

05

ความสัมพันธ์ของฝุ่นละอองที่ดึงมาจากดาวเทียมและการตรวจวัดภาคพื้นดินในภาคเหนือของประเทศไทย

RELATIONSHIP OF PARTICULATE MATTER RETRIEVED FROM SATELLITE AND GROUND MEASUREMENTS IN NORTHERN THAILAND

นิชกุล ชาตภรณพิทยสิริ^a✉ และ พิชญ์นรี สลิตภรณ์^a

^aภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Nichakun Chadsapphayasitti^a✉ and Pichnaree Lalitaporn^a

^aDepartment of Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University

✉ nichakun.ch@ku.th

วันที่รับ (received) 11 พ.ค.2565 วันที่แก้ไขเสร็จ (revised) 14 มิ.ย. 2565 วันที่ตอบรับ (accepted) 20 มิ.ย. 2565

บทคัดย่อ

ข้อมูล Aerosol Optical Depth (AOD) หรือ ความลึกเชิงแสงของละอองลอย ในบรรยากาศ ที่ได้จากดาวเทียม Suomi-NPP VIIRS ถูกนำมา วิเคราะห์ความสัมพันธ์กับฝุ่นละอองขนาดเล็ก (Particulate matter: PM) ได้แก่ ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) และฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM_{10}) จากสถานีตรวจวัด คุณภาพอากาศภาคพื้นดินของกรมควบคุมมลพิษใน ประเทศไทย โดยแบ่งการศึกษาเป็น 2 ส่วน ในส่วนแรก เป็นการเปรียบเทียบการดึงข้อมูล AOD ที่ขนาดพื้นที่ แตกต่างกัน 6 ขนาด ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ ระหว่าง AOD-PM พบว่า ขนาดพื้นที่ $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ และ $0.2^{\circ} \times 0.2^{\circ}$ มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient: R) สูงที่สุด ในส่วนที่สองเป็นการสร้าง แบบจำลองเพื่อคาดการณ์ค่า PM โดยพิจารณาร่วมกับปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา ได้แก่ ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity: RH), อุณหภูมิ (Temperature: T) และความเร็วลม (Wind speed: WS) พบว่า ความชื้นสัมพัทธ์เป็นตัวแปรที่สำคัญที่สุดสำหรับการ คาดการณ์ค่า PM ซึ่งจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ ของ Estimated PM (ค่า PM ที่ได้จากการคาดการณ์ ด้วยสมการแบบจำลอง) กับ Observed PM (ค่า PM ที่ได้จากการตรวจวัดจริง) พบว่า Estimated $PM_{2.5}$ - Observed $PM_{2.5}$ และ Estimated PM_{10} - Observed PM_{10} มีค่า R อยู่ในช่วง 0.47-0.81 และ 0.62-0.81 ตามลำดับ ซึ่งให้ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (RMSE) สำหรับการคาดการณ์อยู่ในช่วง 13.60-55.43 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ และ 19.38-33.95 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ตามลำดับ

คำสำคัญ : ความลึกเชิงแสงของละอองลอย (AOD) ฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน ฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน ดาวเทียม VIIRS

Abstract

Aerosol Optical Depth (AOD) data from the Suomi-NPP VIIRS satellite were analyzed for their relationship to particulate matter (PM), including particulate matter with diameter of less than 2.5 microns ($PM_{2.5}$) and particulate matter with diameter of less than 10 microns (PM_{10}) from the ground air quality monitoring station of the Pollution Control Department of Thailand. The study was divided into 2 parts. The first part was a comparison of extracting AOD data from 6 different area sizes. The analysis of the relationship between AOD-PM found that the area size $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ and $0.2^{\circ} \times 0.2^{\circ}$ had the Correlation Coefficient (R) is the highest. The second part is the development of a model to predict the PM value by considering the meteorological factors such as Relative Humidity (RH), Temperature (T) and Wind speed (WS). It was found that Relative Humidity was the most important variable for predicting PM values. It analyzes the relationship between Estimated PM (predicted PM value with model equations) and Observed PM (actual measured PM). It was found that Estimated $PM_{2.5}$ - Observed $PM_{2.5}$ and Estimated PM_{10} - Observed PM_{10} had R values in the range of 0.47-0.81 and 0.62-0.81 respectively, with root mean squared error (RMSE) for predictions in the range of 13.60 - 55.43 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ and 19.38 - 33.95 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectively.

Keywords : Aerosol optical depth (AOD), $PM_{2.5}$, PM_{10} , Satellite, VIIRS

บทนำ

ปัญหาหมอกพิษจากฝุ่นละอองเป็นปัญหาที่ภาคเหนือของประเทศไทยต้องเผชิญทุกปี เนื่องจากภาคเหนือมีลักษณะภูมิประเทศเป็นภูเขาสลับซับซ้อน และเป็นแอ่งกระทะ (Suchit, 1994) โดยปัญหาหมอกควันในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ได้รับผลกระทบหลักมาจากการเผาไหม้ในที่โล่งแจ้ง เช่นเดียวกับปัญหาหมอกควันในภาคเหนือของประเทศไทย ซึ่งแหล่งที่มาของมลพิษทางอากาศในภาคเหนือของประเทศไทยมาจากการเผาไหม้ชีวมวลแบบเปิดในพื้นที่เกษตรกรรม ในภาคเหนือของประเทศไทยช่วงเดือนกุมภาพันธ์ร้อยละ 26.8 และในประเทศพม่าช่วงเดือน มีนาคม-เมษายนร้อยละ 73.2 (Punsompong & Chantara, 2018) ซึ่งปัญหาด้านหมอกควันและฝุ่นละอองส่งผลกระทบต่อด้านการท่องเที่ยว ด้านสุขภาพ ด้านสิ่งแวดล้อม ด้านทัศนวิสัยในการคมนาคม และอื่นๆ ซึ่งผลกระทบต่อด้านสุขภาพ Karanasiou *et al.* (2021) ได้ทำการศึกษาพบว่า สารที่ถูกปลดปล่อยจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวล เช่น $PM_{2.5}$ และ PM_{10} เป็นปัจจัยเสี่ยงต่อการเกิดโรคทางเดินหายใจ โรคหัวใจ และโรคหลอดเลือด เช่นเดียวกับ Chantara *et al.* (2010) พบว่า ความเข้มข้นของ PM_{10} ที่เปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลเป็นปัจจัยเสี่ยงก่อให้เกิดโรคมะเร็งได้ เนื่องจาก PM_{10} สามารถจับตัวกับ Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (PAHs) ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง โดยมีการตรวจพบว่าปริมาณ PAHs ในอากาศ มีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลที่มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความเข้มข้นของ PM_{10} ที่เปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลเช่นกัน

ปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา เช่น ความชื้นสัมพัทธ์, อุณหภูมิ และความเร็วลม ส่งผลต่อการสะสมมลพิษทางอากาศในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย (Khamkaew *et al.*, 2016) ซึ่งในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทยจะประสบปัญหาหมอกพิษทางอากาศที่รุนแรงในช่วงฤดูแล้ง เนื่องจากอัตราการระเหยอากาศอ่อนกำลังลง และจากการศึกษาของ Punsompong *et al.*, (2018) พบว่า ในช่วงที่ความเข้มข้นของ PM_{10} สูง พบว่ามีความเร็วลมที่ต่ำ (ประมาณ 10-20 กม./ชม.)

โดยข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา และข้อมูล PM ในประเทศไทยเป็นข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดคุณภาพอากาศภาคพื้นดินเป็นการตรวจวัดแบบต่อเนื่องจากกรมควบคุมมลพิษ ซึ่งปัจจุบันมีสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศแบบอัตโนมัติ (ณ สิงหาคม 2563) จำนวน 68 สถานี ครอบคลุมพื้นที่ 37 จังหวัด (Pollution Control Department, 2020) แต่อย่างไรก็ตามสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศภาคพื้นดินที่มีไม่สามารถตรวจวัดได้อย่างทั่วถึงในทุกพื้นที่ของประเทศไทย จึงมีการนำการสำรวจระยะไกลด้วยดาวเทียมมาปรับใช้ในการตรวจวัดค่าฝุ่นละออง ซึ่งการตรวจวัดด้วยดาวเทียมจะเป็นการตรวจวัดฝุ่นละอองในรูปแบบ AOD ซึ่ง VIIRS เป็นเซ็นเซอร์หลักของดาวเทียม Suomi-NPP ที่ประกอบไปด้วย ชุดผลิตภัณฑ์ในการบันทึกข้อมูลทางสิ่งแวดล้อม (Environmental Data Record: EDR) ที่สามารถตรวจวัด AOD ได้ที่ความละเอียดเชิงพื้นที่ 6 กิโลเมตร (Jackson *et al.*, 2013) ตัวอย่างการศึกษาประยุกต์ใช้ข้อมูลจากดาวเทียมและข้อมูลจากสถานีตรวจวัดภาคพื้นดินในการคาดการณ์ฝุ่นละออง เช่น Wu *et al.*, (2016) ได้ทำการศึกษาในปักกิ่ง-เทียนจิน-เหอเป่ย์ ของประเทศจีน โดยใช้ข้อมูล AOD จากดาวเทียมเซ็นเซอร์ VIIRS เป็นตัวแปรพยากรณ์หลัก ในการประเมินความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ในระดับภาคพื้นดิน ซึ่งพบว่าปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาส่งผลต่อความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ในระดับภาคพื้นดิน และยังพบว่าปัจจัยด้านอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ส่งผลต่อความสัมพันธ์ของ $PM_{2.5}$ -AOD อย่างมีนัยสำคัญอีกด้วย และนอกจากนี้ผลที่ได้จากการตรวจสอบแบบจำลอง พบว่า จากความสัมพันธ์ของ Estimated $PM_{2.5}$ - Observed $PM_{2.5}$ มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination: R^2) เท่ากับ 0.71889 และค่า RMSE เท่ากับ 19.2927 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ นอกจากนี้ Kanabkaew (2013) ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ของ AOD ที่ดึงมาจากเซ็นเซอร์ตรวจจับสเปกโตรเรดิโอเมเตอร์ความละเอียดปานกลาง (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer : MODIS) กับ PM ภาคพื้นดิน โดยใช้การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ (Multiple Linear Regression) ซึ่งได้นำ

