



การประเมินมลพิษทางอากาศและมลพิษทางเสียง ในพื้นที่ท่องเที่ยวเมืองเก่าราชบุรี



โดย

นางสาวอรฉัตร อินนุรักษ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม แผน ก แบบ ก 1 ระดับปริญญามหาบัณฑิต

ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2566

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศิลปากร

การประเมินมลพิษทางอากาศและมลพิษทางเสียง ในพื้นที่ท่องเที่ยวเมืองเก่าราชบุรี



โดย
นางสาวอรฉัตร อินนุรักษ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม แผน ก แบบ ก 1 ระดับปริญญามหาบัณฑิต

ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2566

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศิลปากร

ASSESSMENT OF AIR AND NOISE POLLUTION ON A TOURISM AREA IN
RATCHABURI'S OLD TOWN



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for Master of Science (ENVIRONMENTAL SCIENCE)
Department of ENVIRONMENTAL SCIENCE
Silpakorn University
Academic Year 2023
Copyright of Silpakorn University

หัวข้อ การประเมินมลพิษทางอากาศและมลพิษทางเสียง ในพื้นที่
ท่องเที่ยวเมืองเก่าราชบุรี
โดย นางสาวอรฉัตร อินนุรักษ์
สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม แผน ก แบบ ก 1 ระดับปริญญา
มหาบัณฑิต
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก รองศาสตราจารย์ ดร. รัฐพล อ้นแฉ่ง

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

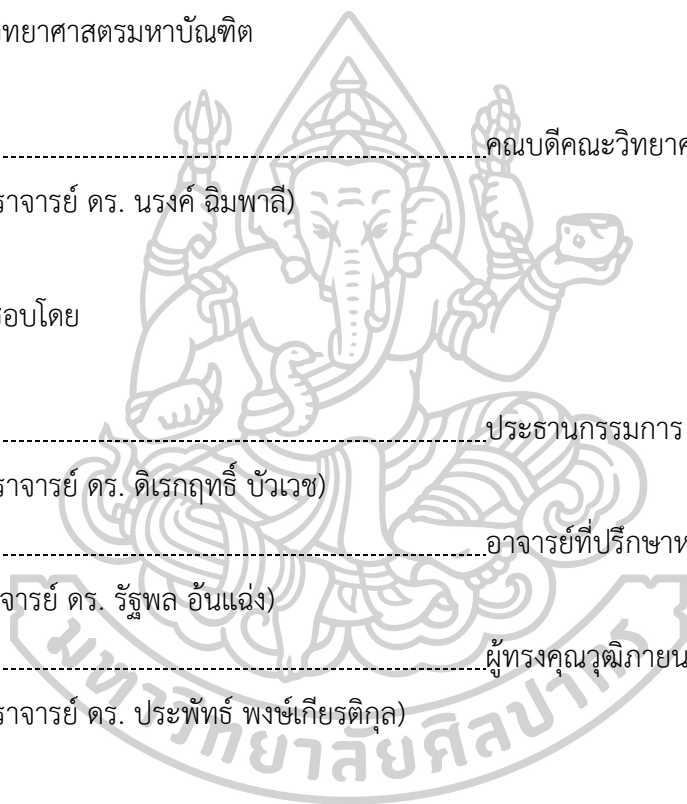
..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นรงค์ ฉิมพาลี)

พิจารณาเห็นชอบโดย

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ดีเรกฤทธิ์ บัวเวช)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร. รัฐพล อ้นแฉ่ง)

..... ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประพัทธ์ พงษ์เกียรติกุล)



630720047 : วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม แผน ก แบบ ก 1 ระดับปริญญาโท

คำสำคัญ : มลพิษทางอากาศ, มลพิษทางเสียง, แบบจำลองคุณภาพอากาศ R-LINE, แบบจำลองทางเสียง SoundPLAN, เส้นทางการท่องเที่ยวแบบเดินเท้า

นางสาว อรฉัตร อินนุรักษ์: การประเมินมลพิษทางอากาศและมลพิษทางเสียง ในพื้นที่ท่องเที่ยว เมืองเก่าราชบุรี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รองศาสตราจารย์ ดร. รัฐพล อ้นแฉ่ง

เมืองเก่าราชบุรี เป็นพื้นที่ที่ถูกกำหนดให้เป็นพื้นที่อนุรักษ์มรดกทางวัฒนธรรมของประเทศไทย ปัจจุบันมีการศึกษาเพื่อพัฒนาเส้นทางการท่องเที่ยวแบบเดินเท้า (Walking street) พื้นที่ เพื่อสร้างรูปแบบการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ทำให้ต้องมีการเปลี่ยนแปลงเส้นทางการจราจรในพื้นที่ ส่งผลให้เกิดการเพิ่มขึ้นของยานพาหนะที่เป็นแหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศและเสียงในถนนข้างเคียง ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนและนักท่องเที่ยว การศึกษามีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝุ่นละออง ($PM_{2.5}$ และ PM_{10}) และระดับเสียง (L_{dn}) จากการเปลี่ยนแปลงเส้นทางการจราจรดังกล่าวในพื้นที่ โดยใช้แบบจำลองคุณภาพอากาศ R-LINE (เวอร์ชัน 1.2) และ แบบจำลองทางเสียง SoundPLAN (เวอร์ชัน 5.0) โดยกำหนดกรณีศึกษา (Scenarios) ในการวิเคราะห์ ดังนี้ กรณีที่ 1 ให้อานพาหนะในเส้นทางการท่องเที่ยวแบบเดินเท้าทั้งหมดไปวิ่งบนถนนเส้นรอง และ กรณีที่ 2 ให้อานพาหนะในเส้นทางการท่องเที่ยวแบบเดินเท้าทั้งหมดอยู่นอกพื้นที่ โดยเปรียบเทียบกับกรณีฐาน (กิจกรรมการจราจรอยู่ในสถานการณ์ปัจจุบัน) พร้อมทั้งทำการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง อีกทั้งได้ประเมินผลการเปลี่ยนแปลงร่วมกันมลพิษทางอากาศและเสียง โดยใช้ดัชนีการลดมลพิษทางอากาศและเสียง (Air-Noise Pollution Reduction Index; ANPr) โดยผลการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองทั้งสองพบว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ทางสถิติ และผลการวิเคราะห์ภายใต้กรณีที่ 1 ในถนนเส้นรองพบว่า $PM_{2.5}$ และ PM_{10} เพิ่มขึ้นร้อยละ 0.3 ถึง 11.4 และ ร้อยละ 0.4 ถึง 15.2 ตามลำดับ ส่วนระดับเสียง L_{dn} วันทำงาน เพิ่มขึ้นร้อยละ 2.7 ถึง 7.9 และวันหยุด เพิ่มขึ้นร้อยละ 3.0 ถึง 8.0 เมื่อเทียบกับกรณีฐาน อันเนื่องมาจากปริมาณยานพาหนะจากเส้นทางการท่องเที่ยวแบบเดินเท้าถูกนำมารวมกับถนนเส้นรองทำให้แหล่งกำเนิดมลพิษเพิ่มมากขึ้นในถนนเส้นรอง ส่วนกรณีที่ 2 ในถนนเส้นหลักพบว่า $PM_{2.5}$ ลดลงร้อยละ 2.6 ถึง 5.6 PM_{10} ลดลงร้อยละ 4.4 ถึง 11.6 และระดับเสียง L_{dn} วันทำงาน ลดลงร้อยละ 0.1 ถึง 20.6 และวันหยุด ลดลงร้อยละ 0.1 ถึง 20.8 จากกรณีฐาน อันเนื่องมาจากผลการลดลงของจำนวนยานพาหนะในถนนเส้นทางการท่องเที่ยวแบบเดินเท้า และจากการวิเคราะห์ค่า ANPr ที่นำผลของมลพิษทางอากาศและเสียงมาผนวกกัน พบว่ากรณีที่ 1 ที่เป็นการจัดการท่องเที่ยวแบบเดินเท้าโดยให้อานพาหนะในเส้นทางดังกล่าวทั้งหมดอยู่นอกพื้นที่เป็นแนวทางที่เหมาะสมกว่า ทั้งนี้ควรมีการจัดการหาสถานที่จอดรถและมีระบบขนส่งสาธารณะที่เหมาะสมเพื่อนำประชาชนหรือนักท่องเที่ยวเข้าสู่พื้นที่ได้อย่างสะดวก

630720047 : Major (ENVIRONMENTAL SCIENCE)

Keyword : Air Pollution, Noise Pollution, R-LINE, SoundPLAN, Walking Street

MISS Orachat INNURAK : Assessment of air and noise pollution on a tourism area in Ratchaburi's old town Thesis advisor : Associate Professor Rattapon Onchang, Ph.D.

Ratchaburi old town has been designated as cultural heritage conservation area of in Thailand. A recent study has proposed building a walking route to promote cultural and environmental-friendly tourism in this area. This requires reroute traffic activities on certain roads in the area. Consequently, it increases vehicle amount in the neighboring streets and elevates both air and noise pollution which affects local citizens and tourists' health. This study attempts to investigate changes of particulate air pollution ($PM_{2.5}$ and PM_1) and noise level (L_{dn}) due to the traffic rerouting in the area. The models called R-LINE (version 1.2) and SoundPLAN (version 5.0) were used as tools to simulate dispersions of $PM_{2.5}$ and PM_1 , and propagation of noise from the traffic emissions, respectively. Two scenarios were set as follows: Scenarios 1; all vehicles used to drive on the walking street move to an appointed minor road, Scenarios 2; all vehicles on the walking street move outside the area. The changes of both pollutions can be obtained by comparing the models results of the scenarios with the results as of base case (present traffic activities). The two models' performance evaluations were conducted prior to carrying out the simulations. Lastly, the co-changes of air and noise pollution were then assessed by means of Air-Noise Pollution Reduction Index (ANPr). For the model evaluation results, statistical analyses indicated that both models' performances are acceptable. The results of scenario 1 indicated that $PM_{2.5}$ and PM_1 increased 0.3-11.4 % and 0.3-11.4 %, respectively, and L_{dn} working day increased 2.7-7.9 % and weekend increased 3.0-8.0 %, as compared to base case. These were the consequences of the number of vehicles on the walking street combined with those in the appointed minor road. For scenario 2, as compared to base case., the results showed that $PM_{2.5}$ and PM_1 decreased 2.6-5.6 % and 4.4-11.6 %, respectively, and L_{dn} working day decreased 0.1-20.6 % and weekend decreased 0.1-20.8 %. This is due to the number of vehicles on the walking street being excluded from the analysis. The ANPr values, obtained from combining the reductions of air and noise pollutions, indicated that scenario 2 - all vehicles present in the walking street move to outside the area - became more suitable. However, this recommends together with providing appropriate parking places with public transportation for the citizens and tourists to travel into the area.



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดีโดยได้รับทุนอุดหนุนการทำวิทยานิพนธ์ ประจำปีงบประมาณ 2565 จากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.รัฐพล อันแดง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำปรึกษา และข้อเสนอแนะในการทำวิทยานิพนธ์ รวมถึงการหาแนวทางแก้ไขปัญหาดังต่าง ๆ ในระหว่างการดำเนินงานวิจัย ตลอดจนการตรวจรายละเอียดต่าง ๆ ในการเขียนเล่มวิทยานิพนธ์อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับการศึกษาครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดิเรกฤทธิ์ บัวเวช ที่กรุณาสละเวลาเป็นประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประพัทธ์ พงษ์เกียรติกุล กรรมการการสอบวิทยานิพนธ์ที่กรุณาเป็นผู้ทรงคุณวุฒิ และยังให้ความอนุเคราะห์แหล่งที่มาข้อมูลบางส่วนที่ได้ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ พร้อมทั้งให้ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณบริษัท จีไอเอช (ไทยแลนด์) จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์แบบจำลองทางเสียง SoundPLAN และขอขอบพระคุณสถานีอุตุนิยมวิทยาราชบุรี จังหวัดราชบุรี กรมอุตุนิยมวิทยา กรุงเทพมหานคร และหน่วยงาน Meteoblue AG ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมทุกท่านที่ได้ให้ความอนุเคราะห์การดำเนินการเอกสารข้อมูล และอำนวยความสะดวกต่าง ๆ ในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

สุดท้ายนี้ ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ครู อาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาทั้งหลายแก่ผู้วิจัย และที่สำคัญที่สุดคือคุณพ่อไววิทย์ และคุณแม่เรืองนิศย์ อินนุรักษ์ รวมถึงทุกคนในครอบครัวที่เป็นกำลังใจพร้อมสนับสนุนและเป็นแรงผลักดันตลอดมา ขอขอบคุณ พี่ น้อง และเพื่อนทุก ๆ คนที่คอยช่วยเหลือและเป็นกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

อรฉัตร อินนุรักษ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ช
สารบัญ.....	ซ
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ท
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มา และความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ในการศึกษา.....	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรม.....	4
2.1 พื้นที่เมืองเก่าราชบุรี.....	4
2.2 มลพิษทางอากาศ.....	5
2.3 มาตรฐานการระบายมลพิษจากยานพาหนะ.....	7
2.4 มาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศ.....	8
2.5 อัตราการระบายมลพิษจากยานพาหนะ.....	8
2.6 มลพิษทางเสียง.....	10
2.7 มาตรฐานระดับเสียงในสิ่งแวดล้อม.....	10
2.8 แบบจำลองคุณภาพอากาศ R-LINE.....	11
2.8.1 โครงสร้างแบบจำลองคุณภาพอากาศ R-LINE.....	11

2.9 แบบจำลองคุณภาพอากาศ AERMOD.....	12
2.9.1 โครงสร้างแบบจำลองคุณภาพอากาศ AERMOD	13
2.9.1.1 โปรแกรมย่อย AERMET	14
2.9.1.2 โปรแกรมย่อย AERMAP.....	17
2.10 แบบจำลองทางเสียง SoundPLAN.....	17
2.10.1 โครงสร้างแบบจำลองทางเสียง SoundPLAN.....	18
2.11 การตรวจวัดระดับเสียง	19
2.11.1 วิธีการตรวจวัดระดับเสียง	19
2.11.2 ตำแหน่งตรวจวัดเสียง	19
2.11.2.1 การตรวจวัดเสียงภายในอาคาร (Indoor Noise Measurement).....	19
2.11.2.2 การตรวจวัดเสียงภายนอกอาคาร (Outdoor Noise Measurement).....	19
2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	20
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน.....	27
3.1 วิธีการดำเนินงาน	27
3.2 สภาพปัจจุบันของพื้นที่ศึกษา.....	29
3.3 พื้นที่เก็บข้อมูล.....	30
3.4 อุปกรณ์ และซอฟต์แวร์ที่ใช้ทำการวิจัย.....	30
3.5 วิธีการศึกษา.....	31
3.5.1 ที่ตั้งและขนาดของพื้นที่.....	31
3.5.2 โครงข่ายของถนน.....	32
3.5.3 การบันทึกจำนวนยานพาหนะ	32
3.5.4 การตรวจวัดมลพิษทางอากาศ.....	33
3.5.5 การตรวจวัดระดับเสียงจากการจราจร	33
3.5.6 การเตรียมข้อมูลอุตุนิมวิทยา.....	34

3.5.6.1 ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาผิวพื้น.....	34
3.5.6.2 ข้อมูลอากาศชั้นบน.....	34
3.5.6.3 ค่าลักษณะเฉพาะพื้นที่.....	35
3.5.7 การเตรียมข้อมูลอัตราการระบายมลพิษจากยานพาหนะ.....	35
3.5.7.1 สัมประสิทธิ์การระบายสารมลพิษ.....	35
3.5.7.2 การคำนวณอัตราการระบายมลพิษจากยานพาหนะ.....	36
3.5.8 วิเคราะห์ความเข้มข้นพื้นฐานของมลพิษ.....	36
3.5.9 ประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง.....	37
3.5.10 กำหนดกรณี.....	38
3.5.11 วิเคราะห์การแพร่กระจายของมลพิษทางอากาศ.....	39
3.5.12 วิเคราะห์การแผ่ของมลพิษทางเสียง.....	40
3.5.13 คำนวณดัชนีการลดมลพิษทางอากาศและเสียง.....	41
บทที่ 4 ผลการศึกษาและอภิปรายผล.....	42
4.1 ปริมาณยานพาหนะในพื้นที่ศึกษา.....	42
4.1.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล.....	42
4.1.2 ปริมาณยานพาหนะ ณ จุดตรวจวัดทั้ง 5 จุดตรวจวัด.....	43
4.2 ปริมาณ PM _{2.5} และ PM ₁ ในพื้นที่ศึกษา.....	46
4.3 ระดับเสียงจากยานพาหนะในพื้นที่.....	48
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณยานพาหนะกับ PM _{2.5} PM ₁ และระดับเสียงจากการตรวจวัด.....	50
4.5 สัมประสิทธิ์การระบายสารมลพิษ.....	51
4.6 ความเข้มข้นพื้นฐานของมลพิษ.....	54
4.7 การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองมลพิษทางอากาศและเสียง.....	54
4.7.1 การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง R-LINE.....	54
4.7.2 การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง SoundPLAN.....	59

4.8 การประเมินการเปลี่ยนแปลง PM _{2.5} และ PM ₁ และระดับเสียงในพื้นที่ศึกษา	60
4.8.1 การวิเคราะห์การแพร่กระจายของ PM _{2.5} และ PM ₁ ด้วยแบบจำลอง R-LINE	60
4.8.1.1 สภาวะอุตุนิยมวิทยา	61
4.8.1.2 ผลการคาดการณ์ปริมาณ PM _{2.5} และ PM ₁ เชิงพื้นที่	61
4.8.1.3 ผลการคาดการณ์ปริมาณ PM _{2.5} และ PM ₁ ณ ตำแหน่งผู้รับ	64
4.8.2 การคาดการณ์การแผ่ของเสียงด้วยแบบจำลอง SoundPLAN	66
4.8.2.1 ข้อมูลอาคารที่นำเข้าไปแบบจำลอง SoundPLAN	66
4.8.2.2 ผลการคาดการณ์ระดับเสียงเชิงพื้นที่	66
4.8.2.3 ผลการคาดการณ์ระดับเสียง ณ ตำแหน่งผู้รับ	72
4.8.3 ดัชนีการลดมลพิษทางอากาศและเสียง	75
4.9 อภิปรายผลการศึกษา	76
4.9.1 ข้อจำกัดที่พบในการศึกษา	79
บทที่ 5 ผลการศึกษาและอภิปรายผลการศึกษา	78
5.1 สรุปผลการศึกษา	78
5.2 ข้อเสนอแนะ	79
5.2.1 ข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย	79
5.2.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยต่อไป	79
ภาคผนวก	81
รายการอ้างอิง	107
ประวัติผู้เขียน	113

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 ค่ามาตรฐานฝุ่นละออง PM _{2.5} ในบรรยากาศทั่วไป	8
ตารางที่ 2 ค่า Albedo แบ่งตามลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินและฤดูกาล ในสภาวะที่อากาศแห้ง..15	
ตารางที่ 3 ค่า Bowen Ratio แบ่งตามลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินและฤดูกาล ในสภาวะที่ความชื้นปกติ	16
ตารางที่ 4 ค่า Surface Roughness Length แบ่งตามลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินและฤดูกาล ...17	
ตารางที่ 5 ตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยาที่ใช้ในการสร้างชุดข้อมูลอุตุนิยมวิทยาด้วยโปรแกรม AERMET35	
ตารางที่ 6 จุดตรวจวัดมลพิษทางอากาศ มลพิษทางเสียง และจุดติดตั้งกล้องนับยานพาหนะ.....	42
ตารางที่ 7 กำหนดการการดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูล.....	43
ตารางที่ 8 ปริมาณยานพาหนะ	44
ตารางที่ 9 มลพิษทางอากาศในพื้นที่ศึกษาจากการตรวจวัด 7 ชั่วโมง.....	47
ตารางที่ 10 ผลการตรวจวัดระดับเสียงในพื้นที่ศึกษา.....	49
ตารางที่ 11 สัมประสิทธิ์การกระจาย PM _{2.5} (กรัม/คั่น-กิโลเมตร).....	52
ตารางที่ 12 สัมประสิทธิ์การกระจาย PM ₁ (กรัม/คั่น-กิโลเมตร).....	53
ตารางที่ 13 ผลการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง R-LINE.....	57
ตารางที่ 14 ผลการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง SoundPLAN.....	60
ตารางที่ 15 ปริมาณ PM _{2.5} และ PM ₁ รายวัน ณ ตำแหน่งผู้รับ ระหว่างกรณีฐานกับกรณีที่ 1 ที่ได้ จากแบบจำลอง R-LINE.....	65
ตารางที่ 16 ปริมาณ PM _{2.5} และ PM ₁ รายวัน ณ ตำแหน่งผู้รับ ระหว่างกรณีฐานกับกรณีที่ 2 ที่ได้ จากแบบจำลอง R-LINE.....	65
ตารางที่ 17 ผลการคาดการณ์ระดับเสียง ที่ได้จากแบบจำลอง SoundPLAN (วันทำงาน)	73
ตารางที่ 18 ผลต่างของระดับเสียง ในกรณีที่ 1 และกรณีที่ 2 เมื่อเทียบกับกรณีฐาน (วันทำงาน)	73
ตารางที่ 19 ผลการคาดการณ์ระดับเสียง ที่ได้จากแบบจำลอง SoundPLAN (วันหยุด).....	74

ตารางที่ 20 ผลต่างของระดับเสียง ในกรณีที่ 1 และกรณีที่ 2 เมื่อเทียบกับกรณีฐาน (วันหยุด).....75

ตารางที่ 21 การลดลงของระดับมลพิษ 76

ตารางที่ 22 ดัชนีการลดมลพิษทางอากาศและเสียง (ANPr)..... 76



สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1 ขอบเขตพื้นที่เมืองเก่าราชบุรี.....	5
ภาพที่ 2 องค์ประกอบของฝุ่นละออง.....	7
ภาพที่ 3 โครงสร้างการทำงานของแบบจำลองคุณภาพอากาศ R-LINE.....	12
ภาพที่ 4 โครงสร้างการทำงานของแบบจำลองคุณภาพอากาศ AERMOD.....	14
ภาพที่ 5 โครงสร้างการทำงานของ SoundPLAN.....	18
ภาพที่ 6 ความเข้มข้น PM _{2.5} รายชั่วโมง จากยานพาหนะ ที่ได้จากแบบจำลอง R-LINE.....	21
ภาพที่ 7 ระดับเสียงก่อนและหลังมาตรการการลดผลกระทบจากเสียงการจราจรในพื้นที่ศึกษาที่ได้จาก SoundPLAN.....	23
ภาพที่ 8 ขั้นตอนการศึกษา.....	28
ภาพที่ 9 ขอบเขตพื้นที่ศึกษา.....	31
ภาพที่ 10 ปริมาณยานพาหนะ (คัน/ชั่วโมง) วันทำงาน.....	45
ภาพที่ 11 ปริมาณยานพาหนะ (คัน/ชั่วโมง) วันหยุด.....	46
ภาพที่ 12 ความเข้มข้นของ PM _{2.5} จากการตรวจวัดทั้ง 5 จุดตรวจวัด.....	48
ภาพที่ 13 ความเข้มข้นของ PM ₁ จากการตรวจวัดทั้ง 5 จุดตรวจวัด.....	48
ภาพที่ 14 ระดับเสียงจากการตรวจวัดรายชั่วโมงทั้ง 5 จุดตรวจวัด.....	50
ภาพที่ 15 ปริมาณยานพาหนะรายชั่วโมงวันทำงาน และความเข้มข้นของ PM _{2.5} และ PM ₁ จากการตรวจวัด 7 ชั่วโมง เฉลี่ย 5 จุดตรวจวัด.....	51
ภาพที่ 16 ปริมาณยานพาหนะรายชั่วโมงวันทำงาน และระดับเสียงจากการตรวจวัด 7 ชั่วโมง เฉลี่ย 5 จุดตรวจวัด.....	51
ภาพที่ 17 ความเข้มข้นของ PM _{2.5} เปรียบเทียบระหว่างแบบจำลอง R-LINE กับการตรวจวัด 5 จุดตรวจวัด ระยะเวลา 7 ชั่วโมง (µg/m ³).....	55

ภาพที่ 18 ความเข้มข้นของ PM_{10} เปรียบเทียบระหว่างแบบจำลอง R-LINE กับการตรวจวัด 5 จุด ตรวจวัด ระยะเวลา 7 ชั่วโมง ($\mu g/m^3$).....	56
ภาพที่ 19 Quantile – Quantile Plots ของ $PM_{2.5}$ จากแบบจำลอง R-LINE กับการตรวจวัด	58
ภาพที่ 20 Quantile – Quantile Plots ของ PM_{10} จากแบบจำลอง R-LINE กับการตรวจวัด.....	58
ภาพที่ 21 ระดับเสียงเฉลี่ยเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลอง SoundPLAN กับการตรวจวัด 5 จุด ตรวจวัด [dB(A)].....	59
ภาพที่ 22 Quantile – Quantile plots ระดับเสียงเฉลี่ยเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลอง SoundPLAN กับการตรวจวัด [dB(A)]	60
ภาพที่ 23 ฝั่งลม (Wind rose) ของพื้นที่ศึกษา.....	61
ภาพที่ 24 การแพร่กระจายของ $PM_{2.5}$ รายวัน ในพื้นที่ศึกษา ที่เกิดจากยานพาหนะบนถนน ($\mu g/m^3$) จากการคำนวณด้วยแบบจำลอง R-LINE	63
ภาพที่ 25 การแพร่กระจายของ PM_{10} รายวัน ในพื้นที่ศึกษา ที่เกิดจากยานพาหนะบนถนน ($\mu g/m^3$) จากการคำนวณด้วยแบบจำลอง R-LINE	64
ภาพที่ 26 อาคารและถนนในพื้นที่ศึกษาที่นำเข้าแบบจำลอง SoundPLAN	66
ภาพที่ 27 ระดับเสียงกลางวัน วันทำงาน.....	68
ภาพที่ 28 ระดับเสียงกลางคืน วันทำงาน	69
ภาพที่ 29 ระดับเสียงกลางวัน วันหยุด.....	70
ภาพที่ 30 ระดับเสียงกลางคืน วันหยุด.....	71

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มา และความสำคัญ

ปัจจุบันปัญหามลพิษทางอากาศ (Air Pollution) และมลพิษทางเสียง (Noise Pollution) ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ในวงกว้างเพิ่มมากขึ้น โดยสาเหตุส่วนใหญ่เกิดจากยานพาหนะ ซึ่งปัญหามลพิษทางอากาศ รวมถึงอนุภาคฝุ่นละอองขนาดต่าง ๆ และมลพิษทางเสียง ที่เกิดจากยานพาหนะมักเกิดในแหล่งชุมชน เนื่องจากการจราจรที่หนาแน่น และติดขัด จากความเจริญก้าวหน้าทางเศรษฐกิจ และเทคโนโลยี ส่งผลให้บริเวณดังกล่าวเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศ รวมถึงอนุภาคฝุ่นละอองขนาดต่าง ๆ จากท่อไอเสียยานพาหนะที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงแบบไม่สมบูรณ์ โดยสารมลพิษ และฝุ่นละอองสามารถแพร่กระจายสู่บรรยากาศ ส่งผลเสียต่อสุขภาพของมนุษย์ อีกทั้งยานพาหนะเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษทางเสียงที่ก่อให้เกิดอันตรายต่อระบบการได้ยิน สุขภาพกาย และสุขภาพจิต

จังหวัดราชบุรี มีประวัติความเป็นมายาวนานเป็นที่น่าสนใจในด้านประวัติศาสตร์ และโบราณคดี (นิตยา พลขำนิ, 2549) ปัจจุบันยังคงดำรงซึ่งวัฒนธรรม และโบราณสถานทางประวัติศาสตร์ อีกทั้งจังหวัดราชบุรีถูกประกาศเป็นเขตพื้นที่เมืองเก่าราชบุรี ว่าด้วยการอนุรักษ์และพัฒนากรุงรัตนโกสินทร์ และเมืองเก่า พ.ศ. 2546 เพื่อให้เมืองเก่าราชบุรีเป็นมรดกทางวัฒนธรรมที่สืบทอดความเจริญรุ่งเรืองด้านศิลปวัฒนธรรม (สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2560) ในอดีตถึงปัจจุบัน โบราณสถาน และร่องรอยวัฒนธรรมต่างๆ กลายเป็นแหล่งท่องเที่ยวของจังหวัดราชบุรี และจากโครงการพัฒนาทุนทางวัฒนธรรมเพื่อการท่องเที่ยวเมืองน้ำอยู่ราชบุรี พ.ศ. 2563 พัฒนาเมืองเก่าราชบุรีสู่เมืองสร้างสรรค์ น้ำอยู่ และยั่งยืน มีการพัฒนาเส้นทางการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมในรูปแบบต่าง ๆ รวมไปถึงเส้นทางการท่องเที่ยวแบบเดินเท้า (Walking Street) ในพื้นที่เมืองเก่าราชบุรี ซึ่งถึงแม้ว่าจะสามารถดึงดูดนักท่องเที่ยวให้มาเยี่ยมชมย่านเมืองเก่าราชบุรีมากขึ้น แต่ก็มาพร้อมกับการเพิ่มขึ้นของยานพาหนะ ซึ่งส่งผลให้เกิดปัญหามลพิษทางอากาศและเสียงในพื้นที่ อย่างไรก็ตามแนวทางการจัดการมลพิษที่เหมาะสมจำเป็นต้องมีการปรับรูปแบบการจราจรในเส้นทางท่องเที่ยวแบบเดินเท้า ส่งผลให้มลพิษที่เกิดจากยานพาหนะมีการเปลี่ยนแปลงไปตามรูปแบบการจราจรที่กำหนด ผู้วิจัยเล็งเห็นความสำคัญของปัญหามลพิษทางอากาศ และมลพิษ

ทางเสียงจากยานพาหนะ อันเนื่องมาจากความเจริญก้าวหน้าทางการท่องเที่ยว และเศรษฐกิจ การวิจัยครั้งนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาสารมลพิษในบรรยากาศ และระดับเสียง จากยานพาหนะ ซึ่งมีการกำหนดรูปแบบการจราจรในพื้นที่ 2 รูปแบบ เพื่อศึกษาความเปลี่ยนแปลงของมลพิษจากปริมาณยานพาหนะที่เปลี่ยนแปลงไปในเขตเส้นทางท่องเที่ยวแบบเดินเท้า พื้นที่เมืองเก่าราชบุรี

1.2 วัตถุประสงค์ในการศึกษา

1.2.1 เพื่อวิเคราะห์การแพร่กระจายของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) และฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 1 ไมครอน (PM_1) จากยานพาหนะ ที่เปลี่ยนแปลงจากการกำหนดเส้นทางทางการท่องเที่ยวแบบเดินเท้าในพื้นที่ศึกษา

1.2.2 เพื่อวิเคราะห์การแผ่ของเสียงที่เกิดจากยานพาหนะ ที่เปลี่ยนแปลงจากการกำหนดเส้นทางทางการท่องเที่ยวแบบเดินเท้าในพื้นที่ศึกษา

1.2.3 เพื่อศึกษาผลร่วมในการลดลงของมลพิษทางอากาศและเสียง ที่เปลี่ยนแปลงจากการกำหนดเส้นทางทางการท่องเที่ยวแบบเดินเท้าในพื้นที่ศึกษา

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1.3.1 กำหนดพื้นที่ศึกษาสำหรับการท่องเที่ยวโดยการเดินเท้า (ตลาดเก่าเมืองราชบุรี) ครอบคลุมพื้นที่เขตเมืองเก่าราชบุรี ตำบลหน้าเมือง อำเภอเมือง จังหวัดราชบุรี เนื้อที่รวม 0.31 ตารางกิโลเมตร (ภาพที่ 9) โดยพื้นที่ที่กำหนดขึ้นนี้เป็นผลการศึกษาของชุดโครงการวิจัยการอนุรักษ์และพัฒนาเมืองเก่าราชบุรีเมืองสร้างสรรค์และน่าอยู่เพื่อการพัฒนาเศรษฐกิจฐานวัฒนธรรมและความเป็นอยู่ที่ยั่งยืน โครงการย่อย การพัฒนาทุนทางวัฒนธรรมเพื่อการท่องเที่ยวเมืองน่าอยู่ราชบุรี (คณะโบราณคดี มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2563)

1.3.2 วิเคราะห์การแพร่กระจายของ $PM_{2.5}$ PM_1 และการแผ่ของเสียงจากการจราจร ในพื้นที่ศึกษาด้วยแบบจำลองคุณภาพอากาศ R-LINE และการแผ่ของมลพิษทางเสียงจากการจราจรด้วยแบบจำลอง SoundPLAN โดยมีการประเมินแบบจำลองดังกล่าวด้วยข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดในพื้นที่ศึกษา

1.3.3 ในการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองมลพิษทางอากาศและเสียง ได้กำหนดกรณีฐาน และกรณี 2 กรณี ตามรูปแบบการจัดการจราจรเพื่อสนับสนุนการท่องเที่ยวแบบเดินเท้า และประเมินผล

ร่วมในการลดลงของมลพิษทางอากาศและเสียง โดยใช้ดัชนีการลดมลพิษทางอากาศและเสียง (Air-Noise Pollution Reduction Index, ANPr) (King et al., 2009) (King et al., 2016)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ข้อมูลแสดงการแพร่กระจายของ $PM_{2.5}$ และ PM_1 ตามระดับความเข้มข้นในบรรยากาศในพื้นที่ศึกษา สามารถนำไปเป็นแนวทางในการแก้ไข และจัดการมลพิษทางอากาศ เพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวให้กับจังหวัดราชบุรี

1.4.2 ข้อมูลแสดงระดับการแผ่ของเสียง ที่เกิดจากยานพาหนะในพื้นที่ศึกษา สามารถนำไปเป็นแนวทางในการป้องกัน แก้ไข และจัดการมลพิษทางเสียง เพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวให้กับจังหวัดราชบุรี

1.4.3 ข้อมูลการลดลงของมลพิษทางอากาศ และมลพิษทางเสียง ที่เกิดจากยานพาหนะในพื้นที่ศึกษา นำไปวิเคราะห์หาแนวทางในการป้องกัน แก้ไข และจัดการมลพิษทางอากาศ และเสียงที่เหมาะสม เพื่อใช้ในการพัฒนาพื้นที่ และพัฒนาเส้นทางการท่องเที่ยว

1.4.4 สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับพื้นที่ศึกษาอื่น ๆ หาแนวทางในการป้องกัน และแก้ไขปัญหาให้เหมาะสมกับแต่ละพื้นที่



บทที่ 2

ทบทวนวรรณกรรม

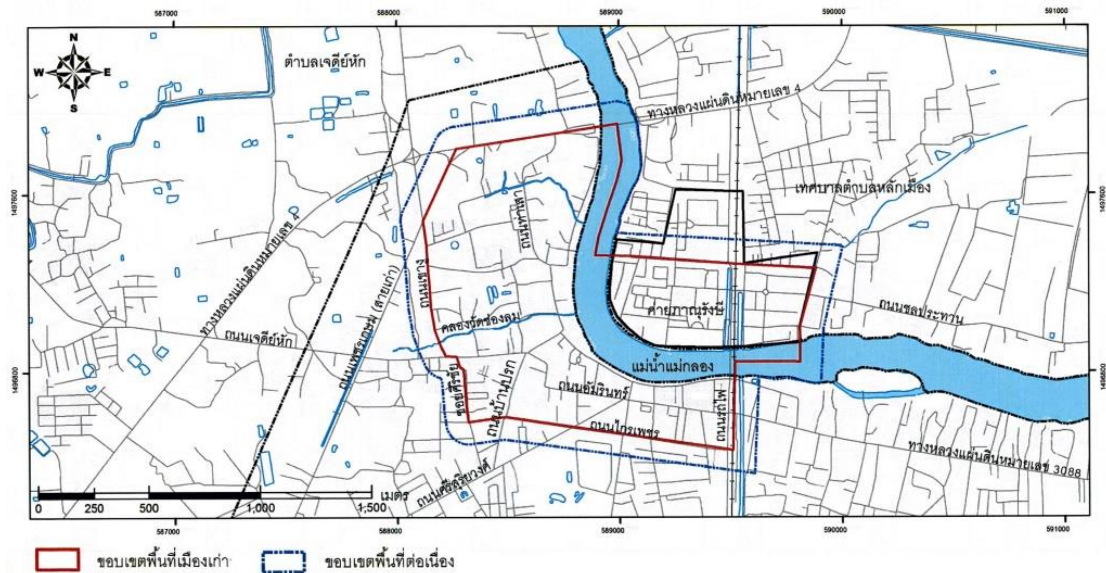
การศึกษามลพิษทางอากาศ และมลพิษทางเสียง จากยานพาหนะในพื้นที่เมืองเก่าราชบุรี จังหวัดราชบุรี ได้ศึกษาการแพร่กระจายของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ด้วยซอฟต์แวร์แบบจำลองคุณภาพอากาศ R-LINE และการแผ่ของเสียงด้วยซอฟต์แวร์แบบจำลองทางเสียง SoundPLAN พร้อมทั้งทำการประเมินแบบจำลองโดยใช้ผลจากการตรวจวัด $PM_{2.5}$ PM_{10} และระดับเสียง เปรียบเทียบกับแบบจำลอง ซึ่งในการศึกษาบทนี้จะกล่าวถึงพื้นที่เมืองเก่าราชบุรี มลพิษทางอากาศจากยานพาหนะ มลพิษทางเสียงจากยานพาหนะ แบบจำลองคุณภาพอากาศ R-LINE แบบจำลองอคูนิยมิวิทยา AERMET (โปรแกรมย่อยในแบบจำลองคุณภาพอากาศ AERMOD) แบบจำลองทางเสียง SoundPLAN วิธีการตรวจวัดเสียง และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง มีรายละเอียดดังนี้

2.1 พื้นที่เมืองเก่าราชบุรี

เมืองเก่าราชบุรีสันนิษฐานว่าเจริญขึ้นในช่วงปลายพุทธศตวรรษที่ 15 (ช่วงเวลาระหว่าง พ.ศ. 1401-1500) พร้อมกับการแผ่ขยายวัฒนธรรมเขมรโบราณเข้ามาในที่ราบลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยา ทั้งนี้หลักฐานที่เห็นชัดเจนที่สุดคือโบราณวัตถุและโบราณสถานที่ตรงกับรัชสมัยของพระเจ้าชัยวรมันที่ 7 (พ.ศ. 1724-1760) โดยเฉพาะบริเวณวัดมหาธาตุวรวิหาร ที่ปบร่องรอยของปราสาทหินที่เป็นราชวิหารปรากฏมาก่อนที่จะถูกรื้อทำลายและพัฒนาขึ้นใหม่เป็นพระปรางค์ในปัจจุบัน เมืองเก่าราชบุรีเป็นเมืองที่มีความเป็นมา และมีพัฒนาการทางด้านประวัติศาสตร์ สังคม วัฒนธรรม และการตั้งถิ่นฐานมายาวนาน ส่งผลให้พื้นที่เมืองเก่าราชบุรีมีแหล่งมรดกทางธรรมชาติ และมรดกทางวัฒนธรรมที่สำคัญหลายแห่ง ส่วนใหญ่ตั้งอยู่ในพื้นที่เทศบาลเมืองราชบุรี ทั้งที่เป็นโบราณสถาน อาคาร และสถานที่ทางสถาปัตยกรรมพื้นถิ่นที่เอกลักษณ์เฉพาะตัว ดำรงซึ่งคุณค่า และความสำคัญของแหล่งมรดกทางธรรมชาติ และมรดกทางวัฒนธรรม (กองการจัดการสิ่งแวดล้อมธรรมชาติและศิลปกรรม, 2561)

จากประกาศคณะกรรมการอนุรักษ์และพัฒนากรุงรัตนโกสินทร์ และเมืองเก่า ว่าด้วยการอนุรักษ์และพัฒนากรุงรัตนโกสินทร์ และเมืองเก่า พ.ศ. 2546 ประกาศเขตพื้นที่เมืองเก่าราชบุรี เนื้อที่รวม 1.57 ตารางกิโลเมตร ให้เมืองราชบุรีเป็นมรดกทางวัฒนธรรมที่สืบทอดความเจริญรุ่งเรืองด้าน

ศิลปวัฒนธรรมอันยิ่งใหญ่ของชาติตลอดไป (สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2560) โดยมีอาณาเขตแสดงดังภาพที่ 1 ขอบเขตพื้นที่เมืองเก่าราชบุรี



ภาพที่ 1 ขอบเขตพื้นที่เมืองเก่าราชบุรี

ที่มา: สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (2560)

2.2 มลพิษทางอากาศ

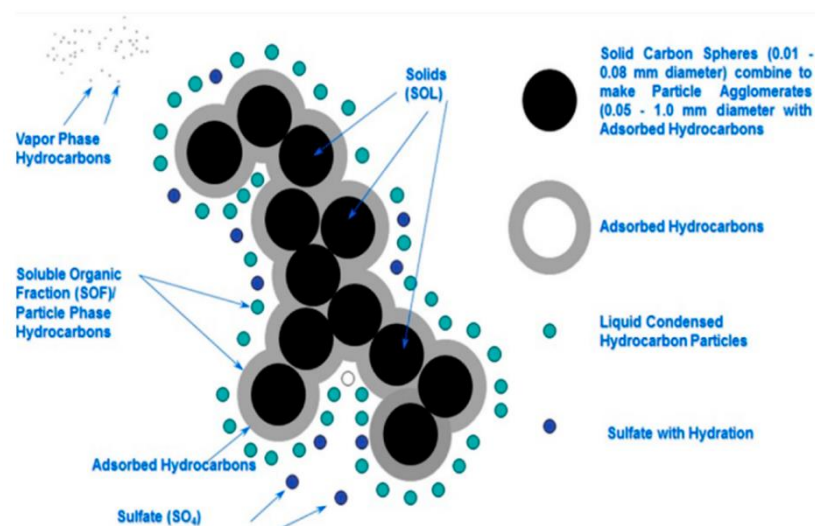
มลพิษทางอากาศ (Air Pollution) อากาศที่ประกอบด้วยออกซิเจนร้อยละ 21 ไนโตรเจนร้อยละ 78 และก๊าซอื่นๆ เล็กน้อยร้อยละ 1 หากบรรยากาศประกอบด้วยสารมลพิษที่มีความเข้มข้นสูงกว่าปกติ จะเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต แหล่งที่ก่อให้เกิดสารมลพิษแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ แหล่งที่เกิดตามธรรมชาติ ได้แก่ พายุ ฝุ่น ภูเขาไฟระเบิด ไฟไหม้ป่า และการเกิดอนุภาคต่าง ๆ และแหล่งที่เกิดจากมนุษย์ เกี่ยวเนื่องกับการเผาไหม้เชื้อต่าง ๆ กิจกรรมของอุตสาหกรรม และการผลิตกระแสไฟฟ้า เป็นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (Sulfur Dioxide; SO₂) ออกไซด์ของไนโตรเจน (Oxide of Nitrogen; NO_x) คาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon Monoxide; CO) ไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon; HC) สารอินทรีย์ระเหย (Volatile organic Compounds; VOC_s) อนุภาค (Particulate Matter; PM) ส่วนประกอบของสารอินทรีย์ระเหยเกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงจากยานพาหนะ เป็นสารก่อมะเร็ง ซึ่งเป็นก๊าซพิษ เป็นสารก่อมลพิษทางอากาศ (กรมส่งเสริมสุขภาพและสิ่งแวดล้อม, 2558)

