

การใช้แผนภูมิรูปแบบจำลองเชิงภูมิศาสตร์ในการประเมินระดับฝุ่น PM_{2.5} ของประเทศไทย

GEOSPATIAL MODELING MAP CHARTS FOR ASSESSING PM_{2.5} CONCENTRATION LEVELS IN THAILAND

จาทูรนต์ กันทะธง¹ พรรณวดี สิงห์แก้ว¹ ฤทธิติกร สมปาน¹ และณัฐพงศ์ ม้าเทศ^{1*}

Jaturon Kantathong¹, Pannawadee Singkaew¹ Rittikorn Sompan¹ and Nutthaphong Mated^{1*}

¹ สาขาวิชาอาชีวอนามัยและความปลอดภัย คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา

* Corresponding author E-mail: Nutnutnut19667@gmail.com

Received: March 5, 2026 Revised: June 8, 2026 Accepted: June 17, 2026

บทคัดย่อ

การศึกษาวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของฝุ่นละออง ขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM_{2.5}) ในช่วงวันที่เกิดสถานการณ์วิกฤตสูงสุด (Peak Day) ระหว่างปี พ.ศ. 2568 และ พ.ศ. 2569 และประเมินการกระจายตัวเชิงพื้นที่ด้วยแผนภูมิรูปแบบจำลองเชิงภูมิศาสตร์ (Map Chart) วิจัยดำเนินการวิจัยเป็นการศึกษาข้อมูลทุติยภูมิจาก 77 จังหวัดทั่วประเทศไทย โดยใช้สถิติพรรณนา การทดสอบ Paired Samples t-test การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA) และการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบวัดซ้ำ (Two-way Repeated Measures ANOVA) ผลการวิจัยพบว่า ฝุ่น PM_{2.5} ในช่วงเดือนมกราคม พ.ศ. 2568 มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุดที่ $\bar{X} = 51.52 \mu\text{g}/\text{m}^3$, S.D. = $22.14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ โดยพบว่าค่าความเข้มข้นสูงสุดรายจังหวัด มีระดับสูงถึง $103.63 \mu\text{g}/\text{m}^3$ การทดสอบความแตกต่างเชิงเวลาแสดงให้เห็นว่า ระดับฝุ่น PM_{2.5} ในปี พ.ศ. 2568 มีความรุนแรงกว่าปี พ.ศ. 2569 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในเดือนมกราคมและกุมภาพันธ์ ($p < .01$) ในขณะที่การวิเคราะห์จำแนกตามลักษณะภูมิศาสตร์พบว่า พื้นที่ภาคกลางและปริมณฑลมีความเข้มข้นของมลพิษสูงกว่าภูมิภาคอื่นอย่างมีนัยสำคัญในช่วงต้นปี ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์สถิติที่ยืนยันการมีอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยด้านเดือนและปี พ.ศ. อย่างมีนัยสำคัญ ($F = 8.14$, $p < .01$) ข้อค้นพบนี้แสดงให้เห็นว่ารูปแบบการเปลี่ยนแปลงของฝุ่น PM_{2.5} มีความผันแปรตามเงื่อนไขเฉพาะของแต่ละปี มิได้ขึ้นอยู่กับปัจจัยทางฤดูกาลเพียงอย่างเดียว ผลการวิจัยดังกล่าวสอดคล้องกับแผนภูมิรูปแบบจำลอง Map Chart ที่แสดงให้เห็นพื้นที่วิกฤต (Hotspots) ของฝุ่น PM_{2.5} ซึ่งกระจุกตัวหนาแน่นในพื้นที่ที่มีกิจกรรมทางเศรษฐกิจสูง สรุปได้ว่าการบูรณาการสถิติเชิงลึก ร่วมกับแบบจำลองเชิงภูมิศาสตร์ช่วยให้สามารถระบุความเปลี่ยนแปลงที่มีนัยสำคัญได้อย่างชัดเจน ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการสนับสนุนการตัดสินใจเชิงนโยบาย การจัดการด้านอนามัยสิ่งแวดล้อม และการเฝ้าระวังทางสาธารณสุขของประเทศไทยได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: ฝุ่น PM_{2.5} แผนภูมิรูปแบบจำลองเชิงภูมิศาสตร์ อิทธิพลร่วม

ABSTRACT

This research aimed to comparatively analyze the differences in mean PM2.5 concentrations during peak critical days between 2025 and 2026, and to assess spatial distribution patterns utilizing geospatial modeling (Map Charts). The methodology entailed a secondary data analysis encompassing all 77 provinces across Thailand. Statistical analyses included descriptive statistics, Paired Samples t-tests, One-way Analysis of Variance (ANOVA), and Two-way Repeated Measures ANOVA. The findings revealed that the highest mean PM2.5 concentration occurred in January 2025 ($\bar{X} = 51.52 \mu\text{g}/\text{m}^3$, S.D. = $22.14 \mu\text{g}/\text{m}^3$), with the maximum provincial concentration reaching a level of $103.63 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Temporal comparisons indicated that PM2.5 pollution levels in 2025 were significantly more severe than in 2026 during January and February ($p < .01$). Concurrently, geographical analysis demonstrated that the Central Region and the Bangkok Metropolitan Region exhibited significantly higher pollutant concentrations compared to other regions during the early months of the year. These results align with advanced statistical evidence confirming a significant interaction effect between the "month" and "year" factors ($F = 8.14$, $p < .01$). Such findings suggest that PM2.5 variation patterns are driven by year-specific conditions rather than relying solely on seasonal factors. This phenomenon is further substantiated by the geospatial models, which identified critical PM2.5 hotspots densely clustered in zones of high economic activity. In conclusion, the integration of rigorous statistical analysis with geospatial modeling facilitates the precise identification of significant environmental shifts. This integrated approach effectively supports evidence-based policy decision-making, environmental health management, and public health surveillance in Thailand.

Keywords: PM2.5, Geospatial Modeling Map Charts, Interaction Effect

1. บทนำ

วิกฤตการณ์มลพิษทางอากาศจากฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM2.5) เป็นปัญหาสำคัญด้านอนามัยสิ่งแวดล้อมที่ประเทศไทยเผชิญอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะในช่วงรอยต่อระหว่างฤดูหนาวและฤดูร้อน ซึ่งส่งผลกระทบโดยตรงต่อระบบทางเดินหายใจและเพิ่มอัตราการเสียชีวิตก่อนวัยอันควรจากโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง (NCDs) [1] ข้อมูลจากสถานีตรวจวัดภาคพื้นดินแม้จะมีความแม่นยำสูง แต่อาจไม่ครอบคลุมพื้นที่ห่างไกลหรือพื้นที่ที่มีข้อจำกัดเชิงภูมิประเทศ การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศและแบบจำลองเชิงภูมิศาสตร์ จึงเข้ามามีบทบาทสำคัญในการคาดการณ์และประเมินระดับมลพิษได้อย่างครอบคลุมเชิงพื้นที่มากขึ้น [2]

จากรายงานของสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (GISTDA) พบว่าสถานการณ์ฝุ่น PM2.5 ในประเทศไทยมีความผันแปรตามปัจจัยเชิงพื้นที่และกาลเวลา โดยเฉพาะในช่วงเดือนมกราคมถึงมีนาคม ซึ่งเป็นช่วงที่ความกดอากาศสูงแผ่ปกคลุมและมีกิจกรรมการเผาในที่โล่งเพิ่มขึ้น [3] ปรากฏการณ์นี้สอดคล้องกับงานวิจัยในระดับสากลที่แสดงให้เห็นว่า ข้อมูลจากดาวเทียมและการทำแผนภูมิรูปแบบจำลองสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการเฝ้าระวังทางสาธารณสุขและช่วยในการตัดสินใจเชิงนโยบายเพื่อป้องกันผลกระทบต่อสุขภาพประชากรได้อย่างมีนัยสำคัญ [4]