ความสัมพันธ์ของฝุ่นละอองที่ดึงมาจากดาวเทียมและการตรวจวัดภาคพื้นดินในภาคเหนือของประเทศไทย

ปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาได้แก่ อุณหภูมิ และ ความชื้นสัมพัทธ์ มาใช้ในการวิเคราะห์ด้วยพบว่า $PM_{2.5}$ -AOD และ PM_{10} -AOD มี R^2 ประมาณ 0.77 และ 0.71 ตามลำดับ เช่นเดียวกับการศึกษาของ (Benas *et al.*, 2011) ที่ใช้การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ (Multiple Linear Regression) มาใช้ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของ AOD, PM และปัจจัยด้านอุตุนิยมวิทยา ซึ่งการศึกษาของ Li *et al.* (2011) ยังพบว่าแบบจำลองจากการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ (Multiple Linear Regression) และการถดถอยแบบไม่เป็นเส้นตรง (Multiple Nonlinear Regression) มีประสิทธิภาพโดยรวมใกล้เคียงกัน

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างแบบจำลองสำหรับคาดการณ์ปริมาณฝุ่นละออง จากความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลปริมาณ PM_{10} และ $PM_{2.5}$ ที่ได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศภาคพื้นดิน กับ ค่า AOD ที่ได้จากดาวเทียม Suomi-NPP ด้วยระบบเซนเซอร์ VIIRS ที่ความละเอียดเชิงพื้นที่ 6 กิโลเมตร และนอกจากนี้เนื่องจากปัจจัยด้านอุตุนิยมวิทยาส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PM ในระดับภาคพื้นดิน และส่งผลต่อความสัมพันธ์ AOD-PM ผู้วิจัยจึงนำปัจจัยด้านอุตุนิยมวิทยามาพิจารณาด้วย โดยผลที่ได้จากงานวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการประมาณค่าฝุ่นละอองในภาคเหนือของประเทศไทยได้อย่างทั่วถึง

วิธีการดำเนินงานวิจัย

1. การรวบรวมข้อมูล

ข้อมูลจากดาวเทียม Suomi-NPP ระบบเซนเซอร์ VIIRS สามารถดาวน์โหลดได้จาก NASA's Earth Science Data Systems (ESDS) (<https://search.earthdata.nasa.gov/search?ac=true>) โดยข้อมูลอยู่ในรูปของ NC file โดยข้อมูล AOD ที่ได้จาก VIIRS ใช้เพื่อหาความสัมพันธ์กับข้อมูลคุณภาพอากาศภาคพื้นดินจากกรมควบคุมมลพิษ โดยใช้ชุดผลิตภัณฑ์ AERDT_L2_VIIRS_SNPP (Dark Target Aerosol) ที่ความละเอียดเชิงพื้นที่ 6 กิโลเมตร (NASA, n.d.) ซึ่งดาวเทียม Suomi-NPP โคจรผ่านเส้นศูนย์สูตรเวลาประมาณ 13.30 น. (Jackson *et al.*, 2013)

ข้อมูลภาคพื้นดินจากกรมควบคุมมลพิษ ได้แก่ ข้อมูล PM_{10} , $PM_{2.5}$ และข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ซึ่งประกอบไปด้วย ความชื้นสัมพัทธ์, อุณหภูมิ และความเร็วลม เป็นข้อมูลที่ได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศภาคพื้นดินแบบต่อเนื่องรายชั่วโมง ซึ่งการนำข้อมูลภาคพื้นดินไปทำการวิเคราะห์ร่วมกับค่า AOD จะใช้ข้อมูลเฉลี่ย 3 ชั่วโมง ที่เวลา 12.00-15.00 น. ซึ่งจะครอบคลุมเวลาที่ดาวเทียมโคจรผ่านประเทศไทย โดยใช้ข้อมูลสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศภาคพื้นดินในพื้นที่ภาคเหนือทั้งหมด 13 สถานี ช่วงปี พ.ศ. 2556-2564

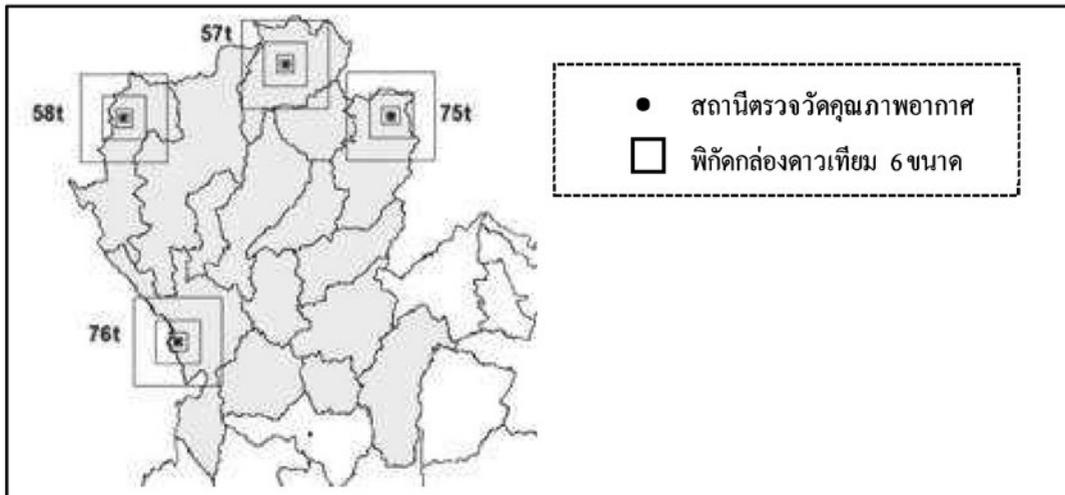
2. การวิเคราะห์ข้อมูล

2.1 การวิเคราะห์ข้อมูลดาวเทียม

ข้อมูล AOD ที่ได้จากดาวเทียมถูกนำมาใช้เพื่อเปรียบเทียบ และหาความสัมพันธ์กับข้อมูล PM โดยดึงข้อมูล AOD ด้วยขนาดพื้นที่แตกต่างกัน โดยใช้ข้อมูลพิกัดของสถานีกรมควบคุมมลพิษเป็นจุดศูนย์กลาง 4 สถานี ซึ่งรายละเอียดแสดงในตารางที่ 1 และในส่วนของข้อกำหนดขนาดพื้นที่ โดยการตั้งค่าขนาดพื้นที่ของข้อมูลดาวเทียมให้ล้อมรอบสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศภาคพื้นดินแต่ละสถานี ซึ่งขนาดพื้นที่มีทั้งหมด 6 ขนาด ได้แก่ $1.00^\circ \times 1.00^\circ$, $0.50^\circ \times 0.50^\circ$, $0.20^\circ \times 0.20^\circ$, $0.10^\circ \times 0.10^\circ$, $0.06^\circ \times 0.06^\circ$ และ $0.02^\circ \times 0.02^\circ$ เพื่อวิเคราะห์หาขนาดพื้นที่ในการดึงข้อมูล AOD จากดาวเทียมที่ให้ค่า R จากความสัมพันธ์ระหว่าง AOD-PM สูงที่สุด ในช่วง พ.ศ. 2561-2563 (3ปี) โดยในภาพที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบขนาดพื้นที่ในการดึงข้อมูล AOD ที่แตกต่างกัน 6 ขนาด โดยมีสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศภาคพื้นดินเป็นจุดศูนย์กลาง

