

การประเมินปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM10) ด้วยวิธีประมาณค่าเชิงพื้นที่ ในบริเวณภาคเหนือของประเทศไทย

Estimating the Particulate Matters (PM10) with Spatial Interpolation Methods in the Northern of Thailand

ธิติยา ศรีนาราง^{1*}, รังสรรค์ เกตุย้อย^{2, 3}

Thitiya Srinarang^{1*}, Rangsan Ket-ord^{2, 3}

¹สำนักงานทรัพยากรน้ำแห่งชาติ กรุงเทพฯ 10210

²สาขาวิชาภูมิสารสนเทศศาสตร์ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา 56000

³หน่วยวิจัยเพื่อการพัฒนาวัตกรรมการเมืองพื้นที่ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา 56000

*Corresponding author: Thitiya_2537@hotmail.com

Received: May 4, 2020

Revised: July 27, 2020

Accepted: August 2, 2020

บทคัดย่อ

การศึกษาค้นคว้านี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM10) ในบริเวณภาคเหนือกับปัจจัยทางกายภาพของพื้นที่ และประเมินปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ด้วยวิธีประมาณค่าเชิงพื้นที่ (Interpolation) พร้อมทั้งศึกษาความเหมาะสมของแต่ละวิธีการ ผลการศึกษาพบว่า ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน เฉลี่ย 5 ปี ระหว่าง พ.ศ. 2554-2558 มีปริมาณมากที่สุดในเดือนมีนาคม มีปริมาณเฉลี่ยจากทุกสถานีตรวจวัดเท่ากับ 107 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร รองลงมาคือ เดือนกุมภาพันธ์และเมษายน โดยมีปริมาณเฉลี่ย 73 และ 66 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ และมีปริมาณเฉลี่ยน้อยที่สุดในเดือนสิงหาคม โดยมีปริมาณเฉลี่ย 19 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยเป็นราย สถานีตรวจวัดพบว่า สถานีอุตุวิทยามหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา มีค่าเฉลี่ยมากที่สุด รองลงมาคือสถานีสำนักงานสาธารณสุขอำเภอแม่สาย จังหวัดเชียงราย และสถานีอุตุวิทยาลำปาง ตามลำดับ การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ซึ่งมีฝุ่นละอองขนาดเล็กในปริมาณสูง พบว่ามีลักษณะภูมิประเทศเป็นแอ่งที่ราบระหว่างภูเขาที่มีพื้นที่ขนาดเล็กและถูกจำกัดด้วยแนวภูเขาที่โอบล้อมอยู่ ทำให้การกระจายตัวของฝุ่นละอองไม่ดี ประกอบกับอยู่ใกล้กับประเทศเพื่อนบ้าน จึงได้รับฝุ่นละอองจากไฟป่าและการเผาในที่โล่งแจ้งที่ถูกพัดพามาจากหลายแห่งรวมทั้งประเทศเพื่อนบ้านด้วย

เมื่อนำข้อมูลค่าเฉลี่ยปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน จากสถานีตรวจวัดของกรมควบคุมมลพิษ จำนวน 13 สถานีในบริเวณภาคเหนือ โดยเลือกข้อมูลจาก 9 สถานี มาทำการประมาณค่าเชิงพื้นที่ด้วยวิธีต่างๆ 5 วิธี ได้แก่ IDW, Natural Neighbor, Spline, Kriging และ Trend แล้วตรวจสอบความถูกต้องด้วยข้อมูลจาก 4 สถานี พบว่าการประมาณค่าเชิงพื้นที่ด้วยวิธี IDW เป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุดในการจัดทำแผนที่ประเมินปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน โดยเฉพาะในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงเมษายนซึ่งมีปริมาณฝุ่นละอองมากที่สุด เนื่องจากมีค่าความแตกต่างระหว่างค่าที่ประเมินได้กับค่าที่ตรวจวัดจริงน้อยที่สุด ส่วนการประมาณค่าเชิงพื้นที่ด้วยวิธี Spline เป็นวิธีที่ไม่เหมาะสม เนื่องจากมีค่าความแตกต่างระหว่างค่าที่ประเมินได้กับค่าที่ตรวจวัดจริงมากที่สุด

คำสำคัญ: ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM10) / การประมาณค่าเชิงพื้นที่

Abstract

The objectives of this study were: 1) to study the relationship between particulate matter (PM10) in the northern region of Thailand and the physical factors and 2) to estimate the amount of particulate matter (PM10) by using spatial estimation methods (Interpolation) and including studying the suitability of each method. The results showed that the 24-hour average of the particulate matter (PM10) for 5 years between 2011–2015 was the highest in March. The average from all meteorological stations was 107 micrograms per cubic meter. The lowest average was 19 micrograms per cubic meter in August. According to considering the average of each station, the measurement found that Phrae Meteorological Station, Phrae was the highest, Mae Sai District Public Health Office Station, Chiang Rai and Lampang Meteorological Station, Lampang respectively. In terms of physical characteristics with high level of PM10 areas found that the landscape which was a plain basin between the mountains and surrounded by the mountains caused the accumulation of pollutants. In addition, receiving dust from forest fires and open burning that was swept from neighboring countries was one of the most important factor to high level of PM10.

The average amount of particulate matter (PM10) selecting 9 stations out of 13 pollution control department stations in the northern region in order to estimated by spatial interpolation methods: IDW, Natural Neighbor, Spline, Kriging and Trend and data validation from 4 stations, it found that IDW method was the most suitable method for creating a map to estimate the amount of PM10, especially during February to April, which were the highest amount of dust. Since, there were the minimum difference value between the estimated value and the actual measurement value. As for Spline method, it was not appropriate because the difference value between the estimated and the measurement was high level.

