

01

การประมาณค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองด้วย ข้อมูลดาวเทียมในภาคกลางของประเทศไทย ESTIMATING PARTICULATE MATTER CONCENTRATION BY USING SATELLITE DATA OVER CENTRAL THAILAND

กิตติพันธ์ ศรีอนันต์^a และ พิชญ์นรี ลลิตาภรณ์^{a,✉}

^aภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Kittiphan Srianan^a and Pichnaree Lalitaporn^{a,✉}

^aFaculty of Engineering (Environmental Engineering) Kasetsart University

✉fengprla@ku.ac.th

วันรับ (received) 9 พ.ค.2565 วันที่แก้ไขเสร็จ (revised) 7 ก.ค. 2565 วันที่ตอบรับ (accepted) 18 ก.ค. 2565

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์แรกเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลฝุ่นละอองขนาดเล็กเกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) และฝุ่นละอองขนาดเล็กเกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) ซึ่งได้จากสถานีตรวจวัดของกรมควบคุมมลพิษ กับข้อมูล Aerosol Optical Depth (AOD) หรือ ความลึกเชิงแสงของละอองลอย จากดาวเทียม S-NPP เซ็นเซอร์ VIIRS และดาวเทียม Aqua เซ็นเซอร์ MODIS โดยใช้ข้อมูลรายวัน ตั้งแต่ มกราคม พ.ศ. 2556 - ธันวาคม พ.ศ. 2563 ผลจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์พบว่าข้อมูล MODIS AOD และ VIIRS AOD มีความสัมพันธ์กับ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) ที่ใกล้เคียงกัน วัตถุประสงค์ต่อมาเป็นการสร้างแบบจำลองเพื่อประมาณค่า $PM_{2.5}$ และ PM_{10} โดยใช้ข้อมูล VIIRS AOD ร่วมกับข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ได้แก่ ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิ และความเร็วลม โดยทำการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ (MLR) และการถดถอยแบบถ่วงน้ำหนักภูมิศาสตร์ (GWR) พบว่าจากความสัมพันธ์ระหว่างค่า $PM_{2.5}$ จากการประมาณกับ $PM_{2.5}$ จากการตรวจวัดจริง ด้วยการถดถอยพหุคูณ และการถดถอยแบบถ่วงน้ำหนักภูมิศาสตร์ มีค่า R อยู่ในช่วง 0.40-0.70 และ 0.43-0.65 ตามลำดับ มีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (RMSE) อยู่ในช่วง 11.97-17.71 $\mu g/m^3$ และ 11.83-15.80 $\mu g/m^3$ ตามลำดับ และในส่วนของความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM_{10} จากการประมาณกับ PM_{10} จากการตรวจวัดจริง ด้วยการถดถอยพหุคูณ และการถดถอยแบบถ่วงน้ำหนักภูมิศาสตร์ มีค่า R อยู่ในช่วง 0.56-0.76 และ 0.57-0.76 ตามลำดับ มีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (RMSE) อยู่ในช่วง 15.47-41.05 $\mu g/m^3$ และ 16.26-38.85 $\mu g/m^3$ ตามลำดับ

คำสำคัญ : ความลึกเชิงแสงของละอองลอย (AOD) ฝุ่นละอองขนาดเล็กเกิน 2.5 ไมครอน ฝุ่นละอองขนาดเล็กเกิน 10 ไมครอน MODIS VIIRS

Abstract

The first objective of this study was to determine the relationship between particulate matter with aerodynamic diameter less than 2.5 micrometers ($PM_{2.5}$) and particulate matter with aerodynamic diameter less than 10 micrometers (PM_{10}) from stations of Pollution Control Department with Aerosol Optical Depth (AOD) on S-NPP satellite VIIRS sensor and Aqua satellite MODIS sensor. Daily $PM_{2.5}$, PM_{10} and AOD data during January 2013 to December 2020. The results of the correlation analysis found that data from MODIS and VIIRS sensor related to $PM_{2.5}$ and PM_{10} gave a correlation coefficient (R) similar value. The next objective was to create a model to estimate $PM_{2.5}$ and PM_{10} used data from VIIRS sensor with meteorological data (Relative Humidity, Temperature and Wind speed). Multiple Linear Regression (MLR) and Geographically Weighted Regression (GWR) analyzes were performed found that the relationship between Estimated $PM_{2.5}$ – Observed $PM_{2.5}$ with MLR and GWR had R values in the range of 0.40-0.70 and 0.43-0.65 respectively with root mean square error (RMSR) in the range 11.97-17.71 $\mu g/m^3$ and 11.83-15.80 $\mu g/m^3$ respectively. And the relationship between Estimated PM_{10} – Observed PM_{10} with MLR and GWR had R values in the range of 0.56-0.76 and 0.57-0.76 respectively with root mean square error (RMSR) in the range 15.47-41.05 $\mu g/m^3$ and 16.26-38.85 $\mu g/m^3$ respectively.

Keywords : Aerosol Optical Depth (AOD), $PM_{2.5}$, PM_{10} , MODIS, VIIRS

บทนำ

มลพิษทางอากาศ เป็นปัญหาสังแวดล้อมที่สำคัญของประเทศไทย ส่วนใหญ่ปัญหามลพิษทางอากาศเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การเผาไหม้เชื้อเพลิงของรถยนต์ โดยเฉพาะในเขตเมืองและเขตอุตสาหกรรม (World Health Organization, 2021) ซึ่งมีประชากรอาศัยเป็นจำนวนมากและมีปัญหาการจราจรที่หนาแน่น ในปี พ.ศ. 2563 ปัญหาที่ถูกร้องเรียนมากที่สุด คือ ปัญหาฝุ่นละออง (Pollution Control Department, 2020) ซึ่ง $PM_{2.5}$ เป็นมลพิษหลักที่ทำให้เกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพอย่างร้ายแรง เช่น โรคมะเร็งปอด และโรคหลอดเลือดสมอง (Liu *et al.*, 2017)

การตรวจวัดคุณภาพอากาศที่ระดับภาคพื้นดินได้ข้อมูลที่มีความถูกต้องและต่อเนื่อง (Handschuh, Erbertseder, Schaap, & Baier, 2022) แต่ยังไม่ครอบคลุมในทุกพื้นที่ เนื่องจากเครื่องตรวจวัดจะติดตั้งอยู่ในเขตเมือง ซึ่งพื้นที่ที่ไม่มีการรายงานข้อมูลคุณภาพอากาศอาจทำให้เกิดผลเสียต่อประชาชนในด้านการป้องกันสุขภาพ ในปัจจุบันได้มีการนำเทคโนโลยีด้านการรับรู้ระยะไกลมาศึกษาปรากฏการณ์เชิงพื้นที่โดยอาศัยข้อมูลจากดาวเทียม ซึ่งข้อมูลเป็นที่ยอมรับและใช้กันอย่างแพร่หลาย สามารถตรวจวัดได้ในบริเวณกว้าง (Mei *et al.*, 2019; Popp *et al.*, 2016) เช่น ข้อมูล AOD เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญ บอกถึงระดับการดูดกลืนแสงและการกระเจิงแสงของดวงอาทิตย์ (Yao, Si, Li, & Wu, 2018) ซึ่งสามารถนำมาหาความสัมพันธ์กับข้อมูลฝุ่นละอองจากสถานีตรวจวัดภาคพื้นดิน (Tsai, Jeng, Chu, Chen, & Chang, 2011) การประมาณค่าฝุ่นละอองด้วยข้อมูลดาวเทียมนิยมใช้ข้อมูลจากดาวเทียม Terra และ Aqua เซ็นเซอร์ Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) มีความละเอียดเชิงพื้นที่ (Spatial Resolution) 3 กิโลเมตร และ 10 กิโลเมตร ซึ่งปัจจุบันใช้งานเกินอายุการออกแบบมากกว่า 10 ปี (Wang, Yuan, Shen, Zheng, & Zhang, 2020) โดยดาวเทียมทั้งสองจะสิ้นสุดภารกิจในปี พ.ศ. 2568 หรือ พ.ศ. 2569 (Xiong & Butler, 2018) ในเดือน ตุลาคม ปี พ.ศ. 2554 ได้มีการส่งดาวเทียม Suomi National Polar-orbiting Partnership (S-NPP) เซ็นเซอร์ Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS) มีความละเอียดเชิงพื้นที่ 6 กิโลเมตร ขึ้นสู่อวกาศเพื่อรับช่วงต่อในการจัดเก็บข้อมูลจากดาวเทียม Terra และ Aqua (Cao *et al.*, 2013) ดาวเทียม Aqua และดาวเทียม S-NPP จะเคลื่อนที่ผ่านบริเวณเส้นศูนย์สูตรในเวลาใกล้เคียงกัน ประมาณ 13.30 น. ส่วนดาวเทียม Terra จะผ่านเส้นศูนย์สูตรที่เวลาประมาณ 10.30 น. (Levy *et al.*, 2015) ดาวเทียม Aqua เซ็นเซอร์ MODIS ถ่ายภาพกว้าง 2,330 กิโลเมตร โคจรรอบโลกที่ระดับความสูง 705 กิโลเมตร ส่วนดาวเทียม S-NPP เซ็นเซอร์ VIIRS ถ่ายภาพกว้าง 3,040 กิโลเมตร โคจรรอบโลกที่ระดับความสูง 824 กิโลเมตร ซึ่งภาพถ่ายที่กว้างขึ้นทำให้เกิดช่องว่างของข้อมูลในแนวใกล้เส้นศูนย์สูตร (National Aeronautics and Space Administration, 2021)