ตารางที่ 1: สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศภาคพื้นดินที่ใช้ในการศึกษาขนาดพื้นที่ในการดึงข้อมูล AOD จากดาวเทียม

No.	Station ID	Long	Lat	จังหวัด	อำเภอ/เขต	ตำบล/แขวง	ชื่อสถานี
1	57t	99.82	19.91	เชียงราย	อ.เมือง	ต.เวียง	สำนักงาน ทรัพยากรธรรมชาติและ สิ่งแวดล้อม จังหวัดเชียงราย
2	58t	97.97	19.30	แม่ฮ่องสอน	อ.เมือง	ต.จองคำ	สำนักงาน ทรัพยากรธรรมชาติและ สิ่งแวดล้อม จังหวัดแม่ฮ่องสอน
3	75t	101.03	19.32	น่าน	อ.เฉลิมพระเกียรติ	ต.ห้วยโก๋น	โรงพยาบาล เฉลิมพระเกียรติ
4	76t	98.59	16.75	ตาก	อ.แม่สอด	ต.แม่ปะ	ศูนย์การศึกษาออก โรงเรียน

**ภาพที่ 1:** การศึกษาขนาดพื้นที่ในการดึงข้อมูล AOD ที่แตกต่างกัน

2.2 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล AOD, PM และข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา

ในการวิเคราะห์ข้อมูล AOD, PM และข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา ได้มีการนำข้อมูล PM และข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศภาคพื้นดินในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทยทั้งหมด 13 สถานี จัดข้อมูลเป็น 11 กลุ่มข้อมูลแสดงใน ตารางที่ 2 และนำข้อมูล AOD จากดาวเทียมตามพิกัดจุดศูนย์กลางของกลุ่มข้อมูล 11 กลุ่ม มาใช้ในการสร้างแบบจำลองคาดการณ์ฝุ่นละออง โดยทำการศึกษาช่วงปี พ.ศ.2556-2563 (8ปี) ซึ่งเลือกใช้นาขนาดพื้นที่ในการดึงข้อมูล AOD ที่ให้ค่า R สูง จากการศึกษาขนาดพื้นที่ในการดึงข้อมูล AOD ที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 2: สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศภาคพื้นดินที่ใช้ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล AOD, PM และข้อมูล ทางอุตุนิยมวิทยา

Box.	Station ID	Long	Lat	จังหวัด	อำเภอ/เขต	ตำบล/แขวง	ชื่อสถานี
1	73t	99.88	20.43	เชียงราย	อ.แม่สาย	ต.เวียงพางคำ	สำนักงานสาธารณสุขแม่สาย
2	57t	99.82	19.91	เชียงราย	อ.เมือง	ต.เวียง	สำนักงานทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมจังหวัดเชียงราย
3	58t	97.97	19.30	แม่ฮ่องสอน	อ.เมือง	ต.จองคำ	สำนักงานทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม
4	35t	98.97	18.84	เชียงใหม่	อ.เมือง	ต.ช้างเผือก	ศูนย์ราชการจังหวัดเชียงใหม่
5	68t	99.04	18.57	ลำพูน	อ.เมือง	ต.บ้านกลาง	อุตุนิยมวิทยาลำพูน
6	38t	99.76	18.25	ลำปาง	อ.แม่มาะ	ต.สบป่าด	โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านสบป่าด
	39t	99.73	18.42	ลำปาง	อ.แม่มาะ	ต.บ้านดง	โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลท่าสี่
	40t	99.66	18.28	ลำปาง	อ.แม่มาะ	ต.แม่มาะ	การประปาส่วนภูมิภาคแม่มาะ
7	69t	100.16	18.13	แพร่	อ.เมือง	ต.นาจักร	อุตุนิยมวิทยาจังหวัดแพร่
8	70t	99.90	19.16	พะเยา	อ.เมือง	ต.เวียง	สนามกีฬาจังหวัดพะเยา
9	67t	100.78	18.79	น่าน	อ.เมือง	ต.โนนเวียง	สำนักงานเทศบาลเมืองน่าน
10	75t	101.03	19.32	น่าน	อ.เฉลิมพระเกียรติ	ต.ห้วยโก๋น	โรงพยาบาลเฉลิมพระเกียรติ
11	76t	98.59	16.75	ตาก	อ.แม่สอด	ต.แม่ปะ	ศูนย์การศึกษาชนออกโรงเรียน

2.3 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อสร้างแบบจำลอง

• การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (Correlation Analysis): ใช้ในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล AOD กับ PM₁₀ และ PM_{2.5} โดยแสดงในรูปแบบค่า R ซึ่งใช้ในการวัดความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้งสองข้อมูล โดยค่า R มีค่าอยู่ระหว่าง -1 ถึง 1 หาก ค่า R มีค่าเข้าใกล้ -1 หรือ 1 แสดงว่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรนั้น ๆ มีความสัมพันธ์ในระดับสูง แต่ถ้ามีค่าเข้า ใกล้ 0 แสดงว่ามีความสัมพันธ์น้อยหรือไม่มีเลย และ R² เป็นค่าที่บอกถึงการถดถอยของข้อมูลกับแบบจำลองการถดถอยเชิงเส้น (Linear regression model) ที่อธิบายถึงเปอร์เซ็นต์ของความแปรปรวนที่ตัวแปรอิสระสามารถอธิบายตัวแปรตามโดย R² จะสามารถแสดงถึงความมากหรือน้อยของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตามในแบบจำลอง ความหมาย ค่า R² จะมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 0 ถึงร้อยละ 100 โดยที่ร้อยละ 0 หมายถึงโมเดลที่ไม่สามารถอธิบายความแปรปรวนของแบบจำลองที่ตัวแปรส่งผลต่อกันได้ และร้อยละ 100 หมายถึง โมเดลที่สามารถอธิบายความแปรปรวนของตัวแปรที่ส่งผลต่อกันได้ดี (Moksony, 1990)

- การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ (Multiple Linear Regression): ได้มีการนำการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล AOD, PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), $PM_{2.5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), WS (m/s), RH (%) และ T ($^{\circ}\text{C}$) โดยนำข้อมูลที่ได้นำมาเปรียบเทียบหาความสัมพันธ์ และสร้างสมการแบบจำลองเพื่อนำมาปรับใช้ในการคาดการณ์ฝุ่นละออง ซึ่งการศึกษาการแบบจำลองเพื่อคาดการณ์ฝุ่นละอองในภาคเหนือในครั้งนี้ได้มีการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ ใช้ค่าทางสถิติเป็นเกณฑ์ในการเลือกตัวแปร (statistics-based selection) ด้วยวิธีการตัดทิ้งแบบถอยหลัง (backward deletion) เป็นวิธีการคัดเลือกตัวแปรอิสระออกจากสมการทีละตัวแปร คัดเลือกตัวแปรที่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) เท่านั้นออกจากสมการ เหลือเฉพาะตัวแปรที่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เท่านั้นที่อยู่ในสมการ Kerr *et al.*, 2010)

- ความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) ใช้ในการทวนสอบข้อมูล (Validation) ตรวจสอบค่า PM ที่ได้จากการแบบจำลอง (Estimated PM) กับค่า PM ที่ได้จากการตรวจวัดจริง (Observed PM) โดยถ้าค่า RMSE ที่ได้มีค่าน้อยแสดงว่าแบบจำลองที่ได้จะมีความแม่นยำมาก

ผลการศึกษาและอภิปรายผล

1. การเปรียบเทียบขนาดพื้นที่ในการตั้งข้อมูล AOD

ในการเปรียบเทียบขนาดพื้นที่ในการตั้งข้อมูล AOD ได้ทำการศึกษาขนาดพื้นที่ทั้งหมด 6 ขนาด ได้แก่ $1.00^{\circ} \times 1.00^{\circ}$, $0.50^{\circ} \times 0.50^{\circ}$, $0.20^{\circ} \times 0.20^{\circ}$, $0.10^{\circ} \times 0.10^{\circ}$, $0.06^{\circ} \times 0.06^{\circ}$ และ $0.02^{\circ} \times 0.02^{\circ}$ โดยใช้พิกัดสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศภาคพื้นดิน เป็นจุดศูนย์กลาง 4 สถานี แสดงรายละเอียดของสถานีใน ตารางที่ 1 โดยใช้ข้อมูล PM เฉลี่ยรายวันในช่วง พ.ศ. 2561-2563 (3ปี) ซึ่งผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล PM กับ AOD ที่ขนาดพื้นที่แตกต่างกันแสดงใน ตารางที่ 3

