Pathumwan Academic Journal, Vol. 12, No. 35, September - December 2022: 50 - 69

การติดตามและประเมินปริมาณฝุ่นละอองที่น้อยกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5) ในพื้นที่ภายในและภายนอกอาคาร: กรณีศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี (ศูนย์การศึกษาสามพร้าว)

Monitoring and assessing the amount of particulate matter less than 2.5 microns (PM2.5) in the indoor and outdoor areas: A case study of Udon Thani Rajabhat University (Sam Phrao Education Center)

วินัย มีแสง[1*] เอราวัณ เบ้าทอง[1] ปิยวดี ยาบุษดี[2] วิภาพร กิติศรีวรพันธุ์[3] ศิวพร ภูกองทอง[4] ภูษณพาส สมนิล[1] และ สืบชาติ อันทะไชย[5]

[1]กลุ่มวิจัยพื้นที่สีเขียวและการออกกำลังกาย สาขาวิชาสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี 41000

[2]สาขาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี 41000

[3]สาขาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี 41000

[4]สาขาวิชาคณิตศาสตร์และสถิติประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี 41000

[5]สาขาการตลาด คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี 41000

E-mail: winai.me@udru.ac.th

Winai Meesang[1*], Erawan Baothong[1], Piyavadi Yabusadi[2], Wipaporn Kitisriworaphan[3], Sivaporn Phukongthong[4], Poosanapas Somnil[1], and Subchat Untachai[5]

[1]Green space and exercise research group, Department of Environmental Sciences, Faculty of Sciences, Udon Thani Rajabhat University, 41000

[2]Department of Physics, Faculty of Sciences, Udon Thani Rajabhat University, 41000

[3]Department of Chemistry, Faculty of Sciences, Udon Thani Rajabhat University, 41000

[4]Department of Math and Applied Statistics, Faculty of Sciences, Udon Thani Rajabhat University, 41000

[5]Department of Marketing, Faculty of Management Science, Udon Thani Rajabhat University, 41000

E-mail: winai.me@udru.ac.th

Research Paper

***Corresponding author**

Received 16 August 2022

Revised 11 November 2022

Accepted 1 December 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินปริมาณฝุ่นละอองที่น้อยกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5) ในพื้นที่ภายในและภายนอกอาคาร ของมหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี (ศูนย์การศึกษาสามพร้าว) ดำเนินการตรวจวัดปริมาณฝุ่นละออง PM2.5 อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ ในพื้นที่ศึกษาวันละ 8 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 08.00 - 16.00 น. 5 วันต่อเนื่องกันในแต่ละสัปดาห์ ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน 2562 - เดือนพฤศจิกายน 2563 วิเคราะห์ผลค่าเฉลี่ยปริมาณฝุ่นละอองที่ได้ ตามฤดูหนาว ฤดูร้อน และฤดูฝน วิเคราะห์ค่าอัตราส่วนระหว่างปริมาณฝุ่นละอองภายในและภายนอกอาคาร (I/O ratio) และสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ผลการศึกษาพบว่าในฤดูหนาว ฤดูร้อน และฤดูฝน มีปริมาณของฝุ่นละออง PM2.5 ภายในอาคารอยู่ในช่วง 59.87 - 133.50 $\mu g/m^3$, 20.72 - 106.65 $\mu g/m^3$ และ 16.52 - 109.21 $\mu g/m^3$ ตามลำดับ ปริมาณของฝุ่นละออง PM2.5 ภายนอกอาคารอยู่ในช่วง 50.71 - 140.11 $\mu g/m^3$, 29.01 - 42.53 $\mu g/m^3$ และ 16.42 - 116.25 $\mu g/m^3$ ตามลำดับ ในช่วงฤดูหนาวมีปริมาณฝุ่นละออง PM2.5 สูงสุดเนื่องจากความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิมีค่าต่ำ ในช่วงฤดูร้อนมีปริมาณฝุ่นละออง PM2.5 ต่ำกว่าฤดูหนาวเนื่องจากความชื้นสัมพัทธ์มีค่าต่ำ แต่อุณหภูมิมีค่าสูง จึงเกิดการหมุนเวียนของอากาศบริเวณพื้นผิวด้านล่างทำให้ฝุ่นละออง PM2.5 สามารถเคลื่อนย้ายได้ง่าย ในช่วงฤดูฝนมีปริมาณฝุ่นละออง PM2.5 ต่ำที่สุด เนื่องจากความชื้นสัมพัทธ์มีค่าสูงเกิดกระบวนการตกแบบเปียกชะล้างฝุ่นละออง ผลการวิเคราะห์การได้รับสัมผัสโดยพิจารณาจากค่าอัตราส่วนระหว่างระดับฝุ่นละอองภายในและภายนอกอาคาร พบว่ามีค่าสูงสุดเท่ากับ 1.40±0.12 แสดงว่ามีโอกาสรับสัมผัสกับฝุ่นละออง PM2.5 ภายในอาคารมากกว่าภายนอกอาคาร ค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนดที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อปริมาณฝุ่นละออง PM2.5 ภายในและภายนอกอาคาร (R^2) เท่ากับ 0.85 และ 0.97 ตามลำดับ

คำสำคัญ: ปริมาณฝุ่นละอองที่น้อยกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5); การประเมินการได้รับสัมผัส; ค่า I/O (ratio)

Abstract

This research aimed to assess the amount of particulate matter less than 2.5 microns (PM2.5) in indoor and outdoor areas of Udon Thani Rajabhat University (Sam Phrao Education Center). In the study area, the amount of particulate matter less than 2.5 microns, temperature, and relative humidity were investigated for 8 hours each day, from 8:00 a.m. to 4:00 p.m., 5 consecutive days each week. The period of this study was 1 year from November 2019 to November 2020. The average amount of particulate matter has been reported according to winter, summer, and rainy seasons. The I/O ratios were analyzed, and a mathematical model was designed. The results revealed that the amount of fine particulate matter in indoor the study areas during the winter, the summer, and the rainy seasons were in the range of 59.87 - 133.50 $\mu g/m^3$, 20.72 - 106.65 $\mu g/m^3$, and 16.52 - 109.21 $\mu g/m^3$, respectively. The amount of fine particulate matter in outdoor study areas in the winter, the

summer, and the rainy seasons were in the range of 50.71 - 140.11 μg/m^3, 29.01 - 42.53 μg/m^3, and 16.42 - 116.25 μg/m^3, respectively. In winter, the PM2.5 particulate has the highest value because of the low relative humidity and low temperature. In summer, the PM2.5 particulate matter has lower than in the winter because the relative humidity was lower, and the temperature was higher leading to the air circulation on the bottom surface making PM2.5 dust easily moveable. On rainy, the PM2.5 particulate has the lowest due to the higher relative humidity, resulting in a downwash of the dust called wet deposition. The results of the exposure assessment analysis were based on the ratio between indoor and outdoor particulate matter levels revealed that the highest value was 1.40±0.12, indicating that there is a chance of being exposed from inside more than outside of the building. The coefficient of determination obtained from the mathematical model for PM2.5 particulate matter from inside and outside of the building (R^2) were 0.85 and 0.97, respectively.

Keywords: Particulate matter Less than 2.5 microns (PM2.5); Exposure assessment; I/O (ratio)

1. บทนำ

สถานการณ์ฝุ่นละอองเกินมาตรฐานช่วงต้นปีของทุก ๆ ปีโดยเฉพาะฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM2.5) ในพื้นที่เขตเมืองในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล [1] รวมทั้งสถานการณ์พื้นที่หมอกควันภายใน 9 จังหวัดบริเวณภาคเหนือของประเทศไทย ประกอบด้วย จังหวัดเชียงใหม่ เชียงราย ลำปาง ลำพูน แพร่ น่าน แม่ฮ่องสอน อุตรดิตถ์ และพะเยา สาเหตุส่วนใหญ่มาจากการเผาในที่โล่ง เช่นการเผาวัสดุทางการเกษตร การเกิดไฟป่า การเผาขยะ ใบไม้ กิ่งไม้ [2, 3] การคมนาคม อุตสาหกรรม และหมอกควันข้ามแดน พื้นที่เขตอุตสาหกรรม เช่น สระบุรี ซึ่งในแต่ละพื้นที่มีสาเหตุของ PM2.5 แตกต่างกันตามแหล่งกำเนิด [4] จังหวัดอุดรธานี มีปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 ในบรรยากาศที่สูง สาเหตุส่วนใหญ่มาจากการเผาในที่โล่ง ซึ่งจากสถิติการเผาในพื้นที่เกษตรจากข้อมูลดาวเทียมที่แสดงจุดความร้อน (Hot Spot) พบว่ามีการเผาในที่โล่งจากพื้นที่นาข้าวมากที่สุด โดยเฉพาะในเดือน กุมภาพันธ์ 2563 รองลงมาคือการเผาในพื้นที่การเผาปลูกอ้อย นอกจากนี้ข้อมูลการเกิดความร้อนที่คาดว่าสร้างฝุ่นละอองจากควันไฟในพื้นที่จังหวัดอุดรธานีพบว่าเขตเกษตรกรรมจะมีการเกิดจุดความร้อนมากที่สุด 1,472 ครั้ง รองลงมาเป็นเขตป่าสงวนแห่งชาติ 113 ครั้ง และเขตป่าอนุรักษ์ 90 ครั้ง ซึ่งอำเภอที่มีพื้นที่การเกษตรที่เกิดจุดความร้อนมากที่สุดได้แก่ อำเภอบ้านดุง อำเภอกุมภวาปี และอำเภอวังสามหมอ [5, 6] สถานการณ์เหล่านี้ก่อให้เกิดการสะสมของฝุ่นละอองจนกระทั่งมีความเข้มข้นในระดับสูงจนก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพกับประชาชนทุกกลุ่มวัย ทั้งที่อยู่ในเมืองและชนบท โดยเฉพาะผลกระทบต่อสุขภาพของเด็ก เนื่องจากระบบภูมิคุ้มกันและปอดยังพัฒนาไม่เต็มที่ ซึ่งอาจก่อให้เกิดโรคระบบทางเดินหายใจ ระบบหัวใจและหลอดเลือด การพัฒนาการของระบบประสาท และมะเร็ง โดยเฉพาะโรคที่เกิดจากฝุ่นละออง PM2.5 เช่นโรคหัวใจและหลอดเลือด โรคทางเดินหายใจ การสั้นลงของชีวิต การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำตาลในเลือดและน้ำตาลสะสม ภาวะไขมัน