Keyword: Particulate Matter less than 10 micrometers (PM10) / Spatial Interpolation

1. บทนำ

มลพิษทางอากาศ เป็นปัญหาที่สำคัญอีกปัญหาหนึ่งของประเทศไทย โดยเฉพาะในปัจจุบันที่ยังทวีความรุนแรงมากขึ้นตามลำดับ แหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศที่สำคัญอาจแบ่งเป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ เกิดจากธรรมชาติ เช่น ไฟป่าตามธรรมชาติ การระเบิดของภูเขาไฟ หรือฝุ่นละอองจากลมพายุ และเกิดจากมนุษย์สร้างขึ้น เช่น โรงงานอุตสาหกรรม การเผาขยะมูลฝอย และการเผาป่า เป็นต้น เนื่องจากมลพิษทางอากาศก่อให้เกิดผลกระทบต่อด้านสุขภาพ เป็นสาเหตุของการเกิดโรคในระบบต่างๆ ของร่างกาย เช่น ระบบทางเดินหายใจ ระบบหัวใจและหลอดเลือด ระบบตา และระบบผิวหนัง [1] ถึงแม้ว่าปัญหามลพิษจะไม่สามารถหยุดยั้งได้ แต่สามารถนำผลการวิเคราะห์และติดตามอย่างต่อเนื่องมาใช้ในการควบคุมไม่ให้เกิดปัญหามลพิษทางอากาศเพิ่มขึ้นจากเดิมได้ ซึ่งในแต่ละภูมิภาคของประเทศไทยมีสาเหตุการเกิดมลพิษทางอากาศที่เหมือนและแตกต่างกันไปตามลักษณะภูมิประเทศและการใช้ประโยชน์ที่ดิน สำหรับภาคเหนือของประเทศไทยนั้น ปัญหาหมอกควันมีสาเหตุหลักมาจากการเกิดไฟป่าและการเผาในที่โล่งแจ้ง ทั้งภายในประเทศและจากประเทศเพื่อนบ้าน ในลักษณะของการเผาเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเพื่อเตรียมพื้นที่สำหรับการเพาะปลูกในช่วงฤดูฝน การเผาพื้นที่เพื่อความสะดวกต่อการเก็บเห็ดเผาะและผักหวานป่า การเผาขยะชุมชน และการก่อไฟให้ความอบอุ่น การเผาไหม้เหล่านี้ทำให้เกิดปัญหาฝุ่นละอองขนาดเล็กและก๊าซอันตรายต่างๆ [2] การเผาในลักษณะดังกล่าวได้ทำให้เกิดปัญหามลพิษทางอากาศที่สำคัญของภาคเหนือ คือปัญหาจากฝุ่นละอองขนาด

เล็กที่ส่งผลกระทบต่อด้านสุขภาพ โดยเฉพาะปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM10) เมื่อเข้าสู่ร่างกายจะทำให้เกิดอาการต่างๆที่ส่งผลกระทบต่อระบบในร่างกาย เช่น อาการไอ จาม หายใจติดขัด ซึ่งเป็นสาเหตุของโรคเกี่ยวกับระบบทางเดินหายใจ เป็นต้น [3]

ปัจจุบันมีการนำระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์มาเป็นส่วนหนึ่งในการวิเคราะห์พื้นที่และการกระจายตัวของมลพิษทางอากาศ ซึ่งการลงพื้นที่จัดเก็บข้อมูลภาคสนาม ผู้ปฏิบัติงานไม่สามารถจัดเก็บข้อมูลได้ทุกบริเวณด้วยมีพื้นที่กว้างขวาง เมื่อนำข้อมูลมาจัดทำแผนที่อาจพบช่องว่างของข้อมูล จึงต้องทำการประมาณค่าในส่วนที่ไม่มีข้อมูล โดยใช้หลักการประมาณค่าเชิงพื้นที่ เช่น การทำแผนที่ภูมิประเทศ การหาความหนาแน่นของประชากร และสภาพภูมิอากาศ ซึ่งต้องวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อนำผลการประมาณค่าไปศึกษาความสัมพันธ์ที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลอื่นๆ ต่อไป

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM10) ในบริเวณภาคเหนือกับปัจจัยทางกายภาพของพื้นที่ และประเมินปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ในบริเวณภาคเหนือด้วยวิธีประมาณค่าเชิงพื้นที่ และศึกษาความเหมาะสมของวิธีประมาณค่าเชิงพื้นที่รูปแบบต่างๆ ต่อการนำมาประเมินปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ในบริเวณภาคเหนือ โดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เป็นเครื่องมือในการดำเนินงาน ซึ่งผลที่ได้สามารถเป็นประโยชน์ในการบริหารจัดการควบคุมมลพิษทางอากาศ และเป็นข้อมูลสนับสนุนการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับมลพิษทางอากาศในพื้นที่ลักษณะอื่นๆ ต่อไป

2. วัตถุประสงค์

- 2.1 เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนในบริเวณภาคเหนือกับปัจจัยทางกายภาพของพื้นที่
- 2.2 เพื่อประเมินปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ในบริเวณภาคเหนือ ด้วยวิธีประมาณค่าเชิงพื้นที่ พร้อมศึกษาความเหมาะสมของแต่ละวิธีการ

3. วิธีการศึกษา

3.1 การรวบรวมและจัดเตรียมข้อมูลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

การวิจัยครั้งนี้ได้ศึกษาระเบียบวิธีวิจัยและแนวทางการดำเนินงานจากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการแพร่กระจายฝุ่นละอองและมลพิษทางอากาศ ทั้งงานวิจัยในประเทศ [4], [5], [6] และตำราต่างประเทศ [7], [8] จากนั้นทำการรวบรวมข้อมูลจากแหล่งข้อมูลต่างๆ เพื่อประเมินปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM10) ด้วยวิธีประมาณค่าเชิงพื้นที่ในบริเวณภาคเหนือ ประกอบด้วยข้อมูลดังนี้

- 1) ข้อมูลปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ในบริเวณภาคเหนือ (กรมควบคุมมลพิษ)
- 2) ข้อมูลตำแหน่งที่ตั้งสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ (กรมควบคุมมลพิษ)
- 3) ข้อมูลขอบเขตภาคเหนือและขอบเขตการปกครองจังหวัดในภาคเหนือ (กรมแผนที่ทหาร)
- 4) ข้อมูลระดับความสูงของพื้นที่ในภาคเหนือ (กรมแผนที่ทหาร)

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา

- 1) คอมพิวเตอร์สำหรับประมวลผลข้อมูล
- 2) โปรแกรมสำเร็จรูประบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS)
- 3) ข้อมูลปริมาณฝุ่นละอองจากเว็บไซต์ Air4Thai ของกรมควบคุมมลพิษ