มลพิษทางอากาศที่เกิดจากยานพาหนะ เกิดจากการใช้ประโยชน์จากยานพาหนะที่มีปริมาณมากส่งผลให้ยานพาหนะเป็นสาเหตุหลักของมลพิษทางอากาศในประเทศไทย มลพิษทางอากาศที่เกิดจากยานพาหนะจะแตกต่างกันตามประเภทของเครื่องยนต์ (เบนซิน ดีเซล ฯลฯ) ประเภทของยานพาหนะ (รถจักรยานยนต์ รถยนต์นั่งส่วนบุคคล รถบรรทุก ฯลฯ) อายุของยานพาหนะ สภาวะการขับขี่ และชนิดของเชื้อเพลิง (Seo et al., 2021) โดยมลพิษทางอากาศที่เกิดจากยานพาหนะเกิดได้สามลักษณะสำคัญ คือ ลักษณะแรก การระเหยของก๊าซจากถังน้ำมันและคาร์บูเรเตอร์ ลักษณะที่สอง การระเหยของก๊าซจากห้องเพลลาข้อเหวี่ยง (Crankcase) และลักษณะที่สาม การระบายอากาศเสียจากระบบไอเสียของรถยนต์ ซึ่งการเผาไหม้เชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ก่อให้เกิดพลังงาน และการเผาไหม้เชื้อเพลิงเป็นการเผาไหม้แบบไม่สมบูรณ์ ก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศ คือ คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) โอโซน (O₃) และฝุ่นละออง (Particulate Matter; PM) โดยฝุ่นละอองที่เกิดจากยานพาหนะส่วนใหญ่เป็นฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM₁₀) (กรมควบคุมมลพิษ, 2546)

ในการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยสนใจศึกษามลพิษอากาศที่เกิดจากยานพาหนะ 2 ชนิด ได้แก่ ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM_{2.5}) ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 1 ไมครอน (PM₁) โดย PM_{2.5} หรือ ฝุ่นละอองขนาดเล็ก (Fine Particle) เป็นอนุภาคที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 2.5 ไมครอน หรือ ไมโครเมตร แขนงลอยอยู่ในอากาศ ร่วมกับไอน้ำ คาร์บอน และก๊าซต่างๆ ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า การแพร่กระจายของ PM_{2.5} ที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง ส่วนใหญ่มาจากเครื่องยนต์ดีเซล (กรมควบคุมมลพิษ, 2546) โดยกระบวนการเกิดฝุ่นละอองค่อนข้างมีความซับซ้อน ซึ่งฝุ่นละอองจากเชื้อเพลิงดีเซลประกอบด้วยส่วนประกอบของน้ำมันเชื้อเพลิงและน้ำมันหล่อลื่นที่ถูกเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ เมื่ออุณหภูมิไอเสียต่ำ อนุภาคฝุ่นละอองจะถูกดูดซับบนผิวของเศษส่วนอินทรีย์ต่าง ๆ (สารประกอบอินทรีย์ที่ไม่เผาไหม้ สารประกอบอินทรีย์ที่ให้ออกซิเจน ไฮโดรคาร์บอน และอนุพันธ์อื่น ๆ) (ภาพที่ 2) และถูกระบายออกทางท่อไอเสีย (Dong et al., 2022) ทั้งนี้สภาพแวดล้อมในเมืองส่งผลต่อการรับสัมผัสได้อย่างเด่นชัด ไม่เพียงแต่การรับสัมผัสฝุ่นละอองที่เกิดจากจากท่อไอเสีย ยังรวมไปถึงการจากเบรกและยางจะส่งผลต่อการปล่อยอนุภาค (European Commission, 2022)

ฝุ่นละอองเหล่านี้สามารถเข้าสู่ร่างกายไปถึงถุงลมในปอด เป็นผลทำให้เกิดโรคในระบบทางเดินหายใจ และโรคปอดต่าง ๆ หากได้รับในปริมาณมาก หรือเป็นเวลานานจะสะสมในเนื้อเยื่อปอด ทำให้การทำงานของปอดเสื่อมประสิทธิภาพลง ทำให้หลอดลมอักเสบ มีอาการหอบหืด และใน

PM_{2.5} มี PM₁ ปะปนอยู่ ทั้งนี้หากอนุภาคฝุ่นละอองมีความละเอียดมากยิ่งขึ้นส่งผลกระทบต่อสุขภาพมากขึ้น โดย PM₁ สามารถซึมเข้าสู่กระแสเลือด หัวใจ และหลอดเลือดได้มากกว่า PM_{2.5} และก่อให้เกิดอาการเรื้อรัง เช่น โรคหัวใจ อีกทั้งยังสามารถส่งผลกระทบต่อพัฒนาการของทารกในครรภ์ (กระทรวงสาธารณสุข, 2558)



ภาพที่ 2 องค์ประกอบของฝุ่นละออง
ที่มา: Dong et al. (2022)

2.3 มาตรฐานการระบายมลพิษจากยานพาหนะ

มาตรฐานการระบายมลพิษจากยานพาหนะ เป็นการกำหนดให้ปริมาณสารมลพิษจากไอเสียอยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัยต่อประชาชน สิ่งมีชีวิต และสิ่งแวดล้อม โดยคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติได้กำหนดค่ามาตรฐานการระบายสารมลพิษจากยานพาหนะประเภทเครื่องยนต์เบนซินและเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก จำนวน 4 ชนิด ได้แก่ สารประกอบไฮโดรคาร์บอน HC CO NO_x และ HC+NO_x และมาตรฐานการระบายสารมลพิษจากยานพาหนะประเภทเครื่องยนต์ดีเซลขนาดใหญ่ จำนวน 6 ชนิด ได้แก่ HC CO NO_x PM CH₄ (Methane) และเขม่าควัน และมาตรฐานการระบายสารมลพิษจากยานพาหนะประเภทรถจักรยานยนต์และรถใช้งาน จำนวน 2 ชนิด ได้แก่ HC และ CO (กรมควบคุมมลพิษ, 2553) อนึ่งสหภาพยุโรปมีการร่างมาตรฐาน EURO7 ซึ่งกำหนดมาตรฐานของฝุ่นละอองเป็นจำนวนอนุภาค (Particle Number) แทนน้ำหนักของอนุภาค (Grigoratos & Martini, 2014)

ในปัจจุบันยังไม่มีข้อกำหนดค่ามาตรฐานการระบายมลพิษจากยานพาหนะประเภทฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า $PM_{2.5}$ แต่ถูกกำหนดอยู่ในมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไป

2.4 มาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศ

มาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไปในประเทศไทยโดยประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ เรื่อง กำหนดมาตรฐานฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน ในบรรยากาศโดยทั่วไป (กรมควบคุมมลพิษ, 2565) กำหนดขึ้นตามตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ เรื่อง กำหนดมาตรฐานฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน ในบรรยากาศทั่วไป ตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 และมาตรฐานคุณภาพอากาศ $PM_{2.5}$ จากองค์การอนามัยโลก (World Health Organization; WHO) (WHO, 2021) แสดงดังตารางที่ 1 ค่ามาตรฐานฝุ่นละอองในบรรยากาศทั่วไป ทั้งนี้ยังไม่มีข้อกำหนดค่ามาตรฐาน PM_{10}

ตารางที่ 1 ค่ามาตรฐานฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ในบรรยากาศทั่วไป

	ค่ามาตรฐาน 1 ปี ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ค่ามาตรฐาน 24 ชั่วโมง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
กรมควบคุมมลพิษ (2565)	15	37.5
WHO (2021)	5	15

2.5 อัตราการระบายมลพิษจากยานพาหนะ

อัตราการระบายมลพิษจากยานพาหนะ (Vehicle Emission Rate; ER) คือ อัตราการปลดปล่อยสารมลพิษแต่ละชนิดสู่บรรยากาศจากแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทเคลื่อนที่ได้ (Mobile Source) โดยมีตัวคูณสารมลพิษ หรือ ค่าสัมประสิทธิ์การระบายสารมลพิษ (Emission Factors; EF) ในการคำนวณ ทำให้ทราบปริมาณการระบายสารมลพิษที่ศึกษา ค่าสัมประสิทธิ์การระบายสารมลพิษจะแตกต่างกันตามคุณลักษณะและการใช้งานรถยนต์แต่ละประเภท เช่น ชนิด ขนาด อายุและการใช้งานของเครื่องยนต์ ชนิดของเชื้อเพลิง น้ำหนักบรรทุก การบำรุงรักษาเครื่องยนต์ และประวัติการใช้งานรถยนต์ในระยะเวลาที่ผ่านมา ค่าสัมประสิทธิ์นี้ได้จากการนำยานพาหนะมาทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

สมการคำนวณอัตราการระบายมลพิษจากยานพาหนะ (Emission Rate; ER) คือ

$$ER = EF \times A \quad \text{สมการที่ 2.1}$$

โดย ER คือ อัตราการระบายมลพิษ (Emission Rate) หน่วย กรัม/ชั่วโมง
 EF คือ ค่าสัมประสิทธิ์การระบายสารมลพิษ (Emission Factor) หน่วย กรัม/ กิโลเมตร×คัน
 A คือ กิจกรรมของยานพาหนะ (Activity) หน่วย กิโลเมตร×คัน/ชั่วโมง

สัมประสิทธิ์การระบายสารมลพิษ (Emission Factors; EF) เป็นค่าที่ได้จากการตรวจวัดในห้องปฏิบัติการ โดยทำการทดสอบให้รถวิ่งไปบนแท่นทดสอบ (Chassis Dynamometer) ควบคุมให้ยานพาหนะขับเคลื่อนไปตามสภาพการขับขี่จริงบนท้องถนน และทำการตรวจวัดสารมลพิษจากท่อไอเสีย เมื่อทำการวิเคราะห์ทำให้ทราบปริมาณสารมลพิษสามารถนำไปคำนวณหาสัมประสิทธิ์การระบายสารมลพิษได้โดยการนับจำนวนคันในช่วงเวลาที่ศึกษา และในระยะทางที่ศึกษาจะได้สมการคำนวณดังนี้

$$EF = \text{ปริมาณสารมลพิษ (กรัม)} / (\text{ระยะทาง (กิโลเมตร)} \times \text{ยานพาหนะ (คัน)}) \quad \text{สมการที่ 2.2}$$

สำหรับการคำนวณกิจกรรมของยานพาหนะ (Activity; A) ได้จากการนับจำนวนยานพาหนะบนเส้นทางการจราจรที่สนใจ โดยนับจำนวนคันในช่วงเวลาที่ศึกษา และในระยะทางที่ศึกษา โดยมีวิธีการคำนวณตามสมการดังนี้

$$A = \text{จำนวนยานพาหนะ (คัน/เวลา)} \times \text{ระยะทางของถนนที่ศึกษา (กิโลเมตร)} \quad \text{สมการที่ 2.3}$$

ทั้งนี้ข้อมูลจำนวนยานพาหนะที่ใช้ในสมการที่ 2.3 ได้จากการนับจำนวนยานพาหนะ ด้วยการสำรวจข้อมูลโดยใช้คนสังเกต หรือคนนับ (Manual Counts) คือ การเก็บข้อมูลโดยใช้คนนับปริมาณการจราจรโดยตรง (Direct Method) โดยระยะเวลาที่ใช้ในการนับจะขึ้นอยู่กับงบประมาณและจุดมุ่งหมายของการนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ (วรศักดิ์ วงษ์รอด, 2547) ซึ่งมีรายละเอียดการเลือกระยะเวลาดังนี้

(1) การนับ 24 ชั่วโมง เพื่อหาปริมาณการจราจรในหนึ่งวัน ตั้งแต่เที่ยงคืนถึงเที่ยงคืนของอีกวัน และเลือกนับในช่วงวันธรรมดาถึงวันธรรมดาของอีกวัน เพื่อไม่ให้อิทธิพลของวันหยุดมากระทบ

(2) การนับ 16 ชั่วโมง เริ่มตั้งแต่ 06.00 – 22.00 น. โดยปริมาณการจราจรส่วนใหญ่ของวัน จะอยู่ในช่วงเวลานับนี้

(3) การนับ 12 ชั่วโมง เริ่มตั้งแต่ 07.00 – 19.00 น. โดยครอบคลุมการจราจรในช่วงเวลา การทำงานทั้งหมด เหมาะสำหรับถนนในย่านชุมชน และแหล่งพาณิชย์

(4) การนับในช่วงเวลาเร่งด่วน โดยช่วงเวลาเร่งด่วนมี 2 ช่วง คือ ช่วงไปทำงาน และช่วงกลับ จากการทำงาน ในช่วงเวลาเร่งด่วนช่วงเช้าจะเริ่มนับตั้งแต่ 07.00 – 09.00 น. สำหรับช่วงเวลา เร่งด่วนช่วงเย็นจะอยู่ระหว่าง 16.00 – 18.00 น. หรือ 15.00 – 18.00 น.

(5) การนับในช่วงวันหยุด เริ่มตั้งแต่ 18.00 น. ของเย็นวันศุกร์จนถึงเวลา 06.00 น. ของเช้าวัน จันทร์

2.6 มลพิษทางเสียง

มลพิษทางเสียง (Noise Pollution) ก่อให้เกิดความรำคาญ การรบกวนการนอนหลับ ทั้งนี้ การรับสัมผัสในระยะยาวส่งผลต่อระบบหัวใจและหลอดเลือด ระบบเมตาบอลิซึม นอกจากนี้ยังอาจ ส่งผลต่อความสามารถในการเรียนรู้ของเด็ก (European Environment Agency, 2023)

2.7 มาตรฐานระดับเสียงในสิ่งแวดล้อม

มาตรฐานระดับเสียงโดยทั่วไปในประเทศไทย กำหนดขึ้นตามประกาศคณะกรรมการ สิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 15 (พ.ศ. 2540) เรื่องกำหนดมาตรฐานระดับเสียงโดยทั่วไป โดยค่า มาตรฐานระดับเสียงโดยทั่วไปกำหนดค่ามาตรฐานระดับเสียงเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ($L_{eq,24h}$) ไว้ที่ 70 เดซิเบลเอ [dB(A)] และมี ค่าสูงสุดไม่เกิน 115 dB(A) (กรมควบคุมมลพิษ, 2563a)

ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 29 (พ.ศ. 2550) เรื่อง ค่าระดับเสียง รบกวนกำหนดค่ามาตรฐานระดับเสียงรบกวนเท่ากับ 10 dB(A) (กรมควบคุมมลพิษ, 2563b)

คำแนะนำจากสำนักงานปกป้องสิ่งแวดล้อมสหรัฐ (United States Environmental Protection Agency; U.S.EPA) แนะนำให้ระดับเสียงเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ($L_{eq,24h}$) ไม่ควรเกิน 70 dB(A) และ ระดับเสียงเฉลี่ยกลางวันกลางคืน (Day Night Average Sound Level; L_{dn}) ไม่ควรเกิน 55 dB(A) โดยระดับเสียงกลางวัน (Daytime Noise Level; L_d) คือระดับเสียงเฉลี่ยในช่วงเวลา 07.00 – 22.00 น. รวม 15 ชั่วโมง และระดับเสียงกลางคืน (Night-Time Noise Level; L_n) คือ ระดับเสียง

เฉลี่ยในช่วงเวลา 22.00 – 07.00 น. รวม 9 ชั่วโมง ทั้งนี้ระดับเสียงกลางคืน (L_n) มีการบวกเพิ่ม 10 dB(A) เพื่อชดเชยความรู้สึกรบกวนในช่วงเวลา 22.00 – 07.00 น. (U.S.EPA, 1974)

คำแนะนำจากสำนักงานสิ่งแวดล้อมยุโรป (European Environment Agency; EEA) แนะนำให้ระดับเสียงกลางคืน (L_n) ไม่ควรเกิน 50 dB(A) และระดับเสียง (Day Evening Night Sound Level; L_{den}) ไม่ควรเกิน 55 dB(A) โดยระดับเสียงตอนเย็น (Evening-time noise level; L_e) คือระดับเสียงเฉลี่ยในช่วงเวลา 19.00 – 22.00 น. มีการบวกเพิ่ม 5 dB(A) และระดับเสียงกลางคืน (L_n) คือ ระดับเสียงเฉลี่ยในช่วงเวลา 22.00 – 07.00 น. มีการบวกเพิ่ม 10 dB(A) เพื่อชดเชยความรู้สึกรบกวน (European Environment Agency, 2018)

คำแนะนำขององค์การอนามัยโลก (World Health Organization; WHO) แนะนำให้ระดับเสียงเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ($L_{eq,24h}$) ไม่ควรเกิน 70 dB(A) (WHO, 2019)

2.8 แบบจำลองคุณภาพอากาศ R-LINE

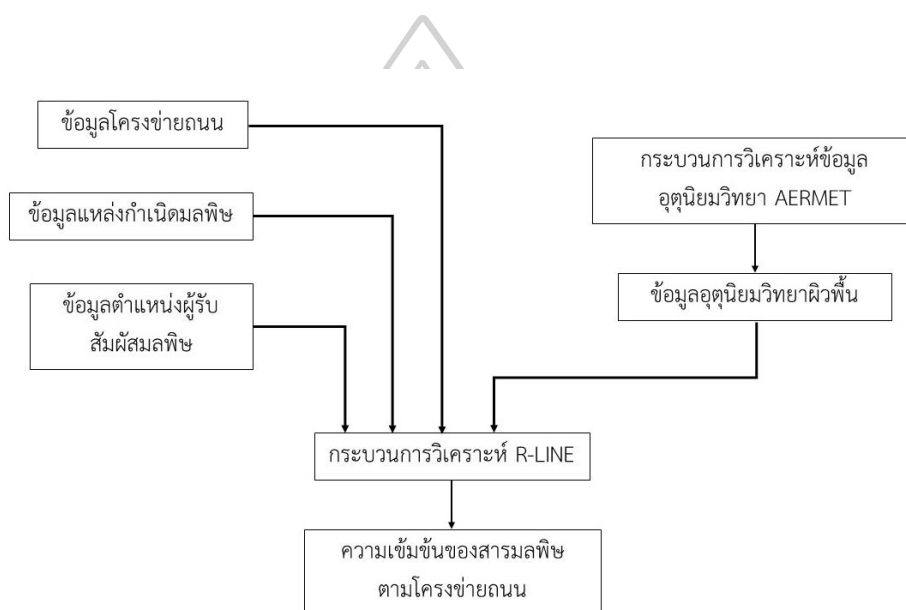
แบบจำลองคุณภาพอากาศ R-LINE หรือ Research LINE Source Model (R-LINE) เป็นแบบจำลองการกระจายมลพิษที่กำลังอยู่ระหว่างการพัฒนาโดย U.S.EPA สำหรับการประเมินมลพิษทางอากาศในสภาพแวดล้อมใกล้ถนน โดยมีการแพร่กระจายความเข้มข้นแบบเกาส์เซียน (Gaussian Distribution) ที่มีสภาวะคงที่ และจำลองแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทเส้น (แหล่งกำเนิดประเภทยานพาหนะ) (Snyder & Heist, 2013)

แบบจำลอง R-LINE ได้รับการพัฒนาสูตรการวิเคราะห์ใกล้พื้นผิว สำหรับอัตราการกระจายตัวในแนวดิ่ง และด้านข้าง จำลองสภาพการคดเคี้ยวของลมในระดับต่ำ รวมถึงการจัดทำชุดข้อมูลของลมที่อยู่ใกล้ผิวน้ำ ลมถ่วงน้ำหนัก เพื่อคำนวณการเคลื่อนย้ายและการกระจายตัวของสารมลพิษด้วยการประมาณเชิงวิเคราะห์ โดยแบบจำลอง R-LINE ใช้ชุดนิยามวิทยาพื้นผิวที่จัดเตรียมข้อมูลโดยตัวประมวลผลชุดนิยามวิทยา AERMET และข้อมูลจำเพาะของโครงข่ายถนน (Road-Link) ซึ่งแบบจำลอง R-LINE รุ่นปัจจุบันเหมาะสำหรับพื้นที่ราบ แต่มีการกำหนดค่าถนน 2 ประเภท คือ ถนนที่ริมถนนไม่มีสิ่งกีดขวาง และถนนที่ริมถนนมีสิ่งกีดขวาง เช่น กำแพงกันเสียง และต้นไม้ (Snyder & Heist, 2013)

2.8.1 โครงสร้างแบบจำลองคุณภาพอากาศ R-LINE

การตั้งค่าแบบจำลอง R-LINE กำหนดการเชื่อมโยงของถนน ซึ่งระบุจุดเริ่มต้น และสิ้นสุดของแหล่งกำเนิดมลพิษของเส้นถนน และกำหนดตำแหน่งที่ต้องการประมาณความเข้มข้นเป็น

ตำแหน่งของผู้รับ โดยระบุเป็นพิกัด X,Y (หน่วยเมตร) ระบุให้สัมพันธ์กับแหล่งกำเนิดที่เลือก ซึ่งสามารถใช้พิกัด Universal Transverse Mercator (UTM) ระบุความสูง (Z) ของแหล่งกำเนิด และผู้รับที่สัมพันธ์กับระดับพื้นดินในพื้นที่ (ไม่พิจารณารูปแบบภูมิประเทศ) แบบจำลอง R-LINE ใช้ชุดข้อมูลนำเข้าเพื่อแปรผลทั้งหมด 4 ชุดข้อมูลคือ ข้อมูลพิกัดโครงข่ายถนน ข้อมูลแหล่งกำเนิด ข้อมูลพิกัดผู้รับมลพิษ และข้อมูลอุตุนิยมวิทยาผิวพื้น โดยความเข้มข้นของสารมลพิษจะถูกประมาณค่า และแสดงผลออกมาเป็นความเข้มข้นของสารมลพิษรายชั่วโมง โดยโครงสร้างการทำงานของแบบจำลองคุณภาพอากาศ R-LINE ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 โครงสร้างการทำงานของแบบจำลองคุณภาพอากาศ R-LINE
ที่มา: ดัดแปลงจาก Snyder & Heist (2013)

2.9 แบบจำลองคุณภาพอากาศ AERMOD

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการแพร่กระจายมลพิษทางอากาศโดยแบบจำลองคุณภาพอากาศ R-LINE ซึ่งใช้ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาจากการคำนวณด้วยโปรแกรม AERMET เป็นข้อมูลนำเข้าแบบจำลองคุณภาพอากาศ R-LINE โดยโปรแกรม AERMET เป็นโปรแกรมย่อยในแบบจำลองคุณภาพอากาศ AERMOD ดังนั้นจึงขอกว่าถึงแบบจำลองคุณภาพอากาศ AERMOD รวมถึงโปรแกรม AERMET ในหัวข้อนี้ด้วย

แบบจำลองคุณภาพอากาศ AERMOD หรือ AMS/EPA Regulatory Model (AERMOD) ได้รับการพัฒนาขึ้นในปี ค.ศ.1991 โดยสมาคมอุตุนิยมวิทยาแห่งสหรัฐอเมริกา (American Meteorological Society) หรือ AMS และ U.S. EPA โดยมีแบบจำลองคุณภาพอากาศ ISC (Industrial Source Complex Model) เป็นต้นแบบในการพัฒนา ซึ่งใช้องค์ความรู้เรื่องชั้นบรรยากาศที่ติดกับผิวโลกเป็นหลัก โดยแบ่งออกเป็นบรรยากาศที่อากาศเกิดการเคลื่อนที่ของมวลของอากาศเนื่องมาจากการพาความร้อนหรือ Convective Boundary Layer (CBL) และชั้นบรรยากาศที่ไม่ได้รับอิทธิพลจากการพาความร้อนจะได้รับจากผลจากแรงเสียดทานจากผิวโลก หรือ Stable boundary layer (SBL) โดยแบบจำลองคุณภาพอากาศ AERMOD จะสมมติว่าในชั้น SBL มีการแพร่กระจายความเข้มข้นเป็นแบบเกาส์เซียน (Gaussian distribution) ทั้งในแนวดิ่งและแนวระดับ ส่วนใน CBL มีการแพร่กระจายความเข้มข้นเป็นแบบ Gaussian ในแนวระดับแต่ในแนวดิ่งจะมีการแพร่กระจายแบบ Bi-Gaussian ซึ่งแบบจำลอง AERMOD สามารถประเมินการแพร่กระจายจากแหล่งกำเนิดได้ไม่เกิน 50 กิโลเมตร (Near-field Applications) (วารวูธ เสือดี, 2551) (จันทร์ธิดา ตั้งขวัญแก้ว, 2554)

2.9.1 โครงสร้างแบบจำลองคุณภาพอากาศ AERMOD

แบบจำลองคุณภาพอากาศ AERMOD เป็นชุดคำสั่งหลักในการวิเคราะห์ความเข้มข้นสารมลพิษทางอากาศ โดยแบบจำลองคุณภาพอากาศ AERMOD จะทำการคำนวณค่าความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ภายในพื้นที่ศึกษาทั้งในส่วนของตำแหน่งของผู้ได้รับมลพิษ และตำแหน่งผู้ก่อให้เกิดความเข้มข้นสูงสุด (Terrain height scale) โดยอาศัยข้อมูลจากโปรแกรมย่อย AERMAP (ชุดข้อมูลภูมิประเทศ) และตัวแปรต่าง ๆ ในชั้นบรรยากาศ จากโปรแกรมย่อย AERMET (วารวูธ เสือดี, 2551) โดยโครงสร้างการทำงานของแบบจำลองคุณภาพอากาศ AERMOD ดังภาพที่ 4 (วารวูธ เสือดี, 2550) ทั้งนี้งานวิจัยนี้จะขอล่าวถึง โปรแกรมย่อย AERMET เป็นหลักซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่ใช้ในงานวิจัย มีรายละเอียดดังต่อไปนี้



ภาพที่ 4 โครงสร้างการทำงานของแบบจำลองคุณภาพอากาศ AERMOD
ที่มา: ดัดแปลงจาก วราวุธ เสือดี (2550)

2.9.1.1 โปรแกรมย่อย AERMET

โปรแกรมย่อย AERMET เป็นชุดคำสั่งสนับสนุน เพื่อคำนวณตัวแปรต่าง ๆ ในชั้นบรรยากาศที่แบบจำลองคุณภาพอากาศ AERMOD ทำหน้าที่ประมวลผลข้อมูลอุตุนิยมวิทยา เพื่อใช้ในการคำนวณความเข้มข้นของสารมลพิษ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ โดยมีข้อมูลนำเข้าโปรแกรมย่อย AERMET คือ

(1) ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาผิวพื้น (Surface Air Data) ได้แก่ ความเร็วลม (Wind speed) ทิศทางลม (Wind Direction) อุณหภูมิ (Ambient Temperature) ปริมาณเมฆปกคลุม (Cloud Cover) และความสูงฐานเมฆ (Ceiling Height) ซึ่งสามารถดึงดูข้อมูลจากแฟ้มข้อมูลดิบที่บันทึกจากการตรวจวัดได้ในหลายรูปแบบ เช่น MET-144 Format CD-144 หรือ SCRAM Format และ SAMSON Format ในประเทศไทยเป็นการนำเอาข้อมูลที่มีอยู่มาจัดเรียงในรูปแบบที่โปรแกรมย่อย AERMET สามารถนำไปประมวลผลได้ โดยรูปแบบที่ง่ายที่สุดและเหมาะสมที่สุดคือการจัดเรียงในรูปแบบ CD-144 หรือ SCRAM Format

(2) ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาชั้นบน (Upper Air Data) เป็นข้อมูลอุตุนิยมวิทยาที่ตรวจวัดตั้งแต่ระดับ 100 เมตร ถึง 5,000 เมตร ได้แก่ ความเร็วลม (Wind Speed) ทิศทางลม

(Wind Direction) อุณหภูมิ (Ambient Temperature) ความกดอากาศ (Ambient Temperature) ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) ความกดอากาศ (Air Pressure) และความสูงเหนือระดับน้ำทะเล โดยโปรแกรมย่อย AERMET สามารถคัดแยกหรือดึงข้อมูลที่ต้องการจากแฟ้มข้อมูลที่บันทึกจากการตรวจวัดแบบมาตรฐานของศูนย์ข้อมูลด้านภูมิอากาศแห่งชาติประเทศสหรัฐอเมริกา หรือ National Climatic Data Center (NCDC) หลายรูปแบบทั้งนี้รวมถึง TD-6201 Format CD-144 Format และ FSL Format

(3) ค่าลักษณะเฉพาะของพื้นที่ เป็นกลไกการแพร่กระจายของสารมลพิษทางอากาศมักเกิดขึ้นในชั้นบรรยากาศที่อยู่ติดกับผิวโลก (Planetary Boundary Layer) เหนือผิวโลกประมาณ 2-3 กิโลเมตร โดยค่าปัจจัยลักษณะพื้นผิวสำหรับการคำนวณพารามิเตอร์ของอากาศที่ติดกับพื้นผิวโลกโดยการประมวลผลด้วยโปรแกรมย่อย AERMET มี 3 ค่า ได้แก่ ค่า Albedo ค่า Bowen Ratio และค่า Surface Roughness Length ซึ่งในการหาค่าปัจจัยลักษณะพื้นผิวจะแบ่งตามลักษณะการใช้ที่ดินตามฤดูกาล ดังนี้

- Albedo เป็นการสะท้อนของการแผ่รังสี (Solar Radiation) จากพื้นดินกลับสู่บรรยากาศโดยไม่มีการดูดซับ มีค่าระหว่าง 0.1 สำหรับพื้นที่ที่เป็นป่าไม้ผลัดใบ (Deciduous Forest) ถึง 0.90 สำหรับช่วงหิมะตกใหม่ ๆ โดยค่า Albedo ตามลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินและฤดูกาล แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่า Albedo แบ่งตามลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินและฤดูกาล ในสภาวะที่อากาศแห้ง

การใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land-use)	ฤดูใบไม้ผลิ (Spring)	ฤดูร้อน (Summer)	ฤดูใบไม้ร่วง (Autumn)	ฤดูหนาว (Winter)
แหล่งน้ำธรรมชาติและน้ำทะเล	0.12	0.10	0.14	0.20
ป่าไม้ผลัดใบ	0.12	0.12	0.12	0.50
ป่าสน	0.12	0.12	0.12	0.35
หนองน้ำ บึง	0.12	0.14	0.16	0.30
พื้นที่หลังการเก็บเกี่ยว	0.14	0.20	0.18	0.60
ทุ่งหญ้า	0.18	0.18	0.20	0.60
พื้นที่เขตเมือง	0.14	0.16	0.18	0.35
พื้นที่ทะเลทราย	0.30	0.28	0.28	0.45

ที่มา: วราวุธ เสือดี (2550)

- Bowen ratio เป็นอัตราส่วนของการเปลี่ยนแปลงความร้อน (Sensible Heat Flux) ต่อการเปลี่ยนแปลงของความร้อนแฝง (Latent Heat Flux) ใช้พิจารณาพารามิเตอร์สำหรับสภาวะที่เกิดการพา (Convective Condition) ใน PBL เป็นดัชนีของความชื้นที่พื้นผิว ซึ่ง ระยะเวลาที่ยาววัน Bowen ratio มีช่วงอยู่ระหว่าง 0.1 ที่เหนือผิวน้ำถึง 10.0 ที่เหนือทะเลทราย Bowen Ratio ตามลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินและฤดูกาล แสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่า Bowen Ratio แบ่งตามลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินและฤดูกาล ในสภาวะที่ความชื้นปกติ

การใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land-use)	ฤดูใบไม้ผลิ (Spring)	ฤดูร้อน (Summer)	ฤดูใบไม้ร่วง (Autumn)	ฤดูหนาว (Winter)
แหล่งน้ำธรรมชาติและน้ำทะเล	0.1	0.1	0.1	1.5
ป่าไม้ผลัดใบ	0.7	0.3	1.0	1.5
ป่าสน	0.7	0.3	0.8	1.5
หนองน้ำ บึง	0.1	0.1	0.1	1.5
พื้นที่หลังการเก็บเกี่ยว	0.3	0.5	0.7	1.5
ทุ่งหญ้า	0.4	0.8	1.0	1.5
พื้นที่เขตเมือง	1.0	2.0	2.0	1.5
พื้นที่ทะเลทราย	3.0	4.0	6.0	6.0

ที่มา: วราวุธ เสือดี (2550)

- Surface Roughness Length ตัวแปรที่ใช้อธิบายลักษณะพื้นผิวที่มีผลต่อความเร็วลมในแนวระดับซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงน้อยกว่า 0.001 เมตร เหนือผิวน้ำที่สงบถึง 1 เมตร หรือมากกว่าที่เหนือพื้นที่ป่าหรือพื้นที่เขตเมือง โดยค่า Surface Roughness Length ตามลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินและฤดูกาลแสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่า Surface Roughness Length แบ่งตามลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินและฤดูกาล

การใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land-use)	ฤดูใบไม้ผลิ (Spring)	ฤดูร้อน (Summer)	ฤดูใบไม้ร่วง (Autumn)	ฤดูหนาว (Winter)
แหล่งน้ำธรรมชาติและน้ำทะเล	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
ป่าไม้ผลัดใบ	1.00	1.30	0.80	0.50
ป่าสน	1.30	1.30	1.30	1.30
หนองน้ำ บึง	0.20	0.20	0.20	0.05
พื้นที่หลังการเก็บเกี่ยว	0.03	0.20	0.05	0.01
ทุ่งหญ้า	0.05	0.10	0.01	0.001
พื้นที่เขตเมือง	1.00	1.00	1.00	1.00
พื้นที่ทะเลทราย	0.30	0.30	0.30	1.50

ที่มา: วราวุธ เสือดี (2550)

2.9.1.2 โปรแกรมย่อย AERMAP

โปรแกรมย่อย AERMAP เป็นชุดคำสั่งสนับสนุนทำหน้าที่ประมวลผลข้อมูลความสูงพื้นที่โดยจะประมวลผลความสูงพื้นที่ของทุกตำแหน่งที่ต้องการคำนวณความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศ รวมทั้งทุกตำแหน่งของแหล่งกำเนิด และทุกตำแหน่งของผู้ได้รับผลกระทบ สำหรับพื้นที่ซับซ้อน หรือ Complex Terrain โปรแกรมย่อย AERMAP จะทำหน้าที่ประเมินกลไกที่เปลี่ยนแปลงไปของการแพร่กระจายบนพื้นที่ซับซ้อนนั้น โดยอาศัยข้อมูลความสูงต่ำของพื้นที่โดยรอบ โดยจะประมวลหาความสูงของพื้นที่ที่มีผลต่อการแพร่กระจายของสารมลพิษ มากที่สุดในแต่ละจุดที่ต้องการคำนวณหาความเข้มข้น หรือ Terrain Height Scale โปรแกรมย่อย AERMAP ทำหน้าที่ในการคำนวณหาระดับความสูง โดยการใช้ข้อมูลความสูงต่ำของพื้นที่ ซึ่งมีอยู่หลายรูปแบบ (Format) เช่น ข้อมูล ความสูงแบบ XYZ ฐานข้อมูล ลักษณะความสูง GTOPO30 และฐานข้อมูลความสูง SRTM เป็นต้น และทำการประมวลผลเพื่อจัดเตรียมข้อมูลความสูงของพื้นที่เพื่อประมวลค่าความเข้มข้นสารมลพิษทางอากาศด้วยแบบจำลองคุณภาพอากาศ AERMOD

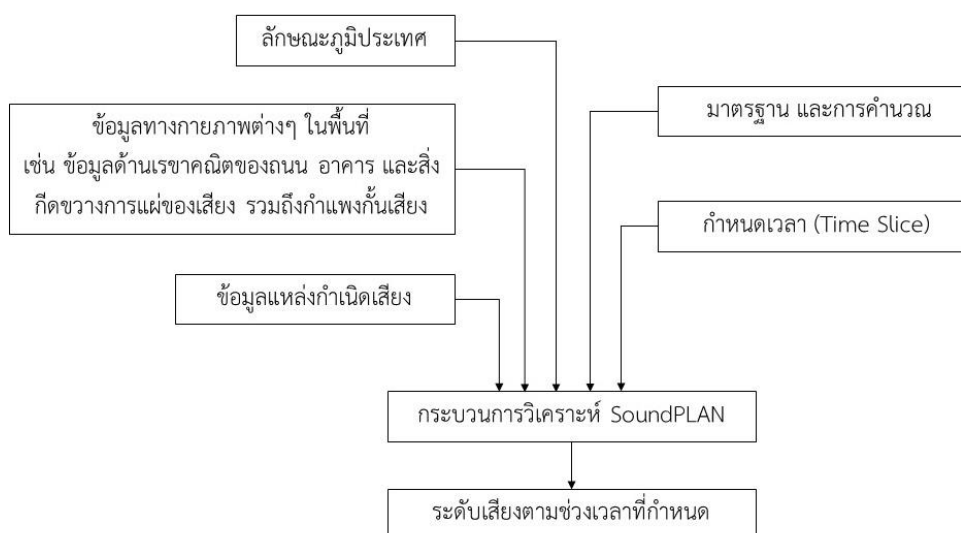
2.10 แบบจำลองทางเสียง SoundPLAN

แบบจำลองทางเสียง SoundPLAN ใช้ในการคาดการณ์ระดับเสียงซึ่งสามารถจำลองสถานการณ์ของเสียงครอบคลุมเสียงรบกวน เสียงจากการจราจร เสียงรบกวนในอาคารและกลางแจ้ง

เสียงอุตสาหกรรมทั่วไป และเสียงจากอากาศยาน ซึ่ง SoundPLAN จะคำนวณโดยใช้รูปแบบตามมาตรฐาน เช่น ISO-9613 และ ISO12354 ทั้งนี้ SoundPLAN สามารถคาดการณ์ระดับเสียงได้หลากหลายรูปแบบ เช่น จำลองระดับเสียงเพื่อคาดการณ์ระดับเสียงจากการจราจรทางบกหรือเสียงจากอากาศยาน จำลองระดับเสียงเพื่อคาดการณ์ระดับเสียงจากเส้นทางรูปแบบต่างๆ รวมถึงจำลองการออกแบบและคำนวณกำแพงกั้นเสียง (จีโอนอยซ์ ไทยแลนด์, 2566)

2.10.1 โครงสร้างแบบจำลองทางเสียง SoundPLAN

แบบจำลองทางเสียง SoundPLAN ประกอบด้วยเครื่องมือต่าง ๆ ที่จำเป็นต่อการแบบจำลองถนนเพื่อคำนวณการแผ่ของเสียง สามารถนำเข้าไฟล์ข้อมูลภูมิประเทศเพื่อเป็นฐานข้อมูลในการคำนวณได้หลายรูปแบบ เช่น ESRI shape file Bmp .png .jpg .tif และ Google Earth เมื่อนำเข้าไฟล์ข้อมูลแล้วจึงสามารถ Digitize ข้อมูลทางกายภาพ รวมถึงระบุแหล่งกำเนิดเสียง ลง SoundPLAN ซึ่งระดับเสียงจะถูกคำนวณตามมาตรฐานการคำนวณที่เลือกไว้ และแสดงผลออกมาเป็นแผนที่ระดับเสียงตามเวลาที่กำหนด รวมถึงข้อมูลในรูปแบบตาราง (จีโอนอยซ์ ไทยแลนด์, 2566) โดยโครงสร้างการทำงานของแบบจำลองทางเสียง SoundPLAN (SoundPLAN GmbH, 2020) แสดงดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 โครงสร้างการทำงานของ SoundPLAN

ที่มา: ดัดแปลงจาก SoundPLAN GmbH (2020)

2.11 การตรวจวัดระดับเสียง

2.11.1 วิธีการตรวจวัดระดับเสียง

ตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมฉบับที่ 15 พ.ศ. 2540 (กรมควบคุมมลพิษ, 2563a) กำหนดให้มีการตรวจวัดระดับเสียงโดยทั่วไป โดยมีวิธีการตรวจวัดดังนี้

- 1) การตรวจวัดค่าระดับเสียงสูงสุด ให้ใช้มาตรฐานระดับเสียงตรวจวัดระดับเสียงในบริเวณที่มีคนอยู่หรืออาศัยอยู่
- 2) การตรวจวัดค่าระดับเสียงเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ให้ใช้มาตรฐานระดับเสียงตรวจวัดระดับเสียงอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา 24 ชั่วโมงใด ๆ

2.11.2 ตำแหน่งตรวจวัดเสียง

2.11.2.1 การตรวจวัดเสียงภายในอาคาร (Indoor Noise Measurement)

การตรวจวัดเสียงภายในอาคาร หรือในสภาวะปิด เช่น ในสถานประกอบการ อุตสาหกรรม ที่พักอาศัย มีปัจจัยที่ส่งผลต่อความคลาดเคลื่อนของผลการตรวจวัดที่สำคัญคือ ผนังห้อง กำแพง และสิ่งกีดขวางต่างๆ ที่ทำให้เกิดเสียงสะท้อน ส่งผลให้การตรวจวัดมีระดับที่เกินกว่าความเป็นจริง การตรวจวัดเสียงภายในอาคาร ตามข้อกำหนดของ ISO1996-1 และประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมฉบับที่ 15 พ.ศ. 2540 (กรมควบคุมมลพิษ, 2563a) กำหนดตำแหน่งการตรวจวัดดังนี้

- (1) ไมโครโฟนอยู่สูงจากพื้นไม่น้อยกว่า 1.2 เมตร
- (2) ในรัศมี 1.0 เมตร ต้องไม่มีสิ่งกีดขวางที่มีคุณสมบัติในการสะท้อนเสียง
- (3) ห่างจากหน้าต่างหรือช่องเปิดออกนอกอาคารอย่างน้อย 1.5 เมตร

2.11.2.2 การตรวจวัดเสียงภายนอกอาคาร (Outdoor Noise Measurement)

การตรวจวัดเสียงภายนอกอาคาร หรือในสภาวะเปิด เช่น ชุมชนริมเส้นทางจราจร สนามบิน มีอิทธิพลของสภาวะแวดล้อม เช่น ลม ฝน ความชื้น สัตว์ ฝุ่นละออง ฯลฯ ครอบคลุมการตรวจวัด ในการตรวจวัดเสียงภายนอกอาคารจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ป้องกันลม (Windscreen) ซึ่งมีคุณสมบัติป้องกันเสียงที่เกิดจากลมผ่านไมโครโฟนที่ทำให้ค่าระดับเสียงที่ตรวจวัดได้มีค่าไม่ถูกต้อง นอกจากนี้ยังมีอุปกรณ์ป้องกันฝน (Rain Protector) และมีกล่องใส่เครื่องวัดเสียงเพื่อป้องกันอิทธิพลของสภาวะแวดล้อม การตรวจวัดเสียงภายนอกอาคาร ตาม ข้อกำหนดของ ISO1996-1 และประกาศ

