

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM_{2.5} และลักษณะทางกายภาพของเมืองด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ และแบบจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

The Analysis of the Relationship between 2.5 Particulate Matter Distribution and Physical Characteristics of Urban Area by Using Geographic Information System and Computational Fluid Dynamics

ศิริพัชร มั่งคั่ง¹ พันทิพย์ ปิยะทัศนานนท์² และ สุธาทิพย์ ชวนะเวสสกุล³
Sirapach Mangkang, Pantip Piyatadsananon and Sutatip Chavanavesskul

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นละออง PM_{2.5} และปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาภายในพื้นที่เมือง ด้วยการวิเคราะห์ทางสถิติ ศึกษาลักษณะทางกายภาพของเมืองที่มีผลต่อการไหลเวียนของลม ที่ระดับความสูง 10, 30 และ 100 เมตร และศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นละออง PM_{2.5} และลักษณะทางกายภาพของเมืองจากระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์และแบบจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ พื้นที่เขตวัฒนา กรุงเทพมหานคร ผลการวิจัยพบว่า ความเร็วลมมีความสัมพันธ์ต่อความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM_{2.5} มากที่สุด บริเวณที่มีความหนาแน่นสูงของอาคารสูงในพื้นที่ ทำให้การไหลเวียนของลมในพื้นที่ลดลง เช่นเดียวกับความหนาแน่นของอาคารในแต่ละระดับความสูง ก็ส่งผลต่อการไหลเวียนของลมเช่นเดียวกัน และโดยส่วนใหญ่แล้วกระแสลมมีความสัมพันธ์ต่อลักษณะทางกายภาพของอาคารในรูปแบบ Staggered Buildings ที่ลมจะเคลื่อนที่ผ่านช่องว่างระหว่างอาคาร และรูปแบบ Channelling ที่ลมจะเคลื่อนที่ผ่านช่องว่างในแนวเดียวกัน เช่น ถนน และซอย เป็นต้น และเมื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นละออง PM_{2.5} และลักษณะทางกายภาพของเมือง พบว่าทั้งสองมีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน โดยบริเวณพื้นที่ที่มีความหนาแน่นของอาคารสูงในพื้นที่สูงที่สุด ค่าความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{2.5} ตลอดทั้งปี ก็มีความเข้มข้นที่สูงที่สุดด้วย

¹นิสิตหลักสูตรมหาบัณฑิตสาขานิติศาสตร์ คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ กรุงเทพฯ

Master's degree student in Geoinformatics, Faculty of Social Sciences, Srinakharinwirot University, Bangkok.

²ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประจำสาขาวิชาภูมิสารสนเทศ สำนักวิชาวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา
Assistant Professor, School of Remote Sensing, Institute of Science, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima Province.

³อาจารย์ ดร. ประจำภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ กรุงเทพฯ

Lecturer, Department of Geography, Faculty of Social Sciences, Srinakharinwirot University, Bangkok.

Corresponding author e-mail: sirapach.mim@hotmail.com

ARTICLE HISTORY: Received 06 June 2021, Revised 02 July 2021, Accepted 13 September 2021

เช่นกัน และในบริเวณพื้นที่ที่มีความหนาแน่นของอาคารสูง ในพื้นที่ต่ำที่สุด ค่าความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{2.5} ตลอดทั้งปีก็มีความเข้มข้นที่ต่ำที่สุดเช่นกัน เมื่อพิจารณาจากแหล่งกำเนิดมลพิษ การพัดพาและแปรสภาพของมลพิษ ปัจจัยทางด้านอุตุนิยมวิทยา และลักษณะทางกายภาพของเมืองในบริเวณพื้นที่นั้น ปัจจัยเหล่านี้ส่งผลต่อการเกิดปัญหาฝุ่นละออง PM_{2.5} จากการศึกษาที่สรุปได้ว่าการวางผังเมืองและการออกแบบช่องว่างระหว่างอาคารของเมืองอัจฉริยะ (Smart City) ที่คำนึงถึงการไหลเวียนของลม และการระบายอากาศที่ดี จะช่วยให้ลมพัดพาฝุ่นละออง PM_{2.5} ให้แพร่กระจายตัวออกจากพื้นที่ได้ดีมากขึ้น

คำสำคัญ: ฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM_{2.5} ลักษณะทางกายภาพของเมือง การไหลเวียนของกระแสลมในพื้นที่เมืองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

Abstract

This research aims to study the relationship between Particulate Matter 2.5 and meteorological factors in urban areas. The statistical analysis was used to study the physical characteristics of urban areas considering the wind flow at altitudes of 10, 30, and 100 meters. The computational fluid dynamics model and the Geographic Information System were integrated to perform the dynamic model of Particulate Matter 2.5 associated with urban physical characteristics. Wattana district of Bangkok was selected as the study area. The research finds that wind speed was mostly correlated with Particulate Matter 2.5 concentrations. In addition, the high density of high-rise buildings can reduce local wind circulation efficiency. The findings clearly show that wind current is associated with the building appearances, staggered buildings, and channeling. It is also confirmed that Particulate Matter 2.5 is related to the physical characteristics of an urban area. In the areas with the highest building density, Particulate Matter 2.5 concentrations throughout the year are also highest. In the areas with the lowest building density, Particulate Matter 2.5 concentrations are also at the lowest concentration throughout the year. Due to the source of pollution, the transport and the conversion of pollution, meteorological factors, and the physical characteristics of urban areas in the areas that affected the problem with Particulate Matter 2.5. By taking into account the flow of wind and good ventilation in urban planning and the design of the spaces between the buildings of a Smart City, it will help the wind blow the Particulate Matter 2.5 to better spread out across the area.

Keywords: *Particulate Matter 2.5, Urban physical characteristics, Wind flow in urban areas, Computational fluid dynamics*

บทนำ

ฝุ่นละออง PM_{2.5} เป็นปัญหาสำคัญที่เมืองใหญ่ทั่วโลกกำลังประสบ (WHO, 2019) ก่อให้เกิดโรคต่าง ๆ โดยเฉพาะโรคระบบทางเดินหายใจและปอด ฝุ่นละออง PM_{2.5} มีสาเหตุการเกิดมาจากแหล่งกำเนิดมลพิษ ทั้งจากธรรมชาติและมนุษย์สร้างขึ้น (กรมควบคุมมลพิษ, 2554) การพัฒนาและแปรสภาพของมลพิษ และลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ที่เกิดจากสภาพแวดล้อมและสภาพอุตุนิยมวิทยา มีผลต่อการแพร่กระจายของมลพิษ (กรมควบคุมมลพิษ, 2561) พื้นที่เขตวัฒนา กรุงเทพมหานคร เป็นพื้นที่เมืองที่ประสบปัญหาฝุ่นละออง PM_{2.5} (กรมควบคุมมลพิษ, 2562) มีลักษณะทางกายภาพและสภาพแวดล้อมภายในพื้นที่ที่มีความหนาแน่นของความเป็นเมืองสูง (สำนักงานเขตวัฒนา, 2554) อาจส่งผลต่อการเกิดปัญหาของฝุ่นละอองภายในพื้นที่ กีดขวางการไหลเวียนของลม ก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางอากาศ (วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์, 2543)

การศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM_{2.5} กับการไหลเวียนของลมภายในพื้นที่จากลักษณะทางกายภาพของเมือง โดยประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ร่วมกับพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ เพื่อทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM_{2.5} และการไหลเวียนของลมจากลักษณะทางกายภาพของเมือง ก่อให้เกิดแนวทางการลดปัญหามลพิษทางอากาศ และเป็นแนวทางในการวางผังเมืองของเมืองใหม่ (Smart city) เพื่อบรรเทาปัญหาด้านมลพิษทางอากาศในพื้นที่เมือง สร้างความยั่งยืนต่อสิ่งแวดล้อมและประชากรที่อาศัยอยู่ในพื้นที่

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นละอองขนาดเล็ก PPM_{2.5} และปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาภายในพื้นที่เมืองด้วยการวิเคราะห์ทางสถิติ
2. เพื่อศึกษาลักษณะทางกายภาพของเมืองที่มีผลต่อการไหลเวียนของลมภายในพื้นที่เมืองที่ระดับความสูง 10, 30 และ 100 เมตร
3. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM_{2.5} และลักษณะทางกายภาพของเมืองด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์และแบบจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

ขอบเขตของการวิจัย

1. **ขอบเขตด้านพื้นที่** ได้แก่ เขตวัฒนา กรุงเทพมหานคร จำแนกได้ 5 พื้นที่ที่มีความหนาแน่นอาคารต่อพื้นที่เขตวัฒนา ที่ระดับความสูง 30 และ 100 เมตร ตามลำดับ ดังนี้ 1) พื้นที่ A คือ ย่านอโศก เป็นย่านเศรษฐกิจสำคัญของประเทศ ตั้งอยู่บนถนนอโศกมนตรีเชื่อมกับถนนสุขุมวิท มีความหนาแน่นอาคารสูงที่สุด เท่ากับร้อยละ 1.41 และ 0.65 ตามลำดับ 2) พื้นที่ B คือ ย่านสุขุมวิท - พร้อมพงษ์ เป็นย่านที่เชื่อมต่อกับย่านอโศก มีความหนาแน่นต่ำกว่าพื้นที่ A เท่ากับร้อยละ 0.69 และ 0.29 ตามลำดับ 3) พื้นที่ C คือ ย่านสุขุมวิท - ทองหล่อ เป็นย่านศูนย์กลางทางธุรกิจอีกแห่งหนึ่งที่เชื่อมต่อมาจากย่านอโศก มีความหนาแน่นร้อยละ 0.56 และ 0.17 ตามลำดับ 4) พื้นที่ D คือ ย่านเอกมัย - พระโขนง มีความหนาแน่นอาคารสูงลดลง เท่ากับร้อยละ 0.14 และ 0.02 ตามลำดับ 5) พื้นที่ E คือ ย่านพระโขนง - คลองตัน มีถนนสุขุมวิท 71 เชื่อมระหว่างถนนสุขุมวิท และถนนรามคำแหง เข้าสู่พื้นที่ใจกลางเมือง ความหนาแน่นของอาคารสูงต่ำกว่าพื้นที่อื่น ส่วนใหญ่ภายในพื้นที่ประกอบด้วยชุมชนมีความหนาแน่นร้อยละ 0.14 และ 0.01 ตามลำดับ (ภาพที่ 1)

2. ขอบเขตด้านเนื้อหา ได้แก่

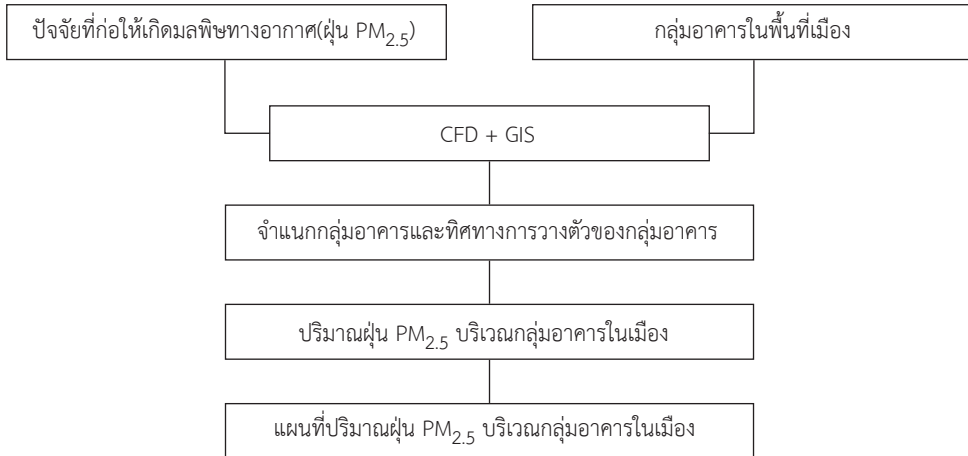
2.1 ข้อมูลฝุ่นละออง PM2.5 เฉลี่ยรายวัน พ.ศ. 2562 จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ กรมควบคุมมลพิษ ได้แก่ สถานีริมถนนพระราม 4 สถานีริมถนนดินแดง สถานีกรมอุตุฯนิคมวิทยา บางนา สถานีสำนักงานการเคหะชุมชนคลองจั่น สถานีสนามกีฬาการเคหะชุมชนห้วยขวาง สถานีโรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) และสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศของสำนักสิ่งแวดล้อม กรุงเทพมหานคร ได้แก่ สถานีเขตคลองเตย

2.2 ข้อมูลด้านอุตุฯนิคมวิทยา ได้แก่ ข้อมูลอุณหภูมิ ความชื้น ความเร็วลม เฉลี่ยรายวัน และความถี่ของทิศทางลม ที่เกิดในแต่ละเดือนของปี พ.ศ. 2562 จากระบบตรวจวัดสภาพอากาศอัตโนมัติ จากกรมอุตุฯนิคมวิทยา บางนา ยกเว้นเดือนตุลาคม เนื่องจากไม่ได้มีการบันทึกข้อมูลในเดือนนั้น

2.3 ขอบเขตด้านข้อมูลขอบเขตอาคาร (BLDG) เป็นข้อมูลที่อยู่ในรูปแบบข้อมูลทางด้านระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ของปี พ.ศ. 2560 พื้นที่เขตวัฒนา จากสำนักการวางผังและพัฒนาเมือง กรุงเทพมหานคร



