ผลความแปรปรวนสภาพอุตุนิยมวิทยาต่อความเสี่ยงปัญหาหมอกควันบริเวณภาคเหนือของประเทศไทย

กันต์ศักดิ์ ทรัพย์พ่วง

วิทยานิพนธ์เสนอมหาวิทยาลัยพะเยา เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
กุมภาพันธ์ 2565

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยพะเยา

ผลความแปรปรวนสภาพอุตุนิยมวิทยาต่อความเสี่ยงปัญหาหมอกควันบริเวณภาคเหนือของประเทศไทย

กันต์ศักดิ์ ทรัพย์พ่วง

วิทยานิพนธ์เสนอมหาวิทยาลัยพะเยา เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
กุมภาพันธ์ 2565
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยพะเยา

EFFECT OF METEOROLOGICAL VARIABILITY ON RISK OF SMOG PROBLEMS IN NORTHERN THAILAND.

KANSAK SUPPOUNG

A Thesis Submitted to University of Phayao

in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Master of Engineering Degree in Environmental Engineering

February 2022

Copyright 2022 by University of Phayao

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ผลความแปรปรวนสภาพอุตุนิยมวิทยาต่อความเสี่ยงปัญหาหมอกควันบริเวณภาคเหนือของประเทศไทย

ของ กันต์ศักดิ์ ทรัพย์พ่วง

ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

ของมหาวิทยาลัยพะเยา

..... ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(ดร. RONALD C. MACATANGAY)

..... ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

(รองศาสตราจารย์ ดร. สิทธิชัย พิมลศรี)

..... กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธีรชัย อำนวยล้อเจริญ)

..... คณบดีคณะพลังงานและสิ่งแวดล้อม

(รองศาสตราจารย์ ดร. ต่อพงศ์ กรีธาชาติ)

เรื่อง: ผลความแปรปรวนสภาพอุตุนิยมวิทยาต่อความเสี่ยงปัญหาหมอกควันบริเวณภาคเหนือของประเทศไทย

ผู้วิจัย: กันต์ศักดิ์ ทรัพย์พ่วง, วิทยานิพนธ์: วศ.ม. (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม), มหาวิทยาลัยพะเยา, 2564

อาจารย์ที่ปรึกษา: รองศาสตราจารย์ ดร. สิทธิชัย พิมลศรี อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีรชัย อำนวยล้อเจริญ

คำสำคัญ: ความแปรปรวนสภาพอุตุนิยมวิทยามลพิษอากาศในภาคเหนือประเทศไทย, สภาพอุตุนิยมวิทยามลพิษอากาศที่เสี่ยงต่อปัญหาหมอกควันในภาคเหนือประเทศไทย, ฝุ่นละอองขนาด 10ไมครอน

บทคัดย่อ

ปัญหามลพิษอากาศในภาคเหนือของประเทศไทย เป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่รุนแรง และส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชน การปล่อยมลพิษอากาศ และสภาพอุตุนิยมวิทยาจึงเป็นปัจจัยหลักต่อมลพิษอากาศ การศึกษาการเปลี่ยนแปลงสภาพอุตุนิยมวิทยามลพิษอากาศจึงเป็นสิ่งที่สำคัญต่อการวางแผน ป้องกันความเสี่ยงต่อการเกิดปัญหาหมอกควัน งานนี้จึงศึกษาลักษณะรูปแบบความแปรปรวนของสภาพอุตุนิยมวิทยามลพิษอากาศ และลักษณะอุตุนิยมวิทยาที่มีผลต่อความเสี่ยงปัญหาหมอกควัน โดยใช้ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาจากแบบจำลองชุดข้อมูล ECMWF reanalysis data ในปี พ.ศ.2532 ถึง พ.ศ.2561 ผลจากการวิเคราะห์ลักษณะอุตุนิยมวิทยาในภาคเหนือพบค่าการระบายอากาศต่ำ ในช่วงฤดูหนาว และพบค่าการระบายอากาศสูง ในช่วงฤดูร้อน โดยค่าการระบายอากาศต่ำที่สุดในเดือนกันยายน ในขณะที่พบค่าการระบายอากาศสูงที่สุดในเดือนเมษายน ปัญหาฝุ่นละอองส่วนใหญ่พบในเดือนมีนาคมเนื่องจากในเดือนนี้มีการเผาชีวมวลมากที่สุด การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงภายในวันพบค่าความเข้มข้นปริมาณฝุ่นละอองเฉลี่ยมีค่าสูงที่สุดในช่วงเวลา 10.00 น. และ 22.00 น. ซึ่งในเวลากลางคืนมีลักษณะสภาพอุตุนิยมวิทยาโดย ความสูง PBL และความเร็วลมต่ำ ซึ่งเอื้อต่อการสะสมปริมาณฝุ่นละออง ในขณะที่ในช่วงเวลากลางวันมีการระบายอากาศที่ดีกว่า ผลการศึกษาได้พัฒนาเกณฑ์เฝ้าระวังสภาพอุตุนิยมวิทยาที่เสี่ยงต่อการเกิดปัญหาหมอกควัน ณ เวลา 10.00 น. ในบริเวณภาคเหนือของประเทศไทย ได้แก่ 1. ความเสี่ยงน้อย (PM_{10} น้อยกว่า 120 ug/m^3) เมื่อความสูง PBL สูงกว่า 1,300 เมตร ความเร็วลมสูงกว่า 2.0 เมตร/วินาที และการระบายสูงกว่า 2,500 ตร.ม./วินาที 2. ความเสี่ยงปานกลาง (PM_{10} = 121–180 ug/m^3) เมื่อความสูง PBL ที่ 1,100–1,300 เมตร ความเร็วลมที่ 1.5–2.0 เมตร/วินาที และการระบายที่ 1,500–2,500 ตร.ม./วินาที และ 3. ความเสี่ยงสูง (PM_{10} มากกว่า 180 ug/m^3) เมื่อ ความสูง PBL ต่ำกว่า 1,100 เมตร ความเร็วลม 1.5 เมตร/วินาที และการระบายต่ำกว่า 1,500 ตร.ม./วินาที

Title: EFFECT OF METEOROLOGICAL VARIABILITY ON RISK OF SMOG PROBLEMS IN NORTHERN THAILAND.

Author: Kansak Suppoung, Thesis: M.Eng. (Environmental Engineering), University of Phayao, 2021

Advisor: Associate Professor Dr. Sittichai Pimonsree Co-advisor Assistant Professor Dr.Teerachai Amnuaylojaroen

Keywords: Meteorological variation, planetary boundary layers, PM10

ABSTRACT

The smog problem in Northern Thailand is a severe environmental problem and effect on human health. Emission and meteorological conditions are principle factors on air pollution. The study of variation in air pollution meteorology is therefore crucial to planning, preventing the risk of smog problems. This study provides a pattern on the variation of air pollution meteorology and meteorological characteristics that affect the risk of smog problems by using meteorological data from ECMWF reanalysis dataset during 1989-2018. Analysis results found that low ventilation in winter and high ventilation in summer. The lowest ventilation was found in September, whereas highest ventilation was found in April. Most of particulate problem was found in March in association with highest open biomass burning. Diurnal variation analysis revealed that the mean PM_{10} concentration was highest during 10.00 am. and 22.00 pm. At nighttime, meteorological conditions were characterized by low PBL and low wind speed that are favorable for the accumulation of PM_{10}, while ventilation is better in daytime. This study developed meteorological condition criteria for the risk of smog problems at 10:00 am in the Northern Thailand as follows: First, Low risk (PM_{10} < 120 ug/m^3) at PBL > 1,300 m, windspeed > 2.0 m/s, and ventilation > 2,500 m^2/s. Second, moderate risk (PM_{10} = 121-180 ug/m^3) at PBL 1,100-1,300 m, windspeed 1.5-2.0 m/s, and ventilation 1,500-2,500 m^2/s. and Third, High risk (PM_{10} > 180 ug/m^3) at PBL < 1,100 m, windspeed < 1.5 m/s, and ventilation < 1,500 m^2/s.

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยประเภทบัณฑิตศึกษา จากสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ประจำปีงบประมาณ 2562 และทุนวิจัยจากสถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) ประจำปี 2562 ได้รับความกรุณาจากรองศาสตราจารย์ ดร.สิทธิชัย พิมลศรี อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ให้ความรู้ คำแนะนำ ตลอดระยะเวลาการดำเนินงานวิจัย จนทำให้การวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยดี ขอขอบคุณ ดร. Ronald C. Macatangay ที่ให้คำปรึกษาด้านข้อมูลตรวจวัดอุตุนิยมวิทยาเบื้องสูง (Lidar observation) ขอขอบคุณหน่วยงานราชการกรมอุตุนิยมวิทยา สำหรับข้อมูลตรวจวัดอุตุนิยมวิทยา และกรมควบคุมมลพิษอากาศ สำหรับข้อมูลมลพิษอากาศ

ขอขอบคุณครอบครัวที่สนับสนุน ให้โอกาส ตลอดการศึกษานี้ และขอขอบคุณผู้ที่เป็นเจ้าของแนวคิด และทฤษฎีต่างๆ ของวิทยานิพนธ์ งานวิจัย วารสาร และบทความ ที่ผู้ศึกษานำมาอ้างอิงในการทำวิจัยฉบับนี้ ณ โอกาสนี้ด้วย สุดท้ายนี้คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากงานวิจัยนี้ ผู้ศึกษาขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

กันต์ศักดิ์ ทรัพย์พ่วง

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญภาพ ..... ฎ

บทที่ 1 บทนำ 1

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

วัตถุประสงค์ของการวิจัย 3

ขอบเขตของการวิจัย 3

ประโยชน์ที่จะได้รับจากการวิจัย 4

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 5

อุตุนิยมวิทยามลพิษอากาศ 5

สภาพอุณหภูมิบรรยากาศ (Temperature inversions) 9

ตัวแปรอุตุนิยมวิทยาที่เกี่ยวข้องกับการแพร่กระจายมลพิษอากาศ 11

ความเสถียรภาพของบรรยากาศ (Atmospheric Stability) 14

ลักษณะอุตุนิยมวิทยาภาคเหนือประเทศไทย 16

ลักษณะภูมิประเทศและภูมิอากาศในภาคเหนือตอนบน 18

สถานการณ์ปัญหามลพิษอากาศในภาคเหนือตอนบน 18

ผลของอุตุนิยมวิทยาที่มีต่อความเข้มข้นมลพิษอากาศ 20

ความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลง PBL กับสภาพอุตุนิยมวิทยา 22

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย 26
ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 26
พื้นที่ศึกษา 28
แหล่งข้อมูลและการตรวจสอบคุณภาพปริมาณความเข้มข้นฝุ่นละออง 29
แหล่งข้อมูลและการตรวจสอบคุณภาพสภาพอุตุนิยมวิทยามลพิษอากาศ 30
วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงลักษณะอุตุนิยมวิทยามลพิษอากาศเชิงพื้นที่ และเวลา 33
วิเคราะห์สภาพอุตุนิยมวิทยาที่เสี่ยงต่อการเกิดปัญหาหมอกควัน 34
บทที่ 4 ผลการศึกษา 36
การเปลี่ยนแปลงตามพื้นที่ (Spatial variation) ของลักษณะอุตุนิยมวิทยามลพิษอากาศที่มีผลต่อปัญหาหมอกควัน บริเวณภาคเหนือของประเทศไทย 36
การเปลี่ยนแปลงรายปี (Annual variation) ของลักษณะอุตุนิยมวิทยามลพิษอากาศบริเวณภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย 39
การเปลี่ยนแปลงรายฤดูกาล (Seasonal variation) ของลักษณะอุตุนิยมวิทยามลพิษอากาศบริเวณภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย 43
การเปลี่ยนแปลงภายในวัน (Diurnal variation) ของลักษณะอุตุนิยมวิทยามลพิษอากาศบริเวณภาคเหนือของประเทศไทย 48
ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นฝุ่นละอองในภาคเหนือช่วงปีพ.ศ. 2553–2561 52
ความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงสภาพอุตุนิยมวิทยาต่อความเข้มข้นฝุ่นละออง PM10 รายปี 52
ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นฝุ่นละอองในภาคเหนือรายฤดูกาล 54
ความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงสภาพอุตุนิยมวิทยาต่อความเข้มข้นฝุ่นละออง 55
ความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงสภาพอุตุนิยมวิทยาต่อความเข้มข้นฝุ่นละออง PM10 ภายในวัน 57
สภาพอุตุนิยมวิทยาที่เสี่ยงต่อการเกิดปัญหาหมอกควันในภาคเหนือ 58
บทที่ 5 บทสรุป 66

ข้อเสนอแนะ.....69

บรรณานุกรม.....72

ภาคผนวก.....77

ภาคผนวก ก ผลการเปรียบเทียบระหว่างข้อมูลตรวจวัด แบบจำลอง ECMWF และ WRF.....78

ภาคผนวก ข การตั้งค่าการจำลองสภาพอุตุนิยมวิทยาด้วยแบบจำลอง WRF.....81

ภาคผนวก ค ผลการเปรียบเทียบระหว่างข้อมูลตรวจวัด Lidar และ แบบจำลอง ECMWF.....83

ประวัติผู้วิจัย.....84

สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 1 สรุปผลการตรวจวัดฝุ่นละอองรายจังหวัด..... 19

ตาราง 2 ผลการตรวจสอบความสมบูรณ์ของข้อมูลตรวจวัดฝุ่นละออง ของสถานีตรวจวัดในภาคเหนือของประเทศไทย 30

ตาราง 3 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) 33

ตาราง 4 การกำหนดชั้นความสูงสำหรับการจำลองด้วยแบบจำลอง WRF 81

ตาราง 5 การตั้งค่าแบบจำลอง WRF 82

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพ 1 โครงสร้างของบรรยากาศ....8
ภาพ 2 โครงสร้างการเปลี่ยนแปลงภายในวันของบรรยากาศ....9
ภาพ 3 ความสูงชั้นผสมกับการแพร่กระจายมลพิษอากาศ....10
ภาพ 4 (a) ลมบก (b) ลมทะเล (c) ลมหุบเขา และ (d) ลมภูเขา....12
ภาพ 5 ลมมรสุมฤดูร้อน และลมมรสุมฤดูหนาว....14
ภาพ 6 เสถียรภาพบรรยากาศ....15
ภาพ 7 เสถียรภาพของบรรยากาศ....16
ภาพ 8 อากาศยกตัวเนื่องจากสภาพภูมิประเทศ....18
ภาพ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูง PBL กับอุณหภูมิ โดยใช้ GAMs model....24
ภาพ 10 แผนภาพขั้นตอนการศึกษา....27
ภาพ 11 แผนที่จังหวัดในภาคเหนือ....28
ภาพ 12 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นฝุ่นละอองราย 3 ชั่วโมง ของแต่ละ....35
ภาพ 13 ลักษณะภูมิประเทศในบริเวณภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย....37
ภาพ 14 การเปลี่ยนแปลงรายปีเฉลี่ย 30 ปี ช่วงปีปีพ.ศ. 2532 ถึง 2561 ของ (a) ความสูง PBL (m), (b) ความเร็วลม (m/s), (c) อัตราการระบาย (m^3/s) และ....38
ภาพ 15 การเปลี่ยนแปลงรายปีของ a) ความสูง PBL b) ความเร็วลม c) การระบาย....41
ภาพ 16 การเปลี่ยนแปลงเชิงเวลารายฤดูกาลเฉลี่ย 30 ปี ของ a) ความสูง PBL (เมตร)....46
ภาพ 17 การเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่รายฤดูกาลเฉลี่ย 30 ปี ของ a) ความสูง PBL (เมตร) b) ความเร็วลม (เมตร/วินาที) c) การระบายอากาศ (ตร.ม./วินาที)....47
ภาพ 18 การเปลี่ยนแปลงภายในวันเฉลี่ย 30 ปี ของ (a) ความสูง PBL (เมตร)....50
ภาพ 19 การเปลี่ยนแปลงความสูง PBL ภายในวันเฉลี่ยราย 3 ชั่วโมง....50

ภาพ 20 การเปลี่ยนแปลงความเร็วลมที่ระดับ 10 เมตรเหนือพื้นดิน 51
ภาพ 21 การเปลี่ยนแปลงการระบายอากาศภายในวันเฉลี่ยราย 3 ชั่วโมง 51
ภาพ 22 การเปลี่ยนแปลงการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ภายในวันเฉลี่ยราย 3 ชั่วโมง 52
ภาพ 23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงระหว่างสภาพอุตุนิยมวิทยาต่อ 53
ภาพ 24 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นฝุ่นละอองเฉลี่ยรายปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 54
ภาพ 25 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นฝุ่นละอองเฉลี่ยรายเดือน.....55
ภาพ 26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงระหว่างสภาพอุตุนิยมวิทยา.....56
ภาพ 27 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นฝุ่นละอองเฉลี่ยภายในวัน.....57
ภาพ 28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงระหว่างสภาพอุตุนิยมวิทยา.....58
ภาพ 29 จำนวนจุดความร้อน (MODIS) สะสมรวมในภาคเหนือของประเทศไทย 60
ภาพ 30 สภาพอุตุนิยมวิทยากับความเข้มข้นฝุ่นละออง PM10 ในภาคเหนือ ณ 10.00 น. 60
ภาพ 31 Probability density function ของจำนวนจุดความร้อนรวมในภาคเหนือ 61
ภาพ 32 การเปลี่ยนแปลงสภาพอุตุนิยมวิทยาต่อความเข้มข้นฝุ่นละอองในแต่ละช่วง 62
ภาพ 33 สภาพอุตุนิยมวิทยากับความเข้มข้นฝุ่นละออง PM10 ในภาคเหนือ ณ 10.00 น. 63
ภาพ 34 การเปลี่ยนแปลงสภาพอุตุนิยมวิทยาต่อระดับความเข้มข้นฝุ่นละออง.....65
ภาพ 35 การเปรียบเทียบข้อมูลอุณหภูมิระหว่างค่าจากข้อมูล ECMWF กับค่าจากการ.....78
ภาพ 36 เปรียบเทียบข้อมูลความเร็วลมระหว่างค่าตรวจวัดจริงจากสถานีตรวจวัด 78
ภาพ 37 เปรียบเทียบข้อมูลอุณหภูมิระหว่างข้อมูล ECMWF และ ข้อมูลจาก WRF 79
ภาพ 38 เปรียบเทียบข้อมูลความเร็วลมระหว่างค่าจาก WRF และข้อมูล ECMWF.....79
ภาพ 39 เปรียบเทียบข้อมูลความสูง PBL ระหว่างค่าจาก WRF และข้อมูล ECMWF 80
ภาพ 40 ขอบเขตการจำลองสภาพอุตุนิยมวิทยา 81
ภาพ 41 เปรียบเทียบข้อมูลเฉลี่ยรายเดือนของความสูง PBL ระหว่างค่าจาก Lidar.....83
ภาพ 42 เปรียบเทียบข้อมูลเฉลี่ยภายในวันของความสูง PBL ระหว่างค่าจาก Lidar.....83