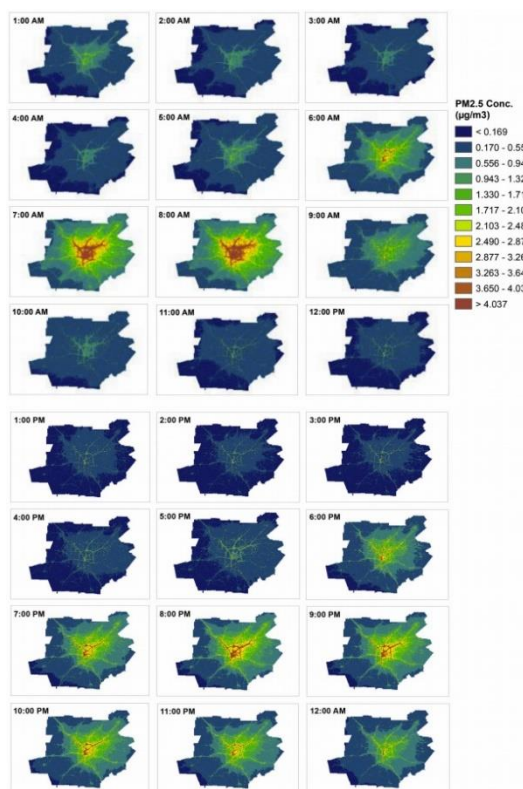
คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมฉบับที่ 15 พ.ศ. 2540 (กรมควบคุมมลพิษ, 2563a) กำหนด ตำแหน่งการตรวจวัดดังนี้

- (1) ไมโครโฟนอยู่สูงจากพื้นไม่น้อยกว่า 1.2 เมตร
- (2) ในรัศมี 3.5 เมตร ต้องไม่มีสิ่งกีดขวางที่มีคุณสมบัติในการสะท้อนเสียง

2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Park (2020) ทำการศึกษาประเมินความเสี่ยงส่วนบุคคลขณะเดินทางต่อการสัมผัส $PM_{2.5}$ ที่เกิดจากการจราจรใน 20 เขต ในเมือง Atlanta รัฐจอร์เจีย สหรัฐอเมริกา โดยอาศัยข้อมูลการเดินทางจาก Google Maps Directions Application Programming Interface (API) และประเมินการสัมผัสความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ที่ได้ ด้วยการสร้างแบบจำลองการกระจายมลพิษทางอากาศบนถนน โดยใช้แบบจำลองคุณภาพอากาศ R-LINE และแสดงเป็นแผนที่ความเข้มข้นรายชั่วโมง ด้วยระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ (ซอฟต์แวร์ Esri's ArcGIS Desktop เวอร์ชัน 10.6) โดยมีขั้นตอนการศึกษาดังนี้ 1) การคำนวณการระบายมลพิษจากยานพาหนะในพื้นที่ศึกษาด้วยแบบจำลองการระบายมลพิษจากยานพาหนะ (Motor Vehicle Emission Simulator; MOVES) โดยมีข้อมูลนำเข้า ได้แก่ ประเภทเชื้อเพลิง ประเภทถนน มลพิษทางอากาศที่สนใจ ($PM_{2.5}$) ระยะเวลา ลักษณะการทำงานของยานพาหนะ (เช่น การสตาร์ท การเดินเครื่องเบา หรือการวิ่ง) และสภาพทางภูมิศาสตร์ของพื้นที่ โดย MOVES จะประมาณการระบายมลพิษตามระยะเวลาที่รถใช้ในโหมดการทำงานต่าง ๆ เช่น การเร่งความเร็ว การเบรก การเดินเครื่องเบา และการวิ่ง การศึกษานี้ใช้ซอฟต์แวร์ MOVES2010b เพื่อประมาณการปล่อย $PM_{2.5}$ รายชั่วโมงของแต่ละวันทำงาน ตลอดทั้งปี ค.ศ. 2011 ผลที่ได้จากแบบจำลองนี้นำไปเป็นข้อมูลนำเข้าแบบจำลองการแพร่กระจายมลพิษ R-LINE และ 2) ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ข้อมูลนี้นำเข้าแบบจำลองการแพร่กระจายมลพิษ R-LINE โดยเป็นข้อมูลรายชั่วโมงจาก ซึ่งเตรียมโดยแบบจำลอง AERMET (Lakes Environmental Consultants Inc.) (แบบจำลองนี้โดยทั่วไปใช้ในการประมวลผลข้อมูลอุตุนิยมวิทยาสำหรับแบบจำลองคุณภาพอากาศ AERMOD จากนั้นข้อมูลทั้งหมดจะถูกนำเข้าแบบจำลอง R-LINE ได้แก่ (1) ข้อมูลโครงข่ายถนนในพื้นที่ศึกษาจำนวน 43,712 เส้น (Links) โดยได้จากหน่วยงาน Atlanta Regional Commission (ARC) (2) การระบายมลพิษจากยานพาหนะจากแบบจำลอง MOVES และ (3) ผู้รับสารมลพิษ โดยกำหนดเป็นพิกัดแบบกริด มีความกว้างและยาวของจุดตัดระหว่างกริดเท่ากันคือ 200 เมตร รวมผู้รับ

ทั้งสิ้นคือ 513,001 ตำแหน่ง (จุดตัดของกริด คือ ตำแหน่งผู้รับ) หลังจากนำเข้าสู่ข้อมูลแล้ว R-LINE ได้คำนวณความเข้มข้นของ PM_{2.5} ที่ผู้รับแต่ละตำแหน่ง ในแต่ละชั่วโมงของปี ค.ศ.2011 (24 ชั่วโมง × 260 วันทำงาน) ผลลัพธ์ที่ได้ได้นำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลการตรวจวัดเพื่อให้มีความถูกต้องมากขึ้น ก่อนที่จะนำมาเฉลี่ยเป็นข้อมูลรายชั่วโมง เพื่อนำมาคำนวณเป็นความเข้มข้น PM_{2.5} เฉลี่ยรายชั่วโมง/ปี และแสดงเป็นแผนที่ความเข้มข้นรายชั่วโมงโดยใช้ซอฟต์แวร์ Esri's ArcGIS Desktop (เวอร์ชัน 10.6) โดยผลการศึกษาพบว่าการประมาณการรับสัมผัส PM_{2.5} ที่เกิดจากการจราจรโดยการรวมวิถีการเคลื่อนที่รายวัน ผลลัพธ์ที่ได้ คือ ระดับการรับสัมผัส PM_{2.5} รายวัน ของผู้ตอบแบบสอบถามที่ทำกิจกรรมในแต่ละสถานที่ (บ้าน ที่ทำงานและโรงเรียน สถานที่อื่น ๆ นอกเหนือจากที่ทำงานและที่โรงเรียนสถานที่ที่ไม่เกี่ยวข้องกับการทำงาน และระหว่างการเดินทาง) และแผนที่ความเข้มข้น PM_{2.5} รายชั่วโมงจากแบบจำลอง R-LINE การแพร่กระจายของ PM_{2.5} เชิงพื้นที่ ผลลัพธ์ที่ได้ คือ ความเข้มข้น PM_{2.5} มีการเปลี่ยนแปลงในแต่ละชั่วโมงอย่างชัดเจน โดยความเข้มข้น PM_{2.5} เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในบริเวณใกล้กับถนน และลดลงตามระยะทางจากถนน ทั้งนี้พบความเข้มข้นของ PM_{2.5} สูงสุดที่ในช่วงเวลาเร่งด่วนตอนเช้า เนื่องจากสภาพทางอุตุนิยมวิทยาที่เอื้ออำนวยต่อการสะสมมลพิษ แสดงดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ความเข้มข้น PM_{2.5} รายชั่วโมง จากยานพาหนะ ที่ได้จากแบบจำลอง R-LINE

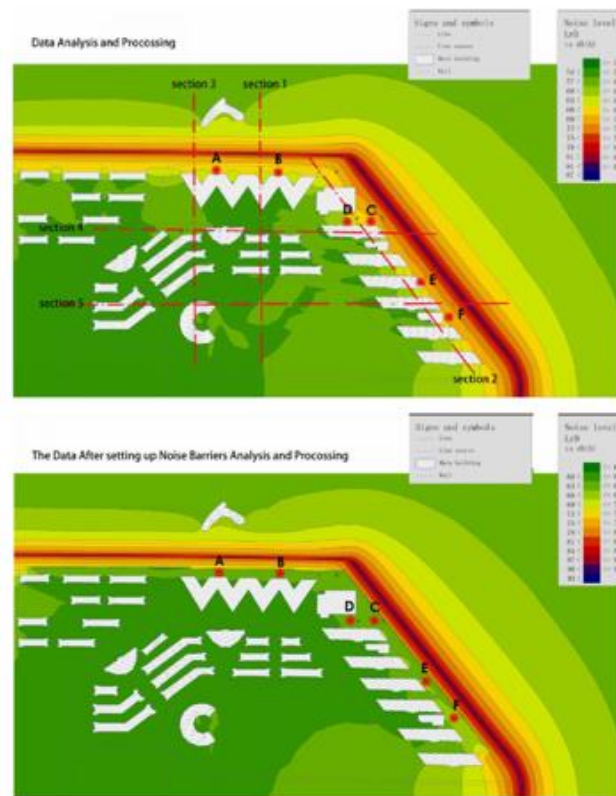
ที่มา: Park (2020)

Snyder et al. (2013) ทำการประเมินแบบจำลอง R-LINE ซึ่งเป็นแบบจำลองที่ออกแบบมาเพื่อจำลองการกระจายตัวของของสารมลพิษปฐมภูมิจากแหล่งกำเนิดมลพิษเคลื่อนที่ (ยานพาหนะ) ในสภาพแวดล้อมใกล้ถนน เพื่อรองรับการประเมินการสัมผัสของมนุษย์ในสภาพแวดล้อมใกล้ถนน มุ่งเน้นไปที่การกระจายตัวภายใน ไม่ก็ร้อยเมตรแรกจากแหล่งกำเนิด ทำการประเมินแบบจำลองโดยใช้ชุดทดลองที่ใช้ SF₆ พบว่าแบบจำลองเมื่อเปรียบเทียบกับสภาพอากาศมีแนวโน้มคาดการณ์ต่ำกว่าความเป็นจริงเล็กน้อย โดยแบบจำลอง R-LINE สามารถคาดการณ์มลพิษที่ความเร็วลมมากกว่า 1.5 m/s ได้ดีกว่าความเร็วลมที่ต่ำกว่า ทั้งนี้แบบจำลอง RLINE รุ่นปัจจุบันได้รับการออกแบบสำหรับถนนราบเรียบ (แหล่งที่มาของเส้นถนนไม่มีความซับซ้อนโดยรอบ) การวิจัยที่กำลังดำเนินอยู่ในขอบเขตที่นำไปสู่การประยุกต์แบบจำลองที่ขยายออกไปและการพัฒนาอัลกอริทึมสำหรับการจำลองผลกระทบใกล้กำเนิดที่มีการกำหนดค่าถนนที่ซับซ้อน (สิ่งกีดขวางทางเสียง เกาะกลางถนน และพืชพรรณริมถนน) รวมถึงการบัญชีสำหรับผลกระทบของพื้นที่เมืองที่มีต่ออุตุนิยมวิทยา และการกระจายตัว

Medeiros et al. (2022) ทำการศึกษาการลดทอนเสียงรบกวนจากการจราจรของทางลอด (Underpass) ทางหลวง ในเมือง João Pessoa ประเทศบราซิล การศึกษาใช้แบบจำลอง SoundPLAN เวอร์ชัน 8.0 ในการศึกษาระดับเสียงจากการกำหนดรูปแบบการจราจร และทำการตรวจวัดระดับเสียงเพื่อประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง โดยกำหนดจุดตรวจวัดทั้งหมดจำนวน 14 จุดตามถนนสองสายที่อยู่ติดกับทางลอด ซึ่งจุดตรวจวัดตั้งอยู่ในระยะทางตั้งแต่ 0 ถึง 227.9 m. จากทางลอดถึงทางเท้า การวัดทำตามมาตรฐานบราซิล NBR 10,151 สำหรับการประเมินเสียงรบกวนในสภาพแวดล้อมในเมือง กำหนดระดับความดันเสียงเทียบเท่าเป็น A-weighted (L_{Aeq}) โดยยึดติดกับขาตั้งกล้องที่ความสูง 1.30 m และวัดพารามิเตอร์การจราจรและเสียงพร้อมกัน ประกอบด้วย การเคลื่อนที่ของยานพาหนะ องค์ประกอบการจราจร และความเร็วเฉลี่ย (ใช้ Bushnell Velocity Speed Gun และกล้องวิดีโอ Sony รุ่น DCR-DVD610) พบว่าผลจากการตรวจวัดเปรียบเทียบกับแบบจำลองสำหรับสภาพการจราจรแต่ละประเภทมีความสัมพันธ์ในระดับสูง ($R^2 = 0.9616$) (Medeiros et al., 2022)

Chan et al. (2019) ทำการประยุกต์ SoundPLAN เพื่อประเมินระดับเสียงจากการจราจรทางถนนที่ส่งผลต่อนักศึกษาในหอพักของมหาวิทยาลัย Tsinghua สาธารณรัฐประชาชนจีน โดยข้อมูลนำเข้าแบบจำลองประกอบด้วยสภาพทางกายภาพของพื้นที่ (แนวถนนและมิติของอาคาร) และการตรวจวัดระดับเสียงปัจจุบันของพื้นที่ศึกษา จากนั้นทำการจำลองการแผ่ของเสียงเพื่อวิเคราะห์

บริเวณที่ปัญหาด้านเสียง และนำเสนอแนวทางแก้ไข ประกอบด้วย การติดตั้งกำแพงกันเสียงตามแนวถนน เพื่อลดระดับเสียงย่านความถี่ต่ำ ร่วมกับการติดตั้งฉนวนกันเสียงตามแนวประตูและหน้าต่างของอาคารหอพัก ดังแสดงภาพที่ 7



ภาพที่ 7 ระดับเสียงก่อนและหลังมาตรการการลดผลกระทบจากเสียงการจราจรในพื้นที่ศึกษาที่ได้จาก SoundPLAN
ที่มา: Chan et al. (2019)

Yu et al. (2020) ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) และมลพิษทางเสียง จากการจราจรที่ส่งผลต่อโรคเมตาบอลิซึม หรือ เมแทบอลิกซินโดรม (Metabolic syndrome) ในผู้สูงอายุที่เป็นชาวเม็กซิกันอเมริกันทั้งหมด 1,554 คน โดยใช้แบบจำลอง CALINE4 ในการประมาณค่า NO_x ที่เกี่ยวข้องกับการจราจรในพื้นที่ และใช้แบบจำลอง SoundPLAN ในการประเมินเสียงรบกวน จากการศึกษาพบว่าการเพิ่มขึ้นของ NO_x จากการจราจรต่อหน่วย (2.29 ส่วนต่อพันล้าน (ppb)) มีความสัมพันธ์กับระดับคอเลสเตอรอลไลโปโปรตีนความหนาแน่นสูง (HDL-

Cholesterol) ร้อยละ 15 และเสียงรบกวนที่เพิ่มขึ้นทุกๆ 11.6 เดซิเบล (dB) จะเพิ่มความเสี่ยงต่อการเกิดกลุ่มอาการเมตาบอลิซึมเพิ่มขึ้นร้อยละ 17 (Yu et al., 2020)

King et al. (2016) ทำการศึกษาประเมินมลพิษทางอากาศ และเสียงแบบผสมผสานบนเส้นทาง High Line เมืองนิวยอร์ก เพื่อตรวจสอบว่าคนเดินถนนที่ใช้ High Line จะมีการสัมผัสมลพิษที่ต่ำกว่าสำหรับผู้ที่ใช้ทางเท้าด้านล่าง โดยทำการตรวจวัด PM_{2.5} และเสียง พร้อมกันทั้ง 2 แห่ง คือ บนทางเท้าด้านล่างข้างการจราจรบนถนน และทางเดินเท้าที่เดินบนทางยกระดับสูง (High Line) การศึกษาดังนี้การลดมลพิษทางอากาศ และมลพิษทางเสียง (Air-Noise Pollution Reduction Index, ANPr) สามารถใช้วัดปริมาณระดับการลดลงของมลพิษในสิ่งแวดล้อมที่ระดับคนเดินถนนได้ ซึ่ง ANPr คำนวณด้วยการหาร้อยละการลดลงโดยเฉลี่ยของมลพิษ และคำนวณค่าเฉลี่ยของมลพิษทั้งสอง ผลลัพธ์จากการศึกษา PM_{2.5} และเสียง ในเส้นทาง High Line ทำให้เกิด ANPr ที่ร้อยละ 36.5 กล่าวคือ มลพิษทางอากาศ และเสียงโดยเฉลี่ยตามแนว High Line เมื่อเทียบกับทางเท้าด้านล่าง ลดลงร้อยละ 36.5

Nepal et al. (2019) ทำการศึกษาการใช้พลังงาน และการปล่อยมลพิษที่เกิดจากนักท่องเที่ยวที่มาเที่ยวในประเทศเนปาล นำไปสู่การสร้างนโยบายการจัดการการท่องเที่ยวอย่างยั่งยืนที่มุ่งเน้นไปที่การเพิ่มผลประโยชน์ทางเศรษฐกิจสูงสุดจากจำนวนนักท่องเที่ยวที่มาเยือน ในขณะที่เดียวกันก็ลดผลกระทบที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมให้น้อยที่สุด โดยการศึกษานี้ประเมินความสัมพันธ์ระยะสั้น และระยะยาว ระหว่างนักท่องเที่ยวที่เดินทางมาถึง ให้ได้ซึ่งผลลัพธ์ทางเศรษฐกิจต่อหัว การปล่อยมลพิษ การใช้พลังงาน และการเติบโตทางเศรษฐกิจ และทดสอบโดยใช้เศรษฐมิติอนุกรมเวลาตามแบบจำลอง Autoregressive Distributed Lag Model และการทดสอบเชิงสาเหตุ (Granger Causality Tests) ผลลัพธ์พบว่านักท่องเที่ยวที่เกิดการขยายตัวทางเศรษฐกิจนำไปสู่การขยายตัวของนักท่องเที่ยว และจำนวนนักท่องเที่ยวที่มาเยือนมากขึ้นได้สร้างผลเชิงบวกต่อการเติบโตทางเศรษฐกิจ ในทางกลับกันการใช้พลังงานของนักท่องเที่ยวส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม และนักท่องเที่ยวที่มาเยือน โดย Nepal et al. (2019) ได้เสนอแนะว่านโยบายระดับชาติในการเพิ่มจำนวนนักท่องเที่ยวควรบูรณาการเข้ากับนโยบายด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมของประเทศ เพื่อการท่องเที่ยวที่ยั่งยืน (Nepal et al., 2019)

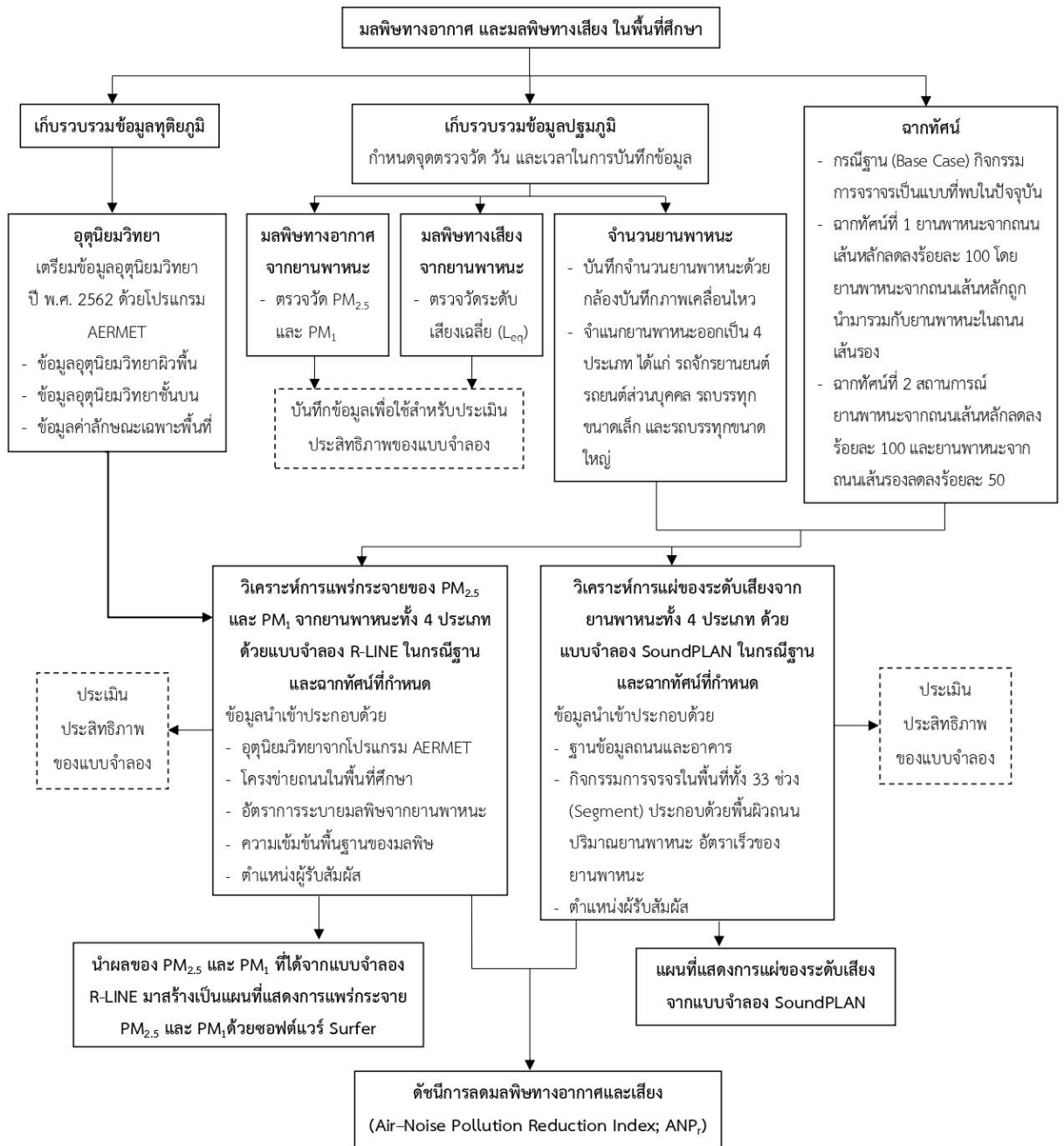
บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

3.1 วิธีการดำเนินงาน

วิธีการดำเนินงานได้กำหนดจุดสำหรับการเก็บข้อมูลปริมาณยานพาหนะ ความเข้มข้นมลพิษทางอากาศ และระดับเสียง อุปกรณ์สำหรับเก็บข้อมูล จากนั้นวิเคราะห์การแพร่กระจายความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ด้วยซอฟต์แวร์แบบจำลองคุณภาพอากาศ R-LINE และการแผ่ของเสียงด้วยซอฟต์แวร์แบบจำลองทางเสียง SoundPLAN ควบคู่กับประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง รวมถึงวิเคราะห์การลดลงของมลพิษทางอากาศและเสียงจากการกำหนดกรณีสมมติฐาน (กรณี) เปรียบเทียบกับกรณีฐาน ด้วยสมการดัชนีการลดมลพิษทางอากาศและเสียง โดยขั้นตอนการศึกษาแสดงดังภาพที่ 8





ภาพที่ 8 ขั้นตอนการศึกษา

3.2 สภาพปัจจุบันของพื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษา (ภาพที่ 9) สภาพพื้นที่ปัจจุบันในบริเวณจุดที่ 1 ถึงจุดที่ 5 มีสภาพพื้นที่ดังต่อไปนี้

จุดที่ 1: บริเวณถนนรถไฟ และถนนอัมรินทร์ (ด้านขวาของภาพที่ 9) มีการจราจรหนาแน่น เนื่องจากเป็นถนนเส้นทางสัญจรหลักสำหรับ เข้า-ออก ในพื้นที่ตัวเมืองราชบุรี ซึ่งบริเวณดังกล่าวมีตลาดสดในช่วงเช้าถึงเย็น และเป็นบริเวณที่มีประชากรในพื้นที่อาศัยอยู่อย่างหนาแน่น ทั้งนี้พื้นที่โดยรอบไม่มีที่จอดรถยนต์สาธารณะ จำเป็นต้องจอดรถริมถนน

จุดที่ 2: บริเวณถนนวรเดช (ด้านซ้ายของภาพที่ 9) เป็นที่พักอาศัยที่มีความหนาแน่นของประชากรปานกลาง และมีจุดท่องเที่ยวสำคัญ เช่น วัดช่องลม พระอารามหลวง พิพิธภัณฑสถานแห่งชาติ ราชบุรี ศาลเจ้าพ่อกวานอู และจุดถ่ายภาพประติมากรรมงานศิลปะต่าง ๆ โดยพื้นที่มีจุดจอดรถยนต์สาธารณะ

จุดที่ 3: บริเวณถนนอัมรินทร์ (กึ่งกลางของภาพที่ 9) เป็นที่พักอาศัยที่มีความหนาแน่นของประชากรต่ำ มีสถานที่ราชการ (สถานีตำรวจภูธรเมืองราชบุรี) และมีจุดท่องเที่ยวสำคัญจำนวนมาก เช่น ตลาดสนามหญ้า ศาลแขวงราชบุรี (สถานที่ราชการหลังเก่า) ซึ่งเป็นสถาปัตยกรรมทางประวัติศาสตร์ และจุดถ่ายภาพประติมากรรมงานศิลปะต่าง ๆ โดยพื้นที่มีจุดจอดรถยนต์สาธารณะบริเวณด้านหน้าสถานีตำรวจภูธรเมืองราชบุรี ซึ่งไม่เพียงพอต่อปริมาณยานพาหนะที่สัญจรในพื้นที่ ส่งผลให้ยานพาหนะบางส่วนจำเป็นต้องจอดรถริมถนน

จุดที่ 4: บริเวณถนนวรเดช และถนนศรีมหาเกษตร (ด้านขวาของภาพที่ 9) เป็นที่พักอาศัยที่มีความหนาแน่นของประชากรปานกลาง โดยบริเวณดังกล่าวเป็นบริเวณที่อยู่ติดกับริมแม่น้ำแม่กลอง เป็นสถานที่ท่องเที่ยวสำคัญที่ประชาชนชนส่วนใหญ่เดินทางมาทำกิจกรรมให้อาหารปลาตลอดทั้งวัน และมีจุดถ่ายภาพประติมากรรมงานศิลปะต่าง ๆ ซึ่งบริเวณดังกล่าวอยู่ติดกับตลาดสดในช่วงเช้า-บ่าย และในช่วงเย็นมีตลาดและกิจกรรมนันทนาการต่าง ๆ โดยนักท่องเที่ยวสามารถสัญจร และจอดรถยนต์สาธารณะบนทางเท้าได้ (ทางเท้าเป็นที่จอดรถยนต์สาธารณะ) ทั้งนี้ในวันศุกร์ เสาร์ และอาทิตย์ เวลา 17.00น. - 22.00 น. ของสัปดาห์ มีตลาดถนนคนเดิน (ตลาดเก่าโคยก็) ในพื้นที่ไม่ให้มีการสัญจรของยานพาหนะ และไม่ให้ออกกำลังกายบนทางเท้า

จุดที่ 5: บริเวณถนนอัมรินทร์ (ด้านซ้ายของภาพที่ 9) เป็นที่พักอาศัยที่มีความหนาแน่นของประชากรต่ำ และสถานที่ราชการ (สำนักงานคณะกรรมการการเลือกตั้งประจำจังหวัดราชบุรี) ไม่มีสถานที่ท่องเที่ยว และจุดจอดรถยนต์สาธารณะ

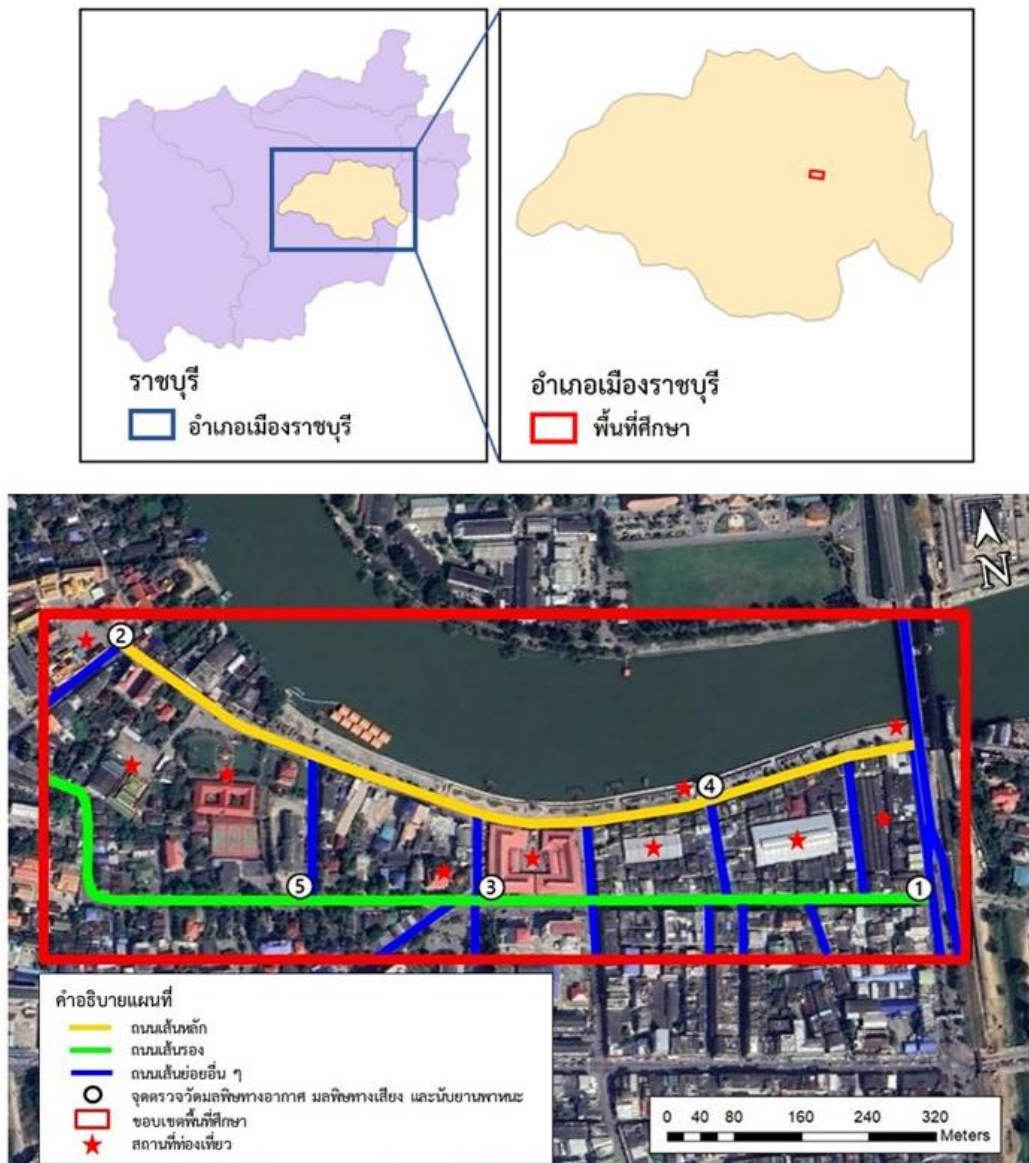
3.3 พื้นที่เก็บข้อมูล

การศึกษาครั้งนี้ทำการตรวจวัดมลพิษทางอากาศ และระดับเสียง เพื่อประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง ควบคู่กับการบันทึกภาพเคลื่อนไหวของยานพาหนะ ทั้งหมด 5 จุด ตามแนวถนนในพื้นที่ศึกษาเมืองเก่าราชบุรี ตำบลหน้าเมือง อำเภอเมือง จังหวัดราชบุรี แสดงดังภาพที่ 9 ซึ่งได้เลือกจุดตรวจวัดตามความเหมาะสมของพื้นที่ โดยคำนึงถึงความปลอดภัยของเครื่องมือและผู้เก็บข้อมูล สถานที่มีไฟฟ้าพร้อมใช้งาน ตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่างข้อมูลมีดังต่อไปนี้

- จุดที่ 1 สามแยกตลาดสดเทศบาล 3 (ถนนอัมรินทร์)
- จุดที่ 2 สามแยกวัดช่องลม (ถนนวรเดช)
- จุดที่ 3 สี่แยกสถานีตำรวจภูธรเมืองราชบุรี (ถนนอัมรินทร์)
- จุดที่ 4 สามแยกห้องสมุดเคลื่อนที่ ตลาดเก่าโคยก็ (ถนนศรีมหาเกษตร)
- จุดที่ 5 สามแยกสำนักงานคณะกรรมการการเลือกตั้งประจำจังหวัดราชบุรี (ถนนอัมรินทร์)

3.4 อุปกรณ์ และซอฟต์แวร์ที่ใช้ทำการวิจัย

- 1) กล้องบันทึกภาพเคลื่อนไหว ยี่ห้อ D-Cam รุ่น D2
- 2) เครื่องวัดเสียง ยี่ห้อ RION รุ่น NL- 62 (IEC 61672-1 Class 1)
- 3) การ์ดบันทึกข้อมูลของกล้องบันทึกภาพเคลื่อนไหว และเครื่องวัดเสียง
- 4) พองน้ำกันลม (Windscreen)
- 5) ขาตั้งไมโครโฟนเครื่องวัดเสียง
- 6) สายสัญญาณเชื่อมต่อระหว่างไมโครโฟนกับเครื่องวัดเสียง
- 7) อุปกรณ์ปรับเทียบความถูกต้องเครื่องวัดเสียง ยี่ห้อ RION รุ่น NC- 74 (IEC 60942 Class 1)
- 8) เครื่องตรวจวัดฝุ่นละออง (PM_{2.5} และ PM₁) แบบ Low-Cost Sensor รุ่น WP6910
- 9) เครื่องคอมพิวเตอร์
- 10) ซอฟต์แวร์แบบจำลองคุณภาพอากาศ AERMOD View เวอร์ชัน 9.9.2
- 11) ซอฟต์แวร์แบบจำลองคุณภาพอากาศ R-LINE เวอร์ชัน 1.2
- 12) ซอฟต์แวร์แบบจำลองพื้นผิว Surfer เวอร์ชัน 8.0
- 13) ซอฟต์แวร์แบบจำลองทางเสียง SoundPLAN เวอร์ชัน 5.0
- 14) ซอฟต์แวร์ Google Earth
- 15) ซอฟต์แวร์ ไมโครซอฟท์เอ็กเซล เวอร์ชัน 2016



ภาพที่ 9 ขอบเขตพื้นที่ศึกษา

3.5 วิธีการศึกษา

3.5.1 ที่ตั้งและขนาดของพื้นที่

พื้นที่เขตเมืองเก่าราชบุรี อำเภอเมือง จังหวัดราชบุรี เป็นพื้นที่ศึกษามีขนาดพื้นที่ทั้งหมด 0.31 ตารางกิโลเมตร (900 x 350 เมตร) (ภาพที่ 9) แบ่งถนนภายในพื้นที่ศึกษาทั้งหมด 33 ช่วง (Segment) โดยวัดความกว้าง ยาวของถนนแต่ละช่วงด้วยซอฟต์แวร์ Google Earth และระบุ

ตำแหน่งของพื้นที่ศึกษาเพื่อแบบจำลองใช้ในการคำนวณพื้นที่ (Model Domain) ตามระบบพิกัดภูมิศาสตร์ Universal Transverse Mercator Co-Ordinate System (UTM)

3.5.2 โครงข่ายของถนน

โครงข่ายของถนน (Road Link) ตามเส้นทางถนนภายในพื้นที่ศึกษาเขตเมืองเก่าราชบุรี ตำบลหน้าเมือง อำเภอเมือง จังหวัดราชบุรี ซึ่งถูกแบ่งช่วงถนนออกเป็น 3 ประเภท ดังภาพที่ 9 โดย (1) ถนนเส้นหลัก (เส้นสีเหลือง) คือ สามแยกถนนจรดหน้าวัดช่องลมถึงสามแยกถนนจรดชอยส์จากริมย์หน้าตลาดเก่า (2) ถนนเส้นรอง (เส้นสีเขียว) คือ สามแยกถนนอัมรินทร์บริเวณตลาดเทศบาล 3 ถึงถนนสุรพันธ์เสนีย์ และ (3) ถนนเส้นย่อย (เส้นสีน้ำเงิน) คือ ถนนทั้งหมดที่เหลือภายในพื้นที่ศึกษา

3.5.3 การบันทึกจำนวนยานพาหนะ

การบันทึกจำนวนยานพาหนะ มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้เป็นข้อมูลนำเข้าแบบจำลองคุณภาพอากาศ R-LINE และแบบจำลองทางเสียง SoundPLAN โดยทำการบันทึกภาพเคลื่อนไหวของยานพาหนะทั้งหมด 5 จุด ด้วยกล้องบันทึกภาพเคลื่อนไหว ยี่ห้อ D-Cam รุ่น D2 ดังภาพที่ 9 และนำไฟล์ข้อมูลที่บันทึกได้มานับจำนวนยานพาหนะในพื้นที่ศึกษาในแต่ละชั่วโมง (คัน/ชั่วโมง) จำแนกเป็น 4 ประเภท อ้างอิงจาก European Environment Agency (2019) คือ (1) รถจักรยานยนต์ (Motorcycles; MC) (2) รถยนต์ส่วนบุคคล (Passenger Cars; PC) ได้แก่ รถยนต์โดยสารขนาดเล็กเกินเจ็ดที่นั่ง และรถยนต์โดยสารขนาดเล็กเกินเจ็ดที่นั่ง (3) รถบรรทุกขนาดเล็ก (Light Duty Vehicles; LDV) ได้แก่ รถตู้เกินเจ็ดที่นั่ง รถบัสขนาดเล็ก และ (4) รถบรรทุกขนาดใหญ่ (Heavy Duty Vehicles; HDV) ได้แก่ รถบัส รถกึ่งรถบรรทุก รถบรรทุก รถกึ่งพ่วง และรถพ่วง โดยได้กำหนดให้จุดที่ 3 เป็นจุดที่นำข้อมูลมาใช้ในการหาสัดส่วนของปริมาณยานพาหนะในจุดตรวจวัดอื่น ๆ ซึ่งบันทึกภาพการเคลื่อนตัวของยานพาหนะตลอด 24 ชั่วโมง (วรศักดิ์ วงษ์รอด, 2547) คือ 07.00 – 07.00 น. ครอบคลุมวันทำงานและวันหยุด (วันพฤษภาคม – วันศุกร์ เป็นตัวแทนวันทำงาน และ วันเสาร์ – วันอาทิตย์ เป็นตัวแทนของวันหยุด) รวม 48 ชั่วโมง ส่วนจุดตรวจวัดที่เหลืออีก 4 จุด ได้ดำเนินการบันทึกภาพการเคลื่อนตัวของยานพาหนะในวันทำงานเฉพาะช่วงเวลา 12 ชั่วโมง คือ 07.00 – 19.00 น. และนำสัดส่วนของปริมาณยานพาหนะจำแนกตามประเภทของรถ 4 ประเภทข้างต้น มาคำนวณหาปริมาณยานพาหนะในช่วงเวลาที่เหลือ (19.00 – 07.00 น.) ทั้งในวันทำงาน และวันหยุด

เพื่อให้ได้จำนวนยานพาหนะครบ 24 ชั่วโมง ดังนั้นจึงมีปริมาณยานพาหนะรายชั่วโมงครบ 24 ชั่วโมง ในทุกจุดตรวจวัด ครอบคลุมวันทำงาน และวันหยุด

3.5.4 การตรวจวัดมลพิษทางอากาศ

การตรวจวัด PM_{2.5} และ PM₁ มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้สำหรับประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองคุณภาพอากาศ R-LINE โดยทำการตรวจวัดที่ตำแหน่งเดียวกับการบันทึกภาพเคลื่อนไหวของยานพาหนะ (จำนวน 5 จุด ดังภาพที่ 9) ตรวจวัดทุกๆ 30 วินาที เป็นเวลา 8 ชั่วโมง คือ 08.00 – 16.00 น. ในหนึ่งวันทำงาน ด้วยเครื่องตรวจวัด แบบ Low-Cost Sensor รุ่น WP6910 ซึ่งได้ทำการปรับเทียบ (Calibration) แบบ Zero Calibration ก่อนการตรวจวัด โดยนำเครื่องตรวจวัดใส่ไว้ในถุงพลาสติกซิปล็อคใสที่สะอาด ขนาดความกว้าง 30 เซนติเมตร ยาว 48 เซนติเมตร จากนั้นเติมอากาศที่ผ่านเครื่องกรองอากาศเข้าไปภายในถุงพร้อมกับเปิดเครื่องตรวจวัดให้ทำการตรวจวัดอากาศภายในถุงเป็นเวลา 5 นาที โดยทำซ้ำทั้งหมด 3 ครั้ง ทั้งนี้ค่าฝุ่นละอองที่ตรวจวัดได้ภายในถุงพลาสติกซิปล็อคต้องมีค่าเป็น 0 µg/m³ ทั้ง 3 ครั้ง

3.5.5 การตรวจวัดระดับเสียงจากการจราจร

การตรวจวัดระดับเสียงจากการจราจร มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ในการประเมินแบบจำลองทางเสียง SoundPLAN โดยได้ดำเนินการพร้อมกับการบันทึกจำนวนยานพาหนะ เริ่มจากการติดตั้งเครื่องวัดเสียงตามข้อกำหนดวิธีการตรวจวัดเสียงบริเวณภายนอกอาคาร ของประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมฉบับที่ 15 พ.ศ. 2540 เรื่อง กำหนดมาตรฐานระดับเสียงโดยทั่วไป (กรมควบคุมมลพิษ, 2563a) ซึ่งกำหนดให้ตั้งไมโครโฟนของเครื่องวัดเสียงที่สูงจากพื้นไม่น้อยกว่า 1.2 เมตร โดยในรัศมี 3.5 เมตร ตามแนวราบรอบไมโครโฟนต้องไม่มีกำแพงหรือสิ่งอื่นใดที่มีคุณสมบัติในการสะท้อนเสียงกีดขวางอยู่ เมื่อทำการติดตั้งเครื่องวัดเสียงตามตำแหน่งที่ต้องการแล้ว ได้เลือกโหมดการทำงานของเครื่องเป็นแบบอัตโนมัติ ตั้งค่าให้วัดระดับเสียงเฉลี่ย (L_{eq}) บันทึกค่า ทุกๆ 1 วินาที ต่อเนื่อง 12 ชั่วโมง พร้อมทั้งบันทึกค่าระดับเสียงเฉลี่ย 12 ชั่วโมง (L_{eq,12h}) ณ จุดตรวจวัดที่ 1 2 4 และ 5 เฉพาะวันทำงาน ส่วนจุดตรวจวัดที่ 3 วัดระดับเสียงเฉลี่ย (L_{eq}) บันทึกค่าทุกๆ 1 วินาที ต่อเนื่อง 24 ชั่วโมง พร้อมทั้งบันทึกค่าระดับเสียงเฉลี่ย 24 ชั่วโมง (L_{eq,24h}) ในวันทำงาน และวันหยุด