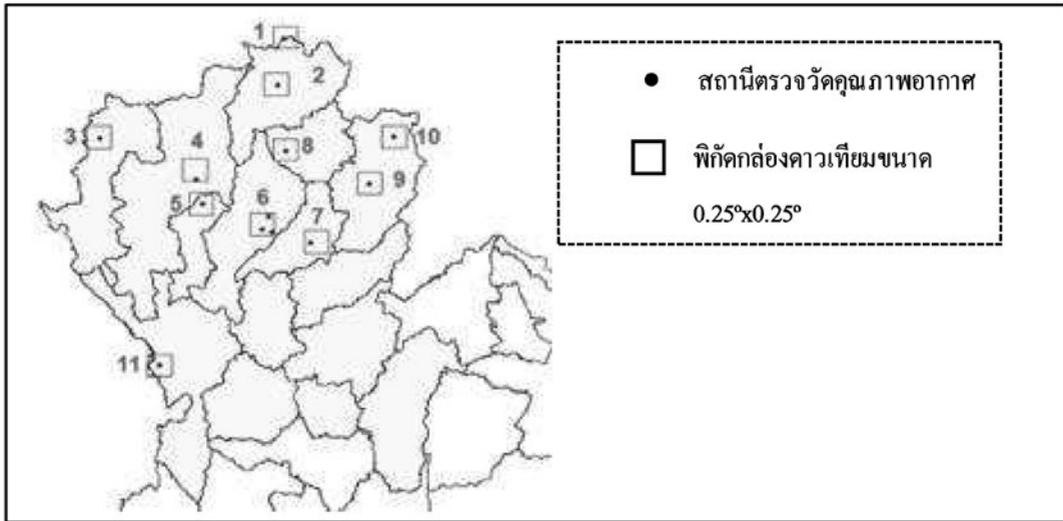
จากการศึกษาขนาดพื้นที่ในการตั้งข้อมูล AOD พบว่า ขนาดพื้นที่ $1.00^{\circ} \times 1.00^{\circ}$, $0.50^{\circ} \times 0.50^{\circ}$, $0.20^{\circ} \times 0.20^{\circ}$, $0.10^{\circ} \times 0.10^{\circ}$, $0.06^{\circ} \times 0.06^{\circ}$ และ $0.02^{\circ} \times 0.02^{\circ}$ ของ AOD- PM_{10} ให้ค่า R อยู่ในช่วง 0.51-0.76, 0.61-0.79, 0.60-0.78, 0.60-0.76, 0.65-0.80 และ 0.60-0.84 ตามลำดับ และในส่วนของ AOD- $PM_{2.5}$ ให้ค่า R อยู่ในช่วง 0.52-0.78, 0.63-0.79, 0.61-0.81, 0.61-0.77, 0.67-0.79 และ 0.31-0.81 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาจำนวนข้อมูล (N) ร่วมด้วย พบว่า N ของ PM_{10} อยู่ในช่วง 673-719, 597-670, 355-589, 226-505, 145-329 และ 15-36 ตามลำดับ และ N ของ $PM_{2.5}$ อยู่ในช่วง 587-719, 519-630, 356-482, 227-411, 146-278 และ 15-32 ตามลำดับ โดยจะพบว่าที่ขนาดพื้นที่ $0.50^{\circ} \times 0.50^{\circ}$, $0.20^{\circ} \times 0.20^{\circ}$, $0.06^{\circ} \times 0.06^{\circ}$ และ $0.02^{\circ} \times 0.02^{\circ}$ ให้ค่า R ที่สูงใกล้เคียงกัน แต่ที่ขนาดพื้นที่ $0.06^{\circ} \times 0.06^{\circ}$ และ $0.02^{\circ} \times 0.02^{\circ}$ มีค่า N ที่ต่ำ จึงตัดออกไม่นำมาร่วมพิจารณาด้วย ดังนั้นการตั้งข้อมูล AOD ที่ขนาดพื้นที่ $0.50^{\circ} \times 0.50^{\circ}$ และ $0.20^{\circ} \times 0.20^{\circ}$ ให้ค่า R สูงสุด และมี N ที่เหมาะสม จึงเป็นขนาดพื้นที่ ที่ควรทำการศึกษาในหัวข้อถัดไป

ตารางที่ 3: ความสัมพันธ์ของ PM ($PM_{2.5}$ และ PM_{10}) ที่การตั้งข้อมูล AOD พื้นที่ขนาดต่างกัน

สถานี		ขนาดพื้นที่ของกล่องข้อมูล											
		AOD - PM_{10}						AOD - $PM_{2.5}$					
		1.00°x1.00°	0.50°x0.50°	0.20°x0.20°	0.10°x0.10°	0.06°x0.06°	0.02°x0.02°	1.00°x1.00°	0.50°x0.50°	0.20°x0.20°	0.10°x0.10°	0.06°x0.06°	0.02°x0.02°
57t	R	0.74	0.75	0.78	0.74	0.73	0.67	0.78	0.79	0.81	0.77	0.77	0.81
	R ²	0.55	0.57	0.61	0.55	0.54	0.45	0.62	0.62	0.66	0.60	0.59	0.65
	N	716	622	489	372	240	36	594	519	403	307	203	32
58t	R	0.67	0.76	0.77	0.76	0.76	0.60	0.66	0.77	0.77	0.74	0.73	0.31
	R ²	0.45	0.58	0.6	0.57	0.57	0.36	0.43	0.59	0.60	0.55	0.53	0.09
	N	719	670	589	505	329	37	587	550	482	411	278	28
75t	R	0.76	0.74	0.74	0.70	0.80	0.84	0.74	0.72	0.73	0.69	0.79	0.87
	R ²	0.57	0.54	0.55	0.49	0.64	0.71	0.55	0.52	0.53	0.47	0.63	0.76
	N	673	597	355	226	145	15	674	598	356	227	146	15
76t	R	0.51	0.61	0.60	0.60	0.65	0.69	0.52	0.63	0.61	0.61	0.67	0.81
	R ²	0.26	0.38	0.35	0.36	0.43	0.48	0.27	0.40	0.38	0.38	0.45	0.66
	N	715	627	448	331	215	27	719	630	451	333	215	27

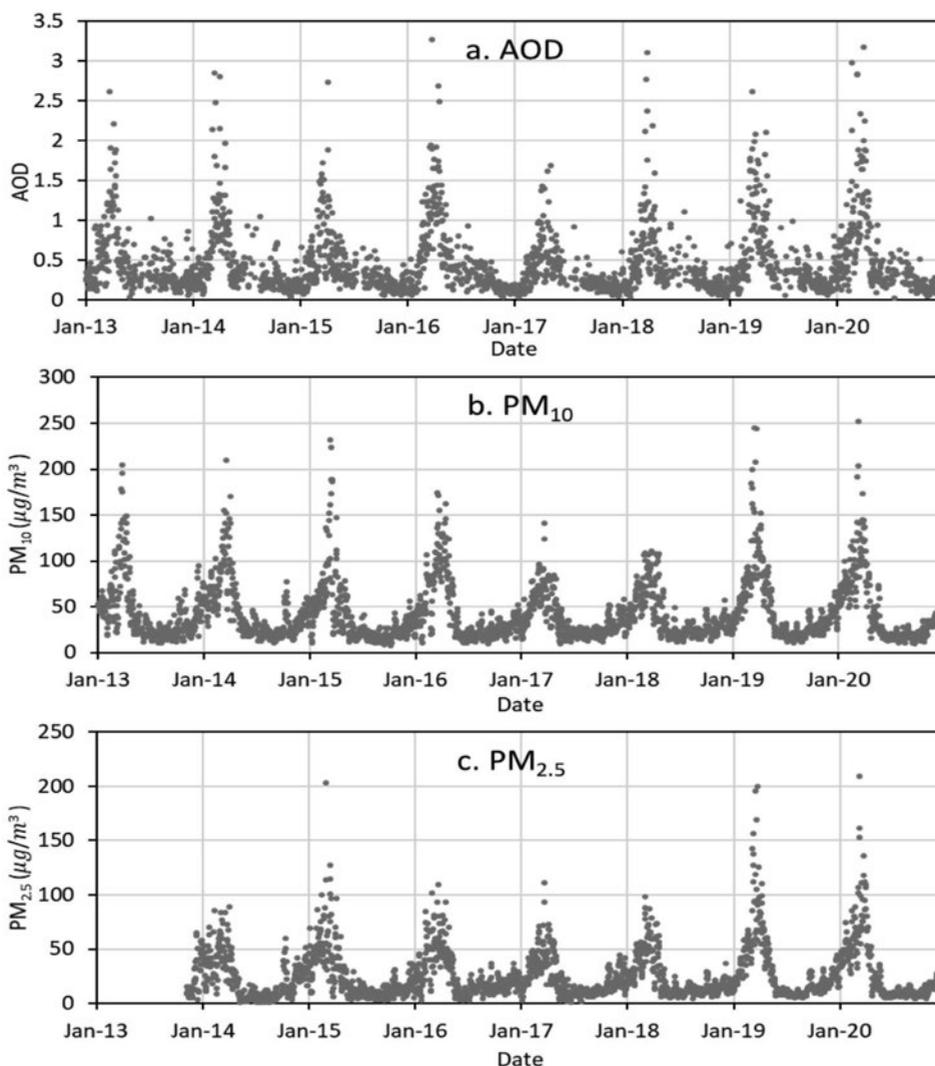
2. แนวโน้มของข้อมูล AOD และ PM

การศึกษาในหัวข้อนี้และหัวข้อถัดไป ใช้ข้อมูลรายวันในช่วงปี พ.ศ.2556-2563 เวลา 12.00-15.00 น. โดยสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศที่ใช้สำหรับศึกษาในหัวข้อถัดไปแสดงรายละเอียดการจัดกลุ่มข้อมูลในตารางที่ 2 ซึ่งจากการศึกษาเปรียบเทียบขนาดพื้นที่ในการตั้งข้อมูล AOD พบว่าขนาดพื้นที่ในช่วง 0.50°x0.50° และ 0.20°x0.20° ให้ค่า R ที่สูง จึงกำหนดขนาดพื้นที่ในการตั้งข้อมูล AOD จากดาวเทียมคือ 0.25°x0.25° ซึ่งเป็นค่าที่อยู่ระหว่าง 0.50°x0.50° และ 0.20°x0.20° มาใช้ในหัวข้อนี้และหัวข้อถัดไป โดยสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศและขนาดพื้นที่ในการศึกษาแสดงใน ภาพที่ 2



