

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสูงผสมกับปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน
จากการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ ในพื้นที่ 9 จังหวัดภาคเหนือ

**The Relationship Between Mixing Height and Particulate Matter Less Than 10 μ m
(PM 10) from Climate Change in Nine Provinces in Northern Thailand**

ศราวุธ ไผ่บง^{1*} และจันทน์ ศรีเกตุ²

¹กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

²คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์

*Email: gaggs_14@hotmail.com

บทคัดย่อ

การศึกษาเรื่องนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาการคาดการณ์ปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน จากค่าความสูงผสมที่ได้จากแบบจำลองสภาพอากาศ WRF และ 2) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสูงผสม (Mixing Height) จากแบบจำลองสภาพอากาศ Weather Research and Forecasting (WRF) กับปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน (PM10) โดยใช้ข้อมูลจากสถานีตรวจวัดอากาศของกรมควบคุมมลพิษ ดำเนินการวิจัยในพื้นที่ 9 จังหวัดภาคเหนือ คือ จังหวัดเชียงใหม่ เชียงราย ลำพูน ลำปาง พะเยา แพร่ น่าน แม่ฮ่องสอน และตาก วิเคราะห์ข้อมูลด้วยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Coefficient of correlation , R) โดยเปรียบเทียบระดับอิทธิพลต่อกันในแต่ละจังหวัด ระยะเวลาตั้งแต่เดือนมกราคม – มีนาคม พ.ศ. 2559 ผลการศึกษาปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน ในพื้นที่ 9 จังหวัดภาคเหนือ พบว่าส่วนใหญ่จะมีค่าสูงในเดือนมีนาคม พ.ศ. 2559 และมีค่าสูงสุดในช่วงเวลา 09.00 น. รองลงมาได้แก่ 21.00 น. และ 15.00 น. ตามลำดับ ผลการศึกษาค่าความสูงผสมที่ได้จากการคาดการณ์โดยแบบจำลองสภาพอากาศ WRF พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 0 - 5000 เมตร และค่าความสูงผสมมีค่าน้อยที่สุดในช่วงเวลา 09.00 น.รองลงมาได้แก่ 21.00 น. และ 15.00 น. ตามลำดับ และความสัมพันธ์ของค่าความสูงผสมจากการคาดการณ์ของแบบจำลองสภาพอากาศ WRF กับปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน พบว่า ค่าความสัมพันธ์ (R) มีค่ามากที่สุดเท่ากับ -0.646 ที่จังหวัดเชียงราย ในเดือนมีนาคม ช่วงเวลา 09.00 น. โดยสรุปทั้ง 3 เดือน มีทิศทางความสัมพันธ์เป็นเชิงลบ ช่วงเวลาที่มีความสัมพันธ์สูงที่สุด 09.00 น. ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ค่าความสูงผสมน้อยที่สุดมีการผกผันกับปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน สูงที่สุดในช่วงเวลาทำการศึกษา

คำสำคัญ: ค่าความสูงผสม ปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน

Abstract

The objectives of this study are to forecast the concentration of particulate matter less than 10 μm (PM10) derived from mixing height under the Weather Research and Forecasting (WRF) model and to understand the relationship between mixing height from the WRF model and the concentrations of PM10. The secondary data was collected from Pollution Control Department through its Air Pollution Control Station. The study area covers nine provinces in the Northern part of Thailand: Chiang Mai, Chiang Rai, Lamphun, Lampang, Phayao, Phrae, Nan, Mae Hong Son and Tak. The Coefficient of correlation (R) was used for data analysis. The data from each province from January to March 2016 was compared. The result of study demonstrated that the concentrations of PM10 in all study areas hit the high level in March 2016 and reached the highest concentration at 09.00, 21.00 and 15.00 hrs., respectively. The result of the mixing height from WRF model showed that the heights level was between 0 to 5,000 meters. The results presented that the lowest level of mixing height were at 09.00, 21.00 and 15.00 hrs., respectively. The relationship between the mixing height from the forecast from WRF model and PM10 has the highest correlation (R) at -0.646 in Chiangrai in March at 09.00 a.m. To conclude, the data from the entire three months demonstrated that there was a highest level of the negative correlation at 9.00 hrs. The mixing height was the lowest while the concentration of PM10 was the highest.

Keywords: Mixing height, Particulate matter less than 10 μm (PM 10)

บทนำ

ปัญหาฝุ่นละอองขนาดเล็กที่เกิดขึ้นในภาคเหนือของประเทศไทย เป็นประจำทุกปีในช่วงฤดูร้อน (มกราคม – เมษายน) ก่อให้เกิดปัญหาหมอกควัน ซึ่งจากการสำรวจของกรมควบคุมมลพิษ พบว่ามีการเพิ่มสูงขึ้นของฝุ่นละอองในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย โดยในปี พ.ศ.2558 สถานการณ์คุณภาพอากาศใน 9 จังหวัดภาคเหนือ (จังหวัดเชียงใหม่ เชียงราย ลำพูน ลำปาง พะเยา แพร่ น่าน แม่ฮ่องสอน และตาก) ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม – 30 เมษายน พ.ศ. 2558 พบฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน สูงเกินเกณฑ์มาตรฐาน 42 วัน โดยค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง สูงสุดเท่ากับ 381 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ที่จังหวัดเชียงราย เนื่องจากความแห้งแล้งส่งผลให้เกิดการเพิ่มขึ้นของไฟป่าทั้งในประเทศไทยและประเทศเพื่อนบ้าน ประกอบกับในช่วงเวลาดังกล่าว เกษตรกรจะทำการเผาเศษวัสดุเพื่อเตรียมพื้นที่สำหรับการเกษตรในช่วงฤดูฝน สภาพอากาศที่แห้งและนิ่ง ภูมิประเทศบางแห่งเป็นแอ่งกระทะ เช่น แอ่งแม่ฮ่องสอน แอ่งเชียงใหม่-ลำพูน เป็นต้น ฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่สามารถแพร่กระจายและสามารถแขวนลอยในบรรยากาศได้นาน ส่งผลกระทบต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อม สุขภาพอนามัยของประชาชน ก่อให้เกิดความเดือดร้อนรำคาญ นอกจากนี้ปัญหาหมอกควันยังส่งผลกระทบต่อสภาวะเศรษฐกิจของพื้นที่ภาคเหนือ โดยเฉพาะอย่างยิ่งส่งผลกระทบต่อธุรกิจการท่องเที่ยว รวมถึงบดบังทัศนวิสัยทั้งทางบกและทางอากาศ ซึ่งพบว่ามีกรยกเลิกเที่ยวบินเป็นจำนวนมาก เนื่องจากทัศนวิสัยต่ำกว่าเกณฑ์ปลอดภัย (กรมควบคุมมลพิษ, 2558) ปัจจุบันหน่วยงานที่