3.5.6 การเตรียมข้อมูลอุตุนิยมวิทยา

ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาที่ใช้ในแบบจำลองคุณภาพอากาศ R-LINE ใช้ผลลัพธ์จากแบบจำลองอุตุนิยมวิทยา AERMET ซึ่งการศึกษานี้ได้ใช้โปรแกรม AERMET ในซอฟต์แวร์แบบจำลองคุณภาพอากาศ AERMOD View เวอร์ชัน 9.9.2 (Lakes Environmental Software) ซึ่งโปรแกรม AERMET ใช้ข้อมูล 3 ส่วน คือ ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาผิวพื้น (Surface Data) ข้อมูลอากาศชั้นบน (Upper Air Data) และค่าลักษณะพื้นที่

3.5.6.1 ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาผิวพื้น

ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาผิวพื้น (Surface Data) รวบรวมข้อมูลจากสถานีอุตุนิยมวิทยาราชบุรี อำเภอเมือง จังหวัดราชบุรี ปี พ.ศ. 2562 ประกอบด้วยตัวแปรดังตารางที่ 5 ซึ่งเป็นข้อมูลราย 3 ชั่วโมง นำมาปรับค่าให้เป็นข้อมูลราย 1 ชั่วโมง โดยใช้หลักการเฉลี่ยค่าเพื่อให้ได้ข้อมูลอีก 2 ชุด สำหรับข้อมูลทั้งหมด (วราวุธ เสือดี, 2551) ซึ่งมีข้อมูลชั่วโมงที่ 1 และ ข้อมูลชั่วโมงที่ 4 ต้องการเฉลี่ยข้อมูลในช่วงชั่วโมงที่ 2 ชั่วโมงที่ 3 มีวิธีการดังนี้

$$\text{ข้อมูลชั่วโมงที่ 2} = (\text{ข้อมูลชั่วโมงที่ 1}) + (\text{ข้อมูลชั่วโมงที่ 4} - \text{ข้อมูลชั่วโมงที่ 1})/3$$

$$\text{ข้อมูลชั่วโมงที่ 3} = (\text{ข้อมูลชั่วโมงที่ 1}) + (\text{ข้อมูลชั่วโมงที่ 4} - \text{ข้อมูลชั่วโมงที่ 1}) \times 2/3$$

ทั้งนี้ข้อมูลความสูงฐานเมฆ (Ceiling Height) บางช่วงข้อมูลขาดหายไปได้ทำการใส่ข้อมูลเป็น 9999 ทดแทนข้อมูลที่ขาดหายเพื่อให้มีความครบถ้วนของข้อมูล จากนั้นนำข้อมูลทั้งหมดที่ได้มาจัดเรียงข้อมูลในรูปแบบของ SCRAM Format

3.5.6.2 ข้อมูลอากาศชั้นบน

ข้อมูลอากาศชั้นบน (Upper air Data) รวบรวมข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยา เขตบางนา กรุงเทพมหานคร ปี พ.ศ. 2562 ประกอบด้วยตัวแปรดังตารางที่ 5 ซึ่งเป็นข้อมูลราย 3 ชั่วโมง ใช้หลักการเฉลี่ยค่าให้เป็นข้อมูลราย 1 ชั่วโมง เช่นเดียวกับหัวข้อที่ 3.5.6.1 ทั้งนี้จากข้อมูลดังกล่าวมีความไม่ครบถ้วนของข้อมูล โดยมีข้อมูลบางช่วงที่ขาดหายไป จึงใช้ข้อมูลจาก Meteoblue AG (www.meteoblue.com) พ.ศ. 2562 (Meteoblue AG, 2019) ใส่ลงในช่วงที่ข้อมูลขาดหายเพื่อให้มีความครบถ้วนของข้อมูล จากนั้นนำข้อมูลทั้งหมดที่ได้มาจัดเรียงในรูปแบบของ FSL Format (Forecast System Laboratory)

ตารางที่ 5 ตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยาที่ใช้ในการสร้างชุดข้อมูลอุตุนิยมวิทยาด้วยโปรแกรม AERMET

อุตุนิยมวิทยา	ตัวแปร	หน่วย
อุตุนิยมวิทยาพื้นผิว	ความเร็วลม (Wind Speed)	นอต (Knot)
	ทิศทางลม (Wind Direction)	องศา (°)
	อุณหภูมิ (Temperature)	องศาฟาเรนไฮต์ (°F)
	ปริมาณเมฆปกคลุม (Cloud Cover)	-
	ความสูงฐานเมฆ (Ceiling Height)	ฟุต (ft)
อุตุนิยมวิทยาชั้นบน	ความดันที่ระดับมาตรฐาน	มิลลิบาร์ (mBar)
	ความสูงที่ระดับมาตรฐาน	เมตร (m)
	อุณหภูมิที่ระดับมาตรฐาน (Temperature)	องศาเซลเซียส (°C)
	อุณหภูมิจุดน้ำค้าง	องศาเซลเซียส (°C)
	ทิศทางลมที่ระดับความดันมาตรฐาน (Wind direction)	องศา (°)
	ความเร็วลมที่ระดับความดันมาตรฐาน (Wind speed)	นอต (Knot)

3.5.6.3 ค่าลักษณะเฉพาะพื้นที่

ค่าลักษณะเฉพาะพื้นที่ จากการประเมินสภาพพื้นที่จริงในพื้นที่ศึกษาเป็นพื้นที่เขตเมือง (พื้นที่เขตเมืองช่วงฤดูร้อน) จึงกำหนดค่าลักษณะเฉพาะพื้นที่ให้ค่าดังนี้

(1) Albedo การสะท้อนของการแผ่รังสีจากพื้นดินกลับสู่บรรยากาศโดยไม่มีการดูดซับ ใช้ค่า 0.16 (พื้นที่เขตเมืองช่วงฤดูร้อน)

(2) Bowen Ratio อัตราส่วนของการเปลี่ยนแปลงความร้อน (Sensible Heat Flux) ต่อการเปลี่ยนแปลงของความร้อนแฝง ใช้ค่า 2.0 (พื้นที่เขตเมืองช่วงฤดูร้อน)

(3) Surface Roughness Length ความสูงที่ความเร็วลมเฉลี่ยในแนวระดับเป็นศูนย์ ใช้ค่า 1.0 (พื้นที่เขตเมืองช่วงฤดูร้อน)

3.5.7 การเตรียมข้อมูลอัตราการระบายมลพิษจากยานพาหนะ

3.5.7.1 สัมประสิทธิ์การระบายสารมลพิษ

สัมประสิทธิ์การระบายมลพิษ (Emission Factors, EF) หน่วย กรัม/คัน-กิโลเมตร โดยค่าสัมประสิทธิ์ของ PM_{2.5} ได้จาก EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory

Guidebook 2019 (European Environment Agency, 2019) และค่าสัมประสิทธิ์ของ PM_1 ได้จาก EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook 2019 (European Environment Agency, 2019) และ (Kupiainen & Klimont, 2004)

3.5.7.2 การคำนวณอัตราการระบายมลพิษจากยานพาหนะ

อัตราการระบายมลพิษจากยานพาหนะ (Emission Rate, ER) หน่วย กรัม/ชั่วโมง ทั้ง 2 ชนิด ได้แก่ $PM_{2.5}$ และ PM_1 คำนวณได้จากสมการอัตราการระบายมลพิษจากยานพาหนะ ดังหัวข้อที่ 2.5 (สมการที่ 2.1) คือ

$$ER = EF \times A \quad \text{สมการที่ 2.1}$$

โดย ER คือ อัตราการระบายมลพิษจากยานพาหนะ (Emission Rate)

EF คือ สัมประสิทธิ์การระบายมลพิษ (Emission Factors)

A คือ กิจกรรมของยานพาหนะ (Activity)

สัมประสิทธิ์การระบายมลพิษ และกิจกรรมของยานพาหนะ แสดงสมการดัง

หัวข้อที่ 2.5 (สมการที่ 2.2 และ 2.3)

$$EF = \text{ปริมาณสารมลพิษ (กรัม)} / (\text{ระยะทาง (กิโลเมตร)} \times \text{ยานพาหนะ (คัน)}) \quad \text{สมการที่ 2.2}$$

$$A = \text{จำนวนยานพาหนะ (คัน/ชั่วโมง)} \times \text{ระยะทางของถนนที่ศึกษา (กิโลเมตร)} \quad \text{สมการที่ 2.3}$$

3.5.8 วิเคราะห์ความเข้มข้นพื้นฐานของมลพิษ

ความเข้มข้นพื้นฐานของมลพิษ (Background Concentrations) ใช้ในการบวกเพิ่มความเข้มข้นที่ได้จากแบบจำลองคุณภาพอากาศ R-LINE ซึ่งความเข้มข้นพื้นฐานของ $PM_{2.5}$ ใช้ค่าความเข้มข้นต่ำสุดของ $PM_{2.5}$ รายชั่วโมง ที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 20 ในช่วงเวลาสุ่มตัวอย่าง (Bigi & Ghermandi, 2011) โดยความเข้มข้นพื้นฐานของมลพิษในพื้นที่ศึกษา ใช้ค่าความเข้มข้นต่ำสุดของ $PM_{2.5}$ รายชั่วโมง ปี พ.ศ. 2562 ทั้งหมด 365 วัน จากกรมควบคุมมลพิษ พื้นที่บริเวณตำบลหน้าเมือง อำเภอเมือง จังหวัดราชบุรี จากนั้นนำมาหาค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 20 ส่วนความเข้มข้นพื้นฐานของมลพิษของ PM_1 ได้จากการคำนวณสัดส่วนของค่าเฉลี่ย $PM_1/PM_{2.5}$ จากการตรวจวัดในพื้นที่ศึกษา (ตามหัวข้อที่ 3.5.4) จากนั้นนำผลสัดส่วน PM_1 ที่ได้คูณด้วยค่าความเข้มข้นพื้นฐานของมลพิษของ $PM_{2.5}$ จะได้ค่าความเข้มข้นพื้นฐานของมลพิษของ PM_1

3.5.9 ประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง

การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง มีวัตถุประสงค์เพื่อทราบถึงความถูกต้องของผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลอง R-LINE และ SoundPLAN โดยนำข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดมาเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากแบบจำลอง และวิเคราะห์ด้วยตัวชี้วัดทางสถิติ ได้แก่ Fractional Bias (FB) Normalized Mean Square Error (NMSE) Geometric Variance (VG) Correlation Coefficient (R) และ Fraction Of Predictions Within A Factor Of Two Of Observations (FAC2) พร้อมทั้งใช้ Quantile – Quantile Plots (Q-Q plots) โดยมีรายละเอียดดังนี้

(1) Fractional Bias (FB) เป็นตัวชี้วัดค่าอคติสัมพัทธ์เฉลี่ย และระบุข้อผิดพลาดอย่างเป็นระบบ เป็นความแตกต่างระหว่างค่าที่ได้จากแบบจำลอง และค่าจากการตรวจวัด ซึ่งค่า FB ที่เหมาะสมมีค่าเท่ากับ 0 โดยสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.1 (Chang & Hanna, 2004)

$$FB = \frac{\bar{C}_o - \bar{C}_p}{0.5(\bar{C}_o + \bar{C}_p)} \quad \text{สมการที่ 3.1}$$

โดย C_o คือ ค่าที่ได้จากการตรวจวัด

C_p คือ ค่าที่ได้จากแบบจำลอง

\bar{C}_o คือ ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการตรวจวัด

\bar{C}_p คือ ค่าเฉลี่ยที่ได้จากแบบจำลอง

(2) Normalized Mean Square Error (NMSE) เป็นการประมาณความเบี่ยงเบนโดยรวมระหว่างค่าที่ได้จากแบบจำลองและค่าที่ได้จากการตรวจวัด ซึ่งค่า NMSE ที่เหมาะสมมีค่าเท่ากับ 0 โดยสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.2 (Chang & Hanna, 2004)

$$NMSE = \frac{(\bar{C}_o - \bar{C}_p)^2}{\bar{C}_o \bar{C}_p} \quad \text{สมการที่ 3.2}$$

(3) Geometric Variance (VG) เป็นค่าที่วัดการกระจายของแบบจำลอง ซึ่งค่า VG ที่เหมาะสมมีค่าเท่ากับ 1 โดยสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.3 (Chang & Hanna, 2004)

$$VG = \exp[(\ln \bar{C}_o - \bar{C}_p)^2] \quad \text{สมการที่ 3.3}$$

(4) Correlation Coefficient (R) หรือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เป็นค่าที่บ่งชี้ถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสองตัวแปร ซึ่งค่า R ที่เหมาะสมมีค่าเท่ากับ 1 โดยสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.4 (Chang & Hanna, 2004)

$$R = \frac{(c_o - \bar{c}_o)(c_p - \bar{c}_p)}{\sigma_{c_p} \sigma_{c_o}} \quad \text{สมการที่ 3.4}$$

โดย σ_c คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

σ_{c_o} คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าที่ได้จากการตรวจวัด

σ_{c_p} คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าที่ได้จากแบบจำลอง

(5) Fraction Of Predictions Within A Factor Of Two Of Observations (FAC2) เป็นค่าที่ใช้ดูการกระจายของชุดข้อมูลเชิงพื้นที่ ซึ่งค่า FAC2 ที่เหมาะสมมีค่าเท่ากับ 1 โดยสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.5 (Chang & Hanna, 2004)

FAC2 = fraction of data that satisfy

$$0.5 \leq \frac{c_p}{c_o} \leq 2.0 \quad \text{สมการที่ 3.5}$$

(6) Quantile – Quantile Plots (Q-Q plots) เป็นการเปรียบเทียบข้อมูลสองตัวแปร ซึ่งใช้ค่าที่ได้จากแบบจำลองกับค่าที่ได้จากการตรวจวัด นำมาทำเป็นพล็อตการกระจาย คู่พิกัดแต่ละคู่ที่กำหนดตำแหน่งของจุดประกอบด้วยค่าข้อมูล และการประมาณที่สอดคล้องกันสำหรับค่าข้อมูลนั้นที่ได้มาจากฟังก์ชันควอนไทล์ของการแจกแจงแบบพอดี้ โดย Q-Q plots สำหรับการแจกแจงแบบพอดี้ที่เป็นตัวแทนของข้อมูลอย่างสมบูรณ์จะมีจุดทั้งหมดตกลงบนเส้นทแยงมุม 1: 1 (Wilks, 2011)

3.5.10 กำหนดกรณี

พื้นที่ศึกษาเป็นพื้นที่ที่กำหนดขึ้นภายใต้ชุดโครงการวิจัยการอนุรักษ์และพัฒนาเมืองเก่าราชบุรีเมืองสร้างสรรค์และน่าอยู่เพื่อการพัฒนาเศรษฐกิจฐานนวัตกรรมและความเป็นอยู่ที่ยั่งยืน โครงการย่อย การพัฒนาทุนทางวัฒนธรรมเพื่อการท่องเที่ยวเมืองน่าอยู่ราชบุรี (คณะโบราณคดี มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2563) โดยในรายงานดังกล่าวได้กำหนดพื้นที่ศึกษาสำหรับการท่องเที่ยวโดยการเดินเท้า (ตลาดเก่าเมืองราชบุรี) ทั้งนี้ผู้วิจัยเล็งเห็นความสำคัญของปัญหามลพิษทางอากาศ และมลพิษทางเสียงจากยานพาหนะ ที่อาจส่งผลกระทบต่อผู้รับสัมผัสที่เป็นผู้ใช้เส้นทางท่องเที่ยวโดย

การเดินทาง จึงได้กำหนดกรณีให้ถนนริมน้ำปลอดจากยานพาหนะ เพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวให้กับจังหวัดราชบุรี ดังนั้นในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของมลพิษทางอากาศ ($PM_{2.5}$ และ PM_{10}) และมลพิษทางเสียง จึงได้กำหนดกรณี (Scenarios) จากการเปลี่ยนแปลงของจำนวนยานพาหนะในพื้นที่เมืองเก่าราชบุรี (ภาพที่ 9) ดังนี้

- 1) กรณีฐาน (Base Case) กิจกรรมการจราจรเป็นแบบที่พบในปัจจุบัน
- 2) กรณีที่ 1 ยานพาหนะจากถนนเส้นหลักลดลงร้อยละ 100 โดยยานพาหนะจากถนนเส้นหลักถูกนำมารวมกับยานพาหนะในถนนเส้นรอง
- 3) กรณีที่ 2 สถานการณ์ยานพาหนะจากถนนเส้นหลักลดลงร้อยละ 100 และยานพาหนะจากถนนเส้นรองลดลงร้อยละ 50

3.5.11 วิเคราะห์การแพร่กระจายของมลพิษทางอากาศ

งานวิจัยนี้ วิเคราะห์การแพร่กระจายของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} จากยานพาหนะ ด้วยซอฟต์แวร์แบบจำลองคุณภาพอากาศ R-LINE เวอร์ชัน 1.2 โดยการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองคุณภาพอากาศ R-LINE เริ่มจากการกำหนดขนาดของพื้นที่ศึกษา (Domain Size) เท่ากับ 900×350 เมตร (ภาพที่ 9) และนำเข้าข้อมูลต่างๆ ประกอบด้วย

- (1) ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาผิวพื้น และข้อมูลอากาศชั้นบน ที่ได้จากโปรแกรม AERMET (จากแบบจำลองคุณภาพอากาศ AERMOD)
- (2) ข้อมูลโครงข่ายถนนในพื้นที่ศึกษา โดยระบุแนวเส้นถนนแต่ละเส้นเป็นพิกัด x,y เริ่มต้น และ x,y สิ้นสุด (เมตร)
- (3) ข้อมูลอัตราการระบายของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} จากยานพาหนะ รวมถึงความสูงของแหล่งกำเนิด (ความสูงจากพื้นถึงท่อไอเสีย เท่ากับ 0.3 เมตร)
- (4) ข้อมูลตำแหน่งผู้รับสัมผัสมลพิษ ซึ่งกำหนดให้ตำแหน่งของ Discrete Receptors เป็นตำแหน่งเดียวกับจุดตรวจวัดมลพิษทางอากาศและมลพิษทางเสียง (ภาพที่ 9) และกำหนดให้ Grid Receptors ครอบคลุมพื้นที่การศึกษาโดยมีระยะห่างของแต่ละ Grid ทุกๆ 10 เมตร โดยความสูงของผู้รับสัมผัส เท่ากับ 1.5 เมตร

ข้อมูลในข้อ (2) (3) และ (4) ถูกจัดเตรียมในซอฟต์แวร์ ไมโครซอฟต์แวร์เอ็กซ์เซล เวอร์ชัน 2016 และแปลงไฟล์ข้อมูลให้เป็นไฟล์ข้อมูลสกุล .txt ไฟล์ จากนั้นนำผลของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ที่เป็นค่าเฉลี่ยรายวัน (.csv ไฟล์) มาสร้างเป็นแผนที่แสดงการแพร่กระจายมลพิษ $PM_{2.5}$ และ

PM₁ ในพื้นที่ศึกษา ด้วยซอฟต์แวร์ Surfer เวอร์ชัน 8.0 จำแนกเป็นกรณีฐาน กรณีที่ 1 และกรณีที่ 2 (หัวข้อที่ 3.5.10) อนึ่ง เนื่องจากข้อจำกัดของแบบจำลอง R-LINE การศึกษาจึงไม่ได้พิจารณามิติของอาคารและลักษณะของภูมิประเทศ (Snyder et al., 2013)

3.5.12 วิเคราะห์การแผ่ของมลพิษทางเสียง

งานวิจัยนี้วิเคราะห์การแผ่ของมลพิษทางเสียงที่เกิดจากยานพาหนะ โดยใช้ซอฟต์แวร์แบบจำลองทางเสียง SoundPLAN เวอร์ชัน 5.0 โดยมีขั้นตอนดังนี้

(1) ระบุค่าพื้นฐานต่างๆ ประกอบด้วย มาตรฐานในการคำนวณประเภทของเสียงรบกวนที่ใช้ในซอฟต์แวร์ SoundPLAN (TNM 3.0 และ ISO9613-2: 1996) และช่วงเวลาในการวิเคราะห์ ทั้งนี้เกณฑ์มาตรฐานของเสียงที่ใช้ในการศึกษาดังกล่าว แบบจำลองจะแสดงผลลัพธ์ออกมาเป็นตัวชี้วัด (Noise Descriptor) 2 ตัว ประกอบด้วย ระดับเสียงกลางวัน (Daytime Noise Level; L_d) และระดับเสียงกลางคืน (Night-Time Noise Level; L_n) โดยระดับเสียงกลางวัน คือ ระดับเสียงเฉลี่ยในช่วงเวลา 07.00 – 22.00 น. และระดับเสียงกลางคืน คือ ระดับเสียงเฉลี่ยในช่วงเวลา 22.00 – 07.00 น. (ระดับเสียงกลางคืนมีการบวกเพิ่ม 10 dB(A) เพื่อชดเชยความรู้สึกรบกวนในช่วงเวลาดังกล่าว)

(2) สร้างฐานข้อมูลถนนและอาคาร ซึ่งใช้ข้อมูลจากการสำรวจและแผนที่จากซอฟต์แวร์ Google Earth ด้วยวิธี Digitization และระบุความกว้างของถนนและความสูงของอาคารโดยมิติของอาคาร (ความกว้าง ความยาวและความสูงของอาคาร) ในพื้นที่ศึกษา ใช้สำหรับเป็นข้อมูลนำเข้าเพื่อวิเคราะห์การแผ่ของเสียง โดยทำการ Digitization ในซอฟต์แวร์ SoundPLAN โดยตรงด้วยข้อมูลที่ได้จากการสำรวจในพื้นที่และวิเคราะห์จากซอฟต์แวร์ Google Earth

(3) ระบุข้อมูลกิจกรรมการจราจรในพื้นที่ศึกษา ที่ได้จากการสำรวจถนนทั้ง 3 ประเภท ได้แก่ ถนนเส้นหลัก ถนนเส้นรอง และถนนเส้นย่อยอื่นๆ รวมทั้งสิ้น 33 ช่วง (Segment) ประกอบด้วย ชนิดของพื้นผิวถนน ปริมาณยานพาหนะ อัตราเร็วของยานพาหนะ โดยการใส่ข้อมูลแยกเป็นข้อมูลจากวันทำงานและวันหยุด

(4) จากนั้นซอฟต์แวร์จะทำการคำนวณระดับเสียงตามเกณฑ์มาตรฐานของเสียงที่เลือกไว้ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ จะได้ระดับเสียงที่เกิดขึ้นในพื้นที่ศึกษาทั้งในรูปแบบของตารางและแผนที่แสดงระดับเสียง การศึกษานี้ได้วิเคราะห์การแผ่ของเสียง ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงยานพาหนะตามกรณีที่กำหนดไว้ในหัวข้อที่ 3.5.10 คือ กรณีฐาน กรณีที่ 1 และกรณีที่ 2

3.5.13 คำนวณดัชนีการลดมลพิษทางอากาศและเสียง

ดัชนีการลดมลพิษทางอากาศและเสียง (Air-Noise Pollution Reduction Index; ANPr) เป็นสมการอย่างง่ายเพื่อวิเคราะห์ผลกระทบรวม (Combine Effects) จากการเปลี่ยนแปลงของมลพิษทางอากาศและเสียงที่เกิดจากการดำเนินกิจกรรมหรือโครงการ ดัชนีดังกล่าวคำนวณจากร้อยละการลดลงของมลพิษทั้งสองประเภท โดยนำค่ามลพิษจากกรณีฐานลบด้วยค่ามลพิษจากกรณีที่ 1 และกรณีที่ 2 จากนั้นนำมาหาดัชนีการลดมลพิษทางอากาศและเสียง (King et al., 2009; King et al., 2016) โดยคำนวณจากการหาค่าเฉลี่ยร้อยละการลดลงของมลพิษทั้งสองประเภท ดังสมการที่ 3.6

$$ANPr = (AP_r + NP_r) / 2 \quad \text{สมการที่ 3.6}$$

ANPr คือ ดัชนีการลดมลพิษทางอากาศและเสียง

(Air-Noise Pollution Reduction Index)

APr คือ ร้อยละของมลพิษทางอากาศที่ลดลง (Air Pollution Reduction)

NPr คือ ร้อยละของมลพิษทางเสียงที่ลดลง (Noise Pollution Reduction)

โดยระดับเสียงที่ใช้ในดัชนีการลดมลพิษทางอากาศและเสียง (ANPr) เป็นระดับเสียงเฉลี่ยกลางวันกลางคืน (Day-Night Average Sound Level, L_{dn}) ดังนั้นจึงต้องนำค่าระดับเสียงกลางวัน (L_d) และระดับเสียงกลางคืน (L_n) จากแบบจำลอง SoundPLAN มาคำนวณหาระดับเสียงเฉลี่ยกลางวันกลางคืน (L_{dn}) ดังสมการที่ 3.7 (รัฐพล อันฉ่าง, 2554) ทั้งนี้ระดับเสียงกลางวันดังสมการไม่ต้องบวกเพิ่ม 10 dB(A) เพื่อชดเชยความรู้สึกรบกวนเนื่องจากผลจากแบบจำลองได้ทำการบวกเพิ่มไว้แล้ว และเมื่อได้ค่าระดับเสียงเฉลี่ยกลางวันกลางคืน (L_{dn}) หน่วย dB(A) จำเป็นต้องแปลงระดับเสียงเป็นความดันเสียง หน่วย ปาสคาล (Pa) (Murphy & King, 2014) เพื่อให้สามารถคำนวณร้อยละที่ลดลงได้ ดังสมการที่ 3.8

$$L_{dn} = 10 \log \left(\frac{t_d \times 10^{L_d/10} + t_n \times 10^{(L_n+10)/10}}{T_{24h}} \right) \quad \text{สมการที่ 3.7}$$

โดย L_{dn} คือ ระดับเสียงเฉลี่ยกลางวันกลางคืน หน่วย dB(A)

L_d คือ ระดับเสียงกลางวัน (07.00 – 22.00 น.) หน่วย dB(A)

L_n คือ ระดับเสียงกลางคืน (22.00 – 07.00 น.) หน่วย dB(A)

t_d คือ จำนวนชั่วโมงตั้งแต่ 07.00 – 22.00 น. = 16 ชั่วโมง

t_n คือ จำนวนชั่วโมงตั้งแต่ 22.00 – 07.00 น. = 8 ชั่วโมง

T_{24h} คือ เวลา 24 ชั่วโมง

$$p = p_0 \times 10^{L_p/20}$$

สมการที่ 3.8

โดย L_p คือ ระดับความดันเสียง หน่วย dB

p คือ ความดันเสียง หน่วย Pa

p_{ref} คือ ความดันเสียงอ้างอิง = 2×10^{-5} Pa



บทที่ 4

ผลการศึกษาและอภิปรายผล

ผลการศึกษาและอภิปรายผล ประกอบด้วย ปริมาณยานพาหนะในพื้นที่ศึกษา ปริมาณ $PM_{2.5}$ PM_1 ในพื้นที่ศึกษา ระดับเสียงจากยานพาหนะในพื้นที่ศึกษา สัมประสิทธิ์การกระจายสารมลพิษ ความเข้มข้นพื้นฐานของมลพิษ การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองมลพิษทางอากาศและเสียง การประเมินการเปลี่ยนแปลง $PM_{2.5}$ และ PM_1 และระดับเสียงในพื้นที่ศึกษา และอภิปรายผล การศึกษา โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.1 ปริมาณยานพาหนะในพื้นที่ศึกษา

4.1.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ในบันทึกภาพเคลื่อนไหวของยานพาหนะ เพื่อนับปริมาณยานพาหนะรายชั่วโมง ได้ ดำเนินการทั้งหมด 5 จุด (ภาพที่ 9) ตามแนวถนนในพื้นที่เมืองเก่าราชบุรี รวมทั้งได้ทำการตรวจวัด $PM_{2.5}$ PM_1 และมลพิษทางเสียงในจุดดังกล่าวด้วย รายละเอียดของจุดตรวจวัดแสดงดังตารางที่ 6 และกำหนดการเก็บรวบรวมข้อมูลแสดงดังตารางที่ 7

ตารางที่ 6 จุดตรวจวัดมลพิษทางอากาศ มลพิษทางเสียง และจุดติดตั้งกล้องนับยานพาหนะ

จุดตรวจวัด	พิกัด (UTM)	ลักษณะพื้นที่
1	47P 589142 1496921	3 แยก ความกว้างถนน ~ 11.8 เมตร ติดกับถนนขนาดใหญ่ที่เป็นทางเข้า-ออกเมืองราชบุรี และเป็นทางเข้า-ออกพื้นที่ท่องเที่ยวเมืองเก่า
2	47P 588413 1497270	3 แยก ความกว้างถนน ~ 7.5 เมตร ติดกับวัด และโบราณสถานซึ่งเป็นสถานที่ท่องเที่ยว
3	47P 588720 1496981	4 แยก ความกว้างถนน ~ 16.1 เมตร เป็นทางเข้า-ออกพื้นที่ท่องเที่ยวเมืองเก่า และติดกับตลาดซึ่งเป็นสถานที่ท่องเที่ยว
4	47P 588949 1497045	3 แยก ความกว้างถนน ~ 9.1 เมตร ติดกับพื้นที่ริมน้ำซึ่งเป็นเส้นทางท่องเที่ยวเดินเท้า
5	47P 588539 1497011	3 แยก ความกว้างถนน ~ 9.9 เมตร เป็นทางเข้า-ออกหน่วยงานราชการ และชุมชน

ตารางที่ 7 กำหนดการการดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูล

จุดตรวจวัด	บันทึกภาพยานพาหนะ		มลพิษทางเสียง		PM _{2.5} และ PM ₁	
	วันที่	จำนวน ชั่วโมง	วันที่	จำนวน ชั่วโมง	วันที่	จำนวน ชั่วโมง
1	14 ต.ค. 2564	12	14 ต.ค. 2564	12	18 พ.ค. 2565	7
2	28 ต.ค. 2564	12	28 ต.ค. 2564	12	18 พ.ค. 2565	7
3	4-5 พ.ย. 2564	24	4-5 พ.ย. 2564	24	18 พ.ค. 2565	7
	13-14 พ.ย. 2564	24	13-14 พ.ย. 2564	24		
4	11 พ.ย. 2564	12	11 พ.ย. 2564	12	18 พ.ค. 2565	7
5	20 ต.ค. 2564	12	20 ต.ค. 2564	12	18 พ.ค. 2565	7

หมายเหตุ : ตรวจวัด PM_{2.5} และ PM₁ เพียง 7 ชั่วโมงจากแผนการดำเนินงานเดิมที่ 8 ชั่วโมง เนื่องจากวันที่ทำการตรวจวัดสภาพอากาศมีฝนตกหนักในช่วงเย็น

4.1.2 ปริมาณยานพาหนะ ณ จุดตรวจวัดทั้ง 5 จุดตรวจวัด

จากการนับปริมาณยานพาหนะรายชั่วโมงทั้ง 5 จุด ได้ทำการนับจำนวนยานพาหนะในพื้นที่ศึกษาในแต่ละชั่วโมง (คัน/ชั่วโมง) ตามระยะเวลาในการบันทึกข้อมูลดังตารางที่ 7 โดยจำแนกเป็น 4 ประเภท ได้แก่ รถจักรยานยนต์ (Motorcycles; MC) รถยนต์ส่วนบุคคล (Passenger Cars; PC) รถบรรทุกขนาดเล็ก (Light Duty Vehicles; LDV) และ รถบรรทุกขนาดใหญ่ (Heavy Duty Vehicles; HDV) ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 8 โดยพบว่า จุดที่ 1 มีปริมาณยานพาหนะมากที่สุดทั้งในวันทำงานและวันหยุด รองลงมาคือ จุดที่ 3 ถัดไป คือ จุดที่ 2 4 และ 5 ตามลำดับ โดยทุกจุดพบรถจักรยานยนต์เป็นยานพาหนะที่พบในพื้นที่ศึกษามากที่สุด รองลงมาคือ รถยนต์ส่วนบุคคล รถบรรทุกขนาดเล็ก และยานพาหนะที่พบน้อยที่สุด คือ รถบรรทุกขนาดใหญ่

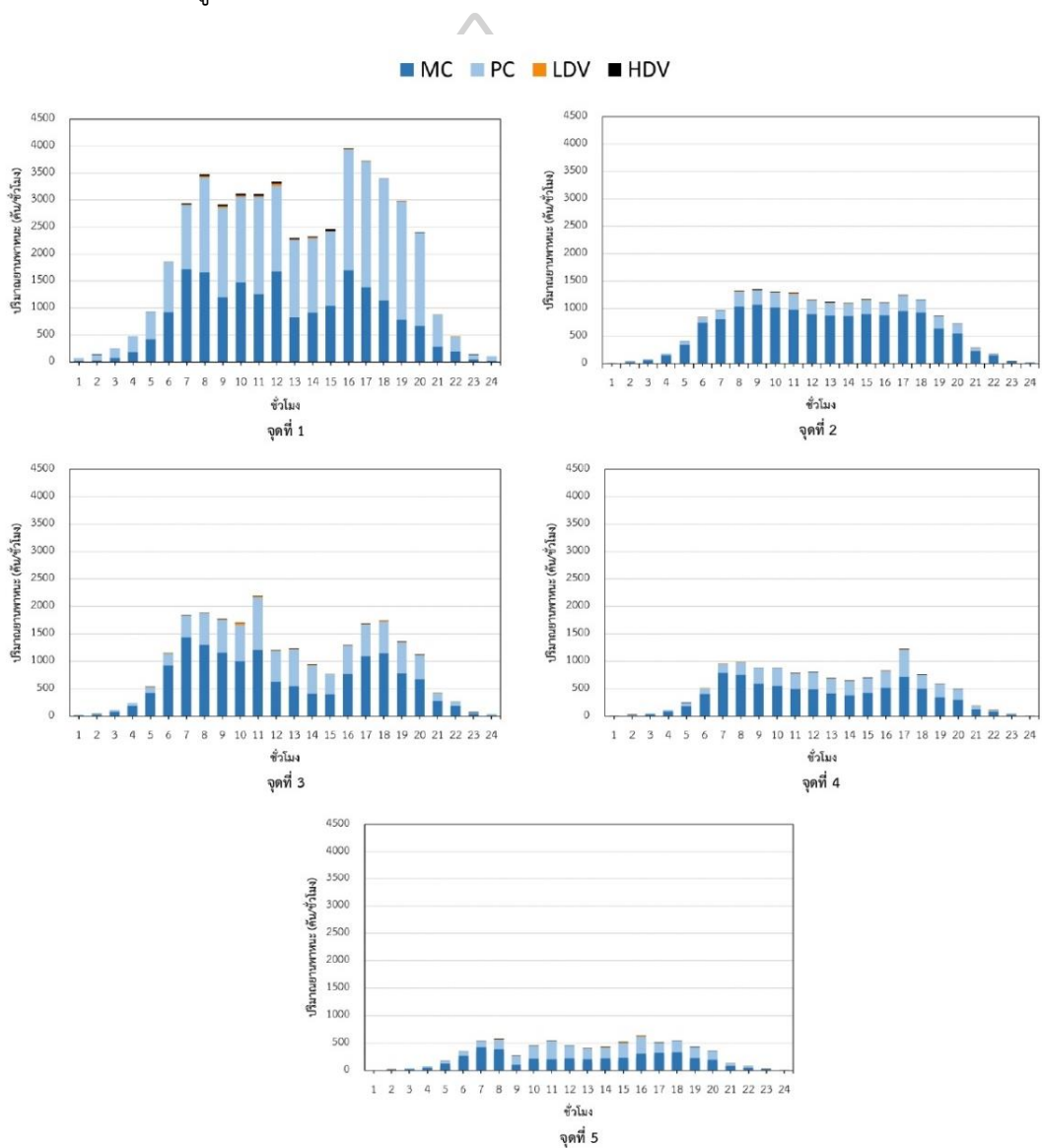
ตารางที่ 8 ปริมาณยานพาหนะ

จุด ตรวจวัด	วัน	ปริมาณยานพาหนะ (คัน/วัน)				
		MC	PC	LDV	HDV	รวม
1	วันทำงาน	19,595	27,613	264	281	47,753
	วันหยุด	18,950	32,805	353	274	52,382
2	วันทำงาน	14,156	3,675	98	102	18,031
	วันหยุด	13,954	4,274	161	117	18,506
3	วันทำงาน	14,743*	8,686*	167*	58*	23,654
	วันหยุด	14,029*	9,717*	177*	44*	23,967
4	วันทำงาน	8,237	4,192	47	60	12,536
	วันหยุด	8,021	4,926	83	77	13,107
5	วันทำงาน	4,257	3,237	65	57	7,616
	วันหยุด	4,322	3,799	103	35	8,259

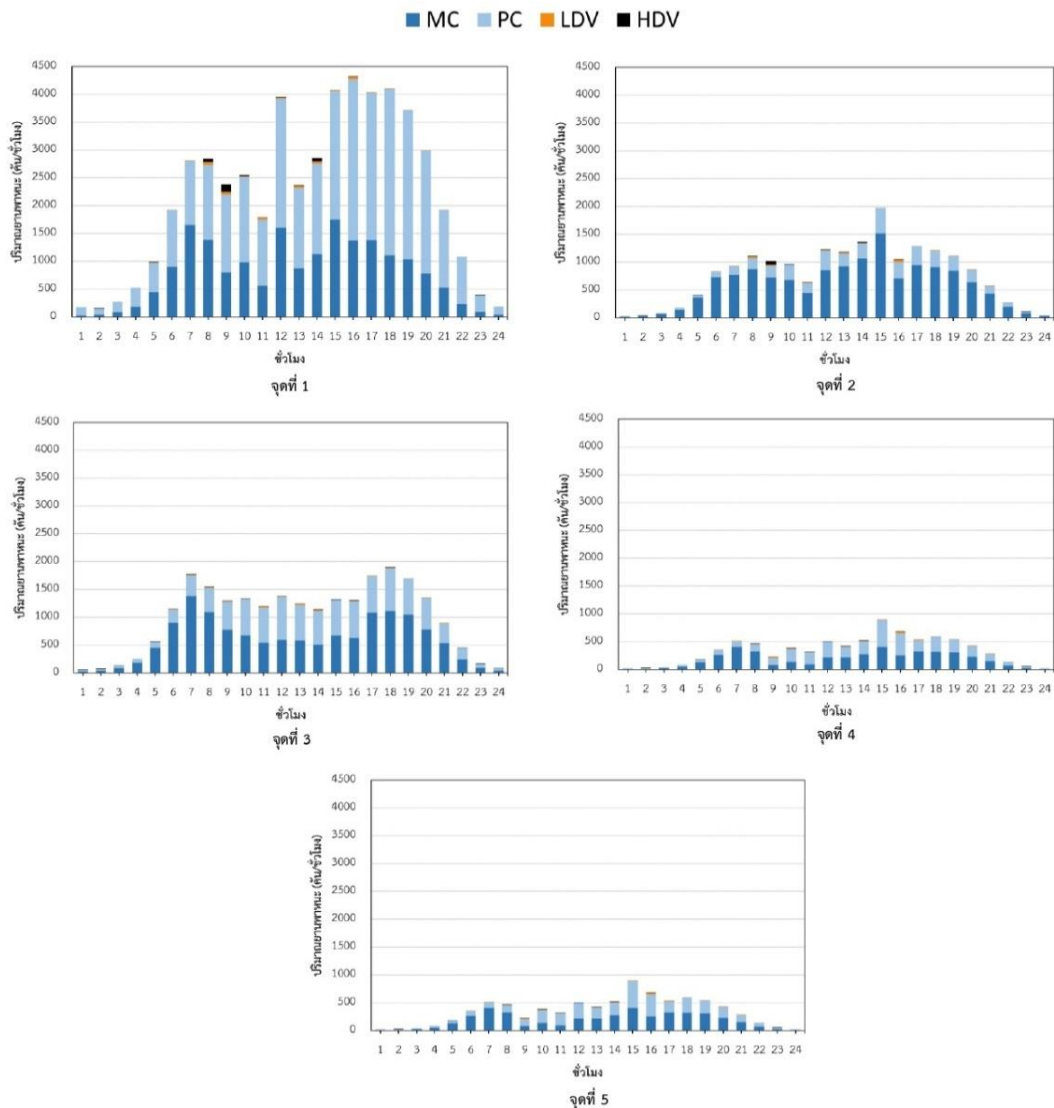
หมายเหตุ : MC คือ รถจักรยานยนต์ PC คือ รถยนต์ส่วนบุคคล (รถยนต์โดยสารขนาดไม่เกินเจ็ดที่นั่ง และรถยนต์โดยสารขนาดเกินเจ็ดที่นั่ง) LDV คือ รถบรรทุกขนาดเล็ก (รถตู้เกินเจ็ดที่นั่ง รถบัสขนาดเล็ก) และ HDV คือ รถบรรทุกขนาดใหญ่ (รถบัส รถกึ่งรถบรรทุก รถบรรทุก รถกึ่งพ่วง และรถพ่วง) และ * คือ ค่าที่ได้จากการนับปริมาณยานพาหนะ 24 ชั่วโมง ส่วนจุด 1 2 4 และ 5 ค่าที่ได้จากการนับปริมาณยานพาหนะ 12 ชั่วโมง นำไปคำนวณเป็นปริมาณยานพาหนะ 24 ชั่วโมง จากการหาสัดส่วนปริมาณยานพาหนะกับจุดตรวจวัดที่ 3 ในวันทำงานและวันหยุด

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณยานพาหนะรายชั่วโมงทั้ง 5 จุด ในวันทำงาน (ภาพที่ 10) และวันหยุด (ภาพที่ 11) พบว่าในวันทำงานมีปริมาณยานพาหนะสูง 2 ช่วงเวลา คือ ช่วงเช้า (ประมาณ 7.00 - 11.00 น.) และช่วงเย็น (ประมาณ 16.00 - 18.00 น.) อาจเป็นเพราะว่าเป็นช่วงเวลาที่ประชาชนส่วนใหญ่เดินทางไปทำงานรวมถึงการมาจับจ่ายสินค้าในบริเวณตลาดในช่วงเช้า ส่วนในช่วงเย็นประชาชนเดินทางกลับหลังเลิกงาน ในขณะที่ในช่วงวันหยุดปริมาณยานพาหนะมีแนวโน้มสูงกว่าวันทำงานทั้ง 5 จุด โดยเฉพาะในช่วงเวลาประมาณ 7.00 - 8.00 น. และ 15.00 - 20.00 น. ที่เป็นช่วงที่ประชาชนและนักท่องเที่ยวเข้ามาจับจ่ายสินค้าและเข้ามาเยี่ยมชมสถานที่ท่องเที่ยวในพื้นที่

