

การสร้างระบบเตือนภัยฝุ่นละอองและแบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM 2.5 โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม เพื่อการพัฒนาท้องถิ่น

Creation of a Dust Warning System and a Model for Predicting the Amount of Small Dust
Particles PM 2.5 Using Artificial Neural Networks for Local Development

คณกร สว่างเจริญ (Kanakorn Sawangcharoen) E-mail: kanakorn.sa@bsru.ac.th¹

สมบัติ ทีฆทรัพย์ (Sombat Teekasap) E-mail: sombatteekasap@gmail.com²

พงษ์พันธ์ นารีน้อย (Phongphan Nareenoi) E-mail: Phongphan.na@o365.bsru.ac.th^{3*}

ภักดี โตแดง (Phakdee Todang) E-mail: cncphakdee@bsru.ac.th⁴

^{1,2}บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

(Graduate School, Bansomdejchaopraya Rajabhat University)

³สาขาวิชาสังคมศาสตร์เพื่อการพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

(Program in Social Sciences for Development, Bansomdejchaopraya Rajabhat University)

⁴สำนักคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

(Computer Office, Bansomdejchaopraya Rajabhat University)

*Corresponding Author. E-mail: Phongphan.na@o365.bsru.ac.th

(Received: April 11, 2024; Revised: May 20, 2024; Accepted: May 24, 2024)

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้พัฒนาระบบตรวจวัดฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 ที่สามารถแจ้งเตือนปริมาณฝุ่นเมื่อเกินค่ามาตรฐานผ่าน Application Line และพยากรณ์ปริมาณฝุ่นล่วงหน้าโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม การสร้างแบบจำลองการพยากรณ์นี้ใช้โปรแกรม Rapid Miner Studio โดยมีจุดติดตั้งเครื่องตรวจวัดฝุ่นที่มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา กรุงเทพมหานคร, ตำบลบางโพธิ์ จังหวัดสมุทรสาคร และอำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่ เก็บข้อมูลระหว่างวันที่ 1 มีนาคมถึง 31 พฤษภาคม 2565 เพื่อสร้างแบบจำลอง และระหว่างวันที่ 1 ถึง 30 มิถุนายน 2565 เพื่อเปรียบเทียบผลพยากรณ์ ตัวแปรที่ใช้รวมถึง PM2.5 อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลม ผลการวิเคราะห์พบว่าผลการพยากรณ์ที่มีความแม่นยำสูงสุดเกิดขึ้นที่จังหวัดเชียงใหม่ โดยมีค่าความผันผวนต่ำที่สุดที่ 0.03% (MAE = 0.155, MAPE = 0.4%) ในขณะที่กรุงเทพมหานครและจังหวัดสมุทรสาครมีค่าความผันผวนที่ 2.31% (MAE = 0.43, MAPE = 5.2%) และ 5.54% (MAE = 2.08, MAPE = 6.5%) ตามลำดับ ซึ่งชี้ให้เห็นถึงประสิทธิภาพของการใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการพยากรณ์คุณภาพอากาศ ผลจากการวิจัยนี้สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการพัฒนานโยบายและแผนการจัดการสิ่งแวดล้อมของท้องถิ่น เพื่อเสริมสร้างสุขภาพและคุณภาพชีวิตของประชาชนในพื้นที่ต่อไป

คำสำคัญ : ระบบเตือนภัย; แบบจำลองการพยากรณ์; ฝุ่นละอองขนาดเล็ก; โครงข่ายประสาทเทียม

Abstract

This research developed a monitoring system for fine particulate matter (PM_{2.5}) capable of issuing alerts when levels exceed established standards via the Line application and forecasting future particulate levels using artificial neural networks. The forecasting model was created using Rapid Miner Studio and implemented at three locations: Bansomdejchaopraya Rajabhat University in Bangkok, Bang Thorat sub-district in Samut Sakhon Province, and Mae Rim district in Chiang Mai Province. Data were collected from March 1, 2025, to May 31, 2025, for model development and from June 1, 2025, to June 30, 2025, for forecast comparison. The variables included PM_{2.5} levels, temperature, relative humidity, and wind speed. The analysis revealed that the most accurate forecasts were in Chiang Mai, with the lowest volatility at 0.03% (Mean Absolute Error = 0.155, Mean Absolute Percentage Error = 0.4%). In contrast, Bangkok and Samut Sakhon showed volatilities of 2.31% (MAE = 0.43, MAPE = 5.2%) and 5.54% (MAE = 2.08, MAPE = 6.5%), respectively, highlighting the effectiveness of neural networks in air quality forecasting. The findings from this research can inform the development of local environmental management policies and plans, ultimately improving public health and quality of life.

Keywords: Warning system; Forecasting model; Fine dust; Artificial neural network

บทนำ

มลพิษในอากาศจากปัญหาฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM2.5) กลายเป็นปัญหาหลักที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนและชุมชน เนื่องจากสถานการณ์ฝุ่นละอองขนาดเล็กเกินมาตรฐานในช่วงต้นปีของทุกปี ในพื้นที่กรุงเทพฯ และปริมณฑล รวมถึงในหลายจังหวัดเนื่องจากค่าฝุ่น PM2.5 สูงเกินค่ามาตรฐานในช่วงระยะเวลาหนึ่งทุกปี ซึ่งมีผลกระทบต่อสุขภาพและการดำเนินชีวิตของประชาชนทุกกลุ่ม รวมถึงมีความเสี่ยงทำให้เกิดโรคทางเดินหายใจ โรคหัวใจ โรคหลอดเลือด และโรคมะเร็งปอด โดยเฉพาะประชาชนกลุ่มเสี่ยงทั้งเด็ก หญิงตั้งครรภ์ ผู้สูงอายุ และผู้ที่มีโรคประจำตัว จึงได้เลือกสถานที่ติดตั้งจุดที่หนึ่ง มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา เนื่องจากเป็นสถานศึกษาที่มีนักศึกษาเป็นจำนวนมากและยังมีชุมชนรอบข้างหลายชุมชนโดยรอบมหาวิทยาลัย จุดที่สองตำบลบางโทรัด จังหวัดสมุทรสาคร เนื่องจากจังหวัดสมุทรสาคร เป็นจังหวัดที่อยู่ใกล้กรุงเทพมหานครและยังเป็นเมืองอุตสาหกรรมมีปริมาณฝุ่นละอองที่สูงเกินค่ามาตรฐาน จุดที่สามตำบลสันโป่ง อำเภอมะเณร จังหวัดเชียงใหม่ เนื่องจากจังหวัดเชียงใหม่เป็นสถานที่ที่มีปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กเกิดขึ้นทุกปี เนื่องจากมีการทำการเกษตรและมีผลกระทบจากการเผาพืชผลทางการเกษตรทั้งในพื้นที่และจากพื้นที่ข้างเคียงเป็นประจำทุกปี

การใช้งานอุปกรณ์เซนเซอร์ในรูปแบบ Internet of Things (IoT) เพื่อสร้างเครื่องตรวจวัดที่สามารถตรวจวัดฝุ่น PM2.5 และมีระบบเตือนภัยผ่านระบบแจ้งเตือนผ่านโปรแกรมไลน์ (Line Notify) เพื่อแจ้งเตือนให้ผู้ที่อยู่ในพื้นที่ติดตั้งทราบถึงปริมาณฝุ่นที่สูงขึ้น จึงเป็นจึงเป็นนวัตกรรมตรวจวัดสภาพอากาศเพื่อการแก้ปัญหาฝุ่นอย่างยั่งยืน โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม มีการนำโปรแกรม Rapid Miner Studio มาใช้สร้างแบบจำลองข้อมูลจากเครื่องตรวจวัดคุณภาพอากาศในจังหวัดสมุทรสาคร จังหวัดเชียงใหม่ และกรุงเทพมหานคร การนำข้อมูลคุณภาพอากาศมาปรับใช้ในการใช้ชีวิตประจำวันของประชาชน ชุมชน และสนับสนุนการใช้ประโยชน์แก่หน่วยงานต่าง ๆ ทั้งด้านการบริการ ด้านการท่องเที่ยว และด้านสาธารณสุข โดยข้อมูลคุณภาพอากาศจากเซนเซอร์ตรวจวัดคุณภาพอากาศที่ติดตั้ง และเชื่อมโยงเครือข่ายทั่วประเทศ ทำให้ประชาชนสามารถใช้เฝ้าระวังและวางแผนการใช้ชีวิตประจำวัน สามารถประยุกต์ใช้ประโยชน์ในด้านสาธารณสุขเพื่อการติดตามเฝ้าระวังอาการคนกลุ่มเสี่ยงด้านทางเดินหายใจ พร้อมทั้งส่งเสริมเศรษฐกิจการท่องเที่ยวที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม อีกทั้งพัฒนาคุณภาพชีวิตของประชาชนให้ดีขึ้นอย่างยั่งยืน

ในการหาเครื่องมือที่ช่วยคาดการณ์ของปริมาณฝุ่นละอองที่จะเกิดขึ้นในอนาคตได้ล่วงหน้านั้นเป็นสิ่งสำคัญอย่างมากในปัจจุบัน เนื่องจากช่วยให้ผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องสามารถวางแผนรับมือเพื่อแก้ไขปัญหา และสามารถเตรียมความพร้อมในการกำหนดแนวทางการรับมือปัญหาด้านสุขภาพของผู้คนในชุมชน และในอุตสาหกรรม ในแต่ละพื้นที่ได้ ทั้งนี้ผู้วิจัยเห็นว่าเครื่องมือตรวจวัดฝุ่นที่มีการวางขายโดยทั่วไปสามารถนำมาสร้างระบบเตือนภัยได้ทั้งราคาไม่แพงจัดหาซื้อง่าย เหมาะแก่การทำชุดติดตั้งตามชุมชนต่าง ๆ และแจ้งเตือนผ่าน Application Line เพื่อให้ประชาชนในพื้นที่เตรียมป้องกันปริมาณฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นในขณะนั้น หรือวางแผนในการป้องกันล่วงหน้าได้ ผู้วิจัยได้รวบรวมข้อมูลจากเครื่องตรวจวัดฝุ่นจุดแรกที่ติดตั้งในมหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา เนื่องจากเป็นสถานศึกษาที่มีนักศึกษาเป็นจำนวนมากและยังมีชุมชนแขวงหิรัญรูจี จำนวน 9 ชุมชน ประกอบด้วยชุมชนวัดประดิษฐาราม ชุมชนบางไส้ไก่บ้านสมเด็จ ชุมชนมัสยิดบ้านสมเด็จ ชุมชนสี่แยกบ้านแขก ชุมชนศรีภูมิ ชุมชนวัดใหญ่ศรีสุพรรณ ชุมชนสามัคคีศรีสุพรรณ ชุมชนประสานมิตร และชุมชนวัดหิรัญรูจี จุดที่สองตำบลบางโทรัด จังหวัดสมุทรสาคร เนื่องจากจังหวัดสมุทรสาครเป็นจังหวัดที่อยู่ใกล้กรุงเทพมหานคร และยังเป็นเมืองอุตสาหกรรมที่มีปริมาณฝุ่นละอองสูงเกินค่ามาตรฐานบ่อยครั้ง จุดที่สามคือตำบลสันโป่ง อำเภอมะเณร จังหวัดเชียงใหม่ เนื่องจากจังหวัดเชียงใหม่ เป็นสถานที่ที่มีปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กเกิดขึ้นทุกปีเนื่องจากมีการทำการเกษตรและมีผลกระทบจากการเผาพืชผลทางการเกษตรทั้งในพื้นที่และจากพื้นที่ข้างเคียงทุกปี จึงได้นำข้อมูล