เลือดผิดปกติโรคผิวหนังผื่นแพ้และความเสื่อมชราของผิว เป็นต้น [7] โดยทั่วไปผลกระทบของสารมลพิษทางอากาศต่อสุขภาพเน้นไปที่การได้รับสัมผัสกับสารมลพิษจากแหล่งกำเนิดจากภายนอกอาคาร เช่น จากโรงงานอุตสาหกรรม การจราจร การเกษตร และการก่อสร้าง แต่ในความเป็นจริงแล้วยังมีแหล่งกำเนิดมลพิษในอาคารบ้านเรือน หรืออาคารสำนักงาน โดยเฉพาะในอาคารแบบปิดที่มีการดำเนินกิจกรรมที่ส่งผลต่อคุณภาพอากาศ เช่น การทำอาหาร การถ่ายเอกสาร มลพิษภายในอาคาร เช่น ฝุ่นละออง PM2.5 ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ ไอระเหยของตัวทำละลายอินทรีย์ สารฆ่าแมลง มลพิษจากควันบุหรี่ และสารมลพิษอื่น ๆ ที่สะสมและตกค้างอยู่ภายในอาคาร จะส่งผลต่อสุขภาพก่อให้เกิดการระคายเคืองต่ออวัยวะต่างๆ เช่น ผิวหนัง ตา จมูก จนถึงอาการเจ็บป่วยเรื้อรัง เช่น โรคมะเร็งปอด โรคทางเดินหายใจ โรคหลอดเลือดและหัวใจ โรคหอบหืด และโรคปอดชื้น ส่งผลกระทบต่อสภาพจิตใจ สิ่งแวดล้อมโดยรอบ รวมไปถึงการดำเนินชีวิตประจำวัน ผลกระทบจากการได้รับสารมลพิษในอากาศจะมีความรุนแรงมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารมลพิษในอากาศ และระยะเวลาที่ได้รับสัมผัสสารมลพิษในอากาศภายในอาคาร [8, 9]

แนวทางในการแก้ไขและบรรเทาปัญหาฝุ่นละออง PM2.5 สามารถทำการแก้ไขโดยการลดมลพิษจากแหล่งกำเนิดโดยตรง มีการกำหนดมาตรการหรือนโยบายของภาครัฐ เช่นกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม กระทรวงมหาดไทยมีข้อสั่งการให้จังหวัดและองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นติดตามคุณภาพอากาศในพื้นที่และมีมาตรการป้องกันและแก้ไขปัญหาเฉพาะหน้า อาทิ การทำความสะอาดถนน การพ่นละอองน้ำ การทำแนวกันไฟป่าในพื้นที่เสี่ยง [10, 11] กรมการขนส่งทางบกกระทรวงคมนาคมร่วมกับสำนักงานตำรวจแห่งชาติกวดขันและตรวจจับพาหนะที่มีควันดำเกินค่ามาตรฐาน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์และกระทรวงพาณิชย์ประสานความร่วมมือกับผู้ประกอบการรณรงค์ให้เกษตรกรงดการเผา โรงงานน้ำตาลไม่รับซื้ออ้อยเผา ส่งเสริมการใช้รถเกี่ยวอ้อยแทนการเผา ทั้งนี้แม้จะมีความพยายามในการแก้ไขปัญหาของทุกภาคส่วน แต่กลับพบว่ายังขาดการติดตามและประเมินปริมาณฝุ่นละออง PM2.5 ในพื้นที่ภายในและภายนอกอาคารที่เหมาะสมในสถานการณ์ดังกล่าว ซึ่งการติดตามและประเมินปริมาณฝุ่นละออง PM2.5 ดังกล่าวจะมีการพิจารณาปัจจัยทางด้านอุตุนิยมวิทยา เช่น อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ของภายในและภายนอกอาคารจะมีความสัมพันธ์ทั้งเชิงบวกและลบ ส่งผลกระทบต่อระดับปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5และอัตราส่วนระหว่างระดับฝุ่นละอองภายในและภายนอกอาคาร (I/O ratio) นอกจากนี้ ยังมีการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายปริมาณฝุ่นละออง PM2.5 ในพื้นที่ที่ไม่มีสถานีตรวจคุณภาพอากาศภาคพื้นดิน ช่วยลดความผิดพลาดในการแจ้งเตือนปริมาณ PM2.5 และสามารถใช้ในการบริหารจัดมลพิษทางอากาศในระยะยาวได้ [12]

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงได้ทำการติดตามและประเมินปริมาณฝุ่นละอองที่น้อยกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5) ในพื้นที่ภายในและภายนอกอาคาร โดยศึกษาความสัมพันธ์ด้านอุตุนิยมวิทยาที่มีผลเชิงบวกและลบต่อระดับปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 ที่ส่งผลต่ออัตราส่วนระหว่างระดับฝุ่นละอองภายในและภายนอกอาคาร ตลอดจนออกแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบสมการการถดถอยเชิงเส้นเพื่อทำนายปริมาณฝุ่นละออง PM2.5

โดยสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในพื้นที่ประสบกับปัญหาฝุ่นละออง PM2.5 ในพื้นที่ที่ไม่มีสถานีตรวจคุณภาพอากาศภาคพื้นดิน และสามารถใช้ในการบริหารจัดการปัญหาฝุ่นละออง PM2.5 ได้

2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 พื้นที่ศึกษา

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาพื้นที่ภายในและภายนอกอาคาร ในเขตมหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี (ศูนย์การศึกษาสามพร้าว) ประกอบด้วยพื้นที่ภายในอาคารจำนวน 5 พื้นที่ ได้แก่ พื้นที่ภายในอาคารคณะวิทยาศาสตร์ (ก) พื้นที่ภายในอาคารคณะพยาบาลศาสตร์ (ข) พื้นที่ภายในอาคารคณะเทคโนโลยี (ค) พื้นที่ภายในอาคารสำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ (ง) และพื้นที่ภายในอาคารคณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ (จ) พื้นที่ภายนอกอาคาร จำนวน 1 พื้นที่ (ฉ) แสดงในรูปที่ 1

รูปที่ 1 พื้นที่ศึกษาภายในและภายนอกอาคาร ในเขตมหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี (ศูนย์การศึกษาสามพร้าว)

2.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

2.2.1 เครื่องวัดปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 DustTrak™ II Aerosol Monitor รุ่น 8530

2.2.2 ตู้ Enclosure สำหรับใช้ในการติดตั้ง DustTrak II ภายนอกอาคาร

2.2.3 ชุดเครื่องมือวัดทางอุตุนิยมวิทยาและ Weather misol

2.2.4 เครื่องวัดและบันทึกอุณหภูมิ ความชื้น USB Datalogger Type K Dual Thermometer รุ่น DT-172TK

2.2.5 เครื่องสอบเทียบอัตราการไหลของอากาศแบบดิจิตอล TSL รุ่น 4100

2.2.6 เครื่องวัดอุณหภูมิดิจิตอลชนิดอินฟราเรด เทอร์โมมิเตอร์ รุ่น IT-100

2.3 วิธีดำเนินการวิจัย

2.3.1 การติดตั้งเครื่องมือ

การติดตั้งเครื่อง DustTrak II เพื่อตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 ในพื้นที่ภายในอาคารบริเวณกลางห้องสูงจากพื้น 75-120 เซนติเมตร ห่างจากสิ่งกีดขวาง 2 เท่า ในแนวราบ และติดตั้งชุดเครื่องมือวัดทางอุตุนิยมวิทยาเพื่อตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 ในพื้นที่ภายนอกอาคาร จำนวน 1 เครื่อง ห่างจากสิ่งกีดขวาง 1.5 เท่า สูงจากพื้น 150 เซนติเมตร

2.3.2 การตรวจวัดปริมาณของฝุ่นละออง PM2.5 อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ในพื้นที่ภายในและภายนอกอาคาร

1) ตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 ในพื้นที่ภายในอาคารด้วยเครื่อง DustTrak II โดยก่อนการใช้งานให้ตั้งค่า Zero Call หลังจากนั้นทำการปรับค่า Flow Call ของเครื่องอยู่ที่ 2.0 ลิตร/นาที เมื่อครบกำหนดเวลาบันทึกค่า ซึ่งมีหน่วยเป็นไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

2) ตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 ในพื้นที่ภายนอกอาคารด้วยเครื่องมือวัดทางอุตุนิยมวิทยา ข้อมูลที่ได้จากการวัดจะถูกส่งผ่านสัญญาณไปยังเครื่อง Weather misol แสดงผลผ่านหน้าจอ เมื่อครบกำหนดเวลาแล้วจะนำข้อมูลมาอ่านค่า และบันทึกค่าที่ได้ผ่านเครื่องคอมพิวเตอร์