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ประชาชนในเขตภาคเหนือตอนบนของประเทศไทยต้องเผชิญกับปัญหามลพิษอากาศมาเป็นเวลานาน โดยเฉพาะปัญหาหมอกควันที่มีปัญหาอย่างหนักในช่วงฤดูร้อน จากผลการตรวจวัดฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM10) ปี พ.ศ.2559 โดยกรมควบคุมมลพิษ พบระดับ PM10 เฉลี่ย 24 ชั่วโมงมีแนวโน้มที่สูงขึ้นในเกือบทุกจังหวัดของภาคเหนือตอนบน ในช่วงวันที่ 1 มกราคม–15 เมษายน 2559 พบว่ามีสถานีตรวจวัด บริเวณชายแดน อำเภอแม่สาย จังหวัดเชียงราย มีจำนวนวันที่ฝุ่นละอองเกินมาตรฐานสูงสุด ถึงจำนวน 29 วัน และตรวจพบค่าสูงสุดถึง 317 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ที่อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย (กรมควบคุมมลพิษ, 2559) และวันที่ฝุ่นละอองเกินมาตรฐานส่วนใหญ่จะพบในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ ถึงเดือนพฤษภาคม โดยพบจำนวนวันที่ฝุ่นละอองเกินมาตรฐานมากที่สุดในเดือนมีนาคม แสดงให้เห็นถึงปัญหาคุณภาพอากาศในเขตภาคเหนือตอนบนที่ยังมีสถานการณ์รุนแรง มลพิษอากาศเป็นมลพิษที่ไม่มีขอบเขตในการแพร่กระจาย ดังนั้นจึงกระทบต่อผู้คนจำนวนมากเป็นบริเวณกว้าง จากการศึกษาผลกระทบของฝุ่นละอองต่อการเจ็บป่วยของประชาชนในจังหวัดลำปางช่วงฤดูร้อนปี 2550–2552 พบว่าจำนวนผู้ป่วยในโรคที่เฝ้าระวังผลกระทบจากฝุ่นละอองมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นถึงร้อยละ 39 ในช่วงที่ปริมาณฝุ่นละอองมีระดับเกินค่ามาตรฐานค่าเฉลี่ยรายวัน (สิทธิชัย พิมลศรี และภวัต อารินทร์, 2553)

การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นมลพิษอากาศขึ้นอยู่กับปัจจัยหลัก คือ การปล่อยมลพิษจากแหล่งกำเนิด (Emission) และ สภาพอุตุนิยมวิทยาที่เกี่ยวข้องกับการแพร่กระจายมลพิษอากาศ หรือที่เรียกว่าอุตุนิยมวิทยามลพิษอากาศ (Air pollution meteorology) มลพิษอากาศถูกมวลอากาศเป็นตัวพา (Advection) และแพร่แบบปั่นป่วน (Turbulence diffusion) สภาพอุตุนิยมวิทยามีผลต่อการเปลี่ยนรูปทางเคมีในบรรยากาศ (Chemical transformation) การศึกษาในเมืองเมลเบอร์นประเทศออสเตรเลีย, เสิ่นหยาง และเซี่ยงไฮ้ประเทศจีน พบอุณหภูมิ, ความสูงชั้นผสม, ความเร็วลม, ทิศทางลม, และฝน มีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นมลพิษอากาศอย่างมีนัยสำคัญ ลมที่มีความเร็วที่มากพอสามารถทำให้เกิดการพามลพิษอากาศโดยลมและลดความเข้มข้นของมลพิษอากาศได้ และทิศทางลมมีส่วนที่จะช่วยในการลด

และเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของมลพิษอากาศได้ (Li et al., 2017; Xu et al., 2015) การศึกษาในประเทศจีนได้มีมาตรการลดการปล่อยมลพิษจากแหล่งกำเนิดในปี 2557 ซึ่งทำให้ในปีนั้นมีปริมาณฝุ่นละอองลดลงอย่างมาก แต่ต่อมาในปี 2558 ระดับฝุ่นละอองกลับเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องทั้งที่ยังใช้มาตรการในการลดการปลดปล่อยเดิมอยู่ ซึ่งสาเหตุที่ทำให้ระดับฝุ่นละอองเพิ่มขึ้นอาจเกิดจากความแปรปรวนของสภาพอุตุนิยมวิทยา เช่นการเกิดสภาพอากาศนิ่ง ลมสงบ และชั้นอากาศผกผันใกล้พื้นดิน ทำให้ฝุ่นละอองเกิดการสะสม เกิดปัญหาฝุ่นละออง ซึ่งเหตุการณ์ดังกล่าวจะพบเป็นบางวันในช่วงฤดูหนาว ถึงต้นฤดูร้อนโดยแต่ละปีจะแตกต่างกัน (Xu et al., 2016) เห็นได้ชัดว่าความแปรปรวนของสภาพอุตุนิยมวิทยาเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงของระดับฝุ่นละออง และเพื่อให้เข้าใจถึงสาเหตุที่เกี่ยวข้องได้ดียิ่งขึ้น จึงจำเป็นต้องทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสภาพอุตุนิยมวิทยากับคุณภาพอากาศ ซึ่งมีความสำคัญสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นฝุ่นละออง และการประเมินความสำเร็จของแผนการลดการปล่อยมลพิษอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ปัญหาหมอกควันเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่รุนแรงส่งผลกระทบอย่างมากต่อประชาชนพื้นที่ภาคเหนือ การรับมือเพื่อแก้ไขและป้องกันปัญหาหมอกควัน ข้อมูลความแปรปรวนสภาพอุตุนิยมวิทยามลพิษอากาศเป็นพื้นฐานสำคัญในการรับมือกับปัญหาหมอกควัน ทำให้ทราบความเสี่ยงในแต่ละพื้นที่และเวลา เพื่อเป็นข้อมูลในการป้องกันควบคุมในพื้นที่มีสภาพอุตุนิยมวิทยาแพร่กระจายมลพิษอากาศไม่ดี หากมีการเผาชีวมวลในที่โล่งจะมีความเสี่ยงความเข้มข้นมลพิษอากาศสูง บรรยากาศไม่สามารถรองรับมลพิษได้ ทำให้คุณภาพอากาศเกินค่ามาตรฐาน ซึ่งความแปรปรวนสภาพอุตุนิยมวิทยามลพิษอากาศในประเทศไทยยังมีการศึกษาน้อย ภาคเหนือของประเทศไทยยังขาดการศึกษาอุตุนิยมวิทยามลพิษอากาศสำหรับนำมาใช้บริหารจัดการป้องกันแก้ไขปัญหามลพิษอากาศอย่างเข้าใจและมีประสิทธิภาพ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการศึกษาลักษณะรูปแบบความแปรปรวนของสภาพอุตุนิยมวิทยามลพิษอากาศตามเวลาและตามพื้นที่และศึกษารูปแบบสภาพอุตุนิยมวิทยาที่มีต่อความเข้มข้นฝุ่นละอองในบรรยากาศกับความเสี่ยงปัญหาหมอกควันในพื้นที่ภาคเหนือประเทศไทย เพื่อใช้เป็นข้อมูลพยากรณ์ความรุนแรงของมลพิษอากาศจากสภาพอุตุนิยมวิทยาสำหรับแจ้งเตือนและป้องกันบรรเทาปัญหาในเขตภาคเหนือของประเทศไทย และเนื่องด้วยข้อจำกัดในด้านข้อมูลตรวจวัดสภาพอุตุนิยมวิทยามลพิษอากาศที่ในประเทศไทยยังมีสถานีตรวจวัด และระยะเวลาการตรวจวัดไม่เพียงพอต่อการศึกษาความแปรปรวนสภาพอุตุนิยมวิทยามลพิษอากาศ (ข้อมูล long-term อย่างน้อย 30 ปี) การศึกษาในครั้งนี้จึงเลือกใช้ข้อมูลอุตุนิยมวิทยามลพิษอากาศจากแบบจำลอง ECMWF Re-analysis (European Centre for Medium-range Weather Forecasts) ที่มี

งานวิจัยนำข้อมูลนี้ไปใช้อย่างแพร่หลาย ซึ่งผลการศึกษาครั้งนี้จะเป็นข้อมูลเตือนภัยล่วงหน้าของความเสี่ยงปัญหามลพิษอากาศจากสภาพอุตุนิยมวิทยา ซึ่งการศึกษานี้ไม่ได้พิจารณาการปลดปล่อยมลพิษอากาศจากแหล่งกำเนิดที่อาจมีการเปลี่ยนแปลงในอนาคต อาทิเช่น การเพิ่มขึ้นหรือลดลงของปริมาณการเผาชีวมวลในปัจจุบัน และอนาคต

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อทราบลักษณะรูปแบบความแปรปรวนของสภาพอุตุนิยมวิทยามลพิษอากาศตามเวลาและตามพื้นที่ในพื้นที่ภาคเหนือประเทศไทย

2. เพื่อทราบรูปแบบสภาพอุตุนิยมวิทยาที่มีผลต่อความเสี่ยงปัญหาหมอกควัน

ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาครอบคลุมพื้นที่ 8 จังหวัดภาคเหนือตอนบน ซึ่งได้แก่ จังหวัดพะเยา ลำปาง ลำพูน แพร่ น่าน เชียงราย เชียงใหม่ และแม่ฮ่องสอน

2. ศึกษาข้อมูลในเดือนมีนาคมของปี พ.ศ. 2553 – 2561

3. ปัญหาหมอกควันพิจารณามลพิษอากาศฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM_{10})

4. ข้อมูลความเข้มข้นฝุ่นละออง PM10 ใช้ข้อมูลตรวจวัดของสถานีกรมควบคุมมลพิษที่มีในพื้นที่ภาคเหนือตอนบน

5. พารามิเตอร์อุตุนิยมมลพิษอากาศหลักที่ศึกษาได้แก่ ความเร็วลม ความสูง PBL และการระบายอากาศครอบคลุมพื้นที่ภาคเหนือโดยใช้ข้อมูลจาก ECMWF reanalysis data (European Center for Medium-range Weather Forecasts)

6. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสภาพอุตุนิยมวิทยามลพิษอากาศที่มีผลต่อปัญหาหมอกควันตามเวลา และตามพื้นที่ ด้วยข้อมูลอุตุนิยมวิทยาจาก ECMWF reanalysis data (European Center for Medium-range Weather Forecasts)

7. ศึกษาลักษณะการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นฝุ่นละอองในภาคเหนือ ด้วยข้อมูลปริมาณความเข้มข้นฝุ่นละออง (PM_{10}) จากการตรวจวัดของกรมควบคุมมลพิษ

8. ศึกษาสภาพอุตุนิยมวิทยาที่มีความเสี่ยงการเกิดปัญหาหมอกควัน ร่วมกับจุดความร้อน ด้วยการวิเคราะห์ทางสถิติ

9. ศึกษาเพื่อเป็นข้อมูลเตือนภัยล่วงหน้าของสภาพอุตุนิยมวิทยาที่เสี่ยงต่อการเกิดปัญหาหมอกควัน

ประโยชน์ที่จะได้รับจากการวิจัย

1. ข้อมูลลักษณะการเปลี่ยนแปลงของสภาพอุตุนิยมวิทยามลพิษอากาศตามเวลาและตามพื้นที่ ทำให้ทราบและเข้าใจการแพร่กระจายมลพิษอากาศในพื้นที่ภาคเหนืออนบน และทราบลักษณะสภาพอุตุนิยมวิทยาที่เป็นสาเหตุที่ส่งผลให้เกิดปัญหาหมอกควันในแต่ละพื้นที่ในเขตภาคเหนือตอนบน และช่วงเวลาที่จะเสี่ยงต่อการเกิดปัญหามลพิษอากาศจากสภาพอุตุนิยมวิทยาที่ไม่เอื้อต่อการแพร่กระจายมลพิษอากาศ เพื่อใช้ในการวางแผนการจัดการปัญหาหมอกควัน ควบคุมปริมาณ และช่วงเวลาการปล่อยมลพิษอากาศให้เหมาะสมในแต่ละพื้นที่ (Carrying capacity) ลดปัญหามลพิษอากาศน้อยที่สุด

2. ข้อมูลลักษณะสภาพอุตุนิยมวิทยาที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดปัญหาหมอกควัน ทำให้ทราบทั้งตัวแปรและลักษณะอุตุนิยมวิทยามลพิษอากาศที่มีผลต่อความเข้มข้นฝุ่นละออง ซึ่งสามารถใช้เป็นข้อมูลที่ใช้พัฒนาการพยากรณ์ความเสี่ยงของมลพิษอากาศจากสภาพอุตุนิยมวิทยา มีเกณฑ์ในการเฝ้าระวังสภาพอุตุนิยมวิทยาที่เสี่ยงต่อปัญหามลพิษอากาศเพื่อสามารถแจ้งเตือน และป้องกัน/บรรเทาปัญหาหมอกควันในภาคเหนือของประเทศไทย เพื่อการควบคุมการเผาในพื้นที่ และช่วงเวลาที่มีความเสี่ยงสูงต่อการสะสมมลพิษในบรรยากาศ

หน่วยงานที่ใช้ประโยชน์

1. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม
2. กรมอุตุนิยมวิทยา
3. สำนักงานทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมจังหวัดภาคเหนือ
4. สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาค
5. นักวิชาการ และผู้สนใจ
6. กลุ่มจังหวัดภาคเหนือ

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อุตุนิยมวิทยามลพิษอากาศ

การปล่อยมลสารทางอากาศจากแหล่งกำเนิดเข้าสู่บรรยากาศ มลพิษอากาศจะเกิดการแพร่กระจายในบรรยากาศตามสภาพอุตุนิยมวิทยามลพิษอากาศ (Pollution meteorology) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงมลพิษในบรรยากาศเป็นผลจากสภาพอุตุนิยมวิทยามลพิษอากาศดังต่อไปนี้

1. การพา (Advection) เป็นกลไกที่ทำให้มลพิษเคลื่อนที่ด้วยการพัดพาของลม โดยส่วนใหญ่จะเป็นลมตามแนวระนาบขนานกับพื้นดิน โดยปกติลมจะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาทั้งความเร็วและทิศทาง แต่ในช่วงเวลาภายในชั่วโมงจะมีการเปลี่ยนแปลงไม่มาก การศึกษาการพัดพาโดยส่วนใหญ่จึงใช้ค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของลมเป็นตัวแทนลมดูการพัดพาของมลพิษ เนื่องลมเป็นกลไกหลักในการพัดพา การศึกษาการแพร่กระจายจึงต้องทราบและเข้าใจธรรมชาติของลมซึ่งจะกล่าวรายละเอียดในส่วนถัดไป

2. การแพร่ (Diffusion) มีด้วยกัน 2 กระบวนการ คือ 1. การเคลื่อนที่ของไหลของโมเลกุล (Molecular diffusion) กล่าวคือ การคุณสมบัติของของไหล ขณะที่การแพร่ด้วยความปั่นป่วน (Turbulent diffusion) คือคุณสมบัติของการไหล ซึ่งแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่และเวลาในบรรยากาศ (Turbulent diffusion) มีอิทธิพลมากกว่า Molecular diffusion มาก หรือ 2. การเคลื่อนที่ในของไหลจากบริเวณความเข้มข้นสูงไปยังบริเวณความเข้มข้นต่ำโดยความปั่นป่วน (Turbulence diffusion) ซึ่งความปั่นป่วน มีลักษณะที่ไม่แน่นอน (irregular, quasi–random, nonlinear variations) มีการเปลี่ยนแปลงขนาดในระยะเวลาวินาทีถึงนาที ความปั่นป่วนมีขนาด 2 มิลลิเมตรถึง 2 กิโลเมตร. และมีการเคลื่อนที่แบบหมุนวนเรียก “Eddies Turbulent flow” มีลักษณะ “random” ขึ้นกับพื้นที่และเวลา ความปั่นป่วนในบรรยากาศมี 2 แบบ ได้แก่ 1. Mechanical turbulence เกิดจากการไหลเหนือพื้นที่ขรุขระ (Roughness surface) และ 2. Thermal turbulence เกิดจากแรงลอยตัว (Bouncy force) เนื่องจากพื้นดินได้รับความร้อน) ระดับความปั่นป่วนสามารถพิจารณาได้จากเสถียรภาพในบรรยากาศ (Atmospheric Stability) ระดับความปั่นป่วนมีมากในสภาพเสถียรภาพไม่คงตัว (Unstable condition) ซึ่งมลพิษจะแพร่กระจายได้ดีเจือจางความเข้มข้นได้ไว ความปั่นป่วนทำให้เกิดการแพร่กระจายทั้งแนวระนาบและในแนวดิ่ง

3. การเปลี่ยนรูปทางเคมี (Chemical transformation) คือ กระบวนการที่มลพิษอากาศตั้งต้น (Precursors) ทำปฏิกิริยากับมลพิษอื่น เกิดเป็นมลพิษอีกชนิดหนึ่ง มลพิษอากาศในบรรยากาศมีหลากหลายชนิด บางชนิดไม่ค่อยมีการเปลี่ยนแปลงทางเคมี แต่บางชนิดมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว การเปลี่ยนแปลงทางเคมีในบรรยากาศมีความซับซ้อน การเปลี่ยนแปลงทางเคมีในบรรยากาศได้แก่

3.1 Gas-Phase Chemistry เป็นกระบวนการที่มลพิษอากาศในรูปของก๊าซทำปฏิกิริยากันทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ สารอินทรีย์เช่น สาร VOC ทำปฏิกิริยาด้วยกระบวนการ Photo oxidation ผลิตโอโซนออกมา สารอนินทรีย์ที่สำคัญได้แก่ สารประกอบซัลเฟอร์ ไนโตรเจน และโอโซน

3.2 Aerosol chemistry ฝุ่นละอองสามารถเกิดจากปฏิกิริยาเคมี เช่น ฝุ่นซัลเฟตเกิดจากปฏิกิริยาเคมีระหว่างอนุมูลอิสระไฮดรอกซิลกับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ฝุ่นละอองอาจเกิดเป็นอนุภาคใหม่ หรืออาจควบแน่นบนอนุภาคที่มีอยู่แล้ว

3.3 Cloud chemistry เป็นกระบวนการเคมีที่เกิดในเมฆ เมฆเป็นส่วนในบรรยากาศที่อยู่ในรูปสารที่ควบแน่น มลพิษอากาศมีการดูดซับด้วยของเหลวในเมฆ และยังมีปฏิกิริยาเคมีในของเหลวอีกด้วย นอกจากนี้เมฆและฝนเป็นกระบวนการหลักในการนำมลพิษออกจากบรรยากาศ

