



การศึกษาหาบริเวณที่มาของ $PM_{2.5}$ จากการวิเคราะห์ข้อมูลระยะสั้นด้วยเทคนิค Bivariate Polar Plot ณ อำเภอบ้านไผ่ จังหวัดขอนแก่น ประเทศไทย

A Study on Determining the Potential Source Area of $PM_{2.5}$ Using Bivariate Polar Plot Technique on Short-Term Monitoring Data in Bhan Phi District, Khonkhen Province, Thailand

ศิริพงศ์ สุขทวี* รัชตวรรณ เกตุวัง อุดลย์เดช ปัตภัย และ นิรัน เปี่ยมไย

Sirapong Sooktawee*, Ratchatawan Ketwang, Aduldech Patpai and Nirun Piemyai

ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม ต.คลองห้า อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120

Environmental Research and Training Center, Department of Environmental Quality Promotion, Ministry of Natural Resources and Environment, Klong 5, Khlong Luang, Pathum Thani 12120, THAILAND

*Corresponding author e-mail: sooktawee@gmail.com

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Article history:

Received: August 30, 2022

Revised: September 29, 2022

Accepted: September 30, 2022

Available online: October 18, 2022

DOI: xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx

Keywords: $PM_{2.5}$, air pollution source, air quality, BVP, Bhan Phi District

The issue of particulate matter less than 2.5 microns ($PM_{2.5}$) has been concerning and important for many countries and Thailand. Many studies in Thailand have focused on the contribution of source types determined by a receptor model, the relationship between $PM_{2.5}$ and meteorological factors, and the impacts of $PM_{2.5}$ on human health. In terms of enforcement and management, it is important to know where the pollution comes from. A statistical technique, Bivariate Polar Plot (BVP), has been used to determine the potential source areas affecting air quality and $PM_{2.5}$ levels at the monitoring location. However, fewer studies are using the BVP in Thailand, especially in rural areas with many air pollution sources surrounding the monitoring station. Moreover, most studies used long-term monitoring data in the analysis. This study was conducted in Ban Phai District, Khon Kaen Province. The results show that 6 days of the 13 days monitoring period with the concentration of $PM_{2.5}$ particulate matter exceeds $50 \mu g/m^3$, the 24-hour average standard of Thailand, and is the interim target 2

(IT-2) of the World Health Organization (WHO). In addition, the results showed that the analysis of short-term hourly monitoring data of $PM_{2.5}$ could reveal changes in concentrations related to meteorological factors and atmospheric stability. The BVP technique identified the potential source areas of $PM_{2.5}$ over each period, and their locations changed depending on emission and meteorological factors of the corresponding period. The potential source areas are on the north side of the highway, Ban Phai District's urban area, and the open burning area on the east side. The pollution sources on the southern side of the air quality monitoring station do not exhibit as a potential source.

บทคัดย่อ

ปัญหาฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) เป็นปัญหาที่ทั่วโลกและประเทศไทยให้ความสำคัญในประเทศไทยได้มีการศึกษาสัดส่วนของประเภทแหล่งกำเนิด ปัจจัยอุตุนิยมวิทยา การแพร่กระจาย และผลกระทบต่อสุขภาพ ในขณะที่การหาบริเวณที่มาของแหล่งกำเนิด $PM_{2.5}$ ที่ส่งผลกระทบต่อชุมชนหรือคุณภาพอากาศ ณ จุดตรวจวัดเป็นสิ่งจำเป็นที่จะบ่งชี้ให้เห็นถึงพื้นที่ที่ควรมีมาตรการบริหารจัดการเป็นลำดับต้น ปัจจุบันนี้มีเทคนิคทางสถิติ Bivariate Polar Plot (BVP) ที่นำมาใช้ระบุหาพื้นที่ที่มาของแหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศ ซึ่งการใช้เทคนิคนี้ในประเทศไทยยังมีปรากฏไม่มากและไม่พบการศึกษาในพื้นที่เมืองขนาดเล็กที่มีแหล่งกำเนิดหลายประเภทกระจายอยู่โดยรอบจุดตรวจวัดคุณภาพอากาศและฝุ่นละออง นอกจากนี้การศึกษาวិเคราะห์ข้อมูลตรวจวัดคุณภาพอากาศโดยส่วนใหญ่แล้วเป็นการใช้ข้อมูลตรวจวัดระยะเวลายาว ผลการศึกษาจากการตรวจวัด 13 วัน ณ อำเภอบ้านไผ่ จังหวัดขอนแก่น ในครั้งนี้ พบว่ามีค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ เกิน $50 \mu g/m^3$ ซึ่งเป็นค่ามาตรฐานเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของประเทศไทยและเป็นค่าเป้าหมายระหว่างทางระดับที่ 2 (IT-2) ขององค์การอนามัยโลก (WHO) จำนวน 6 วัน และแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงระดับความเข้มข้นที่เกี่ยวข้องกับปัจจัย

อุตุนิยมวิทยาและความเสถียรของบรรยากาศ รวมทั้งประสบผลสำเร็จในการใช้เทคนิค BVP เพื่อบ่งชี้บริเวณแหล่งที่มาของ $PM_{2.5}$ ได้ โดยบริเวณพื้นที่สำคัญที่ทำให้ระดับค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ณ จุดตรวจวัดคุณภาพอากาศมีค่าเพิ่มขึ้นมาจากถนนทางด้านทิศเหนือ บริเวณตัวเมืองอำเภอบ้านไผ่ และการเผาในที่โล่งในบริเวณทางด้านทิศตะวันออก มากกว่าแหล่งกำเนิดที่อยู่ในบริเวณทางด้านใต้ของจุดตรวจวัด

คำสำคัญ: $PM_{2.5}$ แหล่งกำเนิด คุณภาพอากาศ BVP อำเภอบ้านไผ่

บทนำ

ปัญหาฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) เป็นปัญหาที่ทั่วโลกให้ความสนใจ [1–3] และยังคงเป็นปัญหาด้านมลพิษทางอากาศที่สำคัญของประเทศไทยจากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าประเทศไทยประสบปัญหาสถานการณ์ฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ เกินค่ามาตรฐานของประเทศไทยที่กรมควบคุมมลพิษกำหนดค่ามาตรฐานของฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 24 ชั่วโมงไว้ไม่เกิน $50 \mu g/m^3$ ในหลายพื้นที่ของประเทศไทยโดยเฉพาะในช่วงเดือนฤดูหนาวของทุกปี [4–7] ฝุ่น $PM_{2.5}$ นี้ยังส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์

แหล่งกำเนิดมลพิษที่เป็นที่มาของฝุ่นละออง ประกอบด้วย การจราจรขนส่ง [4] การเผาในที่โล่ง [8, 9] ภาคอุตสาหกรรม [6, 10] หรือจากปฏิกิริยาเคมีในบรรยากาศในการเกิดละอองลอยทุติยภูมิ [11] และอาจมีปัจจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น ภูมิประเทศ ภาวะความกดอากาศสูง ปริมาณฝน ลักษณะการไหลเวียนของลมมรสุม ที่ทำให้ความรุนแรงของปัญหาฝุ่นละอองเพิ่มขึ้นหรือลดลง ได้ [12, 13] สำหรับพื้นที่ที่ทำการศึกษาค้นคว้าฝุ่นละอองในประเทศไทยอยู่ในบริเวณพื้นที่กรุงเทพและปริมณฑล [4, 14–16] ภาคเหนือ [17] และพื้นที่ตำบลหน้าพระลาน จังหวัดสระบุรี [6, 18, 19] เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งยังมีการศึกษาในภูมิภาคอื่น ๆ น้อยมากเมื่อเทียบกับพื้นที่ศึกษาดังกล่าว