3.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูล

1) เก็บรวบรวมข้อมูลค่าฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษ ข้อมูลตำแหน่งที่ตั้งสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ ข้อมูลขอบเขตภาคเหนือและขอบเขตจังหวัดในภาคเหนือ สำหรับนำเข้าไปในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

2) วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน กับลักษณะทางกายภาพของพื้นที่บริเวณภาคเหนือ ประกอบด้วยตำแหน่งที่ตั้ง ความใกล้ไกลจากประเทศเพื่อนบ้าน ช่วงเดือนที่มีการกระจายตัวของฝุ่นละออง และสภาพภูมิประเทศที่เป็นแอ่งที่ราบระหว่างภูเขาที่มีความแตกต่างกัน ทั้งขนาดของแอ่ง และความแตกต่างของระดับความสูง เป็นต้น

3) ทำการประมาณค่าเชิงพื้นที่ (Spatial Interpolation) โดยนำข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน จากสถานีของกรมควบคุมมลพิษทั้งหมด 13 สถานี ระหว่างปี พ.ศ. 2554-2558 มาทำการประมาณค่าเชิงพื้นที่ด้วยวิธีการต่างๆ 5 วิธี ได้แก่ IDW, Natural Neighbor, Spline, Kriging และ Trend โดยเลือกใช้ข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์เพียง 9 สถานี เพื่อจัดทำแผนที่ปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน พร้อมจัดทำตารางสรุปค่าความแตกต่างของข้อมูลปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ในแต่ละเดือนระหว่างปี พ.ศ. 2554-2558

สถานีตรวจวัดที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้วยวิธีประมาณค่าเชิงพื้นที่ ประกอบด้วย 9 สถานี ได้แก่

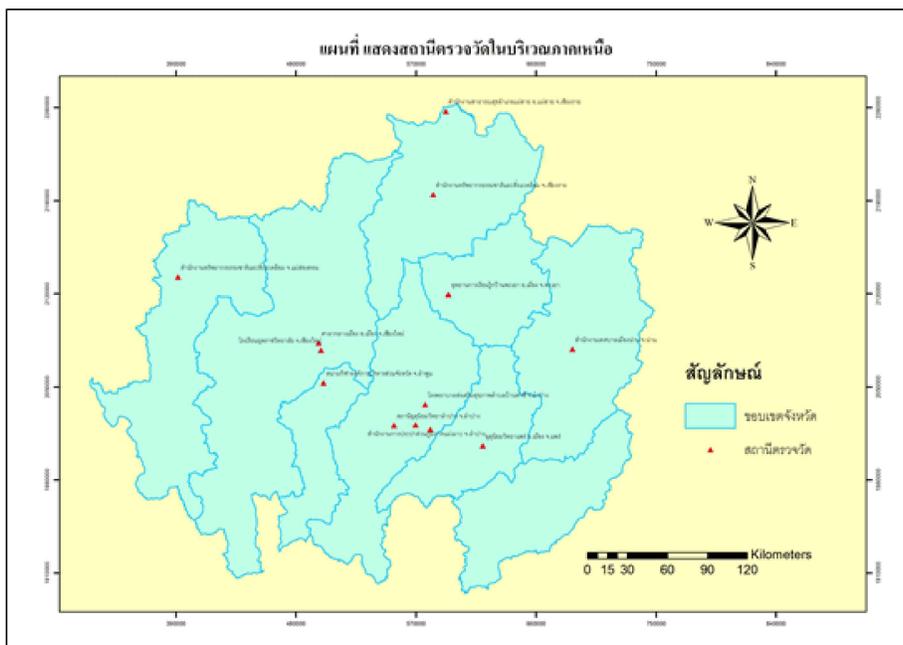
- 3.1) สำนักงานสาธารณสุขอำเภอแม่สาย จังหวัดเชียงราย
- 3.2) ศาลากลางจังหวัดเชียงใหม่ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่
- 3.3) สำนักงานเทศบาลเมืองน่าน อำเภอเมือง จังหวัดน่าน
- 3.4) สถานีอุตุนิยมวิทยาแพร่ อำเภอเมือง จังหวัดแพร่
- 3.5) สำนักงานทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมจังหวัดแม่ฮ่องสอน
- 3.6) โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลสบป่าด อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง
- 3.7) สถานีอุตุนิยมวิทยาลำปาง อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง
- 3.8) สำนักงานการประปาส่วนภูมิภาคอำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง
- 3.9) สนามกีฬาองค์การบริหารส่วนจังหวัดลำพูน

4) ตรวจสอบความถูกต้องของการประมาณค่าเชิงพื้นที่ (Spatial Interpolation) ด้วยวิธีการทั้ง 5 วิธี โดยใช้ข้อมูลจากสถานีตรวจวัดที่เหลืออีก 4 สถานี เพื่อทำการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล

สถานีตรวจวัดที่ใช้ในการตรวจสอบความถูกต้อง ประกอบด้วย 4 สถานี ได้แก่

- 4.1) สำนักงานทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมจังหวัดเชียงราย
- 4.2) โรงเรียนยุพราชวิทยาลัย อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่
- 4.3) อุทยานการเรียนรู้กว๊านพะเยา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา
- 4.4) โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านท่าสี่ อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง

5) วิเคราะห์ความแตกต่างและความเหมาะสมของวิธีการประมาณค่าเชิงพื้นที่แต่ละวิธี เพื่อให้ได้วิธีที่เหมาะสมสำหรับการทำแผนที่แสดงการกระจายตัวของปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนในภาคเหนือ



รูปที่ 1 แสดงตำแหน่งของสถานีตรวจวัดปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน

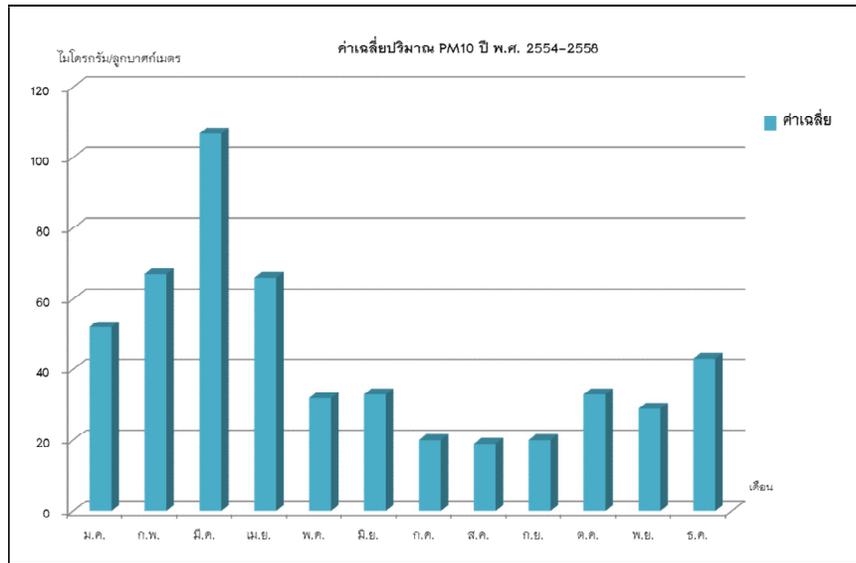
4. ผลการศึกษา

4.1 ปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน และความสัมพันธ์กับปัจจัยทางกายภาพของพื้นที่

ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน เฉลี่ย 5 ปี ระหว่างปี พ.ศ. 2554-2558 จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษทั้ง 13 สถานี แสดงดังตารางที่ 1 และรูปที่ 2 ดังนี้

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน เฉลี่ย 5 ปี ระหว่าง พ.ศ. 2554-2558

สถานีตรวจวัดฝุ่นละออง	ปริมาณ PM10 ค่าเฉลี่ย 24 ชม. เฉลี่ย 5 ปี พ.ศ. 2554-2558												
	หน่วย: ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (มคก./ลบ.ม.)												
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	เฉลี่ย
1. สำนักงานทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม จังหวัดเชียงราย	51	58	124	76	36	26	20	19	22	33	31	47	45
2. สำนักงานสาธารณสุขอำเภอแม่สาย จ.เชียงราย	58	74	158	86	41	32	29	25	25	36	37	52	54
3. ศาลากลางจังหวัดเชียงใหม่ อ.เมือง จ.เชียงใหม่	49	65	103	64	33	22	22	20	21	29	27	41	41
4. โรงเรียนยุพราชวิทยาลัย อ.เมือง จ.เชียงใหม่	36	49	77	51	25	19	16	16	14	22	21	33	32
5. สำนักงานเทศบาลเมืองน่าน อ.เมือง จ.น่าน	48	69	100	70	31	23	19	17	19	31	28	43	42
6. อุทยานการเรียนรู้กว๊านพะเยา อ.เมือง จ.พะเยา	51	83	112	69	30	21	12	11	13	27	25	42	41
7. สถานีอุตุนิยมวิทยาแพร่ อ.เมือง จ.แพร่	69	97	101	70	37	147	25	23	22	39	42	58	61
8. สำนักงานทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม จังหวัดแม่ฮ่องสอน	31	53	157	92	30	17	17	15	15	54	17	26	44
9. โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลสบป่าด อ.แม่เมาะ จ.ลำปาง	65	84	92	59	41	33	26	28	23	33	29	47	47
10. โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านท่าสี่ อ.แม่เมาะ จ.ลำปาง	39	70	103	52	31	22	20	18	19	27	19	31	38
11. สถานีอุตุนิยมวิทยาลำปาง จ.ลำปาง	65	88	110	67	32	24	19	19	21	35	36	58	48
12. สำนักงานการประปาส่วนภูมิภาคอำเภอ แม่เมาะ จ.ลำปาง	54	76	58	52	29	29	22	15	20	34	26	36	38
13. สนามกีฬา อบจ.ลำพูน	60	80	95	53	18	17	19	18	31	31	33	50	42
ค่าเฉลี่ย	52	73	107	66	32	33	20	19	20	33	29	43	44



รูปที่ 2 แผนภูมิแสดงค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนในแต่ละเดือน จากค่าเฉลี่ย 5 ปี ระหว่าง พ.ศ. 2554-2558

จากตารางที่ 1 และรูปที่ 1 พบว่า ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนเฉลี่ย 5 ปี ระหว่าง พ.ศ. 2554-2558 มีปริมาณมากที่สุดในเดือนมีนาคมโดยมีปริมาณเฉลี่ยจากทุกสถานีตรวจวัดเท่ากับ 107 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (มคก./ลบ.ม.) รองลงมาคือเดือนกุมภาพันธ์และเมษายน โดยมีปริมาณ 73 และ 66 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ และมีปริมาณน้อยที่สุดในเดือนสิงหาคม โดยมีปริมาณเฉลี่ยจากทุกสถานีตรวจวัดเท่ากับ 19 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ใกล้เคียงกันกับเดือนกันยายนที่มีปริมาณเฉลี่ย 20 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยเป็นรายสถานีตรวจวัดพบว่า สถานีอุตุนิยมวิทยาแพร่ จังหวัดแพร่ มีค่าเฉลี่ยมากที่สุดคือ 61 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร รองลงมาคือสถานีสำนักงานสาธารณสุขอำเภอแม่สาย จังหวัดเชียงราย สถานีอุตุนิยมวิทยาลำปาง และโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลสปป่าด อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง โดยมีค่าเฉลี่ย 54, 48 และ 47 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ

จากการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ที่มีฝุ่นละอองขนาดเล็กในปริมาณสูง พบว่ามีลักษณะภูมิประเทศเป็นแอ่งที่ราบระหว่างภูเขาที่มีพื้นที่ขนาดเล็กและถูกกอดทับด้วยมวลอากาศที่เย็นกว่าในบรรยากาศชั้นบน ทำให้การกระจายตัวของฝุ่นละอองไม่ดี และด้วยภูมิประเทศที่ถูกจำกัดด้วยแนวภูเขาที่โอบล้อมอยู่ ประกอบกับอยู่ใกล้กับประเทศเพื่อนบ้าน (เมียนมา และ สปป.ลาว) ทำให้ได้รับฝุ่นละอองจากไฟป่าและการเผาในที่โล่งแจ้งที่ถูกพัดพามาตามกระแสลมจากหลายแห่งรวมทั้งประเทศเพื่อนบ้าน ซึ่งเดือนมีนาคมเป็นช่วงที่ปลอดจากลมมรสุมหลักที่พัดผ่านประเทศไทย (ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือและลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้) สภาพอากาศโดยทั่วไปร้อนอบอ้าวและแห้งแล้ง จึงทำให้ไม่มีปัจจัยมาช่วยลดและกระจายความหนาแน่นของฝุ่นละออง จากข้อมูลจึงพบว่าเดือนมีนาคมมีปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนในปริมาณมากที่สุด