เพื่อประเมินและพยากรณ์ระดับฝุ่น PM2.5 ในปัจจุบันได้มีการประยุกต์ใช้เทคนิคขั้นสูงเพื่อเพิ่มความแม่นยำในการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่และกาลเวลา อย่างไรก็ตาม งานวิจัยส่วนใหญ่ยังคงมุ่งเน้นในพื้นที่เขตเมืองที่มีความซับซ้อน

เฉพาะจุดอย่างกรุงเทพมหานคร ผ่านการใช้โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks) ร่วมกับข้อมูลย้อนหลัง [5] ซึ่งทำให้เกิดช่องว่างของการวิจัยในด้านการนำเครื่องมือทางภูมิสารสนเทศที่สามารถแสดงผลได้ครอบคลุมระดับประเทศในรูปแบบที่เข้าถึงง่ายและนำไปใช้งานได้จริงสำหรับการเฝ้าระวังในระดับภูมิภาค นอกจากนี้ งานวิจัยที่ผ่านมายังขาดการศึกษาที่เปรียบเทียบแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่แบบเจาะจงเฉพาะช่วงวันที่เกิดสภาวะวิกฤตสูงสุด (Peak Period) ระหว่างปี พ.ศ. ที่ต่อเนื่องกัน เพื่อทำความเข้าใจความผันแปรของมลพิษในระดับรายจังหวัดที่มีลักษณะเฉพาะตัว ดังเช่นสถิติในปี พ.ศ. 2568 และ พ.ศ. 2569

เหตุผลเชิงวิชาการที่ผู้วิจัยเลือกใช้แผนภูมิรูปแบบจำลองเชิงภูมิศาสตร์ (Map Chart) เนื่องจากเป็นเครื่องมือที่มีศักยภาพในการแสดงความสัมพันธ์ของข้อมูลแบบต่อเนื่องเชิงพื้นที่ ซึ่งแตกต่างและแก้ข้อจำกัดของวิธีดั้งเดิมที่พึ่งพาเพียงข้อมูลจากสถานีตรวจวัดภาคพื้นดินที่มีลักษณะเป็นจุด ซึ่งมักเกิดจุดบอดในพื้นที่ห่างไกล นอกจากนี้ เมื่อเปรียบเทียบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์หรืออัลกอริทึมขั้นสูงที่ต้องอาศัยทรัพยากรการประมวลผลสูง แผนภูมิรูปแบบจำลองเชิงภูมิศาสตร์มีความโดดเด่นในด้านความเหมาะสมต่อการนำไปปฏิบัติจริง โดยสามารถแปลงชุดข้อมูลสถิติจำนวนมากให้เป็นภาพแสดงพื้นที่วิกฤต (Hotspots) ที่ชัดเจนและเข้าใจง่าย ซึ่งช่วยให้เห็นการกระจุกตัวและการเคลื่อนตัวของมลพิษข้ามเขตแดนได้อย่างเป็นรูปธรรม

ผู้วิจัยจึงเล็งเห็นความสำคัญของการเติมเต็มช่องว่างทางวิชาการในการแสดงภาพรวมของการกระจายตัวของฝุ่นระดับประเทศ จึงมีความสนใจที่จะนำแผนภูมิรูปแบบจำลองเชิงภูมิศาสตร์ (Map Chart) มาวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นของฝุ่น PM2.5 ใน 77 จังหวัดทั่วประเทศ เพื่อเปรียบเทียบแนวโน้ม ระบุพื้นที่เสี่ยงภัย (Hotspots) และสนับสนุนการวางแผนจัดการเชิงรุกของหน่วยงานด้านอนามัยสิ่งแวดล้อม ซึ่งจะช่วยพัฒนาเกณฑ์การเตือนภัยที่สอดคล้องกับบริบทพื้นที่ได้อย่างแม่นยำ [6] ตลอดจนเป็นการยกระดับคุณค่างานวิจัยให้สอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs) ในระดับสากล โดยเฉพาะเป้าหมายที่ 3 ด้านสุขภาพและความเป็นอยู่ที่ดี (Good Health and Well-being) และเป้าหมายที่ 13 ด้านการรับมือกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศอย่างเป็นรูปธรรม

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 เพื่อประเมินและวิเคราะห์การกระจายตัวเชิงพื้นที่ของฝุ่นละออง PM2.5 ในประเทศไทย โดยใช้แผนภูมิรูปแบบจำลองเชิงภูมิศาสตร์จากข้อมูลดาวเทียมในช่วงวันที่เกิดค่าวิกฤตของปี พ.ศ. 2568 และ พ.ศ. 2569

2.2 เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของระดับฝุ่น PM2.5 รายจังหวัดและรายภูมิภาค ระหว่างช่วงเวลาเดียวกันของปี พ.ศ. 2568 และ พ.ศ. 2569 เพื่อระบุแนวโน้มและปัจจัยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสถานการณ์มลพิษทางอากาศในเชิงกาลเวลา

3. การทบทวนวรรณกรรม

3.1 ปัญหาและแหล่งกำเนิดฝุ่น PM2.5

ปัญหาฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM2.5) ในประเทศไทยมีแหล่งกำเนิดที่ซับซ้อนและแปรผันตามบริบทของพื้นที่ โดยเฉพาะในเขตเมืองใหญ่ที่มีกิจกรรมการคมนาคมหนาแน่น รวมถึงพื้นที่เฝ้าระวังพิเศษที่ได้รับผลกระทบจากการเผาในที่โล่ง ซึ่งการจัดการปัญหาดังกล่าวจำเป็นต้องอาศัยการเฝ้าระวังผลกระทบต่อสุขภาพอย่างเป็นระบบในหลายมิติ [7] เพื่อให้สามารถระบุความเสี่ยงและเตรียมความพร้อมด้านบริการสาธารณสุขได้อย่างครอบคลุม ทั้งในมิติด้านสิ่งแวดล้อม พฤติกรรมสุขภาพ และอุบัติการณ์ของโรคที่สัมพันธ์กับระดับความเข้มข้นของฝุ่นละอองในแต่ละพื้นที่ ในขณะที่พื้นที่ภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ปัญหามหาฝุ่นเกิดจากการเผาในที่โล่ง และไฟฟ้า ซึ่งความรุนแรงจะเพิ่มขึ้นในช่วงหน้าแล้งเนื่องจากสภาพอากาศที่นิ่งสนิทและกระแสลมที่อ่อนตัวลง ทำให้ฝุ่นไม่สามารถระบายออกไปได้ [8]

3.2 ผลกระทบและอันตรายของฝุ่น PM2.5 ต่อสุขภาพ

ด้วยขนาดที่เล็กมากของ PM2.5 ทำให้สามารถเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจส่วนลึกและกระแสเลือดได้โดยตรง ส่งผลให้เกิดการอักเสบในระดับเซลล์ [9] งานวิจัยทางระบาดวิทยายืนยันว่าการสัมผัสฝุ่นในระยะยาวเพิ่มความเสี่ยงต่อโรคระบบหัวใจและหลอดเลือด โรคทางเดินหายใจอุดกั้นเรื้อรัง และโรคมะเร็งปอด นอกจากนี้ในกลุ่มเปราะบาง เช่น เด็กและผู้สูงอายุ ยังพบความสัมพันธ์ระหว่างระดับฝุ่นที่เพิ่มขึ้นกับอัตราการเข้าโรงพยาบาลแบบเฉียบพลัน [10]