ภาพที่ 2: สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ ที่ขนาดพื้นที่ในการดึงข้อมูล AOD เท่ากับ $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$

ในการศึกษาแนวโน้มของข้อมูล PM (เฉลี่ยรายวันที่เวลา 12.00-15.00 น. ช่วงปี พ.ศ.2556-2563) และ AOD (รายวันช่วงปี พ.ศ.2556-2563) โดยใช้ข้อมูล 11 กล่องข้อมูลเฉลี่ยกัน ซึ่งแสดงในภาพที่ 3 พบว่าค่า PM_{10} , $PM_{2.5}$ และ AOD มีแนวโน้มความสอดคล้องกันในทุกปี โดยค่า PM มีค่าสูงสุดในเดือน มีนาคม, กุมภาพันธ์, เมษายน, มกราคม และพฤษภาคม ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลจาก Geo-Informatics and Space Technology Development Agency (Public Organization), (2020) ที่ได้ทำการศึกษาการสำรวจจุดความร้อนเพื่อติดตามสถานการณ์ไฟป่า และหมอกควันด้วยดาวเทียม พบว่าการเกิดจุดความร้อนที่มากในพื้นที่ภาคเหนือปี พ.ศ.2563 มีค่าสูงสุดในเดือน มีนาคม, กุมภาพันธ์, เมษายน, มกราคม และพฤษภาคม ตามลำดับ เมื่อพิจารณาจุดความร้อนในประเทศเพื่อนบ้านได้แก่ กัมพูชา ลาว เมียนมาร์ และ เวียดนาม ร่วมกับประเทศไทย พบว่า ในเดือนมีนาคม พบจุดความร้อนมากที่สุดใน เมียนมาร์ 195,553 จุด, ลาว 88,401 จุด, ไทย 70,680 จุด, กัมพูชา 31,046 จุด และเวียดนาม 22,314 จุด นอกจากนี้ผลการศึกษาของ Punsompong *et al.*, (2018) พบว่า ปัญหาฝุ่นละอองในภาคเหนือในช่วงเดือน กุมภาพันธ์-เมษายน มาจากการเผาไหม้แบบเปิดจากการเกษตรในประเทศเมียนมาร์ และภายในประเทศไทย โดยความเข้มข้นของ PM_{10} จากสถานีตรวจสอบคุณภาพอากาศเชียงใหม่ เริ่มมีความเข้มข้นของฝุ่นละอองเพิ่มขึ้นช่วงต้นฤดูแล้ง (ธันวาคม) และสูงสุดในเดือนมีนาคมแล้วจะค่อยๆลดลงในเดือนเมษายน



ภาพที่ 3: แนวโน้มข้อมูล a. AOD, b. PM_{10} และ c. $PM_{2.5}$ เฉลี่ยรายวันในช่วงปี พ.ศ.2556-2563 (ค.ศ. 2013-2020)

3. ความสัมพันธ์ระหว่าง PM กับ AOD

ในส่วนนี้ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ตลอดทั้งปีโดยพิจารณาข้อมูลแบบแยกรายเดือนของข้อมูล AOD- $PM_{2.5}$ และ AOD- PM_{10} ในช่วงปี พ.ศ.2556-2563 แสดงผลการศึกษาใน ตารางที่ 4 พบว่า เมื่อพิจารณาค่า R ตลอดทั้งปีของ AOD- $PM_{2.5}$ และ AOD- PM_{10} มีค่า R เท่ากับ 0.70 และ 0.69 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าข้อมูล AOD- $PM_{2.5}$ และ AOD- PM_{10} มีความสัมพันธ์ของข้อมูลที่ใกล้เคียงกัน และเมื่อพิจารณาค่า R แบบแยกรายเดือน ในช่วงเดือน กันยายน – พฤษภาคม เป็นช่วงที่ค่า R ของ AOD- $PM_{2.5}$ และ AOD- PM_{10} มีค่าสูงอยู่ในช่วง 0.35-0.59 และ 0.22-0.62 ตามลำดับ และในช่วงเดือน มิถุนายน-สิงหาคม เป็นช่วงที่ค่า R ของ AOD- $PM_{2.5}$ และ AOD- PM_{10} ต่ำอยู่ในช่วง 0.03-0.34 และ 0.10-0.29 ตามลำดับ ซึ่งในเดือน มีนาคม เป็นเดือนที่ AOD- $PM_{2.5}$ และ AOD- PM_{10} ให้ค่า R สูงที่สุด เท่ากับ 0.66 และ 0.62 ตามลำดับ

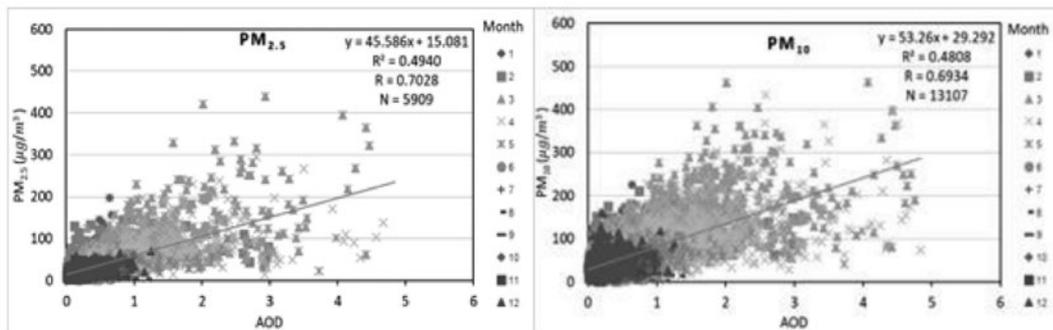
จากผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของ AOD-PM_{2.5} และ AOD-PM₁₀ แสดงให้เห็นว่าในช่วงที่ค่า R สูงเป็นผลมาจากฤดูกาล โดยจากผลการศึกษาของ Wiriya, Prapamontol & Chantara (2013) ได้กล่าวถึงฤดูกาลหลักในภาคเหนือของประเทศไทย ได้แก่ ฤดูฝน (พฤษภาคม-ตุลาคม) และฤดูแล้ง (พฤศจิกายน-เมษายน) และในส่วนของ Mongkolpew (2019) พบว่า ฤดูกาลมีผลต่อค่า R ของ PM – AOD เนื่องจากในฤดูฝนท้องฟ้ามีปัญหาคารบดบังด้วยเมฆทำให้การตรวจวัดค่า AOD ไม่แม่นยำ แต่ในฤดูแล้งเป็นช่วงที่ท้องฟ้าปลอดโปร่งจึงทำให้ค่า AOD มีความแม่นยำกว่าฤดูฝน

จากผลการศึกษาความสัมพันธ์ของข้อมูล AOD-PM แสดงให้เห็นว่าในเดือนมีนาคมเป็นเดือนที่ให้ค่า R จากความสัมพันธ์ของข้อมูล AOD- PM_{2.5} และ AOD- PM₁₀ สูงสุด เท่ากับ 0.66 และ 0.62 ตามลำดับ และเป็นเดือนที่มีค่าความเข้มข้นของ PM สูงสุดในทุกๆปี เช่นเดียวกับเดือน เมษายน, มกราคม และพฤษภาคม ที่มีค่า R จากความสัมพันธ์ของข้อมูล AOD- PM_{2.5} และ AOD- PM₁₀ สูงมากกว่า 0.5 ซึ่งความสัมพันธ์ของข้อมูลระดับดี แต่อย่างไรก็ตามในเดือนกุมภาพันธ์มีค่า R จากความสัมพันธ์ของข้อมูล AOD- PM_{2.5} และ AOD- PM₁₀ เท่ากับ 0.49 และ 0.46 ตามลำดับซึ่งความสัมพันธ์ของข้อมูลระดับปานกลาง แสดงให้เห็นว่าข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดด้วยดาวเทียม Suomi-NPP VIIRS สามารถตรวจวัด PM_{2.5} และ PM₁₀ ได้ระดับปานกลางถึงดีในช่วงที่ PM มีค่าสูง และแสดงให้เห็นว่าค่าความเข้มข้นของฝุ่น PM ที่สูงนั้นเมื่อใช้ดาวเทียมในการตรวจวัดก็จะยังทำให้ค่า AOD ที่ได้มีความสัมพันธ์กับปริมาณ PM ที่สูงขึ้นซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ (Handschuh, Erbertseder, Schaap, & Baier, 2022)