ปัญหาจากฝุ่นละอองเกี่ยวเนื่องกับสามส่วนหลัก คือ แหล่งกำเนิดฝุ่นละออง (Source) บรรยากาศหรืออากาศ (Media) และผู้รับ (Receptor) โดยการศึกษาทางด้านแหล่งกำเนิดได้มีการศึกษาหาสัดส่วนของประเภทแหล่งกำเนิดที่อยู่ในอนุภาคของฝุ่นละออง ณ บริเวณที่สนใจ (Receptor point) โดยใช้แบบจำลอง Receptor model ซึ่งพบว่าสัดส่วนของแหล่งกำเนิดหลัก ประกอบด้วย การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงดีเซล การเผาในที่โล่งและอื่น ๆ สำหรับในส่วนของการแพร่กระจายในบรรยากาศนั้น ได้มีการศึกษาการกระจายตัวของฝุ่นละอองจากแหล่งกำเนิดไปยังพื้นที่โดยรอบ การศึกษาหาเส้นทางเคลื่อนที่ของมวลอากาศย้อนกลับเพื่อดูเส้นทางที่มาของฝุ่นละออง การศึกษาผลกระทบและความสัมพันธ์กับปัจจัยทางภูมิอากาศ เป็นต้น และการศึกษาด้านกระทบของฝุ่นละอองต่อสุขภาพ [11, 16, 20–22] จากที่กล่าวมานั้นการศึกษาด้านแหล่งกำเนิดทำให้ทราบถึงประเภทของแหล่งกำเนิดหลักของ $PM_{2.5}$ หากแต่ยังไม่สามารถระบุเป็นบริเวณหรือพื้นที่ได้

สำหรับการหาพื้นที่บริเวณที่มาของมลพิษนั้น Uria-Tellaetxe I. และ Carslaw D. ได้ศึกษาและแนะนำเทคนิค Bivariate Polar Plot (BVP) ในการระบุที่มาของมลพิษทางอากาศจากแหล่งกำเนิดอุตสาหกรรมของก๊าซ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ออกไซด์ของไนโตรเจน และฝุ่นขนาด

เล็กกว่า 10 ไมครอน โดยใช้ข้อมูลการตรวจวัดมลพิษ ความเร็วและทิศทางลม มาทำการคำนวณค่าทางสถิติ เช่น ค่าเฉลี่ย และนำมาแสดงผลระบบพิกัดเชิงขั้ว (Polar Coordinate System) [23] สำหรับการศึกษาในประเทศไทยนั้น ได้มีการนำเทคนิค BVP มาใช้ในการหาบริเวณแหล่งที่มาของฝุ่นละอองในหลายพื้นที่ ในพื้นที่กรุงเทพมหานคร [4] ในบริเวณพื้นที่อุตสาหกรรมโรงโม่เหมืองหิน [6] ในบริเวณชุมชนที่ได้รับผลกระทบจากโรงไฟฟ้าชีวมวล [10] และบริเวณริมทะเลที่การพัดพาของลมมีความผันผวนสูง [5] ซึ่งเป็นที่น่าสนใจในการนำเทคนิคนี้หาบริเวณแหล่งที่มาของ $PM_{2.5}$ ณ พื้นที่เมืองขนาดเล็ก ในต่างจังหวัดที่มีแหล่งกำเนิดประเภทต่าง ๆ กิจกรรมในตัวเมือง การเผาในที่โล่งจากภาคเกษตรกรรม และการจราจรจากถนนสายหลักกระจายอยู่โดยรอบ

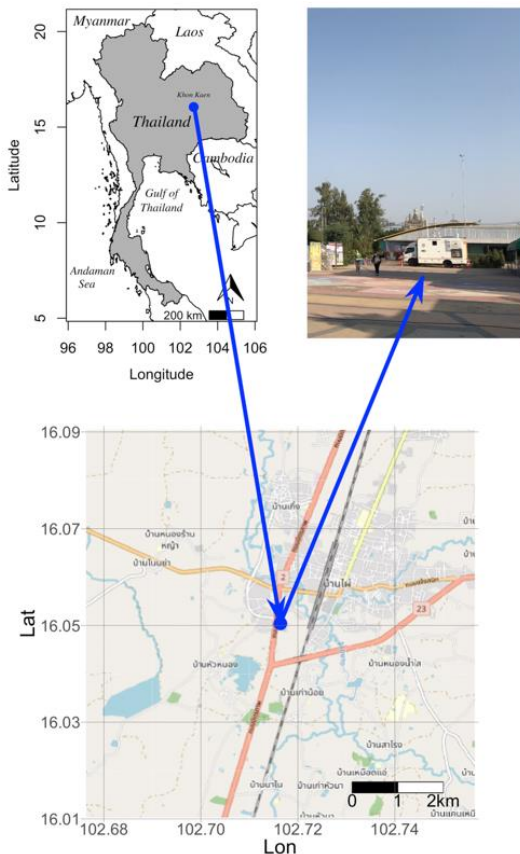
ข้อมูลจากสำนักงานสถิติจังหวัดขอนแก่นในปี พ.ศ. 2561 จังหวัดขอนแก่นที่มีพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่เกษตรกรรมประมาณร้อยละ 64.2 และพบปัญหาการเผาในที่โล่งจากข้อมูลสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศที่มีการติดตามตรวจสอบสถานการณ์ไฟป่า พบว่ามีจุดความร้อนสะสมในพื้นที่ทำการเกษตร และพื้นที่อำเภอบ้านไผ่ จังหวัดขอนแก่น เป็นอำเภอขนาดใหญ่ซึ่งมีความหนาแน่นน้อยเมื่อเทียบกับอำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น และยังมีแหล่งกำเนิดจากกิจกรรมในตัวเมืองจากภาคจราจรขนส่งที่มีถนนสายหลัก (ถนนมิตรภาพ) ผ่านและมีพื้นที่เกษตรกรรม เช่น ไร่ไถและนาข้าว ซึ่งเป็นพื้นที่ศึกษาที่สามารถแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงระดับความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ จากแหล่งกำเนิดหลายประเภท และเหมาะสมในการเป็นพื้นที่ศึกษาในการนำเทคนิค BVP มาใช้หาบริเวณที่มาของ $PM_{2.5}$ ในเมืองขนาดเล็กและมีพื้นที่เกษตรกรรมและการจราจรขนส่ง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อแสดงให้เห็นว่าเทคนิค BVP สามารถนำมาใช้กับบริเวณที่มาของ $PM_{2.5}$ ได้ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการนำไปประยุกต์ใช้ในพื้นที่อื่นของประเทศไทยต่อไป

ในบทความนี้จะนำเสนอถึงการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ กับค่ามาตรฐาน

เฉลี่ย 24 ชั่วโมงของประเทศไทยและเป็นค่าเป้าหมายระหว่างทางระดับที่ 2 (IT-2) ขององค์การอนามัยโลก (WHO) จากนั้นทำการวิเคราะห์เพื่อแบ่งช่วงอนุกรมเวลา ค่าความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เพื่อแสดงให้เห็นถึงปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาที่เกี่ยวข้องของช่วงเวลานั้น ๆ และในลำดับสุดท้ายคือการใช้เทคนิค BVP เพื่อแสดงให้เห็นบริเวณแหล่งกำเนิดของ $PM_{2.5}$ สำหรับแต่ละช่วงเวลา

วิธีดำเนินการวิจัย

1. พื้นที่ศึกษาและข้อมูลการตรวจวัด



รูปที่ 1 ตำแหน่งรถตรวจวัดคุณภาพอากาศ (วงกลมสีฟ้า) ที่ทำการตรวจวัด $PM_{2.5}$ และอุตุนิยมวิทยา



(ก)

(ข)

รูปที่ 2 เครื่องมือตรวจวัดฝุ่น $PM_{2.5}$ ที่ติดตั้งอยู่ภายในรถตรวจวัดคุณภาพอากาศแบบเคลื่อนที่ (ก) และท่อดูดตัวอย่างของเครื่องตรวจวัดจากด้านบนหลังคารถ (ข)