ทั้งนี้จากภาพที่ 10 และ 4.2 เมื่อเปรียบเทียบทั้ง 5 จุด ทำให้ทราบได้ว่าในจุดที่ 1 ปริมาณยานพาหนะมีแนวโน้มสูงที่สุดทั้งในวันทำงานและวันหยุดเนื่องจากเป็นเส้นทางสัญจรหลักสำหรับเข้า-ออก ในพื้นที่ตัวเมืองราชบุรี ส่วนจุดที่ 5 มีปริมาณยานพาหนะมีแนวโน้มน้อยที่สุดทั้งในวันทำงานและวันหยุด เนื่องจากเป็นพื้นที่พักอาศัยที่มีความหนาแน่นของประชากรต่ำ โดยจากภาพที่ 11 ในจุดที่ 1 ซึ่งเป็นเส้นทางสัญจรผ่านเข้า-ออกตัวเมือง รวมถึงทางผ่านสำหรับไปยังสถานที่ท่องเที่ยวอื่น ๆ ในจังหวัดราชบุรี สังเกตได้ว่าประชาชนส่วนใหญ่เดินทางท่องเที่ยวผ่านเส้นทางในช่วงสาย ส่งผลให้ช่วงเวลา 12.00 น. มีปริมาณรถสะสมสูง



ภาพที่ 10 ปริมาณยานพาหนะ (คัน/ชั่วโมง) วันทำงาน



ภาพที่ 11 ปริมาณยานพาหนะ (คัน/ชั่วโมง) วันหยุด

4.2 ปริมาณ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ในพื้นที่ศึกษา

ผลการตรวจวัดปริมาณ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} บริเวณริมถนน ที่ได้ดำเนินการพร้อมกันทั้ง 5 จุดตรวจวัด วันที่ 18 พฤษภาคม พ.ศ. 2565 เวลา 8.00 – 15.00 น. รวมระยะเวลา 7 ชั่วโมง (ดังตารางที่ 9) พบว่า ณ จุดที่ 2 มีค่าเฉลี่ยของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} สูงสุด คือ 14.13 และ 9.73 $\mu g/m^3$ ตามลำดับ รองลงมา คือ จุดที่ 1 ที่มีค่าเฉลี่ยของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} เท่ากับ 13.75 และ 9.44 $\mu g/m^3$ ตามลำดับ ส่วนจุดที่มีปริมาณ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ต่ำสุด คือ จุดที่ 5 (ค่าเฉลี่ยของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} เท่ากับ 11.38 และ 7.78 $\mu g/m^3$ ตามลำดับ) อนึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณยานพาหนะที่เป็น

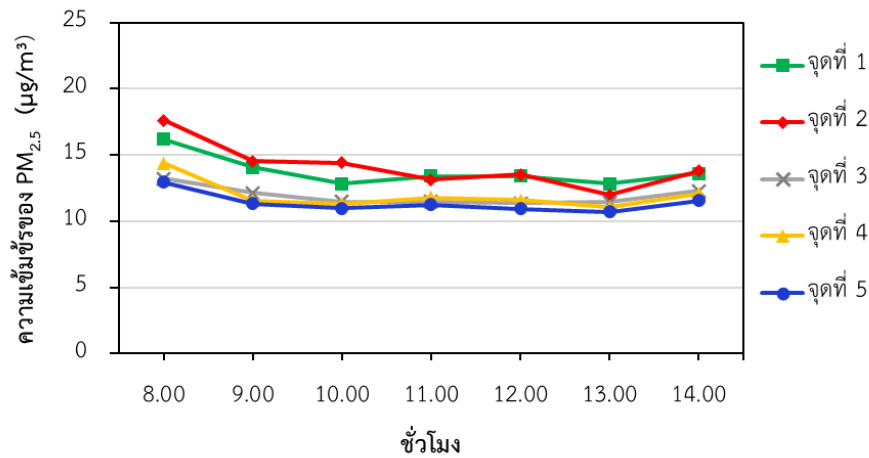
แหล่งกำเนิดมลพิษดังกล่าว (ตารางที่ 8) พบว่าไม่มีความสอดคล้องกัน กล่าวคือ จุดที่พบยานพาหนะที่เป็นเครื่องยนต์ดีเซล (LDV และ HDV) มากที่สุด คือ จุดที่ 1 รองลงมา คือ จุดที่ 3 ส่วนจุดที่ 4 พบน้อยที่สุด ทั้งในวันทำงานและวันหยุด ทั้งนี้อาจเกี่ยวข้องกับปัจจัยอื่น ๆ ในพื้นที่ เช่น ความหนาแน่นของอาคารที่ส่งผลต่อการแพร่กระจาย ความสามารถในการระบายอากาศของพื้นที่ สภาพอุตุนิยมวิทยา (Park, 2020) ซึ่งพบว่า ณ จุดที่ 2 ที่พบปริมาณ PM_{2.5} และ PM₁ สูงที่สุด เป็นจุดที่มีขนาดความกว้างของถนนค่อนข้างแคบเมื่อเทียบกับจุดอื่นๆ (ตารางที่ 6) โดยปัจจัยดังกล่าวส่งผลต่อการแพร่กระจายและการสะสมของมลพิษ ณ จุดตรวจวัด

ตารางที่ 9 มลพิษทางอากาศในพื้นที่ศึกษาจากการตรวจวัด 7 ชั่วโมง

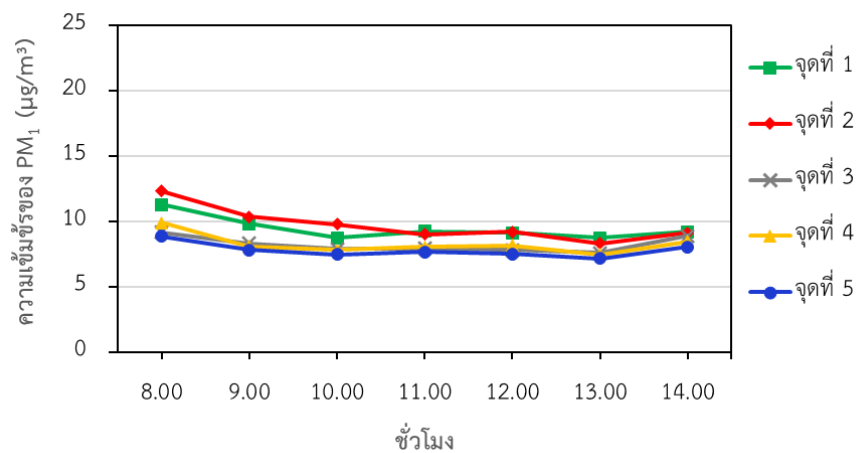
จุดตรวจวัด	สารมลพิษ	ค่าสูงสุด ¹ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ค่าต่ำสุด ¹ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ค่าเฉลี่ย ¹ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	เปอร์เซนไทล์ ที่ 10 ²	เปอร์เซนไทล์ ที่ 90 ²
1	PM _{2.5}	16.17	12.81	13.75	12.82	14.91
	PM ₁	11.28	8.72	9.44	8.73	10.40
2	PM _{2.5}	17.60	11.96	14.13	12.66	15.76
	PM ₁	12.32	8.31	9.73	8.72	11.15
3	PM _{2.5}	13.23	11.36	11.91	11.40	12.66
	PM ₁	9.14	7.57	8.21	7.71	8.99
4	PM _{2.5}	14.38	11.03	11.96	11.20	13.00
	PM ₁	9.87	7.47	8.27	7.67	9.02
5	PM _{2.5}	12.92	10.72	11.38	10.84	12.10
	PM ₁	8.85	7.13	7.78	7.33	8.36

หมายเหตุ : ¹ คือ ค่าเฉลี่ยจากการตรวจวัดใน 1 ชั่วโมง และ ² เป็นค่าจากการตรวจวัดทุก 30 วินาที ระยะเวลา 7 ชั่วโมง

การเปลี่ยนแปลงของปริมาณ PM_{2.5} และ PM₁ รายชั่วโมง ทั้ง 5 จุดตรวจวัดแสดงดังภาพที่ 12 และ 4.4 ตามลำดับ ซึ่งจากภาพที่ 12 พบว่าปริมาณความเข้มข้นของ PM_{2.5} มีค่าอยู่ในช่วง 10.72 – 17.60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ และจากภาพที่ 13 ปริมาณความเข้มข้นของ PM₁ มีค่าอยู่ในช่วง 7.13 – 12.32 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ โดยความเข้มข้นของ PM_{2.5} และ PM₁ ทั้ง 5 จุด มีค่าสูงสุดในช่วงเวลา 8.00 น.



ภาพที่ 12 ความเข้มข้นของ PM_{2.5} จากการตรวจวัดทั้ง 5 จุดตรวจวัด



ภาพที่ 13 ความเข้มข้นของ PM₁ จากการตรวจวัดทั้ง 5 จุดตรวจวัด

4.3 ระดับเสียงจากยานพาหนะในพื้นที่

ผลการตรวจวัดระดับเสียงทั้ง 5 จุดตรวจวัดที่อยู่ริมถนน แสดงดังตารางที่ 10 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบระดับเสียงที่มีระยะเวลาการตรวจวัด 12 ชั่วโมง เท่ากัน (ได้แก่ จุดที่ 1 2 4 และ 5) (ระยะเวลาในการบันทึกข้อมูลดังตารางที่ 7) พบว่า จุดที่ 1 มีค่าระดับเสียงเฉลี่ยสูงสุด คือ เท่ากับ 67.9 dB(A) รองลงมา คือ จุดที่ 2 จุดที่ 4 และจุด 5 ตามลำดับ (มีระดับเสียงเท่ากับ 64.1 64.0 และ 58.6 dB(A) ตามลำดับ) ซึ่งมีความสอดคล้องกับปริมาณยานพาหนะที่เป็นแหล่งกำเนิดเสียงหลัก (ตารางที่ 8) กล่าวคือ พบปริมาณยานพาหนะเรียงตามลำดับจากมากไปน้อยตามระดับเสียงที่ได้จากการตรวจวัดข้างต้น

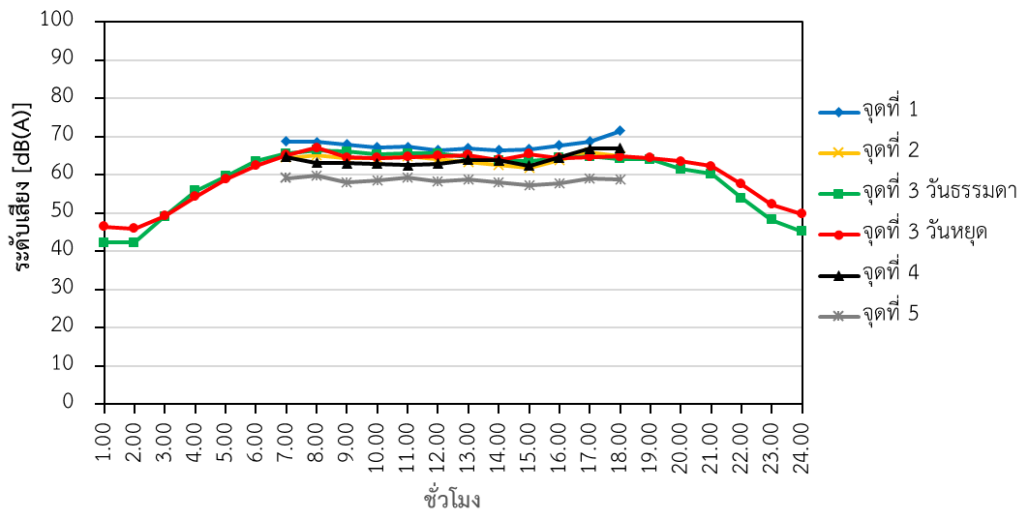
จากการศึกษา ณ จุดตรวจวัดที่ 3 ในวันทำงานพบว่า มีระดับเสียงเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ($L_{eq,24h}$) เท่ากับ 59.4 dB(A) ระดับเสียงสูงสุด เท่ากับ 66.4 ส่วนในวันหยุดมีระดับเสียงเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ($L_{eq,24h}$) เท่ากับ 60.3 dB(A) ระดับเสียงสูงสุด เท่ากับ 67.1 ซึ่งระดับเสียงทั้งในวันทำงานและวันหยุด อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานระดับเสียงเฉลี่ย 24 ชั่วโมงที่กำหนดไว้ที่ไม่เกิน 70 dB(A) และระดับเสียงสูงสุด ไม่เกิน 115 dB(A) ตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2540 เรื่อง กำหนดมาตรฐานระดับเสียงโดยทั่วไป (กรมควบคุมมลพิษ, 2563a)

ภาพที่ 14 แสดงการเปลี่ยนแปลงของระดับเสียงรายชั่วโมงทั้ง 5 จุดตรวจวัด ซึ่งพบว่าจุดที่ 3 มีค่าระดับเสียงตลอด 24 ชั่วโมง อยู่ในช่วง 42.3 – 67.1 dB(A) ทั้งในวันทำงานและวันหยุด ส่วนจุดตรวจวัดที่ 1 2 4 และ 5 มีค่าระดับเสียง 12 ชั่วโมง (ตรวจวัดเฉพาะวันทำงาน) อยู่ในช่วง 57.3 – 71.5 dB(A) โดยจุดที่ 5 มีระดับเสียงต่ำที่สุด และจุดที่ 1 มีระดับเสียงสูงที่สุดตลอดช่วงเวลาการตรวจวัด อนึ่งเป็นที่น่าสังเกตว่า ช่วงเวลาประมาณ 00.00 – 04.00 น. ระดับเสียงของจุดที่ 3 ในวันหยุดมีค่ามากกว่าในวันทำงาน ทั้งนี้เป็นเพราะจุดตรวจวัดดังกล่าวตั้งอยู่ใกล้กับสถานีตำรวจภูธรจังหวัดราชบุรี มีรถสายตรวจผ่านเข้าออกและขับวนไปมาในช่วงเวลาดังกล่าว

ตารางที่ 10 ผลการตรวจวัดระดับเสียงในพื้นที่ศึกษา

จุดตรวจวัด	ระดับเสียง	ระดับเสียง	ระดับเสียงเฉลี่ย	ระดับเสียง	ระดับเสียง
	สูงสุด (L_{max})	ต่ำสุด (L_{min})	(L_{eq})	เปอร์เซนไทล์ที่ 10 (L_{10})	เปอร์เซนไทล์ที่ 90 (L_{90})
1	71.6	66.4	67.9	68.8	66.5
2	65.8	61.9	64.1	65.2	62.8
3 (วันทำงาน)*	66.4	42.3	59.4	65.6	46.2
3 (วันหยุด)*	67.1	46.0	60.3	65.2	49.4
4	67.0	62.5	64.0	66.7	62.6
5	59.8	57.3	58.6	59.3	57.9
ค่ามาตรฐาน ¹	115		70		

หมายเหตุ : * เฉพาะจุดที่ 3 ที่ตรวจวัดตลอด 24 ชั่วโมง ทั้งในวันทำงานและวันหยุด โดยสามารถรายงานเป็นระดับเสียงเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ($L_{eq,24h}$) ดังนั้นจึงเทียบกับค่ามาตรฐานได้ ส่วนจุด 1 2 4 และ 5 เป็นค่าระดับเสียงจากการตรวจวัด 12 ชั่วโมง โดยระดับเสียงเฉลี่ย 12 ชั่วโมง ($L_{eq,12h}$) เฉพาะวันทำงาน และ ¹ ค่ามาตรฐานจากกรมควบคุมมลพิษ ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 15 (พ.ศ. 2540) เรื่อง กำหนดมาตรฐานระดับเสียงโดยทั่วไป



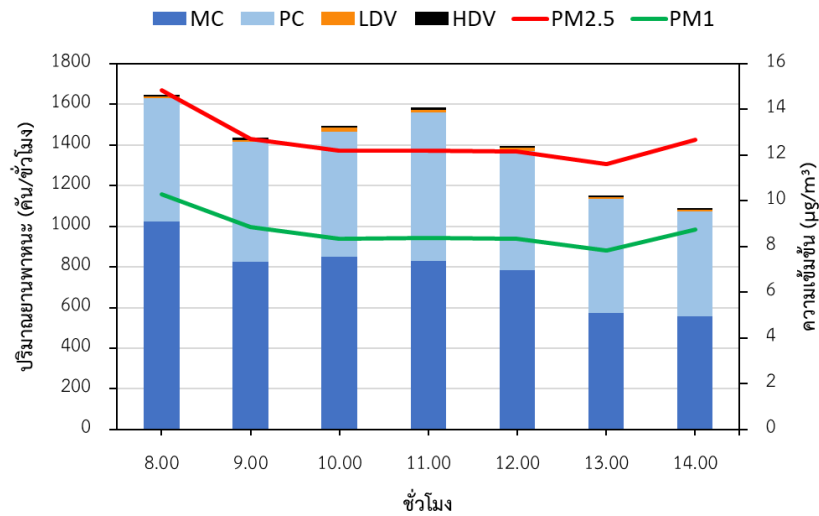
ภาพที่ 14 ระดับเสียงจากการตรวจวัดรายชั่วโมงทั้ง 5 จุดตรวจวัด

หมายเหตุ : จุดที่ 3 ระดับเสียงจากการตรวจวัด 24 ชั่วโมง ทั้งในวันทำงาน และวันหยุด ส่วนจุด 1 2 4 และ 5 เป็นค่าระดับเสียงจากการตรวจวัด 12 ชั่วโมง เฉพาะวันทำงาน [dB(A)]

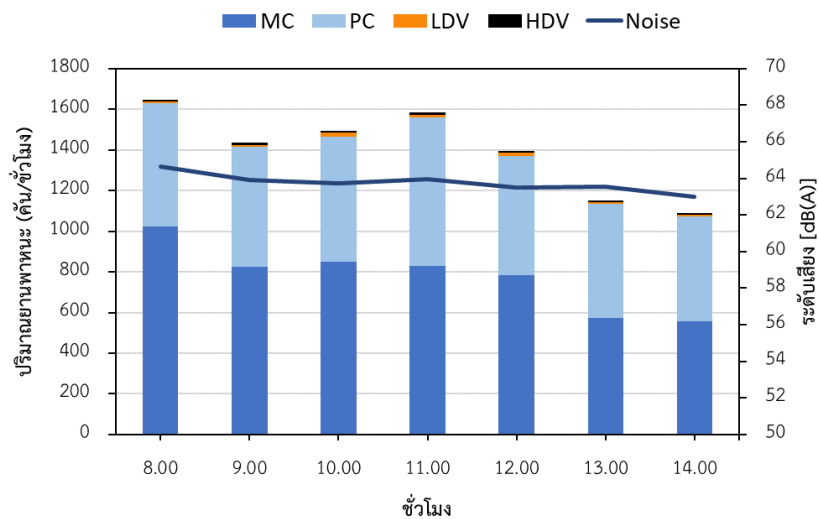
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณยานพาหนะกับ $PM_{2.5}$ PM_{10} และระดับเสียงจากการตรวจวัด

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณยานพาหนะกับ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ระยะเวลา 7 ชั่วโมง เวลา 8.00 – 15.00 น. เฉลี่ยทั้งหมด 5 จุดตรวจวัด (ภาพที่ 15 ความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และลดลง สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของปริมาณยานพาหนะรายชั่วโมง ยกเว้นในชั่วโมงที่ 7 (เวลา 14.00 น.) พบว่าไม่มีความสอดคล้องกัน โดยความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในขณะที่ปริมาณยานพาหนะลดลง ทั้งนี้อาจเกี่ยวข้องกับปัจจัยอื่น ๆ ในพื้นที่ เช่น สภาพอุตุนิยมวิทยา (Park, 2020) ซึ่งในวันที่ทำการตรวจวัด $PM_{2.5}$ และ PM_{10} (วันที่ 18 พฤษภาคม พ.ศ. 2565) ช่วงเวลา 14.00 น. เป็นต้นไปสภาพอากาศมีเมฆครึ้ม (สภาพอากาศก่อนมีฝนตกหนัก) โดยปัจจัยดังกล่าวส่งผลต่อการแพร่กระจายและการสะสมของมลพิษ

ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณยานพาหนะกับระดับเสียง ระยะเวลา 7 ชั่วโมง เวลา 8.00 – 15.00 น. เฉลี่ยทั้งหมด 5 จุดตรวจวัด (ภาพที่ 16) พบว่าระดับเสียงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และลดลง สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของปริมาณยานพาหนะรายชั่วโมง



ภาพที่ 15 ปริมาณยานพาหนะรายชั่วโมงวันทำงาน และความเข้มข้นของ PM_{2.5} และ PM₁ จากการตรวจวัด 7 ชั่วโมง เฉลี่ย 5 จุดตรวจวัด



ภาพที่ 16 ปริมาณยานพาหนะรายชั่วโมงวันทำงาน และระดับเสียงจากการตรวจวัด 7 ชั่วโมง เฉลี่ย 5 จุดตรวจวัด

4.5 สัมประสิทธิ์การระบายสารมลพิษ

สัมประสิทธิ์การระบายมลพิษ (Emission Factors, EF) ของยานพาหนะ มีหน่วยเป็น กรัม/คัน-กิโลเมตร (g/vehicle-km) เป็นค่าที่แสดงถึงมวลของสารมลพิษต่อระยะการขับขี่ของยานพาหนะ เป็นค่าพื้นฐานที่นำมาใช้คำนวณอัตราการระบายสารมลพิษจากยานพาหนะในพื้นที่ศึกษา ค่าสัมประสิทธิ์การ

ระบายนมลพิษจะแตกต่างกันตามประเภทของเครื่องยนต์ (เบนซิน ดีเซล ฯลฯ) ประเภทของยานพาหนะ (รถจักรยานยนต์ รถยนต์นั่งส่วนบุคคล รถบรรทุก ฯลฯ) อายุของยานพาหนะ สภาพการขับขี่ และชนิดของเชื้อเพลิง (Seo et al., 2021) โดยการศึกษาครั้งนี้ใช้ค่าสัมประสิทธิ์ของ PM_{2.5} จาก EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook 2019 (European Environment Agency, 2019) และค่าสัมประสิทธิ์ของ PM₁ จาก European Environment Agency (2019) และ Kupiainen & Klimont (2004) ดังตารางที่ 11 และ 12 ตามลำดับ

ตารางที่ 11 สัมประสิทธิ์การระบาย PM_{2.5} (กรัม/คัน-กิโลเมตร)

ยานพาหนะ	เชื้อเพลิง	PM _{2.5}	หมายเหตุ
รถจักรยานยนต์ (Motorcycle, MC)	Gasoline	0.09608	
รถยนต์นั่งส่วนบุคคล (Passenger Car, PC)	Gasoline	0.04218	
	Diesel	0.07930	
	LPG	0.01301	
	CNG	0.01235	
รถบรรทุกขนาดเล็ก (Light Duty Vehicle, LDV)	Gasoline	0.04039	
	Diesel	0.03965	
	LPG	0.01125	
	CNG	0.01125	
รถบรรทุกขนาดใหญ่ (Heavy Duty Vehicle, HDV)	Gasoline	0	
	Diesel	0.35623	
	LPG	0.02250	ใช้ค่าสัมประสิทธิ์การระบาย PM _{2.5} จาก HDV เชื้อเพลิง CNG
	CNG	0.02250	

หมายเหตุ: อ้างอิงจาก European Environment Agency (2019)

ตารางที่ 12 สัมประสิทธิ์การระบาย PM₁ (กรัม/คัน-กิโลเมตร)

ยานพาหนะ	เชื้อเพลิง	PM ₁	หมายเหตุ
รถจักรยานยนต์ (Motorcycle, MC)	Gasoline ²	0.09608	ใช้ค่าสัมประสิทธิ์การระบาย PM _{2.5} ของ MC เชื้อเพลิง Gasoline
รถยนต์นั่งส่วนบุคคล (Passenger Car, PC)	Gasoline ¹	0.02312	
	Diesel ¹	0.20325	
	LPG ²	0.01301	ใช้ค่าสัมประสิทธิ์การระบาย PM _{2.5} ของ PC เชื้อเพลิง LPG
	CNG ²	0.01235	ใช้ค่าสัมประสิทธิ์การระบาย PM _{2.5} ของ PC เชื้อเพลิง CNG
รถบรรทุกขนาดเล็ก (Light Duty Vehicle, LDV)	Gasoline ¹	0.01156	
	Diesel ¹	0.10162	
	LPG ²	0.01125	ใช้ค่าสัมประสิทธิ์การระบาย PM _{2.5} ของ LDV เชื้อเพลิง LPG
รถบรรทุกขนาดเล็ก (Light Duty Vehicle, LDV)	CNG ²	0.01125	ใช้ค่า Emission Factors PM _{2.5} ของ LDV เชื้อเพลิง CNG
รถบรรทุกขนาดใหญ่ (Heavy Duty Vehicle, HDV)	Gasoline ²	0	ใช้ค่าสัมประสิทธิ์การระบาย PM _{2.5} ของ HDV เชื้อเพลิง Gasoline
	Diesel ¹	0.67150	
	LPG ²	0.02250	ใช้ค่าสัมประสิทธิ์การระบาย PM _{2.5} ของ HDV เชื้อเพลิง LPG
	CNG ²	0.02250	ใช้ค่าสัมประสิทธิ์การระบาย PM _{2.5} ของ HDV เชื้อเพลิง CNG

หมายเหตุ: ¹ อ้างอิงจาก Kupiainen & Klimont (2004) และ ² อ้างอิงจาก European Environment Agency (2019)

ในส่วนของระยะทางของถนนในพื้นที่ศึกษาที่นำมาคูณกับสัมประสิทธิ์การระบายมลพิษ (Emission Factors, EF) เพื่อคำนวณหา อัตราการระบายมลพิษจากยานพาหนะ (Vehicle Emission Rate; ER) แสดงดังภาคผนวก ก.

4.6 ความเข้มข้นพื้นฐานของมลพิษ

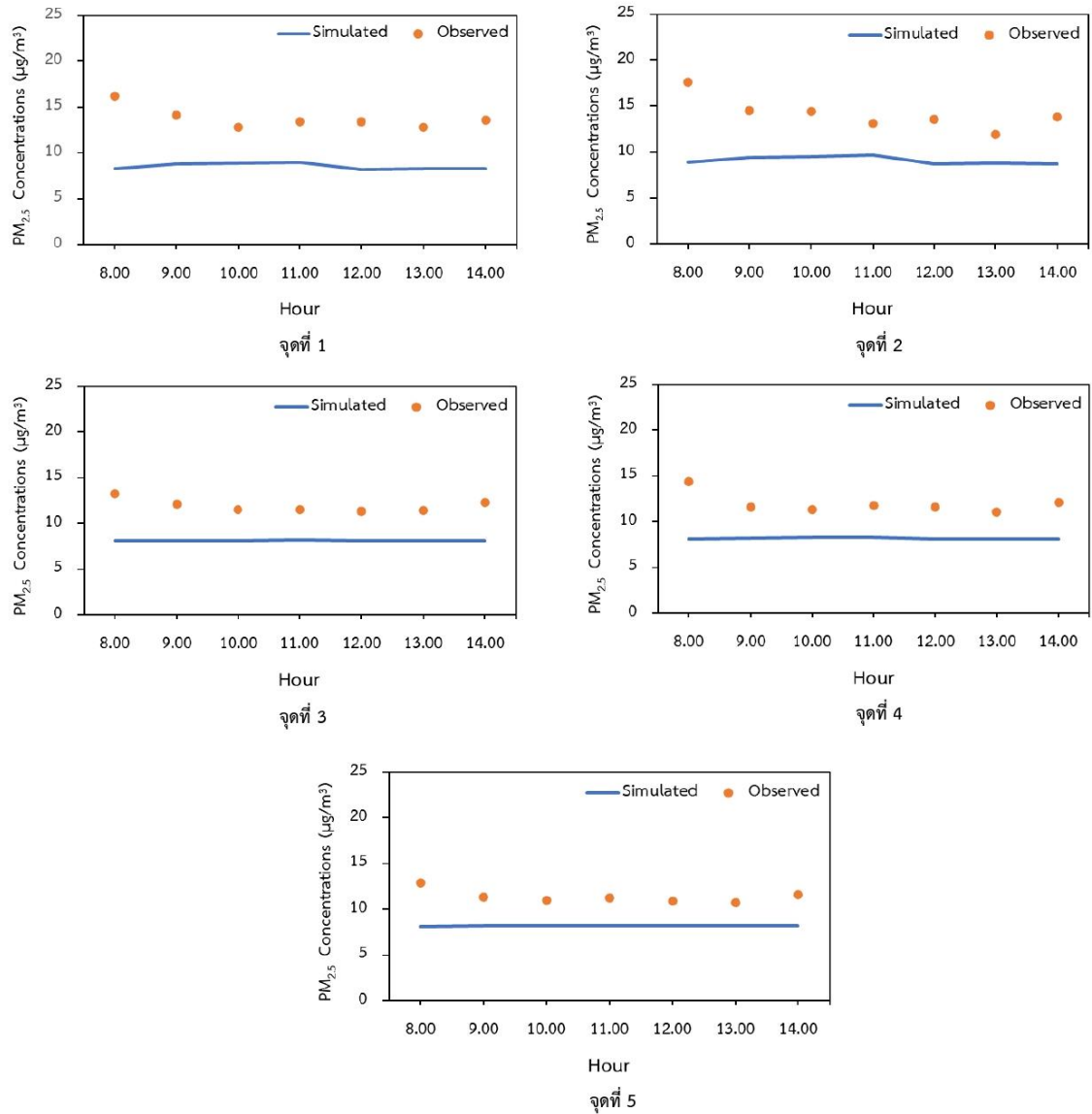
ความเข้มข้นพื้นฐานของมลพิษ (Background concentrations) โดยความเข้มข้นพื้นฐานของมลพิษในพื้นที่ศึกษา ใช้ค่าความเข้มข้นต่ำสุดของ $PM_{2.5}$ รายชั่วโมง ปี พ.ศ. 2562 ทั้งหมด 365 วัน จากกรมควบคุมมลพิษ พื้นที่บริเวณตำบลหน้าเมือง อำเภอเมือง จังหวัดราชบุรี จากนั้นนำมาหาค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 20 พบว่าความเข้มข้นพื้นฐานของ $PM_{2.5}$ พ.ศ. 2562 ที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 20 เท่ากับ $13.46 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ส่วนความเข้มข้นพื้นฐานของ PM_{10} ที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 20 เท่ากับ $9.23 \mu\text{g}/\text{m}^3$

4.7 การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองมลพิษทางอากาศและเสียง

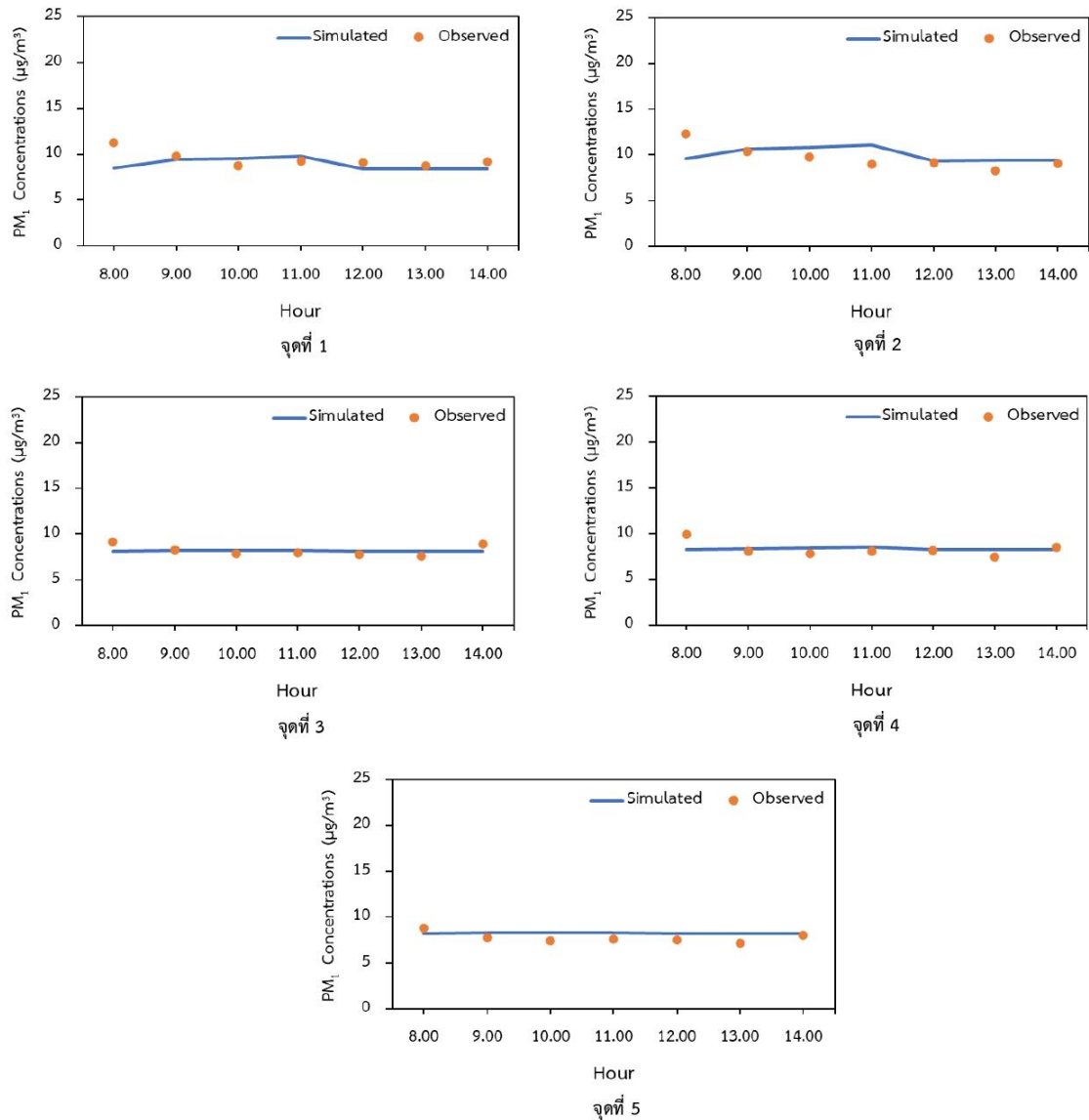
4.7.1 การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง R-LINE

ผลการตรวจวัดค่าความเข้มข้นรายชั่วโมงของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} วันที่ 18 พฤษภาคม พ.ศ. 2565 เวลา 8.00 - 15.00 น. (รวม 7 ชั่วโมง) ในแต่ละจุดตรวจวัดทั้ง 5 จุด เปรียบเทียบกับผลของแบบจำลอง R-LINE แสดงดังภาพที่ 17 และภาพที่ 18 จากภาพพบว่าค่าความเข้มข้นรายชั่วโมงของ $PM_{2.5}$ จากแบบจำลองในแต่ละชั่วโมงทั้ง 5 จุด มีค่าต่ำกว่าการตรวจวัด โดยมีผลต่างไม่เกิน $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ส่วนกรณีของ PM_{10} พบว่า ค่าความเข้มข้นรายชั่วโมงที่ได้จากแบบจำลองมีค่าที่ใกล้เคียงกับค่าจากการตรวจวัด





ภาพที่ 17 ความเข้มข้นของ PM_{2.5} เปรียบเทียบระหว่างแบบจำลอง R-LINE กับการตรวจวัด 5 จุดตรวจวัด ระยะเวลา 7 ชั่วโมง (µg/m³)



ภาพที่ 18 ความเข้มข้นของ PM₁ เปรียบเทียบระหว่างแบบจำลอง R-LINE กับการตรวจวัด 5 จุด
ตรวจวัด ระยะเวลา 7 ชั่วโมง (µg/m³)

ผลที่ได้จากการตรวจวัดความเข้มข้นของ PM_{2.5} และ PM₁ ของจุดตรวจวัดทั้ง 5 จุด (หัวข้อที่ 4.2) ได้นำค่าเฉลี่ยของสารมลพิษดังกล่าวมาทำการเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลอง R-LINE ด้วยตัวชี้วัดทางสถิติ ประกอบด้วย Fractional Bias (FB) Normalized Mean Square Error (NMSE) Geometric Variance (VG) Correlation Coefficient (R) และ Fraction Of Predictions Within A Factor Of Two Of Observations (FAC2) ผลที่ได้แสดงตารางที่ 13 ซึ่ง

พบว่าค่าทางสถิติอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ดังนั้นประสิทธิภาพของแบบจำลอง R-LINE จึงถือว่าสามารถยอมรับได้

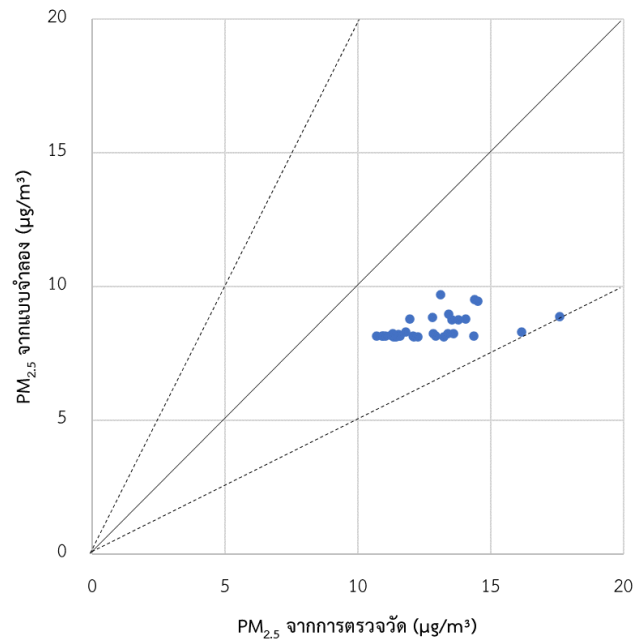
ตารางที่ 13 ผลการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง R-LINE

มลพิษทางอากาศ	FB	NMSE	VG	R	FAC2
PM _{2.5}	0.40	0.18	1.18	0.51	0.51-0.76
PM ₁	-0.01	0.01	1.01	0.50	0.76-1.23

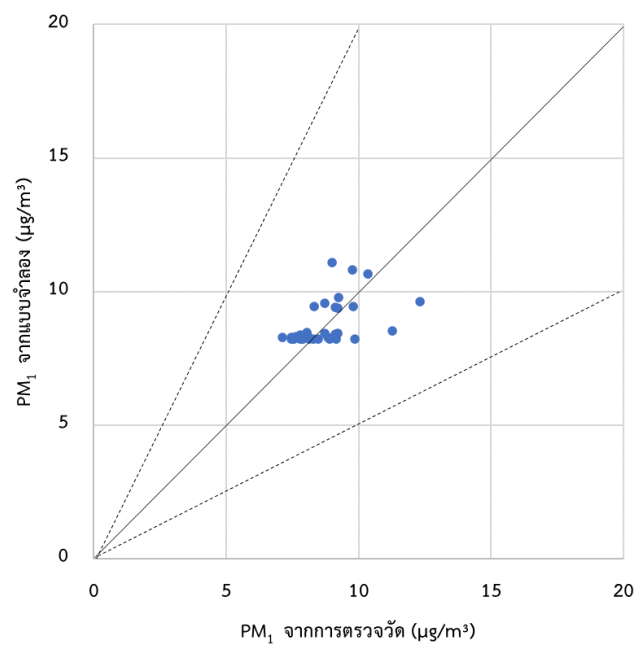
หมายเหตุ: ค่าที่ยอมรับได้เป็นดังนี้ FB และ NMSE ค่าควรเข้าใกล้ 0 ส่วน VG R และ FAC2 ค่าควรเข้าใกล้ 1

จากภาพที่ 19 และภาพที่ 20 แสดงการประเมินแบบจำลองด้วย Quantile – Quantile Plots (Q-Q plots) ของ PM_{2.5} และ PM₁ ซึ่งจะเห็นได้ว่า PM_{2.5} ค่าที่ได้จากแบบจำลองมีแนวโน้มต่ำกว่าการตรวจวัด แต่ยังคงอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ ซึ่งให้เห็นว่าแบบจำลองคุณภาพอากาศ R-LINE ให้ผลอยู่ในช่วงที่ยอมรับ และ PM₁ ผลจากแบบจำลองมีค่าใกล้เคียงกับการตรวจวัดซึ่งให้เห็นว่าแบบจำลองคุณภาพอากาศ R-LINE ให้ผลอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้

ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2565 (ช่วงเวลาทำการตรวจวัด PM_{2.5} และ PM₁ วันที่ 18 พฤษภาคม พ.ศ. 2565) พบว่าความเร็วลมมีค่าเท่ากับ 0.6 m/s ซึ่งแบบจำลอง R-LINE สามารถคาดการณ์มลพิษได้ดีที่ความเร็วลมมากกว่า 1.5 m/s (Snyder et al., 2013) อาจส่งผลให้การประเมินแบบจำลองโดยผลจากแบบจำลองมีแนวโน้มต่ำกว่าการตรวจวัด



ภาพที่ 19 Quantile – Quantile Plots ของ PM_{2.5} จากแบบจำลอง R-LINE กับการตรวจวัด

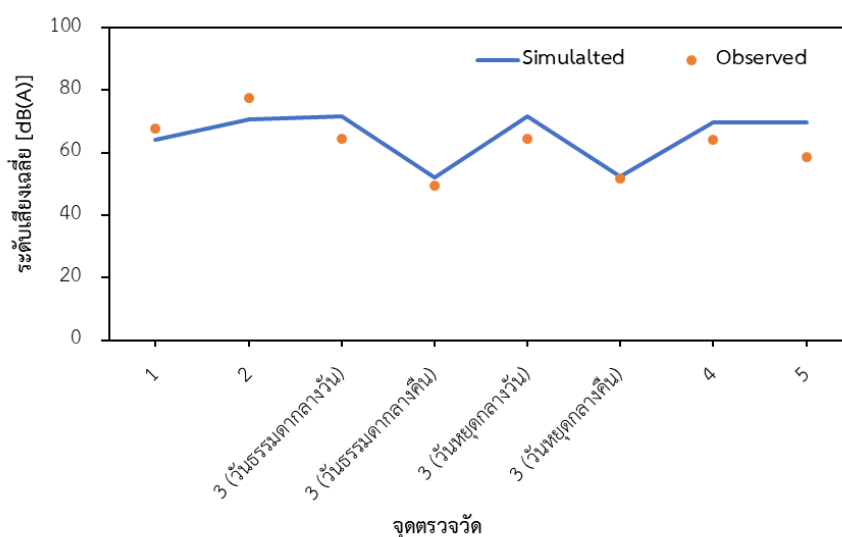


ภาพที่ 20 Quantile – Quantile Plots ของ PM₁ จากแบบจำลอง R-LINE กับการตรวจวัด

4.7.2 การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง SoundPLAN

ผลการตรวจวัดระดับเสียงของจุดตรวจวัดทั้ง 5 จุด ที่ได้ดำเนินการระหว่างวันที่ 14 ตุลาคม - 14 พฤศจิกายน พ.ศ. 2565 และนำมาคำนวณเป็นระดับเสียงเฉลี่ยเพื่อเปรียบเทียบกับผลของแบบจำลอง SoundPLAN แสดงดังภาพที่ 21 จากภาพสังเกตได้ว่าการเปลี่ยนแปลงของระดับเสียงเฉลี่ยที่ได้จากการตรวจวัดและจากแบบจำลองค่อนข้างมีความสอดคล้องกันในแต่ละจุดตรวจวัด