ทั้งสามจังหวัดมาใช้เป็นข้อมูลตัวอย่างในการสร้างแบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณค่าฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม ด้วยโปรแกรม Rapid Miner Studio

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อสร้างระบบเตือนภัยฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM 2.5
2. เพื่อศึกษาแนวทางการสร้างแบบจำลองการพยากรณ์ข้อมูลฝุ่นโดยใช้การศึกษาฝุ่นละอองใน กรุงเทพมหานคร จังหวัดสมุทรสาคร และจังหวัดเชียงใหม่
3. เพื่อสร้างแบบจำลองการพยากรณ์ข้อมูลฝุ่นด้วยเครื่องมือ Rapid Miner Studio เปรียบเทียบกับ ข้อมูลตรวจวัดฝุ่นจากเครื่องตรวจวัด

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. มีระบบแจ้งเตือนอัตโนมัติเมื่อระดับฝุ่น PM2.5 เกินกว่าค่าที่กำหนด เพื่อการตอบสนองที่รวดเร็ว และป้องกันผลกระทบต่อสุขภาพ
2. แบบจำลองที่ใช้โครงข่ายประสาทเทียมเพื่อพยากรณ์ระดับฝุ่น PM2.5 ล่วงหน้า
3. ข้อมูลจากเครื่องตรวจวัดฝุ่นสามารถนำมาใช้ในแบบจำลองเพื่อเพิ่มความแม่นยำในการตรวจสอบ และการวิเคราะห์
4. เป็นแนวทางในการพัฒนานโยบายและแผนการจัดการสิ่งแวดล้อมท้องถิ่น เพื่อปรับปรุงคุณภาพชีวิตและสุขภาพของชุมชน

ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้ เป็นการวิจัยโดยการนำข้อมูลประมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน จากเครื่องตรวจวัดฝุ่นมาสร้างระบบแจ้งเตือน และสร้างแบบจำลองการพยากรณ์ด้วยเครื่องมือ Rapid Miner Studio โดยเลือกใช้เทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม สำหรับขอบเขตของการวิจัยมีดังนี้

1. กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย คือ ข้อมูลการตรวจวัด PM 2.5 อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ จากเครื่องวัดฝุ่น ประจำจุดติดตั้งในจังหวัดสมุทรสาคร จังหวัดเชียงใหม่ และกรุงเทพมหานคร

2. ตัวแปรที่ศึกษา

2.1 ตัวแปรอิสระ ได้แก่

- 1) ปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอนที่ได้จากเครื่องตรวจวัดฝุ่น
- 2) อุณหภูมิ ได้จากเครื่องตรวจวัดฝุ่น
- 3) ความชื้นสัมพัทธ์จากเครื่องตรวจวัดได้จากเครื่องตรวจวัดฝุ่น
- 4) ความเร็วลม

2.2 ตัวแปรตาม ได้แก่ ผลการพยากรณ์ข้อมูลปริมาณ PM 2.5 จากข้อมูลของเครื่องตรวจวัดฝุ่นที่ได้จากเครื่องตรวจวัดฝุ่นในจังหวัดสมุทรสาคร จังหวัดเชียงใหม่ และกรุงเทพมหานคร

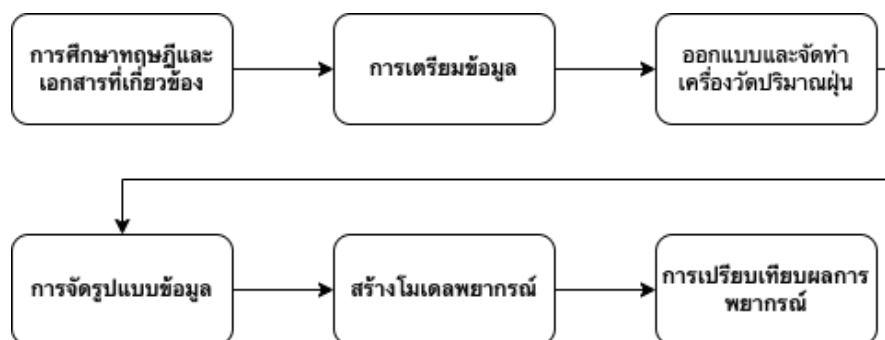
3. ระยะเวลาในการดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูล ตั้งแต่วันที่ 1 มีนาคม 2565-30 มิถุนายน 2565

กรอบแนวคิดในการวิจัย

จากการศึกษาทฤษฎี แนวคิด และเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการสร้างระบบแจ้งเตือนภัยและการสร้างแบบจำลองการพยากรณ์ค่า PM 2.5 โดยนำเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม (Neural Network) มาใช้เพื่อสร้างแบบจำลองการพยากรณ์ค่าฝุ่น PM 2.3 ล่วงหน้า ข้อมูลต้นแบบที่ใช้ในการตรวจวัดฝุ่นย้อนหลังตั้งแต่วันที่ 1 มีนาคม 2565-31 พฤษภาคม 2565 และข้อมูลการตรวจวัดฝุ่นย้อนหลังตั้งแต่วันที่ 1 มิถุนายน 2565 - 30 มิถุนายน 2565 นำมาจากเครื่องตรวจวัดฝุ่น ซึ่ง ประกอบด้วย 1) ข้อมูลปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 ที่วัดได้ 2) ข้อมูลอุณหภูมิ และ 3) ข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ มาจัดให้อยู่ในรูปแบบของ Comma Separated Value (CSV) โดยจัดรูปแบบข้อมูลเป็นรายชั่วโมง วันละ 24 ชุดข้อมูล และแบ่งออกเป็นกลุ่ม 6 กลุ่มข้อมูลเพื่อทำการเปรียบเทียบผลการพยากรณ์ ดังนี้

1. พยากรณ์จากปริมาณฝุ่นละออง (PM 2.5) อย่างเดียว
 2. พยากรณ์จากปริมาณฝุ่นละออง (PM 2.5) และอุณหภูมิ
 3. พยากรณ์จากปริมาณฝุ่นละออง (PM 2.5) และความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ
 4. พยากรณ์จากปริมาณฝุ่นละออง (PM 2.5) อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ
 5. พยากรณ์จากปริมาณฝุ่นละออง (PM 2.5) และความเร็วลม
 6. พยากรณ์จากปริมาณฝุ่นละออง (PM 2.5) อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ และความเร็วลม
- เมื่อได้ข้อมูลเรียบร้อยแล้วนำข้อมูลที่ได้มาเข้ากระบวนการเปรียบเทียบข้อมูลและสร้างโมเดล

การพยากรณ์โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม



รูปภาพที่ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย
ที่มา: พงษ์พันธ์ นารีน้อย และคณะ, 2566

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ผู้วิจัยได้ทำการเลือกเก็บตัวอย่างข้อมูลวิจัยจากเครื่องตรวจวัดฝุ่น PM 2.5 ที่สร้างขึ้นเพื่อใช้ในงานวิจัย ผู้วิจัยจึงเลือกจุดติดตั้งแรก อาคาร 10 มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา ตำแหน่งที่สอง พื้นที่หมู่ 3 ตำบลบางโทรัด อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสาคร และตำแหน่งที่สาม ตำบลสนโง้ง อำเภอแรมิม จังหวัดเชียงใหม่ โดยเครื่องตรวจวัดฝุ่น PM 2.5 ทั้งสามจุดนี้เก็บข้อมูลปริมาณตรวจวัดค่าฝุ่น PM 2.5 อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ และความเร็วลม รายชั่วโมงตลอด 24 ชั่วโมง และสามารถส่งออกข้อมูลการตรวจวัดฝุ่น PM 2.5 ในรูปแบบของ CSV (Comma-separated values)

2. การเก็บรวบรวมปริมาณฝุ่นละออง การเก็บข้อมูลปริมาณฝุ่นละอองจากเครื่องตรวจวัดฝุ่น PM 2.5 ทางผู้วิจัยได้ทำการเก็บตัวอย่างข้อมูลผ่านทาง CloudService Blynk โดยรูปแบบข้อมูลจะส่งออกมาในรูปแบบของ CSV

ตารางที่ 1 ข้อมูลปริมาณฝุ่นละอองที่ส่งออกมาจากเครื่องตรวจวัด 24 ชั่วโมง

pm2.5	temp	humid	win	timestamp
23	24	44	2	1/3/2022 00:00
23	24	43	2	1/3/2022 03:00
28	23	47	2	1/3/2022 04:00
26	23	47	1	1/3/2022 04:00
28	22	50	1	1/3/2022 05:00
27	25	42	1	1/3/2022 05:00
30	21	50	1	1/3/2022 06:00

3. การสร้างระบบเตือนภัย ในการสร้างเครื่องตรวจวัดฝุ่นจะใช้อุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์เชื่อมต่อกับ เซนเซอร์วัดฝุ่น วัดอุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วลม เชื่อมต่อกับสัญญาณอินเตอร์เน็ตเพื่อส่งข้อมูลไปเก็บที่ เซิร์ฟเวอร์และเมื่อข้อมูล ที่ตรวจวัดมีค่าเกินกำหนดตามค่ามาตรฐานความเข้มข้นมากกว่า 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ระบบจะส่ง การแจ้งเตือนผ่านระบบแจ้งเตือน ผ่านโปรแกรมไลน์ (Line Notify) เพื่อแจ้งเตือนเข้าไปในกลุ่มที่ได้สร้างขึ้นและผู้ที่ อยู่ร่วมในกลุ่มจะสามารถทราบปริมาณฝุ่น PM2.5



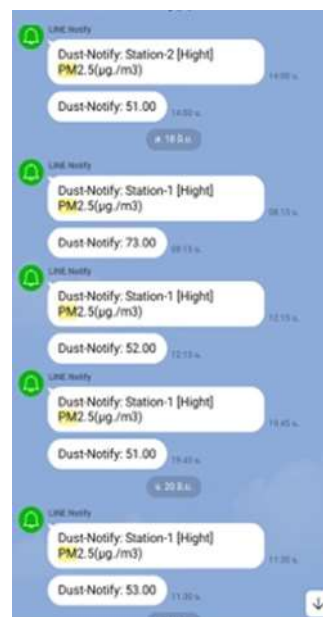
รูปภาพที่ 2 เครื่องวัดฝุ่น PM2.5



รูปภาพที่ 3 ภายในเครื่องตรวจวัดฝุ่น PM 2.5 และจุดติดตั้งโซลาร์เซลล์พร้อมเครื่องวัดความเร็วลม

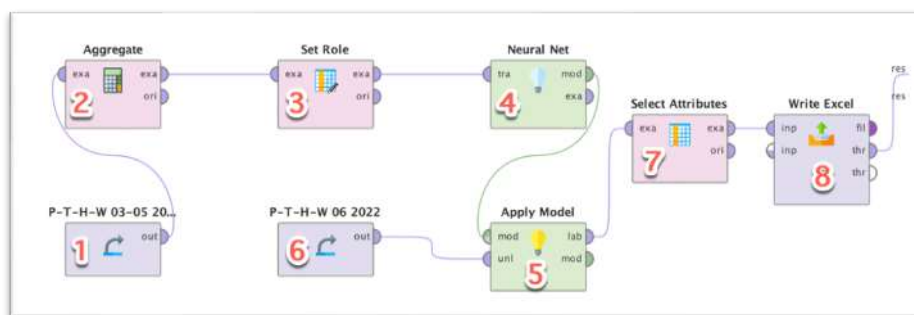


รูปภาพที่ 4 หน้าจอแสดงผลเครื่องตรวจวัดฝุ่น PM2.5
ที่มาของรูปภาพที่ 2 - 4 : ภัคดี โตแดง (2565)