3) วัดค่าอุณหภูมิ และความชื้น ด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิดิจิตอลชนิดอินฟราเรด เทอร์โมมิเตอร์ รุ่น IT-100 และ เครื่อง USB Datalogger Type K Dual Thermometer รุ่น DT-172TK ข้อมูลจะส่งไปยังคอมพิวเตอร์ผ่าน USB เพื่อทำการบันทึกข้อมูล วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ทางสถิติ โดยใช้ IBM SPSS Statistics 25 ร่วมกับ Microsoft Excel วาดกราฟเพื่อดูการกระจายของข้อมูลโดยใช้ Origin 2021

4) นำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่าแนะนำพารามิเตอร์คุณภาพอากาศภายในอาคาร [7] ของปริมาณของฝุ่นละออง PM2.5 อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ในพื้นที่ภายในและภายนอกอาคาร (ประเทศไทยยังไม่มีค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศภายในอาคารจึงใช้เป็นค่าแนะนำพารามิเตอร์คุณภาพอากาศภายในอาคาร [7] ที่มีอยู่แทน)

2.3.3 การวิเคราะห์อัตราส่วนระหว่างระดับฝุ่นละอองภายในและภายนอกอาคาร (I/O ratio)

คำนวณจากสมการที่ (1)

$$\frac{\text{I}}{\text{O}}\ \text{ratio} = \frac{\text{ระดับฝุ่นละอองภายในอาคาร (ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร)}}{\text{ระดับฝุ่นละอองภายนอกอาคาร (ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร)}} \quad (1)$$

โดยกำหนดให้ I/O ratio มากกว่า 1 หมายความว่า แหล่งกำเนิดฝุ่นละอองภายนอกอาคารมีน้อยกว่าภายในอาคาร และอาจไม่มีผลกระทบต่อฝุ่นละอองภายในอาคาร [13]

2.4.3 สร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์ด้วยโปรแกรม Design-Expert® software, เวอร์ชั่น 13, Stat-Ease, Inc., Minneapolis, MN, USA

สร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์โดยกำหนดปัจจัยในการจำลองสภาวะได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความดันสัมพัทธ์ ความดันสัมบูรณ์และความเร็วลม เป็นปัจจัยที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

3. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 ฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM2.5)

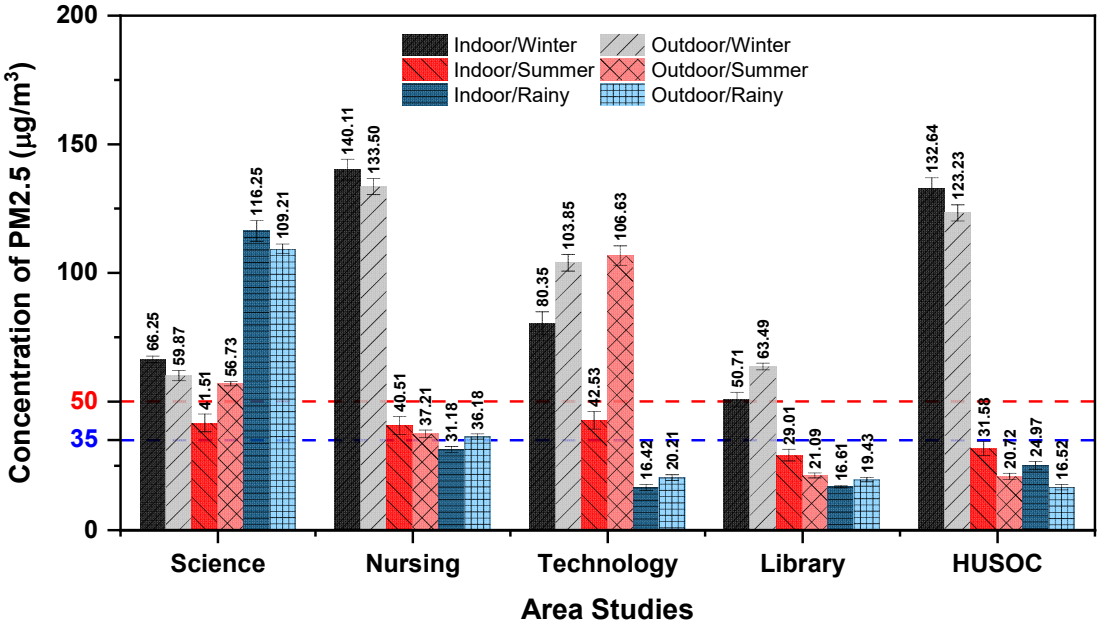
ผลการศึกษาพบว่า คณะวิทยาศาสตร์มีค่าเฉลี่ยของปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 ภายในและภายนอกอาคารคณะวิทยาศาสตร์ในฤดูหนาว ฤดูร้อน และฤดูฝน อยู่ในช่วง 41.51 - 116.25 $\mu g/m^3$ และ 56.73 - 109.21 $\mu g/m^3$ ตามลำดับ

ห้องสำนักงานคณะพยาบาลศาสตร์มีค่าเฉลี่ยของปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 ภายในและภายนอกอาคารคณะพยาบาลศาสตร์ในฤดูหนาว ฤดูร้อน และฤดูฝน อยู่ในช่วง 31.18 - 140.11 $\mu g/m^3$ และ 36.18 - 133.50 $\mu g/m^3$ ตามลำดับ

ห้องสำนักงานคณะเทคโนโลยีมีค่าเฉลี่ยของปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 ภายในและภายนอกอาคารคณะเทคโนโลยีในฤดูหนาว ฤดูร้อน และฤดูฝน อยู่ในช่วง 16.42 - 80.35 $\mu g/m^3$ และ 20.21 - 106.65 $\mu g/m^3$ ตามลำดับ

ห้องสำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ มีค่าเฉลี่ยของปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 ภายในและภายนอกอาคารคณะพยาบาลศาสตร์ในฤดูหนาว ฤดูร้อน และฤดูฝน อยู่ในช่วง 16.61 - 50.71 $\mu g/m^3$ และ 19.43 - 63.49 $\mu g/m^3$ ตามลำดับ

ห้องสำนักงานคณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์มีค่าเฉลี่ยของปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 ภายในและภายนอกอาคารคณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ในฤดูหนาว ฤดูร้อน และฤดูฝน อยู่ในช่วง 24.97 - 132.64 $\mu g/m^3$ และ 16.52 - 123.23 $\mu g/m^3$ ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ปริมาณของฝุ่นละออง PM2.5 บริเวณพื้นที่ศึกษาในฤดูหนาว ฤดูร้อน และฤดูฝน

จากรูปที่ 2 แสดงให้เห็นว่าปริมาณของฝุ่นละออง PM2.5 ในฤดูหนาวคณะพยาบาลศาสตร์มีปริมาณมากที่สุด รองลงมาคือ คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ และน้อยที่สุดคือสำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ ฤดูร้อนคณะเทคโนโลยีมีปริมาณมากที่สุด รองลงมาคือคณะวิทยาศาสตร์ และน้อยที่สุดคือคณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ และฤดูฝนคณะวิทยาศาสตร์มีปริมาณมากที่สุด รองลงมาคือคณะพยาบาลศาสตร์และน้อยที่สุดคือคณะเทคโนโลยี เนื่องจากช่วงฤดูหนาวมีอิทธิพลของลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ประกอบกับลมธรรมชาติเคลื่อนที่มาปะทะกับสิ่งกีดขวาง ได้แก่ ต้นไม้ อาคาร บ้านสิ่งปลูกสร้างต่าง ๆ ทำให้เกิดแรงต้านที่แตกต่างกันตามความขรุขระของพื้นผิว (Surface roughness) [14] ส่งผลกระทบต่อการเคลื่อนที่ของมวลอากาศในแนวระนาบจึงทำให้บริเวณคณะพยาบาลศาสตร์มีปริมาณของฝุ่นละออง PM2.5 มากที่สุด ช่วงฤดูฝนมีอิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้อีกทั้งมหาวิทยาลัยมีการก่อสร้างในช่วงเวลาตรวจวัดจึงทำให้ฝุ่นละอองขนาดเล็กถูกพัดพามายังคณะวิทยาศาสตร์ ทำให้บริเวณคณะวิทยาศาสตร์มีปริมาณของฝุ่นละออง PM2.5 มากที่สุด ดังแสดงใน รูปที่ 3

รูปที่ 3 ทิศทางลมมรสุมบริเวณพื้นที่ศึกษาภายใน (ก) คณะวิทยาศาสตร์ (ข) คณะพยาบาลศาสตร์ (ค) คณะเทคโนโลยี (ง) สำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ และ (จ) คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี (ศูนย์การศึกษาสามพร้าว)

3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นละออง PM2.5 อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์