4. การตกออกจากบรรยากาศ (Deposition) มลพิษอากาศตกออกจากบรรยากาศได้ด้วย 2 กระบวนการหลัก คือ 1. Dry deposition เช่น ฝุ่นละอองขนาดใหญ่ เมื่อเวลาผ่านไปจะเกิดการตกลงด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก และ 2. Wet deposition เช่น ฝุ่นจะเข้าไปในแกนกลางให้ไอน้ำเกาะแล้วรวมตัวอยู่ในเมฆ เรียก Rain Out และการตกกลับโดนฝนชะล้างอนุภาคในบรรยากาศลงมาเรียก Wash Out

Planetary boundary layer (PBL)

ชั้นบรรยากาศส่วนที่อยู่ติดพื้นผิวโลกมากที่สุด สูงจากพื้นผิวประมาณ 1-2 กม. คือ ชั้นบรรยากาศที่มีแรงเสียดทาน หรือ Planetary Boundary Layer (PBL) ซึ่งเป็นชั้นบรรยากาศที่ปรากฏกระบวนการการเคลื่อนที่ของมวล การถ่ายเทมวล การถ่ายเทโมเมนตัม ที่ได้รับอิทธิพลจากพื้นผิวโลกชัดเจนที่สุด ปฏิสัมพันธ์ในชั้นบรรยากาศนี้ ก่อให้เกิดการปั่นป่วนภายในบรรยากาศมากกว่าชั้นบรรยากาศที่อยู่ในระดับที่สูงขึ้นไป ชั้นบรรยากาศพื้นผิวจะมีการเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาอันเนื่องมาจากประเภทของพื้นผิว ไม่ว่าจะเป็น ภูเขา ทะเลสาบ ทะเล พืช หรือสิ่งปลูกสร้างที่มนุษย์สร้างขึ้น ต่างมีวิธีการที่จะมีปฏิสัมพันธ์กับบรรยากาศต่างกัน เช่น

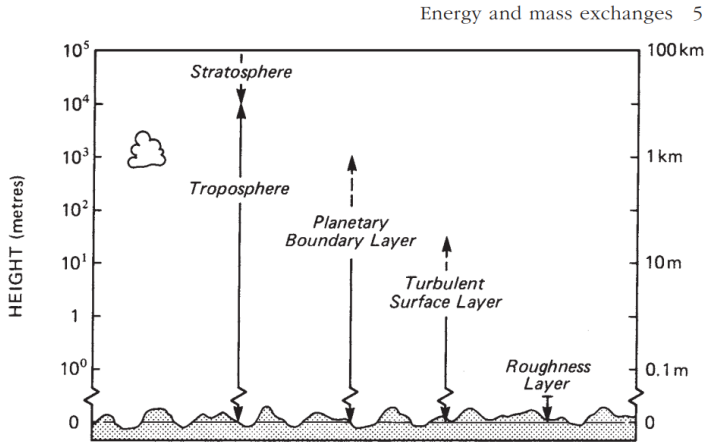
ในพื้นที่ที่มีขนาดเดียวกัน น้ำจะระเหยจากทะเลสาบมากกว่าระเหยจากทุ่งหญ้า ขณะเดียวกันพื้นดินที่แห้งแล้งจะดูดซับความเข้มของรังสีจากดวงอาทิตย์ได้มากกว่าพื้นหิมะ เป็นต้น

ในชั้นบรรยากาศ PBL มีความสำคัญในการศึกษาทางอุตุนิยมวิทยา เนื่องจากส่งผลต่อ Earth – Atmoshere System มากที่สุด จากการที่โลกหมุนรอบตัวเองทำให้เกิดกลางวันและกลางคืน ซึ่งรังสีจากดวงอาทิตย์ที่ส่งมายังโลกในเวลากลางวันส่วนใหญ่เป็นความความยาวคลื่นช่วงสั้น ทำให้ผิวโลกและบรรยากาศร้อนขึ้นโดยมีอุณหภูมิในแต่ละช่วงเวลาแตกต่างกัน เมื่อวัตถุที่อุณหภูมิมากกว่า 0^0 K จะแผ่รังสีคลื่นยาวที่อุณหภูมิโลกบรรยากาศและพื้นผิวโลกจะมีการถ่ายเทพลังงานทั้ง short wave และ Long wave ระหว่างกัน ส่งผลให้เกิดความร้อนสุทธิที่แตกต่างกันตามช่วงเวลา ผลการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ เปลี่ยนเป็นความร้อน จากความร้อนทำให้อุณหภูมิบรรยากาศแตกต่างกัน ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของมวลอากาศ คือ ลม ซึ่งเป็นพลังงานจลน์ และการเปลี่ยนแปลงสถานะ เช่น จากน้ำเป็นน้ำแข็ง หรือน้ำเป็นไอน้ำ ต้องใช้ความร้อนจำนวนหนึ่งในการเปลี่ยนสถานะโดยที่อุณหภูมิเท่าเดิม เรียกความร้อนแฝง ซึ่งในแต่ละชั่วโมงของวันแต่ละวันนั้น ความหนาแน่นของพลังงาน (Energy flux density) ก็มีความแตกต่างกันไปขึ้นกับภูมิอากาศได้แก่ ท้องฟ้าแจ่มใสหรือมีเมฆมาก ความเร็วลม ความกดอากาศ และเป็นช่วงเวลาใดของวัน (Boundary Layer Climate 2nd Edition, 1987)

การเปลี่ยนแปลงความสูง PBL ในแต่ละพื้นที่มีความแตกต่างกันโดย ในบริเวณพื้นที่ด้านนอกที่เป็นเขตชนบท จะมีสภาพอากาศที่เย็นกว่าพื้นที่ในเมือง เนื่องจากในเมืองมีสิ่งก่อสร้างมากมาย และสิ่งก่อสร้างของเมืองจะสะท้องรังสีจากดวงอาทิตย์ได้มากกว่า ทำให้เกิดความร้อนภายในเมือง และร้อนกว่าในพื้นที่ชนบทตลอดทั้งวัน ถ้าอาศัยลมท้องถิ่นคือลมจากชนบทและเมืองแล้วลมจะพัดจากชนบทเข้าสู่เมือง แหล่งอุตสาหกรรมที่มีปล่องปล่อยอากาศเสียมักตั้งอยู่บริเวณชานเมืองก็จะพัดเข้าสู่เมืองจราจรหนาแน่นในเมืองก็จะไม่กระจายออกนอกเมือง ในเมืองร้อนตลอดเวลาทำให้เกิดบรรยากาศผกผันครอบตัวเมือง ทำให้มลพิษไม่สามารถลอยขึ้นบรรยากาศชั้นบนได้ ความเป็นเมืองจึงซ้ำเติมมลพิษทางอากาศภายในเมือง

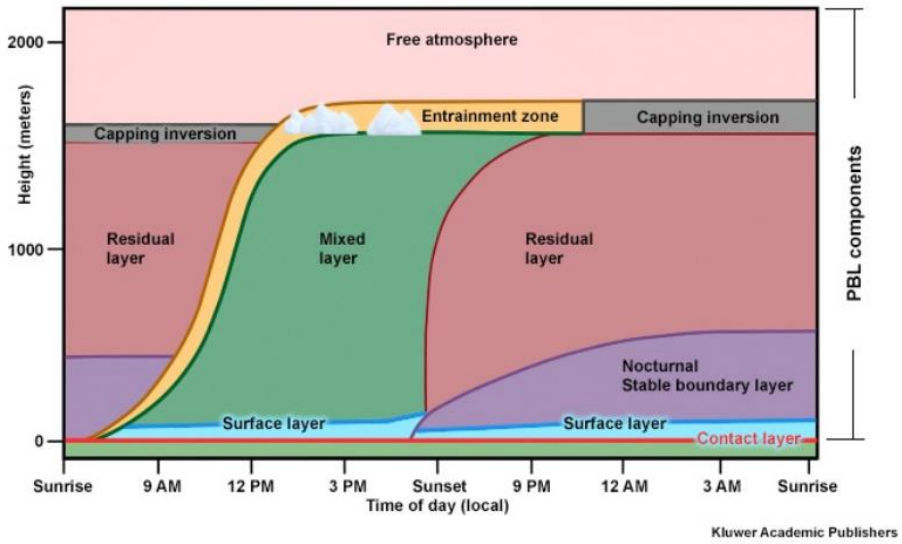
ในส่วนการเปลี่ยนแปลงภายในวันของความสูง PBL ดังภาพ 2 โดยเริ่มตอนเที่ยงวันเมื่อดวงอาทิตย์ขึ้น และได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์ที่ส่องไปยังพื้นผิวทำให้อากาศที่ลอยตัวสูงขึ้น จนทำให้เกิดการผสมกันระหว่างอากาศที่ลอยตัวอยู่กับอากาศโดยรอบ มวลอากาศเหล่านี้มีแรงผลักดัน (momentum) ในกระบวนการนี้ จะดึงมวลอากาศจากชั้น Free atmosphere ก่อตัวเป็นก้อนเมฆในชั้น cloud layer ผืนอากาศที่พุ่งสูงขึ้นชนกับอากาศที่อยู่ด้านบนนั้น และเสียดสีกับอากาศรอบ ๆ ทำให้เกิดมวลอากาศขนาดต่าง ๆ มวลอากาศที่ลอยได้เหล่านี้จะหมุนเวียนภายในเวลาหลายสิบนาที โดยผสมอากาศเข้าด้วยกัน เมื่อดวงอาทิตย์ตก

มีพลังงานจากแสงอาทิตย์น้อยลงในทำให้การพาความร้อนที่กวนชั้นผสม และชั้นขอบเขตบรรยากาศ (boundary layer) จะลดต่ำลง และยังคงมีอากาศในชั้นผสมที่หลงเหลืออยู่ การปล่อยมลพิษจากพื้นผิวยังคงไหลเข้าสู่ชั้นขอบเขตบรรยากาศ แต่ความสูงของชั้นขอบจะต่ำกว่ามาก ด้วยความปั่นป่วนน้อยลงในชั้นที่เหลือ มวลอากาศสามารถเร่งความเร็วได้ อากาศที่เคลื่อนที่เร็วขึ้นเหนืออากาศที่เคลื่อนที่ช้ากว่าในชั้นขอบเขตบรรยากาศทำให้เกิดแรงเฉือนเกิดขึ้นระหว่างมวลอากาศทั้งสอง และความปั่นป่วนจะเกิดขึ้นเป็นระยะ ๆ เมื่อแรงเฉือนแตกตัวผสมอากาศ และเพิ่มความสูงของชั้นขอบเขตบรรยากาศ เมื่อพระอาทิตย์ขึ้น ความร้อนจากแสงอาทิตย์เริ่มทำให้พื้นผิวอุ่นขึ้นอีกครั้ง และอากาศบริเวณพื้นผิวที่อบอุ่นจะลอยขึ้นไปกักชั้นอากาศที่เหลือจนในที่สุด ชั้นที่ผสมกันจะสูงถึงระดับสูงสุดอีกครั้ง (William H. Brune, Distinguished Professor of Meteorology, College of Earth and Mineral Sciences)



ภาพ 1 โครงสร้างของบรรยากาศ

ที่มา: Boundary Layer Climate 2nd Edition, 1987



ภาพ 2 โครงสร้างการเปลี่ยนแปลงภายในวันของบรรยากาศ

ที่มา: MetEd UCAR

ความสูงชั้นผสม (Mixing height)

เป็นชั้นของบรรยากาศที่อยู่ติดกับพื้นโลก โดยบรรยากาศในชั้นนี้มลพิษอากาศจะแพร่กระจายผสมกันได้ดีภายในชั้นผสม ด้านบนของชั้นผสมมีลักษณะเป็นอินเวอร์ชันทำให้มลพิษอากาศไม่สามารถผ่านทะลุขึ้นไปได้ดังแสดงในรูปที่ 5 ถ้าความสูงชั้นผสมมาก ทำให้สารพิษแพร่กระจายในแนวดิ่งได้ดี แต่ถ้าความสูงผสมน้อย มลพิษอากาศสามารถแพร่กระจายได้เฉพาะใกล้พื้นดินอาจทำให้เกิดปัญหามลพิษอากาศหากมีการระบายมลพิษอากาศระดับพื้นดินมาก

สภาพอุณหภูมิบรรยากาศ (Temperature inversions)

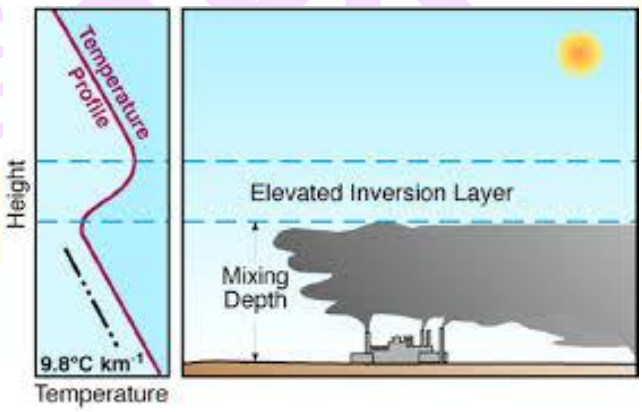
อินเวอร์ชั่น (Inversion) หมายถึง สภาพอุณหภูมิของบรรยากาศที่เพิ่มขึ้นตามความสูง แบ่งได้ 3 แบบ คือ อินเวอร์ชั่นจากการแผ่รังสี, อินเวอร์ชั่นการจมตัว, และอินเวอร์ชั้นทั้ง 2 ชนิดรวมกัน

อินเวอร์ชั่นจากการแผ่รังสี (Radiative inversion) พิจารณาวัฏจักรดวงอาทิตย์ (Solar cycle) สำหรับบรรยากาศที่ไม่มีเมฆ ความร้อนจากดวงอาทิตย์ทำให้อุณหภูมิผิวดินตอนสาย และตอนบ่ายสูงกว่าบรรยากาศข้างบน แต่ตอนกลางคืนการแผ่รังสีจากผิวโลกขึ้นสู่ท้องฟ้าทำให้พื้นดินเย็นลงเร็วกว่าบรรยากาศ ดังนั้นอุณหภูมิของบรรยากาศที่อยู่ใกล้พื้นดินจะต่ำกว่าอุณหภูมิของ

ชั้นบรรยากาศที่อยู่เหนือขึ้นไป สภาพเช่นนี้เรียกว่า “อินเวอร์ชั่นจากการแผ่รังสี” อันเวอร์ชั่นแบบนี้เกิดขึ้นตอนกลางคืน และหายไปในตอนเช้า สำหรับท้องฟ้าที่มีเมฆระดับอินเวอร์ชั่นจะลดลง เนื่องจากความปั่นป่วนทางกลที่เกิดขึ้น จะทำให้การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่อความสูงน้อยลง

อินเวอร์ชั่นการจมตัว (Subsidence inversion) เกิดจากการที่อากาศในแอนติ้ไซโคลน ซึ่งเป็นเขตความกดอากาศสูงจะจมลง หรือลอยต่ำลง อัตราการจมประมาณ 1,000 เมตรต่อวัน ขณะที่อากาศจมลงสู่ตัวระดับต่ำที่มีความดันสูงขึ้นจะทำให้อุณหภูมิของอากาศนั้นเพิ่มขึ้น และบ่อยครั้งที่อุณภูมิสูงกว่าอุณหภูมิอากาศด้านล่างใกล้ผิวโลก ซึ่งมีการจมตัวลงน้อยกว่า ผลของปรากฏการณ์นี้ทำให้เกิดอินเวอร์ชั่นเบื้องบน (Inversion aloft) หรือ Subsidence inversion และความปลอดโปร่งของท้องฟ้ากับเขตความกดดันสูงมักเกิดขึ้นพร้อมกันบ่อย ดังนั้นจึงทำให้อินเวอร์ชั่นจากการแผ่รังสีมีโอกาศเกิดขึ้นที่ผิวโลกในขณะเดียวกันกับการเกิดอินเวอร์ชั่นจากการจมตัว

นอกจากนี้อินเวอร์ชั่นยังเกิดได้จากมวลอากาศอุ่นเคลื่อนที่เข้ามาบนมวลอากาศเย็น หรือมวลอากาศเย็นเคลื่อนที่เข้ามาใต้มวลอากาศอุ่น เช่น มวลอากาศเย็นจากอากาศบนเชิงเขาตอนกลางคืนเคลื่อนที่ลงมายังหุบเขาข้างใต้อากาศอุ่นทำให้เกิดอินเวอร์ชั่นในหุบเขา อากาศไหลลงด้านล่างเขาจะมีอากาศอุ่นขึ้นจากความดันที่เพิ่มขึ้นในระดับที่ต่ำลง อุณหภูมินี้สูงกว่าอุณหภูมิที่ด้านล่างเขาทำให้เกิดอินเวอร์ชั่น ในสภาพบรรยากาศอินเวอร์ชั่นทำให้มลสารในบรรยากาศมีการผสมกันน้อยลงทำให้มีการสะสมของมลพิษอากาศที่ส่งผลให้มีความเข้มข้นในบรรยากาศสูงขึ้น



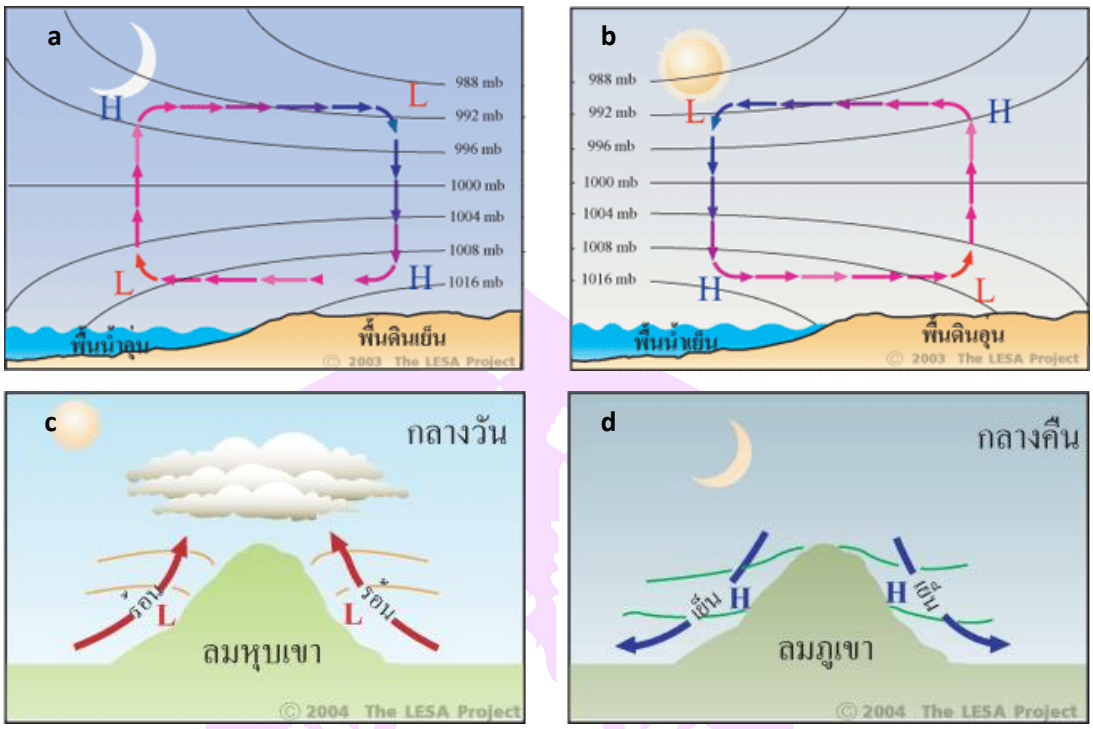
ภาพ 3 ความสูงชั้นผสมกับการแพร่กระจายมลพิษอากาศ