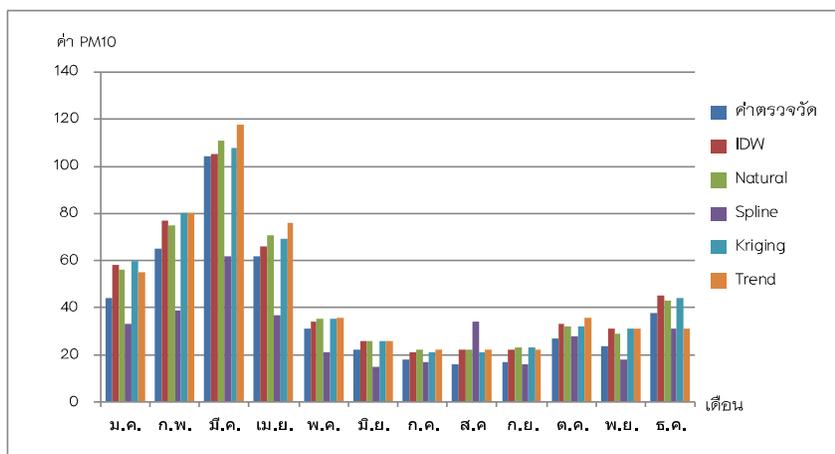
4.2 การประเมินปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ด้วยวิธีประมาณค่าเชิงพื้นที่

4.2.1 การประมาณค่าเชิงพื้นที่จากสถานีตรวจวัด 4 สถานี

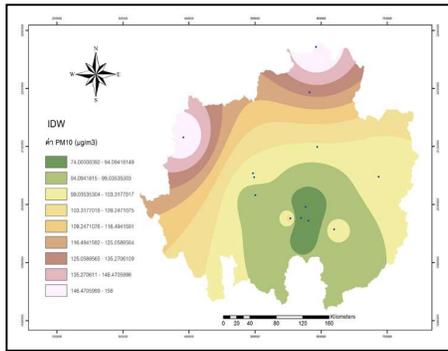
การประมาณค่าเชิงพื้นที่ของปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน โดยใช้ข้อมูลค่าเฉลี่ย 5 ปี ระหว่าง พ.ศ. 2554-2558 จากสถานีตรวจวัด 4 แห่งที่ใช้เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล แสดงดังตารางที่ 2 และรูปที่ 3

ตารางที่ 2 ผลการประมาณค่าเชิงพื้นที่ของปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน โดยใช้ข้อมูลค่าเฉลี่ย 5 ปี ระหว่าง พ.ศ. 2554-2558 จากสถานีตรวจวัด 4 สถานี

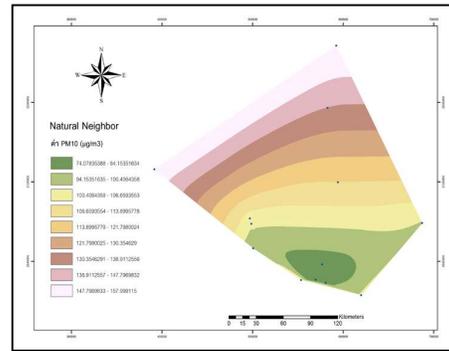
เดือน	ปริมาณ PM10 จากการประมาณค่าเชิงพื้นที่ด้วยวิธีการต่างๆ					เฉลี่ย
	IDW	Natural	Spline	Kriging	Trend	
มกราคม	58	56	33	60	55	52
กุมภาพันธ์	77	75	39	80	80	70
มีนาคม	105	111	62	108	118	101
เมษายน	66	71	37	69	76	64
พฤษภาคม	34	35	21	35	36	32
มิถุนายน	26	26	15	26	26	24
กรกฎาคม	21	22	17	21	22	21
สิงหาคม	22	22	34	21	22	24
กันยายน	22	23	16	23	22	21
ตุลาคม	33	32	28	32	36	32
พฤศจิกายน	31	29	18	31	31	28
ธันวาคม	45	43	31	44	31	39



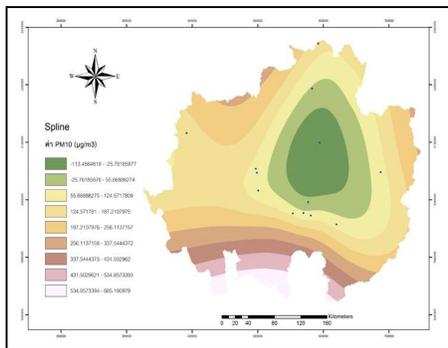
รูปที่ 3 แผนภูมิแสดงปริมาณ PM10 ที่ได้จากการประมาณค่าเชิงพื้นที่ของ 4 สถานีตรวจวัด



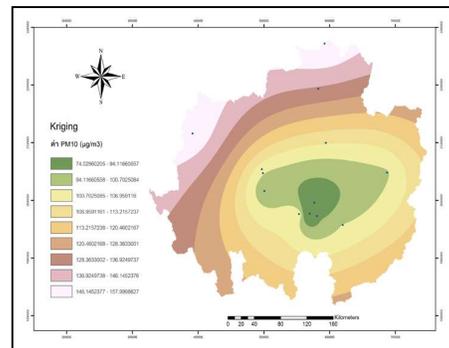
วิธี IDW



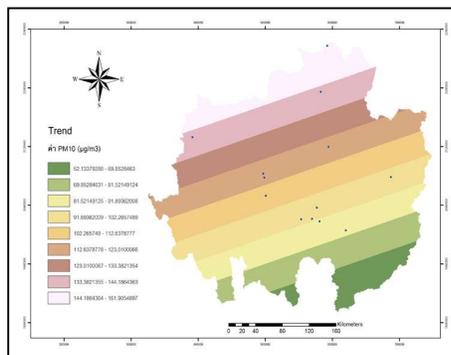
วิธี Natural Neighbor



วิธี Spline



วิธี Kriging



วิธี Trend

รูปที่ 4 แผนที่แสดงผลการประมาณค่าเชิงพื้นที่ด้วยวิธีการต่างๆ ทั้ง 5 วิธี

จากตารางที่ 2 และรูปที่ 3-4 พบว่า ผลการประมาณค่าเชิงพื้นที่ของปริมาณฝุ่นละอองขนาด เล็กกว่า 10 ไมครอน เฉลี่ย 5 ปี ระหว่าง พ.ศ. 2554-2558 จากข้อมูลของสถานีตรวจวัด 4 แห่ง พบว่ามีปริมาณมาก ที่สุดในเดือนมีนาคม รองลงมาคือเดือนกุมภาพันธ์และเมษายน เช่นเดียวกับค่าเฉลี่ยที่ได้จากการตรวจวัดจริง โดยมี ปริมาณน้อยที่สุดในเดือนกรกฎาคมและกันยายน แตกต่างจากค่าเฉลี่ยที่ได้จากการตรวจวัดจริง ซึ่งพบว่ามีปริมาณ น้อยที่สุดในเดือนสิงหาคม

