



แบบจำลองการประมาณค่าฝุ่นละออง PM2.5 จากข้อมูลความลึกเชิงแสงของฝุ่นละออง
ในพื้นที่อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่
Model for Estimating PM2.5 Concentration Using Aerosol Optical Depth Data
in the Muang District of Chiang Mai Province

ลัดดาวรรณ บัวขาว
Laddawan Buakhao

มหาวิทยาลัยธนบุรี เขตหนองแขม กรุงเทพมหานคร 10160
General Education Affair, Thonburi University, Nong Khaem, Bangkok, 10160, Thailand
Corresponding author, e-mail: laddawan@thonburi-u.ac.th
(Received: Feb 1, 2023; Revised: Mar 29, 2023; Accepted: Apr 7, 2023)

บทคัดย่อ

พื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ประสบปัญหาหมอกพิษทางอากาศเนื่องจากมีปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM2.5) มากและสูงเกินเกณฑ์มาตรฐานหลายเดือน งานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของค่า PM 2.5 ที่ใช้ข้อมูลความลึกเชิงแสงของฝุ่นละออง (AOD) จากเครื่องมือวัดภาคพื้นดิน และใช้งานแบบจำลองดังกล่าว ในการศึกษาแนวโน้มค่าฝุ่นละออง PM2.5 ในรอบปี ทำการตรวจสอบสองสถานีพบว่า สถานีศูนย์ราชการจังหวัดเชียงใหม่ค่า R^2 เท่ากับ 0.76 ค่า RMSE เท่ากับ 9.93 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และค่า MBE เท่ากับ -0.25 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในส่วนของสถานีโรงเรียนยุพราชวิทยาลัยค่า R^2 เท่ากับ 0.81 ค่า RMSE เท่ากับ 9.44 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และค่า MBE เท่ากับ 0.20 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร แบบจำลองที่สร้างขึ้นให้ผลลัพธ์มีความสอดคล้องกับค่าจากการวัดสามารถนำไปใช้คำนวณได้จริง เพื่อประโยชน์ในการแจ้งเตือนภัยและการวางมาตรการป้องกันฝุ่นละออง ส่วนแนวโน้มค่า PM2.5 ในรอบปีพบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นจากเดือนธันวาคมไปจนถึงเดือนเมษายน โดยมีค่าสูงสุดในช่วงเดือนมีนาคมและค่อย ๆ ลดลงในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนพฤศจิกายน เนื่องจากในช่วงนี้เป็นฤดูฝน ทำให้ค่าฝุ่นละออง PM2.5 บางส่วนจะถูกชะล้างด้วยน้ำฝนจึงมีค่าน้อยในช่วงนี้

คำสำคัญ : ฝุ่นละอองขนาดเล็ก 2.5 ฝุ่นละออง จังหวัดเชียงใหม่ แบบจำลอง ความลึกเชิงแสงของอนุภาคแขวนลอยในอากาศ

Abstract

The level of fine particulate matter (PM2.5) has been above the average for several months, which has caused air pollution issues in Chiang Mai. The objective of this research was to examine PM2.5 values by developing a mathematical model that utilized optical depth data from ground-based measurement devices and by analyzing the annual trend of PM2.5 values. Two locations were investigated and showed that (1) Chiang Mai Government Center Station was found to have an R^2 of 0.76, RMSE of 9.93 micrograms per cubic meter, and MBE of -0.25 micrograms per cubic meter, and (2) Yupparaj Wittayalai School Station had an R^2 of 0.81, RMSE of 9.44 micrograms per cubic meter, and MBE of 0.20 micrograms per cubic meter. The model was built to ensure that its output is compatible with measurement data that can be utilized in actual computations, which is useful for giving warnings and performing pollution prevention actions. In terms of the annual cycle of PM2.5, it was discovered that the value climbed from December to April, with its highest level in March, then gradually declined from May to November due to the rainy season. During the rainy season, there is a reduction in the levels of PM2.5 because of rainwater washing away some of the particles.

Keywords: PM2.5, Particle matter, Chiang Mai Province, Model, Aerosol optical depth

บทนำ

ฝุ่นละอองเป็นอนุภาคที่แขวนลอยอยู่ในบรรยากาศ อนุภาคบางชนิดมีขนาดใหญ่มีลักษณะเป็นเขม่าควันและบางชนิดมีขนาดเล็กมากจนมองไม่เห็นด้วยตาเปล่า (Department of Disease Control Ministry of Public Health, 2015) สามารถแบ่งประเภทฝุ่นละอองตามขนาดได้ 2 ประเภท คือ ประเภทแรกฝุ่นหยาบ (Course particle) เป็นฝุ่นละอองที่มีอนุภาคขนาดใหญ่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (Particulate matter 10: PM 10) โดยส่วนมากมีแหล่งกำเนิดมาจากท้องถนนที่ไม่ได้ลาดยาง หรือฝุ่นจากกิจกรรมรด ย่อย หิน ฝุ่นจากพื้นดินการเกษตร ประเภทที่สองฝุ่นละเอียด (Fine particle) เป็นฝุ่นละอองที่มีอนุภาคขนาดเล็กโดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่า 2.5 ไมโครเมตร (Particulate matter 2.5: PM2.5) มีแหล่งกำเนิดจากการสันดาปเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ การเกิดไฟฟ้า เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรมและการเผาไหม้วัสดุทางการเกษตร อนุภาคฝุ่นมีขนาดเล็กมาก ถ้าสูดดมเข้าไปฝุ่นชนิดนี้จะสามารถเข้าไปถึงถุงลมปอดได้ซึ่งส่งผลทำให้เกิดโรคในระบบทางเดินหายใจได้ ฝุ่นละออง PM2.5 นั้นมีอนุภาคขนาดเล็กมากสามารถเข้าสู่ร่างกายได้ง่ายจึงทำให้ PM2.5 ส่งผลกระทบต่อสุขภาพมากกว่า PM10 จากข้อมูลหนังสือฉบับอิเล็กทรอนิกส์ชื่อคู่มือเรียนรู้เกี่ยวกับฝุ่น PM2.5 (Chulalongkorn university, 2020) ค่า PM2.5 จะมีค่าสูงมากในช่วงที่เปลี่ยนฤดูกาลจากฤดูหนาวไปฤดูร้อนเนื่องจากมวลอากาศเย็นจากประเทศจีนแผ่ลงมาปกคลุมทำให้มีอุณหภูมิลดลง อากาศเย็น แต่มีบางช่วงเกิดการผกผันกลับของอุณหภูมิ (Inversion) ส่งผลให้การกระจายตัวของฝุ่นละอองระดับต่ำ ทำให้เกิดการไหลเวียนและอากาศถ่ายเทไม่ดี เกิดการสะสมของฝุ่นละออง หมอก และควันในบรรยากาศปริมาณ PM2.5 จึงเพิ่มสูงขึ้นด้วย