เกี่ยวข้องได้ดำเนินการป้องกันและแก้ไขปัญหา โดยการเฝ้าระวังและติดตามตรวจสอบปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กในพื้นที่ และรายงานข้อมูลให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องรับทราบ เพื่อเตรียมพร้อมรับมือสถานการณ์อย่างต่อเนื่อง สำหรับกรณีมลพิษหมอกควันข้ามแดนจะต้องประสานเพื่อดำเนินการแก้ไขปัญหาในระดับพหุภาคีและทวิภาคีตามข้อตกลงอาเซียน เรื่องมลพิษจากหมอกควันข้ามแดนในพื้นที่อนุภูมิภาคแม่โขง พร้อมทั้งมีการจัดฝึกอบรมและรณรงค์ประชาสัมพันธ์ ให้นักเรียน นักศึกษา และอาสาสมัครพิทักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมหมู่บ้านมีจิตสำนึกในการช่วยควบคุมการเผาในที่โล่ง เพื่อสนับสนุนการดำเนินมาตรการควบคุมและป้องกันการเผาในที่โล่งและมลพิษหมอกควัน อย่างไรก็ตาม ถึงแม้หน่วยงานรับผิดชอบจะมีมาตรการเฝ้าระวังและการติดตามตรวจสอบอย่างต่อเนื่อง 24 ชั่วโมง และคาดการณ์สถานการณ์ฝุ่นละอองโดยใช้ข้อมูลทิศทางลม และพยากรณ์การเกิดฝนตก แต่ปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อความเข้มข้นของฝุ่นละออง คือ ค่าความสูงผสม ดังนั้นการศึกษาในครั้งนี้ต้องการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสูงผสมที่คาดการณ์จากแบบจำลอง WRF กับปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน และศึกษาว่าความสูงผสมมีผลต่อความเข้มข้นของฝุ่นละอองในบรรยากาศที่เป็นสาเหตุของปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศจากการเกิดหมอกควันที่เกิดขึ้นเขตพื้นที่ภาคเหนือต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาการคาดการณ์ปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน จากค่าความสูงผสมที่ได้จากแบบจำลองสภาพอากาศ WRF
2. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสูงผสมจากแบบจำลองสภาพอากาศ WRF กับปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน

วัสดุอุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย

1. รวบรวมข้อมูล

1.1 ข้อมูลสภาพอากาศจาก National Center for Environment Prediction (NCEP) สหรัฐอเมริกา ในระหว่างเดือนมกราคม - เดือนมีนาคม พ.ศ. 2559 เนื่องจากเป็นช่วงที่เกิดวิกฤตการณ์หมอกควันภาคเหนือของประเทศไทย

1.1.1 ค่าความสูงผสมโดยใช้แบบจำลองสภาพอากาศ WRF คาดการณ์ล่วงหน้า 1 วัน โดยจะศึกษาในช่วงเวลา 09.00 น. 15.00 น. และ 21.00 น. เนื่องจากเป็นช่วงเวลาที่ประชาชนจะอยู่ในพื้นที่โล่งแจ้ง และมีกิจกรรมภายนอกอาคาร ซึ่งเป็นช่วงที่ประชาชนจะได้รับผลกระทบจากฝุ่นละออง

1.1.2 ข้อมูลปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน เฉลี่ย 1 ชั่วโมง เดือนมกราคม – มีนาคม พ.ศ. 2559

2. การเลือกพื้นที่ศึกษา

การเลือกศึกษาในพื้นที่ 9 จังหวัดภาคเหนือของประเทศไทย ได้แก่ จังหวัดเชียงใหม่ จังหวัดเชียงราย จังหวัดลำปาง จังหวัดลำพูน จังหวัดแพร่ จังหวัดแม่ฮ่องสอน จังหวัดพะเยา จังหวัดน่าน และจังหวัดตาก จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษ จำนวน 9 สถานี มีรายละเอียด (ภาพที่ 1) ดังนี้



ภาพที่ 1 สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ 9 สถานี ภาคเหนือ
ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ (2558)

1. จังหวัดเชียงใหม่ สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ รหัส 35T ตำบลศรีภูมิ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่
2. จังหวัดเชียงราย สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ รหัส 65T ตำบลเวียง อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย
3. จังหวัดลำพูน สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ รหัส 68T ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดลำพูน
4. จังหวัดลำปาง สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ รหัส 37T ตำบลพระบาท อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง
5. จังหวัดแพร่ สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ รหัส 69T ตำบลนาจักร อำเภอเมือง จังหวัดแพร่
6. จังหวัดพะเยา สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ รหัส 70T ตำบลเวียง อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา
7. จังหวัดน่าน สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ รหัส A67 ตำบลเวียง อำเภอเมือง จังหวัดน่าน
8. จังหวัดตาก สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ รหัส M102 ตำบลท่าสายลวด อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก
9. จังหวัดแม่ฮ่องสอน สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ รหัส 66T ตำบลจองคำ อำเภอเมือง จังหวัดแม่ฮ่องสอน

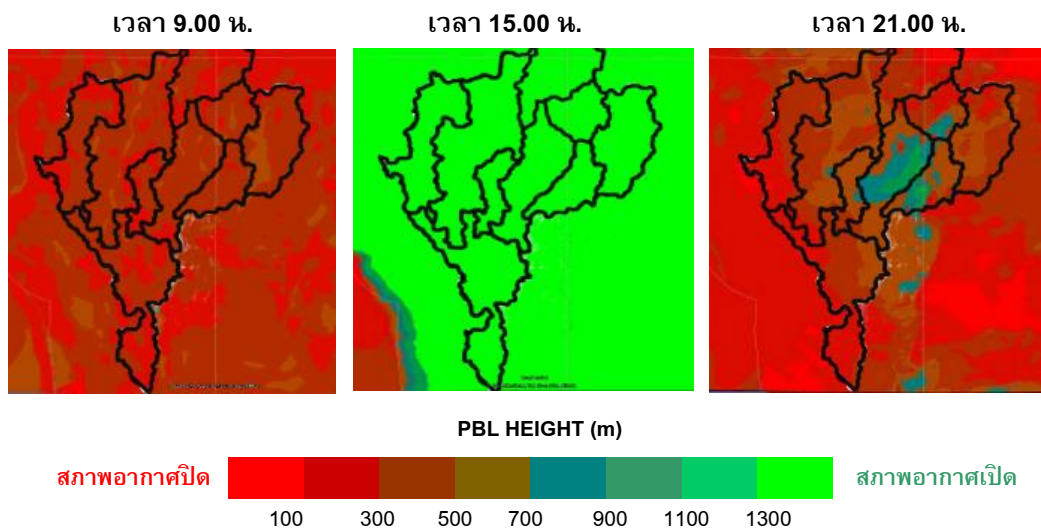
3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 รวบรวมข้อมูล

3.1.1 ข้อมูลสภาพอากาศจาก National Center for Environment Prediction (NCEP) สหรัฐอเมริกา ในระหว่างเดือนมกราคม - เดือนมีนาคม พ.ศ. 2559 เนื่องจากเป็นช่วงที่เกิดวิกฤตการณ์หมอกควันภาคเหนือของประเทศไทย และนำข้อมูลดังกล่าวมาประมวลผลในแบบจำลองสภาพอากาศ WRF เพื่อคาดการณ์ค่าความสูงผสม (Mixing Height) ในช่วงเวลา 09.00 น., 15.00 น. และ 21.00 น. ในแต่ละวัน โดยจะทำการคาดการณ์ล่วงหน้า 1 วัน เช่น ใช้ข้อมูลจาก NCEP ในวันที่ 5 มกราคม พ.ศ. 2559 เพื่อประมวลผลค่าความสูงผสมจากแบบจำลองสภาพอากาศในวันที่ 6 มกราคม พ.ศ. 2559 และนำไปศึกษาความสัมพันธ์กับปริมาณฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ในวันที่ 6 มกราคม พ.ศ. 2559 ที่ตรวจวัดได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษ จำนวน 9 สถานี