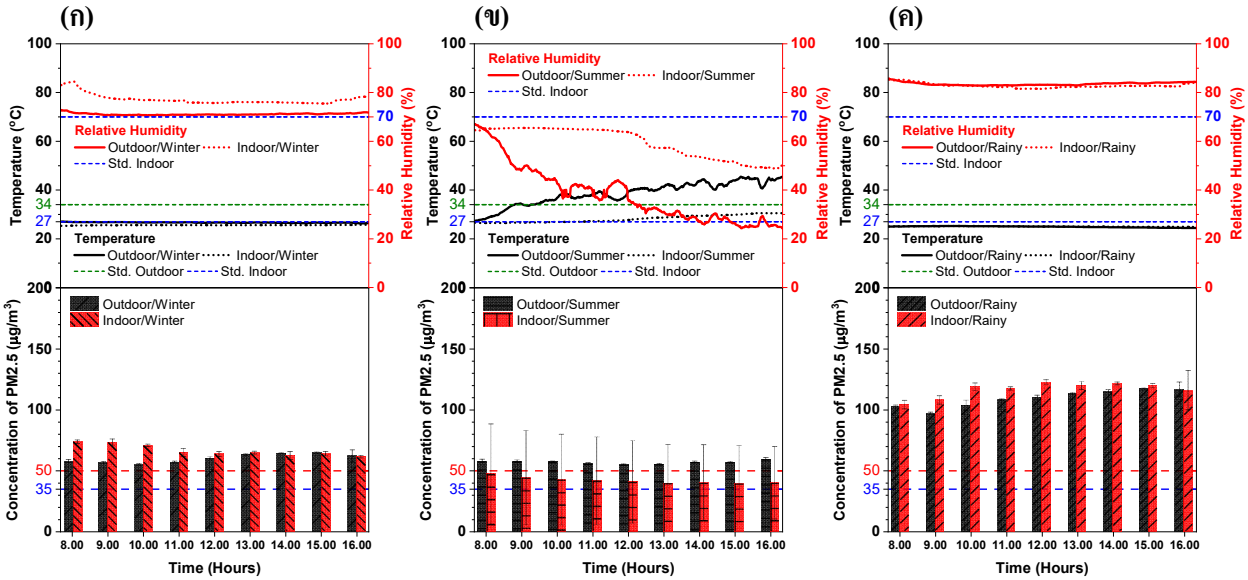
ผลการศึกษาพบว่าคณะวิทยาศาสตร์มีค่าเฉลี่ยปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 ทั้งพื้นที่ภายในอาคารฤดูฝนมากที่สุดอยู่ในช่วง 104.03±3.57 - 122.47±1.85 $\mu g/m^3$ รองลงมาคือฤดูหนาวอยู่ในช่วง 61.03±0.96 - 73.54±1.39 $\mu g/m^3$ และน้อยที่สุดคือฤดูร้อนอยู่ในช่วง 39.24±3.11 - 46.91±4.12 $\mu g/m^3$ ปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 ภายนอกอาคารนอกฤดูฝนมากที่สุดอยู่ในช่วง 96.99±0.91 - 117.16±0.50 $\mu g/m^3$ รองลงมาคือฤดูหนาวอยู่ในช่วง 54.90±0.55 - 64.45±0.72 $\mu g/m^3$ และน้อยที่สุดคือฤดูร้อนอยู่ในช่วง 54.73±0.41 - 59.19±1.22 $\mu g/m^3$ ซึ่งมีค่าเกินกว่ามาตรฐานกำหนดเมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฝ้าระวังคุณภาพอากาศภายในอาคาร และภายนอกอาคารซึ่งกำหนดไว้ไม่เกิน 35 $\mu g/m^3$ และ 50 $\mu g/m^3$ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าแนะนำพารามิเตอร์คุณภาพอากาศภายในอาคาร ของปริมาณของฝุ่นละออง PM2.5 อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ในพื้นที่ภายในและภายนอกอาคาร [15]

ค่ามาตรฐานของ PM2.5		ค่ามาตรฐานของอุณหภูมิ		ค่ามาตรฐานของความชื้นสัมพัทธ์
ภายนอกอาคาร	ภายในอาคาร	ภายนอกอาคาร	ภายในอาคาร	ภายในอาคาร
50	35	34	27	70

ในฤดูหนาวมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิภายในอาคารอยู่ในช่วง 25-27องศาเซลเซียส และภายนอกอาคารอยู่ในช่วง 27-30 องศาเซลเซียส ฤดูร้อนมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิภายในอาคารอยู่ในช่วง 25-27 องศาเซลเซียส ภายนอกอาคารอยู่ในช่วง 27-42 องศาเซลเซียส และฤดูฝนมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิภายในอาคาร อยู่ในช่วง 24-25 องศาเซลเซียส ภายนอก

อาคารอยู่ในช่วง 25-28 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ในฤดูหนาวมีค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์ภายในอาคารอยู่ในช่วงร้อยละ 75-80 ภายนอกอาคารอยู่ในช่วงร้อยละ 70-72 ฤดูร้อนมีค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์ภายในอาคารอยู่ในช่วงร้อยละ 50-60 ภายนอกอาคารอยู่ในช่วงร้อยละ 25-65 ฤดูฝนมีค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์ภายในอาคารอยู่ในช่วงร้อยละ 80-82 ภายนอกอาคารอยู่ในช่วงร้อยละ 82-85 ดังแสดงในรูปที่ 4



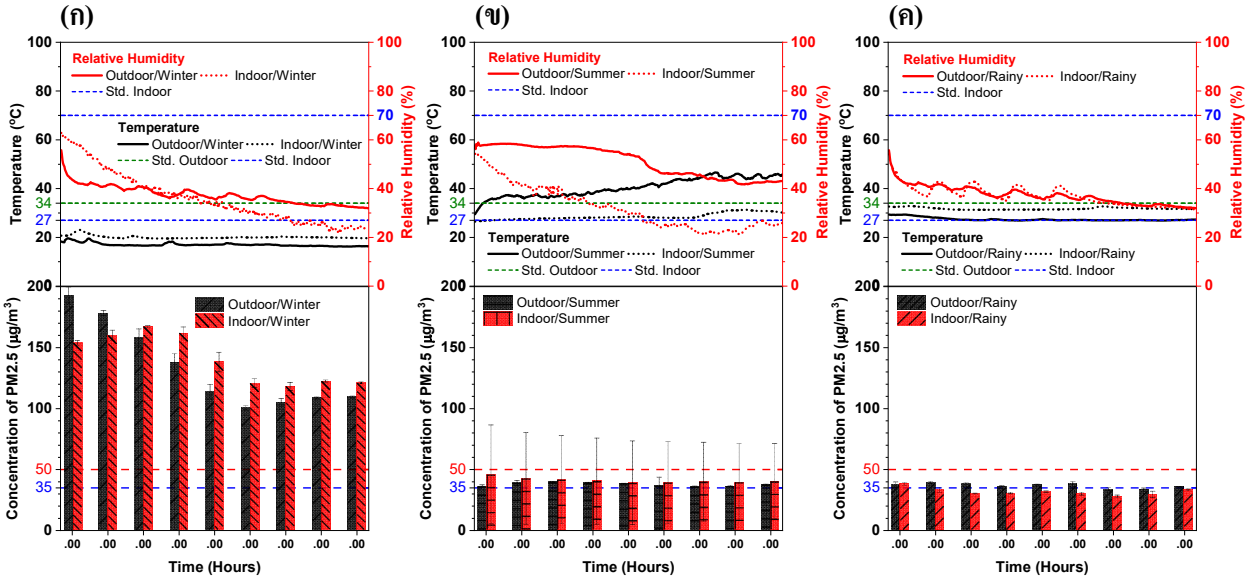
รูปที่ 4 ปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ในพื้นที่ภายในและภายนอกอาคารของคณะวิทยาศาสตร์ใน (ก) ฤดูหนาว (ข) ฤดูร้อน และ (ค) ฤดูฝน

จากรูปที่ 4 แสดงให้เห็นว่าในฤดูฝนและฤดูหนาวทั้งพื้นที่ภายในและภายนอกอาคารมีค่าความชื้นสัมพัทธ์สูงมากกว่าร้อยละ 70 อุณหภูมิมีค่าน้อยกว่า 27 องศาเซลเซียสส่งผลต่อปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 มีค่าสูงขึ้น ในขณะที่ฤดูร้อนมีค่าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่าร้อยละ 70 และมีอุณหภูมิสูงกว่า 27 องศาเซลเซียสปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 ลดลงเนื่องจากเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น เกิดการหมุนเวียนของอากาศบริเวณพื้นผิวด้านล่างทำให้ฝุ่นละออง PM2.5 สามารถเคลื่อนย้ายได้ง่าย [16, 17] นอกจากนี้ความเข้มข้นของปริมาณฝุ่นละออง PM2.5 กับความชื้นมีความสัมพันธ์ในเชิงบวก และเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการกระจายความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 [18, 19]

คณะพยาบาลศาสตร์มีค่าเฉลี่ยปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 ภายในอาคารในฤดูหนาวมากที่สุดอยู่ในช่วง 117.78±3.41 - 167.00±0.74 µg/m³ รองลงมาคือฤดูร้อนอยู่ในช่วง 38.65±34.40 - 45.41±4.06 µg/m³ และน้อยที่สุดคือฤดูฝนอยู่ในช่วง 27.64±0.93 - 37.60±1.27 µg/m³ ปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 ทั้งพื้นที่ภายนอกอาคารฤดูหนาวมากที่สุดอยู่ในช่วง 100.33±1.92 - 192.39±6.84 µg/m³ รองลงมาคือฤดูร้อนอยู่ในช่วง 35.54±0.47 - 39.14±0.82 µg/m³ และน้อยที่สุดคือฤดูฝนอยู่ในช่วง 32.91±1.34 - 38.80±0.79 µg/m³ ซึ่งมีค่าเกินกว่ามาตรฐานกำหนด

ในฤดูหนาวมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิภายในอาคารอยู่ในช่วง 25-27องศาเซลเซียส และภายนอกอาคารอยู่ในช่วง 27-40 องศาเซลเซียส ฤดูร้อนมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิภายในอาคารอยู่ในช่วง 25-27 องศาเซลเซียส ภายนอกอาคารอยู่ในช่วง 27-42 องศาเซลเซียส และฤดูฝนมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิภายในอาคาร อยู่ในช่วง 24-27 องศาเซลเซียส ภายนอกอาคารอยู่ในช่วง 27-42 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ในฤดูหนาวมีค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์ภายในอาคารอยู่ในช่วงร้อยละ 69-72 ภายนอกอาคารอยู่ในช่วงร้อยละ 64-68 ฤดูร้อนมีค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์ภายในอาคารอยู่ในช่วงร้อยละ 20-55 ภายนอกอาคารอยู่ในช่วงร้อยละ 42-58 ฤดูฝนมีค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์ภายในอาคารอยู่ในช่วงร้อยละ 84-85 ภายนอกอาคารอยู่ในช่วงร้อยละ 81-83 ดังแสดงในรูปที่ 5