ในช่วงรอบหลายปีที่ผ่านมาในเขตภาคเหนือของประเทศไทยพบว่า จังหวัดเชียงใหม่มีค่า PM2.5 สูงเกินมาตรฐานหลายเดือน ส่งผลกระทบต่อการใช้ชีวิตของคนในพื้นที่นี้ โดยกรมควบคุมมลพิษของประเทศไทยกำหนดให้ค่ามาตรฐานฝุ่นละออง PM2.5 เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ต้องไม่เกิน 50 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จากการรายงานค่าสถิติของค่า PM2.5 เพื่อวัดคุณภาพอากาศ (Rocket media lab, 2022) อ้างอิงข้อมูลจาก The world air quality index project และการรายงานผลของกรีนพีซ (Greenpeace's city rankings for PM2.5 in Thailand) ว่าในปี 2564 นั้นจังหวัดเชียงใหม่ดัชนีคุณภาพอากาศอยู่ในระดับสีแดงคือมีผลกระทบต่อสุขภาพมากจำนวนถึง 36 วัน ระดับสีส้มคือมีผลต่อสุขภาพต่อกลุ่มคนที่สัมผัสไวต่อมลพิษจำนวน 60 วัน ระดับสีเหลืองคืออากาศมีคุณภาพปานกลางจำนวน 207 วัน และระดับสีเขียวคืออากาศมีคุณภาพดีจำนวน 62 วัน และในจังหวัดเชียงใหม่พบค่า PM2.5 สูงเกินมาตรฐานมากที่สุดในช่วงเดือนมีนาคมและมีค่าเกินมาตรฐานในเดือนอื่น ๆ ได้แก่ ธันวาคม มกราคม กุมภาพันธ์ เมษายน ส่วนในเดือนกันยายนพบว่า เป็นเดือนที่มีอากาศดีที่สุด กระบวนการวัดค่าปริมาณ PM2.5 นั้น สามารถทำได้โดยการติดตั้งเครื่องมือวัดภาคพื้นดิน ซึ่งในประเทศไทยภายใต้การดูแลของกรมควบคุมมลพิษได้ทำการติดตั้งเครื่องวัด PM2.5 ณ สถานีต่าง ๆ ในการเก็บข้อมูลความละเอียดเป็นรายชั่วโมงเพื่อการติดตามและเฝ้าระวังค่าฝุ่นละออง เนื่องจากตัวแปรในการบอกปริมาณของฝุ่นละอองสามารถบอกในอีกรูปแบบหนึ่งคือ ค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละออง (Aerosols Optical Depth, AOD) อาศัยคุณสมบัติการส่งผ่านรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ส่องผ่านคอลัมน์บรรยากาศผ่านอนุภาคฝุ่นละอองมายังพื้นผิวโลก ดังนั้นค่า AOD ที่วัดได้จึงรวมค่าฝุ่นละอองทุกขนาดรวมไปถึงค่า PM2.5 ด้วย ในแต่ละพื้นที่ที่มีสภาพภูมิอากาศและกิจกรรมที่ทำให้เกิดฝุ่นละอองแตกต่างกันส่งผลให้แต่ละพื้นที่มีค่า AOD และค่า PM2.5 ต่างกันในงานวิจัยอื่น ๆ ได้เชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่าง AOD และ PM2.5 ไว้ โดยการคำนวณค่า PM2.5 จาก AOD ที่ได้รับจากข้อมูลดาวเทียม MODIS ดาวเทียม POLDER-2 (Kacenenbogen *et al.*, 2006; Léon *et al.*, 2021; Ma *et al.*, 2016; Chen *et al.*, 2020; Van Donkelaar *et al.*, 2019)

จากข้อมูลที่ผ่านมาในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่มีค่าฝุ่นละอองเกินมาตรฐานหลายเดือนในรอบปีอันก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชากรในพื้นที่ทั้งระยะสั้นและระยะยาว ผู้วิจัยเล็งเห็นว่าในพื้นที่นี้มีเครื่องมือที่วัดค่า AOD ในเชิงสเปกตรัมรังสีตรงของดวงอาทิตย์ทำการติดตั้งภาคพื้นดินเพื่อวัดค่าฝุ่นละออง และมีข้อมูลย้อนหลังจำนวนหลายปี ดังนั้นงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจึงเสนอแนวทางการประมาณค่า PM2.5 ด้วยการประยุกต์ใช้ค่า AOD จากเครื่องวัดภาคพื้นดินคำนวณหาค่า PM2.5 ซึ่งวิธีการนี้จะมีข้อดีกว่าการใช้ตัวแปรอื่น เนื่องจากค่า AOD เป็นค่าที่บ่งบอกค่าฝุ่นละอองในเชิงพื้นที่และมีความสัมพันธ์กับค่า PM2.5 ที่วัดจากเครื่องมือภาคพื้นดินเหมาะสมสำหรับการจัดทำแบบจำลอง ทำการศึกษาในพื้นที่อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ เพื่อให้ได้แบบจำลองที่สามารถใช้ประโยชน์ในการติดตามและตรวจสอบค่า PM2.5 ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเป็นวิธีการที่ใช้งานง่ายที่สุดในการประมาณค่า PM2.5 เพื่อการแจ้งเตือนประชากรและเพื่อการวางมาตรการป้องกันปัญหามลพิษทางอากาศต่อไป จึงทำการวิจัยโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการ



คำนวณค่าฝุ่นละออง PM2.5 โดยใช้ข้อมูลความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองจากเครื่องมือวัดภาคพื้นดิน และศึกษาแนวโน้มค่าฝุ่นละออง PM2.5 ในรอบปีของอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่

วิธีดำเนินการวิจัย

1. พื้นที่ที่ใช้ในการศึกษา

ผู้วิจัยเลือกทำการศึกษาในพื้นที่ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ ได้แก่ สถานีศูนย์ราชการจังหวัดเชียงใหม่ ตำบลช้างเผือก และ สถานีโรงเรียนยุพราชวิทยาลัย ตำบลศรีภูมิ เนื่องจากในจังหวัดเชียงใหม่ได้ประสบปัญหาฝุ่นละอองเกินมาตรฐานค่อนข้างมากโดยเฉพาะในช่วงต้นปี ผู้วิจัยจึงเลือกศึกษาในพื้นที่นี้โดยพื้นที่ดังกล่าวจะครอบคลุมทั้งอำเภอเมืองและจะเป็นข้อมูลตัวแทนของจังหวัดเชียงใหม่

2. ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย

ในการสร้างแบบจำลองผู้วิจัยใช้ข้อมูลความลึกเชิงแสงของฝุ่นละออง (AOD) ที่ความยาวคลื่น 500 นาโนเมตร เนื่องจากเป็นย่านความยาวคลื่นที่ใช้ในการมองเห็น และไม่มีองค์ประกอบอื่น ๆ ของบรรยากาศมีเพียงฝุ่นละอองเท่านั้น (Boers *et al.*, 2015) เก็บข้อมูลจากเครื่อง Sunphotometer ยี่ห้อ Cimel electronique ข้อมูลนี้มีการตรวจสอบความถูกต้องอยู่ภายใต้การดูแลของระบบเครือข่าย Aerosol Robotic Network (AERONET) ขององค์การนาซา (NASA) (Holben *et al.*, 1998) และได้รับการสอบเทียบตรวจสอบความถูกต้องโดยวิธี Langley plot (Soufflet *et al.*, 1992; Schmid & Wehrli, 1995) เครื่องวัด AOD ติดตั้ง ณ ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ ตำบลสุเทพ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ ผู้วิจัยได้เลือกใช้ค่ารูปแบบรายวัน โดยใช้ข้อมูลตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2560 ถึงวันที่ 31 ธันวาคม 2562 รวมระยะเวลาทั้งหมด 3 ปี

ในการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองผู้วิจัยใช้ข้อมูล PM2.5 จากค่ารูปแบบรายวันที่ทำการวัดจากเครื่องวัดโดยตรง เครื่องนี้อยู่ภายใต้ความควบคุมของกองจัดการคุณภาพอากาศและเสียง กรมควบคุมมลพิษ สามารถดาวน์โหลดได้ดังแหล่งที่มาจากฐานข้อมูลออนไลน์ดังนี้ <http://air4thai.pcd.go.th/webV2/index.php> ใช้ข้อมูลตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2563 ถึงวันที่ 31 ธันวาคม 2564 รวมระยะเวลาทั้งหมด 2 ปี

3. วิธีการสร้างแบบจำลอง

การสร้างแบบจำลองผู้วิจัยเลือกใช้ข้อมูล AOD จากเครือข่าย AERONET เลือกสถานีเชียงใหม่ประเทศไทย พิกัด 18.771N, 98.972E รูปแบบข้อมูลที่ได้แปลงเป็นไฟล์ .csv นำข้อมูลตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม ปี พ.ศ. 2560 ถึงวันที่ 31 ธันวาคม ปี พ.ศ. 2562 จากนั้นเตรียมข้อมูลค่า PM2.5 ดาวน์โหลดจากกรมควบคุมมลพิษข้อมูลอยู่ในรูปแบบไฟล์ MS Excel worksheet ทำการคัดเลือกจำนวน 2 สถานีได้แก่ ลำดับที่ 35T เป็นสถานีศูนย์ราชการจังหวัดเชียงใหม่ พิกัด 18.840N, 98.969E และลำดับที่ 36T เป็นสถานีโรงเรียนยุพราชวิทยาลัย พิกัด 18.790N, 98.990E ในการวิเคราะห์ผู้วิจัยใช้รูปแบบการถดถอยเชิงเส้น (Linear regression) คำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่าง 2 ตัวแปร คือ ค่า AOD แทนค่าตัวแปรอิสระและค่า PM2.5 ของแต่ละสถานีแทนค่าตัวแปรตาม ตามสมการที่ (1) ผลที่ได้มีความสัมพันธ์กันแบบเชิงเส้น (Linear) โดยที่ PM2.5 คือค่าปริมาณฝุ่นละออง PM2.5 (หน่วยไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) ค่า AOD คือค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละออง α คือ สัมประสิทธิ์การถดถอย (Regression coefficient) และค่า β คือค่าคงที่ของสมการถดถอย (Constant)

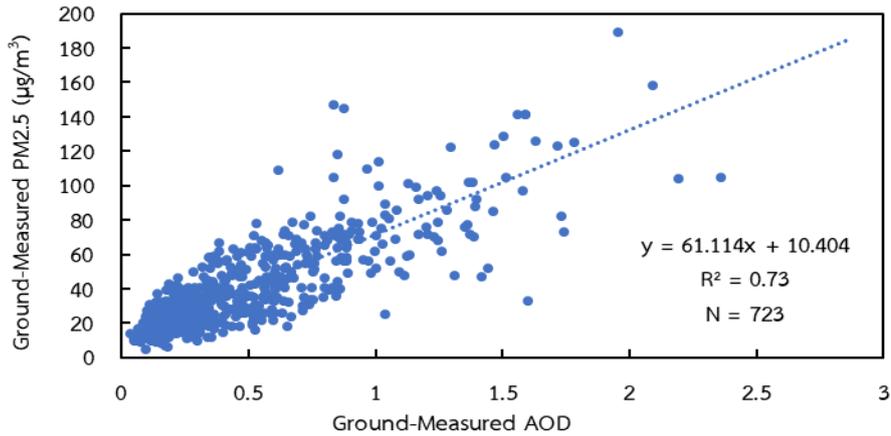
$$PM2.5 = \alpha(AOD) + \beta \quad (1)$$

เมื่อได้แบบจำลองแล้วผู้วิจัยทำการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง โดยนำค่าแบบจำลองที่ได้ไปคำนวณค่า PM2.5 ของฝุ่นละอองโดยใช้ข้อมูลค่า AOD แบบรายวันจากเครื่อง Sunphotometer ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2563 ถึงวันที่ 31 ธันวาคม 2564 รวมระยะเวลา 2 ปี จากนั้นใช้ค่าทางสถิติในการตรวจสอบความถูกต้องได้แก่ค่า R Squared (R^2) ค่า Root mean square error (RMSE) และค่า Mean bias error (MBE) หรือเรียกว่าค่า Bias โดยเทียบกับค่าจากเครื่องวัดโดยตรง