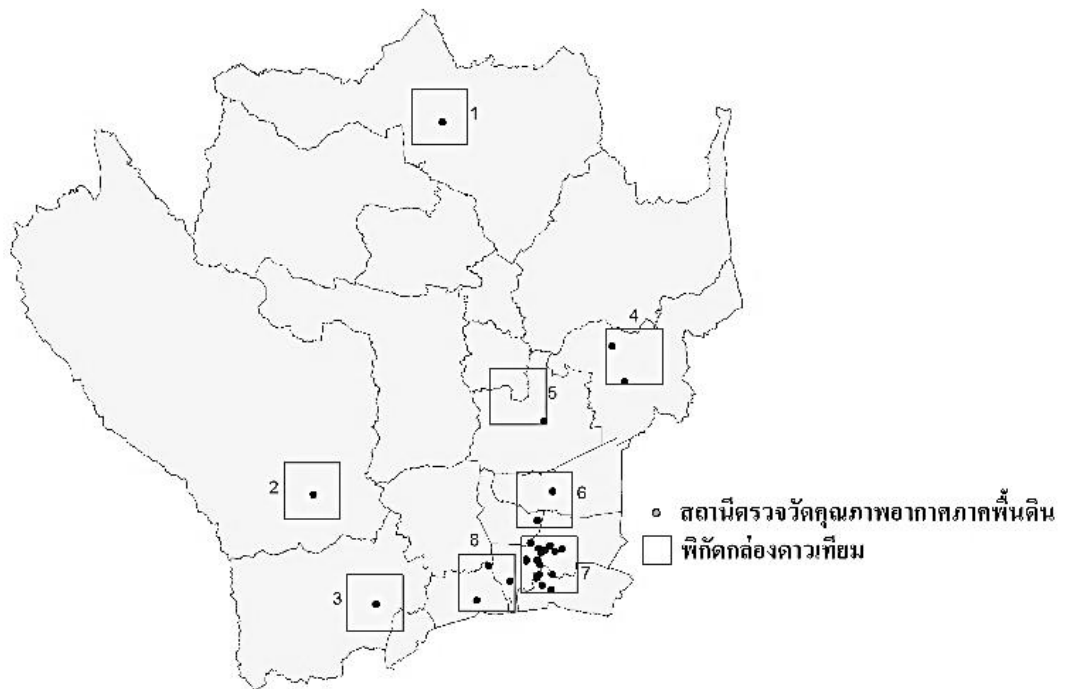
ปัจจุบันมีการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลฝุ่นละอองกับข้อมูล AOD จากการศึกษาของ Bao & Van (2021) ในนครโฮจิมินห์ ประเทศเวียดนาม พบว่า การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง $PM_{2.5}$ -AOD แบบเส้นตรง แบบควอดราติกส์ และแบบคิวบิก มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination: R^2) ที่ใกล้เคียงกัน เท่ากับ 0.81, 0.81 และ 0.82 ตามลำดับ เช่นเดียวกับการศึกษาของ Charoenpanyanet & Hemwan (2019) ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลฝุ่นละอองกับข้อมูล AOD ในภาคเหนือของประเทศไทย พบว่า การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง $PM_{2.5}$ -AOD แบบเส้นตรง แบบควอดราติกส์ และแบบคิวบิก มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ เท่ากับ 0.75, 0.76 และ 0.77 ตามลำดับ ทำให้พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลฝุ่นละอองกับข้อมูล AOD จากทั้งสามรูปแบบมีความสัมพันธ์ใกล้เคียงกัน

งานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของข้อมูล AOD เซ็นเซอร์ MODIS และเซ็นเซอร์ VIIRS โดยทำการศึกษาความสัมพันธ์ร่วมกับข้อมูลฝุ่นละออง ($PM_{2.5}$ และ PM_{10}) ที่ได้จากสถานี

ตรวจวัดภาคพื้นดิน และเพื่อสร้างแบบจำลองสำหรับประมาณค่า $PM_{2.5}$ และ PM_{10} จากข้อมูล VIIRS AOD ร่วมกับปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา ในพื้นที่ภาคกลางของประเทศไทย

วิธีดำเนินการวิจัย พื้นที่ศึกษา

การศึกษานี้เลือกศึกษาในพื้นที่ภาคกลาง ตามการแบ่งภาคทางอุตุนิยมวิทยา ซึ่งแบ่งตามความผันแปรตามฤดูกาลและเขตภูมิอากาศ (Han, Kundhikanjana, Towashiraporn, & Stratoulis, 2022) ประกอบด้วย 18 จังหวัด ได้แก่ นครสวรรค์ อุทัยธานี ชัยนาท สิงห์บุรี ลพบุรี อ่างทอง สระบุรี สุพรรณบุรี พระนครศรีอยุธยา กาญจนบุรี ราชบุรี นครปฐม กรุงเทพมหานคร นนทบุรี ปทุมธานี สมุทรปราการ สมุทรสงคราม และสมุทรสาคร ภูมิประเทศส่วนใหญ่เป็นที่ราบลุ่ม มีภูเขาไม่สูงมาก ระดับพื้นที่ลาดลงมาทางใต้ตามลำดับจนถึงอ่าวไทย (Meteorological Department of Thailand, 2013) แสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1: พื้นที่ศึกษาและสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศภาคพื้นดินในภาคกลางของประเทศไทย

ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

1) ข้อมูล AOD จากดาวเทียม S-NPP เซ็นเซอร์ VIIRS ความละเอียดเชิงพื้นที่ 6 กิโลเมตร ดาวเทียมโหนดได้จาก <https://earthdata.nasa.gov/> และข้อมูล AOD จากดาวเทียม Aqua เซ็นเซอร์ MODIS ความละเอียดเชิงพื้นที่ 3 กิโลเมตร ดาวเทียมโหนดได้จาก <https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov/> ในการศึกษาครั้งนี้รวบรวมข้อมูลจากผลิตภัณฑ์ Dark Target (DT) Aerosol จากชุดข้อมูล Optical_Depth_Land_and_Ocean

2) ข้อมูล $PM_{2.5}$, PM_{10} และข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ได้แก่ ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity: RH) อุณหภูมิ (Temperature: T) และความเร็วลม (Wind speed: WS) รวบรวมข้อมูลจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศภาคพื้นดิน จำนวน 27 สถานี ของกรมควบคุมมลพิษ แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1: พิกัดของกล้องดาวเทียมและสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศภาคพื้นดิน

พิกัดกล้องดาวเทียม			สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศภาคพื้นดิน				
กล้อง	Latitude (North)	Longitude (East)	รหัส ID	จังหวัด	ชื่อสถานี	Latitude (North)	Longitude (East)
1	15.83-15.58	100.22-99.97	41t	นครสวรรค์	โครงการชลประทาน นครสวรรค์	15.69	100.11
2	14.16-13.91	99.65-99.40	79t	กาญจนบุรี	สถานีอุตุนิยมวิทยา กาญจนบุรี	14.02	99.54
3	13.66-13.41	99.93-99.68	26t	ราชบุรี	สำนักงานสิ่งแวดล้อม ภาคที่ 8	13.53	99.81
4	14.76-14.51	101.09-100.84	24t	สระบุรี	สถานีตำรวจภูธรตำบล หน้าพระลาน	14.69	100.87
			25t	สระบุรี	สถานีดับเพลิงพระ ลักษณะ	14.53	100.93
5	14.58-14.33	100.57-100.32	21t	พระนครศรีอยุธยา	โรงเรียนอยุธยาวิทยาลัย	14.35	100.57
6	14.12-13.87	100.69-100.44	20t	ปทุมธานี	มหาวิทยาลัยกรุงเทพ วิทยาเขตรังสิต	14.04	100.61
			22t	นนทบุรี	มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมสารราช	13.91	100.54

7	13.83-13.58	100.71-100.46	02t	กรุงเทพฯ	มหาวิทยาลัยราชภัฏ บ้านสมเด็จเจ้าพระยา	13.73	100.49
			05t	กรุงเทพฯ	กรมอุตุนิยมวิทยา บางนา	13.67	100.61
			08t	สมุทรปราการ	ศูนย์ฟื้นฟูอาชีพคน พิการและ ทุพพลภาพ	13.66	100.54
			10t	กรุงเทพฯ	เคหะชุมชนคลองจั่น	13.78	100.65
			11t	กรุงเทพฯ	การเคหะชุมชนห้วยขวาง	13.78	100.57
			12t	กรุงเทพฯ	โรงเรียนนนทรีวิทยา	13.71	100.55
			13t	นนทบุรี	การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่ง ประเทศไทย (กฟผ.)	13.81	100.51
			16t	สมุทรปราการ	โรงไฟฟ้าพระนครใต้	13.62	100.56
			17t	สมุทรปราการ	บ้านพักกรม อุตสาหกรรมพื้นฐาน และการเหมืองแร่	13.65	100.53
			18t	สมุทรปราการ	ศาลากลางจังหวัด สมุทรปราการ	13.60	100.60
			50t	กรุงเทพฯ	โรงพยาบาล จุฬาลงกรณ์	13.73	100.54
			52t	กรุงเทพฯ	การไฟฟ้าฝ่ายธนบุรี	13.73	100.49
			53t	กรุงเทพฯ	สถานีตำรวจนครบาล โชคชัย	13.80	100.59
			54t	กรุงเทพฯ	การเคหะชุมชนดินแดง	13.76	100.55
			59t	กรุงเทพฯ	กรมประชาสัมพันธ์	13.78	100.54
8	13.75-13.50	100.43-100.18	61t	กรุงเทพฯ	โรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี)	13.77	100.61
			03t	กรุงเทพฯ	ริมถนนกาญจนาภิเษก	13.64	100.41
			14t	สมุทรสาคร	แขวงการทาง สมุทรสาคร	13.71	100.32
			27t	สมุทรสาคร	โรงเรียนสมุทรสาคร วิทยาลัย	13.55	100.26

การวิเคราะห์ข้อมูล

1) การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (Correlation Analysis) เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าฝุ่นละออง ($PM_{2.5}$ และ PM_{10}) กับข้อมูล AOD (MODIS และ VIIRS) โดยนำข้อมูลที่ได้มาสร้างแผนภาพการกระจาย (Scatter Plot) และสร้างสมการเส้นตรง (Linear Equation) เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination: R^2) และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient: R) จะพบว่าหากค่า R มีค่าเข้าใกล้ -1 หรือ +1 แสดงถึงการมีความสัมพันธ์กันในระดับสูง แต่หากมีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงถึงการมีความสัมพันธ์กันในระดับต่ำ หรือไม่มีเลย โดยข้อมูล $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ในการวิเคราะห์ใช้ข้อมูลเฉลี่ยราย 3 ชั่วโมง (12.00-15.00 น.) เพื่อให้ครอบคลุมช่วงเวลาที่ดาวเทียมผ่านประเทศไทย ประมาณ 13.30 น. ส่วนข้อมูล AOD ใช้กล่องขนาด $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ ในการดึงข้อมูล เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ในกล่องนั้นๆ โดยใช้ข้อมูล AOD, $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2556-2563

2) การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ (Multiple Linear Regression: MLR) เป็นการวิเคราะห์มากกว่าสองตัวแปร เนื่องจากการศึกษาอาจมีหลายปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อเปลี่ยนแปลงของค่าฝุ่นละออง โดยสร้างสมการแบบจำลองจากข้อมูล $PM_{2.5}$, PM_{10} , VIIRS AOD และข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2556-2563 ซึ่งการศึกษาในครั้งนี้ใช้ค่าสถิติเป็นเกณฑ์ในการเลือกตัวแปร ด้วยวิธี Backward Method เป็นการคัดเลือกตัวแปรอิสระ (VIIRS AOD และข้อมูลอุตุนิยมวิทยา) ที่ดีที่สุดที่สามารถพยากรณ์ตัวแปรตาม ($PM_{2.5}$ และ PM_{10}) ได้ โดยนำข้อมูล AOD และข้อมูลอุตุนิยมวิทยาทั้งหมดเข้าสมการ และกำจัดออกทีละตัวแปร หากทดสอบแล้วพบว่าตัวแปรใดไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ตัวแปรนั้นจะถูกกำจัดออก เหลือเฉพาะตัวแปรที่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) อยู่ในสมการ (Piyapimonsit, 2016)

3) การวิเคราะห์การถดถอยแบบถ่วงน้ำหนักภูมิศาสตร์ (Geographically Weighted Regression: GWR) เป็นการหาความสัมพันธ์เชิงภูมิศาสตร์ซึ่งมีการนำข้อมูลของพื้นที่ข้างเคียง มาใช้ในการถ่วงน้ำหนักค่าสัมประสิทธิ์ของแต่ละตัวแปรอิสระ (VIIRS AOD และข้อมูลอุตุนิยมวิทยา) โดยใช้ข้อมูลตั้งแต่ปี พ.ศ. 2556-2563 ผลจากการวิเคราะห์จะออกมาในรูปแบบของการประมาณในแต่ละพื้นที่ (Fotheringham, Brunsdon, & Charlton, 2002)

4) การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Validation) โดยใช้สมการแบบจำลองที่ได้ประมาณค่า $PM_{2.5}$ และ PM_{10} (Estimated) และนำไปเปรียบเทียบกับข้อมูลฝุ่นละอองที่ได้จากการตรวจวัดจริง (Observed) และหาค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Squared Error: RMSE) ซึ่งเป็นวิธีการวัดค่าความคลาดเคลื่อนแบบมาตรฐาน

ผลการศึกษาและการอภิปรายผล

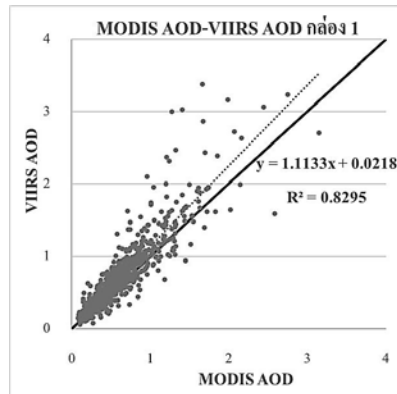
1. ความสัมพันธ์ระหว่างค่าฝุ่นละออง ($PM_{2.5}$ และ PM_{10}) กับข้อมูล AOD (MODIS และ VIIRS)

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของ MODIS AOD และ VIIRS AOD พบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) มีค่าอยู่ในช่วง 0.83-0.92 ซึ่งแสดงถึงข้อมูลที่ได้จากดาวเทียมทั้งสองมีความสัมพันธ์กันสูง แสดงดังตารางที่ 2 และภาพที่ 2 เนื่องจากเซ็นเซอร์ VIIRS ถูกพัฒนาขึ้นมาจากพื้นฐานของเซ็นเซอร์ MODIS จึงทำให้ข้อมูลที่ได้จากสองดาวเทียมมีความใกล้เคียงกัน (Wei *et al.*, 2019) สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Xiao *et al.*, (2016) ที่ทำการประเมินข้อมูล AOD จากภาคพื้นดินบริเวณญี่ปุ่นและเกาหลีใต้ ซึ่งได้จาก Aerosol Robotic Network (AERONET) และนำไปเปรียบเทียบกับข้อมูล AOD จากดาวเทียม Aqua เซ็นเซอร์

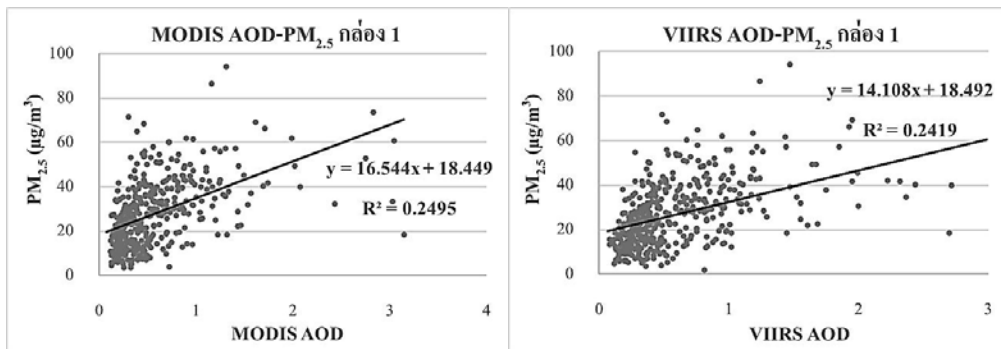
MODIS และดาวเทียม S-NPP เซ็นเซอร์ VIIRS ได้ค่า R เท่ากับ 0.84 (MODIS) และ 0.85 (VIIRS) ซึ่งทำให้พบว่าข้อมูลดาวเทียม S-NPP เซ็นเซอร์ VIIRS มีประสิทธิภาพสามารถทดแทนข้อมูลดาวเทียม Aqua ระบบ MODIS ได้ (Sawyer *et al.*, 2020) และเมื่อเปรียบเทียบข้อมูล AOD กับข้อมูล $PM_{2.5}$ และ PM_{10} พบว่าข้อมูล $PM_{2.5}$ -MODIS AOD มีค่า R อยู่ในช่วง 0.29-0.61 ส่วน $PM_{2.5}$ -VIIRS AOD มีค่า R อยู่ในช่วง 0.27-0.67 สำหรับ PM_{10} -MODIS AOD มีค่า R อยู่ในช่วง 0.08-0.55 ส่วน PM_{10} -VIIRS AOD มีค่า R อยู่ในช่วง 0.10-0.61 โดยค่า R ของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} กับ MODIS AOD และ VIIRS AOD ในแต่ละกล่องมีค่าใกล้เคียงกัน ตัวอย่างของกล่องที่ 1 แสดงดังภาพที่ 3 และ ภาพที่ 4 จากผลที่ได้นี้สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Muhammad and Nguyen Thi (2015) ซึ่งได้ทำการหาความสัมพันธ์ระหว่าง $PM_{2.5}$ และ PM_{10} กับ MODIS AOD บริเวณสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย (AIT) ระหว่างปี 2004-2010 พบว่าค่า R ของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} กับ MODIS AOD เท่ากับ 0.55 และ 0.57 ตามลำดับ โดยความสัมพันธ์ระหว่างค่าฝุ่นละอองกับข้อมูล AOD จะแตกต่างกันไปตามพื้นที่ภูมิประเทศและสภาพอุตุนิยมวิทยาของแต่ละพื้นที่ (Zeeshan & Kim Oanh, 2014)

ตารางที่ 2: ความสัมพันธ์แบบเส้นตรง (Linear Equation) ของข้อมูลฝุ่นละออง ($PM_{2.5}$ และ PM_{10}) กับข้อมูล AOD จาก MODIS และ VIIRS ของแต่ละกล่องที่ทำการวิเคราะห์ ระหว่างปี พ.ศ. 2556-2563

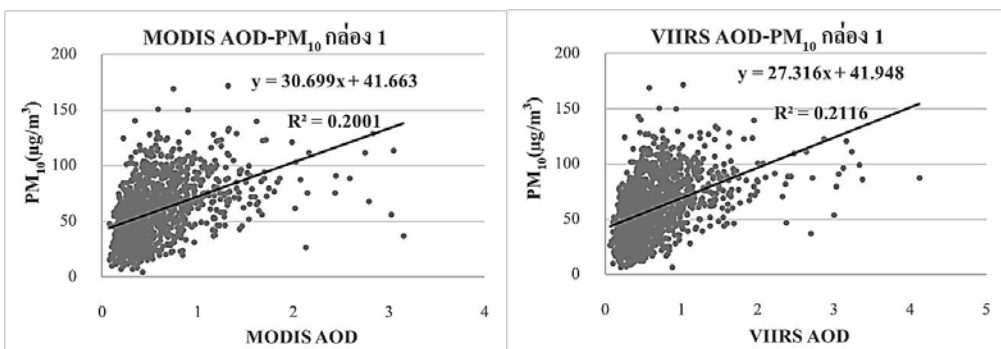
กล่อง	MODIS-VIIRS			$PM_{2.5}$ -MODIS AOD			$PM_{2.5}$ -VIIRS AOD			PM_{10} -MODIS AOD			PM_{10} -VIIRS AOD		
	R	R ²	N	R	R ²	N	R	R ²	N	R	R ²	N	R	R ²	N
1	0.91	0.83	1064	0.50	0.25	393	0.49	0.24	419	0.45	0.20	1262	0.46	0.21	1410
2	0.91	0.83	810	0.61	0.37	421	0.67	0.44	471	0.55	0.31	421	0.61	0.37	471
3	0.85	0.73	904	0.53	0.28	843	0.48	0.23	930	0.45	0.20	850	0.40	0.16	932
4	0.87	0.76	664	0.40	0.16	839	0.39	0.15	784	0.08	0.01	1000	0.10	0.01	941
5	0.89	0.79	938	0.46	0.21	362	0.48	0.23	387	0.28	0.08	1088	0.31	0.10	1178
6	0.92	0.84	398	0.35	0.12	197	0.47	0.22	226	0.39	0.15	420	0.39	0.15	631
7	0.83	0.68	508	0.29	0.08	797	0.27	0.07	622	0.26	0.07	874	0.25	0.06	689
8	0.84	0.70	694	0.31	0.09	804	0.33	0.11	788	0.30	0.09	920	0.34	0.11	892