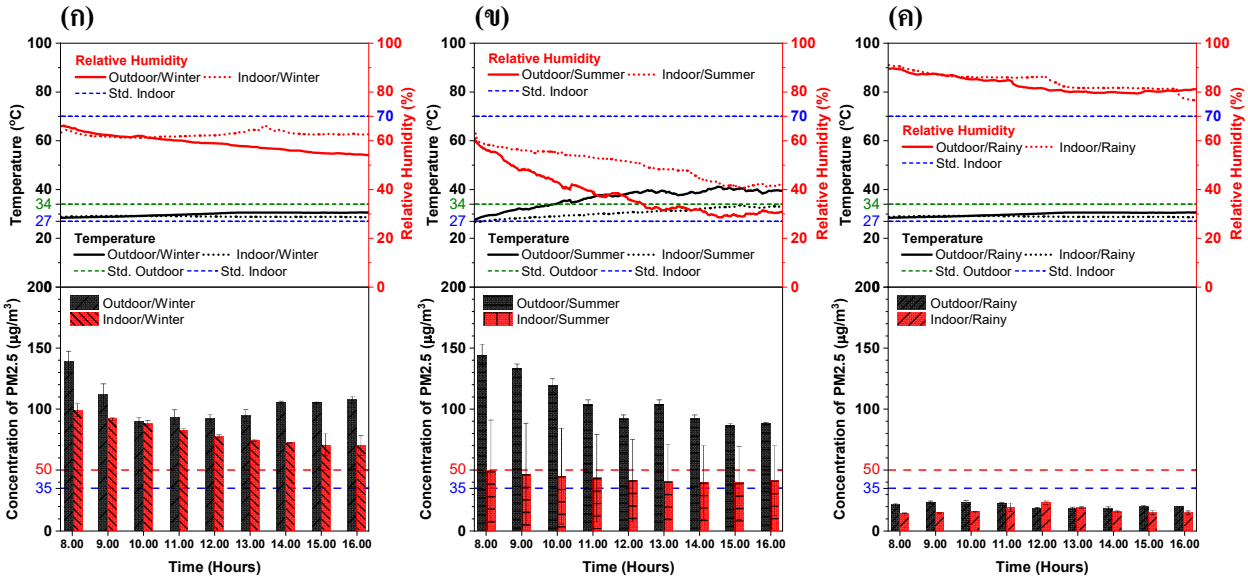
จากรูปที่ 5 แสดงให้เห็นว่าในฤดูหนาวทั้งพื้นที่ภายในและภายนอกอาคารมีค่าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่าร้อยละ 70 อุณหภูมิมีค่าต่ำประมาณ 20 องศาเซลเซียสส่งผลต่อปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 มีค่าสูงขึ้น เนื่องจากการหมุนเวียนของอากาศต่ำซึ่งทำให้เกิดสภาวะของอากาศหยุดนิ่งเรียกว่า Static condition ฤดูร้อนมีค่าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่าร้อยละ 70 และมีอุณหภูมิสูงประมาณ 34 องศาเซลเซียสปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 ลดลง ในขณะที่ฤดูฝนพื้นที่ภายในและภายนอกอาคารมีค่าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่าร้อยละ 70 เนื่องจากคณะพยาบาลมีคณะสิ่งปลูกสร้างต่าง ๆ อยู่บริเวณรอบ ๆ อุณหภูมิมีค่าประมาณ 27 องศาเซลเซียสส่งผลต่อปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 มีค่าต่ำ เนื่องจากกระบวนการชะล้างฝุ่นละอองในบรรยากาศ (Downwash) โดยฝน ยิ่งไปกว่านั้นปริมาณน้ำฝนมีความสัมพันธ์เชิงลบกับปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละออง เมื่อปริมาณน้ำฝนสูงขึ้นจะทำให้ปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 ลดลง เนื่องจากกระบวนการตกแบบเปียก (Wet deposition) [20]



รูปที่ 5 ปริมาณของฝุ่นละออง PM2.5 อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ในพื้นที่ภายในและภายนอกอาคารของคณะพยาบาลศาสตร์ใน (ก) ฤดูหนาว (ข) ฤดูร้อน และ (ค) ฤดูฝน

คณะเทคโนโลยีมีค่าเฉลี่ยปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 ทั้งพื้นที่ภายนอกอาคารในฤดูหนาวมากที่สุดอยู่ในช่วง 69.65±7.95 - 98.90±5.16μg/m³ รองลงมาคือฤดูร้อนอยู่ในช่วง 39.03±3.00 - 48.68±4.19 μg/m³ และน้อยที่สุดคือฤดูฝนอยู่ในช่วง 13.97±0.39 - 22.50±1.61 μg/m³ ปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 ทั้งพื้นที่ภายนอกอาคารนอกฤดูหนาวมากที่สุดอยู่ในช่วง 88.99±3.60 - 138.47±8.65 μg/m³ รองลงมาคือฤดูร้อนอยู่ในช่วง 86.32±1.61 - 143.95±8.77 μg/m³ และน้อยที่สุดคือฤดูฝนอยู่ในช่วง 17.97±1.30 - 23.08±1.12 μg/m³ ซึ่งมีค่าเกินกว่ามาตรฐานกำหนด

ในฤดูหนาวมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิภายในอาคารอยู่ในช่วง 25-27องศาเซลเซียส และภายนอกอาคารอยู่ในช่วง 25-30 องศาเซลเซียส ฤดูร้อนมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิภายในอาคารอยู่ในช่วง 25-27 องศาเซลเซียส ภายนอกอาคารอยู่ในช่วง 27-40 องศาเซลเซียส และฤดูฝนมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิภายในอาคาร อยู่ในช่วง 25-27 องศาเซลเซียส ภายนอกอาคารอยู่ในช่วง 25-35 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ในฤดูหนาวมีค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์ภายในอาคารอยู่ในช่วงร้อยละ 62-65 ภายนอกอาคารอยู่ในช่วงร้อยละ 55-60 ฤดูร้อนมีค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์ภายในอาคารอยู่ในช่วงร้อยละ 40-60 ภายนอกอาคารอยู่ในช่วงร้อยละ 40-60 ฤดูฝนมีค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์ภายในอาคารอยู่ในช่วงร้อยละ 75-80 ภายนอกอาคารอยู่ในช่วงร้อยละ 80-90 ดังแสดงในรูปที่ 6



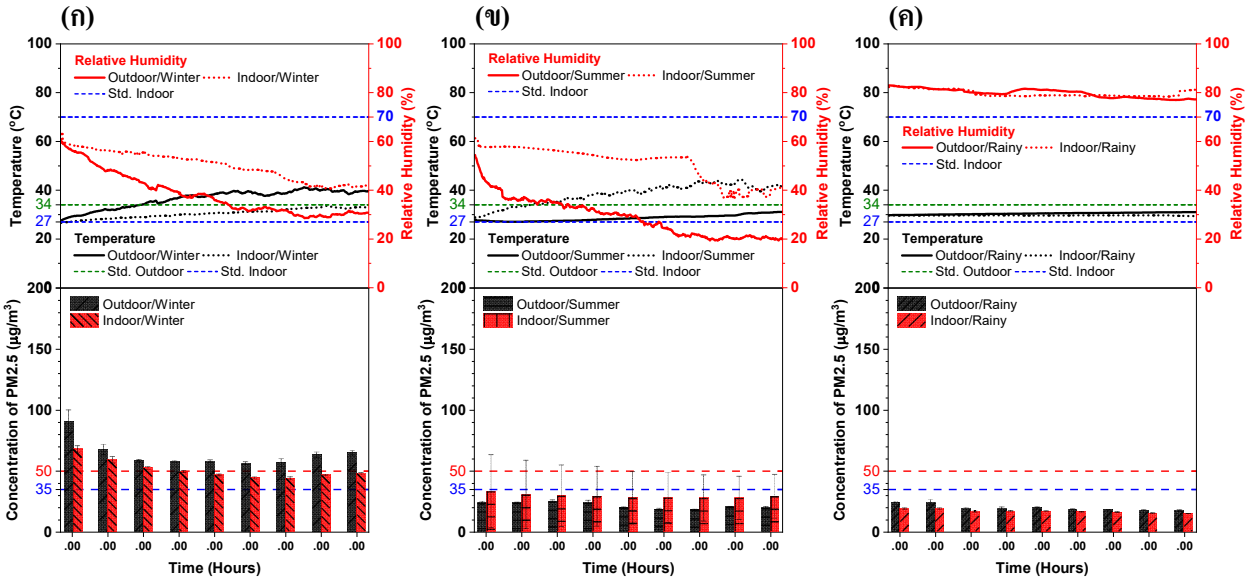
รูปที่ 6 ปริมาณของฝุ่นละออง PM2.5 อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ในพื้นที่ภายในและภายนอกอาคารของคณะเทคโนโลยีใน (ก) ฤดูหนาว (ข) ฤดูร้อน และ (ค) ฤดูฝน

จากรูปที่ 6 แสดงให้เห็นว่าในฤดูหนาวทั้งพื้นที่ภายในและภายนอกอาคารมีค่าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่าร้อยละ 70 อุณหภูมิมีค่าประมาณ 27 องศาเซลเซียสส่งผลต่อปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 มีค่าสูงขึ้น ฤดูร้อนมีค่าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่าร้อยละ 70 และมีอุณหภูมิสูงกว่า 27 องศาเซลเซียสปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 สูงขึ้น เนื่องจากการหมุนเวียนของอากาศต่ำซึ่งทำให้เกิดสภาวะของอากาศหยุดนิ่งเรียกว่า