3.1.2 กำหนดพื้นที่ในการวิเคราะห์ผล กำหนดขอบเขต (Domain) ให้ครอบคลุม 9 จังหวัดภาคเหนือ ได้แก่ เชียงราย เชียงใหม่ ลำปาง ลำพูน แม่ฮ่องสอน แพร่ พะเยา น่าน และตาก โดยกำหนดกริด (Grid) ขนาด 9 ตารางกิโลเมตร (3 x 3)

3.1.3 การคาดการณ์ค่าความสูงผสมจากแบบจำลองสภาพอากาศ WRF โดยใช้ข้อมูลสภาพอากาศจาก NCEP ในช่วงระหว่างเดือนมกราคม - มีนาคม พ.ศ. 2559 มาประมวลผลด้วยแบบจำลองสภาพอากาศ WRF โดยจะคาดการณ์ค่าความสูงผสมล่วงหน้า 1 วัน ในช่วงเวลา 09.00 น., 15.00 น. และ 21.00 น. ของทุกวันในช่วงเดือนมกราคม - มีนาคม พ.ศ. 2559 โดยผลจากการคาดการณ์จะแสดงเป็นค่าระดับความสูงที่มีหน่วยเป็นเมตร จากนั้นจะนำระดับความสูงดังกล่าวมาแปลผลให้ออกมาเป็นรูปภาพ โดยไล่ระดับจากสีแดงไปสีเขียว เพื่อแสดงค่าความสูงผสมในพื้นที่จังหวัดต่างๆ ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 2 ภาพการคาดการณ์ค่าความสูงผสมในพื้นที่ภาคเหนือ วันที่ 8 มกราคม พ.ศ. 2559 ช่วงเวลา 09.00 น., 15.00 น. และ 21.00 น. ตามลำดับ โดยใช้แบบจำลองสภาพอากาศ WRF

3.1.4 รวบรวมข้อมูลปริมาณฝุ่นละอองที่ตรวจวัดจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษ จากเว็บไซต์ www.aqmthai.com (สำนักจัดการคุณภาพอากาศและเสียง, 2559) ในพื้นที่ 9 จังหวัดภาคเหนือ จำนวน 9 สถานีตรวจวัด โดยใช้ค่าฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน เฉลี่ยรายชั่วโมงในช่วงเวลา 09.00 น., 15.00 น. และ 21.00 น. ระหว่างเดือนมกราคม - มีนาคม พ.ศ. 2559

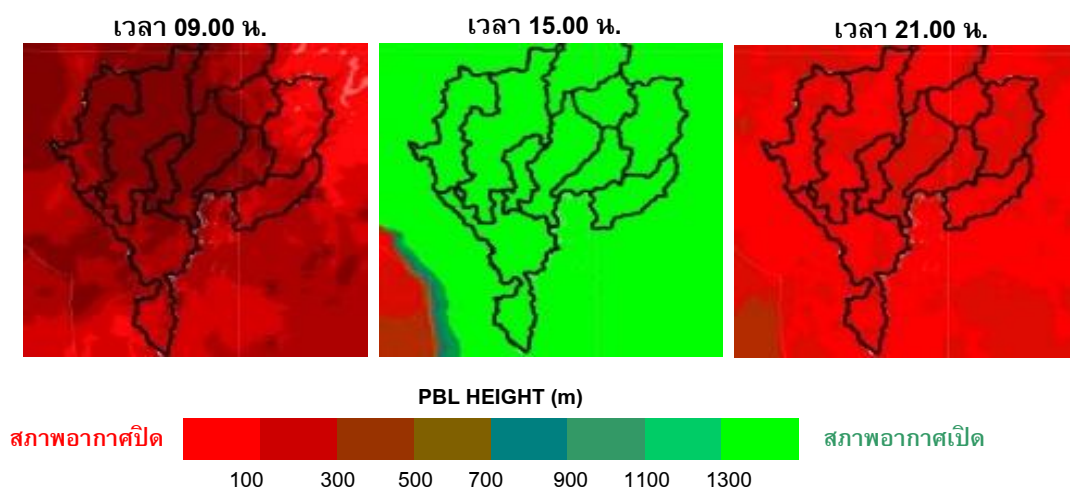
3.1.5 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูล

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูล นำข้อมูลความสูงผสมที่ได้จากแบบจำลองสภาพอากาศ WRF กับค่าฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ที่ตรวจวัดในช่วงเวลา 09.00 น., 15.00 น. และ 21.00 น. ระหว่างเดือนมกราคม – มีนาคม 2559 ในพื้นที่ 9 จังหวัดภาคเหนือ มาทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติ โดยวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Coefficient of correlation, R) ที่แสดงถึงความสัมพันธ์ของทั้งสองตัวแปร โดยการเปรียบเทียบระดับความมีอิทธิพลต่อกันจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในแต่ละจังหวัดและช่วงเวลา

ผลการวิจัย

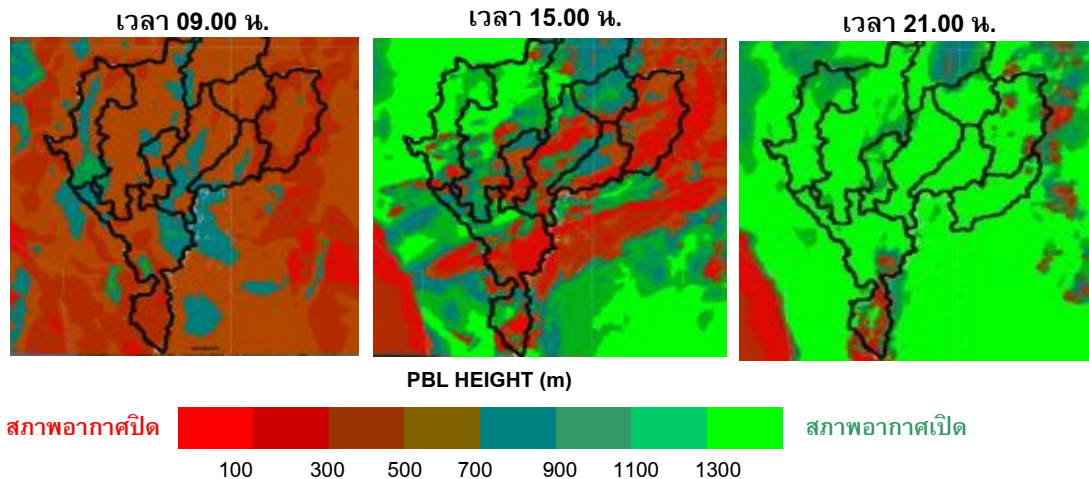
1. การคาดการณ์ค่าความสูงผสมจากแบบจำลองสภาพอากาศ WRF ล่วงหน้า 1 วัน ในพื้นที่ 9 จังหวัดภาคเหนือ ระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2559 ในช่วงเวลา 09.00 น., 15.00 น. และ 21.00 น. มีรายละเอียดดังนี้