รูปภาพที่ 5 หน้าจอแสดงผลปริมาณฝุ่น PM2.5 รูปภาพที่ 6 หน้าแสดงการแจ้งเตือน Line Notify
อุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วลมเมื่อมีปริมาณฝุ่น PM2.5 เกิน 50 µg/m³

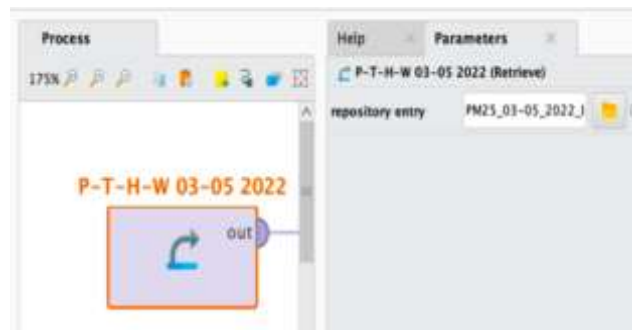
4. การสร้างแบบจำลองการพยากรณ์ ในการสร้างแบบจำลองการพยากรณ์จะใช้โปรแกรม Rapid miner Studio ในการสร้างแบบจำลองเนื่องจากโปรแกรม Rapid Miner Studio นั้นมีความสามารถในการสร้างโมเดลต่าง ๆ โดยไม่จำเป็นต้องเขียนโปรแกรม เพียงเลือกโมดูลที่ต้องการ เลือกการเชื่อมโยงของข้อมูล และกำหนดค่าตัวแปรต่าง ๆ แต่ในการกำหนดตัวแปรต่างมีความจำเป็นต้องเชื่อมโยงกันและมีรูปแบบข้อมูลที่ถูกต้อง โดยการทำงานจะมีขั้นตอน 8 ขั้นตอน ดังนี้



รูปภาพที่ 7 แสดงการสร้างโมเดลการพยากรณ์ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมด้วยโปรแกรม Rapid miner Studio
ที่มาของรูปภาพที่ 5 – 7 : ภัคดี โตแดง (2565)

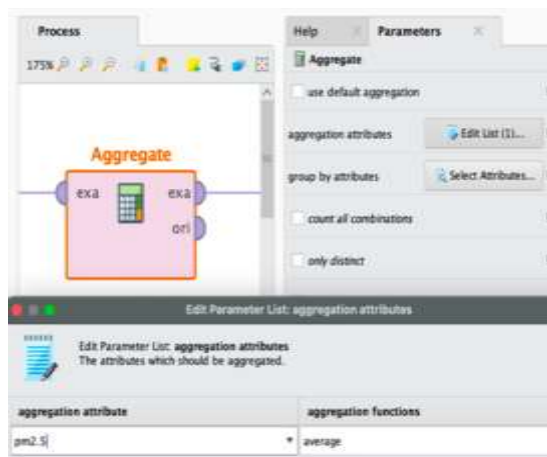
จากรูปภาพที่ 7 แสดงขั้นตอนการสร้างโมเดลการสร้างแบบจำลองพยากรณ์ปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน โดยเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม ด้วยโปรแกรม Rapid miner Studio ซึ่งแบ่งโมดูลต่าง ๆ ออกเป็น 8 โมดูล ดังนี้

หมายเลข 1 Retrieve (การดึงข้อมูล) หมายถึง ตัวดำเนินการเรียกข้อมูล เพื่อนำข้อมูลที่ต้องการส่งต่อไปยังโมดูลต่อไปเพื่อใช้งานโดยจะกำหนดดึงข้อมูลจากการนำเข้าข้อมูลลงใน Local Repository (ที่เก็บบนโปรแกรม Rapid Miner Studio)



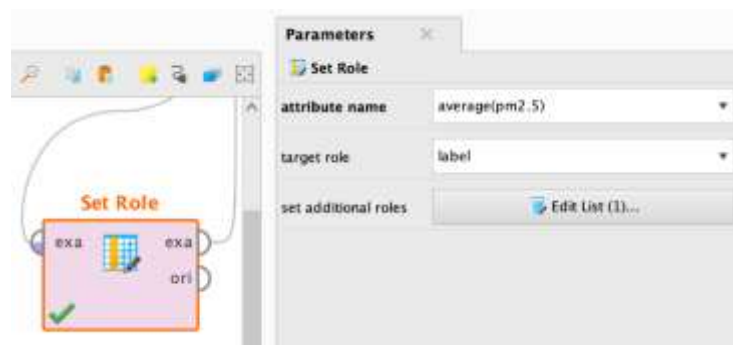
รูปภาพที่ 8 แสดงข้อมูลที่นำเข้า Local Repository ในโปรแกรม Rapid Miner Studio

หมายเลข 2 **Aggregate** ในโมดูลนี้จะทำงานคล้ายการทำงานของ SQL โดยจะรองรับฟังก์ชันการทำงาน SUM, COUNT, MIN, MAX, AVERAGE และฟังก์ชันอื่น ๆ ในโมดูลนี้จะกำหนดให้หาค่าเฉลี่ย (AVERAGE) ของค่าประมาณฝุ่นละอองที่นำเข้า



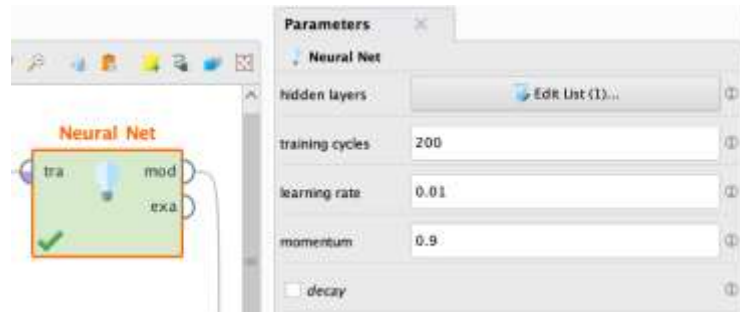
รูปภาพที่ 9 แสดงการปรับค่าพารามิเตอร์ของโมดูล Aggregate

หมายเลข 3 **Set Role** ในส่วนนี้จะเป็นการเซตระบุข้อมูลส่วนใดมาใช้ในการคำนวณ โดยจะเลือกเป็น ค่าเฉลี่ยที่ได้จากโมดูลก่อนหน้านี้ และเลือกข้อมูลเป็น Label เพื่อระบุเป็นข้อมูลเป้าหมายที่ต้องการนำไปใช้ตามรูปภาพที่ 10



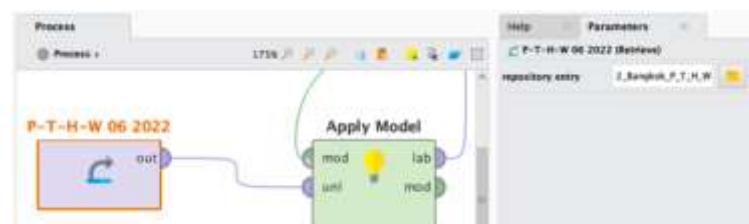
รูปภาพที่ 10 แสดงการกำหนดค่าพารามิเตอร์ในโมดูล Set Role
ที่มาของรูปภาพที่ 8 – 10 : ภัคดี โตแดง (2565)

หมายเลข 4 Neural Net ในโมดูลนี้จะเป็นโมดูลโครงข่ายประสาทเทียม โดยนำข้อมูลที่รับเข้ามาทำการประมวลผลในโมเดลโครงข่ายประสาทเทียมตามหลักการการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียม จะมีรอบการฝึกตามโมเดลที่ 200 ครั้ง ปรับค่าน้ำหนักที่ 0.01 โมเมนตัมในโครงข่ายประสาทเทียมเป็นตัวแปรของการไล่ระดับสุมในการเรียนรู้ค่าอยู่ที่ 0-1 โดยจะกำหนดค่าเป็น 0.9 ตามภาพที่ 10



รูปภาพที่ 11 แสดงการเซตค่าพารามิเตอร์โมดูล Neural Network

หมายเลข 5 และหมายเลข 6 Apply Model ในส่วนนี้จะเป็นการฝึกฝนบน ExampleSet ข้อมูลผลที่ได้จากโมเดล Neural Net และนำมาเรียนรู้กับข้อมูลที่เป็นข้อมูลประมาณผู้ลงจริง ข้อมูลหมายเลข 6 (ภาพที่ 11)



รูปภาพที่ 12 แสดงการเซตพารามิเตอร์โมดูล Apply Model

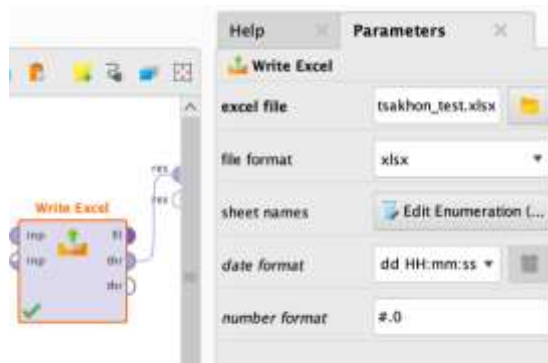
หมายเลข 7 Select Attributes ในส่วนนี้จะเป็นการเลือกข้อมูลที่ต้องการแสดงผลโดยจะมีการเซตค่า พารามิเตอร์ตามภาพที่ 12



รูปภาพที่ 13 แสดงการเซตค่าพารามิเตอร์โมดูล Select Attributes

ที่มาของรูปภาพที่ 11 – 13 : ภัคดี โตแดง (2565)

หมายเลข 8 Write Excel ในการทำงานของโมดูลนี้จะเป็นการส่งออกผลลัพธ์ให้อยู่ในรูปแบบ Excel เพื่อให้สามารถนำข้อมูลที่ได้ไปใช้งานต่อในงานด้านอื่น ๆ

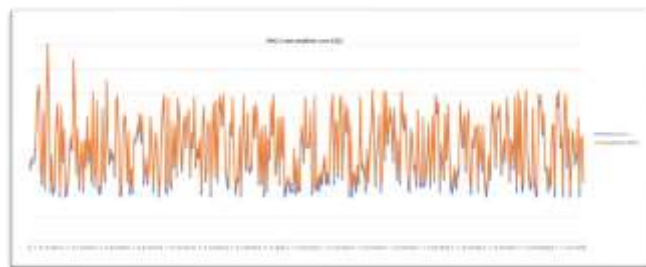


รูปภาพที่ 14 แสดงการตั้งค่าพารามิเตอร์โมดูล Write Excel

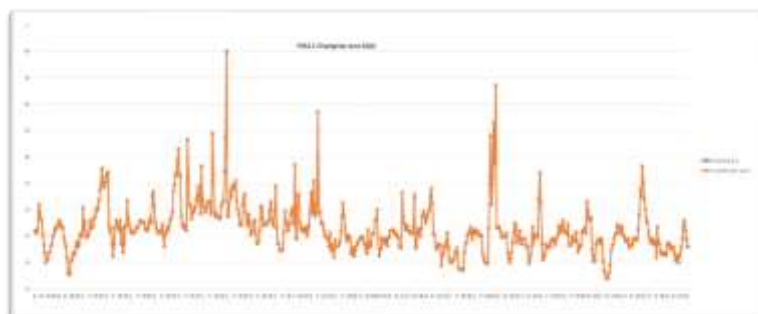
5. การเปรียบเทียบผลพยากรณ์ ในกระบวนการนี้จะเป็นการนำผลการพยากรณ์มาเปรียบเทียบกับผลของเครื่องตรวจวัดจริงเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างจากการพยากรณ์จากแบบจำลองที่สร้างขึ้นโดยโปรแกรม Rapid Miner Studio ภาพที่ 14 – 16



