศึกษาเป็นตารางโดยมีระยะห่างแต่ละจุดสม่ำเสมอ ซึ่งสามารถบ่งบอกได้ถึงความเข้มข้นมลพิษที่แพร่กระจายอยู่ในจุดรับมลพิษที่กำหนดในตารางพื้นที่ศึกษา
2. Discrete receptors เป็นการกำหนดจุดรับมลพิษเฉพาะเจาะจงพื้นที่นั้น ๆ ซึ่งในแบบจำลองสามารถกำหนดจุดได้หลายจุดในพื้นที่ศึกษา เพื่อบ่งบอกถึงความเข้มข้นมลพิษที่ได้รับในจุดนั้น ๆ
3. Fenceline เป็นการกำหนดตำแหน่งผู้รับมลพิษกระจายตามขอบเขตพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่ง เช่น พื้นที่โรงงานซึ่งจะทำให้สามารถบอกได้ว่ามลพิษบริเวณนั้น ณ ที่มรรีวมีความเข้มข้นเท่าไร ซึ่งช่วยบ่งชี้ความเสี่ยงต่อผู้ที่อยู่ติดกับพื้นที่ที่สนใจ

โดยในงานวิจัยกำหนดใช้จุดตัวรับมลพิษดังนี้

1. Uniform Cartesian Grid: เป็นการสร้างตารางกริดสี่เหลี่ยมที่มีระยะห่างระหว่างกริดที่สม่ำเสมอซึ่งจุดแต่ละจุดในแกน X และแกน Y แสดงถึงตำแหน่งจุดรับมลพิษ โดยที่สามารถบอกได้ถึงความเข้มข้นมลพิษที่อยู่ในตารางนี้ได้ในแต่ละจุดแกนของตาราง ซึ่งจะแสดงเป็นภาพ Contour ความเข้มข้นมลพิษ



รูปที่ 2-18 แสดงถึงตัวอย่างของตัวรับมลพิษประเภท Uniform Cartesian Grid

2. Discrete Cartesian Receptors: สามารถกำหนดจุดรับมลพิษได้โดยป้อนค่าจุดตั้งแต่ 1 จุดขึ้นไป (พิกัด X และพิกัด Y) โดยจะบอกได้เฉพาะถึงความเข้มข้นมลพิษที่ได้รับในจุดนั้น ๆ ที่กำหนด

2.4.3 ข้อมูลนำเข้าโปรแกรมย่อย AERMET

ข้อมูลพื้นฐานที่ต้องนำเข้าเป็นข้อมูลอุตุนิยมวิทยาผิวพื้น (Surface air data) และข้อมูลอุตุนิยมวิทยาชั้นบน (Upper air data) ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อข้อมูลอุตุนิยมวิทยาได้แก่ ลักษณะภูมิประเทศ ระดับความสูงจากระดับน้ำทะเลและค่าปัจจัยอื่น ๆ

ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาพื้นผิว (Surface air data)

ได้แก่ ความเร็วลม (Wind speed), ทิศทางลม (Direction), อุณหภูมิ (Ambient temperature), ปริมาณเมฆปกคลุม (Cloud cover) และความสูงฐานเมฆ (Ceiling height)

ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาชั้นบน (Upper air data)

ได้แก่ ความดันที่ระดับมาตรฐาน, ความสูงที่ความดันระดับมาตรฐาน, อุณหภูมิที่ระดับความดันมาตรฐาน, ทิศทางลมที่ระดับความดันมาตรฐานและความเร็วลมที่ระดับความดันมาตรฐาน

ค่าลักษณะเฉพาะของพื้นที่ (Surface characteristics) ประกอบไปด้วย

- Albedo เป็นการสะท้อนของการแผ่รังสี (Solar radiation) จากพื้นดินกลับสู่บรรยากาศโดยไม่มีการดูดซับ

- Bowen ratio เป็นอัตราส่วนของการเปลี่ยนแปลงความร้อน (Sensible heat flux) ต่อการเปลี่ยนแปลงความร้อนแฝง (Latent heat flux) ใช้พิจารณาพารามิเตอร์สำหรับสภาวะการพา (Convection condition) ในชั้น PBL เป็นต้นขึ้นของความชื้นที่พื้นผิว

- Surface roughness length เป็นความสูงที่ความเร็วลมเฉลี่ยในแนวระดับเป็น 0 มีค่าอยู่ในช่วงน้อยกว่า 0.0001 เมตร เหนือผิวน้ำที่สงบถึง 1.3 เมตรหรือมากกว่าที่เหนือพื้นที่ป่าหรือพื้นที่เขตเมือง

2.4.4 ข้อมูลนำเข้าสำหรับโปรแกรมย่อย AERMAP

AERMAP ทำหน้าที่ประเมินกลไกที่เปลี่ยนแปลงไปของการแพร่กระจายบนพื้นที่ที่ซับซ้อนนั้น โดยจะต้องอาศัยข้อมูลความสูงต่ำของพื้นที่โดยรอบ โดย AERMOD จะประมวลหาความสูงของพื้นที่ที่มีผลต่อการแพร่กระจายของสารมลพิษมากที่สุดสำหรับจุดที่ต้องการคำนวณความเข้มข้นแต่ละจุด ความสูงของพื้นที่นี้คือ Hill height scale โดย AERMAP ประกอบด้วย พิกัดอ้างอิงของพื้นที่ตำแหน่งของแหล่งกำเนิด ตำแหน่งผู้ได้รับผลกระทบและข้อมูลลักษณะความสูง (Terrain Data) ซึ่งอยู่ในรูปแบบมาตรฐาน เช่น STRM DEM (Shuttle Radar Topography Mission Digital Elevation Map) โดยครอบคลุมพื้นที่ตั้งแต่ 60 องศาเหนือถึง 56 องศาใต้ โดยเก็บข้อมูลความสูงทุก ๆ 30 เมตร โดยประมาณในพื้นที่ของสหรัฐอเมริกา ส่วนพื้นที่นอกเหนือจากนั้นเป็นข้อมูลความสูงทุก ๆ 90 เมตร หรือ GTOPO30 (Global digital elevation model) สามารถดาวน์โหลดข้อมูลได้จาก

<http://www.webgis.com/> โดยเป็นฐานข้อมูลระดับความสูงของพื้นที่ต่าง ๆ ครอบคลุมทั่วโลกซึ่งมีระยะห่างของข้อมูลแต่ละจุดคือ 30 ลิปตาหรือประมาณ 1 กิโลเมตร เป็นต้น (วรารุธ, 2551)

2.5 การศึกษาวิจัยที่เกี่ยวกับการพัฒนาบัญชีการปลดปล่อยมลสาร

รายการบัญชีการปลดปล่อยมลพิษ (Emission Inventory: EI) เป็นฐานข้อมูลที่สำคัญในการประเมินชนิดของสารมลพิษแต่ละชนิดและปริมาณการปลดปล่อยมลพิษอากาศแต่ละชนิดจากแหล่งกำเนิดต่าง ๆ เพื่อนำไปสู่การพิจารณาเลือกแนวทางและวิธีการในการจัดการและแก้ไขปัญหามลพิษได้อย่างเหมาะสมต่อไป

(Shrestha และคณะ, 2012) ได้จัดทำหนังสือบัญชีการปลดปล่อยมลพิษ Atmospheric Brown Cloud: Emission Inventory Manual เป็นโครงการที่ดำเนินการโดยสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย (The Asian Institute of Technology: AIT) และศูนย์ทรัพยากรภูมิภาคเอเชียและแปซิฟิก (The AIT-UNEP Regional Resources Centre for Asia and the Pacific: AIT-UNEP PRC.AP) มีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นกรอบบัญชีการปลดปล่อยมลพิษที่เหมาะสมกับแหล่งกำเนิดมลพิษต่าง ๆ ในประเทศแถบเอเชีย ได้พัฒนาตัวคูณสารมลพิษทางอากาศ (Emission Factors) สำหรับแหล่งกำเนิดมลพิษต่าง ๆ เช่น แหล่งกำเนิดมลพิษแบบจุด (Point Source) แหล่งกำเนิดมลพิษแบบไม่มีจุดแน่นอน (Non-Point Source) แหล่งกำเนิดมลพิษจากการจราจร (Mobile Source) เป็นต้น ภายใต้อายการของสารมลพิษที่มุ่งเน้นไปที่มลพิษอากาศแบบปฐมภูมิ (Primary Gaseous) และอนุภาค (Particulates Pollutants) เช่น PM_{10} $PM_{2.5}$ Black Carbon (BC) Organic Carbon (OC) และก๊าซมลพิษดังนี้ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2), คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) แอมโมเนีย (NH_3) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายไม่ไหม้ไหม (Non-Methane Volatile Organic Compound: NMVOC) ก๊าซมีเทน (Methane: CH_4) และก๊าซเรือนกระจกอื่น ๆ (Green House Gas: GHS) โดยวิธีการประมาณค่าอัตราการปลดปล่อยมลพิษสู่บรรยากาศที่พบมากที่สุดคือกิจกรรมของการปลดปล่อยมลพิษคูณด้วยตัวคูณการปลดปล่อยมลพิษ โดยมีสมการในการคำนวณดังนี้

$$Em = EF \times AR \times \frac{(100 - CE)}{100}$$

โดยที่ Em = Emission load

EF = ตัวคูณมลพิษ (Emission factor)

AR = ข้อมูลกิจกรรม (Activity data)

CE = Overall control efficiency (%)

สมการนี้ใช้เมื่อมีการปลดปล่อยมลพิษโดยตรงจากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง เช่น SO_2 PM เป็นต้น

การคำนวณอัตราการปลดปล่อยมลพิษจากการจราจร (Emission from the transportation sector) ที่แบ่งประเภทรถยนต์ดังนี้

1. รถยนต์งานเบา (Light duty vehicles) ได้แก่ รถยนต์ทั่วไปและรถบรรทุกขนาดเล็ก
2. รถยนต์งานหนัก (Heavy duty vehicle) ได้แก่ รถบัสและรถบรรทุกขนาดใหญ่
3. รถจักรยานยนต์ 2 ล้อและ 3 ล้อ

โดยทั่วไปยานยนต์ขับเคลื่อนด้วยเครื่องยนต์สันดาปภายในซึ่งใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล (น้ำมันเบนซิน ดีเซล แอลพีจีและอื่น ๆ) ซึ่งกระบวนการเผาไหม้นี้ส่งผลให้เกิดคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และน้ำ (H_2O) ที่ไม่เป็นอันตรายและการเผาไหม้ก็ส่งผลอันตรายที่เกิดจากการออกซิเดชันของเชื้อเพลิงที่ไม่สมบูรณ์ เช่น คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ไฮโดรคาร์บอน หรือออกซิเดชันของสารที่ไม่ติดไฟที่อยู่ในห้องเผาไหม้ เช่น NO_x จาก N_2 SO_x จาก S โดยมลพิษเหล่านี้ครอบคลุมไปถึงอนุภาคขนาดต่าง ๆ (Particulate Matter) BC และ OC ซึ่งเป็นสารตั้งต้นของโอโซน (CO , NO_x และ NMVOC) ก๊าซเรือนกระจก (CO_2 , CH_4 และ N_2O) และสารที่ทำให้เป็นกรด (NH_3 , SO_2) และการปลดปล่อยมลพิษทั้งหมดคำนวณโดยพิจารณาจากข้อมูลกิจกรรมสำหรับรถยนต์แต่ละประเภท (Activity data) และตัวคูณมลพิษ (Emission factor) ที่เหมาะสม โดยจำแนกดังนี้ ระยะทางการเคลื่อนที่ (Driving situations) สภาพภูมิอากาศ (Climate conditions) จำนวนยานพาหนะ และระยะทางของรถแต่ละคัน มีสูตรในการคำนวณอัตราการปลดปล่อยมลพิษดังนี้

$$\text{Em}_{i,j,r} = \text{Nv}_j \times \text{Mv}_{j,r} \times \text{e}_{i,j,r}$$

โดยที่

j, r = ประเภทรถยนต์ j และประเภทถนน r (ภายในเมืองหรือชนบท)

$\text{Em}_{i,j,r}$ = การปลดปล่อยมลพิษ i (กรัม) ประเภทรถยนต์ j ผลิตในปีนั้น ๆ และใช้งานบนถนน r

Nv_j = จำนวนรถยนต์ (คัน) ของประเภทรถยนต์ j ผลิตในปีนั้น ๆ

$\text{Mv}_{j,r}$ = ไมล์สะสมต่อปีต่อคัน (กิโลเมตร/คัน) ที่ขับบนถนนประเภท r โดยรถยนต์ประเภท j

$\text{e}_{i,j,r}$ = ปัจจัยการปลดปล่อยมลพิษพื้นฐานตัวแทนตัวคูณมลพิษ (กรัม/กิโลเมตร)

สำหรับมลพิษ i ประเภทรถยนต์ j และใช้งานบนถนน r

การคำนวณปริมาณการปลดปล่อยมลพิษสำหรับการจราจรนี้จะพิจารณาการปล่อยมลพิษต่อระยะทางของรถยนต์ โดยวิธีนี้เหมาะสำหรับการกระจายเชิงพื้นที่ที่ละเอียดและเหมาะสมสำหรับระบุแหล่งกำเนิดโดยเฉพาะ (เครื่องยนต์ดีเซลใช้งานหนักและเบา)

2.6 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.6.1 การศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแบบจำลองการแพร่กระจายมลพิษอากาศ

ปัญหามลพิษอากาศเป็นส่วนหนึ่งของปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมที่ทวีความรุนแรงมากยิ่งขึ้น ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและประชาชนทั่วไป ดังนั้นจึงได้มีการนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาใช้เพื่อคาดการณ์การเคลื่อนที่ กระจายตัวของมลพิษอากาศและทำนายผลกระทบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงคุณภาพอากาศเพื่อที่จะนำไปสู่การจัดการที่เหมาะสม ถูกต้องและเพื่อความยั่งยืนต่อไป ซึ่งในปัจจุบันได้มีการใช้งานแบบจำลองคุณภาพอากาศ AERMOD ที่ได้รับการยอมรับในการนำมาใช้เพื่อประเมินคุณภาพอากาศ ซึ่งได้รับความนิยมกันอย่างแพร่หลายในต่างประเทศและหน่วยงานรัฐของไทยเช่นกัน

2.6.1.1 การใช้ AERMOD ในงานวิจัยในต่างประเทศ

Gibson และคณะ (2013) ได้ทำการศึกษาการแพร่กระจายของความเข้มข้นมลพิษ $PM_{2.5}$ ในเมืองแอตแลนติกและเมืองฟิวดู มลพิษ NO_x ในเมืองแอตแลนติก และมลพิษ SO_2 ในเมืองฟิวดู เมืองซินีเย เมืองแอตแลนติกและพอร์ตฮอว์คสเบอร์รี่ทั้งหมดนี้ภายในรัฐโนวาสโกเชีย ประเทศแคนาดา โดยใช้แบบจำลองคุณภาพอากาศ AERMOD ในการคำนวณทั้งรายปี รายเดือน และรายชั่วโมงและมีการใช้ค่าทางสถิติได้แก่ Fractional Bias (FB), The fraction of predictions within a factor of two of observations (FAC2), Normalize Mean Square Error (NMSE) และ Pearson correlation coefficient (r^2) ในการดูประสิทธิภาพของการคำนวณมลพิษจากแบบจำลองการคาดการณ์รายวัน มลพิษที่ได้จากโลกจริง พบว่าแบบจำลอง AERMOD สามารถทำนายความเข้มข้นมลพิษ SO_2 ได้ดีทั้งในรายปีและรายเดือนแต่จำลองได้ต่ำกว่าในรายชั่วโมงในเมืองแอตแลนติก ซินีเย และพอร์ตฮอว์คสเบอร์รี่เนื่องจากการใช้คุณสมบัติที่แตกต่างกันในทั้งแหล่งกำเนิดมลพิษและจุดตรวจวัดมลพิษจึงทำให้ค่าที่ได้จากแบบจำลองไม่เหมาะสม และการทำนายความเข้มข้น $PM_{2.5}$ จากแบบจำลองในเมืองแอตแลนติกและเมืองฟิวดูพบว่าได้ค่าที่ไม่ตรงกับความจริงโดยมีสาเหตุจากความเข้มข้นมลพิษที่พัดพามาในพื้นที่จากบริเวณต้นลมและการติดตั้งสถานีอุตุนิยมวิทยาที่อยู่เหนือทิศลม และผลความเข้มข้น NO_x ในเมืองแอตแลนติกพบว่าได้ค่าที่ไม่ตรงกับความเป็นจริง จากการที่ไม่ได้นำเข้าแหล่งกำเนิดมลพิษ เช่น ถนนสายหลักและโรงในพื้นที่ จากการจำลองการแพร่กระจายความเข้มข้นมลพิษในพื้นที่ศึกษาทั้ง 4 แห่งภายในรัฐโนวาสโกเชียพบว่ามีความเข้มข้นต่ำกว่า National Air Quality Standards

งานวิจัยดังกล่าวนี้ทำให้ทราบได้ว่าแบบจำลอง AERMOD สามารถใช้จำลองการแพร่กระจายของมลพิษในภูมิประเทศที่มีความซับซ้อนและมีสภาพภูมิอากาศที่มีความแปรปรวนได้ดีดังเช่นการ

จำลองมลพิษ SO_2 ในรายปีและรายเดือน ทั้งนี้จะต้องมีการนำเข้าสู่ข้อมูลสู่แบบจำลองที่ถูกต้องและใกล้เคียงกับโลกจริง

Gulia และคณะ (2014) ได้ทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองคุณภาพอากาศ ISCST3, ADMS-Urban และ AERMOD โดยการศึกษาการแพร่กระจายของความเข้มข้นมลพิษ คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO), ไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2), และ $\text{PM}_{2.5}$ ในสภาพอากาศที่แตกต่างกันในฤดูร้อนและฤดูหนาวในบริเวณเมืองเดลี ประเทศอินเดีย พบว่าแบบจำลอง ISCST3 ($d=0.69$, (Index of agreement: d)) สามารถจำลองความเข้มข้น CO ได้ดีทั้งในฤดูร้อนและฤดูหนาวเมื่อเทียบกับแบบจำลอง AERMOD ($d=0.50$) และ ADMS-Urban ($d=0.45$) สำหรับในฤดูหนาวแบบจำลอง ADMS-Urban ($d=0.45$) สามารถจำลองความเข้มข้น NO_2 ได้ดีเมื่อเทียบกับแบบจำลอง ISCST3 ($d=0.36$) และ AERMOD การจำลองความเข้มข้น $\text{PM}_{2.5}$ สามารถจำลองได้ดีในฤดูร้อนและหนาวทั้ง 3 แบบจำลองได้แก่ AERMOD ($d=0.46$), ISCST3 ($d=0.45$) และ ADMS-Urban ($d=0.43$) ทั้งนี้ความแตกต่างของประสิทธิภาพแบบจำลองอาจมาจากความแตกต่างในการกำหนดแบบจำลอง ได้แก่ ข้อมูลลักษณะภูมิประเทศ ความอ่อนไหวต่อคุณภาพและปริมาณข้อมูลที่น่าเชื่อถือข้อมูลอุตุนิยมวิทยา และแหล่งกำเนิดของมลพิษ

จากงานวิจัยดังกล่าวทำให้ทราบได้ว่าแบบจำลอง AERMOD สามารถนำไปใช้วิเคราะห์ในพื้นที่ที่มีความซับซ้อนได้และสภาพอุตุนิยมวิทยาในฤดูร้อนและหนาวได้หากมีการนำเข้าสู่ข้อมูลที่แม่นยำซึ่งในงานวิจัยนี้ก็ได้คำนึงถึงการพัดพาของมลพิษจากนอกพื้นที่มาในพื้นที่ (Background Concentrations)

Afzali และคณะ (2017) ได้ทำการศึกษาการแปรผันของความเข้มข้นมลพิษ SO_2 NO_2 และ PM_{10} ที่ปลดปล่อยออกจากหลายแหล่งภายในนิคมอุตสาหกรรม Pasir Gudang เมืองยะโฮร์ ประเทศมาเลเซีย โดยใช้แบบจำลองคุณภาพอากาศ AERMOD ควบคู่ไปกับการใช้แบบจำลองอุตุนิยมวิทยา Weather Research and Forecasting (WRF) ในการจำลองสภาพอากาศรายชั่วโมง (Hourly surface) และตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยาบริเวณชั้นบรรยากาศด้านบน (Upper air meteorological variables) ในช่วงเวลาทั้งหมด 2 สัปดาห์ โดยผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลอง WRF เช่น อุณหภูมิ ความเร็วลมและทิศทางลม ผลการจำลองโดยเปรียบเทียบข้อมูลฝั่งลม (Wind rose) จากแบบจำลอง WRF กับสถานีตรวจวัด Pasir Gudang ซึ่งในการจำลองนี้จะแสดงถึงความยากลำบากในการจำลองเนื่องจากตั้งอยู่บนพื้นที่ชายฝั่งทะเล โดยผลลัพธ์จากการจำลองพบว่าแบบจำลอง WRF สามารถจำลองค่าทางอุตุนิยมวิทยาออกมาได้ใกล้เคียงกับค่าในโลกจริงและสามารถนำข้อมูลไปใช้ในการจำลองคุณภาพอากาศของแบบจำลอง AERMOD ได้ต่อไป ซึ่งผลที่ได้พบว่าความเข้มข้นสูงสุดของ SO_2 NO_2 และ PM_{10} ที่จำลองผ่านแบบจำลอง AERMOD-WRF ในเขตอุตสาหกรรมเท่ากับ 36.2, 59.8 และ 5.4 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ และการประเมินแบบจำลอง AERMOD ผ่าน

กราฟ Quantile-Quantile (Q-Q) แสดงให้เห็นว่าส่วนใหญ่อยู่ใกล้เส้น 1:1 ซึ่งบ่งชี้ว่าค่าความเข้มข้นมลพิษที่ได้จากแบบจำลองมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ตรวจวัดได้ในโลกจริง จากผลการศึกษาเหล่านี้ทำให้ทราบได้ว่าแบบจำลองอุตุนิยมวิทยา WRF และแบบจำลองคุณภาพอากาศ AERMOD สามารถมีส่วนช่วยในการจัดการคุณภาพอากาศภายในเมืองได้

2.6.1.2 การใช้ AERMOD ในงานวิจัยภายในประเทศไทย

Hanma (2021) ได้จัดทำกรณีศึกษาตัวอย่างการศึกษาการแพร่กระจายของมลพิษอากาศ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ในระดับพื้นจากปล่องมลพิษโดยใช้แบบจำลองคุณภาพอากาศ AERMOD และประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองคุณภาพอากาศโดยการเปรียบเทียบกับค่าจากแบบจำลองกับค่าความเข้มข้น $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ที่ตรวจวัดได้ในโลกจริง ใช้ค่าทางสถิติ ได้แก่ Observed Mean (Omean), Predicted Mean (Pmean), Observed Standard Deviation (Ostd), Predicted Standard Deviation (Pstd), Pearson correlation coefficient (r^2), Root Mean Square Error (RMSE), Index of Agreement (IOA), Fractional Bias (FB), Fraction Variance (FS) และ The Robust Highest Concentration (RHC) ในพื้นที่นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด ประเทศไทย (<50 กิโลเมตร) ผลที่ได้พบว่าค่าความเข้มข้น $PM_{2.5}$ และ PM_{10} มีค่าต่ำกว่าความเข้มข้นที่ตรวจวัดได้ในโลกจริง ทั้งนี้สามารถทราบได้ว่าแหล่งกำเนิดของมลพิษที่ออกมาจากปล่องอุตสาหกรรมนั้นไม่ได้เป็นแหล่งกำเนิดมลพิษหลักของพื้นที่แต่อาจมาจากแหล่งกำเนิดอื่น ๆ ภายในพื้นที่ที่ต้องมีการศึกษาเพิ่มเติม เช่น แหล่งกำเนิดจากการจราจร แหล่งกำเนิดจากการก่อสร้าง และการเผาไหม้ในที่โล่ง เป็นต้น

สุขเกษม (2558) มีแนวคิดในการจัดการคุณภาพอากาศของโรงงานแปรงไม้สำหรับหลังขนาดเล็กแห่งหนึ่งในจังหวัดนครราชสีมา โดยการเสนอเลือกเทคโนโลยีสะอาดสำหรับลดอนุภาคที่พิจารณา คือ (1) สเปรย์น้ำลานกองวัตถุดิบ (2) สร้างกำแพงต้นไม้ (3) จัดรูปแบบการกองวัตถุดิบ (4) การใช้ไซโคลน (5) การใช้ถุงกรอง และได้ใช้แบบจำลองคุณภาพอากาศ SCREEN3 และ AERMOD ในการทดสอบมาตรการจัดการคุณภาพอากาศ ซึ่งจากการทดสอบโดยใช้แบบจำลองพบว่าค่าความเข้มข้นอนุภาคสูงสุดที่ระดับพื้นที่สามารถลดลงได้เท่ากับ 12%, 28%, 34%, 18% และ 18% ตามลำดับ ผลการศึกษาดังกล่าวสามารถบ่งบอกได้ว่าแบบจำลองสามารถเป็นเครื่องมือในการช่วยตัดสินใจของโรงงานอุตสาหกรรมได้

Katika และคณะ (2018) ได้ทำการศึกษาโดยใช้แบบจำลองคุณภาพอากาศ AERMOD เพื่อประเมินระดับความเข้มข้นมลพิษอากาศภายในเทศบาลนครราชสีมา ประเทศไทย โดยได้ศึกษามลพิษอากาศทั้งหมด 4 ชนิด ได้แก่ PM_{10} , CO , SO_2 และ NO_x ใช้ข้อมูลการตรวจวัดมลพิษจากสถานีตรวจวัดมลพิษของกรมควบคุมมลพิษ ใช้แหล่งกำเนิดมลพิษในการนำเข้าสู่แบบจำลอง ได้แก่ มลพิษ

จากที่อยู่อาศัย เตาหลอม การจราจรและมลพิษจากอุตสาหกรรมและใช้ข้อมูลตัวคูณมลพิษจาก Top down Approach Method (TDA) ในการคำนวณประมาณค่าการปลดปล่อยมลพิษจากแหล่งกำเนิด ผลจากงานวิจัยพบว่า ความเข้มข้นมลพิษ PM_{10} CO SO_2 และ NO_x ที่คำนวณได้จากแบบจำลองมีค่าต่ำกว่าที่ตรวจวัดได้ในโลกจริงเท่ากับ 8.98%, 4.14%, 10.59% และ 77.88% ตามลำดับ ซึ่งสาเหตุอาจเกิดจากการใส่แหล่งกำเนิดมลพิษที่ไม่ครบถ้วน อย่างไรก็ตามแบบจำลอง AERMOD นี้สามารถเป็นตัวช่วยในการนำไปใช้เป็นเครื่องมือในการประเมินคุณภาพอากาศและประเมินขีดความสามารถในการรองรับมลพิษของเขตเมืองได้

Seangkiatiyuth และคณะ (2011) ได้ใช้เครื่องมือแบบจำลอง AERMOD เป็นเครื่องมือสำหรับวิเคราะห์การปล่อยก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) ที่เป็นส่วนหนึ่งของรายงานการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม (Environmental Impact Assessment: EIA) จากพื้นที่ภูเขาเหมืองอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ ที่ห่างออกจากกรุงเทพฯ ไปทางตะวันออกเฉียงเหนือประมาณ 108 กิโลเมตรติดกับทางหลวงสายขนส่งขนาดใหญ่ ที่ประกอบไปด้วยโรงปูนซีเมนต์ทั้งหมด 4 แห่ง มีปล่องซีเมนต์ทั้งหมด 14 ปล่อง โดยได้มีการตรวจวัดทั้งในพื้นที่จริงและการใช้แบบจำลอง AERMOD ทั้งในช่วงฤดูแล้งและฤดูฝน โดยนำค่าที่ได้จากแบบจำลองมาเปรียบเทียบกับค่าที่ตรวจวัดในพื้นที่จริงที่มีการตรวจวัดอย่างต่อเนื่องตลอด 7 วันและกำหนดจุดตัวรับทั้งหมด 12 จุด มีการคาดการณ์ว่าพบความเข้มข้นสูงสุดของ NO_2 ภายในระยะ 1-5 กิโลเมตรจากตำแหน่งตัวรับ ผลที่ได้พบว่าข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดและการจำลองของแบบจำลองมีความสอดคล้องของข้อมูลที่ตีมากกว่าระยะตัวรับเกิน 5 กิโลเมตร และจากการทดสอบแบบจำลองด้วย Quantile-Quantile (Q-Q) plots ของความเข้มข้น NO_2 จากแบบจำลองและการตรวจวัดพบว่าในฤดูแล้งจะมีความสอดคล้องของข้อมูลที่ตีกว่าในฤดูฝน ซึ่งจากงานวิจัยนี้พบว่าการตรวจวัดและการใช้แบบจำลอง AERMOD ในการศึกษามลพิษ NO_2 ไม่เกินค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศแวดล้อมแห่งชาติ (NAAQS) ของประเทศไทย ซึ่งบ่งชี้ว่า NO_2 ที่ปลดปล่อยจากเหมืองอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ไม่ส่งผลกระทบต่อชุมชนในบริเวณใกล้เคียง และสรุปได้ว่าแบบจำลอง AERMOD สามารถใช้ในการระบุความเข้มข้นการปลดปล่อยมลพิษได้และเป็นประโยชน์ในการระบุพื้นที่ที่มีผลกระทบต่อมลพิษสำหรับแนวทางในการทำรายงานการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม (EIA) ได้

จากงานวิจัยที่ได้กล่าวไปข้างต้น ทำให้ทราบถึงวิธีการนำเข้าข้อมูลสู่แบบจำลอง AERMOD เพื่อให้ได้ถึงผลลัพธ์จากแบบจำลองได้อย่างแม่นยำมีประสิทธิภาพและการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองกับข้อมูลตรวจวัดในพื้นที่จริงโดยใช้ดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพแบบจำลองเพื่อตรวจสอบความแม่นยำของแบบจำลอง ซึ่งข้อมูลแหล่งกำเนิดที่ต้องนำเข้าจำเป็นต้องมีการศึกษาสภาพในพื้นที่มาก่อนว่ามีแหล่งกำเนิดมลพิษไหนที่สำคัญบ้างเพื่อนำมาจำลองและทำให้แบบจำลองมีประสิทธิภาพมากที่สุด ประกอบกับการใช้ข้อมูลอุตุณิมวิทยาที่ไม่ควรอยู่ในบริเวณเหนือทิศลมซึ่งหาก

อยู่เหนือทัศนสมจะทำให้มลพิษที่ได้จากแบบจำลองอาจมีค่าความเข้มข้นที่เกินจากความเป็นจริง การกำหนดจุดแหล่งกำเนิดมลพิษ (Source) และจุดตรวจวัดมลพิษ (Receptor point) จำเป็นต้องมีการใช้ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาชุดเดียวกันในช่วงเวลาเดียวกันเพื่อให้มีความสอดคล้องกันของข้อมูล อีกทั้งควรมีการคำนึงถึงการพัดพาเข้ามาของมลพิษจากนอกพื้นที่ศึกษาเข้าสู่พื้นที่ศึกษา (Background Concentrations) ซึ่งเป็นอีกหนึ่งแหล่งมลพิษที่มีผลต่อความเข้มข้นมลพิษภายในพื้นที่ศึกษา

การใช้ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาจากแบบจำลองก็เป็นอีกหนึ่งทางเลือกสำหรับพื้นที่ที่ไม่มีความพร้อมของชุดข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา ซึ่งจากงานวิจัยของ (Afzali และคณะ, 2017) ก็ได้ใช้แบบจำลอง Weather Research and Forecasting (WRF) ในการจำลองอุตุนิยมวิทยาภายในพื้นที่และเข้าสู่แบบจำลอง AERMOD ซึ่งทางงานวิจัยของเราก็นำมาประยุกต์ใช้เช่นกัน ทั้งนี้แบบจำลอง AERMOD สามารถแสดงให้เห็นว่าหากนำเข้าสู่ข้อมูลสู่แบบจำลองได้อย่างครบถ้วนและถูกต้องจะนำมาซึ่งประโยชน์ในการจัดการมลพิษอากาศ เช่น การประเมินแหล่งที่มาของแหล่งกำเนิดมลพิษและสัดส่วนของมลพิษ การจัดตั้งมาตรการต่าง ๆ ในการลดมลพิษจากแหล่งกำเนิด เป็นต้น

2.6.2 การศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินแบบจำลองคุณภาพอากาศ

Chang และคณะ (2004) ได้ทำการประเมินแบบจำลองทางสถิติเพื่อตรวจสอบว่าข้อมูลที่คำนวณได้จากแบบจำลองตรงกับข้อมูลตรวจวัดมากน้อยเพียงใด ทางงานวิจัยนี้แนะนำให้ใช้ดัชนีวัดประสิทธิภาพแบบจำลองดังต่อไปนี้: Fractional Bias (FB), Geometric mean bias (MG), Normalized mean square error (NMSE), Geometric variance (VG), Correlation coefficient (R) และ Fraction of predictions within a factor of two observations (FAC2) และก่อนการทำการประเมินแบบจำลองใด ๆ ควรเริ่มต้นด้วยคำจำกัดความที่ชัดเจนของเป้าหมายของการประเมินและตัวแปรที่จะประเมินประสิทธิภาพทางสถิติ ตามด้วยการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสำรวจ ได้แก่ Scatter plots, Quantile-Quantile plots, Box-residual plots และ Scatter-residual plots ซึ่งเป็นการดูอัตราส่วนระหว่างค่าที่ได้จากแบบจำลองและค่าที่ตรวจวัด

ดัชนี FB และ MG เป็นการวัดความอคติของระบบ ในขณะที่ดัชนี NMSE และ VG เป็นการวัดความอคติอย่างเป็นระบบและการกระจายแบบสุ่ม โดยทั้งนี้ไม่มีดัชนีใดสามารถใช้เพียงแค่อันดับเดียวได้จะต้องมีดัชนีอื่น ๆ ควบคู่ด้วย ดัชนี R อาจไม่ใช่ดัชนีที่ดีที่สุดเนื่องจากมีความไวต่อความผิดปกติของข้อมูลที่มีการเปรียบเทียบแล้ว 2-3 คู่ แต่สามารถใช้คุณลักษณะการกระจายตัวของชุดข้อมูลได้ดี ทั้งนี้ดัชนี FAC2 น่าจะเป็นตัวชี้วัดที่ดีที่สุดในการดูการกระจายของชุดข้อมูลเนื่องจากไม่ได้รับอิทธิพลจากความผิดปกติของชุดข้อมูลที่ต่ำหรือสูงมากเกินไป

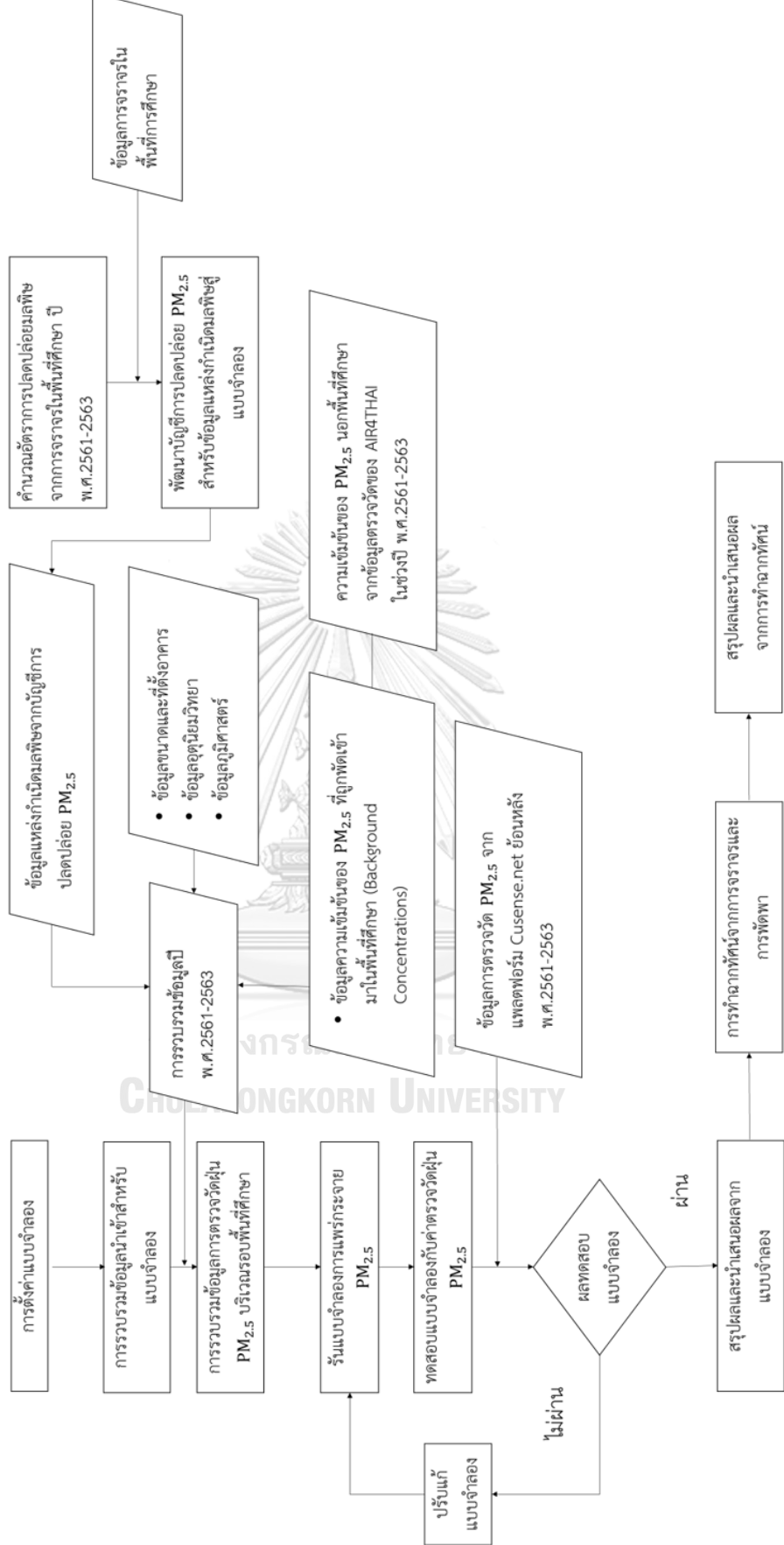
บทที่ 3

แผนการทดลองและการดำเนินงานวิจัย



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3.1 แผนผังการดำเนินงานวิจัย



รูปที่ 3-1 แผนผังการดำเนินงานวิจัย

3.2 วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.2.1 กำหนดขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาสภาวะการณ์ของอนุภาค $PM_{2.5}$ ครอบคลุมห้วงเวลาปี พ.ศ.2561-2563 บริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยงานวิจัยนี้โดยใช้โปรแกรม AERMOD ในการสร้างแบบจำลองการแพร่กระจายมลพิษโดยกำหนดขอบเขตพื้นที่ 2.5 กิโลเมตร x 2.5 กิโลเมตร



รูปที่ 3-2 แสดงขอบเขตรอบจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2.5 กิโลเมตร x 2.5 กิโลเมตร

3.2.2 พัฒนาข้อมูลบัญชีการปลดปล่อยมลพิษ

ข้อมูลบัญชีการปลดปล่อยมลพิษนี้แสดงถึงการปลดปล่อย $PM_{2.5}$ บริเวณรอบจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในขอบเขตพื้นที่ 2.5 กิโลเมตร x 2.5 กิโลเมตร ครอบคลุมปี พ.ศ.2561-2563 ประกอบไปด้วยขั้นตอนดังนี้

1. รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

1.1. ข้อมูลปริมาณการจราจร

1. ข้อมูลปริมาณจราจรจากสำนักการจราจรและขนส่ง กรุงเทพมหานคร

สืบค้นจาก http://203.155.220.99/dotat/re_intersection/intersection/intersection.html เป็นข้อมูลสถิติอุบัติเหตุที่แสดงถึงปริมาณการจราจรบนท้องถนน ปี พ.ศ.2561-2563 ของกรุงเทพมหานคร ประกอบไปด้วยถนนดังนี้

- | | |
|------------------|-------------------|
| ▪ ถนนพระราม1 | ▪ ถนนสีพระยา |
| ▪ ถนนจรัลเมือง | ▪ ถนนนเรศ |
| ▪ ถนนเจริญเมือง | ▪ ถนนอังรีดูนังต์ |
| ▪ ถนนซอยจุฬาฯ 12 | ▪ ถนนสุรวงศ์ |
| ▪ ถนนพระราม 4 | ▪ ถนนราชดำริ |
| ▪ ถนนจากรูเมือง | ▪ ถนนสารสิน |
| ▪ ถนนบรรทัดทอง | ▪ ถนนสีลม |
| ▪ ถนนพญาไท | |

จำแนกประเภทยานพาหนะ ได้แก่ รถยนต์นั่ง, รถตู้/ปิคอัพ, รถเมล์ใหญ่, รถเมล์เล็ก, รถบรรทุก, รถสามล้อ

ช่วงเวลาในการเก็บข้อมูลในแต่ละวันของสำนักงานการจราจรและขนส่ง แบ่งเป็น 3 ช่วง ดังนี้

MP (Morning peak) = 7.00 – 9.00 น.

MD (Midday) = 9.00 – 16.00 น.

EP (Evening peak) = 16.00 – 19.00 น.

สำนักงานการจราจรและขนส่ง ไม่มีการเก็บข้อมูลในช่วงกลางคืน (NT: Night time) เวลา 19.00–7.00 น.

2. ข้อมูลการจราจรจากกล้อง CCTV

เนื่องจากข้อมูลจากสถิติการจราจร กรุงเทพมหานคร มีเพียงถนนใหญ่เท่านั้นจึงมีความจำเป็นที่จะลงพื้นที่จริงเพื่อเก็บข้อมูลการจราจรในส่วนที่ขาดหายไปของบริเวณพื้นที่ศึกษารอบจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยได้ติดต่อขอข้อมูลกล้อง CCTV จากสำนักงานจัดการทรัพย์สิน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเพื่อดูวิดีโอและนับปริมาณรถประเภทต่าง ๆ และด้วยข้อจำกัดทางทรัพยากรและเวลาทำให้ไม่สามารถเก็บข้อมูลทุกจุดเป็นเวลา 24 ชั่วโมงตลอด 7 วันได้จึงเก็บข้อมูลตลอด 7 วันก่อนเพื่อเลือกกลุ่มตัวอย่างในการเก็บข้อมูล โดยเก็บข้อมูลที่ถนนบรรทัดทอง เป็นไฟล์วิดีโอ 24 ชั่วโมงตลอด 7 วัน ตั้งแต่วันที่ 14 – 20 มีนาคม พ.ศ.2564 และทำการนับปริมาณรถแบบแยกประเภทรถยนต์ตามสถิติการจราจร กรุงเทพมหานคร โดยรวมมอเตอร์ไซด์จะนับรวมอยู่กับรถสามล้อ ดังนี้

PC (Personal car) = รถยนต์นั่ง

LD (Light duty) = รถตู้/ปิคอัพ และ รถเมล์เล็ก

HD (Heavy duty) = รถเมล์ใหญ่ และ รถบรรทุก

OT (Other Vehicle) = สามล้อ

3. ข้อมูลการจราจรบนทางพิเศษ

จากรายงานสถิติปริมาณการจราจร รายได้ค่าผ่านทางพิเศษและอุบัติเหตุบนทางพิเศษ ปีงบประมาณ 2562-2563 เพื่อใช้ข้อมูลปี 2562 ซึ่งจะประกอบไปด้วยข้อมูลรวมของทางพิเศษศรีรัช ส่วน A และ B, ด้านหัวลำโพงและด้านสะพานส่วาง

ตารางที่ 3.8.4 ปริมาณจราจรบนทางพิเศษศรีรัช ส่วน A และ B รวมทุกด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ รายเดือน ปีงบประมาณ 2562

หน่วย : คัน

เดือน	รถชำระค่าผ่านทางพิเศษ					รถไม่ชำระค่าผ่านทางพิเศษ				รวมรถทุกประเภท	
	4 ล้อ ⁽¹⁾		รวม	6 - 10 ล้อ	มากกว่า 10 ล้อ	รวม	รถใช้บัตร	รถยกเว้น	รถพดการ		
	MTC	ETC									
ตุลาคม 2561	5,669,335	4,013,237	9,682,572	147,047	9,693	9,839,312	23,942	51,582	3,346	78,870	9,918,182
พฤศจิกายน 2561	5,660,582	4,163,737	9,824,319	158,031	9,659	9,992,009	26,418	57,689	3,695	87,802	10,079,811
ธันวาคม 2561	5,685,582	3,952,760	9,638,342	153,837	9,539	9,801,718	24,548	58,970	3,735	87,253	9,888,971
มกราคม 2562	5,686,417	4,181,617	9,868,034	165,240	9,203	10,042,477	23,891	56,492	3,043	83,426	10,125,903
กุมภาพันธ์ 2562	5,131,796	3,789,821	8,921,617	156,065	9,001	9,086,683	21,030	49,395	2,602	73,027	9,159,710
มีนาคม 2562	5,779,679	4,166,803	9,946,482	174,992	10,345	10,131,819	23,964	54,802	2,910	81,676	10,213,495
เมษายน 2562	5,241,493	3,663,312	8,904,805	144,688	8,168	9,057,661	24,174	57,109	3,156	84,439	9,142,100
พฤษภาคม 2562	5,424,504	4,059,062	9,483,566	148,437	9,226	9,641,229	27,189	58,975	2,996	89,160	9,730,389
มิถุนายน 2562	5,287,568	4,049,619	9,337,187	153,741	9,218	9,500,146	22,963	52,343	2,547	77,853	9,577,999
กรกฎาคม 2562	5,413,175	4,159,843	9,573,018	161,577	9,333	9,743,928	24,096	58,078	3,637	85,811	9,829,739
สิงหาคม 2562	5,529,662	4,283,309	9,812,971	168,995	9,480	9,991,446	24,122	59,278	4,351	87,751	10,079,197
กันยายน 2562	5,225,538	4,168,013	9,393,551	153,216	9,138	9,555,905	23,503	58,328	4,231	86,062	9,641,967
รวม	65,735,331	48,651,133	114,386,464	1,885,866	112,003	116,384,333	289,840	673,041	40,249	1,003,130	117,387,463
ร้อยละ	56.48	41.80	98.28	1.62	0.10	100.00	28.90	67.09	4.02	100.00	

หมายเหตุ: (1) ระบบเก็บค่าผ่านทางพิเศษแบบเงินสด (MTC) และระบบเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติ (ETC)

รูปที่ 3-3 ปริมาณจราจรบนทางพิเศษศรีรัช ส่วน A และ B รวมทุกด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษรายเดือน ปีงบประมาณ 2562

ที่มา: (การทางพิเศษแห่งประเทศไทย, 2563)

ตารางที่ 3.10.4 ปริมาณจราจรบนทางพิเศษศรีรัช ส่วน A และ B รวมทุกด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ รายเดือน ปีงบประมาณ 2563

หน่วย : คัน

เดือน	รถชำระค่าผ่านทางพิเศษ					รถไม่ชำระค่าผ่านทางพิเศษ					รวมรถทุกประเภท
	4 ล้อ ⁽¹⁾		รวม	6 - 10 ล้อ	มากกว่า 10 ล้อ	รวม	รถใช้บัตร	รถยกเว้น	รถพดการ		
	MTC	ETC									
ตุลาคม 2562	5,428,306	4,156,681	9,584,987	156,387	9,676	9,751,050	24,497	64,989	4,154	93,640	9,844,690
พฤศจิกายน 2562	5,328,087	4,199,555	9,527,642	163,474	9,741	9,700,857	28,646	62,109	3,723	94,478	9,795,335
ธันวาคม 2562	5,318,016	4,044,415	9,362,431	156,838	9,387	9,528,656	21,450	63,989	4,068	89,507	9,618,163
มกราคม 2563	5,298,979	4,311,367	9,610,346	160,175	9,246	9,779,767	21,479	59,108	3,784	84,371	9,864,138
กุมภาพันธ์ 2563	4,814,861	4,037,365	8,852,226	115,833	8,631	8,976,690	19,677	52,873	3,202	75,752	9,052,442
มีนาคม 2563	3,965,934	3,469,489	7,435,423	101,171	9,739	7,546,333	21,680	52,673	2,731	77,787	7,624,120
เมษายน 2563	2,174,113	2,138,349	4,312,462	65,169	9,248	4,386,879	18,741	42,176	2,734	63,648	4,450,527
พฤษภาคม 2563	3,395,747	2,744,573	6,140,320	74,185	9,636	6,224,141	16,508	42,565	3,000	62,073	6,286,214
มิถุนายน 2563	4,074,766	3,537,262	7,612,028	84,303	9,124	7,705,455	18,414	48,896	3,143	70,453	7,775,908
กรกฎาคม 2563	4,288,994	3,637,602	7,926,596	85,960	8,796	8,021,352	18,771	48,299	3,516	70,586	8,091,938
สิงหาคม 2563	4,353,322	4,104,598	8,457,920	91,860	9,923	8,559,703	20,175	52,131	3,074	75,380	8,635,083
กันยายน 2563	4,125,810	3,928,700	8,054,510	86,115	9,113	8,149,738	19,455	54,557	3,564	77,576	8,227,314
รวม	52,566,935	44,309,956	96,876,891	1,341,470	112,260	98,330,621	249,493	644,365	41,393	935,251	99,265,872
ร้อยละ	53.46	45.06	98.52	1.36	0.12	100.00	26.68	68.90	4.42	100.00	

หมายเหตุ: (1) ระบบเก็บค่าผ่านทางพิเศษแบบเงินสด (MTC) และระบบเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติ (ETC)

รูปที่ 3-4 ปริมาณจราจรบนทางพิเศษศรีรัช ส่วน A และ B รวมทุกด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษรายเดือน ปีงบประมาณ 2563

ที่มา: (การทางพิเศษแห่งประเทศไทย, 2564)

ตารางที่ 3.9.2.17 ปริมาณจราจรบนทางพิเศษศรีรัช ส่วน A และ B ด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษหัวลำโพง รายเดือน ปีงบประมาณ 2562

หน่วย : คัน

เดือน	รถชำระค่าผ่านทางพิเศษ				รถไม่ชำระค่าผ่านทางพิเศษ				รวมรถทุกประเภท		
	4 ล้อ ⁽¹⁾		รวม	6 - 10 ล้อ	มากกว่า 10 ล้อ	รวม	รถจักรยานยนต์	รถยกเว้น		รถพิกการ	รวม
	MTC	ETC									
ตุลาคม 2561	277,837	202,765	480,602	5,518	53	486,173	520	2,017	50	2,587	488,760
พฤศจิกายน 2561	281,668	212,490	494,158	6,360	69	500,587	666	2,394	60	3,120	503,707
ธันวาคม 2561	284,608	198,967	483,575	5,900	64	489,539	678	2,354	84	3,116	492,655
มกราคม 2562	283,020	212,071	495,091	6,209	60	501,360	588	2,652	49	3,289	504,649
กุมภาพันธ์ 2562	250,947	189,013	439,960	5,939	77	445,976	563	2,092	32	2,687	448,663
มีนาคม 2562	277,947	204,844	482,791	6,573	86	489,450	669	2,254	31	2,954	492,404
เมษายน 2562	245,818	178,966	424,784	5,068	69	429,921	507	2,127	72	2,706	432,627
พฤษภาคม 2562	259,570	196,986	456,556	5,419	94	462,069	524	2,736	38	3,298	465,367
มิถุนายน 2562	255,792	202,056	457,848	6,105	62	464,015	513	2,031	18	2,562	466,577
กรกฎาคม 2562	263,797	211,477	475,274	6,394	73	481,741	575	2,259	75	2,909	484,650
สิงหาคม 2562	274,764	221,815	496,579	6,227	78	502,884	585	2,118	65	2,768	505,652
กันยายน 2562	255,915	211,878	467,793	5,372	64	473,229	559	2,287	107	2,953	476,182
รวม	3,211,683	2,443,328	5,655,011	71,084	849	5,726,944	6,947	27,321	681	34,949	5,761,893
ร้อยละ	56.08	42.66	98.74	1.24	0.02	100.00	19.88	78.17	1.95	100.00	

หมายเหตุ : (1) ระบบเก็บค่าผ่านทางพิเศษแบบเงินสด (MTC) และระบบเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติ (ETC)

รูปที่ 3-5 ปริมาณจราจรบนทางพิเศษศรีรัช ส่วน A และ B ด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษหัวลำโพงรายเดือน ปีงบประมาณ 2562

ที่มา: (การทางพิเศษแห่งประเทศไทย, 2563)

ตารางที่ 3.11.2.17 ปริมาณจราจรบนทางพิเศษศรีรัช ส่วน A และ B ด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษหัวลำโพง รายเดือน ปีงบประมาณ 2563

หน่วย : คัน

เดือน	รถชำระค่าผ่านทางพิเศษ						รถไม่ชำระค่าผ่านทางพิเศษ				รวมรถทุกประเภท
	4 ล้อ ⁽¹⁾		รวม	6 - 10 ล้อ	มากกว่า 10 ล้อ	รวม	รถจักรยานยนต์	รถยกเว้น	รถพิกการ	รวม	
	MTC	ETC									
ตุลาคม 2562	261,299	208,650	469,949	5,484	66	475,499	651	2,516	169	3,336	478,835
พฤศจิกายน 2562	263,426	214,570	477,996	6,261	66	484,323	772	2,497	125	3,394	487,717
ธันวาคม 2562	258,526	199,379	457,905	5,577	80	463,562	710	3,065	213	3,988	467,550
มกราคม 2563	258,382	216,811	475,193	5,922	76	481,191	608	2,421	126	3,155	484,346
กุมภาพันธ์ 2563	223,905	198,117	422,022	4,307	79	426,408	587	2,166	60	2,813	429,221
มีนาคม 2563	174,791	161,724	336,515	3,094	111	339,720	526	2,090	105	2,721	342,441
เมษายน 2563	92,276	95,939	188,215	1,898	107	190,220	450	1,823	55	2,328	192,548
พฤษภาคม 2563	142,108	120,723	262,831	2,303	47	265,181	347	1,863	59	2,269	267,450
มิถุนายน 2563	175,930	158,979	334,909	2,530	76	337,515	422	2,066	105	2,593	340,108
กรกฎาคม 2563	191,200	173,120	364,320	2,593	98	367,011	361	1,948	87	2,396	369,407
สิงหาคม 2563	194,682	195,162	389,844	2,726	105	392,675	457	2,082	89	2,628	395,303
กันยายน 2563	184,570	188,585	373,155	2,461	73	375,689	452	2,477	119	3,048	378,737
รวม	2,421,095	2,131,759	4,552,854	45,156	984	4,598,994	6,343	27,014	1,312	34,669	4,633,663
ร้อยละ	52.64	46.35	98.99	0.98	0.03	100.00	18.30	77.92	3.78	100.00	

หมายเหตุ : (1) ระบบเก็บค่าผ่านทางพิเศษแบบเงินสด (MTC) และระบบเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติ (ETC)

รูปที่ 3-6 ปริมาณจราจรบนทางพิเศษศรีรัช ส่วน A และ B ด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษหัวลำโพงรายเดือน ปีงบประมาณ 2563

ที่มา: (การทางพิเศษแห่งประเทศไทย, 2564)

ตารางที่ 3.9.2.16 ปริมาณจราจรบนทางพิเศษศรีรัช ส่วน A และ B ด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษสะพานสว่าง รายเดือน ปีงบประมาณ 2562

หน่วย : คัน

เดือน	รถชำระค่าผ่านทางพิเศษ				รถไม่ชำระค่าผ่านทางพิเศษ				รวมรถทุกประเภท		
	4 ล้อ ⁽¹⁾		รวม	6 - 10 ล้อ	มากกว่า 10 ล้อ	รวม	รถจักรยานยนต์	รถยกเว้น		รถพิกการ	รวม
	MTC	ETC									
ตุลาคม 2561	177,155	165,033	342,188	5,514	149	347,851	253	970	37	1,260	349,111
พฤศจิกายน 2561	187,098	179,232	366,330	5,901	208	372,439	276	1,116	34	1,426	373,865
ธันวาคม 2561	179,600	158,556	338,156	5,504	187	343,847	226	954	42	1,222	345,069
มกราคม 2562	180,985	171,929	352,914	5,830	191	358,935	233	985	33	1,251	360,186
กุมภาพันธ์ 2562	165,006	156,542	321,548	5,264	127	326,939	272	1,009	21	1,302	328,241
มีนาคม 2562	178,887	166,394	345,281	5,840	148	351,269	263	948	41	1,252	352,521
เมษายน 2562	158,266	142,414	300,680	4,795	133	305,608	248	876	45	1,169	306,777
พฤษภาคม 2562	170,394	161,046	331,440	5,119	153	336,712	487	901	32	1,420	338,132
มิถุนายน 2562	174,394	172,051	346,445	5,214	146	351,805	249	903	44	1,196	353,001
กรกฎาคม 2562	178,304	176,182	354,486	5,477	149	360,112	294	1,083	60	1,437	361,549
สิงหาคม 2562	188,892	187,275	376,167	5,647	167	381,981	269	981	35	1,285	383,266
กันยายน 2562	176,711	183,475	360,186	5,584	135	365,905	294	1,047	34	1,375	367,280
รวม	2,115,692	2,020,129	4,135,821	65,689	1,893	4,203,403	3,364	11,773	458	15,595	4,218,998
ร้อยละ	50.33	48.06	98.39	1.56	0.05	100.00	21.57	75.49	2.94	100.00	

หมายเหตุ : (1) ระบบเก็บค่าผ่านทางพิเศษแบบเงินสด (MTC) และระบบเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติ (ETC)

รูปที่ 3-7 ปริมาณจราจรบนทางพิเศษศรีรัช ส่วน A และ B ด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษสะพานสว่างรายเดือน ปีงบประมาณ 2562

ที่มา: (การทางพิเศษแห่งประเทศไทย, 2563)

ตารางที่ 3.11.2.16 ปริมาณจราจรบนทางพิเศษศรีรัช ส่วน A และ B ด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษสะพานสว่าง รายเดือน ปีงบประมาณ 2563

หน่วย : คัน

เดือน	รถชำระค่าผ่านทางพิเศษ					รถไม่ชำระค่าผ่านทางพิเศษ					รวมรถทุกประเภท
	4 ล้อ ⁽¹⁾		รวม	6 - 10 ล้อ	มากกว่า 10 ล้อ	รวม	รถใช้บัตร	รถยกเว้น	รถพ่วง	รวม	
	MTC	ETC									
ตุลาคม 2562	177,829	176,947	354,776	5,452	146	360,374	243	1,030	26	1,299	361,673
พฤศจิกายน 2562	181,536	186,733	368,269	5,763	162	374,194	307	1,175	36	1,518	375,712
ธันวาคม 2562	170,043	163,883	333,926	5,102	126	339,154	218	1,037	30	1,285	340,439
มกราคม 2563	173,601	182,726	356,327	5,325	128	361,780	225	1,007	25	1,257	363,037
กุมภาพันธ์ 2563	152,228	167,229	319,457	4,714	142	324,313	235	944	36	1,215	325,528
มีนาคม 2563	113,436	123,200	236,636	3,778	170	240,584	236	887	14	1,137	241,721
เมษายน 2563	60,089	65,817	125,906	2,407	95	128,408	132	756	16	904	129,312
พฤษภาคม 2563	90,830	83,495	174,325	3,005	100	177,430	161	701	12	874	178,304
มิถุนายน 2563	108,098	115,232	223,330	3,368	195	226,893	174	690	16	880	227,773
กรกฎาคม 2563	121,154	135,678	256,832	3,378	153	260,363	181	589	33	803	261,166
สิงหาคม 2563	134,956	164,095	299,051	3,540	210	302,801	212	789	15	1,016	303,817
กันยายน 2563	129,837	160,234	290,071	3,403	115	293,589	159	764	19	942	294,531
รวม	1,613,637	1,725,269	3,338,906	49,235	1,742	3,389,883	2,483	10,369	278	13,130	3,403,013
ร้อยละ	47.60	50.89	98.49	1.45	0.06	100.00	18.91	78.97	2.12	100.00	