คณะผู้วิจัยได้ทำการตรวจวัดคุณภาพอากาศในช่วงระหว่างวันที่ 18 -30 มกราคม 2565 ณ ศูนย์วิทยาศาสตร์เพื่อการศึกษาขอนแก่น ตำบลในเมือง อำเภอบ้านไผ่ จังหวัดขอนแก่น แสดงดังรูปที่ 1 ทิศเหนือของจุดตรวจวัดเป็นพื้นที่ภายนอกตัวเมืองบ้านไผ่ และสี่แยกบ้านไผ่ระหว่าง ถ.มิตรภาพ ที่มุ่งหน้าขึ้นเหนือไปยัง จ.ขอนแก่น ตัดกับ ถ.จันทร์ประสิทธิ์ เข้ายังตัวเมืองอำเภอบ้านไผ่ที่อยู่ทางด้านทิศตะวันออกเฉียงเหนือของจุดตรวจวัด สำหรับทางด้านทิศตะวันออกของจุดตรวจวัดเป็นพื้นที่ชานเมืองบ้านไผ่และพื้นที่เกษตรกรรม ในทิศตะวันตกติดกับแนวถ.มิตรภาพ โดยถัดออกไปเป็นพื้นที่เกษตรกรรม ในทางทิศใต้เป็นพื้นที่เกษตรกรรม สี่แยกตัดกันระหว่าง ถ.มิตรภาพ และ ถ.แจ้งสนิท สำหรับการตรวจวัดฝุ่น $PM_{2.5}$ ได้ใช้เครื่องตรวจวัดอัตโนมัติ Thermo Scientific™ 1405-DF TEOM™ Continuous Dichotomous Ambient Air Monitor (รูปที่ 2) ที่ทำงานภายใต้สภาวะตามข้อกำหนดของ US.EPA เช่น อัตราการไหลของตัวอย่างอากาศที่ทำการชักตัวอย่างเข้าสู่เครื่องมือมีค่า 16.67 L/min จากนั้นแบ่งการไหลของตัวอย่างสำหรับการตรวจวัด $PM_{2.5}$ และ $PM_{2.5-10}$ 3 L/min และ 1.67 L/min ตามลำดับ สำหรับอัตราการไหลที่เหลือนั้น ตัวอย่างอากาศจะไหลผ่านกระดาศกรองขนาด 47 mm และระบายออกสู่อากาศภายนอกต่อไป โดยเครื่องตรวจวัดนี้ได้ติดตั้งอยู่ภายในรถ

ตรวจวัดคุณภาพอากาศแบบเคลื่อนที่ (Mobile Air Quality Monitoring Unit) ซึ่งเครื่องตรวจวัดนี้ใช้เทคนิค Tapered Element Oscillating Microbalance (TEOM) ที่ US.EPA และกรมควบคุมมลพิษได้ระบุให้เป็นเทคนิคที่สามารถใช้ในการตรวจวัด $PM_{2.5}$ ได้ นอกจากนี้รถตรวจวัดคุณภาพอากาศยังได้ติดตั้งเครื่องมือสำหรับตรวจวัดทิศทางและความเร็วลมที่ระดับความสูง 10 m ข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดของทุกพารามิเตอร์เป็นข้อมูลรายชั่วโมงและนำค่าตรวจวัดที่ได้ไปทำการวิเคราะห์ต่อไป

2. วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล

ในการวิเคราะห์ข้อมูลการตรวจวัดรายชั่วโมงที่ได้ นั้น ลำดับแรกทำการจัดรูปแบบข้อมูลให้ตรงกับความต้องการของโปรแกรม R โดยแพ็คเกจ changepoint ในโปรแกรม R ใช้สำหรับการวิเคราะห์หาจุดเปลี่ยนของข้อมูลอนุกรมเวลา และแพ็คเกจ OpenAir ใช้สำหรับหาบริเวณที่มาของ $PM_{2.5}$ จากนั้นทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นตามช่วงเวลาด้วยการพล็อตกราฟอนุกรมเวลา (Time Series) ลำดับถัดมาทำการวิเคราะห์เพื่อหาและแบ่งช่วงระดับความเข้มข้นเพิ่มขึ้นหรือลดลงด้วยการหาจุดเปลี่ยน (Changepoints) จากการทดสอบการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยของชุดข้อมูลอนุกรมเวลาด้วยการทดสอบสถิติแบบผลรวมสะสม (Mean Shift CUSUM) [24] หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์ห้วงลมและอุณหภูมิที่เกี่ยวเนื่อง ลำดับสุดท้ายทำการวิเคราะห์หาบริเวณที่มาของ $PM_{2.5}$ ในแต่ละช่วงด้วยเทคนิค Bivariate Polar Plots (BVP) [25] ซึ่งเป็นเทคนิคแสดงผลเชิงพื้นที่ที่บ่งชี้ถึงพื้นที่ที่มีนัยสำคัญเป็นบริเวณที่มาของมลพิษ ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ BVP ที่ได้นี้ถูกนำไปเปรียบเทียบกับพื้นที่จริงเพื่อตรวจสอบยืนยันแหล่งที่มาของการปล่อยมลพิษ $PM_{2.5}$

หลักการของ BVP ขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ของความเข้มข้น ความเร็ว และทิศทางลมที่เกิดขึ้นในเวลาเดียวกัน ข้อมูลการตรวจวัดรายชั่วโมงทั้งหมด ถูกวิเคราะห์โดยค่าความเข้มข้นถูกแบ่งไปในแต่ละช่วงของทิศทางลม และช่วงความเร็วลม ช่วงทิศทางลมถูกแบ่งเป็นขนาดย่อย

ทุก ๆ 10° และช่วงความเร็วลมแบ่งออกเป็น 30 ช่วงจากค่าสูงสุดที่ได้จากการตรวจวัด แต่ละช่วงย่อยของทิศทางลมและความเร็วลม (เช่น $0-10^\circ$ กับ $1-1.5$ m/s) จะเรียกว่ากริดเซลล์ จากทิศทางลม $0-360^\circ$ จะมีช่วงย่อย 36 ช่วง และเมื่อคูณกับช่วงความเร็วลม 30 ช่วง จะมีจำนวนกริดเซลล์ทั้งหมด 1,080 กริดเซลล์ ค่าความเข้มข้น $PM_{2.5}$ รายชั่วโมงที่ตรวจวัดถูกแบ่งลงในกริดเซลล์ตามทิศทางและความเร็วลมของชั่วโมงนั้น ๆ และนำค่าความเข้มข้นในแต่ละกริดเซลล์มาคำนวณค่าสถิติที่เกี่ยวข้อง เช่น ค่าเฉลี่ย หลังจากนั้นค่าเฉลี่ยความเข้มข้นที่ได้แต่ละกริดเซลล์ถูกนำมาให้เฉลี่ยตามระดับความเข้มข้นและปรับระดับสีให้มีพื้นผิวที่เรียบ (Surface Smooth) ด้วย The Generalized Additive Model กับ isotropic smooth และแสดงเป็น $\sqrt{C_i} = s(u, v) + e_i$ เมื่อ C_i คือค่าความเข้มข้นสารมลพิษ แต่ละลำดับที่ i^{th} s คือ smooth function e_i คือค่าที่เหลือสำหรับลำดับที่ i^{th} สำหรับการแสดงผลนั้นจะแสดงภาพของค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นบนพิกัดวงกลม (Polar Coordinate) โดยให้ $u = \overline{ws} \cdot \sin(2\pi/\overline{wd})$ และ $v = \overline{ws} \cdot \cos(2\pi/\overline{wd})$ เมื่อทิศทางลม คือ wd และความเร็วลม คือ ws ซึ่งสอดคล้องกับ θ และ r ในพิกัดวงกลม ดังนั้นความเข้มข้นเฉลี่ยแต่ละจุดสามารถพล็อตโดยใช้พิกัดวงกลม ความเข้มข้นบนพิกัดวงกลมสามารถบ่งชี้ถึงพื้นที่ของแหล่งที่มาของ $PM_{2.5}$ ที่มีความเป็นไปได้