ดังนั้น ปัจจัยด้านสภาพอากาศส่งผลต่อความสัมพันธ์ของ AOD-PM_{2.5} และ AOD-PM₁₀ ผู้วิจัยจึงทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล PM₁₀, PM_{2.5} และ AOD กับข้อมูลอุตุนิยมิวิทยา สำหรับสร้างแบบจำลองในหัวข้อถัดไป

ตารางที่ 4: ความสัมพันธ์ของข้อมูล AOD – PM (PM₁₀ และ PM_{2.5}) เฉลี่ยรายวัน

เดือน	AOD-PM _{2.5}			AOD-PM ₁₀		
	R	R ²	N	R	R ²	N
มกราคม	0.56	0.32	698	0.53	0.28	1620
กุมภาพันธ์	0.49	0.24	732	0.46	0.21	1785
มีนาคม	0.66	0.43	789	0.62	0.38	1929
เมษายน	0.53	0.28	657	0.58	0.33	1636
พฤษภาคม	0.59	0.35	456	0.47	0.22	1125
มิถุนายน	0.34	0.12	142	0.24	0.06	326
กรกฎาคม	0.18	0.03	84	0.29	0.09	167
สิงหาคม	0.03	0.00	86	0.1	0.01	229
กันยายน	0.52	0.27	288	0.31	0.10	604
ตุลาคม	0.51	0.26	462	0.53	0.29	967
พฤศจิกายน	0.35	0.13	711	0.22	0.05	1273
ธันวาคม	0.52	0.27	804	0.45	0.20	1446
รวมเดือน ม.ค.-ธ.ค.	0.70	0.49	5909	0.69	0.48	13107



ภาพที่ 4: ความสัมพันธ์แบบเส้นตรง (Linear Equation) ของข้อมูล AOD – PM ($PM_{2.5}$ และ PM_{10}) เฉลี่ยรายวัน

4. การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูลแบบหลายตัวแปร (Multivariate Analysis)

จากผลการศึกษาแนวโน้มและความสัมพันธ์ของข้อมูล PM_{10} , $PM_{2.5}$ และ AOD และการศึกษาที่มีก่อนหน้าของ Khamkaew *et al.* (2016); Punsompong *et al.* (2018); Wu *et al.* (2016) พบว่า ปัจจัยด้านอุตุนิยมวิทยาส่งผลต่อความเข้มข้นของค่า PM และส่งผลต่อความสัมพันธ์ของ AOD-PM ผู้ทำการวิจัยจึงได้ทำการนำปัจจัยด้านอุตุนิยมวิทยา ได้แก่ ความชื้นสัมพัทธ์ (RH) , อุณหภูมิ (T) และความเร็วลม (WS) มาใช้ในการสร้างสมการแบบจำลองสำหรับภาคเหนือด้วย โดยการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ (Multiple Linear Regression) ด้วยวิธีการตัดทิ้งแบบถดถอยหลัง (backward deletion) (รายละเอียดแสดงไว้ในวิธีการดำเนินงานหัวข้อที่ 2.3) ซึ่งแบบจำลองสำหรับการคาดการณ์ฝุ่น PM ใช้ข้อมูลข้อมูล PM_{10} , $PM_{2.5}$, AOD และข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ในช่วงปี พ.ศ.2556-2563 แบ่งเป็น 2 แบบจำลอง ดังต่อไปนี้

1. แบบจำลองรวมกล่อง คือ นำกล่องข้อมูลรวมกันทั้งหมด 11 กล่อง ในการสร้างสมการแบบจำลอง โดยสมการรวมกล่องมี 2 สมการ ได้แก่ สมการคาดการณ์ $PM_{2.5}$ 1 สมการ และ PM_{10} 1 สมการ แสดงในตารางที่ 5
2. แบบจำลองแยกกล่อง คือ ใช้ข้อมูลของแต่ละกล่องสร้างสมการแบบจำลองเฉพาะกล่องนั้นๆ โดยสมการแยกกล่องมีทั้งหมด 22 สมการ ได้แก่ สมการคาดการณ์ $PM_{2.5}$ 11 สมการ และ PM_{10} 11 สมการ แสดงในตารางที่ 6

จากผลการศึกษาสมการแบบจำลอง พบว่า มีค่า R ของแบบจำลองรวมกล่อง $PM_{2.5}$ และแบบจำลองรวมกล่อง PM_{10} เท่ากับ 0.77 และ 0.76 ตามลำดับ ในส่วนของแบบจำลองแยกกล่อง $PM_{2.5}$ และแบบจำลองแยกกล่อง PM_{10} มีค่า R อยู่ในช่วง 0.66-0.87 และ 0.60-0.86 ตามลำดับ จากค่า R ที่กล่าวมาข้างต้นจะพบว่า ค่า R ที่ได้จากแบบจำลองรวมกล่อง และแบบจำลองแยกกล่องมีค่า R ที่ใกล้เคียงกัน และเมื่อพิจารณาสมการแบบจำลองแยกกล่องจะพบว่า ปัจจัยด้านอุตุนิยมวิทยา ได้แก่ ตัวแปรอุณหภูมิ และ ความเร็วลม เป็นตัวแปรที่ไม่ได้มีอยู่ในทุกสมการ ในขณะที่ตัวแปร ความชื้นสัมพัทธ์ เป็นตัวแปรที่มีอยู่ในทุกสมการ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความชื้นสัมพัทธ์ เป็นตัวแปรที่มีนัยสำคัญทางสถิติมากที่สุดซึ่งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10}

ตารางที่ 5: สมการแบบจำลองรวมกล่อง

Model	N	R ²	R
PM2.5 = 104.939 + 43.931(AOD) - 2.651(WS) - 1.444(T) - 0.977(RH)	5814	0.60	0.77
PM10 = 121.735 + 50.783(AOD) + 0.614(WS) - 1.289(T) - 1.125(RH)	12493	0.58	0.76

ตารางที่ 6: สมการแบบจำลองแยกกล่อง

Box	Model	N	R ²	R
1	PM2.5 = 73.54 + 69.17(AOD) - 1.537(RH)	441	0.76	0.87
	PM10 = 140.568 + 66.89(AOD) - 1.19(T) - 1.711(RH)	1439	0.69	0.83
2	PM2.5 = 102.895 + 44.376(AOD) - 16.277(WS) - 1(T) - 0.975(RH)	444	0.70	0.84
	PM10 = 112.538 + 54.888(AOD) - 4.781(WS) - 1(T) - 1.046(RH)	1389	0.63	0.79
3	PM2.5 = 136.577 + 67.752(AOD) - 20.415(WS) - 1.717(T) - 1.321(RH)	504	0.75	0.87
	PM10 = 164.254 + 70.711(AOD) + 4.044(WS) - 2.55(T) - 1.455(RH)	983	0.73	0.86
4	PM2.5 = 91.769 + 47.939(AOD) - 0.88(T) - 1.072(RH)	791	0.68	0.83
	PM10 = 139.05 + 56.45(AOD) - 1.751(WS) - 1.291(T) - 1.465(RH)	1467	0.65	0.81
5	PM2.5 = 106.088 + 37.675(AOD) - 1.937(T) - 0.647(RH)	444	0.45	0.67
	PM10 = 126.241 + 41.347(AOD) - 9.169(WS) - 1.249(T) - 1.038(RH)	1459	0.53	0.73
6	PM2.5 = 95.164 + 29.63(AOD) - 1.236(T) - 0.864(RH)	1145	0.61	0.78
	PM10 = 100.28 + 36.072(AOD) + 2.374(WS) - 0.683(T) - 1.101(RH)	1316	0.64	0.80
7	PM2.5 = 102.501 + 23.049(AOD) - 1.324(T) - 1.005(RH)	350	0.43	0.66
	PM10 = 64.148 + 32.843(AOD) + 4.556(WS) - 0.655(RH)	1295	0.36	0.60
8	PM2.5 = 104.582 + 30.041(AOD) - 7.762(WS) - 1.077(T) - 0.988(RH)	320	0.72	0.85
	PM10 = 148.065 + 42.715(AOD) - 1.835(T) - 1.177(RH)	1200	0.56	0.75
9	PM2.5 = 57.589 + 36.412(AOD) - 2.963(WS) - 0.585(T) - 0.455(RH)	486	0.59	0.77
	PM10 = 84.224 + 38.8(AOD) - 2.751(WS) - 0.514(T) - 0.728(RH)	1057	0.61	0.78
10	PM2.5 = 64.943 + 38.488(AOD) - 1.282(RH)	408	0.62	0.78
	PM10 = 41.909 + 45.311(AOD) + 1.637(T) - 1.598(RH)	407	0.66	0.81
11	PM2.5 = 81.539 + 24.276(AOD) - 3.11(WS) - 1.504(RH)	481	0.60	0.78
	PM10 = 139.011 + 33.66(AOD) - 2.48(RH)	481	0.63	0.80