3.3 การเฝ้าระวังและการใช้แผนภูมิรูปแบบจำลองเชิงภูมิศาสตร์

การเฝ้าระวังคุณภาพอากาศแบบดั้งเดิมที่อาศัยเพียงสถานีตรวจวัดภาคพื้นดินมีข้อจำกัดด้านความครอบคลุมเชิงพื้นที่ การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ (GIS) และแบบจำลองเชิงภูมิศาสตร์ (Geospatial Modeling) จึงเป็นนวัตกรรมสำคัญที่ช่วยประเมินความเข้มข้นของฝุ่นละอองในพื้นที่ที่ไม่มีสถานีตรวจวัด ควบคู่ไปกับการใช้เทคโนโลยีการแสดงผลข้อมูลเชิงภาพ ซึ่งเป็นเครื่องมือสำคัญในการวิเคราะห์และนำเสนอระดับมลพิษให้มีความชัดเจนและเข้าใจง่าย [11] ซึ่งช่วยสนับสนุนการตัดสินใจเชิงนโยบายและการวางแผนจัดการมลพิษทางอากาศในเขตพื้นที่ที่มีความซับซ้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในปัจจุบันการใช้โปรแกรมประมวลผลพื้นฐานอย่าง Microsoft Excel ผ่านฟังก์ชัน Map Chart สามารถสร้างแผนภูมิรูปแบบจำลองที่แสดงผลภาพการกระจายตัวได้อย่างมีประสิทธิภาพ ช่วยให้สามารถนำมายิงแวดล้อมหรือนักวิชาการทางด้านสาธารณสุขมองเห็นพื้นที่วิกฤต (Hotspots) และวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ได้อย่างรวดเร็ว [12]

3.4 กฎหมายและมาตรการป้องกันระดับประเทศ

ประเทศไทยได้มีการยกระดับมาตรฐานฝุ่น PM2.5 ในบรรยากาศโดยทั่วไป โดยคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติได้ปรับเกณฑ์มาตรฐานเฉลี่ย 24 ชั่วโมง จาก 50 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) เป็น 37.5 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) เพื่อให้สอดคล้องกับแนวทางขององค์การอนามัยโลก [13] นอกจากนี้ รัฐบาลยังได้กำหนดให้ การแก้ไขปัญหาหมอกพิษด้านฝุ่นละอองเป็นวาระแห่งชาติ โดยมีมาตรการป้องกันที่เข้มงวด เช่น การห้ามเผาในที่โล่งในช่วงฤดูวิกฤต การควบคุมไอเสียจากภาคอุตสาหกรรม และการส่งเสริมการใช้นาพาหนะไฟฟ้า [14]

3.5 การติดตามและการป้องกันอันตรายทางด้านสาธารณสุข

มาตรการทางสาธารณสุขเน้นการสร้างความรู้ด้านสุขภาพให้แก่ประชาชนในการประเมินความเสี่ยงรายวันผ่านแอปพลิเคชัน เช่น Air4Thai หรือระบบดาวเทียมจาก GISTDA [15] การป้องกันในระดับบุคคลประกอบด้วยการสวมหน้ากากชนิด N95 ในวันที่มีค่าฝุ่นเกินมาตรฐาน และการติดตั้งระบบฟอกอากาศในอาคาร (Clean Room) โดยเฉพาะในศูนย์เด็กเล็กและโรงพยาบาล ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของมาตรการเชิงรุกในการลดภาระโรคจากสิ่งแวดล้อม [16]

4. วิธีดำเนินการวิจัย

ในการศึกษารั้งนี้ ผู้วิจัยได้กำหนดขั้นตอนการดำเนินงานเพื่อให้บรรลุตามวัตถุประสงค์ที่วางไว้ โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.1 แหล่งข้อมูลและการรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary Data) ซึ่งเป็นข้อมูลความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 รายวันระดับจังหวัด ทั้ง 77 จังหวัดทั่วประเทศไทย โดยได้รับความอนุเคราะห์ข้อมูลจากสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) หรือ GISTDA ข้อมูลดังกล่าวถูกคัดเลือกเฉพาะช่วงเวลาที่เกิดสถานการณ์ฝุ่นละอองสูงสุด (Peak Period) ในระยะเวลา 3 เดือน ตั้งแต่ช่วงเดือนมกราคม กุมภาพันธ์ และมีนาคม ของปี พ.ศ. 2568 และ พ.ศ. 2569

4.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยและการสร้างแบบจำลองเชิงภูมิศาสตร์

ผู้วิจัยใช้โปรแกรม Microsoft Excel ในการจัดการฐานข้อมูลและสร้างแผนภูมิรูปแบบจำลองเชิงภูมิศาสตร์ (Map Chart) เพื่อประเมินระดับฝุ่นละอองตามขั้นตอนดังนี้

4.2.1 Data Cleaning: จัดระเบียบข้อมูลรายจังหวัดและตรวจสอบความถูกต้องของค่าความเข้มข้น ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

4.2.2 Geographic Coding: เชื่อมโยงรายชื่อจังหวัดกับฐานข้อมูลภูมิศาสตร์สากลใน Excel

4.2.3 Map Chart Generation: สร้างแผนที่ความเข้มข้น (Choropleth Map) โดยใช้ระดับสี (Color Scale) เพื่อแสดงความแตกต่างของระดับ PM2.5 ในแต่ละภูมิภาค ซึ่งช่วยให้เห็นการกระจายตัวเชิงพื้นที่ (Spatial Distribution) ได้อย่างชัดเจน

4.3 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ผู้วิจัยดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณด้วยโปรแกรมทางสถิติ SPSS version 26.0 เพื่อทดสอบสมมติฐานและสรุปผลการวิจัย โดยกำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 ($p < 0.05$) ดังนี้

4.3.1 สถิติพรรณนา (Descriptive Statistics): วิเคราะห์ค่าความเข้มข้นของฝุ่น PM2.5 โดยแสดงผลในรูปแบบของ ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$), ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.), ค่าสูงสุด (Max) และค่าต่ำสุด (Min) เพื่ออธิบายภาพรวมสถานการณ์ฝุ่นในทั้ง 77 จังหวัด

4.3.2 การทดสอบความแตกต่างระหว่างปี: ใช้การทดสอบ Paired Samples t-test เพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยฝุ่น PM2.5 รายจังหวัดในวันที่เกิดสถานการณ์สูงสุด (Peak Day) ระหว่างปี พ.ศ. 2568 และ พ.ศ. 2569 ในแต่ละเดือน

4.3.3 การเปรียบเทียบความแตกต่างรายภูมิภาค: ใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA) เพื่อทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยฝุ่น PM2.5 ระหว่างภูมิภาคต่างๆ ของประเทศไทย และทำการทดสอบรายคู่ด้วยวิธี Post Hoc Comparison เมื่อพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

4.3.4 การวิเคราะห์อิทธิพลร่วมและแนวโน้มเชิงกาลเวลา: ใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบวัดซ้ำ (Two-way Repeated Measures ANOVA) เพื่อศึกษาอิทธิพลหลัก (Main Effect) และอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยด้านเดือน และปี พ.ศ. ที่มีต่อความเข้มข้นของฝุ่น PM2.5

4.3.5 การวิเคราะห์การกระจายตัวเชิงพื้นที่: นำค่าสถิติที่ได้มาบูรณาการร่วมกับแผนภูมิรูปแบบจำลองเชิงภูมิศาสตร์ (Map Chart) เพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวเลขทางสถิติและลักษณะการกระจุกตัวของมลพิษที่ปรากฏบนแผนที่ภูมิศาสตร์