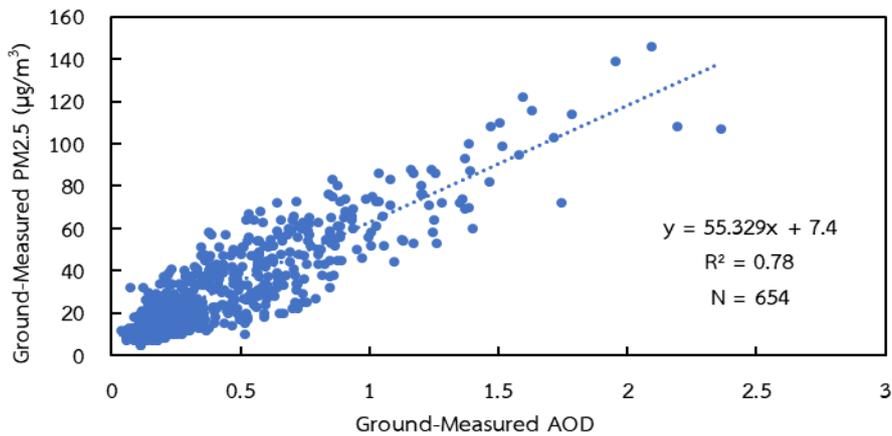
ผลการวิจัย

1. การสร้างแบบจำลอง

จากการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นได้ความสัมพันธ์ระหว่าง PM2.5 และ AOD สามารถพล็อตกราฟโดยแกน x เป็นค่า AOD และแกน y เป็นค่า PM2.5 แสดงได้ดังภาพที่ 1 และ ภาพที่ 2



ภาพที่ 1 ผลแบบจำลองสถานีศูนย์ราชการจังหวัดเชียงใหม่



ภาพที่ 2 ผลแบบจำลองสถานีโรงเรียนยุพราชวิทยาลัย

2. การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

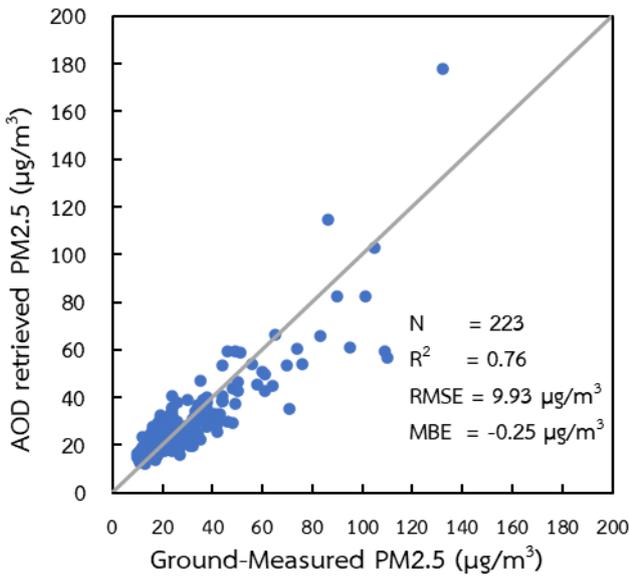
จากข้อมูลการสร้างแบบจำลองได้ตรวจสอบความถูกต้อง ของแบบจำลองโดยนำแบบจำลองที่ได้ไปคำนวณค่า PM2.5 เทียบกับค่าจากเครื่องวัด PM2.5 โดยตรง ใช้ข้อมูลจำนวน 2 ปี ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2563 ถึงวันที่ 31 ธันวาคม 2564 ตัวอย่างข้อมูลจากแบบจำลองกับข้อมูลจากเครื่องวัด แสดงได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตัวอย่างข้อมูลจากแบบจำลองกับข้อมูลจากเครื่องวัด

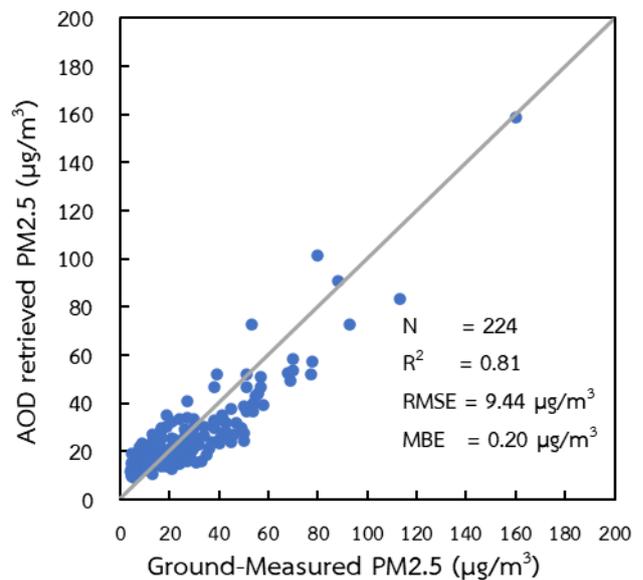
สถานีศูนย์ราชการจังหวัดเชียงใหม่			สถานีโรงเรียนยุพราชวิทยาลัย		
วันที่ เดือน ปี พ.ศ.	ค่า PM2.5 (µg/m³)		วันที่ เดือน ปี พ.ศ.	ค่า PM2.5 (µg/m³)	
	เครื่องวัด	แบบจำลอง		เครื่องวัด	แบบจำลอง
15 มกราคม 2563	35	35.64	1 มกราคม 2563	28	18.29
17 มกราคม 2563	38	37.79	4 มกราคม 2563	30	33.15
26 พฤษภาคม 2563	38	39.83	5 มกราคม 2563	55	43.10
22 กันยายน 2563	14	15.46	13 กันยายน 2564	10	12.54
18 มิถุนายน 2564	13	13.89	15 ธันวาคม 2564	21	21.48
13 กรกฎาคม 2564	13	13.81	16 ธันวาคม 2564	21	18.47
23 สิงหาคม 2564	15	16.82	20 ธันวาคม 2564	26	26.05
6 กันยายน 2564	13	14.48	22 ธันวาคม 2564	29	26.93
18 ตุลาคม 2564	13	12.16	23 ธันวาคม 2564	30	29.48
31 ธันวาคม 2564	22	21.27	24 ธันวาคม 2564	31	31.53



ผู้วิจัยทำการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองที่สร้างขึ้นโดยการพล็อตกราฟเทียบค่าจากเครื่องที่วัด PM2.5 และค่าจากแบบจำลองอัตรา 1:1 แสดงได้ดังภาพที่ 3 และภาพที่ 4



ภาพที่ 3 ผลตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง สถานีศูนย์ราชการจังหวัดเชียงใหม่