4.2.2 ความแตกต่างของการประมาณค่าเชิงพื้นที่กับการตรวจวัดจริง (เดือนมีนาคม)

เมื่อนำข้อมูลปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนที่ได้จากการประมาณค่าเชิงพื้นที่จากสถานีตรวจวัดทั้ง 4 แห่งที่กำหนดไว้เป็นสถานีสำหรับใช้ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล มาเปรียบเทียบกับข้อมูลจากการตรวจวัดจริง พบว่าแต่ละสถานีให้ค่าส่วนต่างของข้อมูลที่แตกต่างกัน โดยในเดือนมีนาคมซึ่งเป็นเดือนที่มีปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนมากที่สุด สามารถแสดงความแตกต่างของแต่ละวิธี ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ความแตกต่างของปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนที่ได้จากการประมาณค่าเชิงพื้นที่กับปริมาณที่ได้จากการตรวจวัดจริง ระหว่าง พ.ศ. 2554-2558 (ค่าเฉลี่ยเดือนมีนาคม)

สถานีตรวจวัด	ปริมาณจากการตรวจวัดจริง	วิธีการประมาณค่าเชิงพื้นที่									
		IDW		Natural Neighbor		Spline		Kriging		Trend	
		ปริมาณ	ส่วนต่าง	ปริมาณ	ส่วนต่าง	ปริมาณ	ส่วนต่าง	ปริมาณ	ส่วนต่าง	ปริมาณ	ส่วนต่าง
ทสจ. เชียงราย	124	128	-4	139	-25	47	77	136	-12	141	-17
โรงเรียนยุพราชวิทยาลัย เชียงใหม่	77	102	-25	114	-37	106	-29	108	-31	115	-38
อุทยานการเรียนรู้กว๊านพะเยา	112	102	9	102	10	94	18	101	11	119	-7
รพ.สต. บ้านท่าลี่ จ.ลำปาง	103	88	15	90	13	2	101	86	17	97	6
ส่วนต่างรวม			53		85		225		71		68

หมายเหตุ: หน่วยวัดปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน คือ ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (มคก./ลบ.ม.)

จากตารางที่ 3 พบว่า เมื่อนำข้อมูลปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน จากสถานีตรวจวัดของกรมควบคุมมลพิษทั้งหมด 13 สถานีในภาคเหนือ ระหว่างปี พ.ศ. 2554-2558 ในเดือนมีนาคม มาทำการประมาณค่าเชิงพื้นที่ด้วยวิธีต่างๆ จำนวน 9 สถานี และตรวจสอบความถูกต้องจาก 4 สถานี พบว่า วิธี IDW ให้ค่าความแตกต่างน้อยที่สุด และวิธี Spline ให้ค่าความแตกต่างมากที่สุด ซึ่งการประมาณค่าเชิงพื้นที่แต่ละวิธีต่างๆ ให้ค่าที่แตกต่างกัน ดังนี้

การประมาณค่าเชิงพื้นที่ด้วยวิธี IDW มีค่าส่วนต่างน้อยที่สุดที่สถานีโรงเรียนยุพราชวิทยาลัย จังหวัดเชียงใหม่ และมีค่าส่วนต่างมากที่สุดที่สถานีโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านท่าลี่ จังหวัดลำปาง

การประมาณค่าเชิงพื้นที่ด้วยวิธี Natural Neighbor มีค่าส่วนต่างน้อยที่สุดที่สถานีโรงเรียนยุพราชวิทยาลัย จังหวัดเชียงใหม่ และมีค่าส่วนต่างมากที่สุดที่สถานีโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านท่าลี่ จังหวัดลำปาง

การประมาณค่าเชิงพื้นที่ด้วยวิธี Spline มีค่าส่วนต่างน้อยที่สุดที่สถานีโรงเรียนยุพราชวิทยาลัย จังหวัดเชียงใหม่ และมีค่าส่วนต่างมากที่สุดที่สถานีโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านท่าลี่ จังหวัดลำปาง

การประมาณค่าเชิงพื้นที่ด้วยวิธี Kriging มีค่าส่วนต่างน้อยที่สุดที่สถานีโรงเรียนยุพราชวิทยาลัย จังหวัดเชียงใหม่ และมีค่าส่วนต่างมากที่สุดที่สถานีโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านท่าลี่ จังหวัดลำปาง

การประมาณค่าเชิงพื้นที่ด้วยวิธี Trend มีค่าส่วนต่างน้อยที่สุดที่สถานีโรงเรียนยุพราชวิทยาลัย จังหวัดเชียงใหม่ และมีค่าส่วนต่างมากที่สุดที่สถานีโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านท่าลี่ จังหวัดลำปาง

4.2.3 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของการประมาณค่าเชิงพื้นที่ทั้ง 5 วิธี (รายเดือน)

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของการประมาณค่าเชิงพื้นที่ทั้ง 5 วิธี จากค่าเฉลี่ยข้อมูลรวมทั้ง 12 เดือน ระหว่างปี พ.ศ. 2554-2558

เดือน	วิธีการประมาณค่าเชิงพื้นที่					ค่าตรวจวัด	วิธีที่แตกต่างน้อยที่สุด	วิธีที่แตกต่างมากที่สุด
	IDW	Natural Neighbor	Spline	Kriging	Trend			
มกราคม	55	45	89	62	41	52	Trend	Spline
กุมภาพันธ์	54	57	135	66	79	73	IDW	Spline
มีนาคม	53	85	225	71	68	107	IDW	Spline
เมษายน	20	34	119	28	55	66	IDW	Spline
พฤษภาคม	15	19	54	16	19	32	IDW / Kriging	Spline
มิถุนายน	14	15	49	14	16	33	IDW / Kriging	Spline
กรกฎาคม	19	21	65	19	21	20	IDW / Kriging	Spline
สิงหาคม	22	22	79	20	23	19	IDW / Kriging	Spline
กันยายน	19	22	18	23	20	20	IDW / Kriging	Kriging
ตุลาคม	24	20	9	18	36	33	Spline	Trend
พฤศจิกายน	26	22	60	26	26	29	Natural	Spline
ธันวาคม	27	23	124	30	31	43	Natural	Spline

หมายเหตุ: หน่วยวัดปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน คือ ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (มคก./ลบ.ม.)