ภาพที่ 1 พื้นที่ศึกษา



ภาพที่ 2 กรอบความคิดที่ใช้วิจัย

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การศึกษาความสัมพันธ์ทางสถิติระหว่างความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM_{2.5} และปัจจัยทางด้านอุตุนิยมวิทยาที่มีความสัมพันธ์ต่อกัน ด้วยการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (Correlation Analysis) เพื่อหาความสัมพันธ์ ด้วยซอฟต์แวร์ทางสถิติ โดยใช้โปรแกรม SPSS for Windows
2. การจำลองการไหลเวียนของลมภายในพื้นที่ โดยใช้แบบจำลองปั่นป่วน (Turbulence Models) เพื่อศึกษาลักษณะทางกายภาพของเมืองที่มีผลต่อการไหลเวียนของลมภายในพื้นที่เมืองที่ระดับความสูง 10, 30 และ 100 เมตร ซึ่งการเคลื่อนที่ของลมจะได้รับอิทธิพลจากความขรุขระของพื้นที่ที่แตกต่างกันตามระดับความสูง (Oke, 1988) ด้วยการสร้างแบบจำลองการไหลเวียนของลม ด้วยซอฟต์แวร์ทางด้านระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ โดยใช้โปรแกรม ArcGIS และซอฟต์แวร์ด้านพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ ด้วยการใช้โปรแกรม Autodesk CFD รายเดือน จากค่าเฉลี่ยความเร็วลมและความถี่ของทิศทางลมที่เกิดขึ้นในแต่ละเดือนของปี พ.ศ. 2562
3. การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นละออง PM_{2.5} และลักษณะทางกายภาพของเมืองด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์และแบบจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ ด้วยการจัดทำแผนที่ความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM_{2.5} เฉลี่ยรายเดือน โดยการนำข้อมูลฝุ่นละออง PM_{2.5} ที่ได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศที่นำมาใช้ในการศึกษา ร่วมกับการใช้วิธี Thiessen polygon เพื่อช่วยกระจายจุดข้อมูลให้มีความถี่มากขึ้น และนำไปใช้ในประมาณค่าเชิงพื้นที่แบบ Kriging ให้มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น และนำไปหาความสัมพันธ์ร่วมกับลักษณะทางกายภาพของเมืองด้วยการ Overlay ข้อมูลผลลัพธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM_{2.5} และลักษณะทางกายภาพของเมืองในแต่ละเดือนของปี พ.ศ. 2562

ผลการวิจัย

1. การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM_{2.5} กับปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาภายในพื้นที่เมือง

ความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นละออง PM_{2.5} กับปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาด้วยการวิเคราะห์ข้อมูลในรูปแบบรายปี ปี พ.ศ. 2562 พบว่าฝุ่นละออง PM_{2.5} มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 25.13 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (S.D. = 14.22) อุณหภูมิ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 29.17 องศาเซลเซียส (S.D. = 1.82) ความชื้นมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 74.45 เปอร์เซ็นต์ (S.D. = 8.54) ความเร็วลมมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.38 กิโลเมตรต่อชั่วโมง (S.D. = 2.00) โดยที่อุณหภูมิมีความสัมพันธ์ต่อฝุ่นละออง PM_{2.5} ในทางลบหรือทางตรงกันข้าม ($r = 0.272$) ความชื้นมีความสัมพันธ์ต่อฝุ่นละออง PM_{2.5} ในทางลบหรือทางตรงกันข้าม ($r = 0.240$) และความเร็วลมมีความสัมพันธ์ต่อฝุ่นละออง PM_{2.5} ในทางลบหรือทางตรงกันข้าม ($r = 0.385$) ดังนั้นจะเห็นได้ว่าปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาที่มีผลต่อความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM_{2.5} มากที่สุดคือความเร็วลม ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1: ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลฝุ่นละออง PM_{2.5} กับปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา

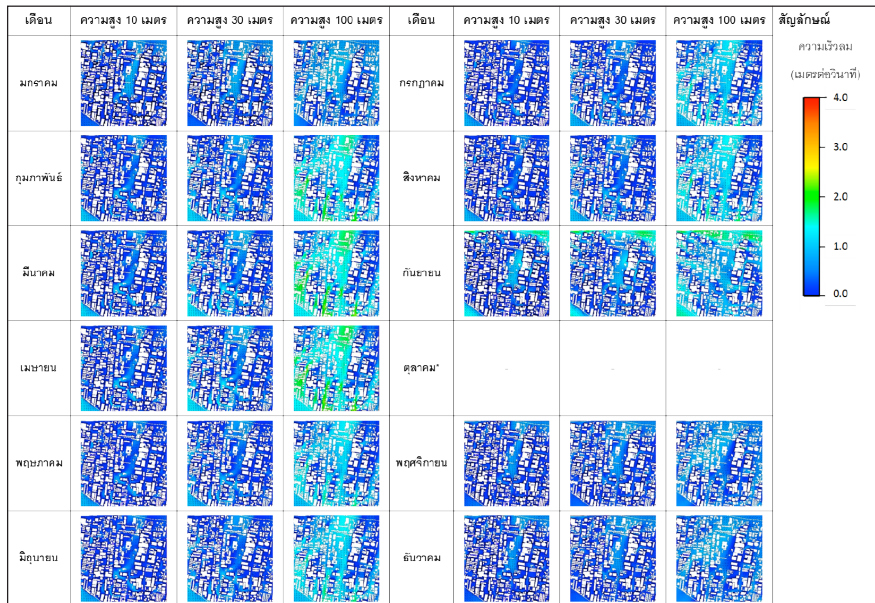
ตัวแปร	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน (Pearson Correlation Coefficient)			
	ฝุ่นละออง PM _{2.5}	อุณหภูมิ	ความชื้น	ความเร็วลม
1.1 ฝุ่นละออง PM _{2.5}	1.000	-	-	-
1.2 อุณหภูมิ	-0.272	1.000	-	-
1.3 ความชื้น	-0.240	0.121	1.000	-
1.4 ความเร็วลม	-0.385	0.490	-0.029	1.000

จากตารางที่ 1 พบว่า เมื่ออุณหภูมิมีค่าสูงขึ้น ฝุ่นละออง PM_{2.5} จะมีค่าความเข้มข้นต่ำและในขณะเดียวกัน เมื่ออุณหภูมิต่ำลงในช่วงฤดูหนาว หรือจากการเกิดปรากฏการณ์อุณหภูมิผกผัน ฝุ่นละออง PM_{2.5} จะมีค่าความเข้มข้นสูงขึ้น ในส่วนความชื้นมีค่าสูงขึ้น ฝุ่นละออง PM_{2.5} จะมีค่าความเข้มข้นต่ำลง และในขณะเดียวกัน เมื่อความชื้นต่ำลง ฝุ่นละออง PM_{2.5} จะมีค่าความเข้มข้นสูงขึ้น สอดคล้องกับอุณหภูมิ และในส่วนของความเร็วลม ความเร็วลมสูง ลมจะพัดพาฝุ่นละอองให้ฟุ้งกระจายออกจากพื้นที่ ฝุ่นละออง PM_{2.5} จึงมีค่าความเข้มข้นต่ำ และในขณะเดียวกัน เมื่อความเร็วลมต่ำ ลมไม่สามารถพัดพาความเข้มข้นของฝุ่นละอองออกจากพื้นที่ได้ เกิดการสะสมตัวในพื้นที่ ฝุ่นละออง PM_{2.5} จึงมีค่าความเข้มข้นสูงขึ้น

2. การศึกษาลักษณะทางกายภาพของเมืองที่มีผลต่อการไหลเวียนของลมภายในพื้นที่เมืองที่ระดับความสูง 10, 30 และ 100 เมตร

