



การทำนายคุณภาพอากาศในประเทศไทย: การเปรียบเทียบวิธี ARIMA และ Machine Learning สำหรับ PM2.5 และ PM10

Prediction Air Pollution in Thailand: A Comparison of ARIMA and Machine Learning Methods for PM2.5 and PM10

ฐิตาพร ทองรอด

Thitaporn Thongrod

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการข้อมูล

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the

Degree of Master of Science in Data Science

Prince of Songkla University

2566

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์



การทำนายคุณภาพอากาศในประเทศไทย: การเปรียบเทียบวิธี ARIMA และ Machine Learning สำหรับ PM2.5 และ PM10

Prediction Air Pollution in Thailand: A Comparison of ARIMA and Machine Learning Methods for PM2.5 and PM10

ฐิตาพร ทองรอด

Thitaporn Thongrod

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการข้อมูล

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the

Degree of Master of Science in Data Science

Prince of Songkla University

2566

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ การทำนายคุณภาพอากาศในประเทศไทย: การเปรียบเทียบวิธี ARIMA และ Machine Learning สำหรับ PM2.5 และ PM10

ผู้เขียน นางสาวฐิตาพร ทองรอด

สาขาวิชา วิทยาการข้อมูล

---

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

คณะกรรมการสอบ

.....  
(รองศาสตราจารย์ ดร.อภิรดี แซ่ลิ้ม)

.....ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ขวัญกมล ดิฐักัญจน์)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม (ถ้ามี)

.....กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิทธิโชค ไชยชูลี)

.....  
(ดร.นพ.ธรรมสินธ์ อิงวิยะ)

.....กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.อภิรดี แซ่ลิ้ม)

.....กรรมการ  
(ดร.นพ.ธรรมสินธ์ อิงวิยะ)

.....กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วันดี วัฒนชัยศักดิ์พงศ์)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการข้อมูล

.....  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เกกิง วงศ์ศิริโชติ)  
รักษาการแทนคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้มาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และได้แสดงความขอบคุณบุคคลที่มี  
ส่วนช่วยเหลือแล้ว

ลงชื่อ .....

(รองศาสตราจารย์ ดร.อภิรดี แซ่ลิ้ม)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ลงชื่อ .....

(ดร.นพ.ธรรมสินธ์ อิงวิยะ)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม (ถ้ามี)

ลงชื่อ .....

(นางสาวฐิติตาพร ทองรอด)

นักศึกษา

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และ  
ไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ .....

(นางสาวฐิตาพร ทองรอด)

นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์	การทำนายคุณภาพอากาศในประเทศไทย: การเปรียบเทียบวิธี ARIMA และ Machine Learning สำหรับ PM2.5 และ PM10
ผู้เขียน	นางสาวฐิติตาพร ทองรอด
สาขาวิชา	วิทยาการข้อมูล
ปีการศึกษา	2565

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาแนวโน้มของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 และ PM10 แยกตามฤดูกาลในประเทศไทย และเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำนายความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็ก ระหว่าง ตัวแบบอาร์มา ตัวแบบอาร์แม็กซ์ ตัวแบบการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ ตัวแบบโครงข่ายประสาทเทียม ตัวแบบซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน และตัวแบบการสุ่มป่าไม้ หารูปแบบและแนวโน้มตามฤดูกาลตั้งแต่ปี พ.ศ. 2553 ถึง พ.ศ. 2564 โดยใช้ฟังก์ชัน Cubic Spline การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำนายของตัว 5 ตัวแบบ พิจารณาจากเกณฑ์รากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย ค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย และค่า R<sup>2</sup> ผลการศึกษา พบว่า แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงมลพิษทางอากาศของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 และ PM10 ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2553 ถึง พ.ศ. 2564 ใน 4 ภูมิภาค พบว่าภาคเหนือมีแนวโน้มความเข้มข้นของ PM2.5 และ PM10 สูงในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนเมษายน ภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีแนวโน้มความเข้มข้นของ PM2.5 และ PM10 สูงในเดือนมกราคมถึงเดือนมีนาคม ภาคกลางมีแนวโน้มความเข้มข้นของ PM2.5 และ PM10 สูงเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนมีนาคม และไม่พบรูปแบบตามฤดูกาลของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 และ PM10 ในภาคใต้ของประเทศไทย การเปรียบเทียบประสิทธิภาพความแม่นยำการทำนายความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 และฝุ่น PM10 ระหว่างวิธีอาร์มา และวิธีการเรียนรู้ด้วยเครื่องเมื่อพิจารณาปัจจัย วัน ปี อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความกดอากาศ และความเร็วลม โดยแบ่งสัดส่วนข้อมูลเป็น 50:50 60:40 และ 70:30 พบว่า ตัวแบบอาร์แม็กซ์ มีประสิทธิภาพการทำนายความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 และฝุ่น PM10 ทั้ง 4 ภาค ได้แม่นยำกว่าตัวแบบการเรียนรู้ด้วยเครื่อง

<b>Thesis Title</b>	Prediction Air Pollution in Thailand: A Comparison of ARIMA and Machine Learning Methods for PM2.5 and PM10
<b>Author</b>	Miss Thitaporn Thongrod
<b>Major Program</b>	Data Science
<b>Academic Year</b>	2022

## ABSTRACT

This study examined the seasonal patterns and trends of particulate matter (PM2.5 and PM10) concentrations in Thailand and compared the prediction performance of five Models, including Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA), Autoregressive Moving Average with Exogenous Variable (ARIMAX), a multiple linear regression (MLR), an artificial neural network (ANN), a support vector machines and a random forest (RF). Using the cubic spline function, trends and seasonal patterns from 2010 through 2021 were explored. ARIMA, ARIMAX, MLR, ANN, SVM and RF models were utilized to analyze PM2.5 and PM10, was compared by looking at the root mean square error (RMSE), the mean absolute error (MAE), mean absolute percent errors (MAPE), and R-Squared ( $R^2$ ). The highest levels of PM2.5 and PM10 from 2010 through 2021 in the North were recorded between February and April, in the Northeast had been determined to be high in January to March, the highest levels in the Central from November to March, and no seasonal patterns of PM2.5 and PM10 were observed in the Southern of Thailand. The results of PM2.5 and PM10 prediction accuracy performance between ARIMA and the machine learning methods considers the day, year, temperature, relative humidity, barometric pressure and wind speed factors by split data of training and testing into 50:50, 60:40 and 70:30 the results demonstrated that the ARIMAX model outperformed the other models in predicting PM2.5 and PM10 levels that all 4 regions in Thailand.

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ดีด้วยความกรุณา และการช่วยเหลือจากอาจารย์ที่ปรึกษาหลักวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.อภิรดี แซ่ลิ้ม และอาจารย์ที่ปรึกษาร่วมวิทยานิพนธ์ ดร.นพ.ธรรมสินธ์ อิงวิยะ ที่ให้คำปรึกษาพร้อมข้อเสนอแนะ สำหรับปรับปรุงเกี่ยวกับเนื้อหาของวิทยานิพนธ์ ขั้นตอนวิจัย ตลอดจนไปจนถึงการช่วยตรวจทาน และแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้ถูกต้องสมบูรณ์ และมอบแรงบันดาลใจให้แก่ข้าพเจ้าตลอดระยะเวลาที่ข้าพเจ้าศึกษางานวิจัย

ขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ขวัญกมล ดิฐกัญจน์ ประธานกรรมการสอบป้องกันวิทยานิพนธ์พร้อมทั้งผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิทธิโชค ไชยชูลี และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วันดี วนิชย์ศักดิ์พงศ์ คณะกรรมการสอบป้องกันวิทยานิพนธ์ ที่ได้มอบคำแนะนำสำหรับปรับปรุงเนื้อหาของวิทยานิพนธ์ ให้มีความถูกต้องสมบูรณ์ พร้อมทั้งคณาจารย์ในหลักสูตรทุกท่าน ที่ได้มอบความรู้ และคำปรึกษา เพื่อให้ข้าพเจ้าสามารถดำเนินงานวิจัยจนสำเร็จลุล่วงได้ดังที่ตั้งใจไว้

ขอขอบคุณ กองจัดการคุณภาพอากาศและเสียง กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย สำหรับการอำนวยความสะดวกในด้านของการเตรียมชุดข้อมูลต่าง ๆ เกี่ยวกับข้อมูลคุณภาพอากาศย้อนหลังรายชั่วโมงทุกสถานีตรวจวัดของประเทศไทย ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2543 ถึง 2563

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณพี่ ๆ เพื่อน ๆ และน้อง ๆ นักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา สาขาวิทยาการข้อมูล โครงการจัดตั้งวิทยาลัยวิทยาศาสตร์ดิจิทัล มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ร่วมแบ่งปันความรู้ และประสบการณ์ร่วมกันด้วยดีเสมอมา

ฐิตาพร ทองรอด



## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(5)
กิตติกรรมประกาศ	(7)
สารบัญ	(8)
สารบัญรูปภาพ	(11)
สารบัญตาราง	(14)
บทที่ 1 บทนำ	2
1.1 ที่มาและความสำคัญ	2
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	4
1.3 สมมติฐานของการวิจัย	4
1.4 นิยามศัพท์เฉพาะ	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
1.6 แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
1.6.1 ผู้ลงชื่อขนาดเล็ก	5
1.6.2 แนวโน้มผู้ลงชื่อขนาดเล็ก	7
1.6.3 การทำนายผู้ลงชื่อขนาดเล็ก	8
บทที่ 2 วิธีดำเนินการวิจัย	10
2.1 แหล่งข้อมูล (Data source)	10
2.2 กรอบแนวคิดในการวิจัย	13
2.3 การจัดการและวิเคราะห์ข้อมูล (Data management and analysis)	13
2.4 วิธีการทางสถิติ (Statistical methods)	15
2.4.1 ฟังก์ชันพหุนามกำลังสาม (Cubic Spline)	15
2.4.2 วิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์	16

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.3 ตัวแบบ Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA)	16
2.4.4 ตัวแบบ Autoregressive Moving Average with Exogenous Variable (ARIMAX)	17
2.4.5 ตัวแบบการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ (Multiple Linear Regression: MLR)	18
2.4.6 ตัวแบบโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks: ANN)	19
2.4.7 ตัวแบบซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machines: SVM)	20
2.4.8 ตัวแบบการสุ่มป่าไม้ (Random Forest: RF)	21
2.4.9 เกณฑ์การประเมินตัวแบบ	21
<b>บทที่ 3 ผลและการวิเคราะห์</b>	<b>23</b>
3.1 ผลการวิเคราะห์ด้วยสถิติเชิงพรรณนาของความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 PM10 อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความกดอากาศ และความเร็วลม	24
3.2 แนวโน้มของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 และฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM10 แยกตามฤดูกาล	27
3.3 แนวโน้มของของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 และฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM10 ตามปี	29
3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 ฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM10 อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความกดอากาศ และความเร็วลม	32
3.5 ประสิทธิภาพการทำนายความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 และฝุ่น PM10 ระหว่างวิธีอาร์มาและวิธีการเรียนรู้ด้วยเครื่อง	33
3.5.1 การแปลงข้อมูลให้มีการแจกแจงแบบปกติ	33
3.5.2 เปรียบเทียบความแม่นยำการทำนายของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 และฝุ่น PM10	38
3.5.3 แผนภาพกระจายระหว่างส่วนเหลือกับค่าทำนาย ( $R^2$ ) ของตัวแบบ ARIMAX MLR ANN SVM และ RF พิจารณาปัจจัย วัน ปี อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความกดอากาศ และ ความเร็วลม จากการแบ่งชุดข้อมูล 70:30	45

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 สรุปผล อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ	51
4.1 สรุปผลการวิจัย	51
4.2 อภิปรายผล	52
4.3 ข้อจำกัด	53
4.4 ข้อเสนอแนะ	53
บรรณานุกรม	55
ภาคผนวก	60
ประวัติผู้เขียน	62

## สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 1.1 การเปรียบเทียบขนาดของอนุภาค PM	5
รูปที่ 1.2 เกณฑ์และระดับการแจ้งเตือนของดัชนีคุณภาพอากาศขององค์การอนามัยโลกและประเทศไทย ที่มา : องค์การอนามัยโลก, กรมควบคุมคุณภาพ	6
รูปที่ 2.1 จังหวัดศึกษาข้อมูลฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 และ PM10 แยกตามภูมิภาค	10
รูปที่ 2.2 กระบวนการวิเคราะห์หาแนวโน้มฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 และ PM10	13
รูปที่ 2.3 กระบวนการทำนายฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 และ PM10	14
รูปที่ 2.4 การทำงานของโครงข่ายประสาทเทียม	19
รูปที่ 2.5 ตัวอย่างของตัวแบบจำแนก SVM	20
รูปที่ 2.6 หลักการทำ Random Forest	21
รูปที่ 3.1 แสดงแนวโน้มของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 ในแต่ละสถานีตรวจวัด	27
รูปที่ 3.2 แสดงแนวโน้มของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM10 ในแต่ละสถานีตรวจวัด	28
รูปที่ 3.3 แผนภาพแสดงความเข้มข้นของอนุภาคเฉลี่ยต่อวันของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5	29
รูปที่ 3.4 แผนภาพแสดงความเข้มข้นของอนุภาคเฉลี่ยต่อวันของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM10	31
รูปที่ 3.5 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 ฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM10 อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความกดอากาศ และความเร็วลม	32
รูปที่ 3.6 (ก) กราฟ Q-Q plot การแจกแจงแนวโน้มของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 ในภาคเหนือ (ข) การแปลงการแจกแจงแนวโน้มของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 ด้วยลอการิทึมฐานธรรมชาติ (ค) กราฟ Q-Q plot การแจกแจงแนวโน้มของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM10 ในภาคเหนือ และ (ง) การแปลงการแจกแจงแนวโน้มของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM10 ด้วยลอการิทึมฐานธรรมชาติ	34

## สารบัญรูปร่างภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.7 (ก) กราฟ Q-Q plot การแจกแจงแนวโน้มน้ำของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (ข) การแปลงการแจกแจงแนวโน้มน้ำของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 ด้วยลอการิทึมฐานธรรมชาติ (ค) กราฟ Q-Q plot การแจกแจงแนวโน้มน้ำของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM10 ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และ (ง) การแปลงการแจกแจงแนวโน้มน้ำของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM10 ด้วยลอการิทึมฐานธรรมชาติ	35
รูปที่ 3.8 (ก) กราฟ Q-Q plot การแจกแจงแนวโน้มน้ำของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 ในภาคกลาง (ข) การแปลงการแจกแจงแนวโน้มน้ำของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 ด้วยลอการิทึมฐานธรรมชาติ (ค) กราฟ Q-Q plot การแจกแจงแนวโน้มน้ำของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM10 ในภาคกลาง และ (ง) การแปลงการแจกแจงแนวโน้มน้ำของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM10 ด้วยลอการิทึมฐานธรรมชาติ	36
รูปที่ 3.9 (ก) กราฟ Q-Q plot การแจกแจงแนวโน้มน้ำของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 ในภาคกลาง (ข) การแปลงการแจกแจงแนวโน้มน้ำของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 ด้วยลอการิทึมฐานธรรมชาติ (ค) กราฟ Q-Q plot การแจกแจงแนวโน้มน้ำของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM10 ในภาคกลาง และ (ง) การแปลงการแจกแจงแนวโน้มน้ำของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM10 ด้วยลอการิทึมฐานธรรมชาติ	37
รูปที่ 3.10 แผนภาพกระจายระหว่างส่วนเหลือกับค่าทำนาย พิจารณาจากค่า $R^2$ ของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 ในภาคเหนือ	45
รูปที่ 3.11 แผนภาพกระจายระหว่างส่วนเหลือกับค่าทำนาย พิจารณาจากค่า $R^2$ ของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM10 ในภาคเหนือ	46
รูปที่ 3.12 แผนภาพกระจายระหว่างส่วนเหลือกับค่าทำนาย พิจารณาจากค่า $R^2$ ของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	46
รูปที่ 3.13 แผนภาพกระจายระหว่างส่วนเหลือกับค่าทำนาย พิจารณาจากค่า $R^2$ ของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM10 ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	47
รูปที่ 3.14 แผนภาพกระจายระหว่างส่วนเหลือกับค่าทำนาย พิจารณาจากค่า $R^2$ ของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 ในภาคกลาง	48

**สารบัญรูปภาพ (ต่อ)**

	หน้า
รูปที่ 3.15 แผนภาพกระจายระหว่างส่วนเหลือกับค่าทำนาย พิจารณาจากค่า $R^2$ ของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM10 ในภาคกลาง	48
รูปที่ 3.16 แผนภาพกระจายระหว่างส่วนเหลือกับค่าทำนาย พิจารณาจากค่า $R^2$ ของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 ในภาคใต้	49
รูปที่ 3.17 แผนภาพกระจายระหว่างส่วนเหลือกับค่าทำนาย พิจารณาจากค่า $R^2$ ของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM10 ในภาคใต้	50

## สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 2.1 ข้อมูลสถิติจุดและลงจุดของข้อมูลฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 และฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM10 แยกตามภูมิภาค	11
ตาราง 2.2 ข้อมูลคุณภาพอากาศแต่ละจังหวัดแยกตามภูมิภาคในแต่ละช่วงปีของฝุ่น PM2.5 และฝุ่น PM10	12
ตาราง 2.3 วิธีการและกระบวนการที่ใช้ในการวัดความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็ก	13
ตาราง 3.1 ข้อมูลสถิติเชิงพรรณนาของ PM2.5 PM10 อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความกดอากาศ และความเร็วลม ของภาคเหนือ ในปี พ.ศ. 2553 - 2564	24
ตาราง 3.2 ข้อมูลสถิติเชิงพรรณนาของ PM2.5 PM10 อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความกดอากาศ และความเร็วลม ของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ในปี พ.ศ. 2553 - 2564	24
ตาราง 3.3 ข้อมูลสถิติเชิงพรรณนาของ PM2.5 PM10 อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความกดอากาศ และความเร็วลม ของภาคกลาง ในปี พ.ศ. 2553 - 2564	25
ตาราง 3.4 ข้อมูลสถิติเชิงพรรณนาของ PM2.5 PM10 อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความกดอากาศ และความเร็วลม ของภาคใต้ ในปี พ.ศ. 2553 - 2564	25
ตารางที่ 3.5 แสดงสมการการแปลงข้อมูลให้มีข้อมูลแจกแจงปกติ และสมการการแปลงค่าข้อมูลกลับ	33
ตาราง 3.6 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำนายระหว่างวิธีอาร์มา และวิธีการเรียนรู้ด้วยเครื่องของ ฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 และฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM10 ในภาคเหนือ	41
ตาราง 3.7 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำนายระหว่างวิธีอาร์มา และวิธีการเรียนรู้ด้วยเครื่องของ ฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 และฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM10 ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	42
ตาราง 3.8 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำนายระหว่างวิธีอาร์มา และวิธีการเรียนรู้ด้วยเครื่องของ ฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 และฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM10 ในภาคกลาง	43
ตาราง 3.9 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำนายระหว่างวิธีอาร์มา และวิธีการเรียนรู้ด้วยเครื่องของ ฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 และฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM10 ในภาคใต้	44

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

มลพิษฝุ่นละอองขนาดเล็กเป็นหนึ่งในภัยคุกคามผู้คนทั่วโลก องค์การอนามัยโลก (WHO, 2013) ให้ความหมายฝุ่นละอองขนาดเล็กไว้ว่า ฝุ่นละอองขนาดเล็ก (Particle Matter หรือ PM) หมายถึง มลพิษทางอากาศที่อยู่ในรูปของอนุภาคที่ประกอบด้วยส่วนผสมทั้งของแข็งและของเหลวที่แขวนลอยอยู่ในอากาศ ประกอบด้วยฝุ่นขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน เรียกว่า PM10 และฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน เรียกว่า PM2.5 (Fine PM) ซึ่งแหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองขนาดเล็กสามารถแบ่งออกเป็น 2 แหล่งหลัก ๆ (US EPA, 2020) คือ ฝุ่นละอองที่เกิดมาจากธรรมชาติ เช่น การระเบิดของภูเขาไฟ ไฟป่า การเกิดพายุทราย และการระเหยของน้ำทะเล (ไอเกลือ) เป็นต้น และแหล่งกำเนิดฝุ่นละอองที่เกิดมาจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น จากการเผาไหม้ น้ำมันเชื้อเพลิงจากยานพาหนะ โรงงานอุตสาหกรรม โรงไฟฟ้า การเผาขยะ หรือแม้กระทั่งการเผาพื้นที่ทางการเกษตร เพื่อเตรียมสำหรับการเพาะปลูก เป็นต้น สำหรับวัฏจักรของฝุ่นละอองขนาดเล็กที่เข้าสู่ชั้นบรรยากาศสามารถเคลื่อนที่ออกจากแหล่งกำเนิดได้จากการพัดพาของกระแสลม ฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กจะสามารถเคลื่อนที่จากแหล่งกำเนิดได้ระยะทางที่ไกลมากเนื่องจากมีน้ำหนักเบา ข้อมูลจากองค์การอนามัยโลก (WHO, 2018) พบว่าในแต่ละปีมีผู้เสียชีวิต 7 ล้านคนจากการสัมผัสกับอนุภาคขนาดเล็กในอากาศและมากกว่า 90% ของผู้เสียชีวิตจากการได้รับมลพิษทางอากาศ อยู่ในประเทศที่มีรายได้ต่ำ และมีรายได้ปานกลางในฝั่งเอเชียและแอฟริกามากที่สุด รองลงมาคือฝั่งภูมิภาคเมดิเตอร์เรเนียน ตะวันออก ยุโรป และอเมริกา

มลพิษทางอากาศในกลุ่มประเทศที่พัฒนาแล้ว เช่น ประเทศสวีตเซอร์แลนด์ (Barnpadimos et al., 2012) เมืองเบอร์ลิน (เมืองหลวงประเทศเยอรมนี) บรัสเซลส์ (เมืองหลวงประเทศเบลเยียม) และกรุงปารีส (เมืองหลวงประเทศฝรั่งเศส) (Caporale et al., 2021) พบมีแนวโน้มฝุ่นละอองขนาดเล็กลดลง กรณีศึกษาในสหรัฐอเมริกา ประเทศจีน และประเทศอินเดีย พบสหรัฐอเมริกา มีระดับฝุ่นละอองต่ำกว่าในประเทศจีนและอินเดีย (Yang et al., 2018) นอกจากนี้ ในประเทศที่กำลังพัฒนา เช่น ประเทศมาเลเซียในปี พ.ศ. 2540-2558 (Sentian et al., 2019) ประเทศบังคลาเทศ ประเทศเมียนมาร์ และประเทศลาว ปี พ.ศ. 2542-2557 (Shi et al., 2018) พบแนวโน้มฝุ่นละอองขนาดเล็กที่เพิ่มขึ้น ปัญหาหลักที่ทำให้เกิดฝุ่นละอองขนาดเล็กมาจากการเผาพื้นที่เกษตร



เป็นจำนวนมากส่งผลให้มีการปล่อยอนุภาคฝุ่นและก๊าซปริมาณมากขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศและมีผลกระทบต่อคุณภาพอากาศในภูมิภาค และมีค่าสูงในช่วงเดือนมีนาคมถึงเดือนเมษายน (Chuang et al., 2016)

สำหรับประเทศไทย ปัญหามลพิษทางอากาศมีแนวโน้มความรุนแรงมากขึ้น โดยเฉพาะในกรุงเทพฯ ปริมณฑล และทางภาคเหนือของประเทศไทย ในช่วงฤดูแล้งของปี พ.ศ. 2562 พบว่าสถานการณ์หมอกควัน 9 จังหวัดภาคเหนือตอนบน พบฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM<sub>2.5</sub> มีค่าเกินค่ามาตรฐานเฉลี่ยของประเทศไทยที่กำหนดไม่เกิน 50 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และสูงกว่าค่ามาตรฐานขององค์การอนามัยโลก ซึ่งกำหนดไว้ที่ 25 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เกือบตลอดทั้งเดือนมีนาคมในทุกสถานี (Chantra and Wiriya, 2019) ผลกระทบของฝุ่นละอองขนาดเล็กสามารถก่อให้เกิดอันตรายอย่างรุนแรงต่อสุขภาพ โดยเฉพาะในประชากรกลุ่มเสี่ยงเป็นโรคหัวใจและหลอดเลือด และโรคทางเดินหายใจ (Lu et al., 2015) ในศตวรรษที่ 21 พบว่าคนที่อาศัยอยู่ในเมืองที่มีมลภาวะมากนั้นมีความเสี่ยงต่อการเกิดโรคหัวใจตายเฉียบพลัน (Peerabul, 2019) และฝุ่นละออง PM<sub>0.1</sub> ถือเป็นหนึ่งในอนุภาคมลพิษที่อันตรายที่สุด เนื่องจากมีขนาดเล็กซึ่งทำให้สามารถหายใจเข้าปอดและผ่านเข้าสู่กระแสเลือดในปอดได้ (Kwon et al., 2020)

ในปัจจุบันการจัดเก็บข้อมูลคุณภาพอากาศจากหน่วยงานที่รับผิดชอบ มีการจัดเก็บข้อมูลรายชั่วโมง มีการเก็บรวบรวมข้อมูลฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM<sub>2.5</sub> และ PM<sub>10</sub> เป็นระยะเวลาหลายปี ดังนั้น การวิจัยในครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของมลพิษอากาศของฝุ่นมลพิษ PM<sub>2.5</sub> และฝุ่นมลพิษ PM<sub>10</sub> ในประเทศไทยในปี 2553 ถึงปี 2564 โดยใช้ฟังก์ชันพหุนามกำลังสาม (Cubic Spline) และเพื่อเปรียบเทียบการทำนายฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM<sub>2.5</sub> และฝุ่น PM<sub>10</sub> ของประเทศไทย ด้วยวิธีทางสถิติ ได้แก่ ตัวแบบ ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average) และตัวแบบ ARIMAX (Autoregressive Moving Average with Exogenous Variable) และวิธีการเรียนรู้ด้วยเครื่อง ได้แก่ ตัวแบบการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ (Multiple Linear Regression: MLR) ตัวแบบโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network: ANN) ตัวแบบซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machines: SVM) และตัวแบบการสุ่มป่าไม้ (Random Forest: RF) ประกอบด้วยตัวแปรอิสระต่างๆ ได้แก่ วัน ปี อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความกดอากาศ และความเร็วลม ทั้งนี้ผลการศึกษาในครั้งนี้จะเป็นประโยชน์ต่อหน่วยงานต่าง ๆ ทั้งภาครัฐและภาคประชาชน ได้ทราบถึงปัญหาและผลกระทบอันนำไปสู่กระบวนการหาแนวทางในการบริหารจัดการและแก้ไขปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อหาแนวโน้มของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 และฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM10 แยกตามฤดูกาล ของประเทศไทยในปี พ.ศ. 2553 ถึง พ.ศ. 2564

1.2.2 เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำนายความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 และฝุ่น PM10 ระหว่างวิธีอาร์มา ได้แก่ ตัวแบบ ARIMA และตัวแบบ ARIMAX และวิธีการเรียนรู้ด้วยเครื่อง ได้แก่ ตัวแบบ MLR ตัวแบบ ANN ตัวแบบ SVM และตัวแบบ RF