ที่มา: Wadsworth Publishing Company/ITP, 1998

ตัวแปรอุตุนิยมวิทยาที่เกี่ยวข้องกับการแพร่กระจายมลพิษอากาศ

1. ลม (Wind) ลมคืออากาศที่เคลื่อนที่ในแนวราบ (Horizontal motion) โดยการเคลื่อนที่หมุนเวียนถ่ายเทของอากาศ ในลักษณะเป็นวงรอบ (Circulation) ซึ่งเกิดขึ้นด้วยความแตกต่างของความกดอากาศ (อุณหภูมิ) เหนือพื้นผิว การหมุนเวียนอากาศมีทั้งวงรอบขนาดเล็ก ปกคลุมพื้นที่เพียงไม่ถึงตารางกิโลเมตร และวงรอบขนาดใหญ่ ปกคลุมพื้นที่ทั้งทวีปและมหาสมุทรลมทำให้สภาวะหลายประการในบรรยากาศเปลี่ยนแปลง เช่น มีการเคลื่อนที่ของความร้อน ความชื้น และคุณสมบัติอื่น ๆ และลมเป็นปัจจัยหลักที่สำคัญอย่างหนึ่งที่ทำให้เกิดการแพร่กระจายมลพิษ พื้นที่ที่อยู่ใต้ลมจะได้รับผลกระทบมาจากที่ที่อยู่เหนือลม สารมลพิษทางอากาศเมื่อออกจากแหล่งกำเนิดแล้วก็จะถูกลมพัดพาไป ลมที่สำคัญในประเทศไทยได้แก่ ลมระดับท้องถิ่น ได้แก่ ลมบกลมทะเลและลมภูเขาลมหุบเขา และลมระดับภูมิภาคหรือลมมรสุม

1.1. ระบบลมท้องถิ่น ลมท้องถิ่น (Local winds) เป็นลมซึ่งเกิดขึ้นในช่วงวันครอบคลุมพื้นที่ขนาดจังหวัด การหมุนเวียนของอากาศในสเกลระดับกลางเช่นนี้ เกิดขึ้นเนื่องจากสภาพภูมิศาสตร์และความแตกต่างของอุณหภูมิภายในท้องถิ่น ดังภาพ 4 สำหรับพื้นที่ชายทะเลเวลากลางวันพื้นดินดูดกลืนความร้อนเร็วกว่าพื้นน้ำ อากาศเหนือพื้นดินร้อนและขยายตัวลอยสูงขึ้น (ความกดอากาศต่ำ) อากาศเหนือพื้นน้ำมีอุณหภูมิต่ำกว่า (ความกดอากาศสูง) จึงจมตัวและเคลื่อนเข้าแทนที่ ทำให้เกิดลมพัดจากทะเลเข้าสู่ชายฝั่ง เรียกว่า “ลมทะเล” (Sea breeze) เวลากลางคืน พื้นดินคลายความร้อนได้เร็วกว่าพื้นน้ำ อากาศเย็นเหนือพื้นดินจมตัวลง (ความกดอากาศสูง) และเคลื่อนตัวไปแทนที่อากาศอุ่นเหนือพื้นน้ำซึ่งยกตัวขึ้น (ความกดอากาศต่ำ) จึงเกิดลมพัดจากบกไปสู่ทะเล เรียกว่า “ลมบก” (Land breeze)



ภาพ 4 (a) ลมบก (b) ลมทะเล (c) ลมหุบเขา และ (d) ลมภูเขา

ที่มา: ศูนย์การเรียนรู้วิทยาศาสตร์โลกและดาราศาสตร์, 2554

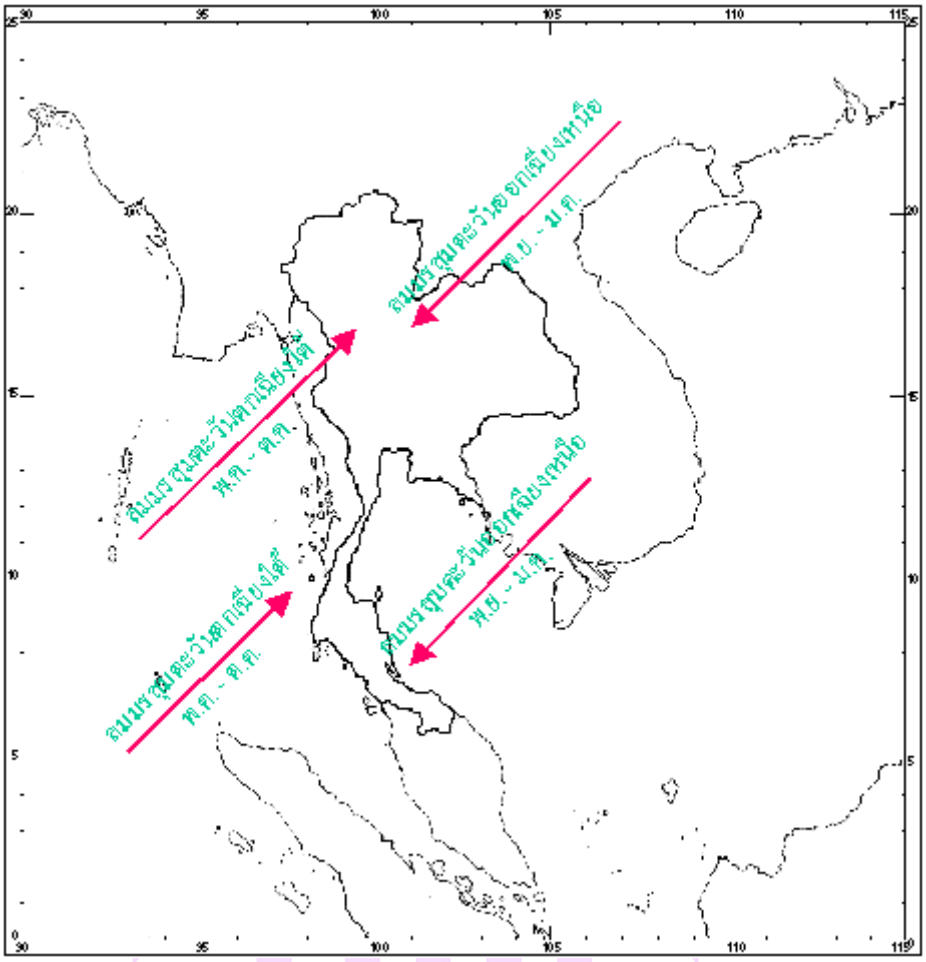
สำหรับพื้นที่ภูเขาเวลากลางวัน พื้นที่บริเวณไหล่เขาได้รับความร้อนมากกว่าบริเวณพื้นที่ราบหุบเขา ณ ระดับสูงเดียวกัน ทำให้อากาศร้อนบริเวณไหล่เขายกตัวลอยสูงขึ้น (ความกดอากาศต่ำ) เกิดเมฆคิวมูลัสลอยอยู่เหนือยอดเขา อากาศเย็นบริเวณหุบเขาเคลื่อนตัวเข้าแทนที่ จึงเกิดลมพัดจากเชิงเขาขึ้นสู่ลาดเขา เรียกว่า “ลมหุบเขา” (Valley breeze) หลังจากดวงอาทิตย์ตก พื้นที่ไหล่เขาสูญเสียความร้อน อากาศเย็นตัวอย่างรวดเร็ว จมตัวไหลลงตามลาดเขา เกิดลมพัดลงสู่หุบเขา เรียกว่า “ลมภูเขา” (Mountain breeze) ในบางครั้งกลุ่มอากาศเย็นเหล่านี้ปะทะกับพื้นดินในหุบเขาซึ่งยังมีอุณหภูมิสูงอยู่ จึงควบแน่นกลายเป็นหยดน้ำ ทำให้เกิดหมอก (Radiation fog)

1.2. ระบบลมระดับภูมิภาค หรือลมมรสุม (Monsoon circulation) เป็นลมที่พัดประจำฤดู (Seasonal wind) เกิดขึ้นเป็นประจำทุกปีและมีช่วงเวลาที่แน่นอน เกิดขึ้นเนื่องจากความแตกต่างของภูมิภาคและความแตกต่างของความกดอากาศระหว่างเหนือพื้นดินกับเหนือพื้นน้ำ

จึงมีลมพัดจากแผ่นดินออกสู่ทะเล และจากทะเลเข้าสู้แผ่นดิน ลมมรสุมยังแบ่งแยกได้อีก 2 ประเภท ดังแสดงในภาพ 4 คือ

1.2.1 ลมมรสุมฤดูร้อน เป็นลมที่พัดจากทะเล หรือมหาสมุทรเข้าสู่ภาคพื้นทวีป เนื่องจากในฤดูร้อนพื้นดินจะได้รับความร้อนจากดวงอาทิตย์ มาก กว่าพื้นน้ำ ทำให้อุณหภูมิบนพื้นดินสูงและความกดอากาศบริเวณนี้จะต่ำกว่าความกดอากาศเหนือพื้นน้ำ จึงเกิดเป็นลมมรสุมฤดูร้อนพัดจากทะเลและมหาสมุทรเข้าหาแผ่นดินบนพื้นทวีป เนื่องจากลมมรสุมฤดูร้อนผ่านความชุ่มชื้นของพื้นน้ำมาจึงนำฝนมาสู่แผ่นดินต่าง ๆ โดยลมชนิดนี้จะพัดอยู่นานประมาณ 6 เดือน คือประมาณเดือนเมษายนถึงเดือนตุลาคม ลมมรสุมฤดูร้อนนี้ทางเอเชียมักจะเรียกว่า ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ซึ่งจะเป็นลมที่พัดจากมหาสมุทรอินเดียและทะเลจีนเข้าสู่ประเทศต่าง ๆทางตอนใต้ของทวีปเอเชีย

1.2.2 ลมมรสุมฤดูหนาว เป็นลมที่เกิดขึ้นเนื่องจากการที่อุณหภูมิ ของอากาศบนพื้นทวีปลดต่ำลงมากกว่าอุณหภูมิของอากาศเหนือผิวน้ำทะเลและมหาสมุทร ในขณะเดียวกันกับบนพื้นทวีปก็จะมีความกดอากาศสูงกว่าความกดอากาศเหนือผิวน้ำทะเล และมหาสมุทร ทำให้เกิดลมพัดจากใจกลางทวีปไปสู่ที่ ๆมีความกดอากาศต่ำกว่า คือทะเลและมหาสมุทร ลมมรสุมฤดูหนาวจะนำความหนาวเย็นและความแห้งแล้งมาสู่ดินแดนต่าง ๆ และจะนำฝนไปด้วย ลมนี้จะพัดอยู่ประมาณ 6 เดือนคือระหว่างเดือนตุลาคมกับเดือนมีนาคม ลมมรสุมฤดูหนาวนี้ทางเอเชียมักจะเรียกว่า ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ



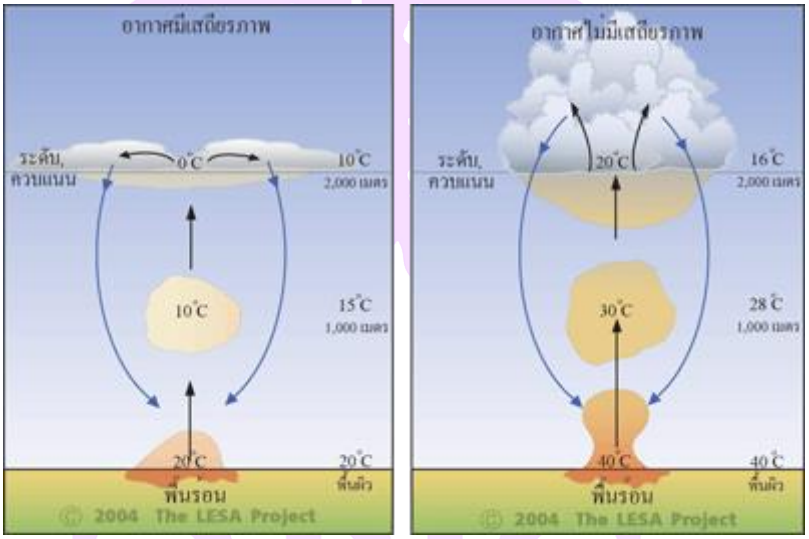
ภาพ 5 ลมมรสุมฤดูร้อน และลมมรสุมฤดูหนาว

ที่มา: กรมอุตุนิยมวิทยา, https://www.tmd.go.th

ความเสถียรภาพของบรรยากาศ (Atmospheric Stability)

การเคลื่อนไหวของอากาศพิจารณาได้โดยสมมุติว่ากลุ่มอากาศเป็นรูปทรงกลมเล็ก ๆ กลุ่มอากาศนั้นจะลอยขึ้นไปในบรรยากาศโดยผ่านเขตที่ความกดอากาศต่ำกว่า และในขณะที่ลอยขึ้นมันจะขยายตัว การขยายตัวนี้เป็นงานที่กระทำต่อสิ่งรอบตัว ดังนั้นอุณหภูมิของกลุ่มอากาศนั้นจะลดลง วิธีการดังกล่าวเกิดขึ้นเร็วมากพอที่จะสมมุติว่าเป็นแบบ adiabatic คือไม่มีการถ่ายเทความร้อน เมื่อกลุ่มอากาศยกตัว มันจะขยายตัว และมีอุณหภูมิลดต่ำลง ถ้ากลุ่มอากาศมีอุณหภูมิต่ำกว่าสภาวะแวดล้อม มันจะจมตัวกลับสู่ที่เดิม เนื่องจากมีความหนาแน่นกว่าอากาศโดยรอบ เราเรียกสภาวะเช่นนี้ว่า “อากาศมีเสถียรภาพ (Stable air)” ถ้ากลุ่ม

อากาศยกตัวสูงจนเหนือระดับควบแน่นก็จะเกิดเมฆในแนวราบ และไม่สามารถยกตัวต่อไปได้อีก อากาศมีเสถียรภาพมักเกิดขึ้นในช่วงเวลาที่มีอุณหภูมิต่ำ เช่น เวลาเช้า ในวันที่มีอากาศร้อน กลุ่มอากาศจะยกตัวขึ้นอย่างรวดเร็ว แม้จะมีความสูงเลยระดับควบแน่นไปแล้วก็ตาม แต่ก็ยังมีอุณหภูมิสูงกว่าอากาศโดยรอบจึงลอยตัวสูงขึ้นไปอีก ทำให้เกิดเมฆก่อตัวในแนวตั้ง เช่น เมฆคิวมูลัส เมฆคิวมูโลนิมบัส เราเรียกสภาวะเช่นนี้ว่า “อากาศไม่มีเสถียรภาพ (Unstable air)” อากาศไม่มีเสถียรภาพมักเกิดขึ้นในช่วงเวลาที่มีอุณหภูมิสูง เช่น เวลาบ่ายของฤดูร้อน ดังภาพ 3



ภาพ 6 เสถียรภาพบรรยากาศ

ที่มา: ศูนย์การเรียนรู้วิทยาศาสตร์โลกและดาราศาสตร์, 2554

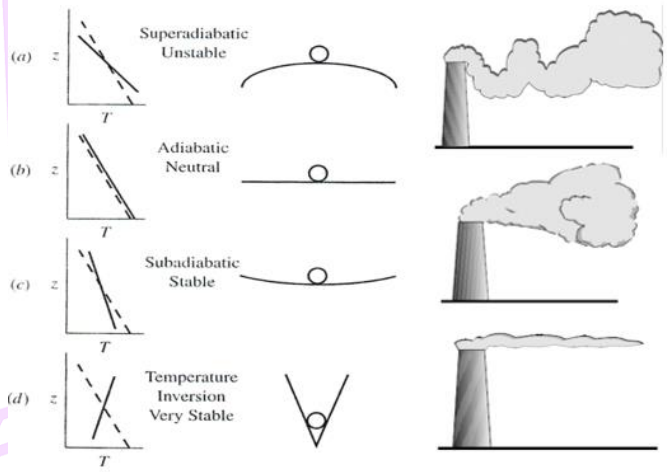
พิจารณาจากภาพ 7 (a) เมื่ออัตราการลดอุณหภูมิแปรตามความสูง เป็นแบบ Superadiabatic เมื่อกลุ่มอากาศลอยขึ้นไปแล้วมีอุณหภูมิสูงกว่าสิ่งแวดล้อมรอบข้าง จึงมีแรงลอยตัวในทิศที่ทำให้กลุ่มอากาศลอยขึ้นไปเรื่อย ๆ ในทางกลับกันเมื่อกลุ่มอากาศเคลื่อนที่ลง กลุ่มอากาศจะมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมรอบข้างทำให้มีแรงจมกระทำกับกลุ่มอากาศในทิศเคลื่อนที่ต่ำลงไปเรื่อย ๆ สภาพบรรยากาศเช่นนี้เรียกว่า บรรยากาศไม่คงตัว (unstable) สภาพบรรยากาศไม่คงตัวมลพิษอากาศแพร่กระจายตามแนวดิ่งได้ดี

ภาพ 7 (b) กรณีที่ lapse rate เป็นแบบ adiabatic เหมือนกัน เมื่อกลุ่มอากาศลอยไปยังตำแหน่งใหม่ จะมีอุณหภูมิเท่ากับสิ่งรอบ ๆตัวนั้น ทำให้ไม่มีแรงลอยตัวที่เกิดจากอุณหภูมิที่

แตกต่างกันของอากาศในกลุ่มอากาศ และอากาศของสิ่งแวดล้อมรอบข้าง เรียกสภาพของบรรยากาศเช่นนี้ว่า บรรยากาศแบบสะเทิน (neutral stability)

ภาพ 7 (c) กรณีที่ lapse rate เป็นแบบ Subadiabatic กลุ่มอากาศลอยขึ้นไปแล้วแต่มีอุณหภูมิต่ำกว่าสิ่งแวดล้อมรอบข้าง กลุ่มอากาศจะพยายามตกกลับไปยังตำแหน่งเดิม ในทางกลับกันเมื่อกลุ่มอากาศเคลื่อนที่ลง กลุ่มอากาศจะมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมรอบข้างจึงมีแรงลอยตัวพยายามให้กลุ่มอากาศเคลื่อนที่กลับขึ้นไปตำแหน่งเดิม สภาพบรรยากาศเช่นนี้เรียกว่า บรรยากาศคงตัว (Stable stability) กลุ่มอากาศมีการเคลื่อนที่แนวดิ่งน้อย มลพิษอากาศในสภาพบรรยากาศคงตัวจึงแพร่กระจายในแนวดิ่งได้น้อย