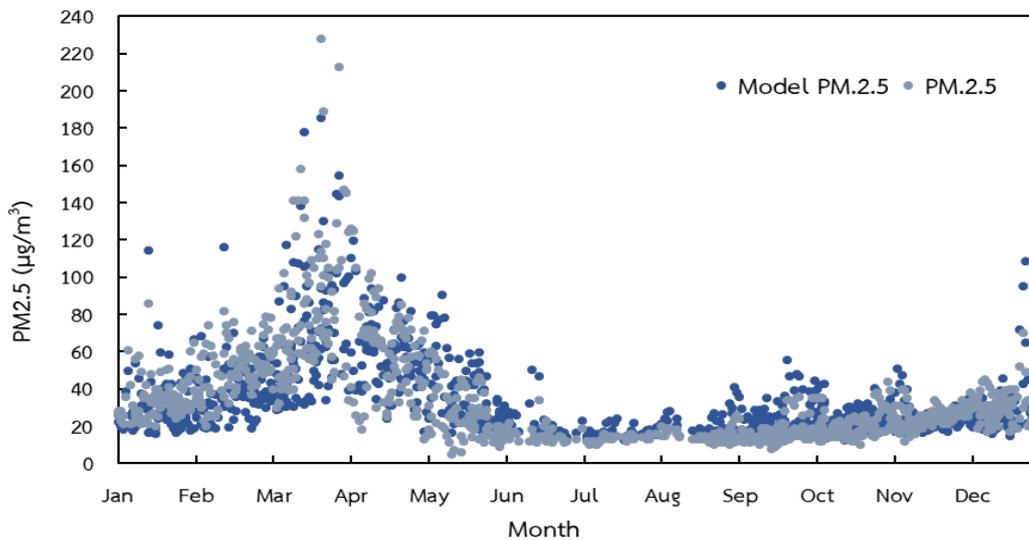


ภาพที่ 4 ผลตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง สถานีโรงเรียนยุพราชวิทยาลัย

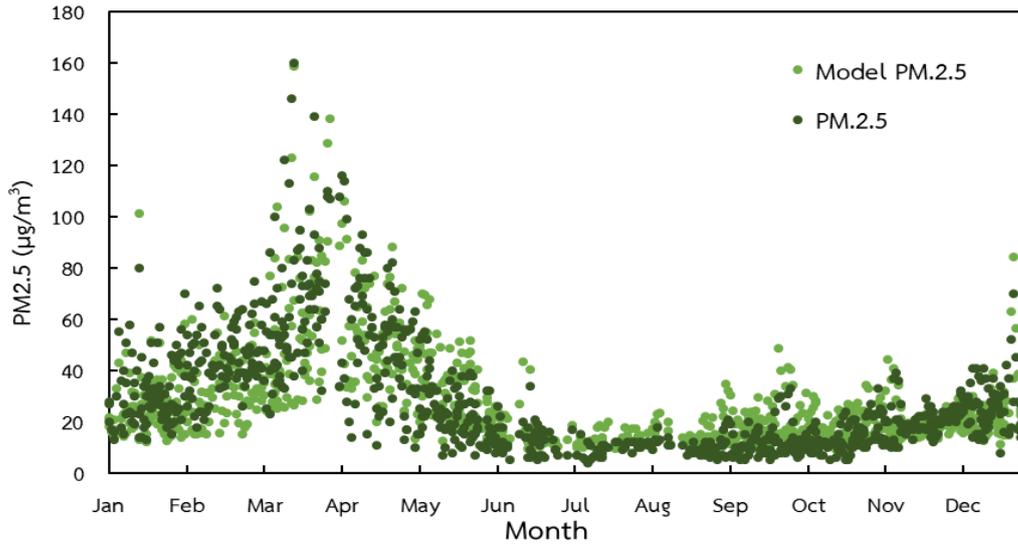
ผู้วิจัยทำการคำนวณค่าทางสถิติในรูปแบบ R^2 ซึ่งบอกความสัมพันธ์ของข้อมูลค่า AOD และ PM2.5 ถ้ามีค่าเข้าใกล้ 1 ผลคือทั้งสองข้อมูลมีความสัมพันธ์กันดี ค่าจำนวนค่า RMSE บอกค่าความแตกต่างที่ได้จากการวัดและจากแบบจำลองในรูปแบบกราฟที่สองของค่าเฉลี่ยความผิดพลาดกำลังสอง และคำนวณค่า MBE หรือ ค่า Bias แสดงความแตกต่างในรูปแบบความเอนเอียงเฉลี่ยมีค่าได้ทั้งค่าบวกและค่าลบ แบบจำลองที่ดีควร MBE มีค่าเข้าใกล้ศูนย์

3. ผลแนวโน้มค่าฝุ่นละออง PM2.5 ในรอบปี

ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ค่า PM2.5 จากเครื่องวัดและจากแบบจำลองแล้ว ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อนำมาศึกษาการแปรค่า PM2.5 ในรอบปี เพื่อศึกษาค่าแนวโน้มของปริมาณ PM2.5 ในพื้นที่อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 5 และภาพที่ 6