หมายเหตุ : (1) ระบบเก็บค่าผ่านทางพิเศษแบบเงินสด (MTC) และระบบเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติ (ETC)

รูปที่ 3-8 ปริมาณจราจรบนทางพิเศษศรีรัช ส่วน A และ B ด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษสะพานสว่าง

รายเดือน ปีงบประมาณ 2563

ที่มา: (การทางพิเศษแห่งประเทศไทย, 2564)

1.2. Emission Factor

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้ค่าตัวคูณมลพิษอ้างอิงจาก Atmospheric Brown Clouds: Emission Inventory Manual เนื่องจากได้มีการพัฒนาตัวคูณมลพิษสำหรับแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทต่าง ๆ ในประเทศแถบเอเชียที่เน้นไปที่สารปฏิกิริยาที่เหมะกับงานวิจัยนี้ ซึ่งจะมีค่าเฉพาะของมลพิษที่จำแนกตามประเภทรถยนต์ ได้แก่ Personal Car (PC), Light Duty (Light duty), Heavy duty (HD) และ Other vehicle (OT) ที่ใกล้เคียงกับการแบ่งประเภทของยานพาหนะจากรายงานข้อมูลปริมาณจราจรจากสำนักการจราจรและขนส่ง กรุงเทพมหานคร ประกอบกับข้อมูลในหัวข้อ 1.1 มีข้อจำกัดในด้านข้อมูลที่ไม่มีรายละเอียดของเชื้อเพลิงรถยนต์ เทคโนโลยีของรถยนต์ที่วิ่งจริงบนถนน จึงได้นำค่าตัวคูณมลพิษของ Atmospheric Brown Clouds: Emission Inventory Manual มาใช้ งานที่สามารถบ่งบอกประเภทของของเชื้อเพลิงรถยนต์ เทคโนโลยีของรถยนต์ในภาพรวมได้ โดยนำ การแบ่งประเภทรถยนต์ตามรายงานการจราจรมาจัดเข้าประเภทยานพาหนะตาม Emission Factor ที่ใช้ได้ ดังนี้

- PC (Personal car) = รถยนต์นั่ง
 LD (Light duty) = รถตู้/ปิคอัพ และ รถเมล์เล็ก
 HD (Heavy duty) = รถเมล์ใหญ่ และ รถบรรทุก
 OT (Other Vehicle) = สามล้อ

\

ตารางที่ 3-1 ตารางตัวอย่างตัวคูณมลพิษ (Emission Factor) ในหน่วย กรัมต่อกิโลเมตร (g/km)	
Vehicle/Fuel Type	PM _{2.5}
Gasoline	
Passenger cars (Good control-EURO I & II)	0.007
Motorcycles (4-stroke with control)	0.05
Diesel	
Light duty vehicles (Good control-EURO I & II)	0.15
Heavy duty vehicles (Good control-EURO I & II)	0.72

ที่มา: (Shrestha และคณะ, 2012)

2. วิเคราะห์และประมวลผลข้อมูล

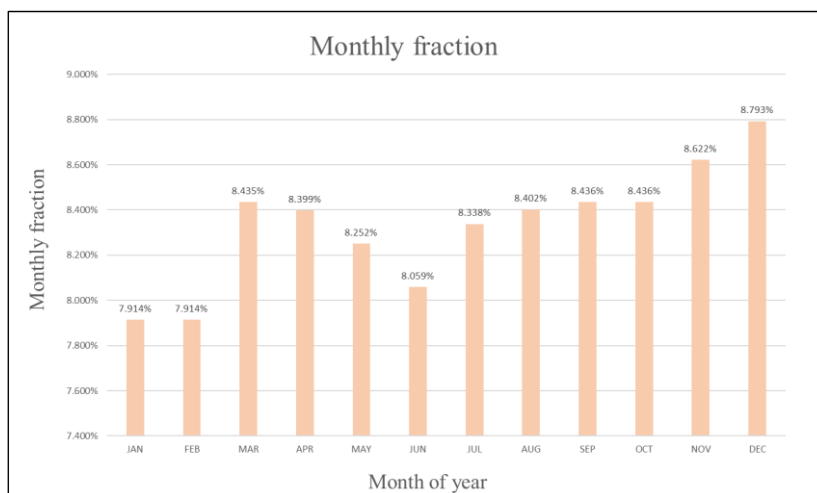
2.1. การวิเคราะห์ข้อมูลความผันแปรการจราจร (Variability)

1. ข้อมูลความผันแปรปริมาณการจราจรของแต่ละเดือนใน 1 ปี

จากข้อมูลรายงานการศึกษาความผันแปรปริมาณการจราจร ประจำปี พ.ศ.2551 โดยสำนัก
อำนวยความสะดวก กรมทางหลวง โดยใช้ค่าจากทางหลวงหมายเลข 9-0201 ตอน กม.30+600
(ต่อเขต สน.บพ.ธนบุรี) - บางบัวทอง กม.สำรวจที่ 34+050 ซึ่งเป็นถนนที่ใกล้ขอบเขตการศึกษามาก
ที่สุดที่มีข้อมูลนำมาคิดเป็นสัดส่วนปริมาณการจราจรของแต่ละเดือนเทียบกับทั้งปี (Monthly Traffic

Volume Fraction) หรือ $MF_m \left(\frac{\frac{veh}{month}}{\frac{veh}{year}} \right)$ ซึ่ง m คือเดือนต่าง ๆ ใน 1 ปี (มกราคม, กุมภาพันธ์, ..., ธันวาคม)

ภายใต้สมมติฐานว่าความผันแปรปริมาณการจราจรในแต่ละปีมีค่าคงที่ อ้างอิงจากรูปที่ 3-9
แสดงถึงความผันแปรของการจราจรของเดือนต่าง ๆ ใน 1 ปีที่มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ



รูปที่ 3-9 ตาราง Monthly Traffic Volume Fraction

2. ข้อมูลความผันแปรของการจราจรในแต่ละวันของสัปดาห์

จากข้อมูลปริมาณรถ 1 สัปดาห์ ณ ถนนบรรทัดทอง เป็นปริมาณการจราจรรายชั่วโมง 24 ชั่วโมงตลอดสัปดาห์จากกล้อง CCTV นำมาคำนวณเป็นสัดส่วนปริมาณการจราจรต่าง ๆ เพื่อใช้ในการคำนวณต่อไป ดังนี้

สัดส่วนปริมาณการจราจรของแต่ละวันเทียบกับทั้งสัปดาห์ (Day of Week Traffic Volume

Fraction) หรือ $DWF_{d,j} \left(\frac{\text{veh day}}{\text{veh week}} \right)$ ภายใต้สมมติฐานว่าทุก ๆ สัปดาห์ในเดือนนั้น ๆ มีความผันแปรเช่นเดียวกัน โดยที่

d คือ วันต่าง ๆ ในสัปดาห์ (วันจันทร์, วันอังคาร,, วันอาทิตย์)

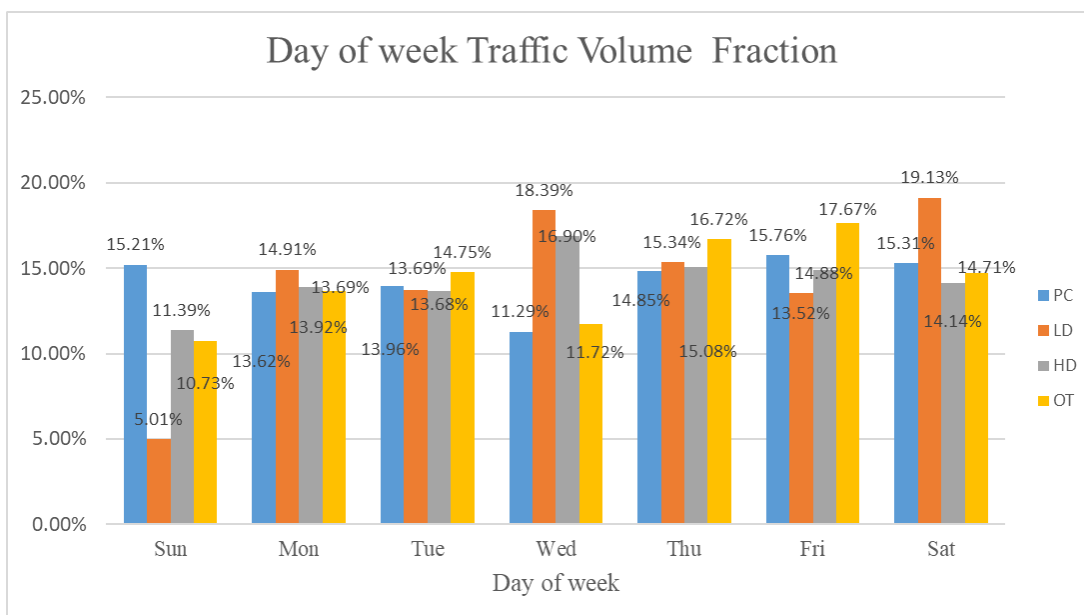
j คือ ประเภทรถยนต์ทั้ง 4 ประเภท ได้แก่

PC (Personal car) = รถยนต์นั่ง

LD (Light duty) = รถตู้/ปิคอัพ และ รถเมล์เล็ก

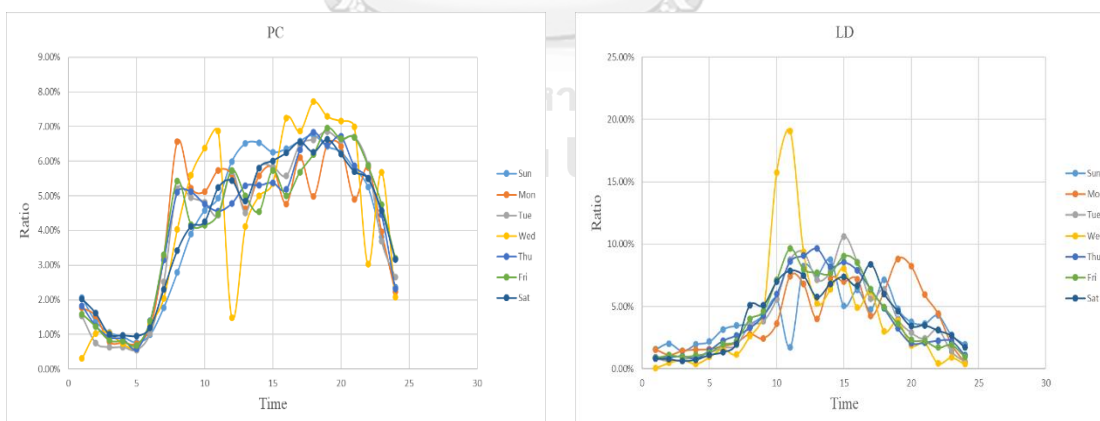
HD (Heavy duty) = รถเมล์ใหญ่ และ รถบรรทุก

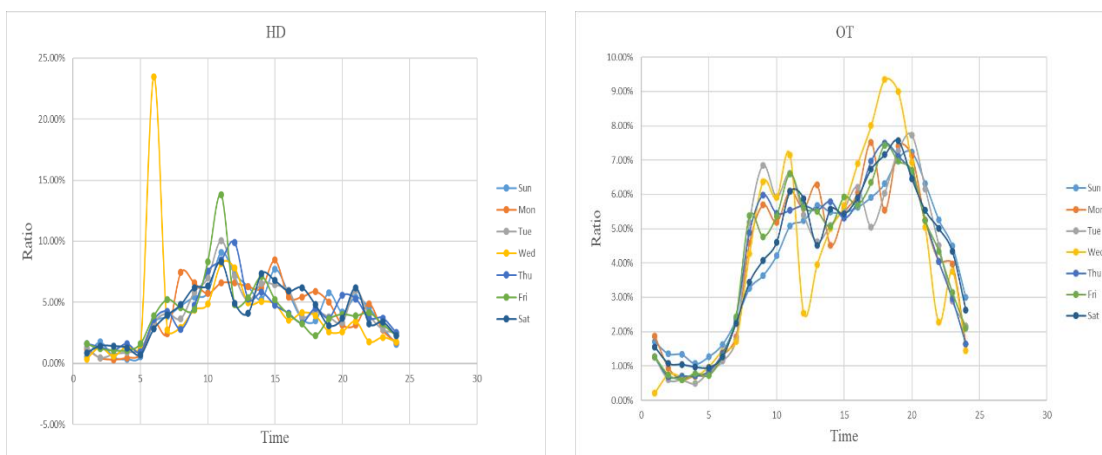
OT (Other Vehicle) = สามล้อ



รูปที่ 3-10 ตาราง Day of week Traffic Volume Fraction

ในการศึกษานี้จะแบ่งวันในสัปดาห์เป็นวันธรรมดา (Weekday) วันเสาร์ (Sat) และวันอาทิตย์ (Sun) ซึ่งค่าที่ใช้สำหรับวันธรรมดานั้นมาจากการนำค่าของวันจันทร์ วันอังคาร วันพฤหัสบดีและวันศุกร์มาเฉลี่ยกัน ตัดวันพุธออกเนื่องจากสังเกตพฤติกรรมการเกาะกลุ่มของชุดข้อมูลจากการทำ Ratio plot ที่แสดงให้เห็นว่าค่าของวันพุธมีความแตกต่างจากวันอื่น ๆ อย่างเห็นได้ชัดและไม่สามารถหาเหตุผลได้





รูปที่ 3-11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนปริมาณการจราจรและช่วงเวลาของวันในสัปดาห์ของรถทั้ง 4 ประเภทในการศึกษา (Ratio plot)

3. การขยายข้อมูลการจราจรในช่วงเวลากลางคืน (Extrapolate Nighttime)

สำนักการจราจรและขนส่ง ไม่มีการเก็บข้อมูลในช่วงกลางคืน (NT: Night time) เวลา 19.00 – 7.00 น. ซึ่งเป็นข้อมูลที่ต้องใช้ในการนำเข้าสู่แบบจำลอง จึงจำเป็นต้องคำนวณเพื่อขยายข้อมูลให้ครบ 24 ชั่วโมง ด้วยวิธีดังนี้

โดยใช้สูตรในการคำนวณดังนี้

$$\frac{\text{SUM Daytime Traffic volume}_j}{(1 - \text{NTF}_{d,j})} * \text{NTF}_{d,j} = \text{SUM Nighttime Traffic volume}_j$$

โดยที่

NFT คือ สัดส่วนของปริมาณการจราจรในช่วงเวลากลางคืน (Nighttime traffic volume fraction)

d คือ วันต่าง ๆ ในสัปดาห์ (วันจันทร์, วันอังคาร, ..., วันอาทิตย์)

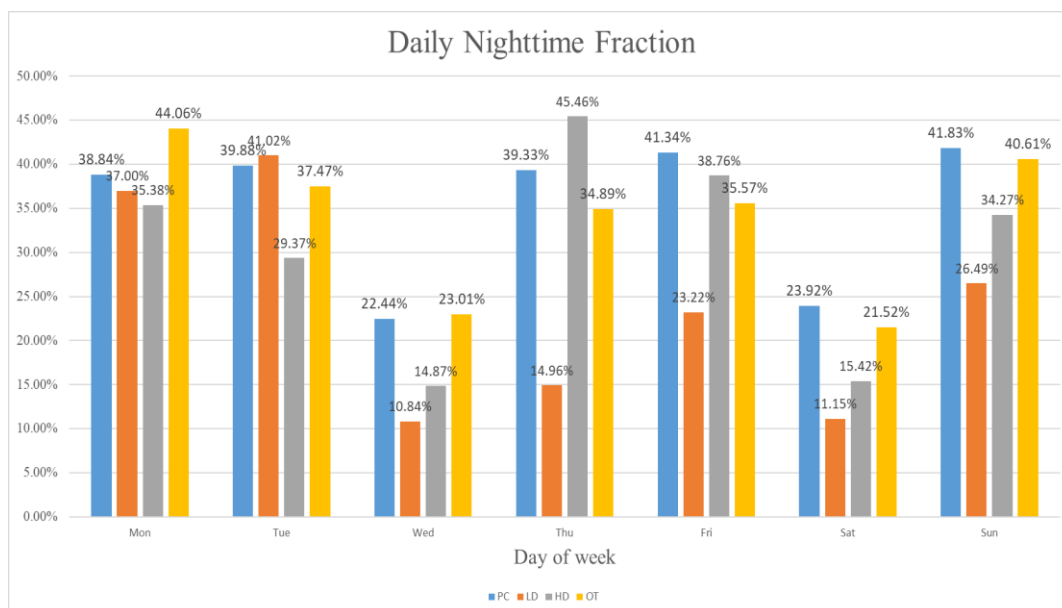
j คือ ประเภทรถที่แบ่งในการศึกษาได้แก่

PC (Personal car) = รถยนต์นั่ง

LD (Light duty) = รถตู้/ปิกอัพ และ รถเมล์เล็ก

HD (Heavy duty) = รถเมล์ใหญ่ และ รถบรรทุก

OT (Other Vehicle) = สามล้อ



รูปที่ 3-12 กราฟ Nighttime Traffic Volume Fraction

4. ข้อมูลความผันแปรของการจราจรแต่ละชั่วโมงใน 1 วัน

เมื่อได้ข้อมูลการจราจรครบทุกช่วงเวลาจากการขยายข้อมูลการจราจรในช่วงเวลากลางคืนจะนำข้อมูลที่ได้ไปขยายต่อเพื่อรวมเป็นข้อมูลการจราจรแต่ละชั่วโมงใน 1 วันตลอดทั้งสัปดาห์ ด้วยการทำสัดส่วนปริมาณการจราจรรายชั่วโมงเทียบกับทั้งวัน (Hourly Traffic Volume Fraction)

หรือ $HF_{d,j} \left(\frac{\text{veh}}{\text{veh}} \right)$ จากข้อมูลกล้อง CCTV ที่ถนนบรรทัดทอง วันที่ 14 – 20 มีนาคม พ.ศ.2564

d คือ วันต่าง ๆ ในสัปดาห์ (วันจันทร์, วันอังคาร, ..., วันอาทิตย์)

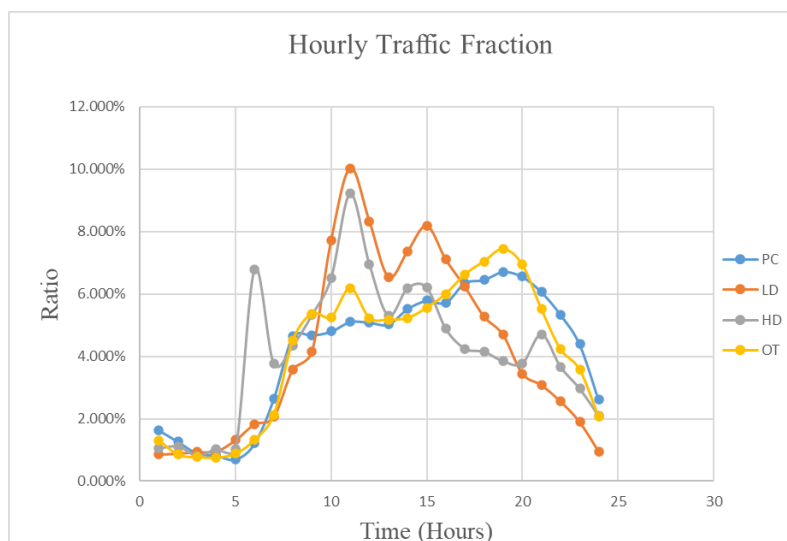
j คือ ประเภทที่แบ่งในการศึกษาได้แก่

PC (Personal car) = รถยนต์นั่ง

LD (Light duty) = รถตู้/ปิคอัพ และ รถเมล์เล็ก

HD (Heavy duty) = รถเมล์ใหญ่ และ รถบรรทุก

OT (Other Vehicle) = สามล้อ



รูปที่ 3-13 กราฟตัวอย่าง Hourly Traffic Fraction วันที่ 14 มีนาคม พ.ศ.2564

5. การขยายข้อมูลให้เป็นข้อมูลทั้งปี

เมื่อนำข้อมูลปริมาณจราจร สำนักงานการจราจรและขนส่ง กรุงเทพมหานคร มารวมกับ สัดส่วนปริมาณการจราจรในเวลากลางคืนได้เป็นข้อมูลปริมาณการจราจรต่อวัน ซึ่งข้อมูลแต่ละจุดถูก เก็บในปีที่แตกต่างกันในช่วงปี พ.ศ.2561-2563 จึงนำมาปรับเทียบกับข้อมูลปีฐาน (Base year) ที่ กำหนดให้เป็น พ.ศ.2563 เนื่องจากเป็นปีที่เป็นปัจจุบันมากที่สุดขณะที่เริ่มพัฒนาจัดทำข้อมูลบัญชี การปลดปล่อย โดยวิเคราะห์ค่าตัวคูณปรับเทียบปีฐานจากปริมาณจราจร Annual Average Daily Traffic จากตำแหน่งต่าง ๆ บนโครงข่ายถนนทางหลวง (ที่รับผิดชอบโดยกรมทางหลวง) ซึ่งตั้งอยู่ใน เขตกรุงเทพมหานคร สืบค้นจาก <http://bhs.doh.go.th/download/traffic> ในช่วงปี พ.ศ.2561-2563 นำมาคำนวณรวมเป็นปริมาณจราจรซึ่งสะท้อนปริมาณจราจรในภาพรวมของแต่ละปี ที่แสดงให้เห็นถึงแนวโน้ม (Trend) ของปริมาณจราจรที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละปี แสดงตารางที่ 3-2

ตารางที่ 3-2 ตารางค่าปรับเทียบ ปี พ.ศ.2561-2563

ปี	ค่าปรับเทียบ
พ.ศ.2561	0.9650
พ.ศ.2562	0.9934
พ.ศ.2563	1

โดยมีการคำนวณดังนี้

$$\text{Traffic Data}_{\text{scaled to 2563}} = \frac{\text{Traffic Data}_x}{\text{Factor of year}_x}; x = \text{year of traffic data}$$

ทั้งนี้เมื่อได้ข้อมูลสมบูรณ์ทั้งปีสำหรับปีฐาน พ.ศ.2563 แล้วก็สามารถนำมาปรับเทียบให้เป็นข้อมูลปีต่าง ๆ ต่อไปได้โดยใช้ค่าปรับเทียบชุดนี้กลับมาคูณเช่นกัน

การคำนวณ Annual Average Daily Traffic

การคำนวณ Activity Data จะใช้ค่า Annual Average Daily Traffic เพื่อขยายข้อมูลปริมาณจราจรที่ข้อมูลแต่ละจุดถูกเก็บในเวลาที่แตกต่างกัน ซึ่งค่า Annual Average Daily Traffic นี้มาจากการคำนวณเพื่อหาค่าเฉลี่ยรายปี และการคำนวณกลับมายังค่า ณ เวลาหนึ่ง ๆ ที่ทำการจำลองนั้น โดยมีการคำนวณดังนี้

$$AADT_{Base} \left(\frac{veh}{day} \right) = Traffic\ Data_{scaled\ to\ 2563,m,d} \left(\frac{veh}{day} \right) * \frac{1}{MF_m \left(\frac{month}{veh} \right)} * \frac{1}{DWF_{d,j} \left(\frac{veh}{day} \right)} * w_m \left(\frac{week}{month} \right) * \frac{1}{365} \left(\frac{year}{day} \right)$$

โดยที่

$AADT_{Base} \left(\frac{year}{day} \right)$ คือ Annual Average Daily Traffic ของ Base year 2563

$Traffic\ Data_{scaled\ to\ 2563,m,d} \left(\frac{veh}{day} \right)$ คือ ปริมาณการจราจรที่ถูกปรับเทียบให้เป็นข้อมูลปี พ.ศ.2563 ของวัน d เดือน m

d คือ วันในสัปดาห์ที่ถูกแบ่งในการศึกษานี้ ได้แก่ วันธรรมดา (Weekday) วันเสาร์ (Sat) และวันอาทิตย์ (Sun)

m คือ เดือนต่าง ๆ ใน 1 ปี (มกราคม, กุมภาพันธ์, ..., ธันวาคม)

$MF_m \left(\frac{month}{veh} \right)$ คือ สัดส่วนปริมาณการจราจรของแต่ละเดือนเทียบกับทั้งปี (Monthly Fraction)

จากความผันแปรปริมาณการจราจรของแต่ละเดือน ซึ่ง m คือ เดือนต่าง ๆ ใน 1 ปี (มกราคม, กุมภาพันธ์, ..., ธันวาคม)

$DWF_{d,j} \left(\frac{veh}{day} \right)$ คือ สัดส่วนปริมาณการจราจรของแต่ละวันเทียบกับทั้งสัปดาห์ (Day of week fraction)

d คือ วันในสัปดาห์ที่ถูกแบ่งในการศึกษานี้ ได้แก่ วันธรรมดา (Weekday) วันเสาร์ (Sat) และวันอาทิตย์ (Sun) ดังที่อธิบายในความผันแปรปริมาณการจราจรของแต่ละเดือน

j คือ ประเภทรถที่แบ่งในการศึกษาได้แก่

PC (Personal car) = รถยนต์นั่ง

LD (Light duty) = รถตู้/ปิคอัพ และ รถเมล์เล็ก

HD (Heavy duty) = รถเมล์ใหญ่ และ รถบรรทุก

OT (Other Vehicle) = สามล้อ

$W_{2563,m} \left(\frac{\text{week}}{\text{month}} \right)$ คือ จำนวนสัปดาห์ในเดือน m ใน ปี พ.ศ.2563

ตารางที่ 3-3 จำนวนสัปดาห์ในเดือนต่าง ๆ ของปี 2563

เดือน	จำนวนสัปดาห์
มกราคม	4.429
กุมภาพันธ์	4.143
มีนาคม	4.429
เมษายน	4.286
พฤษภาคม	4.429
มิถุนายน	4.286
กรกฎาคม	4.429
สิงหาคม	4.429
กันยายน	4.286
ตุลาคม	4.429
พฤศจิกายน	4.286
ธันวาคม	4.429

หากต้องการ Annual Average Daily Traffic ในปี พ.ศ.2561-2562 สามารถนำค่าที่ได้จากการเปรียบเทียบข้อมูลความผันแปรรายปี คุณกลับเข้ามาได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 AADT_x \left(\frac{\text{veh}}{\text{day}} \right) &= \text{Traffic Data}_{\text{scaled to 2563,m,d}} \left(\frac{\text{veh}}{\text{day}} \right) * \frac{1}{MF_m \left(\frac{\frac{\text{veh}}{\text{month}}}{\frac{\text{veh}}{\text{year}}} \right)} * \frac{1}{DWF_{d,j} \left(\frac{\frac{\text{veh}}{\text{day}}}{\frac{\text{veh}}{\text{week}}} \right)} \\
 &* w_{x,m} \left(\frac{\text{week}}{\text{month}} \right) * \frac{1(\text{year})}{365(\text{day})} * \text{Factor of year } x
 \end{aligned}$$

โดยที่

$AADT_x \left(\frac{\text{veh}}{\text{day}} \right)$ คือ Annual Average Daily Traffic ของปี x โดยที่ x คือ ปี พ.ศ.2561-2563

$\text{Traffic Data}_{\text{scaled to 2563,m,d}} \left(\frac{\text{veh}}{\text{day}} \right)$

คือ ปริมาณการจราจรที่ถูกปรับเทียบให้เป็นข้อมูลปี พ.ศ.2563 ของ
วัน d เดือน m

d คือ วันในสัปดาห์ที่ถูกแบ่งในการศึกษานี้ ได้แก่ วันธรรมดา
(Weekday) วันเสาร์ (Sat) และวันอาทิตย์ (Sun) ดังที่อธิบายใน
ความผันแปรปริมาณการจราจรของแต่ละเดือน

m คือ เดือนต่าง ๆ ใน 1 ปี (มกราคม, กุมภาพันธ์, ..., ธันวาคม)

$MF_m(\frac{\text{veh}}{\text{month}})$ คือ สัดส่วนปริมาณการจราจรของแต่ละเดือนเทียบกับทั้งปี (Monthly Fraction)
year

จากความผันแปรปริมาณการจราจรของแต่ละเดือน ซึ่ง m คือ เดือนต่าง ๆ ใน 1
ปี (มกราคม, กุมภาพันธ์, ..., ธันวาคม)

$DWF_{d,j}(\frac{\text{veh}}{\text{day}})$ คือ สัดส่วนปริมาณการจราจรของแต่ละวันเทียบกับทั้งสัปดาห์ (Day of week
fraction) ซึ่ง

d คือ วันในสัปดาห์ที่ถูกแบ่งในการศึกษานี้ ได้แก่ วันธรรมดา
(Weekday) วันเสาร์ (Sat) และวันอาทิตย์ (Sun)

j คือ ประเภทรถที่แบ่งในการศึกษาได้แก่

PC (Personal car) = รถยนต์นั่ง

LD (Light duty) = รถตู้/ปิคอัพ และ รถเมล์เล็ก

HD (Heavy duty) = รถเมล์ใหญ่ และ รถบรรทุก

OT (Other Vehicle) = สามล้อ

$W_{x,m}(\frac{\text{week}}{\text{month}})$ คือ จำนวนสัปดาห์ในเดือน m ใน ปี x (พ.ศ.2559-2562)

ตารางที่ 3-4 จำนวนสัปดาห์ในเดือนต่าง ๆ ของปี

ปีที่มี 365 วัน		ปีที่มี 366 วัน	
เดือน	จำนวนสัปดาห์	เดือน	จำนวนสัปดาห์
มกราคม	4.429	มกราคม	4.429
กุมภาพันธ์	4.143	กุมภาพันธ์	4
มีนาคม	4.429	มีนาคม	4.429
เมษายน	4.286	เมษายน	4.286

พฤษภาคม	4.429	พฤษภาคม	4.429
มิถุนายน	4.286	มิถุนายน	4.286
กรกฎาคม	4.429	กรกฎาคม	4.429
สิงหาคม	4.429	สิงหาคม	4.429
กันยายน	4.286	กันยายน	4.286
ตุลาคม	4.429	ตุลาคม	4.429
พฤศจิกายน	4.286	พฤศจิกายน	4.286
ธันวาคม	4.429	ธันวาคม	4.429

Factor of year x คือ ค่าที่ประมวลผลได้จากปริมาณจราจร Annual Average Daily Traffic จากตำแหน่งต่าง ๆ บนโครงข่ายถนนทางหลวง อธิบายในความผันแปรรายปี

3. การคำนวณอัตราการปลดปล่อยมลพิษ

แบบจำลอง AERMOD ต้องการข้อมูลนำเข้าเป็นอัตราการปลดปล่อยมลพิษในหน่วย กรัมต่อวินาทีต่อตารางเมตร (Emission Rate ($\frac{g}{s \cdot m^2}$)) มีสูตรในการคำนวณดังนี้

$$\begin{aligned} \text{Emission Rate}_x \left(\frac{g}{s \cdot m^2} \right) &= \frac{\text{AADT}_x \left(\frac{\text{veh}}{\text{day}} \right) * \text{VF}_{r,d,m,j} \left(\frac{\text{day}}{\text{hour}} \right) * \text{EF} \left(\frac{g}{\text{km} \times \text{veh}} \right)}{1 * \text{source width (m)}} \end{aligned}$$

โดยที่

$\text{AADT}_x \left(\frac{\text{year}}{\text{day}} \right)$ คือ Annual Average Daily Traffic ของปี X

$\text{VF}_{r,d,m,j} \left(\frac{\text{day}}{\text{hour}} \right)$ คือ Variable factor ตัวคูณแปลงค่าจากค่า Emission Rate ที่เป็นค่า Annual averaged daily traffic เป็นค่ารายชั่วโมงในวันนั้น ๆ โดยจะอธิบายในหัวข้อถัดไป

r คือ ประเภทถนนได้แก่ At-grade Road และ Expressway

d คือ วันในสัปดาห์ที่ถูกแบ่งในการศึกษาได้แก่ วันธรรมดา (Weekday) วันเสาร์ (Sat) และวันอาทิตย์ (Sun)

m คือ เดือนต่าง ๆ ใน 1 ปี (มกราคม, กุมภาพันธ์, ..., ธันวาคม)

j คือ ประเภทรถที่แบ่งในการศึกษาได้แก่

PC (Personal car) = รถยนต์นั่ง

LD (Light duty) = รถตู้/ปิคอัพ และ รถเมล์เล็ก

HD (Heavy duty) = รถเมล์ใหญ่ และ รถบรรทุก

OT (Other Vehicle) = สามล้อ

$EF \left(\frac{g}{km} \right)$ คือ Emission Factor ซึ่งจำแนกตามชนิดมลพิษและประเภทรถ

j คือ ประเภทรถที่แบ่งในการศึกษาได้แก่

PC (Personal car) = รถยนต์นั่ง

LD (Light duty) = รถตู้/ปิคอัพ และ รถเมล์เล็ก

HD (Heavy duty) = รถเมล์ใหญ่ และ รถบรรทุก

OT (Other Vehicle) = สามล้อ

Source width (m) คือ ความกว้างถนนที่นำมาใช้คำนวณอัตราการปลดปล่อยมลพิษในแบบจำลอง ดังตารางที่ 3-5

ตารางที่ 3-5 ความกว้างถนนต่าง ๆ ในขอบเขตพื้นที่ศึกษา

ถนน	ความกว้าง (เมตร)	ถนน	ความกว้าง (เมตร)
อังรีตุนันต์	25	เจริญเมือง	12.5
พญาไท	25	จรัสเมือง	10
สี่พระยา	10	จารุเมือง	45.5
บรรทัดทอง	12	ราชดำริ	25
พระราม 1	18	สารสิน	25
พระราม 4	40	นเรศ	10
ซอยจุฬาฯ 12	12	ทางหลักพิเศษ	27
ซอยจุฬาฯ 9	12	ด่านหัวลำโพงและสะพานสว่าง	10

4. การคำนวณ Variable Factor

เนื่องจากต้องใช้ค่า Annual average daily traffic ในการกำหนดค่า Source input และ Emission rate ควบคู่กับกำหนดค่า Variable factor เมื่อดำเนินการประมวลผลแบบจำลองไปในแต่ละชั่วโมงของแต่ละวัน จะต้องมีการคูณแฟกเตอร์แปลงจากค่า Emission rate ที่เป็นของค่า Annual averaged daily traffic ไปเป็นค่าของชั่วโมงนั้นโดยใช้ค่าแฟกเตอร์สำหรับถนน R วัน Day เดือน month และรถ j หรือ $Factor_{r,d,m,j} \left(\frac{day}{hour} \right)$ โดยที่ $Factor_{r,d,m,j} \left(\frac{day}{hour} \right)$ มีการคำนวณดังนี้

$$\begin{aligned}
 & \text{Factor}_{r,d,m,j} \left(\frac{\text{veh/hour}}{\text{veh/day}} \right) \\
 &= \text{MF}_m \left(\frac{\frac{\text{veh}}{\text{month}}}{\frac{\text{veh}}{\text{year}}} \right) * \text{DWF}_{d,j} \left(\frac{\frac{\text{veh}}{\text{day}}}{\frac{\text{veh}}{\text{week}}} \right) * w_m \left(\frac{\text{week}}{\text{month}} \right) * 365 \frac{\text{day}}{1\text{year}} \\
 & \quad * \text{HF}_{d,j} \left(\frac{\frac{\text{veh}}{\text{hour}}}{\frac{\text{veh}}{\text{day}}} \right)
 \end{aligned}$$

โดยที่

$\text{Factor}_{r,d,m,j} \left(\frac{\text{day}}{\text{hour}} \right)$ คือ แฟคเตอร์แปลงค่าจากค่า Emission Rate ที่เป็นค่า Annual averaged daily traffic เป็นค่ารายชั่วโมงในวันนั้น ๆ

r คือ ประเภทถนนได้แก่ Ground Road และ Expressway

d คือ วันในสัปดาห์ที่ถูกแบ่งในการศึกษานี้ ได้แก่ วันธรรมดา (Weekday) วันเสาร์ (Sat) และวันอาทิตย์ (Sun)

m คือ เดือนต่าง ๆ ใน 1 ปี (มกราคม, กุมภาพันธ์, ..., ธันวาคม)

j คือ ประเภทรถที่แบ่งในการศึกษาได้แก่

PC (Personal car) = รถยนต์นั่ง

LD (Light duty) = รถตู้/ปิคอัพ และ รถเมล์เล็ก

HD (Heavy duty) = รถเมล์ใหญ่ และ รถบรรทุก

OT (Other Vehicle) = สามล้อ

$\text{MF}_m \left(\frac{\frac{\text{veh}}{\text{month}}}{\frac{\text{veh}}{\text{year}}} \right)$ คือ สัดส่วนปริมาณการจราจรของแต่ละเดือนเทียบกับทั้งปี (Monthly Fraction)

m คือ เดือนต่าง ๆ ใน 1 ปี (มกราคม, กุมภาพันธ์, ..., ธันวาคม)

$\text{DWF}_{d,j} \left(\frac{\frac{\text{veh}}{\text{day}}}{\frac{\text{veh}}{\text{week}}} \right)$ คือ สัดส่วนปริมาณการจราจรของแต่ละวันเทียบกับทั้งสัปดาห์ (Day of week fraction) ซึ่ง

d คือ วันในสัปดาห์ที่ถูกแบ่งในการศึกษานี้ ได้แก่ วันธรรมดา (Weekday) วันเสาร์ (Sat) และวันอาทิตย์ (Sun)

j คือ ประเภทรถที่แบ่งในการศึกษาได้แก่

PC (Personal car) = รถยนต์นั่ง

LD (Light duty) = รถตู้/ปิคอัพ และ รถเมล์เล็ก

HD (Heavy duty) = รถเมล์ใหญ่ และ รถบรรทุก

OT (Other Vehicle) = สามล้อ

$W_{2563,m}(\frac{\text{week}}{\text{month}})$ คือ จำนวนสัปดาห์ในเดือน m ใน ปี พ.ศ.2563

จากการคำนวณ Variable factor เราสามารถแบ่งตารางได้ทั้งหมด 7 ตารางจำแนกตามประเภทของการจราจรได้ 2 ประเภท ดังนี้

1. การจราจรบนท้องถนน แบ่งตามประเภทรถยนต์ได้ 4 ประเภท ได้แก่ PC, LD, HD และ OT
2. การจราจรบนทางพิเศษ แบ่งตามประเภทรถยนต์ได้ 3 ประเภท ได้แก่ PC, LD และ HD

ตาราง Variable factor นี้แบ่งตามช่วงเวลาทั้งหมด 12 เดือน 7 วันในสัปดาห์ ทุก ๆ 1 ชั่วโมง ตลอด 24 ชั่วโมง ซึ่งจะมีการจำแนกวันในสัปดาห์ออกเป็นประเภทดังนี้

1. วันจันทร์-ศุกร์ (Weekday)
2. วันเสาร์ (Sat)
3. วันอาทิตย์ (Sun)

Hour (Ending of Hour Period)	Weekday	Sat	Sun
1:00	0.0176	0.0224	0.0226
2:00	0.0125	0.0178	0.0151
3:00	0.0084	0.0111	0.0116
4:00	0.0081	0.0108	0.0102
5:00	0.0067	0.0106	0.0084
6:00	0.0132	0.0132	0.0109
7:00	0.0322	0.0254	0.0194
8:00	0.0584	0.0379	0.0306
9:00	0.0509	0.0455	0.0427
10:00	0.0493	0.0470	0.0503
11:00	0.0502	0.0579	0.0541
12:00	0.0573	0.0601	0.0658
13:00	0.0512	0.0535	0.0715
14:00	0.0555	0.0642	0.0717
15:00	0.0597	0.0665	0.0687
16:00	0.0539	0.0690	0.0698
17:00	0.0644	0.0725	0.0723
18:00	0.0649	0.0693	0.0741
19:00	0.0703	0.0733	0.0705
20:00	0.0694	0.0686	0.0689
21:00	0.0637	0.0631	0.0635
22:00	0.0606	0.0608	0.0577
23:00	0.0445	0.0506	0.0418
0:00	0.0276	0.0350	0.0260

รูปที่ 3-14 ตัวอย่างตาราง Variable factor ของรถยนต์ประเภท Personal car (PC) ในเดือน

มกราคม

5. การคำนวณอัตราการปลดปล่อยมลพิษสำหรับทางพิเศษ

5.1. สัดส่วนของประเภทรถจากการคำนวณ

เนื่องจากข้อมูลการจราจรบนทางพิเศษนั้นไม่มีการแบ่งประเภทรถ Personal car (PC) และ Light duty (LD) มีเพียง Heavy duty (HD) เท่านั้น จึงใช้สัดส่วน PC 79% และ LD 21% ภายใต้สมมติฐานว่าถนนในกรุงเทพมหานครมีการจำแนกยานพาหนะสอดคล้องกับรถที่ขึ้นใช้ทางด่วน จากการวิเคราะห์ตัวเลขปริมาณจราจรปี พ.ศ.2563 บนโครงข่ายทางหลวงในเขตกรุงเทพฯ โดยเลือกข้อมูลเฉพาะภายในกรุงเทพฯ เท่านั้น เฉพาะด้านขึ้นลงทางด่วนพิเศษส่วนที่ศึกษาอยู่ในกรุงเทพฯ เท่านั้น

5.2. การปรับสัดส่วนปริมาณการจราจร

เนื่องจากทางพิเศษมีลักษณะการจราจรที่แตกต่างจากถนนภาคพื้น จึงมีการปรับการคำนวณโดยในส่วนด้านนั้นจะใช้การคำนวณแบบเดียวกับถนนพื้นเพราะเชื่อมต่อกันโดยตรง แต่ทางพิเศษหลักมีลักษณะการใช้งานที่แตกต่างออกไป กล่าวคือการจราจรบนทางหลักของทางด่วนจะมีความถี่สูงกว่าบริเวณทางลงอยู่บ้าง จึงตั้งสมมติฐานให้มีความผันแปรที่สอดคล้องกับปริมาณจราจรระดับพื้นดิน แต่ลดขนาดของความผันแปรลงจึงจะมีการปรับค่า Fraction คือ สัดส่วนปริมาณการจราจรของแต่ละวันเทียบกับทั้งสัปดาห์ (Day of week fraction) หรือ $DWF_{d,j} \left(\frac{\text{veh}}{\text{day}} \right)$ และสัดส่วนปริมาณการจราจรรายชั่วโมงเทียบกับทั้งวัน (Hourly Fraction) หรือ $HF_{d,j} \left(\frac{\text{veh}}{\text{hour}} \right)$ ที่จะนำมาใช้ในการคำนวณทั้งหมดให้เป็น dampened fraction โดยมีการคำนวณดังนี้

$$\text{Dampened fraction} = \frac{\text{Dampened Data}}{\text{Sum Data}}$$

Dampened Data

$$= (f_{\text{Dampened}} * \text{mean of data}) + ((1 - f_{\text{Dampened}}) * \text{original data})$$

โดยที่

f_{Dampened} คือ Dampened factor ในที่นี้กำหนดให้เท่ากับ 0.4

Original data คือ ข้อมูลปริมาณการจราจรรายชั่วโมงที่ใช้คำนวณ $DWF_{d,j} \left(\frac{\text{veh}}{\text{day}} \right)$ และ

$$HF_{d,j} \left(\frac{\text{veh}}{\text{hour}} \right)$$

3.2.3 การรวบรวมข้อมูลนำเข้าสำหรับแบบจำลอง

สำหรับ ปี พ.ศ.2561-2563 มีข้อมูลตรวจวัด $PM_{2.5}$ เฉลี่ยรายชั่วโมงที่ไม่สมบูรณ์จากทั้ง 3 สถานีตรวจวัดที่นำมาใช้เป็นข้อมูลความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ที่พัดพาเข้ามาในพื้นที่ศึกษา ดังแสดงในตารางที่ 3-6 โดยจะสังเกตได้ว่าข้อมูลข้อมูลตรวจวัด $PM_{2.5}$ เฉลี่ยรายชั่วโมงทั้ง 3 ปีมีข้อมูลที่ขาดหายไปอย่างมีนัยสำคัญในบางช่วง จึงได้ดำเนินการดังนี้

1. ตัดผลแบบจำลองปี พ.ศ.2561 ออกจากการวิเคราะห์เปรียบเทียบผลแบบจำลองกับข้อมูลตรวจวัด เนื่องจากขาดข้อมูล $PM_{2.5}$ สถานีตรวจวัดริมถนนแขวงช่องนนทรี ที่ใช้เป็นความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ที่พัดพาเข้ามาในพื้นที่ศึกษา

2. สำหรับข้อมูลสถานีตรวจวัดริมถนนแขวงช่องนนทรี เขตยานนาวา กรุงเทพมหานคร (สถานีต้นลมทางทิศใต้) ซึ่งข้อมูลตรวจวัด $PM_{2.5}$ ที่ขาดหายไปในปี พ.ศ.2562 ระหว่างวันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2562 ถึงวันที่ 17 สิงหาคม พ.ศ.2562 ดังนั้นในงานวิจัยจึงตัดข้อมูลผลแบบจำลองค่าเฉลี่ยรายวันในช่วงที่ได้กล่าวไปข้างต้น ในกรณีที่มิติทิศทางต้นลมมาจากทิศใต้เกิน 8 ชั่วโมง (1 ส่วน 3 วัน) จะถือว่าค่าเฉลี่ยของวันนั้นจะได้รับอิทธิพลจากข้อมูลที่ขาดหายอย่างมีนัยสำคัญ และไม่เหมาะสมต่อการวิเคราะห์เปรียบเทียบผลแบบจำลองกับข้อมูลตรวจวัด ซึ่งพบว่ามีผลจำลองที่ตัดออกในช่วงวันดังกล่าวเท่ากับ 230 วัน

ตารางที่ 3-6 ข้อมูลตรวจวัด $PM_{2.5}$ เฉลี่ยรายชั่วโมงจากสถานีตรวจวัดที่นำมาใช้ศึกษาข้อมูลความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ที่พัดพาเข้ามาในพื้นที่ศึกษาที่ไม่มีการรายงาน

จุดตรวจวัด	ปี พ.ศ.	จำนวนข้อมูลทั้งหมด	จำนวนข้อมูลที่ไม่มีรายงาน	% ความไม่สมบูรณ์ข้อมูล
สถานีตรวจวัดริมถนนแขวงดินแดง	2561	8759	4967	56.71
	2562	8759	112	1.28
	2563	8783	73	0.83
สถานีตรวจวัดริมถนนอินทรพิทักษ์	2561	8759	116	1.32
	2562	8759	32	0.37
	2563	8783	31	0.35
สถานีตรวจวัดริมถนนแขวงช่องนนทรี	2561	ไม่มีข้อมูล	ไม่มีข้อมูล	ไม่มีข้อมูล
	2562	8759	5503	62.83
	2563	8783	109	1.24

แบบจำลอง AERMOD ต้องการข้อมูลนำเข้าดังนี้

3.2.3.1 ข้อมูลแหล่งกำเนิดมลพิษ

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาแหล่งกำเนิดมลพิษจากการจราจรเนื่องจากในบริเวณโดยรอบ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในขอบเขต 2.5 กิโลเมตร x 2.5 กิโลเมตร มีท้องถนนอยู่โดยรอบประกอบกับการจราจรที่ค่อนข้างหนาแน่นในบริเวณห้างสรรพสินค้าสยามพารากอนและบริเวณใกล้เคียงที่เป็นสถานที่สำคัญ เช่น จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เซ็นทรัลเวิลด์ เป็นต้น ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ตั้งสมมติฐานให้แหล่งกำเนิดมลพิษ $PM_{2.5}$ มาจากการจราจรเป็นหลักและทำการยกเว้นแหล่งกำเนิดมลพิษจากบ้านเรือน และกิจกรรมจากร้านอาหารต่าง ๆ แบบจำลอง AERMOD ต้องการข้อมูลนำเข้าแหล่งกำเนิดมลพิษ ดังนี้

1. ประเภทและพิกัดของแหล่งกำเนิดมลพิษ

ในงานวิจัยนี้เลือกใช้ข้อมูลแหล่งกำเนิดมลพิษแบบพื้นที่ (LINE AREA) เนื่องจากจะเป็นการคิดอัตราการปลดปล่อยมลพิษเป็นในเชิงปริมาตรของถนนเส้นนั้น ๆ ที่ต้องการข้อมูลเป็นลักษณะพื้นที่ถนน ซึ่งถนนแต่ละเส้นจะต้องมีการกำหนดขอบเขตของพื้นที่ที่ถนนเป็นพิกัด X_1Y_1 และ X_2Y_2

Source Inputs

Source Type: LINE AREA Source ID: RAM1_PC_2 Source ID Prefix: (Optional)

Description: (Optional)

Line Source Parameters (Represented by Area Sources)

Length of Side: 18.0 [m] Initial Vertical Dimension: 0.0 [m] (Optional)

Emission Rate: 2.236E-06 [g/sec-m²] 0.0185 [g/s]

Ratio 1: 27 Total Length [m]: 459.9

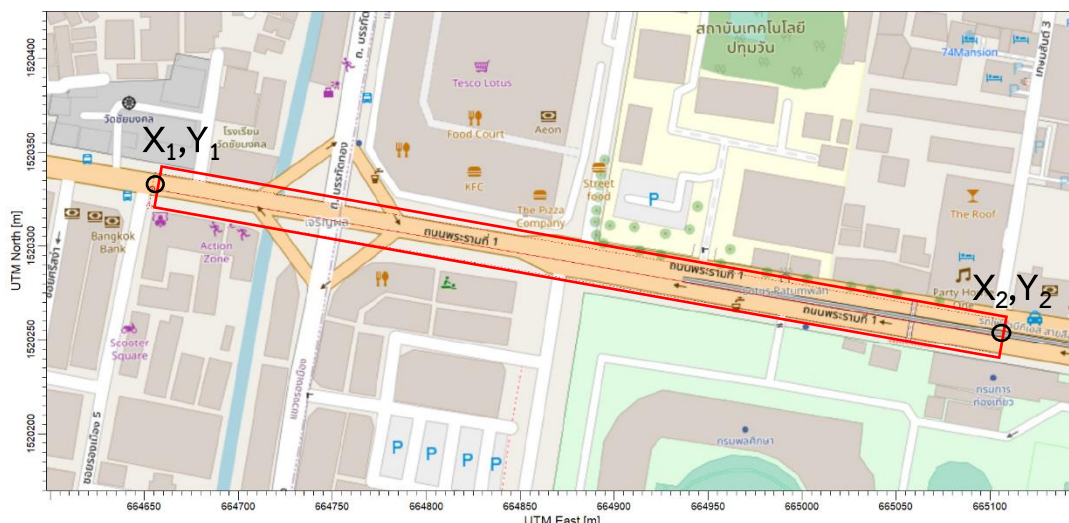
Line Source Nodes

Generate 1 AREA Sources Generated List... Actions Add Delete

Node #	X Coord. [m]	Y Coord. [m]	Base Elevation	Release Height [m]	Release Height [ft]
1	664654.03	1520330.25	10	0	0
2	665107.12	1520251.42	11.72	0	0

Help [Icons] Close

รูปที่ 3-15 ภาพตัวอย่างการกรอกข้อมูลถนน 1 ท่อนในแบบจำลอง AERMOD



รูปที่ 3-16 ภาพตัวอย่างแสดงผลถนน 1 ท่อนในแบบจำลอง AERMOD

ถนนบางเส้นไม่สามารถต่อกันเป็นเส้นตรงในการกำหนดพิกัดจุดเดียวได้ต้องมีการแบ่งถนนเป็นหลาย ๆ ท่อน เช่น ถนนราชดำริมีการแบ่งถนนเป็น 3 ท่อนในช่วงถนนที่ไม่สามารถเป็นเส้นตรงได้



รูปที่ 3-17 ภาพตัวอย่างแสดงผลถนน 3 ท่อนต่อกันในแบบจำลอง AERMOD

2. ข้อมูลความสูงของแหล่งกำเนิดมลพิษ (Elevation Source)

แหล่งกำเนิดมลพิษในทุก ๆ พิกัดจะต้องการความสูงของแหล่งกำเนิดซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้การอ้างอิงความสูงจาก AERMAP ซึ่งจะกล่าวต่อไปในหัวข้อ 3.2.3.4 ที่เป็นการใช้ข้อมูลจาก SRTM1 (Global 30m) นำมาใช้เป็นค่าความสูงของท้องถนน (At-grade road) ส่วนข้อมูลความสูงของทางพิเศษ (Expressway) เป็นความสูงจากการวัดอาคารในบริเวณใกล้ทางพิเศษและคาดการณ์ใน

โปรแกรม Google Earth ทั้งนี้ในงานวิจัยนี้ให้ความสูงของทางพิเศษเท่ากับ 15 เมตรรวมกับความสูงของท้องถนน

1. ข้อมูลอัตราการปลดปล่อยมลพิษ (Emission Source)

เป็นการใช้บัญชีการปลดปล่อยมลพิษจากหัวข้อ 3.2.2 มาคำนวณเป็นอัตราการปลดปล่อยมลพิษในหัวข้อ 3 ที่ได้คำนวณอัตราการปลดปล่อยมลพิษจากรถยนต์ที่สัญจรภายในบริเวณที่ศึกษาที่แบ่งตามประเภทยานพาหนะ ซึ่งจะทำให้เราสามารถกำหนดความผันแปรของการจราจร (Variability) ได้อย่างจำเพาะเจาะจงตามประเภทของยานพาหนะในเวลารายชั่วโมงตลอด 24 ชั่วโมงใน 1 สัปดาห์ (Weekday, sat, sun) ตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเดือนธันวาคมครอบคลุมปี พ.ศ.2561-2563

2. ข้อมูลความผันแปรของการจราจร (Variable factor)

เป็นการใช้ข้อมูลความผันแปรของการจราจรจากการพัฒนาบัญชีการปลดปล่อยมลพิษจากหัวข้อ 3.2.2 ที่ได้คำนวณข้อมูลความผันแปรของการจราจรที่แบ่งตามประเภทของการจราจรและตามประเภทของรถยนต์และแบ่งความผันแปรตามช่วงเวลาทั้งหมด 12 เดือน 7 วันในสัปดาห์ ทุก ๆ 1 ชั่วโมงตลอด 24 ชั่วโมงสำหรับนำมาคำนวณข้อมูลของแหล่งกำเนิดจากการจราจรในพื้นที่ศึกษา

3. ข้อมูล Gas & Particle Data

(Schneider และคณะ, 2015) ได้ทำการศึกษานาตและจำนวนของอนุภาค (Particle number concentration and size distribution) เมืองหลวง Porto Alegre ของ Rio Grande do Sul ตอนใต้ของประเทศบราซิล โดยในงานวิจัยนี้ได้อ้างอิงการวัดขนาดของอนุภาคจากงานวิจัยข้างต้นที่ได้ใช้การวัดขนาดของอนุภาคในช่วงฤดูร้อนที่มีอุณหภูมิเฉลี่ย ความเร็วลมและความชื้นสัมพัทธ์ที่ใกล้เคียงกับประเทศไทย ดังตารางที่ 3-7

ตารางที่ 3-7 แสดงถึงสภาพทางอุตุนิยมวิทยาของกรุงเทพและ Porto Alegre

ประเทศ/สภาพ อุตุนิยมวิทยา	อุณหภูมิ เฉลี่ย (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (R.H.(%))	ความเร็วลม (กิโลเมตร/ ชั่วโมง)
กรุงเทพฯ, ประเทศไทย	28	70	14.5
Porto Alegre	30.4	51	8.28

จากงานวิจัยพบว่าขนาดอนุภาคเฉลี่ย (Mass mean diameter) อยู่ที่ 1 μm จึงกำหนดให้ใช้วิธีที่ 2 กำหนดให้เป็นค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักของความเร็วการตกสะสมแบบหยาบที่ขนาดอนุภาคมากกว่า 2.5 ไมครอนแต่มีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 10 ไมครอน โดยที่มีสัดส่วนของอนุภาค(Fine

Particle Fraction) เท่ากับ 0.28 นำมาใช้เป็นช่วงขนาดอนุภาคสำหรับการตกสะสม (Deposition) ของมลพิษ $PM_{2.5}$

4. การจัดกลุ่มแหล่งกำเนิด (Source group)

โปรแกรม AERMOD View สามารถจัดกลุ่มของแหล่งกำเนิดมลพิษได้โดยใช้ฟังก์ชัน SOURCE GROUP ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้แบ่งการศึกษาแหล่งกำเนิดมลพิษออกเป็น 2 ประเภทดังนี้

ประเภทที่ 1 แบ่งตามประเภทของถนนในพื้นที่ศึกษา เนื่องจากหากพบว่าความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เป็นการจราจรเป็นหลักจากตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งจะทำให้สามารถจัดการกับปัญหาของพื้นที่นั้น ๆ ได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้นแต่หากพบว่าเป็นความเข้มข้น $PM_{2.5}$ จากนอกพื้นที่ศึกษาจะได้ทำการสืบค้นกันต่อไปในงานวิจัยถัด ๆ ไปว่าเกิดจากแหล่งกำเนิดใด จึงได้แบ่งแหล่งกำเนิดมลพิษออกเป็น 3 ประเภท

1. แหล่งกำเนิดมลพิษจากการจราจรบนท้องถนน (At-grade road)
2. แหล่งกำเนิดมลพิษจากการจราจรบนทางพิเศษ (Expressway)
3. ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ที่พัดพาเข้ามาในพื้นที่ศึกษา (Background concentration) ซึ่งมีรายละเอียดดังบรรยายในหัวข้อ 3.2.3.6

ประเภทที่ 2 แบ่งตามยานพาหนะ เป็นการแบ่งเพื่อทราบว่าแหล่งกำเนิดมลพิษจากยานพาหนะนั้นถูกปล่อยออกมาจากยานพาหนะประเภทใดมากที่สุด แบ่งออกเป็น 4 ประเภทตามตัวคูณมลพิษ (Emission factor) จากจาก Atmospheric Brown Clouds: Emission Inventory Manual โดยแบ่งได้ดังนี้

1. Personal car (PC) ได้แก่ รถยนต์นั่ง
2. Light duty (LD) ได้แก่ รถตู้/ปิคอัพและรถเมล์เล็ก
3. Heavy duty (HD) ได้แก่ รถเมล์ใหญ่และรถบรรทุก
4. Other vehicle (OT) ได้แก่ รถสามล้อ

การแบ่งตามประเภทยานพาหนะจะช่วยให้เห็นความสำคัญของแหล่งกำเนิดตามประเภทยานพาหนะ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในแง่เชิงนโยบาย ซึ่งมาตรการหรือกฎหมายสามารถบังคับใช้อย่างเจาะจงตามประเภทยานพาหนะ

3.2.3.2 ข้อมูลตำแหน่งตัวรับมลพิษ

เป็นตัวแทนตำแหน่งรับมลพิษ (Receptor) ในพื้นที่ศึกษาเพื่อบอกถึงคุณภาพของมลพิษ ณ บริเวณนั้น ๆ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ใช้ตัวรับมลพิษ 2 ประเภทในแบบจำลอง AERMOD ได้แก่

1. Uniform Cartesian Receptor grids

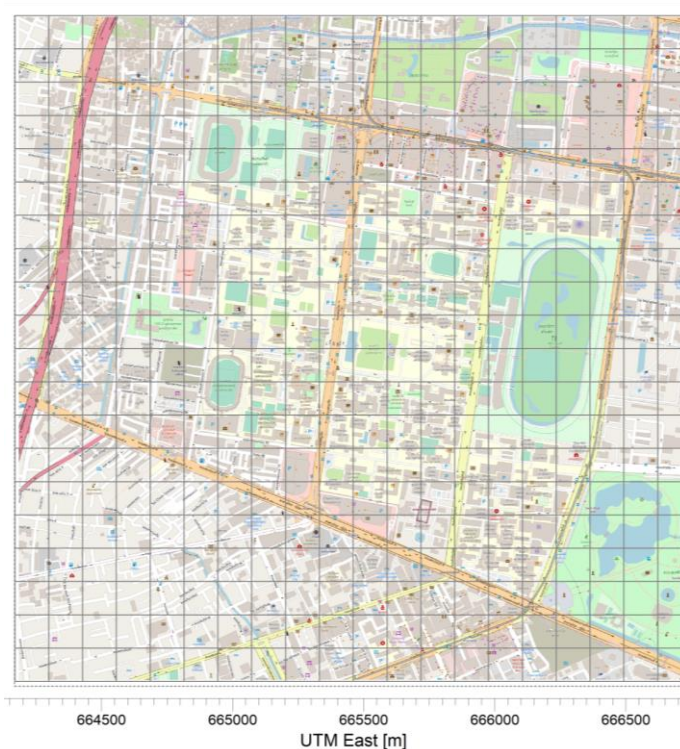
เป็นตารางกริดที่มีการแบ่งความกว้างและความยาวของช่องอย่างละเท่า ๆ กัน ซึ่งในแต่ละจุดมุมแสดงถึงตำแหน่งรับมลพิษที่เป็นพิกัดต่าง ๆ ที่กำหนดในพื้นที่ศึกษา

ในงานวิจัยนี้กำหนดตารางกริดดังนี้

1.1 ให้มีความยาว (X Axis) และความกว้าง (Y Axis) เท่ากับ 129.06 และ 127.13 ตามลำดับ

1.2 กำหนดจุดเริ่มต้นและสิ้นสุดของตารางกริด หรือ SW Coordinates ที่แกน X (ตะวันออก-ตะวันตก) เท่ากับ 664169.50 และแกน Y (เหนือ-ใต้) เท่ากับ 1518062.30

1.3 จุดศูนย์กลางที่แกน X เท่ากับ 665460.10 และแกน Y เท่ากับ 1519333.60



รูปที่ 3-18 ภาพ Uniform Cartesian Receptor grids ที่กำหนดในแบบจำลอง

2. Discrete Cartesian Receptors

แสดงถึงตำแหน่งตัวรับมลพิษนั้น ๆ ในพื้นที่ศึกษา (X, Y Coordinates) ในงานวิจัยได้กำหนดตำแหน่งตัวรับมลพิษ 4 จุดดังรูป โดยได้ใช้ตำแหน่งตัวรับมลพิษซึ่งเป็นข้อมูลจากกรมควบคุมมลพิษ Cusense.net เพื่อจะนำไปใช้ตรวจวัดความเข้มข้น $PM_{2.5}$ จากแบบจำลองเพื่อทดสอบประสิทธิภาพแบบจำลองที่จะกล่าวต่อไปในหัวข้อ 3.2.3.5



รูปที่ 3-19 ภาพตำแหน่งตัวรับมลพิษในพื้นที่ศึกษา

ตารางที่ 3-8 แสดงตำแหน่งจุดตรวจวัด PM_{2.5} ในปี พ.ศ.2561-2563

ตำแหน่งจุดตรวจวัด PM _{2.5}		ปี		
		พ.ศ.2561	พ.ศ.2562	พ.ศ.2563
1	โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ (ข้อมูลจากกรมควบคุมมลพิษ)	✓	✓	✓
2	จุฬาพัฒนา 14 (ข้อมูลจาก Cusense.net)	-	✓	✓
3	ร้านอาหารหอฟักนิสิต จุฬาฯ (ข้อมูลจาก Cusense.net)		✓	✓
4	สาธิตจุฬาประถม ประตู่ 5 (ข้อมูลจาก Cusense.net)	-	✓	✓

3.2.3.3 ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา

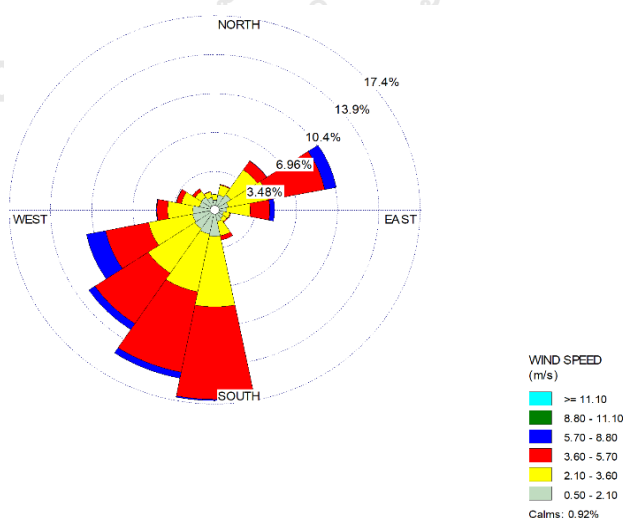
ข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาที่จัดซื้อจากบริษัท Lakes environmental software ภายใต้งบประมาณโครงการตรวจวัดคุณภาพอากาศตามลักษณะการใช้ประโยชน์ของสวนสาธารณะในเมือง (Air Quality Measurement and Functional Areas of Selected Urban Park) ของศูนย์ความเป็นเลิศด้านการจัดการสารและของเสียอันตราย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (ค.ศ.2017-2019) กับโครงการ Impactful Research & Innovation platform: ความยั่งยืนด้านสิ่งแวดล้อม (Sustainable Environment) ภายใต้สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (ค.ศ.