รูปภาพที่ 15 ภาพเปรียบเทียบผลการพยากรณ์เปรียบกับค่าฝุ่นที่ตรวจวัดจริง จุดติดตั้งกรุงเทพมหานคร



รูปภาพที่ 16 ภาพเปรียบเทียบผลการพยากรณ์เปรียบกับค่าฝุ่นที่ตรวจวัดจริง จุดติดตั้งจังหวัดสมุทรสาคร



รูปภาพที่ 17 ภาพเปรียบเทียบผลการพยากรณ์เปรียบกับค่าฝุ่นที่ตรวจวัดจริง จุดติดตั้งจังหวัดเชียงใหม่
ที่มาของรูปภาพที่ 14 – 17 : ภัคดี โตแดง (2565)

6. การสรุปผล การวิจัยครั้งนี้วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ค่าสถิติดังนี้

1) เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง (Percentage Difference) เป็นการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของผลการทดลอง เนื่องจากค่าที่ได้จากการตรวจคุณภาพอากาศในแต่ละวันมีความผันผวนไม่สามารถกำหนดให้เป็นค่ามาตรฐานที่คงที่ได้

$$\%D = \frac{|V1-V2|}{\left[\frac{(V1+V2)}{2}\right]} * 100$$

โดย V1 = ค่าจากการพยากรณ์

V2 = ค่าจากเครื่องตรวจวัดจริง

2) MAE (Mean Absolute Error) คำนวณหาผลรวมของค่า absolute(error) แล้วคูณกับ 1/n เพื่อเปลี่ยนเป็นค่าเฉลี่ย

$$MAE = \frac{1}{n} * \sum | \text{ค่าพยากรณ์} - \text{ค่าจริง} |$$

3) MAPE (Mean Absolute Percentage Error) ค่าเบี่ยงเบนเปอร์เซ็นต์สัมบูรณ์ คือ การวัดความแม่นยำในการทำนายของวิธีการพยากรณ์ในสถิติ โดยปกติจะแสดงความถูกต้องเป็นอัตราส่วนที่กำหนดโดยสูตร

$$MAPE = \left(\frac{1}{n} \sum \frac{|\text{ค่าจริง} - \text{ค่าพยากรณ์}|}{|\text{ค่าจริง}|} \right) * 100$$

ผลการศึกษา

การวิจัยนี้มุ่งพัฒนาระบบแจ้งเตือนภัยฝุ่น PM 2.5 เพื่อแจ้งเตือนชุมชนที่มีความเสี่ยงจากฝุ่นละออง PM2.5 รวมถึงการพัฒนาแบบจำลองทำนายปริมาณฝุ่นละอองล่วงหน้า โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมผ่านโปรแกรม Rapid Miner Studio ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ได้มาจากเครื่องตรวจวัดฝุ่น PM2.5 ในสถานที่ต่าง ๆ ได้แก่ จังหวัดสมุทรสาคร จังหวัดเชียงใหม่ และกรุงเทพมหานคร สำหรับผลการศึกษา มีดังนี้

1. การพัฒนาระบบแจ้งเตือนภัยฝุ่น PM2.5 เริ่มต้นจากการสร้างเครื่องตรวจวัดฝุ่นที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นหัวใจสำคัญในการควบคุมอุปกรณ์ต่าง ๆ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะเชื่อมต่อกับเซนเซอร์ต่าง ๆ ได้แก่ เซนเซอร์วัดปริมาณฝุ่น เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ, เซนเซอร์วัดความชื้นในอากาศ และเซนเซอร์วัดความเร็วลม ข้อมูลที่ได้จากเซนเซอร์เหล่านี้จะส่งไปยังเซิร์ฟเวอร์ผ่านการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตเพื่อเก็บและวิเคราะห์ข้อมูล หากข้อมูลที่ตรวจวัดได้แสดงค่าความเข้มข้นของ PM2.5 เกิน 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ซึ่งเป็นค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ ระบบจะทำการส่งข้อความแจ้งเตือนผ่านระบบ Line Notify การแจ้งเตือนนี้จะช่วยให้ผู้ใช้ทราบถึงระดับความเข้มข้นของฝุ่น PM2.5 ที่อาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพ และจำเป็นต้องดำเนินการป้องกันหรือแก้ไขสถานการณ์ที่อาจเกิดขึ้นต่อไป

เครื่องตรวจวัดฝุ่น PM 2.5 ที่พัฒนาโดยทีมวิจัยได้รับการออกแบบมาเพื่อความเป็นไปได้ในการใช้งานจริง โดยเน้นการใช้อุปกรณ์ที่หาซื้อได้ง่ายและราคาไม่สูง เครื่องมือนี้นับว่าประกอบด้วยส่วนประกอบหลักที่จำเป็นและมีค่าสิ่งที่เขียนขึ้นเพื่อควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ให้สามารถวัดและบันทึกค่าความเข้มข้นของฝุ่น PM 2.5 ตามมาตรฐานที่ต้องการได้อย่างแม่นยำและเชื่อถือได้



รูปภาพที่ 18 เครื่องวัดฝุ่น PM2.5

อุปกรณ์ที่นำมาจัดสร้างสามารถหาซื้อได้จากบริษัทที่จัดขายอุปกรณ์ IOT ราคาไม่สูงแต่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการแจ้งเตือนได้



รูปภาพที่ 19 ภายในเครื่องตรวจวัดฝุ่น PM 2.5 และจุดติดตั้งโซลาร์เซลล์ พร้อมเครื่องวัดความเร็วลม

หน้าจอแสดงผลค่าปริมาณฝุ่น ความชื้น อุณหภูมิ และความเร็วลม เพื่อให้ผู้ที่อยู่พื้นที่สามารถดูปริมาณฝุ่น ณ ขณะนั้นได้สะดวกยิ่งขึ้น



รูปภาพที่ 20 หน้าจอแสดงผลเครื่องตรวจวัดฝุ่น PM2.5

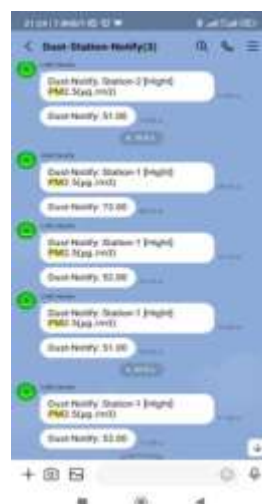
ที่มาของรูปภาพที่ 18 - 20 : ภัคดี โตแดง (2565)

ในการสร้างระบบเตือนภัยจะมีกราฟแสดงค่าปริมาณฝุ่น PM2.5 อุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วลมผ่านมือถือสำหรับผู้พัฒนาเพื่อคอยตรวจสอบสถานะการทำงานของเครื่องวัดฝุ่น



รูปภาพที่ 21 หน้าจอแสดงผลปริมาณฝุ่น PM2.5 อุณหภูมิ ความชื้นและความเร็วลม

เมื่อพบปริมาณฝุ่นเกินค่าที่กำหนด ระบบแจ้งเตือนส่งข้อความมาแจ้งใน Line notify เพื่อเตือนผู้ที่อยู่ในกลุ่มการแจ้งเตือน



รูปภาพที่ 22 หน้าแสดงการแจ้งเตือน Line Notify เมื่อมีปริมาณฝุ่น PM2.5 เกิน 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
ที่มาของรูปภาพที่ 21 - 22 : ภัคดี โตแดง (2565)

2. การสร้างแบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน การสร้างระบบแจ้งเตือนภัยและการสร้างแบบจำลองการพยากรณ์ค่า PM 2.5 โดยได้นำเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม (Neural Network) มาใช้เพื่อสร้างแบบจำลองการพยากรณ์ค่าฝุ่น PM 2.5 ล่วงหน้า ข้อมูลต้นแบบที่ใช้ในการตรวจวัดฝุ่นย้อนหลังตั้งแต่วันที่ 1 มีนาคม 2565-31 พฤษภาคม 2565 และข้อมูลการตรวจวัดฝุ่นย้อนหลังตั้งแต่วันที่ 1 มิถุนายน 2565-30 มิถุนายน 2565 นำข้อมูลที่ได้จากเครื่องตรวจวัดฝุ่นซึ่งประกอบด้วย 1. ข้อมูลปริมาณฝุ่นละออง PM2.5 ที่วัดได้ 2. ข้อมูลอุณหภูมิ 3. ข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ มาจัดรูปแบบให้อยู่ในรูปแบบของ Comma Separated Value (CSV) โดยจัดรูปแบบข้อมูล เป็นรายชั่วโมง วันละ 24 ชุดข้อมูล แยกเป็นกลุ่ม 6 กลุ่มข้อมูลเพื่อทำการเปรียบเทียบผลการพยากรณ์ เมื่อแบ่งกลุ่มเรียบร้อยแล้วนำเข้าโมเดลโครงข่ายประสาทเทียมบนโปรแกรม Rapid Miner Studio ภายในโปรแกรมจะประกอบไปด้วยโมดูลที่ผู้วิจัยออกแบบโดยใช้เทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม นำข้อมูลการตรวจวัดฝุ่นย้อนหลังมาพยากรณ์ผ่านแบบจำลอง และนำผลที่ได้มา

เปรียบเทียบข้อมูลจากเครื่องตรวจวัดที่อยู่ในช่วงวันที่ 1 มิถุนายน 2565-30 มิถุนายน 2565 แล้วนำข้อมูลที่ได้ทั้งหมดมาหาผล เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง (Percentage Difference) ค่าความคลาดเคลื่อน (MAE) และค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย Mean Absolute Percentage Error (MAPE)

ผลการแจ้งเตือนปริมาณฝุ่น PM2.5 สามารถแจ้งเตือนผ่านระบบแจ้งเตือนผ่านโปรแกรมไลน์ (Line Notify) เพื่อแจ้งเตือนผู้ที่อยู่ในบริเวณที่มีจัดทำตรวจวัดฝุ่นละออง และเครื่องสามารถนำข้อมูลมาวิเคราะห์การพยากรณ์ปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5

ผลการพยากรณ์ปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอนที่นำปริมาณฝุ่นละอองที่ตรวจวัดตั้งแต่ วันที่ 1 มีนาคม 2565-31 พฤษภาคม 2565 เมื่อนำเข้าข้อมูลการประมวลผลด้วยเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมเปรียบเทียบกับข้อมูลจากเครื่องตรวจวัดตั้งแต่วันที่ 1 มิถุนายน 2565 – 30 มิถุนายน 2565 ด้วยแบบจำลองการพยากรณ์ผ่านโปรแกรม Rapid Miner Studio โดยมีการจัดกลุ่มตัวอย่างซึ่งแยกตัวแปรออกเป็น 6 กลุ่มการพยากรณ์ด้วยกลุ่มตัวอย่างที่ได้กล่าวมาข้างต้นแบบจำลองสามารถพยากรณ์ปริมาณฝุ่นละอองล่วงหน้าได้โดยให้ผลการพยากรณ์ที่ใกล้เคียงกับข้อมูลจริงที่นำมาใช้ในการเปรียบเทียบ