ภาพที่ 5 ผลแนวโน้มค่าฝุ่นละออง PM2.5 ในรอบปีของสถานีศูนย์ราชการจังหวัดเชียงใหม่



ภาพที่ 6 ผลแนวโน้มค่าฝุ่นละออง PM2.5 ในรอบปีของสถานีโรงเรียนยุพราชวิทยาลัย

อภิปรายผลการวิจัย

1. การสร้างแบบจำลอง

ในการสร้างแบบจำลองผู้วิจัยใช้ข้อมูลค่า PM2.5 และค่า AOD ที่มีความสอดคล้องกันของสถานีศูนย์ราชการจังหวัดเชียงใหม่จำนวน 723 วัน ทั้งนี้ในบางวันมีการแปรปรวนของอากาศทำให้ไม่สามารถวัดค่าของฝุ่นละอองได้ เช่น มีฝนตกหนัก จึงไม่มีผลของข้อมูลในวันนั้น และที่สถานีโรงเรียนยุพราชวิทยาลัยใช้ข้อมูลทั้งหมดจำนวน 654 วัน ผลการสร้างแบบจำลองแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า AOD และค่า PM2.5 แสดงได้ดังภาพที่ 1 และภาพที่ 2 ผลจากกราฟพบว่าที่สถานีศูนย์ราชการจังหวัดเชียงใหม่จุดข้อมูลค่อนข้างกระจายกว่าสถานีโรงเรียนยุพราชวิทยาลัย สาเหตุที่กราฟกระจายอาจเนื่องมาจากสถานีนี้มีระยะทางค่อนข้างไกลออกจากสถานีที่ติดตั้งเครื่องวัด AOD จึงทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนเล็กน้อยจุดของกราฟในส่วนปลายจึงกระจาย ในส่วนของสถานีโรงเรียนยุพราชวิทยาลัยกราฟมีความสอดคล้องกันดีจุดเรียงตัวอยู่ในแนวเดียวกันมีความเป็นระเบียบ ผลทั้งสองสถานีพบว่าแนวโน้มของจุดชี้ขึ้นด้านขวาตามแนวเส้นตรง เมื่อค่า AOD มีค่าสูงค่า PM2.5 มีค่าสูงชันด้วย ดังนั้นความสัมพันธ์ที่ได้ เป็นแบบเชิงเส้นเชิงบวก (Positive and linear correlation) ผู้วิจัยวิเคราะห์สมการการถดถอยเชิงเส้น พบว่า สถานีศูนย์ราชการจังหวัดเชียงใหม่ได้ $y = 61.114x + 10.404$ โดยที่ ค่า x แทนค่า AOD สามารถคำนวณค่า y ซึ่งเป็นค่า PM2.5 ผลของข้อมูลได้ค่าทางสถิติในรูปแบบ $R^2 = 0.73$ ที่สถานีโรงเรียนยุพราชวิทยาลัยได้ $y = 55.329x + 7.4$ ผลของข้อมูลได้ค่า $R^2 = 0.78$ ผลของแบบจำลองที่สร้างขึ้นสอดคล้องกับงานวิจัยของ Van Donkelaar *et al.* (2019) ที่ประเทศอเมริกาซึ่งใช้ข้อมูลจำนวน 2,312 วันได้ผลแบบจำลอง $y = 0.90x + 0.7$ ค่า $R^2 = 0.76$ ทั้งนี้ยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kacenelenbogen *et al.* (2006) ได้ผลแบบจำลอง $y = 26.56x + 13.20$ ค่า $R^2 = 0.70$ และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Léon *et al.* (2021) ได้ผลแบบจำลอง $y = 0.0074 + 0.91x$ ค่า $R^2 = 0.87$ ซึ่งค่าคงที่สมการแตกต่างกับงานวิจัยนี้เนื่องจากพื้นที่ที่ทำการศึกษาค่า R^2 ใกล้เคียงกันจากผลแบบจำลองของงานวิจัยนี้ได้ค่า R^2 ของทั้งสองสถานีมีค่าค่อนข้างสูงเข้าใกล้ 1 และมีค่าใกล้เคียงกันแสดงว่าข้อมูลมีความสอดคล้องสัมพันธ์กันดี

2. การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

ผู้วิจัยทำการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองที่สร้างขึ้น ตัวอย่างผลข้อมูลแสดงได้ดังตารางที่ 1 พบว่าค่า PM2.5 จากเครื่องวัดจะเป็นตัวเลขถั่วและค่าจากแบบจำลองจะเป็นค่าที่มีจุดทศนิยมมีความละเอียด จากข้อมูลที่ได้ในช่วงเดือนมกราคม และช่วงเดือนธันวาคม มีค่า PM2.5 มากกว่า 20 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และมีค่าสูงกว่าเดือนอื่น ๆ ในรอบปี ผู้วิจัยทำการตรวจสอบความถูกต้องโดยเปรียบเทียบจุดข้อมูล PM2.5 จากเครื่องวัดและจากแบบจำลอง ดังภาพที่ 3 และภาพที่ 4 พบว่า ที่สถานีศูนย์ราชการจังหวัดเชียงใหม่ใช้ข้อมูลในการตรวจสอบจำนวน 223 วัน ในบริเวณที่ค่า PM2.5 สูงข้อมูลมีการกระจายตัวจากแนวเส้นตรง 1:1 ในส่วนค่า PM2.5 น้อยจุดข้อมูลเกาะกลุ่มกันดีอยู่ในแนวเดียวกันเห็นได้ว่าที่ค่า PM2.5 สูงข้อมูลจะมีความคลาดเคลื่อนมากกว่าที่ค่าน้อย ๆ ในส่วนสถานีโรงเรียนยุพราชวิทยาลัยใช้ข้อมูลในการตรวจสอบจำนวน 224 วันผลมีความสอดคล้องกันดีจุดเกาะกลุ่มอยู่ในแนวเส้นตรง 1:1 ดี ผู้วิจัยทำการคำนวณค่าทางสถิติ R^2 , RMSE



และ MBE พบว่า สถานีศูนย์ราชการจังหวัดเชียงใหม่ค่า $R^2 = 0.76$ ค่า RMSE = 9.93 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และค่า MBE = -0.25 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในส่วนของสถานีโรงเรียนยุพราชวิทยาลัยค่า $R^2 = 0.81$ ค่า RMSE = 9.44 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และค่า MBE = 0.20 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ผลลัพธ์สอดคล้องกับงานวิจัยในต่างประเทศ แต่แตกต่างกันด้านวิธีการวิจัย ยกตัวอย่างเช่น งานวิจัยที่แอฟริกาตะวันตกเฉียงใต้มีการศึกษาทำนายค่า PM2.5 จากข้อมูลค่า AOD ปี พ.ศ. 2546 ถึง พ.ศ. 2562 ซึ่งได้รับจากดาวเทียมและจากเครื่องวัดแบบพกพาผล พบว่า ที่สถานี Sav'e ได้ค่า $R^2 = 0.79$ ค่า RMSE = 0.31 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และค่า MBE = -0.19 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และสถานี Comoe ได้ค่า $R^2 = 0.76$ ค่า RMSE = 0.37 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และค่า MBE = -0.22 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (Léon *et al.*, 2021) ระดับความสัมพันธ์ใกล้เคียงกับงานวิจัยนี้ งานวิจัยที่ประเทศจีนใช้ข้อมูล AOD จากดาวเทียมและแบบจำลอง CTMs (Chemical transport model) ผลพบว่า สถานี Chengdu ได้ค่า $R^2 = 0.64$ ค่า RMSE = 33.90 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และค่า MBE = 16.76 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร สถานี Shanghai ได้ค่า $R^2 = 0.63$ ค่า RMSE = 20.50 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และค่า MBE = -1.41 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และสถานี Shenyang ได้ค่า $R^2 = 0.55$ ค่า RMSE = 30.90 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และค่า MBE = 2.87 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (Xue *et al.*, 2019) และทางตอนเหนือของประเทศจีน ได้ผล $R^2 = 0.36$ ค่า RMSE = 30.10 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และค่า MBE = 21.60 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (Chen *et al.*, 2020) แสดงให้เห็นว่า ผลจากงานวิจัยนี้มีระดับความสัมพันธ์สูงกว่าผลจากประเทศจีนเล็กน้อย ในภาคเหนือของประเทศไทยมีงานวิจัยเปรียบเทียบวิธีการประมาณค่าฝุ่นละอองขนาดเล็กด้วยดาวเทียมฮิมวาริ 8 ผลพบว่า วิธีการ PCA-GRNN มีค่า $R^2 = 0.57$ และ ค่า RMSE = 17.76 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และวิธีการ MLR มีค่า $R^2 = 0.0012$ และค่า RMSE = 33.90 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (Putham *et al.*, 2020) งานวิจัยนี้ผลการตรวจสอบความถูกต้องค่อนข้างแม่นยำกว่าวิธีการ PCA-GRNN และวิธีการ MLR ซึ่งให้เห็นว่าข้อมูลภาคพื้นดินให้ค่าความแม่นยำในการประมาณค่า PM2.5 มากกว่าข้อมูลจากดาวเทียม