Static condition ในขณะที่ฤดูหนาวพื้นที่ภายในและภายนอกอาคารมีค่าความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่าร้อยละ 70 อุณหภูมิมีค่าประมาณ 27 องศาเซลเซียสส่งผลต่อปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 มีค่าต่ำ เนื่องจากกระบวนการชะล้างฝุ่นละอองในบรรยากาศโดยฝน ยิ่งไปกว่านั้นปริมาณน้ำฝนมีความสัมพันธ์เชิงลบกับปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละออง เมื่อปริมาณน้ำฝนสูงขึ้นจะทำให้ปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 ลดลง เนื่องจากกระบวนการตกแบบเปียก

สำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศมีค่าเฉลี่ยปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 ทั้งพื้นที่ภายในอาคารในฤดูหนาวมากที่สุดอยู่ในช่วง 43.70±1.14 - 67.55±2.83 $\mu g/m^3$ รองลงมาคือฤดูร้อนอยู่ในช่วง 27.50±18.92 - 33.00±2.99 $\mu g/m^3$ และน้อยที่สุดคือฤดูฝนอยู่ในช่วง 14.77±0.16 - 18.78±0.50 $\mu g/m^3$ ปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 ทั้งพื้นที่ภายนอกอาคารนอกฤดูหนาวมากที่สุดอยู่ในช่วง 56.05±1.18 - 90.55±9.29 $\mu g/m^3$ รองลงมาคือฤดูร้อนอยู่ในช่วง 17.64±0.66 - 24.83±1.04 $\mu g/m^3$ และน้อยที่สุดคือฤดูฝนอยู่ในช่วง 17.18±0.54 - 24.14±1.84 $\mu g/m^3$ ซึ่งมีค่าเกินกว่ามาตรฐานกำหนด

ในฤดูหนาวมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิภายในอาคารอยู่ในช่วง 25-27องศาเซลเซียส และภายนอกอาคารอยู่ในช่วง 27-40 องศาเซลเซียส ฤดูร้อนมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิภายในอาคารอยู่ในช่วง 25-27 องศาเซลเซียส ภายนอกอาคารอยู่ในช่วง 27-30 องศาเซลเซียส และฤดูฝนมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิภายในอาคาร อยู่ในช่วง 25-27 องศาเซลเซียส ภายนอกอาคารอยู่ในช่วง 27-30 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ในฤดูหนาวมีค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์ภายในอาคารอยู่ในช่วงร้อยละ 42-60 ภายนอกอาคารอยู่ในช่วงร้อยละ 24-60 ฤดูร้อนมีค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์ภายในอาคารอยู่ในช่วงร้อยละ 35-55 ภายนอกอาคารอยู่ในช่วงร้อยละ 20-55 ฤดูฝนมีค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์ภายในอาคารอยู่ในช่วงร้อยละ 77-80 ภายนอกอาคารอยู่ในช่วงร้อยละ 75-82 ดังแสดงในรูปที่ 7



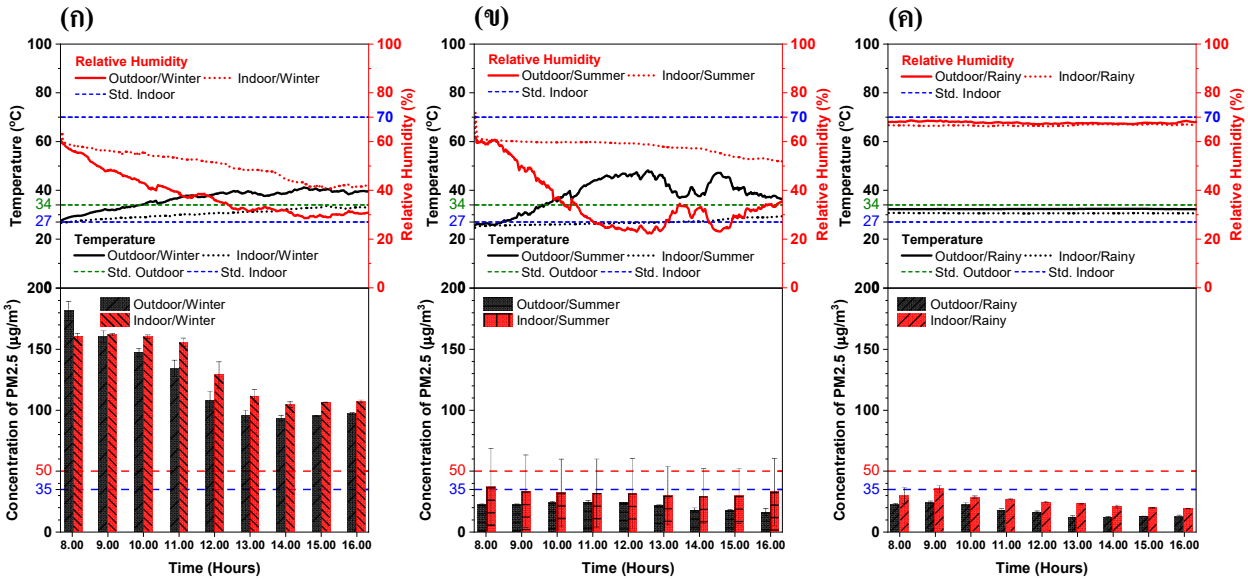
รูปที่ 7 ปริมาณของฝุ่นละออง PM2.5 อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ในพื้นที่ภายในและภายนอกอาคารของสำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ ใน (ก) ฤดูหนาว (ข) ฤดูร้อน และ (ค) ฤดูฝน

จากรูปที่ 7 แสดงให้เห็นว่าในฤดูหนาวทั้งพื้นที่ภายในและภายนอกอาคารมีค่าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่าร้อยละ 70 อุณหภูมิมีค่าสูงกว่า 27 องศาเซลเซียสส่งผลต่อปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 มีค่าลดลงเนื่องจากบริเวณรอบ ๆ ของสำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศมีแนวป่าไม้ขวางกั้นทิศทางลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือที่พัดพามลสารเข้ามา [21] ฤดูร้อนมีค่าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่าร้อยละ 70 และมีอุณหภูมิสูงกว่า 34 องศาเซลเซียสปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 ลดลงเนื่องจากเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น เกิดการหมุนเวียนของอากาศบริเวณพื้นผิวด้านล่างทำให้ฝุ่นละออง PM2.5 สามารถเคลื่อนย้ายได้ง่าย ส่วนในฤดูฝนพื้นที่ภายในและภายนอกอาคารมีค่าความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่าร้อยละ 70 อุณหภูมิมีค่าประมาณ 30 องศาเซลเซียสส่งผลต่อปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 มีค่าต่ำเนื่องจากกระบวนการชะล้างฝุ่นละอองในบรรยากาศโดยฝนและกระบวนการตกแบบเปียก

คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์มีค่าเฉลี่ยปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 ทั้งพื้นที่ภายในอาคารในฤดูหนาวมากที่สุดอยู่ในช่วง 104.26±2.30 - 161.83±0.77 $\mu g/m^3$ รองลงมาคือฤดูร้อนอยู่ในช่วง 28.97±22.57 - 36.38±31.69 $\mu g/m^3$ และน้อยที่สุดคือฤดูฝนอยู่ในช่วง 18.80±0.23 - 34.95±2.78 $\mu g/m^3$ ปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 ทั้งพื้นที่ภายนอกอาคารนอกฤดูหนาวมากที่สุดอยู่ในช่วง 93.00±2.34 - 181.22±7.83 $\mu g/m^3$ รองลงมาคือฤดูร้อนอยู่ในช่วง 15.83±3.02 - 24.07±1.38 $\mu g/m^3$ และน้อยที่สุดคือฤดูฝนอยู่ในช่วง 11.29±1.04 - 23.78±1.22 $\mu g/m^3$ ซึ่งมีค่าเกินกว่ามาตรฐานกำหนด

ในฤดูหนาวมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิภายในอาคารอยู่ในช่วง 25-27องศาเซลเซียส และภายนอกอาคารอยู่ในช่วง 27-39 องศาเซลเซียส ฤดูร้อนมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิภายในอาคารอยู่ในช่วง 25-27 องศาเซลเซียส ภายนอกอาคารอยู่ในช่วง 25-43 องศาเซลเซียส และฤดูฝนมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิภายในอาคาร อยู่ในช่วง 35-38 องศาเซลเซียส ภายนอกอาคารอยู่ในช่วง 25-37 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ในฤดูหนาวมีค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์ภายในอาคารอยู่ในช่วงร้อยละ 42-60 ภายนอกอาคารอยู่ในช่วงร้อยละ 27-42 ฤดูร้อนมีค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์ภายในอาคารอยู่ในช่วงร้อยละ 55-60 ภายนอกอาคารอยู่ในช่วงร้อยละ 25-60 ฤดูฝนมีค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์ภายในอาคารอยู่ในช่วงร้อยละ 67-69 ภายนอกอาคารอยู่ในช่วงร้อยละ 65-67 ดังแสดงในรูปที่ 8

จากรูปที่ 8 แสดงให้เห็นว่าในฤดูหนาวทั้งพื้นที่ภายในและภายนอกอาคารมีค่าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่าร้อยละ 70 อุณหภูมิมีค่าสูงกว่า 27 องศาเซลเซียสส่งผลต่อปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 มีค่าสูงขึ้นเนื่องจากการหมุนเวียนของอากาศต่ำซึ่งทำให้เกิดสภาวะของอากาศหยุดนิ่งเรียกว่า Static condition ฤดูร้อนมีค่าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่าร้อยละ 70 และมีอุณหภูมิสูงกว่า 34 องศาเซลเซียสปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 ลดลงเนื่องจากเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น เกิดการหมุนเวียนของอากาศบริเวณพื้นผิวด้านล่างทำให้ฝุ่นละออง PM2.5 สามารถเคลื่อนย้ายได้ง่าย ฤดูหนาวพื้นที่ภายในและภายนอกอาคารมีค่าความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่าร้อยละ 70 อุณหภูมิมีค่าประมาณ 30 องศาเซลเซียสส่งผลต่อปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 มีค่าต่ำเนื่องจากกระบวนการชะล้างฝุ่นละอองในบรรยากาศโดยฝนและกระบวนการตกแบบเปียก