ผลการศึกษาและอภิปรายผล

1. ระดับความเข้มข้น $PM_{2.5}$ และปัจจัยอุตุนิยมวิทยา

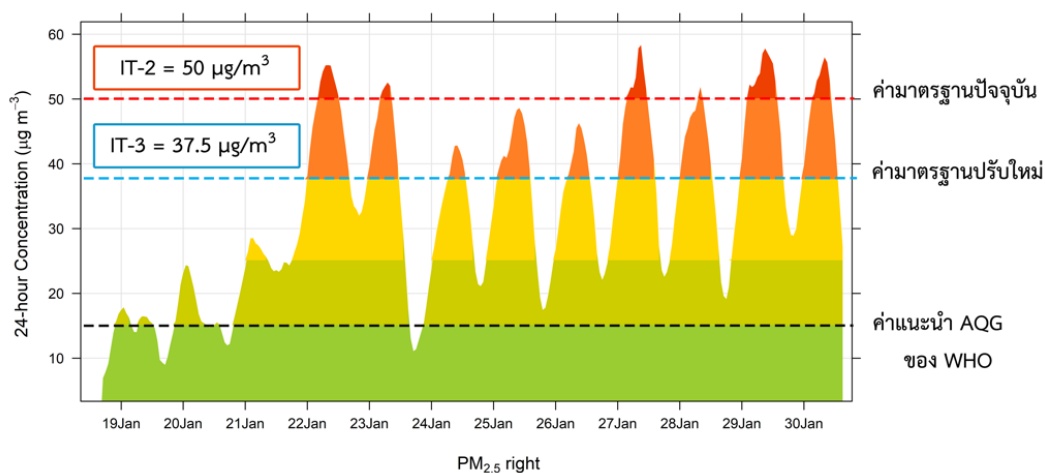
ตามเกณฑ์ค่าแนะนำคุณภาพอากาศขององค์การอนามัยโลก ซึ่งประกอบด้วยค่าแนะนำคุณภาพอากาศ และค่าเป้าหมายระหว่างทาง 5 ระดับ ประกอบไปด้วย ค่าเป้าหมายระหว่างทาง (Interim target) จำนวน 4 ค่า ได้แก่ ค่าเป้าหมายระหว่างทางระดับที่ 1 (IT-1) กำหนดค่ามาตรฐานฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ไม่เกิน $75 \mu g/m^3$ ค่าเป้าหมายระหว่างทางระดับที่ 2 (IT-2) ไม่เกิน $50 \mu g/m^3$ ซึ่งเป็นค่ามาตรฐานที่ประเทศไทยกำหนด ค่าเป้าหมายระหว่างทางระดับที่ 3 (IT-3) ไม่เกิน $37.5 \mu g/m^3$

ค่าเป้าหมายระหว่างทางระดับที่ 4 (IT-4) ไม่เกิน $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ และค่าแนะนำ (AQG level) ต้องไม่เกิน $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ [1] ผลการตรวจวัดรายชั่วโมงระหว่างวันที่ 18-30 มกราคม 2565 ได้ถูกนำมาหาค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมงแบบเคลื่อนที่ (Moving Average) และพบว่าวันที่ 22, 23, 27, 28, 29 และ 30 มกราคม 2565 รวมจำนวน 6 วัน จาก 13 วัน มีค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง $\text{PM}_{2.5}$ เกิน $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ซึ่งเป็นค่ามาตรฐานเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของประเทศไทยและเป็นค่าเป้าหมายระหว่างทางระดับที่ 2 (IT-2) ที่องค์การอนามัยโลกกำหนดไว้เช่นกัน แสดงดังรูปที่ 3 และมีจำนวนชั่วโมงที่ค่าความเข้มข้นเกินค่ามาตรฐานรวมทั้งสิ้น 40 ชั่วโมง จากชั่วโมงการตรวจวัดทั้งหมด 287 ชั่วโมง คิดเป็นร้อยละ 13.94 ส่วนใหญ่พบในช่วงเช้ามืดจนถึงช่วงสายหรือช่วงบ่ายของวัน

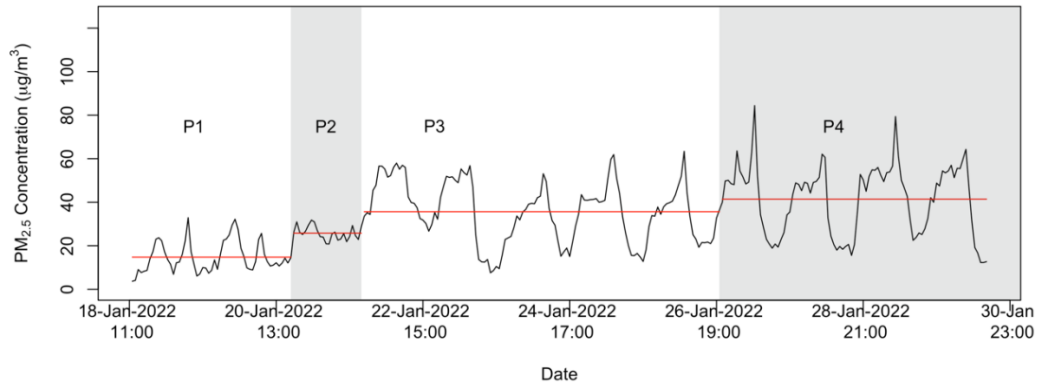
ปัจจุบันประเทศไทยได้มีการปรับค่ามาตรฐานฝุ่นละออง $\text{PM}_{2.5}$ ให้เข้มงวดขึ้น เพื่อยกระดับมาตรฐานคุณภาพอากาศของประเทศ ป้องกันผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชน โดยผ่านการประชุมรับฟังความคิดเห็นจากทุกภาคส่วน จากเดิมค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง มีค่ามาตรฐานไม่เกิน $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ปรับเปลี่ยนเป็น $37.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ และค่าเฉลี่ยรายปีจากเดิม $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ เป็น $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ โดยได้ประกาศ

ในราชกิจจานุเบกษา เมื่อวันที่ 8 กรกฎาคม 2565 โดยที่ค่ามาตรฐานเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ให้มีผลบังคับใช้ในวันที่ 1 มิถุนายน 2566 ดังนั้นหากมีการปรับค่ามาตรฐานฝุ่นละออง $\text{PM}_{2.5}$ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ให้มีค่าไม่เกิน $37.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ นั้น จากผลการตรวจวัดในครั้งนี้จะเห็นได้ว่าจำนวนวันและชั่วโมงที่มีความเข้มข้น $\text{PM}_{2.5}$ เกินค่ามาตรฐานเฉลี่ย 24 ชั่วโมงจะเพิ่มมากขึ้น โดยมีจำนวนรายชั่วโมงที่ค่าความเข้มข้นเกินค่ามาตรฐานรวมทั้งสิ้น 117 ชั่วโมง จากชั่วโมงการตรวจวัดทั้งหมด 287 ชั่วโมง คิดเป็นร้อยละ 40.77 แสดงดังรูปที่ 3

นอกจากนี้การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของระดับความเข้มข้นที่มีนัยสำคัญด้วยหลักการทางคณิตศาสตร์ Mean Shift CUSUM และแสดงผลของค่าเฉลี่ยเป็นกราฟเส้น โดยค่าเฉลี่ยในแต่ละช่วงโดยจะเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ณ เวลาที่เป็นจุดเปลี่ยน (Changepoint) แสดงดังรูปที่ 4 การหาจุดเปลี่ยนในลักษณะนี้ดำเนินการเพื่อแบ่งช่วงเวลาในระดับความเข้มข้นเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญและสามารถนำไปวิเคราะห์หาคุณลักษณะเฉพาะได้ชัดเจนยิ่งขึ้น หรือค้นหาลำดับที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงระดับความเข้มข้นในแต่ละช่วงเวลาได้



รูปที่ 3 การเปรียบเทียบระดับค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง $\text{PM}_{2.5}$ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง (Moving Average) ตามเกณฑ์คำแนะนำขององค์การอนามัยโลก



รูปที่ 4 ความเข้มข้นรายชั่วโมงของ $PM_{2.5}$ (เส้นสีดำ) และค่าเฉลี่ย (เส้นสีแดง) ของแต่ละช่วงเวลาตามตำแหน่งจุดเปลี่ยน (Changepoints)