ตารางที่ 2 ตัวอย่างผลการพยากรณ์จุดติดตั้งกรุงเทพมหานคร วันที่ 1 มิถุนายน 2565

pm2.5	temp	humid	win	month	day	time	prediction
13	32	78	1	6	1	0	13
9	32	77	1	6	1	1	10
12	32	77	1	6	1	2	12
10	32	76	1	6	1	3	11
13	32	77	1	6	1	4	14
24	31	79	2	6	1	5	24
26	31	81	1	6	1	6	26
26	32	80	2	6	1	7	26
30	32	76	1	6	1	8	30
29	33	71	2	6	1	9	29
30	34	62	2	6	1	10	30
28	35	57	3	6	1	11	28
30	35	60	2	6	1	12	30
22	36	51	2	6	1	13	22
15	38	44	2	6	1	14	15
11	37	55	2	6	1	15	11
14	35	95	2	6	1	16	14
14	34	95	2	6	1	17	15
14	33	95	3	6	1	18	15
16	32	95	2	6	1	19	16
18	32	95	3	6	1	20	18
18	32	95	3	6	1	21	18
15	32	95	3	6	1	22	15
14	32	95	2	6	2	23	14

ตารางที่ 3 ตัวอย่างผลการพยากรณ์จุดติดตั้งจังหวัดสมุทรสาคร วันที่ 1 มิถุนายน 2565

pm2.5	temp	humid	win	month	day	time	prediction
29.0	28.0	95.0	1	6	1	0	30.9
32.0	28.0	95.0	1	6	1	1	33.8
32.0	28.0	95.0	1	6	1	2	33.8
32.0	28.0	95.0	2	6	1	3	33.8
37.0	28.0	95.0	1	6	1	4	38.8
51.0	28.0	95.0	2	6	1	5	53.2
61.0	28.0	95.0	1	6	1	6	63.6
59.0	28.3	95.0	1	6	1	7	61.5
29.0	29.3	95.0	1	6	1	8	30.7
23.0	30.5	93.3	2	6	1	9	24.8
51.0	31.8	85.3	1	6	1	10	53.1
21.0	33.0	77.5	1	6	1	11	22.9
53.0	34.0	71.3	2	6	1	12	55.2
77.0	34.0	75.8	2	6	1	13	80.4
58.0	34.3	74.8	3	6	1	14	60.4
20.0	34.3	74.5	2	6	1	15	21.9
34.0	32.8	81.5	2	6	1	16	35.5
19.0	32.0	84.8	2	6	1	17	20.9
21.0	31.8	88.3	2	6	1	18	22.7
45.0	31.0	89.0	3	6	1	19	46.6
54.0	31.0	91.3	2	6	1	20	55.9
42.0	30.0	90.8	1	6	1	21	43.4
18.0	30.0	94.0	3	6	1	22	19.8
53.0	30.0	95.0	1	6	1	23	54.8

ตารางที่ 4 ตัวอย่างผลการพยากรณ์จุดติดตั้งเชียงใหม่ วันที่ 1 มิถุนายน 2565

pm2.5	temp	humid	win	month	day	time	prediction
48.0	38.0	37.0	2.0	6	1	23	47.8
47.0	38.0	38.0	.0	6	1	22	46.8
45.0	39.0	35.0	.0	6	1	21	44.9
46.0	39.0	34.0	.0	6	1	20	45.9
42.0	39.0	33.0	1.0	6	1	19	41.9
40.0	39.0	32.0	1.0	6	1	18	40.0
33.0	40.0	30.0	1.0	6	1	17	33.0
33.0	39.0	29.0	1.0	6	1	16	33.0
28.0	39.0	29.0	1.0	6	1	15	28.0
27.0	38.0	32.0	1.0	6	1	14	27.0
23.0	38.0	32.0	1.0	6	1	13	23.0
22.0	38.0	33.0	1.0	6	1	12	22.0
20.0	38.0	34.0	1.0	6	1	11	20.1
27.0	38.0	37.0	2.0	6	1	10	26.9
33.0	38.0	38.0	3.0	6	1	9	32.9
41.0	37.0	41.0	1.0	6	1	8	41.0
53.0	37.0	42.0	3.0	6	1	7	53.1
53.0	35.0	46.0	2.0	6	1	6	53.0
58.0	34.0	48.0	2.0	6	1	5	58.0
64.0	34.0	46.0	2.0	6	1	4	64.0
45.0	36.0	43.0	1.0	6	1	3	45.0
42.0	36.0	40.0	2.0	6	1	2	42.1
43.0	38.0	37.0	2.0	6	1	1	43.2
44.0	38.0	35.0	2.0	6	1	0	44.2

ผลเปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง (Percentage Difference) เพื่อเปรียบเทียบผลการพยากรณ์ปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน กับปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอนจากเครื่องตรวจวัดฝุ่นที่วัดได้ในจุดติดตั้งกรุงเทพมหานคร จุดติดตั้งจังหวัดสมุทรสาคร และจุดติดตั้งจังหวัดเชียงใหม่ โดยแยกตามกลุ่มตัวแปร

ตารางที่ 5 แสดงค่าผลเปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง (Percentage Difference) จากแบบจำลองเทียบกับค่าปริมาณฝุ่นที่เครื่องตรวจวัดได้ จากข้อมูลย้อนหลัง 3 เดือน

การทดสอบข้อมูลตัวอย่างย้อนหลัง 3 เดือน						
รายการ	PM2.5 Only	PM2.5 & Temperature	PM2.5 & Humid	PM2.5 & Temperature & Humid	PM2.5 & Temperature & Humid & Wind	PM2.5 & Wind
กรุงเทพมหานคร	12.44%	9.10%	5.53%	5.62%	5.98%	2.31%
สมุทรสาคร	17.28%	8.77%	10.44%	7.18%	5.54%	8.16%
เชียงใหม่	0.74%	0.65%	0.69%	0.04%	0.03%	1.32%

ตารางที่ 6 แสดงค่าผลเปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง (Percentage Difference) จากแบบจำลองเทียบกับค่าปริมาณฝุ่นที่เครื่องตรวจวัดได้ จากข้อมูลย้อนหลัง 7 วัน

การทดสอบข้อมูลตัวอย่างย้อนหลัง 7 วัน						
รายการ	PM2.5 Only	PM2.5 & Temperature	PM2.5 & Humid	PM2.5 & Temperature & Humid	PM2.5 & Temperature & Humid & Wind	PM2.5 & Wind
กรุงเทพมหานคร	0.05%	0.04%	1.01%	3.98%	4.48%	0.13%
สมุทรสาคร	0.72%	0.52%	1.44%	0.06%	0.96%	1.27%
เชียงใหม่	47.63%	3.03%	0.14%	1.87%	1.78%	3.57%

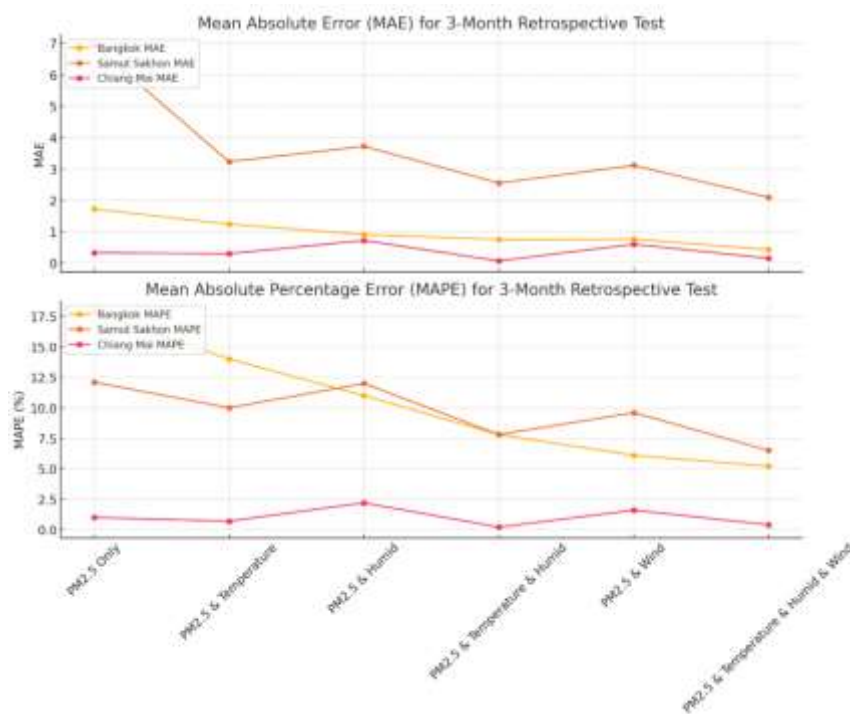
ตารางที่ 7 แสดงค่าผลเปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง (Percentage Difference) จากแบบจำลองเทียบกับค่าปริมาณฝุ่นที่เครื่องตรวจวัดได้ จากข้อมูลย้อนหลัง 3 วัน

การทดสอบข้อมูลตัวอย่างย้อนหลัง 3 วัน						
รายการ	PM2.5 Only	PM2.5 & Temperature	PM2.5 & Humid	PM2.5 & Temperature & Humid	PM2.5 & Temperature & Humid & Wind	PM2.5 & Wind
กรุงเทพมหานคร	0.55%	0.32%	0.32%	0.70%	4.38%	0.47%
สมุทรสาคร	4.48%	6.39%	4.48%	0.07%	11.93%	2.68%
เชียงใหม่	17.28%	17.16%	22.96%	18.58%	19.11%	17.49%

ผลค่าความคลาดเคลื่อน (MAE) และค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE) เปรียบเทียบผลการพยากรณ์ปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน กับปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอนจากเครื่องตรวจวัดฝุ่นที่วัดได้ในจุดติดตั้งกรุงเทพมหานคร จุดติดตั้งจังหวัดสมุทรสาคร และจุดติดตั้งจังหวัดเชียงใหม่

ตารางที่ 8 ผลค่าความคลาดเคลื่อน (MAE) และค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE) จากแบบจำลองเทียบกับค่าปริมาณฝุ่นที่เครื่องตรวจวัดได้