ภาพ 7 (d) กรณีบรรยากาศมี lapse rate เป็นแบบ Temperature Inversion คือบรรยากาศมีอุณหภูมิสูงตามระดับความสูง บรรยากาศเช่นนี้มีสภาพคงตัวมาก (Very Stable stability)



ภาพ 7 เสถียรภาพของบรรยากาศ

ที่มา: สิทธิชัย พิมลศรี และคณะ, 2553

ลักษณะอุตุนิยมวิทยาภาคเหนือประเทศไทย

ลักษณะรูปแบบฤดูกาลของประเทศไทยโดยทั่ว ๆ ไป แบ่งออกได้เป็น 3 ฤดู ดังนี้

1. ฤดูร้อน เริ่มต้นประมาณกลางเดือนกุมภาพันธ์ถึงกลางเดือนพฤษภาคม
2. ฤดูฝน เริ่มต้นประมาณกลางเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคม
3. ฤดูหนาว เริ่มต้นประมาณกลางเดือนตุลาคมถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์

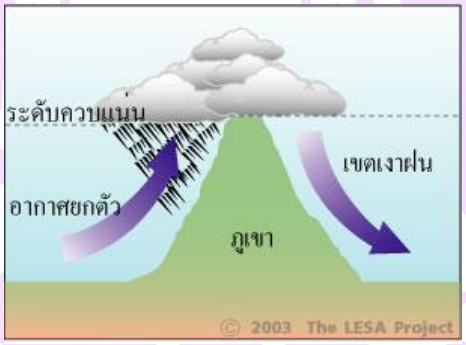
ฤดูร้อนเริ่มต้นประมาณเดือนกุมภาพันธ์ ไปจนถึงเดือนพฤษภาคม ซึ่งเป็นช่วงเปลี่ยนจากมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือเป็นมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และเป็นระยะที่ขั้วโลกเหนือหันเข้าหาดวงอาทิตย์ โดยเฉพาะในช่วงเดือนเมษายนบริเวณประเทศไทย ดวงอาทิตย์อยู่ตรงกลับศีรษะในเวลากลางวัน ทำให้ได้รับความร้อนจากดวงอาทิตย์อย่างเต็มที่ สภาพอากาศจึงร้อนอบอ้าว ในฤดูนี้แม้ว่าโดยทั่วไปจะมีอากาศร้อน แต่ในบางครั้งอาจมีมวลอากาศเย็นจากประเทศจีนแผ่ลงมาปกคลุมจนถึงประเทศไทยตอนบน ทำให้เกิดการปะทะกันของมวลอากาศเย็นกับมวลอากาศร้อนที่ปกคลุมอยู่เหนือประเทศไทย ซึ่งก่อให้เกิดพายุฝนฟ้าคะนอง และลมกันโชกแรง หรืออาจมีลูกเห็บตกซึ่งก่อให้เกิดความเสียหายได้ พายุฝนฟ้าคะนองที่เกิดขึ้นในฤดูนี้มักเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าพายุฤดูร้อน (กรมอุตุนิยมวิทยา, https://www.tmd.go.th)

ฤดูฝน เริ่มต้นประมาณกลางเดือนพฤษภาคม เมื่อมรสุมตะวันตกเฉียงใต้พัดปกคลุมประเทศไทย และร่องความกดอากาศต่ำพาดผ่านประเทศไทย ทำให้มีฝนชุกทั่วไป ร่องความกดอากาศต่ำนี้ปกติ จะพาดผ่านภาคใต้ในระยะต้นเดือนพฤษภาคม แล้วจึงเลื่อนขึ้นไปทางเหนือตามลำดับ จนถึงช่วงประมาณปลายเดือนมิถุนายน จะพาดผ่านอยู่บริเวณประเทศจีนตอนใต้ ทำให้ฝนในประเทศไทยลดลงระยะหนึ่ง และเรียกว่าฝนทิ้งช่วง ซึ่งอาจนานประมาณ 1–2 สัปดาห์หรือบางปีอาจเกิดขึ้นรุนแรง และมีฝนน้อยนานนับเดือน ในเดือนกรกฎาคมปกติร่องความกดอากาศต่ำจะเคลื่อนกลับลงมาจากตอนใต้ประเทศจีน พาดผ่านบริเวณประเทศไทยอีกครั้งหนึ่ง ทำให้เกิดฝนตกชุกอย่างต่อเนื่องจึงทำให้ปริมาณฝนเพิ่มขึ้นตั้งแต่ช่วงปลายเดือนกรกฎาคมเป็นต้นไป จนมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ พาดผ่านเข้ามาปกคลุมประเทศไทย โดยแทนที่มรสุมตะวันตกเฉียงใต้ประมาณเดือนตุลาคม ประเทศไทยตอนบนจึงเริ่มมีอากาศเย็นและปริมาณฝนลดลงโดยเฉพาะภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ยกเว้นแต่ภาคใต้ของประเทศไทยที่ยังคงมีฝนตกชุกจนถึงเดือนธันวาคม และมักจะเกิดฝนหนักถึงหนักมากจนก่อให้เกิดภัยน้ำท่วม โดยเฉพาะภาคใต้ฝั่งตะวันออกซึ่งจะมีปริมาณฝนมากกว่าภาคใต้ฝั่งตะวันตก อย่างไรก็ตามการเริ่มต้นฤดูฝนอาจจะช้าหรือเร็วกว่ากำหนดได้ประมาณ 1–2 สัปดาห์ (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2554)

ฤดูหนาว เริ่มต้นประมาณเดือนตุลาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ เมื่อมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือปกคลุมประเทศไทยตั้งแต่เดือนตุลาคม นาน 1–2 สัปดาห์ เป็นช่วงเปลี่ยนฤดูจากฤดูฝนเป็นฤดูหนาวสภาพอากาศแปรปรวนไม่แน่นอน และอาจเริ่มมีอากาศเย็น หรืออาจยังมีฝนฟ้าคะนองโดยเฉพาะบริเวณภาคกลางตอนล่าง และภาคตะวันออกลงไปซึ่งจะหมดฝน และเริ่มมีอากาศเย็นช้ากว่าภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2554)

ลักษณะภูมิประเทศและภูมิอากาศในภาคเหนือตอนบน

ภาคเหนือตอนบน ประกอบด้วย 8 จังหวัด ภูมิประเทศของภาคเหนือประกอบไปด้วยเทือกเขาน้อยใหญ่สลับซับซ้อน และมีพื้นที่สำคัญของประเทศหลายจุด เช่น พื้นที่ทางด้านตะวันตกสุดของประเทศที่อำเภอแม่สะเรียง จังหวัดแม่ฮ่องสอน พื้นที่ทางด้านเหนือสุดของประเทศที่อำเภอแม่สาย จังหวัดเชียงราย จุดสูงสุดของประเทศที่ดอยอินทนนท์ จังหวัดเชียงใหม่ ภาคเหนือมีภูมิอากาศแบบร้อนชื้นสลับร้อนแห้งแล้ง หรือฝนเมืองร้อนเฉพาะฤดู เนื่องจากภาคเหนือมีฤดูกาลทั้งหมด 3 ฤดูกาล คือฤดูร้อน ฤดูฝน และฤดูหนาว ลักษณะเมื่อกระแสลมปะทะภูเขา อากาศถูกบังคับให้ลอยสูงขึ้นจนถึงระดับควบแน่นก็จะกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ ดังภาพ 8 จะเห็นได้ว่า บนยอดเขาสูงมักมีเมฆปกคลุมอยู่ บริเวณยอดเขาจึงมีความชุ่มชื้นและอุดมไปด้วยป่าไม้ กระแสลมพัดผ่านข้ามยอดเขาเป็นอากาศแห้งที่สูญเสียไอน้ำ จะจมตัวลงและมีอุณหภูมิสูงขึ้น ภูมิอากาศบริเวณหลังภูเขาจึงเป็นเขตที่แห้งแล้ง เรียกว่า “เขตเงาฝน” (Rain shadow)



ภาพ 8 อากาศยกตัวเนื่องจากสภาพภูมิประเทศ

ที่มา: ศูนย์การเรียนรู้วิทยาศาสตร์โลกและดาราศาสตร์, 2554

สถานการณ์ปัญหามลพิษอากาศในภาคเหนือตอนบน

ในปี 2559 ภาคเหนือตอนบนประสบปัญหาปริมาณฝุ่นละอองเกินมาตรฐาน โดยผลการตรวจวัดฝุ่นละอองเฉลี่ย 24 ชั่วโมงรายจังหวัดทั่วประเทศไทยจากกรมควบคุมมลพิษพบว่าภาคเหนือติด 10 อันดับจังหวัดที่มีค่าฝุ่นละอองเกินมาตรฐานสูงที่สุดทั่วประเทศไทยดังตาราง 1 ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม – 15 เมษายน 2559 จำนวนจุดความร้อนรวม ลดลงจากปี 2558 ร้อยละ 20 ฝุ่นละอองในแต่ละจังหวัดส่วนใหญ่มีแนวโน้มลดลง และปริมาณฝุ่นละอองสูงสุดลดลงจาก

381 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในปี 2558 เหลือ 317 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เนื่องมาจากการบูรณาการจัดการป้องกัน และแก้ไขปัญหาไฟป่าและหมอกควันอย่างเข้มข้นทุกฝ่าย แต่ในปีหลังจากวันที่ 15 เมษายน 2559 พบปัญหาฝุ่นละอองในช่วงเวลาที่แตกต่างจากหลายปีที่ผ่านมา เนื่องจากสภาพอากาศแห้งแล้งยาวนาน ฝนตกเพียงเล็กน้อยในช่วงเดือนเมษายนและต้นเดือนพฤษภาคม จึงพบการเผาในช่วงหลังจากวันที่ 15 เมษายน 2559 ซึ่งเกิดจากสภาพอากาศที่แห้ง และฝนตกเล็กน้อย ทำให้สภาพอากาศที่ร้อน และแห้งเอื้ออำนวยให้เกิดการเผาได้ง่าย ทำให้เกิดปริมาณฝุ่นละอองเกินค่ามาตรฐาน เป็นผลให้จำนวนวันที่เกินมาตรฐานเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 14 ในปี 2558 เป็นร้อยละ 15 ในปี 2559 (กรมควบคุมมลพิษ, 2559)

เมื่อวันที่ 19 เมษายน 2559 เกิดปริมาณฝุ่นละอองเกินค่ามาตรฐานที่อำเภอเมืองจังหวัดเชียงราย ตรวจวัดค่าปริมาณฝุ่นละอองได้ 293 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และที่อำเภอแม่สาย 281 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยเกินกว่าค่ามาตรฐานต่อเนื่องหลายสัปดาห์ ทำให้ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนในพื้นที่ หลายคนเกิดอาการแสบจมูก แสบตา เช่นเดียวกับที่อำเภอเมืองจังหวัดเชียงใหม่ พบสภาพท้องฟ้าถูกปกคลุมไปด้วยหมอกควันหนาแน่นตลอดทั้งวัน และติดต่อกันตั้งแต่วันที่ 15–19 เมษายน เป็นเวลา 3 วัน ส่งผลกระทบต่อสุขภาพ และทำให้ประชาชนที่ใช้รถใช้ถนนต้องเพิ่มความระมัดระวัง เนื่องจากทัศนวิสัยการมองเห็นต่ำเหลือเพียง 100–200 เมตร (www.pptvhd36.com) ซึ่งสาเหตุเกิดจากสภาพอากาศแห้งประกอบกับการเผาทำให้เกิดปริมาณฝุ่นละอองเพิ่มขึ้น เห็นได้ว่าสาเหตุในการเกิดปัญหาด้านมลพิษอากาศไม่ได้จากการเผาเพียงอย่างเดียว แต่ยังเกี่ยวข้องกับสภาพอากาศอุตุนิยมวิทยาที่มีผลทำให้เกิดปัญหามลพิษอากาศที่เพิ่มขึ้น

ตาราง 1 สรุปผลการตรวจวัดฝุ่นละอองรายจังหวัด

อันดับ	จังหวัด	ฝุ่นละออง PM10	
		เกินค่ามาตรฐาน (ร้อยละ)	ค่าสูงสุด (มคก./ลบ.ม)
1	สระบุรี	24.3	266
2	เชียงราย	10.1	320
3	แม่ฮ่องสอน	7.5	285
4	เชียงใหม่	6.9	209
5	พะเยา	6.6	192
6	น่าน	6.3	293

ตาราง 1 (ต่อ)

อันดับ	จังหวัด	ฝุ่นละออง PM10	
		เกินค่ามาตรฐาน (ร้อยละ)	ค่าสูงสุด (มคก./ลบ.ม)
7	ลำปาง	6.3	261
8	แพร่	5.7	172
9	สมุทรสาคร	3.8	157
10	กรุงเทพมหานคร	3.8	156

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ, 2559

ผลของอุตุนิยมวิทยาที่มีต่อความเข้มข้นมลพิษอากาศ

มลพิษอากาศ เป็นผลที่เกิดมาจากกิจกรรมของมนุษย์ และลักษณะทางสภาพอุตุนิยมวิทยา (Hamdy K. Elminir, 2005) โดยสภาพอุตุนิยมวิทยาเป็นตัวกำหนดการแพร่กระจายเชิงพื้นที่และความแปรปรวนเชิงเวลาของมลพิษอากาศ (G. R. McGregor & Bamzelis, 1995) ซึ่งมีทั้งการไหลเวียนอากาศในระดับภูมิภาคและระดับท้องถิ่นที่มีผลต่อคุณภาพอากาศทั้งการแพร่กระจายมลพิษอากาศ การเคลื่อนตัวของมลพิษ และการตกออกจากชั้นบรรยากาศของมลพิษ (A. N. Pasch, MacDonald, Gilliam, Knoderer, & Roberts, 2011)

จากการศึกษาที่ผ่านมา พบว่าระดับ PM เฉลี่ยในแต่ละปีในภาคเหนือฝั่งตะวันออกของประเทศจีนลดลง ในปี 2014 เนื่องมาจากในปลายปี 2013 มีการประกาศใช้มาตรการในการลดปริมาณการปล่อยจากแหล่งกำเนิดดำเนินการโดยรัฐบาลของประเทศจีน ส่งผลให้ภายในปี 2014 ปริมาณความเข้มข้นมลพิษอากาศลดลงเมื่อเทียบกลับความเข้มข้นมลพิษอากาศในปี 2013 แต่เมื่อภายในปี 2015 ความเข้มข้นมลพิษอากาศกลับเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งยังมีการประกาศใช้มาตรการลดการปล่อยจากแหล่งกำเนิดอยู่ ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามาตรการในการลดอาจไม่ใช่ปัจจัยหลักในการลดลงเพียงอย่างเดียว แต่อาจเป็นลักษณะสภาพอุตุนิยมวิทยาที่เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการกระจายตัวของ PM (X. Li, Ma, Wang, Liu, & Hong, 2017; J. Xu et al., 2016; H. Zhang, Wang, Hu, Ying, & Hu, 2015) และผลจากการวิจัยสภาพอุตุนิยมวิทยาที่มีผลต่อความเข้มข้นมลพิษในบรรยากาศชี้ให้เห็นว่าพารามิเตอร์อุตุนิยมวิทยาที่มีอิทธิพลต่อความเข้มข้นของสารมลพิษ และมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นมลพิษในพื้นที่อย่างมีนัยสำคัญ คือ ความเร็วลม และทิศทางลม (Hamdy K. Elminir, 2005; J. He et al., 2017; X. Li et al., 2017) เนื่องจากเมื่อลมที่มีระดับความเร็วที่มากพอ สามารถทำให้เกิดการ

พามลพิษอากาศโดยลมและลดความเข้มข้นของมลพิษอากาศได้ และทิศทางลมมีส่วนที่จะช่วยในการลดและเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของมลพิษอากาศได้เมื่อมีการพัดพาจากแหล่งกำเนิดมลพิษอากาศอื่นที่นอกเหนือจากพื้นที่ควบคุมมาในทิศทางที่มายังพื้นที่ที่มีการควบคุมอาจทำให้พื้นที่นั้นมีปริมาณความเข้มข้นเพิ่มสูงขึ้น

นอกจากนี้ปริมาณความเข้มข้นของ PM จะมีค่าสูงสุดในฤดูร้อนในช่วงระยะเวลากลางคืน ส่วนในฤดูใบไม้ร่วงและฤดูหนาวมีความสัมพันธ์แบบผกผันระหว่างอุณหภูมิและความเข้มข้นของ PM เนื่องจากฤดูหนาวมีสภาพอากาศคงตัว (stable air) และฤดูใบไม้ผลิมีแนวโน้มที่มีสภาพอากาศไม่คงตัว (unstable air) ความเข้มข้นสูงสุดของ PM พบในช่วงเวลากลางคืนของเดือนมกราคม และในช่วงระหว่างวันของเดือนมิถุนายน และความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ทางอุตุนิยมวิทยาต่าง ๆ (ความเร็วลม อุณหภูมิ และปริมาณน้ำฝน) จะขึ้นกับความสูงของชั้นผสม (Mixing height) (Asif, Chen and Guo, 2018) และยังพบว่ามีคุณสมบัติที่แตกต่างของภูมิอากาศมรสุมในเอเชีย ลักษณะฤดูกาลที่แตกต่างกันจากปริมาณน้ำฝนรวมทั้งความสูงของชั้นผสมในฤดูหนาวและฤดูร้อน และยังพบอิทธิพลของพายุไซโคลนเขตร้อนที่อยู่ใกล้ภาคเหนือฝั่งตะวันออกของประเทศจีน เช่น พายุฝนฟ้าคะนองที่เกิดจากพายุไต้ฝุ่นจากการก่อตัวของพายุไต้ฝุ่นทำให้เกิดการเคลื่อนไหวทางอากาศที่น้อยลงตามทิศทางการหมุนของลมไปทางเหนือ (K. M. Mok & Hoi, 2005)

จากผลการศึกษาของหลายงานวิจัยจะเห็นได้ว่าความเข้มข้นมลพิษอากาศที่เปลี่ยนแปลงได้รับอิทธิพลมาจากการเปลี่ยนแปลงสภาพอุตุนิยมวิทยา โดยพบปัจจัยหลักที่มีผลได้แก่ ความสูงชั้น PBL หรือ ความสูงชั้นผสม (Shaik Allabakash and Sanghun Lim, 2020; Pan et al., 2019; Zhao et al., 2019) ความเร็วและทิศทางลม (Tie et al., 2015; Miao et al., 2016; Pan et al., 2019) อุณหภูมิ (Pan et al., 2019) ปริมาณน้ำฝน (Mao et al., 2008; Jiang et al., 2014; Zhao et al ., 2018; Pan et al., 2019) สภาพคงตัวของบรรยากาศ (Zhao et al., 2019; Chuanli Du et al., 2012) ความชื้น (Shaik Allabakash and Sanghun Lim, 2020; Xiaolan Li et al., 2017) การถ่ายเทความร้อน (Shaik Allabakash and Sanghun Lim, 2020)