การตรวจวัดคุณภาพอากาศในระหว่างวันที่ 18 - 30 มกราคม 2565 จะตรงกับช่วงฤดูหนาว ซึ่งเป็นฤดูแล้ง (Dry Season) ตามประกาศกรมอุตุนิยมวิทยา เรื่อง การเริ่มต้นฤดูหนาวของประเทศไทย พ.ศ. 2564 ซึ่งมีสภาพอากาศเย็น ฝุ่นละอองขนาดเล็กมีการสะสมปานกลาง เนื่องจากลมที่พัดปกคลุมประเทศไทยมีกำลังอ่อน เมื่อพิจารณาจุดเปลี่ยนของระดับความเข้มข้น ดังรูปที่ 4 พบว่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ในแต่ละช่วงมีค่าเฉลี่ยสูงขึ้นตามลำดับ โดยแบ่งได้เป็น 4 ช่วงการเปลี่ยนแปลง ช่วงที่ 1 ระหว่างวันที่ 18 มกราคม 2565 เวลา 12.00 น. ถึงวันที่ 20 มกราคม 2565 เวลา 18.00 น. เป็นช่วงที่มีความเข้มข้นเฉลี่ยต่ำสุด เท่ากับ $14.79 \mu\text{g}/\text{m}^3$ พบว่าปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาของอุณหภูมิมียุณหภูมิอยู่ที่ 23.32°C และมีความเร็วลม (WS) ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 1.70 m/s โดยมีทิศทางลม (WD) พัดมาจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือ (East-Northeast: ENE) มีความชื้นสัมพัทธ์ (RH) ที่ต่ำเนื่องจากไม่มีฝนตก ดังตารางที่ 1 สำหรับช่วงที่ 2 ระหว่างวันที่ 20 มกราคม 2565 เวลา 18.00 น. ถึงวันที่ 21 มกราคม 2565 เวลา 18.00 น. มีช่วงความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ $25.81 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาของอุณหภูมิมียุณหภูมิอยู่ที่ 22.8°C และมีความเร็วลมค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 1.12 m/s โดยมีทิศทางลมพัดมาจากทิศตะวันออกเฉียงใต้ (East-Southeast: ESE) และมีความชื้นสัมพัทธ์สูงเนื่องจากเป็นช่วงที่มีฝนพำเป็นละออง สำหรับช่วงที่ 3 ระหว่างวันที่ 21 มกราคม

2565 เวลา 18.00 น. ถึงวันที่ 26 มกราคม 2565 เวลา 20.00 น. มีช่วงความเข้มข้นเฉลี่ย เท่ากับ $35.64 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาของอุณหภูมิมียุณหภูมิอยู่ที่ 24.35°C และมีความเร็วลมค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 1.13 m/s โดยมีทิศทางลมพัดมาจากทิศเหนือ (North: N) มีความชื้นสัมพัทธ์สูงเนื่องจากเป็นช่วงที่มีฝนเช่นเดียวกันกับช่วงที่ 2 และในช่วงท้ายของการตรวจวัด คือ ระหว่างวันที่ 26 มกราคม 2565 เวลา 20.00 น. ถึงวันที่ 30 มกราคม 2565 เวลา 15.00 น. เป็นช่วงที่มีความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุด เท่ากับ $41.44 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาของอุณหภูมิมียุณหภูมิอยู่ที่ 25.77°C และมีความเร็วลมค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 1.14 m/s โดยมีทิศทางลมพัดมาจากทิศตะวันออก-ตะวันออกเฉียงใต้ (East-Southeast: ESE) มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำเนื่องจากไม่มีฝนตก

จากที่กล่าวมานั้นจะสังเกตเห็นได้ว่าในช่วงที่มีฝนพำที่ท้องฟ้าจะสลัวมีเมฆปกคลุมทำให้มีค่าความเข้มแสงลดลง (Solar Radiation) และมีค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่สูงขึ้นกว่าในช่วงที่ไม่มีฝน แสดงให้เห็นถึงผลที่เกี่ยวข้องกับความเสถียรของบรรยากาศ การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นทั้งสี่ช่วงนี้กล่าวได้ว่าในช่วงที่ 1 มีความเข้มข้นต่ำสุด เป็นช่วงที่บรรยากาศไม่เสถียร (Unstable Condition) มีความเข้มข้นของแสงแดดมาก ความเร็วลมสูงกว่าช่วงอื่นจึงทำให้มลพิษสะสมได้น้อย ขณะที่ในช่วงเวลาอื่นมีความเข้มแสงน้อยลง ความเร็วลมต่ำ จึงมีสภาพบรรยากาศที่เสถียร

มากกว่า มลพิษกระจายตัวได้ไม่ดีเกิดการสะสมมากขึ้น จึงทำให้ความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ มีค่าสูงขึ้น และการเปลี่ยนแปลงของความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิ ความเร็วลม เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อความเข้มข้นค่อนข้างชัดเจน อย่างไรก็ตาม

ก็ตามการศึกษาปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาต่อความเข้มข้นของฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ อาจจำเป็นต้องใช้ข้อมูลการตรวจวัดในระยะยาว เพื่อพิจารณาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนและบ่งชี้ความสัมพันธ์ได้ดียิ่งขึ้น

ตารางที่ 1 แสดงค่าเฉลี่ยของปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา

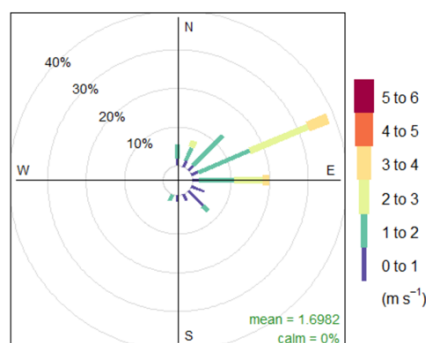
ช่วง	Temp (°C)	WS (m/s)	WD	RH (%)	Solar Radiation (W/m ²)		Rain (mm)
					ค่าเฉลี่ย	ค่าสูงสุด	
1	23.32	1.70	ENE	61.29	215.8	750.3	0
2	22.80	1.12	ESE	73.93	100.4	516.7	0.008
3	24.35	1.13	N	70.63	167.2	770.3	0.003
4	25.77	1.14	ESE	60.60	191.15	743.9	0

หมายเหตุ: Temp คืออุณหภูมิ WS คือความเร็วลม WD คือทิศทางลม และ RH คือความชื้นสัมพัทธ์

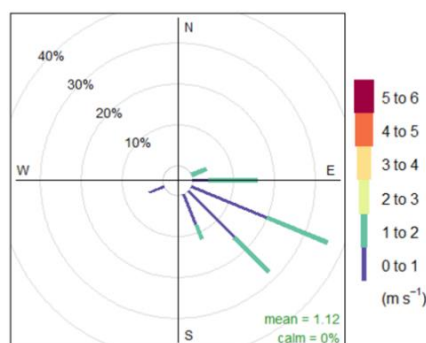
2. ผังลม (Wind Rose)

จากการวิเคราะห์ระดับความเข้มข้น $PM_{2.5}$ และปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาที่ผ่านมานั้นพบว่ายังมีปัจจัยของทิศทางลมเข้ามามีความสัมพันธ์ต่อการเคลื่อนย้ายของมวลอากาศที่อาจนำมลพิษจากแหล่งกำเนิดมายังตำแหน่งตรวจวัดคุณภาพอากาศ หาก ณ บริเวณต้นลมมีแหล่งกำเนิดอยู่ การวิเคราะห์โดยผังลม (Wind Rose) สามารถแสดงให้เห็นสัดส่วนทิศทางลมที่พัดและสัดส่วนในแต่ละช่วงของความเร็วลมตามทิศทางที่เกี่ยวข้องตลอดช่วงระยะเวลาที่ทำการตรวจวัด ผลการวิเคราะห์ผังลมตลอดช่วงการตรวจวัดแสดงให้เห็นถึงความเปลี่ยนแปลงของทิศทางลมหลักที่พัดมายังบริเวณที่ตั้งจุดตรวจวัดคุณภาพอากาศอย่างเห็นได้ชัด ในช่วงที่ 1 จะเห็นได้ว่าลมพัดมาจากระหว่างทิศตะวันออกเฉียง (East) และทิศตะวันออกเฉียงเหนือ (NorthEast) โดยมาจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือ (East-Northeast: ENE) มีสัดส่วนสูงสุด 28% (รูปที่ 5) ช่วงที่ 2 ลมพัดมาจากทิศตะวันออกเฉียงใต้ (South-Southeast: SSE) เป็นส่วนใหญ่ (รูปที่ 6) ช่วงที่ 3 ลมพัดมาจากหลายทิศทางโดยส่วนใหญ่พัดมาจากทางด้านบนโดยพัดมาจากทางทิศเหนือ (Noth: N) มากสุด 15% (รูปที่ 7) และช่วงที่ 4 ลมพัดมาจากทางด้านใต้เป็นส่วนใหญ่ทั้งทางด้านตะวันออกเฉียงใต้