5. ผลการวิจัย

ตารางที่ 1 สรุปค่าสถิติพรรณนาของระดับฝุ่น PM2.5 ในประเทศไทย รายเดือน (ปี พ.ศ. 2568 – 2569)

ช่วงเวลาที่ศึกษา (Peak Day)	จำนวน (จังหวัด)	ค่าต่ำสุด (Min)	ค่าสูงสุด (Max)	ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$)	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน (S.D.)
ปี พ.ศ. 2568					
มกราคม (23 มกราคม พ.ศ. 2568)	77	15.65	103.63	51.52	22.14
กุมภาพันธ์ (15 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2568)	77	14.88	75.12	40.85	13.56
มีนาคม (12 มีนาคม พ.ศ. 2568)	77	10.12	68.45	32.74	12.44
ปี พ.ศ. 2569					
มกราคม (16 มกราคม พ.ศ. 2569)	77	18.22	62.45	38.65	10.87
กุมภาพันธ์ (6 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2569)	77	14.15	45.32	31.02	7.95
มีนาคม (3 มีนาคม พ.ศ. 2569)	77	12.56	65.18	34.18	11.23

หมายเหตุ: ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 มีหน่วยเป็น ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), ข้อมูลทุติยภูมิรวบรวมจากสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) หรือ GISTDA

จากตารางที่ 1 พบว่าค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของฝุ่น PM2.5 ในช่วงวันที่เกิดสถานการณ์วิกฤต (Peak Day) ของปี พ.ศ. 2568 มีค่าสูงที่สุดในเดือนมกราคม ($\bar{X} = 51.52 \pm 22.14 \mu\text{g}/\text{m}^3$) โดยพบค่าความเข้มข้นสูงสุดมีระดับสูงถึง $103.63 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ซึ่งจัดอยู่ในระดับที่เริ่มส่งผลกระทบต่อสุขภาพอย่างรุนแรงตามเกณฑ์มาตรฐานอนามัยสิ่งแวดล้อม

เมื่อเปรียบเทียบกับปี พ.ศ. 2569 ในช่วงเวลาเดียวกัน พบว่าค่าความเข้มข้นเฉลี่ยในเดือนมกราคมมีแนวโน้มลดลงอย่างเห็นได้ชัด ($\bar{X} = 38.65 \pm 10.87 \mu\text{g}/\text{m}^3$) อย่างไรก็ตาม ในเดือนมีนาคม พ.ศ. 2569 กลับพบว่าค่าเฉลี่ยฝุ่น ($\bar{X} = 34.18 \mu\text{g}/\text{m}^3$) มีระดับที่สูงกว่าค่าเฉลี่ยในเดือนเดียวกันของปี พ.ศ. 2568 ซึ่งสะท้อนถึงความผันแปรเชิงกาลเวลาของมลพิษทางอากาศที่อาจได้รับอิทธิพลจากปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาที่แตกต่างกันในแต่ละปี

นอกจากนี้ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ที่มีค่าสูงในเดือนมกราคม 2568 ($22.14 \mu\text{g}/\text{m}^3$) แสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวของฝุ่นที่มีความแตกต่างกันอย่างมากในเชิงพื้นที่ โดยพบการกระจุกตัวของฝุ่นหนาแน่นในบางจังหวัด ซึ่งสอดคล้องกับแผนภูมิรูปแบบจำลองเชิงภูมิศาสตร์ที่แสดงผลการกระจายตัวแบบกระจุกตัวในพื้นที่ภาคกลางและปริมณฑล

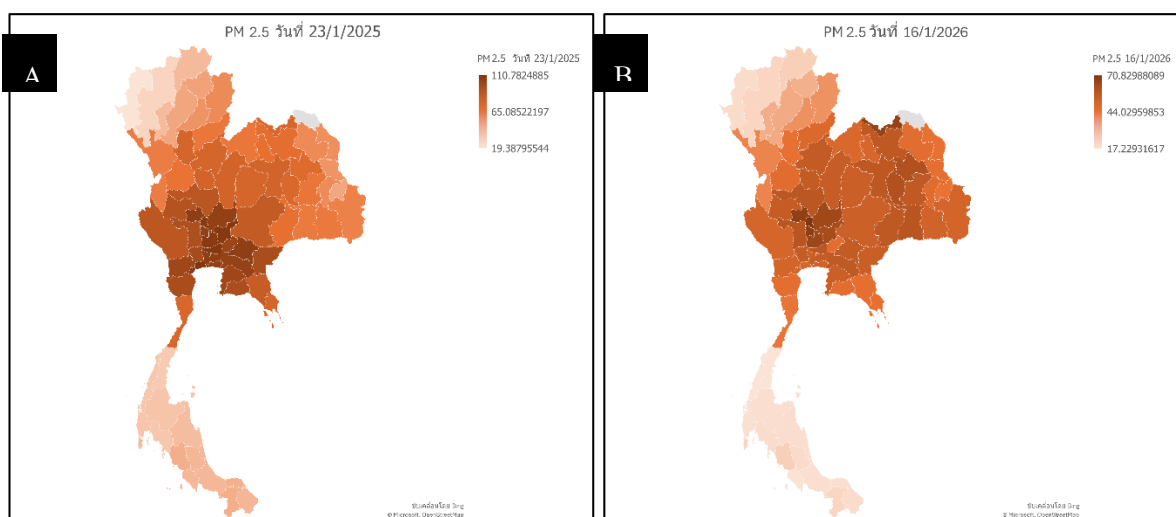
ตารางที่ 2 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยฝุ่น PM2.5 (Peak Day) ระหว่างปี พ.ศ. 2568 และ พ.ศ. 2569 รายเดือน (N = 77)

เดือนที่เปรียบเทียบ ของฝุ่น PM2.5	ปี พ.ศ. 2568 (Peak Day) ($\bar{X} \pm S.D.$)	ปี พ.ศ. 2569 (Peak Day) ($\bar{X} \pm S.D.$)	Mean Diff.	t-value	p-value
มกราคม	51.52 $\pm$ 22.14 (23 มกราคม พ.ศ. 2568)	38.65 $\pm$ 10.87 (16 มกราคม พ.ศ. 2569)	12.87	5.421	.000**
กุมภาพันธ์	40.85 $\pm$ 13.56 (15 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2568)	31.02 $\pm$ 7.95 (6 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2569)	9.83	6.154	.000**
มีนาคม	32.74 $\pm$ 12.44 (12 มีนาคม พ.ศ. 2568)	34.18 $\pm$ 11.23 (3 มีนาคม พ.ศ. 2569)	-1.44	-0.985	0.327

หมายเหตุ: ** นัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01, หน่วยของค่าฝุ่นคือ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