1.1 เดือนมกราคม มีค่าความสูงผสมตลอดทั้งเดือน สูงที่สุดในช่วงเวลา 15.00 น. ในทุกจังหวัด ต่อมาเป็นช่วงเวลา 09.00 น. และ 21.00 น. ตามลำดับ โดยในช่วงเวลา 15.00 น. ความสูงผสมโดยส่วนใหญ่มีค่า 1,000 - 2,000 เมตร โดยมีตัวอย่างของวันที่ 15 มกราคม 2559 ดังภาพที่ 2



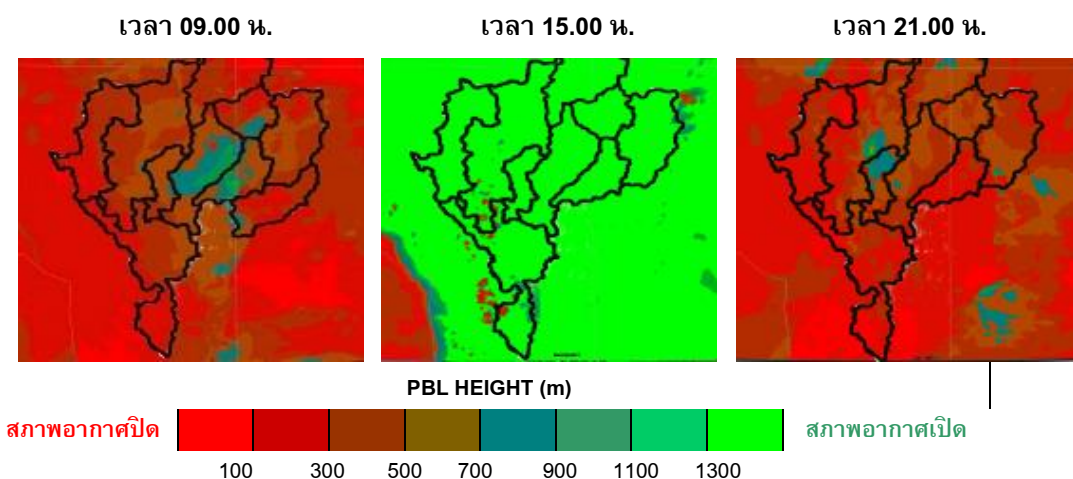
ภาพที่ 3 การคาดการณ์ค่าความสูงผสมของพื้นที่ 9 จังหวัดภาคเหนือ ในวันที่ 15 มกราคม พ.ศ. 2559 โดยใช้แบบจำลองสภาพอากาศ WRF

1.2 เดือนกุมภาพันธ์ มีค่าความสูงผสมตลอดทั้งเดือนสูงที่สุดในช่วงเวลา 21.00 น. ในทุกจังหวัด ต่อมาเป็นช่วงเวลา 15.00 น. และ 09.00 น.ตามลำดับ โดยในช่วงเวลา 21.00 น. ความสูงผสมโดยส่วนใหญ่มีค่า 1,000 - 2,000 เมตร ยกเว้นจังหวัดแม่ฮ่องสอนที่มีค่าความสูงผสมอยู่ในช่วง 2,000 - 5,000 เมตร โดยมีตัวอย่างของวันที่ 15 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 4 การคาดการณ์ค่าความสูงผสมของพื้นที่ 9 จังหวัดภาคเหนือ ในวันที่ 15 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 โดยใช้แบบจำลองสภาพอากาศ WRF

1.3 เดือนมีนาคม มีค่าความสูงผสมตลอดทั้งเดือนสูงที่สุดในช่วงเวลา 15.00 น. และ 21.00 น. มีค่าความสูงผสมตลอดทั้งเดือนค่อนข้างใกล้เคียงกันในทุกจังหวัด ต่อมาเป็นช่วงเวลา 09.00 น.ตามลำดับ ส่วนใหญ่อยู่ในช่วงต้นเดือนและปลายเดือน ยกเว้นจังหวัดลำพูนและตากที่มีค่าความสูงผสมสูงขึ้นในช่วงกลางเดือน โดยมีตัวอย่างของวันที่ 15 มีนาคม พ.ศ. 2559 ดังภาพที่ 4



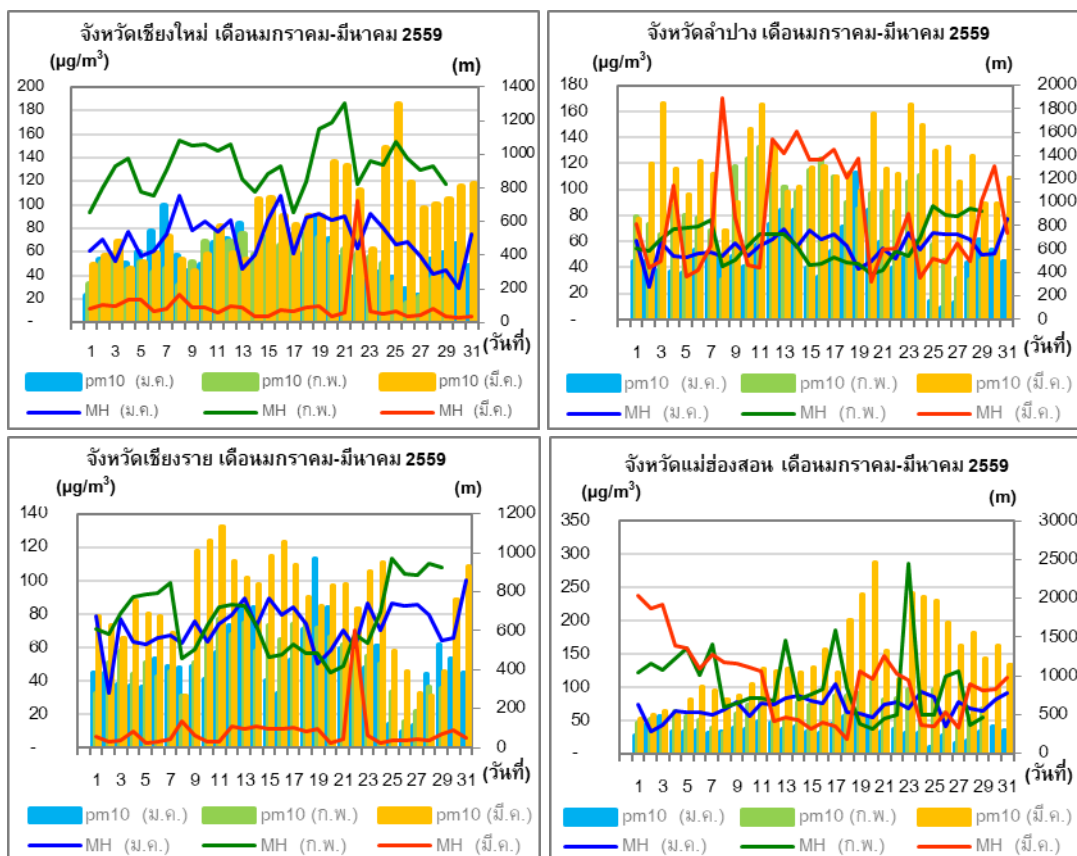
ภาพที่ 5 การคาดการณ์ค่าความสูงผสมของพื้นที่ 9 จังหวัดภาคเหนือ ในวันที่ 15 มีนาคม พ.ศ.2559 โดยใช้แบบจำลองสภาพอากาศ WRF