จากตารางที่ 4 พบว่า เมื่อพิจารณาความเหมาะสมของการประมาณค่าเชิงพื้นที่จากทั้ง 12 เดือน ของปี พ.ศ. 2554-2558 ทั้ง 5 วิธี ได้แก่ วิธี IDW วิธี Natural Neighbor วิธี Spline วิธี Kriging และวิธี Trend พบว่าการประมาณค่าเชิงพื้นที่ด้วยวิธี IDW เป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุดในการจัดทำแผนที่แสดงการกระจายของข้อมูลปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน เนื่องจากมีความแตกต่างของค่าที่ได้จากการประมาณค่าเชิงพื้นที่กับค่าที่ได้จากตรวจวัดจริงน้อยที่สุดจำนวน 8 เดือนจาก 12 เดือน รองลงมาคือวิธี Kriging และ Natural Neighbor จำนวน 5 เดือน และ 2 เดือน ตามลำดับ แต่ทั้งนี้ในช่วงระหว่างเดือนพฤษภาคมถึงกันยายน ปรากฏว่าทุกวิธีให้ค่าความแตกต่างที่น้อยใกล้เคียงกัน จึงสามารถเลือกวิธีใดวิธีหนึ่งมาใช้ในการประมาณค่าเชิงพื้นที่ได้ ส่วนการประมาณค่าเชิงพื้นที่ที่ไม่เหมาะสม พบว่า วิธี Spline เป็นวิธีที่ไม่เหมาะสม เนื่องจากให้ค่าความแตกต่างของค่าที่ได้จากการประมาณค่าเชิงพื้นที่กับค่าที่ได้จากตรวจวัดจริงมากที่สุด จำนวน 10 เดือน จากทั้งหมด 12 เดือน

4.2.4 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของการประมาณค่าเชิงพื้นที่ทั้ง 5 วิธี (รายฤดูกาล)

ความแตกต่างของปริมาณฝุ่นละอองที่ได้จากการประมาณค่ากับค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริง ทั้ง 12 เดือน เมื่อวิเคราะห์ตามฤดูกาลที่มีความแตกต่างของสภาพภูมิอากาศ ระหว่างปี พ.ศ. 2554-2558 ในช่วงฤดูแล้ง ระหว่างเดือนมกราคม กุมภาพันธ์ มีนาคม และเมษายน ซึ่งมีปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนเป็นจำนวนมาก จากการศึกษาพบว่าวิธี IDW เป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุดสำหรับนำมาประมาณค่าเชิงพื้นที่ในช่วงนี้เนื่องจากให้ค่าความแตกต่างน้อยที่สุด และวิธีที่ไม่เหมาะสมคือวิธี Spline เนื่องจากให้ค่าความแตกต่างมากที่สุดในช่วงนี้

ในช่วงฤดูฝน ระหว่างเดือนพฤษภาคม มิถุนายน กรกฎาคม สิงหาคม กันยายน และตุลาคม ซึ่งมีปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนเป็นจำนวนน้อย จากการศึกษาพบว่าทุกวิธีให้ค่าความแตกต่างที่น้อยใกล้เคียงกัน โดยวิธี IDW และวิธี Kriging เป็นวิธีที่ให้ค่าความแตกต่างน้อยที่สุดในช่วงนี้ ส่วนวิธีที่ไม่เหมาะสมคือวิธี Spline เนื่องจากให้ค่าความแตกต่างมากที่สุดในช่วงนี้

ในช่วงฤดูหนาว ระหว่างเดือนพฤศจิกายนและธันวาคม ซึ่งเริ่มมีปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนเพิ่มมากขึ้น จากการศึกษาพบว่าวิธี Natural Neighbor เป็นวิธีที่เหมาะสมมากที่สุดในช่วงนี้ เนื่องจากให้ค่าความแตกต่างน้อยที่สุด และวิธีที่ไม่เหมาะสมคือ วิธี Spline เนื่องจากให้ค่าความแตกต่างมากที่สุดในช่วงนี้

5. สรุป อภิปรายผลการศึกษา

5.1 สรุปและอภิปรายผล

จากการศึกษาเรื่องการประเมินปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM10) ด้วยวิธีประมาณค่าเชิงพื้นที่ในบริเวณภาคเหนือ เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนกับปัจจัยทางกายภาพของพื้นที่ และศึกษาความเหมาะสมของแต่ละวิธีการประมาณค่าเชิงพื้นที่ โดยนำค่าตรวจวัดปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน จากข้อมูลสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษทั้งหมด 13 สถานี ระหว่างปี พ.ศ. 2554-2558 มาทำการประมาณค่าเชิงพื้นที่ด้วย 5 วิธี ได้แก่ IDW, Natural Neighbor, Spline, Kriging และ Trend โดยใช้ข้อมูลในการวิเคราะห์จาก 9 สถานี และข้อมูลสำหรับการตรวจสอบความถูกต้องจาก 4 สถานี

ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนในบริเวณภาคเหนือ กับปัจจัยทางกายภาพของพื้นที่ พบว่าจากค่าเฉลี่ยทั้ง 5 ปี ในช่วงฤดูร้อน พ.ศ.2554-2558 ปลายเดือนกุมภาพันธ์ ต่อเนื่องไปจนถึงเดือนมีนาคมและเมษายน มีปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนในปริมาณมาก เนื่องจากความกดอากาศสูงจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนืออ่อนกำลังลง ส่งผลให้อากาศมีอุณหภูมิสูงขึ้น สภาพอากาศร้อนอบอ้าวและแห้งแล้งโดยทั่วไป เป็นสาเหตุของการเกิดไฟไหม้ป่าในหลายบริเวณของภาคเหนือ และฤดูร้อนยังเป็นฤดูกาลที่มีการเผาวัชพืช ทั้งเพื่อความสะดวกในการเก็บหาของป่าและเพื่อเตรียมพื้นที่สำหรับการเกษตรในฤดูฝน จึงทำให้ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนมีปริมาณเพิ่มขึ้นมาก ประกอบกับภาคเหนือมีลักษณะภูมิประเทศเป็นแอ่งที่ราบระหว่างภูเขาที่มีพื้นที่ขนาดเล็กโอบล้อมไปด้วยแนวภูเขาและอยู่ใกล้กับประเทศเพื่อนบ้าน บรรยากาศชั้นล่างถูกกดทับด้วยมวลอากาศที่เย็นกว่าในบรรยากาศชั้นบน ทำให้การกระจายตัวของฝุ่นละอองไม่ดี โดยค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน เฉลี่ย 5 ปี ระหว่าง พ.ศ. 2554-2558 มีปริมาณมากที่สุดในเดือนมีนาคม มีปริมาณเฉลี่ยจากทุกสถานีตรวจวัดเท่ากับ 107 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร รองลงมาคือเดือนกุมภาพันธ์และเมษายน โดยมีปริมาณ 73 และ 66 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ และมีปริมาณน้อยที่สุดในเดือนสิงหาคม โดยมีปริมาณเฉลี่ยจากทุกสถานีตรวจวัดเท่ากับ 19 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

เมื่อนำข้อมูลค่าเฉลี่ยปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนมาทำการประมาณค่าเชิงพื้นที่ พบว่าค่าที่ประมาณได้จากการประมาณค่าเชิงพื้นที่ด้วยวิธีต่างๆ ในแต่ละเดือนมีความแตกต่างกัน โดยเมื่อพิจารณาความเหมาะสมของทั้ง 5 วิธี ได้แก่ IDW, Natural Neighbor, Spline, Kriging และ Trend พบว่าการประมาณค่าเชิงพื้นที่ด้วยวิธี IDW เป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุดในการจัดทำแผนที่แสดงการกระจายตัวของปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน เนื่องจากมีความแตกต่างของค่าที่ได้จากการประมาณค่าเชิงพื้นที่กับค่าที่ได้จากตรวจวัดจริงน้อยที่สุดจำนวน 8 เดือน ส่วนการประมาณค่าเชิงพื้นที่ด้วยวิธี Spline เป็นวิธีที่ไม่เหมาะสม เนื่องจากมีความแตกต่างของค่าที่ได้จากการประมาณค่าเชิงพื้นที่กับค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริงมากที่สุด จำนวน 10 เดือน จากทั้งหมด 12 เดือน

5.2 ข้อเสนอแนะ

- 1) การประมาณค่าเชิงพื้นที่อาจมีข้อจำกัดเมื่อนำมาใช้วิเคราะห์ในบริเวณภาคเหนือที่มีความแตกต่างด้านระดับความสูงของภูมิประเทศ ดังนั้นจึงควรศึกษาองค์ประกอบทางกายภาพอื่นๆ ของพื้นที่ ได้แก่ การเคลื่อนที่ของลม หรือการใช้แบบจำลองสภาพอากาศ มาใช้วิเคราะห์จะทำให้ได้ผลการประมาณค่าที่ถูกต้องมากขึ้น
- 2) การวิเคราะห์ในพื้นที่อื่นๆ ที่ไม่มีข้อจำกัดด้านความแตกต่างของความสูงของภูมิประเทศ ได้แก่ ที่ราบภาคกลาง เพื่อตรวจสอบว่าวิธีประมาณค่าเชิงพื้นที่แบบใดมีความเหมาะสมมากที่สุด และควรนำองค์ประกอบทางกายภาพในด้านอื่นๆ มาวิเคราะห์ด้วยวิธีประมาณค่าเชิงพื้นที่เพิ่มเติม ได้แก่ ปริมาณน้ำฝน หรือ การกระจายตัวของก๊าซแต่ละชนิด เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของวิธีประมาณค่าเชิงพื้นที่ในแต่ละองค์ประกอบนั้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] กองอนามัยสิ่งแวดล้อม สำนักอนามัย กรุงเทพมหานคร. (2555). แหล่งกำเนิดสารมลพิษทางอากาศ. สืบค้น 14 มีนาคม 2559, จาก: <https://web.ku.ac.th/schoolnet/snet6/envi3/monpit-a/monpit-a.htm>.
- [2] ชัชวาล สิงห์กันต์. (2555). มลพิษหมอกควันในภาคเหนือของประเทศไทย. กรุงเทพฯ: ภาควิชาวิทยาศาสตร์อนามัยสิ่งแวดล้อม คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.
- [3] กรมอนามัย. (2558). มลพิษทางอากาศและปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM10). สืบค้น 2 มีนาคม 2559, จาก: <http://advisor.anamai.moph.go.th/main.php?filename=env202>.
- [4] ชลธิตา เข็มขุนทด. (2557). การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างประมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM10) กับปัจจัยด้านภูมิอากาศ บริเวณพื้นที่ 7 จังหวัดภาคเหนือ. กรุงเทพฯ: สำนักป้องกันปราบปรามและควบคุมไฟฟ้า กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช.
- [5] ธีญญรัตน์ ไชยคราม และสุเพชร จิระจรกุล (2557). การประยุกต์ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อการวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงภัยสารอินทรีย์ระเหยง่าย จังหวัดระยอง. (วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์บัณฑิต, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์).
- [6] ชีระพงษ์ แก้วจรรยา. (2540). การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ศึกษาการกระจายตัวของฝุ่นละอองในเขตรักษาพันธุ์บุรณเฑาะ. (วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์บัณฑิต, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์).
- [7] Matejcek, L. (2003). Spatial Modelling of Air Pollution in Urban Areas with GIS: Case study on Intregreted Database Development. Charles University, Prague, Czech Republic.
- [8] Ray, J.D. (2002). Estimate air pollution in the parks using GIS. Denver, USA.