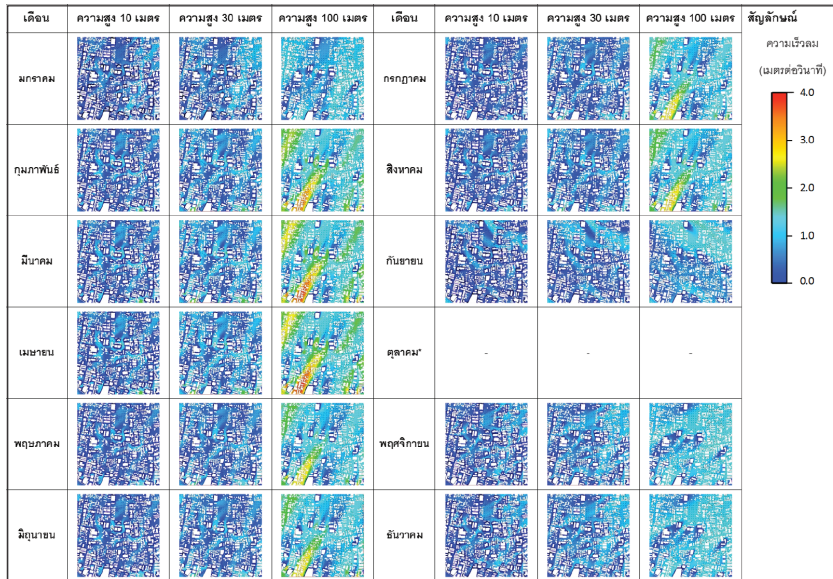
การศึกษาลักษณะทางกายภาพของเมืองที่มีผลต่อการไหลเวียนของลมภายในพื้นที่เมืองที่ระดับความสูง 10, 30 และ 100 เมตร ในบริเวณพื้นที่ A, B, C, D และ E ภายในเขตวัฒนา ได้มาซึ่งผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการไหลเวียนของกระแสลมกับกลุ่มอาคาร (Bennett, 2007) ดังนี้

พื้นที่ A ผลลัพธ์ที่ได้จากการสร้างแบบจำลองการไหลเวียนของกระแสลม พบว่า ที่ระดับความสูง 10 เมตร มีรูปแบบการเคลื่อนที่ของกระแสลมแบบ Staggered Buildings ที่ลมจะเคลื่อนที่ผ่านช่องว่างระหว่างอาคาร เช่น บริเวณโรงเรียนวัฒนาวิทยาลัย และแบบ Channelling ที่ลมจะเคลื่อนที่ผ่านช่องว่างในแนวเดียวกัน พบในแนวถนนอโศกมนตรี และซอยสุขุมวิท 13 เป็นต้น ที่ระดับความสูง 30 เมตร มีรูปแบบการเคลื่อนที่ของกระแสลมแบบ Staggered Buildings และแบบ Channelling เช่นเดียวกับที่ระดับความสูง 10 เมตร ที่ระดับความสูง 100 เมตร มีรูปแบบการเคลื่อนที่ของกระแสลมแบบ Staggered Buildings ดังภาพที่ 3



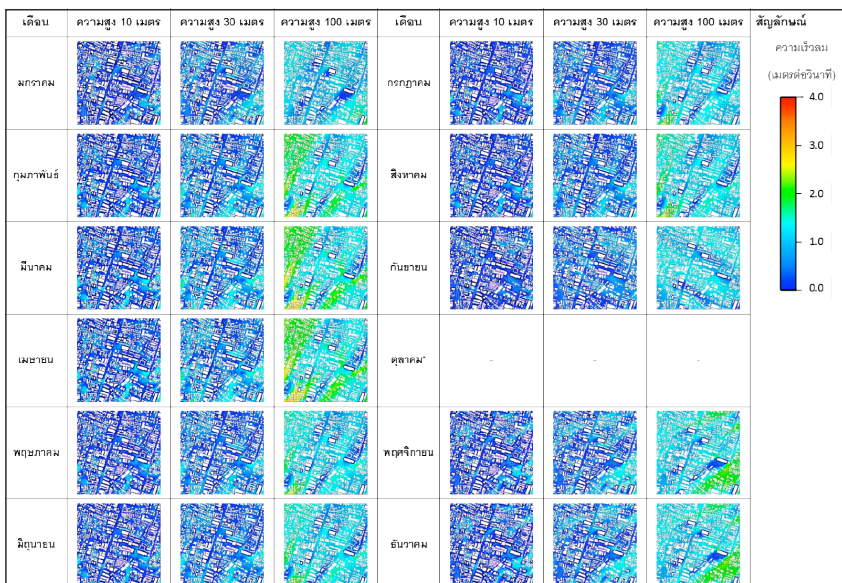
ภาพที่ 3 การไหลเวียนของลมบริเวณพื้นที่ A ที่ระดับความสูง 10, 30 และ 100 เมตร

พื้นที่ B ผลลัพธ์ที่ได้จากการสร้างแบบจำลอง พบว่า ที่ระดับความสูง 10 เมตร มีรูปแบบการเคลื่อนที่ของกระแสลมแบบ Staggered Buildings ลมจะเคลื่อนที่ผ่านช่องว่างระหว่างอาคาร เช่น บริเวณซอยสุขุมวิท 33, ซอยพร้อมศรี 1 และ 2 และแบบ Channelling ลมจะเคลื่อนที่ผ่านช่องว่างในแนวเดียวกัน เช่น ซอยสุขุมวิท 39 ยกเว้นเดือนมกราคม มีรูปแบบการไหลเวียนของกระแสลมแบบ Courtyards บริเวณซอยพร้อมศรี ลมจะเคลื่อนที่ข้ามเขตพื้นที่ของอาคาร จากปัจจัยด้านขนาดของพื้นที่เปิดโล่ง และทิศทางลม ที่ระดับความสูง 30 และ 100 เมตร เมตร มีรูปแบบการเคลื่อนที่ของกระแสลมแบบ Staggered Buildings ดังภาพที่ 4



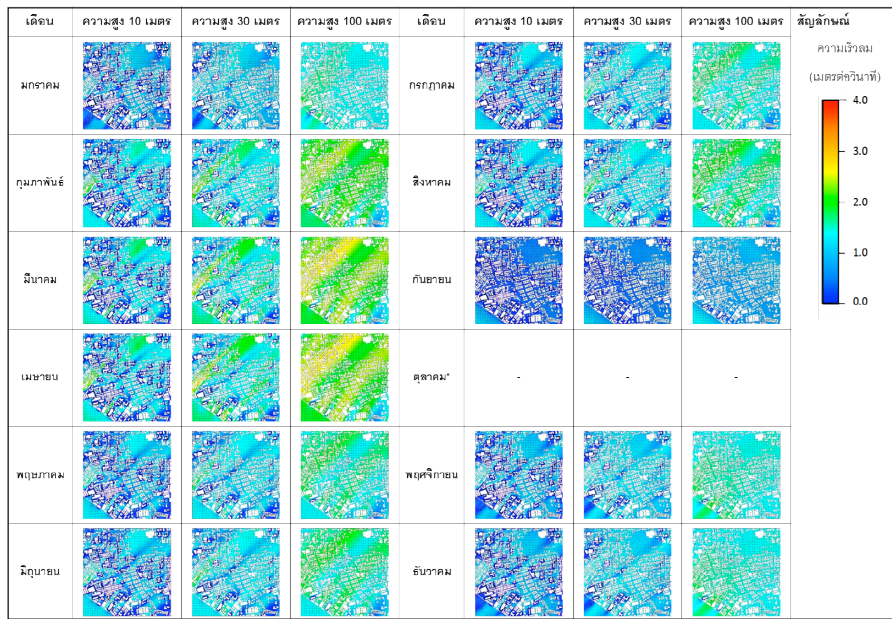
ภาพที่ 4 การไหลเวียนของลมบริเวณพื้นที่ B ที่ระดับความสูง 10, 30 และ 100 เมตร