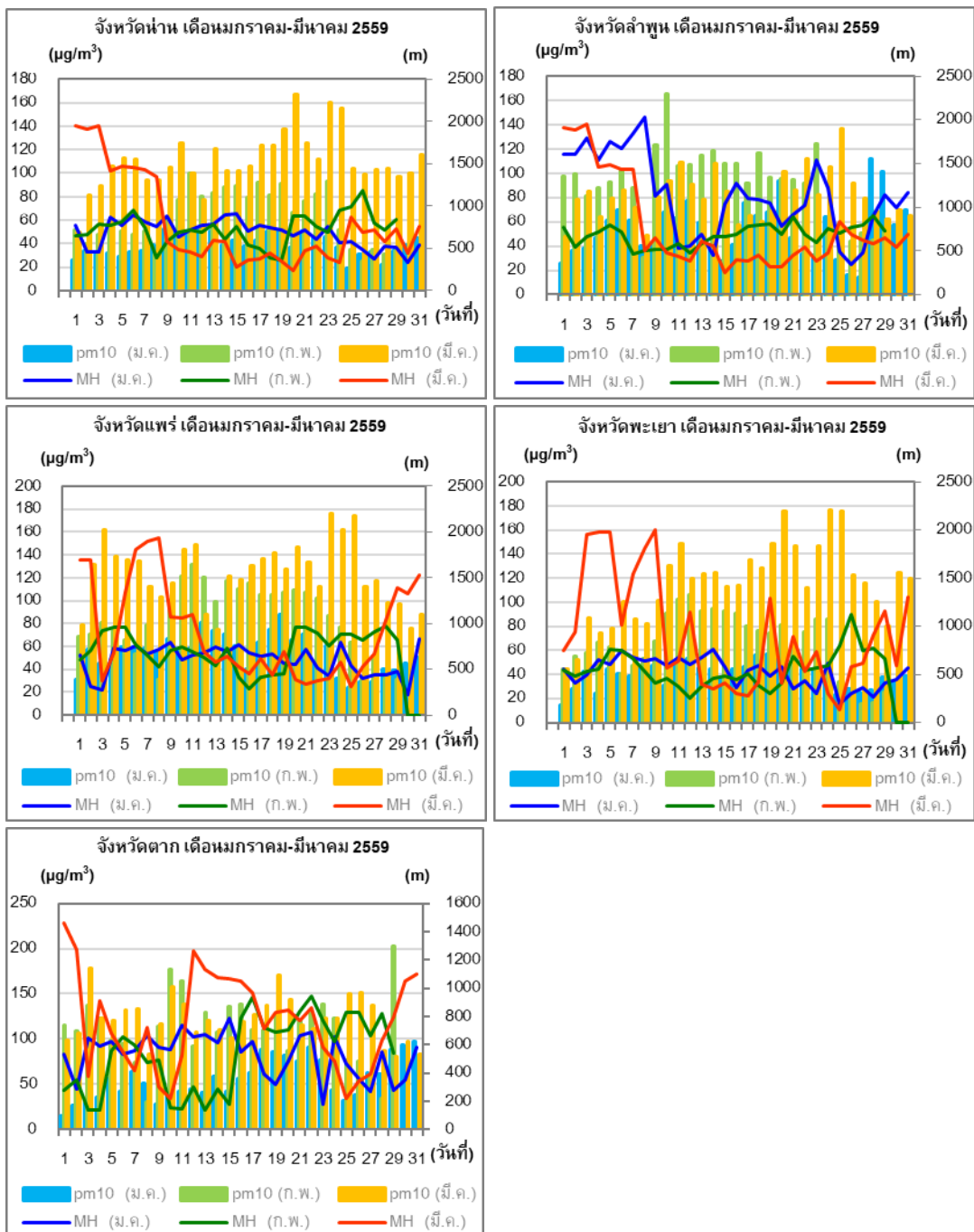
ผลของความสูงผสมในเดือนมกราคมและกุมภาพันธ์ พ.ศ.2559 มีค่าความสูงผสมในแต่ละช่วงเวลาที่ไม่เท่ากัน โดยในเดือนมกราคมค่าความสูงผสมจะมีค่าสูงสุดในช่วงเวลา 15.00 น. เดือนกุมภาพันธ์ค่าความสูงผสมจะมีค่าสูงสุดในช่วงเวลา 21.00 น. และเดือนมีนาคมค่าความสูงผสมจะมีค่าสูงสุดในช่วงเวลา 15.00 น. และ 21.00 น. ซึ่งค่าความสูงผสมทั้ง 3 เดือน จะมีค่าอยู่ในช่วง 0 – 5,000 เมตร และพบว่าในช่วงเวลา 09.00 น. จะมีค่าความสูงผสมน้อยที่สุด เมื่อเทียบกับช่วงเวลา 15.00 น. และ 21.00 น.

1. ผลการศึกษาปริมาณฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน เฉลี่ยรายชั่วโมง ในพื้นที่ 9 จังหวัดภาคเหนือ ในช่วงเวลา 09.00 น., 15.00 น. และ 21.00 น. มีค่าพิสัยอยู่ระหว่าง 1-451 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 79 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานฝุ่นละออง พบว่าจังหวัดตาก มีฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ปริมาณสูงสุด รองลงมาได้แก่ จังหวัดแพร่ ลำปาง แม่ฮ่องสอน ลำพูน พะเยา น่าน เชียงราย และเชียงใหม่ โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 96, 87, 85, 83, 77, 74, 71, 68 และ 66 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ แต่เมื่อพิจารณาปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กขนาด 10 ไมครอน ในอากาศที่วัดได้สูงสุดในแต่ละวันพบว่าปริมาณฝุ่นละอองส่วนใหญ่จะมีค่าสูงและเกินเกณฑ์มาตรฐานในเดือนมีนาคม และตลอดทั้ง 3 เดือนที่ทำการศึกษา พบว่าปริมาณฝุ่นละอองโดยส่วนใหญ่จะมีค่าสูงในช่วงเวลา 09.00 น., 21.00 น. และ 15.00 น. ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับ ทิพวรรณ ประภามณฑล และคณะ (2554) ได้สรุปผลการศึกษาปริมาณฝุ่นละอองในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทยช่วงปลายฤดูหนาว เข้าสู่ฤดูร้อน (กุมภาพันธ์ถึงเมษายน) ในพื้นที่นอกเมืองมีการเผาในพื้นที่ขนาดใหญ่ เช่น ในพื้นที่เกษตรกรรมเพื่อเตรียมการเพาะปลูก รวมทั้งการเกิดไฟป่า ทำให้ปริมาณฝุ่นละอองในอากาศปกคลุมในพื้นที่กว้าง และสอดคล้องกับปริมาณฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ที่วัดได้จากสถานีตรวจวัดของกรมควบคุมมลพิษที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ในเมือง พบว่าในพื้นที่นอกเมืองมีปริมาณฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ในระดับที่ไม่แตกต่างจากพื้นที่ในเมือง แต่อย่างไรก็ตาม ปัจจัยด้านอื่นๆ เช่น ปริมาณจุดความร้อน จำนวนการเกิดการเผาไหม้ ทิศทางลม การเกิดฝนในพื้นที่ รวมถึงการกำหนดแผนการเผาของแต่ละจังหวัด ก็เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของปริมาณฝุ่นละอองในบรรยากาศ ซึ่งจากการศึกษาของ ชลธิดา (2557) พบว่าปัจจัยด้านภูมิอากาศ ได้แก่ ความเร็วลม และความกดอากาศ มีอิทธิพลต่อปริมาณฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ซึ่งส่วนใหญ่เกิดจากสภาพภูมิประเทศที่เป็นหุบเขาสลับซับซ้อนและกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ ได้แก่ การคมนาคมขนส่ง โรงงานอุตสาหกรรม การเผาในที่โล่งโดยเฉพาะการเผาขยะ วัสดุเศษเหลือจากการทำการเกษตร การเผาป่า และหมอกควันข้ามแดนบริเวณภาคเหนือตอนบนในช่วงเดือนมกราคมถึงเมษายนของทุกปี