5. การตรวจสอบความถูกต้องของสมการแบบจำลอง

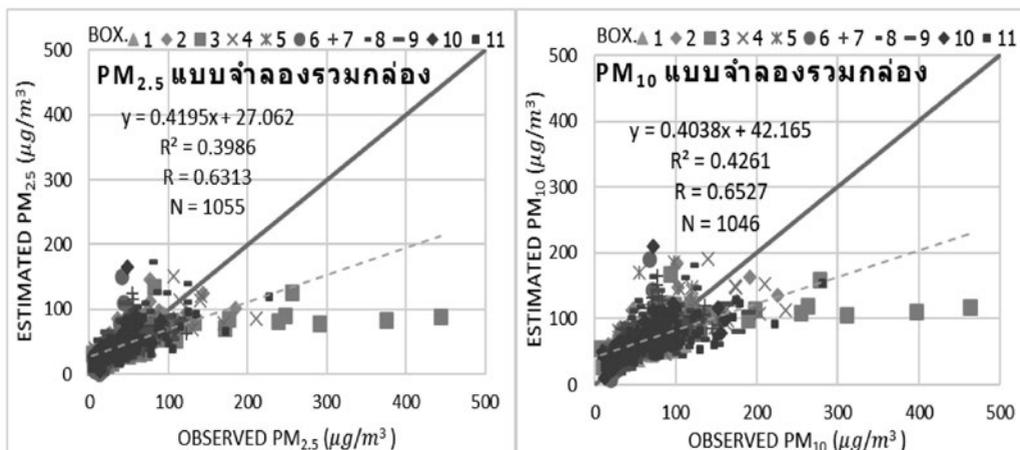
จากสมการแบบจำลองที่ใช้สำหรับการคาดการณ์ฝุ่นละอองขนาดเล็ก ($PM_{2.5}$ และ PM_{10}) ได้ทำการนำสมการดังกล่าวมาตรวจสอบความถูกต้อง โดยทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ ระหว่างค่า PM ที่ได้จากการตรวจวัดจริงจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศภาคพื้นดิน (Observed PM) กับ ข้อมูล PM ที่ได้จากการคาดการณ์จากแบบจำลองแยกกล่องและแบบจำลองรวมกล่อง (Estimated PM) ซึ่งสมการแบบจำลองสร้างจากข้อมูลในช่วง พ.ศ.2556-2563 และนำมาประยุกต์ใช้กับข้อมูลในช่วงวันที่ 1 มกราคม 2564 - 30 มิถุนายน 2564 โดยศึกษาข้อมูลจาก 11 กล่องข้อมูล ซึ่งผลจากการประเมินความสัมพันธ์ Estimated PM - Observed PM จากแบบจำลองแยกกล่อง และแบบจำลองรวมกล่องแสดงใน ตารางที่ 7 และได้นำผลจากความสัมพันธ์ของ Estimated PM - Observed PM ที่ได้จากแบบจำลองรวมกล่อง มาทำการวิเคราะห์แบบภาพรวมโดยนำแบบจำลองรวมกล่องมาปรับใช้กับ 11 กล่องข้อมูล ซึ่งแสดงใน ภาพที่ 5

จากการตรวจสอบความถูกต้องของสมการแบบจำลองโดยการประเมินค่า R จาก Estimated PM - Observed PM พบว่า Estimated $PM_{2.5}$ - Observed $PM_{2.5}$ จากแบบจำลองแยกกล่องและแบบจำลองรวมกล่อง มีค่า R อยู่ในช่วง 0.64-0.81 และ 0.47-0.80 ตามลำดับ และ Estimated PM_{10} - Observed PM_{10} จากแบบจำลองแยกกล่องและแบบจำลองรวมกล่อง มีค่า R อยู่ในช่วง 0.62-0.80 และ 0.63-0.81 ตามลำดับ และในส่วนของค่า RMSE จาก Estimated PM - Observed PM พบว่า Estimated $PM_{2.5}$ - Observed $PM_{2.5}$ จากแบบจำลองแยกกล่องและแบบจำลองรวมกล่อง มีค่า RMSE อยู่ในช่วง 13.60-48.90 และ 13.86-55.43 ตามลำดับ และ Estimated PM_{10} - Observed PM_{10} จากแบบจำลองแยกกล่องและแบบจำลองรวมกล่อง มีค่า RMSE อยู่ในช่วง 19.38-51.01 และ 19.71-33.95 ตามลำดับ

จากผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าค่า R ที่ได้จาก Estimated PM - Observed PM ของทั้งแบบจำลองแยกกล่องและแบบจำลองรวมกล่องมีค่า R ที่ใกล้เคียงกัน ดังนั้นการนำสมการแบบจำลองรวมกล่องที่มีเพียงแค่ 1 สมการสำหรับประมาณค่า $PM_{2.5}$ และ 1 สมการสำหรับประมาณค่า PM_{10} มาใช้ในการคาดการณ์ปริมาณฝุ่นละอองจะสะดวกต่อการใช้งานมากกว่า แต่อย่างไรก็ตามการใช้แบบจำลองรวมกล่องในบางกล่องข้อมูล จากภาพที่ 5 จะพบว่า ค่าความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ที่ได้จากการตรวจวัดจริงของกล่องที่ 3 มีค่าความเข้มข้นที่สูงผิดปกติแตกต่างจากกล่องอื่นๆ จึงทำให้ค่า $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ที่ได้จากการคาดการณ์ต่ำกว่าค่าจริง

ตารางที่ 7: ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลที่ได้จากสมการแบบจำลอง (Estimated PM) กับข้อมูลที่ได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศภาคพื้นดิน (Observed PM)

Box.	Estimated PM _{2.5} - Observed PM _{2.5}							Estimated PM ₁₀ - Observed PM ₁₀						
	แยกกล่อง			รวมกล่อง			N	แยกกล่อง			รวมกล่อง			N
	R ²	R	RMSE	R ²	R	RMSE		R ²	R	RMSE	R ²	R	RMSE	
1	0.41	0.64	20.74	0.22	0.47	20.69	44	0.43	0.66	30.4	0.4	0.63	32.77	35
2	0.64	0.80	18.84	0.64	0.8	18.9	104	0.63	0.80	26.49	0.65	0.80	25.89	104
3	0.55	0.74	48.9	0.53	0.73	55.43	120	0.56	0.75	51.01	0.56	0.75	55.05	120
4	0.60	0.78	21.67	0.6	0.78	22.09	109	0.65	0.8	25.6	0.63	0.79	27.51	109
5	0.48	0.70	17.82	0.55	0.74	20.96	111	0.64	0.8	23.89	0.58	0.76	28.66	111
6	0.50	0.70	15.07	0.44	0.67	19.26	92	0.56	0.75	19.38	0.50	0.71	23.34	92
7	0.47	0.68	18.48	0.37	0.6	20.54	106	0.38	0.62	26.5	0.39	0.63	27.3	106
8	0.62	0.79	18.03	0.56	0.75	22.57	81	0.57	0.75	27.07	0.53	0.73	28.55	81
9	0.51	0.72	13.6	0.57	0.75	13.86	113	0.53	0.73	22.12	0.54	0.74	19.71	112
10	0.65	0.81	14.91	0.48	0.69	18.74	87	0.62	0.79	20.37	0.47	0.68	25.97	88
11	0.6	0.77	26.99	0.63	0.8	23.88	88	0.58	0.76	33.25	0.65	0.81	33.95	88
รวม	-	-	-	0.40	0.63	2.79	1055	-	-	-	0.43	0.65	4.09	1046



ภาพที่ 5: ความสัมพันธ์ของค่าฝุ่นละอองที่ได้จากแบบจำลอง (Estimated PM_{2.5} และ PM₁₀) กับค่าจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศภาคพื้นดิน (Observed PM_{2.5} และ PM₁₀)