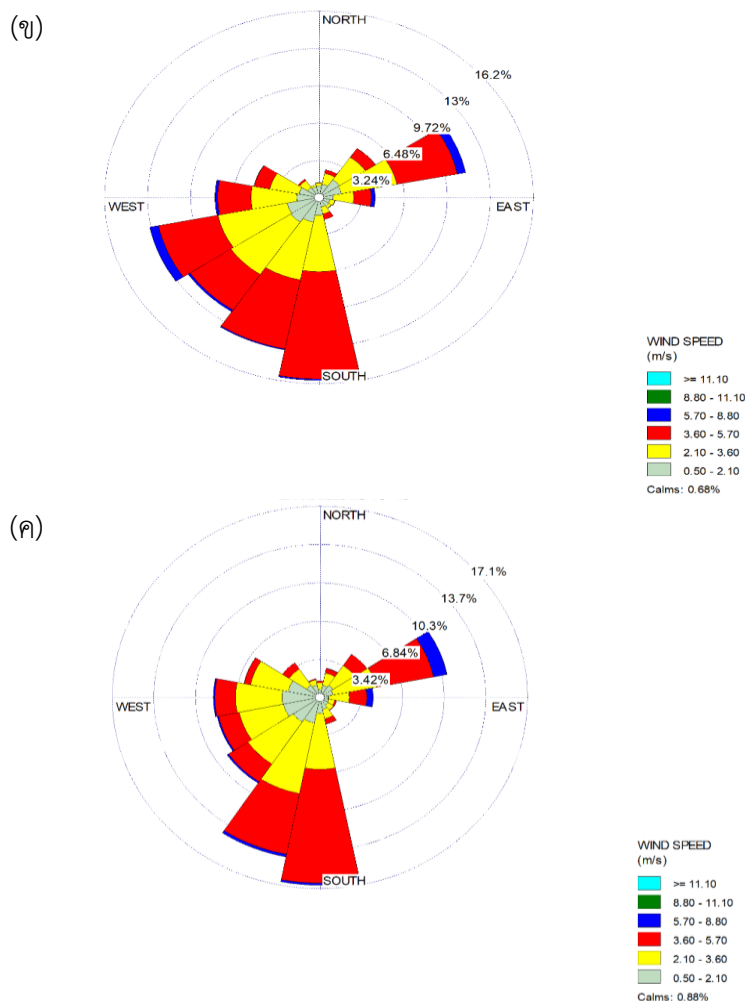
2020-2021) นำมาใช้จะเป็นการจำลองข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาด้วยแบบจำลอง Weather Research and Forecasting model (WRF) และโปรแกรมแบบจำลอง Mesoscale Model Interface Program (MMIF) ที่มีตำแหน่งการจำลองดังนี้

- จุดศูนย์กลาง (Center Point): ละติจูด 13.73944 เหนือ และลองจิจูด 100.5237 ตะวันออก
- Datum: WGS 84
- UTM Zone: 47
- Base Elevation: 6.95 m
- WRF Grid Cell: 12km x 12km
- Site Time Zone: UTC+0700
- Closest City & Country: Bangkok, Thailand

ระยะเวลาในการจำลองค่าทางอุตุนิยมวิทยาเริ่มต้นตั้งแต่เวลา 0.00 นาฬิกา วันที่ 1 มกราคม พ.ศ.2561 ถึงเวลา 23 นาฬิกา วันที่ 31 ธันวาคม พ.ศ.2563 จากผังลม (Wind roses) ดังรูปที่ 3-20 แสดงให้เห็นถึงทิศทางลมหลักของ ปี พ.ศ.2561-2563 ซึ่งมาจากทางทิศใต้ถึงทิศตะวันตกและทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งจากการจำลองจะได้ข้อมูลความเร็วลม, ทิศทางลม, อุณหภูมิ, ปริมาณเมฆ, ความชื้นสัมพัทธ์, Precipitation rate, Surface Roughness, Bowen ratio, Albedo เป็นต้นดังที่ได้กล่าวในหัวข้อ 2.4.3 เมื่อได้ข้อมูลแล้วขั้นตอนถัดไปเป็นการนำเข้าข้อมูลเหล่านี้เข้าสู่โปรแกรม Preprocessor AERMET และเข้าสู่แบบจำลอง AERMOD เพื่อจำลองสภาพอุตุนิยมวิทยาในพื้นที่ศึกษา ปี พ.ศ.2561-2563 ต่อไป

(ก)





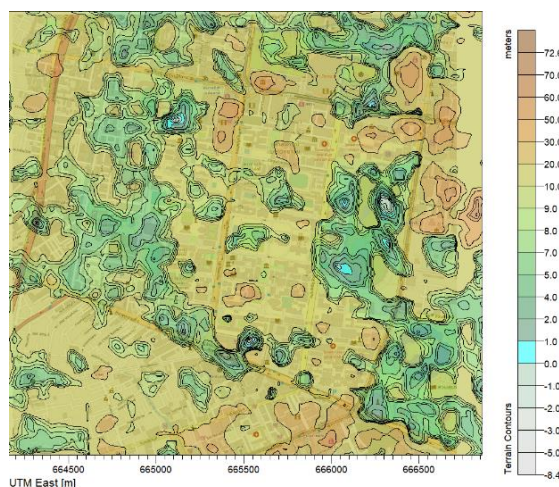
รูปที่ 3-20 ผังลม (Wind Roses) บริเวณศึกษาในช่วงปีต่าง ๆ

ก) พ.ศ.2561 ข) พ.ศ.2562 ค) พ.ศ.2563

3.2.3.4 ข้อมูลภูมิศาสตร์

งานวิจัยนี้เลือกใช้ข้อมูลทางภูมิศาสตร์จากข้อมูลของโครงการ Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) ซึ่งเป็นโครงการแรกของมนุษยชาติที่มีการสแกนโดยกวาดเอาข้อมูลพื้นผิวภูมิประเทศทั่วโลกเพื่อการรังวัดค่าระดับให้ครอบคลุมทั่วภูมิภาคของโลกมากที่สุด (80% ของผิวโลก)

โดยเลือกใช้ข้อมูล SRTM1 (Global 30m) ซึ่งเป็นข้อมูลแบบจำลองระดับสูงเชิงเลขที่มีความคมชัดในระยะ 30 เมตร (1 หน่วยค่านม) มีความละเอียดเชิงเลขพื้นที่ประมาณ 30 เมตร ครอบคลุมเกือบจะทั้งโลกด้วยความแม่นยำที่แน่นอนที่ความสูงแนวตั้งน้อยกว่า 16 เมตร มาใช้ในการนำเข้าข้อมูลความสูงของแหล่งกำเนิดมลพิษ (Emission source) และจุดรับมลพิษ (Receptor point) สำหรับพื้นที่ศึกษาเมื่อได้ข้อมูลเข้าสู่โปรแกรม AERMAP ในการประมวลผลและนำเข้าสู่โปรแกรมแบบจำลอง AERMOD



รูปที่ 3-21 ภาพ Contour ระดับพื้นดินบริเวณพื้นที่ศึกษา

3.2.3.5 ข้อมูลตรวจวัดอนุภาค $PM_{2.5}$ ในพื้นที่ศึกษา

การใช้ข้อมูลการตรวจวัด $PM_{2.5}$ ในพื้นที่ศึกษาเพื่อนำมาเปรียบเทียบผลจากการคาดการณ์ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ จากแบบจำลอง AERMOD เพื่อทดสอบว่าแบบจำลองสามารถจำลองความเข้มข้นมลพิษจากแหล่งกำเนิดได้แม่นยำหรือใกล้เคียงกับโลกจริง โดยได้ใช้ข้อมูลการตรวจวัดความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ระหว่างปี พ.ศ.2561-2563 ในพื้นที่ศึกษาจาก CUsense.net ซึ่งในพื้นที่ศึกษามีทั้งจุดที่ใช้เซนเซอร์ในการตรวจวัด $PM_{2.5}$ และข้อมูลการตรวจวัดจากสถานีของกรมควบคุมมลพิษ มีตำแหน่งการตรวจวัด $PM_{2.5}$ ดังตารางที่ 3-8

3.2.3.6 ข้อมูลอนุภาค $PM_{2.5}$ ที่พัดพาเข้ามาในพื้นที่ศึกษา (Background Concentrations)

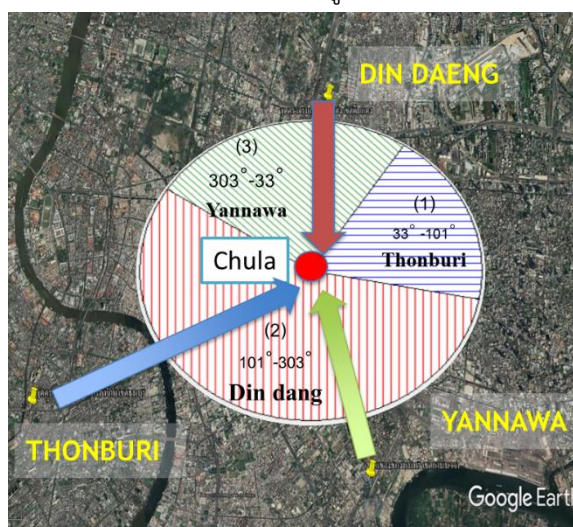
ภายในพื้นที่ศึกษาไม่ได้มีเพียงแหล่งกำเนิด $PM_{2.5}$ ที่ถูกปลดปล่อยจากแหล่งกำเนิดภายในพื้นที่ศึกษาเท่านั้น แต่ยังมีมีความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ที่พัดพาเข้ามาในพื้นที่ศึกษา ซึ่งพื้นที่ต้นลมในแต่ละทิศทางนั้นมีปริมาณความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ไม่เท่ากัน ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงคำนึงถึงความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ที่พัดพามาจากต้นลมในเวลาต่าง ๆ

ในการกำหนดความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ที่พัดพาเข้ามาในพื้นที่ศึกษา พิจารณาจากทิศทางลมหลัก (Dominant wind directions) จากข้อมูลลมทั้ง 3 ปี ได้แก่ปี พ.ศ.2561-2563 จากผังลมดังรูปที่ 3-20 เมื่อกำหนดทิศทางลมได้จึงหาสถานีตรวจวัดมลพิษที่ใกล้เคียงกับทิศทางนั้น ๆ อ้างอิงจากสถานีตรวจวัดมลพิษ กรมควบคุมมลพิษ ซึ่งจากการวิเคราะห์ได้ทิศทางท้ายลม (Downwind direction) จึงได้นำความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 1 ชั่วโมงจากสถานีที่ใกล้เคียงมาใช้ดังนี้

1. เมื่อทิศทางต้นลมมาจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือจะได้ทิศท้ายลม 101° - 303° : อ้างอิงความเข้มข้นต้นลมจากสถานีตรวจวัดริมถนนแขวงดินแดง เขตดินแดง กรุงเทพมหานคร

2. เมื่อทิศทางต้นลมมาจากทิศตะวันตกเฉียงใต้จะได้ทิศทางลม 33° - 101° : อ้างอิงความเข้มข้นต้นลมจากสถานีตรวจวัดริมถนนอินทรพิทักษ์ แขวงบางยี่เรือ เขตธนบุรี กรุงเทพมหานคร
3. เมื่อทิศทางต้นลมมาจากทิศใต้จะได้ทิศทางลม 303° - 33° : อ้างอิงความเข้มข้นต้นลมจากสถานีตรวจวัดริมถนนแขวงช่องนนทรี เขตยานนาวา กรุงเทพมหานคร

โดยแนวคิด (Concept) ความเข้มข้นที่พัดพาเข้ามาในพื้นที่ศึกษาดังบรรยายข้างต้นจะได้ทิศทางท้ายลม (Downwind direction) แสดงได้ดังรูปที่ 3-22



รูปที่ 3-22 ตัวอย่างภาพการกำหนด Background Concentrations

3.2.4 รันแบบจำลองการแพร่กระจาย $PM_{2.5}$

เมื่อเตรียมข้อมูลนำเข้าครบทั้งหมด ได้แก่ ข้อมูลแหล่งกำเนิดมลพิษ ข้อมูลจุดรับมลพิษ ข้อมูลขนาดและที่ตั้งอาคาร ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ข้อมูลภูมิศาสตร์และข้อมูลตรวจวัดฝุ่น $PM_{2.5}$ ในพื้นที่และนอกพื้นที่ศึกษาในช่วงเวลา พ.ศ.2561-2563 ก็ทำการรันแบบจำลองโดยตั้งค่าแบบจำลองให้แสดงผลลัพธ์ในรูปแบบความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุด (Maximum Average Concentrations) ทั้งรายชั่วโมงและรายวันและแสดงความเข้มข้นเฉลี่ยรายปี ในตำแหน่งจุดรับมลพิษ (Receptors) ที่กำหนดโดยแบบจำลองสามารถแสดงผลลัพธ์เป็นภาพพล็อต (Plot) ในตำแหน่งที่กำหนดและเป็นภาพเคลื่อนไหวที่แสดงการแพร่กระจายของ $PM_{2.5}$ (Plume Animation)

ทั้งนี้เพื่อเป็นการบันทึกสถิติของ Computational resource หรือความต้องการทรัพยากรการคำนวณและเวลาในการรันแบบจำลองใน Model setting แบบต่าง ๆ จึงคำนวณสัดส่วนเวลาของการรันแบบจำลอง (Time Ratio) ร่วมด้วย เนื่องจากการรันแบบจำลองมีการนำเข้าข้อมูลจำนวนมากทำให้ใช้ระยะเวลาในการรันแบบจำลองนาน ทั้งนี้ขึ้นกับจำนวนข้อมูลนำเข้า เช่น ข้อมูลแหล่งกำเนิดมลพิษ (Source data) จำนวนจุดรับมลพิษ (Receptor data) และการจัดกลุ่มของข้อมูล

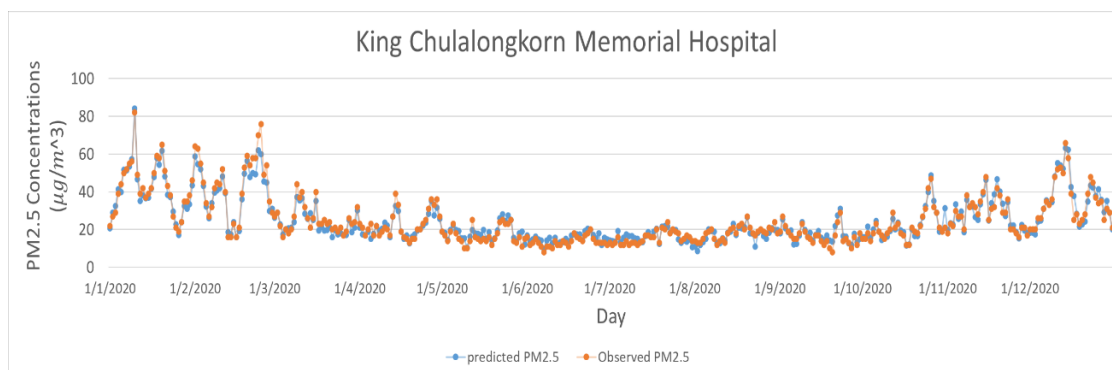
แหล่งกำเนิดมลพิษ (Source group) หากมีจำนวนข้อมูลมากก็จะทำให้ระยะเวลาในการคำนวณของแบบจำลองนาน จึงต้องมีการคำนวณสัดส่วนเวลาของการรันแบบจำลองเพื่อทราบถึงเวลาของการรันแบบจำลองว่าใช้เวลาไปมากน้อยเพียงใดในการนำเข้าสู่ข้อมูลแต่ละส่วนเพื่อที่จะสามารถจัดการเวลาในการทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยสัดส่วนเวลาของการรันแบบจำลอง (Time ratio) สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\text{Time Ratio} = \frac{\text{Model time period}}{\text{Wall clock duration}}$$

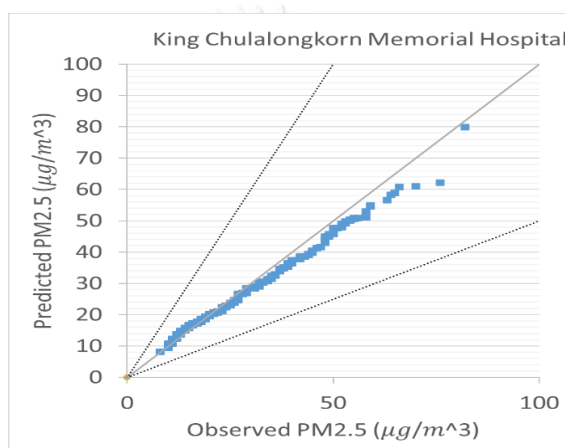
โดยที่	Time Ratio	คือ สัดส่วนเวลาของการรันแบบจำลอง
	Model time	คือ ห้วงเวลาในแบบจำลอง
	Wall clock	คือ เวลาที่แบบจำลองใช้ในการรันตั้งแต่เริ่มจนเสร็จสิ้น

3.2.5 ทดสอบแบบจำลองกับค่าตรวจวัดฝุ่น PM_{2.5}

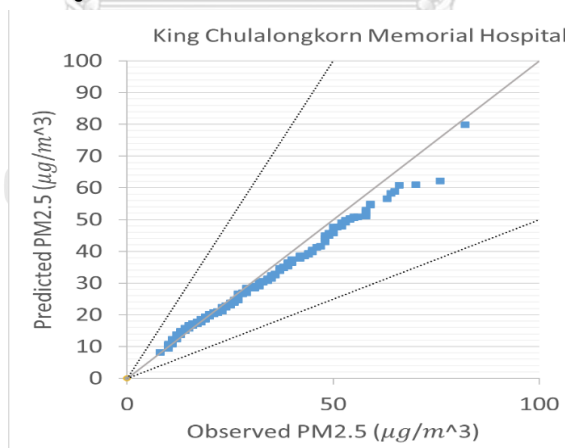
การเปรียบเทียบผลคำนวณที่ได้จากแบบจำลองกับข้อมูลการตรวจวัด PM_{2.5} ในโลกจริงโดยเปรียบเทียบกันสำหรับข้อมูลการตรวจวัด ในลักษณะ Time-series เช่นการเปรียบเทียบข้อมูลการตรวจวัด PM_{2.5} กับผลการคำนวณ PM_{2.5} ของแบบจำลอง AERMOD ทั้งเฉลี่ยรายวัน รายเดือน รายปี และค่าสูงสุดต่ำสุด (พิกัดเดียวกันระหว่างการตรวจวัด PM_{2.5} กับแบบจำลอง AERMOD) เนื่องจากแบบจำลอง AERMOD มิได้ถูกออกแบบมาสำหรับการเปรียบเทียบกับข้อมูลจริง ณ ตำแหน่งเวลาที่ต้องการ แต่อย่างไรก็ดี หากพิจารณาเปรียบเทียบการกระจายตัว (Distribution) ของข้อมูลจะเป็นการทดสอบแบบจำลองที่เหมาะสมกว่า ดังที่มีการศึกษาใน (Cimorelli และคณะ, 2005) ที่มีการแนะนำให้ใช้วิธี Time series graph, Quantile-Quantile (Q-Q) plots และ Scatter plot ดังตัวอย่างรูปที่ 3-23, รูปที่ 3-24, และรูปที่ 3-25 นั้นในงานวิจัยนี้จึงได้นำวิธีที่ได้กล่าวไปข้างต้นมาใช้ในการเปรียบเทียบผลการคาดการณ์จากแบบจำลอง AERMOD กับข้อมูลการตรวจวัด PM_{2.5} เพื่อพิจารณาถึงความสอดคล้องกันของข้อมูล ซึ่งหลักการของการศึกษาด้วยแบบจำลองการแพร่กระจายมลภาวะอากาศ (Air Dispersion Modeling) ระบุว่าแบบจำลองที่มีค่านำเข้าที่เหมาะสม มีความแม่นยำของผลคำนวณในช่วงค่าสองเท่า หรือ within a factor of two เทียบกับข้อมูลตรวจวัดนั้น เป็นที่ยอมรับได้ (Ministry for the Environment, 2004)



รูปที่ 3-23 ตัวอย่างภาพ Time series graph



รูปที่ 3-24 ตัวอย่างภาพ Scatter plots



รูปที่ 3-25 ตัวอย่างภาพ Quantile-Quantile (Q-Q) plots

การใช้ดัชนีทางสถิติมาใช้ในการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองสภาพอากาศ โดยใช้ค่า Fractional Bias (FB) ซึ่งเป็นดัชนีที่เป็นที่นิยมกันอย่างกว้างขวางในการประเมิน หากพบว่าอยู่ในช่วง -2 ถึง +2 แสดงว่าแบบจำลองนั้นมีประสิทธิภาพในการคำนวณในระดับที่ยอมรับได้ และหากค่า FB

อยู่ในช่วง -0.5 ถึง +0.5 แสดงว่าแบบจำลองนั้นมีประสิทธิภาพในการทำนายที่ดีมาก โดยมีสูตรการคำนวณดังนี้

$$FB = \left(\frac{\bar{C}_0 - \bar{C}_p}{0.5(\bar{C}_0 + \bar{C}_p)} \right) \quad (1)$$

โดยที่ใช้สำหรับสมการที่ 1 ถึง 4

C_0 คือ ค่าความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ที่ได้จากการตรวจวัด

C_p คือ ค่าความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ที่ได้จากแบบจำลอง

\bar{C} คือ ค่าเฉลี่ยทั้งชุดข้อมูล

σ_C คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานทั้งชุดข้อมูล

ค่า The correlation coefficient (R) ซึ่งค่าที่ดีของแบบจำลองจากดัชนีเหล่านี้จะเท่ากับ 1.0 โดยมีสูตรในการคำนวณดังนี้

$$R = \frac{(C_0 - \bar{C}_0)(C_p - \bar{C}_p)}{\sigma_{C_p} \sigma_{C_0}} \quad (2)$$

ค่าดัชนี The fraction within a factor of two (FAC2) โดยค่าที่ยอมรับได้ของแบบจำลองจะอยู่ในช่วงดังนี้

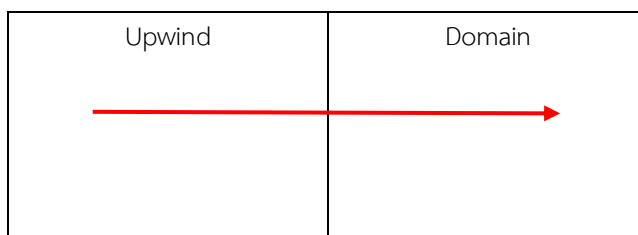
$$FAC2 = 0.5 \leq \frac{C_p}{C_0} \leq 2.0 \quad (3)$$

ค่า The normalized mean square error (NMSE) ซึ่งค่าที่ดีของแบบจำลองจากดัชนีนี้จะเท่ากับ 0.0 โดยมีสูตรคำนวณดังนี้

$$NMSE = \frac{(\bar{C}_0 - \bar{C}_p)^2}{\bar{C}_0 \bar{C}_p} \quad (4)$$

3.2.6 ปรับแก้แบบจำลอง

หลังจากเปรียบเทียบผลที่ได้จากแบบจำลองและค่ามลพิษที่ตรวจวัดในโลกจริงและพบความไม่ สอดคล้องกันของข้อมูลในการรันแบบจำลองครั้งแรกไม่ได้มีการนำเข้าข้อมูล $PM_{2.5}$ ที่พัฒนามาจากนอกพื้นที่ศึกษา (Modeling domain) แล้วพบว่าค่าความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ที่ได้ในพื้นที่ศึกษามีค่าความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ที่น้อยกว่าค่าที่ตรวจวัดในพื้นที่ศึกษาจริงเป็นอย่างมาก ดังนั้นจึงได้ปรับแก้แบบจำลองโดยการเพิ่มความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ที่พัฒนามาจากนอกพื้นที่ศึกษา (Background Concentrations) (หัวข้อ 3.2.3.6) โดยใช้ความเข้มข้นมลพิษ $PM_{2.5}$ ที่พัดพาเข้ามาในพื้นที่ศึกษาทั้ง 3 จุดตรวจวัดมาจำลองเป็นมลพิษที่เข้ามาในพื้นที่ศึกษาโดยไม่มีการเจือจางลงของความเข้มข้น $PM_{2.5}$ โดยได้ใช้ทฤษฎี Two box model ดังนี้



ที่ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ที่พัดพาจากต้นลม (Upwind) เข้าสู่พื้นที่ศึกษา (Domain)

$$\frac{dm}{dt} = F_{in} + E - F_{out}$$

สมมติให้เป็น Steady state

$$0 = C_{upwind} \times Q_{in} + Emission - C_{domain} \times Q_{out} - Deposit$$

กรณี $C_{upwind} = 0$ จะได้ว่า $C_{domain} \times Q_{out} = E - D$

ดังนั้น $C_{domain} = \frac{E-D}{Q_{out}}$

กรณี $C_{upwind} \neq 0$ จะได้ว่า $C_{domain} = \frac{C_{upwind} \times Q_{in} + E - D}{Q_{out}}$

ดังนั้น $C_{domain} = C_{upwind} \frac{Q_{in}}{Q_{out}} + \frac{(E-D)}{Q_{out}}$

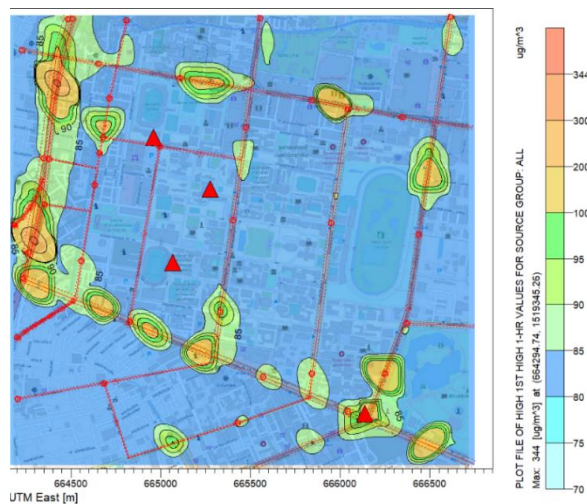
ถ้า $Q_{in} = Q_{out}$ จะได้ $C_{domain} = C_{upwind} + \frac{(E-D)}{Q_{out}}$

จากสมการข้างต้นที่กรณี $C_{up} = 0$ และกรณี $C_{up} > 0$ แสดงว่า C_{upwind} มีผลกับความเข้มข้นที่เข้ามาในพื้นที่ศึกษาเท่านั้นโดยไม่มีการเจือจางของความเข้มข้นมลพิษจึงทำให้นำความเข้มข้นจากสถานีต่าง ๆ มาใช้งานโดยตรง หลังจากนั้นนำมาทดสอบแบบจำลองและได้ผลลัพธ์จากแบบจำลองกับค่าตรวจวัดมลพิษในพื้นที่จริงที่ใกล้เคียงกันมากที่สุดที่ยอมรับได้

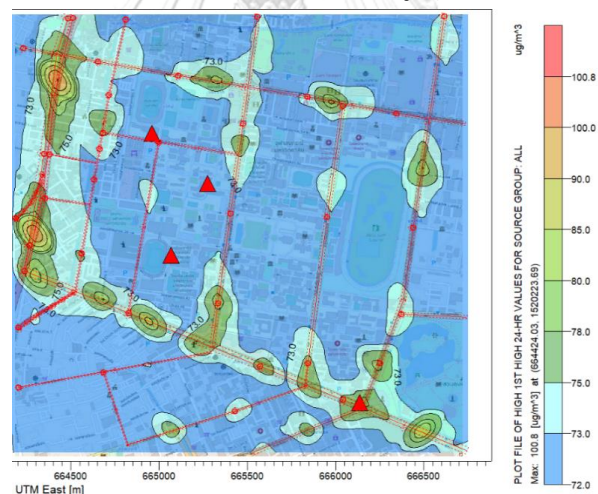
3.2.7 การนำเสนอผลจากแบบจำลอง

เมื่อได้ผลจากแบบจำลองในกรณีที่มีการปรับแก้แล้ว จะแสดงเป็นภาพ Contour ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ที่ความเข้มข้นสูงสุดเฉลี่ย 1 ชั่วโมง เฉลี่ย 24 ชั่วโมงและเฉลี่ยรายปี ในหน่วยไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ($\mu g/m^3$) ตามรูปที่ 3-26 รูปที่ 3-27 และรูปที่ 3-28 ตามลำดับ นอกจากค่าสูงสุดซึ่งเป็นค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 100 แล้ว แบบจำลองยังสามารถสรุปผลเชิงสถิติและรายงานค่าที่เปอร์เซ็นต์ไทล์อื่นๆ เช่น เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 98 เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 95 เป็นต้น หลังจากนั้นนำไปวิเคราะห์ถึงแหล่งกำเนิดของ $PM_{2.5}$ จากแหล่งกำเนิดที่จำแนกตามหมวดหมู่เอาไว้และสามารถระบุได้ถึงสัดส่วนที่มาของ

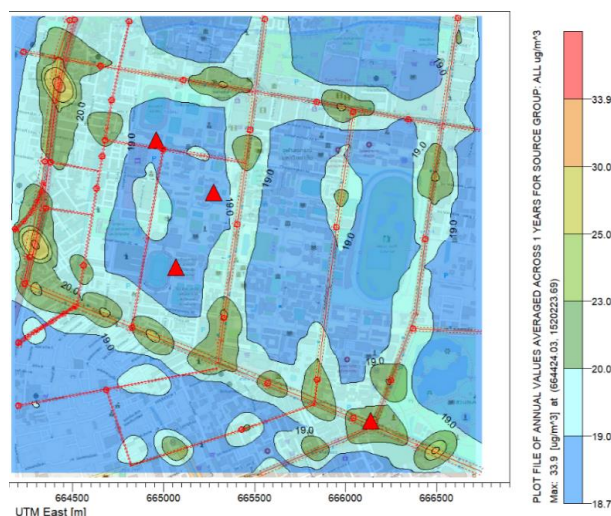
แหล่งกำเนิดมลพิษ (Source contribution) ได้แก่ จากการจราจรบนท้องถนน (At grade road) จากการจราจรบนทางพิเศษ (Expressway) หรือจากการพัดพาจากภายนอกพื้นที่ศึกษา อีกทั้งยังสามารถบ่งบอกได้ถึงบริเวณที่เกินค่ามาตรฐานของ $PM_{2.5}$ ทั้งรายปีและเฉลี่ย 24 ชั่วโมงและจำนวนว่าไปกี่ครั้งและเสนอผลต่อไป



รูปที่ 3-26 ตัวอย่างภาพ Contour ความเข้มข้นสูงสุดของ $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 1 ชั่วโมง



รูปที่ 3-27 ตัวอย่างภาพ Contour ความเข้มข้นสูงสุดของ $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง



รูปที่ 3-28 ตัวอย่างภาพ Contour ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ยรายปี

3.2.8 การทำฉากทัศน์จากการจราจรและการพัฒนา

การทำฉากทัศน์ (Scenario) นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อแสดงให้เห็นว่าแบบจำลอง AERMOD สามารถใช้ประกอบการพิจารณากำหนดนโยบาย แผน กิจกรรมต่าง ๆ ในการจัดการคุณภาพอากาศ และเป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหาหมอกพิษทางอากาศ โดยในงานวิจัยนี้ได้กำหนดรูปแบบการทำฉากทัศน์จากการจราจรและการพัฒนาบริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยขอบเขต 2.5 กิโลเมตร x 2.5 กิโลเมตร สำหรับการจัดการฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) โดยจะปรับเปลี่ยนข้อมูลอัตราการปลดปล่อย $PM_{2.5}$ ของยานพาหนะจากการจราจรบนท้องถนนให้มีปริมาณที่ลดลงหรือเพิ่มขึ้นตามฉากทัศน์ที่จัดทำเพื่อให้เห็นผลการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ในบรรยากาศที่เปลี่ยนแปลงไปและจะพิจารณาผลที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลง ดังนี้

ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ สูงสุด 1 ชั่วโมง ($PM_{2.5}$ 1 Hour Average Concentration) เพื่อดูความเปลี่ยนแปลงของมลพิษที่ 1 ชั่วโมงสูงสุดที่เกิดขึ้น

ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ($PM_{2.5}$ 24 Hour Average Concentration) และความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ยรายปี ($PM_{2.5}$ Annual Average Concentration) เป็นการดูการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นมลพิษเทียบกับค่ามาตรฐานของ $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 24 ชั่วโมงเท่ากับ 50 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรและค่ามาตรฐานของ $PM_{2.5}$ เฉลี่ยรายปีเท่ากับ 25 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ว่าเกินค่ามาตรฐานไปในช่วงเวลาเท่าใดเป็นจำนวนกี่ครั้ง

กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ร่วมกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องได้จัดทำแผนปฏิบัติการขับเคลื่อนวาระแห่งชาติ “การแก้ไขปัญหาหมอกพิษด้านฝุ่นละออง” ของประเทศไทย (กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2562) ได้กำหนดมาตรการควบคุมและลดมลพิษจาก

ยานพาหนะ ซึ่งภายในปี พ.ศ.2565 ได้มีการบังคับใช้มาตรฐานการระบายมลพิษทางอากาศจากรถยนต์ใหม่ EURO 6 เพื่อแก้ไขปัญหามลพิษประกอบกับเชื่อมโยงโครงข่ายคมนาคมขนส่งสาธารณะทั้งระบบหลักและรองให้มีประสิทธิภาพ ปลอดภัย และอำนวยความสะดวกแก่ผู้ใช้บริการ เปลี่ยนรถโดยสารสาธารณะ ของ ขสมก. ทั้งหมดให้เป็นมลพิษต่ำและจัดการการคมนาคมขนส่งด้าน demand side management เพื่อส่งเสริมให้ผู้คนหันมาใช้รถยนต์สาธารณะในการเดินทางมากยิ่งขึ้น พร้อมทั้งเพิ่มทางเลือกในการเดินทางสัญจรให้ประชาชนที่สะดวกและปลอดภัย เช่น ทางจักรยาน ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้นำตัวอย่างมาตรการมาใช้ในแบบจำลองดังนี้

ฉากทัศน์ที่ 1: Fuel standard scenario (FS) เป็นการกำหนดมาตรฐานการระบายมลพิษทางอากาศจากรถยนต์ใหม่ทั้งหมด 4 ประเภท ได้แก่ Personal car ได้แก่ รถยนต์นั่ง , Light duty ได้แก่ รถตู้/ปิคอัพ และ รถเมล์เล็ก, Heavy duty ได้แก่ รถเมล์ใหญ่และรถบรรทุก และ Other vehicle ได้แก่ รถสามล้อ ให้เป็นมาตรฐาน EURO 6 โดยได้สมมติให้มีการเปลี่ยนรถยนต์ทั้ง 4 ประเภทให้เป็นรถยนต์มาตรฐาน EURO 6 ทั้งหมดในพื้นที่ศึกษาซึ่งมีการเปลี่ยนแปลง Emission factor จาก Base case (Emission factor ดังตารางที่ 3-1) เป็น Emission factor สำหรับ EURO 6 แสดงดังตารางที่ 3-9 ทำให้มีอัตราการเปลี่ยนแปลงมลพิษของรถยนต์ประเภท PC, LD, HD, และ OT ที่เปลี่ยนแปลงไปดังตัวอย่างตารางที่ 3-10 ซึ่งเป็นที่น่าสังเกตว่าสำหรับยานพาหนะประเภทรถยนต์นั่งส่วนบุคคล (PC) รถตู้/ปิคอัพ/รถเมล์เล็ก (LD) รถเมล์ใหญ่/รถบรรทุก (HD) นั้นค่า Emission factor ลดลงเมื่อเปลี่ยนเป็น EURO6 โดยเฉพาะรถเมล์ใหญ่/รถบรรทุกที่ลดลงอย่างยิ่งยวด (ลดลงไปร้อยละ 97) และสำหรับรถตู้/ปิคอัพ/รถเมล์เล็กก็ลดไปมาก (ลดลงร้อยละ 80) แต่ในขณะเดียวกัน ค่า Emission factor รถสามล้อ (OT) กลับเพิ่มขึ้นถึง 1.74 เท่าเมื่อเปลี่ยนไปเป็นมาตรฐาน EURO 6 ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวนี้จะมีผลอย่างไร จะได้ทำการศึกษาให้เห็นในผลการศึกษาศากทัศน์ต่อไป

ตารางที่ 3-9 แสดงการเปรียบเทียบ Emission factor ระหว่าง Base case

Scenario	Emission factor (g/km)				Reference
	PC	LD	HD	OT	
Base case	0.007	0.15	0.72	0.05	(Shrestha และคณะ, 2012)
EURO 6	0.005	0.029	0.02	0.087	(Kim Oanh, 2563)

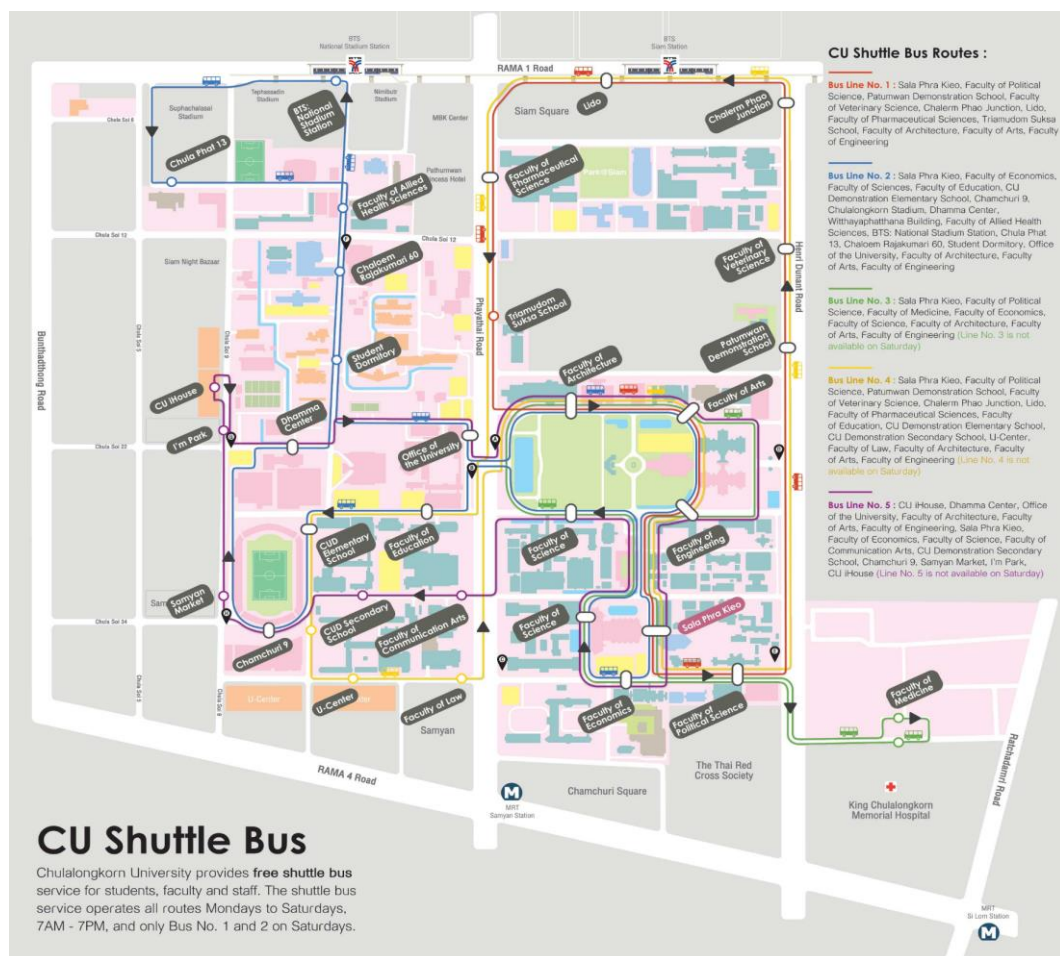
ฉากทัศน์ที่ 2: Shift mode scenario (SM) เป็นการจำลองมาตรการที่ส่งเสริมด้านการจัดการคมนาคมให้ผู้คนหันมาใช้ทางเลือกอื่น เช่น รถยนต์สาธารณะ จักรยาน เป็นต้น ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้สมมติให้ประชาชนส่วนใหญ่หันมาใช้ในการเดินทางสาธารณะอย่างเต็มประสิทธิภาพ ทำให้มีการลดปริมาณการใช้รถประเภท Personal car ได้แก่ รถยนต์นั่ง ลดลง 70% และรถประเภท Other vehicle ได้แก่ รถสามล้อ ลดลง 50% สมมติให้เป็นการลดลงของยานพาหนะที่มากที่สุดที่เป็นไปได้

ในพื้นที่ศึกษา เนื่องจากประชากรส่วนใหญ่ในพื้นที่ได้ใช้รถยนต์ประเภทรถยนต์นั่งและรถสามล้อ เป็นส่วนใหญ่และประชากรเหล่านี้ได้หันมาใช้รถยนต์สาธารณะ รถไฟฟ้าบนดิน รถไฟฟ้าใต้ดิน และจักรยานในการเดินทาง ซึ่งฉกทศน์นี้ได้มีการปรับลดปริมาณการจราจรรถยนต์ซึ่งเป็นการปรับที่กิจกรรมของการปลดปล่อยมลพิษ (Activity data) ทำให้มีอัตราการเปลี่ยนแปลงมลพิษของรถยนต์ประเภท PC และ OT ที่เปลี่ยนแปลงไปดังตัวอย่างตารางที่ 3-10

ฉกทศน์ที่ 3: FS plus SM scenario (FPS) เป็นการนำฉกทศน์ที่ 1 และฉกทศน์ที่ 2 ซึ่งเป็นการรวมกันของมาตรการกำหนดมาตรฐานการระบายมลพิษทางอากาศจากรถยนต์ใหม่ EURO 6 ร่วมกับมาตรการส่งเสริมด้านการจัดการคมนาคมให้ผู้คนหันมาใช้ทางเลือกอื่น จะทำให้การจราจรในพื้นที่ลดลงไปมากเพียงใด แตกต่างกับการใช้มาตรการเดียวเท่าไร ซึ่งฉกทศน์นี้จะเป็นการลดทั้งตัวคูณมลพิษ (Emission factor) และกิจกรรมของการปลดปล่อยมลพิษ (Activity data) ทำให้มีอัตราการเปลี่ยนแปลงมลพิษของรถยนต์ทั้ง 4 ประเภทเปลี่ยนไปดังตัวอย่างตารางที่ 3-10

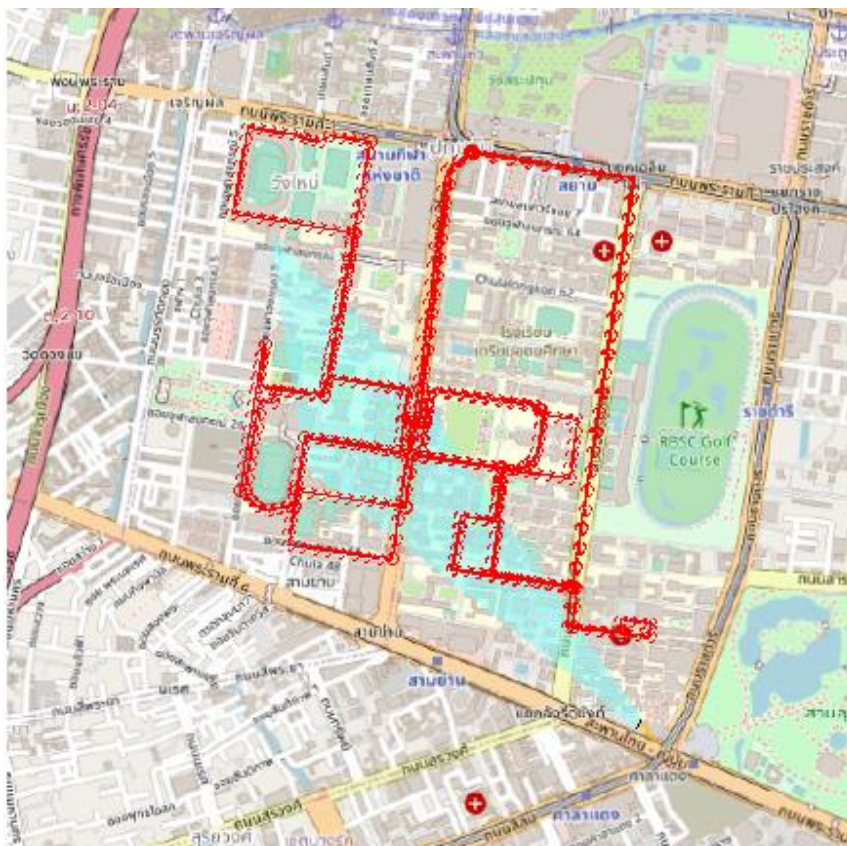
ฉกทศน์ที่ 4: Chula Pop Bus scenario (POP) แบบจำลอง AERMOD สามารถใช้ในการศึกษาผลกระทบของกิจกรรมที่ก่อมลพิษในพื้นที่ศึกษาได้ ในงานวิจัยนี้จึงได้จัดทำเป็นฉกทศน์ Chula Pop Bus scenario (POP) ขึ้น สืบเนื่องจากในปัจจุบันจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยได้จ้างบริษัทรถยนต์ EV car ในการเดินทางโดยรอบมหาวิทยาลัย ซึ่งมีทั้งหมด 5 สาย แบ่งเป็น 3 คันต่อชั่วโมงต่อสายและวิ่งตั้งแต่เวลา 7 นาฬิกา ถึง 19 นาฬิกา ในวันจันทร์จนถึงวันเสาร์ของสัปดาห์ ดังรูปที่ 3-29 ซึ่งหากสัญญาเลิกจ้างบริษัทรถยนต์ EV อาจจะทำให้ต้องหันกลับมาใช้รถเครื่องยนต์ Diesel ที่ไม่ได้มีการติดตั้ง Diesel Particulate Filter (DPF) ในการเดินทางรอบจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ดังนั้นจึงเป็นประเด็นที่น่าสนใจว่าหากใช้เครื่องยนต์ Diesel จะทำให้ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ในพื้นที่นี้เพิ่มขึ้นมากเท่าไรส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนในพื้นที่หรือไม่ ซึ่งในฉกทศน์นี้ได้มีการเพิ่มปริมาณการจราจรของรถยนต์เครื่องยนต์ Diesel ขึ้นมาใหม่แทนรถ EV ที่วิ่งอยู่เดิมตามที่ได้กล่าวไปข้างต้นที่ได้ใช้ Emission factor ของรถยนต์ประเภท LD ใน Base case ที่ 0.15 กรัมต่อกิโลเมตร ทำให้มีอัตราการเปลี่ยนแปลงมลพิษของรถยนต์ประเภท LD ที่เปลี่ยนแปลงไปดังตัวอย่างตารางที่ 3-10

ทั้งนี้แต่ละฉกทศน์ไม่ได้มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ที่พัฒนามาจากนอกพื้นที่ศึกษา (จากหัวข้อ 3.2.3.6) เนื่องจากข้อจำกัดของการศึกษาที่ไม่ได้มีการศึกษาความเข้มข้น $PM_{2.5}$ นอกพื้นที่การศึกษาจึงทำให้ในงานวิจัยนี้ไม่สามารถคำนวณความเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ที่พัฒนาเข้ามาได้



รูปที่ 3-29 ภาพเส้นทางเดินรถประจำทางภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (Chula pop bus)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 3-30 ภาพการจำลอง Line area source เส้นทางเดินรถประจำทางภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (Chula pop bus) ในแบบจำลอง AERMOD

ตารางที่ 3-10 ตัวอย่างอัตราการปลดปล่อย $PM_{2.5}$ จากถนนพระราม 1 ช่วงที่ 3 แยกเซนทรัลเวิลด์ ของฉากทัศน์ต่าง ๆ

ฉากทัศน์	อัตราการปลดปล่อยมลพิษ (g/s)			
	PC	LD	HD	OT
กรณีฐาน (Base case: BASE)	0.0482	0.173	0.239	0.0331
Fuel standard scenario (FS)	0.0344	0.0334	0.00665	0.0567
Shift mode scenario (SM)	0.0337	0.173	0.239	0.0265
FS plus SM scenario (FPS)	0.0103	0.0334	0.00665	0.0288
Chula Pop Bus scenario (POP)	0.0482	0.178	0.239	0.0331

บทที่ 4

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ผลที่ได้จากการทำบัญชีการปลดปล่อยมลพิษ

จากการทำบัญชีการปลดปล่อยมลพิษซึ่งจะได้ผลลัพธ์เป็นอัตราการปลดปล่อยมลพิษจากการจราจรของถนนแต่ละเส้น โดยตัวอย่างข้อมูลอัตราการปลดปล่อยมลพิษในปี พ.ศ.2563 เนื่องจากเป็นปีที่ปัจจุบันที่สุดและนำมาทำเป็นพื้นฐานในการทำบัญชีการปลดปล่อยมลพิษ ดังแสดงตารางที่ 4-1 พบว่ามี อัตราการปลดปล่อยมลพิษจราจรของรถยนต์ประเภท PC มากที่สุดบนถนนภาคพื้นดินที่ถนนพระราม 4 เนื่องจากมีขนาดถนนที่กว้างที่ 40 เมตรและเป็นพื้นที่สำคัญของสถานที่ต่าง ๆ เช่น มหาวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์ โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ ห้างสรรพสินค้าสามย่านมิตรทาวน์ สวนลุมพินีและในบริเวณถัด ๆ ไป เป็นต้น และอัตราการปลดปล่อยมลพิษจากรถยนต์ประเภท PC มากที่สุดบนทางพิเศษศรีรัชที่มีการเดินทางของรถยนต์ตลอดเวลาที่มาจากบริเวณอื่นประกอบกับในบริเวณศึกษาจึงทำให้มีอัตราการปลดปล่อยมลพิษสูงที่สุด

อัตราการปลดปล่อยมลพิษจากรถยนต์ประเภท LD มากที่สุดที่ถนนบรรทัดทองมีสาเหตุมาจากในบริเวณพื้นที่มีการขนส่งอาหารสำหรับร้านค้า ห้างสรรพสินค้าต่าง ๆ

อัตราการปลดปล่อยมลพิษจากรถยนต์ประเภท HD มากที่สุดที่ถนนพญาไทซึ่งมีรถเมล์ใหญ่ที่เป็นรถประจำทางต่าง ๆ ในการเดินทางมาสถานที่สำคัญต่าง ๆ เช่น มหาวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์ ห้างสรรพสินค้าสามย่านมิตรทาวน์ ห้างสรรพสินค้าสยามพารากอนและห้างอื่น ๆ ที่ใกล้เคียง เป็นต้น

อัตราการปลดปล่อยมลพิษจากถนนจุฬาซอย 9 ที่มาจากรถยนต์ประเภท OT มากที่สุดเนื่องจากจากจุฬาซอย 9 เป็นถนนขนาดเล็กที่ขนาดความกว้างเท่ากับ 12 เมตรและมีการเดินทางของรถจักรยานยนต์ของร้านอาหาร ฟู้ดเดลิเวอรี่ (Food delivery) ประกอบกับรถจักรยานยนต์รับจ้าง

ตารางที่ 4-1 ข้อมูลบัญชีการปลดปล่อยมลพิษปี พ.ศ.2563

ถนน		อัตราการปลดปล่อยมลพิษ (g/sec*m ²)				
		PC	LD	HD	OT	รวม
ถนนภาคพื้นดิน (At-grade road)	อังรีดูนังต์	9.59E-06	3.93E-05	1.76E-05	1.30E-06	6.78E-05
	บรรทัดทอง	1.23E-05	7.00E-05	4.08E-05	4.50E-06	1.28E-04
	จรัสเมือง	4.85E-07	5.37E-06	1.32E-06	3.45E-07	7.52E-06
	เจริญเมือง	1.12E-06	4.96E-06	5.77E-06	1.51E-07	1.20E-05
	จุฬาซอย 9	1.22E-06	4.48E-07	3.19E-06	8.53E-06	1.34E-05

	จุฬาลงกรณ์ 12	1.10E-06	6.52E-06	1.91E-06	7.33E-07	1.03E-05
	นเรศ	2.89E-06	1.17E-05	9.96E-06	2.85E-06	2.74E-05
	พญาไท	9.72E-06	3.64E-05	5.04E-05	4.75E-06	1.01E-04
	พระราม 1	9.93E-06	5.24E-05	5.65E-05	5.58E-06	1.24E-04
	พระราม 4	1.18E-05	5.76E-05	3.49E-05	1.47E-06	1.06E-04
	ราชดำริ	6.49E-06	3.64E-05	3.50E-05	8.08E-07	7.87E-05
	สารสิน	5.92E-07	3.13E-06	3.26E-06	3.02E-08	7.01E-06
	สีพระยา	1.58E-06	7.39E-06	5.77E-06	3.67E-07	1.51E-05
	จตุรเมือง	4.00E-06	2.56E-05	9.18E-06	1.17E-06	4.00E-05
ทางพิเศษ (Expressway)	หัวลำโพง	1.11E-06	0	1.46E-06	0	2.57E-06
	สีพระยา	2.22E-06	0	3.68E-06	0	5.91E-06
	ทางพิเศษศรี รัฐ	2.21E-05	0	4.03E-05	0	6.25E-05

4.2 ผลที่ได้จากแบบจำลอง

จากการคำนวณความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ในพื้นที่ศึกษารอบจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ขนาด 2.5 กิโลเมตรx2.5กิโลเมตร โดยใช้แบบจำลอง AERMOD ในปี พ.ศ.2561-2563 จะแสดงเป็นภาพ Contour ความเข้มข้น $PM_{2.5}$, แสดงเป็นความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 24 ชั่วโมงที่เกินค่ามาตรฐาน ($PM_{2.5}$ ambient standard exceedance count), สัดส่วนของแหล่งกำเนิดมลพิษ (Source contribution) ในพื้นที่ศึกษาและการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองตามรายละเอียดที่ได้กล่าวไปในหัวข้อ 3.2.5 โดยจะแสดงผลที่ได้ตามหัวข้อดังต่อไปนี้