## 1.3 สมมติฐานของการวิจัย

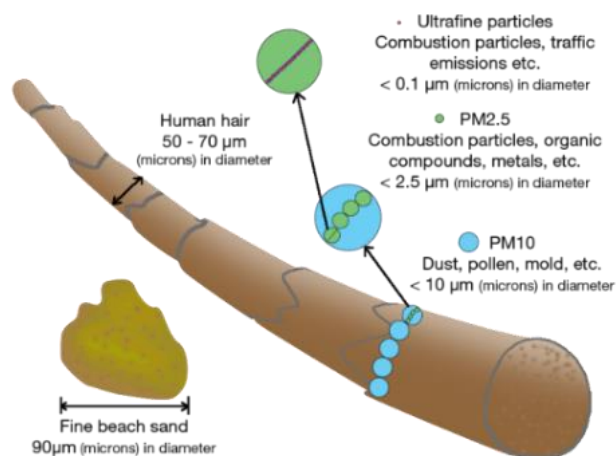
1.3.1 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 และฝุ่น PM10 ในประเทศไทยในปี 2553 ถึงปี 2564 พบฝุ่นละอองมีค่าสูงในช่วงเดือนมีนาคม

1.3.2 การทำนายของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 และฝุ่น PM10 ด้วยวิธีอาร์มา จะสามารถให้ค่าทำนายแม่นยำกว่าวิธีการเรียนรู้ด้วยเครื่อง

## 1.4 นิยามศัพท์เฉพาะ

PM2.5 ตามคำจำกัดความของ US.EPA หมายถึง ฝุ่นละอองเล็ก (Fine Particle) เป็นอนุภาคที่มี เส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ฝุ่นละอองมีแหล่งกำเนิดจากควันเสียของรถยนต์ โรงไฟฟ้า โรงงาน อุตสาหกรรม ควันที่เกิดจากหุงต้มอาหารโดยใช้ฟืน นอกจากนี้ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO<sub>2</sub>) ออกไซด์ของ ไนโตรเจน (NO<sub>x</sub>) และสารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) จะทำปฏิกิริยากับสารอื่นในอากาศทำให้เกิดเป็นฝุ่นละอองได้

PM10 ตามคำจำกัดความของ US.EPA หมายถึง ฝุ่นหยาบ (Course Particle) เป็นอนุภาคที่มี เส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 - 10 ไมครอน มีแหล่งกำเนิดจากการจราจรบนถนนที่ไม่ได้ลาดยางจากการขนส่งวัสดุ ฝุ่นจากกิจกรรมบด ย่อย หิน ทรายละเอียดดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 การเปรียบเทียบขนาดของอนุภาค PM

ที่มา : <https://www.vfa-solutions.com/en/particulate-matter-how-small-is-it/>

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ทราบถึงแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงมลพิษทางอากาศของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 และ PM10 ของประเทศไทย

1.5.2 ผลการทำนายการเปลี่ยนแปลงมลพิษทางอากาศของฝุ่นละอองขนาดเล็ก กรมควบคุมมลพิษและผู้ที่เกี่ยวข้องสามารถนำไปเป็นแนวทางในการแก้ปัญหาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงคุณภาพอากาศได้

## 1.6 แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยครั้งนี้ศึกษาเกี่ยวกับการทำนายมลพิษทางอากาศของฝุ่นละออง PM2.5 และ PM10 ในประเทศไทย: การเปรียบเทียบระหว่างวิธี ARIMA และวิธีการเรียนรู้ด้วยเครื่องของประเทศไทยในปี 2553-2564 ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการศึกษานพื้นฐานแนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

### 1.6.1 ฝุ่นละอองขนาดเล็ก

กรมอนามัย และ กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุขได้ให้ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับฝุ่นละอองไว้ว่า ฝุ่นละออง หมายถึง อนุภาคของแข็งและหยดละอองของเหลวที่แขวนลอยกระจายในอากาศ อนุภาค ที่แขวนลอยอยู่ในอากาศ บางชนิดมีขนาดใหญ่และสีดำจมนมองเห็นเป็นเขม่าและควัน แต่บางชนิดมีขนาดเล็กมาก จนมองไม่เห็นด้วยตาเปล่า ฝุ่นละอองที่แขวนลอยในบรรยากาศ โดยทั่วไป

มีขนาดตั้งแต่ 100 ไมครอนลงมาและก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของคน สัตว์ รวมถึงพืชชนิดต่าง ๆ ในสหรัฐอเมริกาพบว่าผู้ที่ได้รับฝุ่น PM10 ในระดับหนึ่งจะทำให้เกิดโรคหอบหืด ฝุ่นละออง PM2.5 ในบรรยากาศจะมีความสัมพันธ์กับอัตราการเพิ่มของผู้ป่วยที่เป็นโรคหัวใจและโรคปอด และเกี่ยวข้องกับการเสียชีวิตก่อนวันอันควร นอกจากนี้ยังส่งผลทำให้เกิดความเสียหายต่ออาคาร บ้านเรือน การบดบังทัศนวิสัย เกิดอุปสรรคในการคมนาคมขนส่ง เป็นต้น องค์การอนามัยโลก (WHO, 2008) ได้มีการกำหนดค่ามาตรฐานของฝุ่นละอองขนาดเล็กการทบทวนค่าของมาตรฐานคุณภาพอากาศ โดยค่ามาตรฐาน PM2.5 มีค่าความเข้มข้นไม่เกิน 10 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร สำหรับค่าเฉลี่ยรายปี และค่าความเข้มข้นไม่เกิน 25 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร สำหรับค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ทั้งปีต้องไม่เกินค่ามาตรฐาน 3 วันต่อปี ส่วนค่ามาตรฐานของ PM10 กำหนดเกณฑ์ค่าความเข้มข้นไม่เกิน 20 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร สำหรับค่าเฉลี่ยรายปี และมีค่าความเข้มข้นไม่เกิน 50 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร สำหรับค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง

ดัชนีคุณภาพอากาศ หมายถึง ดัชนีที่ใช้เป็นตัวแทนของคุณภาพอากาศ 1 ค่า ใช้เป็นตัวแทนค่าความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศ 6 ชนิด ได้แก่ ฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM2.5) ฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน (PM10) ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ก๊าซโอโซน (O<sub>3</sub>) ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO<sub>2</sub>) และก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO<sub>2</sub>) ดัชนีคุณภาพอากาศตามเกณฑ์มาตรฐานของประเทศไทย แบ่งเป็น 5 ระดับ (รูปที่ 1.2) การแจ้งเตือนโดยใช้สีเป็นสัญลักษณ์ โดยมีคะแนนตั้งแต่ 0 ถึงมากกว่า 200 โดยดัชนีคุณภาพอากาศ 100 มีค่าเทียบเท่ากับค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไป หากดัชนีคุณภาพอากาศมีค่าสูงเกินกว่า 100 แสดงว่าค่าความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศเกินค่ามาตรฐาน

องค์การอนามัยโลก	AQI	กรมควบคุมคุณภาพ
คุณภาพอากาศดี	0-25	คุณภาพอากาศดีมาก
คุณภาพอากาศดี	26-50	คุณภาพอากาศดี
คุณภาพอากาศปานกลาง	51-100	ปานกลาง
มีผลกระทบต่อสุขภาพของผู้ที่ ต้องดูแลสุขภาพเป็นพิเศษ	101-150	เริ่มมีผลกระทบต่อ สุขภาพ
มีผลกระทบต่อสุขภาพ	151-200	มีผลกระทบต่อ สุขภาพ
มีผลกระทบต่อสุขภาพมาก	201-300	มีผลกระทบต่อ สุขภาพ
อันตราย	301-500	สุขภาพ

รูปที่ 1.2 เกณฑ์และระดับการแจ้งเตือนของดัชนีคุณภาพอากาศขององค์การอนามัยโลกและประเทศไทย ที่มา : องค์การอนามัยโลก, กรมควบคุมคุณภาพ

## 1.6.2 แนวโน้มฝุ่นละอองขนาดเล็ก

การติดตามตรวจสอบคุณภาพอากาศของประเทศไทย ในเขตพื้นที่ภาคเหนือ การศึกษาของ Sirithian และ Thanatrakolsri (2565) ประกอบด้วย จังหวัดเชียงใหม่และจังหวัดน่าน ตัวแปรที่ศึกษา ได้แก่ PM2.5 PM10 อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม และทิศทางลม ผลการศึกษาพบว่าตัวแปรที่สัมพันธ์กับฝุ่นละออง PM2.5 และ PM10 คือ ตัวแปรอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ นอกจากนี้ พบว่าฝุ่นละออง PM2.5 และ PM10 มีแนวโน้มสูงเดือนมกราคมถึงเดือนเมษายน ในปี 2559 ถึงปี 2563 ซึ่งเดือนที่พบค่าฝุ่นละอองสูงสุดสอดคล้องกับการศึกษาของ Sukkhum และคณะ (Sukkhum et al., 2021) ได้ศึกษาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงมลพิษทางอากาศในจังหวัดเชียงใหม่ จังหวัดลำปาง และจังหวัดน่าน ตัวแปรที่ศึกษา ได้แก่ CO O<sub>3</sub> NO<sub>2</sub> NO<sub>x</sub> SO<sub>2</sub> และ PM10 พบว่ามีแนวโน้มความเข้มข้นของ PM2.5 และ PM10 สูงเดือนมีนาคมถึงเดือนเมษายน ปี 2547 ถึงปี 2561 ในเขตกรุงเทพและปริมณฑล โดยโครงการศึกษาแหล่งกำเนิดและแนวทางการจัดการฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน ในพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล พบว่าสถานการณ์ฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 มีปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กเริ่มมีแนวโน้มสูงขึ้น ตั้งแต่ปี 2554-2561 พบค่าเกินเกณฑ์มาตรฐาน ในช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนมีนาคม และเดือนธันวาคม (กองจัดการคุณภาพอากาศและเสียง กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2561) ซึ่งตรงข้ามกับผลการรายงานในปี 2562 พบฝุ่นละอองขนาดเล็กเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM2.5) เฉลี่ยทั้งประเทศมีแนวโน้มลดลงตั้งแต่ปี 2558 แต่สำหรับปี 2562 จำนวนวันที่เกินค่ามาตรฐานและค่าเฉลี่ยทั้งปีลดลงจากปีก่อนหน้าเล็กน้อย ยกเว้นพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล ที่สถานการณ์ดีขึ้นจากปีก่อนหน้า ส่วนฝุ่นละอองขนาดเล็กเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 10 ไมครอน (PM10) เฉลี่ยทั้งประเทศมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในทุกภาคของประเทศไทย (กรมควบคุมมลพิษ, 2562) นอกจากนั้นงานวิจัยของ Chirasophon และ Pochanart (Chirasophon & Pochanart, 2020) พบว่า ในพื้นที่ กรุงเทพมหานคร มีค่าความเข้มข้น PM2.5 และ PM10 สูงกลางเดือนกุมภาพันธ์ถึงกลางเดือนพฤษภาคม ในปี 2550-2559 ส่วนในพื้นที่ภาคใต้การศึกษาของ Pentamwa และ Oanh (2008) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับคุณภาพอากาศของจังหวัดสุราษฎร์ธานี จังหวัดภูเก็ต จังหวัดสงขลา จังหวัดสตูล และจังหวัดตรัง ประกอบด้วยตัวแปร PM10 SO<sub>2</sub> NO<sub>2</sub> CO และ O<sub>3</sub> การศึกษาพบว่าฝุ่นละออง PM10 ปกคลุมภาคใต้ของประเทศไทยในช่วงเดือนมิถุนายนถึงเดือนสิงหาคม

การวิเคราะห์ความแปรปรวนแนวโน้มของ PM2.5 จาก 5 เมืองใหญ่ของอินเดีย ได้แก่ เมืองเจนไน (Chennai) เมืองโกลกาตา (Kolkata) เมืองไฮเดอราบัด (Hyderabad) เมืองมุมไบ (Mumbai) และเมืองนิวเดลี (New Delhi) ในปี พ.ศ. 2557 ถึงปี พ.ศ. 2562 พบว่า เมืองที่มีมลพิษมากที่สุด

ได้แก่ เมืองนิวยอร์ก เมืองโกลกาตา เมืองมุมไบ เมืองไฮเดอราบัดและเมืองเจนไน ตามลำดับ การวิเคราะห์แนวโน้มเป็นเวลาหกปี สำหรับห้าเมืองใหญ่แสดงให้เห็นว่ามีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การเปลี่ยนแปลงรายเดือนของ PM2.5 เนื่องจากสถานที่ตั้งที่และอุตุนิยมวิทยาในท้องถิ่นแตกต่างกัน ค่าความเข้มข้นของ PM2.5 พบว่ามีค่าสูงสุดในช่วงฤดูหนาวและต่ำสุดในเดือนที่มีมรสุม ในทุกเมือง ยกเว้นเมืองเจนไน มีค่าความเข้มข้นต่ำสุดในเดือนเมษายนทุกเมืองแสดงค่าความเข้มข้นของ PM2.5 มากสุดในช่วงเช้าเวลา 08.00 ถึง 10.00 น. และต่ำสุดในช่วงบ่าย เวลา 15.00 น. ถึง 16.00 น. พบว่าระดับ PM2.5 ในเมืองต่าง ๆ เกินมาตรฐานขององค์การอนามัยโลก ถึง 50% และมาตรฐานของอินเดีย ถึง 33% ยกเว้นเมืองเจนไน (Vikas et al., 2020)

การศึกษาความเข้มข้นของ PM10 โดยใช้ตัวแบบ Extra-Trees (ERT) พบว่าความเข้มข้นของ PM10 มีค่าความเข้มข้นสูงในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (ลุ่มน้ำทาร์ิม) และภาคเหนือของจีน และโดยรวมความเข้มข้นของ PM10 มีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญที่ 5.81 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อปี ( $p < 0.001$ ) ในช่วงห้าปีที่ผ่านมาในประเทศจีนโดยเฉพาะอย่างยิ่งในสามกลุ่มเมืองที่สำคัญ (Wei et al., 2020)

การศึกษาของ Bertazzon et al. (2016) ทำการศึกษาเกี่ยวกับฝุ่นละออง PM1.0, PM2.5 และ PM10 ในเมืองคาลการี ประเทศแคนาดา จากการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองเป็นระยะเวลาสองสัปดาห์ ในช่วงฤดูร้อนและฤดูหนาว ผลการศึกษาพบว่าค่าความเข้มข้นของ PM1.0, PM2.5 และ PM10 มีค่าความเข้มข้นสูงในช่วงฤดูร้อน จากการวิเคราะห์หาค่า  $R^2$  จากตัวแบบ Land use Regression (LUR) พบว่าช่วงฤดูร้อน ฝุ่นละออง PM2.5 และ ฝุ่นละออง PM10 มีค่า  $R^2$  มากกว่า 0.75 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ส่วน PM1.0 มีค่า  $R^2$  มากกว่า 0.45 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร สอดคล้องกับการปล่อยมลพิษทางอุตสาหกรรม การจราจรในพื้นที่และการจราจรทางบก และในช่วงฤดูหนาวพบค่า  $R^2$  ของ PM1.0, PM2.5 และ PM10 มากกว่า 0.45 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งเกิดจากการปล่อยมลพิษทางอุตสาหกรรม การจราจรบนถนนใหญ่และพื้นที่สวนสาธารณะที่มีหิมะปกคลุม

### 1.6.3 การทำนายฝุ่นละอองขนาดเล็ก

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่าในปัจจุบันมีการศึกษาเปรียบเทียบและการประเมินประสิทธิภาพของเครื่องมือที่ใช้การทำนายฝุ่นละอองมากมาย ดังนี้

Lanyi et al. (2018) ศึกษาตัวแบบ ARIMA ของฝุ่นละออง PM2.5 ในเมืองปักกิ่งและเมืองเซี่ยงไฮ้ของประเทศจีน ในเดือนสิงหาคม 2557 ถึงเดือนกรกฎาคม 2016 พบค่าความเข้มข้นของ

PM2.5 มีความผันผวนตามฤดูกาลสองช่วง ได้แก่ ช่วงอากาศเย็น (เดือนพฤศจิกายน-เดือนกุมภาพันธ์) มีค่าความเข้มข้นของ PM2.5 สูงอยู่ที่ 23 ถึง 52 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ช่วงอากาศอบอุ่น (เดือนพฤษภาคม-เดือนกรกฎาคม) มีค่าความเข้มข้นของ PM2.5 ต่ำอยู่ที่ 19 ถึง 31 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความเข้มข้นของ PM2.5 เฉลี่ยทั้งสองช่วงอยู่ที่ 35 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ฤดูกาลสองช่วงมีค่าความเข้มข้นสูงกว่าค่าเฉลี่ยถึง 52%

ศึกษาตัวแบบ CMAQ (Community Multiscale Air Quality) ARIMA (Autoregressive integrated moving average) และตัวแบบ ARIMAX (Autoregressive Moving Average with Exogenous Variable) ของข้อมูลคุณภาพอากาศ ประกอบด้วยตัวแปร PM2.5 NO<sub>2</sub> และ O<sub>3</sub> ทั้งหมด 15 สถานีในเมืองฮ่องกง ประเทศจีน พบว่าตัวแบบ ARIMAX สามารถทำนายข้อมูลคุณภาพอากาศได้ดีกว่าตัวแบบ ARIMA ทั้งรายวันและรายชั่วโมง (Tong Liu et al, 2018)

Yingdan Wang et al. (2023) ได้ศึกษาการเปรียบเทียบตัวแบบ ARIMA ARIMAX และ RNN (Recurrent Neural Network) เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบของมลพิษทางอากาศต่อจำนวนผู้ป่วยวัณโรคปอดในเมืองอูร์มุชี ประเทศจีน ประกอบด้วยตัวแปร PM2.5, PM10, CO, O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub> และ SO<sub>2</sub> ต่อจำนวนผู้ป่วยวัณโรคปอดตั้งแต่เดือนมกราคม 2014 ถึงเดือนธันวาคม ผลการศึกษาพบว่า ตัวแบบ ARIMAX (1,1,2) × (0,1,1)<sub>12</sub> + PM2.5 (lag = 12) เป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งใช้ในการทำนายจำนวนผู้ป่วยวัณโรคปอดและผลการทำนายสอดคล้องกับจำนวนผู้ป่วยวัณโรคปอดที่เกิดขึ้นจริง

Fatih Taspinar (2015) ได้ศึกษาตัวแบบอนุกรมเวลาสำหรับการสร้างแบบจำลองมลพิษทางอากาศโดยพิจารณาถึงการเปลี่ยนแปลงของฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM10) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO<sub>2</sub>) และการใช้ก๊าซธรรมชาติในที่อยู่อาศัย (RNGC: residential natural gas consumption) ในประเทศตุรกี จากปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาโดยประเมินความแม่นยำในการทำนายตัวแบบจากค่า R<sup>2</sup> ผลการศึกษาพบว่า ในการประมาณค่าช่วงเวลาระยะสั้นของ RNGC, PM10 และ SO<sub>2</sub> สำหรับปี 2557-2558 ขึ้นอยู่กับตัวแปรอนุกรม โดยที่ตัวแบบ ARIMAX(1,1,2) มีค่า R<sup>2</sup> เท่ากับ 0.944

ในพื้นที่ของไอศแลนด์ ประเทศนิวซีแลนด์ การสร้างตัวแบบกับข้อมูลที่ไม่ใช่ข้อมูลเชิงเส้นที่ใช้ตัวแบบ ANNs, Long short-term memory (LSTM) และวิธี RF ในช่วงปี 2554-2559 ความท้าทายหลักที่พบคือการหาวิธีกำหนดลักษณะโครงสร้างเชิงพื้นที่และเวลา ข้อจำกัดของตัวแบบเชิงเส้น ไม่สามารถกำหนดโครงสร้างได้อย่างถูกต้องและครบถ้วน ในทางตรงกันข้าม พบว่า ANNs, LSTM และวิธี RF สามารถอธิบายโครงสร้างพื้นฐานของกระบวนการได้ จากวิธีการทั้งหมด พบว่า ตัวแบบ RF มีความแม่นยำมากที่สุดในการทำนายฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM10 ล่วงหน้าหนึ่งวัน (Zandi, 2021)

Lasheras et al. (2020) ได้ศึกษาตัวแบบอนุภาคขนาดเล็กที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 10 ไมครอนในปี 2010 - 2017 ในประเทศสเปน ตัวแปรที่ศึกษา 6 ตัวแปร ได้แก่ PM10, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, NO<sub>2</sub>, CO และ O<sub>3</sub> ใช้ตัวแบบ ARIMA, Vector Autoregressive Moving Average (VARMA), Multilayer Perceptron Neural Networks (MLP), SVMR และ Multivariate Adaptive Regression Splines (MARS) การพยากรณ์ล่วงหน้า 1 เดือน และ 6 เดือน โดยวัดประสิทธิภาพของตัวแบบจากค่าเฉลี่ยความผิดพลาด (RMSE) พบว่า ประสิทธิภาพของตัวแบบ จากค่า RMSE ทั้งแบบพยากรณ์ 1 เดือน และพยากรณ์ 6 เดือน พบว่าตัวแบบ ARIMA เหมาะสมกับการพยากรณ์ที่มีตัวแปรเพียงตัวแปรเดียว ซึ่งทำงานได้ดีกว่าตัวแบบอื่น ๆ ที่มีหกตัวแปรในการพยากรณ์ล่วงหน้าทั้ง 1 เดือน และ 6 เดือน

การทำนายฝุ่นละออง PM10 รายวันในเดือนมกราคม ปี พ.ศ. 2558 ถึงเดือนตุลาคม ปี พ.ศ. 2559 กรณีศึกษาในเมืองซาคาร์ยา ประเทศตุรกี โดยใช้ตัวแบบ MLR และตัวแบบ ANN โดยมีตัวแปรทำนาย ได้แก่ อุณหภูมิ อุณหภูมิจุดน้ำค้าง ความชื้นสัมพัทธ์ ความกดอากาศ ระยะการมองเห็น และความเร็วลม จากการวิเคราะห์ตัวแบบการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณ พบว่าตัวแปรที่ถูกคัดออกจากตัวแบบ ได้แก่ ตัวแปรความชื้นสัมพัทธ์ มีค่า R<sup>2</sup> เท่ากับ 0.324 และจากการวิเคราะห์ตัวแบบ ANN พบว่าตัวแบบที่ดีที่สุดประกอบด้วย 12 เซลล์ประสาทที่ซ่อนอยู่ในเลเยอร์ มีค่า R<sup>2</sup> เท่ากับ 0.840 และตัวแบบ ANN มีความแม่นยำเพียงพอสำหรับการทำนายระดับ PM10 โดยมีตัวแปรอุณหภูมิ ระยะการมองเห็น อุณหภูมิจุดน้ำค้าง ความเร็วลม ความกดอากาศ และความชื้น เป็นตัวแปรทำนาย (Ceylan & Bulkan, 2018)

จากผลจากการศึกษาในหลายงานวิจัยพบว่าตัวแบบ ARIMA ARIMAX MLR ANN SVM และ RF ให้เปอร์เซ็นต์การทำนายได้แม่นยำในการทำนายฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 และ PM10 ดังนั้น จึงเป็นแนวทางให้ผู้วิจัยนำตัวแบบดังกล่าวมาศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพเพื่อใช้ทำนายฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 และ PM10 ในงานวิจัยนี้ต่อไป



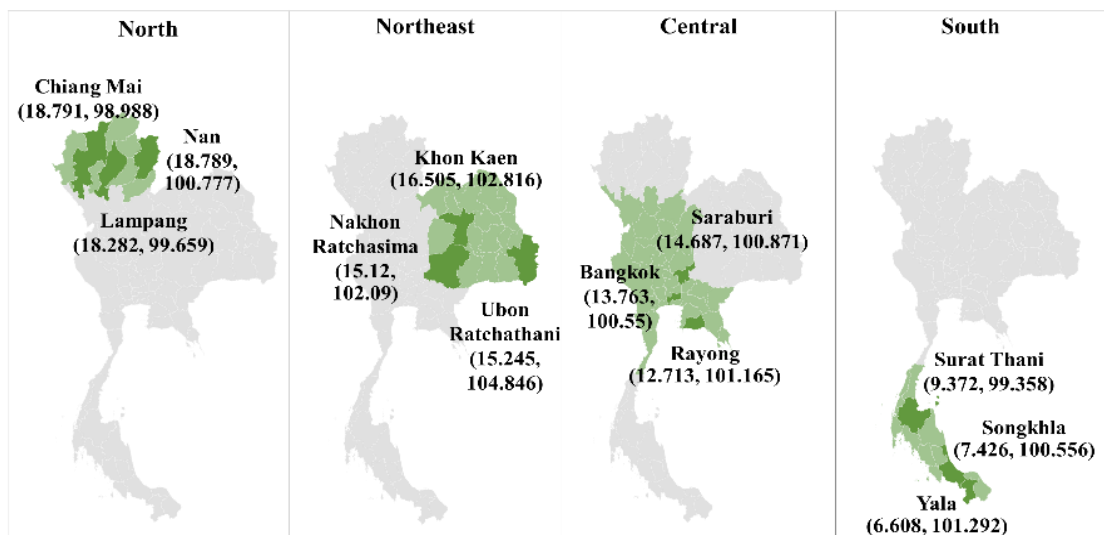
## บทที่ 2

### วิธีดำเนินการวิจัย

บทนี้มีรายละเอียดเกี่ยวกับวิธีการวิจัยการทำนายคุณภาพอากาศในประเทศไทย: การเปรียบเทียบวิธี ARIMA และ Machine Learning สำหรับ PM2.5 และ PM10 ของประเทศไทยในปี 2553-2564 มีการอธิบายแหล่งข้อมูล การจัดการข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูล และวิธีการทางสถิติ ดังนี้

#### 2.1 แหล่งข้อมูล (Data source)

การศึกษาในงานวิจัยนี้ประกอบด้วยข้อมูลฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 และ PM10 ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2553 ถึง พ.ศ. 2564 ใน 4 ภูมิภาค ทั้งหมด 12 สถานีตรวจวัดในประเทศไทย ภาคเหนือ ได้แก่ จังหวัดเชียงใหม่ จังหวัดลำปาง และจังหวัดน่าน ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ได้แก่ จังหวัดขอนแก่น จังหวัดนครราชสีมา และจังหวัดอุบลราชธานี ภาคกลาง ได้แก่ จังหวัดสระบุรี จังหวัดระยอง และจังหวัดกรุงเทพฯ ภาคใต้ ได้แก่ จังหวัดสุราษฎร์ธานี จังหวัดสงขลา และจังหวัดยะลา โดยเกณฑ์ในการเลือกสถานีผู้วิจัยทำการเลือกสถานีดังกล่าวเนื่องจากมีข้อมูลสมบูรณ์มากที่สุดเมื่อเทียบกับสถานีอื่นๆ ดังรูปที่ 2.1 และตารางที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ข้อมูลสถานีของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 และ PM10 แยกตามภูมิภาค

ตาราง 2.1 ข้อมูลละติจูดและลองจิจูดของข้อมูลฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 และฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM10 แยกตามภูมิภาค