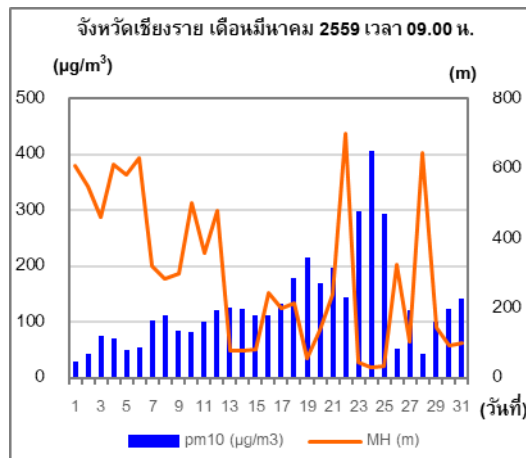
2. ผลการศึกษาความสัมพันธ์ของค่าความสูงผสมจากการคาดการณ์ของแบบจำลองสภาพอากาศ WRF กับปริมาณฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน พบว่า ค่าความสัมพันธ์ (R) ที่มีค่ามากที่สุดเท่ากับ -0.646 ที่จังหวัดเชียงราย ในช่วงเวลา 09.00 น. เดือนมีนาคม (ดังภาพที่ 6-7 และตารางที่ 1)

พบว่าค่าความสัมพันธ์โดยรวมระหว่างค่าความสูงผสมกับปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน อยู่ในระดับต่ำถึงปานกลาง และตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์ที่มีลักษณะผกผันกันหรือมีทิศทางลบ หมายความว่า เมื่อค่าความสูงผสมมีค่าสูงหรือมีระดับที่สูง ปริมาณฝุ่นละอองจะมีค่าน้อย เนื่องจากค่าความสูงผสมที่สูงทำให้เกิดสภาพอากาศเปิดและฝุ่นละอองที่สะสมอยู่ในบรรยากาศจะสามารถกระจายตัวได้ดี ทำให้ความเข้มข้นของปริมาณฝุ่นในบรรยากาศมีค่าน้อย และในทางตรงกันข้าม หากค่าความสูงผสมมีค่าต่ำจะส่งผลให้ปริมาณฝุ่นละออง ไม่เกิดการกระจายตัวและสะสมอยู่ในบรรยากาศทำให้ความเข้มข้นของฝุ่นมีค่าสูง ซึ่งจากสถิติย้อนหลังเกี่ยวกับปัญหาหมอกควันใน 9 จังหวัดภาคเหนือ พบว่า ปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน จะมีค่าปริมาณฝุ่นละอองสูงสุดอยู่ในเดือนมีนาคม สาเหตุดังกล่าวอาจมาจากระดับความสูงผสมในเดือนมีนาคมที่มีค่าใกล้เคียงกันตลอดทั้งวัน ทำให้ฝุ่นละอองในบรรยากาศที่แขวนลอยอยู่มีระดับที่ค่อนข้างคงที่ ทำให้ปริมาณฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นจากจุดความร้อน พุ่งกระจายในบริเวณพื้นดินและเกิดการสะสมตลอดทั้งวัน และจากการศึกษาสถิติย้อนหลังเกี่ยวกับปริมาณจุดความร้อนในช่วงวิกฤตการณ์หมอกควันภาคเหนือ พบว่าในเดือนมีนาคมเป็นช่วงที่มีจุดความร้อนเกิดขึ้นสูงที่สุด ซึ่งก็เป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เดือนมีนาคมมีปริมาณฝุ่นละอองสูงที่สุด





ภาพที่ 6 ค่าความสัมพันธ์ของค่าความสูงผสมจากการคาดการณ์ของแบบจำลองสภาพอากาศ WRF กับ ปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน 9 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดเชียงใหม่ ลำปาง เชียงราย แม่ฮ่องสอน น่าน ลำพูน แพร่ พะเยา และตาก



ภาพที่ 7 ค่าความสัมพันธ์ของค่าความสูงผสมจากการคาดการณ์ของแบบจำลองสภาพอากาศ WRF กับ ปริมาณฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน และค่าความสัมพันธ์ (R) ที่มีค่ามากที่สุดในช่วงเวลา 09.00 น. เดือนมีนาคม จังหวัดเชียงราย

ตารางที่ 1 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสูงผสมกับปริมาณฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน

จังหวัด	เดือนมกราคม 2559			เดือนกุมภาพันธ์ 2559			เดือนมีนาคม 2559		
	09.00 น.	15.00 น.	21.00 น.	09.00 น.	15.00 น.	21.00 น.	09.00 น.	15.00 น.	21.00 น.
เชียงใหม่	-0.336	-0.432	-0.324	-0.313	-0.367	-0.324	-0.542	-0.371	-0.324
เชียงราย	-0.072	-0.334	-0.348	-0.413	-0.521	-0.348	-0.646	-0.423	-0.348
ลำปาง	-0.582	-0.263	-0.293	-0.459	-0.325	-0.293	-0.565	-0.483	-0.293
ลำพูน	<u>0.014</u>	-0.413	-0.476	-0.455	-0.31	-0.344	-0.33	-0.336	-0.544
พะเยา	-0.202	-0.641	-0.301	-0.588	-0.317	-0.301	-0.549	-0.291	-0.301
แพร่	-0.208	-0.588	-0.343	-0.503	-0.419	-0.343	-0.348	-0.404	-0.343
น่าน	<u>0.083</u>	-0.601	-0.446	-0.396	-0.379	-0.446	-0.481	-0.445	-0.446
แม่ฮ่องสอน	-0.269	-0.338	-0.219	-0.575	-0.462	-0.219	-0.512	-0.503	-0.219
ตาก	-0.22	-0.292	-0.213	-0.638	-0.557	-0.213	-0.42	-0.471	-0.213

อภิปรายผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

อภิปรายผลการวิจัย

ผลการศึกษาค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสูงผสมจากแบบจำลองสภาพอากาศ WRF และปริมาณฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ในพื้นที่ 9 จังหวัดภาคเหนือ ในช่วงเดือนมกราคม – มีนาคม 2559 พบว่า ในช่วงเวลาที่ศึกษาค่าความสัมพันธ์อยู่ในทิศทางที่ผกผันกันระหว่างค่าความสูงผสม กับปริมาณฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน คือ การกระจายของสารพิษขึ้นอยู่กับเปลี่ยนแปลง อุณหภูมิตามความสูงที่ระดับต่างๆ ในบรรยากาศ โดยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตามความสูงแบ่งออกเป็น 2

ประเภทคือ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตามความสูงของสิ่งแวดล้อม (environmental lapse rate) และการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตามความสูงของกระบวนการ ซึ่งการเกิดอุณหภูมิผกผันเป็นปรากฏการณ์หนึ่งที่มีผลต่อการกระจายของสารมลพิษ โดยจะเกิดขึ้นตรงกันข้ามกับอุณหภูมิปกติในบรรยากาศ ซึ่งสภาวะของอากาศเช่นนี้จะทำให้มลพิษทางอากาศที่ถูกปล่อยจากแหล่งกำเนิดมลพิษลอยขึ้นไปในบรรยากาศ ระดับความสูงผสมจะปิดกั้นการลอยตัวของอากาศ เมื่อแรงลอยตัวน้อยระดับความสูงผสมจะอยู่ต่ำมลพิษในบรรยากาศจะอยู่ใกล้พื้นดินโดยมีลมเป็นตัวแปรในการเคลื่อนที่ของมลพิษ ถ้าระดับความสูงผสมอยู่สูงมลพิษทางอากาศก็จะเจือจางในช่วงบ่าย และเกิดตอนกลางวันมากกว่ากลางคืน รวมทั้งจะเกิดในฤดูร้อนมากกว่าฤดูหนาว และลมเป็นตัวแปรในการเคลื่อนที่ตามแนวดิ่งจากพื้นผิวสู่ชั้นบน (Mathew G. Fearon and Timothy J. Brown, 1999) โดยชั้นของอุณหภูมิผกผันในระดับสูงเป็นชั้นของบรรยากาศที่เสถียรมีสาเหตุสำคัญ 3 ประการ คือเกิดจากการจมตัว (subsidence) ของอากาศที่อยู่ระดับสูงขึ้นไป หรือเกิดจากการแผ่รังสีของบริเวณชั้นบนของเมฆ หรือเกิดจากการจมตัวของบรรยากาศที่อยู่ระหว่างเมฆที่เกิดการพาความร้อน ชลธิธา (2557) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน กับปัจจัยอุณหภูมิ บริเวณพื้นที่ 7 จังหวัดภาคเหนือ ในช่วงปี 2552 ถึง 2556 พบว่ามีค่าฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน อยู่ในช่วง 12.00-518.5 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร มีค่าอุณหภูมิระหว่าง 18.9-41.1 องศาเซลเซียส และเมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์อุณหภูมิมีอิทธิพลต่อค่าฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยสามารถอธิบายความผันแปรได้ประมาณ ร้อยละ 16 ซึ่งปัจจัยด้านภูมิอากาศอื่นๆ ได้แก่ ความเร็วลม และความกดอากาศ มีอิทธิพลต่อปริมาณฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ที่เกินมาตรฐาน สอดคล้องกับการศึกษาของ วิวัฒน์ (2560) ที่ได้ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อสภาวะหมอกควันฝุ่นละอองในอากาศขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน พบว่า ปริมาณการเผาในที่โล่งและความเร็วลมมีความสัมพันธ์กัน โดยมีองค์ประกอบของปริมาณน้ำฝน ความชื้นสัมพัทธ์ และความกดอากาศ มาเกี่ยวข้อง ปฏิพัทธ์ และคณะ (2555) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างจุดความร้อนกับความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ในเขตภาคเหนือประเทศไทย พบว่า จำนวนจุดความร้อนมีมากในช่วงฤดูแล้งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตั้งแต่เดือนธันวาคมและมีค่าสูงสุดในเดือนมีนาคมของทุกปีหลังจากนั้นเริ่มลดลงในเดือนเมษายนและลดต่ำในช่วงฤดูฝน ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของปริมาณฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน กับจุดความร้อนในภาคเหนือมีความสอดคล้องกันอย่างชัดเจน โดยมีความสัมพันธ์สูงกับจุดความร้อนภายในจังหวัดที่ตรวจวัดในเขตภาคเหนือและประเทศพม่า ซึ่งพบผลรวมจำนวนจุดความร้อนสะสม 3 วัน มีความสัมพันธ์สูงกับความเข้มข้นของปริมาณฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ค่าเฉลี่ยรายวัน เนื่องจากเกิดไฟไหม้ในที่โล่งทั้งวันที่ตรวจวัดและวันก่อนหน้ามีผลต่อความเข้มข้นของปริมาณฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน เมื่อพิจารณาการเคลื่อนที่ของมวลอากาศย้อนหลัง พบว่าวันที่มีฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน สูง มีการเคลื่อนที่ของมวลอากาศผ่านบริเวณที่มีจุดความร้อนจำนวนมาก ส่วนใหญ่เกิดจากการเผาในที่โล่งจากไฟป่า ร้อยละ 89 ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาด 10 ไมครอน มีค่าสูงสุดในฤดูร้อนและมีความสัมพันธ์กับสถิติพื้นที่ไฟไหม้ป่าโดยพบสูงสุดในช่วงเดือนกุมภาพันธ์และมีนาคม

ในด้านของค่าความสัมพันธ์สองตัวแปรระหว่างฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน กับค่าความสูงผสม พบว่าระดับความสัมพันธ์อยู่ในระดับต่ำถึงปานกลาง มีค่าส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 0.2 – 0.4 เนื่องจากค่าความสูงผสมที่นำมาวิเคราะห์ เกิดจากการคาดการณ์ล่วงหน้าโดยใช้แบบจำลอง ทำให้ข้อมูลมีความ