4.2.1 ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ จากแบบจำลอง

การแสดงความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ที่ห้วงเวลาการเฉลี่ย (Time averaging) ต่าง ๆ ในปี พ.ศ. 2561-2563 โดยจะแสดงเป็นภาพ Contour ซึ่งบ่งบอกถึงความเข้มข้นในตำแหน่งต่าง ๆ ในพื้นที่ศึกษา และแบบจำลองสามารถแสดงผลที่ลำดับค่าหรือเปอร์เซ็นต์ไทล์ต่าง ๆ ซึ่งเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 100 อาจแสดงถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่เข้ามาพร้อมด้วยเช่น สภาพอุตุนิยมวิทยาประกอบกับปริมาณจราจร ทำให้เกิดความเข้มข้นมลพิษที่สูงมากเป็นพิเศษ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้แสดงถึงความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 100, 98 และ 95 โดยที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 100 จะบ่งบอกถึงความเข้มข้น $PM_{2.5}$

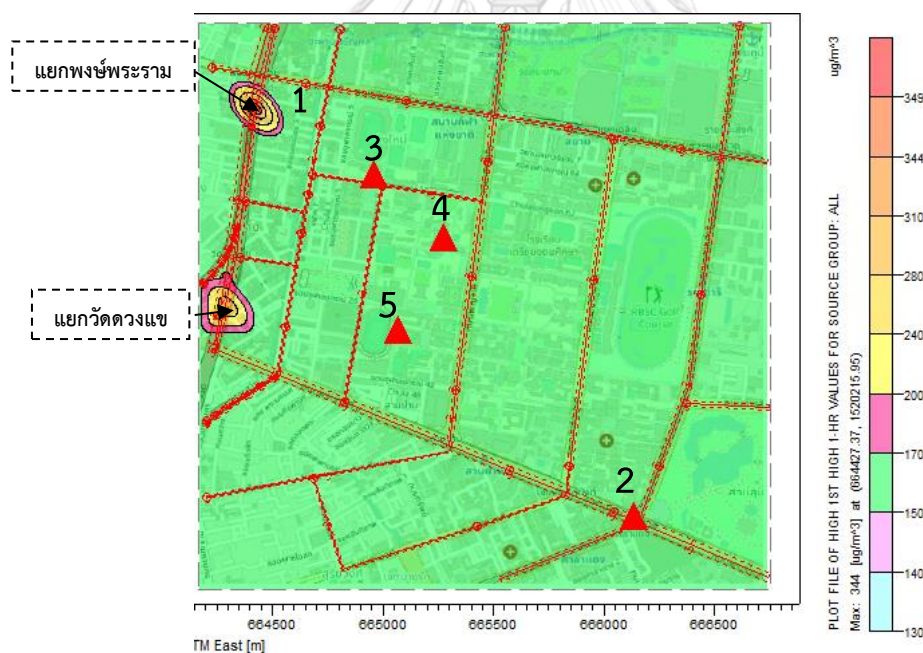
ในช่วงเวลาที่เลวร้ายที่สุด (Worst case) ส่วนผลคำนวณที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 98 และ 95 นั้นพิจารณา
รวมด้วยเพื่อดูช่วงค่าความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ที่สูงเมื่อเทียบกับเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 100 โดยจะแสดงตามจุด
ดังต่อไปนี้

1. จุดที่ความเข้มข้นที่สูงสุด (Hot spot)
2. โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์
3. อาคารจุฬาพัฒนา 14
4. โรงอาหารหอพักนิสิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
5. โรงเรียนสาธิตจุฬาลงกรณ์ประถม ประถม 5

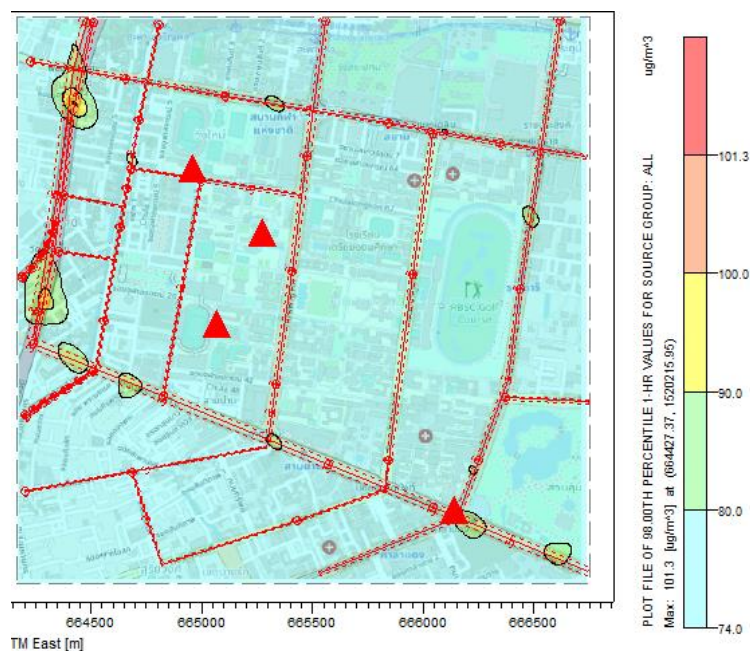
หมายเหตุ ในตำแหน่งที่ 2-5 เป็นตำแหน่งที่มีการตรวจวัด

ผลที่ได้จากแบบจำลองแสดงได้ดังนี้

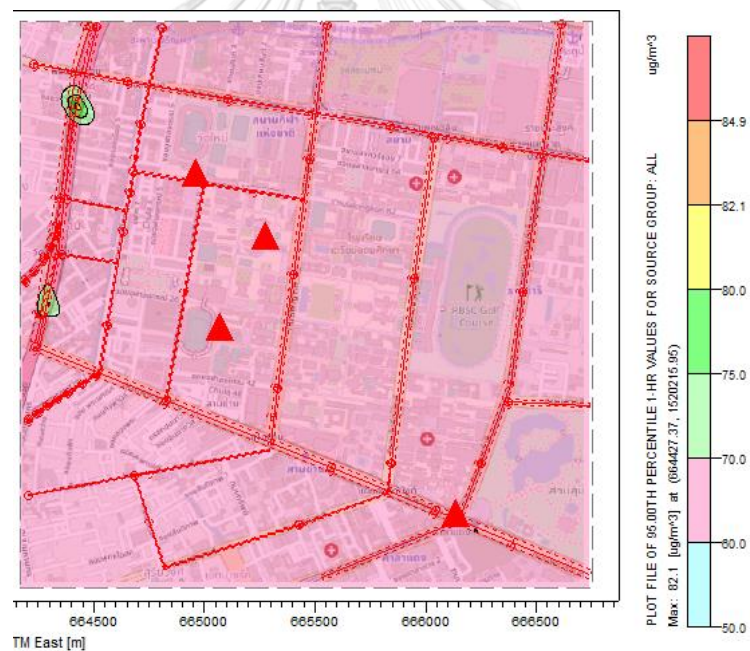
4.2.1.1 ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ สูงสุดเฉลี่ย 1 ชั่วโมง (1-Hr Averaged $PM_{2.5}$ Concentrations)



รูปที่ 4-1 ภาพ Contour ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ สูงสุดเฉลี่ยรายชั่วโมง ปี พ.ศ.2563



รูปที่ 4-2 ภาพ Contour เปอร์เซนต์ไทล์ที่ 98 ของความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ยรายชั่วโมง ปี พ.ศ.2563



รูปที่ 4-3 ภาพ Contour เปอร์เซนต์ไทล์ที่ 95 ของความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ยรายชั่วโมง ปี พ.ศ.2563

ตารางที่ 4-2 แสดงเปอร์เซนต์ไทล์ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 1 ชั่วโมง ($\mu g/m^3$) ตั้งแต่ปี พ.ศ.2561-2563

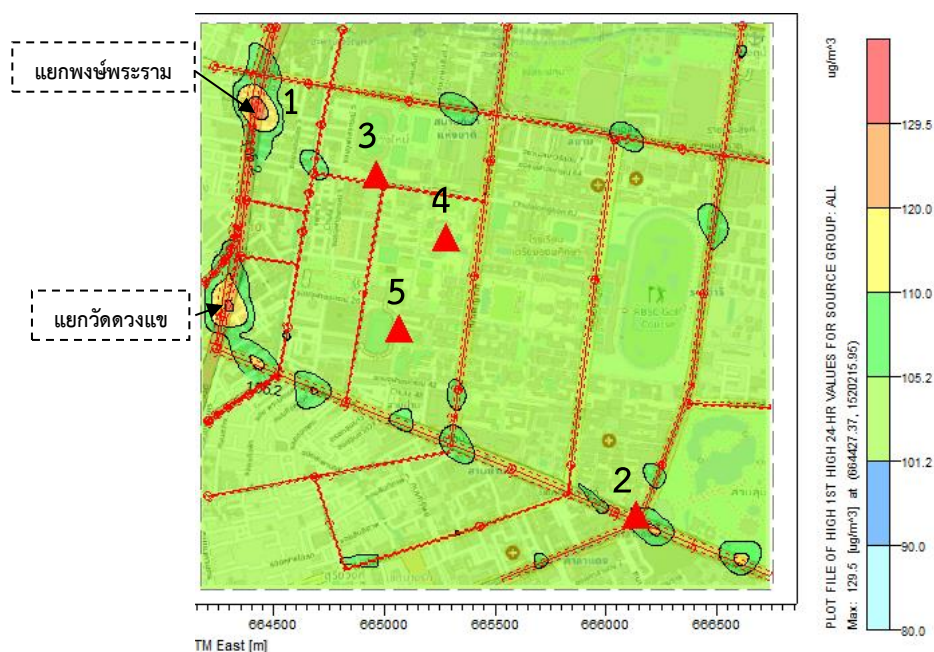
ตำแหน่ง	ปี พ.ศ.	ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 1 ชั่วโมง ($\mu g/m^3$)		
		Percentile 100	Percentile 98	Percentile 95
แยกพงษ์	พ.ศ.2561	349.03	111.49	89.14

พระราม	พ.ศ.2562	283.61	107.22	84.88
	พ.ศ.2563	343.68	101.30	82.08
โรงพยาบาล จุฬาลงกรณ์	พ.ศ.2561	152.73	91.04	72.91
	พ.ศ.2562	168.70	83.07	67.57
	พ.ศ.2563	168.67	80.16	66.31
อาคารจุฬาพัฒน์ 14	พ.ศ.2561	143.29	84.38	67.13
	พ.ศ.2562	134.35	77.22	63.35
	พ.ศ.2563	160.25	74.24	60.30
โรงอาหารหอพัก นิสิตจุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย	พ.ศ.2561	143.25	84.18	67.10
	พ.ศ.2562	134.48	77.25	63.30
	พ.ศ.2563	160.31	74.23	60.26
โรงเรียนสาธิต จุฬาลงกรณ์ ประถม ประถม 5	พ.ศ.2561	143.33	84.17	67.04
	พ.ศ.2562	134.34	77.18	63.24
	พ.ศ.2563	160.20	74.21	60.21

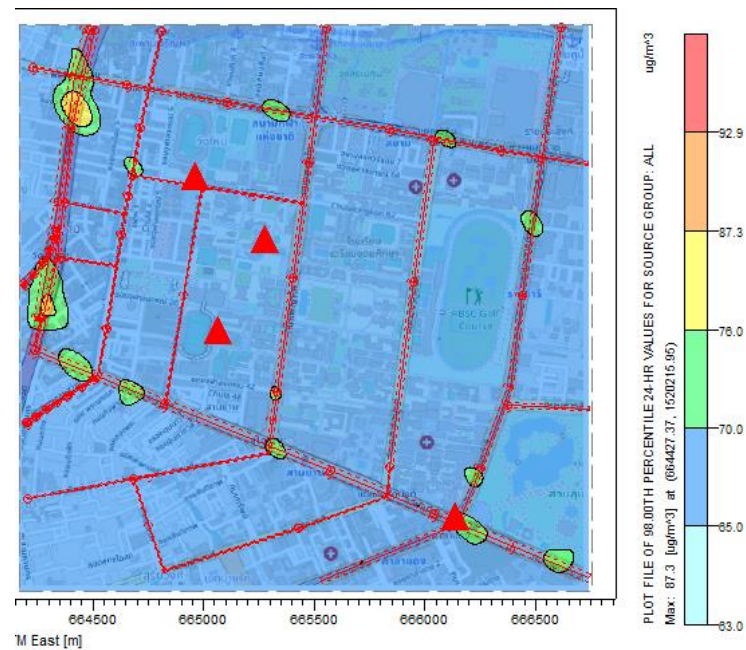
จากตารางที่ 4-2 แสดงให้เห็นว่าความเข้มข้น $PM_{2.5}$ สูงสุดเฉลี่ย 1 ชั่วโมงในปี พ.ศ.2561-2563 เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 100 มีความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ที่มากกว่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 98 ไปมาก ตั้งแต่ 1.7 เท่าถึง 2.9 เท่า อาจเนื่องมาจากหลายเหตุปัจจัย เช่น สภาพทางอุตุนิยมวิทยา ความเข้มข้นมลพิษที่พัดพาเข้ามาในช่วงเวลานั้น ๆ ทำให้ความเข้มข้นมลพิษพุ่งสูงขึ้นมากเป็นพิเศษซึ่งอาจเกิดขึ้นเพียง 1 ครั้งใน 1 ปี และจากภาพ Contour ที่ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ สูงสุดเฉลี่ยรายชั่วโมงในปี พ.ศ.2561-2563 พบได้ว่าความเข้มข้น $PM_{2.5}$ สูงสุดในบริเวณแยกถนนพงษ์พระรามและแยกวัดดวงแขในทุก ๆ ปี ดังแสดงตัวอย่างตำแหน่งดังรูปที่ 4-1 เนื่องจากอยู่บริเวณใต้ทางพิเศษศรีรัชที่มีการจราจรปริมาณมาก ประกอบกับแยกพงษ์พระรามตั้งอยู่แยกพระราม 1 ที่มีห้างสรรพสินค้าสยามพารากอน เซ็นทรัลเวิลด์ ที่เป็นศูนย์กลางห้างสรรพสินค้าและตึกในบริเวณนั้นที่เป็นสถานที่ทำงาน และอาคารบ้านเรือนที่มีผู้คนทำงาน ท่อเทียะและพักอาศัยเป็นจำนวนมากมีประชากรเป็นจำนวนมากทำให้มีการจราจรที่หนาแน่น ส่งผลให้เกิดมลพิษสูงและแยกวัดดวงแขที่ตั้งอยู่บริเวณถนนจรัลเมืองที่มีอาคารบ้านเรือนโดยรอบประกอบกับเป็นบริเวณทางขึ้นลงของ ทางพิเศษศรีรัชส่งผลให้มีการจราจรที่หนาแน่นและมีมลพิษสูงเช่นกัน และเมื่อดูที่จุดรับมลพิษอีก 4 แห่งได้แก่ โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์, อาคารจุฬาพัฒน์ 14, โรงอาหารหอพักนิสิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, และโรงเรียนสาธิตจุฬาลงกรณ์

ประถม ประตุ 5 จะสังเกตจากตารางที่ 4-2 ได้ว่ามลพิษที่สูงสุดจากทั้ง 4 จุดรับมลพิษนี้คือ โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ เนื่องจากเป็นตำแหน่งที่ใกล้ถนนหลักซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษในแบบจำลองมากที่สุด รองลงมาเป็นอาคารจุฬาพัฒน์ 14, โรงอาหารหอพักนิสิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, และโรงเรียนสาธิตจุฬาลงกรณ์ประถม ประตุ 5 ตามลำดับเนื่องจากระยะห่างจากถนนสายหลักที่ใกล้ขึ้นตามลำดับทำให้ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ลดลง

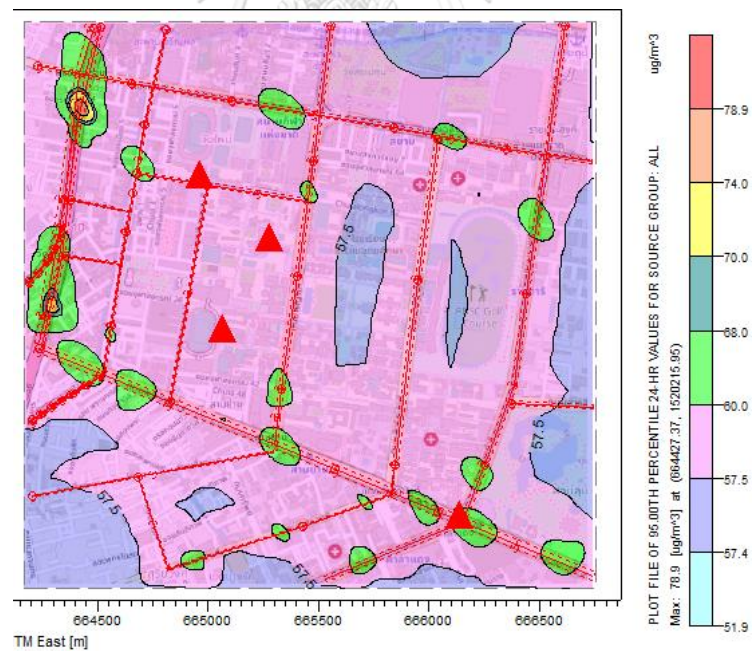
4.2.1.2 ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง (24-Hr Average $PM_{2.5}$ Concentrations)



รูปที่ 4-4 ภาพ Contour ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ยสูงสุด 24 ชั่วโมง ปี พ.ศ.2563



รูปที่ 4-5 ภาพ Contour ที่ Percentile เท่ากับ 98 ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ปี พ.ศ.2563



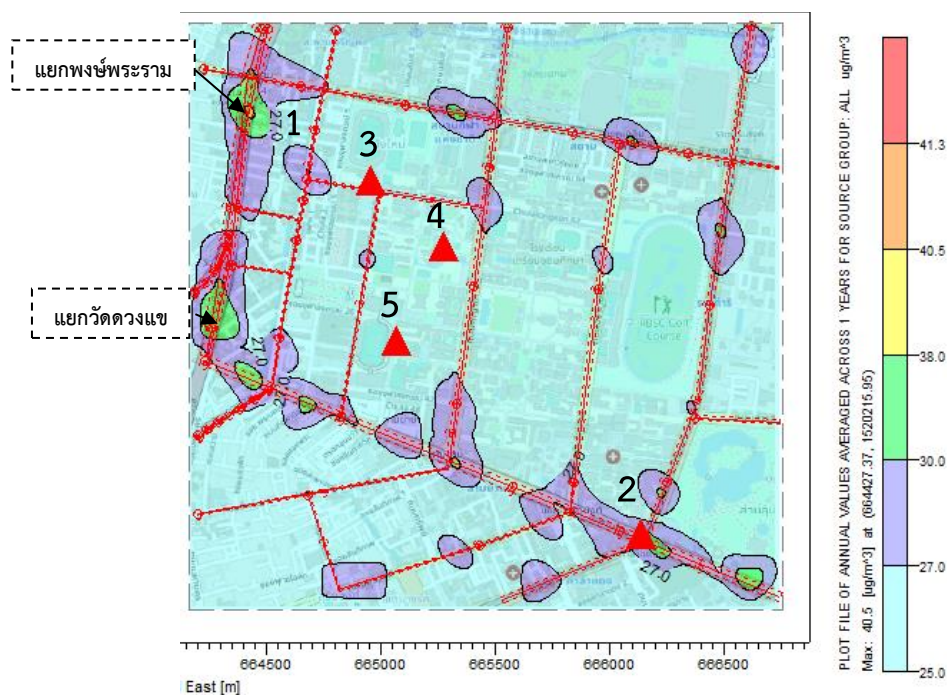
รูปที่ 4-6 ภาพ Contour ที่ Percentile เท่ากับ 95 ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ปี พ.ศ.2563

ตารางที่ 4-3 ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ($\mu g/m^3$) ณ เปอร์เซ็นไทล์ต่าง ๆ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2561-2563

ตำแหน่ง	ปี พ.ศ.	ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ($\mu g/m^3$)		
		Percentile 100	Percentile 98	Percentile 95
แยกพงษ์ พระราม	2561	114.82	86.78	82.74
	2562	111.39	107.21	84.88
	2563	129.47	87.33	78.89
โรงพยาบาล จุฬาลงกรณ์	2561	95.39	77.35	66.97
	2562	94.18	83.07	67.57
	2563	109.15	71.86	62.46
อาคารจุฬาพัฒน์ 14	2561	90.48	72.05	62.10
	2562	91.26	77.22	63.35
	2563	101.70	65.82	57.74
โรงอาหารหอพัก นิสิตจุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย	2561	90.27	71.93	62.03
	2562	91.20	77.25	63.23
	2563	101.51	65.71	57.60
โรงเรียนสาธิต จุฬาลงกรณ์ ประถม ประถม 5	2561	90.33	71.88	62.00
	2562	91.17	77.18	63.24
	2563	101.50	65.72	57.60

จากตารางที่ 4-3 แสดงให้เห็นว่าความเข้มข้น $PM_{2.5}$ สูงสุดเฉลี่ย 24 ชั่วโมงในปี พ.ศ.2561-2563 เปอร์เซ็นไทล์ที่ 100 มีความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ที่สูงกว่าเปอร์เซ็นไทล์ที่ 98 และ 95 ไม่มากนัก เนื่องจากค่าที่สูงโดดหรือ Extreme values ได้ถูกเฉลี่ยเกลี่ยค่าไปแล้ว และจากภาพ Contour ที่ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ สูงสุดเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ตั้งแต่ ปี พ.ศ.2561-2563 พบได้ว่า ในพื้นที่ศึกษารอบจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยมีค่าความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เกิน มาตรฐาน 24 ชั่วโมงที่ $50 \mu g/m^3$ เกินมาตรฐานทั้งหมดรอบพื้นที่ศึกษาแต่จะเห็นได้ว่าที่เปอร์เซ็นไทล์ที่ 100 และ 95 ความเข้มข้นมลพิษจะเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ ในทุก ๆ ปี สอดคล้องกับทิศทางปริมาณการจราจรที่เพิ่มขึ้นทุกปี

4.2.1.3 ความเข้มข้น PM_{2.5} เฉลี่ยรายปี (Annual Average PM_{2.5} Concentrations)



รูปที่ 4-7 ภาพ Contour ความเข้มข้น PM_{2.5} เฉลี่ยรายปี ปี พ.ศ.2563

ตารางที่ 4-4 แสดงความเข้มข้น PM_{2.5} เฉลี่ยรายปี ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) สำหรับปี พ.ศ.2561-2563

ตำแหน่งที่ศึกษาในพื้นที่ศึกษา	ปี พ.ศ.	ความเข้มข้น PM _{2.5} เฉลี่ยรายปี ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
แยกพงษ์พระราม	2561	43.68
	2562	41.30
	2563	40.46
โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์	2561	35.00
	2562	32.41
	2563	31.16
อาคารจุฬาพัฒน์ 14	2561	29.99
	2562	27.38
	2563	26.07
โรงอาหารหอพักนิสิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	2561	29.85
	2562	27.23

	2563	25.92
โรงเรียนสาธิตจุฬาลงกรณ์ประถม ประตู่ 5	2561	29.86
	2562	27.24
	2563	25.92

จากภาพตัวอย่าง Contour รูปที่ 4-7 และตารางที่ 4-4 ที่ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ยรายปี ตั้งแต่ ปี พ.ศ.2561-2563 พบได้ว่า พื้นที่ศึกษารอบจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยมีค่าความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เกินมาตรฐานรายปีเท่ากับ $25 \mu g/m^3$ ที่ทุกตำแหน่งที่สนใจ

4.2.2 สัดส่วนแหล่งกำเนิดมลพิษ (Source contribution)

แบบจำลอง AERMOD สามารถบอกได้ถึงสัดส่วนของความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ที่เกิดมาจาก แหล่งกำเนิดมลพิษต่าง ๆ ในแบบจำลอง ทั้งนี้ในงานวิจัยนี้ได้กำหนดแหล่งกำเนิด $PM_{2.5}$ จากการจราจรออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่

1. แบ่งตามประเภทของถนนในพื้นที่ศึกษาที่สามารถจัดแบ่งเป็นการจราจรจากภาคพื้นและการจราจรบนทางพิเศษและ $PM_{2.5}$ ที่พัดพาเข้ามาในพื้นที่ศึกษา เนื่องจากหากพบว่าความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เป็นการจราจรเป็นหลักจากตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งจะทำให้สามารถจัดการกับปัญหาของพื้นที่นั้น ๆ ได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้นแต่หากพบว่าเป็นความเข้มข้น $PM_{2.5}$ จากนอกพื้นที่ศึกษาจะได้ทำการสืบค้นกันต่อไป

2. แบ่งตามประเภทของรถยนต์ 4 ประเภท เพื่อศึกษาถึงแหล่งกำเนิดของ $PM_{2.5}$ ว่าเกิดจากบริเวณใดในพื้นที่ศึกษาและเป็นยานพาหนะประเภทใดที่ก่อมลพิษมากที่สุด

โดยจะแสดงผลวิเคราะห์สัดส่วนแหล่งกำเนิดมลพิษตามตำแหน่งที่สนใจดังต่อไปนี้

จุดที่ 1 จุดที่ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 1 ชั่วโมงสูงสุดคือบริเวณแยกพงษ์พระราม

จุดที่ 2 โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์

จุดที่ 3 อาคารจุฬาพัฒน์ 14

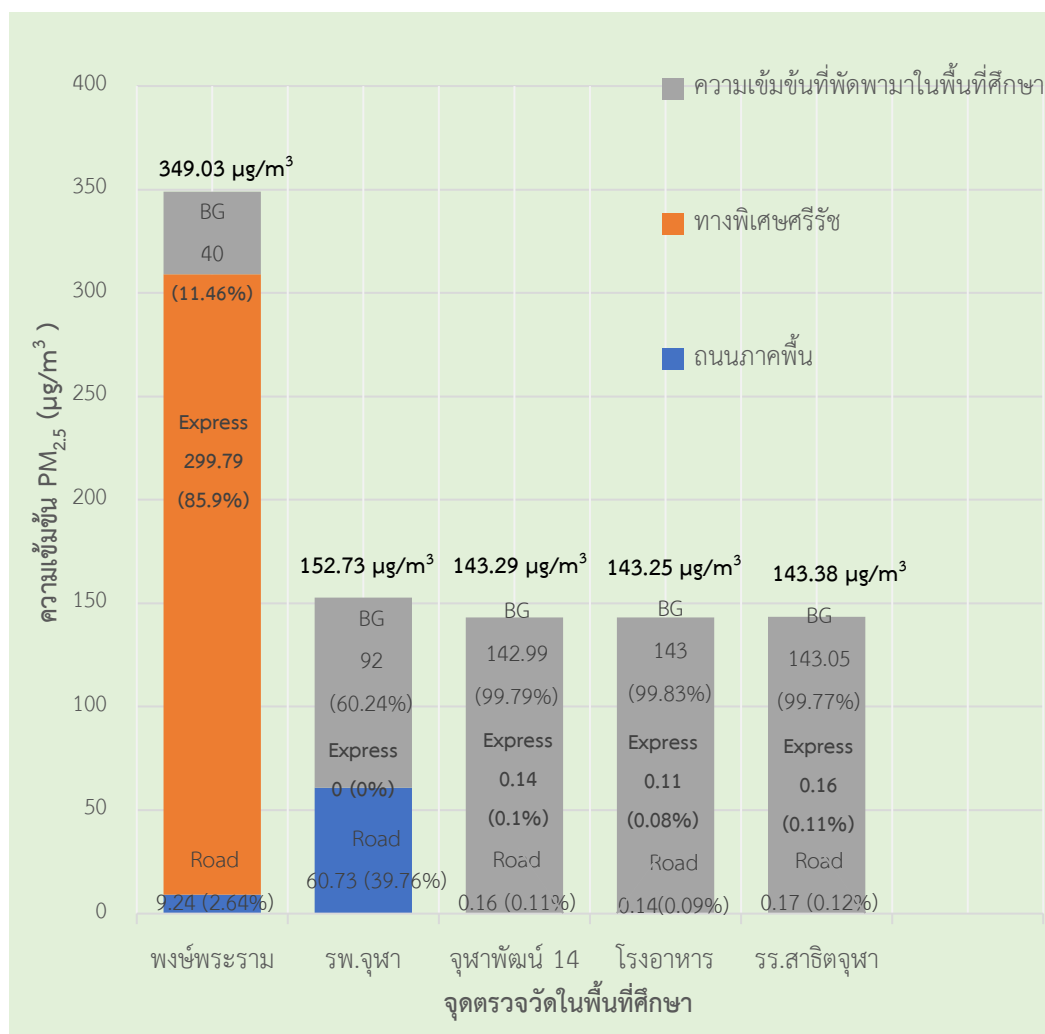
จุดที่ 4 โรงอาหารหอพักนิสิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จุดที่ 5 โรงเรียนสาธิตจุฬาลงกรณ์ประถม ประตู่ 5

หมายเหตุ ในตำแหน่งที่ 2-5 เป็นตำแหน่งที่มีการตรวจวัด

ผลที่ได้จากแบบจำลองในปี พ.ศ.2561-2563 ในประเภทที่ 1 แบ่งตามประเภทของถนนในพื้นที่ศึกษาแสดงดังรูปต่อไปนี้

(ก)

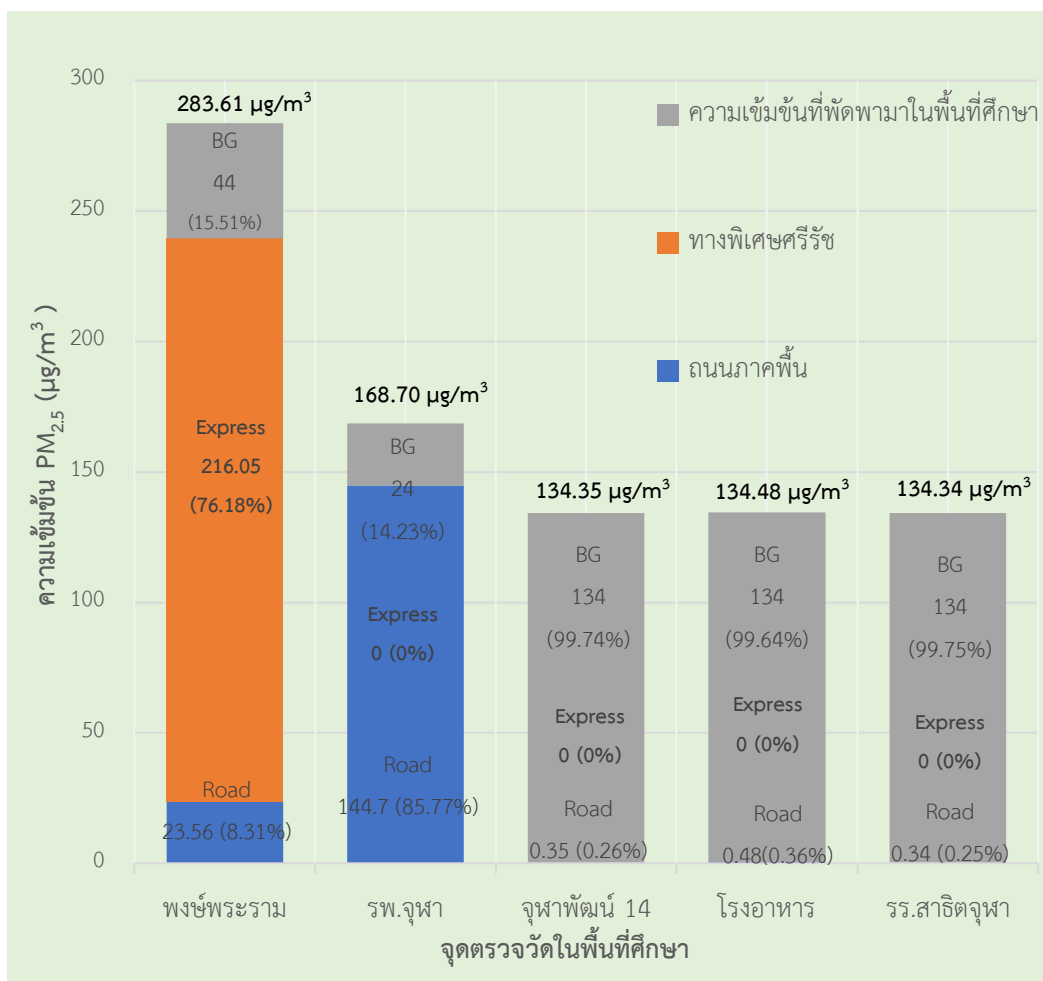


รูปที่ 4-8 สัดส่วนแหล่งกำเนิดมลพิษ (Source contributions) ประเภทที่ 1 แบ่งตามประเภทของถนนในพื้นที่

ศึกษา (ก) พ.ศ.2561 (ข) พ.ศ.2562 (ค) พ.ศ.2563

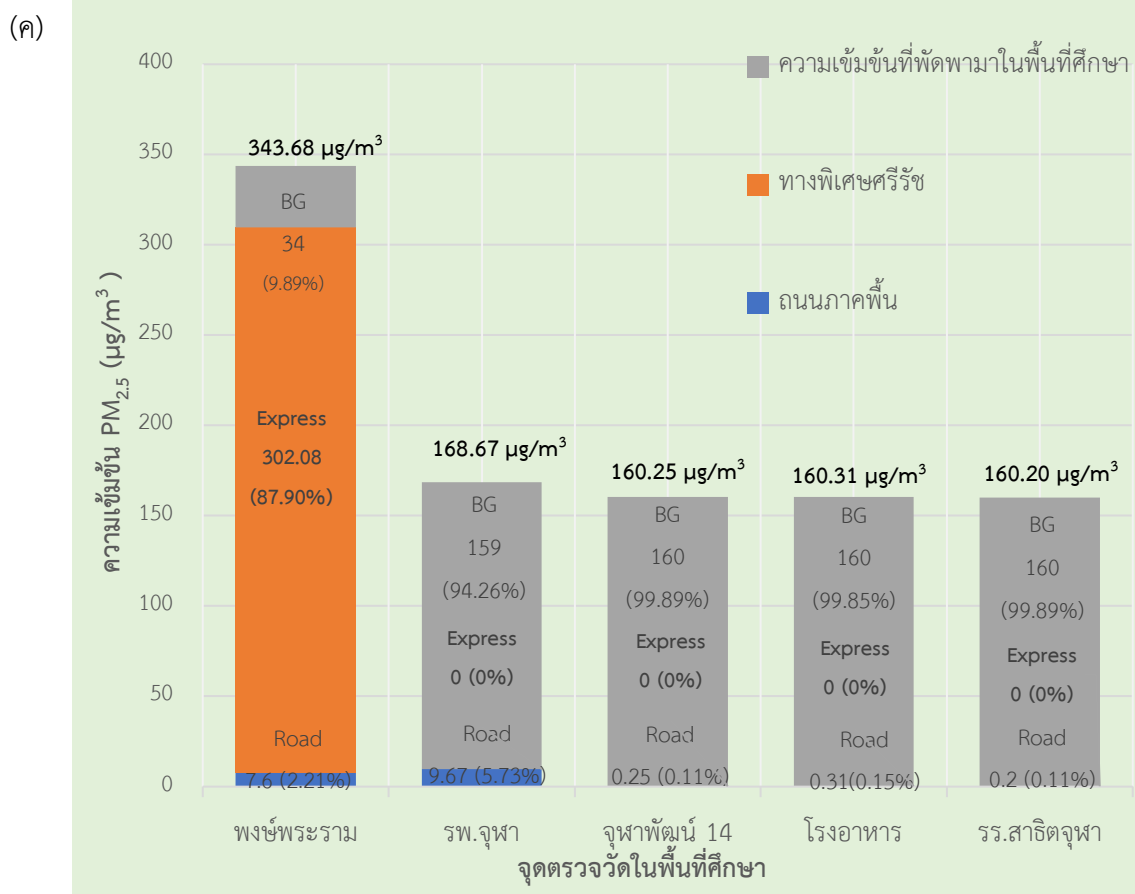
หมายเหตุ กราฟแท่งแสดงความเข้มข้น PM_{2.5} จากแต่ละแหล่งกำเนิด (ไมโครกรัมต่อลบ.ม.) และสัดส่วน (ร้อยละ) ในวงเล็บ

(ข)



รูปที่ 4-8 (ต่อ) สัดส่วนแหล่งกำเนิดมลพิษ (Source contributions) ประเภทที่ 1 แบ่งตามประเภทของถนนในพื้นที่ศึกษา (ก) พ.ศ.2561 (ข) พ.ศ.2562 (ค) พ.ศ.2563

หมายเหตุ กราฟแท่งแสดงความเข้มข้น PM_{2.5} จากแต่ละแหล่งกำเนิด (ไมโครกรัมต่อลบ.ม.) และสัดส่วน (ร้อยละ) ในวงเล็บ



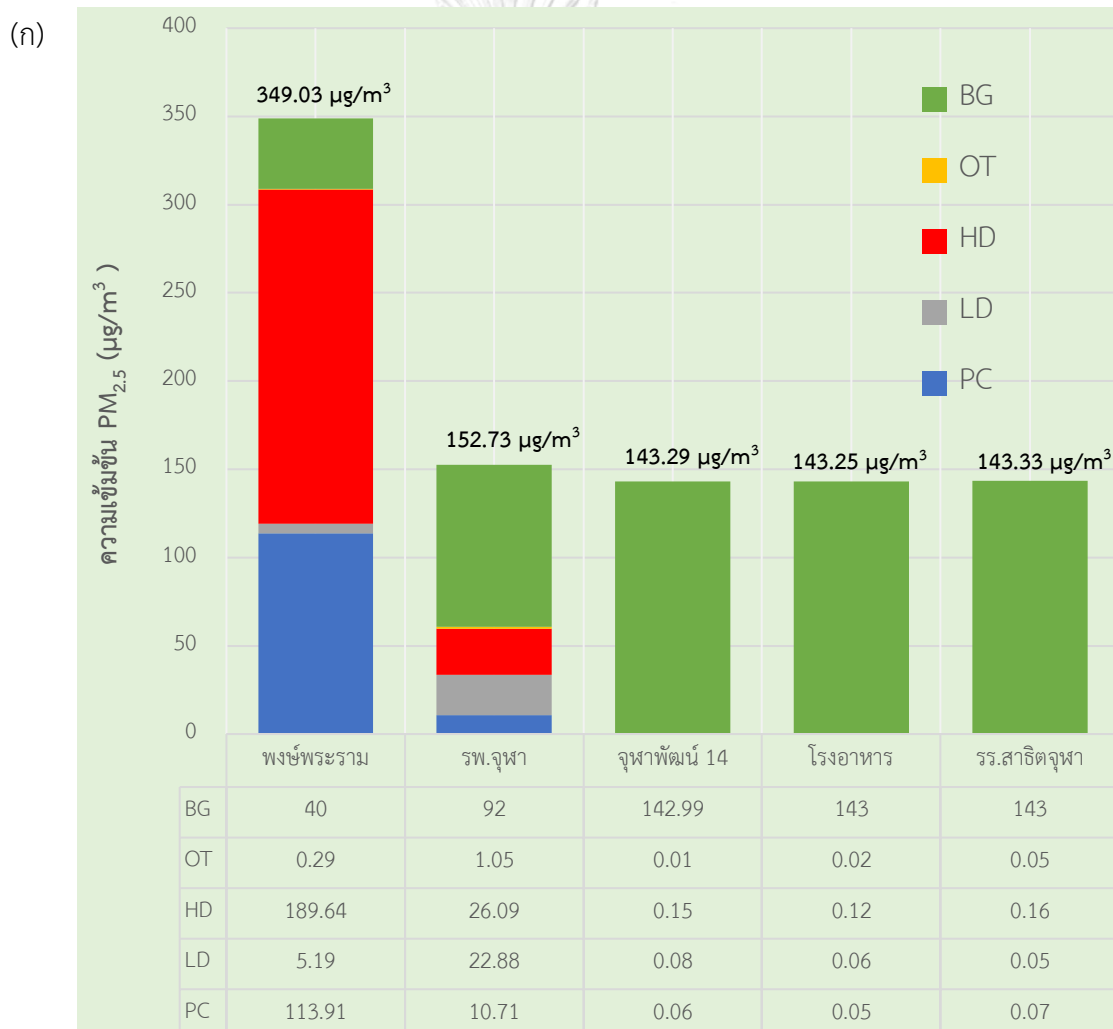
รูปที่ 4-8 (ต่อ) สัดส่วนแหล่งกำเนิดมลพิษ (Source contributions) ประเภทที่ 1 แบ่งตามประเภทของถนนในพื้นที่ศึกษา (ก) พ.ศ.2561 (ข) พ.ศ.2562 (ค) พ.ศ.2563

หมายเหตุ กราฟแท่งแสดงความเข้มข้น PM_{2.5} จากแต่ละแหล่งกำเนิด (ไมโครกรัมต่อลบ.ม.) และสัดส่วน (ร้อยละ) ในวงเล็บ

ผลที่ได้จากการคำนวณสัดส่วนมลพิษประเภทที่ 1 แบ่งตามประเภทของถนนในพื้นที่ศึกษา พบว่าสัดส่วนความเข้มข้น PM_{2.5} ที่ความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุด 1 ชั่วโมงตั้งแต่ปี พ.ศ.2561-2563 ในบริเวณแยกพงษ์พระรามสูงที่สุดในพื้นที่การศึกษาและมีความเข้มข้นที่ใกล้เคียงกันในทุกปี แต่จะพบได้ว่าสัดส่วนของแหล่งกำเนิดมลพิษที่เกิดขึ้นมีความผันแปรแตกต่างกันไปในแต่ละปี เช่น ในปี พ.ศ.2563 สัดส่วนแหล่งกำเนิดสูงสุดมาจากการจราจรทางพิเศษที่ 302.08 µg/m³ (87.90%) ในขณะที่ปี พ.ศ.2561 และ 2562 มีสัดส่วนแหล่งกำเนิดสูงสุดจากการจราจรทางพิเศษที่ลดลง 299.79 µg/m³ (85.90%) และ 216.05 µg/m³ (76.18%) ตามลำดับ ในปี พ.ศ.2561-2563 ที่ตำแหน่งตรวจวัดทั้ง 4 จุดจะพบได้ทั้ง 3 ปีมีรูปแบบของสัดส่วนแหล่งกำเนิดมลพิษที่ไม่แตกต่างกันทั้ง 3 จุดได้แก่ อาคาร จุฬาพัฒน์ 14, โรงอาหารหอพักนิสิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และโรงเรียนสาธิตจุฬาลงกรณ์ประถม ประตุ 5 ซึ่งมีสัดส่วนมาจากการพัดพาความเข้มข้น PM_{2.5} จากนอกพื้นที่ศึกษามากที่สุด และในบริเวณจุดโรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ที่ใกล้แหล่งกำเนิดจากการจราจรมากที่สุดจะมีสัดส่วนของมลพิษที่

เกิดจากการจราจรภาคพื้นอย่างมีนัยสำคัญที่ 5.73% ถึง 85.77% และเมื่ออยู่ไกลจากจุดแหล่งกำเนิด ทั้ง 3 จุดตรวจวัดได้แก่ อาคารจุฬาพัฒน์ 14, โรงอาหารหอพักนิสิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และ โรงเรียนสาธิตจุฬาลงกรณ์ประถม ประตุ 5 พบว่าสัดส่วนของแหล่งกำเนิดมาจากการจราจรภาคพื้น น้อยกว่า 1% จะสังเกตได้ว่าความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ในพื้นที่ศึกษาส่วนใหญ่พบว่าเป็นความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ที่ได้รับอิทธิพลมาจากความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ที่พัดพาเข้ามาในพื้นที่ศึกษาสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Dejchanchaiwong, 2021) ที่ได้กล่าวไปในหัวข้อ 2.3.2.3

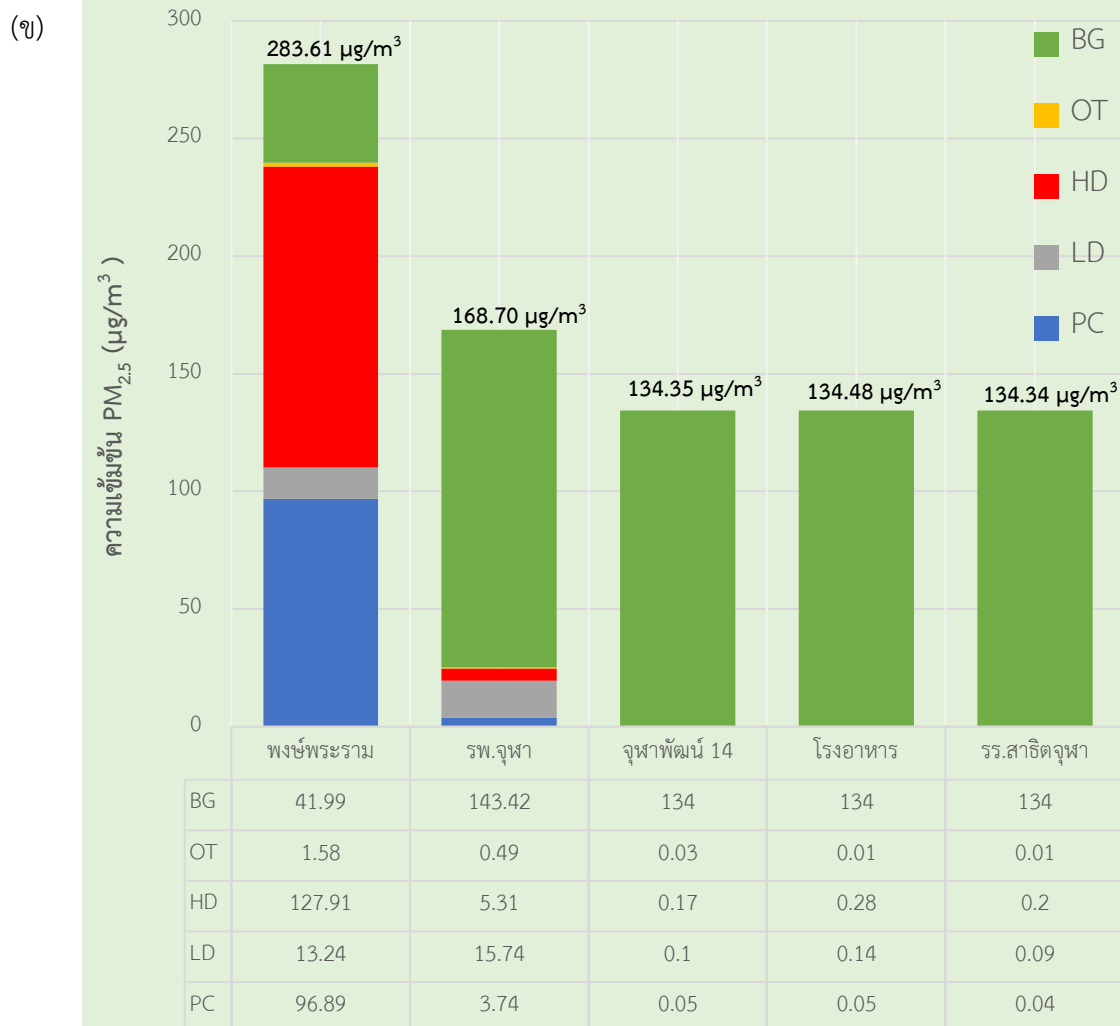
ผลที่ได้จากแบบจำลองแสดงสัดส่วนของแหล่งกำเนิด $PM_{2.5}$ จากยานพาหนะประเภทต่าง ๆ ดังในประเภทที่ 2 ซึ่งแสดงถึงวันที่ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ สูงสุด ณ แยกพงษ์พระราม ใน ปี พ.ศ.2561-2563 ดังรูปต่อไปนี้



รูปที่ 4-9 สัดส่วนแหล่งกำเนิดมลพิษ (Source contributions) ประเภทที่ 2 แบ่งตามประเภทของยานพาหนะ

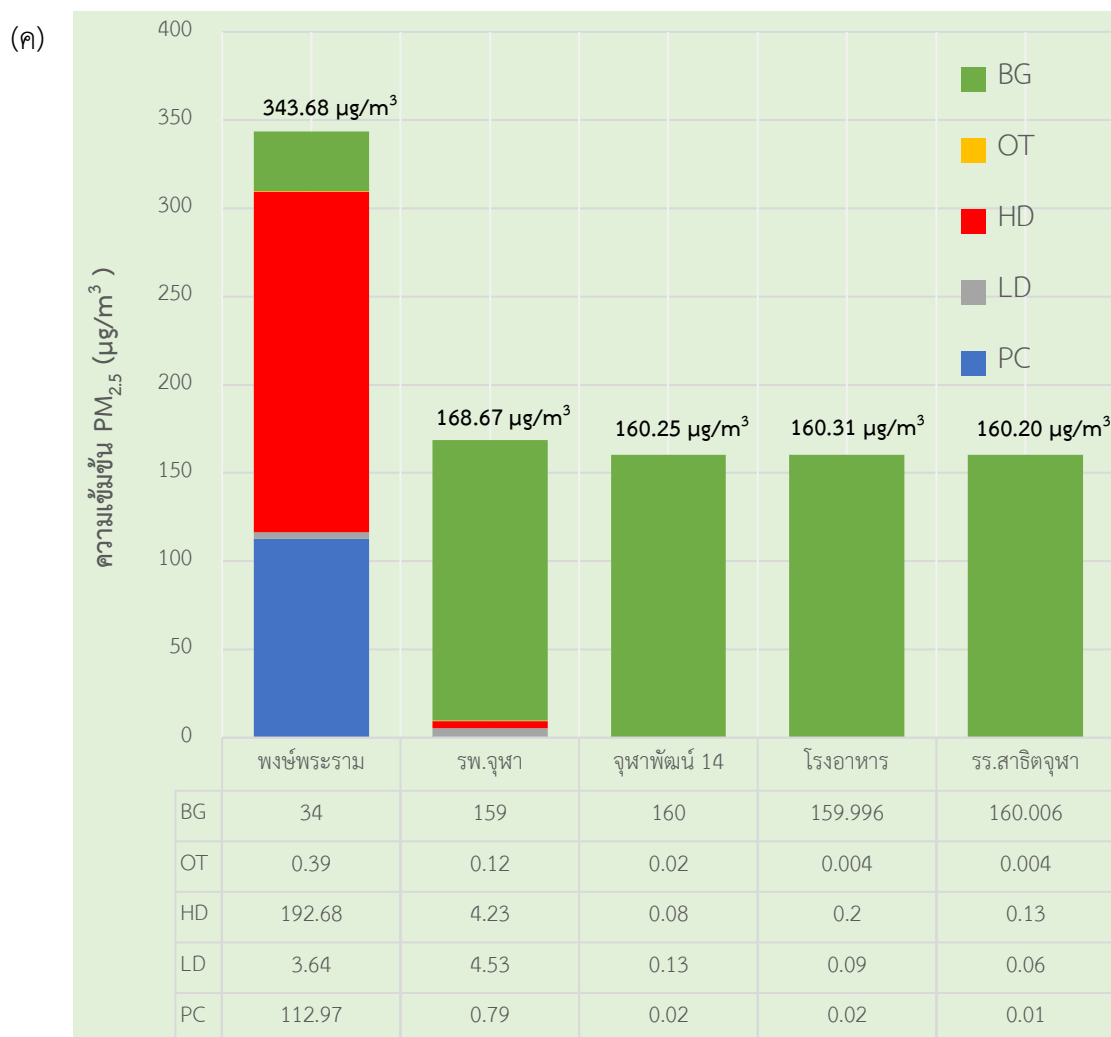
(ก) พ.ศ.2561 (ข) พ.ศ.2562 (ค) พ.ศ.2563

หมายเหตุ กราฟแท่งแสดงความเข้มข้น $PM_{2.5}$ จากแต่ละแหล่งกำเนิด (ไมโครกรัมต่อลบ.ม.) และ BG หมายถึงความเข้มข้นที่พัดพาเข้ามาในพื้นที่ศึกษา



รูปที่ 4-9 (ต่อ) สัดส่วนแหล่งกำเนิดมลพิษ (Source contributions) ประเภทที่ 2 แบ่งตามประเภทของยานพาหนะ (ก) พ.ศ.2561 (ข) พ.ศ.2562 (ค) พ.ศ.2563

หมายเหตุ กราฟแท่งแสดงความเข้มข้น $PM_{2.5}$ จากแต่ละแหล่งกำเนิด (ไมโครกรัมต่อลบ.ม.) และ BG หมายถึงความเข้มข้นที่พัดพาเข้ามาในพื้นที่ศึกษา



รูปที่ 4-9 (ต่อ) สัดส่วนแหล่งกำเนิดมลพิษ (Source contributions) ประเภทที่ 2 แบ่งตามประเภทของยานพาหนะ (ก) พ.ศ.2561 (ข) พ.ศ.2562 (ค) พ.ศ.2563

หมายเหตุ กราฟแท่งแสดงความเข้มข้น $PM_{2.5}$ จากแต่ละแหล่งกำเนิด (ไมโครกรัมต่อลบ.ม.) และ BG หมายถึงความเข้มข้นที่พัดพาเข้ามาในพื้นที่ศึกษา

ผลที่ได้จากการคำนวณสัดส่วนมลพิษประเภทที่ 2 แบ่งตามประเภทของยานพาหนะพบว่า สัดส่วนความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ที่ความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุด 1 ชั่วโมงตั้งแต่ปี พ.ศ.2561-2563 พบว่าความเข้มข้น $PM_{2.5}$ สูงสุดทั้ง 5 ตำแหน่งที่สนใจได้แก่ แยกพงษ์พระราม, โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์, อาคารจุฬาพัฒนา 14, โรงอาหารหอพักนิสิตจุฬาลงกรณ์และโรงเรียนสาธิตจุฬาลงกรณ์ประถม ประถม 5 นั้นมาจากรถยนต์ประเภท HD มากที่สุดรองลงมาเป็นรถยนต์ประเภท PC, LD, ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ที่พัดพาเข้ามาในพื้นที่ศึกษาและ OT ตามลำดับ และในทั้ง 4 ตำแหน่งได้แก่ โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์, อาคารจุฬาพัฒนา 14, โรงอาหารหอพักนิสิตจุฬาลงกรณ์และโรงเรียนสาธิตจุฬาลงกรณ์ประถม ประถม 5 นั้นมีความเข้มข้น $PM_{2.5}$ สูงสุดมาจากความเข้มข้นที่พัดพาเข้ามาในพื้นที่ศึกษาและความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ที่ได้จากการจราจรนั้นมีเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

4.2.3 การทดสอบแบบจำลอง

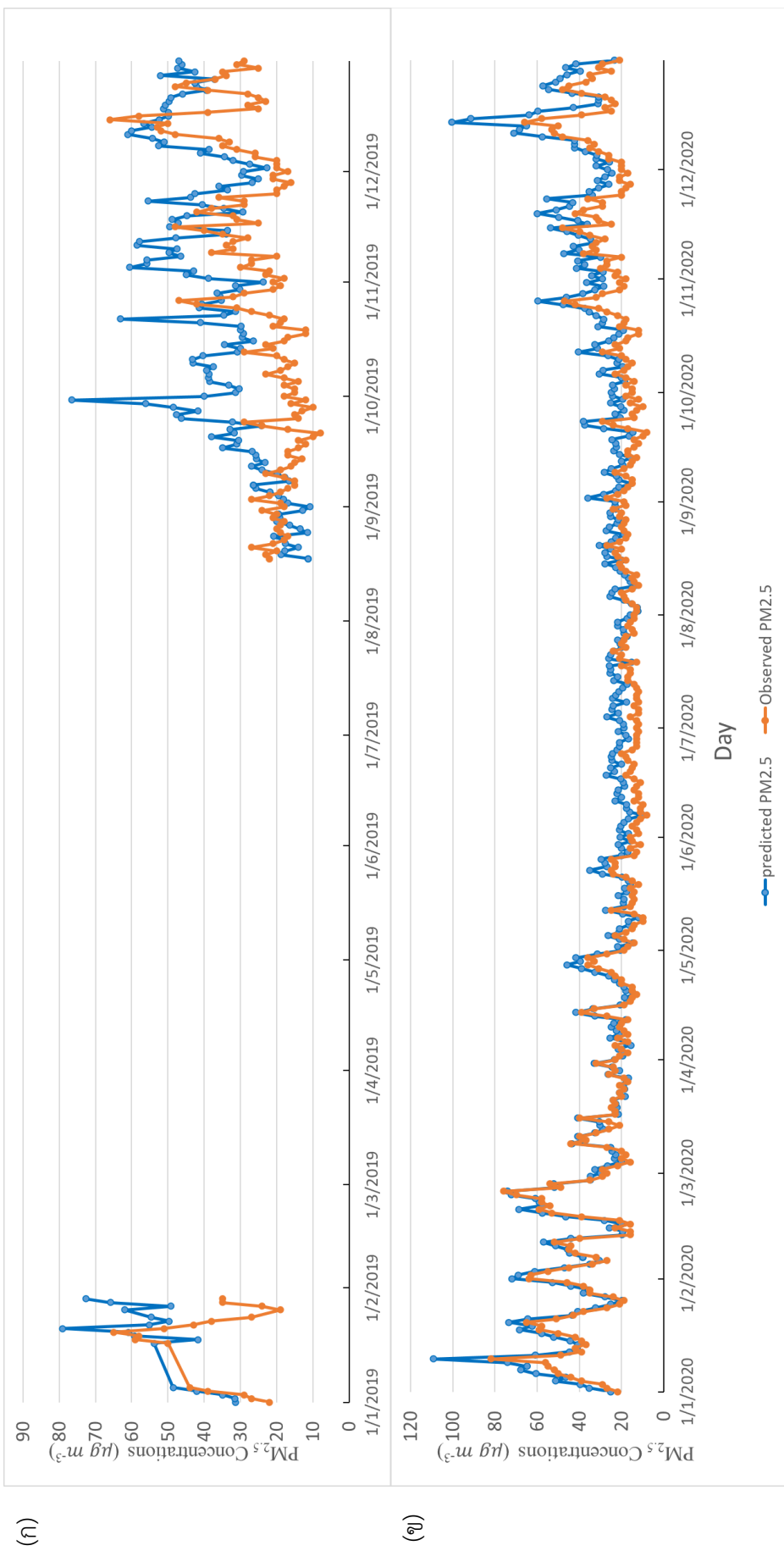
การทดสอบความแม่นยำของแบบจำลองดำเนินการโดยการเปรียบเทียบค่าความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ที่ได้จากแบบจำลองเปรียบเทียบกับความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ที่ได้จากการตรวจวัดในพื้นที่ที่สามารถประมวลผลการทดสอบด้วยดัชนีทางสถิติ ดังที่ได้บรรยายไปในหัวข้อ 3.2.5 โดยนำเสนอผลการทดสอบแบบจำลองแยกตามจุดตรวจวัดดังนี้

สำหรับการทดสอบแบบจำลอง ณ ตำแหน่งโรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ รูปที่ 4-10 เสนอผลการเปรียบเทียบความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 24 ชั่วโมงจากแบบจำลอง และค่าจากการตรวจวัดในรูปแบบของกราฟ time-series และรูปที่ 4-11 แสดงผลการเปรียบเทียบความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 24 ชั่วโมงในรูปแบบ Scatter plot และ Q-Q plot ในปี พ.ศ.2562-2563

รูปที่ 4-12 แสดงการทดสอบแบบจำลอง ณ บริเวณอาคารจุฬาพัฒน์ 14 โดยเปรียบเทียบความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง จากแบบจำลอง และค่าจากการตรวจวัดในรูปแบบกราฟ time-series และรูปที่ 4-13 แสดงผลการเปรียบเทียบความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ในรูปแบบ Scatter plot และ Q-Q plot ปี พ.ศ.2562-2563