รูปที่ 8 ปริมาณของฝุ่นละออง PM2.5 อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ในพื้นที่ภายในและภายนอกอาคารของคณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ใน (ก) ฤดูหนาว (ข) ฤดูร้อน และ (ค) ฤดูฝน

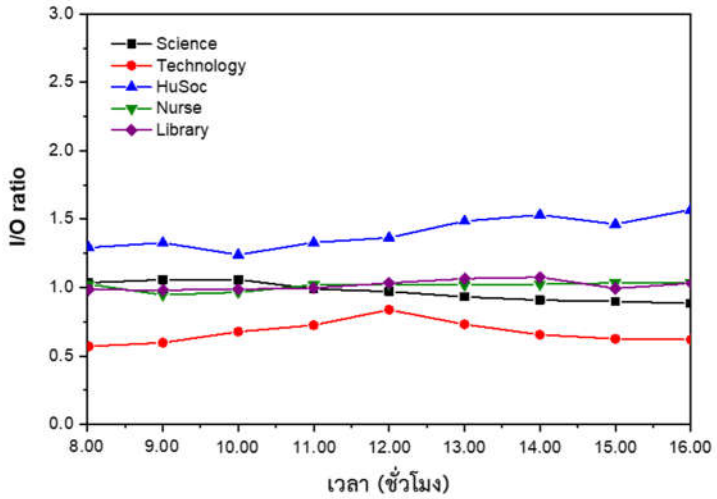
3.3 ผลการวิเคราะห์การได้รับสัมผัส

การได้รับสัมผัสโดยพิจารณาจากค่าอัตราส่วนระหว่างระดับฝุ่นละอองภายในและภายนอกอาคาร (I/O ratio) ในพื้นที่คณะวิทยาศาสตร์ คณะเทคโนโลยี คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ คณะพยาบาลศาสตร์ และสำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ พบว่าคณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุดเท่ากับ 1.40±1.15 แสดงให้ทราบว่าแหล่งกำเนิดฝุ่นละอองภายนอกอาคารมีน้อยกว่าภายในอาคาร แสดงให้เห็นว่าภายในอาคารยังมีฝุ่นละอองในบรรยากาศที่หลงเหลืออยู่จากการก่อสร้างอาคาร ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดฝุ่นละออง รองลงมาคือ สำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ พยาบาลศาสตร์ และวิทยาศาสตร์ คณะเทคโนโลยีมีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุดเท่ากับ 0.67±2.54 แสดงให้ทราบว่าแหล่งกำเนิดฝุ่นละอองภายนอกอาคารมีมากกว่าภายในอาคาร ไม่มีอิทธิพลต่อคุณภาพอากาศภายในอาคาร และไม่มีผลกระทบต่อฝุ่นละอองภายในอาคาร ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 อัตราส่วนระหว่างระดับฝุ่นละอองภายในและภายนอกอาคารของพื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษา	ค่าอัตราส่วนระหว่างระดับฝุ่นละอองภายในและภายนอกอาคาร
วิทยาศาสตร์	0.97±0.07
พยาบาลศาสตร์	1.01±0.03
เทคโนโลยี	0.67±0.08
สำนักวิทยบริการฯ	1.02±0.04
มนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์	1.40±0.12

จากแนวโน้ม I/O ratio พบว่าคณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์มีแนวโน้มค่า I/O ratio สูงขึ้นในช่วงบ่ายตั้งแต่เวลา 13.00 - 16.00 น. เนื่องจากอุณหภูมิภายนอกสูง ความสัมพัทธ์ต่ำ จึงทำให้ความเข้มข้นของ PM2.5 ต่ำ อันเนื่องมาจากเกิดการกระจายตัวของฝุ่นละอองได้ดี คณะเทคโนโลยีมีค่า I/O ratio ต่ำที่สุดในเวลา 12.00 น. เนื่องอุณหภูมิภายนอกและภายในมีความแตกต่างกัน จึงทำเกิดสภาวะอากาศนิ่ง (static condition) [21] สำนักวิทยบริการ พยาบาลศาสตร์ และวิทยาศาสตร์ มีค่า I/O ratio ในช่วงเวลา 8.00-16.00 น. อุณหภูมิ และ ความชื้นสัมพัทธ์ ภายนอกและภายในใกล้เคียงกัน จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าคณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์มีโอกาสรับสัมผัสกับฝุ่นละออง PM2.5 ภายในอาคารมากกว่าภายนอกอาคาร ดังแสดงในรูปที่ 9



รูปที่ 9 อัตราส่วนระหว่างระดับฝุ่นละอองภายในและภายนอกอาคารของคณะวิทยาศาสตร์ คณะเทคโนโลยี คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ คณะพยาบาลศาสตร์ และสำนักวิทยบริการฯ

3.4 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ปริมาณฝุ่นละออง PM2.5 ภายในและภายนอกอาคาร

จากผลศึกษาการนำข้อมูลอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความดันสัมพัทธ์ ความดันสัมบูรณ์และความเร็วลมเทียบกับปริมาณฝุ่นละออง PM2.5 ภายในและภายนอกอาคารห้องสำนักงาน พบดังสมการที่ 2 และ 3 ดังนี้

$$PM2.5_{indoor} = 0.298 - 0.002X_1 + 0.002X_2 - 0.004X_3 + 0.004X_4 + .000161X_5 \quad (2)$$

$$PM2.5_{outdoor} = 2.202 + 0.003X_1 + 0.004X_2 - 0.002X_3 + 0.001X_5 \quad (3)$$

เมื่อ X_1 คือ อุณหภูมิ (^{O}C)

X_2 คือ ความชื้นสัมพัทธ์ (%)

X_3 คือ ความดันสัมพัทธ์ (hpa)

X_4 คือ ความดันสัมบูรณ์ (hpa)

X_5 คือ ความเร็วลม (Km/h)

โดยค่า R^2 ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ปริมาณฝุ่นละออง PM2.5 ภายในและภายนอกอาคาร มีค่าเท่ากับ 0.85 และ 0.97 ตามลำดับ แสดงให้พบว่าแบบจำลองนี้มีความสามารถในการพยากรณ์ปริมาณฝุ่นละออง PM2.5 ได้ค่อนข้างแม่นยำ เมื่อเทียบกับงานของ Zaluska และคณะ ในปี 2020 [22] และ Neamhom และคณะ ในปี 2021 [23] ที่ใช้การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบสมการการถดถอยเชิงเส้นสำหรับการพยากรณ์ปริมาณฝุ่นละออง PM2.5 ภายในอาคารบ้านเรือน พบว่า มีค่า R^2 เท่ากับ 0.88 และ 0.88 ตามลำดับ และมีความใกล้เคียงกันกับผลการศึกษาในงานวิจัยชิ้นนี้ ซึ่งแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นจากข้อมูลที่ได้จากการติดตามและประเมินผลในพื้นที่ มีความสัมพันธ์กับปริมาณความเข้มข้นฝุ่นละออง PM2.5 สามารถนำไปใช้ทำนายปริมาณฝุ่นละออง PM2.5 ในพื้นที่ที่ไม่มีสถานีตรวจคุณภาพอากาศภาคพื้นดิน ใช้ในการแจ้งเตือนปริมาณฝุ่นละออง PM2.5 และใช้ในการบริหารจัดการปัญหาฝุ่นละออง PM2.5 ได้

4. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการติดตามและประเมินปริมาณฝุ่นละออง PM2.5 ในพื้นที่ภายในและภายนอกอาคาร ของมหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี (ศูนย์การศึกษาสามพร้าว) ประกอบด้วยพื้นที่ภายในอาคารจำนวน 5 พื้นที่ ได้แก่ พื้นที่ภายในอาคารคณะวิทยาศาสตร์ พื้นที่ภายในอาคารคณะพยาบาลศาสตร์ พื้นที่ภายในอาคารคณะเทคโนโลยี พื้นที่ภายในอาคารสำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ และพื้นที่ภายในอาคารคณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ และพื้นที่ภายนอกอาคาร จำนวน 1 พื้นที่ ดำเนินการตรวจวัด ปริมาณฝุ่นละออง PM2.5 อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ในพื้นที่ศึกษาวันละ 8 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 08.00 - 16.00 น. 5 วันต่อเนื่องกันในแต่ละสัปดาห์ ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน 2562 – เดือนพฤศจิกายน 2563 วิเคราะห์ผลค่าเฉลี่ยปริมาณฝุ่นละอองที่ได้เทียบกับค่าแนะนำพารามิเตอร์คุณภาพอากาศภายในอาคาร ตามฤดูหนาว ฤดูร้อน และฤดูฝน วิเคราะห์ค่าอัตราส่วนระหว่างปริมาณฝุ่นละอองภายในและภายนอกอาคาร (I/O ratio) และสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ผลการศึกษาพบว่าในฤดูหนาว ฤดูร้อน และฤดูฝน มีปริมาณของฝุ่นละออง PM2.5 ภายในอาคารอยู่ในช่วง 59.87 - 133.50 $\mu g/m^3$, 20.72 - 106.65 $\mu g/m^3$ และ 16.52 - 109.21 $\mu g/m^3$ ตามลำดับ ปริมาณของฝุ่นละออง PM2.5 ภายนอกอาคารอยู่ในช่วง 50.71 - 140.11 $\mu g/m^3$, 29.01 - 42.53 $\mu g/m^3$ และ 16.42 - 116.25 $\mu g/m^3$ ตามลำดับ ในช่วงฤดูหนาวมีปริมาณฝุ่นละออง PM2.5 สูงสุดเกินเกณฑ์ค่าแนะนำพารามิเตอร์คุณภาพอากาศภายในอาคาร เนื่องจากความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิมีค่าต่ำซึ่งมีความความสัมพันธ์เชิงลบกับปริมาณฝุ่นละออง PM2.5 ในช่วงฤดูร้อนมีปริมาณฝุ่นละออง PM2.5 ต่ำกว่าฤดูหนาว เนื่องจากความชื้นสัมพัทธ์มีค่าต่ำ แต่อุณหภูมิมีค่าสูง จึงเกิดการหมุนเวียนของอากาศบริเวณพื้นผิวด้านล่างทำให้ฝุ่นละออง PM2.5 สามารถเคลื่อนย้ายได้ง่าย ในช่วงฤดูฝนมีปริมาณฝุ่นละออง PM2.5 ต่ำที่สุด เนื่องจากกระบวนการชะล้างฝุ่นละอองในบรรยากาศ (Downwash) โดยฝน ยิ่งไปกว่านั้นปริมาณน้ำฝนมีความสัมพันธ์เชิงลบกับปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละออง เมื่อปริมาณน้ำฝนสูงขึ้นจะทำให้ปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 ลดลง เนื่องจากกระบวนการตกแบบเปียก (Wet deposition) ผลการวิเคราะห์การได้รับสัมผัสโดยพิจารณาจากค่าอัตราส่วนระหว่างระดับฝุ่นละอองภายในและภายนอกอาคาร พบว่ามีค่าต่ำสุด