พื้นที่ C ผลลัพธ์ที่ได้จากการสร้างแบบจำลอง พบว่า ที่ระดับความสูง 10 เมตร มีรูปแบบการเคลื่อนที่ของกระแสลมแบบ Staggered Buildings ที่ลมจะเคลื่อนที่ผ่านช่องว่างระหว่างอาคาร เช่น บริเวณซอยธารารมณี 2 และแบบ Channelling ที่ลมจะเคลื่อนที่ผ่านช่องว่างระหว่างถนน เช่น แนวถนนสุขุมวิท 55 ที่ระดับความสูง 30 และ 100 เมตร มีรูปแบบการเคลื่อนที่ของกระแสลมแบบ Staggered Buildings ดังภาพที่ 5



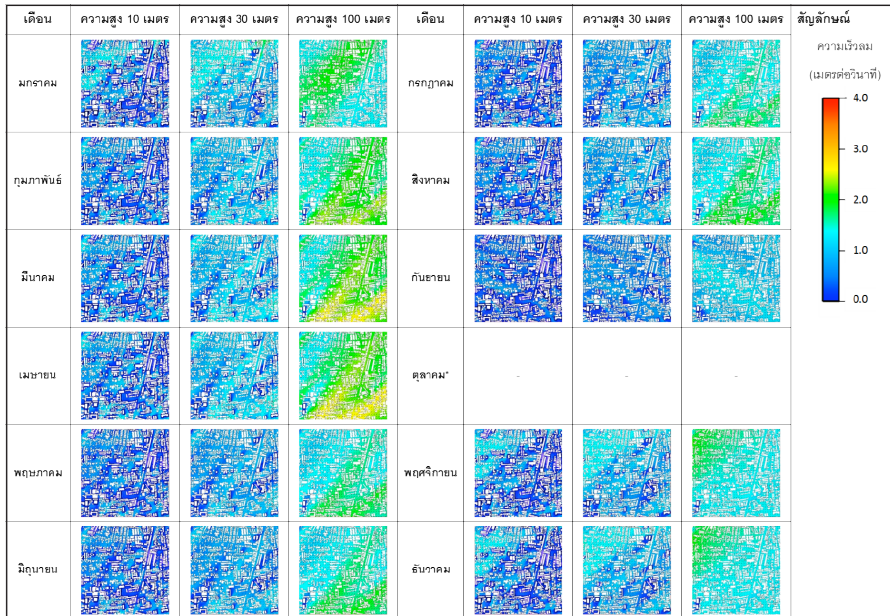
ภาพที่ 5 การไหลเวียนของลมบริเวณพื้นที่ C ที่ระดับความสูง 10, 30 และ 100 เมตร

พื้นที่ D ผลลัพธ์จากการสร้างแบบจำลอง พบว่า ที่ระดับความสูง 10 เมตร มีรูปแบบการเคลื่อนที่ของกระแสลมแบบ Staggered Buildings ที่ลมจะเคลื่อนที่ผ่านช่องว่างระหว่างอาคาร เช่น บริเวณซอยสุขุมวิท 65 และบริเวณซอยเอกมัย 2 และซอยเอกมัย 4 เป็นต้น ที่ระดับความสูง 30 และ 100 เมตร มีรูปแบบการเคลื่อนที่ของกระแสลมแบบ Staggered Buildings เช่นเดียวกับที่ระดับความสูง 10 เมตร ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 การไหลเวียนของลมบริเวณพื้นที่ D ที่ระดับความสูง 10, 30 และ 100 เมตร

พื้นที่ E ผลลัพธ์จากการสร้างแบบจำลอง พบว่า ที่ระดับความสูง 10 เมตร มีรูปแบบการเคลื่อนที่ของกระแสลมแบบ Staggered Buildings ที่ลมจะเคลื่อนที่ผ่านช่องว่างระหว่างอาคาร เช่น ในบริเวณซอยเยาวราช และซอยปรีดี พนมยงค์ 43 เป็นต้น และแบบ Channelling ที่ลมจะเคลื่อนที่ผ่านช่องว่างในแนวเดียวกัน เช่น บริเวณถนนสุขุมวิท 71 เป็นต้น ที่ระดับความสูง 30 และ 100 เมตร มีรูปแบบการเคลื่อนที่ของกระแสลมแบบ Staggered Buildings เช่นเดียวกับที่ระดับความสูง 10 เมตร ดังภาพที่ 7

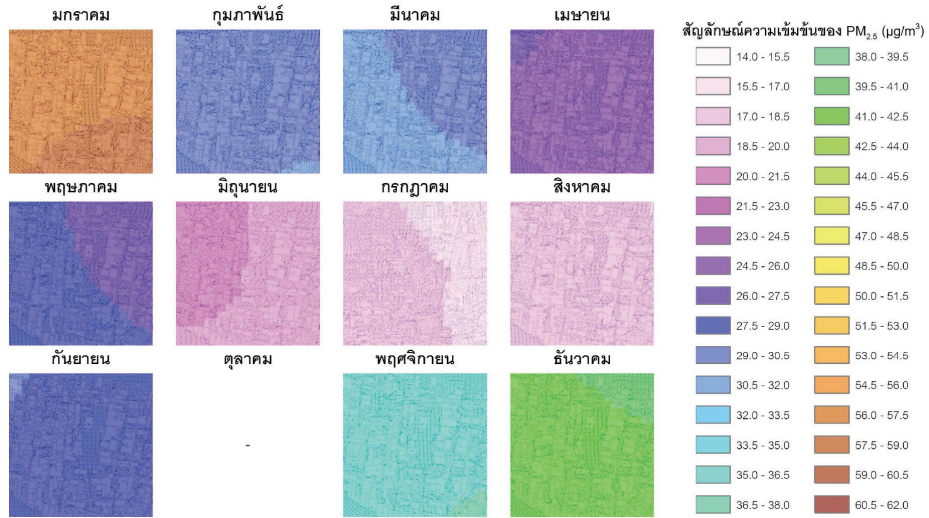


ภาพที่ 7 การไหลเวียนของลมบริเวณพื้นที่ E ที่ระดับความสูง 10, 30 และ 100 เมตร

3. การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM_{2.5} และลักษณะทางกายภาพของเมือง