ภูมิภาค	หมายเลข สถานี	สถานีตรวจวัด	จังหวัด	ละติจูด (°E)	ลองจิจูด (°N)
ภาคเหนือ	36	โรงเรียนยุพราชวิทยาลัย ต. ศรีภูมิ อ.เมือง	เชียงใหม่	18.791	98.988
	40	การประปาส่วนภูมิภาคแม่เมาะ ต.แม่เมาะ อ.แม่เมาะ	ลำปาง	18.282	99.659
	67	สำนักงานเทศบาลเมืองน่าน	น่าน	18.789	100.777
ภาค ตะวันออกเฉียงเหนือ	46	ส่วนอุทกวิทยา สำนักงานทรัพยากร น้ำภาคที่ 4 ต.ในเมือง อ.เมือง	ขอนแก่น	16.505	102.816
	47	สถานีสูบน้ำประตูปลแสน ต.ใน เมือง อ.เมือง	นครราชสีมา	15.120	102.090
	83	ศูนย์แสดงและจำหน่ายสินค้า OTOPต.ในเมือง อ.เมือง	อุบลราชธานี	15.245	104.846
ภาคกลาง	24	สถานีตำรวจภูธรตำบลหน้าพระ ลาน	สระบุรี	14.687	100.871
	29	โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล มาบตาพุด	ระยอง	12.713	101.165
	59	กรมประชาสัมพันธ์ แขวงพญาไท เขตพญาไท	กรุงเทพฯ	13.788	100.540
ภาคใต้	42	สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 14 ต.มะขามเตี้ย อ.เมือง	สุราษฎร์ธานี	9.372	99.358
	44	เทศบาลนครหาดใหญ่ ต.หาดใหญ่ อ.หาดใหญ่	สงขลา	7.426	100.556
	63	สนามโรงพิธีช้างเผือก ต.สะเตง อ. เมือง	ยะลา	6.608	101.292

การศึกษาในงานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลทุติยภูมิ (secondary data) ประกอบด้วยข้อมูลฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 และ PM10 ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2553 ถึง พ.ศ. 2564 ใน 4 ภูมิภาค ทั้งหมด 12 สถานีตรวจวัดในประเทศไทย ประกอบด้วยตัวแปรอิสระ ได้แก่ ฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 กับฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM10 ตัวแปรตาม ได้แก่ วัน (Day) ปี (Year) อุณหภูมิ (Temperature) ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) ความกดอากาศ (Pressure) และความเร็วลม (Wind speed) ดังตาราง 2.2 ซึ่งข้อมูลในการวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนข้อมูลจากกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย โดยวิธีและกระบวนการที่ใช้ในการวัดความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 และ PM10 ได้จากกระบวนการ Gravimetric high volume/ Beta ray attenuation/TEOM/ Dichotomous (ตาราง 2.3)

ตาราง 2.2 ข้อมูลคุณภาพอากาศแต่ละจังหวัดแยกตามภูมิภาคในแต่ละช่วงปีของฝุ่น PM2.5 และฝุ่น PM10

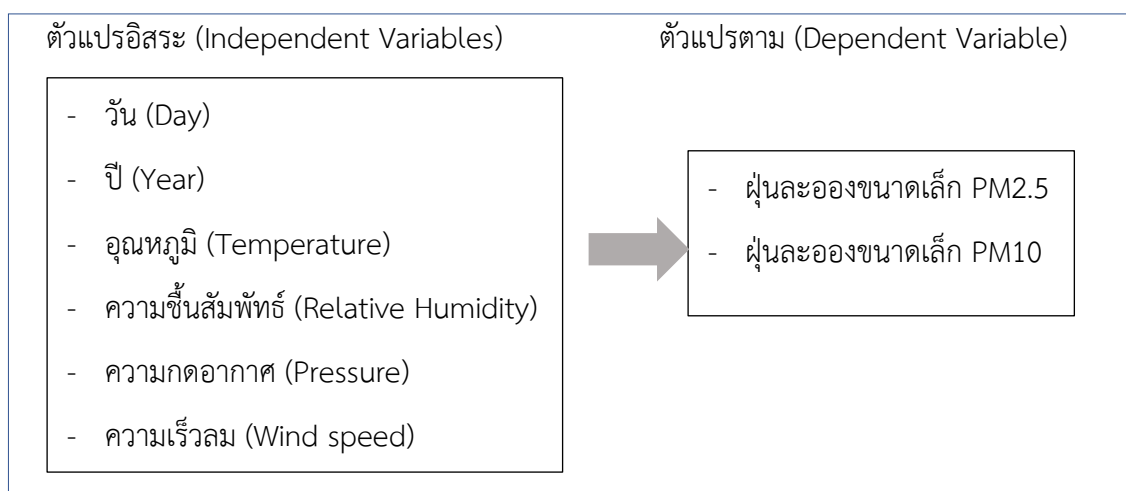
ภูมิภาค	จังหวัด	ช่วงปีจำแนกตามตัวแปร					
		PM2.5	PM10	อุณหภูมิ	ความชื้นสัมพัทธ์	ความกดอากาศ	ความเร็วลม
ภาคเหนือ	เชียงใหม่	2554-2564	2553-2564	2553-2564	2553-2563	2553-2557	2553-2564
	ลำปาง	2557-2564	2553-2564	2553-2564	2553-2564	2553-2564	2553-2564
	น่าน	2559-2564	2553-2564	2553-2564	2553-2564	2553-2564	2553-2564
ภาค	ขอนแก่น	2557-2564	2553-2564	2553-2564	2553-2556	2553-2556	2553-2564
ตะวันออกเฉียงเหนือ	นครราชสีมา	2562-2564	2553-2564	2553-2564	2553-2564	2553-2564	2553-2564
	อุบลราชธานี	2563-2564	2563-2564	2563-2564	2563-2564	2563-2564	2563-2564
ภาคกลาง	สระบุรี	2555-2564	2553-2564	2553-2564	2553-2564	2553-2564	2553-2564
	ระยอง	2561-2564	2553-2564	2553-2564	2553-2564	2553-2564	2553-2564
	กรุงเทพฯ	2558-2564	2553-2564	2553-2564	2553-2564	2553-2564	2553-2564
ภาคใต้	สุราษฎร์ธานี	2561-2564	2553-2564	2556-2564	2553-2564	2553-2564	2553-2564
	สงขลา	2555-2564	2553-2564	2553-2564	2553-2564	2553-2564	2553-2564
	ยะลา	2560-2564	2553-2564	2553-2564	2553-2564	2560-2563	2553-2564

ตาราง 2.3 วิธีการและกระบวนที่ใช้ในการวัดความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็ก

ตัวแปร	วิธี/กระบวนการเก็บข้อมูล	หน่วยวัด
PM2.5, PM10	Gravimetric high volume/ Beta ray attenuation/TEOM/ Dichotomous	Micrograms/cubic meter ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Temperature	เทอร์โมมิเตอร์	องศาเซลเซียส ( $^{\circ}\text{C}$ )
Relative Humidity	ไฮโครมิเตอร์หรือไฮโกรมิเตอร์กระเปาะเปียก-กระเปาะแห้ง	เปอร์เซ็นต์ (%)
Pressure	เครื่องมือบารอมิเตอร์แบบปรอท	มิลลิบาร์ (mbar)
Wind speed	เครื่องวัดความเร็วลม (Wind Speed Measurement)	เมตรต่อวินาที (m/s)

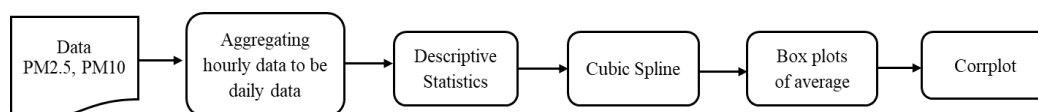
## 2.2 กรอบแนวคิดในการวิจัย

การศึกษางานวิจัยในครั้งนี้ประกอบด้วยตัวแปรอิสระ (Independent Variables) และตัวแปรตาม (Dependent Variable) ดังนี้



## 2.3 การจัดการและวิเคราะห์ข้อมูล (Data management and analysis)

ขั้นตอนที่ 1 วิเคราะห์หาแนวโน้มฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 และ PM10

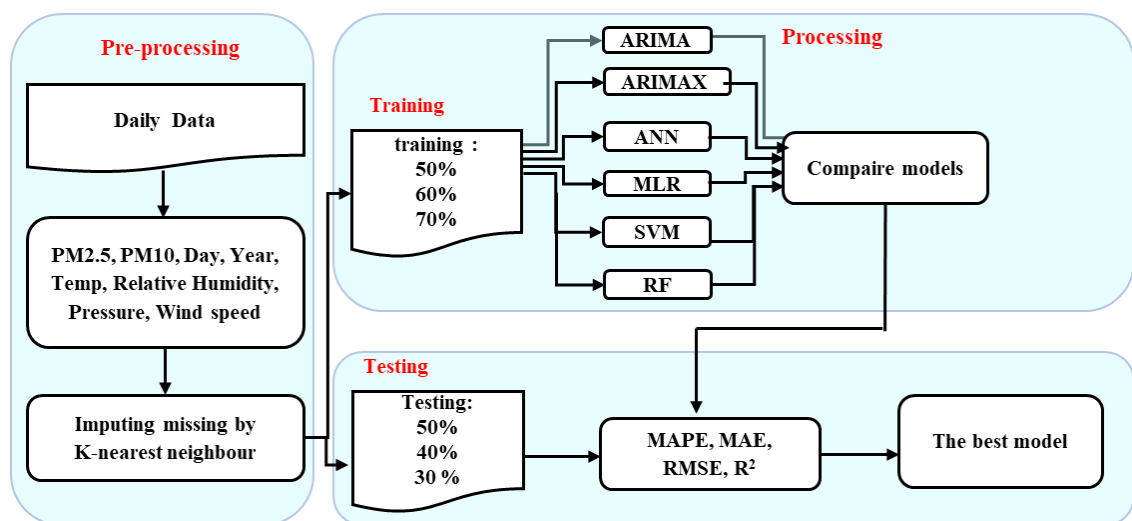


รูปที่ 2.2 กระบวนกรวิเคราะห์หาแนวโน้มฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 และ PM10

วิเคราะห์หาแนวโน้มฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 และ PM10 สามารถอธิบายได้ดังนี้ (รูปที่ 2.2)

1. แปลงข้อมูลรายชั่วโมงเป็นข้อมูลรายวัน โดยใช้ค่าเฉลี่ย
2. วิเคราะห์ด้วยสถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด ค่าเฉลี่ย และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 ฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM10 อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความกดอากาศ และความเร็วม
3. วิเคราะห์หาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 และ PM10 โดยใช้ข้อมูลรายวัน (ตามฤดูกาล) แยกตามภูมิภาคและสถานีโดยใช้ตัวแบบ Cubic Spline โดยใช้จำนวน knots เท่ากับ 13
4. ดูแนวโน้มของของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 และฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM10 จำแนกตามปี โดยใช้กราฟ Boxplots
5. ดูความสัมพันธ์ของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 ฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM10 อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความกดอากาศ และความเร็วม โดยใช้แผนภาพแสดงความสัมพันธ์

ขั้นตอนที่ 2 การทำนายฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 และ PM10



รูปที่ 2.3 กระบวนการทำนายฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 และ PM10

จากรูปที่ 2.3 กระบวนการทำนายฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 และ PM10 สามารถอธิบายได้ดังนี้

1. แปลงข้อมูลฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 PM10 อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความกดอากาศ และความเร็วม เป็นรายวัน รายละเอียดของจำนวนข้อมูล PM2.5 และ PM10 ดังนี้

- จำนวน record ข้อมูลฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 ในภาคเหนือ เท่ากับ 4,015 ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เท่ากับ 2,920 ภาคกลาง เท่ากับ 4,015 และภาคใต้ เท่ากับ 3,650 จำนวน record ข้อมูลฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM10 ในภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง และภาคใต้ เท่ากับ 4,380

- จำนวนข้อมูลสูญหายของข้อมูลฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 ในภาคเหนือ เท่ากับ 6.33% ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เท่ากับ 9.97% ภาคกลาง เท่ากับ 8.09% และภาคใต้ เท่ากับ 17.10% จำนวนข้อมูลสูญหายของข้อมูลฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM10 ในภาคเหนือ เท่ากับ 0.88% ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เท่ากับ 3.81% ภาคกลาง เท่ากับ 0.84% และภาคใต้ เท่ากับ 0.75%

2. ประมาณค่าข้อมูลสูญหายโดยใช้วิธีการเพื่อนบ้านใกล้ที่สุดหรือเคเนียร์เรสเนเบอร์ (K-Nearest Neighbour Algorithm) โดยใช้การประมาณค่าด้วยค่าเฉลี่ย k จำนวนของข้อมูลที่มีการสูญหาย เท่ากับ 20 (Saeipourdizaj, 2564)

3. ทำการแปลงข้อมูลฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 และ PM10 ให้ข้อมูลมีการแจกแจงปกติ โดยการแปลงด้วยค่าลอการิทึมฐานธรรมชาติ

4. ทำนายข้อมูลจากวิธีอาร์มา ได้แก่ ตัวแบบ ARIMA และตัวแบบ ARIMAX และวิธีการเรียนรู้ด้วยเครื่อง ได้แก่ ตัวแบบ ANN MLR SVM และ RF มีตัวแปรตาม ได้แก่ วัน ปี อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความกดอากาศ และความเร็วลม โดยแบ่งสัดส่วนข้อมูลชุดทดลอง (training set) และสัดส่วนข้อมูลชุดทดสอบ (testing set) เป็น 3 แบบ ได้แก่ 50:50 60:40 และ 70:30

5. เถกเกณฑ์การประเมินตัวแบบโดยพิจารณาจากเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE) เถกเกณฑ์ค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAE) เถกเกณฑ์รากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) ที่มีค่าน้อยที่สุด และพิจารณาจากแผนภาพกระจายระหว่างส่วนเหลือกับค่าทำนาย โดยพิจารณาจากค่า  $R^2$  (R-Squared)

## 2.4 วิธีการทางสถิติ (Statistical methods)

### 2.4.1 ฟังก์ชันพหุนามกำลังสาม (Cubic Spline)

ฟังก์ชัน Spline ใช้เพื่อหารูปแบบและแนวโน้มตามฤดูกาลของฝุ่นมลพิษ วิธีหนึ่งที่ยอมรับใช้กับความกว้างของข้อมูล คือ แบ่งช่วงทั้งหมดออกเป็นช่วงย่อย ๆ แล้วสร้างพหุนามประจำแต่ละช่วงย่อย เรียกว่า “การประมาณโดยพหุนามเป็นช่วง ๆ” การประมาณโดยพหุนามเป็นช่วง ๆ ที่พบบ่อยที่สุดคือการใช้พหุนามกำลังสามระหว่างคู่ของจุดด้วยเส้นโค้งกำลังสาม เรียกว่า “Spline กำลังสาม” (Wongsai and Huete, 2017) ดังสมการ (1)

$$S_i = a + bt + \sum_{k=1}^p C_k(t - t_k)_+^3 \quad (1)$$

โดยที่  $S_i$  คือฟังก์ชัน spline,  $a$   $b$  และ  $C_k$  คือพารามิเตอร์ในตัวแบบ,  $k$  คือ ที่ตั้งของจุด,  $t$  คือ เวลาเป็นวัน,  $t_1 < t_2 < \dots < t_p$  คือ จุดที่ระบุ และ  $(t - t_k)_+$  หมายความว่า  $(t - t_k)$  เป็นบวกสำหรับ  $(t > t_k)$  และเป็นศูนย์

#### 2.4.2 วิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา ในเบื้องต้นจะทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรในตัวแบบที่ใช้ในการศึกษา เพื่อป้องกันการเกิด Multicollinearity คือ การมีสหสัมพันธ์กันเองระหว่างตัวแปรอิสระมากกว่า 2 ตัว ซึ่งการที่ตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์กันในระดับที่สูง อาจส่งผลให้สมการตัวแบบที่ใช้ในการทำนายตัวแปรตามมีความคลาดเคลื่อน ดังนั้นจึงต้องตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระเพื่อให้แน่ใจว่าตัวแปรอิสระสามารถคงอยู่ในสมการตัวแบบได้โดยกำหนดสมมติฐานทาง สถิติได้ดังนี้

$H_0$  : ตัวแปรสองตัวไม่มีความสัมพันธ์กัน

$H_1$  : ตัวแปรสองตัวมีความสัมพันธ์กัน

ระดับความสัมพันธ์ของตัวแปรโดยจะพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ตามเกณฑ์ต่อไปนี้ (โอโนทัย ตรีวานิช, 2552) เมื่อ  $R^2$  แทนค่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

$R^2 < 0.20$	หมายถึง	ระดับความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรน้อย
$0.21 < R^2 \leq 0.40$	หมายถึง	ระดับความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรค่อนข้างน้อย
$0.41 < R^2 \leq 0.60$	หมายถึง	ระดับความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรปานกลาง
$0.61 < R^2 \leq 0.80$	หมายถึง	ระดับความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรค่อนข้างมาก
$R^2 > 0.80$	หมายถึง	ระดับความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรมาก

#### 2.4.3 ตัวแบบ Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA)

ตัวแบบ ARIMA ได้มีการศึกษาโดย Gorge Box และ Gwilym Jenkins (1976) เป็นตัวแบบที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลอนุกรมเวลาด้วยวิธีการ Box and Jenkins อาศัยความสัมพันธ์จากข้อมูลในอดีตเพื่อหาตัวแบบแสดงพฤติกรรมของข้อมูลและใช้เป็นแนวทางในการทำนายพฤติกรรมในอนาคต เป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพสูงสำหรับการทำนายในระยะสั้น ตัวแบบ ARIMA มีข้อสมมติว่าค่าปัจจุบันของค่าสังเกตเป็นฟังก์ชันเชิงเส้นของค่าสังเกตและค่าความคลาดเคลื่อนสุ่มในอดีต ต้องมีคุณสมบัติคงที่ (Stationary) คือ มีค่าเฉลี่ยหรือค่าความคาดหวัง (Mean or Expected Value) ค่า

ความแปรปรวน (Variance) และค่าความแปรปรวนร่วม (Covariance) คงที่ การทดสอบความเป็น Stationary ของข้อมูลมีหลายวิธี เช่น วิธี Dickey Fuller (DF), Augmented Dickey and Fuller (ADF) เป็นต้น (Suthichaimethee, 2011) ดังสมการที่ (2)

$$\Delta_d y_t = \delta + \phi_1 \Delta_d y_{t-1} + \dots + \phi_p \Delta_d y_{t-p} + \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - \dots - \theta_q \varepsilon_{t-q} \quad (2)$$

โดยที่  $y_t$  คือ ค่าสังเกตที่อนุกรมเวลาที่เวลา  $t$ ,  $\Delta_d$  คือ ผลต่างอันดับที่  $d$ ,  $\delta$  คือ ค่าคงที่ใน ตัวแบบ (Constant Term),  $\phi_p$  ( $p = 1, 2, \dots, p$ ) คือ พารามิเตอร์ของ Auto Regressive ที่อันดับ  $p$ ,  $\theta_q$  ( $q = 1, 2, \dots, q$ ) คือ พารามิเตอร์ของ Moving Average ที่อันดับ  $q$  และ  $\varepsilon_t$  คือ ค่าความคลาดเคลื่อนสุ่มที่เวลาที่  $t$  ซึ่งมีข้อสมมติว่า  $\varepsilon_t$  เป็นตัวแปรสุ่มที่เป็นอิสระกัน, มีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ และมีค่าความแปรปรวนคงที่

การตรวจสอบคุณสมบัติ stationary ด้วยวิธี Dickey Fuller คุณสมบัติมีความนิ่ง (stationary) เป็นส่วนหนึ่งของตัวแบบ ARIMA เรียกว่า กระบวนการ Integrated (I(d)) กรณีข้อมูลมีคุณสมบัติ stationary จะได้ ตัวแบบ ARIMA(p,1,q) หากข้อมูลอนุกรมเวลามีสมบัติ nonstationary จะต้องทำการปรับข้อมูลให้มีสมบัติ stationary โดยการแปลงด้วย natural logarithms ซึ่ง RIMA(p,d,q) ประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก ๆ ได้แก่ ตัวแบบ Auto Regressive (AR(p)) ประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก ๆ ได้แก่ ตัวแบบ Auto Regressive (AR(p)) กระบวนการ Integrated (I(d)) และตัวแบบ Moving Average (MA(q))

#### 2.4.4 ตัวแบบ Autoregressive Moving Average with Exogenous Variable (ARIMAX)

การวิจัยเชิงปริมาณจะใช้แบบจำลอง Autoregressive Integrated Moving Average with Exogenous variable: ARIMAX (p,d,q,r) เป็นวิธีการที่พัฒนาแนวคิดของ Box and Jenkins โดยข้อมูลที่นำมาใช้จะต้องมีลักษณะนิ่ง (Stationary) ดังนั้น จึงต้องมีการตรวจสอบคุณสมบัติของ ข้อมูลก่อนที่จะหารูปแบบจำลองที่เหมาะสมการตรวจสอบคุณสมบัติ stationary ด้วยวิธี Dickey Fuller ( $H_0 = \text{Non stationary}$ ) ซึ่งเป็นการผสมผสานของแบบจำลอง ARIMA (Autoregressive Integrated Average) กับปัจจัยอื่นที่น่าจะมีอิทธิพลต่อค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 และ PM10 ดังนี้

$$PM = f(\text{Day, Year, Temp, RH, P, WS, AR}(p), \text{MA}(q)) \quad (3)$$

โดยที่ PM คือ ค่าความเข้มข้นฝุ่นละออง PM2.5 กับ PM10



Day คือ วัน

Year คือ ปี

Temp คือ อุณหภูมิ (Temperature)

RH คือ ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity)

P คือ ความกดอากาศ (Pressure)

WS คือ ความเร็วลม (Wind speed)

AR (p) คือ Auto Regressive process แสดงว่าข้อมูลอนุกรมเวลาขึ้นอยู่กับค่าของตัวมันเองในอดีต โดย p คือ จำนวนระยะห่าง (lag) ของข้อมูลในอดีตจากข้อมูลปัจจุบัน

MA (q) คือ Moving Average process แสดงว่าข้อมูลอนุกรมเวลาขึ้นอยู่กับความคลาดเคลื่อนที่อยู่ก่อนหน้า โดย q คือ จำนวนระยะห่าง (lag) ของค่าความคลาดเคลื่อนในอดีตจากปัจจุบัน

#### 2.4.5 ตัวแบบการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ (Multiple Linear Regression: MLR)

การวิเคราะห์การถดถอยเป็นวิธีการทางสถิติที่ใช้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ (Independent Variable) กับตัวแปรตาม (Dependent Variable) จะเป็นการศึกษาความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง (Linearity) (Rao, 1976) การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระหนึ่งตัวกับตัวแปรตามหนึ่งตัว เรียกว่าการวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้นเชิงเดี่ยวหรือการวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear Regression Analysis) กรณีตัวแปรอิสระมีมากกว่าหนึ่งตัวกับตัวแปรตามหนึ่งตัว เรียกว่า การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ (Multiple Linear Regression) โดยการคำนวณจากค่า  $x$  และ  $y$  ที่มีความสัมพันธ์กัน สมการของ Linear Regression คือ

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n + \varepsilon \quad (4)$$

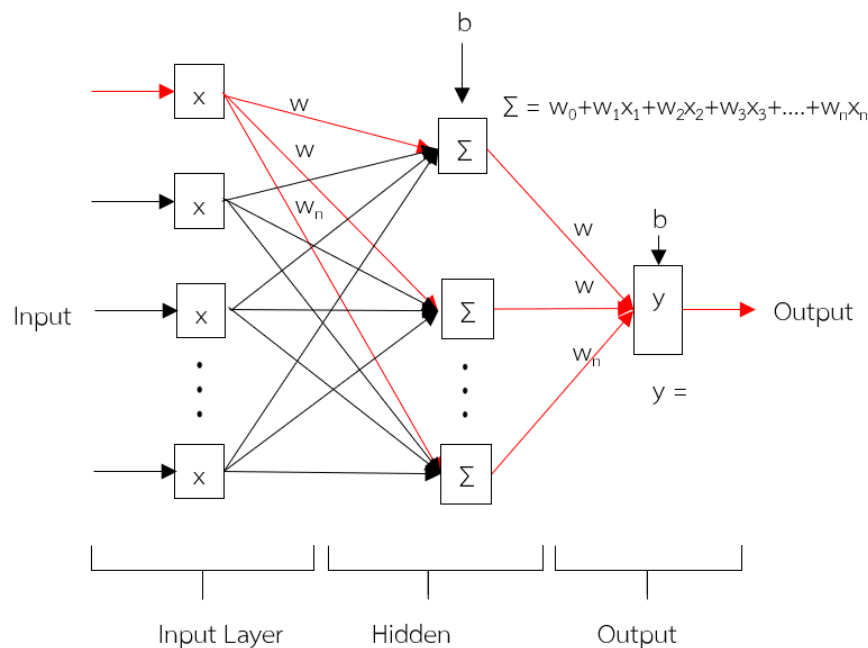
โดยที่  $Y$  คือ ค่าของตัวแปรตาม  $X_n$  คือ ค่าของตัวแปรอิสระในลำดับที่  $n=1,2,3,4,5,6,7$   $\beta_0$  คือ ค่าคงที่ (Constant) ของสมการถดถอย  $\beta_n$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (Regression Coefficient) และ  $\varepsilon$  คือ ความคลาดเคลื่อน (random error) โดยที่ตัวแปรอิสระ ได้แก่ วัน ปี อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความกดอากาศ และความเร็วลม และตัวแปรตาม ได้แก่ ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 และ PM10

## 2.4.6 ตัวแบบโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks: ANN)

วิธีการสร้างตัวแบบข้อมูล (Data modeling) โดยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมอัจฉริยะ เป็นวิธีการที่มีพื้นฐานมาจากการเลียนแบบการทำงานของสมองมนุษย์ซึ่งประกอบด้วยนิวรอน (Neurons) ที่ใช้ในการเชื่อมโยงเพื่อแก้ปัญหาต่าง ๆ โดยมีโครงสร้างการทำงาน (Zou et al., 2008) ประกอบด้วยข้อมูลเข้า (Input) 1 ชั้น และข้อมูลออก (Output) 1 ค่า เรียกว่าเพอร์เซพตรอน (Perceptron) การประมวลผลต่าง ๆ ของโครงข่ายประสาทเทียมเกิดขึ้นในหน่วยประมวลผลย่อย เรียกว่า โหนด (Node) ซึ่งโหนดเป็นการจำลองลักษณะการทำงานมาจากเซลล์การส่งสัญญาณ ระหว่างโหนดที่เชื่อมต่อกัน จำลองมาจากการเชื่อมต่อของใยประสาท และแกนประสาทในระบบประสาทของสมองมนุษย์ภายใน โหนด จุดเชื่อมต่อแต่ละจุด มีความคล้ายคลึงกับจุดประสานประสาท (Synapses) ในสมอง มีความสามารถในการส่งสัญญาณไปยังเซลล์ประสาทเซลล์อื่น ๆ

$$y = \text{linear}(b + w_1x_1 + w_2x_2 + w_3x_3 + \dots + w_nx_n) \quad (5)$$

โดยที่  $x_n$  คือ ข้อมูลเข้า,  $y$  คือ ข้อมูลออก,  $b$  คือ ค่าความลำเอียง (bias) เพื่อให้ฟังก์ชันกระตุ้น (Activation function) ทำงานได้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น,  $w_n$  คือ ค่าน้ำหนัก



รูปที่ 2.4 การทำงานของโครงข่ายประสาทเทียม

ขั้นตอนการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียม จากภาพที่ 2.4 ประกอบด้วย 3 ส่วน ได้แก่