คลาดเคลื่อน ประกอบกับปริมาณของฝุ่นละอองและการกระจายของฝุ่นละอองมีปัจจัยหลายอย่างเข้ามาเกี่ยวข้อง เช่น ทิศทางลม ความเร็วลม จุดความร้อน ปริมาณน้ำฝน ความกดอากาศ ฤดูกาล เป็นต้น จึงส่งผลให้ระดับความสัมพันธ์ของค่าที่เกิดขึ้นมีค่าน้อย Guarnieri et al.(2015) ได้ศึกษาการใช้แบบจำลองประเมินความสูงผสมที่สัมพันธ์กับกระบวนการกระจายตัวของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน พบว่าในพื้นที่การศึกษาช่วงฤดูหนาวปริมาณฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน มีความเข้มข้นสูง ค่าความสูงผสมต่ำ มีทิศทางผกผันกัน สาเหตุหนึ่งมาจากการสะสมของปริมาณฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ในชั้นบรรยากาศที่ต่ำและมีความเร็วลมเฉลี่ยรายวันและปริมาณน้ำฝนรายวันเป็นดัชนีชี้วัดบางส่วนที่ก่อให้เกิดการสะสมของมลพิษทางอากาศได้ในระดับพื้นดิน โดยเป็นตัวบ่งชี้ที่สำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศของพื้นที่พร้อมทั้งสามารถนำแบบจำลองมาใช้ในการคาดการณ์สนับสนุนการตัดสินใจในการจัดการวางแผนคุณภาพอากาศในท้องถิ่นได้ นอกจากนี้ จากการศึกษาผลกระทบจากฝุ่นละอองในบรรยากาศจากระดับความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน กับจำนวนผู้ป่วยที่มีอาการของโรคที่เกิดจากการได้รับปริมาณฝุ่นเข้าสู่ร่างกาย มีความสอดคล้องกันตามลำดับเวลา เช่น ช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงกลางเดือนมีนาคมมีระดับฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน สูง พบว่ามีปริมาณจำนวนผู้ป่วยมาก และช่วงเดือนเมษายนถึงเดือนพฤษภาคม ระดับฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ต่ำ จำนวนผู้ป่วยมีแนวโน้มลดลง ซึ่งมีสัดส่วนในการเจ็บป่วยในกลุ่มคอหอยอักเสบเฉียบพลัน เจ็บคอมากที่สุด รองลงมาคือไข้หวัด เยื่อจมูกอักเสบเฉียบพลัน เยื่อตาอักเสบเฉียบพลัน ต้อเนื้อ และการติดเชื้อทางเดินอาหาร (สิทธิชัย และภักดี, 2553) ดังนั้นการศึกษา ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสูงผสมกับปริมาณฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ในพื้นที่ 9 จังหวัดภาคเหนือ เป็นวิธีหนึ่งที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์สำหรับการคาดการณ์ สร้างเป็นข้อมูล และแนวทางในการนำไปใช้สำหรับการแก้ปัญหาการเกิดปริมาณฝุ่นละอองในบรรยากาศและสามารถหาเทคโนโลยีใหม่มาจัดการปัญหามลพิษทางอากาศในเชิงนโยบายและเชิงพื้นที่แบบเฉพาะเจาะจงกับตัวบุคคลเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพและเกิดคุณภาพชีวิตที่ดีปลอดภัย พร้อมกับทราบความถูกต้องของการประเมินค่าระดับความสูงผสมเพื่อนำไปใช้ศึกษากับพื้นที่ต่างๆ ได้ และเป็นแนวทางในการเตรียมข้อมูลด้านอุตุนิยมวิทยาเพื่อนำไปเป็นข้อมูลนำเข้าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในการแสดงพื้นที่เสี่ยงภัยต่อการเตือนภัยการเกิดไฟป่า

ข้อเสนอแนะ

1. ควรใช้แบบจำลองสภาพอากาศและเคมี (Weather Research and Forecasting model coupled with Chemistry : WRF CHEM) ในการศึกษา เนื่องจากแบบจำลองดังกล่าว มีประสิทธิภาพในการคาดการณ์ถึงปริมาณมลพิษ และทิศทางและการกระจายตัวของมลพิษ โดยสามารถคาดการณ์ได้ในช่วงเวลาที่ยาวกว่าแบบจำลองสภาพอากาศ (WRF) แต่การใช้แบบจำลองดังกล่าวต้องใช้ระบบประมวลผลที่มีประสิทธิภาพสูง และมีค่าใช้จ่ายที่สูงเช่นกัน
2. ควรศึกษาปริมาณฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM_{2.5}) เปรียบเทียบกับฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM₁₀) ซึ่งในปัจจุบันได้มีการศึกษาและให้ความสนใจเกี่ยวกับฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ที่มีผลกระทบที่รุนแรงกว่าฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร. ภคพงศ์ พจนารถ ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ ตรวจสอบ และความถูกต้องสมบูรณ์ และขอกราบขอบคุณท่านอาจารย์คณะบริหารการพัฒนาสิ่งแวดล้อมทุกท่าน ที่ให้วิชาความรู้ คำแนะนำต่างๆ นอกจากนี้ ขอขอบคุณ ดร.ศักดิ์ดา ตรีเดช ที่กรุณาให้คำแนะนำ เกี่ยวกับการใช้แบบจำลองสภาพอากาศ WRF

เอกสารอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ. (2558). แผนปฏิบัติการป้องกันและแก้ไขปัญหาหมอกควันภาคเหนือ ปี 2559.

กรุงเทพมหานคร : สำนักงานจัดการคุณภาพอากาศและเสียง กรมควบคุมมลพิษ

ทิพวรรณ ประภาณทล และคณะ. 2554. สาเหตุการเกิดฝุ่นและภาวะหมอกควันในชุมชน และข้อมูลฝุ่นพีเอ็ม 10. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร : สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)

ชลธิชา เขิญขุนทด. (2557). การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM10) กับปัจจัยด้านภูมิอากาศ บริเวณพื้นที่ 7 จังหวัดภาคเหนือ. กรุงเทพมหานคร : สำนักป้องกันปราบปรามและควบคุมไฟฟ้า กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช.

ปฏิพัทธ์ วงศ์เรือง ประจันต์ วงศ์วิเศษ และ สิทธิชัย พิมพ์ศรี. (2555). ความสัมพันธ์ระหว่างจุดความร้อนกับความเข้มข้น PM10 ในเขตภาคเหนือประเทศไทย. การประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ครั้งที่ 11 วันที่ 21-23 มีนาคม 2555 ณ โรงแรมโพธิ์วิลล รีสอร์ท แอนด์ สปา จังหวัดเชียงราย.

วิวัฒน์ หมั่นการ. (2560). ปัจจัยที่ส่งผลต่อสภาวะหมอกควันในแอ่งลำปาง. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ปีที่ 22 ฉบับที่ 1 มกราคม – เมษายน 2560, 226-239.

สิทธิชัย พิมพ์ศรี และ ภาวัต อารินทร์. (2553). สถานการณ์ปัญหาฝุ่นละอองในบรรยากาศและผลกระทบต่อสุขภาพ: การประชุมทางวิชาการ นครสวรรค์ ครั้งที่ 6 วันที่ 29-31 กรกฎาคม 2553 ณ อาคารเรียนรวมเฉลิมพระเกียรติ 72 พรรษา มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก.

สำนักงานจัดการคุณภาพอากาศและเสียง. (2559). ข้อมูลปริมาณฝุ่นละอองที่ตรวจวัดจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ. (ออนไลน์). แหล่งที่มา: <http://www.aqmthai.com/index.php>. สืบค้นเมื่อวันที่ 8 เมษายน 2559

F. Guarnieri, F. Calastrini, C. Busillo, G. Messeri and B. Gozzini¹. (2015). A Model Chain Application to Estimate Mixing Layer Height Related to PM10 Dispersion Processes. The Scientific World Journal Volume 2015 (2015), 11 pages.

Mathew G. Fearon and Timothy J. Brown. (1999). Experimental Daily NCEP ETA Model Smoke Management Forecasts. Desert Research Institute University of Nevada, Reno.