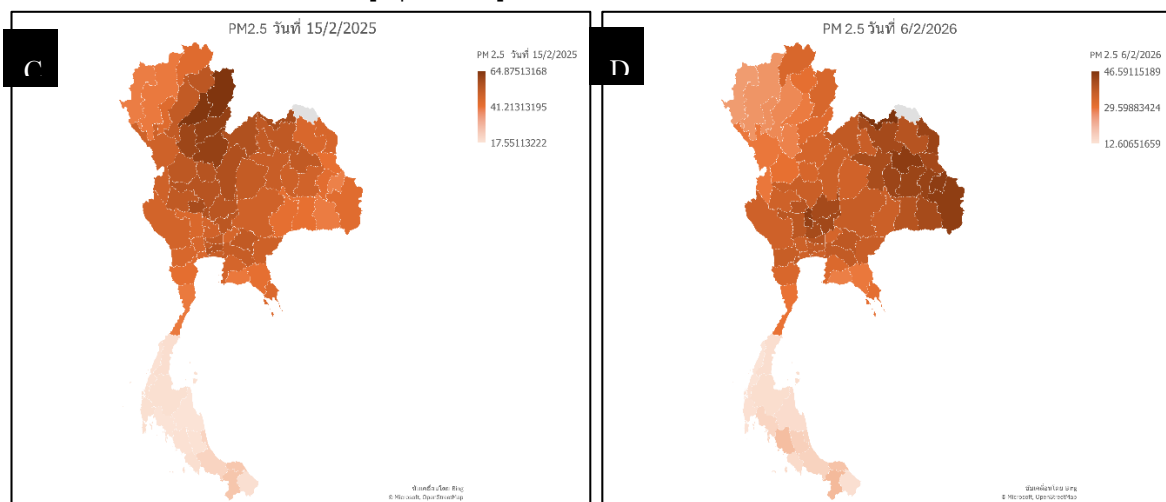
จากตารางที่ 2 ผลการทดสอบทางสถิติด้วย Paired Samples t-test พบว่า ในเดือนมกราคมและกุมภาพันธ์ ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของฝุ่น PM2.5 ระหว่างปี พ.ศ. 2568 และ พ.ศ. 2569 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 โดยค่าฝุ่นในปี พ.ศ. 2569 มีแนวโน้มลดลงกว่าปี พ.ศ. 2568 อย่างมีนัยสำคัญ แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของมาตรการควบคุมมลพิษหรือการผันแปรของสภาพอากาศในช่วงต้นปี

ในเดือนมีนาคม ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของฝุ่น PM2.5 ระหว่างทั้งสองปี โดยนำ Peak Day ของฝุ่น PM2.5 ในรอบ 3 เดือน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > .05$) แม้ว่าในปี พ.ศ. 2569 จะมีค่าเฉลี่ยสูงกว่าเล็กน้อยก็ตาม สะท้อนให้เห็นว่าสภาวะวิกฤตในช่วงเดือนมีนาคมที่มีความสัมพันธ์สอดคล้องกับปัจจัยด้านไฟฟ้าและการเผาในที่โล่งในระดับภูมิภาค ยังคงมีความรุนแรงใกล้เคียงกันทั้งสองปีที่ศึกษา



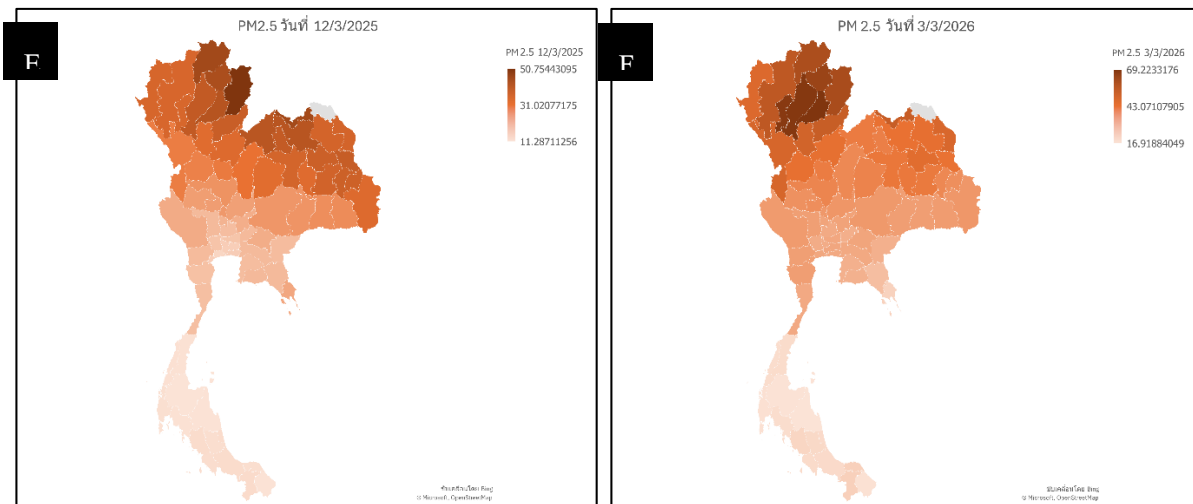
ภาพที่ 1 (A) การใช้แผนภูมิรูปแบบจำลองเชิงภูมิศาสตร์ในการประเมินระดับฝุ่น PM2.5 วันที่ 23 มกราคม พ.ศ. 2568 (B) การใช้แผนภูมิรูปแบบจำลองเชิงภูมิศาสตร์ในการประเมินระดับฝุ่น PM2.5 วันที่ 16 มกราคม พ.ศ. 2569

จากภาพที่ 1 แสดงให้เห็นแผนภูมิรูปแบบจำลองเชิงภูมิศาสตร์แสดงค่าความเข้มข้นของฝุ่น PM2.5 ณ วันที่ 23 มกราคม 2568 ซึ่งเป็นช่วงที่มีค่าฝุ่นสูงสุด (Peak Day) ของเดือน พบการกระจุกตัวของมลพิษในระดับสูงอย่างมีนัยสำคัญ (สีแดงเข้ม) ครอบคลุมพื้นที่ภาคกลาง ภาคตะวันออก และปริมณฑล โดยมีค่าความเข้มข้นสูงสุดอยู่ที่จังหวัดปทุมธานี $103.63 \mu\text{g}/\text{m}^3$ และสุพรรณบุรี $91.06 \mu\text{g}/\text{m}^3$ สะท้อนถึงสภาวะอากาศปิดที่ส่งผลต่อการสะสมตัวของมลพิษในระดับผิวพื้น และแผนภูมิรูปแบบจำลองเชิงภูมิศาสตร์แสดงค่าความเข้มข้นของฝุ่น PM2.5 ณ วันที่ 16 มกราคม 2569 พบว่าความรุนแรงของการกระจายตัวของฝุ่นมีแนวโน้มลดลงเมื่อเทียบกับช่วงเวลาเดียวกันของปีที่ผ่านมา โดยค่าความเข้มข้นส่วนใหญ่กระจายตัวอยู่ในระดับปานกลาง (สีส้ม-เหลือง) ครอบคลุมพื้นที่ภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง โดยมีค่าสูงสุดเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ $50\text{-}60 \mu\text{g}/\text{m}^3$



ภาพที่ 2 (C) การใช้แผนภูมิรูปแบบจำลองเชิงภูมิศาสตร์ในการประเมินระดับฝุ่น PM2.5 วันที่ 15 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2568
(D) การใช้แผนภูมิรูปแบบจำลองเชิงภูมิศาสตร์ในการประเมินระดับฝุ่น PM2.5 วันที่ 6 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2569

จากภาพที่ 2 แสดงให้เห็นแผนภูมิแสดงระดับความเข้มข้นของฝุ่น PM2.5 ในช่วงกลางเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2568 พบว่าสภาวะมลพิษยังคงทรงตัวในระดับที่ต้องเฝ้าระวัง โดยเฉพาะในพื้นที่ภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน ซึ่งปรากฏแถบสีแดงแสดงค่าความเข้มข้นสูงกระจายตัวเป็นวงกว้าง ($\bar{X} = 40.85 \mu\text{g}/\text{m}^3$) สอดคล้องกับช่วงฤดูกาลที่มีกิจกรรมการเตรียมพื้นที่เกษตรกรรมและการสะสมตัวของมลพิษ อีกทั้งการแพร่กระจายมลพิษข้ามเขตแดน และแผนภูมิแสดงผลการประเมินระดับฝุ่น PM2.5 ในต้นเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2569 พบว่าความรุนแรงของมลพิษในภาพรวมลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับปีที่ผ่านมา โดยระดับความเข้มข้นเฉลี่ยทั่วประเทศลดลงเหลือ $31.02 \mu\text{g}/\text{m}^3$ และการกระจายตัวของพื้นที่วิกฤต (Hotspots) มีลักษณะจะจัดกระจายไม่หนาแน่นเท่าปี พ.ศ. 2568 สะท้อนถึงสภาวะที่เอื้อหนุนจากสภาวะอุตุนิยมวิทยาหรือการบังคับใช้มาตรการควบคุมมลพิษที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น