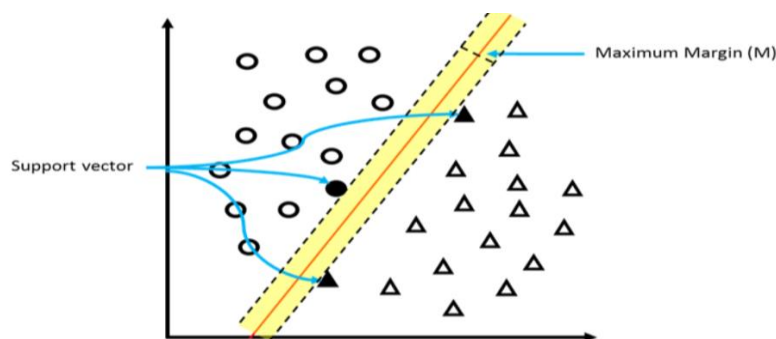
- 1) ชั้นข้อมูลเข้า (Input Layer) ชั้นนี้จะเป็นข้อมูลเข้า จำนวนของโหนดในชั้นนี้ขึ้นอยู่กับจำนวนของข้อมูลเข้าในตัวแบบ ในงานวิจัยนี้มีชั้นข้อมูลตัวแปรที่นำเข้าวิเคราะห์ 6 โหนด ได้แก่ ตัวแปรวัน (Day) ปี (Year) อุณหภูมิ (Temperature) ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) ความกดอากาศ (Pressure) และความเร็วลม (Wind speed)

- 2) ชั้นซ่อน (Hidden Layer) เป็นชั้นที่อยู่ระหว่างกลาง ซึ่งจะมีผลอย่างมากต่อประสิทธิภาพในการ เรียนรู้ของตัวแบบ ซึ่งในชั้นซ่อนนั้นจะมีกี่ชั้นก็ได้ และแต่ละชั้นจะมีจำนวนของนิวรอนจำนวนเท่าไรก็ได้ ซึ่งการเพิ่มชั้นและจำนวนนิวรอนจะส่งผลต่อการทำงานของตัวแบบ

- 3) ชั้นข้อมูลออก (Output Layer) ชั้นที่จะนำเอาข้อมูลจากการคำนวณไปใช้ และจำนวนของโหนดในชั้นนี้ขึ้นอยู่กับรูปแบบของข้อมูลออก ข้อมูลที่ได้จากตัวแบบเป็นข้อมูลเชิงเส้น (Linear Regression)

#### 2.4.7 ตัวแบบซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machines: SVM)

เป็นอัลกอริทึมที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลและจำแนกข้อมูล โดยอาศัยหลักการของการหา สัมประสิทธิ์ของสมการเพื่อสร้างเส้นแบ่งแยกกลุ่มข้อมูลที่ถูกป้อนเข้าสู่กระบวนการสอนให้ระบบ เรียนรู้ โดยเน้นไปยังเส้นแบ่งแยกกลุ่มข้อมูลได้ดีที่สุด (Vapnik 1998; Zhang et al. 2015; Niu et al. 2016; Tao et al. 2019) วิธีการที่ใช้ในการหาเส้นแบ่งที่ดีที่สุดคือการเพิ่มเส้นขอบ (margin) ให้กับเส้นที่แบ่งทั้งสองข้างและสร้างเส้นขอบที่สัมผัสกับค่าข้อมูลใน feature space ที่ใกล้ที่สุด ดังนั้นเส้นแบ่งที่มีเส้นขอบกว้างที่สุดจึงเป็นเส้นแบ่งที่ดีที่สุดและเรียกตำแหน่งการสัมผัสข้อมูลที่ใกล้ ที่สุดจากการเพิ่มขอบนี้ว่า “ซัพพอร์ตเวกเตอร์” (support vector) เนื่องจากในบางกรณีการแบ่งแยก กลุ่มไม่สามารถทำได้ถูกต้องโดยสมบูรณ์ ตามรูปที่ 2.5



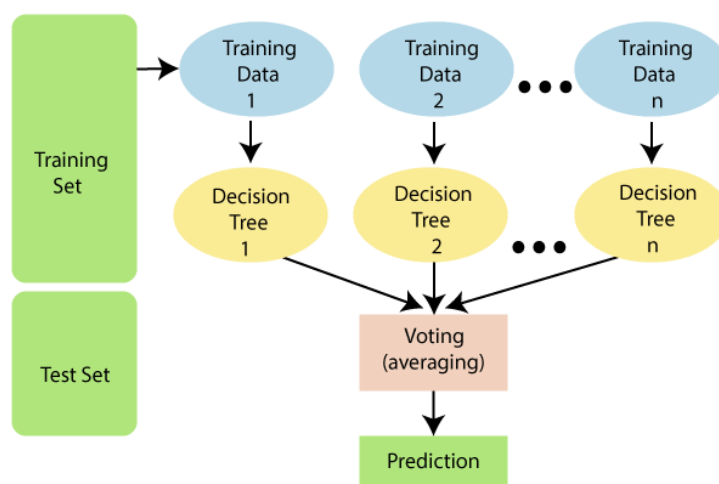
รูปที่ 2.5 ตัวอย่างของตัวแบบจำแนก SVM

ที่มา : <https://knowledge.snru.ac.th/ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน>

## 2.4.8 ตัวแบบการสุ่มป่าไม้ (Random Forest: RF)

เป็นเทคนิคที่ทำการสุ่มเลือกคุณสมบัติออกมาจากจากชุดข้อมูลหลายๆชุด จากนั้นนำเอาชุดของคุณสมบัติเหล่านั้นมาสร้างตัวแบบด้วยเทคนิคต้นไม้ตัดสินใจหลายๆต้น โดยเทคนิคการสุ่มป่าไม้ได้ถูกเสนอครั้งแรกในปี ค.ศ. 1995 โดย Tin Kam

หลักการทำ Random Forest คือ 1.) sample ข้อมูล (bootstrapping) จาก data set ทั้งหมด ให้ได้ข้อมูลออกมา n ชุด ที่ไม่เหมือนกัน ตามจำนวน Decision Tree ใน Random Forest 2.) สร้าง model Decision Tree สำหรับแต่ละชุดข้อมูล และ 3.) ทำ aggregation ผลลัพธ์ในแต่ละ model จากการหาค่าเฉลี่ยในกรณีวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression)



รูปที่ 2.6 หลักการทำ Random Forest

ที่มา : <https://www.javatpoint.com/machine-learning-random-forest-algorithm>

## 2.4.9 เกณฑ์การประเมินตัวแบบ

1.) พิจารณาจากเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE) เกณฑ์ค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAE) เกณฑ์รากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) ที่มีค่าน้อยที่สุด ดังสมการต่อไปนี้

$$MAPE = \frac{100}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{e_t}{Y_t} \right| \quad (6)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |e_t| \quad (7)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n e_t^2} \quad (8)$$

2.) แผนภาพกระจายระหว่างส่วนเหลือกับค่าทำนาย พิจารณาจากค่า  $R^2$  (R-Squared) มีช่วงอยู่ระหว่าง 0 (ไม่สามารถอธิบายความผันแปรของข้อมูลได้) กับ 1 (สามารถอธิบายรูปแบบข้อมูลได้ครบถ้วน)

$$R^2 = 1 - \frac{SSE}{SST}, 0 \leq R^2 \leq 1 \quad (9)$$

การประเมินตัวแบบเพื่อเปรียบเทียบความแม่นยำการทำนายของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 และฝุ่น PM10 ระหว่างวิธีอาร์มีมาและวิธีการเรียนรู้ด้วยเครื่องในแต่ละขั้นตอนทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรม R เวอร์ชัน 4.3.0 ซึ่งแต่ละตัวแบบมีการเรียกใช้ Library ดังนี้

ตัวแบบ	Library (package)
ARIMA, ARIMAX, MLR	library(forecast) library(tseries)
ANN	library(forecast) library(caret) library(nnet)
SVM	library(caret) library(e1071) library(ModelMetrics)
RF	library(randomForest)

## บทที่ 3

### ผลและการวิเคราะห์

บทนี้แสดงรายละเอียดเกี่ยวกับผลการวิเคราะห์รูปแบบและแนวโน้มความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศของฝุ่นละออง PM2.5 และ PM10 ในประเทศไทย และการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำนายแนวโน้มความเข้มข้นมลพิษทางอากาศของฝุ่นละออง PM2.5 และ PM10 ในปี พ.ศ. 2553-2564 ในประเทศไทยระหว่างวิธี ARIMA และวิธีการเรียนรู้ด้วยเครื่อง มีผลการศึกษาดังนี้

3.1 ผลการวิเคราะห์ด้วยสถิติเชิงพรรณนาค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 ฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM10 อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความกดอากาศ และความเร็วลม

3.2 แนวโน้มของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 และฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM10 แยกตามฤดูกาล

3.3 แนวโน้มของของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 ฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM10 แยกตามปี

3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 และฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM10 อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความกดอากาศ และความเร็วลม

3.5 ประสิทธิภาพการทำนายความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 และฝุ่น PM10 ระหว่างวิธีอาร์มา ได้แก่ ตัวแบบ ARIMA และตัวแบบ ARIMAX และวิธีการเรียนรู้ด้วยเครื่อง ได้แก่ ตัวแบบ MLR ANN SVM และ RF

### 3.1 ผลการวิเคราะห์ด้วยสถิติเชิงพรรณนาค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 PM10 อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความกดอากาศ และความเร็วลม

ตาราง 3.1 ข้อมูลสถิติเชิงพรรณนาของ PM2.5 PM10 อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความกดอากาศ และความเร็วลม ของภาคเหนือ ในปี พ.ศ. 2553 - 2564

ตัวแปร	เชียงใหม่			ลำปาง			น่าน			ภาคเหนือ		
	Min.	Max.	Mean ± S.D.	Min.	Max.	Mean ± S.D.	Min.	Max.	Mean ± S.D.	Min.	Max.	Mean ± S.D.
PM2.5	3.25	266.17	28.77±25.79	1.75	186.50	27.13±23.92	1.85	262.21	22.36±27.40	1.75	266.17	36.70±25.72
PM10	5.30	295.96	45.07±31.07	3.33	265.25	44.87±31.74	3.19	307.92	38.60±33.84	3.19	307.92	42.86±32.37
Temperature	10.13	36.85	27.66±3.11	9.11	36.27	25.93±3.14	6.89	33.56	25.08±3.41	6.89	36.85	26.21±3.39
Relative Humidity	3.13	98.92	66.52±14.18	16.25	100.00	77.54±13.86	31.00	100.00	78.71±10.88	3.13	100.00	74.54±14.09
Pressure	720.70	735.70	728±2.68	716.00	981.00	808.3±111.36	612.00	752.40	723.80±13.18	612.00	981.00	761.10±84.56
Wind speed	0.00	5.16	1.06±0.85	0.01	2.88	0.68±0.47	0.09	2.46	0.89±0.38	0.00	5.16	0.88±0.62

ตาราง 3.2 ข้อมูลสถิติเชิงพรรณนาของ PM2.5 PM10 อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความกดอากาศ และความเร็วลม ของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ในปี พ.ศ. 2553 - 2564

ตัวแปร	ขอนแก่น			นครราชสีมา			อุบลราชธานี			ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ		
	Min.	Max.	Mean ± S.D.	Min.	Max.	Mean ± S.D.	Min.	Max.	Mean ± S.D.	Min.	Max.	Mean ± S.D.
PM2.5	4.71	117.46	31.68±19.51	7.00	81.67	35.54±15.15	3.38	161.00	25.16±26.24	3.38	161.00	29.30±20.15
PM10	5.75	171.32	47.33±26.38	8.00	168.21	50.57±24.83	6.96	219.38	41.45±34.21	5.75	219.38	48.28±26.57
Temperature	0.26	51.32	28.05±2.99	14.69	41.33	28.08±2.82	15.97	64.81	27.61±3.12	0.26	51.32	28.08±2.93
Relative Humidity	32.42	92.00	66.06±11.13	13.92	100.00	65.72±16.99	44.50	97.79	68.47±10.81	13.92	100.00	66.15±15.13
Pressure	737.00	751.80	745.6±2.17	577.00	827.00	737.7±16.02	738.30	752.30	745.5±2.32	577.00	827.00	740.40±13.49
Wind speed	0.13	2.29	0.86±0.35	0.04	3.04	1.13±0.54	0.00	3.62	1.40±0.66	0.00	3.65	1.02±0.50

ตาราง 3.3 ข้อมูลสถิติเชิงพรรณนาของ PM2.5 PM10 อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความกดอากาศ และความเร็วลม ของภาคกลาง ในปี พ.ศ. 2553 - 2564

ตัวแปร	สระบุรี			ระยอง			กรุงเทพฯ			ภาคกลาง		
	Min.	Max.	Mean ± S.D.	Min.	Max.	Mean ± S.D.	Min.	Max.	Mean ± S.D.	Min.	Max.	Mean ± S.D.
PM2.5	6.11	139.83	35.53±19.19	2.96	98.17	18.65±12.49	3.38	96.83	20.83±12.06	2.96	139.83	27.13±17.58
PM10	17.12	357.89	101.64±51.05	4.00	208.54	43.41±24.74	2.00	146.21	36.64±19.19	2.00	357.89	61.04±45.54
Temperature	16.02	35.19	28.62±2.06	21.21	36.34	28.98±1.84	17.27	37.26	28.72±1.95	16.02	37.26	28.77±1.96
Relative Humidity	28.96	99.71	68.28±11.75	39.33	99.00	75.54±9.08	35.38	99.70	69.65±10.69	28.96	99.71	71.24±11.01
Pressure	680.50	763.00	752.7±5.94	707.10	772.20	758.6±4.25	747.20	762.80	755.2±2.04	680.50	772.20	755.50±5.06
Wind speed	0.09	5.46	1.45±0.62	0.23	4.66	1.97±0.76	0.10	2.29	0.65±0.31	0.09	5.46	1.36±0.80

ตาราง 3.4 ข้อมูลสถิติเชิงพรรณนาของ PM2.5 PM10 อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความกดอากาศ และความเร็วลม ของภาคใต้ ในปี พ.ศ. 2553 - 2564

ตัวแปร	สุราษฎร์ธานี			สงขลา			ยะลา			ภาคใต้		
	Min.	Max.	Mean ± S.D.	Min.	Max.	Mean ± S.D.	Min.	Max.	Mean ± S.D.	Min.	Max.	Mean ± S.D.
PM2.5	4.42	43.50	16.23±6.48	3.95	86.04	30.25±12.66	2.42	68.92	17.15±7.03	2.42	86.04	23.57±12.22
PM10	6.52	152.74	33.45±12.31	8.13	322.50	36.61±14.18	3.80	178.59	28.67±12.04	3.80	322.50	32.91±13.37
Temperature	21.85	41.76	27.67±1.86	2.36	99.00	50.32±23.34	20.82	33.39	27.42±1.61	2.36	99.00	35.47±17.60
Relative Humidity	1.00	100.00	80.38±7.88	34.63	780.33	405.12±340.94	42.46	99.00	74.88±8.72	1.00	780.33	191.24±254.59
Pressure	749.90	761.50	754.4±1.76	3.00	771.42	400.43±370.32	728.20	757.70	752.6±5.51	3.00	771.40	592.20±306.17
Wind speed	0.20	3.86	0.89±0.41	0.24	43.63	14.43±13.66	0.05	4.65	0.85±0.47	0.05	43.63	5.74±10.46



ข้อมูลสถิติเชิงพรรณนาของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM<sub>2.5</sub> ฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM<sub>10</sub> อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความกดอากาศ และความเร็วลม ในปี พ.ศ. 2553 ถึง พ.ศ. 2564 ทั้ง 4 ภาค ได้แก่ ภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง และภาคใต้ ในประเทศไทย พบว่า

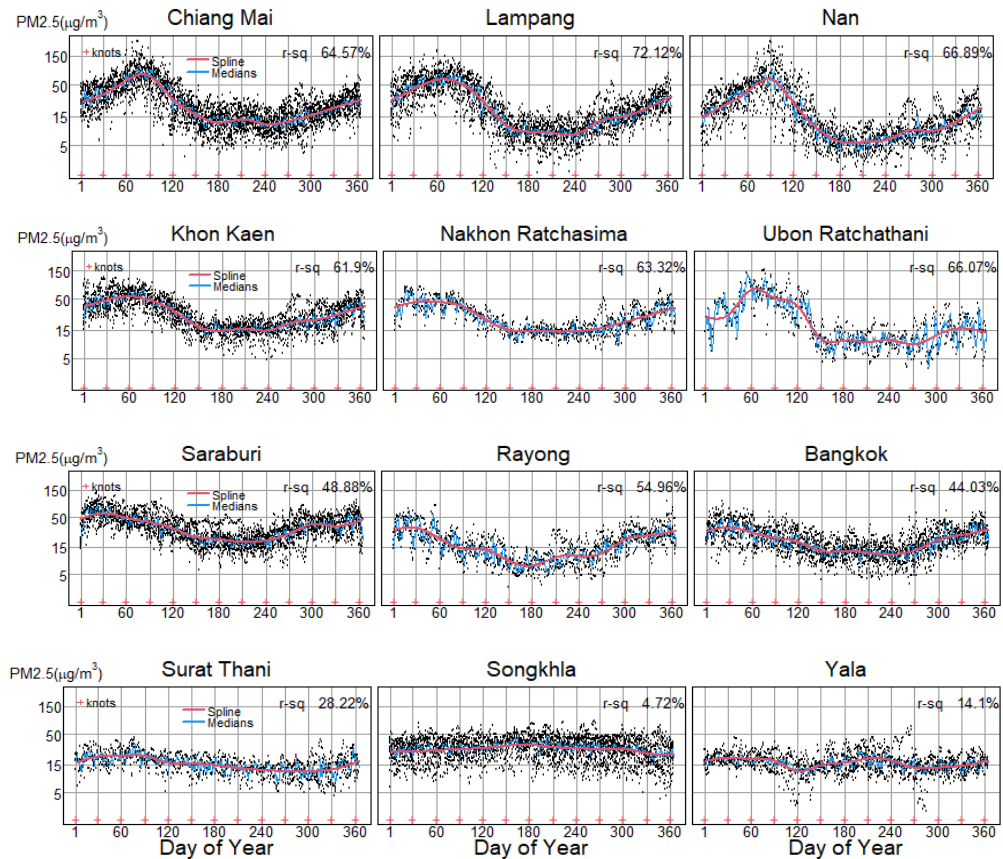
ภาคเหนือมีค่าฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM<sub>2.5</sub> เฉลี่ยต่อปีอยู่ที่ 36.70 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (S.D. = 25.72) มีค่าฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM<sub>10</sub> เฉลี่ยต่อปีอยู่ที่ 42.86 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (S.D. = 32.37) มีอุณหภูมิเฉลี่ยต่อปีอยู่ที่ 26.21 องศาเซลเซียส (S.D. = 3.39) มีค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยต่อปีอยู่ที่ 74.54 เปอร์เซ็นต์ (S.D. = 14.09) ความกดอากาศเฉลี่ยต่อปีอยู่ที่ 761.10 มิลลิบาร์ (S.D. = 84.56) และความเร็วลมเฉลี่ยต่อปีอยู่ที่ 0.88 เมตรต่อวินาที (S.D. = 0.62)

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีค่าฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM<sub>2.5</sub> เฉลี่ยต่อปีอยู่ที่ 29.30 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (S.D. = 20.15) มีค่าฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM<sub>10</sub> เฉลี่ยต่อปีอยู่ที่ 48.28 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (S.D. = 26.57) มีอุณหภูมิเฉลี่ยต่อปีอยู่ที่ 28.08 องศาเซลเซียส (S.D. = 2.93) มีค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยต่อปีอยู่ที่ 66.15 เปอร์เซ็นต์ (S.D. = 15.13) ความกดอากาศเฉลี่ยต่อปีอยู่ที่ 740.42 มิลลิบาร์ (S.D. = 13.49) และความเร็วลมเฉลี่ยต่อปีอยู่ที่ 1.02 เมตรต่อวินาที (S.D. = 0.52)

ภาคกลางมีค่าฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM<sub>2.5</sub> เฉลี่ยต่อปีอยู่ที่ 27.13 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (S.D. = 17.58) มีค่าฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM<sub>10</sub> เฉลี่ยต่อปีอยู่ที่ 61.04 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (S.D. = 45.54) มีอุณหภูมิเฉลี่ยต่อปีอยู่ที่ 28.77 องศาเซลเซียส (S.D. = 1.96) มีค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยต่อปีอยู่ที่ 71.24 เปอร์เซ็นต์ (S.D. = 11.01) ความกดอากาศเฉลี่ยต่อปีอยู่ที่ 755.50 มิลลิบาร์ (S.D. = 5.06) และความเร็วลมเฉลี่ยต่อปีอยู่ที่ 1.36 เมตรต่อวินาที (S.D. = 0.80)

ภาคใต้มีค่าฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM<sub>2.5</sub> เฉลี่ยต่อปีอยู่ที่ 23.57 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (S.D. = 12.22) มีค่าฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM<sub>10</sub> เฉลี่ยต่อปีอยู่ที่ 32.91 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (S.D. = 13.37) มีอุณหภูมิเฉลี่ยต่อปีอยู่ที่ 35.47 องศาเซลเซียส (S.D. = 17.60) มีค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยต่อปีอยู่ที่ 191.24 เปอร์เซ็นต์ (S.D. = 254.59) ความกดอากาศเฉลี่ยต่อปีอยู่ที่ 592.20 มิลลิบาร์ (S.D. = 306.17) และความเร็วลมเฉลี่ยต่อปีอยู่ที่ 5.74 เมตรต่อวินาที (S.D. = 10.46)

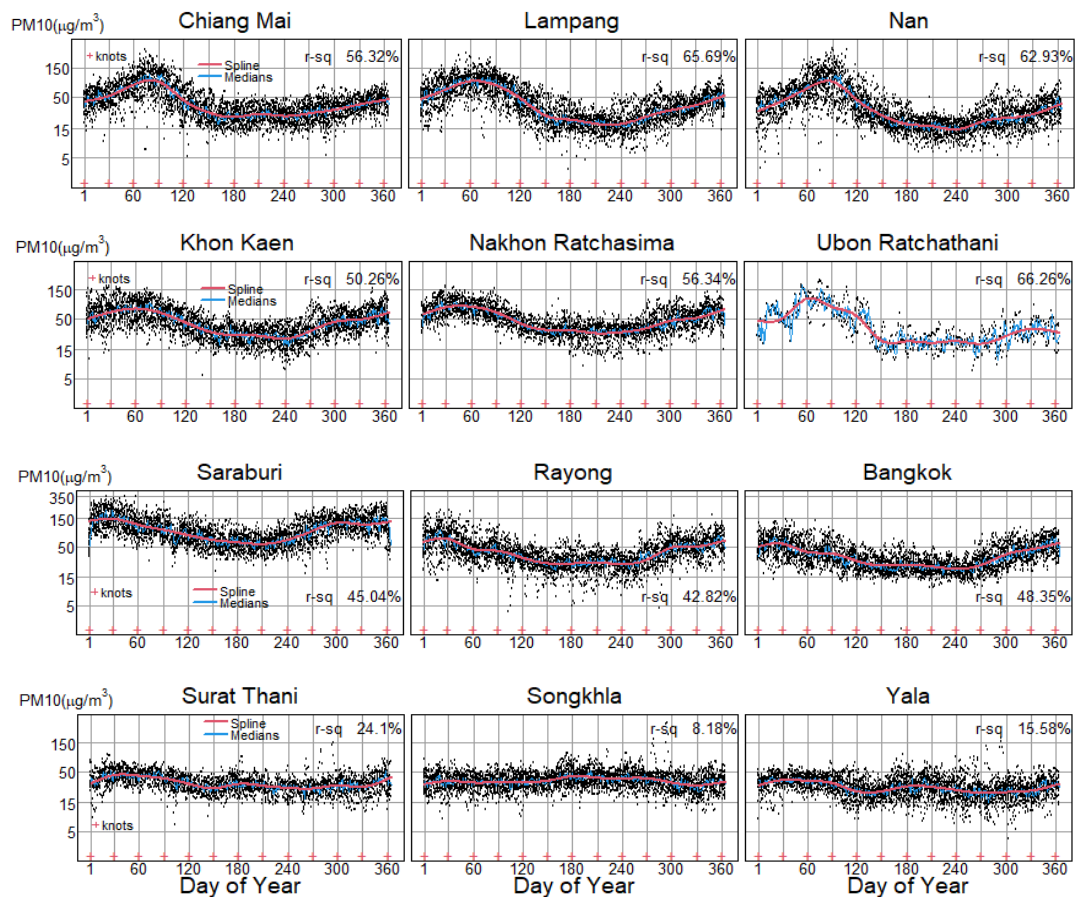
### 3.2 แนวโน้มของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 และฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM10 แยกตามฤดูกาล



รูปที่ 3.1 แสดงแนวโน้มของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 ในแต่ละสถานีตรวจวัด

รูปที่ 3.1 แสดงแนวโน้มค่าความเข้มข้นของฝุ่น PM2.5 ในช่วงปี 2543-2563 แกน X คือ จำนวนวันใน 1 ปี และแกน Y คือ ค่าความเข้มข้นของ PM2.5 เส้นสีน้ำเงินคือค่ามัธยฐานของข้อมูล เส้นสีแดง คือ ค่าความเข้มข้นของ PM2.5 ที่ได้จากการทำนายด้วยฟังก์ชัน cubic spline พบว่า จังหวัดเชียงใหม่และจังหวัดลำปางมีแนวโน้มความเข้มข้นของ PM2.5 สูงในช่วงเดือนมีนาคม ( $R^2=64.57\%$ ,  $R^2=72.12\%$ ) จังหวัดน่านมีแนวโน้มความเข้มข้นของ PM2.5 สูงในช่วงปลายเดือนมีนาคมถึงต้นเดือนเมษายน ( $R^2=66.89\%$ ) จังหวัดขอนแก่นมีแนวโน้มความเข้มข้นของ PM2.5 สูงเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนมีนาคม ( $R^2=61.90\%$ ) ความเข้มข้น PM2.5 ในจังหวัดนครราชสีมามีความเข้มข้นสูงในเดือนมกราคมถึงต้นเดือนมีนาคม ( $R^2=63.32\%$ ) จังหวัดอุบลราชธานีมีแนวโน้มความเข้มข้นของ PM2.5 สูงปลายเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนมีนาคม ( $R^2=66.07\%$ ) จังหวัดสระบุรีมีแนวโน้มความเข้มข้นของ PM2.5 สูงเดือนธันวาคมถึงเดือนมีนาคม ( $R^2=48.88\%$ ) จังหวัดระยองมีแนวโน้มความ

เข้มข้นของ PM2.5 สูงเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนกุมภาพันธ์ ( $R^2= 54.96\%$ ) กรุงเทพมหานครมีแนวโน้มความเข้มข้นของ PM2.5 สูงเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนกุมภาพันธ์ ( $R^2= 44.03\%$ ) และไม่พบรูปแบบตามฤดูกาลในจังหวัดสุราษฎร์ธานี ( $R^2= 28.22\%$ ) จังหวัดสงขลา ( $R^2= 4.72\%$ ) และจังหวัดยะลา ( $R^2= 14.10\%$ )