ภาพที่ 2: ตัวอย่างความสัมพันธ์แบบเส้นตรง (Linear Equation) ของกลุ่มที่ 1 ระหว่าง MODIS AOD กับ VIIRS AOD ระหว่างปี พ.ศ. 2556-2563



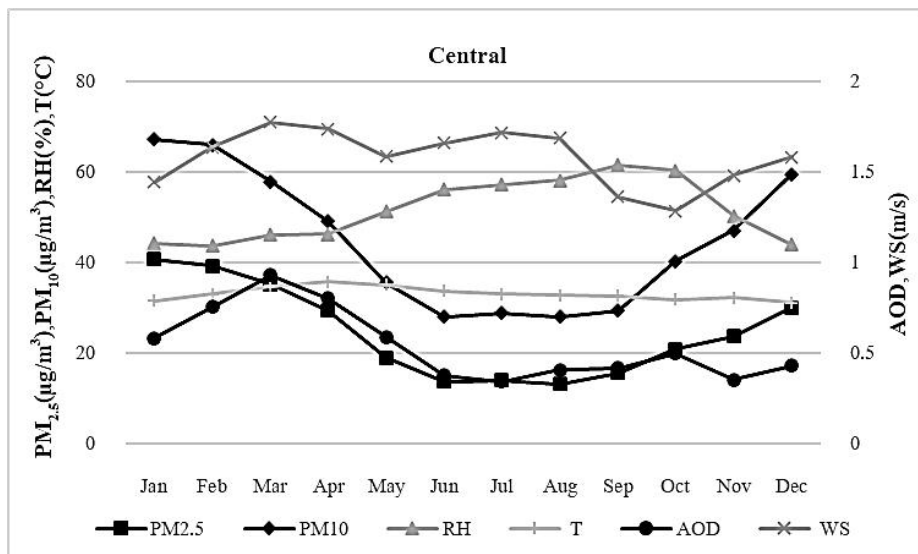
ภาพที่ 3: ตัวอย่างความสัมพันธ์แบบเส้นตรง (Linear Equation) ของกลุ่มที่ 1 ระหว่างข้อมูล PM_{2.5} กับข้อมูล MODIS AOD และ VIIRS AOD ระหว่างปี พ.ศ. 2556-2563



ภาพที่ 4: ตัวอย่างความสัมพันธ์แบบเส้นตรง (Linear Equation) ของกลุ่มที่ 1 ระหว่างข้อมูล PM₁₀ กับข้อมูล MODIS AOD และ VIIRS AOD ระหว่างปี พ.ศ. 2556-2563

2. แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลฝุ่นละออง ($PM_{2.5}$ และ PM_{10}) ข้อมูล AOD และข้อมูลอุตุนิยมวิทยา

การวิเคราะห์แนวโน้มของข้อมูล AOD จากเซ็นเซอร์ VIIRS กับข้อมูลฝุ่นละออง ($PM_{2.5}$ และ PM_{10}) และข้อมูลอุตุนิยมวิทยา แสดงดังภาพที่ 5 โดยข้อมูลที่ใช้ศึกษาในชั้นตอนนี้เป็นค่าเฉลี่ยรายเดือน ช่วงปี พ.ศ. 2556-2563 จากทั้ง 8 กล้องที่ทำการวิเคราะห์ ซึ่งจากการศึกษาพบว่า $PM_{2.5}$, PM_{10} และ AOD มีค่าสอดคล้องกัน โดยมีค่าสูงในช่วงฤดูแล้ง (ตุลาคม-เมษายน) และมีค่าต่ำในช่วงฤดูฝน (พฤษภาคม-กันยายน) แต่อย่างไรก็ตามค่าสูงสุดของ AOD พบในช่วงเดือน มีนาคม ซึ่งผลดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยของ Mongkolpew (2019) ที่ได้ศึกษาการเคลื่อนตัวของมวลอากาศย้อนหลัง โดยพบว่าฝุ่นละอองจากการเผาไหม้ในภาคเหนือและจากประเทศข้างเคียง ก่อให้เกิดฝุ่นละอองในบรรยากาศชั้นสูงขึ้นไปเหนือภาคกลาง เนื่องจากข้อมูล AOD เป็นการตรวจวัดจากเหนือชั้นบรรยากาศ จึงทำให้ตรวจวัดค่าได้สูง ส่วนการตรวจวัด $PM_{2.5}$ และ PM_{10} เป็นการตรวจวัดบริเวณพื้นผิวโลก (Gupta *et al.*, 2006) จึงทำให้ช่วงดังกล่าวไม่พบค่า $PM_{2.5}$ และ PM_{10} สูงขึ้นตามค่า AOD ในส่วนของข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ประเทศไทยเข้าสู่ช่วงฤดูฝนในเดือน พฤษภาคม-ตุลาคม จากกราฟจะเห็นได้ว่าในช่วงดังกล่าวมีความชื้นสัมพัทธ์สูง อุณหภูมิสูง และความเร็วลมสูง แต่มีค่า $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ต่ำ ทำให้พบว่าข้อมูลอุตุนิยมวิทยามีผลต่อค่าฝุ่นละอองในบรรยากาศ



ภาพที่ 5: แนวโน้มข้อมูล AOD, $PM_{2.5}$, PM_{10} และข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ข้อมูลเฉลี่ยรายเดือน ระหว่างปี พ.ศ. 2556-2563

3. การประมาณค่าฝุ่นละออง ($PM_{2.5}$ และ PM_{10}) ด้วยการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ (MLR)

การสร้างสมการแบบจำลอง โดยการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ใช้ข้อมูลฝุ่นละออง ($PM_{2.5}$ และ PM_{10}) ข้อมูล AOD และข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2556-2563 แบ่งเป็น 2 แบบจำลอง ได้แก่ แบบจำลองแยกกล่องและแบบจำลองรวมกล่อง โดยแบบจำลองแยกกล่อง คือ การใช้ข้อมูลในแต่ละกล่องสร้างสมการแบบจำลองเฉพาะกล่องนั้นๆ ซึ่งในแต่ละกล่องจะประกอบด้วย สมการประมาณ

ค่า $PM_{2.5}$ 1 สมการ และสมการประมาณค่า PM_{10} 1 สมการ และในส่วนของแบบจำลองรวมกล่อง คือ การใช้ข้อมูลจากทั้ง 8 กล่องรวมกัน ได้สมการประมาณค่า $PM_{2.5}$ 1 สมการ และสมการประมาณค่า PM_{10} 1 สมการ ซึ่งแสดงในตารางที่ 3 ในแบบจำลองแยกกล่องและแบบจำลองรวมกล่องไม่ได้นำข้อมูลจากกล่องที่ 3 มาวิเคราะห์ร่วมด้วย เนื่องจากในกล่องที่ 3 ไม่มีข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ (RH) ทำให้ไม่สามารถสร้างสมการแบบจำลองได้ จึงเหลือกล่องที่นำมาพิจารณาเพียง 7 กล่อง

ตารางที่ 3: แบบจำลองที่ได้จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ด้วยวิธีการถดถอยพหุคูณ

กล่อง	แบบจำลองถดถอยพหุคูณ	R	R ²	N
1	$PM_{2.5} = 6.262 + 13.546(AOD) + 0.68(T) - 0.245(RH)$	0.49	0.24	346
	$PM_{10} = 84.135 + 27.631(AOD) - 0.975(RH)$	0.60	0.36	800
2	$PM_{2.5} = 81.612 + 35.57(AOD) + 2.956(WS) - 0.634(T) - 1.267(RH)$	0.82	0.67	469
	$PM_{10} = 130.118 + 35.249(AOD) + 5.503(WS) - 1.496(T) - 1.471(RH)$	0.79	0.62	469
4	$PM_{2.5} = 74.596 + 20.068(AOD) - 1.269(WS) - 0.526(T) - 0.696(RH)$	0.53	0.28	770
	$PM_{10} = 234.691 + 16.125(AOD) - 5.596(WS) - 2.882(T) - 1.544(RH)$	0.55	0.30	926
5	$PM_{2.5} = 89.748 + 22.049(AOD) - 6.95(WS) - 1.203(T) - 0.74(RH)$	0.65	0.43	387
	$PM_{10} = 170.487 + 29.352(AOD) - 2.219(T) - 1.236(RH)$	0.54	0.29	1149
6	$PM_{2.5} = 78.959 + 18.878(AOD) - 1.358(T) - 0.436(RH)$	0.57	0.33	202
	$PM_{10} = 159.679 + 27.83(AOD) - 3.09(WS) - 2.431(T) - 0.966(RH)$	0.57	0.32	607
7	$PM_{2.5} = 64.054 + 15.75(AOD) - 5.778(WS) - 0.763(RH)$	0.51	0.26	622
	$PM_{10} = 150.953 + 19.084(AOD) - 11.933(WS) - 1.681(T) - 0.952(RH)$	0.65	0.43	689
8	$PM_{2.5} = 119.91 + 21.456(AOD) - 9.484(WS) - 1.413(T) - 0.96(RH)$	0.69	0.48	745
	$PM_{10} = 228.326 + 23.449(AOD) - 11.859(WS) - 4.179(T) - 0.86(RH)$	0.72	0.52	837
1-8 (รวม กล่อง)	$PM_{2.5} = 77.402 + 20.872(AOD) + 0.892(WS) - 0.651(T) - 0.915(RH)$	0.58	0.34	3541
	$PM_{10} = 166.241 + 22.174(AOD) - 2.11(T) - 1.238(RH)$	0.52	0.27	5477