ภาพที่ 3 (E) การใช้แผนภูมิรูปแบบจำลองเชิงภูมิศาสตร์ในการประเมินระดับฝุ่น PM2.5 วันที่ 12 มีนาคม พ.ศ. 2568

(F) การใช้แผนภูมิรูปแบบจำลองเชิงภูมิศาสตร์ในการประเมินระดับฝุ่น PM2.5 วันที่ 3 มีนาคม พ.ศ. 2569

จากภาพที่ 3 แสดงให้เห็นแผนภูมิแสดงระดับความเข้มข้นของฝุ่น PM2.5 ในช่วงกลางเดือนมีนาคม พ.ศ. 2568 พบลักษณะการกระจายตัวของมลพิษที่มีความเข้มข้นปานกลางครอบคลุมพื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศ โดยเฉพาะในเขตภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน ซึ่งปรากฏแถบสีแดงเข้มแสดงค่ามลพิษที่สะท้อนถึงการสะสมตัวของฝุ่นละอองในพื้นที่แอ่งกระทะ ($\bar{X} = 32.74 \mu\text{g}/\text{m}^3$) รวมถึงสถานการณ์ในเขตภาคกลางและปริมณฑลเริ่มมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อเทียบกับช่วงต้นไตรมาส และแผนภูมิแสดงผลการประเมินระดับฝุ่น PM2.5 ในต้นเดือนมีนาคม พ.ศ. 2569 พบว่ารูปแบบการกระจายตัวเชิงพื้นที่ มีความใกล้เคียงกับปี พ.ศ. 2568 แต่ปรากฏกลุ่มก้อนมลพิษ (Aerosol Clusters) ที่มีความเข้มข้นสูงชันในบางจังหวัดของภาคเหนือตอนบน ($\bar{X} = 34.18 \mu\text{g}/\text{m}^3$) แสดงให้เห็นถึงสภาวะวิกฤตที่ยังคงเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องในช่วงรอยต่อฤดูกาล ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบทางสถิติที่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างสองปีในเดือนนี้ ($p > .05$) สะท้อนถึงความคงตัวของแหล่งกำเนิดมลพิษและปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาในระยะยาว

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยฝุ่น PM2.5 (Peak Day) ระหว่างภูมิภาคในปี พ.ศ. 2568 (One-way ANOVA)

ภูมิภาค	จำนวน (N)	มกราคม ($\bar{X} \pm \text{S.D.}$)	กุมภาพันธ์ ($\bar{X} \pm \text{S.D.}$)	มีนาคม ($\bar{X} \pm \text{S.D.}$)
ภาคเหนือ	9	38.42 $\pm$ 15.20	46.12 $\pm$ 8.45	39.54 $\pm$ 7.12
ภาคกลางและปริมณฑล	26	74.15 $\pm$ 18.30	42.35 $\pm$ 10.12	28.45 $\pm$ 9.34
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	20	52.60 $\pm$ 12.45	48.90 $\pm$ 7.56	40.12 $\pm$ 8.22
ภาคใต้	14	25.34 $\pm$ 8.12	19.45 $\pm$ 4.30	15.82 $\pm$ 3.15
ภาคตะวันออก	8	45.10 $\pm$ 10.25	35.40 $\pm$ 6.80	24.60 $\pm$ 5.40
รวมทั้งประเทศ	77	—	—	—
F-ratio		18.452	22.108	25.641
p-value		.000**	.000**	.000**

หมายเหตุ: ** นัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01, หน่วย $\mu\text{g}/\text{m}^3$

จากตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA) เพื่อทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยฝุ่น PM2.5 ระหว่าง 5 ภูมิภาคหลักของประเทศไทย (รวม 77 จังหวัด) พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 ($p < .01$) ในทุกช่วงเดือนที่ทำการศึกษ ซึ่งสะท้อนถึงอิทธิพลของปัจจัยเชิงพื้นที่และสภาพแวดล้อมที่ส่งผลต่อระดับมลพิษทางอากาศแตกต่างกันในแต่ละเขตภูมิศาสตร์ โดยในลักษณะการกระจุกตัวของมลพิษในภาคกลางและปริมณฑล (N=26) ในเดือนมกราคม พบว่าภาคกลางมีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของฝุ่นสูงที่สุดอย่างเด่นชัด ($\bar{X} = 74.15 \mu\text{g}/\text{m}^3$) และมีความแตกต่างจากภูมิภาคอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ปรากฏการณ์นี้แสดงให้เห็นถึงสภาวะอากาศปิดร่วมกับการสะสมมลพิษจากกิจกรรมทางเศรษฐกิจ การจราจรที่หนาแน่น และแหล่งกำเนิดจากภาคอุตสาหกรรมในพื้นที่ ในสภาวะการเปลี่ยนแปลงสู่ภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เมื่อเข้าสู่เดือนมีนาคม รูปแบบพื้นที่วิกฤตมีการเคลื่อนตัวอย่างชัดเจน โดยภาคเหนือ (N=9) และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (N=20) มีค่าเฉลี่ยฝุ่นสูงกว่าภาคกลางและภาคใต้ ซึ่งสัมพันธ์โดยตรงกับกิจกรรมการเผาในที่โล่ง ในช่วงฤดูกาลเตรียมพื้นที่เกษตรกรรม ประกอบกับปัจจัยด้านภูมิประเทศที่มีลักษณะเป็นแอ่งกระทะในภาคเหนือ ซึ่งลดประสิทธิภาพการระบายอากาศในช่วงเวลาดังกล่าว ในด้านความเสถียรภาพของอากาศบริสุทธิ์ในภาคใต้ (N=14) จากการเปรียบเทียบพบว่า ภาคใต้มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยต่ำที่สุดในทุกช่วงเวลาที่ศึกษาและมีความแตกต่างจากภูมิภาคอื่นอย่างชัดเจน เนื่องจากมีปัจจัยเกื้อหนุนทางอุตุนิยมวิทยาที่เป็นลักษณะพื้นที่เปิดและได้รับอิทธิพลจากลมทะเลทั้งสองฝั่งซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการแพร่กระจายและระบายมลพิษออกจากพื้นที่ได้อย่างต่อเนื่อง

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์อิทธิพลร่วมระหว่างเดือน และ ปี พ.ศ. (N = 77)

แหล่งความแปรปรวน (Source)	df	MS	F	p-value	η^2 (Partial Eta Squared)
อิทธิพลของเดือน	2	4512.34	28.45	.000**	0.272
อิทธิพลของปี	1	1856.12	15.82	.000**	0.172
อิทธิพลร่วม (เดือน × ปี)	2	984.56	8.14	.001**	0.097
Error	152	120.45			