เมื่อนำมาวิเคราะห์ด้วยตัวชี้วัดทางสถิติ (ดังตารางที่ 14) พบว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ และจากภาพที่ 22 ที่ได้เปรียบเทียบระดับเสียงจากการตรวจวัดและจากแบบจำลองด้วย Quantile - Quantile Plots (Q-Q plots) พบว่าแบบจำลอง SoundPLAN มีค่าอยู่ในขอบเขตที่ยอมรับได้ ดังนั้นประสิทธิภาพของแบบจำลอง SoundPLAN จึงถือว่าสามารถยอมรับได้



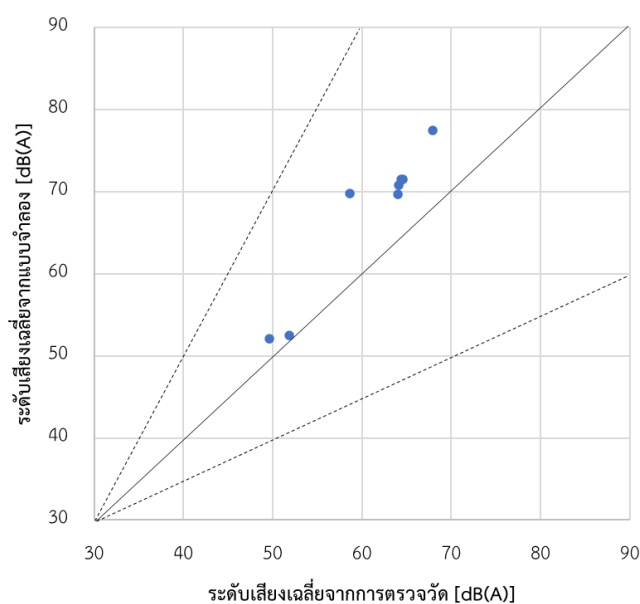
ภาพที่ 21 ระดับเสียงเฉลี่ยเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลอง SoundPLAN กับการตรวจวัด 5 จุดตรวจวัด [dB(A)]

หมายเหตุ : จุดตรวจวัดที่ 3 ระยะเวลาระดับเสียงกลางวันและกลางคืนอ้างอิงกับตัวเลือกเวลาของแบบจำลอง SoundPLAN โดยกลางวัน คือ 16 ชั่วโมง (07.00 - 22.00 น.) และกลางคืน คือ 8 ชั่วโมง (22.00 - 07.00 น.) ส่วนจุดตรวจวัดที่ 1 2 4 และ 5 เป็นระดับเสียงเฉลี่ย 12 ชั่วโมง

ตารางที่ 14 ผลการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง SoundPLAN

มลพิษทางเสียง	FB	NMSE	VG	R	FAC2
L_{eq}	-0.10	0.01	1.01	0.84	0.84-0.99

หมายเหตุ: ค่าที่ยอมรับได้เป็นดังนี้ FB และ NMSE ค่าควรเข้าใกล้ 0 ส่วน VG R และ FAC2 ค่าควรเข้าใกล้ 1



ภาพที่ 22 Quantile – Quantile plots ระดับเสียงเฉลี่ยเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลอง SoundPLAN กับการตรวจวัด [dB(A)]

4.8 การประเมินการเปลี่ยนแปลง $PM_{2.5}$ และ PM_{1} และระดับเสียงในพื้นที่ศึกษา

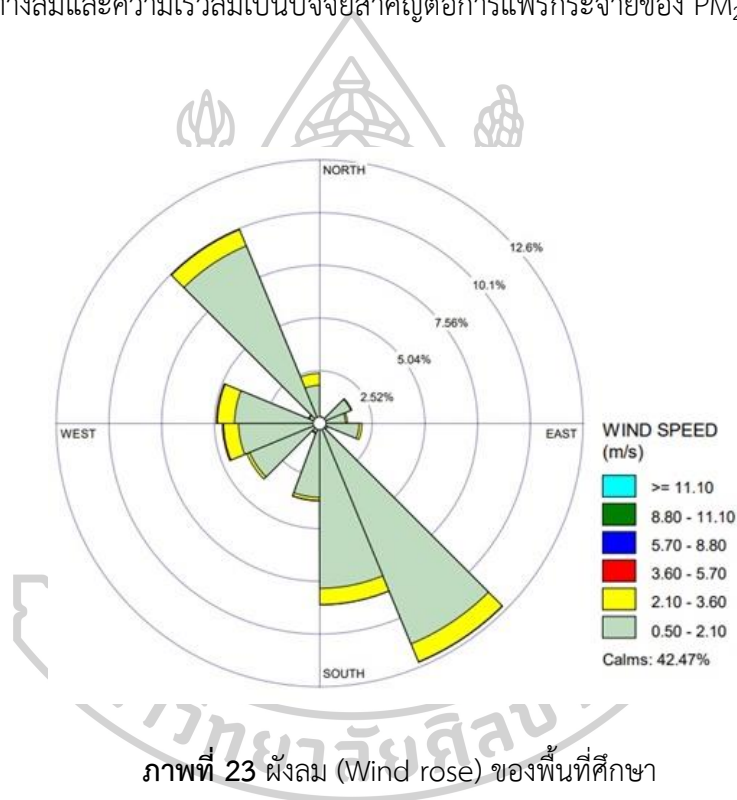
การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลง $PM_{2.5}$ และ PM_{1} และระดับเสียง จากการเปลี่ยนแปลงจำนวนยานพาหนะในพื้นที่ศึกษาที่กำหนดขึ้นภายใต้กรณี (Scenarios) ตามหัวข้อที่ 3.5.10 มีผลการศึกษาดังนี้

4.8.1 การวิเคราะห์การแพร่กระจายของ $PM_{2.5}$ และ PM_{1} ด้วยแบบจำลอง R-LINE

จากการประเมินแบบจำลอง R-LINE พบว่ามีประสิทธิภาพที่ยอมรับได้ (หัวข้อ 4.7.1) ในการศึกษาครั้งนี้จึงได้นำแบบจำลองมาวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของมลพิษทางอากาศ $PM_{2.5}$ และ PM_{1} โดยนำเข้าข้อมูลแหล่งกำเนิดมลพิษ อุตุณิยมวิทยา และผู้รับ (ตั้งภาคผนวก ข.) อุตุณิยมวิทยาผลการวิเคราะห์มีรายละเอียดดังนี้

4.8.1.1 สภาวะอุตุนิยมวิทยา

จากข้อมูลอุตุนิยมวิทยาผิวพื้นของสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศสถานีอุตุนิยมวิทยาราชบุรี ปี พ.ศ. 2562 นำมาสร้างเป็นผังลม (Wind rose) ด้วยโปรแกรม AERMET ในแบบจำลอง AERMOD View Version 9.2.2 (Lakes Environmental Software) ผลแสดงดังภาพที่ 23 จากภาพจะเห็นได้ว่าทิศทางลมหลักของพื้นที่มาจากทิศตะวันออกเฉียงใต้ มีความเร็วลมส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 0.50 - 2.10 และ 2.10 - 3.60 m/s และมีลมสงบ (Calms) (มีค่าน้อยกว่า 0.5 m/s) ร้อยละ 42.47 ซึ่งทิศทางลมและความเร็วลมเป็นปัจจัยสำคัญต่อการแพร่กระจายของ $PM_{2.5}$ และ PM_{1} ภายในพื้นที่ศึกษา



ภาพที่ 23 ผังลม (Wind rose) ของพื้นที่ศึกษา

4.8.1.2 ผลการคาดการณ์ปริมาณ $PM_{2.5}$ และ PM_{1} เชิงพื้นที่

ผลการศึกษาการแพร่กระจายความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ รายวัน ด้วยแบบจำลองคุณภาพอากาศ R- LINE ของกรณีฐาน (Base Case) กรณีที่ 1 และกรณีที่ 2 แสดงดังภาพที่ 24 โดยมีรายละเอียดดังนี้

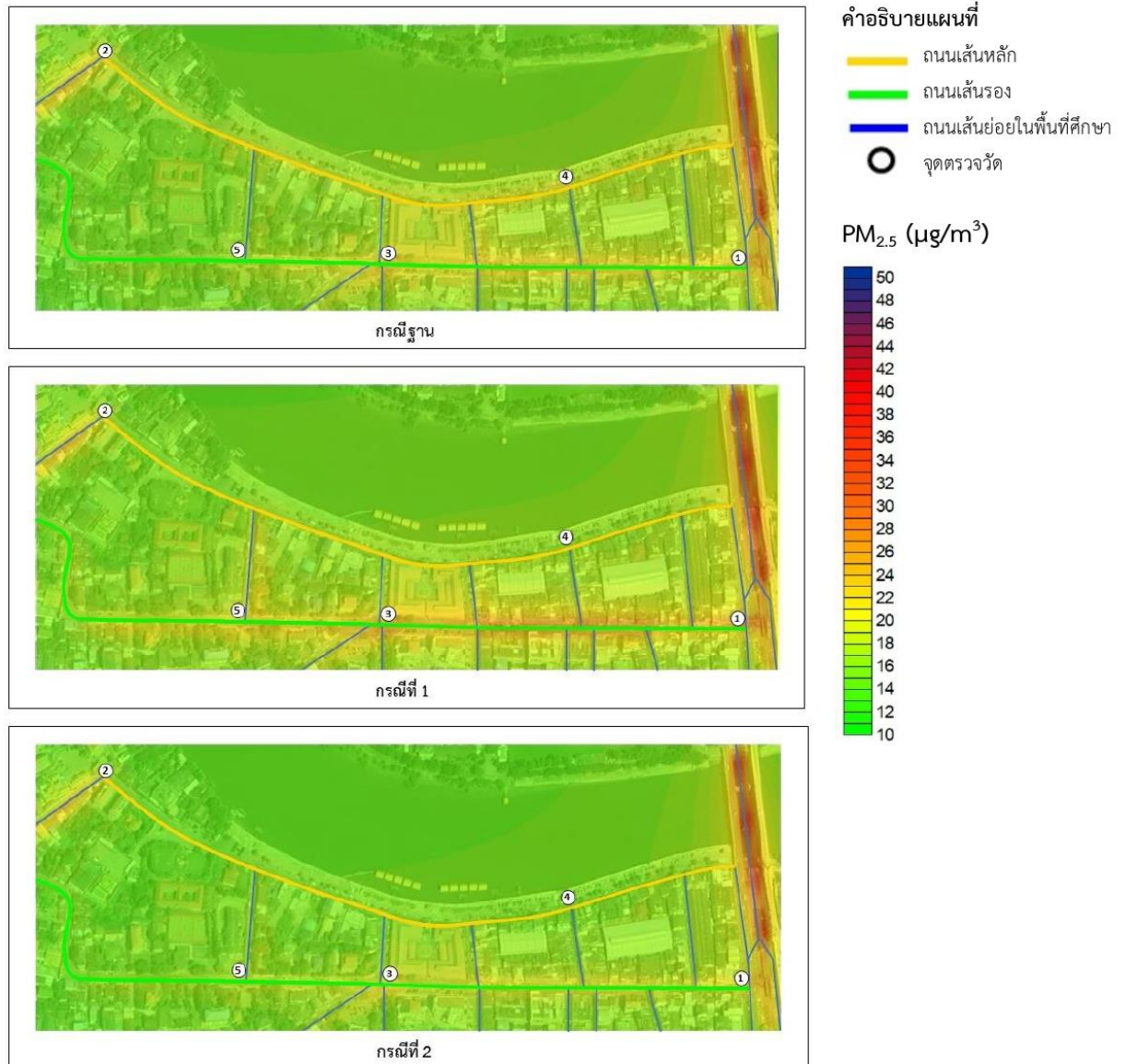
กรณีฐาน: พบว่า ความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ที่มีระดับสูงเกิดขึ้นตามแนวเส้นทางการจราจรในพื้นที่ศึกษา โดยพบความเข้มข้นสูงสุดบริเวณถนนรถไฟต่อเนื่องถึงบนสะพานพระราม 8 (ซ้ายมือของภาพที่ 24) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะความกว้างของเส้นทางการจราจรในบริเวณ

ดังกล่าวมีขนาดลดลงจาก 4 ช่องทางจราจร เหลือ 2 ช่องทางจราจร ทำให้ปริมาณการจราจรมีความหนาแน่น นอกจากนี้จากข้อมูลอุตุนิยมวิทยาพบว่าพื้นที่ศึกษามีสภาพของลมสงบถึงร้อยละ 42.47 จึงส่งผลให้ $PM_{2.5}$ แพร่กระจายในระยะใกล้หรือข้างเคียงกับแนวถนน

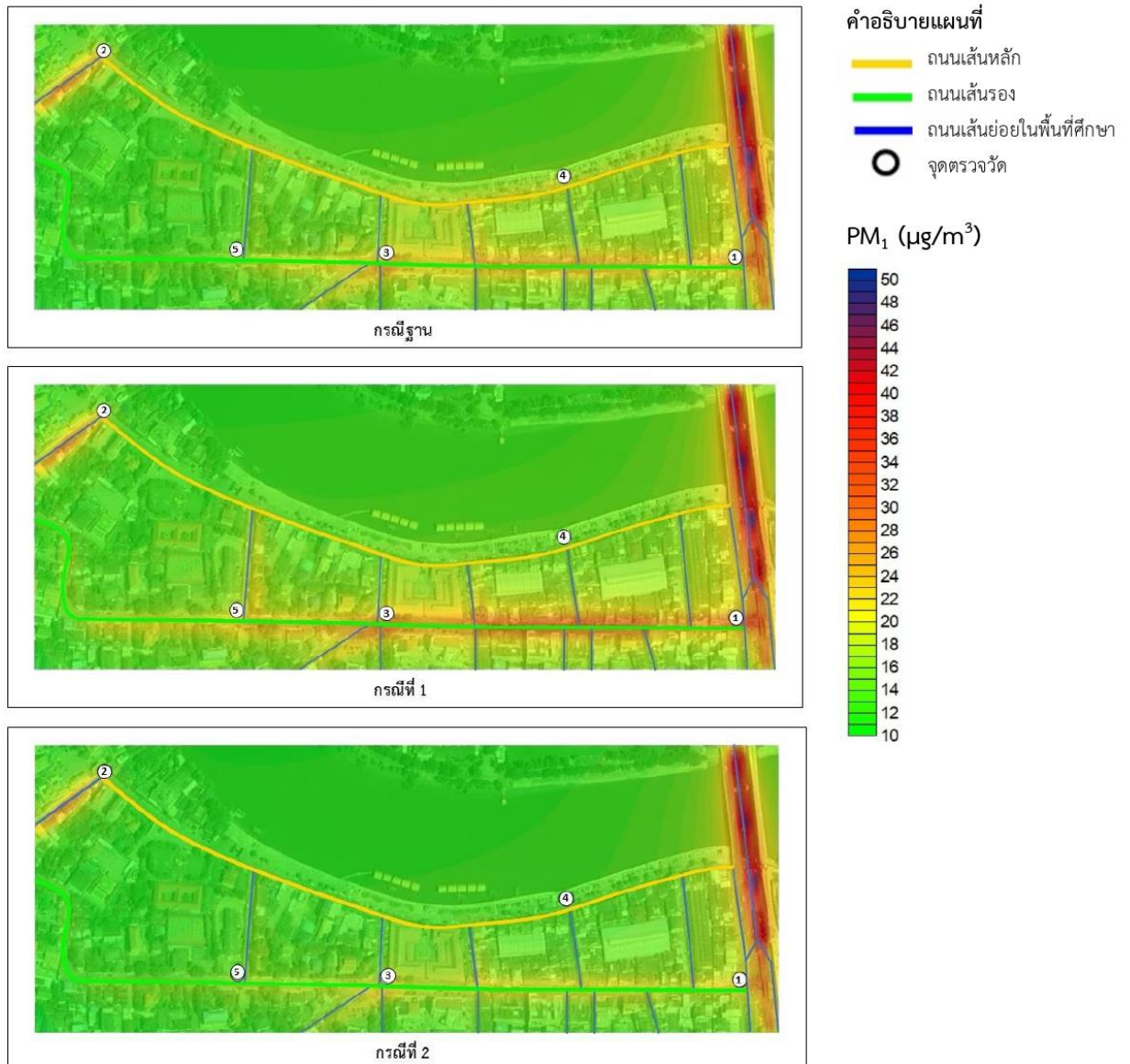
กรณีที่ 1: กำหนดให้ถนนสายหลักตามแนวแม่น้ำแม่กลองเป็นถนนปราศจากรถเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวในรูปแบบ “ถนนคนเดิน (Walking Street)” โดยให้ยานพาหนะทั้งหมดจำนวน 62,180 คัน/วัน ไปวิ่งบนถนนเส้นรองที่มียานพาหนะอยู่เดิม 163,631 คัน/วัน (ปริมาณยานพาหนะรวมไม่ได้ลดลง) ผลพบว่า การแพร่กระจายของ $PM_{2.5}$ บนถนนสายหลักมีระดับที่ลดลงอย่างชัดเจน ในขณะที่ระดับมลพิษในถนนสายรองมีระดับที่เพิ่มขึ้นอันเนื่องมาจากการที่ถูกกำหนดให้เป็นถนนที่รองรับปริมาณการจราจรจากถนนสายท่องเที่ยว นอกจากนี้ยังเกี่ยวกับปัจจัยอื่น ๆ ได้แก่ ขนาดความกว้างถนน และช่องทางจราจรของถนน

กรณีที่ 2: กำหนดให้ถนนสายหลักตามแนวแม่น้ำแม่กลองเป็นถนนปราศจากรถเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวในรูปแบบ “ถนนคนเดิน (Walking Street)” โดยให้ยานพาหนะทั้งหมดจำนวน 62,180 คัน/วัน ไปวิ่งบนถนนเส้นรองที่มียานพาหนะอยู่เดิม 163,631 คัน/วัน แต่กำหนดเพิ่มเติมให้ถนนสายรองหลังรวมถนนสายหลักมีปริมาณยานพาหนะลดลงร้อยละ 50 (ปริมาณยานพาหนะรวมลดลงร้อยละ 50) โดยปริมาณยานพาหนะที่ลดลงจากสมมติฐานให้มีที่จอดรถนอกพื้นที่ศึกษาและมีบริการรถโดยสารสาธารณะเข้าสู่พื้นที่ ผลพบว่าการแพร่กระจายของ $PM_{2.5}$ ที่สูง ณ บริเวณถนนเส้นรองแต่มีความเข้มข้นน้อยกว่ากรณีที่ 1 เนื่องจากยานพาหนะจากถนนเส้นหลักที่ถูกนำมาวิเคราะห์รวมกับยานพาหนะในถนนเส้นรองมีปริมาณลดลงร้อยละ 50 ทำให้แหล่งกำเนิดมลพิษในถนนเส้นรองลดลงเมื่อเทียบกับกรณีที่ 1

ส่วนผลการศึกษากการแพร่กระจายความเข้มข้นของ PM_{1} ด้วยแบบจำลองคุณภาพอากาศ R- LINE จากภาพที่ 25 พบว่าการแพร่กระจายความเข้มข้นของ PM_{1} เป็นไปในทิศทางเช่นเดียวกันกับกรณีของ $PM_{2.5}$ โดยในกรณีฐาน PM_{1} พบความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ $54.24 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ถนนรถไฟต่อเนื่องถึงบนสะพานธนารักษ์ (ซ้ายมือของภาพที่ 25) อนึ่งการแพร่กระจายความเข้มข้นของ PM_{1} มีความเข้มข้นต่ำกว่า $PM_{2.5}$ เนื่องจากความเข้มข้นพื้นฐานของ PM_{1} ในพื้นที่ศึกษามีปริมาณต่ำกว่า $PM_{2.5}$



ภาพที่ 24 การแพร่กระจายของ PM_{2.5} รายวัน ในพื้นที่ศึกษา ที่เกิดจากยานพาหนะบนถนน (µg/m³)
จากการคำนวณด้วยแบบจำลอง R-LINE



ภาพที่ 25 การแพร่กระจายของ PM₁ รายวัน ในพื้นที่ศึกษา ที่เกิดจากยานพาหนะบนถนน (µg/m³) จากการคำนวณด้วยแบบจำลอง R-LINE

4.8.1.3 ผลการคาดการณ์ปริมาณ PM_{2.5} และ PM₁ ณ ตำแหน่งผู้รับ

จากตารางที่ 15 และ ตารางที่ 16 ที่แสดงความเข้มข้นการแพร่กระจายของ PM_{2.5} และ PM₁ ณ ตำแหน่งผู้รับ (กำหนดให้ตำแหน่งผู้รับในแบบจำลองเป็นตำแหน่งเดียวกันกับจุดตรวจวัด) ผลพบว่า ความเข้มข้นของ PM_{2.5} และ PM₁ มีค่าสูงที่สุด ณ ตำแหน่งผู้รับที่ 2

ความเข้มข้นของ PM_{2.5} และ PM₁ รายวัน ณ ตำแหน่งผู้รับสัมผัสทั้ง 5 ตำแหน่ง เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกรณีฐานกับกรณีที่ 1 พบว่าจากการเปลี่ยนแปลงจำนวนยานพาหนะจากการคาดการณ์ ของกรณีที่ 1 มีความเข้มข้นของ PM_{2.5} เพิ่มขึ้นร้อยละ 0.3 ถึง 11.4 และ PM₁ เพิ่มขึ้นร้อยละ 0.4 ถึง 15.2 เมื่อเทียบกับกรณีฐาน ทั้งนี้เป็นเพราะปริมาณยานพาหนะที่นำมารวมกันทำให้เกิดการสะสมของมลพิษ ส่วนการเปรียบเทียบระหว่างกรณีฐานกับกรณีที่ 2 พบว่าจำนวนยานพาหนะจากการคาดการณ์ของกรณีที่ 2 มีของความเข้มข้นของ PM_{2.5} และ PM₁ ลดลงจากกรณีฐาน โดย PM_{2.5} ลดลงร้อยละ 2.6 ถึง 5.6 และ PM₁ ลดลงร้อยละ 4.4 ถึง 11.6 จากผลการลดลงของจำนวนยานพาหนะในพื้นที่ศึกษา

ตารางที่ 15 ปริมาณ PM_{2.5} และ PM₁ รายวัน ณ ตำแหน่งผู้รับ ระหว่างกรณีฐานกับกรณีที่ 1 ที่ได้จากแบบจำลอง R-LINE

ตำแหน่งผู้รับ	กรณีฐาน		กรณีที่ 1		การเปลี่ยนแปลงจากกรณีฐาน	
	PM _{2.5}	PM ₁	PM _{2.5}	PM ₁	PM _{2.5}	PM ₁
	(µg/m ³)	(µg/m ³)	(µg/m ³)	(µg/m ³)	(ร้อยละ)	(ร้อยละ)
1	17.46	16.31	17.53	16.43	0.4	0.7
2	20.27	21.57	22.58	24.85	11.4	15.2
3	15.70	13.06	15.74	13.11	0.3	0.4
4	16.06	13.47	16.30	13.86	1.5	2.9
5	16.18	13.97	16.14	13.88	-0.2	-0.6

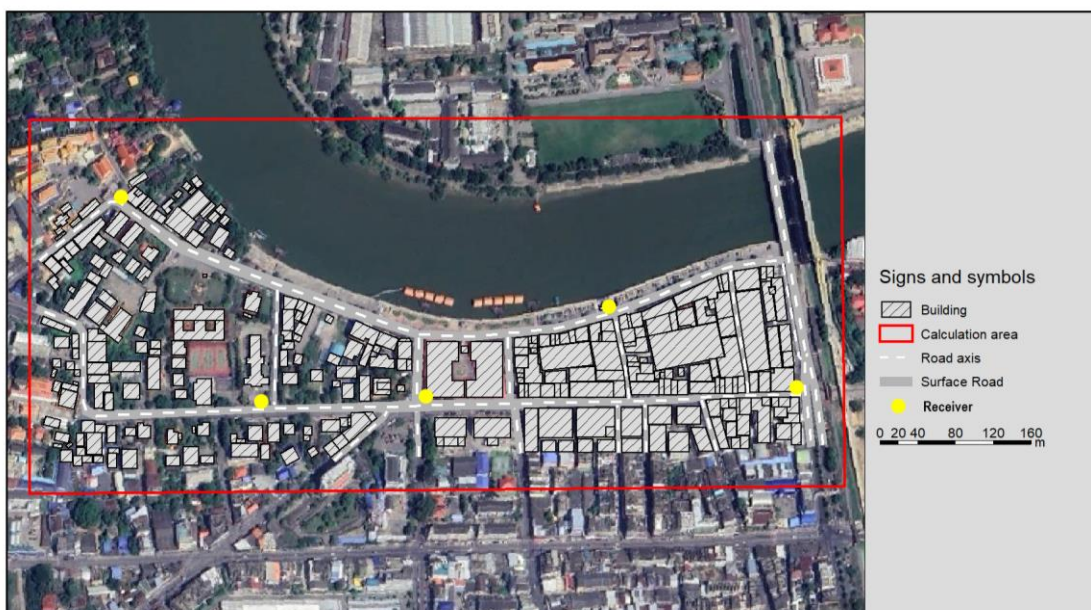
ตารางที่ 16 ปริมาณ PM_{2.5} และ PM₁ รายวัน ณ ตำแหน่งผู้รับ ระหว่างกรณีฐานกับกรณีที่ 2 ที่ได้จากแบบจำลอง R-LINE

ตำแหน่งผู้รับ	กรณีฐาน		กรณีที่ 2		การเปลี่ยนแปลงจากกรณีฐาน	
	PM _{2.5}	PM ₁	PM _{2.5}	PM ₁	PM _{2.5}	PM ₁
	(µg/m ³)	(µg/m ³)	(µg/m ³)	(µg/m ³)	(ร้อยละ)	(ร้อยละ)
1	17.46	16.31	17.00	15.59	-2.6	-4.4
2	20.27	21.57	19.13	19.06	-5.6	-11.6
3	15.70	13.06	15.00	11.89	-4.5	-9.0
4	16.06	13.47	15.21	12.14	-5.3	-9.9
5	16.18	13.97	15.45	12.74	-4.5	-8.8

4.8.2 การคาดการณ์การแผ่ของเสียงด้วยแบบจำลอง SoundPLAN

4.8.2.1 ข้อมูลอาคารที่นำเข้าแบบจำลอง SoundPLAN

ภาพที่ 26 แสดงผลการ Digitization เพื่อนำเข้าข้อมูลอาคารและถนนในพื้นที่ศึกษาเข้าสู่แบบจำลอง SoundPLAN เพื่อคาดการณ์การแผ่ของเสียงจากการจราจร และรายละเอียดต่างๆแสดงดังภาคผนวก ค.



ภาพที่ 26 อาคารและถนนในพื้นที่ศึกษาที่นำเข้าแบบจำลอง SoundPLAN

4.8.2.2 ผลการคาดการณ์ระดับเสียงเชิงพื้นที่

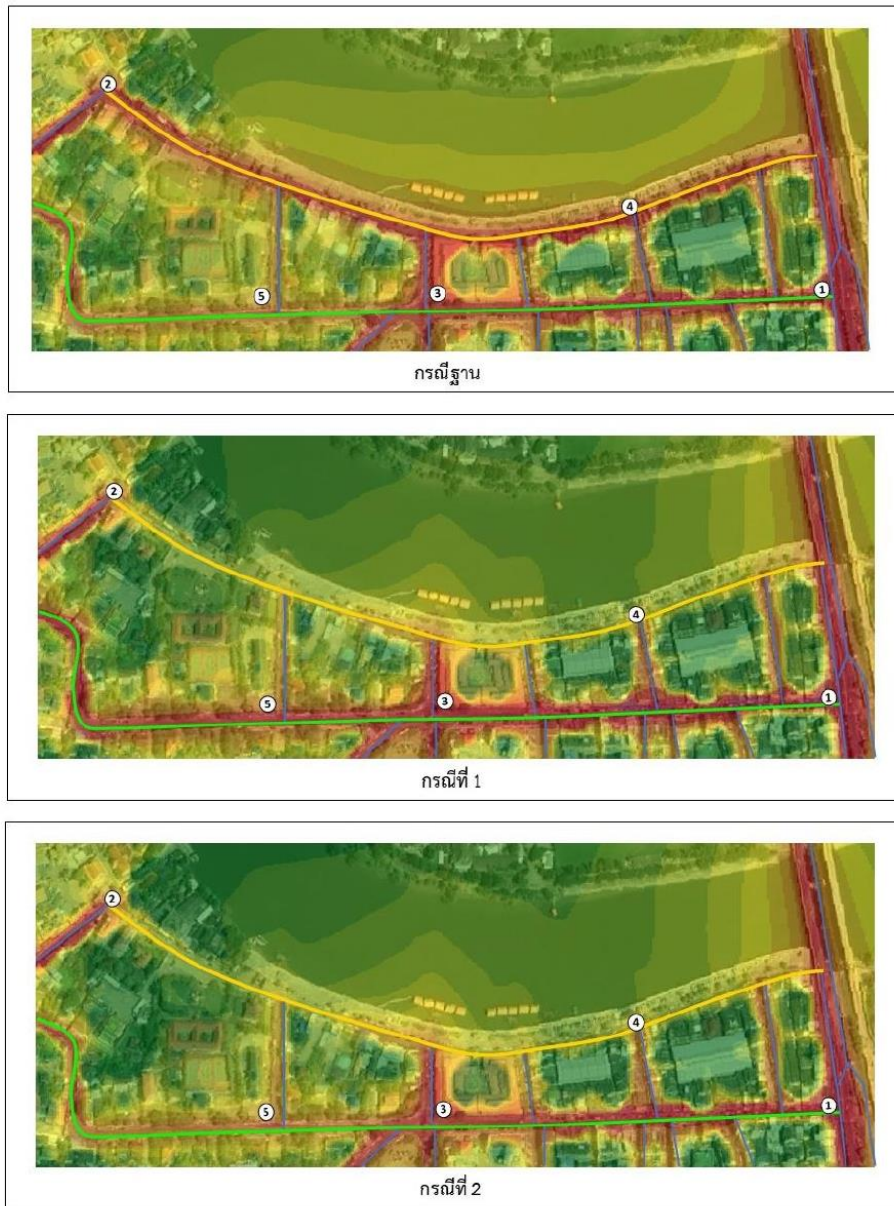
ผลที่ได้จากแบบจำลองได้จำแนกเป็นระดับเสียงกลางวัน (L_d) และระดับเสียงกลางคืน (L_n) ในช่วงวันทำงาน (ภาพที่ 27 - ภาพที่ 28) และวันหยุด (ภาพที่ 29 - ภาพที่ 30) ซึ่งพบว่าในช่วงวันทำงานทั้งในช่วงเวลากลางวัน (ภาพที่ 27) และกลางคืน (ภาพที่ 28) ระดับเสียงของกรณีที่ 1 เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีฐาน ระดับเสียงถนนเส้นหลักมีค่าลดลงแต่มีค่าที่สูงขึ้นบริเวณถนนเส้นรอง เนื่องจากยานพาหนะจากถนนเส้นหลักได้ย้ายมาวิ่งบนถนนเส้นรอง (โดยที่ปริมาณยานพาหนะรวมในพื้นที่ศึกษาไม่ได้ลดลง) ทำให้แหล่งกำเนิดมลพิษในถนนเส้นรองเพิ่มสูงขึ้น ส่วนกรณีที่ 2 เมื่อเทียบกับกรณีที่ 1 พบว่า ระดับเสียงบริเวณถนนเส้นรองมีค่าลดลงมากกว่ากรณีที่ 1

เนื่องจากยานพาหนะในถนนเส้นรองหลังจากรวมกับยานพาหนะจากถนนเส้นหลักมีปริมาณลดลงร้อยละ 50 (จากสมมติฐานให้มีที่จอดรถนอกพื้นที่ศึกษาและมีบริการรถโดยสารสาธารณะเข้าสู่พื้นที่)

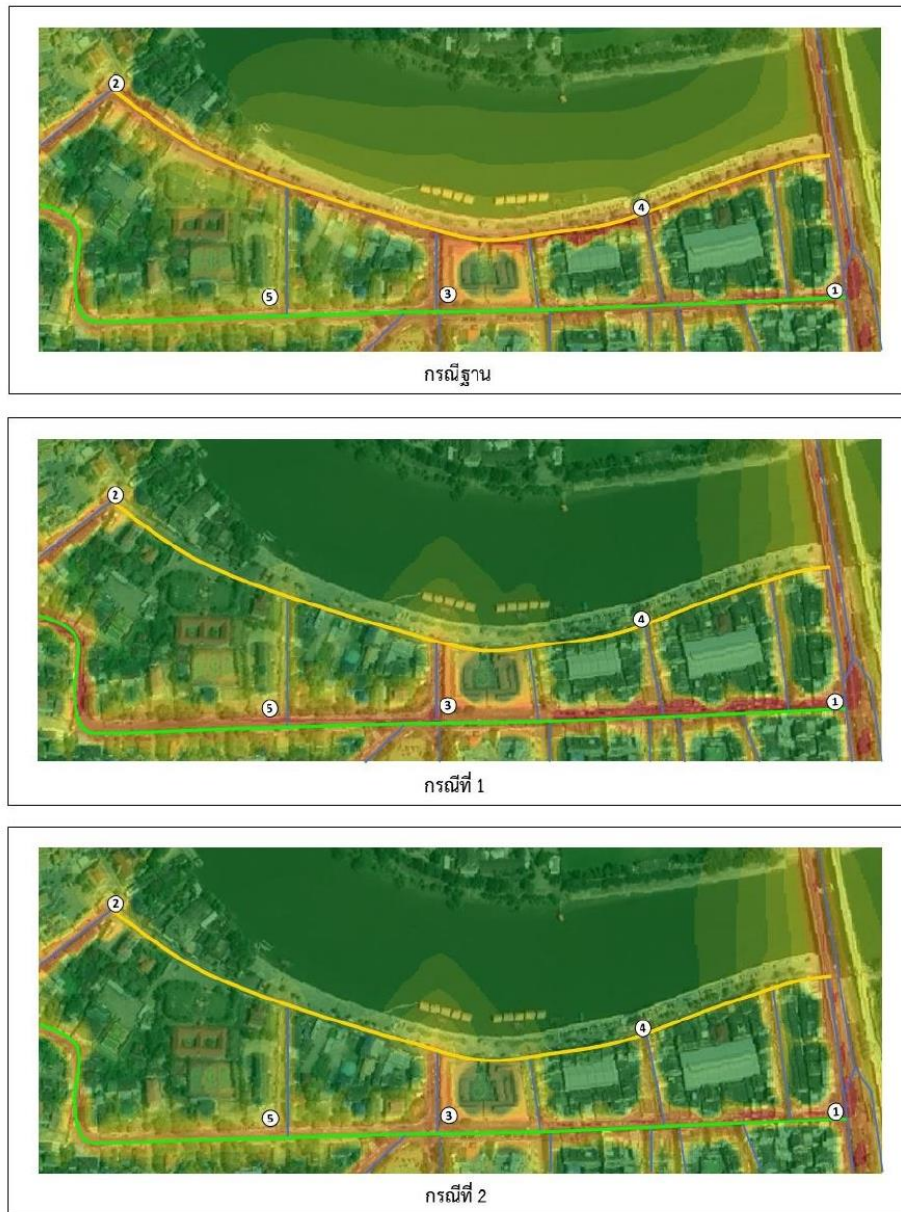
ส่วนระดับเสียงในวันหยุดทั้งในช่วงเวลากลางวัน (ภาพที่ 29) และกลางคืน (ภาพที่ 30) พบว่ามีความคล้ายคลึงกับวันทำงาน กล่าวคือ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกรณีที่ 1 กับกรณีฐาน ระดับเสียงมีค่าสูงอยู่ ณ บริเวณถนนเส้นรอง ส่วนกรณีที่ 2 ระดับเสียงบริเวณถนนเส้นรองมีค่าน้อยกว่ากรณีที่ 1 ซึ่งเหตุผลเป็นเช่นเดียวกับที่ได้อธิบายไว้ในกรณีวันทำงานข้างต้น

อนึ่งจากการสังเกตจะพบว่า ระดับเสียงที่ได้จากการคำนวณในทุกกรณี ในวันทำงานมีค่าต่ำกว่าในวันหยุด ทั้งนี้เป็นเพราะยานพาหนะที่เป็นแหล่งกำเนิดเสียงในวันทำงานมีปริมาณที่ต่ำกว่าในวันหยุด และระดับเสียงในช่วงเวลากลางวันจะมีค่าสูงกว่าในเวลากลางคืน จากเหตุผลเดียวกัน กล่าวคือ ยานพาหนะในช่วงเวลากลางวันมีปริมาณสูงกว่าในช่วงกลางคืน



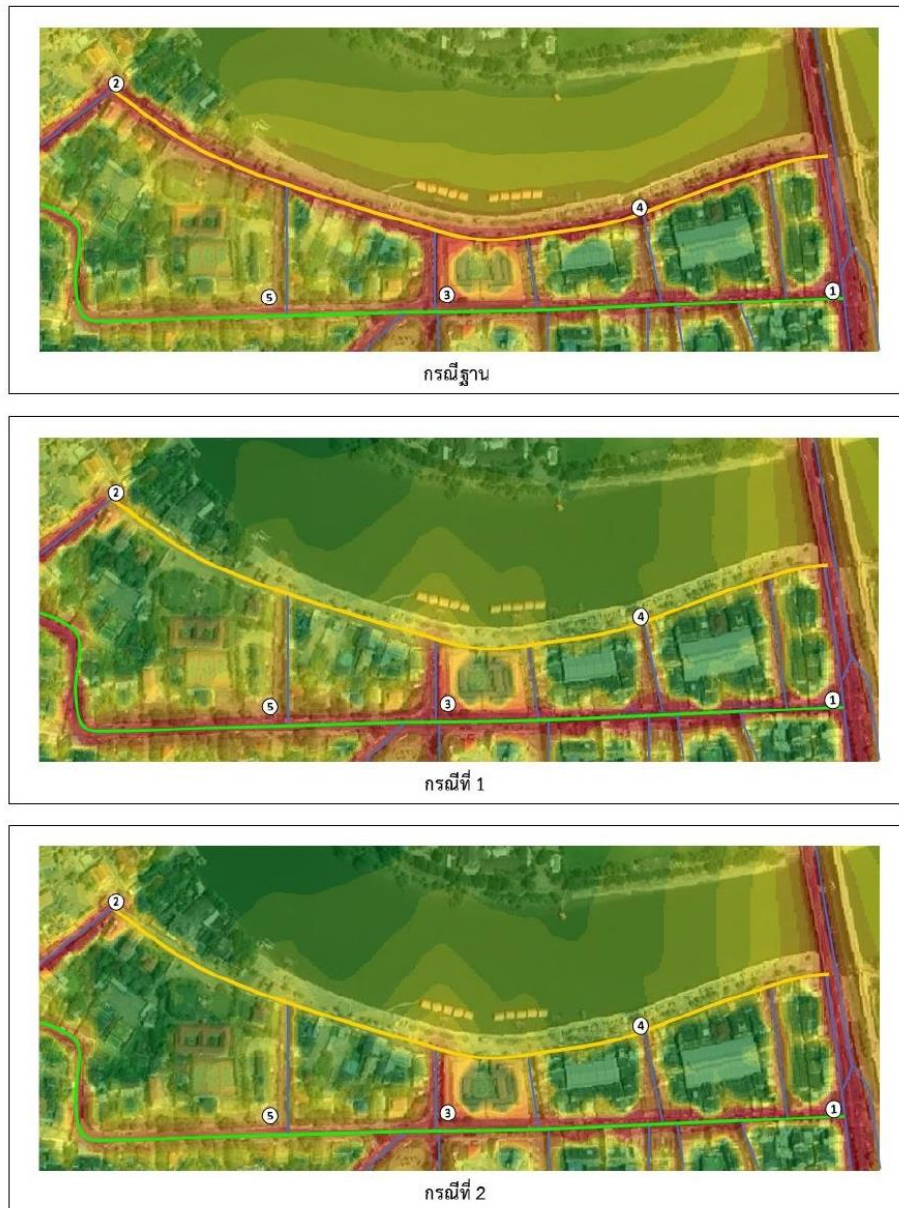


ภาพที่ 27 ระดับเสียงกลางวัน วันทำงาน

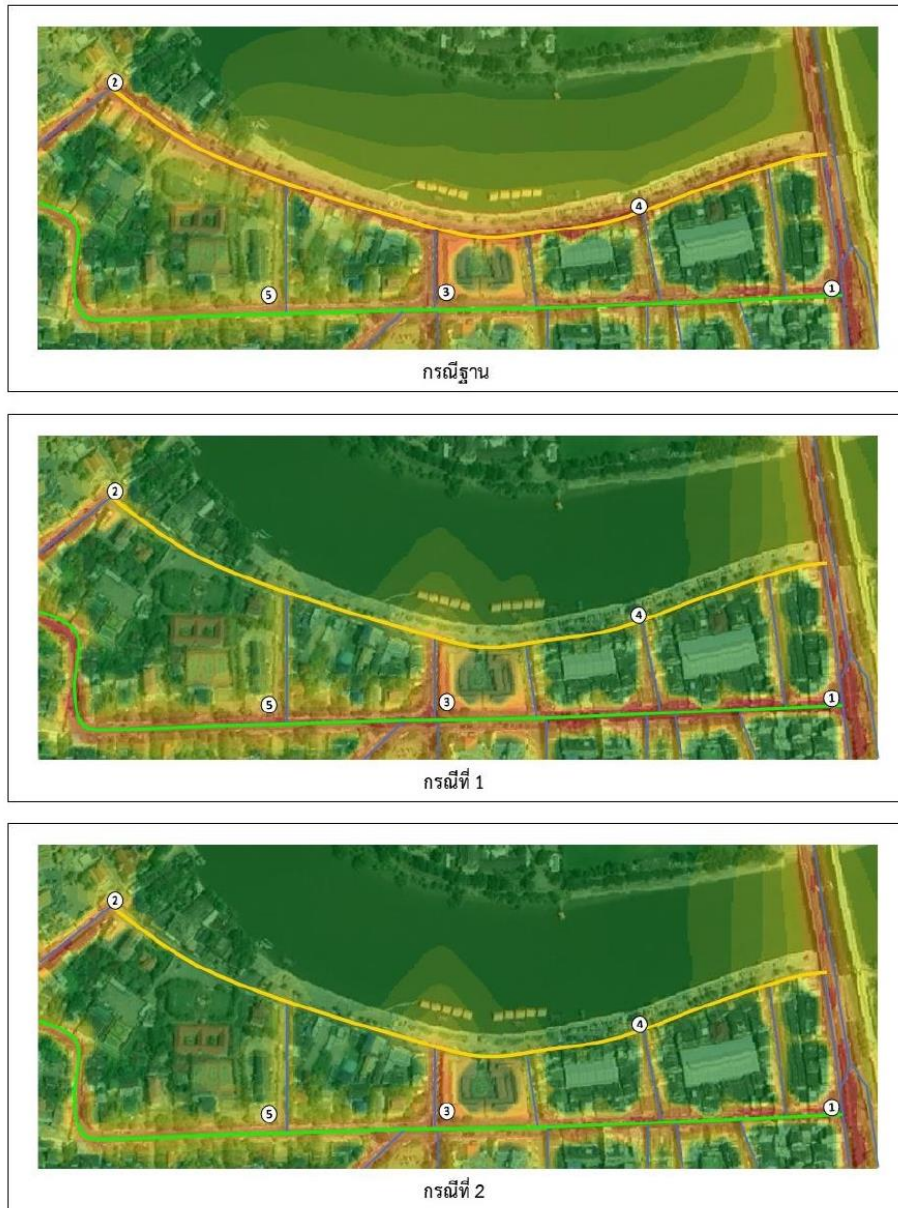


ภาพที่ 28 ระดับเสียงกลางคืน วันทำงาน

หมายเหตุ : ระดับเสียงกลางคืน (L_{Night}) ได้บวกค่า 10 dB(A) เพื่อชดเชยความรู้สึกรบกวนในช่วงเวลากลางคืน