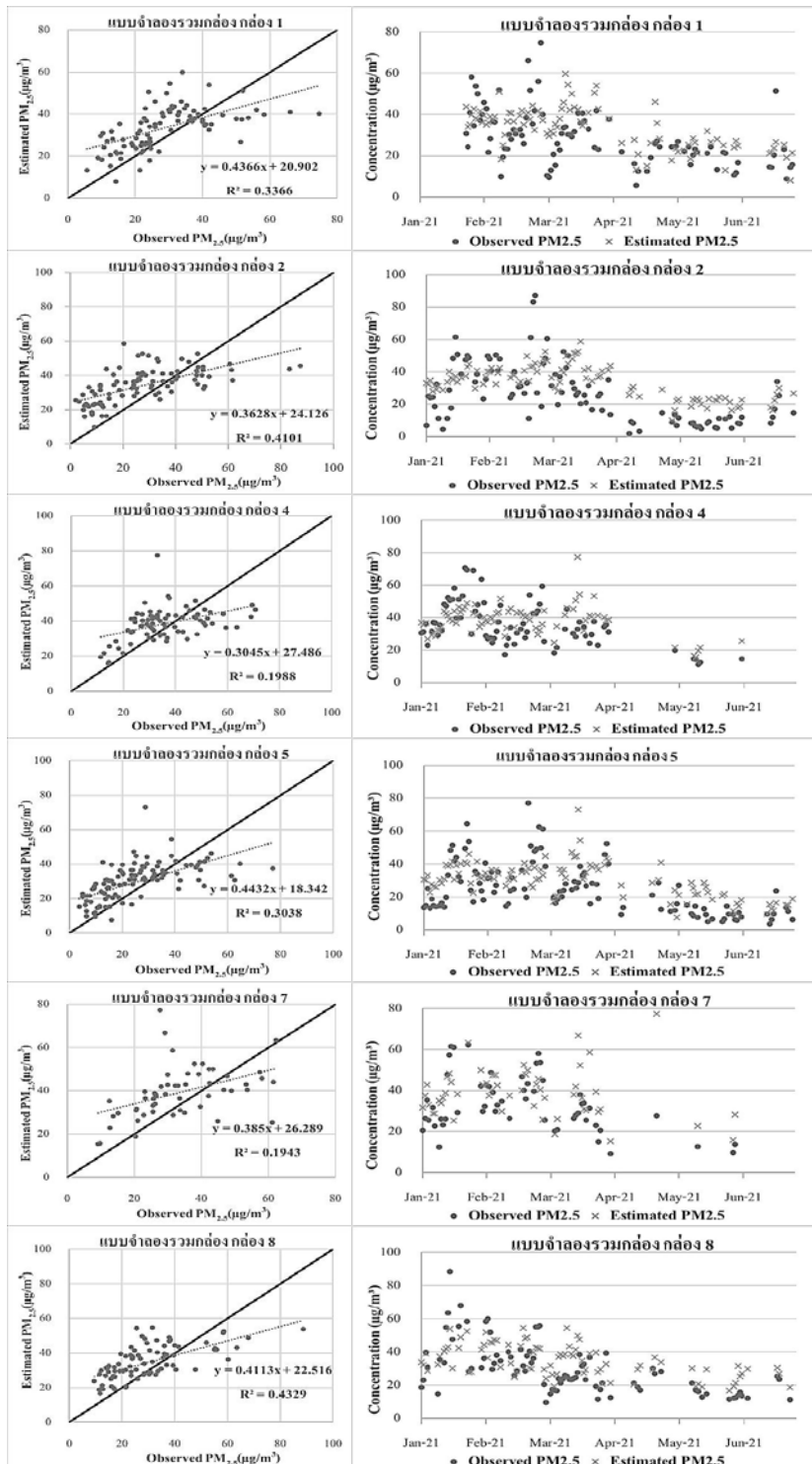
จากผลการศึกษาสมการแบบจำลอง พบว่า ค่า R ของแบบจำลองแยกกล่อง สำหรับ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} มีค่าอยู่ในช่วง 0.49-0.82 และ 0.54-0.79 ตามลำดับ ในส่วนของค่า R ของแบบจำลองรวมกล่อง สำหรับ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} มีค่าเท่ากับ 0.58 และ 0.52 ตามลำดับ ซึ่งจากค่า R ที่ได้กล่าวมาข้างต้น แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองรวมกล่องและแบบจำลองแยกกล่อง มีค่า R ใกล้เคียงกัน และจากการวิเคราะห์หาค่าตัวแปรในสมการแบบจำลองทั้งหมดทำให้พบว่า ความชื้นสัมพัทธ์ เป็นตัวแปรที่มีนัยสำคัญทางสถิติปรากฏอยู่ในทุกสมการ

3.1 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

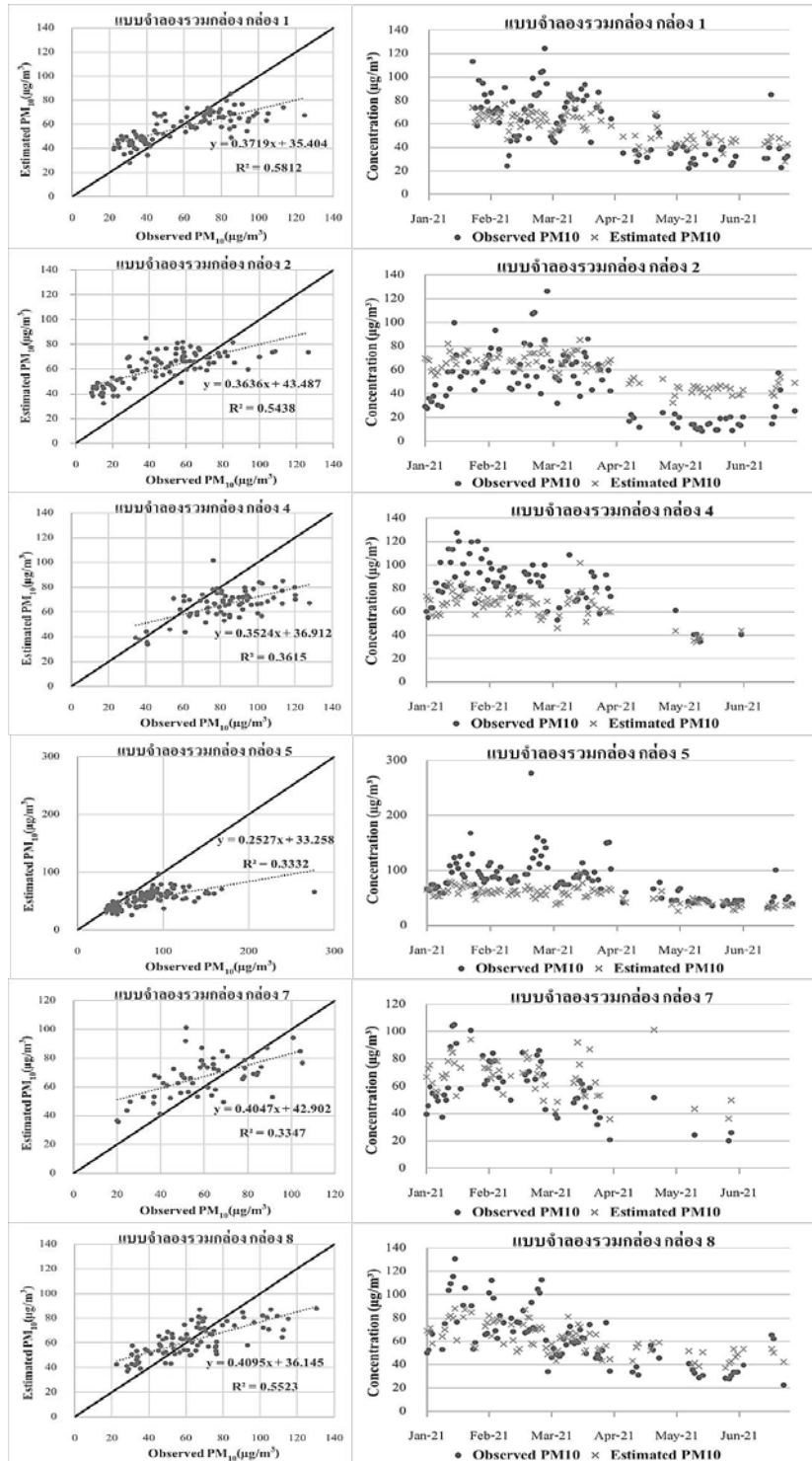
จากการสร้างสมการแบบจำลองด้วยวิธีการถดถอยพหุคูณ (MLR) สำหรับประมาณค่าฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ และ PM_{10} โดยใช้ข้อมูลฝุ่นละออง ($PM_{2.5}$ และ PM_{10}) ข้อมูล AOD และข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ในปี พ.ศ. 2556-2563 และนำสมการแบบจำลองที่ได้มาประมาณค่า $PM_{2.5}$ และ PM_{10} (Estimated) ในช่วงวันที่ 1 มกราคม – 30 มิถุนายน พ.ศ. 2564 แล้วนำไปเปรียบเทียบกับค่า $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ที่ได้จากการตรวจวัดจริง (Observed) จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ โดยความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ที่ได้จากแบบจำลองแยกกล่องและแบบจำลองรวมกล่องกับข้อมูล $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ที่ได้จากการตรวจวัดจริง แสดงดังตารางที่ 4 โดยในภาพที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $PM_{2.5}$ ที่ได้จากแบบจำลองรวมกล่องกับข้อมูล $PM_{2.5}$ ที่ได้จากการตรวจวัดจริง และภาพที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง PM_{10} ที่ได้จากแบบจำลองรวมกล่องกับข้อมูล PM_{10} ที่ได้จากการตรวจวัดจริง เนื่องจากกล่องที่ 6 ไม่มีข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ (RH) ในปี พ.ศ. 2564 ทำให้ไม่สามารถวิเคราะห์ความสัมพันธ์ได้