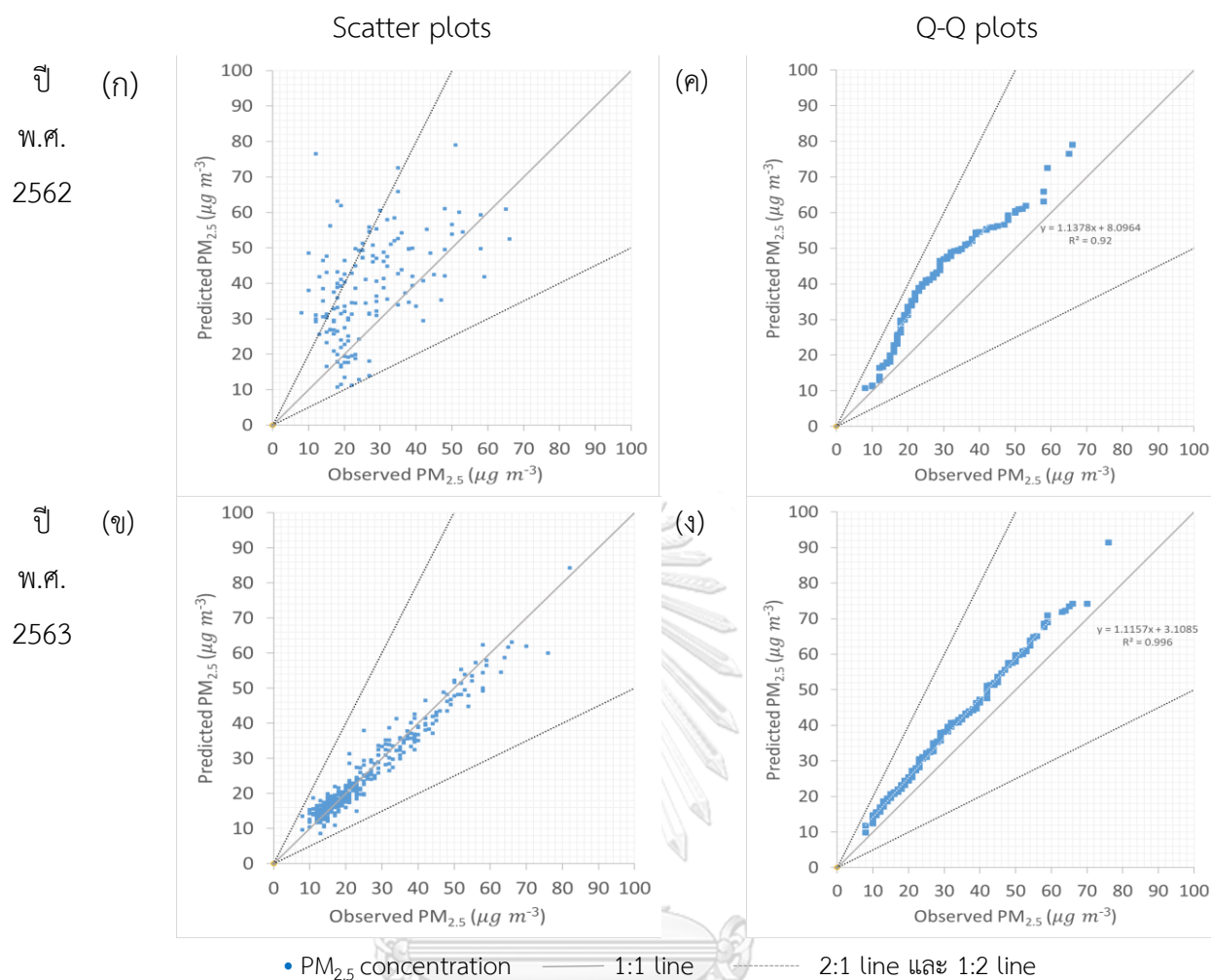
รูปที่ 4-14 แสดงการเปรียบเทียบความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 24 ชั่วโมงจากแบบจำลองกับค่าการตรวจวัดในพื้นที่ศึกษาใน ปี พ.ศ.2562-2563 โดยแสดงในรูปแบบกราฟ time-series และรูปที่ 4-15 แสดงถึงผลการเปรียบเทียบความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 24 ชั่วโมงในรูปแบบ Scatter plot และ Q-Q plot

รูปที่ 4-16 แสดงการเปรียบเทียบความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 24 ชั่วโมงระหว่างผลที่ได้จากแบบจำลองกับค่าการตรวจวัดในพื้นที่ศึกษา ในปี พ.ศ.2562-2563 โดยแสดงในรูปแบบกราฟ time-series และรูปที่ 4-17 เป็นการแสดงผลเปรียบเทียบความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 24 ชั่วโมงระหว่างแบบจำลองกับค่าตรวจวัด $PM_{2.5}$ ในพื้นที่ศึกษาในรูปแบบ Scatter plot และ Q-Q plot

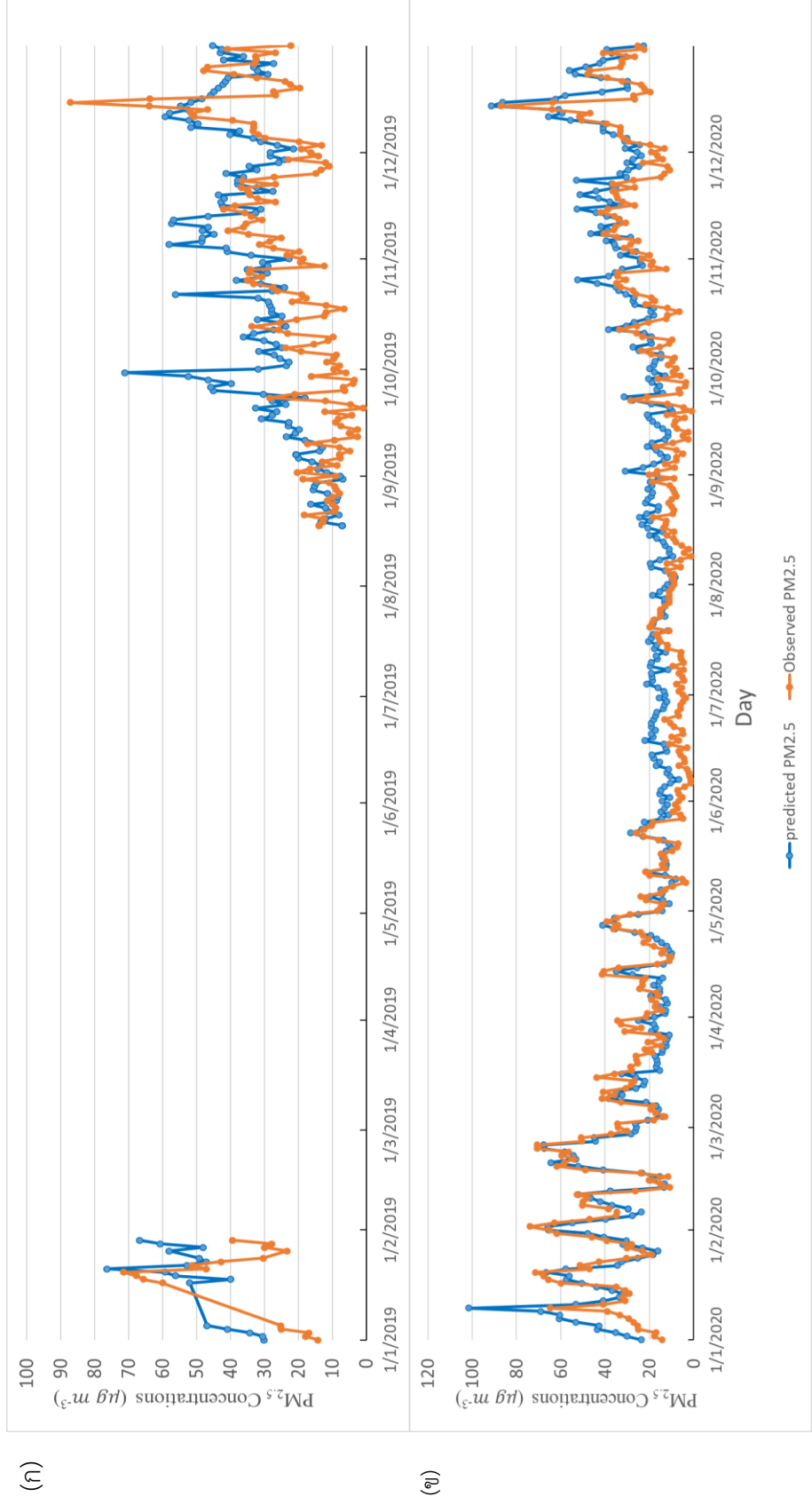


รูปที่ 4-10 กราฟ Time series ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง จากแบบจำลองและการตรวจวัดบริเวณโรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์

สำหรับปี (ก) พ.ศ.2562 (ง) พ.ศ.2563

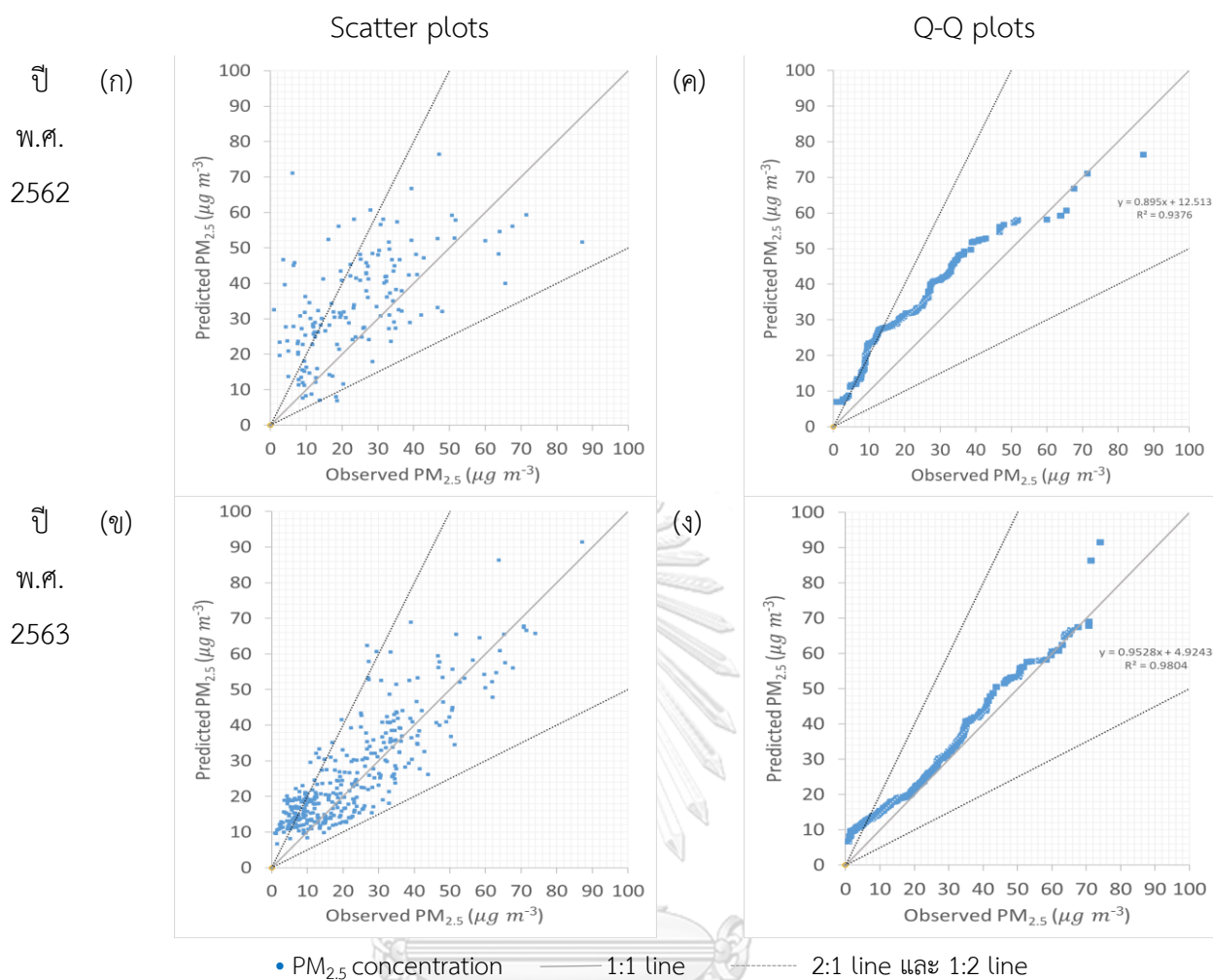


รูปที่ 4-11 การเปรียบเทียบความเข้มข้น PM_{2.5} จากแบบจำลองและการตรวจวัดบริเวณโรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์
 ในรูปแบบ Scatter plot สำหรับปีต่างๆ (ก) พ.ศ.2562 (ข) พ.ศ.2563
 และในรูปแบบ Q-Q plot (ค) พ.ศ.2562 (ง) พ.ศ.2563



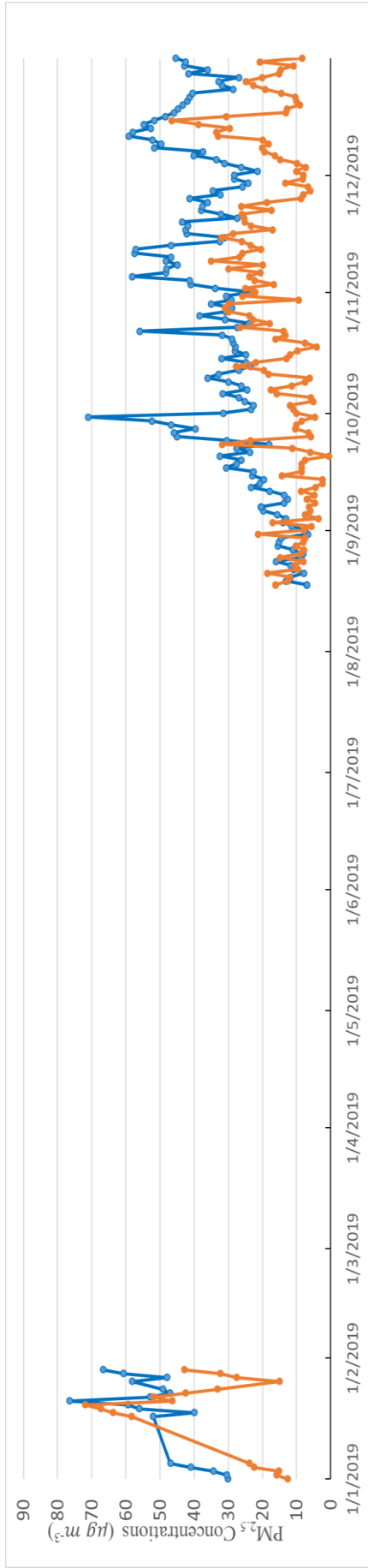
รูปที่ 4-12 กราฟ Time series ความเข้มข้น PM_{2.5} เฉลี่ย 24 ชั่วโมงจากแบบจำลองและการตรวจวัดบริเวณอาคารจุฬาพัฒนา 14

สำหรับปี (ก) พ.ศ.2562 (ข) พ.ศ.2563

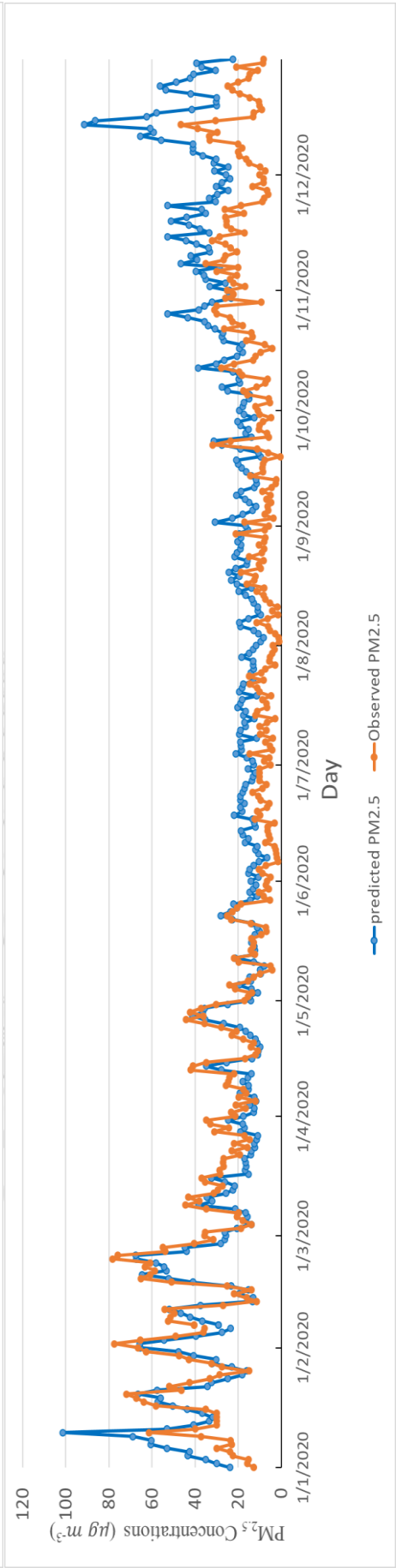


รูปที่ 4-13 การเปรียบเทียบความเข้มข้น $PM_{2.5}$ จากแบบจำลองและการตรวจวัดบริเวณอาคารจุฬาพัฒน์ 14 ในรูปแบบ Scatter plot สำหรับปีต่างๆ (ก) พ.ศ.2562 (ข) พ.ศ.2563 และในรูปแบบ Q-Q plot (ค) พ.ศ.2562 (ง) พ.ศ.2563

(ก)

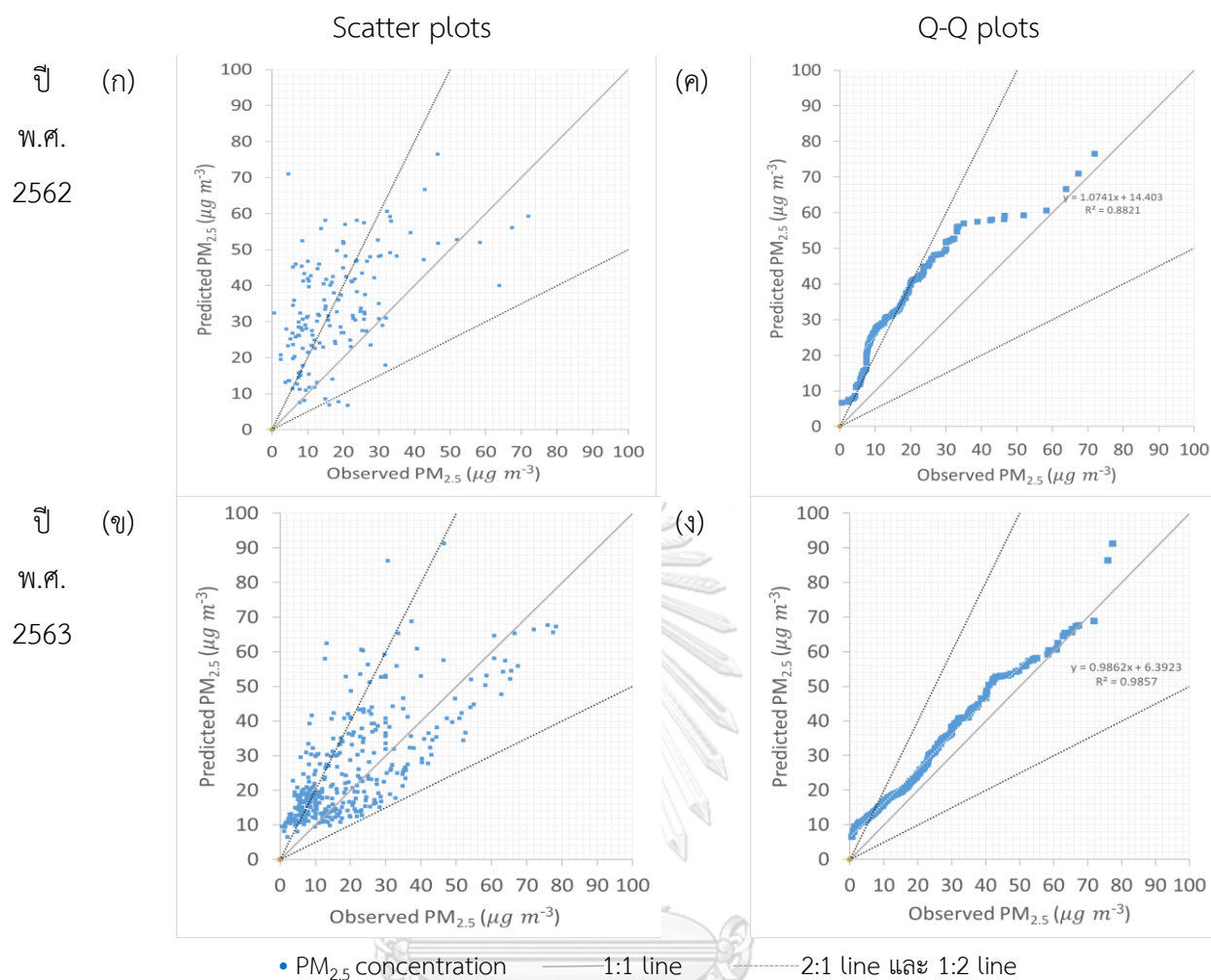


(ข)

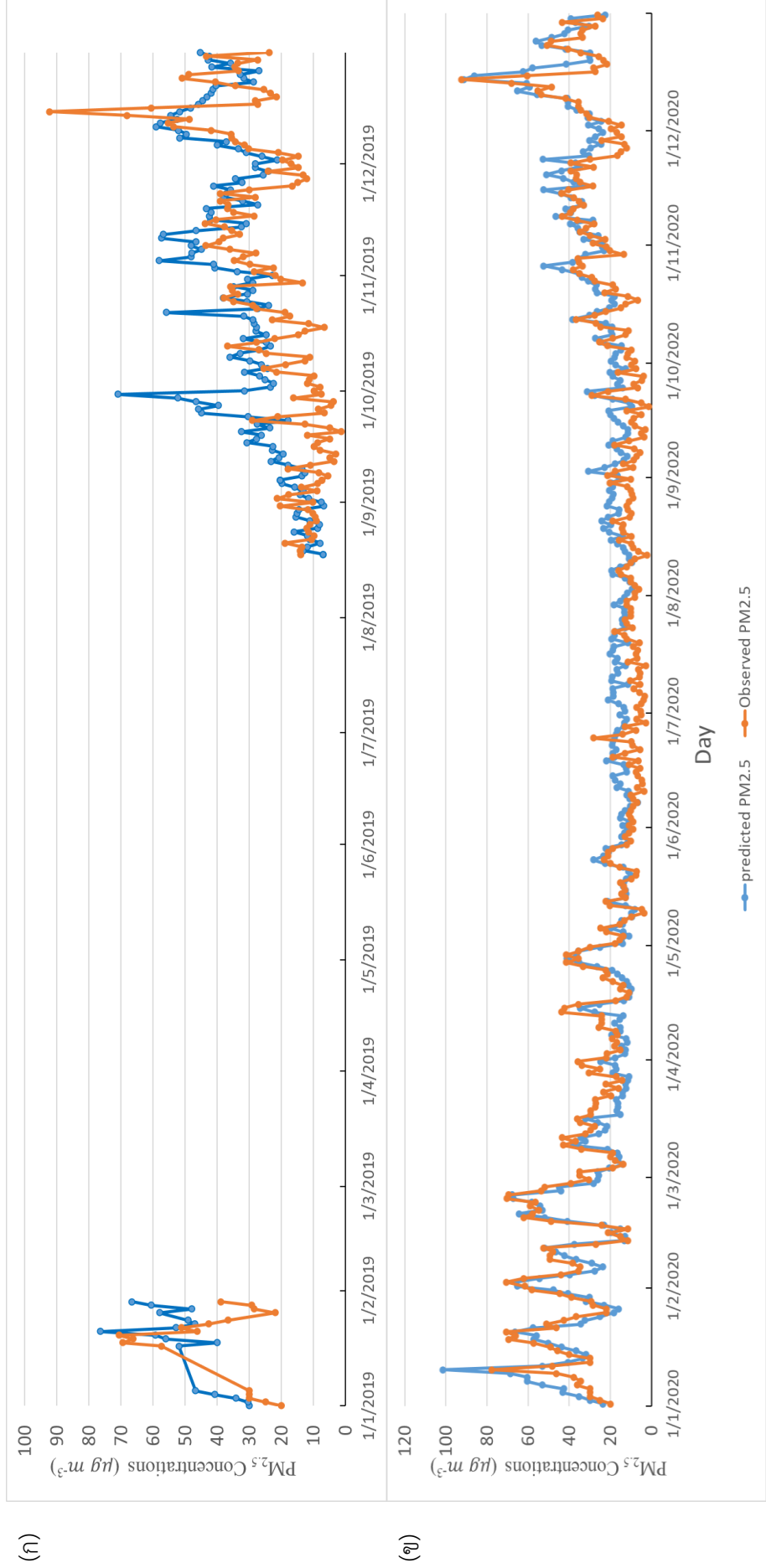


รูปที่ 4-14 กราฟ Time series ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 24 ชั่วโมงจากแบบจำลองและการตรวจวัดบริเวณโรงพยาบาลกนิษฐาภรณ์มหาวิทยาลัย

สำหรับปี (ก) พ.ศ.2562 (ข) พ.ศ.2563

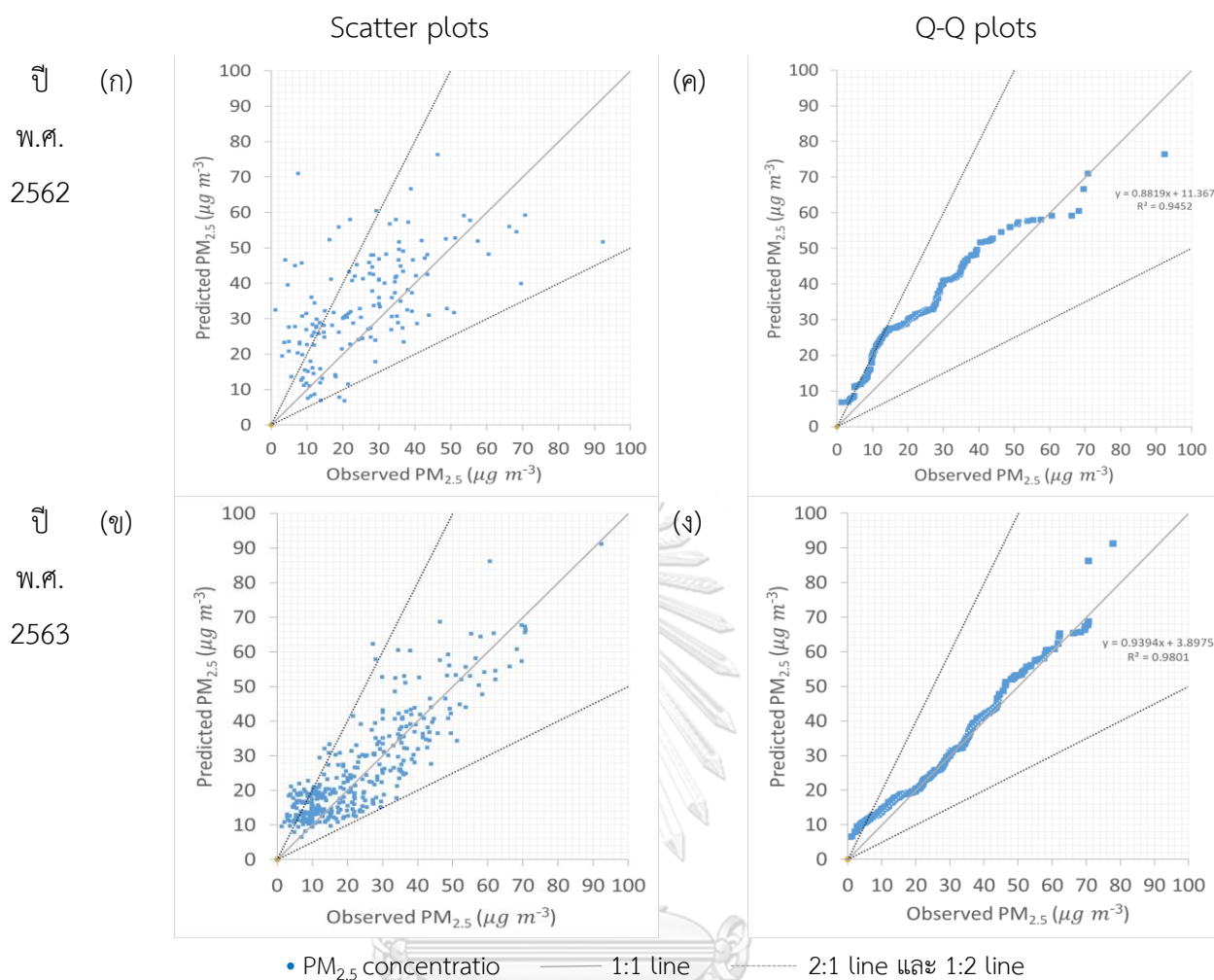


รูปที่ 4-15 การเปรียบเทียบความเข้มข้น $PM_{2.5}$ จากแบบจำลองและการตรวจวัดบริเวณโรงพยาบาลกนิษฐา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในรูปแบบ Scatter plot สำหรับปีต่างๆ (ก) พ.ศ.2562 (ข) พ.ศ.2563 และในรูปแบบ Q-Q plot (ค) พ.ศ.2562 (ง) พ.ศ.2563



รูปที่ 4-16 กราฟ Time series ความเข้มข้น PM_{2.5} เฉลี่ย 24 ชั่วโมงจากแบบจำลองและการตรวจวัดบริเวณโรงเรียนสาธิตจุฬาลงกรณ์ประถม ประชตู 5

สำหรับปี (ก) พ.ศ.2562 (ข) พ.ศ.2563



รูปที่ 4-17 การเปรียบเทียบความเข้มข้น PM_{2.5} จากแบบจำลองและการตรวจวัดบริเวณโรงเรียนสาธิต
 จุฬาลงกรณ์ประถม ประถม 5 ในรูปแบบ Scatter plot สำหรับปีต่างๆ (ก) พ.ศ.2562 (ข) พ.ศ.2563
 และในรูปแบบ Q-Q plot (ค) พ.ศ.2562 (ง) พ.ศ.2563

4.2.3.1 ดัชนีทางสถิติและการอภิปราย

เมื่อเปรียบเทียบค่าความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ที่ได้จากแบบจำลองกับความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ที่ได้จากการตรวจวัดในตำแหน่งต่าง ๆ นำมาประมวลผลด้วยดัชนีทางสถิติโดยแสดงค่าดัชนีต่าง ๆ ได้แก่ Fractional Bias (FB), The correlation coefficient (R), The fraction within a factor of two (FAC2), และ The normalized mean square error (NMSE) ดังตารางที่ 4-5

ตารางที่ 4-5 ดัชนีทางสถิติของการเปรียบเทียบความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง จากแบบจำลองและจากค่าที่ตรวจวัด สำหรับปี พ.ศ.2562-2563

ตำแหน่ง	ดัชนีทางสถิติ	ปี พ.ศ.	
		2562	2563
โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์	FB	-0.36	-0.22
	R	0.49	0.94
	FAC2	0.76	0.99
	NMSE	0.31	0.08
อาคารจุฬาพัฒน์ 14	FB	-0.35	-0.16
	R	0.58	0.85
	FAC2	0.71	0.78
	NMSE	0.35	0.15
โรงอาหารหอพักนิสิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	FB	-0.61	-0.27
	R	0.52	0.71
	FAC2	0.49	0.67
	NMSE	0.69	0.33
โรงเรียนสาธิตจุฬาลงกรณ์ ประถม ประถม 5	FB	-0.28	-0.10
	R	0.58	0.86
	FAC2	0.75	0.86
	NMSE	0.31	0.12

ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ดัชนีปี พ.ศ.2562-2563 พบว่าแบบจำลองสามารถจำลองความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ได้ดีในปี พ.ศ.2563 จากการดูค่า R ที่บ่งบอกความสัมพันธ์ของค่าที่ได้จากแบบจำลองกับค่าที่ได้จากการตรวจวัดจากตารางที่ 4-5 พบว่าในบริเวณโรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์แบบจำลองสามารถจำลองได้ดีที่สุดที่ค่า R เท่ากับ 0.94 และเมื่อเทียบกับอีก 3 จุด ได้แก่ อาคารจุฬาพัฒน์ 14,

โรงพยาบาลหอพักนิสิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและโรงเรียนสาธิตจุฬาลงกรณ์ประถม ประถม 5 มีค่า R ที่ลดลงจากตำแหน่งโรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์เท่ากับ 0.85, 0.71 และ 0.86 ตามลำดับ ซึ่งสังเกตได้ว่า โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์เป็นตำแหน่งที่ใกล้เคียงแหล่งกำเนิดมลพิษจากการจราจรมากที่สุดและในอีกทั้ง 3 ตำแหน่งมีตำแหน่งตัวรับมลพิษที่ไกลจากถนนที่เป็นแหล่งกำเนิดมลพิษจึงทำให้มีค่า R ที่ลดลงตามลำดับ สัมพันธ์กับกราฟ Scatter plots ที่ส่วนใหญ่เกาะกลุ่มตามเส้น 1:1 และจากกราฟ Q-Q Plots แสดงข้อมูลเรียงตัวกันตามเส้น trendline ที่มีความชัน 0.996 ดังรูปที่ 4-11 ที่ภาพ (ค) และ (ง) และจากกราฟ Time series ที่ปี พ.ศ.2563 ในรูป (ข) จะเห็นได้ว่าแนวโน้มของกราฟส่วนใหญ่มีค่าที่แบบจำลองจำลองได้สูงกว่าความเข้มข้น $PM_{2.5}$ จากการตรวจวัดบริเวณโรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ ซึ่งจำลองได้สูงกว่าค่าจริงในความเข้มข้นที่ใกล้เคียงกันที่ประมาณ 5-10 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตลอดการจำลอง แสดงให้เห็นถึง Bias ของแบบจำลอง ซึ่งส่งผลให้ค่า FB จากตารางที่ 4-5 มีค่าที่ไม่สูงเนื่องจากมี Bias ที่เท่า ๆ กัน ดังนั้นจึงต้องมาดูค่า FAC2 ที่บ่งบอกถึงแบบจำลองมี Outlier มากน้อยแค่ไหน ซึ่งหากมีค่ามาก FAC2 จะลดลงจากค่า 1 มากตามไปด้วย ซึ่งบริเวณโรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์มีค่า FAC2 เท่ากับ 0.99 พบว่ามี Outlier ที่ค่อนข้างน้อยมากดังจะเห็นได้ในกราฟ Scatter plot ในรูปที่ 4-11 จึงส่งผลให้มีค่า NMSE เท่ากับ 0.08 ซึ่งแสดงถึงความคลาดเคลื่อนเพียงเล็กน้อยเท่านั้น โดยจะสังเกตได้ว่าเมื่อมี Outlier ที่น้อยจะทำให้ค่า FAC2 น้อยส่งผลให้มีความคลาดเคลื่อนที่ค่า NMSE น้อยตามลงไปด้วยเช่นกัน และเมื่อดูอีก 3 ตำแหน่งในปี พ.ศ.2563 จะพบว่ามี FB ที่มีค่าลบมากขึ้นเมื่อเทียบกับตำแหน่งโรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ยกเว้นตำแหน่งอาคารจุฬาพัฒน์ 14 ที่มีค่า FB เท่ากับ -0.16 ที่มากกว่าตำแหน่งโรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์เนื่องจากมีค่าความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ที่สูงกว่าค่าจากการตรวจวัดในพื้นที่ใกล้เคียงกันมากกว่าตำแหน่งโรงพยาบาลดังแสดงในรูปที่ 4-12 ส่งผลให้มีค่า Bias น้อยกว่าความเป็นจริงดังนั้นจึงต้องมาดูค่า FAC2 ที่เป็นการดู Outlier พบว่ามีค่า FAC2 เท่ากับ 0.78 ซึ่งมี Outlier มากกว่าโรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ดังแสดงตารางที่ 4-5 ส่งผลให้มีค่า NMSE ที่สูงขึ้นเท่ากับ 0.15 และจากทั้ง 4 ตำแหน่งตรวจวัดพบว่าแบบจำลองความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ได้เกินจากการตรวจวัดทั้งหมด ซึ่งแสดงจากค่า FB ที่มีค่าเป็นลบทั้ง 4 ตำแหน่ง โดยค่าที่ความเข้มข้นจากแบบจำลองเกินจากการตรวจวัดมีสาเหตุมาจากการนำเข้าสู่ข้อมูลความเข้มข้น $PM_{2.5}$ จากสถานีตรวจวัดต่าง ๆ ดังหัวข้อ 3.2.3.6 หรือจากการทำบัญชีการปลดปล่อยมลพิษที่ข้อมูลไม่ครบถ้วนจึงต้องทำการตั้งสมมติฐานต่าง ๆ ดังนั้นสรุปได้ว่าแบบจำลองสามารถจำลองได้ดีมากที่สุดในบริเวณที่ใกล้เคียงแหล่งกำเนิดจากการจราจรและเมื่อไกลจากแหล่งกำเนิดจากการจราจรแบบจำลองจะมีความแม่นยำลดลงเนื่องจากอาจมีแหล่งกำเนิดมลพิษอื่น ๆ ที่ไม่ได้จำลองประกอบด้วยจึงทำให้ประสิทธิภาพของ

แบบจำลองลดลง และในปี พ.ศ.2562 ที่มีข้อมูลบางส่วนหายไปดังแสดงตารางที่ 3-6 จึงทำให้การจำลองมีประสิทธิภาพลดลงเมื่อเทียบกับปี พ.ศ.2563

4.2.4 จำนวนครั้งของความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ที่เกินค่ามาตรฐานในจุดรับมลพิษ ($PM_{2.5}$ Threshold exceedance)

แบบจำลอง AERMOD สามารถนับจำนวนครั้งที่ค่า $PM_{2.5}$ เกินค่าที่สนใจ (Threshold) ได้ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้สนใจนับเวลาการเกินมาตรฐานความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 24 ชั่วโมงที่เกินมาตรฐานในบรรยากาศ $50 \mu g/m^3$ ตั้งแต่ปี พ.ศ.2561-2563 ณ จุดตรวจวัดทั้ง 4 จุดและตำแหน่งแยกพงษ์พระรามที่ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 1 ชั่วโมงสูงสุดในพื้นที่ศึกษา ดังรูปที่ 4-18 ได้แก่

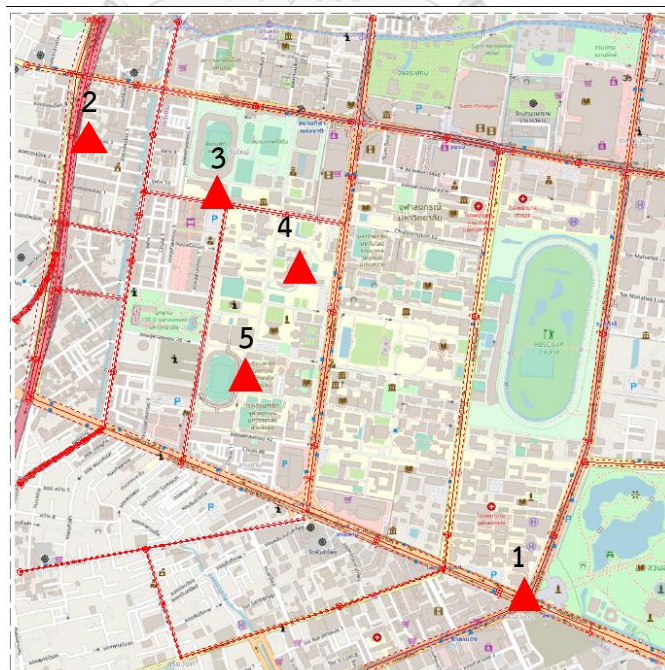
จุดที่ 1 แยกพงษ์พระราม (ไม่มีจุดตรวจวัดมลพิษในการเปรียบเทียบความแม่นยำของแบบจำลอง)

จุดที่ 2 โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์

จุดที่ 3 อาคารจุฬาพัฒน์ 14

จุดที่ 4 โรงอาหารหอพักนิสิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จุดที่ 5 โรงเรียนสาธิตจุฬาลงกรณ์ประถม ประถม 5



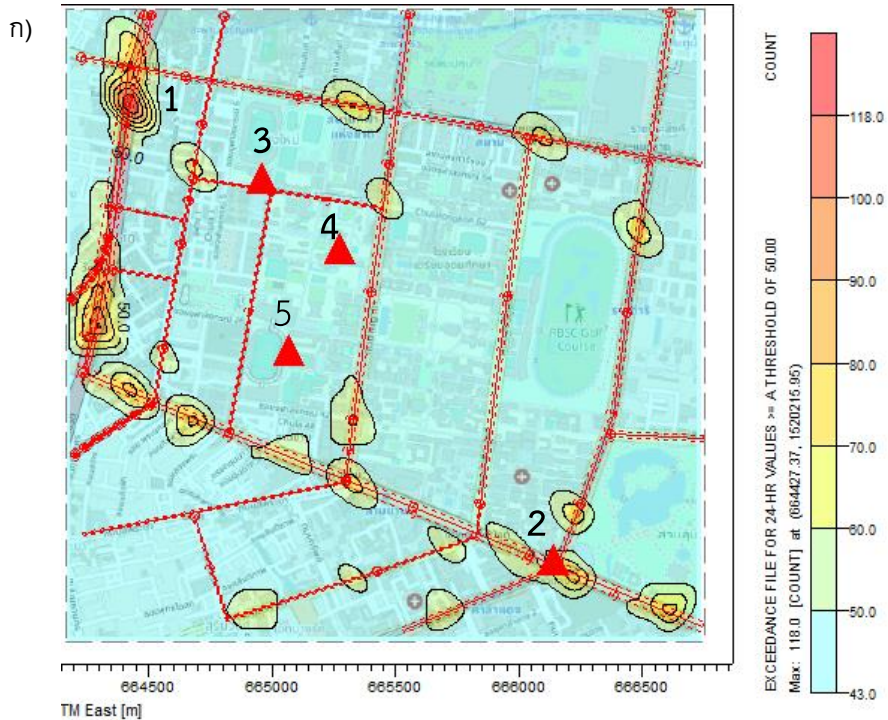
รูปที่ 4-18 จุดรับมลพิษ (Receptors) 1.โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ 2.อาคารจุฬาพัฒน์ 14
3.โรงอาหารหอพักนิสิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 4.โรงเรียนสาธิตจุฬาลงกรณ์ประถม ประถม 5

สรุปได้ว่าแบบจำลองนั้นคาดการณ์ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ สูงเกินกว่าค่าตรวจวัดบ่อยครั้งส่งผลให้จำนวนครั้งที่ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 24 ชั่วโมงเกินค่ามาตรฐาน ในแบบจำลองนั้นสูงกว่าความจริงในจุดตรวจวัดทั้ง 4 แห่งที่มีข้อมูลตรวจวัดเพื่อเปรียบเทียบ โดยแสดงผลดังตารางที่ 4-6 และสามารถแสดงเป็นภาพ Contour ได้ดังรูปที่ 4-19 ซึ่งเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 24 ชั่วโมงใหม่ที่ $37.5 \mu g/m^3$ ที่ลดลงจากค่ามาตรฐานเดิมที่ $50 \mu g/m^3$ อยู่ 25% เมื่อเทียบกันแล้วจากปัจจุบันจะต้องทำให้ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ที่กำเนิดจากแหล่งกำเนิดต่าง ๆ ลดลงเพิ่มไปอีก 25% จากเดิมที่เกินค่ามาตรฐานอยู่เฉลี่ย 26-27 วัน/ปี ซึ่งจำเป็นต้องมีการจัดการเพิ่มขึ้นให้ลดความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ลงจากแหล่งกำเนิดทั้งหมด 50% เพื่อให้จำนวนวันที่มลพิษเกินมาตรฐานลดลงเป็น 0 วัน

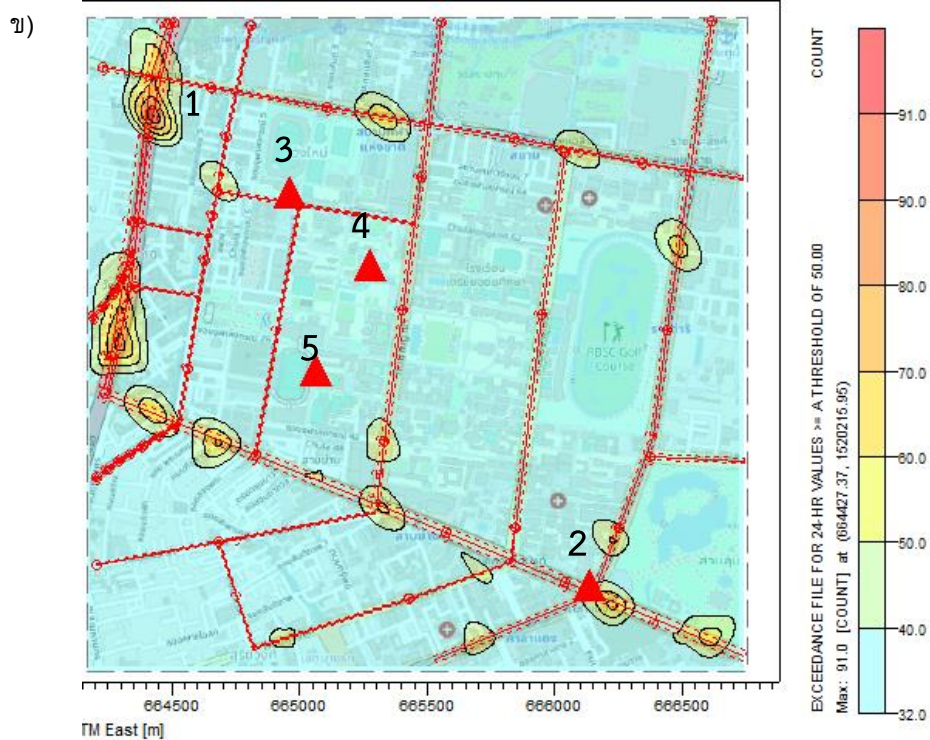
ตารางที่ 4-6 การเปรียบเทียบจำนวนครั้งที่ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 24 ชั่วโมงเกินมาตรฐาน $50 \mu g/m^3$ ในช่วงปี พ.ศ.2561-2563

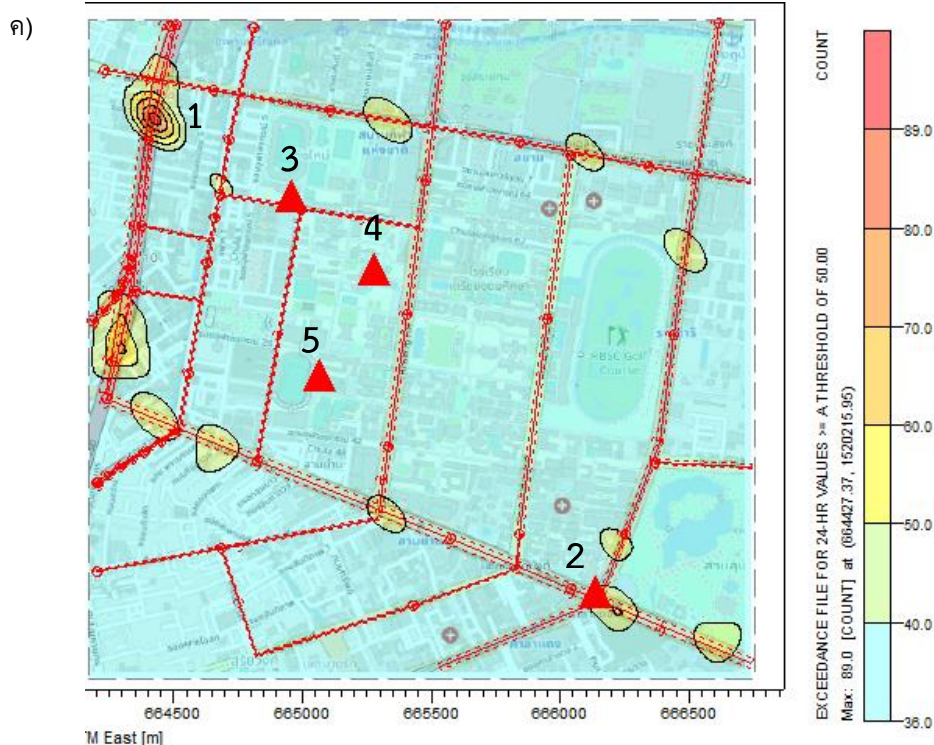
ตำแหน่ง	จำนวนครั้งที่เกินมาตรฐาน					
	พ.ศ.2561		พ.ศ.2562		พ.ศ.2563	
	แบบจำลอง	ค่าตรวจวัด	แบบจำลอง	ค่าตรวจวัด	แบบจำลอง	ค่าตรวจวัด
แยกพงษ์ พระราม	118	-	91	-	89	-
โรงพยาบาล จุฬาลงกรณ์	64	27	43	27	44	27
อาคาร จุฬาพัฒน์ 14	45	-	33	26	36	26
โรงอาหาร หอพักนิสิต จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย	45	-	33	23	36	23
โรงเรียนสาธิต จุฬาลงกรณ์ ประถม ประถม 5	45	-	33	26	36	26

หมายเหตุ สัญลักษณ์ - หมายถึง ไม่มีข้อมูลตรวจวัด



รูปที่ 4-19 ภาพ PM_{2.5} Threshold exceedance ของความเข้มข้น PM_{2.5} ที่เกิน
ค่ามาตรฐานเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ก) พ.ศ.2561 ข) พ.ศ.2562 ค) พ.ศ.2563





รูปที่ 4-19 (ต่อ) ภาพ $PM_{2.5}$ Threshold exceedance ของความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ที่เกิน
ค่ามาตรฐานเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ก) พ.ศ.2561 ข) พ.ศ.2562 ค) พ.ศ.2563

4.3 ผลการศึกษาจากทัศนการจัดการแหล่งกำเนิด $PM_{2.5}$

การกำหนดฉากทัศน์ของแหล่งกำเนิด $PM_{2.5}$ ดังที่บรรยายในหัวข้อ 3.2.8 ซึ่งประกอบไปด้วย 3 ฉากทัศน์ที่อ้างอิงจากการทบทวนแผนปฏิบัติการขับเคลื่อนวาระแห่งชาติ “การแก้ไขปัญหามลพิษด้านฝุ่นละออง” ของประเทศไทย (กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2562) และอีก 1 ฉากทัศน์ซึ่งใช้แบบจำลอง AERMOD ในการศึกษาฉากทัศน์แหล่งกำเนิด $PM_{2.5}$ ในพื้นที่ศึกษาสามารถสรุปได้ดังแสดงในตารางที่ 4-7

ตารางที่ 4-7 ตารางสรุปฉากทัศน์การจัดการแหล่งกำเนิด $PM_{2.5}$

ฉากทัศน์	คำอธิบาย
Fuel standard scenario (FS)	กำหนดมาตรฐานการระบายมลพิษทางอากาศจากรถยนต์ใหม่ทั้งหมด 4 ประเภทในทั้งพื้นที่ศึกษาให้เป็นมาตรฐาน EURO 6 เป็นการปรับเปลี่ยน Emission factor

Shift mode scenario (SM)	เป็นการจำลองมาตรการที่ส่งเสริมด้านการจัดการคมนาคมให้ผู้คนหันมาใช้ทางเลือกอื่น เช่น รถยนต์สาธารณะ จักรยาน เป็นต้น โดยสมมติให้ PC ลดลง 70% และ OT ลดลง 50% ซึ่งเป็นการลดปริมาณรถยนต์สัญจรลงสูงสุดที่เป็นไปได้ เป็นการลดอัตราการปลดปล่อยมลพิษ (Emission rate)
FS plus SM scenario (FPS)	เป็นการนำฉากทัศน์ที่ 1 และฉากทัศน์ที่ 2 ซึ่งเป็นการรวมกันของมาตรการกำหนดมาตรฐานการระบายมลพิษทางอากาศจากรถยนต์ใหม่ EURO 6 ร่วมกับมาตรการส่งเสริมด้านการจัดการคมนาคมให้ผู้คนหันมาใช้ทางเลือกอื่น มาสังเกตความเข้มข้นที่ลดลงเมื่อใช้ 2 มาตรการร่วมกัน
Chula Pop Bus scenario (POP)	ใช้ AERMOD เป็นตัวอย่างในการจัดการมลพิษในพื้นที่ศึกษา โดยเป็นการเปลี่ยนรถยนต์สาธารณะ EV car ภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยให้เป็นรถยนต์เครื่องยนต์ Diesel ซึ่งเป็นการใช้ Emission factor ของรถประเภท LD ใน Base case เพื่อสังเกตว่าความเข้มข้น $PM_{2.5}$ จะเพิ่มขึ้นมากน้อยแค่ไหน

การศึกษาฉากทัศน์ได้เลือกใช้ข้อมูลอุตุนิมวิทยาปี พ.ศ.2563 ในการทำการจำลองฉากทัศน์ต่าง ๆ เนื่องจากปี พ.ศ.2563 เป็นปีที่ใกล้เคียงกับปัจจุบันที่สุดในการศึกษาประกอบกับการนำนโยบายมาตรการลด $PM_{2.5}$ มาใช้ในฉากทัศน์ก็จำเป็นต้องสอดคล้องกับปัจจุบันให้มากที่สุด เพื่อจะได้นำมาประกอบการตัดสินใจในการเลือกใช้นโยบายต่าง ๆ ให้เกิดประโยชน์สูงสุดในการจัดการมลพิษอากาศต่อไปในอนาคต โดยจะแสดงผลความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ในฉากทัศน์และแสดงผลเปรียบเทียบกับ

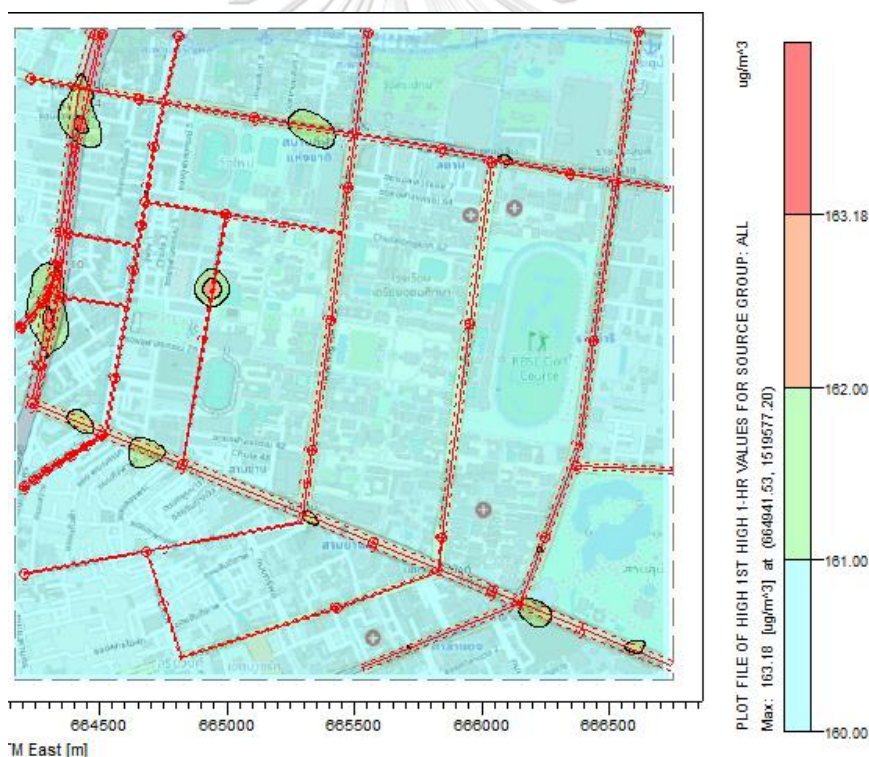
แบบจำลองกรณีฐาน (Base case) ซึ่งได้แสดงผลไว้ในหัวข้อ 4.1 โดยแสดงในรูปแบบความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ที่เปลี่ยนแปลง ($PM_{2.5 \text{ SCENARIO}} - PM_{2.5 \text{ BASE}}$) ซึ่งผลบ่งชี้ถึงการลดลงและเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงเทียบกับกรณีฐาน

$$\frac{(PM_{2.5 \text{ SCENARIO}} - PM_{2.5 \text{ BASE}})}{PM_{2.5 \text{ BASE}}} \times 100$$

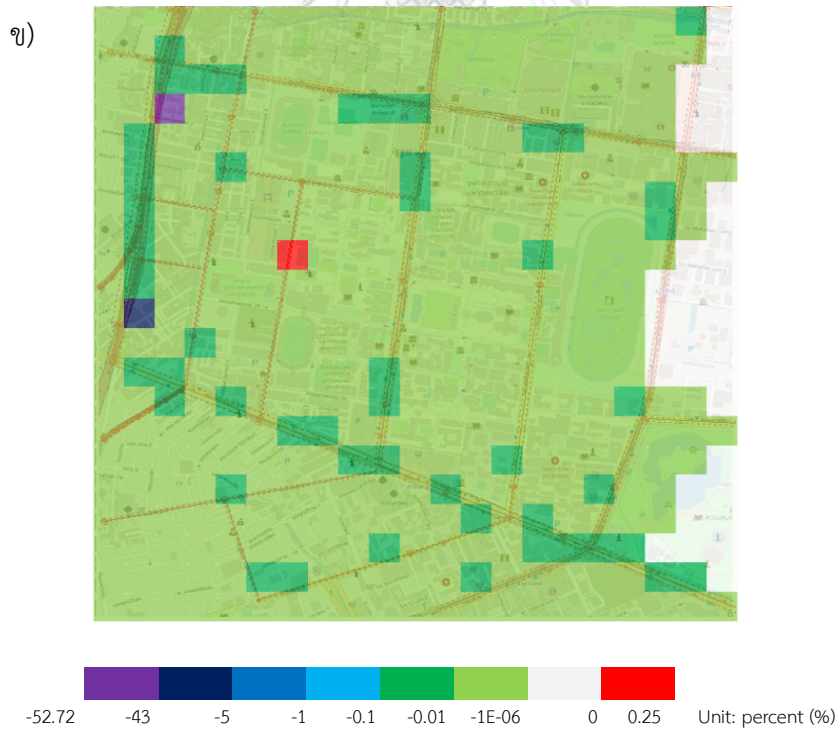
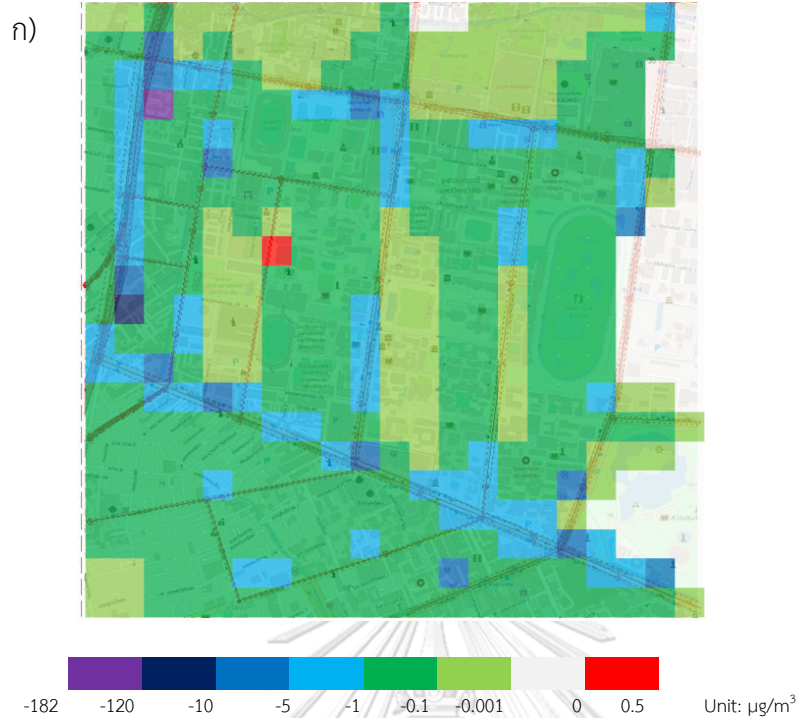
4.3.1 ฉากทัศน์ที่ 1: Fuel standard scenario (FS)