โดยทั่วไปพบว่าความสูงชั้น PBL ต่ำลงความเข้มข้นมลพิษอากาศจะมีค่าสูง ดังในการศึกษาในเมือง เซี่ยงไฮ้ ในประเทศจีน (Pan et al., 2019; Tie et al., 2015; Miao et al., 2016) สำหรับความเร็วลมพบว่าโดยทั่วไปความเร็วลมที่แรงขึ้นช่วยพัดพาเจือจางมลพิษอากาศจากแหล่งกำเนิดทำให้ความเข้มข้นมลพิษอากาศลดลง สำหรับปริมาณฝน โดยทั่วไปเมื่อพบเหตุการณ์ฝนตกหนัก จะส่งผลให้ความเข้มข้นมลพิษในอากาศลดลง ดังการศึกษาในเมืองเซี่ยงไฮ้

ประเทศจีนที่เกิดเหตุการณ์ฝนตกหนักในช่วงมิถุนายน ที่เรียกกันว่าช่วง Meiyu ส่งผลให้ปริมาณความเข้มข้นมลพิษอากาศในเมืองเซี่ยงไฮ้และเมืองใกล้เคียงมีค่าลดลง (Pan et al., 2019)

แม้ว่าสภาพอุตุนิยมวิทยาที่เอื้อต่อการระบายมลพิษอากาศเป็นส่วนสำคัญส่วนหนึ่งที่ทำให้ลดการสะสมของปริมาณฝุ่นละอองในอากาศ แต่ในขณะเดียวกันจากการศึกษาผลกระทบของละอองลอยจากการเผาชีวมวลต่อการแผ่รังสีดวงอาทิตย์และสภาพภูมิอากาศในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย (Chotamonsak et al.,2018) ได้ศึกษาผลกระทบทางอ้อมต่อตัวแปรสภาพภูมิอากาศในภาคเหนือของประเทศไทยในช่วงปัญหาหมอกควัน ปี 2556 พบว่าละอองลอยที่เกิดจากการเผาชีวมวลและไฟป่าในช่วงกุมภาพันธ์ถึงเมษายน 2556 ส่งผลกระทบโดยตรงต่อการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์มายังพื้นผิวในภาคเหนือ ซึ่งการลดลงของรังสีจากดวงอาทิตย์ส่งผลต่ออัตราการระเหยของน้ำ ส่งผลให้ปริมาณไอน้ำหรือความชื้นในอากาศในพื้นที่การศึกษาลดลง และผลกระทบอีกส่วนหนึ่งที่เมื่อเกิดละอองลอยจำนวนมากจะดูดกลืนและกระเจิงรังสีจากดวงอาทิตย์ส่งผลให้พลังงานงานที่ช่วยให้พื้นผิวอุ่นขึ้นนั้นลดลง ทำให้อากาศมีเสถียรภาพมากขึ้น ส่งผลต่อระดับความสูง PBL ลดลง ทำให้ศักยภาพการลอยขึ้นในแนวดิ่งของอากาศและลดความสามารถในการแพร่กระจากหมอกควัน ทำให้เกิดปัญหามลพิษอากาศได้มากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Pan et al.,2019

ความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลง PBL กับสภาพอุตุนิยมวิทยา

1. การแผ่รังสีดวงอาทิตย์ โดยทั่วไปพบว่าการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ที่รุนแรง PBL จะมีระดับสูงขึ้น ซึ่งสัมพันธ์กับความปั่นป่วน (Turbulence) ที่มีมากขึ้น PBL ที่สูงทำให้อัตราการระบายมลพิษสูงขึ้น ทำให้ความเข้มข้นฝุ่นละอองลดลง ที่พบในหลายการศึกษา [(Miao et al., 2012, 2015) (Zhao et al.,2019) (Pan et al.,2019) (Shaik Allabakash and Sanghun Lim, 2020)] อย่างไรก็ดีการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ที่เพิ่มขึ้น อาจทำให้ระดับฝุ่นละอองเพิ่มเนื่องจากปริมาณฝุ่นละออง ทุติยภูมิเพิ่มมากขึ้นจากกระบวนการ Photochemistry (Ref. (Seinfeld and Pandis, 2006) (Pan et al.,2019) การที่ระดับ PBL เพิ่มสูงขึ้นในฤดูร้อน เนื่องจากการแผ่รังสีดวงอาทิตย์เพิ่มขึ้นพบในหลายพื้นที่ อาทิ มองโกเลีย จีนตะวันออกเฉียงใต้ และซินเจียน ((Miao et al., 2012, 2015) (Zhao et al.,2019) นำไปสู่อุณหภูมิพื้นดินที่สูงขึ้น และความเร็วลมที่มากขึ้น ซึ่งเอื้อต่อการพัฒนา PBL ให้สูงขึ้น (Huang et al.,2012; Guo et al.,2011)(Zhao et al.,2019) ในทางตรงกันข้าม ระดับ PBL จะลดลงในฤดูหนาว เนื่องจากการลดลงของการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ (Pan et al.,2019) โดยทั่วไป PBL จะสูงในตอนกลางวันและต่ำในตอนกลางคืน เป็นที่ทราบกันดีว่ากลางวันมีการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ซึ่งช่วยในกระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อน ดังนั้นการ

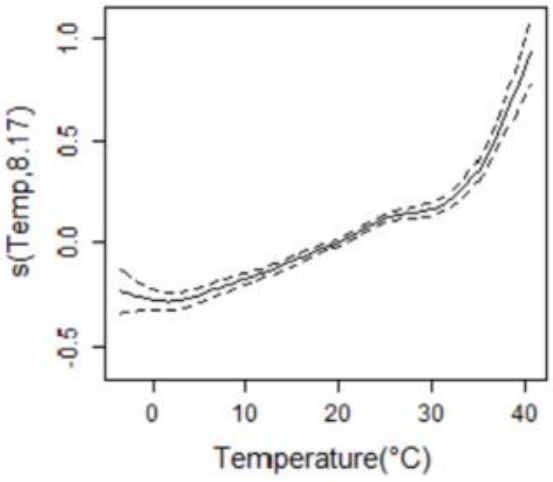
เพิ่มขึ้นของ PBL จึงเกี่ยวกับการพาความร้อน (Convective Boundary Layer: CBL) (Shaik Allabakash and Sanghun Lim, 2020) ระดับ PBL สูงในตอนกลางวันสอดคล้องกับการแผ่รังสีเมื่อเวลา 9.00 LT รังสีจากดวงอาทิตย์จะเพิ่มขึ้นและสร้างสภาวะการหมุนเวียนที่ไม่เสถียรที่พื้นผิวทำให้เกิดแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นของ PBL (Shaik Allabakash and Sanghun Lim, 2020) การศึกษาในคาบสมุทรเกาหลี พบว่าช่วงบ่าย (15.00 LT) PBL มีแนวโน้มสูงสุดที่ความสูงมากกว่า 2000 เมตร และต่ำสุดในช่วงกลางคืน (03.00 LT) มีแนวโน้มต่ำสุดที่ความสูงต่ำกว่า 300 เมตร (Shaik Allabakash and Sanghun Lim, 2020) PBL เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญตอน 14.00 BJT เมื่อรังสีดวงอาทิตย์สูงสุด และพื้นที่ซินเจียงประเทศจีน จะมีการเพิ่มขึ้นของ PBL อย่างรวดเร็วอาจเนื่องมาจากเป็นพื้นที่ที่เป็นเอกลักษณ์ ที่เป็นพื้นที่แอ่งกระทะ และเทือกเขาสลับกัน ซึ่งพื้นที่แอ่งกระทะดังกล่าวเป็นพื้นที่แอ่งกระทะที่ถูกล้อมรอบด้วยภูเขา ทำให้มีการหมุนเวียนอากาศสูงกว่าพื้นที่อื่น (Xu et al., 2009; Zhu et al., 2011)(Zhao et al.,2019) ช่วง 20.00 BJT ทุกภูมิภาคแสดงให้เห็นการลดลงของ PBL หลังพระอาทิตย์ตกดิน และมีพื้นผิวที่เย็นตัวลงในตอนกลางคืน พื้นผิวดินในภูมิภาคที่มีพืชพันธุ์ไม่มาก และประกอบไปด้วยทรายและกรวดที่มีความร้อนต่ำ จะมีการระบายความร้อนด้วยรังสีจากดวงอาทิตย์สูงในเวลากลางคืน (Zhang et al., 2002, 2003) (Zhao et al.,2019) ในเวลากลางคืนพื้นผิวโลกเย็นตัวลงโดยการระบายความร้อน ดังนั้นพื้นผิวจึงมีเสถียรภาพและ CBL จะถูกแทนที่ด้วย NBL(nocturnal boundary layer)(Shaik Allabakash and Sanghun Lim, 2020)

2. ความเร็วลม โดยทั่วไปความเร็วลมที่สูงขึ้นมีแนวโน้มที่จะเอื้ออำนวยต่อการพัฒนา PBL เนื่องจากพลังงานปั่นป่วนแบบไดนามิกที่เพิ่มขึ้น (Pan et al.,2019) และยังมีความสามารถในการกระจายตัวในแนวนอน จากการศึกษาในพื้นที่เซี่ยงไฮ้ ในประเทศจีน พบว่าในช่วงกลางวัน ความเร็วลมสูงสุดอยู่ระหว่าง 2.5 – 3.0 m/s พร้อมกับ PBL ที่สูง ทำให้เกิดความสามารถในการกระจายตัวทั้งแนวนอนและแนวตั้งได้ดีซึ่งเหมาะสำหรับการระบายอากาศของละอองลอย ในทางตรงกันข้ามทั้งความเร็วลมและ PBL ลดลงอย่างมาก ทำให้การระบายลดลง เป็นผลให้ความเข้มข้น PM ในเมืองเซี่ยงไฮ้ประเทศจีนมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 50ug/m^3 เป็น 150 ug/m^3 ซึ่งชี้ให้เห็นว่าในช่วงที่มีหมอกควันหนาแน่นมักมีสภาวะ PBL ต่ำ ความเร็วลมที่มีความสามารถในการกระจายตัวของมลพิษในแนวตั้งและแนวนอนจึงมีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งต่อระดับมลพิษ PM ซึ่งการศึกษานี้สอดคล้องกับการวิจัยของ Tie et al.,2015; Miao et al.,2016)(Pan et al.,2019) ความแปรปรวนของความเร็วลม และ LTS (Lower Tropospheric Stability) จะต่ำในฤดูร้อนและสูงในฤดูหนาว ซึ่งค่าต่ำของ LTS บ่งชี้สภาพที่ไม่เสถียรของพื้นผิวอาจเกิดการถ่ายเทความปั่นป่วนอย่างรุนแรง หรือการพาความร้อนที่รุนแรง ซึ่งนำไปสู่ PBL ที่

สูงในฤดูร้อน นอกจากนี้ในพื้นที่คาบสมุทรเกาหลี ยังพบว่าลมทะเลพัดเข้ามาจากบริเวณชายฝั่งทะเลตะวันตกซึ่งส่งผลต่อการแพร่กระจายของกระแสลมและก่อให้ PBL ต่ำ ซึ่งเป็นที่น่าสังเกตว่าพื้นที่บริเวณชายฝั่งตะวันออก LTS สูง ส่วนบริเวณชายฝั่งตะวันตกมีค่า LTS ต่ำ และมีค่า PBL บริเวณชายฝั่งตะวันออกสูงกว่าชายฝั่งตะวันตก (โดยปกติ LTS ต่ำ PBL จะสูง) (Shaik Allabakash and Sanghun Lim, 2020)

3. สภาพอุตุนิยมวิทยาอื่น ๆ นอกเหนือจากการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์และความเร็วลม ยังมีปัจจัยอีกหลายอย่างที่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความสูง PBL ได้แก่

อุณหภูมิ จากการศึกษาของ Pan et al.,2019 ในประเทศจีน พบว่าอุณหภูมิมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับ PBL โดยความสูง PBL มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 30 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มที่เกิดความสูง PBL ที่สูงขึ้น ในขณะที่เมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มที่เกิดความสูง PBL ที่ต่ำ ดังแสดงในภาพ 8



ภาพ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูง PBL กับอุณหภูมิ โดยใช้ GAMs model

ที่มา: Pan et al.,2019

ปริมาณฝนและเมฆ PBL ลดลงในฤดูร้อนมากกว่าฤดูใบไม้ผลิในภาคตะวันออกและตะวันตกเฉียงใต้ของจีน เนื่องจากมีเหตุการณ์ฝนตกหรือสภาพอากาศที่มีเมฆมากในฤดูร้อนและความจุความร้อนจำเพาะสูง (specific heat capacity of water vapor) ในชั้นบรรยากาศ

มากขึ้น ซึ่งบ่งชี้ว่ามีการดูดซับความร้อนในชั้นบรรยากาศมากขึ้นทำให้ผิวโลกเย็นตัวลง แม้ว่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิผิวโลกจะทำให้ PBL สูงขึ้นแต่การเพิ่มขึ้นของความชื้นสัมพัทธ์อาจทำให้ PBL ลดลง (Mao et al., 2008; Jiang et al., 2014) (Zhao et al.,2019) PBL ที่ลดลงในเซี่ยงไฮ้เกิดจากการเกิดฝนที่มากกว่าทางตอนเหนือของจีน การมีฝนตกทำหน้าที่ยับยั้งการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์และการพัฒนา PBL (Pan et al.,2019) PBL ลดลงอย่างรวดเร็วในเดือนมิถุนายนเมื่อเทียบกับแนวโน้มก่อนหน้านี้ตั้งแต่เดือนมีนาคมถึงพฤษภาคม เนื่องจากฝนตกหลายวันที่เกิดขึ้นในเดือนมิถุนายนในพื้นที่เซี่ยงไฮ้และพื้นที่ใกล้เคียง ทำให้มีการปกคลุมของเมฆหนาซึ่งลดการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์และยับยั้งการพัฒนา PBL (Pan et al.,2019) PBL ลดลงอย่างกะทันหันในเดือนมิถุนายนเนื่องจากช่วงที่มีฝนตกซึ่งมีเมฆปกคลุมมากกว่า 80% และทำให้การแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ลดลงอย่างมาก (Pan et al.,2019)

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนการศึกษาความแปรปรวนสภาพอุตุนิยมวิทยากับความเสี่ยงปัญหาหมอกควันบริเวณภาคเหนือของประเทศไทย ประกอบไปด้วย 6 ขั้นตอนหลัก ดังแผนภาพที่ 6 มีรายละเอียดขั้นตอนการศึกษาดังต่อไปนี้

1. รวบรวมข้อมูลอุตุนิยมวิทยามลพิษอากาศจาก ECMWF reanalysis data (European Center for Medium-range Weather Forecasts) ตั้งแต่ปีพ.ศ. 2532 ถึง 2561

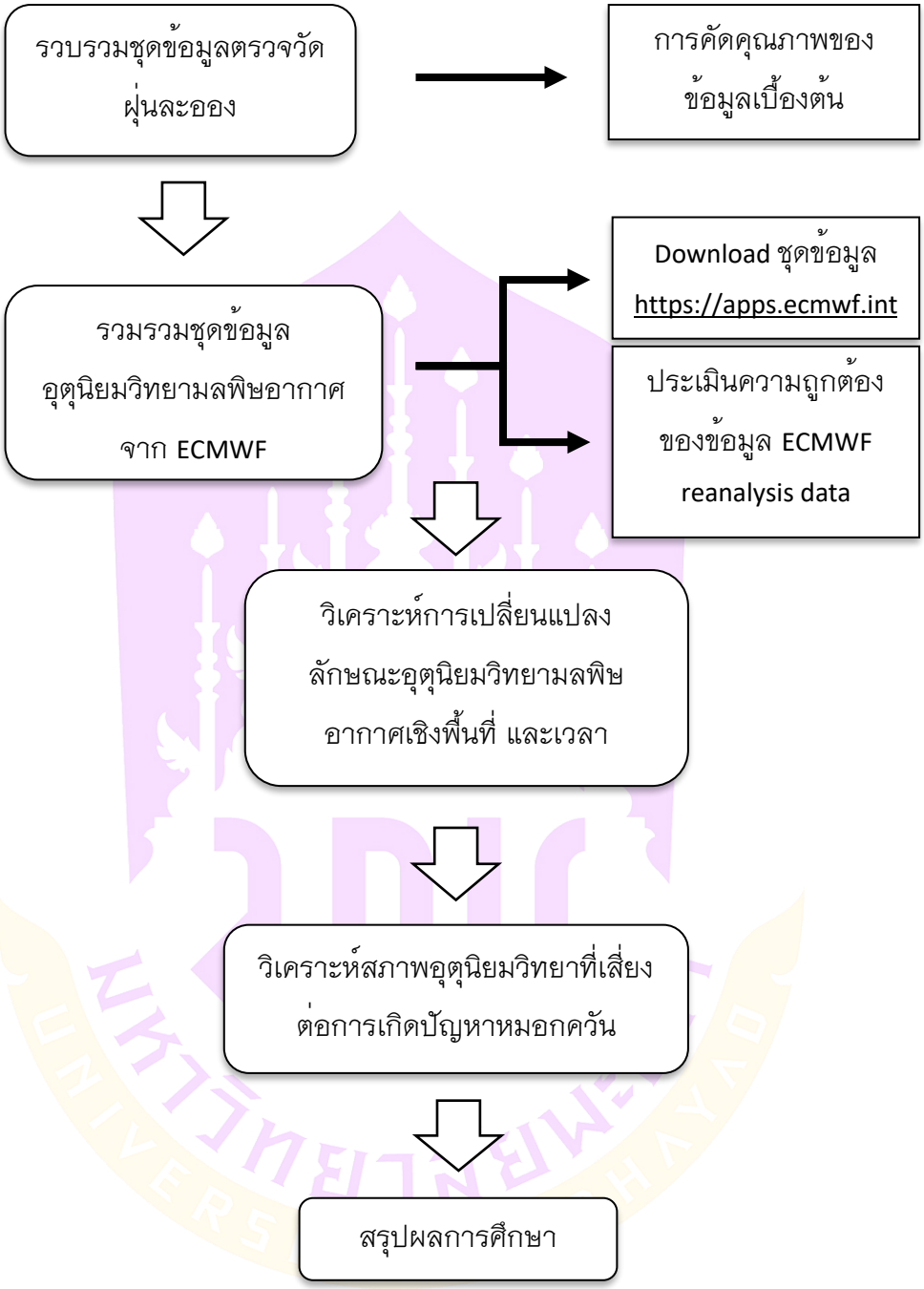
2. รวบรวมข้อมูลความเข้มข้นฝุ่นละออง จากกรมควบคุมมลพิษ และจุดความร้อน (Hotspot) จาก Fire Information for Resource Management System (FIRMS) ในปี พ.ศ.2553 ถึง 2561