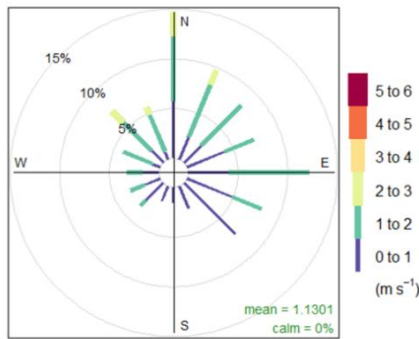
และตะวันตกเฉียงใต้โดยพัดมาจากทิศตะวันออกเฉียงใต้ (Southeast: S) มากที่สุด 16% (รูปที่ 8)



Frequency of counts by wind direction (%)
รูปที่ 5 แสดงผังลม (Wind Rose) ของช่วงที่ 1

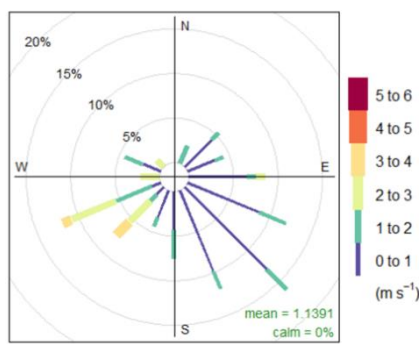


Frequency of counts by wind direction (%)
รูปที่ 6 แสดงผังลม (Wind Rose) ของช่วงที่ 2



Frequency of counts by wind direction (%)

รูปที่ 7 แสดงผังลม (Wind Rose) ของช่วงที่ 3



Frequency of counts by wind direction (%)

รูปที่ 8 แสดงผังลม (Wind Rose) ของช่วงที่ 4

3. บริเวณที่มาของ $PM_{2.5}$

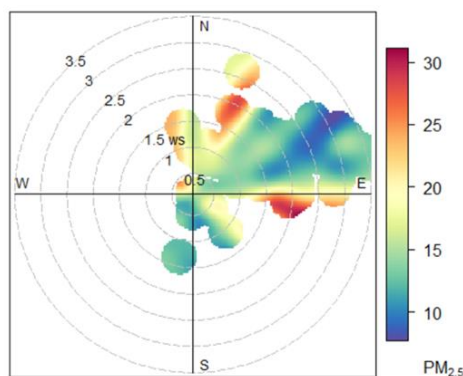
จากการวิเคราะห์ข้างต้นทั้งหมดนี้ แหล่งที่มาของฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ในแต่ละช่วงเวลาน่าจะมีความแตกต่างกัน ซึ่งการวิเคราะห์ผังลมนี้สามารถแสดงให้เห็นถึงลมหลักที่พัดมายังจุดตรวจวัดเท่านั้น แต่ในบริเวณต้นลมอาจจะมีหรือไม่มีแหล่งกำเนิด $PM_{2.5}$ อยู่ เนื่องจากในการคำนวณสำหรับสร้างผังลมอยู่บนพื้นฐานการวิเคราะห์ความถี่หรือสัดส่วนการพัดพาของลมในแต่ละทิศต่อจำนวนข้อมูลทั้งหมด และเพื่อที่จะให้ทราบข้อมูลของพื้นที่นั้นได้อย่างชัดเจนมากขึ้นจึงได้มีการวิเคราะห์ BVP ซึ่งเป็นเทคนิคแสดงผลเชิงพื้นที่ที่บ่งชี้ถึงพื้นที่ที่มีนัยสำคัญของแหล่งที่มาของมลพิษ ดังนั้นจึงเหมาะที่จะนำมาใช้วิเคราะห์ต่อไป

ผลการวิเคราะห์ BVP ที่ได้แสดงดังรูปที่ 9-12 บริเวณที่มีสีแดงถึงแดงเข้ม แสดงถึงพื้นที่แหล่งกำเนิดที่มีนัยสำคัญที่ส่งผลให้ค่าความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ จุด

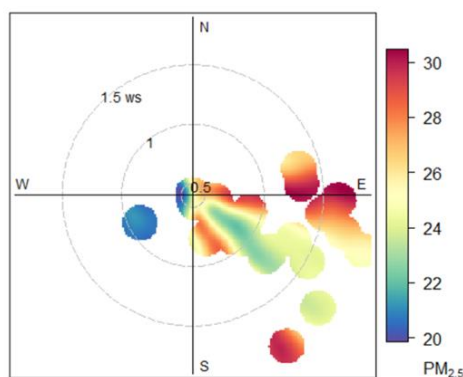
ตรวจวัดในช่วงเวลานั้นมีค่าสูง โดยในช่วงที่ 1 (รูปที่ 9) มีความเข้มข้นเฉลี่ยต่ำกว่าช่วงอื่นนั้น พบว่าพื้นที่หลักที่ทำให้ค่าความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ณ สถานีตรวจวัดมีค่าสูง ($>25 \mu\text{g}/\text{m}^3$) มาจากบริเวณทางด้านทิศเหนือตะวันออกเฉียงเหนือ (NNE) โดยมีระยะห่างจากจุดตรวจวัดประมาณ 5-7 km โดยคำนวณจากความเร็วลม 1.4-2 m/s และเวลา 1 ชั่วโมง และยังมีแหล่งที่มาของ $PM_{2.5}$ จากบริเวณทางด้านทิศตะวันออก (E) มีระยะห่างจากจุดตรวจวัดประมาณ 7.2 km สำหรับช่วงที่ 2 (รูปที่ 10) พื้นที่หลักที่ทำให้ค่าความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ณ สถานีตรวจวัดมีค่าสูง ($>28 \mu\text{g}/\text{m}^3$) มาจากบริเวณทางด้านทิศตะวันออก - ตะวันออกเฉียงใต้ (ESE) พบว่าบริเวณที่ทำให้ค่าความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ มีค่าสูงอยู่ติดกับสถานีตรวจวัดจนถึงระยะ 5.4 km ในช่วงที่ 3 (รูปที่ 11) พื้นที่หลักที่ทำให้ค่าความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ณ สถานีตรวจวัดมีค่าสูง ($>45 \mu\text{g}/\text{m}^3$) มาจากบริเวณทางด้านทิศเหนือ-ตะวันออกเฉียงเหนือ (NNE) บริเวณทิศตะวันออก (E) ไปจนถึงตะวันออกเฉียงใต้ (SE) และบริเวณทิศตะวันตก-ตะวันตกเฉียงเหนือ (WNN) พบว่าบริเวณที่ทำให้ค่าความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ มีค่าสูงอยู่ติดกับสถานีตรวจวัดจนถึงระยะ 10.8 km และเมื่อเทียบกับพื้นที่จริงแสดงดังรูปที่ 13 พบว่าบริเวณแหล่งกำเนิดทางด้านตะวันตกเฉียงเหนือเป็นบริเวณเกษตรกรรมและถนนสายรอง ในทางด้านเหนือเป็นถนนมิตรภาพและตัวเมืองอำเภอบ้านไผ่ ในทางด้านตะวันออกเป็นพื้นที่เกษตรกรรมที่มีการเผาในที่โล่งเกิดขึ้นสำหรับในช่วงที่ 4 (รูปที่ 12) พื้นที่หลักที่ทำให้ค่าความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ณ สถานีตรวจวัดมีค่าสูง ($>65 \mu\text{g}/\text{m}^3$) มาจากบริเวณทางด้านทิศเหนือตะวันออกเฉียงเหนือ (NNE) โดยมีระยะห่างจากจุดตรวจวัดประมาณ 7.2 km

จากการวิเคราะห์ในครั้งนี้จะเห็นได้ว่าผลลักษณะการพัดพาของลม สภาพอากาศ ปริมาณการระบายและแหล่งกำเนิดมลพิษส่งผลให้พื้นที่แหล่งกำเนิดที่ทำให้ $PM_{2.5}$ สูง ในแต่ละช่วงเวลาจะแตกต่างกันไป ลมหลักที่พัดมายังบริเวณที่ตั้งจุดตรวจวัดคุณภาพอากาศที่ทำการวิเคราะห์ด้วยผังลมอาจไม่ส่งผลต่อความเข้มข้น