สรุปผลการศึกษา

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างแบบจำลองในการประมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ในระดับภาคพื้นดินด้วยดาวเทียม Suomi-NPP ระบบเซนเซอร์ VIIRS ในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย จากการศึกษาการตั้งข้อมูล AOD ที่ขนาดพื้นที่แตกต่างกัน พบว่าขนาดพื้นที่ $0.50^{\circ} \times 0.50^{\circ}$ และ $0.20^{\circ} \times 0.20^{\circ}$ ให้ค่า R สูงสุด นอกจากนี้ได้ทำการศึกษาแนวโน้มของค่า $PM_{2.5}$ และ PM_{10} และ AOD จากกราฟแนวโน้ม พบว่า ค่า PM มีค่าสูงสุดในเดือน มีนาคม, กุมภาพันธ์, เมษายน, มกราคม และ พฤษภาคม ตามลำดับ และเมื่อนำ AOD และ PM ไปวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของ AOD- $PM_{2.5}$ และ AOD- PM_{10} พบว่า เดือนมีนาคม ให้ค่า R ที่สูงสุด เท่ากับ 0.66 และ 0.62 ตามลำดับ ซึ่งแสดงว่าค่า $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ที่ความเข้มข้นสูงส่งผลต่อความสัมพันธ์ของ AOD-PM ในเชิงบวก ในส่วนของการสร้างแบบจำลองสำหรับภาคเหนือ ซึ่งแบ่งเป็นแบบจำลองรวมกล่องและแบบจำลองแยกกล่อง พบว่า ปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาที่สำคัญต่อการคาดการณ์ความเข้มข้น PM คือ ความชื้นสัมพัทธ์ เนื่องจากเป็นตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยาที่มีอยู่ในทุกสมการ ซึ่งแบบจำลองรวมกล่องของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} มีค่า R เท่ากับ 0.77 และ 0.76 ตามลำดับ ในส่วนของแบบจำลองแยกกล่องของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} มีค่า R อยู่ในช่วง 0.66-0.87 และ 0.60-0.86 ตามลำดับ จากนั้นได้ทำการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองจากการประเมินความสัมพันธ์ Estimated PM - Observed PM จากแบบจำลองแยกกล่องและแบบจำลองรวมกล่อง พบว่า แบบจำลองทั้งสองแบบให้ค่า R ที่ใกล้เคียงกัน ในแง่ของการนำแบบจำลองไปประยุกต์ใช้ในการคาดการณ์ฝุ่นละออง การเลือกใช้แบบจำลองรวมกล่องจะมีความสะดวกต่อการนำไปใช้งานมากที่สุด เนื่องจากมีเพียงแค่ 1 สมการสำหรับประมาณค่า $PM_{2.5}$ และ 1 สมการสำหรับประมาณค่า PM_{10}

ประโยชน์ที่ได้รับ

การประเมินความสัมพันธ์ของฝุ่นละอองระหว่างดาวเทียม Suomi-NPP VIIRS กับการตรวจวัดภาคพื้นดินในภาคเหนือของประเทศไทย ช่วยให้สามารถคาดการณ์ความเข้มข้นของฝุ่นละอองได้อย่างครอบคลุมในพื้นที่ภาคเหนือ ซึ่งการศึกษาดังกล่าว มีประโยชน์ดังต่อไปนี้

1. สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในพื้นที่ ที่ไม่มีสถานีตรวจวัดภาคพื้นดิน
2. สามารถนำมาประยุกต์ใช้ เพื่อลดค่าใช้จ่ายในด้านอุปกรณ์ และการสำรวจภาคพื้นดิน
3. ได้องค์ความรู้เพื่อช่วยเป็นแนวทางในการเตือนภัยด้านมลพิษทางอากาศ ให้มีความรวดเร็ว

และครอบคลุมพื้นที่ได้ในบริเวณกว้างนำไปสู่ การเฝ้าระวังและการเตือนภัยที่มีประสิทธิภาพ

ข้อเสนอแนะ

เพื่อให้แบบจำลองสำหรับประมาณค่าฝุ่นละอองโดยใช้ข้อมูลจากดาวเทียม Suomi-NPP VIIRS ในภาคเหนือของประเทศไทยมีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะดังนี้

1. ในอนาคตหากมีการศึกษาเพิ่มเติมควรมีการเพิ่มสถานีตรวจวัดภาคพื้นดินในการศึกษาให้มากกว่านี้ จะทำให้ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง AOD จากดาวเทียม กับ PM จากสถานีตรวจวัดภาคพื้นดินมีความแม่นยำ และมีความน่าเชื่อถือมากขึ้น

2. ควรศึกษาปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลต่อการกระจายตัว และปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละออง เช่นสภาพภูมิประเทศ, แหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศ, ความสูงของชั้นผสม (Mixing Height), Hotspot และอื่นๆ มาใช้ในการพิจารณาร่วมกับการประเมินความเข้มข้นของ PM เพื่อให้ค่าที่ได้จากการประเมินมีความถูกต้องและน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- Benas, N., Beloconi, A., & Chrysoulakis, N. (2013). Estimation of urban PM10 concentration, based on MODIS and MERIS/AATSR synergistic observations. *Atmospheric Environment*, 79, 448-454.
- Chantara, S., Wangkarn, S., Sangchan, W., & Rayanakorn, M. (2010). Spatial and temporal variations of ambient PM10-bound polycyclic aromatic hydrocarbons in Chiang Mai and Lamphun Provinces, Thailand. *Desalination and Water Treatment*, 19(1-3), 17-25.
- Geo-Informatics and Space Technology Development Agency (Public Organization). (2020). Report on the situation of forest fires and smog from the satellite data for the year 2020 [In Thai]. Retrieved March 14, 2021, from https://fire.gistda.or.th/fire_report/Fire_2563.pdf.
- Hands Schuh, J., Erbertseder, T., Schaap, M., & Baier, F. (2022). Estimating PM2.5 surface concentrations from AOD: A combination of SLSTR and MODIS. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 26.
- Jackson, J. M., Liu, H., Laszlo, I., Kondragunta, S., Remer, L. A., Huang, J., & Huang, H.-C. (2013). Suomi-NPP VIIRS aerosol algorithms and data products. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118(22), 12,673-612,689.
- Kanabkaew, T. (2013). Prediction of Hourly Particulate Matter Concentrations in Chiangmai, Thailand Using MODIS Aerosol Optical Depth and Ground-Based Meteorological Data. *EnvironmentAsia* 6(2)6(2), 65-70.
- Karanasiou, A., Alastuey, A., Amato, F., Renzi, M., Stafoggia, M., Tobias, A., Querol, X. (2021). Short-term health effects from outdoor exposure to biomass burning emissions: A review. *Sci Total Environ*, 781, 146739.
- Kerr, A.W., Hall, H.K., & Kozub, S.A. (2002). *Doing Statistics with SPSS*. Thousand Oaks: Sage Publications.
- Khamkaew, C., Chantara, S., Janta, R., Pani, S. K., Prapamontol, T., Kawichai, S., Lin, N.-H. (2016). Investigation of Biomass Burning Chemical Components over Northern Southeast Asia during 7-SEAS/BASELInE 2014 Campaign. *Aerosol and Air Quality Research*, 16(11), 2655-2670.
- Li, C., Hsu, N. C., & Tsay, S.-C. (2011). A study on the potential applications of satellite data in air quality monitoring and forecasting. *Atmospheric Environment*, 45(22), 3663-3675.
- Moksony, F. (1990). Small is beautiful. The use and interpretation of R^2 in social research. *Szociológiai Szemle, Special issue*, 130-138.
- Mongkolpew, S. (2019). Assessment of the Relationship of Particulate Matter between Satellite and Ground based Measurements in Thailand. Unpublished Master's thesis, Kasetsart University.
- NASA. (2022). AERDT_L2_VIIRS_SNPP - VIIRS/SNPP Dark Target Aerosol L2 6-Min Swath 6 km. Retrieved March 4, 2021, from https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov/missions-and-measurements/products/AERDT_L2_VIIRS_SNPP.

- Pollution Control Department. (2020). Plan to install air quality monitoring station Covering all over the country [In Thai]. Retrieved March 14, 2021
- Punsompong, P., & Chantara, S. (2018). Identification of potential sources of PM10 pollution from biomass burning in northern Thailand using statistical analysis of trajectories. *Atmospheric Pollution Research*, 9(6), 1038-1051.
- Suchit, P. (1994).environment and human settlement [In Thai]. Thai Junior Encyclopedia. Retrieved April 24, 2022, from <https://www.saranukromthai.or.th/sub/book/book.php?book=18&chap=1&page=t18-1-infodetail05.html>.
- Wiratchai, N. (2010). Correlation analysis and regression analysis. published Master's thesis, Sukhothai Thammathirat Open University.
- Wiriya, W., Prapamontol, T., & Chantara, S. (2013). PM10-bound polycyclic aromatic hydrocarbons in Chiang Mai (Thailand): Seasonal variations, source identification, health risk assessment and their relationship to air-mass movement. *Atmospheric Research*, 124, 109-122.
- Wu, J., Yao, F., Li, W., & Si, M. (2016). VIIRS-based remote sensing estimation of ground-level PM2.5 concentrations in Beijing–Tianjin–Hebei: A spatiotemporal statistical model. *Remote Sensing of Environment*, 184, 316-328.