จากตารางที่ 4 ผู้วิจัยใช้สถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบวัดซ้ำ (Two-way Repeated Measures ANOVA) เพื่อศึกษาอิทธิพลหลัก และอิทธิพลร่วมของปัจจัยด้านเวลาที่มีต่อความเข้มข้นของฝุ่น PM2.5 ซึ่งจากการวิเคราะห์สถิติในด้านอิทธิพลร่วม พบว่ามีอิทธิพลร่วมระหว่าง เดือน และ ปี พ.ศ. อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($F = 8.14, p < .01$) ซึ่งแสดงให้เห็นว่า รูปแบบการเปลี่ยนแปลงของฝุ่น PM2.5 ในแต่ละเดือนนั้นขึ้นอยู่กับปีที่ทำการศึกษา โดยในปี พ.ศ. 2568 มีการลดลงของฝุ่นอย่างรวดเร็วจากมกราคมไปมีนาคม ในขณะที่ปี พ.ศ. 2569 มีความคงตัวของระดับฝุ่นมากกว่า ในด้านอิทธิพลหลัก ทั้งปัจจัยด้านเดือนและปี พ.ศ. ต่างส่งผลต่อระดับฝุ่นอย่างมีนัยสำคัญ โดยค่า Partial Eta Squared ($\eta^2 = 0.272$) แสดงให้เห็นว่าปัจจัยด้านช่วงเวลา (เดือน) มีอิทธิพลต่อความผันแปรของค่าฝุ่นสูงกว่าปัจจัยด้านปี พ.ศ. และการวิเคราะห์ในด้านขนาดอิทธิพล พบว่า ค่า η^2 ของอิทธิพลร่วมที่ระดับ 0.097 แสดงให้เห็นว่าอิทธิพลร่วมระหว่างเวลาและปีสามารถอธิบายความผันแปรของฝุ่นได้ประมาณร้อยละ 9.7 ของความผันแปรทั้งหมด

6. สรุปและอภิปรายผล

6.1 สรุปผลการศึกษา

การศึกษาวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาและประเมินระดับความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM2.5) ครอบคลุมพื้นที่ 77 จังหวัดของประเทศไทย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์การกระจายตัวเชิงพื้นที่ด้วยแผนภูมิรูปแบบจำลองเชิงภูมิศาสตร์ และเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของระดับฝุ่น PM2.5 ระหว่างช่วงเวลาที่เกิดสถานการณ์สูงสุด (Peak Period) ในเดือนมกราคมถึงมีนาคม ของปี พ.ศ. 2568 และ พ.ศ. 2569

ผลการวิจัยพบว่า ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของฝุ่น PM2.5 แต่ละระดับสูงสุดในเดือนมกราคม พ.ศ. 2568 โดยเมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างปีพบว่า ระดับมลพิษในช่วงเดือนมกราคมและกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2568 มีความรุนแรงกว่าช่วงเวลาเดียวกันของปี พ.ศ. 2569 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .01$) ในขณะที่เดือนมีนาคมของทั้งสองปีไม่พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ในด้านการกระจายตัวเชิงพื้นที่พบความแตกต่างระหว่างภูมิภาคอย่างชัดเจน โดยพื้นที่ภาคกลางและปริมณฑลมีความเข้มข้นของฝุ่นสูงที่สุดในช่วงต้นปี ก่อนที่พื้นที่วิกฤตจะเคลื่อนตัวไปยังภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือในเดือนมีนาคม

ผลการศึกษาครั้งนี้ยืนยันว่า แผนภูมิรูปแบบจำลองเชิงภูมิศาสตร์ (Map Chart) เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการระบุพื้นที่วิกฤต (Hotspots) และแสดงให้เห็นรูปแบบการแปรเปลี่ยนของความเข้มข้นฝุ่นในระดับประเทศได้อย่างชัดเจน นอกจากนี้ ผลการวิเคราะห์ทางสถิติด้วย Two-way Repeated Measures ANOVA ยังตรวจพบอิทธิพลร่วมระหว่างช่วงเวลา เดือนและ ปี พ.ศ. อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($F = 8.14, p < .01$) ซึ่งเป็นข้อบ่งชี้สำคัญที่แสดงให้เห็นว่า รูปแบบการกระจายตัวของมลพิษทางอากาศในประเทศไทยมีความซับซ้อนและมีการแปรผันตามเงื่อนไขบริบทเฉพาะของแต่ละปี มิได้ขึ้นอยู่กับปัจจัยทางฤดูกาลเพียงอย่างเดียว

การประยุกต์ใช้แผนภูมิรูปแบบจำลองเชิงภูมิศาสตร์ถือเป็นนวัตกรรมทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่ช่วยยกระดับการประเมินความเสี่ยงทางด้านอนามัยสิ่งแวดล้อมได้อย่างเป็นรูปธรรม เทคโนโลยีนี้ช่วยก้าวข้ามข้อจำกัดของสถานีตรวจวัดภาคพื้นดิน ทำให้สามารถวิเคราะห์และคาดการณ์ระดับมลพิษได้ครอบคลุมในทุกมิติเชิงพื้นที่ การแปลงข้อมูลสถิติที่ซับซ้อนให้อยู่ในรูปแบบการแสดงผลภาพที่ชัดเจน ช่วยให้นักวิชาการและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องสามารถระบุพื้นที่วิกฤต (Hotspots) ของฝุ่นละอองได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ นอกจากนี้ ยังเอื้อต่อการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงพื้นที่และกาลเวลา ซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญในการวางแผนเฝ้าระวังด้านสุขภาพอย่างเป็นระบบ ในเชิงปฏิบัติข้อมูลจากการศึกษานี้สามารถนำไปใช้สนับสนุนการกำหนดนโยบายและการจัดการด้านสาธารณสุขเชิงรุกได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น การจัดสรรทรัพยากรทางการแพทย์และเวชภัณฑ์เพื่อรองรับผู้ป่วยโรคระบบทางเดินหายใจให้ตรงกับพื้นที่วิกฤต การพัฒนาระบบแจ้งเตือนภัยสุขภาพที่แม่นยำและเจาะจงระดับพื้นที่สำหรับกลุ่มเปราะบาง ตลอดจนการใช้เป็นหลักฐานเชิงประจักษ์ให้แก่องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในการบริหารจัดการและควบคุมแหล่งกำเนิดมลพิษแบบจำเพาะเจาะจงช่วงเวลา แผนภูมิรูปแบบจำลองเชิงภูมิศาสตร์นี้ จึงเป็นเครื่องมือสำคัญที่สนับสนุนการบูรณาการข้อมูลเพื่อยกระดับคุณภาพชีวิต ช่วยปกป้องประชาชน และพัฒนางานด้านอนามัยสิ่งแวดล้อมของประเทศอย่างยั่งยืน

6.2 อภิปรายผล

ความผันแปรเชิงพื้นที่ที่ตรวจพบในพื้นที่ภาคกลางและปริมณฑลช่วงต้นปี พ.ศ. 2568 สอดคล้องกับหลักการของ Frumkin [16] ที่ระบุว่า การจัดการอนามัยสิ่งแวดล้อมในระดับท้องถิ่นต้องคำนึงถึงปัจจัยทางกายภาพและกิจกรรมของมนุษย์ที่ส่งผลต่อคุณภาพอากาศในระดับผิวพื้น ซึ่งสอดคล้องกับข้อค้นพบของ Chen และคณะ [17] ที่ว่าโครงสร้างพื้นฐานของเมืองมีอิทธิพลโดยตรงต่อการกักตัวของมลพิษในสภาวะอุณหภูมิผกผัน (Temperature Inversion)

นอกจากนี้ ข้อมูลจาก กรมควบคุมมลพิษ [20] ยังสนับสนุนว่าอิทธิพลของมวลอากาศเย็นมีส่วนสำคัญในการเพิ่มความเข้มข้นของมลพิษในเขตพื้นที่ต่ำ