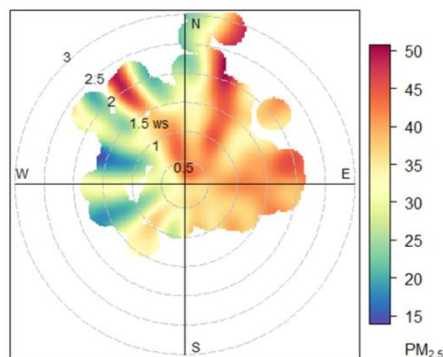
ของ $PM_{2.5}$ ให้เพิ่มสูงขึ้นก็เป็นได้ถ้าหากไม่มีแหล่งกำเนิดอยู่ ณ บริเวณต้นลม ในทางกลับกันหากทิศทางที่พัดพามายังจุดตรวจวัดไม่ได้เป็นทิศทางหลักแต่มีแหล่งกำเนิด $PM_{2.5}$ อยู่ต้นลมจะสามารถทำให้ระดับความเข้มข้น ณ จุดตรวจวัดสูงขึ้น ซึ่งข้อจำกัดของการวิเคราะห์ผังลมนี้สามารถเติมเต็มด้วยการวิเคราะห์ BVP ที่สามารถจับสัญญาณแสดงบริเวณพื้นที่ที่ส่งผลให้ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ สูงขึ้น และภาพจากการวิเคราะห์ BVP นี้สามารถนำไปใช้แสดงผลการวิเคราะห์ของ $PM_{2.5}$ ได้ในมุมมองอื่นนอกเหนือจากเทคนิคการแสดงผลที่ได้มีการรวบรวมและนำเสนอโดยการศึกษาก่อนหน้า [26]



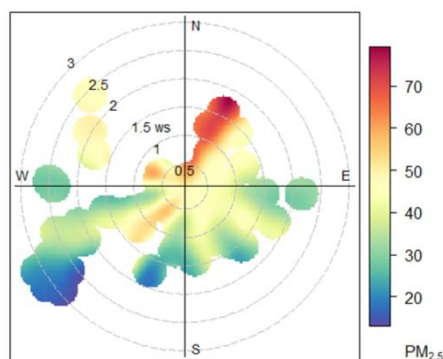
รูปที่ 9 Bivariate Polar Plot ของ $PM_{2.5}$ ช่วงที่ 1 (เฉดสีแสดงค่าความเข้มข้นเฉลี่ยในหน่วย $\mu g/m^3$)



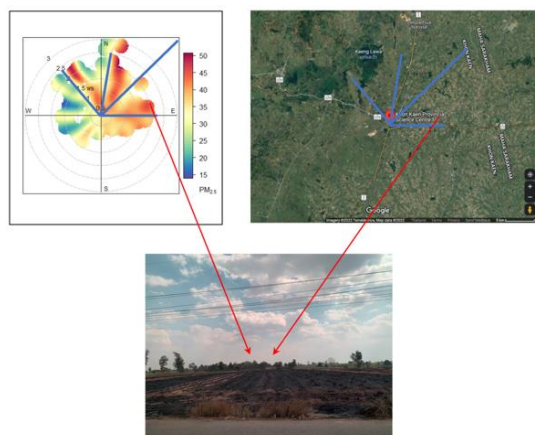
รูปที่ 10 Bivariate Polar Plot ของ $PM_{2.5}$ ช่วงที่ 2 (เฉดสีแสดงค่าความเข้มข้นเฉลี่ยในหน่วย $\mu g/m^3$)



รูปที่ 11 Bivariate Polar Plot ของ $PM_{2.5}$ ช่วงที่ 3 (เฉดสีแสดงค่าความเข้มข้นเฉลี่ยในหน่วย $\mu g/m^3$)



รูปที่ 12 Bivariate Polar Plot ของ $PM_{2.5}$ ช่วงที่ 4 (เฉดสีแสดงค่าความเข้มข้นเฉลี่ยในหน่วย $\mu g/m^3$)



รูปที่ 13 ตัวอย่างการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ BVP ช่วงที่ 3 กับพื้นที่จริง (ตำแหน่งจุดตัดระหว่างแกนแนวตั้งและแกนแนวนอนของรูปผลการวิเคราะห์ BVP ในภาพซ้ายบนและจุดสีแดงในภาพขวาบนแสดงถึงตำแหน่งรถตรวจวัดคุณภาพอากาศ)

สรุปผล

การตรวจวัดและวิเคราะห์ข้อมูล $PM_{2.5}$ ณ ศูนย์วิทยาศาสตร์เพื่อการศึกษาขอนแก่น ตำบล ในเมือง อำเภอ บ้านไผ่ จังหวัดขอนแก่น ระหว่างวันที่ 18-30 มกราคม 2565 ซึ่งเป็นการตรวจวัดระยะสั้นพบว่าสถานการณ์ฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ มีค่าเกิน $50 \mu g/m^3$ ในวันที่ 22, 23, 27, 28, 29 และ 30 มกราคม 2565 ซึ่งมีจำนวน 6 วัน จาก 13 วัน ที่ทำการตรวจวัด และเมื่อปรับเปลี่ยนค่ามาตรฐานเป็น $37.5 \mu g/m^3$ ทำให้จำนวนวันที่มีความเข้มข้นเกินค่ามาตรฐานกำหนดเพิ่มมากขึ้น รวม 9 วัน จาก 13 วัน โดยปัจจัยที่เกี่ยวข้องในช่วงเวลาที่มีความเข้มข้นสูงเกี่ยวข้องกับความเร็วลมและทิศทางลม ซึ่งหากบริเวณทิศทางลมหลักที่พัฒมายังจุดตรวจวัดคุณภาพอากาศ ไม่สามารถแสดงถึงบริเวณที่มาของ $PM_{2.5}$ ได้ เนื่องจากเป็นค่าของสัดส่วนของจำนวนข้อมูลทิศทางลมในแต่ละทิศต่อจำนวนข้อมูลทั้งหมด ในขณะที่ Bivariate Polar Plots (BVP) เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ที่สัมพันธ์กับข้อมูลในแต่ละช่วงของความเร็วลมและทิศทางลม ซึ่งหากบริเวณทิศทางลมหลักที่พัฒมายังจุดตรวจวัดไม่มีแหล่งกำเนิดผลการวิเคราะห์ BVP จะแสดงค่าความเข้มข้นต่ำ แต่หากบริเวณทิศทางลมที่พัฒมายังจุดตรวจวัดมีความถี่ต่ำนั้น มีแหล่งกำเนิดอยู่ ผลการวิเคราะห์ BVP จะแสดงค่าความเข้มข้นสูง ในการศึกษานี้ผลการวิเคราะห์ BVP (รูปที่ 9-12) แสดงให้เห็นว่าพื้นที่แหล่งกำเนิดหลักมาจากการจราจร การเผาในที่โล่ง และการทำกิจกรรมในเมือง ทำให้ค่าความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ณ จุดตรวจวัดคุณภาพอากาศมีค่าสูง ซึ่งในแต่ละช่วงเวลาจะแตกต่างกันไป โดยเป็นผลมาจากลักษณะการพัดพาของลม สภาพอากาศ และปริมาณการระบายมลพิษในแต่ละช่วงเวลา กล่าวโดยสรุปพบว่าบริเวณที่มาหลักของฝุ่นละอองในช่วงเวลาทำการศึกษานี้

นอกจากนี้จากการวิเคราะห์ผังลม (รูปที่ 5-8) แสดงให้เห็นถึงทิศทางของลมหลักที่พัฒมายังจุดตรวจวัดคุณภาพอากาศ ไม่สามารถแสดงถึงบริเวณที่มาของ $PM_{2.5}$ ได้ เนื่องจากเป็นค่าของสัดส่วนของจำนวนข้อมูลทิศทางลมในแต่ละทิศต่อจำนวนข้อมูลทั้งหมด ในขณะที่ Bivariate Polar Plots (BVP) เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ที่สัมพันธ์กับข้อมูลในแต่ละช่วงของความเร็วลมและทิศทางลม ซึ่งหากบริเวณทิศทางลมหลักที่พัฒมายังจุดตรวจวัดไม่มีแหล่งกำเนิดผลการวิเคราะห์ BVP จะแสดงค่าความเข้มข้นต่ำ แต่หากบริเวณทิศทางลมที่พัฒมายังจุดตรวจวัดมีความถี่ต่ำนั้น มีแหล่งกำเนิดอยู่ ผลการวิเคราะห์ BVP จะแสดงค่าความเข้มข้นสูง ในการศึกษานี้ผลการวิเคราะห์ BVP (รูปที่ 9-12) แสดงให้เห็นว่าพื้นที่แหล่งกำเนิดหลักมาจากการจราจร การเผาในที่โล่ง และการทำกิจกรรมในเมือง ทำให้ค่าความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ณ จุดตรวจวัดคุณภาพอากาศมีค่าสูง ซึ่งในแต่ละช่วงเวลาจะแตกต่างกันไป โดยเป็นผลมาจากลักษณะการพัดพาของลม สภาพอากาศ และปริมาณการระบายมลพิษในแต่ละช่วงเวลา กล่าวโดยสรุปพบว่าบริเวณที่มาหลักของฝุ่นละอองในช่วงเวลาทำการศึกษานี้