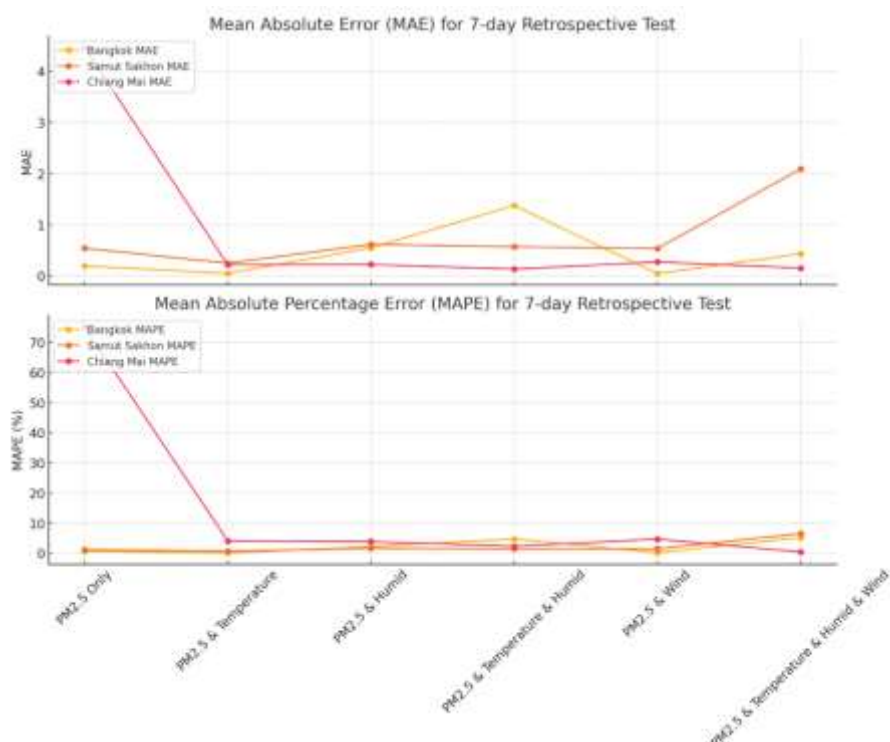
		การทดสอบข้อมูลตัวอย่างย้อนหลัง 3 เดือน					
จังหวัด	ความคลาดเคลื่อน	PM 2.5 Only	PM2.5 & Temperature	PM2.5 & Humid	PM2.5 & Temperature & Humid	PM 2.5 & Wind	PM2.5 & Temperature & Humid & Wind
กรุงเทพมหานคร	MAE	1.72	1.24	0.91	0.75	0.76	0.43
	MAPE	17.9%	14%	11%	7.8%	6.1%	5.2%
สมุทรสาคร	MAE	6.94	3.23	3.72	2.55	3.11	2.09
	MAPE	12.1%	10%	12%	7.8%	9.6%	6.5%
เชียงใหม่	MAE	0.33	0.30	0.72	0.07	0.6	0.15
	MAPE	1.0%	0.70%	2.2%	0.2%	1.6%	0.4%



รูปภาพที่ 23 ผลค่าความคลาดเคลื่อน (MAE) และค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE) จากแบบจำลองเทียบกับค่าปริมาณฝุ่นที่เครื่องตรวจวัดได้ ย้อนหลัง 3 เดือน
ที่มา: ภักดี โตแดง (2565)

ตารางที่ 9 ผลค่าความคลาดเคลื่อน (MAE) และค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE) จากแบบจำลองเทียบกับค่าปริมาณฝุ่นที่เครื่องตรวจวัดได้

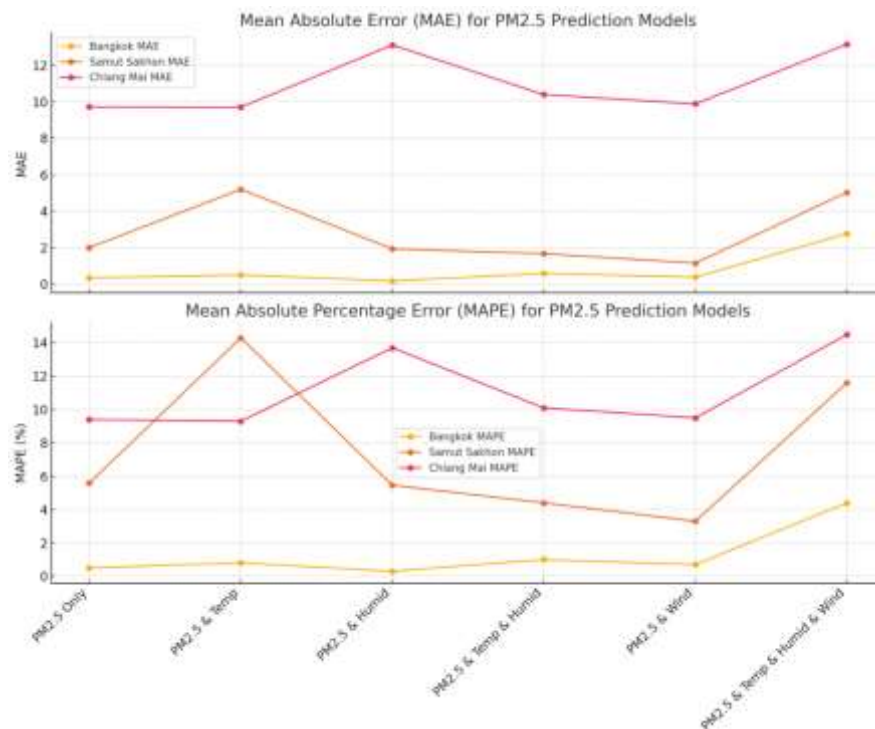
	การทดสอบข้อมูลตัวอย่างย้อนหลัง 7 วัน						
จังหวัด	ความคลาดเคลื่อน	PM 2.5 Only	PM2.5 & Temperature	PM2.5 & Humid	PM2.5 & Temperature & Humid	PM2.5 & Wind	PM2.5 & Temperature & Humid & Wind
กรุงเทพมหานคร	MAE	0.192	0.046	0.546	1.375	0.042	0.43
	MAPE	0.70%	0.10%	2.20%	4.70%	0.20%	5.2%
สมุทรสาคร	MAE	0.538	0.246	0.613	0.567	0.533	2.09
	MAPE	1.20%	0.60%	1.70%	1.50%	1.50%	6.5%
เชียงใหม่	MAE	4.47	0.215	0.22	0.13	0.27	0.15
	MAPE	75.20%	4.10%	3.90%	2.30%	4.70%	0.4%



รูปภาพที่ 24 ผลค่าความคลาดเคลื่อน (MAE) และค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE) จากแบบจำลองเทียบกับค่าปริมาณฝุ่นที่เครื่องตรวจวัดได้ ย้อนหลัง 7 วัน
ที่มา: ภัคดี โตแดง (2565)

ตารางที่ 10 ผลค่าความคลาดเคลื่อน (MAE) และค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE) จากแบบจำลองเทียบกับค่าปริมาณฝุ่นที่เครื่องตรวจวัดได้

		การทดสอบข้อมูลตัวอย่างย้อนหลัง 3 วัน					
จังหวัด	ความคลาดเคลื่อน	PM2.5 Only	PM2.5 & Temperature	PM2.5 & Humid	PM2.5 & Temperature & Humid	PM2.5 & Wind	PM2.5 & Temperature & Humid & Wind
กรุงเทพมหานคร	MAE	0.342	0.504	0.175	0.587	0.383	2.77
	MAPE	0.50%	0.80%	0.30%	1%	0.70%	4.40%
สมุทรสาคร	MAE	2.00417	5.204	1.93333	1.671	1.15	5.03
	MAPE	5.59%	14.30%	5.46%	4.40%	3.30%	11.6%
เชียงใหม่	MAE	9.729	9.717	13.125	10.404	9.892	13.17
	MAPE	9.40%	9.30%	13.70%	10.10%	9.50%	14.5%



รูปภาพที่ 25 ผลค่าความคลาดเคลื่อน (MAE) และค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE) จากแบบจำลองเทียบกับค่าปริมาณฝุ่นที่เครื่องตรวจวัดได้ ย้อนหลัง 3 วัน
ที่มา: ภักดี โตแดง (2565)

สรุป

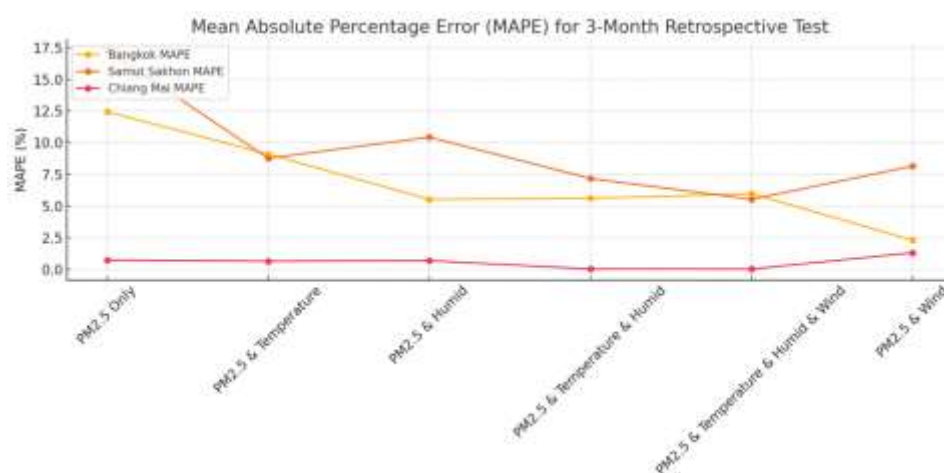
การสร้างระบบแจ้งเตือนภัยฝุ่น PM 2.5 สามารถแสดงข้อมูลการตรวจวัดปริมาณฝุ่นละออง ผ่านทางโปรแกรมแสดงผลผ่านแอปพลิเคชันบนมือถือและสามารถส่งการแจ้งเตือนผู้ที่เข้าร่วมกลุ่มการแจ้งเตือนภัยฝุ่นทำให้สามารถรับทราบถึงปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 ได้อย่างรวดเร็วทำให้สามารถเตรียมตัวในการป้องกันตนเองจากฝุ่นละออง PM2.5

การเก็บข้อมูลปริมาณฝุ่น อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ จากเครื่องตรวจวัดฝุ่นที่สร้างจากอุปกรณ์เซนเซอร์และอุปกรณ์ไอโอทีที่มีขายทั่วไป มีราคาถูกกว่าการใช้เครื่องตรวจวัดที่มีขายสำเร็จรูป สามารถเก็บรวบรวมข้อมูลที่จำเป็นในการนำข้อมูลเหล่านั้นไปสร้างแบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณฝุ่นละอองล่วงหน้าโดยเครื่องได้ทำการติดตั้งในจุดที่หนึ่งอาคาร 10 มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา จุดติดตั้งที่สอง หมู่ 3 ตำบลบางไทร จังหวัดสมุทรสาคร และจุดติดตั้งที่สามตำบลสันโป่ง อำเภอมะริม จังหวัดเชียงใหม่ โดยเป็นการรวบรวมข้อมูลผ่าน Mobile Application ซึ่งข้อมูลสถิติที่นำมาใช้จะแยกออกเป็น 2 ชุด คือข้อมูลชุดที่ 1 เก็บข้อมูลย้อนหลังตั้งแต่ 1 มีนาคม 2565-31 พฤษภาคม 2565 สำหรับใช้ในการพยากรณ์แบบจำลองที่สร้างขึ้น และข้อมูลชุดที่ 2 เก็บข้อมูลตั้งแต่ 1 มิถุนายน 2565-30 มิถุนายน 2565 สำหรับใช้ในการเปรียบเทียบผลการพยากรณ์ โดยทำการปรับชุดข้อมูลให้เป็นกลุ่มของตัวแปร 6 รูปแบบ และแบ่งช่วงการทดสอบออกเป็น 3 ช่วง คือ

1. ข้อมูลย้อนหลัง 3 เดือนเพื่อพยากรณ์ล่วงหน้า ผลการพยากรณ์จากข้อมูลย้อนหลัง จังหวัดเชียงใหม่มีค่าผลเปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง น้อยที่สุด 0.04% วัดผลจากการใช้ตัวแปร ฝุ่น PM 2.5 ร่วมกับ อุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วลม และรองลงมากรุงเทพมหานคร และจังหวัดสมุทรสาครตามลำดับ