ภาพที่ 29 ระดับเสียงกลางวัน วันหยุด



ภาพที่ 30 ระดับเสียงกลางคืน วันหยุด

หมายเหตุ : ระดับเสียงกลางคืน (L_{Night}) ได้บวกค่า 10 dB(A) เพื่อชดเชยความรู้สึกรบกวนในช่วงเวลากลางคืน

4.7.2.3 ผลการคาดการณ์ระดับเสียง ณ ตำแหน่งผู้รับ

ผลการศึกษาการแผ่ของเสียง ณ ตำแหน่งผู้รับทั้ง 5 จุด โดยใช้แบบจำลอง SoundPLAN (ตำแหน่งผู้รับเป็นตำแหน่งเดียวกันกับจุดตรวจวัด) แสดงดังตารางที่ 17- ตารางที่ 20

1) ผลการคาดการณ์ระดับเสียง ณ ตำแหน่งผู้รับ (ในวันทำงาน)

ในกรณีของวันทำงาน (ตารางที่ 17) พบว่า ณ ตำแหน่งผู้รับที่ 1 มีระดับเสียงทุกค่า (L_d , L_n และ L_{dn}) สูงที่สุดรองลงมา ได้แก่ จุดที่ 3 2 4 และ 5 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณยานพาหนะ (ตารางที่ 8) ที่พบว่าจุดที่ 1 มีปริมาณมากที่สุด รองลงมา ได้แก่ จุดที่ 3 2 4 และ 5 ตามลำดับ และพบว่าค่าเฉลี่ย L_n ที่คำนวณจากระดับเสียง L_n ทั้ง 5 จุด ในกรณีฐาน (60.8 dB(A)) กรณีที่ 1 (57.6 dB(A)) และ กรณีที่ 2 (55.7 dB(A)) (ตารางที่ 17) พบว่าเกินค่ามาตรฐานของ European Environment Agency (2018) ที่กำหนดไว้ไม่เกิน 50 dB(A) เช่นเดียวกับค่า L_{dn} ที่พบว่ามีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานของ U.S.EPA (U.S.EPA, 1974) ที่กำหนดไว้ที่ 55 dB(A) ทั้งกรณีฐาน กรณีที่ 1 และกรณีที่ 2 (L_{dn} เท่ากับ 70.2 67.4 และ 65.4 dB(A) ตามลำดับ)

ตารางที่ 18 ผลต่างของระดับเสียง L_{dn} กรณีที่ 1 และกรณีที่ 2 เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกรณีฐาน (วันทำงาน) ณ ตำแหน่งผู้รับสัมผัสทั้ง 5 ตำแหน่ง พบว่ากรณีที่ 1 การเปลี่ยนแปลงจำนวนยานพาหนะจากการคาดการณ์ ของกรณีที่ 1 มีระดับเสียง L_{dn} เพิ่มขึ้นร้อยละ 2.7 ถึง 7.9 dB(A) ทั้งนี้เป็นเพราะปริมาณยานพาหนะที่นำมารวมกันทำให้แหล่งกำเนิดเสียงเพิ่มมากขึ้นในถนนเส้นรอง ส่วนการเปรียบเทียบระหว่างกรณีฐานกับกรณีที่ 2 พบว่าจำนวนยานพาหนะจากการคาดการณ์ของกรณีที่ 2 มีระดับเสียง L_{dn} ลดลงร้อยละ 0.1 ถึง 20.6 dB(A) จากผลการลดลงของจำนวนยานพาหนะในถนนเส้นหลัก

ตารางที่ 17 ผลการคาดการณ์ระดับเสียง ที่ได้จากแบบจำลอง SoundPLAN (วันทำงาน)

หน่วย: dB(A)

ตำแหน่ง ผู้รับ	กรณีฐาน			กรณีที่ 1			กรณีที่ 2		
	L _d	L _n	L _{dn}	L _d	L _n	L _{dn}	L _d	L _n	L _{dn}
1	74.0	64.0	74.0	76.0	66.1	76.0	74.0	64.0	74.0
2	70.3	61.0	70.5	60.6	51.3	60.8	60.6	51.3	60.8
3	69.5	60.2	69.7	71.6	62.1	71.8	69.4	60.1	69.6
4	69.4	60.4	69.8	56.1	45.6	55.9	55.6	45.0	55.4
5	66.5	58.2	67.1	72.1	63.1	72.5	66.5	58.2	67.1
ค่าเฉลี่ย	69.9	60.8	70.2	67.3	57.6	67.4	65.2	55.7	65.4
ค่ามาตรฐาน		50 ¹	55 ²		50 ¹	55 ²		50 ²	55 ²

หมายเหตุ : ¹ ค่ามาตรฐานจาก European Environment Agency (2018) และ ² U.S.EPA (1974)

ตารางที่ 18 ผลต่างของระดับเสียง ในกรณีที่ 1 และกรณีที่ 2 เมื่อเทียบกับกรณีฐาน (วันทำงาน)

ตำแหน่ง ผู้รับ	กรณีฐาน	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2	การเปลี่ยนแปลงจากกรณีฐาน	
	L _{dn} [dB(A)]	L _{dn} [dB(A)]	L _{dn} [dB(A)]	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2
				L _{dn} (ร้อยละ)	L _{dn} (ร้อยละ)
1	74.0	76.0	74.0	2.7	0.0
2	70.5	60.8	60.8	-13.7	-13.7
3	69.7	71.8	69.6	2.9	-0.1
4	69.8	55.9	55.4	-19.8	-20.6
5	67.1	72.5	67.1	7.9	0.0

2) ผลการคาดการณ์ระดับเสียง ณ ตำแหน่งผู้รับ (ในวันหยุด)

โดยภาพรวมระดับเสียงในวันหยุด (ตารางที่ 19) มีค่าที่สูงกว่าในวันทำงาน (ตารางที่ 17) ทั้งนี้เป็นเพราะปริมาณรถในวันหยุดสูงกว่าในวันทำงาน จากตารางที่ 20 ตำแหน่งผู้รับที่ 1 มีระดับเสียงทุกค่า (L_d L_n และ L_{dn}) สูงที่สุดรองลงมา ได้แก่ จุดที่ 3 2 5 และ 4 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณยานพาหนะ (ตารางที่ 8) ยกเว้นจุดที่ 4 ที่มีปริมาณยานพาหนะรวมมากกว่าจุดที่ 5 แต่ที่น่าสังเกต คือ จุดที่ 4 มีปริมาณรถ LDV น้อยกว่าจุดที่ 5 ถึงร้อยละ 22 (จุดที่ 4 มีปริมาณรถ

LDV วันหยุด 83 คัน/วัน ส่วนจุดที่ 5 มี 103 คัน/วัน) ค่าเฉลี่ย L_n ที่คำนวณจากระดับเสียง L_n ทั้ง 5 จุด ในกรณีฐาน (61.3 dB(A)) กรณีที่ 1 (58.4 dB(A)) และ กรณีที่ 2 (56.2 dB(A)) (ตารางที่ 18) พบว่าเกินค่ามาตรฐานของ European Environment Agency (2018) ที่กำหนดไว้ไม่เกิน 50 dB(A) ส่วนค่า L_{dn} พบว่ามีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานของ U.S.EPA (U.S.EPA, 1974) ที่กำหนดไว้ที่ 55 dB(A) ทั้งกรณีฐาน กรณีที่ 1 และกรณีที่ 2 (L_{dn} เท่ากับ 70.5 67.7 และ 65.6 dB(A) ตามลำดับ)

ตารางที่ 20 ผลต่างของระดับเสียง L_{dn} กรณีที่ 1 และกรณีที่ 2 เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกรณีฐาน (วันหยุด) ณ ตำแหน่งผู้รับสัมผัสทั้ง 5 ตำแหน่ง พบว่ามีรูปแบบคล้ายกับวันทำงาน โดยพบว่าในกรณีที่ 1 การเปลี่ยนแปลงจำนวนยานพาหนะจากการคาดการณ์ ของกรณีที่ 1 มีระดับเสียง L_{dn} เพิ่มขึ้นร้อยละ 3.0 ถึง 8.0 dB(A) ทั้งนี้เป็นเพราะปริมาณยานพาหนะที่นำมารวมกันทำให้แหล่งกำเนิดเสียงเพิ่มมากขึ้นในถนนเส้นรอง ส่วนการเปรียบเทียบระหว่างกรณีฐานกับกรณีที่ 2 พบว่าจำนวนยานพาหนะจากการคาดการณ์ของกรณีที่ 2 มีระดับเสียง L_{dn} ลดลงร้อยละ 0.1 ถึง 20.8 dB(A) จากผลการลดลงของจำนวนยานพาหนะในถนนเส้นหลัก

ตารางที่ 19 ผลการคาดการณ์ระดับเสียง ที่ได้จากแบบจำลอง SoundPLAN (วันหยุด)

หน่วย: dB(A)

ตำแหน่ง ผู้รับ	กรณีฐาน			กรณีที่ 1			กรณีที่ 2		
	L_d	L_n	L_{dn}	L_d	L_n	L_{dn}	L_d	L_n	L_{dn}
1	74.0	64.3	74.1	76.1	66.8	76.3	74.0	64.3	74.1
2	70.5	61.9	71.0	60.8	52.2	61.3	60.8	52.2	61.3
3	69.4	60.5	69.8	71.6	62.8	72.0	69.4	60.4	69.8
4	69.4	61.2	70.1	56.0	46.2	56.1	55.5	45.5	55.5
5	66.6	58.7	67.4	72.2	63.8	72.8	66.6	58.7	67.4
ค่าเฉลี่ย	70.0	61.3	70.5	67.3	58.4	67.7	65.3	56.2	65.6
ค่ามาตรฐาน		50 ¹	55 ²		50 ¹	55 ²		50 ²	55 ²

หมายเหตุ : ¹ ค่ามาตรฐานจาก European Environment Agency (2018) และ ² U.S.EPA (1974)

ตารางที่ 20 ผลต่างของระดับเสียง ในกรณีที่ 1 และกรณีที่ 2 เมื่อเทียบกับกรณีฐาน (วันหยุด)

ตำแหน่ง ผู้รับ	กรณีฐาน	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2	การเปลี่ยนแปลงจากกรณีฐาน	
	L_{dn} [dB(A)]	L_{dn} [dB(A)]	L_{dn} [dB(A)]	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2
				L_{dn} (ร้อยละ)	L_{dn} (ร้อยละ)
1	74.1	76.3	74.1	3.0	0.0
2	71.0	61.3	61.3	-13.7	-13.7
3	69.8	72.0	69.8	3.2	-0.1
4	70.1	56.1	55.5	-20.0	-20.8
5	67.4	72.8	67.4	8.0	0.0

4.8.3 ดัชนีการลดมลพิษทางอากาศและเสียง

จากตารางที่ 21 แสดงผลลัพธ์การเปลี่ยนแปลงของ $PM_{2.5}$ PM_1 และระดับเสียง รวมถึงร้อยละการลดลงของมลพิษดังกล่าว โดยได้จากการนำค่ามลพิษจากกรณีฐานลบด้วยค่ามลพิษจากกรณี (ค่าเฉลี่ยมลพิษทางอากาศจากจุดตรวจวัด 5 จุด ลบด้วยค่าเฉลี่ยมลพิษทางเสียงจากจุดตรวจวัดทั้ง 5 จุด ในวันทำงานและวันหยุด) จากนั้นนำมาหาดัชนีการลดมลพิษทางอากาศและเสียงในพื้นที่ศึกษา (Air-Noise Pollution Reduction Index; ANPr) (King et al., 2009; King et al., 2016) โดยคำนวณจากการหาค่าเฉลี่ยร้อยละการลดลงของมลพิษทั้งสองประเภท ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 22 ซึ่งพบว่ากรณีที่ 1 มีค่า ANPr ระหว่าง $PM_{2.5}$ กับระดับเสียง ที่ร้อยละ 12.25 และ PM_1 กับมลพิษทางเสียง ที่ร้อยละ 11.38 (กล่าวคือ ที่สมมติฐานกรณีที่ 1 เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีฐาน $PM_{2.5}$ กับมลพิษทางเสียงโดยเฉลี่ยลดลงร้อยละ 12.25 และ PM_1 กับมลพิษทางเสียงโดยเฉลี่ยลดลงร้อยละ 11.38) ส่วนสมมติฐานกรณีที่ 2 เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีฐานทำให้เกิด ANPr ระหว่าง $PM_{2.5}$ กับมลพิษทางเสียง ที่ร้อยละ 23.65 และ PM_1 กับมลพิษทางเสียง ที่ร้อยละ 25.83 กล่าวคือ ที่สมมติฐานกรณีที่ 2 เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีฐาน $PM_{2.5}$ กับมลพิษทางเสียงโดยเฉลี่ยลดลงร้อยละ 23.65 และ PM_1 กับมลพิษทางเสียงโดยเฉลี่ยลดลงร้อยละ 25.83

จะสังเกตได้ว่าค่า ANPr ที่ได้สำหรับกรณีกรณีที่ 1 เกิดจากการลดลงของเสียงเป็นหลัก (จากตารางที่ 21 ที่กรณีนี้มีเฉพาะเสียงเท่านั้นที่ลดลงส่วน $PM_{2.5}$ และ PM_1 มีปริมาณเพิ่มขึ้น) การที่กรณีนี้มีระดับของเสียงที่ลดลงทั้งที่ปริมาณยานพาหนะมิได้ลดลง สันนิษฐานว่าเกิดจากอิทธิพล

ของโครงสร้างของอาคารที่ขวางกั้นการแผ่ของเสียง โดยเฉพาะตามแนວงนสายรอง ที่มีปริมาณรถจากถนนสายหลักเข้ามาวิ่งเพิ่มเติม (ดังตัวอย่างตามภาพที่ 25 - 4.19)

ตารางที่ 21 การลดลงของระดับมลพิษ

มลพิษ	ปริมาณ			ค่าที่ลดลง		ร้อยละที่ลดลง	
	กรณีฐาน	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2
ความดันเสียง (Pa) ¹	0.06594	0.04777	0.03774	-0.01817	-0.02820	-27.55	-42.77
PM _{2.5} (µg/m ³) ²	17.13	17.66	16.36	0.52	-0.78	3.06	-4.53
PM ₁ (µg/m ³) ²	15.68	16.43	14.28	0.75	-1.39	4.78	-8.88

หมายเหตุ: ¹ ระดับเสียงเฉลี่ยจากแบบจำลอง SoundPLAN ถูกแปลงเป็นค่าความดันเสียง ในหน่วยปาสคาล (Pa)

ตารางที่ 22 ดัชนีการลดมลพิษทางอากาศและเสียง (ANPr)

กรณี	ดัชนีการลดมลพิษทางอากาศและเสียง	
	Noise และ PM _{2.5} (ร้อยละ)	Noise และ PM ₁ (ร้อยละ)
กรณีที่ 1	12.25	11.38
กรณีที่ 2	23.65	25.83

4.9 อภิปรายผลการศึกษา

การประเมินแบบจำลองคุณภาพอากาศ R-LINE: จากงานวิจัยของ Snyder et al., (2013) ที่เป็นผู้พัฒนาแบบจำลองนี้พบว่า แบบจำลองดังกล่าวมีแนวโน้มคาดการณ์ความเข้มข้นมลพิษต่ำกว่าความเป็นจริงเล็กน้อย (ทำการประเมินแบบจำลองโดยใช้ชุดทดลองที่ใช้ SF₆) เมื่อเทียบกับการศึกษาพบว่าแบบจำลอง R-LINE คำนวณปริมาณ PM_{2.5} ต่ำกว่าค่าจากการตรวจวัด (ภาพที่ 17) แต่สามารถคาดการณ์ความเข้มข้นของ PM₁ ได้ใกล้เคียงกับการตรวจวัด (ภาพที่ 18) ซึ่งแตกต่างจากการศึกษาของ Zhai et al. (2016) ที่พบว่าผลของแบบจำลองให้ผลคาดการณ์ PM_{2.5} จากการจราจรสูงกว่าการตรวจวัด ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ว่าผลของแบบจำลองอาจเกิดจากปัจจัยอื่นๆ เช่น สภาพอากาศ (Zhai et al., 2016) ซึ่ง Snyder et al. (2013) พบว่า แบบจำลอง R-LINE สามารถคาดการณ์มลพิษที่ความเร็วลมมากกว่า 1.5 m/s ได้ดีกว่าความเร็วลมที่ต่ำกว่า ซึ่งจากงานวิจัยนี้

พบว่าความเร็วลมอยู่ในช่วงค่อนข้างต่ำ (พบความเร็วลมต่ำกว่า 0.5 m/s ถึงร้อยละ 42.47) อย่างไรก็ตามสภาพอุตุนิยมวิทยาจะส่งผลให้แบบจำลองคุณภาพอากาศประเมินความเข้มข้นของมลพิษสูงเกินไปเมื่อความเข้มข้นมลพิษสูง และต่ำเกินไปในช่วงที่มีมลพิษต่ำ (Venkatram et al., 2004) นอกจากนี้ อาจเกิดจากค่าสัมประสิทธิ์การระบายนมลพิษที่นำมาใช้ และจำนวนตัวอย่างจากการตรวจวัดที่นำมาใช้ ที่อาจส่งผลต่อผลการประเมินแบบจำลอง

การประเมินแบบจำลองด้านเสียง SoundPLAN: จากการเปรียบเทียบผลการคำนวณระดับเสียงด้วยแบบจำลอง SoundPLAN กับการตรวจวัดที่เกิดจากการจราจรพบว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (ตารางที่ 14 และภาพที่ 20) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Medeiros et al. (2022) พบความสัมพันธ์ของแบบจำลองที่ $R^2 = 0.96$ และสอดคล้องกับการศึกษาที่ว่าพบความสัมพันธ์ของแบบจำลองที่ $R^2 = 0.79$ (Tezel-Oguz et al., 2023) ส่วนงานวิจัยนี้พบค่า $R^2 = 0.71$ (คำนวณจากค่า R ที่มีค่าเท่ากับ 0.84)

ผลของอาคารต่อระดับมลพิษทางอากาศและเสียง: จากภาพที่ 25 - 4.19 จะเห็นได้จากการแผ่ของเสียงที่อาคารทำหน้าที่เป็นตัวกั้นเสียง (ภาพที่ 24) บริเวณที่มีอาคารสูง (ขวามือ) ระดับเสียงมีการแผ่อยู่ตามแนวถนน ส่วนบริเวณที่มีอาคารสูงน้อยกว่า (ซ้ายมือ) ระดับเสียงมีการแผ่อยู่ตามแนวถนนและแผ่ออกในรัศมีที่กว้าง ซึ่งอาคารสูงกั้นเสียงได้มากกว่าอาคารที่มีความสูงน้อยกว่า (Chan et al., 2019) ทั้งนี้ในการใช้แบบจำลองคาดการณ์การแพร่กระจายของเสียงโดยเฉพาะอย่างยิ่งในระดับ Microscale เช่นกรณีศึกษานี้ การพิจารณาขนาดและความสูงของอาคารมีความจำเป็นแต่ด้วยข้อจำกัดของแบบจำลอง R-LINE ที่ไม่คำนึงถึงขนาดและความสูงของอาคาร ทำให้แบบจำลอง R-LINE ไม่วิเคราะห์การแพร่กระจายของมลพิษที่เกี่ยวข้องกับอาคาร

ดัชนีการลดมลพิษทางอากาศและเสียง (Air-Noise Pollution Reduction Index; ANPr): จากการศึกษาพบว่ากรณีที่ 1 เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีฐาน $PM_{2.5}$ กับมลพิษทางเสียงโดยเฉลี่ยลดลงร้อยละ 12.25 และ PM_{10} กับมลพิษทางเสียงโดยเฉลี่ยลดลงร้อยละ 11.38 ส่วนกรณีที่ 2 เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีฐาน $PM_{2.5}$ กับมลพิษทางเสียงโดยเฉลี่ยลดลงร้อยละ 23.65 และ PM_{10} กับมลพิษทางเสียงโดยเฉลี่ยลดลงร้อยละ 25.83 จากผลการศึกษาจะเห็นได้ว่าสมมติฐานกรณีที่ 2 มีการลดลงของมลพิษมากกว่ากรณีที่ 1 โดยการศึกษาดัชนีการลดมลพิษทางอากาศเสียง (ANPr) บนเส้นทาง High Line กับเส้นทางเดินเท้า เมืองนิวยอร์ก (King et al., 2016) พบว่าจากการศึกษา $PM_{2.5}$ และเสียง ในเส้นทาง High Line เมื่อเทียบกับทางเท้า $PM_{2.5}$ และเสียงลดลงร้อยละ 36.5

ทั้งนี้จากการศึกษาทั้งสอง ทำให้เห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการใช้ถนนสัญจรของยานพาหนะ การลดการใช้ยานพาหนะส่วนบุคคล รวมถึงการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการเดินทางเป็นการเดิน สามารถลดมลพิษทางอากาศและมลพิษทางเสียงได้

การตอบเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (UN Sustainable Development Goals; UN SDGs): องค์การสหประชาชาติ (United Nations: UN) ได้กำหนดเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน เพื่อเป็นกรอบให้ประเทศสมาชิกได้นำไปใช้ในการพัฒนาประเทศ เป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs) มีทั้งหมด 17 เป้าหมาย (สหประชาชาติ ประเทศไทย, 2566) โดยงานวิจัยนี้มีความสอดคล้องกับ SDGs เป้าหมายที่ 3 ส่งเสริมสุขภาพและความเป็นอยู่ที่ดีให้แก่ประชากรทุกช่วงวัย (ประเด็นที่ 3.9 ลดจำนวนการตายและการป่วยจากสารเคมีอันตรายและจากการปนเปื้อนและมลพิษทางอากาศ น้ำ และดิน ให้ลดลงอย่างมากภายในปี 2573) เป้าหมายที่ 11 ทำให้เมืองและการตั้งถิ่นฐานของมนุษย์มีความปลอดภัยทั่วถึง ยืดหยุ่น และยั่งยืน (ประเด็นที่ 11.6 ลดผลกระทบทางลบของเมืองต่อสิ่งแวดล้อมต่อหัวประชากร โดยรวมถึงการให้ความสนใจเป็นพิเศษต่อคุณภาพอากาศและการจัดการของเสียของเทศบาลและอื่นๆ ภายในปี 2573) และเป้าหมายที่ 13 ดำเนินการอย่างเร่งด่วนเพื่อรับมือการเปลี่ยนแปลงทางสภาพภูมิอากาศและผลกระทบ กล่าวคือ งานวิจัยนี้ได้ศึกษามลพิษทางอากาศและเสียงที่อาจส่งผลกระทบต่อนักท่องเที่ยว และประชาชนในพื้นที่ หากนำผลการศึกษาที่ได้ไปใช้ในการพัฒนาผังเมือง เพื่อพัฒนาหรือผลักดันรูปแบบการท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม เพื่อลดการก่อกมลพิษ และลดรับสัมผัสมลพิษจากยานพาหนะ เป็นการส่งเสริมสุขภาพและความเป็นอยู่ที่ดีต่อนักท่องเที่ยว และประชาชน ทั้งนี้หากนักท่องเที่ยว และประชาชนในพื้นที่ ร่วมกันลดการใช้ยานพาหนะส่วนบุคคล ร่วมกันใช้รถสาธารณะ สามารถส่งผลเชิงบวกในด้านการลดการก่อกมลพิษทางอากาศชนิดอื่น ๆ จากยานพาหนะซึ่งเป็นสารก่อให้เกิดภาวะเรือนกระจก ที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

อย่างไรก็ตามจำนวนนักท่องเที่ยวที่อาจเพิ่มขึ้นส่งผลถึงปริมาณยานพาหนะในพื้นที่ศึกษามีจำนวนเพิ่มมากขึ้น ทำให้ภายในพื้นที่ที่มีมลพิษจากยานพาหนะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย อีกทั้งพื้นที่ศึกษามีสภาพอุตุนิยมวิทยาที่เอื้อต่อการสะสมของมลพิษทางอากาศ การมียานพาหนะในพื้นที่ปริมาณสูงอาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพของผู้รับสัมผัสที่เป็นนักท่องเที่ยวและประชาชนในพื้นที่โดยตรง จึงควรมีการทบทวนเรื่องการนำยานพาหนะส่วนบุคคลมาใช้ ต้องคำนึงถึงสารมลพิษรวมถึงอนุภาคฝุ่นขนาดต่าง ๆ ที่เกิดจากยานพาหนะด้วย

4.9.1 ข้อจำกัดที่พบในการศึกษา

- 1) ข้อมูลอุณหภูมิตามวิทยาของพื้นที่ศึกษามีการขาดหาย ไม่เพียงพอต่อการนำเข้าแบบจำลอง R-LINE จำเป็นต้องซ่อมแซมข้อมูลส่วนดังกล่าว เพื่อให้ได้ผลการศึกษาที่แม่นยำมากขึ้น
- 2) สัมประสิทธิ์การระบายมลพิษจากยานพาหนะของ PM_{10} มีข้อมูลไม่เพียงพอ จำเป็นต้องซ่อมแซมข้อมูล เพื่อให้ได้ผลลัพธ์สำหรับนำเข้าแบบจำลอง
- 3) ในการวิเคราะห์ของแบบจำลอง R-LINE ไม่คำนึงถึงข้อมูลอาคารทำให้การแพร่กระจายของมลพิษที่เกิดจากยานพาหนะแพร่กระจายในรัศมีที่กว้าง เมื่อเทียบกับแบบจำลอง SoundPLAN ที่คำนึงข้อมูลอาคารระดับเสียงแผ่ไปคามแนวนอน ส่งผลให้เมื่อเปรียบเทียบระดับมลพิษทางอากาศกับเสียงที่เกิดจากยานพาหนะเห็นผลได้ไม่ชัดเจนมากนัก
- 4) เนื่องจากงานวิจัยนี้เก็บข้อมูลภาคสนามในช่วงสถานการณ์การแพร่ระบาดของไวรัสโคโรนา 2019 (COVID-19) พื้นที่ศึกษามีการประกาศล็อกดาวน์ในบางช่วงเวลา ส่งผลให้ไม่สามารถเก็บข้อมูลภาคสนามแบบระยะยาวและต่อเนื่องได้ ทั้งนี้ควรเก็บข้อมูลภาคสนามในส่วนของข้อมูลความเข้มข้นมลพิษทางอากาศ ระดับเสียง และปริมาณยานพาหนะ ในช่วงเวลาเดียวกัน และระยะเวลาในการบันทึกข้อมูลเดียวกัน เพื่อความแม่นยำของข้อมูลเมื่อใช้เปรียบเทียบผลการศึกษา



บทที่ 5

ผลการศึกษาและอภิปรายผลการศึกษา

5.1 สรุปผลการศึกษา

การศึกษามลพิษทางอากาศและมลพิษทางเสียงที่เกิดจากยานพาหนะในพื้นที่เมืองเก่าราชบุรี เพื่อวิเคราะห์การแพร่กระจายของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ด้วยแบบจำลอง R-LINE วิเคราะห์การแพร่กระจายของระดับเสียงด้วยแบบจำลอง SoundPLAN และเพื่อศึกษาการลดมลพิษทางอากาศและเสียงด้วยดัชนีการลดมลพิษทางอากาศและเสียง (Air-Noise Pollution Reduction Index; ANPr) พบว่าการแพร่กระจายของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} และการแพร่กระจายของระดับเสียงสอดคล้องกับปริมาณยานพาหนะ ทั้งนี้ผลการประเมินแบบจำลอง R-LINE และ แบบจำลอง SoundPLAN จากการวิเคราะห์ทางสถิติอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด ดังนั้นประสิทธิภาพของแบบจำลอง จึงถือว่าเป็นที่ยอมรับ

การศึกษาได้กำหนดกรณีศึกษา (Scenarios) จากการเปลี่ยนแปลงของจำนวนยานพาหนะจากการคาดการณ์ในพื้นที่เมืองเก่าราชบุรีในพื้นที่ ภายใต้ชุดโครงการวิจัยการอนุรักษ์และพัฒนาเมืองเก่าราชบุรีเมืองสร้างสรรค์และน่าอยู่เพื่อการพัฒนาเศรษฐกิจฐานนวัตกรรมและความเป็นอยู่ที่ยั่งยืน โครงการย่อย การพัฒนาทุนทางวัฒนธรรมเพื่อการท่องเที่ยวเมืองน่าอยู่ราชบุรี (คณะโบราณคดี มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2563) คือ กรณีที่ 1 สถานการณ์ยานพาหนะจากถนนเส้นหลักลดลงร้อยละ 100 โดยยานพาหนะจากถนนเส้นหลักถูกนำมารวมกับยานพาหนะในถนนเส้นรอง และกรณีที่ 2 สถานการณ์ยานพาหนะจากถนนเส้นหลักลดลงร้อยละ 100 และยานพาหนะจากถนนเส้นรองลดลงร้อยละ 50 ซึ่งจากการวิเคราะห์ดัชนีการลดมลพิษทางอากาศและเสียง โดยคำนวณจากการหาค่าเฉลี่ยร้อยละการลดลงของมลพิษทั้งสองประเภท พบว่า ภายใต้กรณีที่ 1 $PM_{2.5}$ เพิ่มขึ้นร้อยละ 0.3 ถึง 11.4 PM_{10} เพิ่มขึ้นร้อยละ 0.4 ถึง 15.2 และ L_{dn} วันทำงาน เพิ่มขึ้นร้อยละ 2.7 ถึง 7.9 และวันหยุด เพิ่มขึ้นร้อยละ 3.0 ถึง 8.0 ส่วนกรณีที่ 2 กำหนดให้ถนนสายหลักตามแนวแม่น้ำแม่กลองเป็นถนนปราศจากรถเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวในรูปแบบ “ถนนคนเดิน (Walking Street)” โดยให้ยานพาหนะจากถนนสายหลักไปวิ่งบนถนนเส้นรอง และกำหนดเพิ่มเติมให้ถนนสายรองหลังรวมถนนสายหลักมีปริมาณยานพาหนะลดลงร้อยละ 50 (ปริมาณยานพาหนะรวมลดลงร้อยละ 50) โดยปริมาณยานพาหนะที่ลดลงเป็นผลจากสมมติฐานให้มีที่จอดรถนอกพื้นที่ศึกษาและมีบริการรถโดยสารสาธารณะเข้าสู่พื้นที่ พบว่า $PM_{2.5}$ ลดลงร้อยละ 2.6 ถึง 5.6 PM_{10} ลดลงร้อยละ 4.4 ถึง 11.6 และ

L_{dn} วันทำงาน ลดลงร้อยละ 0.1 ถึง 20.6 และวันหยุด ลดลงร้อยละ 0.1 ถึง 20.8 เมื่อเทียบกับกรณีฐาน

จากการวิเคราะห์ดัชนีการลดมลพิษทางอากาศและเสียง (ANPr) จะเห็นได้ว่ากรณีที่ 1 เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีฐาน $PM_{2.5}$ กับมลพิษทางเสียงโดยเฉลี่ยลดลงร้อยละ 12.25 และ PM_{1} กับมลพิษทางเสียงโดยเฉลี่ยลดลงร้อยละ 11.38 ส่วนกรณีที่ 2 เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีฐาน $PM_{2.5}$ กับมลพิษทางเสียงโดยเฉลี่ยลดลงร้อยละ 23.65 และ PM_{1} กับมลพิษทางเสียงโดยเฉลี่ยลดลงร้อยละ 25.83 จากผลการศึกษานี้จะเห็นได้ว่าสมมติฐานกรณีที่ 2 มีการลดลงของมลพิษมากกว่ากรณีที่ 1

การวิเคราะห์การแพร่กระจายของมลพิษทางอากาศด้วยแบบจำลอง R-LINE การวิเคราะห์การแพร่กระจายของระดับเสียงด้วยแบบจำลอง SoundPLAN และการวิเคราะห์การลดลงของมลพิษทางอากาศและเสียงด้วยดัชนีการลดมลพิษทางอากาศและเสียง สามารถนำข้อมูลที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในการวางแผนเชิงนโยบายในการลดระดับมลพิษ และหาแนวทางในการป้องกันและแก้ไขปัญหามลพิษทางอากาศและเสียงให้เหมาะสม เพื่อใช้ในการพัฒนาพื้นที่ และพัฒนาเส้นทางการท่องเที่ยวต่อไป

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย

จากผลการศึกษาในพื้นที่ศึกษากำหนดขึ้นโดยโครงการพัฒนาทุนทางวัฒนธรรมเพื่อการท่องเที่ยวเมืองนำอยู่ราชบุรี พ.ศ. 2563 พัฒนาเมืองเก่าราชบุรีสู่เมืองสร้างสรรค์ นำอยู่ และยังยังสามารถนำผลการศึกษาที่ได้ไปใช้ในการพัฒนาด้านผังเมือง ซึ่งสามารถใช้ในการกำหนดพื้นที่ที่มีมลพิษทางอากาศและเสียง เพื่อหาแนวทางในการจัดการพื้นที่หรือถนนที่มีระดับมลพิษสูงที่อาจส่งผลกระทบต่อทั้งในระยะสั้นและระยะยาวของประชาชนและนักท่องเที่ยวในพื้นที่ศึกษา ได้แก่ การกำหนดพื้นที่จอดรถเพื่อลดปริมาณยานพาหนะส่วนบุคคลสัญจรในพื้นที่ท่องเที่ยว การผลักดันการท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมโดยการพัฒนาระบบขนส่งสาธารณะและการส่งเสริมการใช้รถสาธารณะ

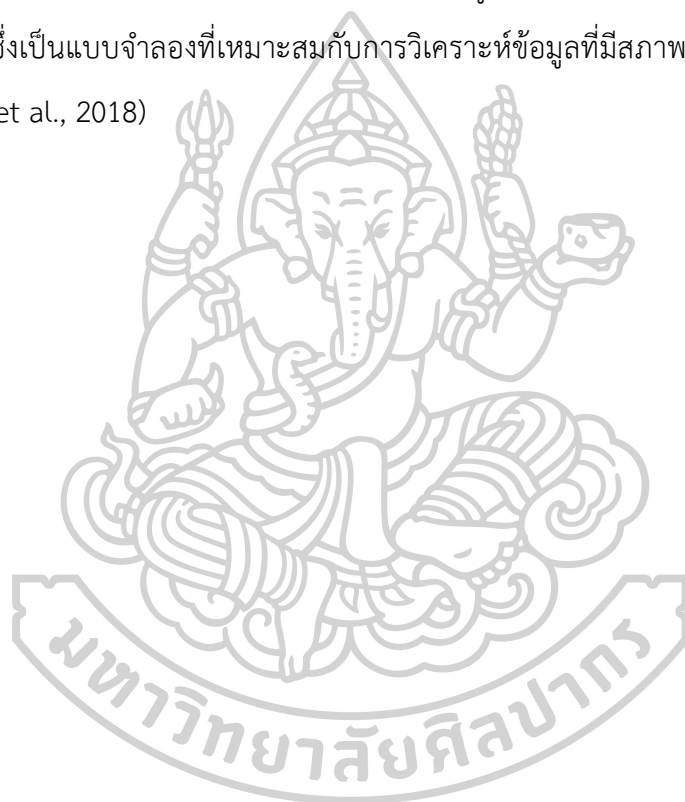
5.2.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยต่อไป

1) ควรพัฒนาสมการทางคณิตศาสตร์ในการเชื่อมโยงข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ที่ใช้ในการนำเข้าแบบจำลอง เพื่อให้ได้ผลการศึกษาที่แม่นยำมากขึ้น

2) จากการกำหนดมาตรการการปรับเปลี่ยนการใช้ยานพาหนะในพื้นที่เพื่อพัฒนาเป็นพื้นที่ท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม สามารถนำไปศึกษาผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมด้านอื่นๆ ได้ เช่นผลกระทบจากสภาวะเรือนกระจก (Climate Change) ที่เกิดจากสารมลพิษจากยานพาหนะ

3) จากการกำหนดรูปแบบการสัญจรในพื้นที่ศึกษา สามารถวิจัยด้านอื่น ๆ เพิ่มเติมได้ เช่น ด้านการพัฒนาสังคม การจัดการขยะ การปรับปรุงสภาพแวดล้อม และภูมิทัศน์ของพื้นที่ รวมไปถึงการกำหนดมาตรการการมีส่วนร่วมของประชาชน

4) จากการศึกษาพบว่ามีความเร็วลมอยู่ในช่วงค่อนข้างต่ำ สามารถใช้แบบจำลอง Lagrangian ซึ่งเป็นแบบจำลองที่เหมาะสมกับการวิเคราะห์ข้อมูลที่มีสภาพอุตุนิยมวิทยาสมต่ำได้ดี (Stefanello et al., 2018)





ภาคผนวก



ตารางที่ 1 ข้อมูลถนน

ช่วงถนน	พิกัดเริ่มต้น	พิกัดสุดท้าย	ความกว้าง (m)	ความยาว (km)
1	X 588400.11	X 588464.17	8.64	0.09
	Y 1497279.98	Y 1497213.3		
2	X 588464.61	X 588530.41	13.3	0.08
	Y 1497214.17	Y 1497165.37		
3	X 588530.74	X 588644.14	9.45	0.13
	Y 1497166.51	Y 1497100.76		
4	X 588644.14	X 588723.15	13.6	0.09
	Y 1497100.76	Y 1497060.95		
5	X 588723.15	X 588819.05	9.55	0.10
	Y 1497061.56	Y 1497037.43		
6	X 588819.05	X 588950.54	10	0.13
	Y 1497037.43	Y 1497041.05		
7	X 588950.54	X 589095.3	9.96	0.15
	Y 1497041.05	Y 1497068.19		
8	X 589095.9	X 589154.41	9.11	0.06
	Y 1497066.99	Y 1497070.61		
9	X 589154.94	X 589029.34	8.96	0.13
	Y 1496916.84	Y 1496928.19		
10	X 589028.63	X 588820.72	8.1	0.21
	Y 1496928.19	Y 1496960.83		
11	X 588820.01	X 588543.27	16.1	0.15
	Y 1496961.54	Y 1497001.28		
12	X 588665.00	X 588543.00	11.31	0.13
	Y 1496981.00	Y 1497001.00		
13	X 588542.88	X 588342.4	7.92	0.20
	Y 1497000.43	Y 1497030.14		
14	X 588342.1	X 588330.32	9.96	0.02
	Y 1497031.08	Y 1497043.39		
15	X 588330.58	X 588338.32	5	0.09
	Y 1497044.31	Y 1497133.73		
16	X 588338.27	X 588329.4	8.79	0.02
	Y 1497133.89	Y 1497148.91		

ตารางที่ 1 ข้อมูลถนน (ต่อ)

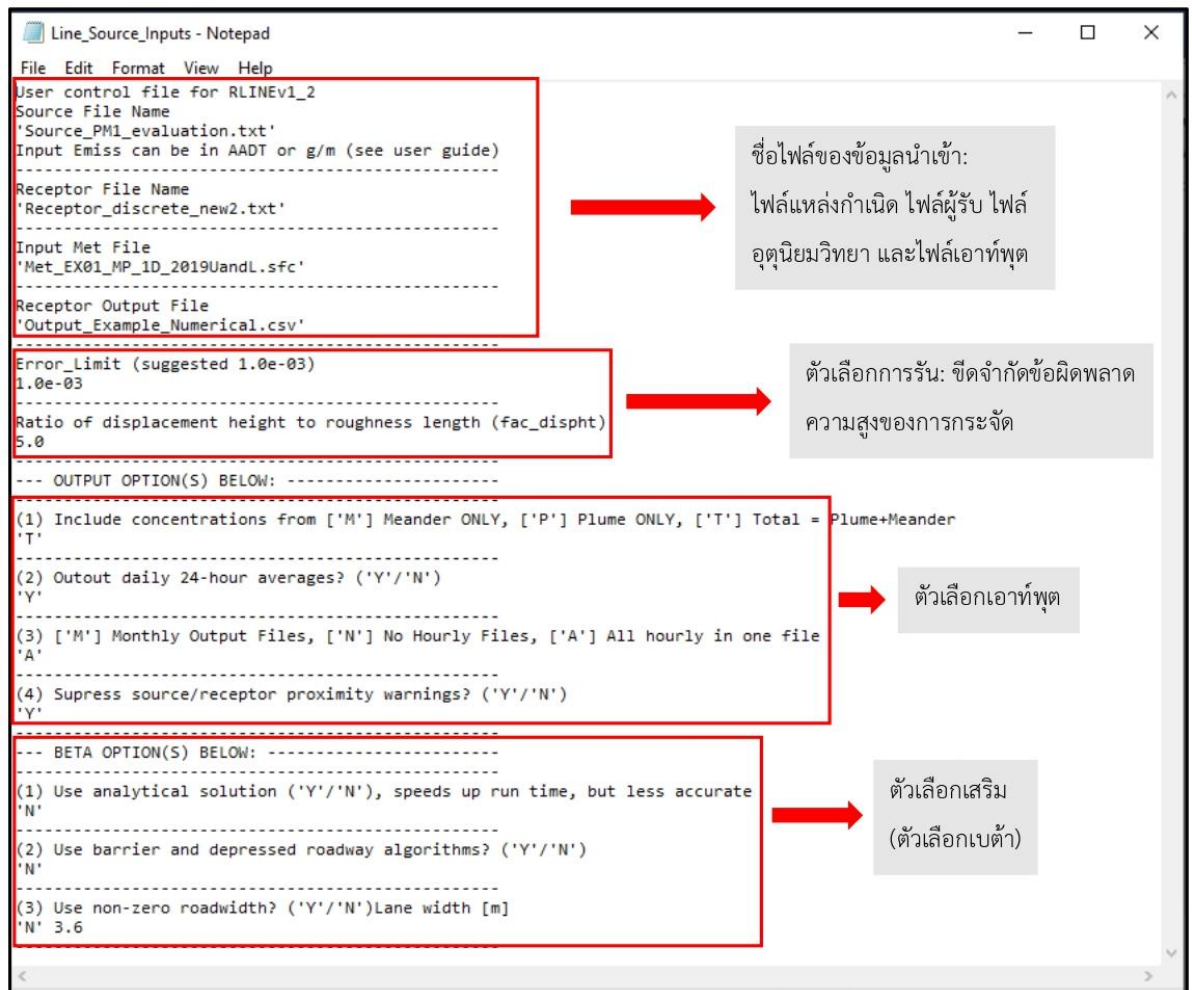
ช่วงถนน	พิกัดเริ่มต้น	พิกัดสุดท้าย	ความกว้าง (m)	ความยาว (km)
17	X 588329.17	X 588290.72	8.54	0.04
	Y 1497149.13	Y 1497168.25		
18	X 588544.91	X 588572.23	4.1	0.14
	Y 1497003.77	Y 1497139.23		
19	X 588705.18	X 588721.34	10	0.08
	Y 1496981.01	Y 1497058.41		
20	X 588818.91	X 588818.91	7.82	0.07
	Y 1496964.65	Y 1497034.83		
21	X 588952.19	X 588951.42	8.94	0.10
	Y 1496942.67	Y 1497038.47		
22	X 589089.54	X 589096.82	5.91	0.14
	Y 1496925.6	Y 1497064.5		
23	X 589150.39	X 589156.31	2.93	0.09
	Y 1497068.14	Y 1496977.28		
24	X 589146.00	X 589158.08	9.18	0.11
	Y 1496858.00	Y 1496971.39		
25	X 589158.00	X 589163.71	9	0.11
	Y 1496856.00	Y 1496970.58		
26	X 589166.00	X 589161.55	8.23	0.22
	Y 1497194.96	Y 1496972.01		
27	X 588399.55	X 588299.91	7	0.12
	Y 1497280.16	Y 1497221.51		
28	X 588706.00	X 588699.00	6.05	0.05
	Y 1496974.00	Y 1496922.00		
29	X 588684.42	X 588600.00	6.47	0.09
	Y 1496980.13	Y 1496936.00		
30	X 588817.79	X 588814.88	8.54	0.04
	Y 1496948.93	Y 1496905.38		
31	X 588931.02	X 588924.39	7.22	0.05
	Y 1496936.75	Y 1496889.66		
32	X 588963.38	X 588957.17	7.22	0.05
	Y 1496932.13	Y 1496884.83		