ตารางที่ 4: ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ที่ได้จากแบบจำลองแยกกล่องและแบบจำลองรวมกล่องกับข้อมูล $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ที่ได้จากการตรวจวัดจริง

กล่อง	Estimated $PM_{2.5}$ - Observed $PM_{2.5}$							Estimated PM_{10} - Observed PM_{10}						
	แบบจำลองแยกกล่อง			แบบจำลองรวมกล่อง			N	แบบจำลองแยกกล่อง			แบบจำลองรวมกล่อง			N
	R	R ²	RMSE	R	R ²	RMSE		R	R ²	RMSE	R	R ²	RMSE	
1	0.41	0.17	12.10	0.58	0.34	11.97	92	0.73	0.53	18.23	0.76	0.58	17.50	93
2	0.60	0.36	17.71	0.64	0.41	15.53	98	0.74	0.55	18.21	0.74	0.54	23.37	98
4	0.40	0.16	14.28	0.45	0.20	12.63	77	0.64	0.41	15.47	0.60	0.36	23.20	77
5	0.55	0.30	13.05	0.55	0.30	13.97	109	0.56	0.32	37.53	0.58	0.33	41.05	109
7	0.51	0.26	12.79	0.44	0.19	14.57	55	0.63	0.39	16.09	0.58	0.33	18.30	55
8	0.70	0.49	13.41	0.66	0.43	12.50	87	0.73	0.53	17.13	0.74	0.55	16.59	87



ภาพที่ 6: การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล PM_{2.5} ที่ได้จากแบบจำลองรวมกล่อง (Estimated) กับข้อมูล PM_{2.5} ที่ได้จากการตรวจวัดจริง (Observed) ระหว่างวันที่ 1 มกราคม – 30 มิถุนายน พ.ศ. 2564



ภาพที่ 7: การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล PM_{10} ที่ได้จากแบบจำลองรวมกล่อง (Estimated) กับข้อมูล PM_{10} ที่ได้จากการตรวจวัดจริง (Observed) ระหว่างวันที่ 1 มกราคม – 30 มิถุนายน พ.ศ. 2564

ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลฝุ่นละออง ($PM_{2.5}$ และ PM_{10}) ที่ได้จากแบบจำลอง (Estimated) กับค่าฝุ่นละออง ($PM_{2.5}$ และ PM_{10}) ที่ได้จากการตรวจวัดจริง (Observed) พบว่า แบบจำลองแยกกล่องและแบบจำลองรวมกล่องให้ค่า R ที่ใกล้เคียงกัน โดยค่า R และ RMSE ของ $PM_{2.5}$ ที่ได้จากแบบจำลองแยกกล่อง (Estimated) กับข้อมูล $PM_{2.5}$ ที่ได้จากการตรวจวัดจริง (Observed) มีค่าอยู่ในช่วง 0.40-0.70 และ 12.10-17.71 $\mu g/m^3$ ตามลำดับ ส่วนค่า R และ RMSE ของ PM_{10} ที่ได้จากแบบจำลองแยกกล่อง (Estimated) กับข้อมูล PM_{10} ที่ได้จากการตรวจวัดจริง (Observed) มีค่าอยู่ในช่วง 0.56-0.74 และ 15.47-37.53 $\mu g/m^3$ ตามลำดับ ในกรณีของแบบจำลองรวมกล่อง ค่า R และ RMSE ของ $PM_{2.5}$ ที่ได้จากแบบจำลองรวมกล่อง (Estimated) กับข้อมูล $PM_{2.5}$ ที่ได้จากการตรวจวัดจริง (Observed) มีค่าอยู่ในช่วง 0.44-0.66 และ 11.97-15.53 $\mu g/m^3$ ตามลำดับ ส่วนค่า R และ RMSE ของ PM_{10} ที่ได้จากแบบจำลองรวมกล่อง (Estimated) กับข้อมูล PM_{10} ที่ได้จากการตรวจวัดจริง (Observed) มีค่าอยู่ในช่วง 0.58-0.76 และ 16.59-41.05 $\mu g/m^3$ ตามลำดับ

จากผลการศึกษา ค่า $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ที่ได้จากแบบจำลองทั้งสอง เมื่อพิจารณาแนวโน้มรายเดือนระหว่างค่าที่ได้จากการประมาณด้วยแบบจำลอง (Estimated) กับค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริง (Observed) พบว่า ค่าทั้งสองมีแนวโน้มใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตามพบว่า PM_{10} ของกล่องที่ 4 และ 5 ค่าฝุ่นละอองที่ประมาณได้มีค่าต่ำกว่าการตรวจวัดจริง ซึ่งเกิดเฉพาะในช่วงที่มีค่าฝุ่นละอองสูง ส่วนการนำแบบจำลองไปประยุกต์ใช้แบบจำลองรวมกล่องจะมีความสะดวกในการใช้งานมากกว่า เนื่องจากมีเพียง 2 สมการ ($PM_{2.5}$ และ PM_{10}) ซึ่งได้ค่า R ใกล้เคียงแบบจำลองแยกกล่อง และยังสามารถประมาณค่าฝุ่นละอองได้ทุกกล่องในภาคกลาง

4. การประมาณค่าฝุ่นละออง ($PM_{2.5}$ และ PM_{10}) ด้วยการวิเคราะห์การถดถอยแบบถ่วงน้ำหนักภูมิศาสตร์ (GWR)

ในการศึกษานี้การวิเคราะห์การถดถอยแบบถ่วงน้ำหนักภูมิศาสตร์ (GWR) ถูกนำมาใช้เพื่อสร้างสมการแบบจำลอง โดยใช้ข้อมูลฝุ่นละออง ($PM_{2.5}$ และ PM_{10}) ข้อมูล AOD และข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2556-2563 ซึ่งใช้ข้อมูลจากทั้ง 8 กล่องรวมกัน ได้สมการประมาณค่า $PM_{2.5}$ 1 สมการ และสมการประมาณค่า PM_{10} 1 สมการ แสดงดังตารางที่ 5 เนื่องจากในกล่องที่ 3 ไม่มีข้อมูลความสัมพันธ์ (RH) จึงไม่นำมาร่วมในการวิเคราะห์

ตารางที่ 5: แบบจำลองที่ได้จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ด้วยวิธีการถดถอยถ่วงน้ำหนักภูมิศาสตร์

แบบจำลองถดถอยถ่วงน้ำหนักภูมิศาสตร์	R	R ²	N
$PM_{2.5} = 81.211 + 21.416(AOD) - 3.815(WS) - 0.712(T) - 0.788(RH)$	0.67	0.45	3541
$PM_{10} = 174.03 + 24.578(AOD) - 4.113(WS) - 2.319(T) - 1.138(RH)$	0.65	0.42	5477

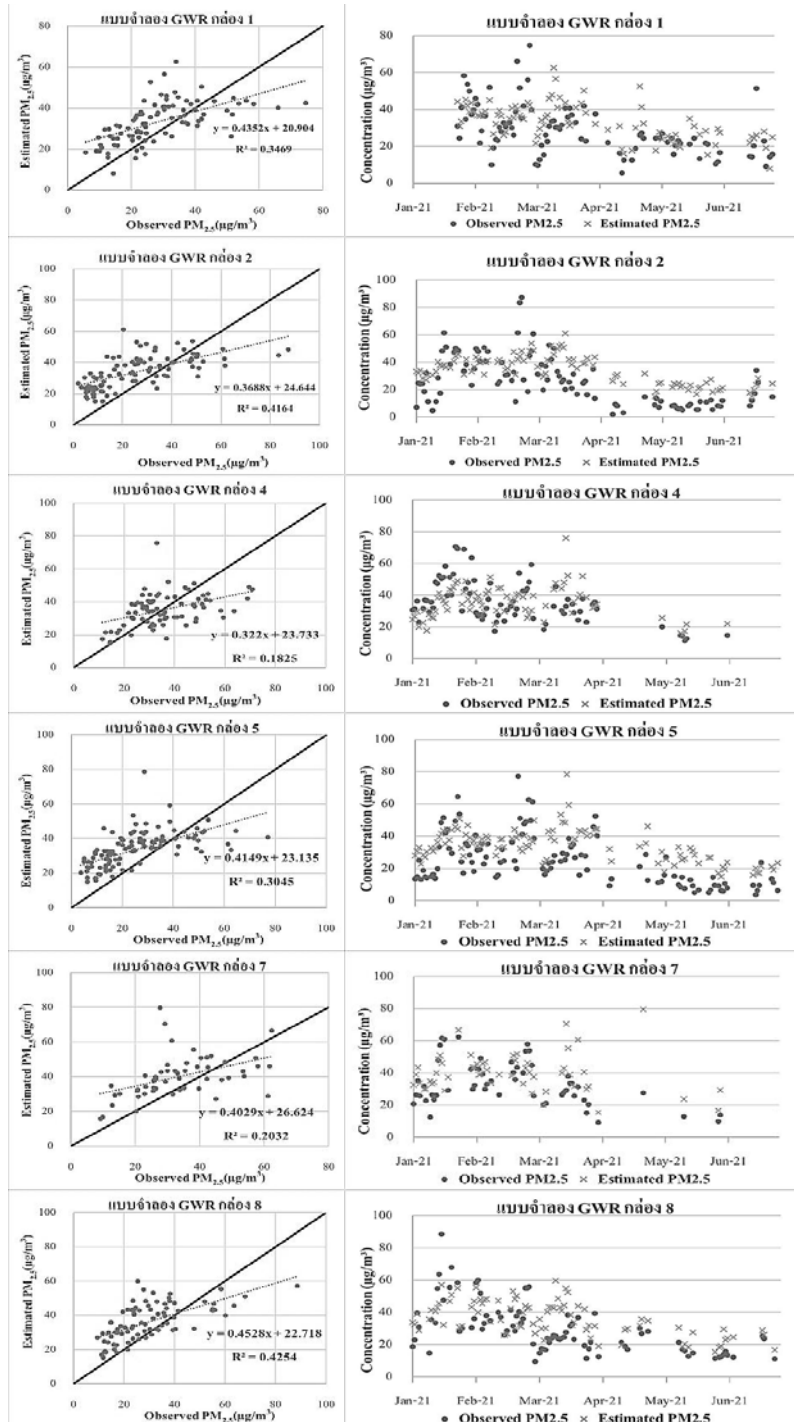
จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ด้วยวิธีการถดถอยถ่วงน้ำหนักภูมิศาสตร์ พบว่า ค่า R ของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ที่ได้จากสมการแบบจำลองถดถอยถ่วงน้ำหนักภูมิศาสตร์ มีค่าเท่ากับ 0.67 และ 0.65 ตามลำดับ ซึ่งการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ด้วยวิธีการถดถอยถ่วงน้ำหนักภูมิศาสตร์ได้ทำการศึกษาด้วยจำนวนข้อมูลเท่ากับแบบจำลองรวมกล่องจากการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ ดังนั้น เมื่อนำข้อมูลทั้งสองมาเปรียบเทียบกันพบว่า ค่า R จากแบบจำลองถดถอยถ่วงน้ำหนักภูมิศาสตร์สูงกว่าแบบจำลองรวมกล่องจากการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ โดยค่าจากการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ มีค่า R ของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} เท่ากับ 0.58 และ 0.52 ตามลำดับ