จากงานวิจัยนี้วิเคราะห์ค่า R^2 ของทั้งสองสถานีค่าใกล้เคียงกันมีค่าสูงเข้าใกล้ 1 แสดงว่ามีความสัมพันธ์กันดี ค่า RMSE มีค่าค่อนข้างสูง สาเหตุเนื่องมาจากตัวแปรอิสระที่เลือกใช้อาจจะยังไม่ครอบคลุมเพียงพอต่อการทำนายค่าปริมาณ PM2.5 เมื่อเทียบกับงานวิจัยอื่น ๆ แล้วสามารถยอมรับได้ค่า MBE แสดงถึงการเอนเอียงข้อมูลพบว่ามีค่าน้อยไม่ถึง ± 1 ผลคือไม่เอนเอียงไปทางใดทางหนึ่งมากนัก แบบจำลองที่สร้างขึ้นนี้สามารถใช้ประมาณค่า PM2.5 ได้ เพื่อประโยชน์ในการแจ้งเตือนภัยและการวางมาตรการการป้องกันฝุ่นละออง PM2.5 ได้ อาทิเช่น วันที่ 31 มกราคม ปี พ.ศ. 2563 มีค่า AOD = 0.9164 นำไปคำนวณตามแบบจำลองที่สร้างขึ้นพบว่าได้ค่า PM2.5 = 58.10 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามกรมควบคุมมลพิษของประเทศไทยกำหนดมาตรฐาน PM2.5 ในบรรยากาศค่าเฉลี่ยในเวลา 24 ชั่วโมงจะต้องไม่เกิน 50 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร แสดงว่าในวันดังกล่าวมีคุณภาพอากาศเกินมาตรฐานส่งผลกระทบต่อสุขภาพ (Pollution Control Department, 2022) เป็นต้น

3. แนวโน้มค่าฝุ่นละออง PM2.5 ในรอบปี

จากภาพที่ 5 และภาพที่ 6 พบว่า ค่า PM2.5 ในรอบปีของทั้งสองสถานีมีแนวโน้มคล้ายคลึงกัน โดยมีค่าเพิ่มขึ้นจากเดือนมกราคม กุมภาพันธ์ มีนาคม ไปจนถึงเดือนเมษายน และค่อย ๆ ลดลงในช่วงเดือนพฤษภาคม มีค่าสูงสุดในช่วงเดือนมีนาคม สถานีศูนย์ราชการจังหวัดเชียงใหม่พบว่า ค่า PM2.5 ในช่วงเดือนมีนาคมในบางวันสูงถึง 230 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร หมายถึงอากาศเป็นมลพิษมีผลต่อสุขภาพอย่างมาก สอดคล้องกับงานวิจัยของ Chairattawan *et al.* (2020) ทำการศึกษาแหล่งกำเนิดฝุ่นละออง PM 2.5 ที่บริเวณภาคเหนือของประเทศไทยพบว่า ในช่วงเดือนมีนาคมถึงเดือนเมษายนของทุกปี ค่า PM 2.5 จะมีค่าสูงเนื่องมาจากการเผาในที่โล่งที่เพิ่มมากขึ้นในช่วงนี้ สามารถแบ่งได้เป็นการเผาเศษหญ้าในเขตชุมชน การเผาหญ้าในวงกว้างเพื่อการเกษตร และการเกิดไฟป่าทั้งในพื้นที่ประเทศไทยและประเทศเพื่อนบ้าน ค่า PM2.5 จะมีค่าน้อยในช่วงเดือนมิถุนายนไปจนถึงช่วงเดือนพฤศจิกายน ทั้งนี้ในช่วงนี้จะเป็นช่วงฤดูฝนทำให้ฝุ่นละอองบางส่วนจะถูกชะล้างด้วยน้ำฝนจึงมีค่าน้อยในช่วงนี้ ส่วนช่วงท้ายปีเดือนธันวาคมค่ากลับขึ้นมาสูงอีกครั้งจนถึงเดือนมกราคม โดยรวมแล้วอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ประสบปัญหามลพิษทางอากาศมีค่าฝุ่นละออง PM2.5 มากถึง 5 เดือน ได้แก่ เดือนธันวาคม มกราคม กุมภาพันธ์ มีนาคม เมษายน ควรวางมาตรการควบคุมฝุ่นละออง PM2.5 ไว้ล่วงหน้าก่อนจะถึงช่วง 5 เดือนดังกล่าว และควรจัดการปัญหาฝุ่นละออง PM2.5 จากแหล่งกำเนิดเพื่อลดปัญหาในระยะยาว ส่วนในช่วงเดือนมิถุนายน กรกฎาคม สิงหาคม และกันยายน เป็นช่วงที่มีอากาศดีค่า PM2.5 น้อยไม่เกินมาตรฐาน