เท่ากับ 0.67±0.08 แสดงว่าแหล่งกำเนิดฝุ่นละอองภายนอกอาคารมีมากกว่าภายในอาคารและอาจไม่มีผลกระทบต่อฝุ่นละอองภายในอาคารค่าสูงสุดเท่ากับ 1.40±0.12 แสดงว่าแหล่งกำเนิดฝุ่นละอองภายนอกอาคารมีน้อยกว่าภายในอาคาร แสดงว่ามีโอกาสรับสัมผัสกับฝุ่นละออง PM2.5 ภายในอาคารมากกว่าภายนอกอาคาร การใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทำนายปริมาณฝุ่นละออง PM2.5 ภายในและภายนอกอาคาร พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) เท่ากับ 0.85 และ 0.97 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับ งานของ Zaluska และคณะ และ Neamhom และคณะ ซึ่งมีค่า R^2 เท่ากับ 0.88 ค่าที่ได้มีความใกล้เคียงกัน ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการใช้ทำนายปริมาณฝุ่นละออง PM2.5 ในพื้นที่ที่ไม่มีสถานีตรวจคุณภาพอากาศภาคพื้นดิน ใช้ในการแจ้งเตือนปริมาณฝุ่นละออง PM2.5 และใช้ในการบริหารจัดการปัญหาฝุ่นละออง PM2.5 ได้

เอกสารอ้างอิง

[1] วิจิตตราภรณ์ สุขเจริญ, พิชชากร ตั้งอารมณ์สุข, มุกตาภา สนธิอัชชรา, กชพร ไวทยกุล, จิรายุ เศวตไกรพ, จิดาภา ภู่พงศ์เพ็ชร, รตรัฐ เข่งคุ้ม, ศักรินทร์ ภูผานิล วทบ. และ ศราวุธ ลาภมณีย์, “การศึกษามาตรการจัดการปัญหาฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอนของประเทศไทยตามแนวทางองค์การอนามัยโลก,” วชิรเวชสารและวารสารเวชศาสตร์เขตเมือง, ปีที่ 5, ฉบับที่ 64, 2563, หน้า 345-356.

[2] ขนิษฐา ชัยรัตนาวรรณ และ ณัฐพศุตม์ ภัทธิราสินสิริ, “แหล่งกำเนิด ผลกระทบและแนวทางจัดการฝุ่นละออง PM 2.5 บริเวณภาคเหนือของประเทศไทย,” วารสารสมาคมนักวิจัย, ปีที่ 25, ฉบับที่ 1, 2563, หน้า 461-474.

[3] สรรพสิทธิ์ ชมพูนุช และ กัมปนาท วงษ์วัฒนพงษ์, “แนวทางการแก้ไขปัญหาฝุ่นละอองจากการเผาในที่โล่งในเขตองค์การบริหาร ส่วนตำบลโกสัมพี อำเภอโกสัมพี จังหวัดกำแพงเพชร,” Journal of Modern Learning Development, ปีที่ 7, ฉบับที่ 8, 2565, หน้า 96-108.

[4] กรมควบคุมมลพิษ, “รายงานคุณภาพอากาศ ตำบลมีชัย อำเภอเมือง จังหวัดหนองคาย ปี 2563,”. ส่วนแผนงานและประมวลผล กองจัดการคุณภาพอากาศและเสียง, กรุงเทพฯ, 2564.

[5] สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ, “จุดความร้อน (Hot spot) และพืชเศรษฐกิจหลัก 4 ชนิด เกิดจากการวิเคราะห์จากข้อมูลดาวเทียม เขตหลักสี่,” กรุงเทพฯ, 2563.

[6] สำนักงานคณะกรรมการสุขภาพแห่งชาติ, “นโยบายสาธารณะเพื่อสุขภาพ ด้านคุณภาพอากาศ. นนทบุรี,”.

[7] บรรจบ ชุณหสวัสดิกุล, พยงค์ วณิเกียรติ, อัมพร กรอบทอง และ กมล ไชยสิทธิ์, “ผลต่อสุขภาพของฝุ่นละอองในอากาศขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอนกลไกก่อให้เกิดโรค และการรักษาด้วยการแพทย์ทางเลือก,” วารสารการแพทย์แผนไทยและการแพทย์ทางเลือก, ปีที่ 18, ฉบับที่ 1, 2563, หน้า 187-202.

[8] วนิดา จีนศาสตร์, “มลพิษอากาศ และการจัดการคุณภาพอากาศ,” ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพ, 2553, หน้า 75-214.

[9] ปิยนุช ชัยพฤติตานนท์, “การประเมินการได้รับสัมผัสฝุ่นละอองของบุคลากรและนักศึกษาในวิทยาลัยการอาชีพพนมทวน จังหวัดกาญจนบุรี,” วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2556.

[10] แผนจัดการคุณภาพสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2560 - 2564 [Online], Available: https://www.mot.go.th/environment_plan2560-2564 [9 พฤศจิกายน 2565].

[11] การป้องกันและแก้ไขปัญหาฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM2.5) [Online], Available: http://www.dla.go.th/ upload /document/type2 [9 พฤศจิกายน 2565].

[12] ชญานนท์ เทพแสงพราว, ธงทิศ ฉายากุล และ ศิริมา ปัญญาเมธีกุล, “การทำนายปริมาณฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอนจากข้อมูลความลึกเชิงแสงของอนุภาคแขวนลอยในอากาศและข้อมูลอุตุนิยมวิทยาในพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล,” การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 26, 2564, การประชุมรูปแบบออนไลน์.

[13] C. Chen and B. Zhao, “Review of the relationship between indoor and outdoor particles I/O ratio, infiltration factor and penetration factor,” Atmospheric Environment, 2011, pp.275-288.

[14] ศิรพัชร มั่งคั่ง, “การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 และลักษณะทางกายภาพของเมืองด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ และแบบจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ,” บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, 2563.

[15] คู่มือการปฏิบัติงานเพื่อการตรวจประเมินคุณภาพอากาศภายในอาคาร สำหรับเจ้าหน้าที่ [Online], Available: http://ghh.anamai.moph.go.th/uploads/public [9 พฤศจิกายน 2565].

[16] X. Li, Y. J. Feng and H. Y. Liang, “The Impact of Meteorological Factors on PM2.5 Variations in Hong Kong. IOP Conference Series,” Earth and Environmental Science, Vol. 78, 2017.

[17] Q. Yang, Q. Yuan, T. Li, H.Shen and L. Zhang, “The Relationships between PM2.5 and Meteorological Factors in China: Seasonal and Regional Variations,” International journal of environmental research and public health, Vol. 14, No.12, 2017.

[18] C. X. Zhao, Y. Q. Wang, Y. J. Wang, H. L. Zhang and B. Q. Zhao, “Temporal and spatial distribution of PM2. 5 and PM10 pollution status and the correlation of particulate matters and meteorological factors during winter and spring in Beijing,” Huan jing ke xue, Vol. 35, No. 2, 2014, pp.418-427.

[19] Y. Zhang and W. Jiang, “Pollution characteristics and influencing factors of atmospheric particulate matter (PM2.5) in Chang-Zhu-Tan area,” IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Vol. 108, 2018.

[20] J. Wang and S. Ogawa, “Effects of meteorological conditions on PM2. 5 concentrations in Nagasaki, Japan,” International journal of environmental research and public health, Vol. 12, No. 8, 2015, pp.9089-9101.

[21] วรญา ยุวะสุต, “รูปแบบภูมิทัศน์ขนาดเล็กเพื่อลดปัญหาฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน,” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการออกแบบและวางแผนสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยแม่โจ้, 2564, หน้า 33-37.

[22] M. Zaŀuska and K. Gŀadyszewska-Fiedoruk, “Regression model of PM2. 5 Concentration in a single-family house,” Sustainability, Vol. 12, No. 15, 2020, pp. 5952.

[23] T. Neamhom, W. Patthanaissaranukool, Y. Pinatha and B. Chommueang, “Health risk and predictive equation for PM 2.5 using TSP and PM 10 variables in office buildings,” Songklanakarin Journal of Science & Technology, Vol. 43, No. 3, 2021.