ตารางที่ 1 ข้อมูลถนน (ต่อ)

ช่วงถนน	พิกัดเริ่มต้น	พิกัดสุดท้าย	ความกว้าง (m)	ความยาว (km)
33	X 589028.87	X 589038.25	7.52	0.05
	Y 1496925.56	Y 1496873.23		







ภาพที่ 1 Line Source Inputs

จากภาพที่ 1 เป็นไฟล์หลัก (Line_Source_Inputs.txt) ซึ่งผู้ใช้จำเป็นต้องระบุชื่อไฟล์สำหรับแหล่งข้อมูลต่างๆ คือ แหล่งกำเนิด ตัวรับ (ผู้รับสัมผัส) และข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ซึ่งสามารถเลือกเอาต์พุตได้ว่าต้องการให้ไฟล์ผลออกมาในรูปแบบใด (รายชั่วโมง และรายวัน) โดยตัวเลือกการเรียกใช้หรือการรันข้อมูล สามารถเปลี่ยนชื่อไฟล์เอาต์พุตได้ รายละเอียดข้อมูลนำเข้าของแหล่งกำเนิด และผู้รับสัมผัส แสดงดังภาพที่ 2 และ 3 ส่วนข้อมูลอุตุนิยมวิทยาเป็นข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม AERMET จึงไม่ขอกล่าวถึงในส่วนนี้

*Source_PM25_0 - Notepad																	
File Edit Format View Help																	
Source input																	
Group	X_b	Y_b	Z_b	X_e	Y_e	Z_e	dCL	sigmaz0	#lanes	Emis	Hw1	dw1	Hw2	dw2	Depth	Wtop	Wbottom
! Group 1 (G1) sources running north-south:																	
G1	155.0	95.0	1.0	65.0	20.0	1.0	0	2	2.5	0.0020924	0	0	0	0	0	0	0
G1	225.0	135.0	1.0	155.0	95.0	1.0	0	2	3.8	0.0018629	0	0	0	0	0	0	0
G1	345.0	181.0	1.0	225.0	135.0	1.0	0	2	2.7	0.0029989	0	0	0	0	0	0	0
G1	430.0	210.0	1.0	345.0	181.0	1.0	0	2	3.9	0.0020106	0	0	0	0	0	0	0
G1	530.0	220.0	1.0	430.0	210.0	1.0	0	2	2.7	0.0026573	0	0	0	0	0	0	0
G1	655.0	195.0	1.0	530.0	220.0	1.0	0	2	2.9	0.0035197	0	0	0	0	0	0	0
G1	797.0	147.0	1.0	655.0	195.0	1.0	0	2	2.8	0.0024790	0	0	0	0	0	0	0
G1	855.0	140.0	1.0	797.0	147.0	1.0	0	2	2.6	0.0009866	0	0	0	0	0	0	0
G1	752.0	295.0	1.0	880.0	290.0	1.0	0	2	2.6	0.0044961	0	0	0	0	0	0	0
G1	540.0	295.0	1.0	752.0	295.0	1.0	0	2	2.3	0.0075292	0	0	0	0	0	0	0
G1	375.0	295.0	1.0	540.0	295.0	1.0	0	2	4.6	0.0053525	0	0	0	0	0	0	0
G1	265.0	295.0	1.0	375.0	295.0	1.0	0	2	3.2	0.0046388	0	0	0	0	0	0	0
G1	60.0	295.0	1.0	265.0	295.0	1.0	0	2	2.3	0.0021722	0	0	0	0	0	0	0
G1	45.0	285.0	1.0	60.0	295.0	1.0	0	2	2.8	0.0001830	0	0	0	0	0	0	0
G1	40.0	193.0	1.0	45.0	285.0	1.0	0	2	1.4	0.0009609	0	0	0	0	0	0	0
G1	30.0	180.0	1.0	40.0	193.0	1.0	0	2	2.5	0.0001905	0	0	0	0	0	0	0

ภาพที่ 2 Source Input

จากภาพที่ 2 เป็นไฟล์ตัวอย่างแหล่งกำเนิดของมลพิษ (Source_Example.txt) ใช้สำหรับนำเข้าเพื่อการคำนวณ R-LINE ไฟล์ โดย Source Input File มี 18 คอลัมน์ ดังนี้

- คอลัมน์ 1 คือ กลุ่มแหล่งกำเนิด
- คอลัมน์ 2-7 คือ พิกัดจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของเส้น (หน่วยเมตร) ตามแนวแกน X Y และ Z
- คอลัมน์ 8 คือ ระยะทางจากเส้นกึ่งกลางถนนถึงช่องทางจราจร
- คอลัมน์ 9 คือ การกระจายตัวแบบขนนกที่สร้างขึ้นจากแหล่งกำเนิดแบบเส้น
- คอลัมน์ 10 คือ จำนวนช่องทางจราจร โดยแบบจำลองระบุให้จำนวนช่องทางจราจรกว้างช่องละ 3.5 เมตร และไม่จำเป็นต้องเป็นจำนวนเต็ม
- คอลัมน์ 11 คือ อัตราการระบายมลพิษ หน่วย กรัม/วินาที

คอลัมน์ 12-18 คือ กำหนดรูปแบบถนนนอกเหนือจากภูมิประเทศที่ราบเรียบ โดยในงานวิจัยนี้ไม่ได้ศึกษารูปแบบถนนนอกเหนือจากภูมิประเทศที่ราบเรียบจึงไม่ได้ระบุค่าในคอลัมน์ 12-

```

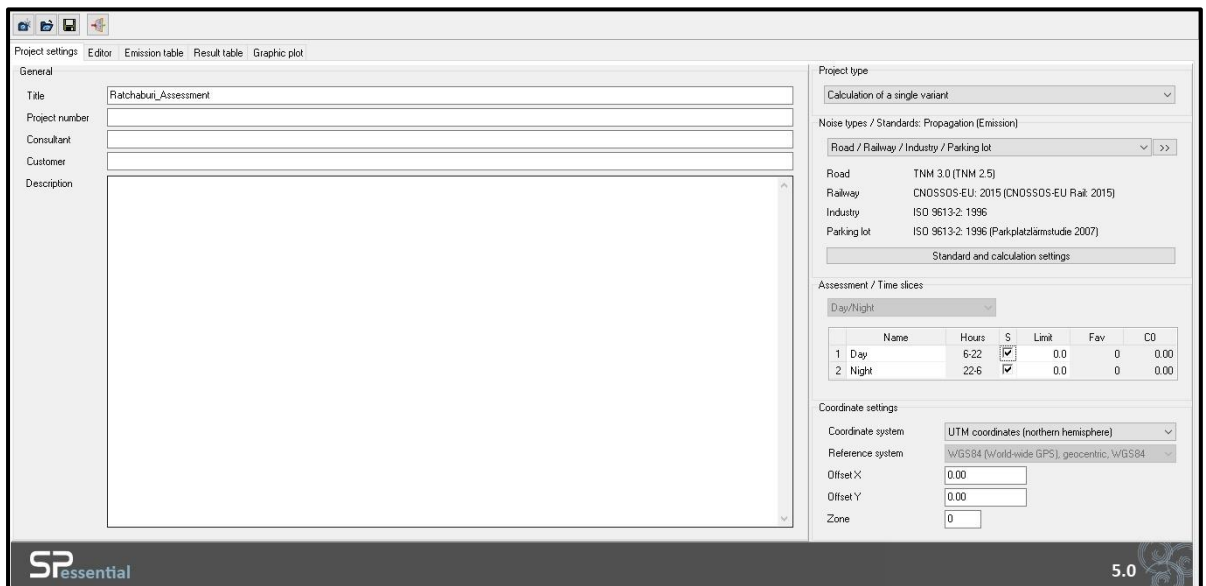
Receptor_grid10m - Notepad
File Edit Format View Help
[This file contains receptor locations
X_coordinate Y_Coordinate Z_Coordinate
-----
900 350 1.5
900 340 1.5
900 330 1.5
900 320 1.5
900 310 1.5
900 300 1.5
900 290 1.5
900 280 1.5
900 270 1.5
900 260 1.5
900 250 1.5
900 240 1.5
900 230 1.5
900 220 1.5
900 210 1.5
900 200 1.5
900 190 1.5
900 180 1.5
900 170 1.5
900 160 1.5
900 150 1.5
900 140 1.5
900 130 1.5
900 120 1.5
900 110 1.5
900 100 1.5

```

ภาพที่ 3 Receptor Input

จากภาพที่ 3 เป็นไฟล์ตัวอย่างตำแหน่งผู้รับสัมผัส (Receptor_Example.txt) ใช้สำหรับนำเข้าเพื่อการคำนวณ R-LINE ไฟล์ โดยระบุตำแหน่งผู้รับสัมผัส X และ Y แบบ Domain ในแต่ละ Grid (Grid Receptors) และ Z คือ ความสูงของผู้รับสัมผัส

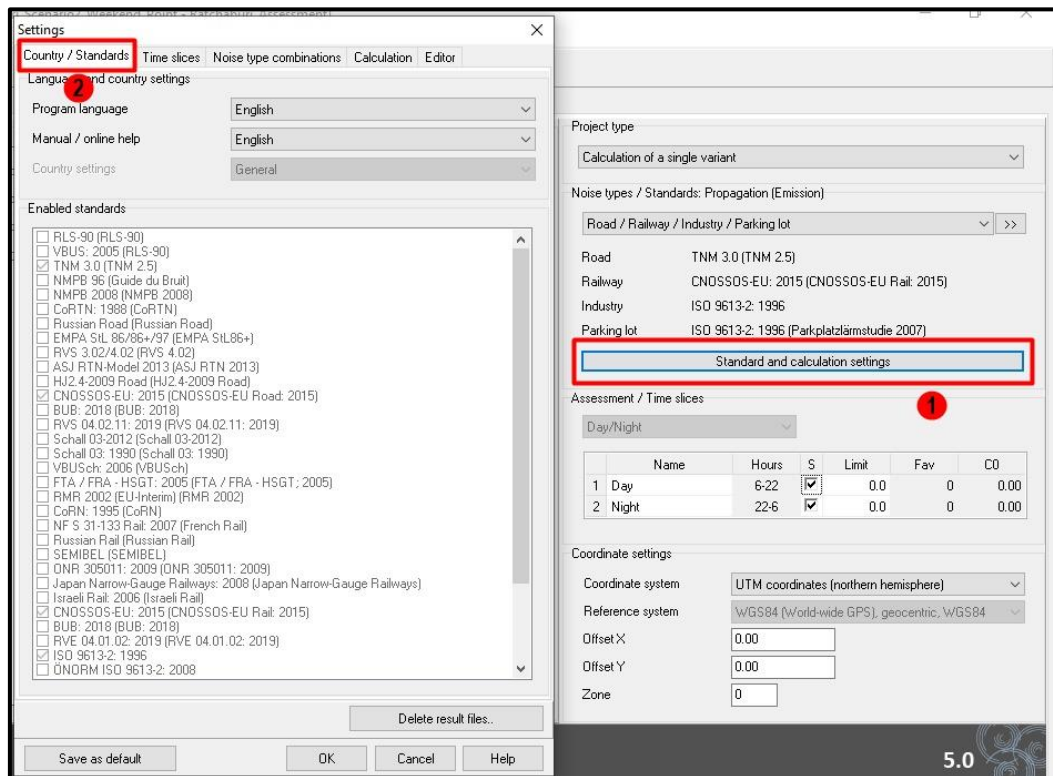




ภาพที่ 4 การสร้าง Project สำหรับแบบจำลอง SoundPLAN

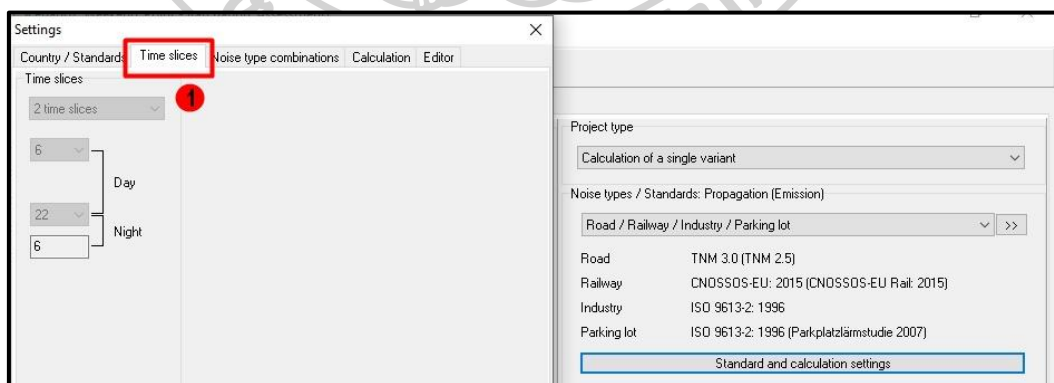
จากภาพที่ 4 เป็นตัวอย่างการสร้าง Project สำหรับแบบจำลอง SoundPLAN ซึ่งสามารถตั้งชื่อ และจำเป็นต้องเลือกค่ามาตรฐานในวิเคราะห์ ช่วงระยะเวลาในการวิเคราะห์ รวมถึงเลือกรูปแบบของระบบพิกัด (Coordinate System) โดยเลือกเป็น UTM Coordinates





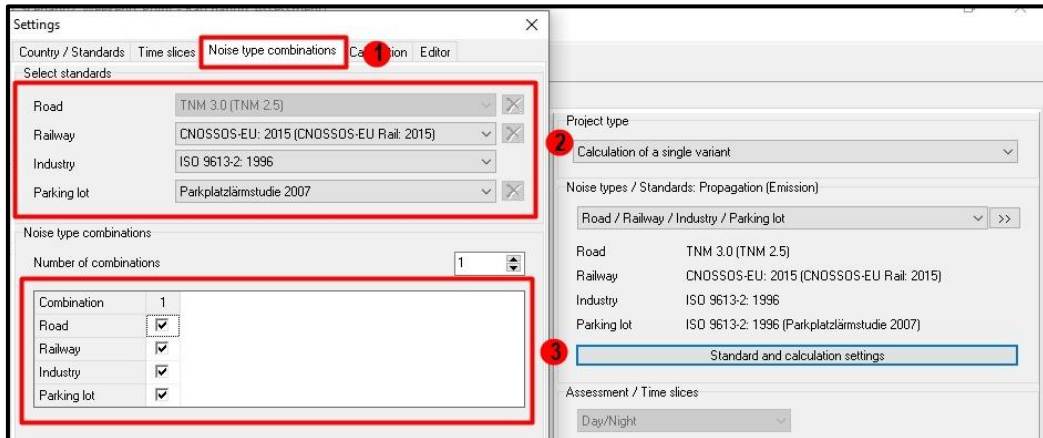
ภาพที่ 5 การเลือกมาตรฐาน และการวิเคราะห์ สำหรับแบบจำลอง SoundPLAN

จากภาพที่ 5 เป็นตัวอย่างแถบเครื่องมือสำหรับการกำหนดรูปแบบการวิเคราะห์ (หมายเลข 1 และหมายเลข 2) โดยเลือกมาตรฐานเพื่อให้แบบจำลอง SoundPLAN วิเคราะห์ตามเกณฑ์มาตรฐาน ซึ่งสามารถเลือกเปิดการใช้งานได้มากกว่า 1 มาตรฐาน



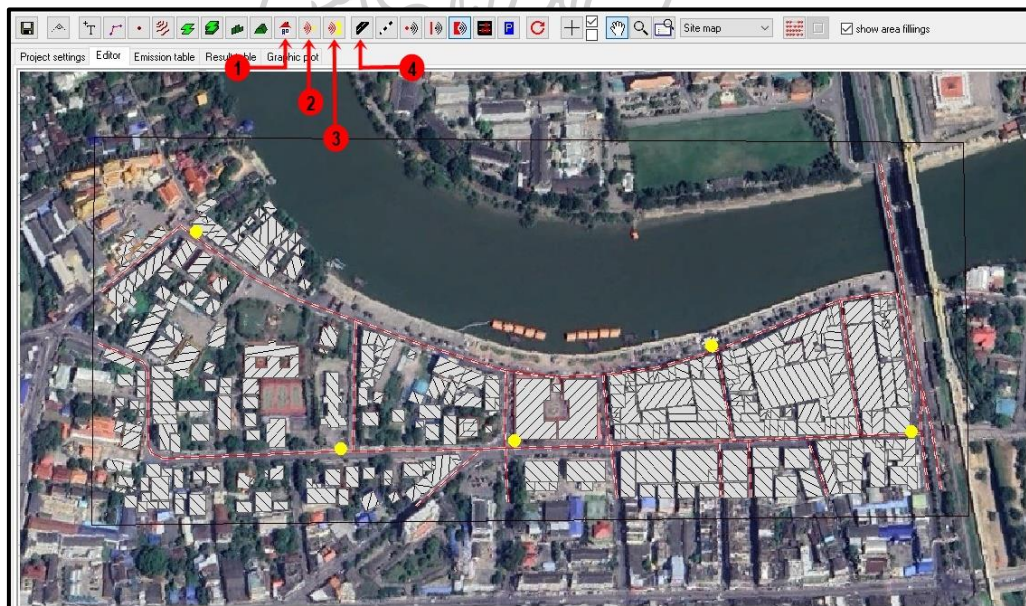
ภาพที่ 6 การเลือกช่วงเวลา สำหรับแบบจำลอง SoundPLAN

จากภาพที่ 6 เป็นตัวอย่างแถบเครื่องมือสำหรับการกำหนดช่วงเวลา (หมายเลข 1) เพื่อให้แบบจำลองวิเคราะห์ระดับเสียงตามช่วงเวลาที่กำหนด โดยแบ่งเป็น 2 ช่วงเวลา คือ ช่วงเวลากลางวัน (Daytime) และช่วงเวลากลางคืน (Night-Time)



ภาพที่ 7 การกำหนดการวิเคราะห์ สำหรับแบบจำลอง SoundPLAN

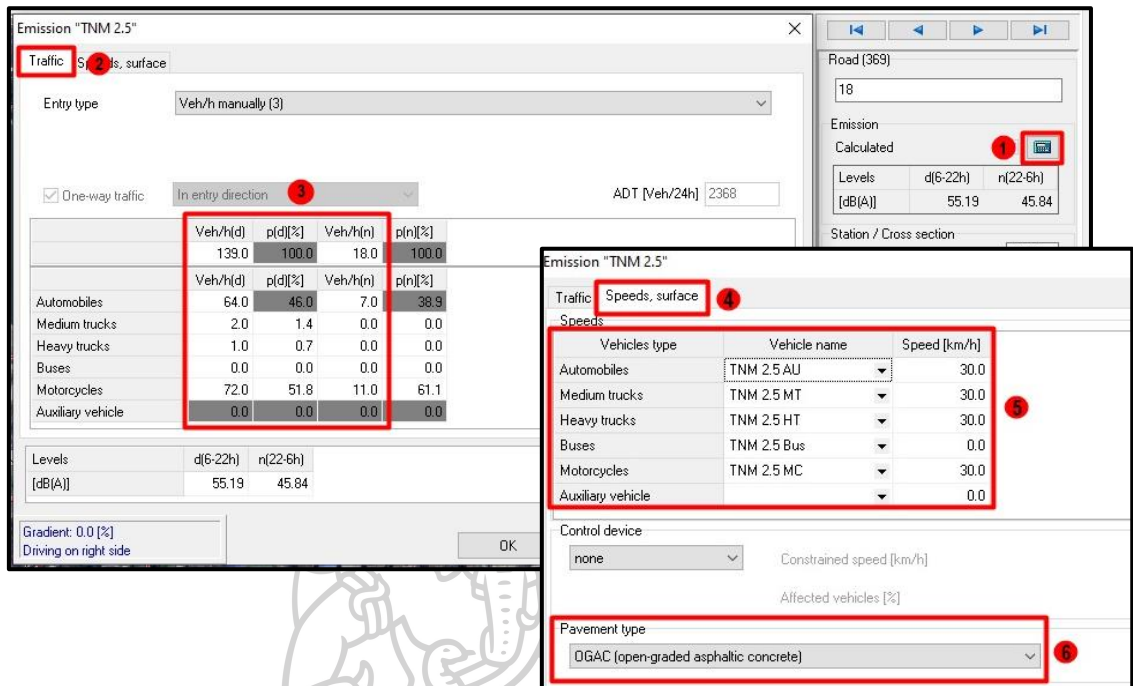
จากภาพที่ 7 เป็นตัวอย่างแถบเครื่องมือสำหรับการกำหนดรูปแบบการวิเคราะห์โดยอ้างอิงจากมาตรฐานที่เลือกใช้ (หมายเลข 2) ซึ่งสามารถเลือกเปิดการใช้งานการผสมผสานรูปแบบถนนต่าง ๆ (หมายเลข 3)



ภาพที่ 8 การ Digitization ข้อมูลทางกายภาพ

จากภาพที่ 8 เป็นตัวอย่างข้อมูลนำเข้าตำแหน่งผู้รับ ถนน และอาคาร ซึ่งแสดงแถบเครื่องมือสำหรับ Digitization ข้อมูล ขั้นตอนแรกเริ่มจากการสร้างฐานข้อมูลพื้นที่ศึกษาจากซอฟต์แวร์ Google Earth จากนั้นกำหนดขอบเขตสำหรับการวิเคราะห์ด้วยแถบเครื่องมือ Calculation Area

(หมายเลข 3) และ Digitization โครงสร้างอาคาร (หมายเลข 1) ตำแหน่งผู้รับ (หมายเลข 2) และ ถนน (หมายเลข 4) ทั้งนี้ต้องระบุความกว้างของถนนและความสูงของอาคาร



ภาพที่ 9 การนำเข้าสู่ข้อมูลแหล่งกำเนิดเสียง

จากภาพที่ 9 เป็นตัวอย่างข้อมูลนำเข้าข้อมูลยานพาหนะที่ได้จากการสำรวจ โดยระบุข้อมูล ปริมาณยานพาหนะในแต่ละช่วงถนน (Segment) ซึ่งแบ่งปริมาณยานพาหนะออกเป็นช่วงเวลา กลางวัน (Daytime) และช่วงเวลากลางคืน (Night-Time) (หมายเลข 3) ระบุอัตราเร็วของ ยานพาหนะ (หมายเลข 5) และระบุชนิดของพื้นผิวถนน (หมายเลข 6)

จากนั้นซอฟต์แวร์จะทำการคำนวณระดับเสียงตามเกณฑ์มาตรฐานของเสียงที่เลือกไว้ ซึ่ง ผลลัพธ์ที่ได้ จะได้ระดับเสียงที่เกิดขึ้นในพื้นที่ศึกษาทั้งในรูปแบบของตารางและแผนที่ระดับเสียง



ภาคผนวก ง.
ภาพการเก็บข้อมูลปฐมภูมิ



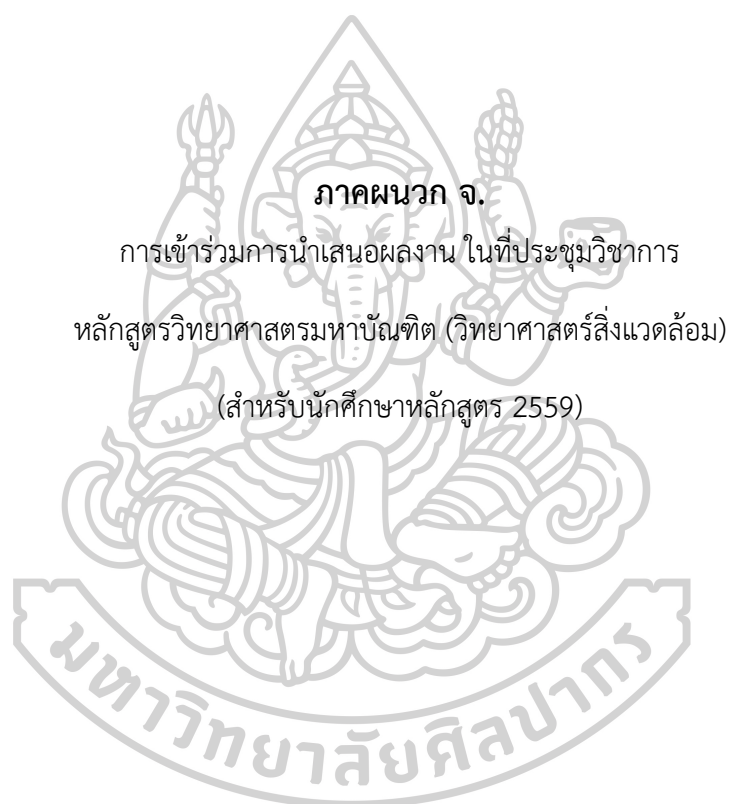












**แบบฟอร์มการเข้าร่วมการนำเสนอผลงาน ในที่ประชุมวิชาการ
หลักสูตรวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม)
(สำหรับนักศึกษาหลักสูตร 2559)**

ชื่อการประชุมวิชาการ การประชุมวิชาการ และนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติเครือข่ายพัฒนาความ
เข้มแข็งต่อภัยพิบัติไทย ครั้งที่ 1 หัวข้อ “ความยืดหยุ่นของภัยพิบัติในพื้นที่เมืองและความเป็นอยู่ที่ดี
ของชุมชน Urban Disaster Resilience and Community Well-Being”

วันที่ 2 มิถุนายน พ.ศ. 2566

สถานที่ อาคารเกษมศรี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนวมินทราธิราช

บุคคลที่ร่วมแลกเปลี่ยนความเห็น

1) ชื่อ นามสกุล ดร.วิจารณ์ สิมานายา

หน่วยงาน สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย

ประเด็นที่แลกเปลี่ยนความเห็น

แนวทางการรับมือกับวิกฤตทางสิ่งแวดล้อมในพื้นที่เขตเมืองที่มีความเปราะบางต่อการเปลี่ยนแปลง
สภาพภูมิอากาศ และการใช้คาร์บอนเครดิต (Carbon Credit) จากพื้นที่เกษตรกรรมชดเชยพื้นที่เมือง

2) ชื่อ นามสกุล ดร.พลปรีชา ชิตบุรี

หน่วยงาน ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ประเด็นที่แลกเปลี่ยนความเห็น

การติดตามฝุ่นละออง PM_{2.5} ด้วยเทคโนโลยีอวกาศ ดาวเทียม SUOMI-NPP ระบบ VIIRS และการ
เตรียมข้อมูล PM_{2.5} เฉลี่ยรายปี เพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์

3) ชื่อ นามสกุล นางสาวชญภัคชณ์ สุวรรณศิริศักดิ์

หน่วยงาน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

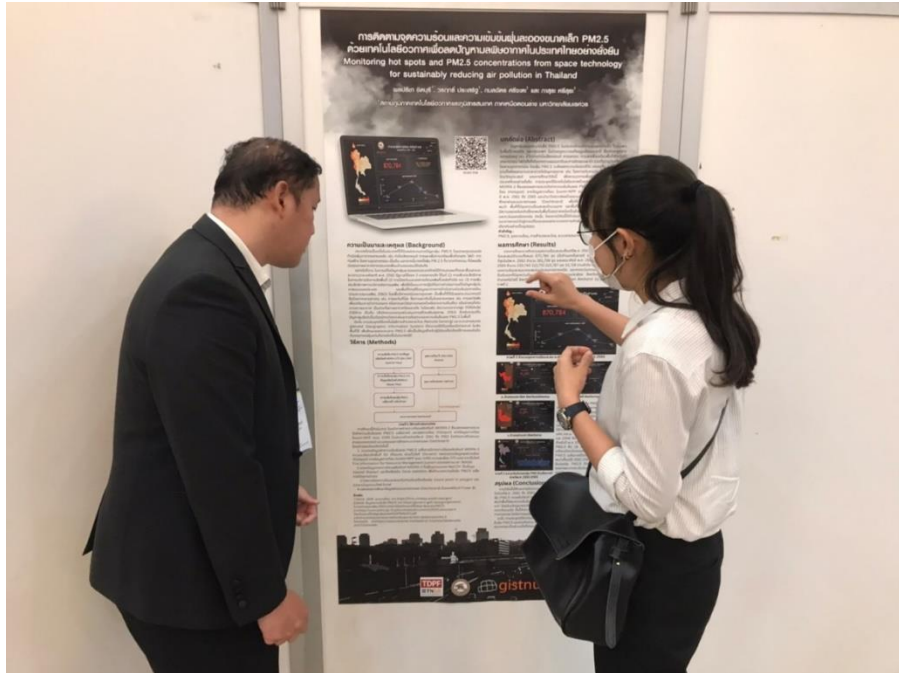
ประเด็นที่แลกเปลี่ยนความเห็น

เกณฑ์ในการกำหนดปริมาณน้ำในการกรองฝุ่นของใบพืชแต่ละขนาดที่ใช้การทดลอง เพื่อประเมิน
ประสิทธิภาพการชะล้างฝุ่นของผิวใบไม้เลี้ยงเพื่อลดการสะสมฝุ่นในเมือง

ภาพภาพประกอบ







หมายเหตุ 1 ใน 3 ต้องเป็นวิทยากร หรือผู้แสดงปาฐกถา (speaker)

รายการอ้างอิง

- Bigi, A., & Ghermandi, G. (2011). Particle number size distribution and weight concentration of background urban aerosol in a Po Valley site. *Water, Air, & Soil Pollution*, 220, 265-278.
- Chan, G., Sen, G., & Genfeng, Z. (2019). Research on rapid detection and control mechanism of urban traffic noise impact based on Soundplan software simulation. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science,
- Chang, J. C., & Hanna, S. R. (2004). Air quality model performance evaluation. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 87(1-3), 167-196.
- Dong, R., Zhang, Z., Ye, Y., Huang, H., & Cao, C. (2022). Review of particle filters for internal combustion engines. *Processes*, 10(5), 993.
- European Commission. (2022). *Commission proposes new Euro 7 standards to reduce pollutant emissions from vehicles and improve air quality*.
https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_22_6495
- European Environment Agency. (2018). *Environmental noise*.
<https://www.eea.europa.eu/airs/2018/environment-and-health/environmental-noise>
- European Environment Agency. (2019). *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019*. <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019>
- European Environment Agency. (2023). *Noise*. <https://www.eea.europa.eu/en/topics/in-depth/noise>
- Grigoratos, T., & Martini, G. (2014). Non-exhaust traffic related emissions. Brake and tyre wear PM. *Report EUR*, 26648.
- King, E. A., Bourdeau, E. P., Zheng, X. Y. K., & Pilla, F. (2016). A combined assessment of air and noise pollution on the High Line, New York City. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 42, 91-103.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.trd.2015.11.003>
- King, E. A., Murphy, E., & McNabola, A. (2009). Reducing pedestrian exposure to

- environmental pollutants: A combined noise exposure and air quality analysis approach. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 14(5), 309-316. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.trd.2009.03.005>
- Kupiainen, K., & Klimont, Z. (2004). Primary emissions of submicron and carbonaceous particles in Europe and the potential for their control.
- Medeiros, A. F. D. d., Pimentel, R. L., Melo, R. A. d., Araújo, B. C. D. d., & Brasileiro, T. d. C. (2022). Investigation of traffic noise attenuation potential of an urban highway underpass. *Applied Acoustics*, 192, 108682. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2022.108682>
- Meteoblue AG. (2019). *Weather Ratchaburi*. https://www.meteoblue.com/en/weather/week/ratchaburi_thailand_1150954
- Murphy, E., & King, E. E. (2014). *Environmental Noise Pollution : Noise Mapping, Public Health, and Policy* (Vol. 1). Elsevier Science & Technology Rights Department.
- Nepal, R., Indra al Irsyad, M., & Nepal, S. K. (2019). Tourist arrivals, energy consumption and pollutant emissions in a developing economy–implications for sustainable tourism. *Tourism Management*, 72, 145-154. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tourman.2018.08.025>
- Park, Y. M. (2020). Assessing personal exposure to traffic-related air pollution using individual travel-activity diary data and an on-road source air dispersion model. *Health & Place*, 63, 102351. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.healthplace.2020.102351>
- Seo, J., Park, J., Park, J., & Park, S. (2021). Emission factor development for light-duty vehicles based on real-world emissions using emission map-based simulation. *Environmental Pollution*, 270, 116081. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.116081>
- Snyder, M. G., & Heist, D. K. (2013). *User's Guide For R-LINE Model Version 1.2*. https://www.cmascenter.org/r-line/documentation/1.2/RLINE_UserGuide_11-13-2013.pdf
- Snyder, M. G., Venkatram, A., Heist, D. K., Perry, S. G., Petersen, W. B., & Isakov, V. (2013). RLINE: A line source dispersion model for near-surface releases. *Atmospheric Environment*, 77, 748-756.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2013.05.074>

SoundPLAN GmbH. (2020). *Manual SoundPLANessential 5.1*.

https://www.soundplan.co.za/downloads/Documents/SoundPLAN_Ess_5.1_Manual.pdf

Stefanello, M. B., Degrazia, G. A., Mortarini, L., Buligon, L., Maldaner, S., Carvalho, J. C., Acevedo, O. C., Martins, L. G. N., Anfossi, D., Buriol, C., & Roberti, D. (2018).

Development of an analytical Lagrangian model for passive scalar dispersion in low-wind speed meandering conditions. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 492, 1007-1015.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.physa.2017.11.031>

Tezel-Oguz, M. N., Marasli, M., Sari, D., Ozkurt, N., & Keskin, S. S. (2023). Investigation of simultaneous effects of noise barriers on near-road noise and air pollutants. *Science of The Total Environment*, 892, 164754.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164754>

U.S.EPA. (1974). *Information On Levels Of Environmental Noise Requisite To Protect Public Health and Welfare With An Adequate Margin Of Safety*.

[<https://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/2000L3LN.TXT?ZyActionD=ZyDocument&Client=EPA&Index=Prior+to+1976&Docs=&Query=&Time=&EndTime=&SearchMethod=1&TocRestrict=n&Toc=&TocEntry=&OField=&OFieldYear=&OFieldMonth=&OFieldDay=&IntOFieldOp=0&ExtOFieldOp=0&XmlQuery=&File=D%3A%5Czyfiles%5CIndex%20Data%5C70thru75%5CTxt%5C00000001%5C2000L3LN.txt&User=ANONYMOUS&Password=anonymous&SortMethod=h%7C-&MaximumDocuments=1&FuzzyDegree=0&ImageQuality=r75g8/r75g8/x150y150g16/i425&Display=hpfr&DefSeekPage=x&SearchBack=ZyActionL&Back=ZyActionS&BackDesc=Results%20page&MaximumPages=1&ZyEntry=1&SeekPage=x&ZyPURL>](https://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/2000L3LN.TXT?ZyActionD=ZyDocument&Client=EPA&Index=Prior+to+1976&Docs=&Query=&Time=&EndTime=&SearchMethod=1&TocRestrict=n&Toc=&TocEntry=&OField=&OFieldYear=&OFieldMonth=&OFieldDay=&IntOFieldOp=0&ExtOFieldOp=0&XmlQuery=&File=D%3A%5Czyfiles%5CIndex%20Data%5C70thru75%5CTxt%5C00000001%5C2000L3LN.txt&User=ANONYMOUS&Password=anonymous&SortMethod=h%7C-</p>
</div>
<div data-bbox=)

Venkatram, A., Isakov, V., Yuan, J., & Pankratz, D. (2004). Modeling dispersion at distances of meters from urban sources. *Atmospheric Environment*, 38(28), 4633-4641. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2004.05.018>

WHO. (2019). *Environmental noise guidelines for the European Region*.

<https://www.who.int/europe/publications/i/item/9789289053563>

WHO. (2021). *WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀)*,

ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide.

<https://iris.who.int/handle/10665/345329>

Wilks, D. S. (2011). *Statistical methods in the atmospheric sciences* (Vol. 100). Academic press.

Yu, Y., Paul, K., Arah, O. A., Mayeda, E. R., Wu, J., Lee, E., Shih, I. F., Su, J., Jerrett, M., Haan, M., & Ritz, B. (2020). Air pollution, noise exposure, and metabolic syndrome – A cohort study in elderly Mexican-Americans in Sacramento area. *Environment International*, 134, 105269.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105269>

Zhai, X., Russell, A. G., Sampath, P., Mulholland, J. A., Kim, B.-U., Kim, Y., & D'Onofrio, D. (2016). Calibrating R-LINE model results with observational data to develop annual mobile source air pollutant fields at fine spatial resolution: Application in Atlanta. *Atmospheric Environment*, 147, 446-457.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.10.015>

กรมควบคุมมลพิษ. (2546). การปรับแต่งและดูแลบำรุงรักษาเครื่องยนต์ดีเซล ขนาดใหญ่ เพื่อลดมลพิษและประหยัดพลังงาน. <https://www.pcd.go.th/publication/4610>

กรมควบคุมมลพิษ. (2553). รายงานประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2553.

<https://www.pcd.go.th/publication/3689>

กรมควบคุมมลพิษ. (2563a). ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 15 (พ.ศ. 2540) เรื่องกำหนดมาตรฐานระดับเสียงโดยทั่วไป. <https://www.pcd.go.th/laws/2825>

กรมควบคุมมลพิษ. (2563b). ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 29 (พ.ศ. 2550) เรื่อง ค่าระดับเสียงรบกวน. <https://www.pcd.go.th/laws/2813>

กรมควบคุมมลพิษ. (2565). ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ เรื่อง กำหนดมาตรฐานฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน ในบรรยากาศโดยทั่วไป. <https://www.pcd.go.th/laws/26439>

กรมส่งเสริมสุขภาพและสิ่งแวดล้อม. (2558). คลังความรู้: มลพิษทางอากาศ.

<http://datacenter.deqp.go.th/knowledge>

กระทรวงสาธารณสุข. (2558). แนวทางการเฝ้าระวังพื้นที่เสี่ยงจากมลพิษทางอากาศ กรณีฝุ่นละอองขนาดเล็ก. โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด.

กองการจัดการสิ่งแวดล้อมธรรมชาติและศิลปกรรม. (2561). แหล่งศิลปกรรมอันครวอนุรักษ์ เมืองเก่าราชบุรี.

<https://culturalenvi.onep.go.th/site/detail/3633>

คณะโบราณคดี มหาวิทยาลัยศิลปากร. (2563). โครงการพัฒนาทุนทางวัฒนธรรมเพื่อการท่องเที่ยวเมืองเก่าอยู่ราชบุรี.

<https://archae.su.ac.th/activities/4209/>

จันทร์ธิดา ตั้งขวัญแก้ว. (2554). เปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำนายความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็กที่มีผลจากการเผาในที่โล่งระหว่างแบบจำลองคุณภาพอากาศแบบกล่องและแบบจำลองคุณภาพอากาศ *AERMOD* : กรณีศึกษาจังหวัดนครสวรรค์. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์].

จีโอนอยซ์ ไทยแลนด์. (2566). ซอฟต์แวร์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทางเสียง *SoundPLAN*.

<https://www.geonoise.co.th>

นิตยา พลขำนิ. (2549). ประวัติศาสตร์เมืองราชบุรี พ.ศ. 2310-2437. บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ]. กรุงเทพฯ.

รัฐพล อ้นแจ้ง. (2554). มลพิษทางเสียงในสิ่งแวดล้อม (Vol. 1). โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยศิลปากร.

วรศักดิ์ วงษ์รอด. (2547). การศึกษารูปแบบทางแยกต่างระดับที่เหมาะสม: กรณีศึกษา สี่แยกคลองหวัะ (ทางแยกทางหลวงหมายเลข 43 กับ ทางหลวงหมายเลข 4). มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์].

วรารุช เสือดี. (2550). แบบจำลองคุณภาพอากาศ *AERMOD*. วารสารความปลอดภัยและสุขภาพ, 1(2),23-32.

วรารุช เสือดี. (2551). แบบจำลองคุณภาพอากาศ *AERMOD*. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

สหประชาชาติ ประเทศไทย. (2566). เป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนในประเทศไทย. <https://thailand.un.org/th>

สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2560). ประกาศคณะกรรมการอนุรักษ์และพัฒนากรุงรัตนโกสินทร์ และเมืองเก่า เรื่อง ประกาศเขตพื้นที่เมืองเก่าราชบุรี. <https://law.onep.go.th/wp-content/uploads/2021/06/law10.33.pdf>





ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล

นางสาวอรฉัตร อินนุรักษ์

วุฒิการศึกษา

วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยศิลปากร

ผลงานตีพิมพ์

Innurak, O.; Onchang, R.; Bohuwech, D.; Pongkiatkul, P.

Simulation of Submicron Particulate Matter (PM1) Dispersion

Due to Traffic Rerouting to Establish a Walkable Cultural

Tourism Route in Ratchaburi's Old Town, Thailand. Atmosphere

2024, 15, 377. <https://doi.org/10.3390/atmos15030377>. Retrieved

from <https://www.mdpi.com/2073-4433/15/3/377>