นั้นมาจากแหล่งกำเนิดบริเวณด้านทิศเหนือที่เป็นถนนสายหลักบริเวณตัวเมืองอำเภอบ้านไผ่ และการเผาในที่โล่งทางด้านทิศตะวันออกมากกว่าแหล่งกำเนิดทางด้านใต้ของจุดตรวจวัด

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ ศูนย์วิทยาศาสตร์เพื่อการศึกษาขอนแก่น ที่ได้สนับสนุนประสานงานต่างๆ สำหรับการดำเนินงานวิจัยในพื้นที่ศึกษา รวมถึงให้ความอนุเคราะห์สถานที่สำหรับติดตั้งรถตรวจวัดคุณภาพอากาศและการศึกษานี้เป็นส่วนหนึ่งในโครงการระบุหาบริเวณที่มาของฝุ่นละออง PM_{10} และ $PM_{2.5}$ ที่ส่งผลกระทบต่อระดับความเข้มข้นในบรรยากาศ (รหัสโครงการ 42831 และ 161428) ภายใต้แผนงานวิจัย พัฒนา เทคโนโลยีและนวัตกรรมในการจัดการสิ่งแวดล้อม (FFB650074/0061) ที่สนับสนุนโดยสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.)

เอกสารอ้างอิง

1. World Health Organization. WHO global air quality guidelines: particulate matter ($PM_{2.5}$ and PM_{10}), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide [Internet]. Geneva: World Health Organization; 2021 [cited 2021 Oct 1]. Available from: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/345329>
2. World Health Organization, editor. WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide Global update 2005 Summary of risk assessment. Switzerland: World Health Organization; 2006. p. 21.
3. Cheng Z, Luo L, Wang S, Wang Y, Sharma S, Shimadera H, et al. Status and characteristics

- of ambient PM_{2.5} pollution in global megacities. *Environ Int.* 2016;89–90:212–21.
4. Kanchanasuta S, Sooktawee S, Patpai A, Vatanasomboon P. Temporal variations and potential source areas of fine particulate matter in Bangkok, Thailand. *Air Soil Water Res.* 2020;13:1–10.
 5. Kanchanasuta S, Sooktawee S, Bunplod N, Patpai A, Piemyai N, Ketwang R. Analysis of short-term air quality monitoring data in a coastal area. *AIMS Environ Sci.* 2021;8(6):517–31.
 6. Sooktawee S, Kanabkaew T, Boonyapitak S, Patpai A, Piemyai N. Characterising particulate matter source contributions in the pollution control zone of mining and related industries using bivariate statistical techniques. *Sci Rep.* 2020;10(1):21372.
 7. Khamkaew C, Chantara S, Wiriya W. Atmospheric PM_{2.5} and its elemental composition from near source and receptor sites during open burning season in Chiang Mai, Thailand. *Int J Environ Sci Dev.* 2016;7(6):436–40.
 8. Sooktawee S, Kongsong R, Boonyapitak S, Patpai A, Piemyai N. Identify the Plausible Potential Source Areas Related to Haze Episode in the Upper Northern Thailand. In: *The 2nd Environment and Natural Resources International Conference (ENRIC 2016)*. Phra Nakhon Si Ayutthaya Province, Thailand; 2016. p. 18–25.
 9. Kanabkaew T, Kim Oanh NT. Development of spatial and temporal emission inventory for crop residue field burning. *Environ Model Assess.* 2011;16(5):453–64.
 10. Sooktawee S, Kanchanasuta S, Boonyapitak S, Patpai A, Piemyai N. Distinguish potential source areas of PM_{2.5} and PM₁₀ by statistical data analysis. *IOP Conf Ser Earth Environ Sci.* 2020;489:012024.
 11. Punya L, Thepanondh S, Kwonpongsagoon S, Laowagul W, Sukjit N, Hanma P. Formation potentiality and source apportionment analysis of secondary organic aerosol in urban and suburban area, Thailand. *Songklanakarin J Sci Technol.* 2022;44(1):191–200.
 12. Sooktawee S, Humphries U, Patpai A, Kongsong R, Boonyapitak S, Piemyai N. Visualization and interpretation of PM₁₀ monitoring data related to causes of haze episodes in Northern Thailand. *Appl Environ Res.* 2015;37(2):33–48.
 13. Aman N, Manomaiphiboon K, Pala-En N, Kokkaew E, Boonyoo T, Pattaramunikul S, et al. Evolution of urban haze in greater Bangkok and association with local meteorological and synoptic characteristics during two recent haze episodes. *Int J Environ Res Public Health.* 2020;17(24):9499.
 14. Narita D, Oanh NTK, Sato K, Huo M, Permadi DA, Chi NNH, et al. Pollution characteristics and policy actions on fine particulate matter in a growing Asian economy: The case of Bangkok metropolitan region. *Atmosphere.* 2019;10(5):227.

15. Oanh N, Pongkiatkul P, Cruz M, Dung N, Phillip L, Zhuang G, et al. Monitoring and source apportionment for particulate matter pollution in six Asian cities. In: Integrated Air Quality Management. CRC Press; 2012. p. 97–124.
16. Jinsart W, Tamura K, Loetkamonwit S, Thepanondh S, Karita K, Yano E. Roadside particulate air pollution in Bangkok. *J Air Waste Manag Assoc.* 2002;52(9):1102–10.
17. Amnuaylojaroen T, Parasin N, Limsakul A. Health risk assessment of exposure near-future PM_{2.5} in Northern Thailand. *Air Qual Atmosphere Health.* Forthcoming 2022.
18. Pimonsree S, Wongwiset P, Pan-Aram R, Zhang M. Model analysis of PM₁₀ concentration variations over a mineral products industrial area in Saraburi, Thailand. *Water Air Soil Pollut.* 2009;201(1–4):239–51.
19. Phetraweche T, Thepanondh S. Source contributions of PM₁₀ concentrations in the Na Phra Lan pollution control zone, Saraburi, Thailand. *Sci Technol Asia.* 2017;22(4):60–70.
20. Sakunkoo P, Thonglua T, Sangkham S, Jirapornkul C, Limmongkon Y, Daduang S, et al. Human health risk assessment of PM_{2.5}-bound heavy metal of anthropogenic sources in the Khon Kaen Province of Northeast Thailand. *Heliyon.* 2022;8(6):e09572.
21. Amnuaylojaroen T, Inkom J, Janta R, Surapipith V. Long Range transport of Southeast Asian PM_{2.5} pollution to Northern Thailand during high biomass burning episodes. *Sustainability.* 2020;12(23):10049.
22. Nguyen GTH, Shimadera H, Uranishi K, Matsuo T, Kondo A, Thepanondh S. Numerical assessment of PM_{2.5} and O₃ air quality in continental Southeast Asia: Baseline simulation and aerosol direct effects investigation. *Atmos Environ.* 2019;219:117054.
23. Uria-Tellaetxe I, Carslaw DC. Conditional bivariate probability function for source identification. *Environ Model Softw.* 2014; 59:1–9.
24. Killick R, Eckley IA. Changepoint: An R package for changepoint analysis. *J Stat Softw.* 2014; 58(3). DOI 10.18637/jss.v058.i03.
25. Ropkins K, Carslaw DC. Openair - data analysis tools for the air quality community. *R J.* 2012;4(1):20.
26. Pikulyam W. [Development of data visualization for particulate matter 2.5 micrometers analysis in Bangkok]. *J Appl Res Sci Tech.* 2021;20(1): 157–64. Thai.