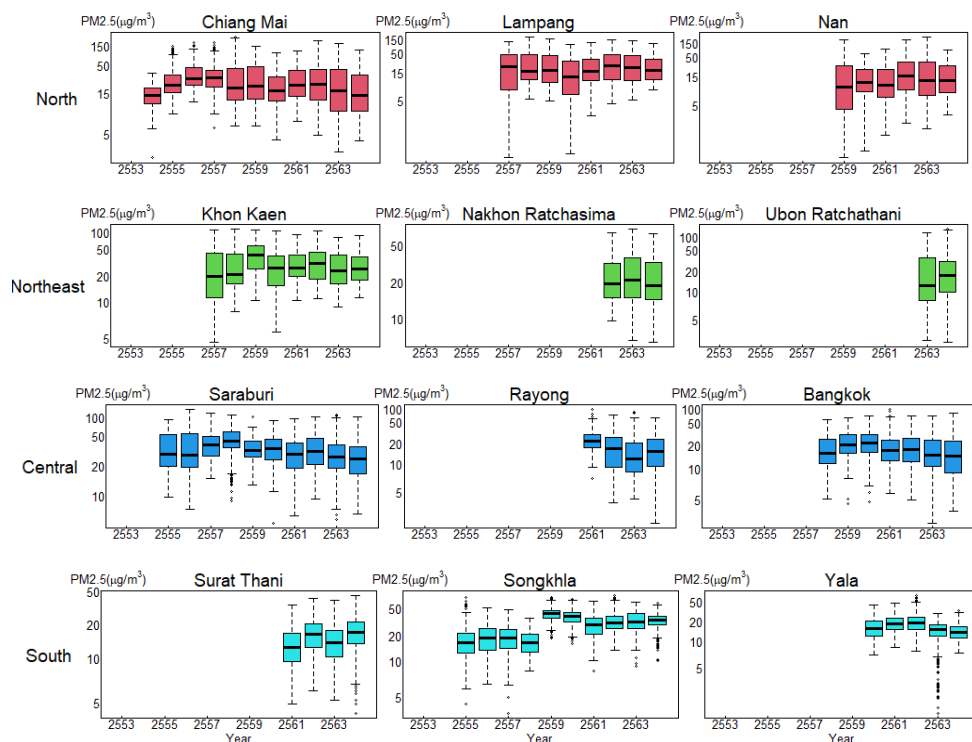
รูปที่ 3.2 แสดงแนวโน้มของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM10 ในแต่ละสถานีตรวจวัด

รูปที่ 3.2 แสดงแนวโน้มค่าความเข้มข้นของฝุ่น PM10 ในช่วงปี 2543-2563 แกน X คือ จำนวนวันใน 1 ปี และแกน Y คือ ค่าความเข้มข้น PM10 เส้นสีน้ำเงินคือค่ามัธยฐานของข้อมูล เส้นสีแดง คือ ความเข้มข้นของ PM10 ที่ได้จากการทำนายจากฟังก์ชัน cubic spline พบว่า จังหวัดเชียงใหม่และจังหวัดลำปางมีแนวโน้มความเข้มข้นของ PM10 สูงในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนเมษายน ( $R^2= 56.32\%$ ,  $R^2= 65.69\%$ ) จังหวัดน่านมีแนวโน้มความเข้มข้นของ PM10 สูงในเดือนมีนาคมถึงเดือนเมษายน ( $R^2= 62.93\%$ ) จังหวัดขอนแก่นมีแนวโน้มความเข้มข้นของ PM10 สูงเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนมีนาคม ( $R^2= 50.26\%$ ) ความเข้มข้น PM10 ในจังหวัดนครราชสีมามีความเข้มข้น

สูงช่วงปลายเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนมีนาคม ( $R^2= 56.34\%$ ) จังหวัดอุบลราชธานีมีแนวโน้มความเข้มข้นของ PM10 สูงปลายเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนมีนาคม ( $R^2= 66.26\%$ ) จังหวัดสระบุรีมีแนวโน้มความเข้มข้นของ PM10 สูงเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนมีนาคม ( $R^2= 45.04\%$ ) จังหวัดระยองมีแนวโน้มความเข้มข้นของ PM2.5 สูงเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนกุมภาพันธ์ ( $R^2= 42.82\%$ ) กรุงเทพมหานครมีแนวโน้มความเข้มข้นของ PM2.5 สูงเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนกุมภาพันธ์ ( $R^2= 48.35\%$ ) และไม่พบรูปแบบตามฤดูกาลในจังหวัดสุราษฎร์ธานี ( $R^2= 24.10\%$ ) จังหวัดสงขลา ( $R^2= 8.18\%$ ) และจังหวัดยะลา ( $R^2= 15.58\%$ )

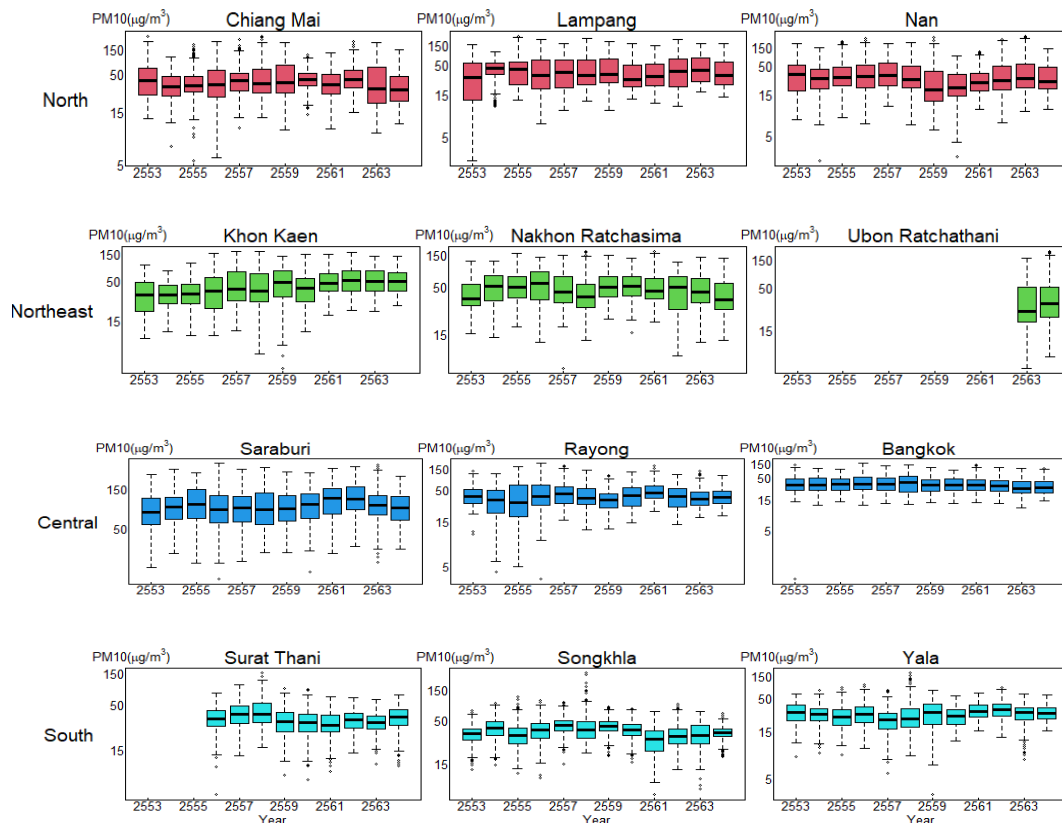
### 3.3 แนวโน้มของของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 และฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM10 แยกตามปี

จากแผนภาพกล่อง (Boxplot) แสดงรูปแบบการกระจายค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 และ PM10 แกน X แสดงข้อมูลรายปี พ.ศ. 2553 ถึง 2564 แกน Y แสดงค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 และ PM10 แบ่งตามภูมิภาค เส้นกลางของกราฟ หมายถึง ค่ามัธยฐานและจุดที่อยู่นอกกล่อง หมายถึงค่าผิดปกติหรือค่านอกเกณฑ์ (outlier) ของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 และ PM10 ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แผนภาพแสดงความเข้มข้นของอนุภาคเฉลี่ยต่อวันของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5

จากแผนภาพกล่องแสดงความเข้มข้นของอนุภาคของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 ปี พ.ศ. 2553 – 2564 ในรูปที่ 3.3 พบว่า จังหวัดเชียงใหม่ มีค่ามัธยฐาน (Median) ของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 สูงสุดในปี 2557 (Median = 27.25) รองลงมาปี 2556 (Median = 25.94) และต่ำสุดในปี 2554 (Median = 14.00) จังหวัดลำปาง พบค่ามัธยฐาน (Median) ของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 สูงสุดในปี 2562 (Median = 22.17 ) รองลงมาปี 2563 ( Median = 19.71) และต่ำสุดในปี 2560 (Median = 12.23) จังหวัดน่าน พบค่ามัธยฐาน (Median) ของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 สูงสุดในปี 2562 (Median = 15.65) รองลงมาปี 2563 (Median = 12.32) และต่ำสุดในปี 2559 (Median = 9.25) จังหวัดขอนแก่น พบค่ามัธยฐาน (Median) ของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 สูงสุดในปี 2558 (Median = 40.13) รองลงมาปี 2562 (Median = 29.65) และต่ำสุดในปี 2557 (Median = 19.85) จังหวัดนครราชสีมา พบค่ามัธยฐาน (Median) ของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 สูงสุดในปี 2563 (Median = 20.92) รองลงมาปี 2562 (Median = 19.46) และต่ำสุดในปี 2564 (Median = 18.75) จังหวัดอุบลราชธานี ค่ามัธยฐาน (Median) ของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 ในปี 2563 เท่ากับ 11.83 และค่ามัธยฐาน (Median) ในปี 2564 เท่ากับ 16.79 จังหวัดสระบุรีพบค่ามัธยฐาน (Median) ของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 สูงสุดในปี 2558 (Median = 42.44) รองลงมาปี 2557 (Median = 37.41) และต่ำสุดในปี 2564 (Median = 24.04) จังหวัดระยอง พบค่ามัธยฐาน (Median) ของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 สูงสุดในปี 2561 (Median = 21.54) รองลงมาปี 2562 (Median = 16.04) และต่ำสุดในปี 2563 (Median = 11.75) กรุงเทพมหานคร พบค่ามัธยฐาน (Median) ของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 สูงสุดในปี 2560 (Median = 22.29) รองลงมาปี 2559 (Median = 20.71) และต่ำสุดในปี 2564 (Median = 14.11) จังหวัดสุราษฎร์ธานี พบค่ามัธยฐาน (Median) ของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 สูงสุดในปี 2564 (Median = 16.68) รองลงมาปี 2562 (Median = 16.25) และต่ำสุดในปี 2561 (Median = 12.11) จังหวัดสงขลา พบค่ามัธยฐาน (Median) ของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 สูงสุดในปี 2559 (Median = 41.31) รองลงมาปี 2560 (Median = 36.94) และต่ำสุดในปี 2558 (Median = 16.08) และจังหวัดยะลา พบค่ามัธยฐาน (Median) ของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 สูงสุดในปี 2562 (Median = 19.22) รองลงมาปี 2561 (Median = 18.34) และต่ำสุดในปี 2564 (Median = 13.33)

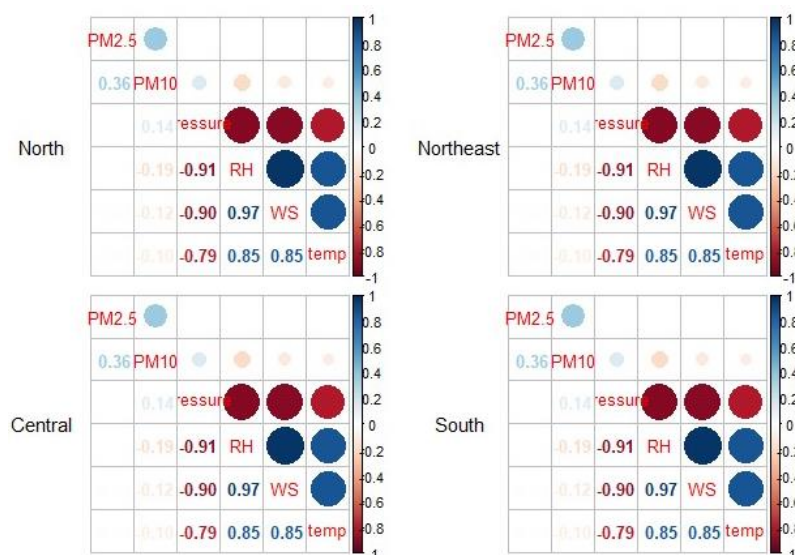


รูปที่ 3.4 แผนภาพแสดงความเข้มข้นของอนุภาคเฉลี่ยต่อวันของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM10

จากแผนภาพกล่องแสดงความเข้มข้นของอนุภาคของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM10 ปี พ.ศ. 2553 – 2564 ในรูปที่ 3.4 จังหวัดเชียงใหม่ พบค่ามัธยฐาน (Median) ของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM10 สูงสุดในปี 2562 (Median = 40.92) รองลงมาปี 2560 (Median = 40.91) และต่ำสุดในปี 2564 (Median = 28.67) จังหวัดลำปาง พบค่ามัธยฐาน (Median) ของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM10 สูงสุดในปี 2554 (Median = 42.67) รองลงมาปี 2555 (Median = 40.63) และต่ำสุดในปี 2553 (Median = 28.77) จังหวัดน่าน พบค่ามัธยฐาน (Median) ของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM10 สูงสุดในปี 2553 (Median = 33.71) รองลงมาปี 2557 (Median = 32.54) และต่ำสุดในปี 2559 (Median = 17.71) จังหวัดขอนแก่น พบค่ามัธยฐาน (Median) ของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM10 สูงสุดในปี 2562 (Median = 51.50) รองลงมาปี 2563 (Median = 49.36) และต่ำสุดในปี 2553 (Median = 30.88) จังหวัดนครราชสีมา พบค่ามัธยฐาน (Median) ของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM10 สูงสุดในปี 2556 (Median = 54.67) รองลงมาปี 2554 (Median = 49.73) และต่ำสุดในปี 2564 (Median = 34.29) จังหวัดอุบลราชธานี พบค่ามัธยฐาน (Median) ของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM10 ในปี 2563 เท่ากับ 24.54 และค่ามัธยฐาน (Median) ในปี 2564 เท่ากับ 30.04 จังหวัดสระบุรี

พบค่ามัธยฐาน (Median) ของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM10 สูงสุดในปี 2561 (Median = 111.83) รองลงมาปี 2562 (Median = 111.33) และต่ำสุดในปี 2553 (Median = 76.21) จังหวัดระยอง พบค่ามัธยฐาน (Median) ของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM10 สูงสุดในปี 2561 (Median = 44.67) รองลงมาปี 2557 (Median = 42.19) และต่ำสุดในปี 2555 (Median = 29.53) กรุงเทพมหานคร พบค่ามัธยฐาน (Median) ของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM10 สูงสุดในปี 2558 (Median = 36.53) รองลงมาปี 2557 (Median = 33.71) และต่ำสุดในปี 2563 (Median = 26.21) จังหวัดสุราษฎร์ธานี พบค่ามัธยฐาน (Median) ของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM10 สูงสุดในปี 2557 (Median = 36.74) รองลงมาปี 2558 (Median = 36.59) และต่ำสุดในปี 2561 (Median = 27.23) จังหวัดสงขลา พบค่ามัธยฐาน (Median) ของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM10 สูงสุดในปี 2557 (Median = 41.92) รองลงมาปี 2559 (Median = 41.31) และต่ำสุดในปี 2561 (Median = 27.67) และจังหวัดยะลา พบค่ามัธยฐาน (Median) ของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM10 สูงสุดในปี 2562 (Median = 31.48) รองลงมาปี 2561 (Median = 29.88) และต่ำสุดในปี 2557 (Median = 21.85)

### 3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 ฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM10 อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความกดอากาศ และความเร็วลม



รูปที่ 3.5 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 ฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM10 อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความกดอากาศ และความเร็วลม

จากรูปที่ 3.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 ฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM10 อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความกดอากาศ และความเร็วลม ในภาคเหนือ ภาค

ตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง และภาคใต้ โดยที่แกน X คือ ตัวแปรฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 ตัวแปรฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM10 ตัวแปรอุณหภูมิ แปรความชื้นสัมพัทธ์ ตัวแปรความกดอากาศ และตัวแปรความเร็วลม แกน Y คือ ระดับความสัมพันธ์ของตัวแปร โดยสีน้ำเงินมีความสัมพันธ์มาก (ทางบวก) ไล่ระดับสีลงมาเป็นสีฟ้าอ่อนมีความสัมพันธ์น้อย (ทางบวก) สีแดงมีความสัมพันธ์มาก (ทางลบ) ไล่ระดับสีลงมาเป็นสีแดงอ่อนมีความสัมพันธ์น้อย (ทางลบ) พบว่าความสัมพันธ์ของตัวแปร PM2.5 กับ PM10 มีความสัมพันธ์ทางบวกในระดับน้อย ( $R^2=0.36$ ) ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรความกดอากาศกับตัวแปรความชื้นสัมพัทธ์และตัวแปรความเร็วลม มีความสัมพันธ์ทางลบในระดับมาก ( $R^2=-0.91$ ,  $R^2=-0.90$ ) ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรความกดอากาศกับตัวแปรอุณหภูมิมีความสัมพันธ์ทางลบในระดับปานกลาง ( $R^2=-0.79$ ) ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรความชื้นสัมพัทธ์กับตัวแปรความเร็วลมและตัวแปรอุณหภูมิ มีความสัมพันธ์ทางบวกในระดับมาก ( $R^2=0.97$ ,  $R^2=0.85$ ) และความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรความเร็วลมกับตัวแปรอุณหภูมิ มีความสัมพันธ์ทางบวกในระดับมาก ( $R^2=0.85$ )

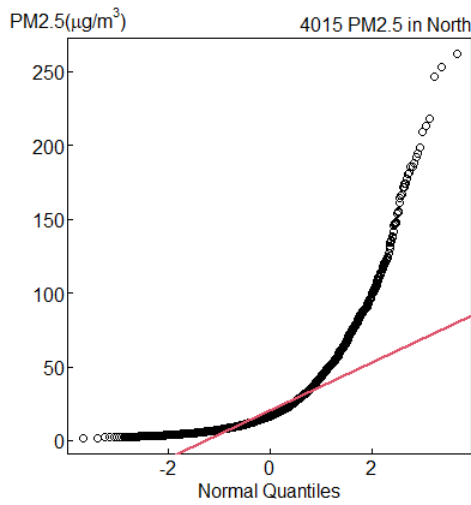
### 3.5 ประสิทธิภาพการทำนายความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 และฝุ่น PM10 ระหว่างวิธีอาร์มาและวิธีการเรียนรู้ด้วยเครื่อง

#### 3.5.1 การแปลงข้อมูลให้มีการแจกแจงแบบปกติ

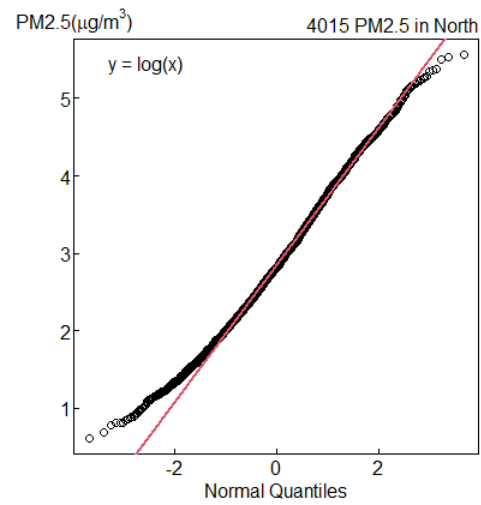
ตารางที่ 3.5 แสดงสมการการแปลงข้อมูลให้มีข้อมูลแจกแจงปกติ และสมการการแปลงค่าข้อมูลกลับ

ภูมิภาค	ฝุ่นละอองขนาดเล็ก (x)	แปลงข้อมูล การแจกแจงแบบ lognormal (y)	การแปลงค่ากลับ
ภาคเหนือ	PM2.5	$y = \log(x)$	$x = \exp(y)$
	PM10	$y = \log(x-3)$	$x = \exp(y)+3$
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	PM2.5	$y = \log(x)$	$x = \exp(y)$
	PM10	$y = \log(x)$	$x = \exp(y)$
ภาคกลาง	PM2.5	$y = \log(x)$	$x = \exp(y)$
	PM10	$y = \log(x-3)$	$x = \exp(y)+3$
ภาคใต้	PM2.5	$y = \log(x)$	$x = \exp(y)$
	PM10	$y = \log(x)$	$x = \exp(y)$

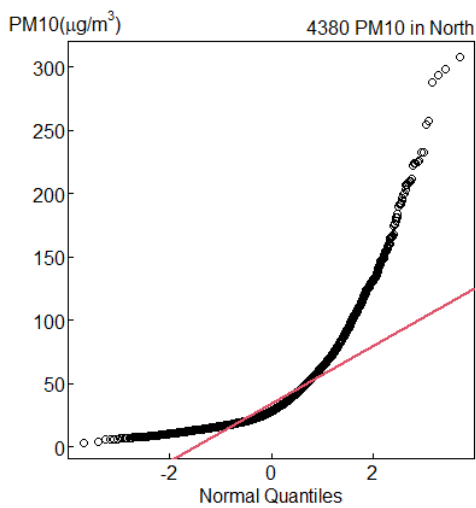




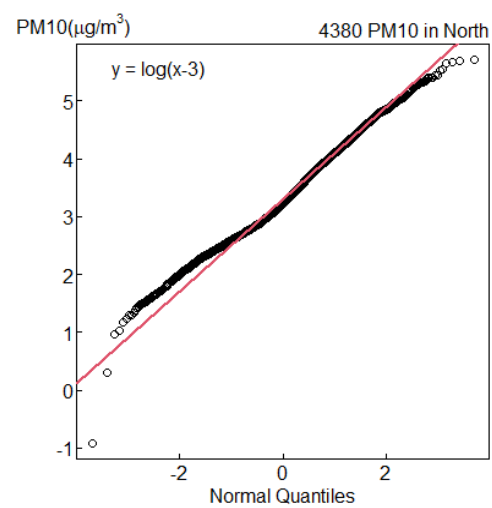
(ก)



(ข)

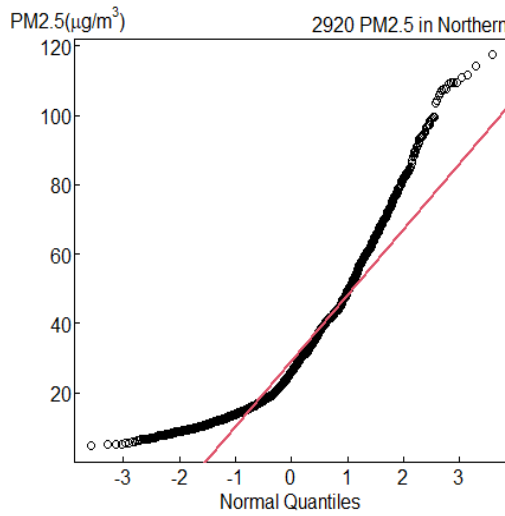


(ค)

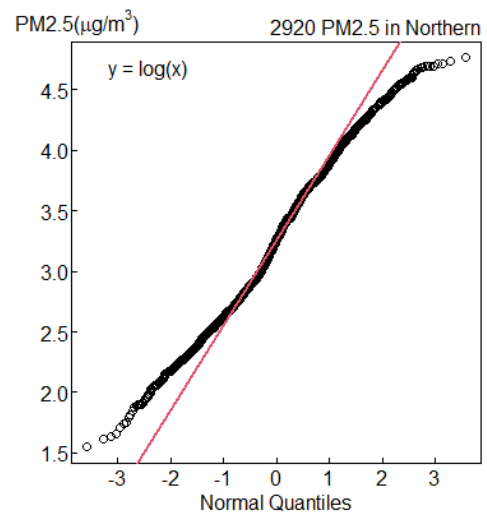


(ง)

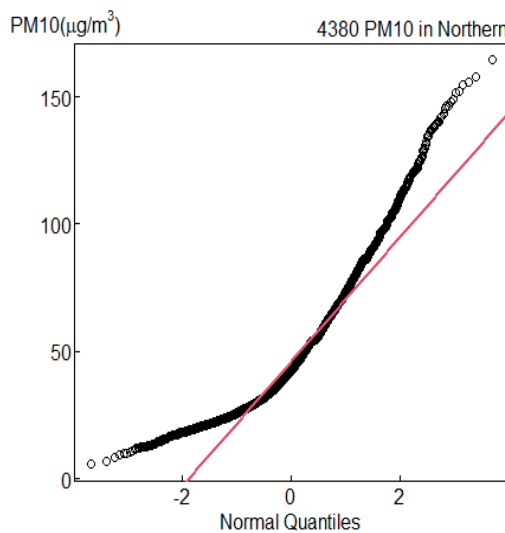
รูปที่ 3.6 (ก) กราฟ Q-Q plot การแจกแจงแนวโน้มของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 ในภาคเหนือ (ข) การแปลงการแจกแจงแนวโน้มของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 ด้วยลอกริทึมฐานธรรมชาติ (ค) กราฟ Q-Q plot การแจกแจงแนวโน้มของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM10 ในภาคเหนือ และ (ง) การแปลงการแจกแจงแนวโน้มของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM10 ด้วยลอกริทึมฐานธรรมชาติ



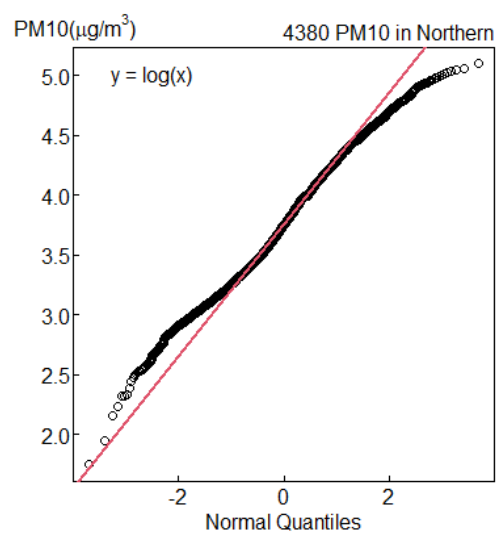
(ก)



(ข)

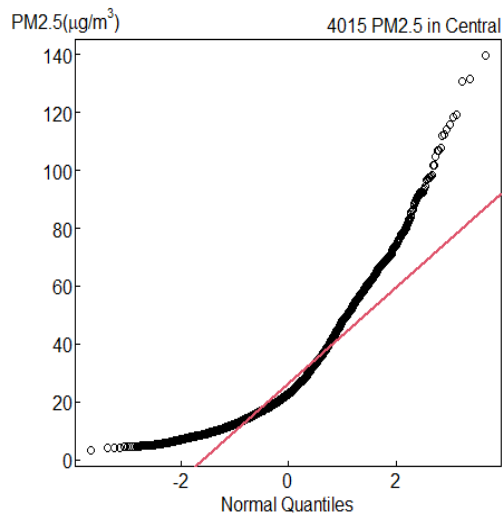


(ค)

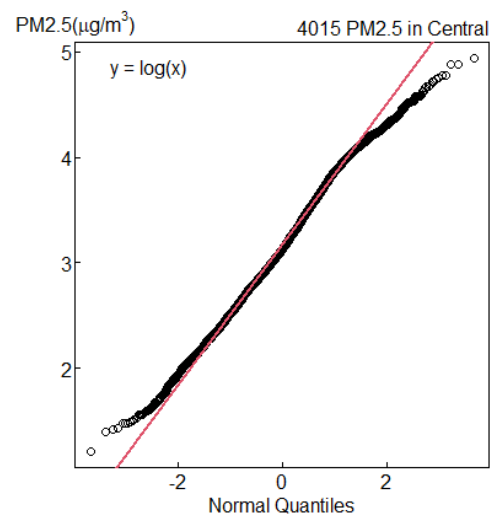


(ง)