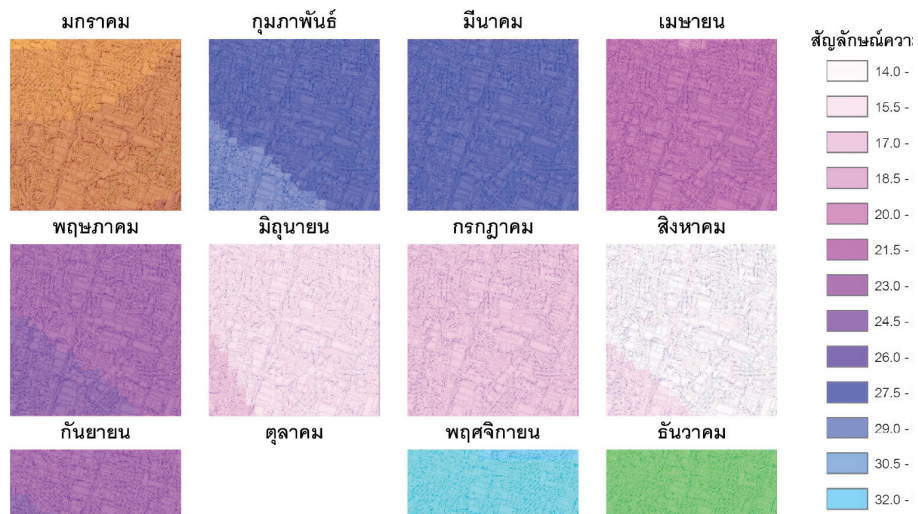
การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM_{2.5} และลักษณะทางกายภาพของเมืองด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์และแบบจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ ในบริเวณพื้นที่ A, B, C, D และ E ภายในเขตพัฒนา ได้มาซึ่งผล ดังนี้

พื้นที่ A มีค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM_{2.5} สูงที่สุดในเดือนมกราคม (56.0 – 59.0 µg/m³) รองลงมา คือ ธันวาคม (39.5 – 42.5 µg/m³) และพฤศจิกายน (35.0 – 38.0 µg/m³) ตามลำดับ และมีค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM_{2.5} ต่ำที่สุดในเดือนสิงหาคม (15.5 – 18.5 µg/m³) ทั้งนี้เดือนมกราคมจะมีค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM_{2.5} สูง (57.5 – 59.0 µg/m³) ในบริเวณที่มีการกระจุกตัวของอาคารสูงหนาแน่น และมีความเร็วลมต่ำ เช่น ในบริเวณแนวถนนอโศกมนตรี ด้านซอยสุขุมวิท 19 บริเวณอาคารรัชต์ภาคย์ อโศก และเสริมมิตร ทาวเวอร์ ด้านซอยสุขุมวิท 23 บริเวณอาคารอโศก เฟลส, พี เอส ทาวเวอร์ และประสานมิตรธานี ในซอยสุขุมวิท 15 บริเวณโรงแรมโซฟิเทล และอาคารเดอะเทรนต์ เป็นต้น ดังภาพที่ 8



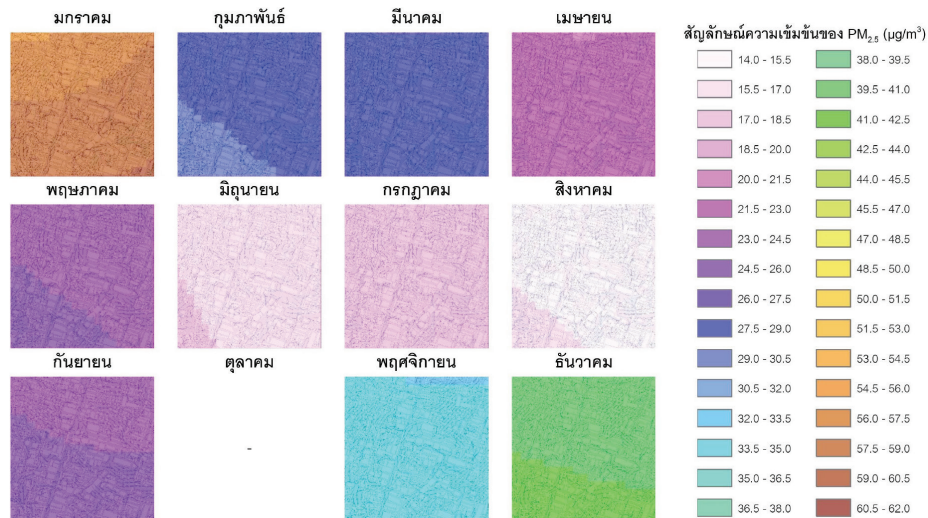
ภาพที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่น PM_{2.5} และลักษณะทางกายภาพของเมือง รายเดือน ปี 2562 พื้นที่ A

บริเวณพื้นที่ B มีค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM_{2.5} สูงที่สุดในเดือนมกราคม (54.5 – 60.5 µg/m₃) รองลงมา คือ ธันวาคม (39.5 – 44.0 µg/m₃) และพฤศจิกายน (33.5 – 38.0 µg/m₃) ตามลำดับ และมีค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM_{2.5} ต่ำที่สุดในเดือนสิงหาคม (13.0 – 18.5 µg/m₃) ทั้งนี้เดือนมกราคมจะมีค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM_{2.5} สูงกว่าบริเวณอื่น (59.0 – 60.5 µg/m₃) ในบริเวณพื้นที่ที่มีความหนาแน่นของอาคารสูงในซอยที่ติดกับแนวถนนสุขุมวิท เช่น บริเวณต้นซอยสุขุมวิท 35 และบริเวณศูนย์การค้าเอ็มควอเทียร์, จีเอส แมนชั่น และอาคารพาณิชย์กรรมในบริเวณนั้น เป็นต้น ดังภาพที่ 9



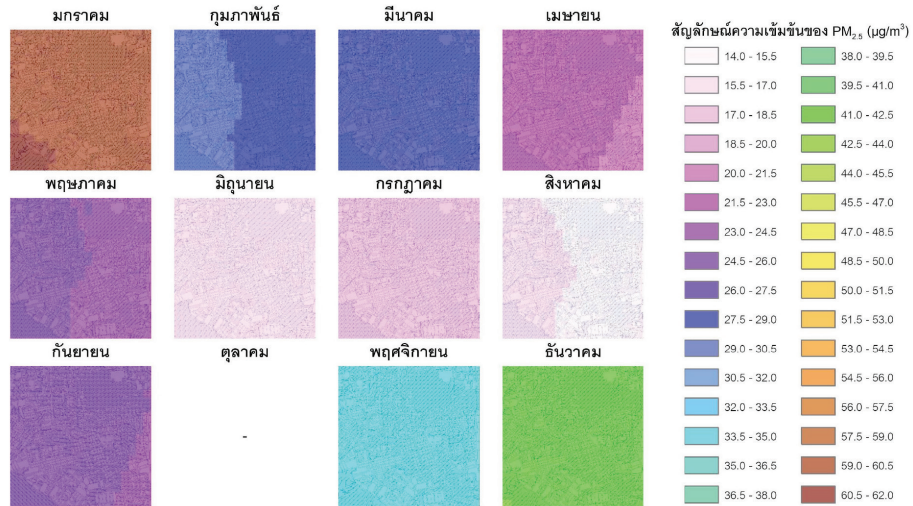
ภาพที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่น PM_{2.5} และลักษณะทางกายภาพของเมือง รายเดือน ปี 2562 พื้นที่ B

บริเวณพื้นที่ C มีค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM_{2.5} สูงที่สุดในเดือนมกราคม (54.5 – 60.5 µg/m³) รองลงมา คือ ธันวาคม (39.5 – 42.5 µg/m³) และพฤศจิกายน (32.0 – 35.0 µg/m³) ตามลำดับ และมีค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM_{2.5} ต่ำที่สุดในเดือนสิงหาคม (13.0 – 17.0 µg/m³) ทั้งนี้เดือนมกราคมจะมีค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM_{2.5} สูงกว่าบริเวณอื่น (59.0 – 60.5 µg/m³) ในบริเวณคอนโดมิเนียม ซิล บายแสนสิริ ในซอยเอกมัย 12 และบริเวณที่มีอาคารสูงหนาแน่นและความเร็วลมต่ำ ในบริเวณที่ใกล้แนวถนนสุขุมวิท 55 เช่น ในบริเวณซอยธารารามณ์ 2, ซอยทองหล่อ 8, 13, 15 และ 18 เท่ากับ 57.5 – 59.0 µg/m³ ดังภาพที่ 10