เป็นการกำหนดมาตรฐานการระบายมลพิษทางอากาศจากรถยนต์ใหม่ทั้งหมด 4 ประเภทของรถยนต์ทั้งหมดในพื้นที่ศึกษา ได้แก่ Personal car, Light duty, Heavy duty และ Other vehicle ให้เป็นมาตรฐาน EURO 6 โดยใช้ปี พ.ศ.2563 ในการทำการจำลอง ได้ผลดังนี้

4.3.1.1 ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 1 ชั่วโมงของฉากทัศน์ FS



รูปที่ 4-20 ภาพ Contour ค่าสูงสุดความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ยรายชั่วโมงของฉากทัศน์ FS



รูปที่ 4-21 ความเปลี่ยนแปลงหลังจัดทำฉากทัศน์ FS ที่ความเข้มข้น $\text{PM}_{2.5}$ เฉลี่ย 1 ชั่วโมง
 ก) ความเข้มข้น $\text{PM}_{2.5}$ ที่เปลี่ยนแปลง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ข) เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงเทียบกับกรณีฐาน

ผลที่ได้จากแบบจำลอง จากรูปที่ 4-21 แสดงถึงค่าสูงสุดความเข้มข้น $PM_{2.5}$ รายชั่วโมงที่เปลี่ยนแปลงไปจากกรณีฐาน สังเกตได้ว่าเมื่อมีการกำหนดมาตรฐานการระบายมลพิษเป็น EURO 6 ให้กับรถยนต์ทั้ง 4 ประเภท ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ลดลงจาก Base case มากที่สุดอยู่บริเวณแยกพงษ์พระรามและบริเวณแยกวัดดวงแข ที่ $163.18 \mu g/m^3$ ลดลงจาก Base case $181.19 \mu g/m^3$ (52.72%) และ $162.35 \mu g/m^3$ ลดลงจาก Base case $119.16 \mu g/m^3$ (42.53%) ตามลำดับ เนื่องจากในงานวิจัยนี้ได้ทำการปรับลดค่า Emission factor ให้เป็น EURO 6 ดังตารางที่ 3-9 ที่จะสังเกตเมื่อใช้ EURO6 Emission factor ของรถยนต์ประเภท PC ได้แก่รถยนต์นั่ง, LD ได้แก่ รถตู้/ปิคอัพ, และ HD ได้แก่ รถเมล์ใหญ่และรถบรรทุก ลดลงร้อยละ 29, 81, และ 97 ตามลำดับ แต่รถยนต์ประเภท OT ได้แก่ รถสามล้อ กลับเพิ่มขึ้นร้อยละ 42 ซึ่งเมื่อ Emission factor เปลี่ยนแปลงจะทำให้ Emission rate ที่ได้ในแต่ละบริเวณแตกต่างกันไป ซึ่งพบได้ว่าในบริเวณที่มีรถยนต์ประเภท PC, LD, และ HD ที่สัญจรส่วนใหญ่อยู่ในบริเวณแยกพงษ์พระรามที่มีทั้งการจราจรบนภาคพื้นดินและทางพิเศษเป็นจำนวนมากในพื้นที่ศึกษาจึงทำให้มีความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ลดลงมากที่สุดแต่จะสังเกตรูปที่ 4-21 บ่งบอกได้ว่ามีความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ที่เพิ่มขึ้น $0.40 \mu g/m^3$ (0.25%) ที่ตั้งอยู่ในตำแหน่งจุฬาซอย 9 ซึ่งมีการสัญจรของรถยนต์ประเภท OT เป็นจำนวนมาก เช่น ในบริเวณถนนพระราม 4 มีเปอร์เซ็นต์การจราจรของ OT เพียง 0.0011% แต่ในบริเวณจุฬาซอย 9 กลับมีเปอร์เซ็นต์ถึง 48.43% ส่งผลให้ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เพิ่มขึ้นจากการใช้ Emission factor ของมาตรฐาน EURO 6 สำหรับรถยนต์ประเภท OT ที่มีการเพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้เมื่อพิจารณาในบริเวณอื่น ๆ ที่ห่างไกลจากทางด่วนไม่พบการลดลงของความเข้มข้น $PM_{2.5}$ อย่างมีนัยสำคัญเนื่องมาจากในบริเวณเหล่านั้นอื่น ๆ เช่น โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์และอาคารจุฬาพัฒน์ 14 ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ มีแหล่งกำเนิดจากความเข้มข้นนอกพื้นที่ศึกษาพัดพาเข้ามาเป็นหลัก ดังที่แสดงใน รูปที่ 4-8 ดังนั้นความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับแหล่งกำเนิดจากถนนระดับดินในพื้นที่ศึกษาจึงไม่ส่งผลต่อความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ในบรรยากาศอย่างมีนัยสำคัญ

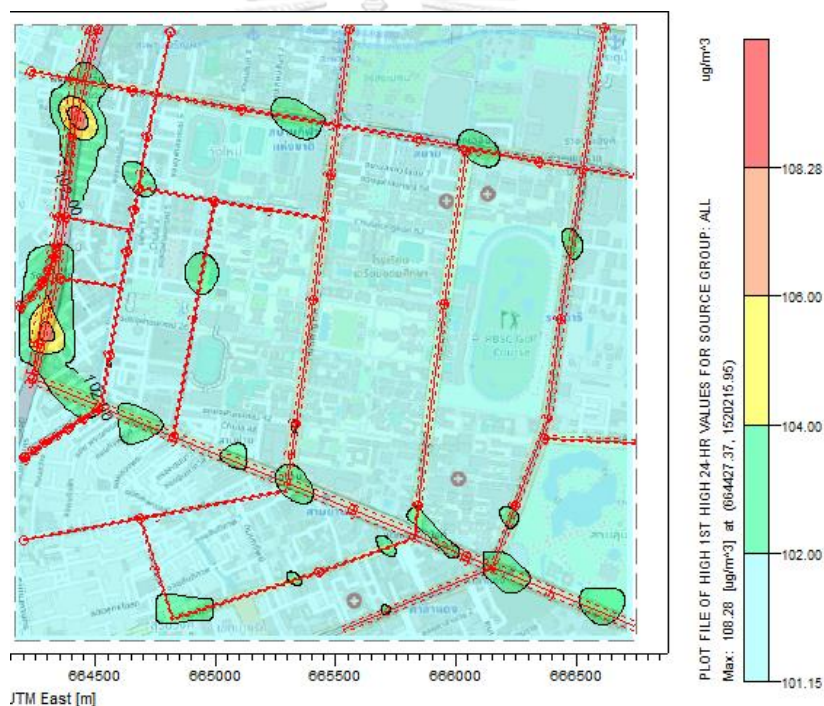
ทั้งนี้ค่าสูงสุดความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 1 ชั่วโมงที่เกิดขึ้นไม่ได้เกิดในเวลาเดียวกันเมื่อเทียบกับระหว่าง Base case ในวันที่ 17 พฤศจิกายน พ.ศ.2563 เวลา 1 นาฬิกาและฉากทัศน์ FS ในวันที่ 14 ธันวาคม พ.ศ.2563 เวลา 10 นาฬิกา เนื่องจากการเปลี่ยนแปลง Emission factor ของรถยนต์ OT เป็นมาตรฐาน EURO ที่มีการเพิ่มจาก Base case ที่ได้กล่าวไปในข้างต้น ทำให้อัตราการเปลี่ยนแปลงมลพิษเปลี่ยนแปลงไปประกอบกับ Variable factor ของรถยนต์ OT ที่มีค่าสูงใน

ช่วงเวลา 10 นาฬิกา ถึง 11 นาฬิกา จึงทำให้ช่วงเวลาที่ค่าสูงสุดความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 1 ชั่วโมงเปลี่ยนแปลงไป

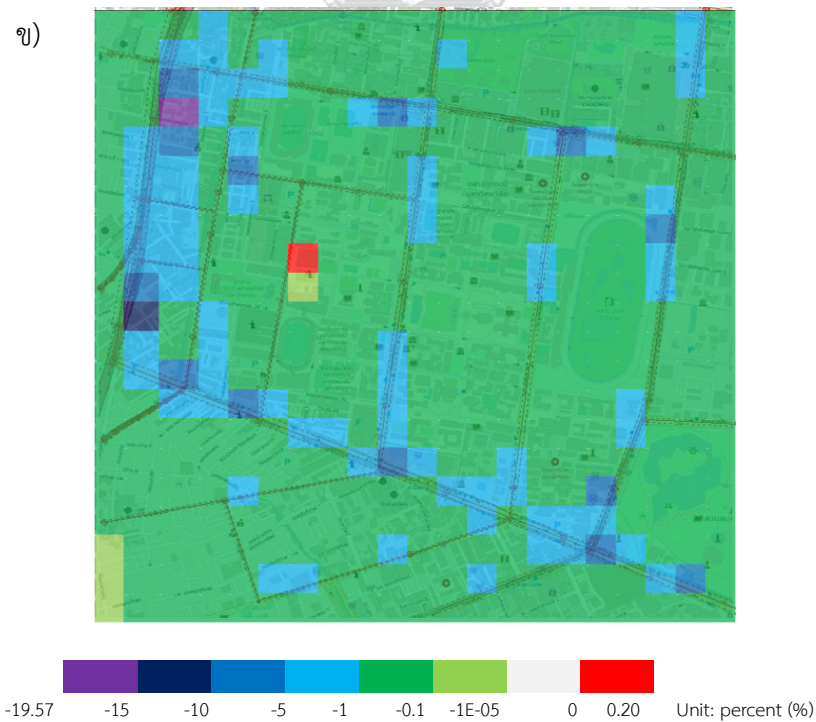
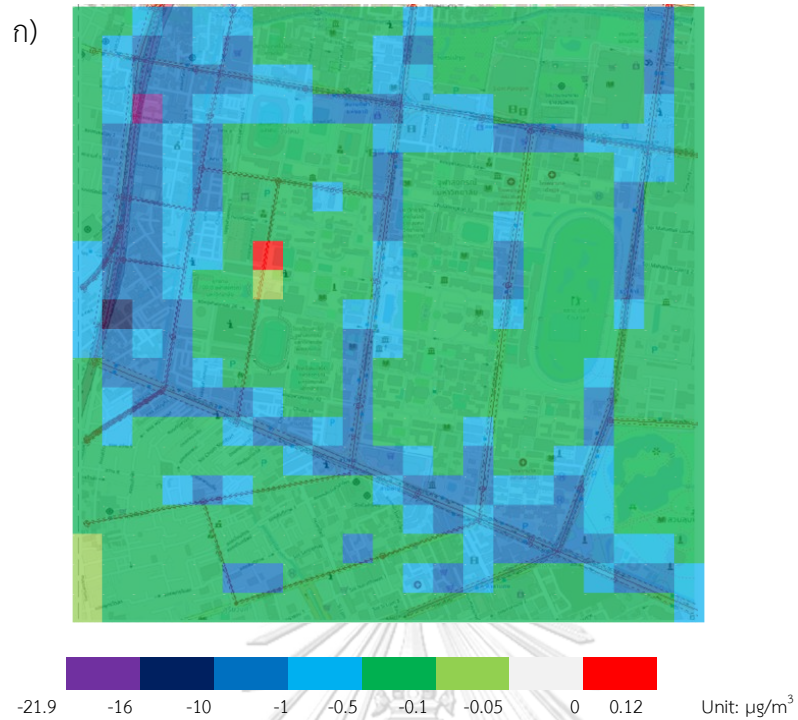
ตารางที่ 4-8 แสดงการเปรียบเทียบความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 1 ชั่วโมง ($\mu g/m^3$) บริเวณแยกพงษ์พระรามระหว่าง Base case กับ FS scenario

ฉากทัศน์	ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ($\mu g/m^3$)		
	เปอร์เซ็นต์ไทรล์ที่ 100	เปอร์เซ็นต์ไทรล์ที่ 98	เปอร์เซ็นต์ไทรล์ที่ 95
Based case	343.68	101.30	82.08
FS	162.50	79.75	65.40

4.3.1.2 ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ยสูงสุด 24 ชั่วโมงของฉากทัศน์ FS



รูปที่ 4-22 ภาพ Contour ค่าสูงสุดความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 24 ชั่วโมงของฉากทัศน์ FS



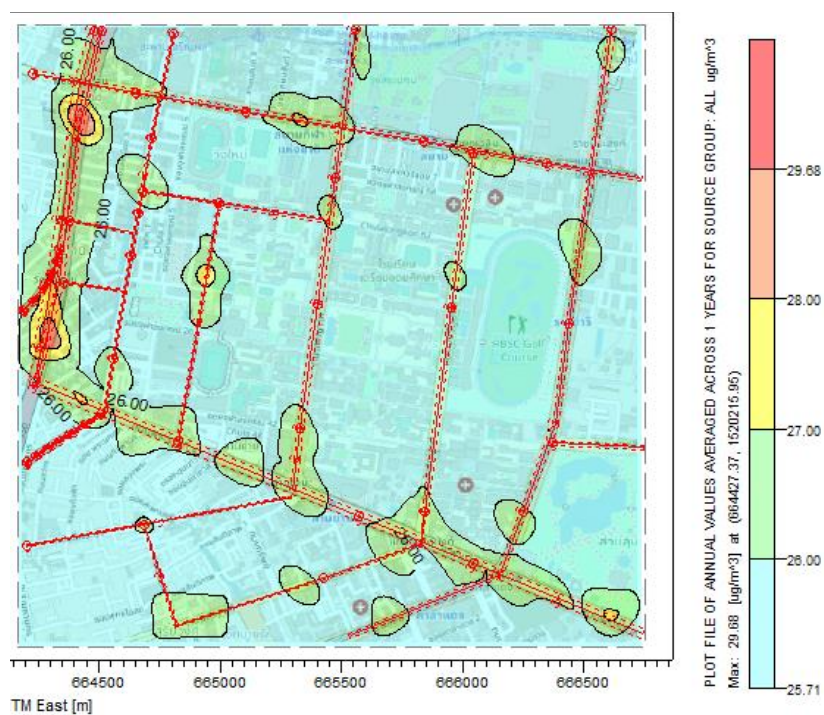
รูปที่ 4-23 ความเปลี่ยนแปลงหลังจัดทำฉลากทัศน์ FS ที่ความเข้มข้น $\text{PM}_{2.5}$ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง
 ก) ความเข้มข้น $\text{PM}_{2.5}$ ที่เปลี่ยนแปลง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ข) เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงเทียบกับกรณีฐาน

ผลที่ได้จะสังเกตได้ ในรูปที่ 4-23 มีค่าสูงสุดเปอร์เซ็นต์ของความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 24 ชั่วโมงลดลง $21.19 \mu g/m^3$ (19.57%) สูงสุดในบริเวณแยกพงษ์พระราม รองลงมาเป็นแยกวัดดวงแข $15.67 \mu g/m^3$ (14.59%) ซึ่งผลความเปลี่ยนแปลงที่เกิดในการพิจารณาการเฉลี่ย 24 ชั่วโมงนั้นไม่สูงอย่างค่าเฉลี่ย 1 ชั่วโมง เนื่องจากเหตุการณ์ที่มีสัดส่วน source contribution จากแหล่งกำเนิดในพื้นที่สูงโดดเด่น ได้ถูกเฉลี่ยเกลี่ยค่าไปชั่วโมงที่มีสัดส่วน source contribution จากการพัดพาจากภายนอกสูง จึงทำให้การเปลี่ยนมาตรฐาน EURO 6 ในพื้นที่ศึกษาไม่ได้ส่งผลให้ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เปลี่ยนแปลงไปมากนัก และเมื่อนำผลความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ยสูงสุด 24 ชั่วโมงไปเทียบกับค่ามาตรฐาน 24 ชั่วโมงที่ $50 \mu g/m^3$ พบว่าเกินค่ามาตรฐานทั้งหมดในบริเวณพื้นที่ศึกษาดังรูปที่ 4-22 และสังเกตจำนวนครั้งที่เกินมาตรฐานในบริเวณแยกพงษ์พระรามพบว่าการกำหนดมาตรฐานการระบายมลพิษเป็น EURO 6 มีส่วนช่วยให้ลดวันที่เกินค่ามาตรฐานความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ที่ 24 ชั่วโมงลงได้ ดังตารางที่ 4-9

ตารางที่ 4-9 การเปรียบเทียบจำนวนครั้งที่เกินมาตรฐานเท่ากับ $50 \mu g/m^3$ ที่ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ที่ 24 ชั่วโมง ระหว่าง Base case และ Fuel standard scenario (FS)

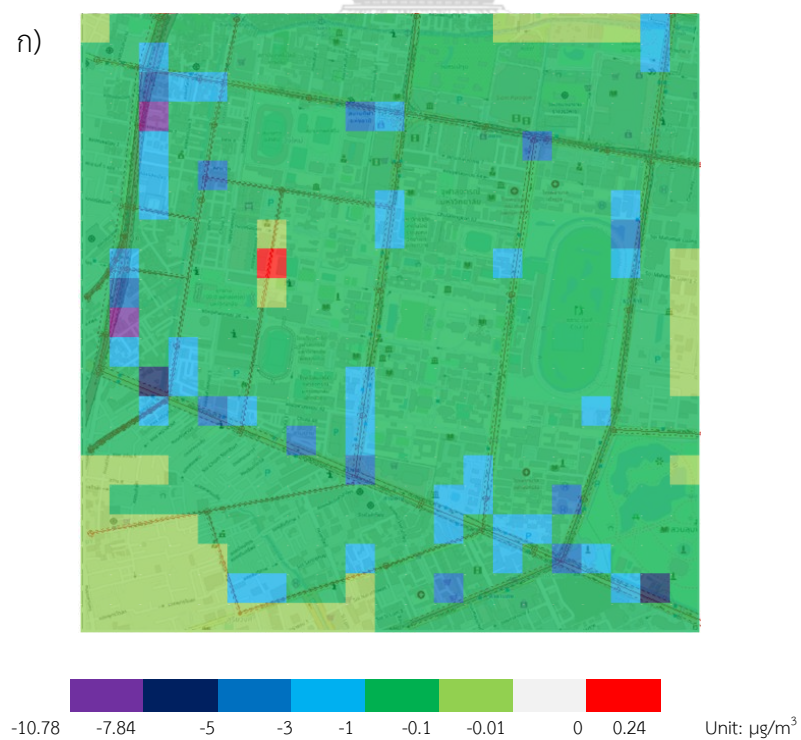
ตำแหน่ง	จำนวนครั้งที่เกินมาตรฐาน	
	Base case	FS
แยกพงษ์พระราม	89	40

4.3.1.3 ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ยรายปีของฉากทัศน์ FS

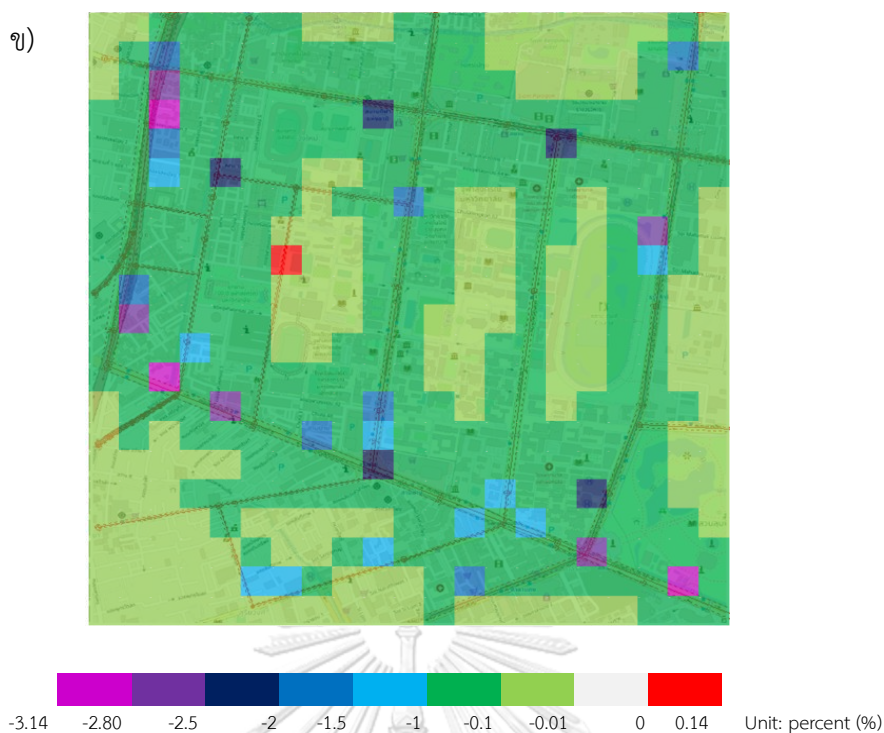


รูปที่ 4-24 ภาพ Contour ค่าสูงสุดความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ยรายปีของฉากทัศน์ FS

ก)



ข)



รูปที่ 4-25 ความเปลี่ยนแปลงหลังจัดทำฉากทัศน์ FS ที่ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ยรายปี

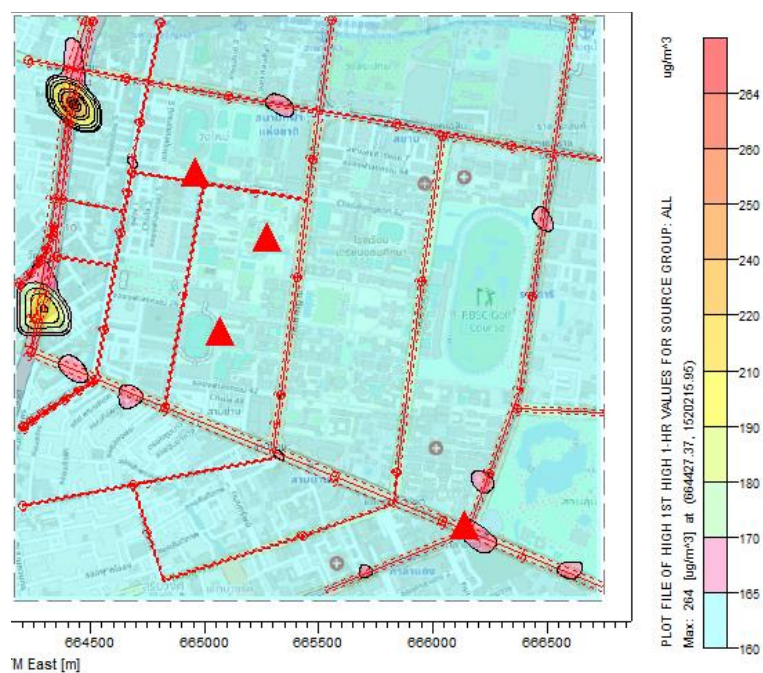
ก) ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ที่เปลี่ยนแปลง ($\mu g/m^3$) ข) เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงเทียบกับกรณีฐาน

ผลที่ได้จะสังเกตได้ ในรูปที่ 4-25 มีความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ยรายปี ลดลง $10.78 \mu g/m^3$ (3.14%) และ $7.84 \mu g/m^3$ (2.80%) สูงสุดในบริเวณแยกพงษ์พระรามและแยกวัดดวงแขตามลำดับ แต่จะพบว่าเมื่อมองภาพเป็นความเข้มข้นเฉลี่ยรายปี การเปลี่ยนแปลงโดยการใช้อนุภาคนาโนการระบายมลพิษทางอากาศ EURO 6 มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยอย่างไม่มีนัยสำคัญที่ 0% - 3% และเมื่อนำผลความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ยรายปีไปเทียบกับค่ามาตรฐานรายปีที่ $25 \mu g/m^3$ เท่ากับเกินค่ามาตรฐานทั้งหมดในบริเวณพื้นที่ศึกษาดังรูปที่ 4-24

4.3.2 ฉากทัศน์ที่ 2: Shift mode scenario (SM)

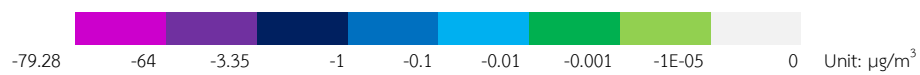
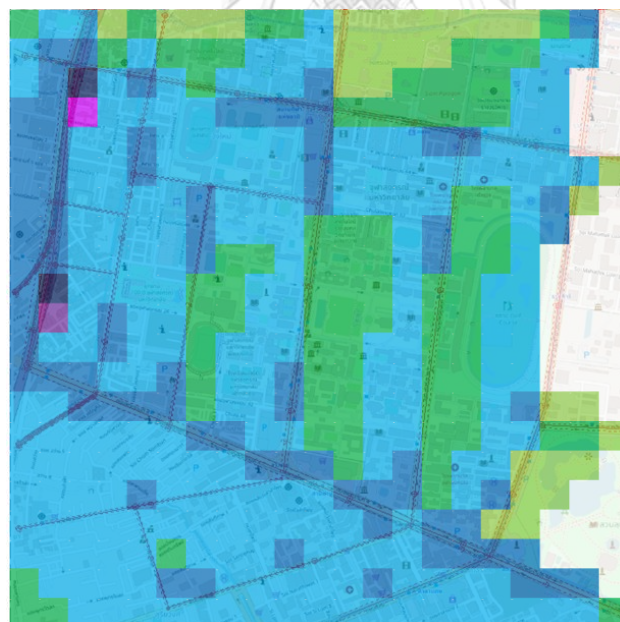
เป็นการจำลองมาตรการที่ส่งเสริมด้านการจัดการคมนาคมให้ผู้คนหันมาใช้ทางเลือกอื่น เช่น รถยนต์สาธารณะ จักรยาน เป็นต้น โดยสมมติให้มีการลดปริมาณการใช้รถประเภท Personal car ลดลง 70% และรถประเภท Other vehicle ลดลง 50% ที่เป็นการลดปริมาณกิจกรรมลงสูงสุดที่เป็นไปได้ตามที่ได้กล่าวไปในหัวข้อ 3.2.8 ได้ผลดังนี้

4.3.2.1 ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 1 ชั่วโมงของฉากทัศน์ SM

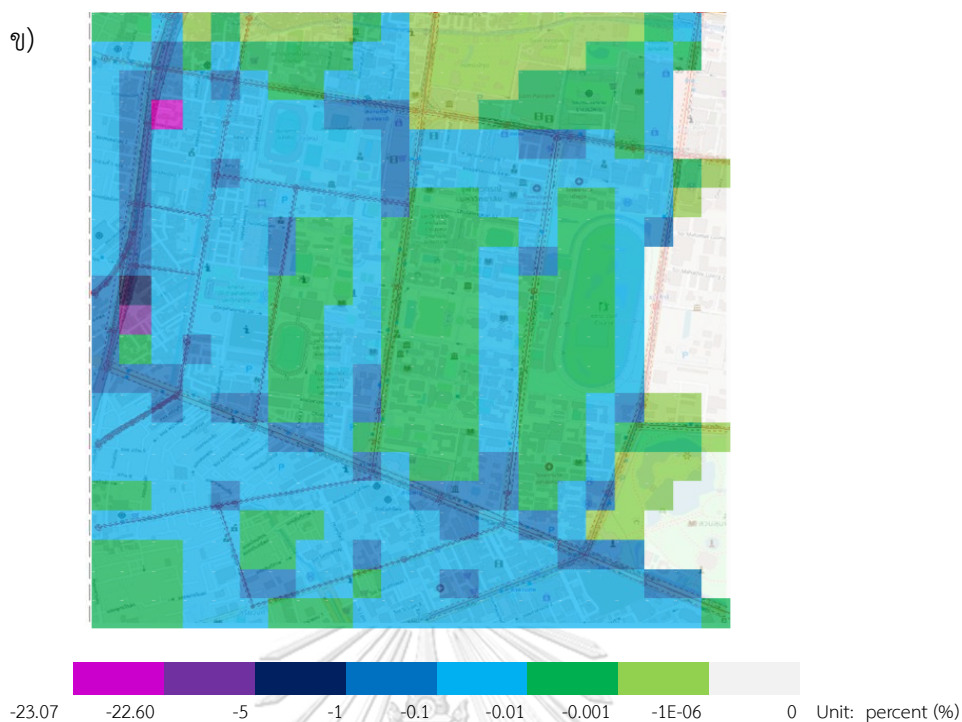


รูปที่ 4-26 ภาพ Contour ค่าสูงสุดความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 1 ชั่วโมงของฉากทัศน์ SM

ก)



ข)



รูปที่ 4-27 ความเปลี่ยนแปลงหลังจัดทำฉากทัศน SM ที่ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 1 ชั่วโมง

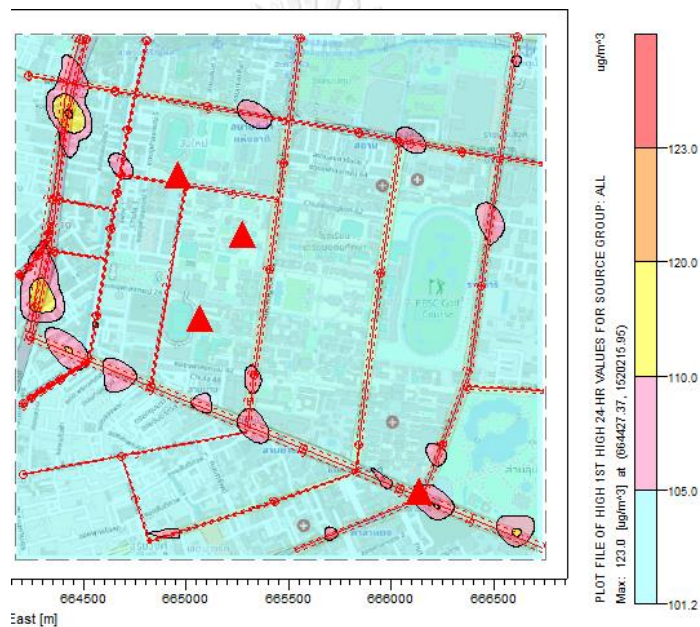
ก) ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ที่เปลี่ยนแปลง ($\mu g/m^3$) ข) เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงเทียบกับกรณีฐาน

ผลที่ได้จากแบบจำลอง จากรูปที่ 4-27 แสดงถึงค่าสูงสุดความเข้มข้น $PM_{2.5}$ รายชั่วโมงที่ $PM_{2.5}$ SCENARIO – $PM_{2.5}$ BASE มีความเข้มข้นที่ลดลงเมื่อมีผู้คนหันมาใช้ในการสัญจรสาธารณะมากขึ้นจากการใช้มาตรการที่ส่งเสริมด้านการจัดการคมนาคม จะสังเกตได้ว่าความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 1 ชั่วโมงลดลงสูงสุดที่ตำแหน่งแยกพงษ์พระราม ที่ $79.28 \mu g/m^3$ (23.07%) เนื่องจากในบริเวณนี้มีปริมาณรถยนต์ประเภท PC เป็นจำนวนมากบนทางพิเศษศรีรัช (Annual average daily traffic ของรถยนต์ประเภท PC = 313,621) ประกอบในบริเวณนี้มีสัดส่วนของแหล่งกำเนิดมลพิษส่วนใหญ่มาจากการจราจรบนทางพิเศษ 87.90% ทำให้มีปริมาณการลดลงของอัตราการปลดปล่อยมลพิษส่งผลให้ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ลดลง และตารางที่ 4-10 จะพบได้ว่าความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 98 ลดลง $8.10 \mu g/m^3$ (8%) และที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 95 ลดลง $6.06 \mu g/m^3$ (7.38%) จึงบ่งบอกได้ว่าที่ค่าความเข้มข้น $PM_{2.5}$ หากพิจารณาในภาพรวมของห้วงเวลานั้นจะเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ประกอบกับข้อจำกัดของแบบจำลองที่ไม่ได้คาดการณ์ความเปลี่ยนแปลงต่อสัดส่วน $PM_{2.5}$ ที่พัดพาเข้ามาในพื้นที่ศึกษา ดังนั้นการจำลองฉากทัศน์มาตรการส่งเสริมด้านการจัดการคมนาคมจึงทำให้ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ลดลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

ตารางที่ 4-10 แสดงการเปรียบเทียบความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 1 ชั่วโมง ($\mu g/m^3$) ระหว่าง Base case กับ Shift mode scenario บริเวณแยกพงษ์พระราม

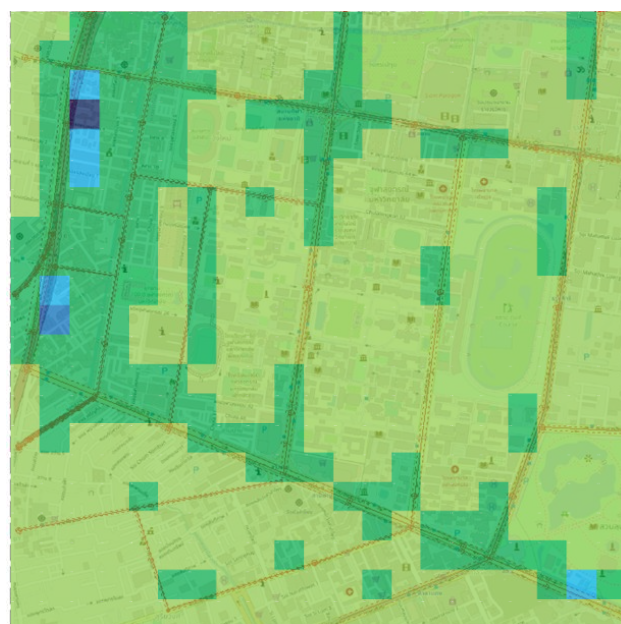
ฉากทัศน์	ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ($\mu g/m^3$)		
	เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 100	เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 98	เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 95
Base case	343.68	101.30	82.08
Shift mode scenario	264.40	93.20	76.02

4.3.2.2 ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 24 ชั่วโมงของฉากทัศน์ SM



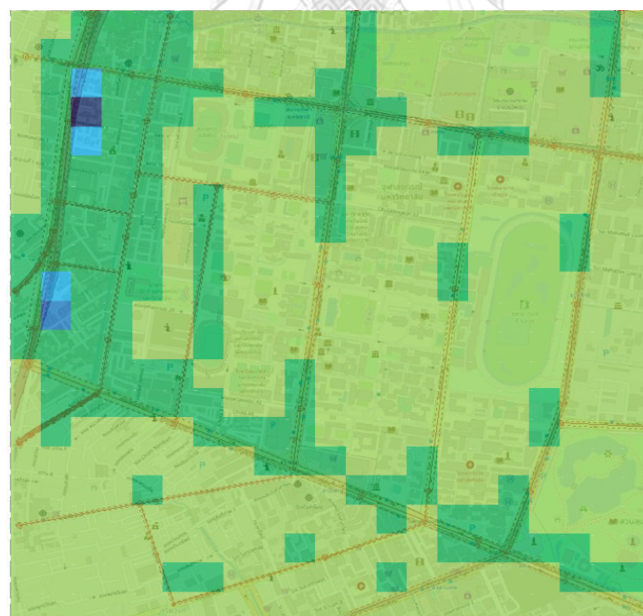
รูปที่ 4-28 ภาพ Contour ค่าสูงสุดความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 24 ชั่วโมงของฉากทัศน์ SM

ก)



-6.5 -5.5 -2 -1 -0.1 -0.01 0 Unit: $\mu\text{g}/\text{m}^3$

ข)



-5 -4.4 -2 -1 -0.1 -0.01 0 Unit: percent (%)

รูปที่ 4-29 ความเปลี่ยนแปลงหลังจัดทำฉากทัศน์ SM ที่ความเข้มข้น $\text{PM}_{2.5}$ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง

ก) ความเข้มข้น $\text{PM}_{2.5}$ ที่เปลี่ยนแปลง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ข) เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงเทียบกับกรณีฐาน

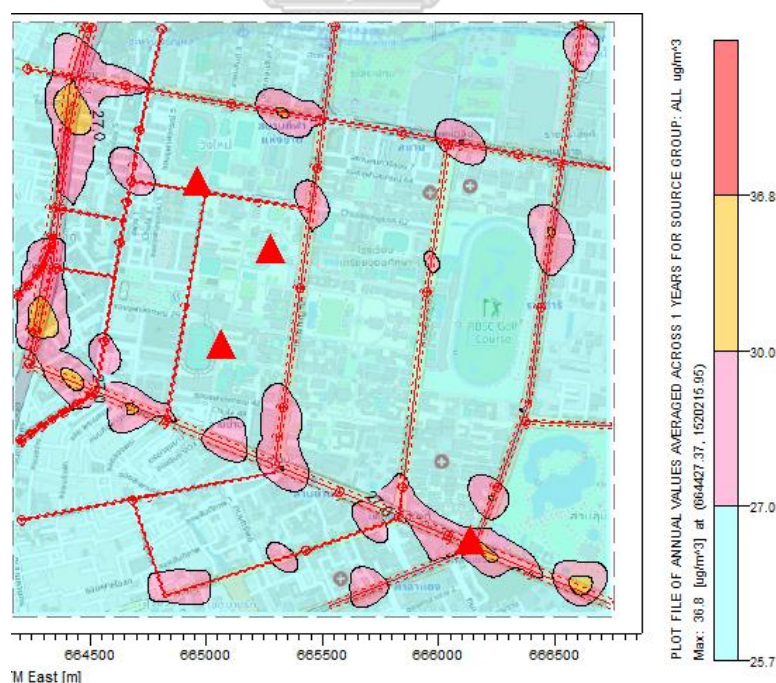
ผลที่ได้ในรูปที่ 4-29 มีเปอร์เซ็นต์ของความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 24 ชั่วโมงลดลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น $0-6.47 \mu g/m^3$ (<5%) ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญและเมื่อนำผลความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ยสูงสุด 24 ชั่วโมงไปเทียบกับค่ามาตรฐาน 24 ชั่วโมงที่ $50 \mu g/m^3$ เท่ากับเกินค่ามาตรฐานทั้งหมดในบริเวณพื้นที่ศึกษาดังรูปที่ 4-28

เมื่อสังเกตจำนวนครั้งที่เกินมาตรฐานในบริเวณแยกพงษ์พระรามพบว่าการกำหนดมาตรการที่ส่งเสริมด้านการจัดการคมนาคมให้ผู้คนหันมาใช้ทางเลือกอื่นไม่ทำให้จำนวนวันที่ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เกินมาตรฐานที่ 24 ชั่วโมงลดลงเท่าที่ควร ดังตารางที่ 4-11

ตารางที่ 4-11 การเปรียบเทียบจำนวนครั้งที่เกินมาตรฐานเท่ากับ $50 \mu g/m^3$ ที่ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ที่ 24 ชั่วโมง ระหว่าง Base case และ Shift mode scenario (SM)

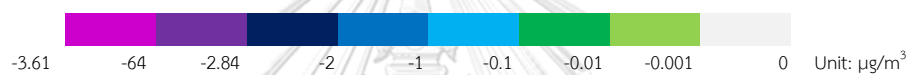
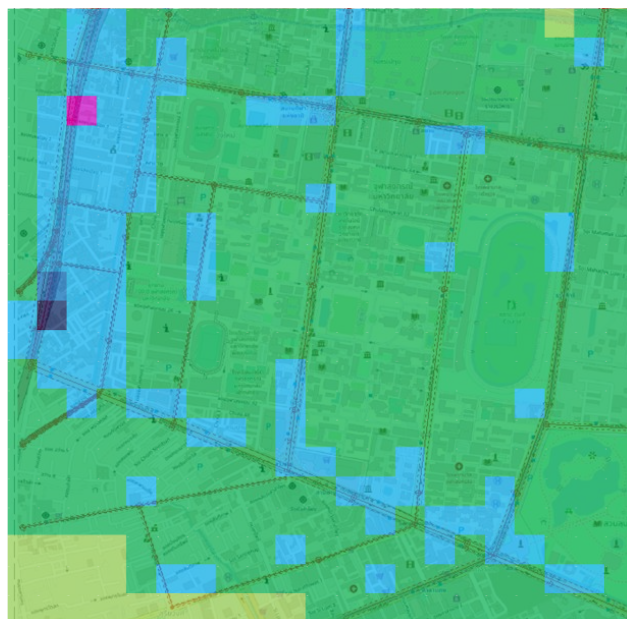
ตำแหน่ง	จำนวนครั้งที่เกินมาตรฐาน	
	Base case	SM
แยกพงษ์พระราม	89	69

4.3.2.3 ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ยรายปีของฉากทัศน์ SM

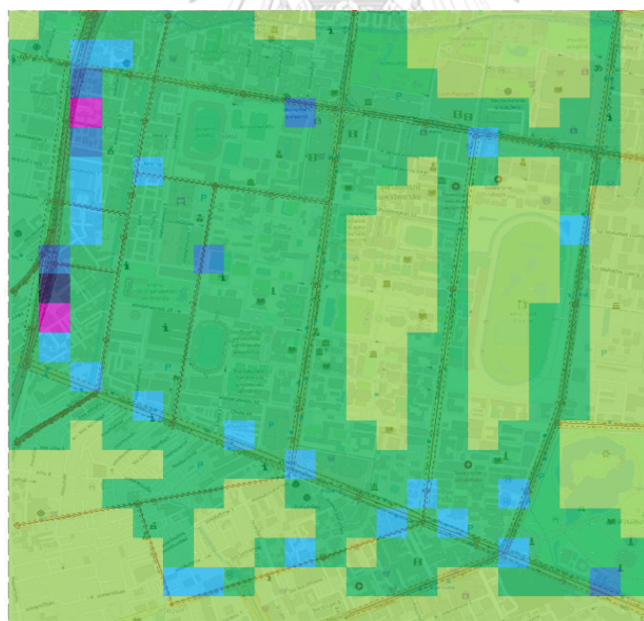


รูปที่ 4-30 ภาพ Contour ค่าสูงสุดความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ยรายปีของฉากทัศน์ SM

ก)



ข)



รูปที่ 4-31 ความเปลี่ยนแปลงหลังจัดทำฉลากทัศน SM ที่ความเข้มข้น $\text{PM}_{2.5}$ เฉลี่ยรายปี

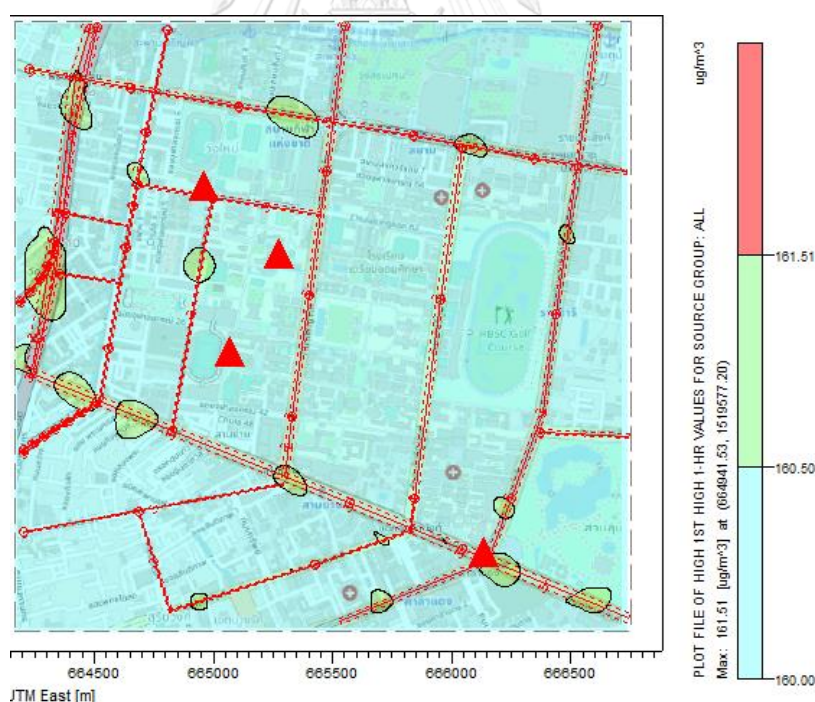
ก) ความเข้มข้น $\text{PM}_{2.5}$ ที่เปลี่ยนแปลง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ข) เปอร์เซนต์การเปลี่ยนแปลงเทียบกับกรณีฐาน

ผลที่ได้จะสังเกตได้ ในรูปที่ 4-31 มีความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ยรายปีลดลงน้อยกว่า $3.61 \mu g/m^3$ ($<8.93\%$) ซึ่งเกินมาตรฐานทั้งหมดในพื้นที่ศึกษา ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการใช้ฉากทัศน์มาตรการที่ส่งเสริมด้านการจัดการคมนาคมให้ผู้คนหันมาใช้ทางเลือกอื่นที่สมมติให้มีการลดปริมาณการใช้รถประเภท Personal car ลดลง 70% และรถประเภท Other vehicle ลดลง 50% ไม่ได้ทำให้ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เปลี่ยนแปลงมากนักเนื่องจากความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ส่วนใหญ่ในพื้นที่ศึกษาได้รับอิทธิพลมาจากความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ที่พัดพาเข้ามาในพื้นที่ศึกษาเป็นหลัก

4.3.3 ฉากทัศน์ที่ 3: FS plus SM scenario (FPS)

เป็นการรวมกันของมาตรการกำหนดมาตรฐานการระบายมลพิษทางอากาศจากรถยนต์ใหม่ EURO 6 ร่วมกับมาตรการส่งเสริมด้านการจัดการคมนาคมให้ผู้คนหันมาใช้ทางเลือกอื่นโดยสมมติให้มีการลดปริมาณการใช้รถประเภท Personal car ลดลง 70% และรถประเภท Other vehicle ลดลง 50% จะทำให้การจราจรในพื้นที่ลดลงไปมากเพียงใด แตกต่างกับการใช้มาตรการเดียวเท่าไร

4.3.3.1 ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ยสูงสุด 1 ชั่วโมงของฉากทัศน์ FPS



รูปที่ 4-32 ภาพ Contour ค่าสูงสุดความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 1 ชั่วโมงของฉากทัศน์ FPS

ก)



-182.76 -120 -12 -1 -0.1 -0.01 -0.001 -1E-06 0 Unit: $\mu\text{g}/\text{m}^3$

ข)



-53.18 -45 -10 -1 -0.1 -0.01 -0.001 -1E-06 0 Unit: percent (%)

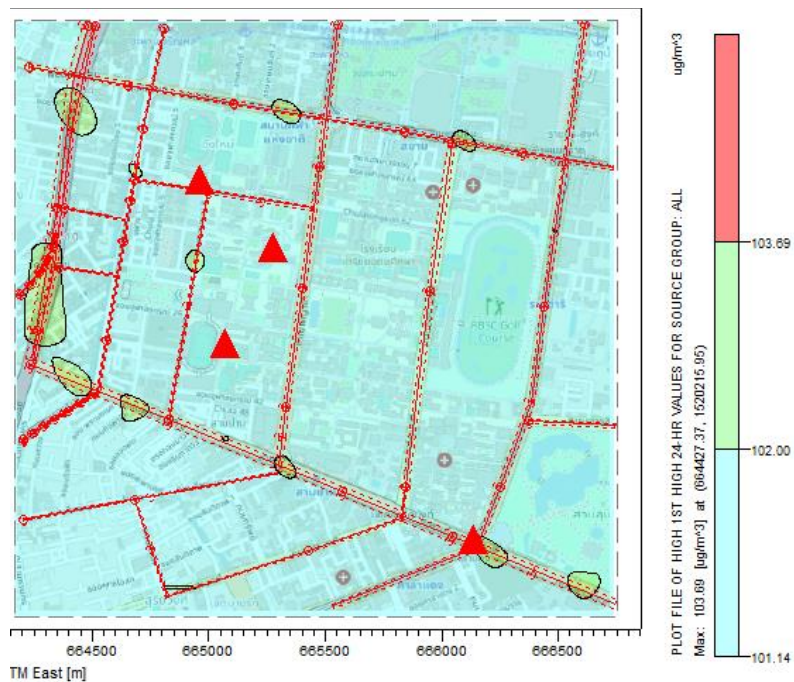
รูปที่ 4-33 ความเปลี่ยนแปลงหลังจัดทำฉลากทัศน FPS ที่ความเข้มข้น $\text{PM}_{2.5}$ เฉลี่ย 1 ชั่วโมง
 ก) ความเข้มข้น $\text{PM}_{2.5}$ ที่เปลี่ยนแปลง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ข) เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงเทียบกับกรณีฐาน

ผลที่ได้จากแบบจำลอง จากรูปที่ 4-33 แสดงถึงค่าสูงสุดความเข้มข้น $PM_{2.5}$ รายชั่วโมงที่ $PM_{2.5}$ SCENARIO – $PM_{2.5}$ BASE มีความเข้มข้นที่ลดลงเมื่อมีการใช้ 2 มาตรการระหว่างมาตรการกำหนดมาตรฐานการระบายมลพิษทางอากาศจากรถยนต์ใหม่ EURO 6 ร่วมกับมาตรการส่งเสริมด้านการจัดการคมนาคมให้ผู้คนหันมาใช้ทางเลือกอื่น จะสังเกตได้ว่าความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 1 ชั่วโมงลดลงสูงสุดที่ตำแหน่งแยกพงษ์พระราม ที่ $182.76 \mu g/m^3$ (53.18%) และจะสังเกตตารางที่ 4-12 เมื่อเทียบความเข้มข้นระหว่างการใช้มาตรการเดียวกับการใช้มาตรการร่วมกัน 2 มาตรการพบว่าทำให้ความเข้มข้นลดลงมากกว่าเดิมเมื่อเทียบกันระหว่างการใช้ฉากทัศน์ที่ 1 มาตรฐานการระบายมลพิษทางอากาศ EURO 6 ทำให้ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ($\mu g/m^3$) เพอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 100 ลดลง 52.72% ฉากทัศน์ที่ 2 มาตรการส่งเสริมด้านการจัดการคมนาคมให้ผู้คนหันมาใช้ทางเลือกอื่นลดลง 23.07% แต่เมื่อรวม 2 มาตรการร่วมกันทำให้ลดลงได้มากที่สุดที่ 53.18%

ตารางที่ 4-12 แสดงการเปรียบเทียบความเข้มข้น $PM_{2.5}$ สูงสุดเฉลี่ย 1 ชั่วโมง ($\mu g/m^3$) ระหว่าง Base case กับ Fuel standard scenario, Shift mode scenario และ FS plus SM scenario บริเวณแยกพงษ์พระราม

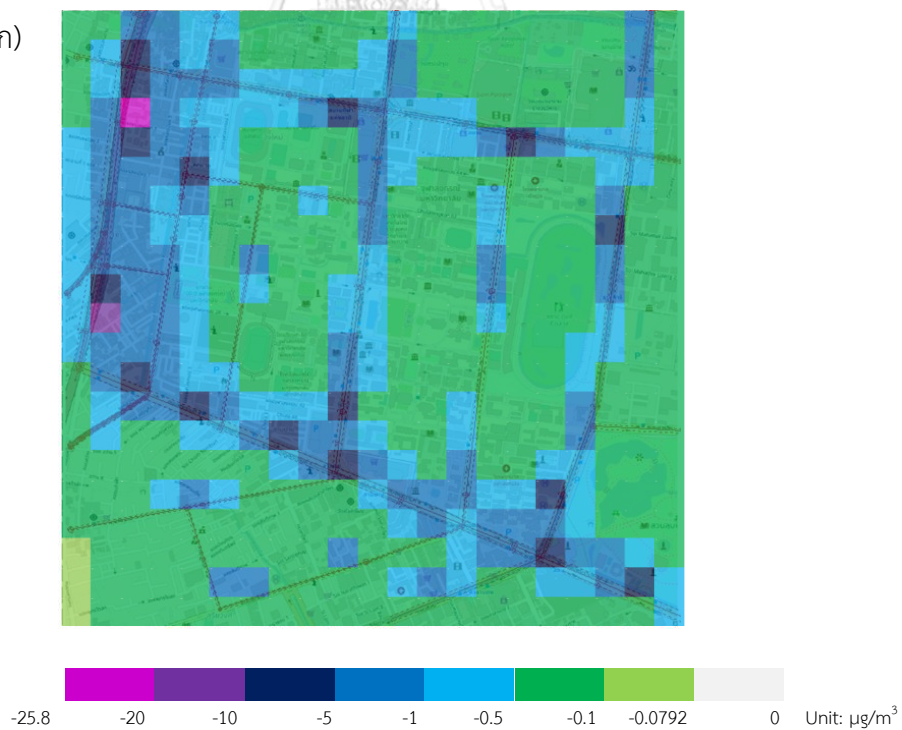
ฉากทัศน์	ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ($\mu g/m^3$)		
	เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 100	เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 98	เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 95
Base case	343.68	101.30	82.08
FS	162.50	79.75	65.40
SM	264.40	93.20	76.02
FSM	160.92	75.64	61.78

4.3.3.2 ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ยสูงสุด 24 ชั่วโมงของฉากทัศน์ FPS

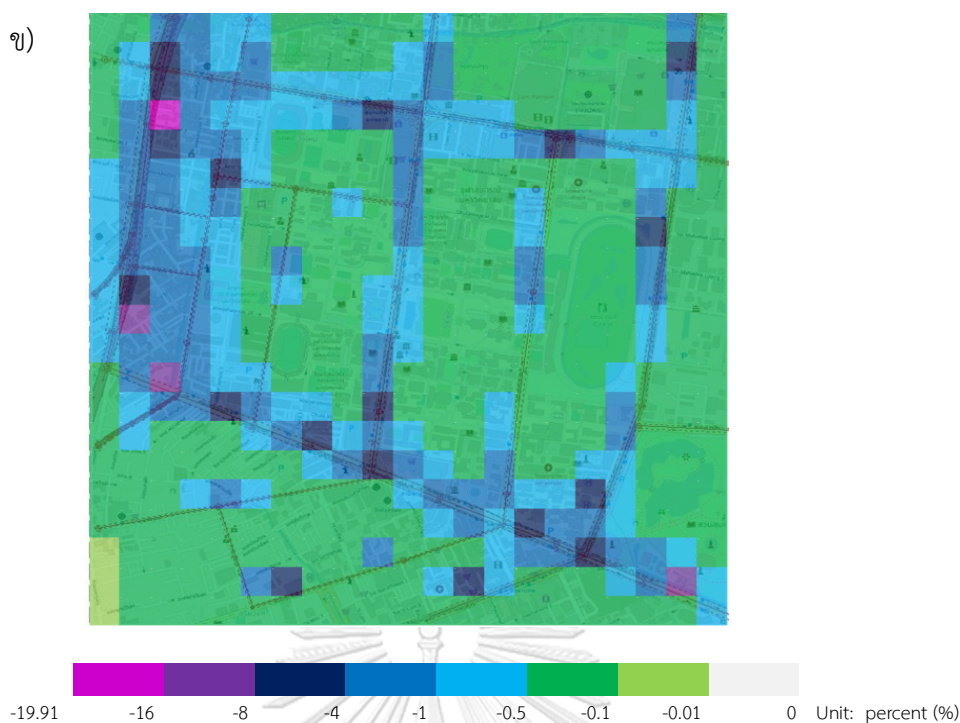


รูปที่ 4-34 ภาพ Contour ค่าสูงสุดความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 24 ชั่วโมงของฉากทัศน์ FPS

ก)



ข)



รูปที่ 4-35 ความเปลี่ยนแปลงหลังจัดทำฉากทัศน์ FPS ที่ความเข้มข้น PM_{2.5} เฉลี่ย 24 ชั่วโมง

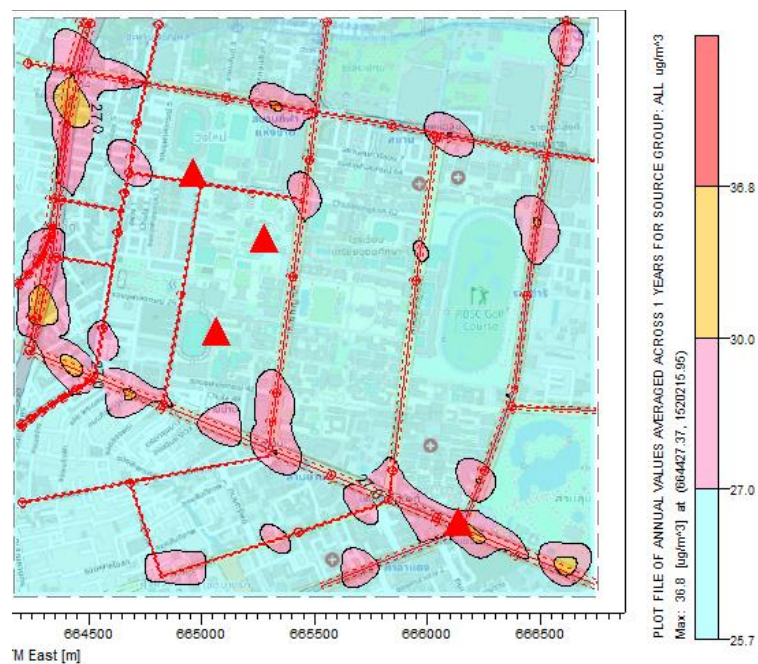
ก) ความเข้มข้น PM_{2.5} ที่เปลี่ยนแปลง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ข) เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงเทียบกับกรณีฐาน

ผลที่ได้ในรูปที่ 4-35 มีความเข้มข้น PM_{2.5} เฉลี่ย 24 ชั่วโมงลดลงมากที่สุดบริเวณแยกพงษ์พระรามที่ $25.78 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (19.91%) และในบริเวณแยกวัดดวงแข ถนนพระราม 4 และถนนพระราม 1 มีความเข้มข้นลดลง 0-8% เนื่องจากอยู่บริเวณแหล่งกำเนิดจากการจราจรและในบริเวณที่ห่างออกไปมีความเข้มข้น PM_{2.5} ลดลง <4% แต่เมื่อนำผลความเข้มข้น PM_{2.5} เฉลี่ยสูงสุด 24 ชั่วโมงไปเทียบกับค่ามาตรฐาน 24 ชั่วโมงที่ $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ เท่ากับเกินค่ามาตรฐานทั้งหมดในบริเวณพื้นที่ศึกษารูปที่ 4-34 แต่สามารถทำให้จำนวนวันที่เกินค่ามาตรฐานความเข้มข้น PM_{2.5} เฉลี่ย 24 ชั่วโมงลดลง 53 ครั้งคิดเป็น 40.45% ดังตารางที่ 4-13

ตารางที่ 4-13 การเปรียบเทียบจำนวนครั้งที่เกินมาตรฐานเท่ากับ $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ที่ความเข้มข้น PM_{2.5} ที่ 24 ชั่วโมง ระหว่าง Base case และ FS plus SM scenario (FPS)