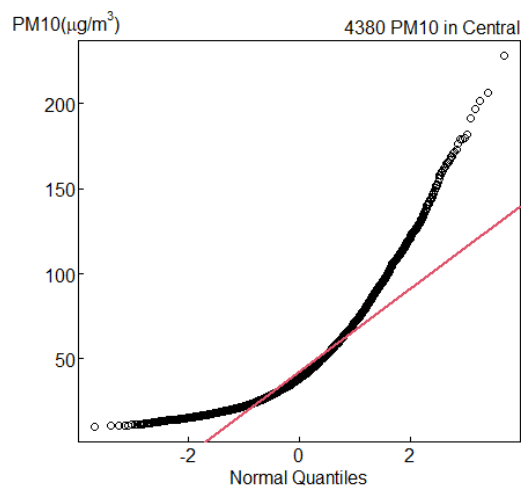
รูปที่ 3.7 (ก) กราฟ Q-Q plot การแจกแจงแนวโน้มของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (ข) การแปลงการแจกแจงแนวโน้มของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 ด้วยลอกริทึมฐานธรรมชาติ (ค) กราฟ Q-Q plot การแจกแจงแนวโน้มของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM10 ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และ (ง) การแปลงการแจกแจงแนวโน้มของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM10 ด้วยลอกริทึมฐานธรรมชาติ



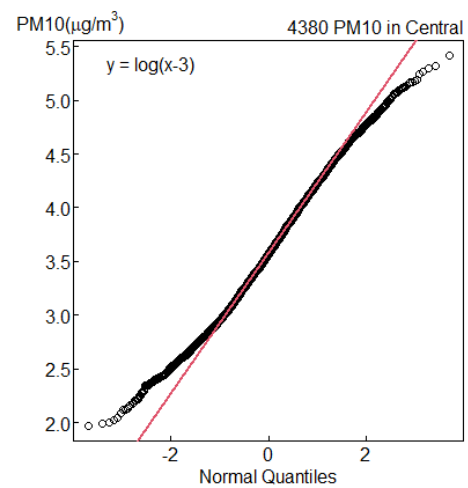
(ก)



(ข)

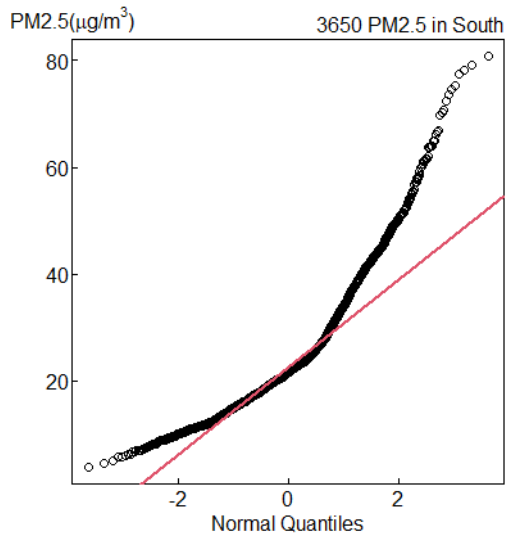


(ค)

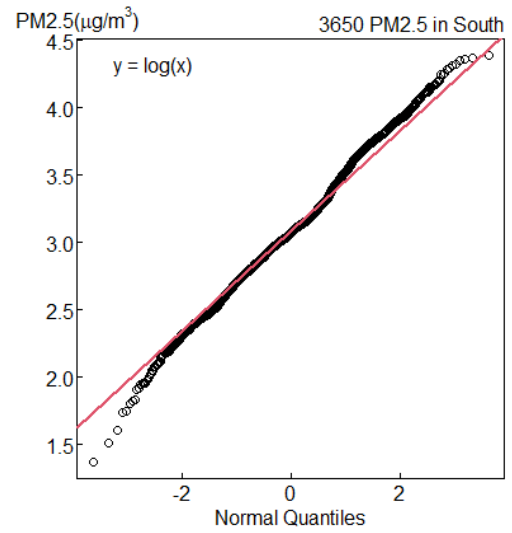


(ง)

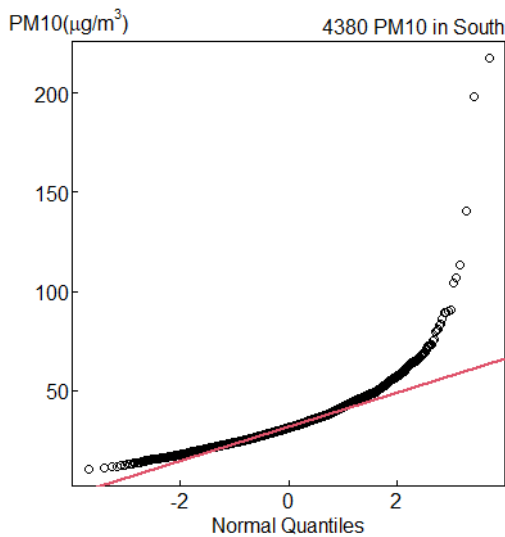
รูปที่ 3.8 (ก) กราฟ Q-Q plot การแจกแจงแนวโน้มของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 ในภาคกลาง (ข) การแปลงการแจกแจงแนวโน้มของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 ด้วยลอกริทึมฐานธรรมชาติ (ค) กราฟ Q-Q plot การแจกแจงแนวโน้มของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM10 ในภาคกลาง และ (ง) การแปลงการแจกแจงแนวโน้มของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM10 ด้วยลอกริทึมฐานธรรมชาติ



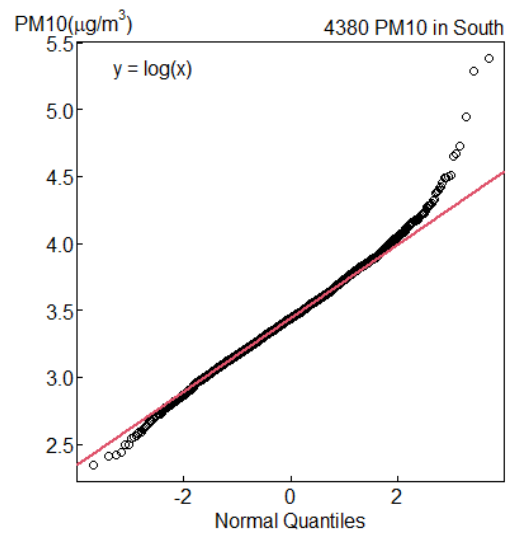
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 3.9 (ก) กราฟ Q-Q plot การแจกแจงแนวโน้มของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 ในภาคใต้ (ข) การแปลงการแจกแจงแนวโน้มของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 ด้วยลอการิทึมฐานธรรมชาติ (ค) กราฟ Q-Q plot การแจกแจงแนวโน้มของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM10 ในภาคใต้ และ (ง) การแปลงการแจกแจงแนวโน้มของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM10 ด้วยลอการิทึมฐานธรรมชาติ

พบว่าข้อมูลฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 และ PM10 ไม่มีการแจกแจงปกติ ทั้งในภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง และภาคใต้ ซึ่งก่อนนำข้อมูลไปวิเคราะห์เปรียบเทียบความแม่นยำในการทำนายระหว่างตัวแบบ ANN MLR SVM และ RF ทำการแปลงข้อมูลฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 และ PM10 ให้ข้อมูลมีการแจกแจงปกติโดยการแปลงด้วยค่าลอการิทึมฐานธรรมชาติ โดยฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 ของภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง และภาคใต้ มีสมการแปลงข้อมูลเป็น  $y = \log(x)$  โดยที่  $x =$  ฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 และ  $y =$  ข้อมูลฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 จากการแปลงโดยใช้การแจกแจงแบบ lognormal สำหรับฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM10 ของภาคเหนือ และภาคกลาง มีสมการแปลงข้อมูลเป็น  $y = \log(x-3)$  ส่วนภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคใต้ มีสมการแปลงข้อมูลเป็น  $y = \log(x)$  โดยที่  $x =$  ฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM10 และ  $y =$  ข้อมูลฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM10 จากการแปลงโดยใช้การแจกแจงแบบ lognormal ดังตารางที่ 3.5

### 3.5.2 เปรียบเทียบความแม่นยำการทำนายของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 และฝุ่น PM10

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพความแม่นยำการทำนายความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 และฝุ่น PM10 ระหว่างวิธีอาร์มาและวิธีการเรียนรู้ด้วยเครื่อง จากวิธีการทำนาย 6 วิธี ได้แก่ ตัวแบบ ARIMA พิจารณาปัจจัยวันที่ ตัวแบบ ARIMAX MLR ANN SVM และ RF พิจารณาปัจจัย วัน ปี อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความกดอากาศ และความเร็วลม ใน 4 ภูมิภาคของประเทศไทย เพื่อหารูปแบบที่เหมาะสมที่สุด โดยแบ่งข้อมูลชุดทดลอง (training set) และข้อมูลชุดทดสอบ (testing set) เป็นสัดส่วน 3 แบบ ได้แก่ 50:50 60:40 และ 70:30 โดยพิจารณาจากเกณฑ์เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE) เกณฑ์ค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAE) เกณฑ์รากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE)

พิจารณาการแบ่งข้อมูลชุดทดลอง และข้อมูลชุดทดสอบของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 เป็น 50:50 ในภาคเหนือ ตัวแบบที่มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด ได้แก่ ตัวแบบอาร์แม็กซ์ (RMSE = 8.04, MAE = 4.01) แบ่งข้อมูลชุดทดลอง และข้อมูลชุดทดสอบ เป็น 60:40 ตัวแบบที่มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด ได้แก่ ตัวแบบอาร์แม็กซ์ (RMSE = 8.64, MAE = 4.27) และเมื่อแบ่งข้อมูลชุดทดลอง และข้อมูลชุดทดสอบ เป็น 70:30 ตัวแบบที่มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด ได้แก่ ตัวแบบอาร์แม็กซ์ (RMSE = 8.28, MAE = 4.42) ดังตารางที่ 3.6 ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เมื่อแบ่งข้อมูลชุด

ทดลอง และข้อมูลชุดทดสอบ เป็น 50:50 ตัวแบบที่มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด ได้แก่ ตัวแบบอาร์แม็กซ์ (RMSE = 6.26, MAE = 4.37) เมื่อแบ่งข้อมูลชุดทดลอง และข้อมูลชุดทดสอบ เป็น 60:40 ตัวแบบที่มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด ได้แก่ ตัวแบบอาร์แม็กซ์ (RMSE = 5.95, MAE = 4.16) และเมื่อแบ่งข้อมูลชุดทดลอง และข้อมูลชุดทดสอบ เป็น 70:30 ตัวแบบที่มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด ได้แก่ ตัวแบบอาร์แม็กซ์ (RMSE = 5.56, MAE = 3.87) ดังตารางที่ 3.7 ภาคกลางเมื่อแบ่งข้อมูลชุดทดลอง และข้อมูลชุดทดสอบของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 เป็น 50:50 พบว่า ตัวแบบที่มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด ได้แก่ ตัวแบบอาร์แม็กซ์ (RMSE = 6.30, MAE = 4.40) แบ่งสัดส่วนข้อมูลเป็น 60:40 พบว่า ตัวแบบที่มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด ได้แก่ ตัวแบบอาร์แม็กซ์ (RMSE = 6.19, MAE = 4.25) และเมื่อแบ่งสัดส่วนข้อมูลเป็น 70:30 พบว่า ตัวแบบที่มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด ได้แก่ ตัวแบบอาร์แม็กซ์ (RMSE = 5.59, MAE = 4.02) ดังตารางที่ 3.8 พิจารณาการเปรียบเทียบประสิทธิภาพความแม่นยำการทำนายของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 ในภาคใต้ เมื่อแบ่งข้อมูลชุดทดลอง และข้อมูลชุดทดสอบเป็น 50:50 พบว่า ตัวแบบที่มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด ได้แก่ ตัวแบบอาร์แม็กซ์ (RMSE = 4.16, MAE = 3.08, MAPE = 13.38) เมื่อแบ่งข้อมูลชุดทดลอง และข้อมูลชุดทดสอบเป็น 60:40 พบว่า ตัวแบบที่มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด ได้แก่ ตัวแบบอาร์แม็กซ์ (RMSE = 4.40, MAE = 3.28) และเมื่อแบ่งข้อมูลชุดทดลอง และข้อมูลชุดทดสอบเป็น 70:30 พบว่า ตัวแบบที่มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด ได้แก่ ตัวแบบอาร์แม็กซ์ (RMSE = 4.78, MAE = 3.61) ดังตารางที่ 3.9

พิจารณาการแบ่งข้อมูลชุดทดลอง และข้อมูลชุดทดสอบของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM10 เป็น 50:50 ในภาคเหนือ พบว่า ตัวแบบที่มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด ได้แก่ ตัวแบบอาร์แม็กซ์ (RMSE = 11.42, MAE = 6.22) เมื่อแบ่งข้อมูลชุดทดลอง และข้อมูลชุดทดสอบเป็น 60:40 พบว่า ตัวแบบที่มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด ได้แก่ ตัวแบบอาร์แม็กซ์ (RMSE = 10.19, MAE = 5.85) และเมื่อแบ่งข้อมูลชุดทดลอง และข้อมูลชุดทดสอบเป็น 70:30 พบว่า ตัวแบบที่มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด ได้แก่ ตัวแบบอาร์แม็กซ์ (RMSE = 10.75, MAE = 5.88) ดังตารางที่ 3.6 ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เมื่อแบ่งข้อมูลชุดทดลอง และข้อมูลชุดทดสอบเป็น 50:50 พบว่า ตัวแบบที่มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด ได้แก่ ตัวแบบอาร์แม็กซ์ (RMSE = 8.93, MAE = 6.41) เมื่อแบ่งข้อมูลชุดทดลอง และข้อมูลชุดทดสอบเป็น 60:40 พบว่า ตัวแบบที่มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด ได้แก่ ตัวแบบอาร์แม็กซ์ (RMSE = 8.20, MAE = 5.94) และเมื่อแบ่งข้อมูลเป็น 70:30 ตัวแบบที่มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด ได้แก่ ตัวแบบอาร์แม็กซ์ (RMSE = 7.59, MAE = 5.55) ดังตารางที่ 3.7 ภาคกลาง เมื่อแบ่งข้อมูลชุดทดลอง และข้อมูลชุดทดสอบเป็น 50:50 พบว่า ตัวแบบที่มีค่าความ

คลาดเคลื่อนน้อยที่สุด ได้แก่ ตัวแบบอาร์แม็กซ์ (RMSE = 8.20, MAE = 5.88) เมื่อแบ่งข้อมูลชุดทดลอง และข้อมูลชุดทดสอบเป็น 60:40 พบว่า ตัวแบบที่มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด ได้แก่ ตัวแบบอาร์แม็กซ์ (RMSE = 7.99, MAE = 5.66) และเมื่อแบ่งข้อมูลชุดทดลอง และข้อมูลชุดทดสอบเป็น 70:30 พบว่า ตัวแบบที่มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด ได้แก่ ตัวแบบอาร์แม็กซ์ (RMSE = 7.22, MAE = 5.22) ดังตารางที่ 3.8 และพิจารณาการเปรียบเทียบประสิทธิภาพความแม่นยำการทำนายของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM10 ในภาคใต้ เมื่อแบ่งข้อมูลชุดทดลอง และข้อมูลชุดทดสอบเป็น 50:50 พบว่า ตัวแบบที่มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด ได้แก่ ตัวแบบอาร์แม็กซ์ (RMSE = 4.52, MAE = 3.43, MAPE = 11.11) เมื่อแบ่งข้อมูลชุดทดลอง และข้อมูลชุดทดสอบเป็น 60:40 พบว่า ตัวแบบที่มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด ได้แก่ ตัวแบบอาร์แม็กซ์ (RMSE = 4.21, MAE = 3.25) และเมื่อแบ่งข้อมูลชุดทดลอง และข้อมูลชุดทดสอบเป็น 70:30 พบว่า ตัวแบบที่มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด ได้แก่ ตัวแบบอาร์แม็กซ์ (RMSE = 4.25, MAE = 3.25) ดังตารางที่ 3.9

ตาราง 3.6 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำนายระหว่างวิธีอาร์มา และวิธีการเรียนรู้ด้วยเครื่องของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 และฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM10 ในภาคเหนือ

แบ่งสัดส่วนข้อมูล		ARIMA			ARIMAX			MLR			ANN			SVM			RF			
		RMSE	MAE	MAPE	RMSE	MAE	MAPE	RMSE	MAE	MAPE	RMSE	MAE	MAPE	RMSE	MAE	MAPE	RMSE	MAE	MAPE	
PM2.5	50:50	Train (2011-2/7/2016)	10.92	6.12	21.89	10.51	6.01	22.77	44.32	33.67	11.86	71.71	57.74	19.97	44.52	33.51	11.94	12.09	8.93	3.10
		Test (3/7/2016– 2021)	8.12	4.01	23.56	8.04	4.01	24.19	64.50	52.47	25.03	104.05	89.35	45.31	73.64	61.70	31.13	48.82	38.47	17.46
60:40		Train (2011-7/8/2017)	10.17	6.49	23.39	9.81	5.52	24.82	49.30	38.58	15.35	81.16	63.79	26.00	49.42	38.44	15.51	13.29	9.68	3.81
		Test (8/8/2017– 2021)	8.74	4.29	21.59	8.64	4.27	22.38	62.52	47.64	17.07	91.89	79.15	35.64	59.16	44.57	16.19	48.40	37.85	14.28
70:30		Train (2011-12/9/2018)	9.74	6.26	23.45	9.40	5.29	24.82	49.66	38.55	15.48	38.13	29.43	11.72	49.74	38.46	15.45	13.56	9.90	3.96
		Test (13/9/2018– 2021)	9.35	4.52	21.06	9.28	4.42	21.88	55.24	41.34	15.54	43.36	31.87	12.57	57.83	43.69	15.97	42.37	32.50	12.94
PM10	50:50	Train (2010-31/12/2015)	10.37	6.28	15.41	10.08	6.10	14.71	39.30	30.98	9.27	31.09	24.11	7.33	39.46	30.87	9.18	11.26	8.34	2.55
		Test (1/1/2016-2021)	12.03	6.26	19.26	11.42	6.22	20.10	70.48	58.87	22.71	60.03	47.01	17.96	65.63	53.80	20.70	58.80	46.61	17.99
60:40		Train (2010-14/3/2017)	11.64	6.45	17.01	11.15	6.38	16.85	47.46	37.05	12.33	33.69	25.68	8.43	47.72	36.79	12.38	12.53	8.93	3.05
		Test (15/3/2017 – 2021)	10.54	5.93	17.23	10.19	5.85	18.02	47.12	35.09	11.34	51.00	40.32	12.96	47.79	35.81	11.72	50.38	41.71	13.28
70:30		Train (2010-26/5/2018)	11.30	6.39	17.60	10.79	6.29	17.45	47.86	37.53	12.61	36.12	27.99	9.30	48.09	37.36	12.63	12.99	9.39	3.22
		Test (27/5/2018 – 2021)	11.02	5.92	16.88	10.75	5.88	17.04	44.37	32.22	10.37	43.16	34.24	11.03	45.22	33.07	10.47	38.54	29.96	9.42

หมายเหตุ: ไฮไลท์สีแดง คือ ค่าความคลาดเคลื่อน RMSE MAE และ MAPE ที่มีค่าน้อยสุดของการแบ่งชุดข้อมูลทดลองและชุดข้อมูลทดสอบ 50:50, 60:40 และ 70:30



ตาราง 3.7 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำนายระหว่างวิธีอาร์มา และวิธีการเรียนรู้ด้วยเครื่องของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 และฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM10 ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

แบ่งสัดส่วนข้อมูล		ARIMA			ARIMAX			MLR			ANN			SVM			RF			
		RMSE	MAE	MAPE	RMSE	MAE	MAPE	RMSE	MAE	MAPE	RMSE	MAE	MAPE	RMSE	MAE	MAPE	RMSE	MAE	MAPE	
PM2.5	50:50	Train (2014-31/12/2017)	9.77	6.28	22.46	8.58	5.70	21.35	48.08	39.34	12.81	63.03	52.78	17.37	48.82	38.87	12.56	11.37	8.28	2.74
	Test (1/1/2018- 2021)		7.23	4.90	16.97	6.26	4.37	15.82	41.58	34.43	10.94	57.04	48.74	15.88	43.31	35.78	11.80	33.34	26.67	8.31
60:40	Train (2014-19/10/2018)	9.55	6.18	21.98	8.41	5.62	20.85	46.39	37.49	12.11	35.22	27.70	9.17	46.81	37.14	11.98	11.14	8.17	2.66	
	Test (20/10/2018- 2021)	6.88	4.67	16.18	5.95	4.16	15.22	44.26	37.41	12.61	30.07	23.91	7.61	45.66	38.20	13.14	34.28	28.06	9.29	
70:30	Train (2014- 7/8/2019)	9.34	6.08	20.90	8.24	5.53	19.90	45.08	36.42	11.67	59.98	50.05	16.16	45.57	36.05	11.53	10.68	7.88	2.55	
	Test (8/8/2019- 2021)	6.49	4.38	16.54	5.56	3.87	15.58	46.57	39.02	13.68	61.00	52.76	18.24	47.91	39.71	14.18	33.88	27.44	9.55	
PM10	50:50	Train (2010-31/12/2015)	11.15	7.85	17.75	10.13	7.16	16.52	40.42	32.88	8.97	49.15	41.51	11.31	40.77	32.61	8.86	9.83	7.49	2.06
	Test (1/1/2016-2021)		10.22	7.21	15.94	8.93	6.41	14.41	52.83	43.08	11.08	48.69	40.00	10.72	70.50	55.46	14.28	31.85	25.07	6.74
60:40	Train (2010-14/3/2017)	11.35	8.03	18.26	10.37	7.34	16.91	41.98	33.79	9.26	29.32	22.36	6.14	42.37	33.54	9.17	10.16	7.58	2.09	
	Test (15/3/2017 - 2021)	9.63	6.76	14.71	8.20	5.94	13.25	55.72	47.16	11.92	29.48	23.00	6.24	66.26	57.85	14.74	32.82	26.81	7.05	
70:30	Train (2010-26/5/2018)	11.35	8.01	18.30	10.28	7.28	16.88	42.48	34.27	9.41	42.40	34.21	9.39	42.67	34.04	9.36	10.23	7.58	2.09	
	Test (27/5/2018 - 2021)	8.97	6.38	13.44	7.59	5.55	11.98	41.77	34.02	8.56	37.84	30.53	8.07	39.70	32.25	8.15	27.06	21.93	5.74	

หมายเหตุ: ไฮไลท์สีแดง คือ ค่าความคลาดเคลื่อน RMSE MAE และ MAPE ที่มีค่าน้อยสุดของการแบ่งชุดข้อมูลทดลองและชุดข้อมูลทดสอบ 50:50, 60:40 และ 70:30

ตาราง 3.8 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำนายระหว่างวิธีอาร์มา และวิธีการเรียนรู้ด้วยเครื่องของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 และฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM10 ในภาคกลาง

แบ่งสัดส่วนข้อมูล		ARIMA			ARIMAX			MLR			ANN			SVM			RF			
		RMSE	MAE	MAPE	RMSE	MAE	MAPE	RMSE	MAE	MAPE	RMSE	MAE	MAPE	RMSE	MAE	MAPE	RMSE	MAE	MAPE	
PM2.5	50:50	Train (2011-2/7/2016)	8.54	6.00	18.16	8.05	5.74	18.05	41.25	32.49	10.02	35.92	27.52	8.48	41.67	32.19	10.02	10.01	7.26	2.23
		Test (3/7/2016– 2021)	6.60	4.58	24.85	6.30	4.40	24.20	47.91	37.52	13.04	54.41	43.68	15.03	45.88	35.20	12.61	47.01	37.65	14.65
60:40		Train (2011-7/8/2017)	8.30	5.86	19.21	8.06	5.73	17.88	41.58	32.87	10.32	47.64	32.36	14.90	41.78	32.74	10.33	10.62	7.81	2.46
		Test (8/8/2017– 2021)	6.53	4.45	24.90	6.19	4.25	24.31	45.34	34.91	12.36	65.71	62.19	27.48	44.81	34.25	12.32	51.00	40.93	16.81
70:30		Train (2011-12/9/2018)	8.24	5.78	20.41	8.07	5.74	17.95	39.81	31.18	9.73	56.04	46.79	14.61	39.99	31.06	9.72	10.60	7.79	2.45
		Test (13/9/2018– 2021)	6.01	4.19	24.12	5.69	4.02	23.57	42.99	33.47	11.53	73.08	61.03	24.66	43.51	33.71	11.68	38.88	30.91	11.87
PM10	50:50	Train (2010-31/12/2015)	14.47	10.30	18.68	13.36	9.64	18.13	43.37	34.07	9.26	56.52	46.08	12.53	43.93	33.76	9.33	11.69	8.82	2.38
		Test (1/1/2016-2021)	8.70	6.19	18.94	8.20	5.88	18.30	43.80	33.92	10.66	74.13	62.64	21.07	54.75	44.65	14.35	44.08	34.76	10.81
60:40		Train (2010-14/3/2017)	13.78	9.77	18.90	12.73	9.15	18.30	44.04	35.24	9.68	33.89	26.66	7.32	44.09	35.30	9.67	11.88	9.06	2.50
		Test (15/3/2017 – 2021)	8.44	5.93	18.60	7.99	5.66	18.03	42.42	33.40	10.02	42.52	31.95	9.88	41.24	32.30	9.71	37.82	30.50	9.85
70:30		Train (2010-26/5/2018)	13.38	9.45	19.38	12.40	8.86	18.74	37.48	29.85	7.81	50.48	41.52	10.92	37.53	29.81	7.78	10.43	7.98	2.10
		Test (27/5/2018 – 2021)	7.61	5.44	17.50	7.22	5.22	17.05	46.47	27.40	7.66	56.81	48.86	15.02	34.53	26.93	7.55	27.92	22.37	6.62

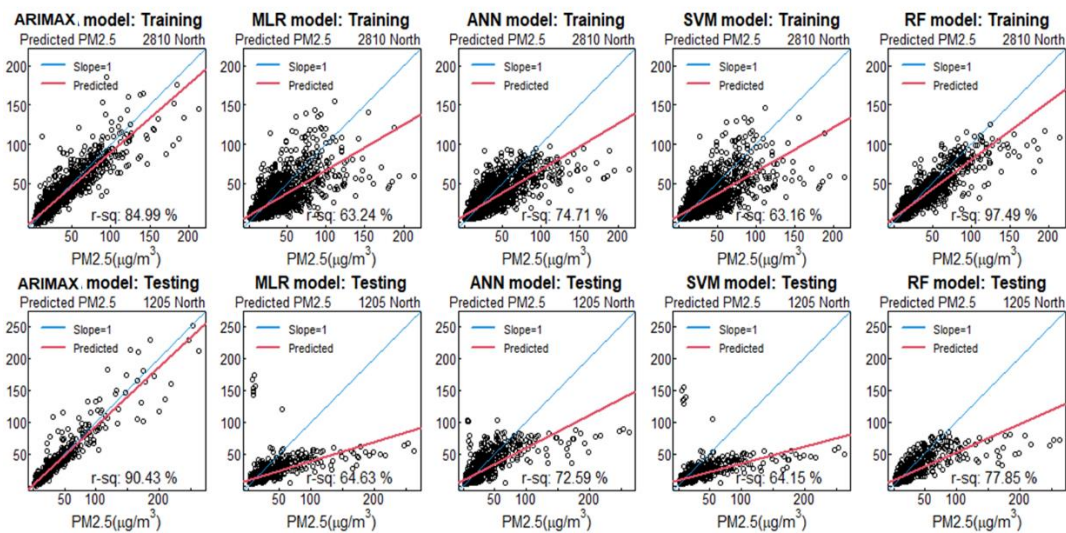
หมายเหตุ: ไฮไลท์สีแดง คือ ค่าความคลาดเคลื่อน RMSE MAE และ MAPE ที่มีค่าน้อยที่สุดของการแบ่งชุดข้อมูลทดลองและชุดข้อมูลทดสอบ 50:50, 60:40 และ 70:30