4.1 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองถดถอยถ่วงน้ำหนักภูมิศาสตร์

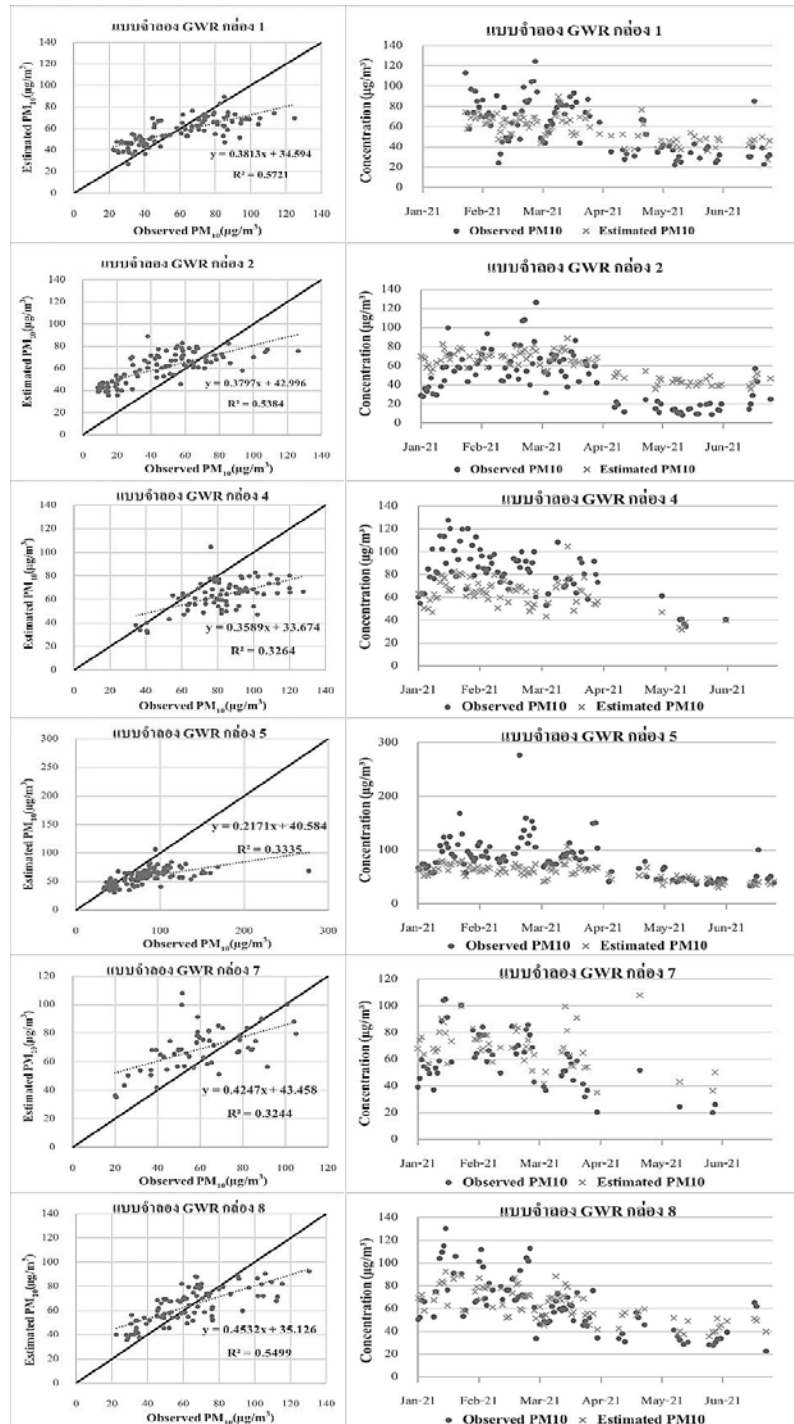
การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองถดถอยถ่วงน้ำหนักภูมิศาสตร์ โดยทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าฝุ่นละอองที่ได้จากการประมาณ (Estimated) กับค่าฝุ่นละอองที่ได้จากการตรวจวัดจริง (Observed) ซึ่งแบบจำลองสร้างจากข้อมูลในช่วงปี พ.ศ. 2556-2563 และนำมาประยุกต์ใช้กับข้อมูลในช่วงวันที่ 1 มกราคม – 30 มิถุนายน พ.ศ. 2564 โดยความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ที่ได้จากแบบจำลองถดถอยถ่วงน้ำหนักภูมิศาสตร์ (Estimated) กับข้อมูล $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ที่ได้จากการตรวจวัดจริง (Observed) แสดงดังตารางที่ 6 ในภาพที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $PM_{2.5}$ ที่ได้จากแบบจำลองถดถอยถ่วงน้ำหนักภูมิศาสตร์กับข้อมูล $PM_{2.5}$ ที่ได้จากการตรวจวัดจริง และภาพที่ 9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง PM_{10} ที่ได้จากแบบจำลองถดถอยถ่วงน้ำหนักภูมิศาสตร์กับข้อมูล PM_{10} ที่ได้จากการตรวจวัดจริง

ตารางที่ 6: ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ที่ได้จากแบบจำลองถดถอยถ่วงน้ำหนักภูมิศาสตร์กับข้อมูล $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ได้จากการตรวจวัดจริง

กลุ่ม	Estimated $PM_{2.5}$ - Observed $PM_{2.5}$				Estimated PM_{10} - Observed PM_{10}			
	R	R ²	RMSE	N	R	R ²	RMSE	N
1	0.59	0.35	11.83	92	0.76	0.57	17.49	93
2	0.65	0.42	15.80	98	0.73	0.54	23.41	98
4	0.43	0.18	12.87	77	0.57	0.33	25.52	77
5	0.55	0.30	15.56	109	0.58	0.33	38.85	109
7	0.45	0.20	14.96	55	0.57	0.32	19.35	55
8	0.65	0.43	13.20	87	0.74	0.55	16.26	87



ภาพที่ 8: การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล $PM_{2.5}$ ที่ได้จากแบบจำลองถดถอยถ่วงน้ำหนักภูมิศาสตร์กับข้อมูล $PM_{2.5}$ ที่ได้จากการตรวจวัดจริง ระหว่างวันที่ 1 มกราคม – 30 มิถุนายน พ.ศ. 2564



ภาพที่ 9: การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล PM₁₀ ที่ได้จากแบบจำลองถดถอยถ่วงน้ำหนักภูมิศาสตร์กับข้อมูล PM₁₀ ที่ได้จากการตรวจวัดจริง ระหว่างวันที่ 1 มกราคม – 30 มิถุนายน พ.ศ. 2564

ผลการประมาณค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง ($PM_{2.5}$ และ PM_{10}) จากแบบจำลองถดถอยถ่วงน้ำหนักภูมิศาสตร์ พบว่า ค่า R และ RMSE ของ $PM_{2.5}$ ที่ได้จากแบบจำลองถดถอยถ่วงน้ำหนักภูมิศาสตร์ (Estimated) กับข้อมูล $PM_{2.5}$ ที่ได้จากการตรวจวัดจริง (Observed) มีค่าอยู่ในช่วง 0.43-0.65 และ 11.83-15.80 $\mu g/m^3$ ตามลำดับ ส่วนค่า R และ RMSE ของ PM_{10} ที่ได้จากแบบจำลองถดถอยถ่วงน้ำหนักภูมิศาสตร์ (Estimated) กับข้อมูล PM_{10} ที่ได้จากการตรวจวัดจริง (Observed) มีค่าอยู่ในช่วง 0.57-0.76 และ 16.26-38.85 $\mu g/m^3$ ตามลำดับ

ผลการศึกษาพบว่า ค่า $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ที่ได้จากแบบจำลองรวมกล่องด้วยวิธีการถดถอยพหุคูณ และแบบจำลองถดถอยถ่วงน้ำหนักภูมิศาสตร์ มีค่า R ใกล้เคียงกัน โดยค่า R และ RMSE ของ $PM_{2.5}$ จากแบบจำลองรวมกล่องด้วยวิธีการถดถอยพหุคูณ กับข้อมูล $PM_{2.5}$ ที่ได้จากการตรวจวัดจริง มีค่าอยู่ในช่วง 0.44-0.66 และ 11.97-15.53 $\mu g/m^3$ ตามลำดับ ส่วนค่า R และ RMSE ของ PM_{10} ที่ได้จากแบบจำลองรวมกล่องด้วยวิธีการถดถอยพหุคูณ กับข้อมูล PM_{10} ที่ได้จากการตรวจวัดจริง มีค่าอยู่ในช่วง 0.58-0.76 และ 16.59-41.05 $\mu g/m^3$ ตามลำดับ