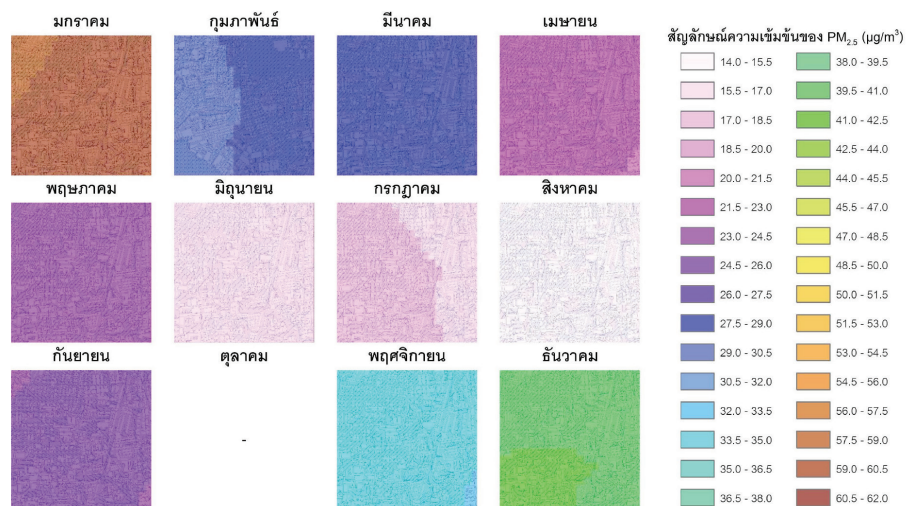
ภาพที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่น PM_{2.5} และลักษณะทางกายภาพของเมือง รายเดือน ปี 2562 พื้นที่ C

บริเวณพื้นที่ D มีค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM_{2.5} สูงที่สุดในเดือนมกราคม (59.0 – 62.0 µg/m³) รองลงมา คือ ธันวาคม (39.5 – 42.5 µg/m³) และพฤศจิกายน (32.0 – 35.0 µg/m³) ตามลำดับ และมีค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM_{2.5} ต่ำที่สุดในเดือนสิงหาคม (13.0 – 17.0 µg/m³) ทั้งนี้เดือนมกราคม มีค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM_{2.5} สูงกว่าบริเวณอื่น (60.5 – 62.0 µg/m³) ในบริเวณอาคารที่อยู่ใต้วงถนนสุขุมวิท เช่น บริเวณไลฟ์ แอท สุขุมวิท เดอะลอฟท์ เอกมัย และโรงพยาบาลสุขุมวิท เป็นต้น ดังภาพที่ 11



ภาพที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่น PM_{2.5} และลักษณะทางกายภาพของเมือง
รายเดือน ปี 2562 พื้นที่ D

บริเวณพื้นที่ E ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM_{2.5} สูงที่สุดในเดือนมกราคม (57.0 – 60.5 µg/m³) รองลงมา คือ ธันวาคม (39.5 – 42.5 µg/m³) และพฤศจิกายน (32.0 – 35.0 µg/m³) ตามลำดับ และมีค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM_{2.5} ต่ำที่สุดในเดือนสิงหาคม (13.0 – 17.0 µg/m³) ทั้งนี้เดือนมกราคมจะมีค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM_{2.5} สูงกว่าบริเวณอื่น (59.0 – 60.5 µg/m³) ในแนวนอนสุขุมวิท 71 เชื่อมจากแยกคลองตันและถนนเพชรบุรี เช่น บริเวณอาคารพาณิชย์กรรมหรือตึกแถวที่ตั้งเรียงอยู่ตามแนวถนน และบริเวณซอยปรีดี พนมยงค์ 37 บริเวณเดอะพาร์คเลน ทาวนโฮม และ เซเวนเดย์ อพาร์ทเมนท์ เป็นต้น ดังภาพที่ 12



ภาพที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่น PM_{2.5} และลักษณะทางกายภาพของเมือง
รายเดือน ปี 2562 พื้นที่ E

สรุปและอภิปรายผล

1. การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นละอองขนาดเล็ก $PM_{2.5}$ กับปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาภายในพื้นที่เมือง สามารถสรุปผลได้ว่า อุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วลม มีความสัมพันธ์ต่อค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ในทางลบหรือในทิศทางตรงกันข้าม สอดคล้องตามทฤษฎีปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาที่ก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศของ T.R.Oke เช่น ในช่วงอุณหภูมิต่ำ ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ จะสูง และในช่วงอุณหภูมิสูง ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ จะต่ำ และพบว่าความเร็วลมมีความสัมพันธ์ต่อความเข้มข้นของฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ มากที่สุด เนื่องจากความเร็วลมคือ ปัจจัยที่ส่งผลต่อการพัดพาและการแพร่กระจายตัวของฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ สามารถทำให้ฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ เกิดความเจือจางได้ เมื่อลมพัดผ่านแหล่งกำเนิด แต่จะเห็นได้ว่าช่วงที่เกิดภาวะฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ เกินค่ามาตรฐานตามที่กรมควบคุมมลพิษกำหนด มักจะเกิดในช่วงที่สภาพอากาศนิ่ง ความเร็วลมต่ำ และเกิดปรากฏการณ์ Inversion Layer ที่ทำให้เกิดการจมตัวของอากาศ และทำให้ฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ สะสมตัวอยู่ภายในพื้นที่

2. การศึกษาลักษณะทางกายภาพของเมืองที่มีผลต่อการไหลเวียนของลมภายในพื้นที่เมืองที่ระดับความสูง 10, 30 และ 100 เมตร สามารถสรุปผลได้ว่า ในทุกระดับความสูง กระแสลมจะมีความสัมพันธ์ต่อลักษณะทางกายภาพของอาคาร สอดคล้องกับทฤษฎีความสัมพันธ์ระหว่างกระแสลมกับกลุ่มอาคารของ Jessica Bennett ในรูปแบบการเคลื่อนของกระแสลมแบบ Staggered Buildings ซึ่งเป็นการเคลื่อนของกระแสลมผ่านช่องว่างระหว่างอาคาร แต่ถ้าหากมีอาคารวางตัวในแนวถนน หรือชอย ไม่ว่าจะชอยเล็กหรือใหญ่ เป็นถนนสายหลักหรือเป็นถนนสายรอง จะมีกระแสลมแบบ Channelling ซึ่งจะเป็นการเคลื่อนของกระแสลมผ่านช่องว่างระหว่างอาคารในแนวเดียวกัน และลมสามารถเคลื่อนที่ข้ามเขตพื้นที่ของอาคารได้จากปัจจัยทางด้านขนาดของพื้นที่เปิดโล่ง จากความแตกต่างของรูปแบบการวางตัวของอาคาร ทิศทางลม และความเร็วลมที่เกิดขึ้นในเดือนนั้น ทำให้เกิดรูปแบบการไหลเวียนของกระแสลมแบบ Courtyards เกิดขึ้น ในส่วนของระดับความสูงที่ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ต่อลักษณะทางกายภาพของเมืองที่มีผลต่อการไหลเวียนของลม พบว่า ยังมีระดับความสูงที่สูงขึ้น ความหนาแน่นของอาคารก็จะลดลง รูปแบบการวางตัวของอาคารสูงตามแนวถนน และชอยหายไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณที่มีความหนาแน่นของอาคารสูงต่ำ การเคลื่อนของกระแสลมแบบ Staggered Buildings ผ่านช่องว่างระหว่างอาคาร

3. การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นละอองขนาดเล็ก $PM_{2.5}$ และลักษณะทางกายภาพของเมืองด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์และแบบจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ สามารถสรุปผลได้ว่า ความเข้มข้นของฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ และลักษณะทางกายภาพของเมืองมีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน เนื่องจากในบริเวณพื้นที่ที่มีความหนาแน่นของอาคารสูง หรือมีการกระจุกตัวของอาคารสูง ค่าความเข้มข้นฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ในบริเวณนั้นจะมีค่าความเข้มข้นสูงกว่าบริเวณพื้นที่ที่มีความหนาแน่นของอาคารต่ำ ค่าความเข้มข้นฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ตลอดทั้งปีก็มีความเข้มข้นที่ต่ำเช่นกัน เนื่องจากปัจจัยที่ก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางอากาศ ประกอบด้วย การพัดพาและแปรสภาพของมลพิษจากปัจจัยทางด้านอุตุนิยมวิทยา ได้แก่ ความเร็วลม และทิศทางลม เนื่องจากลมคือสื่อกลางที่จะนำพาให้ฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ เกิดการเคลื่อนที่แพร่กระจายออกไป และลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ก็เป็นอีกปัจจัยที่ส่งผลต่อการแพร่กระจายฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ จากการไหลเวียนของลมในชั้นบรรยากาศ Atmospheric Boundary Layer ที่จะได้รับอิทธิพลความขรุขระของพื้นผิวบริเวณพื้นที่เมือง ซึ่งมีค่า

ความขรุขระสูงจากความหนาแน่นของอาคาร ความเร็วลมจึงต่ำ จึงทำให้ในบริเวณพื้นที่เมือง ที่มีความหนาแน่นของอาคารสูงที่สุด ลมจะนำพาให้ฝุ่นละออง PM_{2.5} แพร่กระจายออกไปจากแหล่งกำเนิดภายในพื้นที่ได้ยากกว่าบริเวณที่มีความหนาแน่นของอาคารสูงน้อยกว่า เนื่องจากอาคารที่ตั้งอยู่อย่างหนาแน่นจะกีดขวางการไหลเวียนของลม ดังเช่น ในบริเวณพื้นที่ A ที่มีอาคารสูงตั้งอยู่อย่างหนาแน่นกว่าบริเวณอื่น ความเร็วลมในบริเวณพื้นที่นี้ มีความเร็วลมต่ำกว่าบริเวณพื้นที่อื่น ทำให้ผู้ที่อาศัยหรือทำงานในบริเวณพื้นที่ที่มีความหนาแน่นของอาคารสูง ได้รับผลกระทบโดยตรงต่อสุขภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งระบบทางเดินหายใจและปอด

ข้อเสนอแนะ

1. ผู้ที่อาศัยหรือทำงานในพื้นที่ที่มีอาคารสูงตั้งอยู่อย่างหนาแน่น จะได้รับผลกระทบต่อสุขภาพจากฝุ่นละออง PM_{2.5} มากกว่าบริเวณพื้นที่อื่น การปรับปรุงกำแพงหรือผนังอาคารให้อยู่ในรูปแบบ Green Wall รวมถึงการปลูกต้นไม้เพิ่มขึ้น จะช่วยลดค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองได้ จากการช่วยดูดซับและกรองฝุ่นละอองของต้นไม้ให้ลดลง (Paull et al. 2020)
2. การวางผังเมืองและการออกแบบช่องว่างระหว่างอาคารของเมืองอัจฉริยะ (Smart City) ที่คำนึงถึงการระบายอากาศที่ดี จะช่วยให้ลมสามารถพัดพาฝุ่นละออง PM_{2.5} ให้แพร่กระจายตัวออกจากพื้นที่ได้ดีมากขึ้น
3. ควรหลีกเลี่ยงการสัญจรเข้าไปในพื้นที่ที่มีอาคารสูงหนาแน่น ในขณะสภาพอากาศปิด ความเร็วลมต่ำ โดยเฉพาะในเดือนมกราคม เนื่องจากมีความเสี่ยงที่ค่าฝุ่นละออง PM_{2.5} จะเกินมาตรฐานของกรมควบคุมมลพิษ

เอกสารอ้างอิง

- กรมควบคุมมลพิษ. (2554). **คู่มือทิศมลพิษทางอากาศ บทเรียน แนวคิดและการจัดการ**. สืบค้นเมื่อ 30 พฤษภาคม 2564, จาก <http://air4thai.pcd.go.th/webV2/download.php>
- กรมควบคุมมลพิษ. (2561). **โครงการศึกษาแหล่งกำเนิดและแนวทางการจัดการฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอนในพื้นที่กรุงเทพและปริมณฑล**. สืบค้นเมื่อ 30 พฤษภาคม 2564, จาก <http://infofile.pcd.go.th/air/PM2.5.pdf?CFID=1684580&CFTOKEN=65888134>
- กรมควบคุมมลพิษ. (2562). **รายงานสถานการณ์และคุณภาพอากาศประเทศไทย**. สืบค้นเมื่อ 30 พฤษภาคม 2564, จาก <http://air4thai.pcd.go.th/webV2/>
- วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์. (2543). **มลภาวะอากาศ**. พิมพ์ครั้งที่ 6. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สำนักงานเขตวัฒนา. (2554). **ข้อมูลทั่วไป เขตวัฒนา**. สืบค้นเมื่อ 30 พฤษภาคม 2564, จาก http://www.bangkok.go.th/upload/user/00000098/AboutUs/KM58/about_vadhana.pdf
- Bennett, J. (2007). **Wind Design Guid**. Retrieved May 30, 2021, from https://www.wgtn.ac.nz/architecture/centres/cbpr/publications/architectural-aerodynamics/pdfs/BBSC_433_Jessica-Bennett_Wind-Design-Guide.pdf

- Paul, N.; Krix, D.; Torpy, F.; & Irga, P. (2020). **Can Green Walls Reduce Outdoor Ambient Particulate Matter, Noise Pollution and Temperature.** Retrieved May 30, 2021, from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7400450/#:~:text=Green%20walls%20have%20previously%20demonstrated,manipulative%20experiments%20and%20computational%20models.&text=Ambient%20noise%20at%20the%20green,at%20the%20reference%20wall%20locations>
- Oke, T. R. (1988). **Boundary Layer Climates.** Retrieved May 30, 2021, from https://books.google.co.th/books?id=K_2dW7crfVIC&printsec=frontcover&hl=th&source=gbg_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- WHO. (2019). **Air Pollution.** Retrieved May 30, 2021, from <https://www.who.int/airpollution/en/>