ตาราง 3.9 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำนายระหว่างวิธีอาร์มา และวิธีการเรียนรู้ด้วยเครื่องของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 และฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM10 ในภาคใต้

แบ่งสัดส่วนข้อมูล		ARIMA			ARIMAX			MLR			ANN			SVM			RF		
		RMSE	MAE	MAPE	RMSE	MAE	MAPE	RMSE	MAE	MAPE	RMSE	MAE	MAPE	RMSE	MAE	MAPE	RMSE	MAE	MAPE
PM2.5	50:50																		
	Train (2012-2016)	5.83	3.96	17.93	5.73	3.91	18.35	34.75	26.78	9.22	33.29	25.51	8.81	34.91	26.55	9.12	10.83	7.14	2.49
	Test (2017- 2021)	4.19	3.09	13.50	4.16	3.08	13.38	64.83	54.88	18.66	60.43	51.95	17.61	76.55	65.68	22.29	71.42	62.27	21.04
60:40	Train (2012-2017)	5.83	3.92	17.36	5.73	3.91	18.35	33.95	26.45	8.97	23.56	9.37	7.93	34.07	26.27	8.92	10.19	6.75	2.32
	Test (2018- 2021)	4.52	3.44	13.31	4.40	3.28	14.01	53.56	45.89	15.80	44.64	28.47	15.32	61.47	53.43	18.39	32.20	26.73	9.22
70:30	Train (2012-2018)	5.84	3.88	17.30	5.73	3.87	18.35	29.68	22.78	9.48	30.83	23.94	9.98	29.76	22.72	9.40	9.19	6.76	2.81
	Test (2019- 2021)	4.79	3.62	12.22	4.78	3.61	14.85	25.13	19.76	8.50	25.36	20.09	8.72	25.61	19.94	8.39	20.70	16.82	7.11
PM10	50:50																		
	Train (2010-31/12/2015)	6.87	4.66	14.66	6.59	4.56	14.31	30.55	23.15	6.77	26.42	20.26	5.93	30.63	23.08	6.73	9.84	7.31	2.14
	Test (1/1/2016-2021)	4.59	3.49	11.32	4.52	3.43	11.11	619.49	567.94	165.26	313.79	264.85	77.61	817.29	746.50	217.33	45.32	37.71	11.45
60:40	Train (2010-14/3/2017)	6.70	4.59	14.36	6.60	4.54	14.22	30.29	23.19	6.77	27.72	20.96	6.13	30.32	23.17	6.75	9.44	6.97	2.04
	Test (15/3/2017 - 2021)	4.27	3.30	10.94	4.21	3.25	10.74	28.18	20.89	6.17	126.58	101	30.09	27.63	20.70	6.08	26.83	21.3	6.43
70:30	Train (2010-26/5/2018)	6.39	4.40	13.80	6.32	4.36	13.69	29.68	22.78	6.64	30.83	23.94	6.99	29.76	22.72	6.6	9.17	6.75	1.97
	Test (27/5/2018 - 2021)	4.32	3.32	11.12	4.25	3.25	10.84	25.13	19.76	5.92	25.36	20.09	6.05	25.62	19.94	5.88	20.59	16.78	4.96

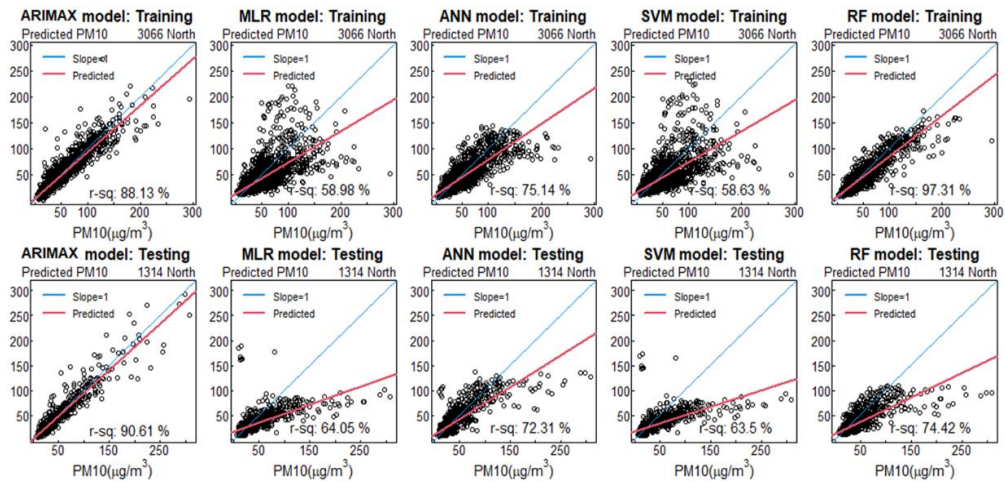
หมายเหตุ: ไฮไลท์สีแดง คือ ค่าความคลาดเคลื่อน RMSE MAE และ MAPE ที่มีค่าน้อยสุดของการแบ่งชุดข้อมูลทดลองและชุดข้อมูลทดสอบ 50:50, 60:40 และ 70:30

3.5.3 แผนภาพกระจายระหว่างส่วนเหลือกับค่าทำนาย ( $R^2$ ) ของตัวแบบ ARIMAX MLR ANN SVM และ RF พิจารณาปัจจัย วัน ปี อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความกดอากาศ และ ความเร็วลม จากการแบ่งชุดข้อมูล 70:30



รูปที่ 3.10 แผนภาพกระจายระหว่างส่วนเหลือกับค่าทำนาย พิจารณาจากค่า  $R^2$  ของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 ในภาคเหนือ

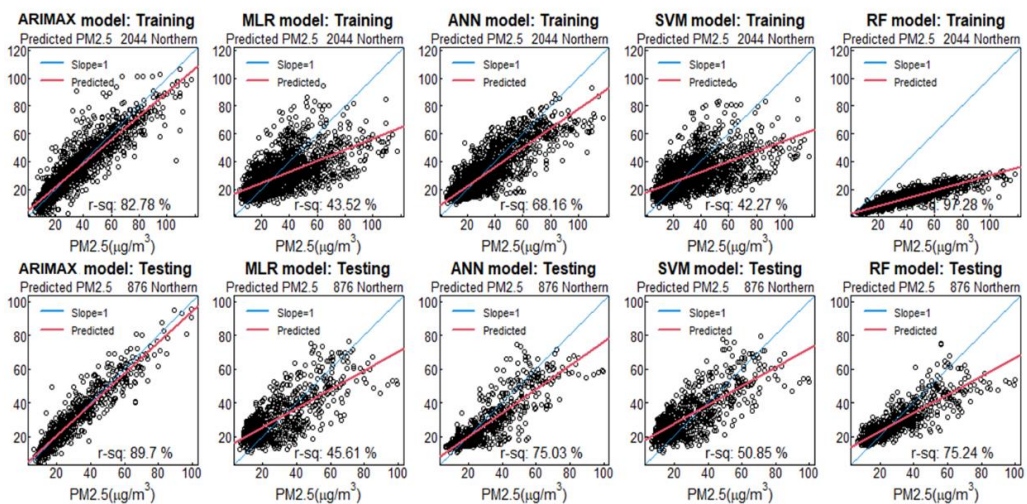
จากรูปที่ 3.10 ข้อมูลชุดทดลองของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 ภาคเหนือ ที่มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจพหุคูณ ( $R^2$ ) มากที่สุด ได้แก่ ตัวแบบ RF ( $R^2 = 97.49\%$ ) รองลงมาตัวแบบ ARIMAX ( $R^2 = 84.99\%$ ) ตัวแบบ ANN มีค่า  $R^2$  เท่ากับ 74.71 ตัวแบบ MLR มีค่า  $R^2$  เท่ากับ 63.24% และตัวแบบ SVM มีค่า  $R^2$  เท่ากับ 63.16% น้อยสุดตามลำดับ สำหรับตัวแบบที่มี  $R^2$  ในข้อมูลชุดทดสอบของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 มากที่สุด ได้แก่ ตัวแบบ ARIMAX มีค่า  $R^2$  เท่ากับ 90.43 รองลงมาตัวแบบ RF มีค่า  $R^2$  เท่ากับ 77.85% ตัวแบบ ANN มีค่า  $R^2$  เท่ากับ 72.59 ตัวแบบ MLR มีค่า  $R^2$  เท่ากับ 64.63% และตัวแบบ SVM มีค่า  $R^2$  เท่ากับ 64.15% น้อยสุดตามลำดับ



รูปที่ 3.11 แผนภาพกระจายระหว่างส่วนเหลือกับค่าทำนาย พิจารณาจากค่า  $R^2$

ของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM10 ในภาคเหนือ

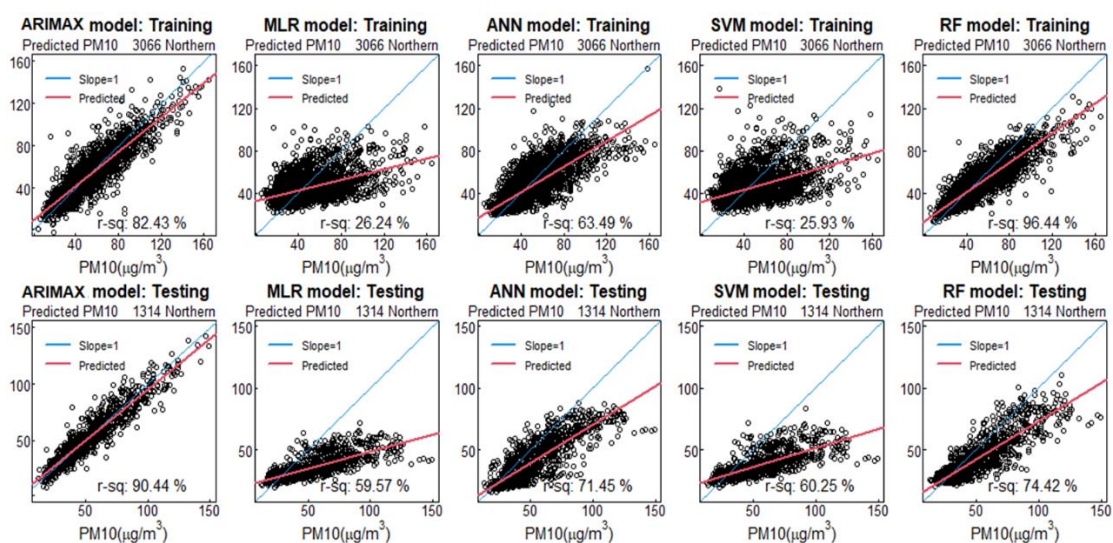
จากรูปที่ 3.11 พบว่าตัวแบบที่มีค่า  $R^2$  ในข้อมูลชุดทดลองของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM10 ในภาคเหนือมากที่สุด ได้แก่ ตัวแบบ RF ( $R^2= 97.31\%$ ) รองลงมาตัวแบบ ARIMAX ( $R^2= 88.13\%$ ) ตัวแบบ ANN มีค่า  $R^2$  เท่ากับ 75.14% ตัวแบบ MLR มีค่า  $R^2$  เท่ากับ 58.98% ตัวแบบ SVM มีค่า  $R^2$  เท่ากับ 58.63% น้อยสุดตามลำดับ สำหรับตัวแบบที่มีค่า  $R^2$  ในข้อมูลชุดทดสอบของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM10 ในภาคเหนือมากที่สุด ได้แก่ ตัวแบบ ARIMAX ( $R^2= 90.61\%$ ) รองลงมาตัวแบบ RF ( $R^2= 74.42\%$ ) ตัวแบบ ANN มีค่า  $R^2$  เท่ากับ 72.31% ตัวแบบ MLR มีค่า  $R^2$  เท่ากับ 64.05% และตัวแบบ SVM มีค่า  $R^2$  เท่ากับ 63.50% น้อยสุดตามลำดับ



รูปที่ 3.12 แผนภาพกระจายระหว่างส่วนเหลือกับค่าทำนาย พิจารณาจากค่า  $R^2$

ของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

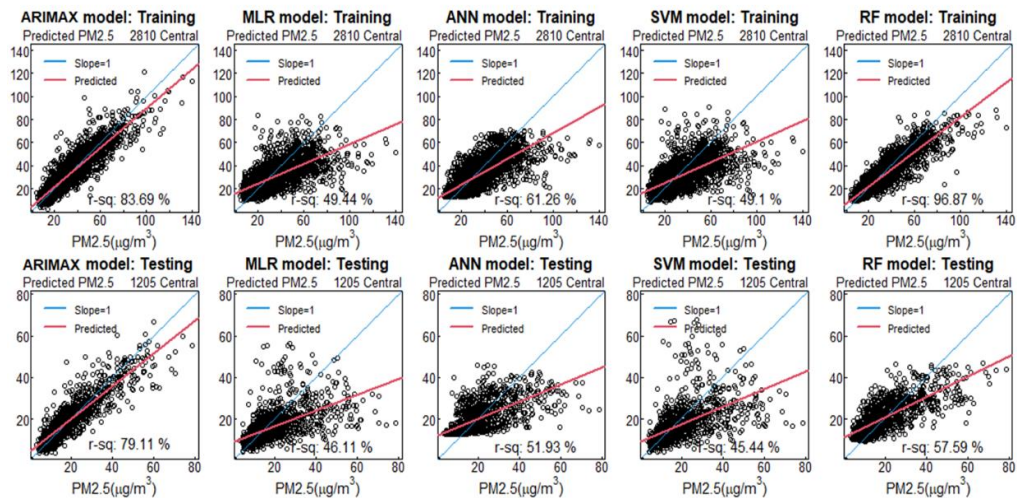
จากรูปที่ 3.12 พบว่าตัวแบบที่มีค่า  $R^2$  ในข้อมูลชุดทดลองของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือมากที่สุด ได้แก่ ตัวแบบ RF ( $R^2= 97.28\%$ ) รองลงมาตัวแบบ ARIMAX ( $R^2= 82.78\%$ ) ตัวแบบ ANN มีค่า  $R^2$  เท่ากับ 68.16% ตัวแบบ MLR มีค่า  $R^2$  เท่ากับ 43.52% และตัวแบบ SVM มีค่า  $R^2$  เท่ากับ 42.27% น้อยสุดตามลำดับ สำหรับตัวแบบที่มีค่า  $R^2$  ในข้อมูลชุดทดสอบของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือมากที่สุด ได้แก่ ตัวแบบ ARIMAX ( $R^2= 89.70\%$ ) รองลงมาตัวแบบ RF ( $R^2= 75.24\%$ ) ตัวแบบ ANN มีค่า  $R^2$  เท่ากับ 75.03% ตัวแบบ SVM มีค่า  $R^2$  เท่ากับ 50.85% และตัวแบบ MLR มีค่า  $R^2$  เท่ากับ 45.61% น้อยสุดตามลำดับ



รูปที่ 3.13 แผนภาพกระจายระหว่างส่วนเหลือกับค่าทำนาย พิจารณาจากค่า  $R^2$

ของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM10 ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

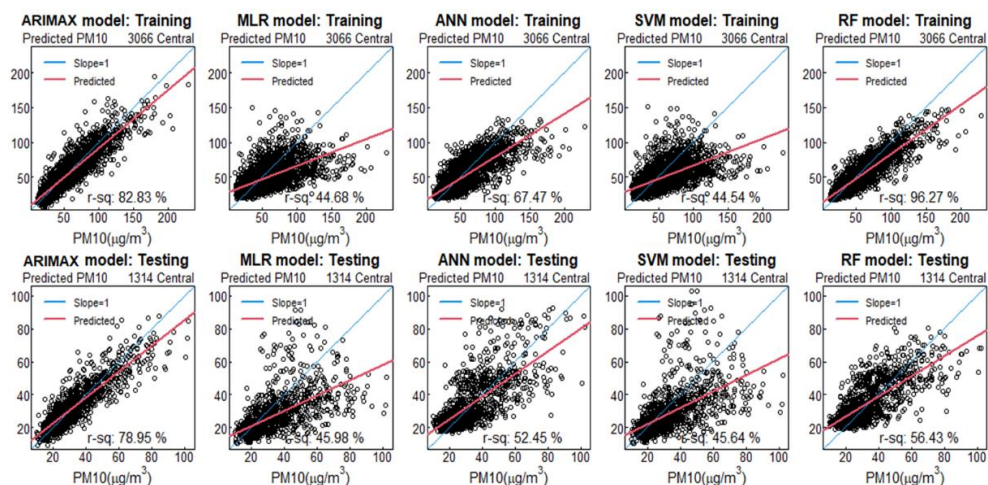
จากรูปที่ 3.13 พบว่าตัวแบบที่มีค่า  $R^2$  ในข้อมูลชุดทดลองของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM10 ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือมากที่สุด ได้แก่ ตัวแบบ RF ( $R^2= 96.44\%$ ) รองลงมาตัวแบบ ARIMAX ( $R^2= 82.43\%$ ) ตัวแบบ ANN มีค่า  $R^2$  เท่ากับ 63.49% ตัวแบบ MLR มีค่า  $R^2$  เท่ากับ 26.24% และตัวแบบ SVM มีค่า  $R^2$  เท่ากับ 25.93% น้อยสุดตามลำดับ สำหรับตัวแบบที่มีค่า  $R^2$  ในข้อมูลชุดทดสอบของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM10 ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือมากที่สุด ได้แก่ ตัวแบบ ARIMAX ( $R^2= 90.44\%$ ) ตัวแบบ RF ( $R^2= 74.42\%$ ) รองลงมาตัวแบบ ANN มีค่า  $R^2$  เท่ากับ 71.45% ตัวแบบ SVM มีค่า  $R^2$  เท่ากับ 60.25% และตัวแบบ MLR มีค่า  $R^2$  เท่ากับ 59.57% น้อยสุดตามลำดับ



รูปที่ 3.14 แผนภาพกระจายระหว่างส่วนเหลือกับค่าทำนาย พิจารณาจากค่า  $R^2$

ของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 ในภาคกลาง

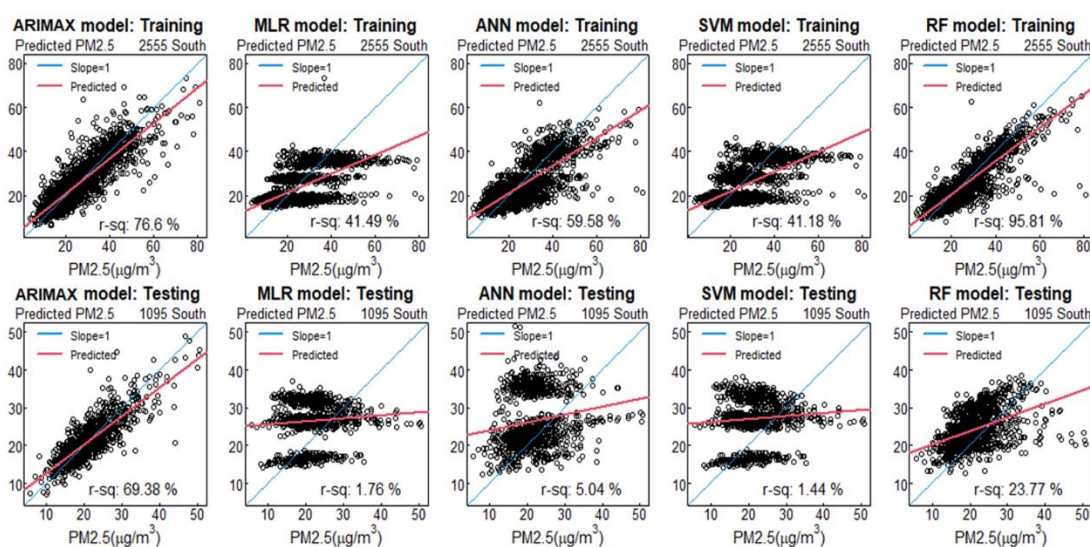
จากรูปที่ 3.14 พบว่าตัวแบบที่มีค่า  $R^2$  ในข้อมูลชุดทดลองของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 ในภาคกลางมากที่สุด ได้แก่ ตัวแบบ RF ( $R^2 = 96.87\%$ ) รองลงมาตัวแบบ ARIMAX ( $R^2 = 83.69\%$ ) ตัวแบบ ANN มีค่า  $R^2$  เท่ากับ  $61.26\%$  ตัวแบบ MLR มีค่า  $R^2$  เท่ากับ  $49.44\%$  และตัวแบบ SVM มีค่า  $R^2$  เท่ากับ  $49.10\%$  น้อยสุดตามลำดับ สำหรับตัวแบบที่มีค่า  $R^2$  ในข้อมูลชุดทดสอบของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 ในภาคกลางมากที่สุด ได้แก่ ตัวแบบ ARIMAX ( $R^2 = 79.11\%$ ) รองลงมาตัวแบบ RF มีค่า  $R^2$  เท่ากับ  $57.59\%$  ตัวแบบ ANN มีค่า  $R^2$  เท่ากับ  $51.93\%$  ตัวแบบ MLR มีค่า  $R^2$  เท่ากับ  $46.11\%$  และตัวแบบ SVM มีค่า  $R^2$  เท่ากับ  $45.44\%$



รูปที่ 3.15 แผนภาพกระจายระหว่างส่วนเหลือกับค่าทำนาย พิจารณาจากค่า  $R^2$

ของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM10 ในภาคกลาง

จากรูปที่ 3.15 พบว่าตัวแบบที่มีค่า  $R^2$  ในข้อมูลชุดทดลองของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM10 ในภาคกลางมากที่สุด ได้แก่ ตัวแบบ RF ( $R^2= 96.27\%$ ) รองลงมาตัวแบบ ARIMAX ( $R^2= 82.83\%$ ) ตัวแบบ ANN มีค่า  $R^2$  เท่ากับ  $67.47\%$  ตัวแบบ MLR มีค่า  $R^2$  เท่ากับ  $44.68\%$  และตัวแบบ SVM มีค่า  $R^2$  เท่ากับ  $44.54\%$  น้อยสุดตามลำดับ สำหรับตัวแบบที่มีค่า  $R^2$  ในข้อมูลชุดทดสอบของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM10 ในภาคกลางมากที่สุด ได้แก่ ตัวแบบ ARIMAX ( $R^2= 78.95\%$ ) รองลงมาตัวแบบ RF มีค่า  $R^2$  เท่ากับ  $56.43\%$  ตัวแบบ ANN มีค่า  $R^2$  เท่ากับ  $52.45\%$  ตัวแบบ MLR มีค่า  $R^2$  เท่ากับ  $45.98\%$  และตัวแบบ SVM มีค่า  $R^2$  เท่ากับ  $45.64\%$  น้อยสุดตามลำดับ

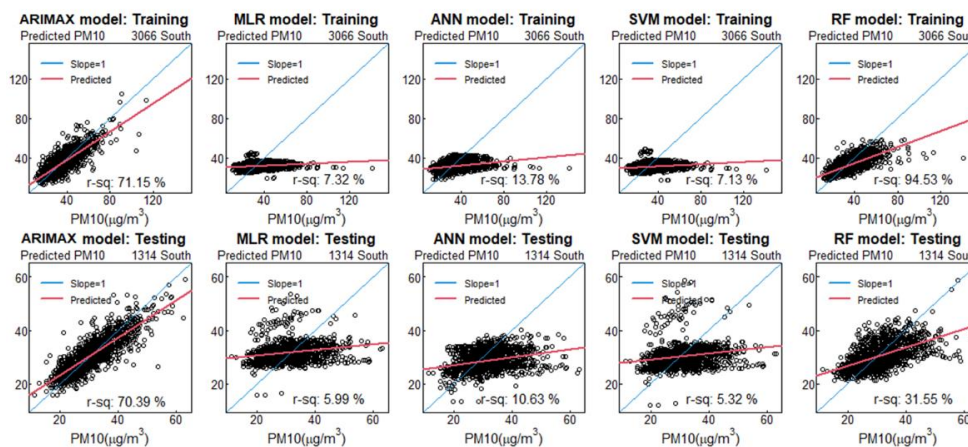


รูปที่ 3.16 แผนภาพกระจายระหว่างส่วนเหลือกับค่าทำนาย พิจารณาจากค่า  $R^2$

ของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 ในภาคใต้

จากรูปที่ 3.16 พบว่าตัวแบบที่มีค่า  $R^2$  ในข้อมูลชุดทดลองของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 ในภาคใต้ มากที่สุด ได้แก่ ตัวแบบ RF ( $R^2= 95.81\%$ ) รองลงมาตัวแบบ ARIMAX ( $R^2= 76.60\%$ ) ตัวแบบ ANN มีค่า  $R^2$  เท่ากับ  $59.58\%$  ตัวแบบ MLR มีค่า  $R^2$  เท่ากับ  $41.49\%$  และตัวแบบ SVM มีค่า  $R^2$  เท่ากับ  $41.18\%$  น้อยสุดตามลำดับ สำหรับตัวแบบที่มีค่า  $R^2$  ในข้อมูลชุดทดสอบของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 ในภาคใต้ มากที่สุด ได้แก่ ตัวแบบ ARIMAX ( $R^2= 69.38\%$ ) รองลงมาตัวแบบ RF ( $R^2= 23.77\%$ ) ตัวแบบ ANN มีค่า  $R^2$  เท่ากับ  $5.04\%$  ตัวแบบ MLR มีค่า  $R^2$  เท่ากับ  $1.76\%$  และตัวแบบ SVM มีค่า  $R^2$  เท่ากับ  $1.44\%$  น้อยสุดตามลำดับ





รูปที่ 3.17 แผนภาพกระจายระหว่างส่วนเหลือกับค่าทำนาย พิจารณาจากค่า  $R^2$

ของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM10 ในภาคใต้

จากรูปที่ 3.17 พบว่าตัวแบบที่มีค่า  $R^2$  ในข้อมูลชุดทดลองของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM10 ในภาคใต้ มากที่สุด ได้แก่ ตัวแบบ RF ( $R^2 = 94.53\%$ ) รองลงมาตัวแบบ ARIMAX ( $R^2 = 71.15\%$ ) ตัวแบบ ANN มีค่า  $R^2$  เท่ากับ  $13.78\%$  ตัวแบบ MLR มีค่า  $R^2$  เท่ากับ  $7.32\%$  และตัวแบบ SVM มีค่า  $R^2$  เท่ากับ  $7.13\%$  น้อยสุดตามลำดับ สำหรับตัวแบบที่มีค่า  $R^2$  ในข้อมูลชุดทดสอบของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM10 ในภาคใต้ มากที่สุด ได้แก่ ตัวแบบ ARIMAX ( $R^2 = 70.39\%$ ) รองลงมาตัวแบบ RF ( $R^2 = 31.55\%$ ) ตัวแบบ ANN มีค่า  $R^2$  เท่ากับ  $10.63\%$  ตัวแบบ MLR มีค่า  $R^2$  เท่ากับ  $5.99\%$  และตัวแบบ SVM มีค่า  $R^2$  เท่ากับ  $5.32\%$  น้อยสุดตามลำดับ