ตารางที่ 11 แสดงค่าผลเปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง (Percentage Difference) จากแบบจำลองเทียบกับค่าปริมาณฝุ่นที่เครื่องตรวจวัดได้ จากข้อมูลย้อนหลัง 3 เดือน

การทดสอบข้อมูลตัวอย่างย้อนหลัง 3 เดือน						
รายการ	PM2.5 Only	PM2.5 & Temperature	PM2.5 & Humid	PM2.5 & Temperature & Humid	PM2.5 & Temperature & Humid & Wind	PM2.5 & Wind
กรุงเทพมหานคร	12.44%	9.10%	5.53%	5.62%	5.98%	2.31%
สมุทรสาคร	17.28%	8.77%	10.44%	7.18%	5.54%	8.16%
เชียงใหม่	0.74%	0.65%	0.69%	0.04%	0.03%	1.32%

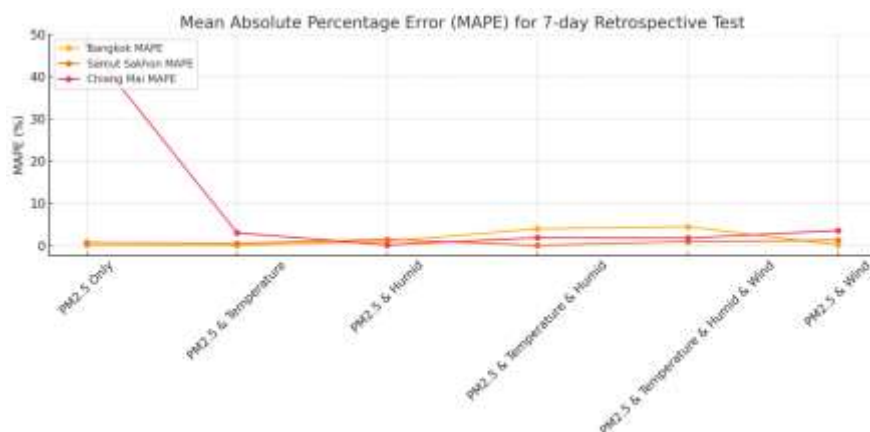


รูปภาพที่ 26 แสดงค่าผลเปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง (Percentage Difference) จากแบบจำลองเทียบกับค่าปริมาณฝุ่นที่เครื่องตรวจวัดได้ จากข้อมูลย้อนหลัง 3 เดือน
ที่มา: ภักดี โตแดง (2565)

2. ข้อมูลย้อนหลัง 7 วันเพื่อพยากรณ์ล่วงหน้า ผลการพยากรณ์จากข้อมูลย้อนหลัง จังหวัดสมุทรสาคร ค่าผลเปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง น้อยที่สุด 0.06% วัดผลจากการใช้ตัวแปร ฝุ่น PM 2.5 ร่วมกับ อุณหภูมิ ความชื้น และรองลงมา คือ จังหวัดเชียงใหม่และกรุงเทพมหานครตามลำดับ

ตารางที่ 12 แสดงค่าผลเปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง (Percentage Difference) จากแบบจำลองเทียบกับค่าปริมาณฝุ่นที่เครื่องตรวจวัดได้ จากข้อมูลย้อนหลัง 7 วัน

การทดสอบข้อมูลตัวอย่างย้อนหลัง 7 วัน						
รายการ	PM2.5 Only	PM2.5 & Temperature	PM2.5 & Humid	PM2.5 & Temperature & Humid	PM2.5 & Temperature & Humid & Wind	PM2.5 & Wind
กรุงเทพมหานคร	0.05%	0.04%	1.01%	3.98%	4.48%	0.13%
สมุทรสาคร	0.72%	0.52%	1.44%	0.06%	0.96%	1.27%
เชียงใหม่	47.63%	3.03%	0.14%	1.87%	1.78%	3.57%

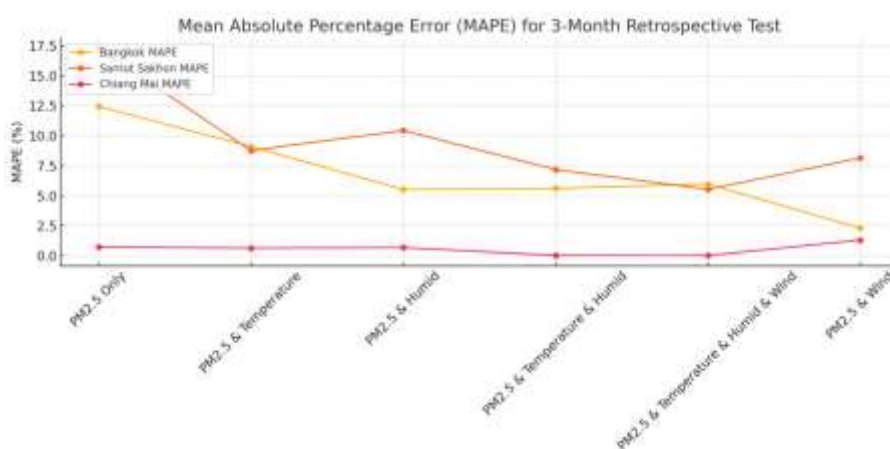


รูปภาพที่ 27 แสดงค่าผลเปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง (Percentage Difference) จากแบบจำลองเทียบกับค่าปริมาณฝุ่นที่เครื่องตรวจวัดได้ จากข้อมูลย้อนหลัง 7 วัน

3. ข้อมูลย้อนหลัง 3 วันเพื่อพยากรณ์ล่วงหน้า ผลการพยากรณ์จากข้อมูลย้อนหลัง จังหวัดสมุทรสาคร ค่าผลเปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง น้อยที่สุด 0.07% วัดผลจากการใช้ตัวแปร ฝุ่น PM 2.5 ร่วมกับ อุณหภูมิ ความชื้น และรองลงมาคือกรุงเทพมหานครและจังหวัดเชียงใหม่ตามลำดับ

ตารางที่ 13 แสดงค่าผลเปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง (Percentage Difference) จากแบบจำลองเทียบกับค่าปริมาณ ฝุ่นที่เครื่องตรวจวัดได้ จากข้อมูลย้อนหลัง 3 วัน

การทดสอบข้อมูลตัวอย่างย้อนหลัง 3 วัน						
รายการ	PM2.5 Only	PM2.5 & Temperature	PM2.5 & Humid	PM2.5 & Temperature & Humid	PM2.5 & Temperature & Humid & Wind	PM2.5 & Wind
กรุงเทพมหานคร	0.55%	0.32%	0.32%	0.70%	4.38%	0.47%
สมุทรสาคร	4.48%	6.39%	4.48%	0.07%	11.93%	2.68%
เชียงใหม่	17.28%	17.16%	22.96%	18.58%	19.11%	17.49%



รูปภาพที่ 28 แสดงค่าผลเปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง (Percentage Difference) จากแบบจำลองเทียบกับค่าปริมาณฝุ่นที่เครื่องตรวจวัดได้ จากข้อมูลย้อนหลัง 3 วัน

ที่มาของรูปภาพที่ 27 - 28 : ภัคดี โตแดง (2565)

อภิปรายผลการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างแบบระบบแจ้งเตือนภัยฝุ่น PM 2.5 ที่สามารถสร้างได้ในงบประมาณไม่สูงสามารถผลิตและติดตั้งได้จำนวนมาก ให้สามารถเข้าถึงแหล่งชุมชนเพื่อสามารถแจ้งเตือนในชุมชนนั้น ๆ เมื่อมีปริมาณฝุ่น PM2.5 สูงและเพื่อให้ผู้ที่อยู่อาศัยในบริเวณนั้นสามารถป้องกันตนเองจากฝุ่น PM 2.5 ได้เร็วขึ้น อีกทั้งได้มีการสร้างแบบจำลองพยากรณ์โดยการนำเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมในการพยากรณ์ความเข้มข้นปริมาณฝุ่น PM 2.5 ด้วยโปรแกรม Rapid Miner Studio เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาต้นแบบจำลองในการพยากรณ์ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองในอากาศ ให้สามารถพยากรณ์ได้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น และอาจนำไปใช้เป็นโมเดลต้นแบบในการสร้างระบบเฝ้าระวังปัญหาสุขภาพที่ได้รับผลกระทบจากฝุ่นละอองในอากาศของประชากรในชุมชน โดยมีการเก็บข้อมูลปริมาณฝุ่น อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ และความเร็วลม จากเครื่องตรวจวัดฝุ่น PM2.5 ซึ่งชุดข้อมูลตัวอย่างที่นำมาศึกษานั้น เป็นชุดข้อมูลที่ได้จากเครื่องที่ทำการติดตั้งเครื่องวัดปริมาณฝุ่นในตำบลบางโหนด อำเภอมือง จังหวัดสมุทรสาคร ตำบลสนโ่ง อำเภอแมริม จังหวัดเชียงใหม่ และมหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา โดยเป็นการรวบรวมข้อมูลผ่าน Application Cloud Service Blynk ที่เชื่อมต่อกับเครื่องตรวจวัดฝุ่น ข้อมูลสถิติที่นำมาใช้จะแยกออกเป็น 2 ชุด คือ ตั้งแต่วันที่ 1 มีนาคม-31 พฤษภาคม 2565 และชุดข้อมูลสำหรับเปรียบเทียบผลการพยากรณ์ ตั้งแต่วันที่ 1-30 มิถุนายน 2565 สำหรับใช้ในการเปรียบเทียบผลการพยากรณ์ โดยทำการปรับชุดข้อมูลให้เป็นกลุ่มของตัวแปร 6 รูปแบบ ทำการแยกชุดข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบที่ต้องการแล้ว จะนำชุดข้อมูลที่ได้มาประมวลผลในแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่สร้างโดยโปรแกรม Rapid Miner Studio เมื่อได้ผลการพยากรณ์จากโปรแกรมจึงจะนำข้อมูลมาเปรียบเทียบกับข้อมูลการตรวจวัดฝุ่นละอองที่เครื่องตรวจวัดได้จริง จากนั้นจึงจะเป็นการนำผลสรุปมาใช้ในการสร้างแบบจำลองการพยากรณ์

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะเพื่อการปฏิบัติ

ปัจจุบันปัญหาฝุ่นละอองขนาดเล็กมีผลกระทบต่อสังคมและเศรษฐกิจ ทั้งด้านสุขภาพ การท่องเที่ยว และอื่น ๆ เพื่อให้ปัญหาฝุ่นละอองได้รับการแก้ไขอย่างมีประสิทธิภาพ ควรได้รับการจัดลำดับให้เป็นปัญหาระดับชาติที่ทุกฝ่ายร่วมมือกันแก้ไข เช่น

1) ลดการใช้พลังงานฟอสซิลเพื่อลดปัญหาฝุ่นละอองจากเครื่องยนต์หรือจากโรงงานอุตสาหกรรม ส่งเสริมการใช้งานรถไฟฟ้า เปลี่ยนการสร้างพลังงานความร้อนในระบบอุตสาหกรรมจากถ่านหิน เลือใช้พลังงานทางเลือกมาทดแทน เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานจากคลื่นชายฝั่ง