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

พื้นที่จังหวัดเชียงใหม่มีค่าฝุ่นละออง PM2.5 มากและสูงเกินมาตรฐานหลายเดือน ทำให้ประสบปัญหาหมอกพิษทางอากาศส่งผลกระทบต่อสุขภาพทั้งในระยะสั้นและระยะยาว งานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาค่า PM2.5 ในพื้นที่นี้โดยเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการใช้ข้อมูลความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองจากเครื่องมือวัดภาคพื้นดินที่ติดตั้งอยู่แล้วและศึกษาแนวโน้มค่าฝุ่นละออง PM2.5 ในรอบปี ทำการตรวจสอบสองสถานีได้แก่ สถานีศูนย์ราชการจังหวัดเชียงใหม่และสถานีโรงเรียนยุพราชวิทยาลัย ในอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ พบว่า ผลที่ได้จากแบบจำลองมีความสอดคล้องกับผลที่ได้จากเครื่องมือวัด โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.76 และ 0.81 ค่า RMSE เท่ากับ 9.94 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และ 9.44 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่า MBE เท่ากับ -0.25 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และ 0.20 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่าทางสถิตินี้สามารถยอมรับได้ ดังนั้นสามารถใช้แบบจำลองนี้แทนการใช้ข้อมูล PM2.5 จริงได้ ทำให้ไม่สิ้นเปลืองงบประมาณในการจัดซื้อเครื่องมือวัด PM2.5 เพิ่มเติม เพื่อประโยชน์ในการแจ้งเตือนภัยและการวางมาตรการป้องกันฝุ่นละออง สำหรับแนวทางการศึกษาต่อไปเสนอแนะให้มีการเพิ่มตัวแปรทางด้านบรรยากาศที่มีผลกระทบต่อค่า PM2.5 ซึ่งจะส่งผลทำให้แบบจำลองมีความแม่นยำและมีประสิทธิภาพมากขึ้น ในส่วนแนวโน้มค่า PM2.5 ในรอบปีพบว่า มีค่าเพิ่มขึ้นจากเดือนธันวาคม มกราคม กุมภาพันธ์ มีนาคม ไปจนถึงเดือนเมษายน มีค่าสูงสุดในช่วงเดือนมีนาคม ผู้วิจัยเสนอแนวทางการป้องกันฝุ่นละออง PM2.5 กรณีเกินค่ามาตรฐานให้ประชาชนในพื้นที่นั้นสวมหน้ากากป้องกันฝุ่นชนิดนี้เช่น หน้ากาก N95 ควรงดออกจากอาคารและงดกิจกรรมกลางแจ้ง แนวโน้มค่า PM2.5 ในรอบปีจะค่อย ๆ ลดลงในช่วงเดือนพฤษภาคมจนถึงช่วงเดือนพฤศจิกายน เนื่องจากในช่วงนี้จะเป็นช่วงฤดูฝนทำให้ค่าฝุ่นละออง PM2.5 บางส่วนจะถูกชะล้างด้วยน้ำฝนจึงมีค่าน้อย

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณเครือข่าย Aerosol Robotic Network (AERONET) ขององค์การนาซาที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละออง และขอขอบพระคุณ กองจัดการคุณภาพอากาศและเสียง กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูล PM2.5 ที่ใช้ในงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- Boers, R., van Weele, M., van Meijgaard, E., Savenije, M., Siebesma, A. P., Bosveld, F. & Stammes, P. (2015). Observations and projections of visibility and aerosol optical thickness (1956-2100) in the Netherlands: Impacts of time-varying aerosol composition and hygroscopicity. *Environmental Research Letters*, 10(1), 1-10.
- Chairattanawan, K. & Patthirasinsiri, N. (2020). Emission source impact and problem solving and management on PM2.5 in the northern part of Thailand. *Journal of the Association of Researchers*, 25(1), 461-474. (in Thai)
- Chen, Y., Zhou, Y. & Zhao, X. (2020). PM2.5 over North China based on MODIS AOD and effect of meteorological elements during 2003-2015. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, 14(2), 1-14.
- Chulalongkorn University. (2020). *Stay safe in the PM2.5 dust* [Online]. Retrieved December 1, 2022, from: <https://www.chula.ac.th/news/23799>. (in Thai)
- Department of Disease Control Ministry of Public Health. (2015). *Guidelines for monitoring risky areas from air pollution case of small dust*. Bangkok: Printing House of the Agricultural Cooperatives Association of Thailand. (in Thai)
- Holben, B. N., Eck, T. F., Slutsker, I., Tanré, D., Buis, J. P., Setzer, A., et al. (1998). AERONET- A federated Instrument network and data archive for aerosol characterization. *Remote Sensing of Environment*, 66(1), 1-16.
- Kacenelenbogen, M., Léon, J. F., Chiappello, I. & Tanré, D. (2006). Characterization of aerosol pollution events in France using ground-based and POLDER-2 satellite data. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 6, 4843-4849.



- Léon, J. F., Akpo, A. B., Bedou, M., Djossou, J., Bodjrenou, M., Yoboué, V., & Liousse, C. (2021). PM2.5 surface concentrations in southern West African urban areas based on sun photometer and satellite observations. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 21(3), 1815-1834.
- Ma, Z., Hu, X., Sayer, A. M., Levy, R., Zhang, Q., Xue, Y., Tong, S., Bi, J., Huang, L., & Liu, Y. (2016). Satellite based spatiotemporal trends in PM2.5 concentrations: China 2004–2013. *Environmental Health Perspectives*, 124(2), 184-192.
- Pollution Control Department. (2022). *Air quality index* [Online]. Retrieved December 1, 2022, from: http://air4thai.pcd.go.th/webV2/aqi_info.php. (in Thai)
- Putham, K., Wetchayont, P., & Choosakul, N. (2020). A comparison of methods for estimating fine particulate matter concentrations from Himawari-8 satellite over northern Thailand. *RMUTJ Journal Science and Technology*, 14(1), 55-67. (in Thai)
- Rocket Media Lab. (2022). *In 2021 people in Chiang Mai inhaled PM2.5 equivalent to smoking 1, 379 cigarettes* [Online]. Retrieved December 1, 2022, from: <https://rocketmedialab.co/chiangmai>. (in Thai)
- Schmid, B. & Wehrli, C. (1995). Comparison of sun photometer calibration by use of the Langley technique and the standard lamp. *Applied Optics*, 34(21), 4500-4512.
- Soufflet, V., Devaux, C. & Tanré, D. (1992). Modified Langley plot method for measuring the spectral aerosol optical thickness and its daily variations. *Applied Optics*, 31(12), 2154-2162.
- Van Donkelaar, A., Martin, R. V., Li, C. & Burnett, R. T. (2019). Regional estimates of chemical composition of fine particulate matter using a combined geoscience-statistical method with information from satellites, models, and monitors. *Environmental Science & Technology*, 53(5), 2595-2611.
- Xue, T., Zheng, Y., Tong, D., Zheng, B., Li, X., Zhu, T., et al. (2019). Spatiotemporal continuous estimates of PM2.5 concentrations in China, 2000-2016: A machine learning method with inputs from satellites, chemical transport model, and ground observations. *Environment International*, 123, 345-357.