เมื่อพิจารณาปัจจัย วัน ปี อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความกดอากาศ และความเร็วลม จากการแบ่งข้อมูลชุดทดลอง (training set) และข้อมูลชุดทดสอบ (testing set) เป็น 70:30 พบ ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจพหุคูณ ( $R^2$ ) ในข้อมูลชุดทดลองของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 และ PM10 ในภาคเหนือ ภาคกลาง และภาคใต้มากที่สุด ได้แก่ ตัวแบบ RF รองลงมาตัวแบบ ARIMAX ในข้อมูลชุดทดสอบตัวแบบที่มีค่า  $R^2$  มากที่สุด ได้แก่ ตัวแบบ ARIMAX รองลงมาตัวแบบ RF และทั้งในข้อมูลชุดทดลองและข้อมูลชุดทดสอบ ตัวแบบที่มีค่า  $R^2$  มากเป็นอันดับสาม ได้แก่ ตัวแบบ ANN อันดับสี่เป็นตัวแบบ MLR มี และตัวแบบ SVM มีค่า  $R^2$  น้อยสุดตามลำดับ สำหรับภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พบค่า  $R^2$  ในข้อมูลชุดทดลองของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 และ PM10 มากที่สุด ได้แก่ ตัวแบบ RF รองลงมาตัวแบบ ARIMAX ในข้อมูลชุดทดสอบตัวแบบที่มีค่า  $R^2$  มากที่สุด ได้แก่ ตัวแบบ ARIMAX รองลงมาตัวแบบ RF และทั้งในข้อมูลชุดทดลองและข้อมูลชุดทดสอบ ตัวแบบที่มีค่า  $R^2$  มากเป็นอันดับสาม ได้แก่ ตัวแบบ ANN อันดับสี่ในข้อมูลชุดทดลอง ได้แก่ ตัวแบบ MLR มี และตัวแบบ SVM มีค่า  $R^2$  น้อยสุดตามลำดับ และในข้อมูลชุดทดสอบ ตัวแบบที่มีค่า  $R^2$  มากเป็นอันดับสี่ ได้แก่ตัวแบบ SVM และตัวแบบ MLR น้อยสุดตามลำดับ

## บทที่ 4

### สรุปผล อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาข้อมูลฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 และ PM10 ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2553 ถึง พ.ศ. 2564 ในเขตพื้นที่ 4 ภูมิภาค ได้แก่ภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง และภาคใต้ (มีวัตถุประสงค์ 1.) เพื่อหาแนวโน้มแนวโน้มของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 และฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM10 แยกตามฤดูกาล ของประเทศไทยในปี พ.ศ. 2553 ถึง พ.ศ. 2564 และ 2.) เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำนายความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 และฝุ่น PM10 ระหว่างวิธีอาร์มา ได้แก่ ตัวแบบ ARIMA และ ARIMAX และวิธีการเรียนรู้ด้วยเครื่อง ได้แก่ ตัวแบบ MLR ANN SVM และ RF มีรายละเอียดดังนี้

#### 4.1 สรุปผลการวิจัย

ผลการศึกษา พบว่า แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงมลพิษทางอากาศของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 และ PM10 ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2553 ถึง พ.ศ. 2564 ใน 4 ภูมิภาค พบว่าภาคเหนือมีแนวโน้มความเข้มข้นของ PM2.5 และ PM10 สูงในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนเมษายน ภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีแนวโน้มความเข้มข้นของ PM2.5 และ PM10 สูงในเดือนมกราคมถึงเดือนมีนาคม ภาคกลางมีแนวโน้มความเข้มข้นของ PM2.5 และ PM10 สูงเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนมีนาคม และไม่พบรูปแบบตามฤดูกาลของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 และ PM10 ในภาคใต้ของประเทศไทย

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพความแม่นยำการทำนายความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 และฝุ่น PM10 ทั้ง 4 ภาค พบว่า ตัวแบบอาร์แม็กซ์ มีประสิทธิภาพการทำนายความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 และฝุ่น PM10 ได้แม่นยำกว่าตัวแบบอาร์มาที่มีปัจจัยเดียวและมีประสิทธิภาพการทำนายดีกว่าตัวแบบการเรียนรู้ด้วยเครื่องที่มี 6 ปัจจัย ได้แก่ ปัจจัยวัน ปี อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความกดอากาศ และความเร็วลม เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจพหุคูณ ( $R^2$ ) ในข้อมูลชุดทดลองของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 และ PM10 ในภาคเหนือ ภาคกลาง ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคใต้ ตัวแบบที่มีค่า  $R^2$  มากที่สุด ได้แก่ ตัวแบบ RF รองลงมาเป็นตัวแบบ ARIMAX ในข้อมูลชุดทดสอบตัวแบบที่มีค่า  $R^2$  มากที่สุด ได้แก่ ตัวแบบ ARIMAX รองลงมาตัวแบบ RF เมื่อแบ่งชุดข้อมูลเป็น 70:30

## 4.2 อภิปรายผล

สำหรับแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงมลพิษทางอากาศของฝุ่นละอองขนาดเล็ก ในภาคเหนือ การศึกษาครั้งนี้ พบว่า มีแนวโน้มความเข้มข้นของ PM<sub>2.5</sub> และ PM<sub>10</sub> สูงในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนเมษายน สอดคล้องกับงานวิจัยของ Sukkhum และคณะ (Sukkhum et al., 2021) ที่ทำการศึกษานวนิยมของมลพิษอากาศในเดือนมีนาคมถึงเดือนเมษายน ที่พบว่า ฝุ่นละออง PM<sub>2.5</sub> และ PM<sub>10</sub> ของภาคเหนือมีแนวโน้มสูงในเดือนมีนาคมถึงเดือนเมษายน ปี 2547 ถึงปี 2561 และเป็นไปในทิศทางเดียวกับงานวิจัยของ Sirithian และ Thanatrakolsri (Sirithian & Thanatrakolsri, 2022) ที่พบค่าความเข้มข้นของ PM<sub>2.5</sub> และ PM<sub>10</sub> สูงในช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนเมษายนในปี 2559 ถึงปี 2563 ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีแนวโน้มความเข้มข้นของ PM<sub>2.5</sub> และ PM<sub>10</sub> สูงเดือนมกราคมถึงเดือนมีนาคม ทั้งนี้ สาเหตุส่วนใหญ่เกิดจากการเผาพื้นที่เกษตรและไฟฟ้าในภาคเหนือส่วนใหญ่เกิดจากการเผาซากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ขยายพื้นที่ปลูกในที่สูง การเผาอ้อยเพื่อเก็บเกี่ยว และการเผาตอซังข้าวในพื้นที่ราบเพื่อเตรียมเพาะปลูกในรอบต่อไป รวมทั้งผลกระทบที่เกิดจากการเผาในพื้นที่ประเทศเพื่อนบ้าน (Chairattanawan & Patthirasinsiri, 2020) ส่วนภาคกลางมีความเข้มข้นสูงเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนมีนาคม เนื่องจากภาคกลางเป็นพื้นที่ที่มีประชากรหนาแน่น มีโรงงานอุตสาหกรรมจำนวนมากทำให้มีกิจกรรมการปล่อยมลพิษจากมนุษย์สูงขึ้น (ปฏิพัทธ์ & สิทธิชัย, 2018) สอดคล้องกับการศึกษาของกองจัดการคุณภาพอากาศและเสียง กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (2561) ที่พบว่าสถานการณ์ฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM<sub>2.5</sub> ในพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล สูงในช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนมีนาคม และเดือนธันวาคม ในปี 2554-2561 และมีค่าความเข้มข้นของฝุ่นเป็นไปในทิศทางเดียวกับงานวิจัยของ Chirasophon และ Pochanart (Chirasophon & Pochanart, 2020) พบว่า ในพื้นที่กรุงเทพมหานคร มีค่าความเข้มข้น PM<sub>2.5</sub> และ PM<sub>10</sub> สูงกลางเดือนกุมภาพันธ์ถึงกลางเดือนพฤษภาคม ในปี 2550-2559 และไม่พบรูปแบบตามฤดูกาลในภาคใต้ ในขณะที่การศึกษาของ Pentamwa และ Oanh (Pentamwa & Oanh, 2008) พบฝุ่นละออง PM<sub>10</sub> ปกคลุมภาคใต้ของประเทศไทยในช่วงเดือนมิถุนายนถึงเดือนสิงหาคม และจากการรายงานสถานการณ์ฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM<sub>2.5</sub> และฝุ่นละออง PM<sub>10</sub> จากกรมควบคุมมลพิษ (2565) ในภาคใต้และภาคตะวันออกเฉียงเหนือภาพรวมอยู่ในเกณฑ์ดีมาก แต่เมื่อดูแยกเป็นรายจังหวัดพบฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM<sub>2.5</sub> และฝุ่นละออง PM<sub>10</sub> มีแนวโน้มสูงขึ้นในปี 2564 เช่น จังหวัดสุราษฎร์ธานี จังหวัดสงขลา และจังหวัดอุบลราชธานี

สำหรับการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำนายระหว่างวิธีอาร์มาและวิธีการเรียนรู้ด้วยเครื่อง พบว่าเมื่อพิจารณาจากตัวแปรวัน ปี อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความกดอากาศ และความเร็ว

ลม ตัวแบบ ARIMAX เป็นตัวแบบที่เหมาะสมที่สุดในการทำนายแนวโน้มฝุ่นละออง PM<sub>2.5</sub> และฝุ่นละออง PM<sub>10</sub> ในเขตพื้นที่ภาคเหนือ ตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง และภาคใต้ ของประเทศไทย เมื่อเทียบกับตัวแบบ ARIMA ที่มีตัวแปรเดียวและตัวแบบการเรียนรู้ด้วยเครื่อง ได้แก่ MLR ANN SVM และ RF ที่มีหกตัวแปร เนื่องจากการทำนายโดยวิธีตัวแบบการเรียนรู้ด้วยเครื่องจะต้องใช้ชุดข้อมูลเป็นจำนวนมากเพื่อประมวลผลข้อมูลในอดีตได้อย่างแม่นยำมากขึ้น ดังนั้นจึงทำให้เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน RMSE และ MAPE สูงกว่าการทำนายด้วย ARIMAX ซึ่งสอดคล้องกับผลวิเคราะห์ของ Tong Liu และคณะ (Tong Liu et al, 2018) ที่พบว่าตัวแบบ ARIMAX สามารถทำนายข้อมูลคุณภาพอากาศที่มีตัวแปร PM<sub>2.5</sub> NO<sub>2</sub> และ O<sub>3</sub> ได้ดีทั้งรายวันและรายชั่วโมง และสอดคล้องกับการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM<sub>10</sub> ของ Fatih Taşpinar (2015) โดยศึกษาตัวแปรจากปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาของประเทศตุรกี ในปี 2557-2558 ผลการศึกษาตัวแบบ ARIMAX พบว่า ปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาที่เป็นตัวแปรอุณหภูมิ มีผลต่อฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM<sub>10</sub> ( $R^2 = 0.94$ )

#### 4.3 ข้อจำกัด

1. ข้อมูลฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM<sub>2.5</sub> ที่ได้จากกรมควบคุมมลพิษ ในบางจังหวัดมีการเก็บข้อมูลเมื่อไม่กี่ปี เช่น จังหวัดนครราชสีมา จังหวัดอุบลราชธานี เป็นต้น ทำให้ดูแนวโน้มในระยะยาวได้ไม่ชัดเจนเมื่อเทียบกับจังหวัดที่มีการเก็บข้อมูลไว้หลายปี
2. ข้อมูลที่ได้จากบางสถานีจะมีระยะเวลาที่มีการซ่อมบำรุงหรือเปลี่ยนเครื่องมือเก็บข้อมูลทำให้ข้อมูลขาดหายไปเป็นบางช่วงเวลา

#### 4.4 ข้อเสนอแนะ

1. การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาข้อมูลฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM<sub>2.5</sub> และ PM<sub>10</sub> ในเขตพื้นที่ของแต่ละภูมิภาคบางช่วงเวลาเครื่องมือไม่สามารถเก็บค่าความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็กได้ทำให้ข้อมูลขาดหายไป ซึ่ง ข้อมูลสูญหายสามารถส่งผลต่อการวิเคราะห์ และการสรุปผล ดังนั้นงานวิจัยนี้ได้ใช้วิธีการเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด (K-Nearest Neighbour Algorithm) โดยใช้การประมาณค่าด้วยค่าเฉลี่ย  $k=20$  จำนวน เพื่อแทนค่าข้อมูลที่มีการสูญหาย ดังนั้นการศึกษาครั้งต่อไปอาจจะทำการเปรียบเทียบการประมาณค่าที่สูญหายด้วยวิธีอื่นที่หลากหลายนี้นี้ เช่น วิธีโครงข่ายประสาทที่เกิดซ้ำของหน่วยความจำระยะสั้นระยะยาวหรือ Long Short-Term Memory Recurrent Neural Networks (Yuan H. et al., 2018) เป็นต้น

2. การวิเคราะห์ตัวแบบอาร์มาและตัวแบบอาร์แม็กซ์จำเป็นต้องอาศัยข้อมูลที่มีลักษณะหนึ่ง แต่ข้อมูลฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 และ PM10 ส่วนมากมักมีลักษณะเป็นแนวโน้ม ฤดูกาล ข้อมูล จึงต้องมีลักษณะหนึ่งก่อนเข้าวิเคราะห์ในตัวแบบซึ่งทำให้ประสิทธิภาพการทำนายมีประสิทธิภาพ เพิ่มขึ้น

3. ข้อมูลในแต่ละเขตพื้นที่ภูมิภาคแตกต่างกันในด้านภูมิประเทศ ด้านสภาพอากาศ อาจ ส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำนายของแต่ละภูมิภาค สำหรับการศึกษาในครั้งต่อไป เพื่อให้ได้ผล การศึกษาที่มีความแม่นยำต่อพื้นที่นั้น ๆ ควรใช้ตัวแปรด้านภูมิประเทศ ด้านสภาพอากาศ เข้ามา วิเคราะห์ในตัวแบบ

ดังนั้น จึงสรุปได้ว่า วิธีการแบ่งสัดส่วนข้อมูลในการทดสอบมีผลต่อประสิทธิภาพความ แม่นยำการทำนายของฝุ่นละอองขนาดเล็กในภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคกลาง นั่นคือ ค่า ความคลาดเคลื่อนจะลดลงเมื่อแบ่งสัดส่วนของข้อมูลชุดทดสอบน้อย และตัวแบบ RF ทำงานได้ดีเมื่อ มีข้อมูลฝึกจำนวนมาก ในทางตรงกันข้ามตัวแบบ ARIMAX จะทำงานได้ดีเมื่อมีข้อมูลฝึกจำนวนน้อย จากผลแนวโน้มของฝุ่นละอองขนาดเล็กดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าถึงแม้ทั้งภาครัฐและภาคเอกชนจะมี นโยบายหรือแนวทางการควบคุมต่าง ๆ แต่อาจยังไม่เพียงพอกับการจัดการควบคุมมลพิษ และต้อง เพิ่มมาตรการนโยบายต่าง ๆ เพื่อจัดการกับปัญหาฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 และฝุ่นละออง PM10 ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นเพื่อลดระดับมลพิษทางอากาศ ดังนั้นผู้สนใจศึกษาต้องการนำ ARIMAX ไป ใช้จำเป็นจะต้องศึกษาให้ละเอียดรอบคอบในแต่ละขั้นตอน เพื่อให้ได้ตัวแบบที่ดีที่สุดและสามารถ นำไปประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด

### บรรณานุกรม

- World Health Organization. (2013). Health Effects of Particulate Matter: Policy implications for countries in eastern Europe, Caucasus and central Asia.
- United State Environmental Protection Agency. (2020). Particulate Matter (PM) Pollution. Retrieved from <https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics>.
- World Health Organization. (2018). 9 out of 10 people worldwide breathe polluted air, but more countries are taking action. Retrieved from <https://www.who.int/news/item/02-05-2018-9-out-of-10-people-worldwide-breathe-polluted-air-but-more-countries-are-taking-action>
- Barmpadimos, I., Keller, J., Oderbolz, D., Hueglin, C., & Prévôt, A. S. H. (2012). One decade of parallel fine (PM 2.5) and coarse (PM 10–PM 2.5) particulate matter measurements in Europe: trends and variability. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 12(7), 3189-3203.
- Caporale, G. M., Gil-Alana, L. A., & Carmona-González, N. (2021). Particulate matter 10 (PM 10): persistence and trends in eight European capitals. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 1-6.
- Yang, X., Jiang, L., Zhao, W., Xiong, Q., Zhao, W., & Yan, X. (2018). Comparison of ground-based PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> concentrations in China, India, and the US. *International journal of environmental research and public health*, 15(7), 1382.
- Sentian, J., Herman, F., Yih, C. Y., & Wui, J. C. H. (2019). Long-term air pollution trend analysis in Malaysia. *International Journal of Environmental Impacts*, 2(4), 309-324.
- Shi, Y., Matsunaga, T., Yamaguchi, Y., Li, Z., Gu, X., & Chen, X. (2018). Long-term trends and spatial patterns of satellite-retrieved PM<sub>2.5</sub> concentrations in South and Southeast Asia from 1999 to 2014. *Science of The Total Environment*, 615, 177-186.

### บรรณานุกรม (ต่อ)

- Chuang, H. C., Hsiao, T. C., Wang, S. H., Tsay, S. C., & Lin, N. H. (2016). Characterization of particulate matter profiling and alveolar deposition from biomass burning in Northern Thailand: The 7-SEAS study. *Aerosol and Air Quality Research*, 16(11), 2897-2906.
- Chantra, S., & Wiriya, W. (2019). From the problem of open burning to building an integrated network on smog. *Community Research Newsletter*, 24(144), 10-15. Retrieved from <http://rescom.trf.or.th/documents/chabub/100242.pdf>.
- Lu, F., Xu, D., Cheng, Y., Dong, S., Guo, C., Jiang, X., & Zheng, X. (2015). Systematic review and meta-analysis of the adverse health effects of ambient PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> pollution in the Chinese population. *Environmental research*, 136, 196-204.
- Kwon, H. S., Ryu, M. H., & Carlsten, C. (2020). Ultrafine particles: unique physicochemical properties relevant to health and disease. *Experimental & molecular medicine*, 52(3), 318-328.
- Krzyzanowski, M., & Cohen, A. (2008). Update of WHO air quality guidelines. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 1(1), 7-13.
- Thuy, N. T. T., Dung, N. T., Sekiguchi, K., Thuy, L. B., Hien, N. T. T., & Yamaguchi, R. (2018). Mass concentrations and carbonaceous compositions of PM<sub>0.1</sub>, PM<sub>2.5</sub>, and PM<sub>10</sub> at urban locations of Hanoi, Vietnam. *Aerosol and Air Quality Research*, 18(7), 1591-1605.
- กองจัดการคุณภาพอากาศและเสียง กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2561). *โครงการศึกษาแหล่งกำเนิดและแนวทางการจัดการฝุ่นละออง ขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ในพื้นที่กรุงเทพและปริมณฑล*. ค้นจาก <http://infofile.pcd.go.th/pcd/PM2.5.pdf>. (ค้นเมื่อวันที่ 30 ธันวาคม 2563).
- กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2562). *สถานการณ์และการจัดการปัญหามลพิษ ทางอากาศและเสียง ของประเทศไทย ปี 2562* (หน้า 6). ค้นจาก <file:///C:/Users/TPP/Downloads/AirNoise62.pdf>

### บรรณานุกรม (ต่อ)

- Singh, V., Singh, S., & Biswal, A. (2020). Exceedances and trends of particulate matter (PM<sub>2.5</sub>) in five Indian megacities. *Science of the Total Environment*, 750, 141461.
- Wei, J., Li, Z., Xue, W., Sun, L., Fan, T., Liu, L., ... & Cribb, M. The ChinaHighPM10 dataset: generation, validation, and spatiotemporal variations from 2015 to 2019 across China. *Environment International*, 146, 106290.
- Bertazzon, S., Underwood, F., Johnson, M., & Zhang, J. (2016). Land use regression of particulate matter in Calgary, Canada. In International Conference on GIScience Short Paper Proceedings (Vol. 1, No. 1).
- Zhang, L., Lin, J., Qiu, R., Hu, X., Zhang, H., Chen, Q., ... & Wang, J. (2018). Trend analysis and forecast of PM<sub>2.5</sub> in Fuzhou, China using the ARIMA model. *Ecological indicators*, 95, 702-710.
- Liu, T., Lau, A. K., Sandbrink, K., & Fung, J. C. (2018). Time series forecasting of air quality based on regional numerical modeling in Hong Kong. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 123(8), 4175-4196.
- Wang, Y., Gao, C., Zhao, T., Jiao, H., Liao, Y., Hu, Z., & Wang, L. (2023). A comparative study of three models to analyze the impact of air pollutants on the number of pulmonary tuberculosis cases in Urumqi, Xinjiang. *PloS one*, 18(1), e0277314
- Taşpınar, F. (2015). Time series models for air pollution modelling considering the shift to natural gas in a Turkish city. *CLEAN–Soil, Air, Water*, 43(7), 980-988.
- Zhang, L., Lin, J., Qiu, R., Hu, X., Zhang, H., Chen, Q., ... & Wang, J. (2018). Trend analysis and forecast of PM<sub>2.5</sub> in Fuzhou, China using the ARIMA model. *Ecological indicators*, 95, 702-710.
- Zhang, G., Lu, H., Dong, J., Poslad, S., Li, R., Zhang, X., & Rui, X. (2020). A framework to predict high-resolution spatiotemporal PM<sub>2.5</sub> distributions using a deep-learning model: A case study of Shijiazhuang, China. *Remote Sensing*, 12(17), 2825.



### บรรณานุกรม (ต่อ)

- Karimian, H., Li, Q., Wu, C., Qi, Y., Mo, Y., Chen, G., ... & Sachdeva, S. (2019). Evaluation of different machine learning approaches to forecasting PM<sub>2.5</sub> mass concentrations. *Aerosol and Air Quality Research*, 19(6), 1400-1410.
- Zandi, S. (2021). Estimation of Near Ground Particulate Matter in Urban Areas (Doctoral dissertation, Auckland University of Technology).
- Lasheras, F. S., Nieto, P. J. G., Gonzalo, E. G., Bonavera, L., & de Cos Juez, F. J. (2020). Evolution and forecasting of PM<sub>10</sub> concentration at the Port of Gijon (Spain). *Scientific Reports*, 10(1), 1-12.
- Ceylan, Z., & Bulkan, S. E. R. O. L. (2018). Forecasting PM<sub>10</sub> levels using ANN and MLR: A case study for Sakarya City. *Global Nest Journal*, 20(2), 281-90.
- Saeipourdizaj, P., Sarbakhsh, P., & Gholampour, A. (2021). Application of imputation methods for missing values of PM<sub>10</sub> and O<sub>3</sub> data: Interpolation, moving average and K-nearest neighbor methods. *Environmental Health Engineering and Management Journal*, 8(3), 215-226.
- Suwannasaen, P. (2018). การจัดการข้อมูลสูญหาย: วิธีเคเนียร์เรสเนเบอร์ Management Approach of Missing Data: K-Nearest Neighbor Imputation. *Science and Technology Research Journal Nakhon Ratchasima Rajabhat University*, 4(1), 1-9.
- Yuan, H., Xu, G., Yao, Z., Jia, J., & Zhang, Y. (2018, October). Imputation of missing data in time series for air pollutants using long short-term memory recurrent neural networks. In *Proceedings of the 2018 ACM International Joint Conference and 2018 International Symposium on Pervasive and Ubiquitous Computing and Wearable Computers* (pp. 1293-1300).
- Sukkhum, S., Lim, A., Saelim, R. and Ingviya, T. (2021). Seasonal Patterns and Trends of Air Pollution in the Upper Northern Thailand from 2004 to 2018.
- Chirasophon, S., & Pochanart, P. (2020). The Long-term Characteristics of PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> in Bangkok, Thailand. *Asian Journal of Atmospheric Environment (AJAE)*, 14(1).

### บรรณานุกรม (ต่อ)

- Sirithian, D., & Thanatrakolsri, P. (2022). Relationships between Meteorological and Particulate Matter Concentrations (PM2.5 and PM10) during the Haze Period in Urban and Rural Areas, Northern Thailand. *Air, Soil and Water Research*, 15, 11786221221117264.
- Pentamwa, P., & Oanh, N. T. K. (2008). Air quality in Southern Thailand during haze episode in relation to air mass trajectory. *Songklanakarin Journal of Science & Technology*, 30(4).
- อโนทัย ตริวานิช. (2552). สถิติธุรกิจ (พิมพ์ครั้งที่ 4). ขอนแก่น: ขอนแก่นการพิมพ์.
- Chairattanawan, K., & Patthirasinsiri, N. (2020). แหล่งกำเนิดผลกระทบและแนวทางการจัดการฝุ่นละออง PM2.5 บริเวณภาคเหนือของประเทศไทย. *Journal of the Association of Researchers*, 25(1), 432-446.
- กรมควบคุมมลพิษ. แอลงคุณภาพอากาศ 29 มีนาคม 2564 ภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีปริมาณ PM2.5 เกินค่ามาตรฐานในบางจังหวัด [อินเทอร์เน็ต]. 2566 [เข้าถึงเมื่อ 16 กุมภาพันธ์ 2566]. เข้าถึงจาก [https://www.pcd.go.th/pcd\\_news/12568](https://www.pcd.go.th/pcd_news/12568)
- ปฏิพัทธ์ วงศ์เรือง & สิทธิชัย พิมพ์ศรี. (2018). การประเมินผลกระทบจากการเผาชีวมวลต่อระดับฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM10) ในช่วงที่มีปัญหาหมอกควันในพื้นที่ประเทศไทยโดยใช้แบบจำลอง WRF-CMAQ. *Thai Science and Technology Journal*, 34-48.

ภาคผนวก

## ผลงานตีพิมพ์และเผยแพร่



## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นางสาวฐิตาพร ทองรอด  
 รหัสประจำตัวนักศึกษา 6310025004  
 วุฒิการศึกษา  
 วุฒิ ชื่อสถาบัน ปีที่สำเร็จการศึกษา  
 ปริญญาตรี (สาขาสถิติ) มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ 2561

## ทุนการศึกษา (ที่ได้รับในระหว่างการศึกษา)

ทุนการศึกษาตลอดหลักสูตร ภายใต้โปรแกรม 16 โครงการปฏิรูประบบการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม (Reinventing Universities & Research Institutes) ประจำปีงบประมาณ 2564 รอบที่ 1

## ตำแหน่งและสถานที่ทำงาน (ถ้ามี)

นักวิชาการศึกษา หน่วยงานศูนย์แพทยศาสตรศึกษาชั้นคลินิก โรงพยาบาลตรัง

## การตีพิมพ์และเผยแพร่ผลงาน (ถ้ามี)

T. Thongrod, A. Lim, T. Ingviya and B. A. Owusu, "Prediction of PM2.5 and PM10 in Chiang Mai Province: A Comparison of Machine Learning Models," 2022 37th International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications (ITC-CSCC), 2022, pp. 1-4, doi: 10.1109/ITC-CSCC55581.2022.9894884