2) หาวิธีการลดปริมาณฝุ่นละอองที่เกิดจากการก่อสร้าง เช่น ใช้แผ่นตาข่ายขนาดเล็กล้อมจุดก่อสร้าง หรือมีการพ่นน้ำในจุดที่มีฝุ่นเกิดขึ้นเพื่อลดปริมาณฝุ่นจากการก่อสร้างให้ออกสู่ภายนอกน้อยลง

3) การเผาเศษพืชผลทางเกษตรกรรม ทางหน่วยงานราชการต้องลงมืออย่างจริงจังให้ความรู้แก่ชุมชนที่พบปัญหา แนะนำวิธีการทำประโยชน์จากเศษพืชผลทางการเกษตร และใช้กฎหมายอย่างจริงจังแก่ผู้กระทำผิดก่อนให้เกิดฝุ่นควัน

4) หน่วยงานรัฐต้องให้ความรู้แก่ผู้ที่อาศัยในเขตปาร์ริวูถึงผลกระทบจากการเผาป่าและใช้กฎหมายอย่างจริงจังแก่ผู้กระทำผิด รวมถึงการกระทำผิดในส่วนของการตัดไม้

5) ควบคุมอุตสาหกรรมที่ก่อให้เกิดฝุ่นควัน การปล่อยควันทางอากาศ การระเบิดหิน การทำเหมือง ต้องมีการควบคุมอย่างจริงจัง

6) ควบคุมการขนส่งทางถนนที่ทำให้เกิดฝุ่นละอองขนาดเล็ก เช่น การทำดินหรือหินตกบนเส้นทางจราจร

2. ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

- 1) สร้างอุปกรณ์ที่สามารถตรวจวัด ประมาณฝุ่นละออง อุณหภูมิ ความชื้นในอากาศ และความเร็วลม และวัดค่าแสงความสูง ซึ่งคาดว่าจะให้ผลการพยากรณ์ได้แม่นยำมากยิ่งขึ้น
- 2) ควรมีการติดตั้งจุดตรวจวัดในรัศมีที่แน่นอนเช่น ติดตั้งทุก ๆ 5-10 ตารางกิโลเมตร เพื่อจำกัดขอบเขตของข้อมูลและสามารถระบุเจาะจงในจุดต้นกำเนิดฝุ่นละอองขนาดเล็กได้
- 3) ทำการเปรียบเทียบข้อมูลปริมาณฝุ่นละอองในช่วงเวลา เดือน และวันให้มากขึ้นเพื่อทดลองแบบพยากรณ์ให้มีความถี่ของข้อมูลมากขึ้น
- 4) พัฒนาตัวอุปกรณ์ให้สามารถส่งผลออนไลน์สามารถนำผลมาพยากรณ์ล่วงหน้าได้แบบอัตโนมัติ
- 5) เปรียบเทียบปริมาณตรวจวัดฝุ่นละอองจากเครื่องของกรมมลพิษเพื่อหาค่าความแตกต่างของเซนเซอร์วัดฝุ่น

แนวทางการพัฒนาท้องถิ่น

การพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development) จึงเป็นแนวทางการพัฒนาท้องถิ่นที่สามารถดำเนินไปได้อย่างมั่นคง โดยไม่เกิดสภาพที่ไม่พึงปรารถนาอันเป็นผลสืบเนื่องมาจากการพัฒนา เนื่องจากทุกครั้งที่มีการตอบสนองความต้องการของคนรุ่นปัจจุบัน ต้องมีการทำลายทรัพยากรธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อม ซึ่งจะส่งผลกระทบต่ออนาคต จึงนำไปสู่ความต้องการของทุกประเทศต่างมีเป้าหมายเหมือนกัน คือ การพัฒนา (Development) เป็นสิ่งสำคัญและเป็นสิ่งอันพึงปรารถนาของทุกประเทศรวมถึงประเทศไทย ส่งผลให้ทุกภาคส่วนยังคงต้องร่วมมือกันใช้มาตรการและแนวทางแก้ไข เช่น การบังคับใช้กฎหมายอย่างเข้มงวดกับรถยนต์ที่ปล่อยควันดำ การส่งเสริมให้ประชาชนใช้รถยนต์พลังงานไฟฟ้า รวมถึงควบคุมพื้นที่ก่อสร้างในพื้นที่กรุงเทพมหานครอย่างเคร่งครัด เพื่อลดปริมาณฝุ่น PM2.5 ซึ่งเป็นปัญหาหลักที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชน

แนวทางการพัฒนา

1. การพัฒนาระบบการเตือนภัยเพื่อสุขภาพ สามารถนำผลงานนี้ไปพัฒนาเป็นระบบการเตือนภัยเพื่อสุขภาพในชุมชน โดยระบบนี้จะช่วยในการตรวจจับระดับฝุ่น PM2.5 และประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของประชากรในพื้นที่ที่เกิดปัญหาฝุ่น และส่งข้อมูลแจ้งเตือนให้แก่ผู้ใช้หรือเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้อง
2. การประชาสัมพันธ์และการศึกษาสาธารณะ ผลงานนี้สามารถนำไปใช้ในการประชาสัมพันธ์และการศึกษาสาธารณะเกี่ยวกับผลกระทบของฝุ่น PM2.5 ต่อสุขภาพ และการเผชิญกับภัยที่เกิดขึ้นจากฝุ่น PM2.5 ที่เพิ่มขึ้น
3. การแก้ไขปัญหาเฉพาะหน้าโครงการนี้สามารถช่วยในการแก้ไขปัญหาเฉพาะหน้าที่เกี่ยวข้องกับฝุ่น PM2.5 ในพื้นที่ โดยการให้ข้อมูลที่แม่นยำเกี่ยวกับระดับฝุ่นและความเสี่ยงต่อสุขภาพ เพื่อช่วยให้เจ้าหน้าที่ที่มีข้อมูลที่จำเป็นใน การดำเนินการแก้ไขปัญหา
4. การพัฒนานวัตกรรมเพื่อสังคม ผลงานนี้อาจเป็นแรงผลักดันในการพัฒนานวัตกรรมที่เกี่ยวข้องกับการตรวจวัดฝุ่น PM2.5 และระบบการเตือนภัยอื่น ๆ ซึ่งอาจนำไปสู่การพัฒนาเทคโนโลยีที่มีประโยชน์ต่อสังคม
5. การสร้างชุมชนที่มีการรับรู้ ผลงานนี้อาจช่วยในการสร้างชุมชนที่มีการรับรู้และมีความตระหนักในปัญหาของฝุ่น PM2.5 และสุขภาพ ส่งผลให้มีการป้องกันและการรับมือกับภัยที่เกี่ยวข้องเพิ่มขึ้น
6. การรักษาสิ่งแวดล้อม: ผลงานนี้ยังสามารถใช้เป็นเครื่องมือในการทำนุบำรุงรักษาสิ่งแวดล้อมโดยตรง โดยการตรวจวัดและรายงานสภาพอากาศ และสร้างความเข้าใจในผลกระทบของกิจกรรมมนุษย์ที่มีต่อสิ่งแวดล้อม

เอกสารอ้างอิง

- กรมควบคุมมลพิษ. (2561). *โครงการศึกษาแหล่งกำเนิดและแนวทางการจัดการฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอนในพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล*. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- (2561). *สถานการณ์มลพิษทางอากาศและการดำเนินการภาครัฐในการลดมลพิษทางอากาศในกรุงเทพมหานคร*. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- (2562). *ข้อมูลคุณภาพอากาศประเทศไทย*. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- (2561). *รายงานสถานการณ์คุณภาพอากาศประเทศไทย*. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- กองทุนวิจัยสุขภาพ. (2562). *โครงการศึกษาผลกระทบทางสุขภาพจากการได้รับฝุ่นละออง PM2.5 ในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย*. สถาบันวิจัยระบบสาธารณสุข (สวรส.).
- คณกร สว่างเจริญ, สมบัติ ทิมทรัพย์, พงษ์พันธ์ นารีน้อย, และภักดี โตแดง. (2565). *ระบบตรวจจับและเตือนภัยฝุ่น 2.5PM*. มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา.
- คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (2561). *การศึกษาผลกระทบของฝุ่นละออง PM2.5 ต่อระบบทางเดินหายใจของประชาชนในเขตกรุงเทพมหานคร*. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ชลธิชา สมบูรณ์ชัย และคณะ. (2562). *ผลกระทบของฝุ่นละออง PM2.5 ต่อสุขภาพในโรงเรียนประถมศึกษา: การศึกษาในพื้นที่กรุงเทพมหานคร*. *วารสารวิจัยสุขภาพ*, 6(3), 58-74.
- ธนากร สมบัติวัฒนา และคณะ. (2561). *การศึกษาแนวทางการจัดการฝุ่นละออง PM2.5 ด้วยมาตรการต่าง ๆ ในประเทศไทย*. *วารสารวิจัยการพัฒนาเมือง*, 4(2), 101-120.
- บุญกา แก้วเสนห์. (2560). *การใช้ตัวชี้วัดทางสิ่งแวดล้อมและสุขภาพสำหรับคาดการณ์อัตราป่วยโรคระบบทางเดินหายใจของเด็กที่อาศัยในตำบลหน้าพระลาน จังหวัดสระบุรี*. วิทยานิพนธ์ สาธารณสุขศาสตรมหาบัณฑิต, คณะสาธารณสุขศาสตร์, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- พงษ์พันธ์ นารีน้อย. (2559). *ประวัติศาสตร์เศรษฐกิจเพื่อการพัฒนาชุมชน*. สหธรรมิก.
- รัตน วังษ์สวัสดิ์. (2560). *การเปรียบเทียบปริมาณ PM2.5 ระหว่างพื้นที่เขตเมืองและพื้นที่ชนบทในภาคเหนือของประเทศไทย*. *วารสารสิ่งแวดล้อมและพัฒนาที่ยั่งยืน*, 8(1), 45-62.
- สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2560). *การจัดการมลพิษทางอากาศจากฝุ่นละออง PM2.5 และ PM10: แนวทางและนโยบาย*. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. (2562). *ผลกระทบของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 ต่อสุขภาพประชาชนในพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล*. สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ.
- สุวัจน์ย์ ไม้มหอม. (2562). *การวิเคราะห์ระดับฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM2.5) พื้นที่กรุงเทพมหานครด้วยเทคนิคดาต้าไมนิงค์*. มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี.
- ฐิฎาพร สุภาชี. (2560). *การวิเคราะห์ปริมาณฝุ่นละอองเชิงมวล PM2.5 และ PM10 ในบรรยากาศด้วยเครื่องตรวจวัดฝุ่นละอองไร้สายในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย*. *วารสารวิจัยเทคโนโลยีนวัตกรรม*, 2(1), 65-78.
- วิทยาลัยแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต. (2562). *การศึกษาผลของ PM2.5 ต่อสุขภาพประชาชน: กรณีศึกษาในจังหวัดกรุงเทพมหานครและปริมณฑล*. มหาวิทยาลัยรังสิต.
- วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์ และคณะ. (2560). *รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ การประเมินทางสถิติความเข้มข้นมลพิษอากาศในกรุงเทพมหานคร*. วิทยาลัยพัฒนามหานคร.
- สำนักจัดการคุณภาพอากาศและเสียง. (2560). *การติดตามและประเมินคุณภาพอากาศในกรุงเทพมหานคร: รายงานประจำปี 2560*. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.