สรุปผลการศึกษา

การศึกษาค้นคว้าความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลฝุ่นละออง ($PM_{2.5}$ และ PM_{10}) กับข้อมูล MODIS AOD และ VIIRS AOD พบว่า ข้อมูล MODIS AOD และ VIIRS AOD มีความสัมพันธ์กันในระดับสูง และเมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง MODIS AOD และ VIIRS AOD กับข้อมูล $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ค่า R ที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน และเมื่อนำข้อมูล VIIRS AOD มาศึกษาความสัมพันธ์ร่วมกับข้อมูลอุตุนิยมวิทยา เพื่อสร้างแบบจำลองสำหรับประมาณค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองบริเวณภาคกลางของประเทศไทย ด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ และการวิเคราะห์การถดถอยแบบถ่วงน้ำหนักภูมิศาสตร์ พบว่า แบบจำลองถดถอยพหุคูณ ซึ่งประกอบด้วย แบบจำลองแยกกล่องและแบบจำลองรวมกล่อง ค่า R ของแบบจำลองรวมกล่อง สำหรับ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} มีค่าเท่ากับ 0.34 และ 0.27 ตามลำดับ และค่า R ของแบบจำลองแยกกล่อง สำหรับ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} มีค่าอยู่ในช่วง 0.49-0.82 และ 0.54-0.79 ตามลำดับ ในส่วนของแบบจำลองถดถอยถ่วงน้ำหนักภูมิศาสตร์ มีค่า R ของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} เท่ากับ 0.67 และ 0.65 ตามลำดับ และเมื่อทำการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง ซึ่งค่า R ที่ได้จากแบบจำลองแยกกล่องด้วยวิธีการถดถอยพหุคูณ ของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} มีค่าอยู่ในช่วง 0.40-0.70 และ 0.56-0.74 ตามลำดับ และค่า R ที่ได้จากแบบจำลองรวมกล่องด้วยวิธีการถดถอยพหุคูณ ของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} มีค่าอยู่ในช่วง 0.44-0.66 และ 0.58-0.76 ตามลำดับ ส่วนแบบจำลองถดถอยถ่วงน้ำหนักภูมิศาสตร์ มีค่า R ของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} อยู่ในช่วง 0.43-0.65 และ 0.57-0.76 ตามลำดับ ซึ่งจากค่า R ที่กล่าวมาข้างต้น แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองทั้ง 3 มีค่า R ที่ใกล้เคียงกัน ดังนั้นในแง่ของการนำแบบจำลองไปใช้งานแบบจำลองรวมกล่องด้วยวิธีการถดถอยพหุคูณ และแบบจำลองถดถอยถ่วงน้ำหนักภูมิศาสตร์ มีความสะดวกต่อการนำไปใช้เนื่องจากมีเพียง 2 สมการ (ประมาณค่า $PM_{2.5}$ 1 สมการ และประมาณค่า PM_{10} 1 สมการ)

ประโยชน์ที่ได้รับ

สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับพื้นที่ที่ไม่มีสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศภาคพื้นดิน ซึ่งจะเป็นประโยชน์สำหรับการวางแผนการจัดการคุณภาพอากาศของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง และลดค่าใช้จ่ายในการติดตั้งอุปกรณ์ในการตรวจวัดภาคพื้นดิน

ข้อเสนอแนะ

ในอนาคตหากมีการเพิ่มขึ้นของสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศจะทำให้ได้ข้อมูลที่น่าสนใจในการพัฒนาแบบจำลองมีมากขึ้น ทำให้ผลที่ได้จากแบบจำลองมีความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น และควรศึกษาปัจจัยอื่นๆ เพิ่มเติม เช่น จุดความร้อน (Hotspot) ซึ่งจะแสดงถึงแหล่งกำเนิดมลพิษได้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากสถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ข้อมูล AOD ดาวเทียมจาก Earthdata (NASA) ข้อมูลฝุ่นละอองและข้อมูลอุตุนิยมวิทยาได้รับความอนุเคราะห์จากกรมควบคุมมลพิษ

เอกสารอ้างอิง

- Bao, V. Q., & Van, T. T. (2021). An empirical relationship between PM_{2.5} and aerosol optical depth from MODIS satellite images for spatial simulation over Ho Chi Minh city. *Vietnam Journal of Science, Technology and Engineering*, 63(4), 73-78.
- Cao, C., Xiong, X., Blonski, S., Liu, Q., Upreti, S., Shao, X., & Weng, F. (2013). Suomi NPP VIIRS sensor data record verification, validation, and long-term performance monitoring. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118(11), 11664-11678.
- Charoenpanyanet, A., & Hemwan, P. (2019). Suitable Model for Estimation of PM_{2.5} Concentration Using Aerosol Optical Thickness (AOT) and Ground based Station: Under the Dome in Upper Northern, Thailand. *International Journal of Geoinformatics*, 15(3), 33-43.
- Fotheringham, A., Brunson, C., & Charlton, M. (2002). *Geographically Weighted Regression: The Analysis of Spatially Varying Relationships*. John Wiley & Sons, 13.
- Gupta, P., Christopher, S. A., Wang, J., Gehrig, R., Lee, Y., & Kumar, N. (2006). Satellite remote sensing of particulate matter and air quality assessment over global cities. *Atmospheric Environment*, 40(30), 5880-5892.
- Han, S., Kundhikanjana, W., Towashiraporn, P., & Stratoulas, D. (2022). Interpolation-Based Fusion of Sentinel-5P, SRTM, and Regulatory-Grade Ground Stations Data for Producing Spatially Continuous Maps of PM_{2.5} Concentrations Nationwide over Thailand. *Atmosphere*, 13(2), 161.
- Hands Schuh, J., Erbertseder, T., Schaap, M., & Baier, F. (2022). Estimating PM_{2.5} surface concentrations from AOD: A combination of SLSTR and MODIS. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 26.
- Levy, R. C., Munchak, L. A., Mattoo, S., Patadia, F., Remer, L. A., & Holz, R. E. (2015). Towards a long-term global aerosol optical depth record: applying a consistent aerosol retrieval algorithm to MODIS and VIIRS-observed reflectance. *Atmospheric Measurement Techniques*, 8(10), 4083-4110.
- Liu, M., Huang, Y., Ma, Z., Jin, Z., Liu, X., Wang, H., . . . Kinney, P. L. (2017). Spatial and temporal trends in the mortality burden of air pollution in China: 2004–2012. *Environment International*, 98, 75-81.
- Mei, L., Zhao, C., de Leeuw, G., Burrows, J. P., Rozanov, V., Che, H., . . . Zhang, X. (2019). A Critical Evaluation of Deep Blue Algorithm Derived AVHRR Aerosol Product Over China. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 124(22), 12173-12193.
- Meteorological Department of Thailand, (2013). Climate in Thailand [In Thai]. Retrieved January 14, 2022, from https://www.tmd.go.th/info/knowledge_weather01_n.html.
- Mongkolpew, S. (2019). *Assessment of the Relationship of Particulate Matter between Satellite and Ground based Measurements in Thailand* [In Thai]. Unpublished Master's thesis, Kasetsart University.

- Muhammad, Z., & Nguyen Thi, K. O. (2015). Relationship of MISR component AODs with black carbon and other ground monitored particulate matter composition. *Atmospheric Pollution Research*, 6(1), 62-69.
- National Aeronautics and Space Administration. (2021). *Instrument Differences MODIS and VIIRS Instruments*. Retrieved January 14, 2022, from <https://darktarget.gsfc.nasa.gov/instrument-differences>.
- Piyapimonsit, C. (2016). *Using IBM SPSS Statistics for Data Analysis* [In Thai]. Bangkok: Kasetsart University.
- Pollution Control Department. (2020). *Thailand State of Report 2020* [In Thai]. Pollution Control Department, Bangkok.
- Popp, T., De Leeuw, G., Bingen, C., Brühl, C., Capelle, V., Chedin, A., . . . Xue, Y. (2016). Development, Production and Evaluation of Aerosol Climate Data Records from European Satellite Observations. *Remote Sensing*, 8(5), 421.
- Sawyer, V., Levy, R. C., Mattoo, S., Cureton, G., Shi, Y., & Remer, L. A. (2020). Continuing the MODIS Dark Target Aerosol Time Series with VIIRS. *Remote Sensing*, 12(2), 308.
- Tsai, T.-C., Jeng, Y.-J., Chu, D. A., Chen, J.-P., & Chang, S.-C. (2011). Analysis of the relationship between MODIS aerosol optical depth and particulate matter from 2006 to 2008. *Atmospheric Environment*, 45(27), 4777-4788.
- Wang, Y., Yuan, Q., Shen, H., Zheng, L., & Zhang, L. (2020). Investigating multiple aerosol optical depth products from MODIS and VIIRS over Asia: Evaluation, comparison, and merging. *Atmospheric Environment*, 230, 117548.
- Wei, J., Li, Z., Sun, L., Yang, Y., Zhao, C., & Cai, Z. (2019). Enhanced Aerosol Estimations From Suomi-NPP VIIRS Images Over Heterogeneous Surfaces. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 57(12), 9534- 9543.
- World Health Organization. (2021). *WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide*. World Health Organization.
- Xiao, Q., Zhang, H., Choi, M., Li, S., Kondragunta, S., Kim, J., . . . Liu, Y. (2016). Evaluation of VIIRS, GOCI, and MODIS Collection 6 AOD retrievals against ground sunphotometer observations over East Asia. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 16(3), 1255-1269.
- Xiong, J. & Butler, J. (2018). MODIS and VIIRS Instrument Status. In *Proceedings of the MODIS-VIIRS Science Team Meeting*. NASA.
- Yao, F., Si, M., Li, W., & Wu, J. (2018). A multidimensional comparison between MODIS and VIIRS AOD in estimating ground-level PM_{2.5} concentrations over a heavily polluted region in China. *Science of The Total Environment*, 618, 819-828.
- Zeeshan, M., & Kim Oanh, N. T. (2014). Assessment of the relationship between satellite AOD and ground PM₁₀ measurement data considering synoptic meteorological patterns and Lidar data. *Science of The Total Environment*, 473-474, 609-618