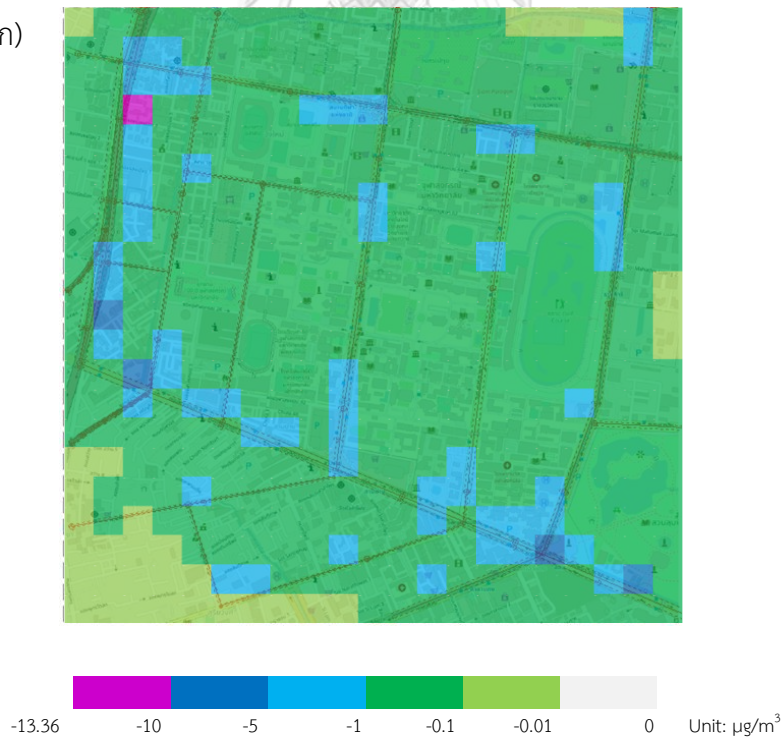
ตำแหน่ง	จำนวนครั้งที่เกินมาตรฐาน	
	Base case	FPS
แยกพงษ์พระราม	89	36

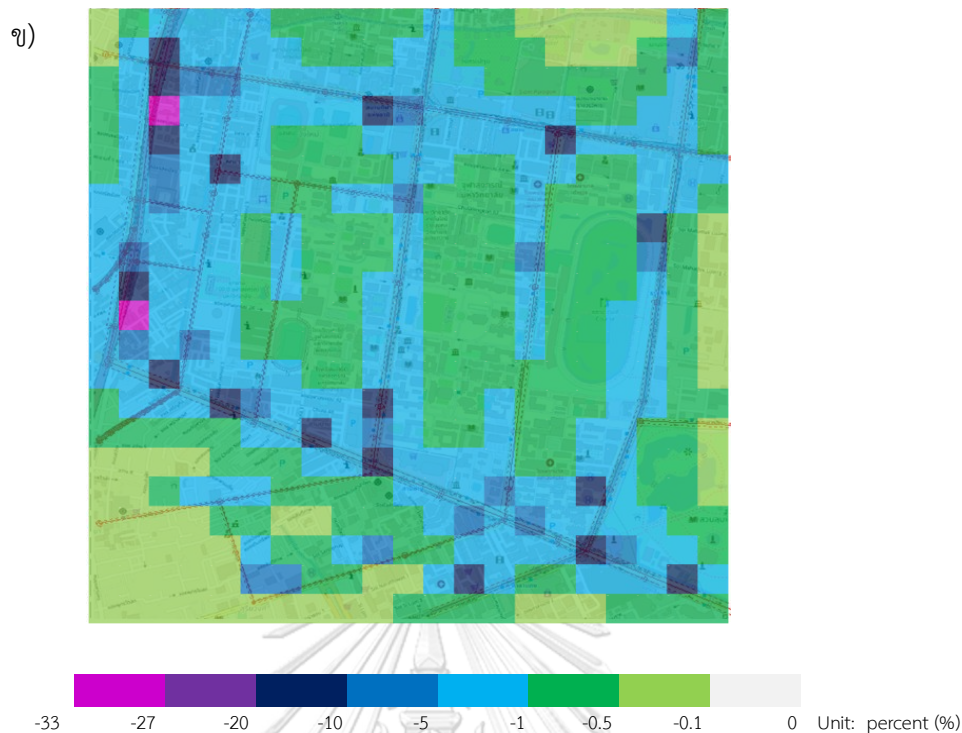
4.3.3.3 ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ยสูงสุดรายปีของฉากทัศน์ FPS



รูปที่ 4-36 ภาพ Contour ค่าสูงสุดความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ยรายปีของฉากทัศน์ FPS

ก)





รูปที่ 4-37 ความเปลี่ยนแปลงหลังจัดทำฉากทัศน์ FPS ที่ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ยรายปี

ก) ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ที่เปลี่ยนแปลง ($\mu g/m^3$) ข) เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงเทียบกับกรณีฐาน

จากรูปที่ 4-37 พบว่าความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ยรายปีลดลงมากที่สุดบริเวณแยกพงษ์พระราม ลดลงเหลือ $27.11 \mu g/m^3$ ซึ่งลดลงจาก Base case $40.46 \mu g/m^3$ (33%) และเมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ยรายปีกับฉากทัศน์ที่ 1 และ 2 ดังตารางที่ 4-14 จะพบว่าหากใช้ 2 มาตรการร่วมกันระหว่างมาตรฐานการระบายมลพิษทางอากาศจากรถยนต์ใหม่ EURO 6 ร่วมกับมาตรการส่งเสริมด้านการจัดการคมนาคมให้ผู้คนหันมาใช้ทางเลือกอื่นจะทำให้ความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ลดลงได้ดีที่สุดแต่ก็ยังเกินค่ามาตรฐานความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ยรายปีที่ $25 \mu g/m^3$

ตารางที่ 4-14 แสดงการเปรียบเทียบความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ยรายปี ($\mu g/m^3$) ระหว่าง Base case กับ Fuel standard scenario, Shift mode scenario และ FS plus SM scenario บริเวณแยกพงษ์พระราม

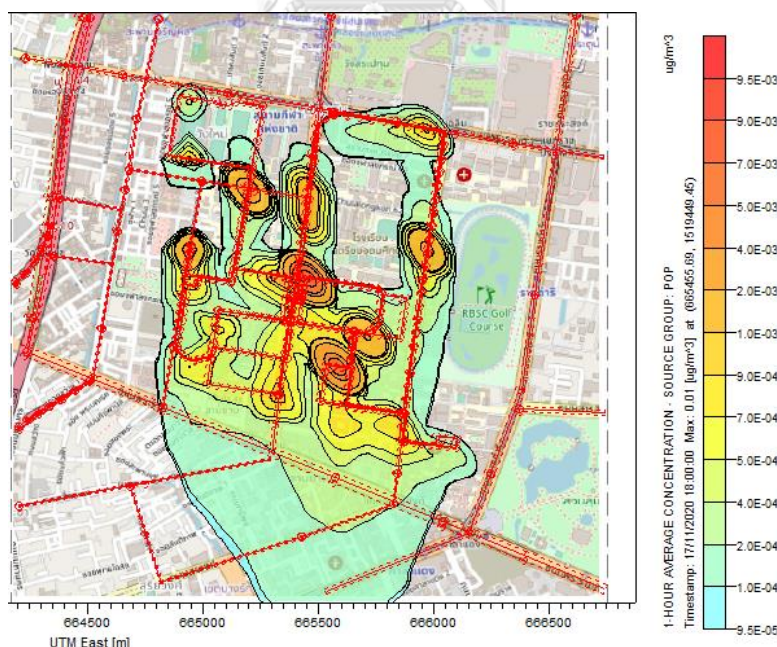
ฉากทัศน์	ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ยรายปี ($\mu g/m^3$)
Base case	40.46
FS	29.68
SM	36.85
FSM	27.11

4.3.4 ฉากทัศน์ที่ 4: CU pop bus scenario (POP)

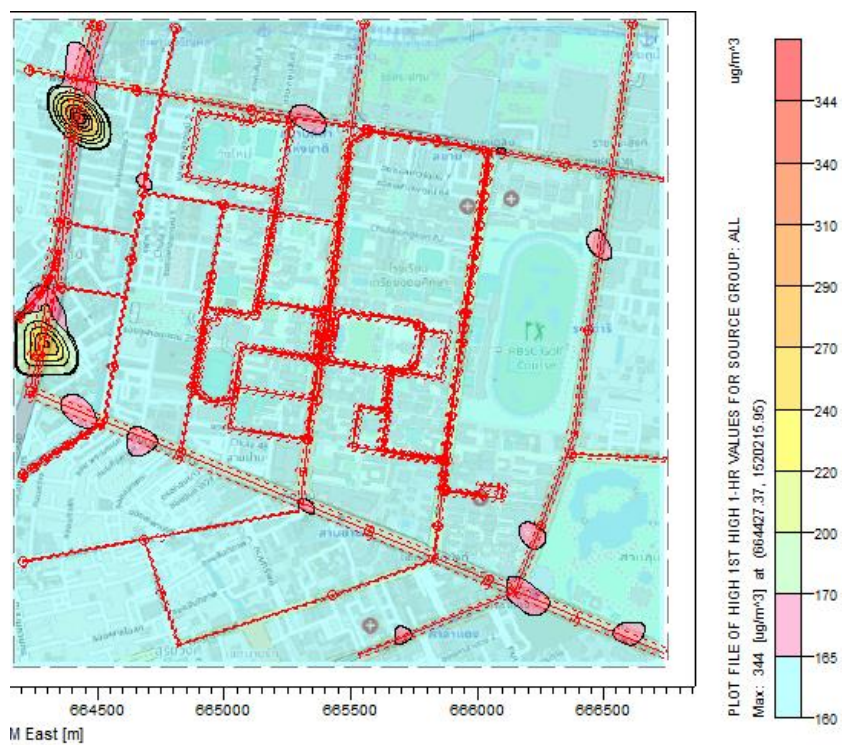
เป็นตัวอย่างการใช้แบบจำลอง AERMOD ในการใช้งานจัดการมลพิษในพื้นที่ศึกษา จึงได้ศึกษากรณีการทดแทน EV Car หรือ CU pop bus รถประจำทางของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเป็นรถยนต์เครื่องยนต์ดีเซลที่ไม่ได้มีการติดตั้ง Diesel particulate filter (DPF) ซึ่งในฉากทัศน์นี้ได้มีการเพิ่มปริมาณการจราจรของรถยนต์เครื่องยนต์ Diesel ขึ้นมาใหม่แทนรถ EV ที่วิ่งอยู่เดิมตามที่ได้กล่าวไปข้างต้นที่ได้ใช้ Emission factor ของรถยนต์ประเภท LD ใน Base case ที่ 0.15 กรัมต่อกิโลเมตร ทำให้มีอัตราการเปลี่ยนแปลงมลพิษของรถยนต์ประเภท LD ที่เปลี่ยนแปลงไป จะมีผลกระทบต่อพื้นที่ศึกษาหรือไม่ ดังที่ได้กล่าวไปในหัวข้อ 3.2.8 ได้ผลดังนี้

4.3.4.1 ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ยสูงสุด 1 ชั่วโมงของฉากทัศน์ POP

เป็นการแสดงถึงความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ยสูงสุด 1 ชั่วโมงในปี พ.ศ.2563 ซึ่งผลที่ได้จะแสดงให้เห็นถึงความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ยสูงสุด 1 ชั่วโมงจากการสัญจรของรถประจำทางจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเท่านั้นดังรูปที่ 4-38 ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของรูปที่ 4-39 ที่แสดงให้เห็นถึงความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ยสูงสุด 1 ชั่วโมงจากการจราจรทั้งหมดในพื้นที่ศึกษาจากการสัญจรของรถประจำทางจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยร่วมกับความเข้มข้น $PM_{2.5}$ จากแหล่งกำเนิดอื่น ดังแสดงต่อไปนี้

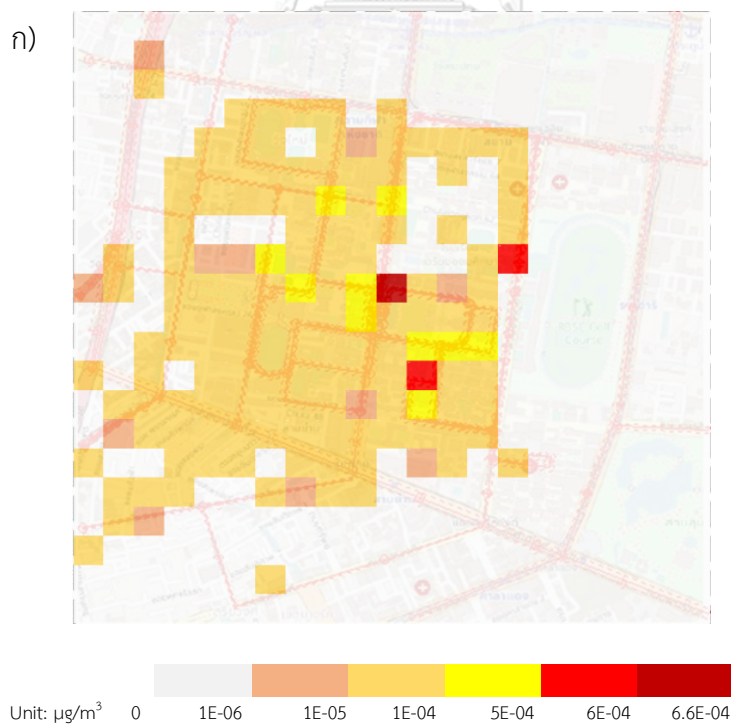


รูปที่ 4-38 ภาพ Contour ค่าสูงสุดความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 1 ชั่วโมงจากเส้นทางรถประจำทางของฉากทัศน์ POP

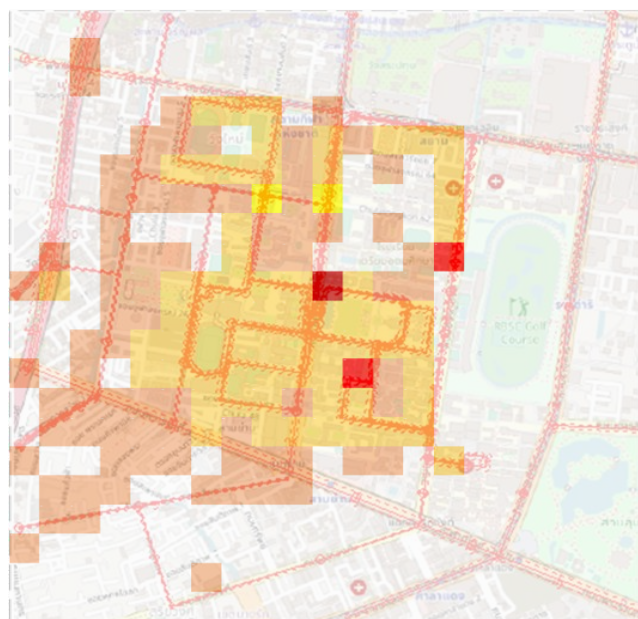


รูปที่ 4-39 ภาพ Contour ค่าสูงสุดความเข้มข้น PM_{2.5} เฉลี่ย 1 ชั่วโมงของฉลากที่ต้น POP

ก)



ข)



Unit: percent (%) 0 1E-06 1E-05 1E-04 3E-04 4E-04 4.13E-04

รูปที่ 4-40 ความเปลี่ยนแปลงหลังจัดทำฉากทัศน์ FPS ที่ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 1 ชั่วโมงก) ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ที่เปลี่ยนแปลง ($\mu g/m^3$) ข) เปอร์เซนต์การเปลี่ยนแปลงเทียบกับกรณีฐาน

ผ
ล ที่
ได้
จาก
แบบ
จำลอง
อิง
จาก
รูปที่
4-40

แสดง

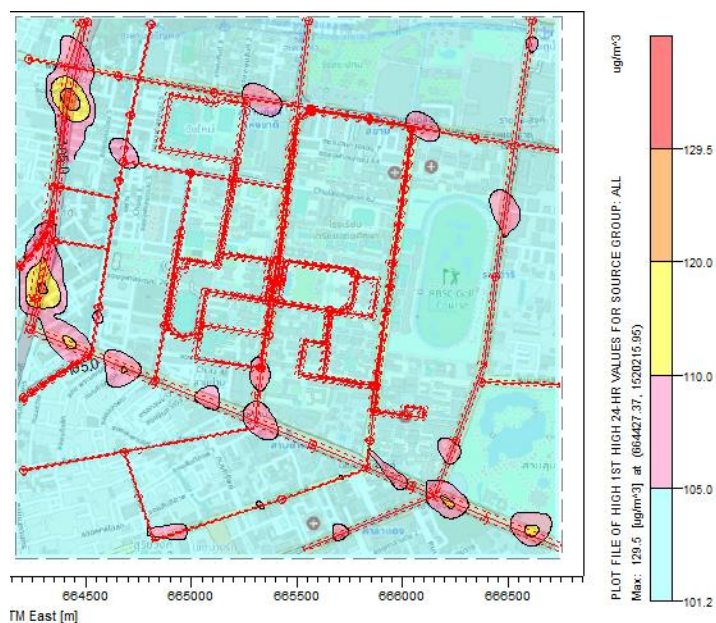
ถึง

ตำแหน่งที่มีความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เปลี่ยนแปลงไปจาก $PM_{2.5}$ SCENARIO - $PM_{2.5}$ BASE จะสังเกตได้ว่าเมื่อมีเปลี่ยนแปลงรถยนต์ EV เป็นรถยนต์เครื่องยนต์ Diesel ให้กับรถยนต์ประเภท LD ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเพิ่มขึ้นจาก Base case มากที่สุดอยู่บริเวณประตูทางเข้าสระน้ำจุฬา และศาลาพระเกี้ยว ที่ $0.00066 \mu g/m^3$ (0.000412%), $0.00059 \mu g/m^3$ (0.000369%) เนื่องจากสระน้ำจุฬาเป็นบริเวณที่มีรถผ่านหลากหลายสายและศาลาพระเกี้ยวเป็นบริเวณที่มีการขึ้นรับส่งของรถประจำทางจุฬาจึงทำให้มีการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ในบริเวณเหล่านี้และในบริเวณอื่นๆ ที่มีการวิ่งของรถประจำทางจุฬาก็มีการเพิ่มขึ้นอย่างเล็กน้อยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ในบรรยากาศเมื่อรวม $PM_{2.5}$ จากแหล่งกำเนิดอื่น ๆ ดังรูปรูปที่ 4-38 และรูปที่ 4-39 และเมื่อเปรียบเทียบผลความเข้มข้นสูงสุดของ $PM_{2.5}$ ระหว่าง Base case และความเข้มข้น $PM_{2.5}$ จากฉากทัศน์ CU pop bus scenario ตารางที่ 4-15 จะสังเกตได้ว่าความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 1 ชั่วโมงที่สูงสุดในพื้นที่ศึกษาตรงแยกพงษ์พระรามนั้นไม่ได้รับความเปลี่ยนแปลงจากการเพิ่มขึ้นของ $PM_{2.5}$ จาก Diesel POP bus อย่างมีนัยสำคัญ (เพิ่มมาเพียง $0.00001 \mu g/m^3$) เพราะความห่างไกลจากเส้นทางวิ่งของรถ Chula POP bus

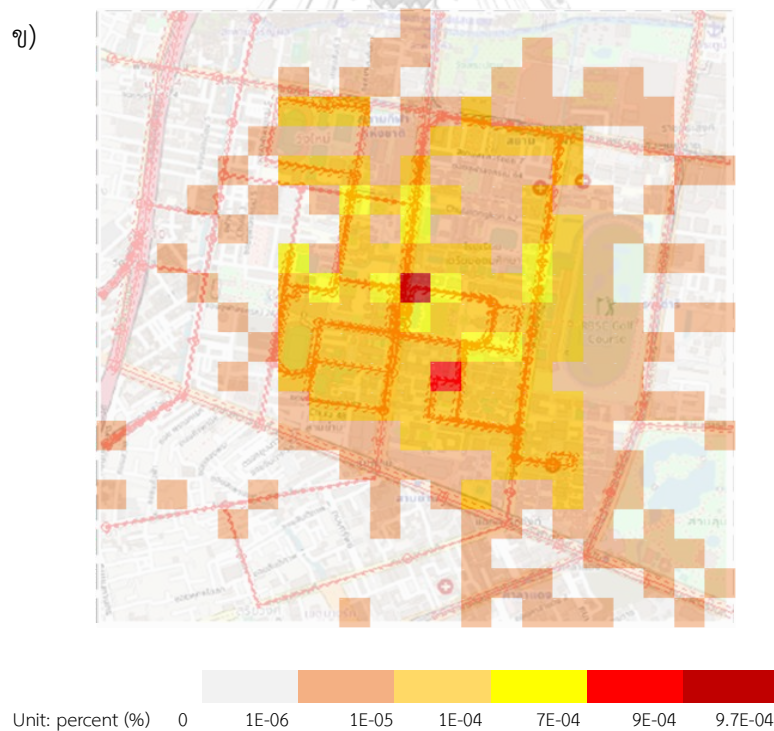
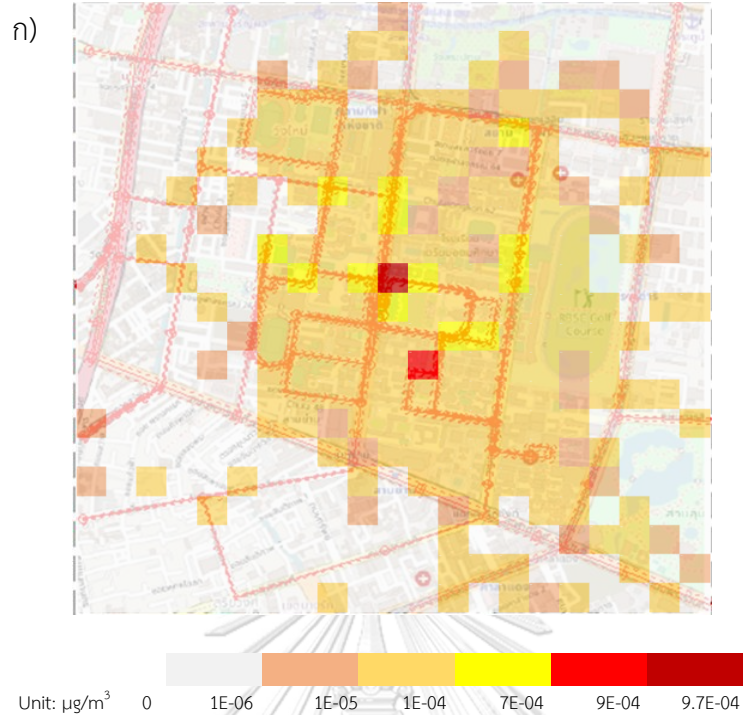
ตารางที่ 4-15 แสดงการเปรียบเทียบความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 1 ชั่วโมง ($\mu g/m^3$) ระหว่าง Base case กับ CU pop bus scenario บริเวณแยกพงษ์พระราม

ฉากทัศน์	ความเข้มข้น PM _{2.5} เฉลี่ย 1 ชั่วโมง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		
	เปอร์เซ็นต์ไทม์ที่ 100	เปอร์เซ็นต์ไทม์ที่ 98	เปอร์เซ็นต์ไทม์ที่ 95
Base case	343.68	101.30	82.08
CU pop bus scenario	343.68	101.30	82.08

4.3.4.2 ความเข้มข้น PM_{2.5} เฉลี่ยสูงสุด 24 ชั่วโมงของฉากทัศน์ POP



รูปที่ 4-41 ภาพ Contour ค่าสูงสุดความเข้มข้น PM_{2.5} เฉลี่ย 24 ชั่วโมงของฉากทัศน์ POP



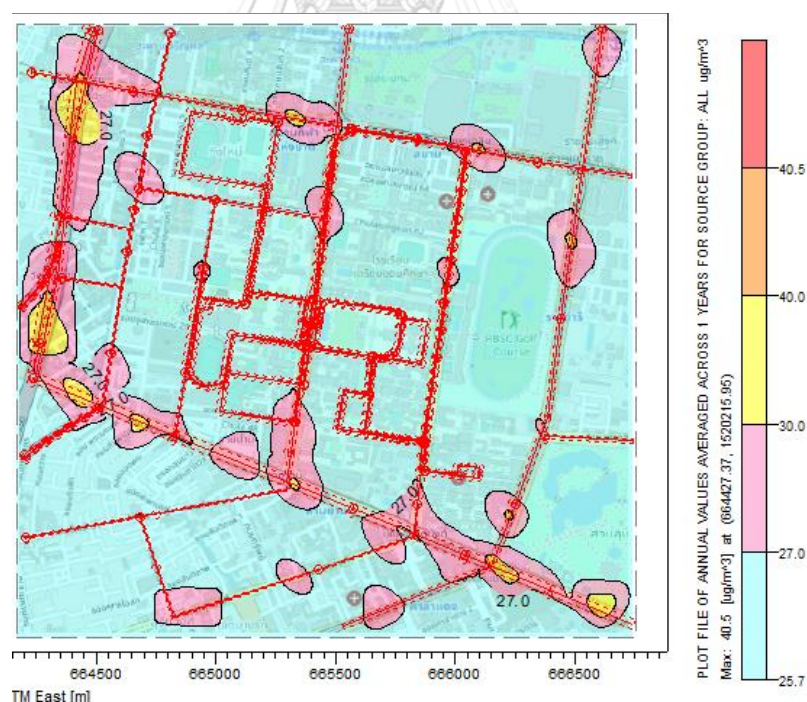
รูปที่ 4-42 ความเปลี่ยนแปลงหลังจัดทำฉากทัศน์ FPS ที่ความเข้มข้น $\text{PM}_{2.5}$ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง
 ก) ความเข้มข้น $\text{PM}_{2.5}$ ที่เปลี่ยนแปลง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ข) เปอร์เซนต์การเปลี่ยนแปลงเทียบกับกรณีฐาน

ผลที่ได้จะสังเกตได้ในรูปที่ 4-42 มีความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ยสูงสุด 24 ชั่วโมงเปลี่ยนแปลงไปจาก $PM_{2.5} \text{ SCENARIO} - PM_{2.5} \text{ BASE}$ โดยมีความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เพิ่มมากขึ้นมากที่สุด $0.00099 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.00097%) ในบริเวณแยกพงษ์พระรามรองลงมา $0.00075 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.00074%) และในบริเวณที่รถประจำทางจุฬารังก็มีการการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญบ่งบอกได้ว่าเมื่อเปลี่ยนจากรถยนต์ EV เป็นรถยนต์เครื่องยนต์ Diesel ทำให้ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 24 ชั่วโมงเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ดังตารางที่ 4-16

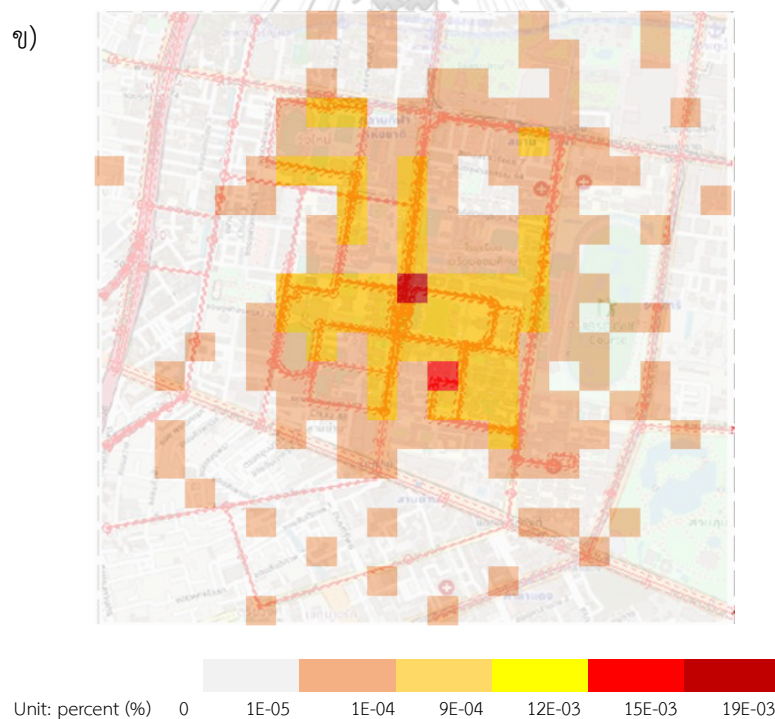
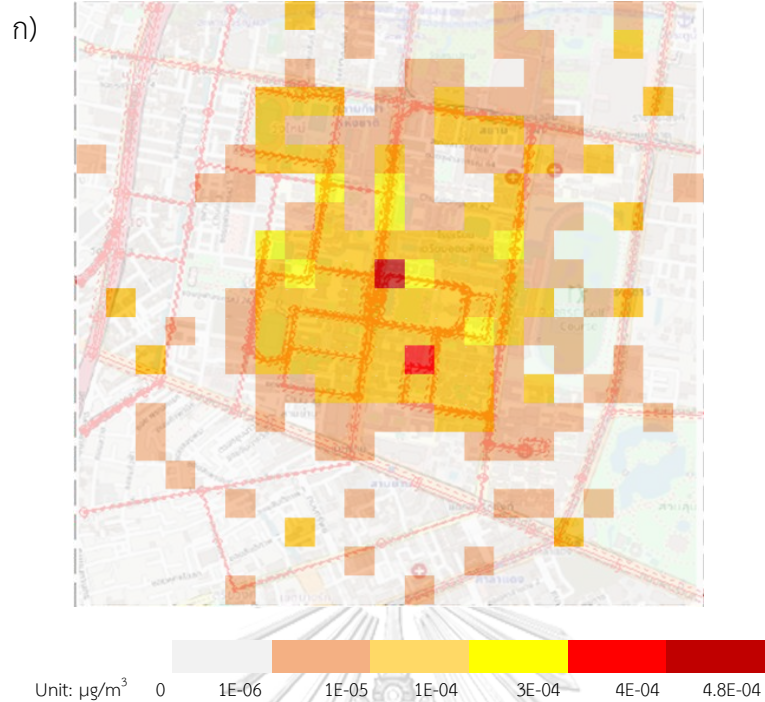
ตารางที่ 4-16 การเปรียบเทียบจำนวนครั้งที่เกินมาตรฐานเท่ากับ $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ที่ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ที่ 24 ชั่วโมง ระหว่าง Base case และ CU pop bus scenario (POP)

ตำแหน่ง	จำนวนครั้งที่เกินมาตรฐาน	
	Base case	POP
แยกพงษ์พระราม	89	89

4.3.4.3 ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ยรายปีของฉากทัศน์ POP



รูปที่ 4-43 ภาพ Contour ค่าสูงสุดความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ยรายปีของฉากทัศน์ POP



รูปที่ 4-44 ความเปลี่ยนแปลงหลังจัดทำฉากทัศน์ FPS ที่ความเข้มข้น $\text{PM}_{2.5}$ เฉลี่ยรายปี
 ก) ความเข้มข้น $\text{PM}_{2.5}$ ที่เปลี่ยนแปลง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ข) เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงเทียบกับกรณีฐาน

ผลที่ได้จะสังเกตได้ ในรูปที่ 4-44 มีความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ยรายปีเพิ่มขึ้นมากที่สุดเพียง 0.002% เท่านั้นในบริเวณเส้นทางจราจรของรถประจำทางจุฬา สรุปได้ว่าเมื่อเปลี่ยนรถยนต์ EV เป็นรถยนต์เครื่องยนต์ Diesel ไม่ทำให้ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เปลี่ยนแปลงไปจนเกิดผลกระทบต่อผู้ที่อาศัยในพื้นที่เนื่องจากเพราะจำนวนของรถ Diesel ที่เพิ่มมานั้นเล็กน้อยเทียบกับจราจรที่วิ่งอยู่เดิม

จากการจัดทำฉากทัศน์ทั้ง 4 แบบจากการใช้ตัวอย่างแผนปฏิบัติการขับเคลื่อนวาระแห่งชาติ “การแก้ไขปัญหามลพิษด้านฝุ่นละออง” ของประเทศไทย ใน 2 แบบ ได้แก่ Fuel standard scenario และ Shift mode scenario พบว่าการกำหนดมาตรฐานการระบายมลพิษทางอากาศ EURO 6 หรือการเสนอทางเลือกใช้การเดินทางสาธารณะเพิ่มขึ้น เพียงแบบใดแบบหนึ่งไม่ทำให้ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ในพื้นที่ศึกษาเปลี่ยนแปลงเนื่องจากจากการทำฉากทัศน์ Fuel standard scenario และ Shift mode scenario พบว่าที่ค่าสูงสุดความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 1 ชั่วโมงที่สูงสุดอยู่บริเวณแยกพงษ์พระรามเท่านั้นที่ความเข้มข้นลดลง 43.53% และ 13% ตามลำดับ และจากการนับจำนวนครั้งที่เกินมาตรฐานความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 24 ชั่วโมงพบว่า Fuel standard scenario สามารถลดจำนวนครั้งที่เกินมาตรฐานได้มากกว่า Shift mode scenario อาจเนื่องมาจากการปรับลดมาตรฐานการระบายมลพิษอากาศกับทั้งรถยนต์ 4 ประเภทแต่พอมองภาพรวมก็พบได้ว่าความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ลดลงไปไม่กี่เปอร์เซ็นต์ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าควรดำเนินการในหลาย ๆ มาตรการดังเช่นตัวอย่างฉากทัศน์ที่ 3 ที่ทำให้ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ สูงสุดเฉลี่ย 1 ชั่วโมงลดลง 53.18% ซึ่งลดได้มากกว่าฉากทัศน์ที่ 1 และ 2 ดังนั้นจึงควรทำหลากหลายมาตรการควบคู่กันเพื่อให้ลดความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ได้อย่างมีประสิทธิภาพและทำให้ผู้คนมีสุขภาพและสิ่งแวดล้อมที่ยั่งยืน แต่หากมองในการจัดลำดับความสำคัญในการจัดการก็พบว่า Fuel standard scenario ที่เป็นการกำหนดมาตรฐานการระบายมลพิษทางอากาศของรถยนต์ทั้ง 4 ประเภทเป็น EURO 6 นั้นควรเป็นมาตรการแรกที่ริเริ่มเนื่องจากสามารถช่วยลดวันที่ $PM_{2.5}$ เกินค่ามาตรฐาน 24 ชั่วโมงที่ $50 \mu g/m^3$ ได้มากที่สุดที่ 40.99% สอดคล้องกับข้อมูลที่ได้กล่าวไปในหัวข้อ 4.2.4 ที่ทำให้วันที่ $PM_{2.5}$ เกินค่ามาตรฐานลดลงใกล้เคียงกับ 50% ซึ่งสอดคล้องกับการใช้มาตรฐานใหม่ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 24 ชั่วโมงที่ $37.50 \mu g/m^3$ ซึ่งควรเปลี่ยนให้รถยนต์ประเภท HD หรือรถบรรทุก รถเมลิใหญ่ก่อนเป็นลำดับแรกเนื่องจากงานวิจัย (Kim Oanh, 2563) ได้พบว่า $PM_{2.5}$ มาจากการจราจรพบว่ามาจากรถยนต์ 4 ประเภทได้แก่ รถบรรทุกมากที่สุดที่ 24% รองลงมาเป็นรถบัส 12% รถยนต์ปิกอัพ 11% และรถยนต์ส่วนบุคคลน้อยที่สุดที่ 2% ประกอบกับในงานวิจัยนี้ได้จัดทำสัดส่วนแหล่งกำเนิดมลพิษจากรถยนต์ทั้ง 4 ประเภทดังรูปที่ 4-9 ที่แสดงให้เห็นถึงความเข้มข้น $PM_{2.5}$ มาจากแหล่งกำเนิดจากรถยนต์ประเภท HD สูงสุดรองลงมาเป็น LD, PC, และ OT ตามลำดับ ดังนั้นลำดับในการจัดการเปลี่ยนเครื่องยนต์เป็นมาตรฐาน EURO 6 ควรเป็นรถยนต์ประเภท HD, LD, PC และ OT ตามลำดับ ทั้งนี้เมื่อมีการใช้มาตรการต่าง ๆ ก็ยังไม่ทำให้ความเข้มข้น

PM_{2.5} ที่เกิดขึ้นไม่เกินค่ามาตรฐานความเข้มข้น PM_{2.5} ทั้งเฉลี่ย 24 ชั่วโมงและเฉลี่ยรายปีในทั้งพื้นที่ศึกษา ซึ่งยังส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนในพื้นที่ศึกษาทั้งในระยะสั้น เช่น อาการคัน ไอจาม ภูมิแพ้ และยังส่งผลให้ทัศนวิสัยการมองเห็นแย่ง ซึ่งส่งผลไปยังระยะยาว เช่น อาการคุกคามต่อระบบหัวใจ ปอด ทางเดินหายใจ สมองและยังส่งผลกระทบต่อกลุ่มที่มีภาวะเสี่ยงสูงได้แก่ เด็ก หญิงมีครรภ์ ผู้สูงอายุและผู้ที่เป็นโรคปอดและโรคหัวใจอยู่ จึงยังต้องควรระวังเมื่อเกิดความเข้มข้น PM_{2.5} ที่สูงขึ้น และยังส่งผลกระทบต่อเศรษฐกิจของกรุงเทพมหานครซึ่งจากงานวิจัย (Teerawat Namcome, 2021) ได้ระบุไว้ว่าหากค่าดัชนีอนุภาค PM_{2.5} เพิ่มขึ้นร้อยละ 5 จากค่าเฉลี่ยรายเดือนจะทำให้จำนวนนักท่องเที่ยวในจังหวัดกรุงเทพมหานครลดลง 659,368 คน และเกิดมูลค่าทางเศรษฐกิจที่เสียโอกาสจากนักท่องเที่ยวจำนวน 4,105.13 ล้านบาท

ในกรณีศึกษา CU pop bus scenario ที่เป็นการเปลี่ยนรถยนต์จุฬาสถาธณะไฟฟ้าเป็นการใช้รถยนต์เครื่องยนต์ Diesel พบว่าทำให้ความเข้มข้น PM_{2.5} เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยที่ค่าสูงสุดความเข้มข้น PM_{2.5} เฉลี่ยรายปีเพิ่มขึ้นไม่เกิน 0.002% ในบริเวณที่มีการสัญจรของรถประจำทางจุฬา เนื่องจากรถประจำทางจุฬาเครื่องยนต์ดีเซลที่เพิ่มมานั้นเป็นแหล่งกำเนิดที่น้อยเมื่อเทียบกับรถยนต์ที่สัญจรบนท้องถนนในปัจจุบัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามาตรการที่เปลี่ยนแปลงรถยนต์สาธารณะเครื่องยนต์ Diesel เป็นรถยนต์ EV ไม่ได้ช่วยลด PM_{2.5} ในภาพรวมอย่างมีนัยสำคัญซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย (Chavanaves et.al., 2021) ที่ได้จัดทำฉากทัศน์ที่ 3 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงรถโดยสารสาธารณะขององค์การขนส่งมวลชนกรุงเทพ (ขสมก) ให้เป็นรถยนต์ประเภท EV ทั้งหมดในพื้นที่ศึกษาได้แก่ กรุงเทพฯ, นครปฐม, นนทบุรี, ปทุมธานี, สมุทรปราการและสมุทรสาคร พบว่าทำให้ความเข้มข้น PM_{2.5} ลดลงเพียง 0.73% เท่านั้น สรุปได้ว่าการเปลี่ยนแปลงรถยนต์เครื่องยนต์ EV สำหรับรถประจำทางนั้นไม่ได้ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น PM_{2.5} ไปในทิศทางที่ดีขึ้นอย่างเห็นผลได้ชัด ด้วยเหตุนี้จึงควรดำเนินมาตรการลด PM_{2.5} หลายมาตรการไปพร้อม ๆ กัน อย่างเช่นการส่งเสริมและผลักดันการใช้รถยนต์ EV ทั้งในภาครถยนต์ขนส่งสาธารณะและรถยนต์ส่วนบุคคล

ดังนั้นจากการจัดทำทั้ง 4 ฉากทัศน์แสดงให้เห็นถึงการแก้ไขปัญหามลพิษจากรถยนต์ในกรณีต่าง ๆ ซึ่งทั้งนี้การให้ความสำคัญกับรถยนต์ประเภท HD ก่อนเป็นทางเลือกที่ดีที่สุดหากจัดการร่วมกับการเปลี่ยนแปลงเครื่องยนต์เป็นมาตรฐานการระบายมลพิษ EURO 6 จะช่วยให้สามารถลดความเข้มข้น PM_{2.5} ได้สูงที่สุดจากรถยนต์ทั้ง 4 ประเภทเนื่องจากตารางที่ 3-9 ที่แสดงให้เห็นถึงตัวคุณมลพิษของรถยนต์ประเภท HD ที่สูงที่สุดและเปลี่ยนแปลงมากที่สุดเมื่อเป็นมาตรฐานการระบายมลพิษ EURO 6

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การทําบัญชีการปลดปล่อยมลพิษจากการจราจรบริเวณรอบจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยพบว่าเราสามารถนําคํานวณปริมาณการจราจรจากรายงานปริมาณจราจร สํานักการจราจรและขนส่งซึ่งเป็นข้อมูลทศตวรรษที่ขาดข้อมูลในช่วงเวลาต่าง ๆ ดังระบุไว้ในหัวข้อ 3.2.2 มาใช้ได้ผ่านการประยุกต์ใช้ข้อมูลการเก็บปริมาณการจราจรในบริเวณพื้นที่จริงในเวลาจริงตลอด 24 ชั่วโมงใน 7 วันผ่านกล้อง CCTV ที่ตั้งบริเวณถนนบรรทัดทองมาทําเป็นข้อมูลความผันแปรการจราจรในแต่ละวันของสัปดาห์และสุดท้ายได้เป็นข้อมูลอัตราการปลดปล่อยมลพิษของถนนแต่ละเส้นในพื้นที่ศึกษาผ่านการประยุกต์คํานวณต่าง ๆ ที่ได้กล่าวไปในหัวข้อ 3.2.2 และการนําคํานวณตัวคูณมลพิษ (Emission Factor) จาก Atmospheric Brown Clouds: Emission Inventory manual มาใช้ในงานวิจัยได้ซึ่งได้ผลเป็นที่ยอมรับที่ดีและในงานวิจัยนี้ได้ใช้ข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาจากการใช้โปรแกรมแบบจำลอง Weather research and forecasting model (WRF) และข้อมูลการพัดพาของมลพิษเข้ามาในพื้นที่ศึกษาซึ่งกำหนดค่าเจาะจงตามทิศทางลมแต่ละชั่วโมงและใช้ข้อมูลความเข้มข้น $PM_{2.5}$ จากสถานีตรวจวัดที่ตั้งอยู่ในทิศทางต้นลมและนํามาเข้าสู่แบบจำลองซึ่งในที่สุดได้ผลลัพธ์เป็นที่พึงพอใจตามแนวทางวิชาการ

ผลจากการจำลองสถานการณ์ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ในพื้นที่ศึกษารอบจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในปี พ.ศ.2561-2563 พบได้ว่าความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ยสูงสุด 1 ชั่วโมง ทั้ง 3 ปีอยู่ในตำแหน่งแยกพงษ์พระราม โดยเหตุปัจจัยจากการมีทางพิเศษศรีรัชพาดผ่านด้านบนและมีทางขึ้นลงของทางพิเศษศรีรัชประกอบกับเป็นทาง 4 แยกที่มีการจราจรจากบริเวณถนนพระราม 1 และถนนจรัลเมือง ซึ่งในบริเวณนั้นมีตึกขนาดใหญ่ ร้านอาหาร ขนส่งและอื่น ๆ อ้างอิงจากรูป 4-25 ประกอบกับการพัดพาของมลพิษที่อาจมาจากนอกบริเวณศึกษาทำให้เกิดมลพิษสูงในบริเวณนั้น เมื่อดูสัดส่วนของแหล่งกำเนิดมลพิษแล้วจากผลที่ได้ในรูปที่ 4-1 รูปที่ 4-4 และรูปที่ 4-7 พบว่ามลพิษส่วนใหญ่หากไม่ได้อยู่ในพื้นที่ของแหล่งกำเนิดมลพิษจากการจราจรที่ได้กำหนดไว้ในแบบจำลองจะมีค่ามลพิษที่พัดพามาจากนอกบริเวณศึกษาหรืออาจจะมาจากมลพิษอื่นที่งานวิจัยนี้ไม่ได้นํามาเข้าสู่แบบจำลอง เช่น มลพิษที่เกิดจากครัวเรือน ร้านอาหาร เป็นต้น การศึกษา Time series graph ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ จากแบบจำลองพบว่าส่วนใหญ่อยู่ในช่วงเดือนมกราคมถึงต้นเดือนมีนาคมและช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงธันวาคมของทุกปีซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลจากรายงานสถานการณ์คุณภาพและสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2563

โดยภาพรวมประสิทธิภาพจากการจำลองสถานการณ์แพร่กระจายของ $PM_{2.5}$ บริเวณรอบจุฬาลงกรณ์ในปี พ.ศ.2561-2563 พบว่าการจำลองในปี พ.ศ.2563 บริเวณโรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์เป็นที่น่าสนใจมากที่สุด ($R = 0.94$) รองลงมาเป็นโรงเรียนสาธิตจุฬาลงกรณ์ประถม ประถม 5 ($R = 0.86$) อาคารจุฬาพัฒน์ 14 ($R = 0.85$) และโรงอาหารหอพักนิสิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ($R = 0.71$) ตามลำดับ เนื่องจากในบริเวณโรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์อยู่ใกล้กับแหล่งกำเนิดมลพิษจากการจราจรมากที่สุดและในตำแหน่งอื่น ๆ มีค่าดัชนีที่ได้ลดลงตามระยะทางของจุดตรวจวัดมลพิษที่ห่างจากแหล่งกำเนิด และในปี พ.ศ.2561-2562 มีประสิทธิภาพที่ต่ำกว่าปี พ.ศ.2563 เนื่องจากขาดข้อมูลการวัดค่าความเข้มข้น $PM_{2.5}$ จากนอกพื้นที่ศึกษาจำนวนหนึ่ง ทำให้ข้อมูลที่ได้ไม่สมบูรณ์จึงทำให้ผลที่ได้จากแบบจำลองไม่เป็นที่น่าพึงพอใจเท่าที่ควรและแบบจำลอง AERMOD สามารถนับจำนวนครั้งที่เกินมาตรฐานได้ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้กำหนดให้نبค่าที่เกินมาตรฐานความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 24 ชั่วโมงพบว่าแบบจำลองนับค่ามาตรฐานได้จำนวนวันเกินจากที่ตรวจวัดในพื้นที่จริงทั้งหมดในปี พ.ศ.2561-2563 ซึ่งสาเหตุอาจมาจากการนำเข้าสู่ข้อมูลสู่แบบจำลองอาจไม่ครบหรือขาดหายไป ทำให้การจำลองที่ได้ไม่แม่นยำเท่าที่ควร ดังนั้นงานวิจัยนี้พบว่าแบบจำลอง AERMOD สามารถจำลองสถานการณ์ของความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ได้ทั้งนี้ต้องมีการนำเข้าสู่ข้อมูลที่แม่นยำและถูกต้องเพื่อนำไปสู่ผลลัพธ์ที่แม่นยำเพื่อนำไปสู่การจัดการแก้ไขปัญหาหมอกพิษอากาศได้ต่อไปในอนาคต

จากการทำตัวอย่างฉากทัศน์พบว่าแบบจำลอง AERMOD สามารถใช้ในการจัดทำฉากทัศน์เพื่อสนับสนุนการตัดสินใจในการจัดการแก้ไขปัญหาหมอกพิษทางอากาศได้ ดังตัวอย่างการทบทวนนโยบายจากแผนปฏิบัติการขับเคลื่อนวาระแห่งชาติ “การแก้ไขปัญหาหมอกพิษด้านฝุ่นละออง” ซึ่งได้เลือกกำหนดเป็นฉากทัศน์การปรับเปลี่ยนมาตรฐานเชื้อเพลิง EURO 6 กับฉากทัศน์ที่มีการเดินทางสาธารณะเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบพบว่าฉากทัศน์การเปลี่ยนมาตรฐานเชื้อเพลิง EURO 6 ช่วยลดจำนวนวันที่ค่า $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 24 ชั่วโมงได้มากกว่าฉากทัศน์ที่มีการเดินทางสาธารณะเพิ่มขึ้น แต่หากใช้หลากหลายมาตรการร่วมกันดังเช่นฉากทัศน์ที่ 3 จะทำให้ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ลดลงได้มากกว่าและยังเป็นการแสดงให้เห็นถึงความลำดับความสำคัญในการจัดการกับปัญหา $PM_{2.5}$ จากภาคการจราจร เช่น การเปลี่ยนมาตรฐานเครื่องยนต์ EURO 6 และการให้ความสำคัญในการแก้ไขปัญหา $PM_{2.5}$ จากรถยนต์ประเภท Heavy duty เป็นลำดับสำคัญ ทั้งนี้การจัดทำฉากทัศน์เป็นตัวอย่างการใช้งานแบบจำลองเพื่อศึกษาฉากทัศน์ต่าง ๆ และในอีกกรณีเป็นฉากทัศน์การศึกษาผลกระทบของกรณีสมมติหากรถประจำทางของจุฬาเปลี่ยนจากรถไฟฟ้ามาเป็นรถดีเซล ซึ่งพบว่าการเพิ่มขึ้นของ $PM_{2.5}$ ไม่ได้มีนัยสำคัญต่อพื้นที่จุฬาและบริเวณโดยรอบ ซึ่งเป็นนัยสำคัญที่แสดงให้เห็นถึงความสำคัญในการจัดการกับปัญหารถยนต์เครื่องยนต์ Diesel เป็นสำคัญ

5.2 ข้อจำกัดของงานวิจัย

- 5.2.1 แบบจำลอง AERMOD ไม่สามารถจำลองการกำเนิดแบบทุติยภูมิ (Secondary Formation) ได้ มลพิษที่ศึกษาได้จึงมีเพียงแค่มลพิษปฐมภูมิเท่านั้น
- 5.2.2 ขาดข้อมูลความเข้มข้น $PM_{2.5}$ รายชั่วโมงเป็นจำนวนมากในปี พ.ศ.2561, พ.ศ.2562 และขาดข้อมูลรายชั่วโมงบางส่วนในปี พ.ศ.2563
- 5.2.3 ข้อมูลปริมาณการจราจรมีจำกัดกล่าวคือข้อมูลทุติยภูมิซึ่งทำให้การกำหนดปริมาณ $PM_{2.5}$ ที่พัดพาเข้ามาไม่สมบูรณ์ จากรายงานปริมาณจราจรจากสำนักการจราจรและขนส่ง กรุงเทพมหานคร ได้เก็บข้อมูลตลอด 24 ชั่วโมงและมีข้อมูลบางวันดังนั้นในงานวิจัยจำเป็นต้องใช้สมมติฐานประกอบเพื่อสังเคราะห์ข้อมูลให้ต่อเนื่อง
- 5.2.4 ข้อมูล $PM_{2.5}$ บางวันขาดหายไป

5.3 ข้อเสนอแนะที่ได้จากงานวิจัย

- 5.3.1 ควรมีการติดตั้งจุดตรวจวัด $PM_{2.5}$ บริเวณแยกพงษ์พระรามเพราะเป็นตำแหน่งที่ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ สูงสุดจากการทำแบบจำลอง หากค่าตรวจวัดบ่งชี้ระดับ $PM_{2.5}$ ที่สูงจริงจะได้จัดทำมาตรการเพื่อแก้ไขปัญหา $PM_{2.5}$ ต่อไป
- 5.3.2 ศึกษาและจัดทำบัญชีการปลดปล่อยมลพิษนอกเหนือจากการจราจร เช่น จากร้านอาหาร จากครัวเรือนในพื้นที่ จากการก่อสร้าง เป็นต้น เพื่อนำมาศึกษา ร่วมกับการจราจรเพื่อแก้ปัญหามลพิษในพื้นที่รอบจุฬาลงกรณ์ต่อไปในอนาคต
- 5.3.3 สามารถนำวิธีการคิดบัญชีการปลดปล่อยมลพิษและแบบจำลองนำไปศึกษาต่อในพื้นที่อื่น และแก้ไขปัญหามลพิษได้ต่อไปในอนาคต

บรรณานุกรม

- Afzali, A., Rashid, M., Afzali, M., & Younesi, V. (2017). Prediction of air pollutants concentrations from multiple sources using AERMOD coupled with WRF prognostic model. *Journal of Cleaner Production*, 166, 1216-1225. doi:10.1016/j.jclepro.2017.07.196
- Chang, J. C., & Hanna, S. R. (2004). Air quality model performance evaluation. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 87(1-3). doi:10.1007/s00703-003-0070-7
- Chattanong, Y. (2022). Air pollution causes 8.8 million extra early deaths a year. Retrieved from <https://www.sciencedaily.com/releases/2019/03/190312075933.htm>
- Chavanaves, S., Fantke, P., Limpaseni, W., Attavanich, W., Panyametheekul, S., Gheewala, S. H., & Prapasongsa, T. (2021). Health impacts and costs of fine particulate matter formation from road transport in Bangkok Metropolitan Region. *Atmospheric Pollution Research*, 12(10). doi:10.1016/j.apr.2021.101191
- Chen, C., Zhu, P., Lan, L., Zhou, L., Liu, R., Sun, Q., . . . Li, T. (2018). Short-term exposures to PM_{2.5} and cause-specific mortality of cardiovascular health in China. *Environ Res*, 161, 188-194. doi:10.1016/j.envres.2017.10.046
- Chuersuwan, N., Nimrat, S., Lekphet, S., & Kerdumrai, T. (2008). Levels and major sources of PM_{2.5} and PM₁₀ in Bangkok Metropolitan Region. *Environ Int*, 34(5), 671-677. doi:10.1016/j.envint.2007.12.018
- Cimorelli, A. J., Perry, S. G., Venkatram, A., Weil, J. C., Paine, R. J., Wilson, R. B., & Brode, R. W. (2005). AERMOD: A Dispersion Model for Industrial Source Applications. Part I: General Model Formulation and Boundary Layer Characterization *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 44, 682-693. doi:<https://doi.org/10.1175/JAM2227.1>
- Gibson, M. D., Kundu, S., & Satish, M. (2013). Dispersion model evaluation of PM_{2.5}, NO_x and SO₂ from point and major line sources in Nova Scotia, Canada using AERMOD Gaussian plume air dispersion model. *Atmospheric Pollution Research*, 4(2), 157-167. doi:10.5094/apr.2013.016

- Gulia, S., Shiva Nagendra, S. M., & Khare, M. (2014). Performance evaluation of ISCST3, adms-urban and aermod for urban air quality management in a mega city of India. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 9(6), 778-793. doi:10.2495/sdp-v9-n6-778-793
- Hanma, P. (2021). Extent and Magnitude of Industrial Stack Emissions on Ambient Particulate Concentrations. *International Journal of GEOMATE*, 21(84). doi:10.21660/2021.84.j2189
- Katika, K., & Karuchit, S. (2018). *Estimation of Urban Air Pollutant Levels using AERMOD A Case Study in Nakhon Ratchasima, Thailand*. Paper presented at the 2018 2nd International Conference on Energy and Environmental Science.
- Kim Oanh, N. T. (2563). รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการศึกษาแหล่งกำเนิดฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM_{2.5}) และสารมลพิษตั้งต้นของฝุ่นทุติยภูมิ (Secondary PM_{2.5}) ในพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล.
- McGuinn, L. A., Ward-Caviness, C. K., Neas, L. M., Schneider, A., Diaz-Sanchez, D., Cascio, W. E., . . . Devlin, R. B. (2016). Association between satellite-based estimates of long-term PM_{2.5} exposure and coronary artery disease. *Environ Res*, 145, 9-17. doi:10.1016/j.envres.2015.10.026
- Ministry for the Environment, N. Z. (2004). *Good Practice Guide for Atmospheric Dispersion Modelling*: New Zealand Government - Ministry for the Environment.
- Pun, V. C., Kazemiparkouhi, F., Manjourides, J., & Suh, H. H. (2017). Long-Term PM_{2.5} Exposure and Respiratory, Cancer, and Cardiovascular Mortality in Older US Adults. *Am J Epidemiol*, 186(8), 961-969. doi:10.1093/aje/kwx166
- Revised air quality standard for particle pollution and updates to the air quality index. (2012). Retrieved from https://www.epa.gov/sites/default/files/2016-04/documents/2012_aqi_factsheet.pdf
- Schneider, I. L., Teixeira, E. C., Silva Oliveira, L. F., & Wiegand, F. (2015). Atmospheric particle number concentration and size distribution in a traffic-impacted area. *Atmospheric Pollution Research*, 6(5), 877-885. doi:10.5094/apr.2015.097
- Seangkiatiyuth, K., Surapipith, V., Tantrakarnapa, K., & Lothongkum, A. W. (2011). Application of the AERMOD modeling system for environmental impact assessment of NO₂ emissions from a cement complex. *Journal of*

- Environmental Sciences*, 23(6), 931-940. doi:10.1016/s1001-0742(10)60499-8
- Shou, Y., Huang, Y., Zhu, X., Liu, C., Hu, Y., & Wang, H. (2019). A review of the possible associations between ambient PM_{2.5} exposures and the development of Alzheimer's disease. *Ecotoxicol Environ Saf*, 174, 344-352. doi:10.1016/j.ecoenv.2019.02.086
- Shrestha, R. M., Kim Oanh, N. T., Shrestha, R., Rupakheti, M., Permadi, D. A., Kanabkaew, T., & Salony, R. (2012). *Atmospheric Brown Cloud (ABC) Emission Inventory Manual*. Nairobi, Kenya: United Nations Environment Programme.
- Teerawat Namcome, R. T. (2021). The Impact of Fine Particulate Matter (PM_{2.5}) Pollution on the Number of Foreign Tourists in Chiang Mai and Bangkok. *Rajabhat Chiang Mai research journal*.
- Tesse, L. T., Cristiane, L. T., & Michael, A. J. (2017). *AERMOD View User Guide V.9.5*. Waterloo, Ontario, Canada.: Lakes Environmental Software.
- US.EPA. Air Pollutant Receptor Modeling. Retrieved from <https://www.epa.gov/scram/air-pollutant-receptor-modeling#:~:text=Receptor%20models%20are%20mathematical%20or,pollutants%20at%20a%20receptor%20location>.
- กรมควบคุมมลพิษ, ก. ข้อมูลดัชนีคุณภาพอากาศ. Retrieved from http://air4thai.pcd.go.th/webV2/aqi_info.php
- กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2562). แผนปฏิบัติการขับเคลื่อนวาระแห่งชาติ การแก้ไขปัญหามลพิษด้านฝุ่นละออง.
- กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2563). รายงานสถานการณ์คุณภาพและสิ่งแวดล้อม พ.ศ.2563. <https://www.onep.go.th/book/soereport2020/>
- การทางพิเศษแห่งประเทศไทย. (2563). รายงานสถิติปริมาณจราจร รายได้ค่าผ่านทางพิเศษและอุบัติเหตุบนทางพิเศษ ปีงบประมาณ 2562.
- การทางพิเศษแห่งประเทศไทย. (2564). รายงานสถิติปริมาณจราจร รายได้ค่าผ่านทางพิเศษและอุบัติเหตุบนทางพิเศษปีงบประมาณ 2563.
- พานิช, น. (2558). ตำราระบบบำบัดมลพิษอากาศ กรมโรงงานอุตสาหกรรม.
- วรารุณ, ๒. (2551). แบบจำลองคุณภาพอากาศ AERMOD. เอกสารประกอบการบรรยายรายวิชา วล.631 ส่วนแผนงานสำนักการจัดการคุณภาพอากาศและเสียง. (2561). คุณภาพอากาศกสถานี่ตรวจวัดบริเวณ

- พื้นที่ทั่วไปในกรุงเทพมหานครแยกตามรายสถานี ปี 2561. In.
- ส่วนแผนงานสำนักการจัดการคุณภาพอากาศและเสียง. (2562). คุณภาพอากาศสถานีตรวจวัดบริเวณพื้นที่ทั่วไปในกรุงเทพมหานครแยกตามรายสถานี ปี 2562. In.
- ส่วนแผนงานสำนักการจัดการคุณภาพอากาศและเสียง. (2563). คุณภาพอากาศสถานีตรวจวัดบริเวณพื้นที่ทั่วไปในกรุงเทพมหานครแยกตามรายสถานี ปี 2563. In.
- สุขเกษม, พ. (2558). การจัดการคุณภาพอากาศของโรงงานโดยใช้แบบจำลองคุณภาพอากาศร่วมกับแนวทางเทคโนโลยีสะอาด. (วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี





ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ก
ปริมาณการจราจรบริเวณถนนอังรีดูนังต์

ปี	เดือน	วัน	แยก	Line Source	ช่วงเวลา	ประเภทของยานพาหนะแบ่งตามรายการจราจร					ประเภทของยานพาหนะแบ่งตามตัวคูณเฉลี่ย					
						รถยนต์นั่ง	ผู้โดยสาร	มอเตอร์ไซด์	จักรยาน	สามล้อ	SUM	PC	Light duty veh	Heavy duty veh	other veh	
2564	2	Fri		สี่วงค์	07.00 - 09.00	2178	370	18	0	6	33	2605	2178	370	24	33
					09.00 - 16.00	7379	1814	42	0	106	127	9468	7379	1814	148	127
					16.00 - 19.00	2424	876	15	0	15	35	3365	2424	876	30	35
					กลางคืน	3766.07	383.93	13.67	0.00	23.15	53.47	4240.29	3766.07	383.93	36.82	53.47
					Sum	15747.07	3443.93	88.67	0.00	150.15	248.47	19678.29	15747.07	3443.93	238.82	248.47
2563	1	Fri	อังรีดูนังต์	07.00 - 09.00	1993	543	17	0	13	26	2592	1993	543	30	26	
					09.00 - 16.00	7446	1674	30	0	42	118	9310	7446	1674	72	118
					16.00 - 19.00	3087	495	12	0	5	77	3676	3087	495	17	77
					กลางคืน	3937.38	340.27	10.75	0.00	10.94	60.60	4359.94	3937.38	340.27	21.69	60.60
					Sum	16463.38	3052.27	69.75	0.00	70.94	281.60	19937.94	16463.38	3052.27	140.69	281.60
				พระรามที่ 4	07.00 - 09.00	4067	756	164	14	23	83	5107	4067	770	187	83
					09.00 - 16.00	15411	3345	475	33	85	454	19803	15411	3378	560	454
					16.00 - 19.00	6152	1517	138	13	11	132	7963	6152	1530	149	132
					กลางคืน	8056.452	704.874	141.6134	7.528	21.68855	183.4465	9115.602	8056.45	712.4020168	163.3019956	183.4465
					Sum	33686.45	6322.874	918.6134	67.53	140.6885	852.4465	41988.6	33686.5	6390.402017	1059.301996	852.4465
5	Thu	ปึกากีสิทธิ์	อังรีดูนังต์	07.00 - 09.00	1673	264	56	3	5	7	2008	1673	267	61	7	
				09.00 - 16.00	7181	1386	140	18	48	44	8817	7181	1404	188	44	
				16.00 - 19.00	3343	680	59	8	8	23	4121	3343	688	67	23	
				กลางคืน	8595.70	704.68	161.37	8.77	38.60	40.85	9549.99	8595.70	713.45	199.98	40.85	
				Sum	20792.70	3034.68	416.37	37.77	99.60	114.85	24495.99	20792.70	3072.45	515.98	114.85	
2562	1	Mon	เฉลิมเต่า	อังรีดูนังต์	07.00 - 09.00	1715	195	73	0	1	28	2012	1715	195	74	28
					09.00 - 16.00	4995	840	297	0	26	184	6342	4995	840	323	184
					16.00 - 19.00	2208	222	101	0	5	210	2746	2208	222	106	210
					กลางคืน	5914.43	874.16	195.86	0.00	13.31	252.90	7250.65	5914.43	874.16	209.16	252.90
					Sum	14832.43	2131.16	666.86	0.00	45.31	674.90	18350.65	14832.43	2131.16	712.16	674.90
				พระรามที่ 1	07.00 - 09.00	4311	654	139	0	10	113	5227	4311	654	24	33
					09.00 - 16.00	11709	3126	621	0	90	960	16506	11709	3126	148	127
					16.00 - 19.00	4571	931	199	0	15	502	6218	4571	931	30	35
					กลางคืน	13655.99	3276.18	398.78	0.00	47.82	943.87	18322.64	13655.99	3276.18	36.82	53.47
					Sum	34246.99	7987.18	1357.78	0.00	162.82	2518.87	46273.64	34246.99	7987.18	24.00	33.00

ปริมาณการจราจรบริเวณถนนพญาไท

ปี	เดือน	วัน	แยก	Line Source	ช่วงเวลา	ประเภทของยานพาหนะแบ่งตามรายงานสำนักการจราจร					ประเภทของยานพาหนะแบ่งตามตัวคูณสถิติ			
						รถยนต์นั่ง	ผู้โดยสาร	มอเตอร์ไซด์	สามล้อ	SUM	PC	Light duty veh	Heavy duty veh	other veh
2563	3	Tue 24	จตุฯ 12	พญาไท	07.00 - 09.00	1908	437	190	0	5	19	1908	437	195
					09.00 - 16.00	6957	1777	578	1	121	75	6957	1778	699
					16.00 - 19.00	2846	756	240	1	23	39	2846	757	263
					กลางคืน	3387.69	361.24	176.06	0.24	26.02	39.75	3387.69	361.48	202.08
					Sum	15098.69	3331.24	1184.06	2.24	175.02	172.75	15098.69	3333.48	1359.08
				ซอยจตุฯ 12	07.00 - 09.00	466	93	1	0	7	30	466	93	8
					09.00 - 16.00	1140	292	9	0	14	52	1140	292	23
					16.00 - 19.00	550	106	0	0	1	14	550	106	1
					กลางคืน	623.68	59.72	1.75	0.00	3.84	28.69	623.68	59.72	5.59
					Sum	2779.68	550.72	11.75	0.00	25.84	124.69	2779.68	550.72	37.59
11	Fri 13		สามย่าน	พญาไท	07.00 - 09.00	2305	547	179	1	6	24	2305	548	185
					09.00 - 16.00	7746	2006	593	0	93	192	7746	2006	686
					16.00 - 19.00	3732	1030	147	0	20	64	3732	1030	167
					กลางคืน	4332.503917	449.5485076	167.4938996	0.125467069	21.6885463	76.77879715	4332.503917	449.6739747	189.1824459
					Sum	18115.50392	4032.548508	1086.4939	1.125467069	140.6885463	356.7787971	18115.50392	4033.673975	1227.182446
				พระรามที่ 4	07.00 - 09.00	6784	1626	131	25	47	72	6784	1651	178
					09.00 - 16.00	24133	6545	521	57	287	351	24133	6602	808
					16.00 - 19.00	9793	2539	188	11	32	96	9793	2550	220
					กลางคืน	12796.65	1343.75	153.10	11.67	66.71	142.31	12796.65	1355.42	219.80
					Sum	53506.65	12053.75	993.10	104.67	432.71	661.31	53506.65	12158.42	1425.80
2562	Wed 13		ปทุมวัน	พญาไท	07.00 - 09.00	5437	880	110	0	23	152	5437	880	133
					09.00 - 16.00	16473	3850	439	0	169	1944	16473	3850	608
					16.00 - 19.00	6817	1263	165	0	24	1220	6817	1263	189
					กลางคืน	18621.04	1054.11	595.01	0.00	180.00	1777.15	18621.04	1054.11	775.01
					Sum	47348.04	7047.11	1309.01	0.00	396.00	5093.15	47348.04	7047.11	1705.01
				พระรามที่ 1	07.00 - 09.00	4051	665	145	38	21	156	4051	703	166
					09.00 - 16.00	11321	2845	462	65	94	1160	11321	2910	556
					16.00 - 19.00	5219	1073	199	28	11	727	5219	1101	210
					กลางคืน	13347.23	806.10	671.68	23.04	105.00	1094.91	13347.23	829.14	776.68
					Sum	33938.23	5389.10	1477.68	154.04	231.00	3137.91	33938.23	5543.14	1708.68
4	Wed 3		ทางเข้าคณะนิติฯ จุฬา	พญาไท	07.00 - 09.00	3124	619	178	3	14	90	3124	622	192
					09.00 - 16.00	12430	3010	485	19	143	450	12430	3029	628
					16.00 - 19.00	5134	1128	273	4	24	188	5134	1132	297
					กลางคืน	13410.10127	836.7066391	780.0143001	4.573128572	150.8360986	390.1593377	13410.10127	841.2797676	930.8503988
					Sum	34098.10127	5593.706639	1716.0143	30.57312857	331.8360986	1118.159338	34098.10127	5624.279768	2047.850399

ปริมาณการจราจรบริเวณถนนสี่พระยา

ปี	เดือน	วัน	แยก	Line Source	ช่วงเวลา	ประเภทของยานพาหนะแบ่งตามรายการสำนักการจราจร						ประเภทของยานพาหนะแบ่งตามตัวคูณมลพิษ				
						รถยนต์นั่ง	ตู้ป้อัพ	มอเตอร์ไซด์	บรรทุก	สามล้อ	SUM	PC	Light duty veh	Heavy duty veh	other veh	
2563	11	Fri	สามย่าน	สี่พระยา	07.00 - 09.00	1267	210	41	0	7	37	1562	1267	210	48	37
		31			09.00 - 16.00	3796	840	121	0	36	128	4921	3796	840	157	128
					16.00 - 19.00	1388	552	49	0	11	43	2043	1388	552	60	43
					กลางคืน	2027.79	201.00	38.46	0.00	9.84	57.04	2334.12	2027.79	201.00	48.30	57.04
					Sum	8478.79	1803.00	249.46	0.00	63.84	265.04	10860.12	8478.79	1803.00	313.30	265.04

ปริมาณการจราจรบริเวณถนนจุฬาลงกรณ์

ปี	เดือน	วัน	แยก	Line Source	ช่วงเวลา	ประเภทของยานพาหนะแบ่งตามรายการสำนักการจราจร										ประเภทของยานพาหนะแบ่งตามตัวคูณมลพิษ			
						รถยนต์นั่ง	ผู้โดยสาร	มอเตอร์ไซด์	บรรทุก	สามล้อ	SUM	PC	Light duty veh	Heavy duty veh	other veh				
2563	3	Tue	จุฬา 12	ซอยจุฬา 12	07.00 - 09.00	466	93	1	0	7	30	597	466	93	8	30			
		24			09.00 - 16.00	1140	292	9	0	14	52	1507	1140	292	23	52			
					16.00 - 19.00	550	106	0	0	1	14	671	550	106	1	14			
					กลางคืน	623.68	59.72	1.75	0.00	3.84	28.69	717.67	623.68	59.72	5.59	28.69			
					Sum	2779.68	550.72	11.75	0.00	25.84	124.69	3492.67	2779.68	550.72	37.59	124.69			
2562	10	Wed	บรรทัดทอง - จุฬา 12	จุฬา 12	07.00 - 09.00	552	144	1	0	2	48	747	552	144	3	48			
		30			09.00 - 16.00	1808	793	8	0	29	225	2863	1808	793	37	225			
					16.00 - 19.00	710	349	3	0	10	83	1155	710	349	13	83			
					กลางคืน	1989.99	226.19	10.00	0.00	34.17	190.79	2451.15	1989.99	226.19	44.17	190.79			
					Sum	5059.99	1512.19	22.00	0.00	75.17	546.79	7216.15	5059.99	1512.19	97.17	546.79			

ปริมาณการจราจรบริเวณถนนพรทิพย์ทอง

ปี	เดือน	วัน	แยก	Line Source	ช่วงเวลา	ประเภทของยานพาหนะแบ่งตามรายการจราจร						ประเภทของยานพาหนะแบ่งตามลักษณะการจราจร			
						รถยนต์นั่ง	ผู้โดยสาร	มอเตอร์ไซด์	จักรยาน	สามล้อ	SUM	PC	Light duty veh	Heavy duty veh	other veh
2564	8	Mon	เจริญผล	บรรทัดทอง	07.00 - 09.00	1926	397	36	0	9	74	1926	397	45	74
					09.00 - 16.00	6549	2220	134	0	84	612	6549	2220	218	612
					16.00 - 19.00	3319	816	80	0	22	283	3319	816	102	283
					กลางคืน	782180	238742	10396	0.00	4782	58071	782180	238742	15178	58071
					Sum	1961580	582042	35396	0.00	16282	154971	1961580	582042	51678	154971
2563	5	Fri	บรรทัดทอง - จรัญเมือง	บรรทัดทอง	07.00 - 09.00	1466	345	36	0	10	64	1466	345	46	64
					09.00 - 16.00	5331	1938	99	0	109	245	5331	1938	208	245
					16.00 - 19.00	2209	589	36	0	27	67	2209	589	63	67
					กลางคืน	283092	36034	3117	0.00	2661	10310	283092	36034	5778	10310
					Sum	1183692	323234	20217	0.00	17261	47910	1183692	323234	37478	47910
2562	10	Wed	สะพานอ่อน	บรรทัดทอง	07.00 - 09.00	1981	633	28		11	40	1981	633	39	40
					09.00 - 16.00	6782	2403	167		59	172	6782	2403	226	172
					16.00 - 19.00	3313	1155	52		12	42	3313	1155	64	42
					กลางคืน	782774	73715	20584	0.00	6833	13613	782774	73715	27417	13613
					Sum	1990374	492815	45284	0.00	15033	39013	1990374	492815	60317	39013
	10	Wed	บรรทัดทอง - จุฬา 12	บรรทัดทอง	07.00 - 09.00	2096	439	51	0	13	89	2096	439	64	89
					09.00 - 16.00	6006	1920	149	0	112	623	6006	1920	261	623
					16.00 - 19.00	2646	975	65	0	27	174	2646	975	92	174
					กลางคืน	696693	58642	22084	0.00	12667	47484	696693	58642	34751	47484
					Sum	1771493	392042	48584	0.00	27867	136084	1771493	392042	76451	136084
				บรรทัดทอง	07.00 - 09.00	1254	390	35	0	6	21	1254	390	41	21
					09.00 - 16.00	3735	1224	101	0	55	54	3735	1224	156	54
					16.00 - 19.00	2040	957	40	0	14	23	2040	957	54	23
					กลางคืน	455625	45221	14667	0.00	6250	5252	455625	45221	20917	5252
					Sum	1158525	302321	32267	0.00	13750	15052	1158525	302321	46017	15052

ปริมาณการจราจรบริเวณถนนพระราม 1

ปี	เดือน	วัน	แยก	Line Source	ช่วงเวลา	ประเภทของยานพาหนะแบ่งตามรายการจราจร						ประเภทของยานพาหนะแบ่งตามตัวคูณเฉลี่ย				
						รถยนต์นั่ง	ผู้โดยสาร	มอเตอร์ไซด์	บรรทุก	สามล้อ	SUM	PC	Light duty veh	Heavy duty veh	other veh	
2563	6	Fri	พงษ์พระราม	พระรามที่ 1	07.00 - 09.00	275	117	0	0	81	479	275	117	6	81	
					09.00 - 16.00	1144	1360	0	0	238	2899	1144	1360	157	238	
		5			16.00 - 19.00	508	521	0	0	53	1089	508	521	7	53	
					กลางคืน	605.73	250.68	0.00	30.98	102.01	989.40	605.73	250.68	30.98	102.01	
					Sum	2532.73	2248.68	0.00	200.98	474.01	5456.40	2532.73	2248.68	200.98	474.01	
	7	Thu	ราชประสงค์	พระราม 1	07.00 - 09.00	602	179	107	1	6	895	602	179	108	6	
					09.00 - 16.00	2158	591	240	18	26	3033	2158	591	258	26	
		30			16.00 - 19.00	1175	255	91	6	13	1540	1175	255	97	13	
					กลางคืน	2773.15	310.00	277.18	15.82	24.84	3401.00	2773.15	310.00	293.00	24.84	
					Sum	6708.15	1335.00	715.18	40.82	69.84	8869.00	6708.15	1335.00	756.00	69.84	
2562	8	Mon	เจริญผล	พระรามที่ 1	07.00 - 09.00	2684	409	127	0	88	3319	2684	409	138	88	
					09.00 - 16.00	6446	2141	473	114	491	9665	6446	2141	587	491	
		3			16.00 - 19.00	3383	1270	170	45	233	5101	3383	1270	215	233	
					กลางคืน	8298.64	2656.55	320.19	70.69	486.62	11832.69	8298.64	2656.55	390.88	486.62	
					Sum	20811.64	6476.55	1090.19	240.69	1298.62	29917.69	20811.64	6476.55	1330.88	1298.62	
	1	Mon	เฉลิมเผ่า	พระรามที่ 1	07.00 - 09.00	4311	654	139	10	113	5227	4311	654	149	113	
					09.00 - 16.00	11709	3126	621	90	960	16506	11709	3126	711	960	
		14			16.00 - 19.00	4571	931	199	15	502	6218	4571	931	214	502	
					กลางคืน	13655.98545	3276.18253	398.7799802	47.8203313	943.8715455	18322.63983	13655.98545	3276.18253	446.6003115	943.8715455	
					Sum	34246.98545	7987.18253	1357.77998	162.8203313	2518.871546	46273.63983	34246.98545	7987.18253	1520.600311	2518.871546	
2563	2	Wed	ปทุมวัน	พระรามที่ 1	07.00 - 09.00	4051	665	145	21	156	5076	4051	703	166	156	
					09.00 - 16.00	11321	2845	462	94	1160	15947	11321	2910	556	1160	
		13			16.00 - 19.00	5219	1073	199	11	727	7257	5219	1101	210	727	
					กลางคืน	13347.22521	806.1018556	671.6789807	105.001925	1094.911438	16047.96094	13347.22521	829.143388	776.6809057	1094.911438	
					Sum	33938.22521	5389.101856	1477.678981	231.001925	3137.911438	44327.96094	33938.22521	5543.143388	1708.680906	3137.911438	

ปริมาณการจราจรบริเวณถนนพหลโยธิน 4

ปี	เดือน	วัน	แยก	Line Source	ช่วงเวลา	ประเภทของยานพาหนะแบ่งตามรายการจราจร						ประเภทของยานพาหนะแบ่งตามตัวคูณพิเศษ				
						รถยนต์นั่ง	ผู้โดยสาร	มอเตอร์ไซด์	บรรทุก	สามล้อ	SUM	PC	Light duty veh	Heavy duty veh	other veh	
2563	1	Fri	รังสิต-นิต	พระรามที่ 4	07.00 - 09.00	4067	756	164	14	23	83	5107	4067	770	187	83
					09.00 - 16.00	15411	3345	475	33	85	454	19803	15411	3378	560	454
					16.00 - 19.00	6152	1517	138	13	11	132	7963	6152	1530	149	132
					กลางคืน	8056.45	704.87	141.61	7.53	21.69	183.45	9115.60	8056.45	712.40	163.30	183.45
					Sum	33686.45	6322.87	918.61	67.53	140.69	852.45	41988.60	33686.45	6390.40	1059.30	852.45
	2	Tue	ศาลาแดง	พระราม 4	07.00 - 09.00	12939	2629	203	20	65	181	16037	12939	2649	268	181
					09.00 - 16.00	39339	10501	767	67	767	611	52052	39339	10568	1534	611
					16.00 - 19.00	15746	3449	289	37	133	246	19900	15746	3486	422	246
					กลางคืน	19677.61	2016.50	219.90	15.08	168.55	310.19	22407.82	19677.61	2031.58	388.44	310.19
					Sum	87701.61	18595.50	1478.90	139.08	1133.55	1348.19	110396.82	87701.61	18734.58	2612.44	1348.19
	11	Fri	สามย่าน	พระรามที่ 4	07.00 - 09.00	6784	1626	131	25	47	72	8685	6784	1651	178	72
					09.00 - 16.00	24133	6545	521	57	287	351	31894	24133	6602	808	351
					16.00 - 19.00	9793	2539	188	11	32	96	12659	9793	2550	220	96
					กลางคืน	12796.65	1343.75	153.10	11.67	66.71	142.31	12796.65	1355.42	219.80	142.31	
					Sum	53506.65	12053.75	993.10	104.67	432.71	661.31	67752.19	53506.65	12158.42	1425.80	661.31
2562	10	Wed	สะพานเหลือง	พระรามที่ 4	07.00 - 09.00	6954	1714	171	18	25	77	8959	6954	1732	196	77
					09.00 - 16.00	22475	8082	432	60	308	472	31829	22475	8142	740	472
					16.00 - 19.00	9970	3600	139	24	61	213	14007	9970	3624	200	213
					กลางคืน	25538.69778	2356.216552	618.344695	17.94073517	328.3393528	408.381065	25538.69778	2374.157287	946.6840224	408.381065	
					Sum	64937.69778	15752.21655	1360.34467	119.9407352	722.3393528	1170.381065	84062.92016	64937.69778	15872.15729	2082.684022	1170.381065

ปริมาณการจราจรบริเวณถนนจุฬาซอย 9

ปี	เดือน	วัน	แยก	Line Source	ช่วงเวลา	ประเภทของการพาหนะแบ่งตามตัวคูณมลพิษ		
						PC	Light duty veh	heavy duty veh other veh
2564	4	Sun	จุฬา 9	ซอยจุฬา 19	Sum	9022.00	193.00	212.00 8489.00
		4						

ปริมาณการจราจรบริเวณถนนเจริญเมือง

ปี	เดือน	วัน	แยก	Line Source	ช่วงเวลา	ประเภทของยานพาหนะแบ่งตามรายงานสำนักการจราจร						ประเภทของยานพาหนะแบ่งตามตัวคูณมลพิษ			
						รถยนต์นั่ง	ผู้โดยสาร	มอเตอร์ไซด์	สามล้อ	SUM	PC	Light duty veh	Heavy duty veh	other veh	
2562	10	Wed 30	สะพานอ่อน	เจริญเมือง	07.00 - 09.00	1143	259	28	4	11	1445	1143	259	32	11
					09.00 - 16.00	2291	669	98	34	51	3143	2291	669	132	51
					16.00 - 19.00	879	295	32	7	22	1235	879	295	39	22
					กลางคืน	2795.72	215.11	131.67	37.50	45.02	3225.02	2795.72	215.11	169.17	45.02
						Sum	7108.72	1438.11	289.67	82.50	129.02	9048.02	7108.72	1438.11	372.17

ปริมาณการจราจรบริเวณถนนจรัสเมือง

ปี	เดือน	วัน	แยก	Line Source	ช่วงเวลา	ประเภทของยานพาหนะแบ่งตามรายการสำนักการจราจร							ประเภทของยานพาหนะแบ่งตามตัวคูณมลพิษ				
						รถยนต์นั่ง	ผู้โดยสาร	มอเตอร์ไซด์	สามล้อ	SUM	PC	Light duty veh	Heavy duty veh	other veh			
2563	5	Fri	บรรทัดทอง - จรัสเมือง	จรัสเมือง	07.00 - 09.00	377	171	0	6	14	568	377	171	6	14		
						896	615	0	31	94	1637	896	616	31	94		
						428	216	0	15	60	719	428	216	15	60		
						534.69	125.72	0.00	9.48	46.07	716.07	534.69	125.84	9.48	46.07		
						กลางคืน	2235.69	1127.72	0.00	61.48	214.07	3640.07	2235.69	1128.84	61.48	214.07	

ปริมาณการจราจรบริเวณถนนจรัญเมือง

ปี	เดือน	วัน	แยก	Line Source	ช่วงเวลา	ประเภทของยานพาหนะแบ่งตามรายการจราจร					ประเภทของยานพาหนะแบ่งตามตัวคูณเฉลี่ย				
						รถยนต์นั่ง	ผู้โดยสาร	มอเตอร์ไซด์	จักรยาน	สามล้อ	SUM	PC	Light duty veh	Heavy duty veh	other veh
2562	11	Mon	มหานทร	จรัญเมือง	07.00 - 09.00	5357	843	16	26	6258	5357	843	32	26	
					09.00 - 16.00	10795	3055	59	137	14153	10795	3055	166	137	
					16.00 - 19.00	4085	1458	35	25	5753	4085	1458	60	150	
					กลางคืน	13421.21	3724.74	45.74	0.00	187.58	17440.81	13421.21	3724.74	107.28	187.58
					Sum	33658.21	9080.74	155.74	0.00	500.58	43604.81	33658.21	9080.74	365.28	500.58
2563	6	Fri	พงษ์พระราม	จรัญเมือง	07.00 - 09.00	5154	1235	106	288	6843	5154	1235	166	288	
					09.00 - 16.00	13812	5217	345	1010	20703	13812	5217	664	1010	
					16.00 - 19.00	6970	2327	153	72	9956	6970	2327	225	434	
					กลางคืน	8152.64	1101.48	110.08	0.00	474.93	8152.64	1101.48	192.28	474.93	
					Sum	34088.64	9880.48	714.08	0.00	2206.93	34088.64	9880.48	1247.28	2206.93	
	8	Wed	วัดดวงแข	จรัญเมือง	07.00 - 09.00	916	313	14	49	1307	916	313	29	49	
					09.00 - 16.00	2511	1999	36	292	4945	2511	1999	143	292	
					16.00 - 19.00	1208	763	9	33	2167	1208	764	42	153	
					กลางคืน	3004.44	540.86	49.17	0.18	264.75	3988.56	3004.44	541.04	178.34	264.75
					Sum	7639.44	3615.86	108.17	1.18	758.75	12407.56	7639.44	3617.04	392.34	758.75

ปริมาณการจราจรบริเวณนคราชาดำรี

ปี	เดือน	วัน	แยก	Line Source	ช่วงเวลา	ประเภทของยานพาหนะแบ่งตามรายการจราจร						ประเภทของยานพาหนะแบ่งตามตัวคูณมลพิษ			
						รถยนต์นั่ง	ผู้โดยสาร	มอเตอร์ไซด์	บรรทุก	สามล้อ	SUM	PC	Light duty veh	Heavy duty veh	other veh
2564	5	Mon	ราชดำรี		07.00 - 09.00	3560	791	136	76	24	4600	3560	867	149	24
					09.00 - 16.00	10573	2697	332	213	63	13953	10573	2910	407	63
					16.00 - 19.00	4137	1353	120	86	24	5735	4137	1439	135	24
					กลางคืน	12116.69	3366.59	244.51	260.79	66.52	16097.93	12116.69	3627.38	287.34	66.52
2563	2	Tue	ศาลาแดง	ราชดำรี	Sum	30386.69	8207.59	832.51	635.79	177.52	40385.93	30386.69	8843.38	978.34	177.52
					07.00 - 09.00	2176	531	161	38	12	2962	2176	569	173	44
					09.00 - 16.00	8504	2157	583	156	215	11697	8504	2313	665	215
					16.00 - 19.00	2999	907	124	67	66	4186	2999	974	147	66
					กลางคืน	3956.99	437.26	151.61	31.75	97.12	4695.15	3956.99	4690.00	172.04	97.12
					Sum	17635.99	4032.26	1019.61	292.75	422.12	23540.15	17635.99	4325.00	1157.04	422.12
	7	Thu	ราชประสงค์	ราชดำรี	07.00 - 09.00	2861	749	182	59	80	3946	2861	808	197	80
		30			09.00 - 16.00	9260	2528	735	258	232	13081	9260	2786	803	232
					16.00 - 19.00	4064	1022	254	121	106	5590	4064	1143	277	106
					กลางคืน	11406.20	1300.19	741.06	132.47	230.76	13877.75	11406.20	1432.66	808.14	230.76
					Sum	27591.20	5599.19	1912.06	570.47	648.76	36494.75	27591.20	6169.66	2085.14	648.76

ปริมาณการจราจรบริเวณถนนสารสิน

ปี	เดือน	วัน	แยก	Line Source	ช่วงเวลา	ประเภทของยานพาหนะแบ่งตามรายการจราจร						ประเภทของยานพาหนะแบ่งตามตัวคูณมลพิษ			
						รถยนต์นั่ง	ผู้โดยสาร	มอเตอร์ไซด์	บรรทุก	สามล้อ	SUM	PC	Light duty veh	Heavy duty veh	other veh
2564	5	Mon	ราชดำรี	สารสิน	07.00 - 09.00	796	150	29	13	7	1004	796	163	38	7
					09.00 - 16.00	2799	808	128	29	23	3863	2799	837	204	23
					16.00 - 19.00	1245	331	39	10	3	1643	1245	341	54	3
					กลางคืน	1400.09	156.78	34.23	6.32	9.86	1624.75	1400.09	163.11	51.70	9.86
					Sum	6240.09	1445.78	230.23	58.32	42.86	8134.75	6240.09	1504.11	347.70	42.86

ภาคผนวก ข

1. ตารางข้อมูลบัญชีการปลดปล่อยมลพิษปี พ.ศ.2561

ตารางที่ 1 ข้อมูลบัญชีการปลดปล่อยมลพิษปี พ.ศ.2561

ถนน		อัตราการปลดปล่อยมลพิษ (g/sec*m ²)				
		PC	LD	HD	OT	รวม
ถนนภาคพื้นดิน (At-grade road)	อังรีตุนังต์	9.25E-06	3.79E-05	1.70E-05	1.25E-06	6.54E-05
	บรรทัดทอง	1.18E-05	6.76E-05	3.94E-05	4.35E-06	1.23E-04
	จรัสเมือง	4.68E-07	5.19E-06	1.27E-06	3.33E-07	7.26E-06
	เจริญเมือง	1.07747E-06	4.78E-06	5.57E-06	1.45E-07	1.16E-05
	จุฬาซอย 9	1.18E-06	4.32E-07	3.08E-06	8.23E-06	1.29E-05
	จุฬาซอย 12	1.06E-06	6.29E-06	1.84E-06	7.08E-07	9.91E-06
	นเรศ	2.78E-06	1.12E-05	9.61E-06	2.75E-06	2.64E-05
	พญาไท	9.66E-06	3.62E-05	5.10E-05	4.72E-06	1.01E-04
	พระราม 1	9.58E-06	5.05E-05	5.45E-05	5.39E-06	1.20E-04
	พระราม 4	1.14E-05	5.55E-05	3.37E-05	1.42E-06	1.02E-04
	ราชดำริ	6.26E-06	3.51E-05	3.37E-05	7.8E-07	7.59E-05
	สารสิน	5.71E-07	3.02E-06	3.14E-06	2.91E-08	6.77E-06
	สี่พระยา	1.51E-06	7.128E-06	5.57E-06	3.55E-07	1.46E-05
	จากรูเมือง	3.86E-06	2.47E-05	8.86E-06	1.13E-06	2.16E-06
ทางพิเศษ (Expressway)	หัวลำโพง	1.11E-06	0	1.46E-06	0	2.57E-06
	สี่พระยา	2.15E-06	0	3.55E-06	0	5.70E-06
	ทางพิเศษศรีรัช	2.14E-05	0	3.89E-05	0	6.03E-05

2. ตารางข้อมูลบัญชีการปลดปล่อยมลพิษปี พ.ศ.2562

ตารางที่ 2 ข้อมูลบัญชีการปลดปล่อยมลพิษปี พ.ศ.2562

ถนน		อัตราการปลดปล่อยมลพิษ (g/sec*m ²)				
		PC	LD	HD	OT	รวม
ถนนภาคพื้นดิน (At-grade road)	อังรีตุนังต์	9.53E-06	3.9028E-05	1.75E-05	1.29E-06	6.74E-05
	บรรทัดทอง	1.22E-05	6.96E-05	4.06E-05	4.47E-06	1.27E-04
	จรัสเมือง	4.82E-07	5.34E-06	1.31E-06	3.42E-07	7.47E-06
	เจริญเมือง	1.11E-06	4.93E-06	5.73E-06	1.50E-07	1.19E-05
	จุฬาซอย 9	1.21E-06	4.45E-07	3.17E-06	8.47E-06	1.33E-05
	จุฬาซอย 12	1.10E-06	6.48E-06	1.90E-06	7.29E-07	1.02E-05
	นเรศ	2.87E-06	1.16E-05	9.89E-06	2.83E-06	2.72E-05
	พญาไท	9.66E-06	3.62E-05	5.01E-05	4.72E-06	1.01E-04
	พระราม 1	9.86E-06	5.21E-05	5.61E-05	5.54E-06	1.24E-04
	พระราม 4	1.18E-05	5.72E-05	3.47E-05	1.46E-06	1.05E-04
	ราชดำริ	6.45E-06	3.62E-05	3.48E-05	8.03E-07	7.82E-05
	สารสิน	5.88E-07	3.11E-06	3.23E-06	3.00E-08	6.96E-06
	สี่พระยา	1.57E-06	7.34E-06	5.73E-06	3.65E-07	1.50E-05
	จากรูเมือง	3.98E-06	2.55E-05	9.12E-06	1.16E-06	3.97E-05
ทางพิเศษ (Expressway)	หัวลำโพง	1.10E-06	0	1.45E-06	0	2.55E-06
	สี่พระยา	2.21E-06	0	3.66E-06	0	5.87E-06
	ทางพิเศษศรีรัช	2.20E-05	0	4.01E-05	0	6.21E-05

3. ตารางข้อมูลบัญชีการปลดปล่อยมลพิษปี พ.ศ.2563

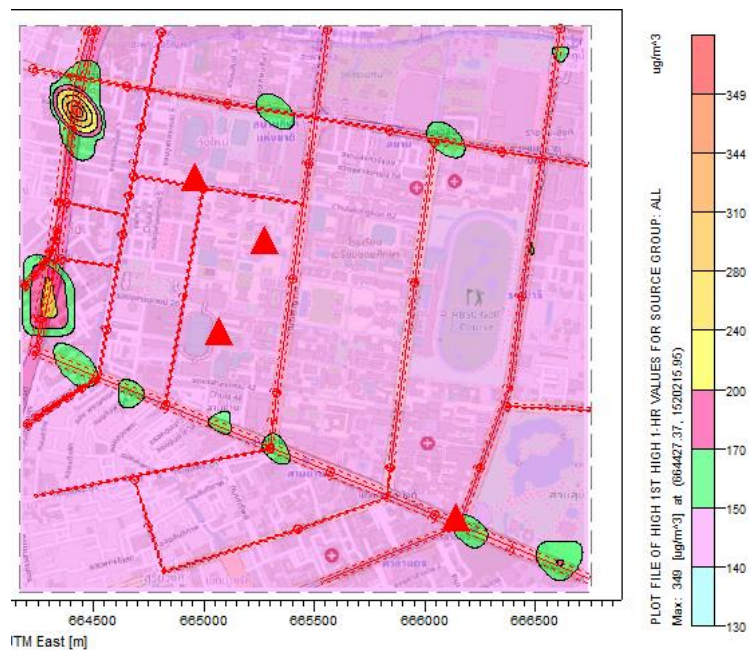
ตารางที่ 3 ข้อมูลบัญชีการปลดปล่อยมลพิษปี พ.ศ.2563

ถนน		อัตราการปลดปล่อยมลพิษ (g/sec*m ²)				
		PC	LD	HD	OT	รวม
ถนนลาดพื้นดิน (At-grade road)	อังรีตุนังต์	9.59E-06	3.93E-05	1.76E-05	1.30E-06	6.78E-05
	บรรทัดทอง	1.23E-05	7.00E-05	4.08E-05	4.50E-06	1.28E-04
	จรัสเมือง	4.85E-07	5.37E-06	1.32E-06	3.45E-07	7.52E-06
	เจริญเมือง	1.12E-06	4.96E-06	5.77E-06	1.51E-07	1.20E-05
	จุฬาซอย 9	1.22E-06	4.48E-07	3.19E-06	8.53E-06	1.34E-05
	จุฬาซอย 12	1.10E-06	6.52E-06	1.91E-06	7.33E-07	1.03E-05
	นเรศ	2.89E-06	1.17E-05	9.96E-06	2.85E-06	2.74E-05
	พญาไท	9.72E-06	3.64E-05	5.04E-05	4.75E-06	1.01E-04
	พระราม 1	9.93E-06	5.24E-05	5.65E-05	5.58E-06	1.24E-04
	พระราม 4	1.18E-05	5.76E-05	3.49E-05	1.47E-06	1.06E-04
	ราชดำริ	6.49E-06	3.64E-05	3.50E-05	8.08E-07	7.87E-05
	สารสิน	5.92E-07	3.13E-06	3.26E-06	3.02E-08	7.01E-06
	สี่พระยา	1.58E-06	7.39E-06	5.77E-06	3.67E-07	1.51E-05
	จากรูเมือง	4.00E-06	2.56E-05	9.18E-06	1.17E-06	4.00E-05
ทางพิเศษ (Expressway)	ห้วยลำโพง	1.11E-06	0	1.46E-06	0	2.57E-06
	สี่พระยา	2.22E-06	0	3.68E-06	0	5.91E-06
	ทางพิเศษศรีรัช	2.21E-05	0	4.03E-05	0	6.25E-05

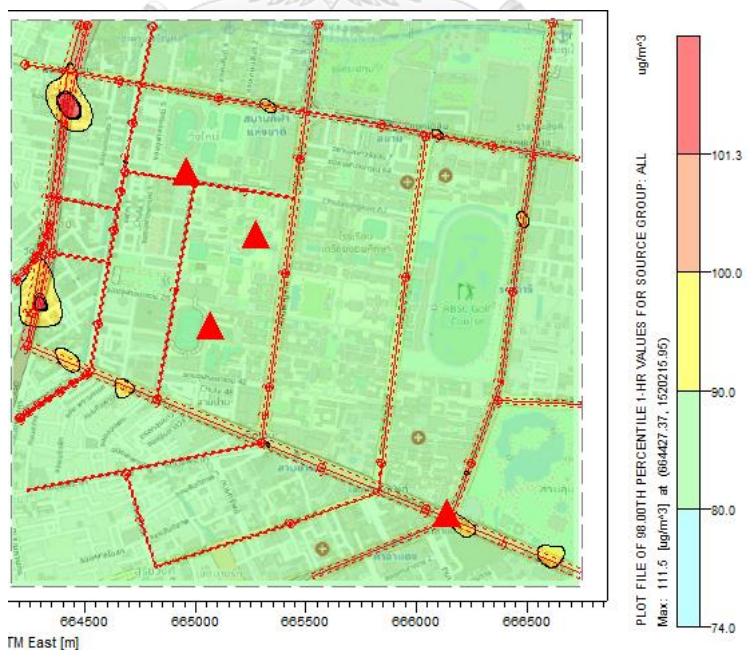
ภาคผนวก ค

1. ผลความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ปี พ.ศ.2561

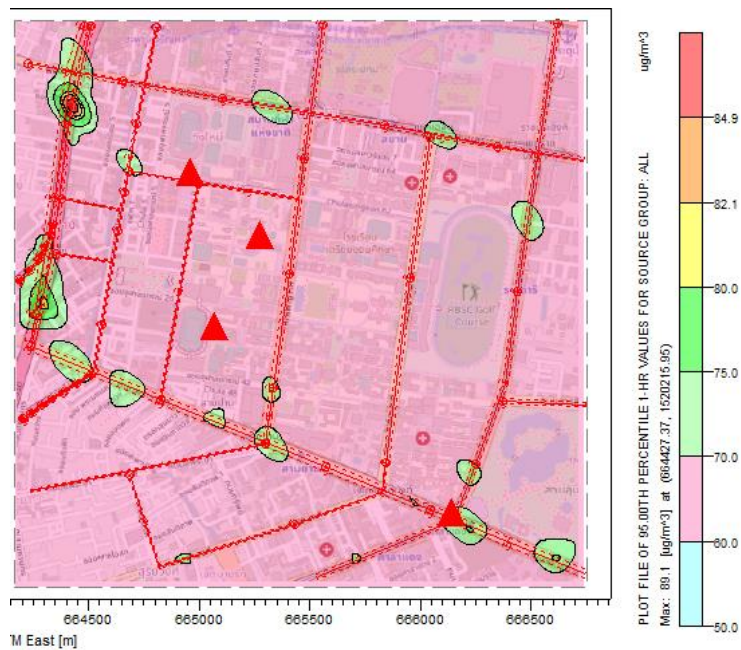
ค่าสูงสุดความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 1 ชั่วโมง (1-Hr Averaged $PM_{2.5}$ Concentrations)



รูปที่ 1 ภาพ Contour ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ สูงสุดเฉลี่ยรายชั่วโมง ปี พ.ศ.2561

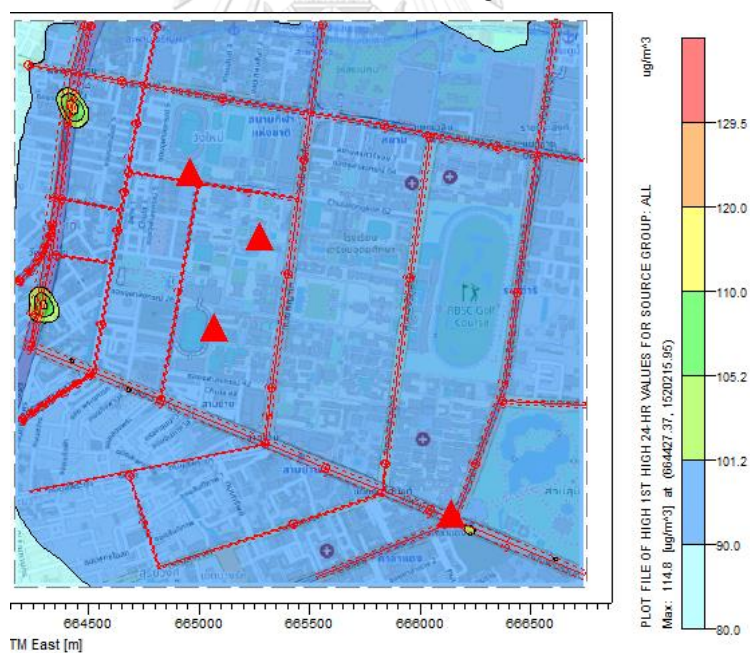


รูปที่ 2 ภาพ Contour เปอร์เซนต์ไทล์ที่ 98 ของความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ยรายชั่วโมง ปี พ.ศ.2561

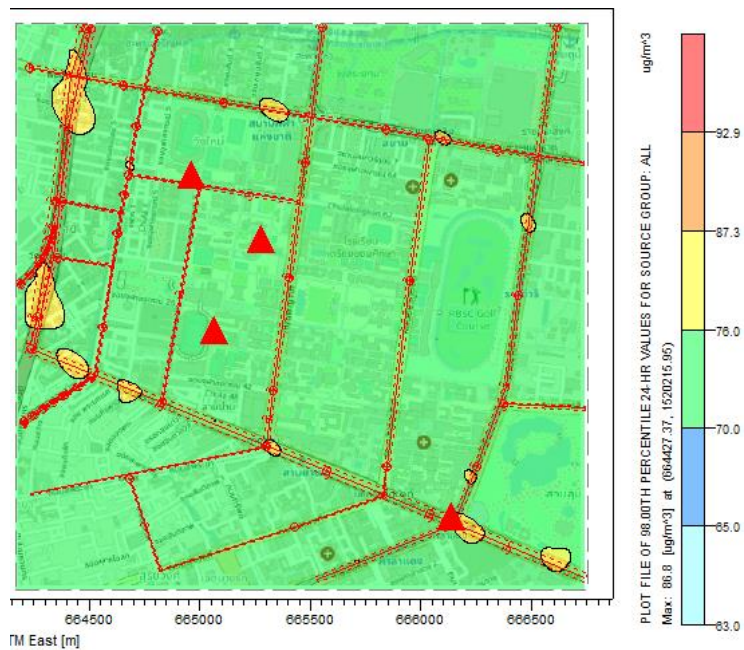


รูปที่ 3 ภาพ Contour เปอร์เซ็นไทล์ที่ 95 ของความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ยรายชั่วโมง ปี พ.ศ.2561

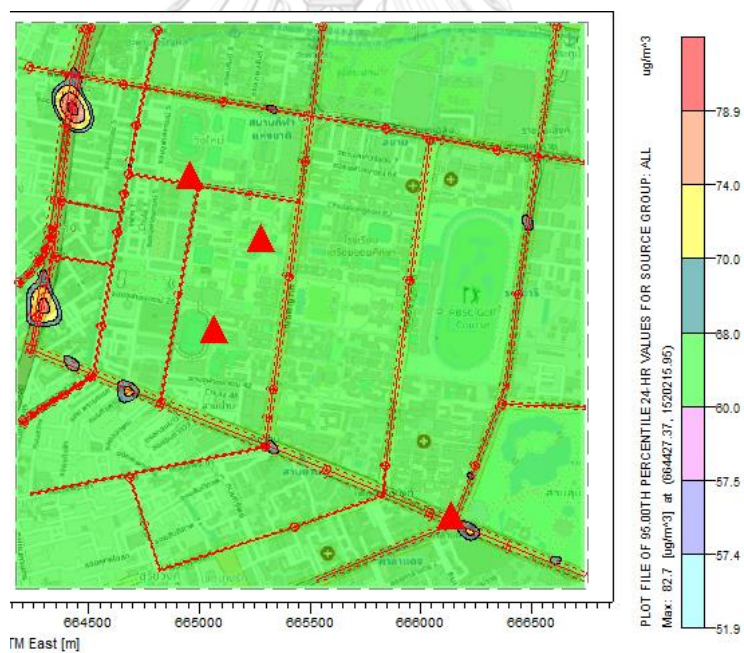
ค่าสูงสุดความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง (24-Hr Averaged $PM_{2.5}$ Concentrations)



รูปที่ 4 ภาพ Contour ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ สูงสุดเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ปี พ.ศ.2561

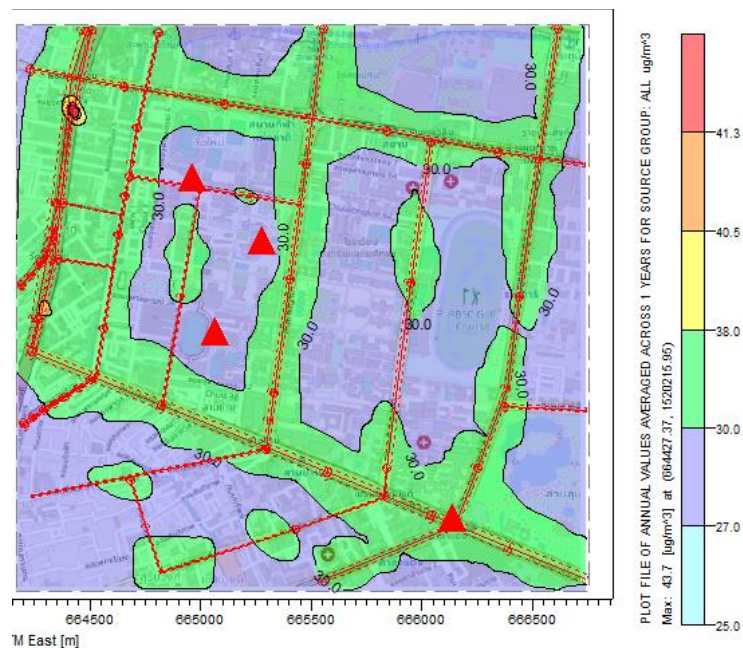


รูปที่ 5 ภาพ Contour เปอร์เซนต์ไทล์ที่ 98 ของความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ปี พ.ศ.2561



รูปที่ 6 ภาพ Contour เปอร์เซนต์ไทล์ที่ 95 ของความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ปี พ.ศ.2561

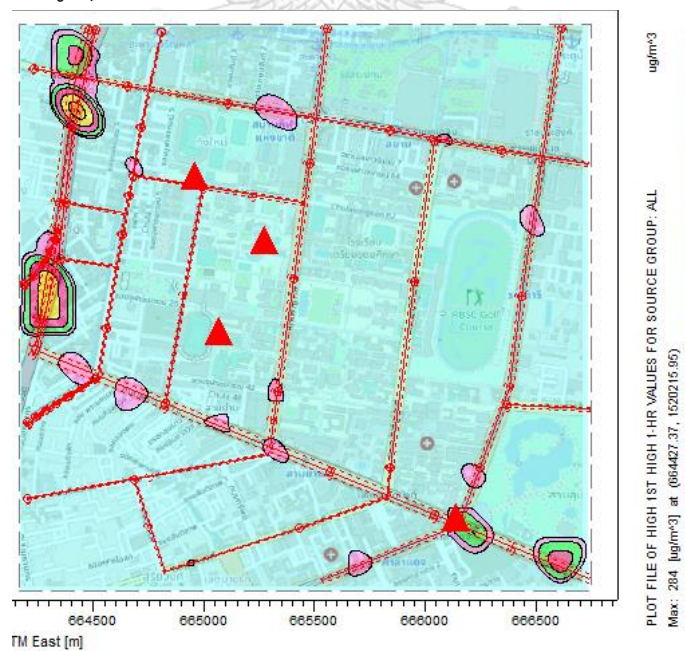
ค่าสูงสุดความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ยรายปี (Annual Averaged $PM_{2.5}$ Concentrations)



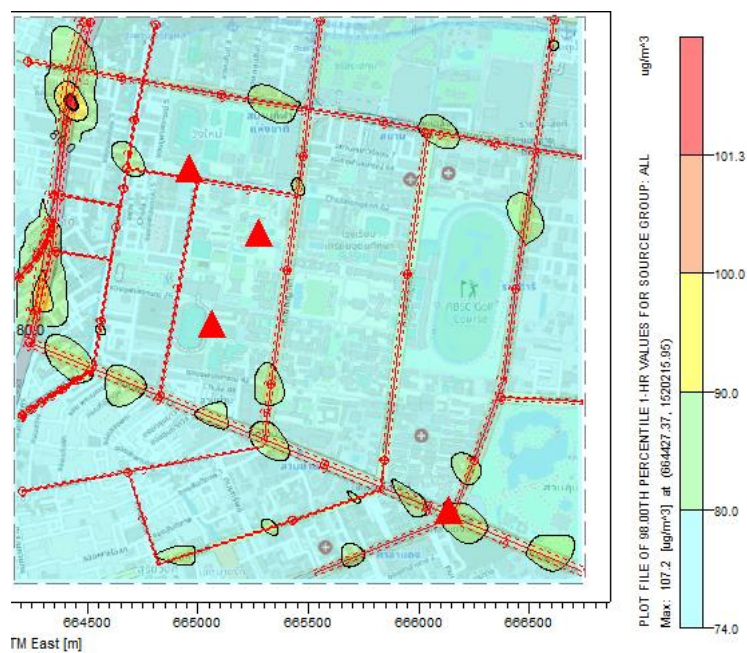
รูปที่ 7 ภาพ Contour ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ สูงสุดเฉลี่ยรายปี ปี พ.ศ.2561

2. ผลความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ปี พ.ศ.2562

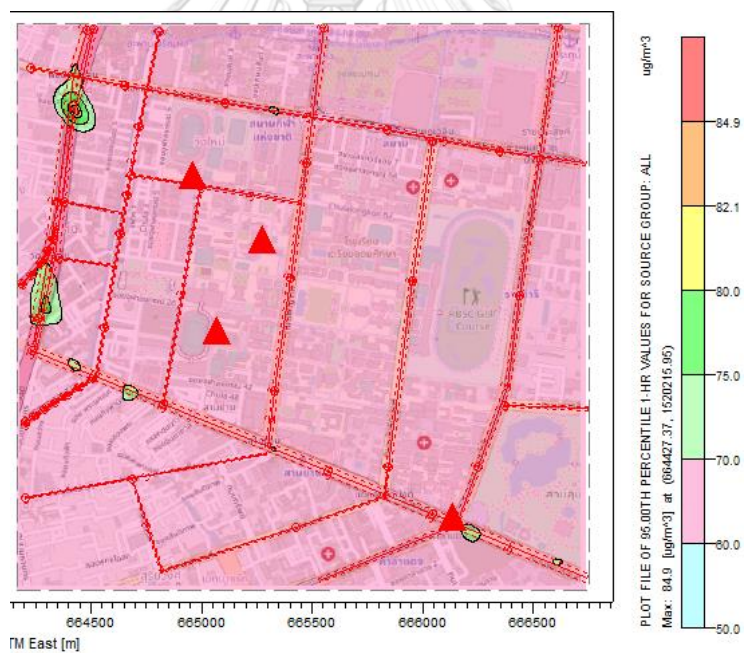
ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ สูงสุดเฉลี่ย 1 ชั่วโมง (1-Hr Averaged $PM_{2.5}$ Concentrations)



รูปที่ 8 ภาพ Contour ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ สูงสุดเฉลี่ยรายชั่วโมง ปี พ.ศ.2562

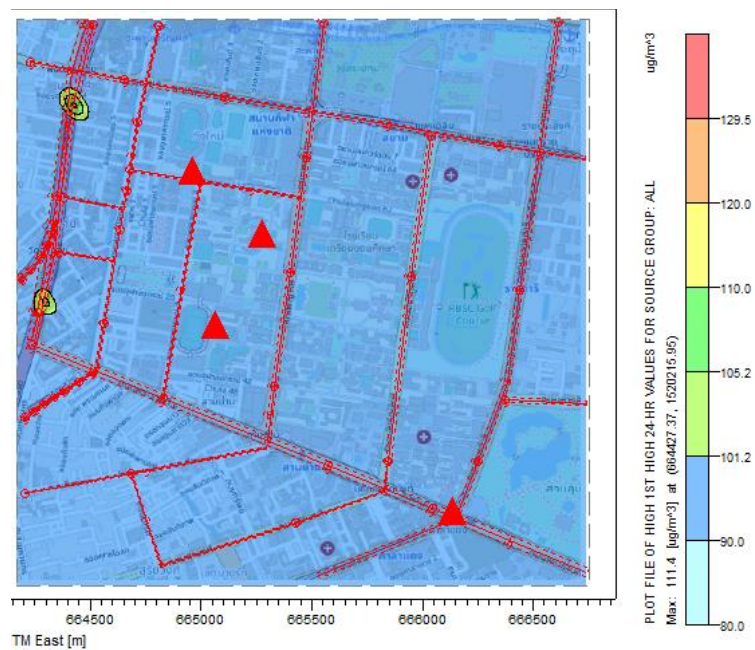


รูปที่ 9 ภาพ Contour เปอร์เซนต์ไทล์ที่ 98 ของความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ยรายชั่วโมง ปี พ.ศ.2562

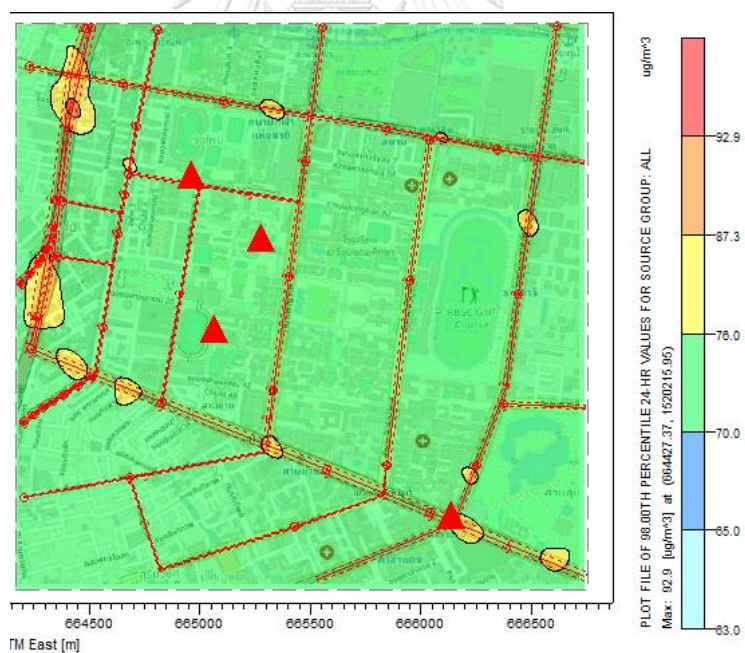


รูปที่ 10 ภาพ Contour เปอร์เซนต์ไทล์ที่ 95 ของความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ยรายชั่วโมง ปี พ.ศ.2562

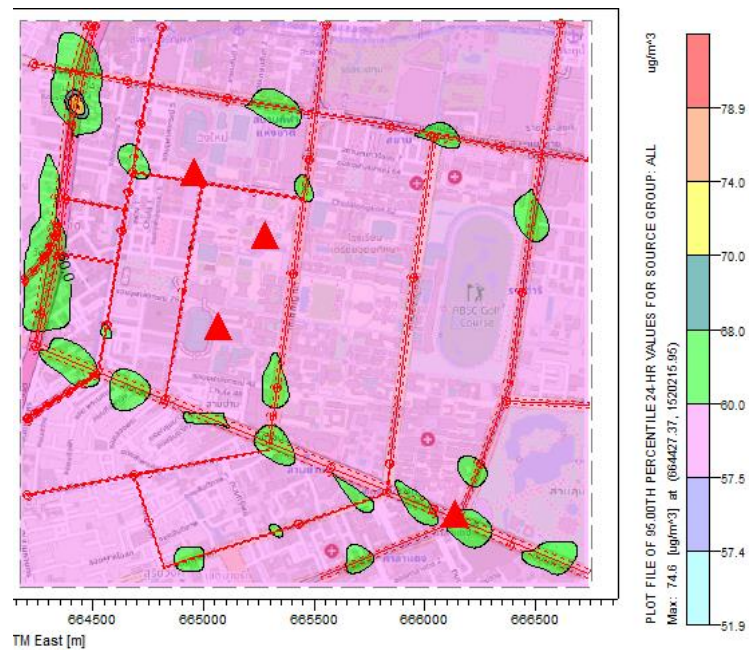
ค่าสูงสุดความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง (24-Hr Averaged $PM_{2.5}$ Concentrations)



รูปที่ 11 ภาพ Contour ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ สูงสุดเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ปี พ.ศ.2562

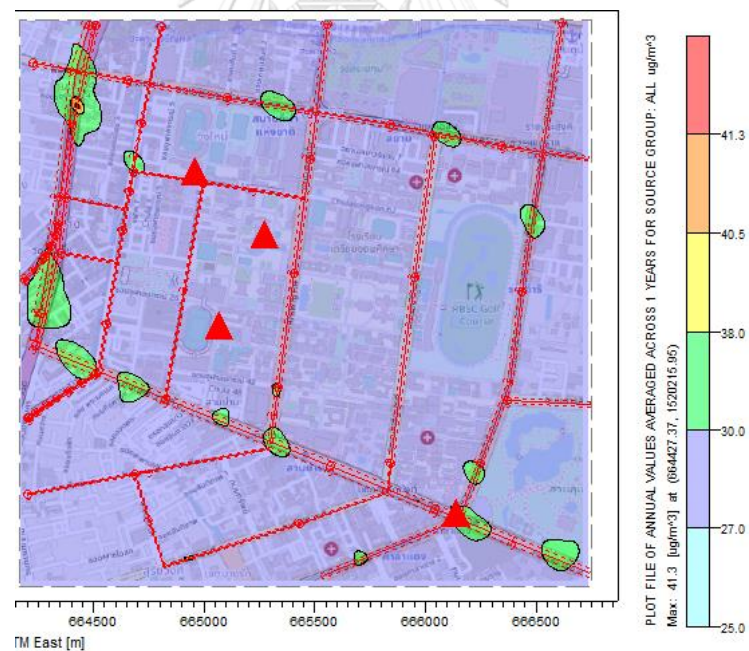


รูปที่ 12 ภาพ Contour เปอร์เซนต์ไทล์ที่ 98 ของความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ปี พ.ศ.2562



รูปที่ 13 ภาพ Contour เปอร์เซนต์ไทล์ที่ 95 ของความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ปี พ.ศ.2562

ค่าสูงสุดความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ยรายปี (Annual Averaged $PM_{2.5}$ Concentrations)



รูปที่ 14 ภาพ Contour ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ สูงสุดเฉลี่ยรายปี ปี พ.ศ.2562

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	ธรรมลักษณ์ รัตนวรชัย
วัน เดือน ปี เกิด	27 ตุลาคม 2540
สถานที่เกิด	เชียงใหม่
วุฒิการศึกษา	สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
ที่อยู่ปัจจุบัน	47/73 ซอย 5/1 หมู่บ้านสีวลี หมู่ 2 ถนนติวานนท์ ตำบลบางพูด อำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี 11120