สำหรับสถานการณ์ในภาคเหนือช่วงเดือนมีนาคมที่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > .05$) แม้จะมีการเปลี่ยนปี พ.ศ. สะท้อนถึงปัญหาเชิงโครงสร้างจากการเผาชีวมวลและมลพิษข้ามพรมแดน ดังที่ Zhang และคณะ [18] อธิบายถึงความยากลำบากในการจัดการมลพิษในระดับภูมิภาคที่มีลักษณะภูมิประเทศซับซ้อน ซึ่งในข้อมูลงานวิจัยนี้สอดคล้องกับรายงานของสำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม [21] ที่ระบุว่าแหล่งกำเนิดมลพิษจากภายนอกประเทศเป็นตัวแปรสำคัญที่ทำให้ระดับ PM2.5 สูงเกินเกณฑ์มาตรฐานอย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้ การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศที่เข้าถึงง่ายตามแนวทางของ Miller และ Garcia [19] จึงเป็นสิ่งสำคัญที่จะช่วยให้หน่วยงานสาธารณสุขสามารถคาดการณ์พื้นที่เสี่ยงภัยได้อย่างแม่นยำและทันเหตุการณ์

7. ข้อเสนอแนะ

7.1 ข้อเสนอแนะเชิงนโยบายและการบริหารจัดการ

7.1.1 หน่วยงานภาครัฐควรบูรณาการใช้แผนภูมิรูปแบบจำลองเชิงภูมิศาสตร์ (Map Chart) ร่วมกับข้อมูลจากสถานีตรวจวัดภาคพื้นดิน เพื่อยกระดับระบบเฝ้าระวังทางสาธารณสุขให้ครอบคลุมพื้นที่ที่ไม่มีสถานีตรวจวัด โดยเน้นการจัดการเชิงรุกในพื้นที่ภาคกลางช่วงต้นไตรมาส และภาคเหนือในช่วงเปลี่ยนผ่านฤดูกาล

7.1.2 ควรเร่งขับเคลื่อนมาตรการป้องกันมลพิษข้ามเขตแดน โดยเฉพาะในเดือนมีนาคมซึ่งเป็นช่วงที่มีความคงตัวของแหล่งกำเนิดมลพิษสูง ผ่านกลไกความร่วมมือระหว่างจังหวัดและระดับภูมิภาคเพื่อลดกิจกรรมการเผาในที่โล่ง

7.2 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

7.2.1 ควรมีการศึกษาเปรียบเทียบข้อมูล PM2.5 ร่วมกับตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยาเชิงลึก เช่น ความเร็วลม ความชื้นสัมพัทธ์ และพีดานการผสมตัวของอากาศ เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการวิเคราะห์อิทธิพลร่วมระหว่างเวลาและพื้นที่

7.2.2 การวิจัยในอนาคตควรขยายขอบเขตการศึกษาไปยังกลุ่มจังหวัดที่มีค่าฝุ่นเกินมาตรฐานอย่างต่อเนื่อง เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างระดับมลพิษเชิงภูมิศาสตร์กับอัตราการป่วยด้วยโรคระบบทางเดินหายใจของประชากรในพื้นที่นั้นๆ

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข, “รายงานสถานการณ์และผลกระทบต่อสุขภาพจากฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 ในประเทศไทย ประจำปีงบประมาณ 2567”, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา: <https://anamai.moph.go.th>
- [2] T. Lončarić and M. Šantić, “Geospatial modeling of air pollutants for environmental health assessment: A review of recent techniques”, *Journal of Environmental Public Health*, 15(2), 2023, pp. 45-58.
- [3] สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน). (2569, มีนาคม). รายงานสรุปข้อมูลสถานการณ์ฝุ่นรายวันจากระบบดาวเทียม, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา: <https://www.gistda.or.th>
- [4] S. K. Gupta and M. El-Fadel, “Satellite-based monitoring of particulate matter: Spatial modeling and health implications in developing countries”, *Air Quality, Atmosphere & Health*, 16(4), 2023, pp. 789-805.

- [5] ศรีรักษ์ ศรีทองชัย, “แบบจำลองการพยากรณ์ค่า PM2.5 โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบ LSTM ในพื้นที่กรุงเทพมหานคร”, *Journal of Engineering and Digital Technology (JEDT)*, 10(1), 2565, หน้า 1-9.
- [6] World Health Organization (WHO). (2021, Sept. 22). WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide, [Online] Available: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240034228>
- [7] ภาสินี ม่วงใจเพชร, พูลทรัพย์ โพนสิงห์. “การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพรรณนาการแผ่กระจายผลกระทบต่อสุขภาพจากมลพิษทางอากาศ 5 มิติ กรณีฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM2.5) เขตสุขภาพที่ 8 ปี พ.ศ. 2565”, *วารสารวิชาการป้องกันควบคุมโรคที่ 8 จังหวัดอุดรธานี*, 10(2), 2565, หน้า 28-43
- [8] สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, “รายงานสถานการณ์คุณภาพสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2567”, *กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ*, 2567.
- [9] World Health Organization (WHO), “Compendium of WHO guidance on health and environment”, [Online] Available: <https://www.who.int/publications/i/item/WHO-HEP-ECH-EFP-2022.1>, 2024.
- [10] S. Rajagopalan and P. J. Landrigan, “The health effects of particulate matter: A global perspective”, *New England Journal of Medicine*, 385(12), 2021, pp. 1113-1122.
- [11] วันมงคล พิกุลแย้ม, ปราณี มณีรัตน์ และ นิเวศ จิระวิชัย, “การพัฒนาระบบแสดงผลภาพเพื่อวิเคราะห์ปริมาณฝุ่นอนุภาคขนาดเล็ก 2.5 ไมโครเมตร (PM2.5) ในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานคร”, *Research Journal Rajamangala University of Technology Thanyaburi*, 20(1), 2564, หน้า 157-164.
- [12] Microsoft Support, “Create a Map chart in Excel”, [Online] Available: <https://support.microsoft.com/en-us/office/create-a-map-chart-in-excel>, 2024.
- [13] กรมควบคุมมลพิษ, “ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ เรื่อง กำหนดมาตรฐานฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน ในบรรยากาศโดยทั่วไป”, *ราชกิจจานุเบกษา*, เล่ม 139 ตอนพิเศษ 161 ง, 2565.
- [14] กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข, “แนวทางการดำเนินงานด้านสาธารณสุขกรณีฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 ประจำปี 2567”, *โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ*, 2567.
- [15] สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน), “คู่มือการใช้งานระบบติดตามฝุ่นละอองรายชั่วโมงผ่านดาวเทียม”, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา: <https://www.gistda.or.th>, 2568.
- [16] H. Frumkin, “Environmental Health: From Global to Local”, 4th Edition, John Wiley & Sons, San Francisco, 2023.
- [17] L. Chen, Y. Wang, and J. Smith, “Urban morphology and its impact on PM2.5 spatial distribution: A comparative study of Asian megacities”, *Environmental Pollution*, 312, 2024, pp. 119-134.
- [18] X. Zhang, Q. Li, and H. Tanaka, “Transboundary air pollution and biomass burning: Regional challenges in air quality management”, *Atmospheric Environment*, 298, 2024, 119623.
- [19] J. Miller and R. Garcia, “Integrating geospatial modeling in public health surveillance: Future directions for air quality monitoring”, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 21(3), 2025, pp. 412-428.

- [20] กรมควบคุมมลพิษ, “รายงานสถานการณ์มลพิษทางอากาศของประเทศไทย และแนวทางการจัดการปี 2568”, กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ, 2568.
- [21] สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, “แผนจัดการคุณภาพสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2566-2570: ประเด็นการจัดการมลพิษทางอากาศข้ามพรมแดน”, [Online], Available: <https://www.onep.go.th>, 2567.