3. ประเมินความถูกต้องของข้อมูล ECMWF reanalysis data โดยการเปรียบข้อมูลตรวจวัดสภาพอุตุนิยมวิทยา ด้วยการใช้ค่าสถิติในการประเมินประสิทธิภาพของข้อมูลพารามิเตอร์ทางอุตุนิยมวิทยาหลักที่เกี่ยวข้องกับการแพร่กระจายฝุ่นละออง

4. วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงลักษณะอุตุนิยมวิทยามลพิษอากาศเชิงพื้นที่ และเวลาในปี พ.ศ.2532-2561 โดยข้อมูลพารามิเตอร์อุตุนิยมวิทยามลพิษอากาศได้แก่ ความสูง PBL ความเร็วลม และการระบายมลพิษอากาศ ร่วมกับค่าการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ และจุดความร้อน

5. วิเคราะห์สภาพอุตุนิยมวิทยาที่เสี่ยงต่อการเกิดปัญหาหมอกควัน โดยวิเคราะห์ความสัมพันธ์การเปลี่ยนแปลงข้อมูลพารามิเตอร์อุตุนิยมวิทยามลพิษอากาศกับความเข้มข้น PM10 ที่เปลี่ยนไป และวิเคราะห์ค่าความสัมพันธ์ด้วยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Analysis)

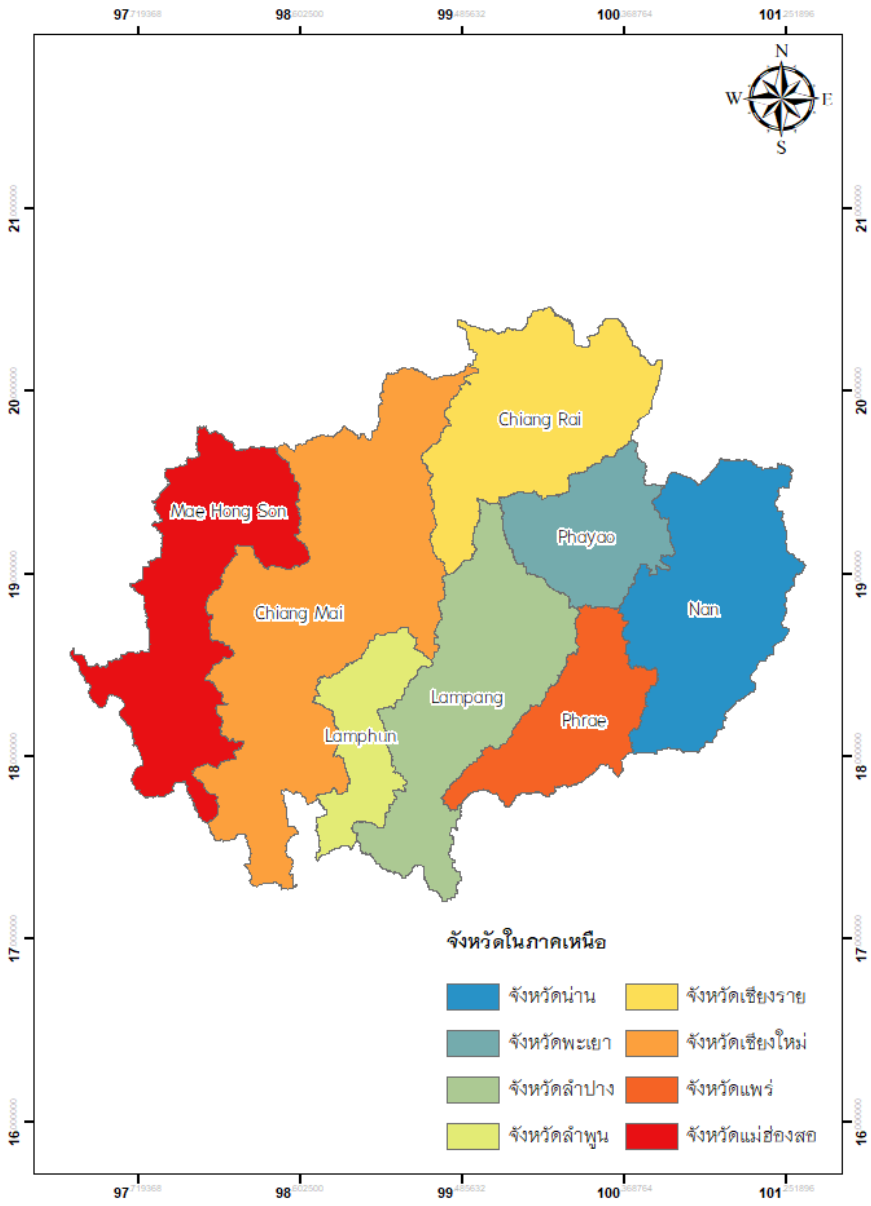
6. สรุปผลการศึกษา



ภาพ 10 แผนภาพขั้นตอนการศึกษา

พื้นที่ศึกษา

เนื่องจากในภาคเหนือตอนบนของประเทศไทยประสบปัญหามลพิษอากาศอย่างรุ่นแรงและต่อเนื่อง งานวิจัยนี้จึงเลือกศึกษาในพื้นที่บริเวณที่มีปัญหาหมอกควันโดยครอบคลุม 8 จังหวัดภาคเหนือตอนบนที่มีปัญหามลพิษอากาศ ได้แก่ เชียงราย เชียงใหม่ แพร่ นาน ลำปาง ลำพูน พะเยา และ แม่ฮ่องสอน ดังภาพ 11



ภาพ 11 แผนที่จังหวัดในภาคเหนือ

แหล่งข้อมูลและการตรวจสอบคุณภาพปริมาณความเข้มข้นฝุ่นละออง

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้ข้อมูลมลพิษอากาศ ซึ่งได้แก่ ข้อมูลปริมาณความเข้มข้นฝุ่นละออง PM10 รายชั่วโมง จากกรมควบคุมมลพิษ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2553-2561 โดยข้อมูลมีการคัดคุณภาพข้อมูลเบื้องต้น ซึ่งพิจารณาความสมบูรณ์ของข้อมูล โดยมีรายละเอียดการคัดเลือกดังต่อไปนี้

1. เลือกสถานีตรวจวัดที่มีการตรวจวัดฝุ่นละออง 8 ปีในช่วงปีพ.ศ. 2553-2561 โดยมีตรวจสอบข้อมูลจากข้อมูลตรวจวัดภายในวัน ดังมีรายละเอียดดังนี้

1.1 ข้อมูลรายวันที่ผ่านเกณฑ์ จะต้องมีจำนวนข้อมูลตรวจวัดภายในวันขาดหายไม่เกิน 10 ชั่วโมง

1.2. ข้อมูลรายเดือนที่ผ่านเกณฑ์ จะต้องมีจำนวนข้อมูลตรวจวัดรายวันขาดหายไม่มากกว่า 5 วัน

1.3. ข้อมูลรายปีที่ผ่านเกณฑ์ จะต้องมีข้อมูลการตรวจวัดครบทุกเดือน

2. ในช่วงข้อมูลที่มีการตรวจวัด ต้องมีข้อมูลขาดหายติดต่อกันไม่มากกว่า 1 ปี ในช่วงปี พ.ศ. 2553-2561

โดยเมื่อตรวจสอบข้อมูลตรวจวัดฝุ่นละอองในภาคเหนือของประเทศไทยในช่วงปี 2553-2561 มีจำนวนสถานีตรวจวัดฝุ่นละอองที่ผ่านการตรวจสอบความสมบูรณ์ของข้อมูลตามรายละเอียดดังแสดงในตาราง 2

ตาราง 2 ผลการตรวจสอบความสมบูรณ์ของข้อมูลตรวจวัดฝุ่นละออง ของสถานีตรวจวัดใน ภาคเหนือของประเทศไทย

หน่วยงาน (กรมควบคุมมลพิษ)	จำนวนสถานีทั้งหมด	จำนวนสถานี	
		สมบูรณ์	ไม่สมบูรณ์
เชียงราย	2	1	1
เชียงใหม่	2	2	–
ลำปาง	4	2	2
ลำพูน	1	1	–
แพร่	1	1	–
น่าน	1	1	–
แม่ฮ่องสอน	1	1	–
พะเยา	1	1	–
รวม	13	10	3

ข้อมูลจุดความร้อน(Hotspot) จาก Fire Information for Resource Management System (FIRMS) โดยใช้ชุดข้อมูลดาวเทียม MODIS และ VIIRS ซึ่งพบค่าจุดความร้อนของทุกสถานีในภาคเหนือส่วนใหญ่ตรวจพบจุดความร้อนมากที่สุดในฤดูร้อน (กุมภาพันธ์–เมษายน) ของทั้ง MODIS และ VIIRS แสดงให้เห็นถึงปัญหาหมอกควันที่เกิดขึ้นในช่วงฤดูร้อนซึ่งสาเหตุส่วนหนึ่งอาจเกิดจากการเผาในที่โล่ง

แหล่งข้อมูลและการตรวจสอบคุณภาพสภาพอุตุนิยมวิทยามลพิษอากาศ

ข้อมูลอุตุนิยมวิทยามลพิษอากาศที่ใช้ในการศึกษาในครั้งนี้ใช้ข้อมูลจาก ERA5 dataset ซึ่งจัดทำโดย European Centre for Medium–range Weather Forecasts (ECMWF) ซึ่งมีข้อมูลตั้งแต่ปี 1979–2018 โดยมีค่าความละเอียดกริดที่ใช้ในการศึกษา 0.125° x 0.125° เป็นข้อมูลทุก ๆ 3 ชั่วโมง โดยมีพารามิเตอร์ที่นำมาศึกษาได้แก่ ค่าความสูง PBL (Planetary boundary layer height) และความเร็วลม (Windspeed) โดยคำนวณมาจากข้อมูล U wind และ V wind ที่สูงจากพื้นดิน 2 เมตร ซึ่งมีหลายงานวิจัยได้นำข้อมูลชุดนี้ไปศึกษาลักษณะสภาพอุตุนิยมวิทยาและนำข้อมูลผลการจำลองสภาพอุตุนิยมวิทยาจากชุดข้อมูล ECMWF ไปศึกษาความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงฝุ่นละอองจากการตรวจวัด (Shaik Allabakash and Sanghun Lim, 2020; Li, X. et al.,2019; Kim, M. J.,2019; Zheng, S.,2015) ซึ่งเป็นข้อมูลจาก ERA5 เป็นข้อมูลที่มี

ความน่าเชื่อถือและเพื่อประเมินความถูกต้องของข้อมูล การศึกษานี้จึงนำข้อมูลจากค่าตรวจวัดจริงจากสถานีตรวจวัดในภาคเหนือของประเทศไทยจากกรมควบคุมมลพิษจำนวน 10 สถานี ได้แก่สถานีเชียงราย(1) เชียงใหม่(2) แพร่(1) น่าน(1) ลำปาง(2) ลำพูน(1) พะเยา(1) และแม่ฮ่องสอน(1) เปรียบเทียบกับค่าจาก ERA5 (ECMWF) โดยดึงข้อมูลจากกริดที่อ้างอิงพิกัดของสถานีตรวจของกรมควบคุมมลพิษ โดยข้อมูลที่นำมาเปรียบเทียบได้แก่ข้อมูลอุณหภูมิ ในเดือนมีนาคม 2016 (เนื่องจากข้อมูลตรวจวัดในเดือนมีนาคม 2016 มีค่าความสมบูรณ์ของข้อมูลมากที่สุด) มาประเมินความถูกต้องสอดคล้องกับค่าจากการตรวจวัดด้วยกราฟอนุกรมเวลา (Time series) และตัวแปรทางสถิติ ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient) ค่า Root mean square error (RMSE) สำหรับค่าความสูง PBL ขาดข้อมูลตรวจวัดในพื้นที่ภาคเหนือประเทศไทย การศึกษานี้จึงใช้ข้อมูลตรวจวัดอุณหภูมิเป็นตัวแทนพลังงานในบรรยากาศมาทำการเปรียบเทียบ ผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิ และความเร็วลม ระหว่างข้อมูล ECMWF และ ข้อมูลตรวจวัด แสดงในภาคผนวกภาพ 35–36 เนื่องจากระบบพยากรณ์สภาพอากาศในประเทศไทยใช้แบบจำลอง The Weather Research and Forecasting (WRF) การศึกษานี้จึงเปรียบเทียบข้อมูล อุณหภูมิ ความเร็วลม และ ความสูง PBL ระหว่างชุดข้อมูล ECMWF กับ WRF ดังแสดงในภาคผนวกภาพ 37–39 โดยรายละเอียดการตั้งค่าแบบจำลองดังแสดงในภาคผนวกภาพ 40 และตาราง 4–5 และเนื่องด้วยค่าความสูง PBL มีสถานีตรวจวัดที่ใช้ Lidar ในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ โดยสถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ(NARIT) การศึกษานี้จึงได้เปรียบเทียบข้อมูลระหว่างข้อมูลตรวจวัด Lidar และข้อมูล ECMWF ในช่วงเดือนเมษายน 2560 ถึงมิถุนายน 2561 ดังแสดงในภาคผนวกภาพ 41–42

โดยจากการเปรียบเทียบข้อมูลอุณหภูมิ พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลตรวจวัดและ ECMWF มีค่าสัมประสิทธิสหสัมพันธ์อยู่ที่ 0.92 ในขณะที่การเปรียบเทียบข้อมูลความเร็วลม พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลตรวจวัด และ ECMWF มีค่าสัมประสิทธิสหสัมพันธ์อยู่ที่ 0.25 จะเห็นได้ว่ามีค่าความสัมพันธ์ที่ค่อนข้างต่ำ ทั้งนี้อาจเนื่องจากความเร็วลมนั้นมีความแปรปรวนสูงส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนของข้อมูลจาก ECMWF

ในส่วนของการเปรียบเทียบข้อมูลความสูง PBL ระหว่างข้อมูล ECMWF และข้อมูลตรวจวัด Lidar ในการเปลี่ยนแปลงภายในวัน พบความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล ECMWF และข้อมูลตรวจวัด Lidar มีค่าสัมประสิทธิสหสัมพันธ์อยู่ที่ 0.97 ซึ่งมีความสัมพันธ์ของข้อมูลค่อนข้างสูงแม้ว่าจะมีความแตกต่างกันระหว่างค่าความสูง PBL ที่ข้อมูล ECMWF มีค่าความสูง PBL ที่ต่ำกว่าค่าความสูง PBL จากการตรวจวัด Lidar ในขณะที่การเปลี่ยนแปลงรายฤดูกาล พบความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล ECMWF และตรวจวัด Lidar มีค่าสัมประสิทธิสหสัมพันธ์อยู่ที่

–0.70 ซึ่งจะเห็นได้ว่าในฤดูร้อน (กุมภาพันธ์–เมษายน) ค่าความสูง PBL จากข้อมูล ECMWF มีแนวโน้มที่สูงขึ้นซึ่งแตกต่างจากข้อมูลตรวจวัด Lidar ที่ในช่วงเวลาเดียวกันค่าความสูง PBL มีแนวโน้มที่ลดลงในเดือนมีนาคม ซึ่งสาเหตุอาจมาจากข้อมูลตวจวัด Lidar เป็นการตรวจวัดที่คิดอิทธิพลของมลพิษอากาศที่เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งในเดือนมีนาคม ปี 2560 เป็นช่วงเวลาที่มีการเผาชีวมวล และไฟป่าสูงกว่าเดือนอื่น ๆ ทำให้ปริมาณฝุ่นละอองหรือละอองลอยดูดกลืนและกระเจิงแสงจากดวงอาทิตย์ ส่งผลต่อระดับความสูง PBL (Chotamonsak et al.,2018) ในขณะที่ข้อมูล ECMWF ไม่ได้คิดอิทธิพลของมลพิษดังกล่าวจึงทำให้ในการเปรียบเทียบรายฤดูกาลมีความสัมพันธ์ที่แตกต่างกัน

Root mean square error (RMSE)

คำนวณได้ดังสูตรต่อไปนี้

$$RMSE = \sqrt{\frac{(a_1 - y_1)^2 + \ldots + (a_n - y_n)^2}{n}}$$

โดย a คือ ค่าข้อมูลตรวจวัด

Y คือ ค่าผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลอง

n คือ จำนวนเวลาที่ใช้ในการประมาณแบบจำลอง

จากการเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างข้อมูลตรวจวัดจริงจากสถานีตรวจวัดของกรมควบคุมมลพิษกับข้อมูล ECMWF ในเดือนมีนาคม 2016 โดยในการดึงข้อมูลในกริดตำแหน่งสถานีตรวจวัด ได้ผลดังแสดงในภาคผนวกภาพที่ 35–36 ซึ่งมีพารามิเตอร์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบคือ อุณหภูมิ และความเร็วลม พบว่าค่า ค่าสัมประสิทธิสหสัมพันธ์ของข้อมูลอุณหภูมิและความเร็วลมระหว่างข้อมูลตรวจวัดกับ ECMWF มีค่าเท่ากับ 0.92 และ 0.23 ตามลำดับ โดยมีค่า RMSE อยู่ที่ 2.67 และ 1.16 ตามลำดับ และ จากการเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างข้อมูล ECMWF และข้อมูลจากแบบจำลอง WRF ในเดือนมีนาคม 2016 ดังแสดงในภาคผนวกภาพ 37–39 ซึ่งมีพารามิเตอร์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบคือ อุณหภูมิ ความเร็วลม และความสูง PBL พบว่าค่าสัมประสิทธิสหสัมพันธ์ของข้อมูลอุณหภูมิ ความเร็วลม และความสูง PBL ระหว่างข้อมูล ECMWF และแบบจำลอง WRF มีค่าเท่ากับ 0.91, 0.26 และ 0.94 ตามลำดับ โดยมีค่า Root mean square error (RMSE) อยู่ที่ 2.06, 1.70 และ 373.65 ซึ่งจากข้อมูลแสดงเห็นว่าโดยทั่วไปข้อมูลจาก ECMWF มีค่าใกล้เคียงกับข้อมูลตรวจวัดและแบบจำลอง WRF ทั้งอุณหภูมิ ความเร็วลม

และค่าความสูง PBL อย่างไรก็ดีความเร็วลมมีค่าแตกต่างกันพอสมควร ผลจากแบบจำลอง WRF มีค่าค่อนข้างสูง แบบจำลอง ECMWF มีค่าส่วนใหญ่ต่ำกว่าค่าจากแบบจำลอง WRF และมีค่าใกล้เคียงกับค่าตรวจวัดมากกว่าค่าจากแบบจำลอง WRF ซึ่งควรมีการพัฒนาให้มีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้นในอนาคตต่อไป

วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงลักษณะอุตุนิยมวิทยามลพิษอากาศเชิงพื้นที่ และเวลา

การศึกษานี้ศึกษาลักษณะการเปลี่ยนแปลงตามเวลาทั้งการเปลี่ยนแปลงรายปี รายฤดูกาล การเปลี่ยนแปลงภายในวัน (Diurnal variation) พารามิเตอร์อุตุนิยมวิทยามลพิษอากาศที่ศึกษาการเปลี่ยนแปลงได้แก่ ความเร็วลม ความสูง PBL และ อัตราการระบาย

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Analysis)

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ จะใช้สัญลักษณ์ r แทนสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของกลุ่มตัวอย่าง และ p แทนสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของประชากร ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ใช้วัดขนาดของ ความสัมพันธ์กันระหว่างตัวแปร มี 2 ลักษณะ คือ $-1 \le r \le 1$ และ $0 \le r \le 1$

การบอกระดับหรือขนาดของความสัมพันธ์ จะใช้ตัวเลขของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ หากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีค่าเข้าใกล้ –1 หรือ 1 แสดงถึงการมีความสัมพันธ์กันในระดับสูง แต่หากมีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงถึงการมีความสัมพันธ์กันในระดับน้อย หรือไม่มีเลย สำหรับการพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) โดยทั่วไปอาจใช้เกณฑ์ ดังตาราง 3 (Dennis E. Hinkle, Wiliam Wiersma and Jur, 2003)

ตาราง 3 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r)

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r)	ระดับของความสัมพันธ์
0.90 – 1.00	มีความสัมพันธ์กันในระดับสูงมาก
0.70 – 0.90	มีความสัมพันธ์กันในระดับสูง
0.50 – 0.70	มีความสัมพันธ์กันในระดับปานกลาง
0.30 – 0.50	มีความสัมพันธ์กันในระดับต่ำ
0.00 – 0.30	มีความสัมพันธ์กันในระดับต่ำมาก

ที่มา: Dennis E. Hinkle, Wiliam Wiersma and Jur, 2003)

จากตาราง 3 เครื่องหมาย +, – หน้าตัวเลขสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ บอกถึงทิศทางของความสัมพันธ์ถ้า r มีค่าเป็นบวก หมายถึง การมีความสัมพันธ์กันไปในทิศทางเดียวกัน (ตัวแปรหนึ่งมีค่าสูงตัวแปรอีกตัวหนึ่งจะมีค่าสูง) ถ้า r มีค่าเป็นลบ หมายถึง การมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางตรงกันข้าม (ตัวแปรหนึ่งมีค่าสูงตัวแปรอีกตัวหนึ่งจะมีค่าต่ำ) ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันคำนวณได้ดังสูตรด้านล่าง

$$r_{xy} = \frac{n\sum xy - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[n\sum x^2 - (\sum x)^2][n\sum y^2 - (\sum y)^2}}$$

เมื่อ

r_{xy} = ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน

$\sum x$ = ผลรวมของข้อมูลที่วัดได้จากตัวแปรตัวที่ 1 (x)

$\sum y$ = ผลรวมของข้อมูลที่วัดได้จากตัวแปรตัวที่ 2 (y)

$\sum xy$ = ผลรวมของผลคูณระหว่างข้อมูลตัวแปรที่ 1 และ 2

$\sum x^2$ = ผลรวมของกำลังสองของข้อมูลที่วัดได้จากตัวแปรตัวที่ 1

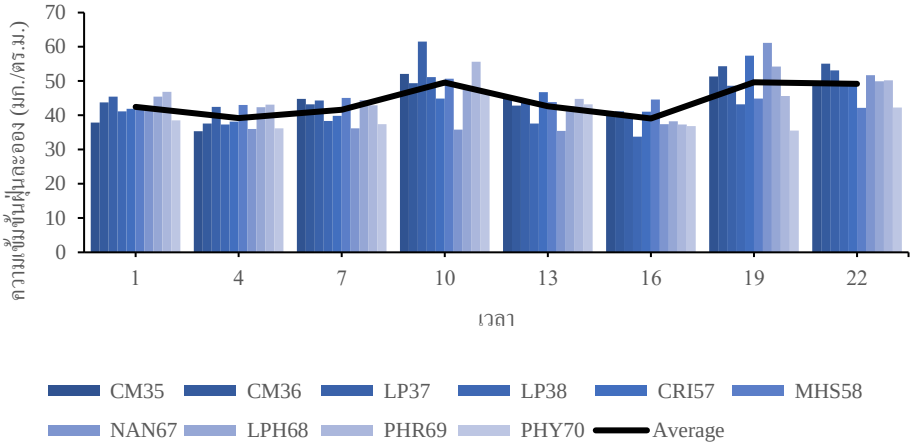
$\sum y^2$ = ผลรวมของกำลังสองของข้อมูลที่วัดได้จากตัวแปรตัวที่ 2

N = จำนวนคู่ของกลุ่มตัวอย่าง

วิเคราะห์สภาพอุตุนิยมวิทยาที่เสี่ยงต่อการเกิดปัญหาหมอกควัน

ในการวิเคราะห์สภาพอุตุนิยมวิทยาที่เสี่ยงต่อการเกิดปัญหาหมอกควัน เนื่องจากในภาคเหนือของประเทศไทยประสบปัญหาหมอกควันในช่วงฤดูร้อนได้แก่เดือนกุมภาพันธ์ มีนาคม และเมษายน โดยพิจารณาจากข้อมูลปริมาณฝุ่นละอองราย 3 ชั่วโมงจากกรมควบคุมมลพิษ ทั้งหมด 10 สถานีในภาคเหนือของประเทศไทย ดังแสดงในภาพ 12 จะเห็นได้ว่าค่าเฉลี่ยแต่ละสถานีจะมีค่าสูงในช่วงเวลา 10.00 น. และ 19.00 น. เพื่อให้ทราบถึงสาเหตุที่เกิดขึ้น ในการศึกษานี้จึงศึกษาลักษณะการเปลี่ยนแปลง และความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงรายปี รายฤดูกาล และภายในวัน ของสภาพอุตุนิยมวิทยาต่อความเข้มข้นฝุ่นละอองด้วย แล้วนำมาวิเคราะห์ทางสถิติ ได้แก่ ค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient) โดยมีพารามิเตอร์ที่สนใจได้แก่ ความสูง PBL ความเร็วลม การระบายอากาศ และปริมาณจุดความร้อน (Hotspot) เพื่อให้ทราบถึงปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นฝุ่นละออง และนำไปสู่ความเสี่ยงที่ทำให้เกิดการสะสมของปริมาณฝุ่นละอองและปัญหาหมอกควัน การศึกษาในครั้งนี้จึงใช้กราฟแสดงค่าฟังก์ชั่นความหนาแน่น

(probability density function: PDF) ร่วมกับ Linear regression เพื่อพิจารณาความสัมพันธ์โอกาสการเกิด และความถี่การเกิดของปัญหาฝุ่นละออง เพื่อกำหนดเกณฑ์ความเสี่ยงของพารามิเตอร์อุตุนิยมวิทยาที่มีผลต่อปัญหาฝุ่นละอองภาคเหนือ



ภาพ 12 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นฝุ่นละอองราย 3 ชั่วโมง ของแต่ละสถานีตรวจวัดในภาคเหนือ ประเทศไทย

บทที่ 4

ผลการศึกษา

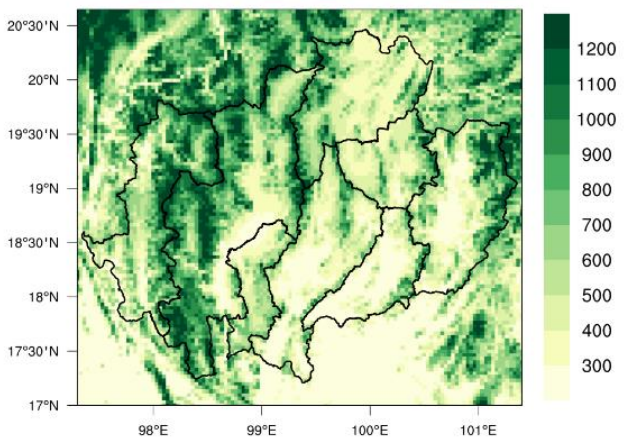
การเปลี่ยนแปลงตามพื้นที่ (Spatial variation) ของลักษณะอุตุนิยมวิทยามลพิษอากาศที่มีผลต่อปัญหาหมอกควัน บริเวณภาคเหนือของประเทศไทย

สภาพอุตุนิยมวิทยาภาคเหนือมีการเปลี่ยนแปลงตามพื้นที่ ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยทั้งจากการเปลี่ยนแปลงสภาพอุตุนิยมวิทยาระดับภูมิภาคและ ที่สำคัญอิทธิพลของสภาพภูมิประเทศซึ่งภาคเหนือประเทศไทยมีลักษณะภูมิประเทศเป็นภูเขาสลับซับซ้อน (ภาพ 13) การศึกษานี้ใช้ข้อมูลสภาพอุตุนิยมวิทยาจากชุดข้อมูล ECMWF reanalysis data (European Center for Medium-range Weather Forecasts) ตั้งแต่ปีพ.ศ. 2532 ถึง 2561 ข้อมูลลักษณะสภาพอากาศหลักที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงมลพิษอากาศที่นำมาวิเคราะห์ ได้แก่ การระบายมลพิษ ความสูงชั้น Planetary boundary layer (PBL) ความเร็วลม (ภาพ 14) ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีผลเอื้อต่อการสะสมของมลพิษ หรือช่วยในการระบายมลพิษได้ ผลการวิเคราะห์ข้อมูลค่าเฉลี่ยทั้งภาคเหนือของความสูง PBL อยู่ที่ 480$\pm$40 เมตร ความเร็วลม (wind speed) อยู่ที่ 1.29$\pm$0.11 เมตร/วินาที การระบายอากาศ (Ventilation coefficient) อยู่ที่ 638$\pm$81 ตร.ม./วินาที และการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ (solar radiation) อยู่ที่ 5.25$\pm$0.22 เมกะจูลต่อตร.ม.

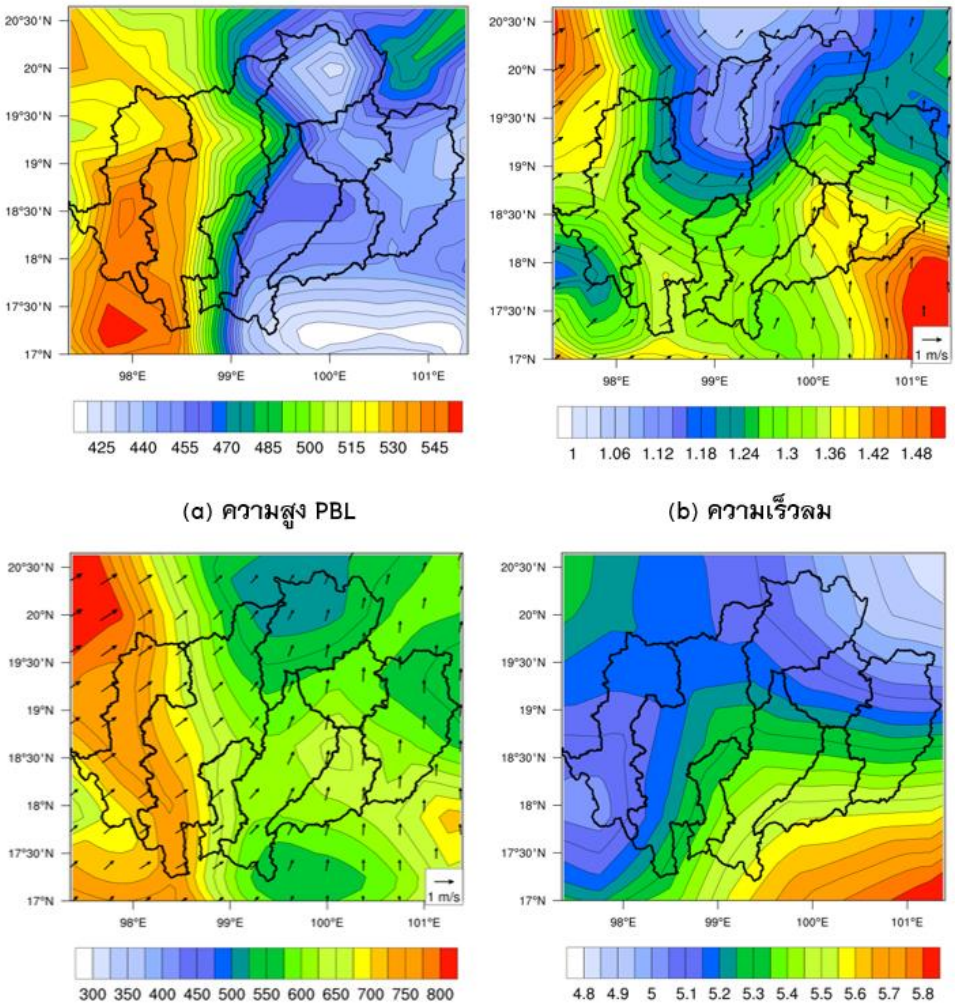
ภาคเหนือประเทศไทยมีภูมิประเทศส่วนใหญ่เป็นภูเขาสลับซับซ้อนดังภาพ 13 โดยมีทิวเขาจอมทองอยู่ทางทิศตะวันตก วางตัวทอดยาวตามแนวทิศเหนือใต้ ตามแนวจังหวัดแม่ฮ่องสอน-เชียงใหม่ ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลอุตุนิยมวิทยามลพิษอากาศที่มีค่าสูงกว่าค่าเฉลี่ย (ภาพ 14) ในบริเวณตะวันตกของภาคเหนือ มีค่าความสูง PBL อยู่ที่ 530$\pm$40 เมตร ซึ่งสูงกว่าค่าเฉลี่ยประมาณ 10% ในส่วนค่าความเร็วลมมีค่าความเร็วลมอยู่ที่ 1.36$\pm$0.11 เมตร/วินาที สูงกว่าค่าเฉลี่ยประมาณ 5.6% จะเห็นได้ว่าในบริเวณที่มีภูเขาหรือพื้นที่ราบสูงมีค่าความสูง PBL และค่าความเร็วลมที่สูง ส่งผลให้ค่าการระบายมลพิษอากาศมีค่าสูงในบริเวณดังกล่าวที่ 775$\pm$81 ตร.ม./วินาที โดยมีค่าสูงกว่าค่าเฉลี่ยประมาณ 21.50% ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Zhao et al.,2019 ที่ศึกษาการเปลี่ยนแปลงตามพื้นที่ของลักษณะอุตุนิยมวิทยาในประเทศจีน พบว่าค่าความสูง PBL และความเร็วลมสูงในบริเวณภูเขาหรือพื้นที่ราบสูงเนื่องจากได้รับการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์เป็นระยะเวลานานกว่าพื้นที่ราบทำให้เกิดการสะสมความร้อนซึ่งนำไปสู่การพัฒนาของความสูง PBL ในบริเวณทางตอนใต้ของจีน (Zhang el al., 2008) อย่างไรก็ตาม

ในงานวิจัยของ Zhao et al.,2019 ได้กล่าวว่าในการคำนวณของความสูง PBL ในพื้นที่ราบสูงอาจมีความไม่แน่นอนสูงเนื่องจากความแตกต่างของข้อมูล (Yang et al., 1987; Xu et al.,2009)

ในขณะที่บริเวณตะวันออกของภาคเหนือ พบว่าลักษณะอุตุนิยมวิทยามีค่าต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบในบริเวณตะวันตก ซึ่งมีลักษณะอุตุนิยมวิทยามลพิษอากาศต่ำที่สุดในบริเวณตะวันออกเฉียงเหนือ โดยมีค่าความสูง PBL อยู่ที่ประมาณ 425±40 เมตร ซึ่งต่ำกว่าค่าเฉลี่ยประมาณ 11% ในส่วนของค่าความเร็วลมอยู่ที่ประมาณ 1.06±0.11 เมตร/วินาที ซึ่งต่ำกว่าค่าเฉลี่ยประมาณ 17.65% ทำให้ค่าการระบายอากาศมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 525±81 ตร.ม./วินาที ซึ่งต่ำกว่าค่าเฉลี่ยประมาณ 17.70% จะเห็นได้ว่าในบริเวณตะวันออกมีค่าลักษณะอุตุนิยมวิทยามลพิษอากาศที่ต่ำกว่าเมื่อเทียบกับบริเวณภาคตะวันตก ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากในบริเวณพื้นที่สูงได้รับอิทธิผลจากการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ที่สูง ซึ่งจากข้อมูลการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ค่าเฉลี่ยรายปีถึงแม้ว่าบริเวณพื้นราบด้านตะวันออกเฉียงใต้ของภาคเหนือจะมีค่าสูงกว่าด้านตะวันตก (ภาพ 14d) แต่เมื่อพิจารณารายละเอียดเชิงฤดูกาลพบว่าในฤดูร้อนที่เป็นช่วงความสูง PBL สูง ค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์บริเวณพื้นที่ภูเขามีค่าสูงกว่าด้านตะวันออกที่เป็นพื้นราบ (ภาพ 14d) ส่งผลให้ด้านตะวันตกมีความสูง PBL ที่สูงกว่าด้านตะวันออกสูง (ภาพ 14a) ในขณะที่ฤดูกาลอื่นการเปลี่ยนแปลง PBL ตามพื้นที่น้อย สำหรับการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ในพื้นที่ภูเขาโดยทั่วไปได้รับรังสีสูงกว่า แต่ในฤดูฝนพบว่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ด้านตะวันตกมีค่าต่ำกว่าด้านตะวันออกที่เป็นพื้นราบ อาจเนื่องจากพื้นที่ด้านตะวันตกเป็นภูเขาสูงและมีพื้นที่เป็นป่ามากอาจมีปริมาณเมฆฝนที่สูงกว่า ทำให้บดบังแสงมากกว่าในช่วงฤดูฝนทำให้มีปริมาณการแผ่รังสีดวงอาทิตย์น้อยกว่า



ภาพ 13 ลักษณะภูมิประเทศในบริเวณภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย



(a) ความสูง PBL (b) ความเร็วลม

ภาพ 14 การเปลี่ยนแปลงรายปีเฉลี่ย 30 ปี ช่วงปีปีพ.ศ. 2532 ถึง 2561 ของ (a) ความสูง PBL (m), (b) ความเร็วลม (m/s), (c) อัตราการระบาย (m^3/s) และ (d) การแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ (MJ/m^3)

การเปลี่ยนแปลงรายปี (Annual variation) ของลักษณะอุตุนิยมวิทยามลพิษอากาศบริเวณภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย

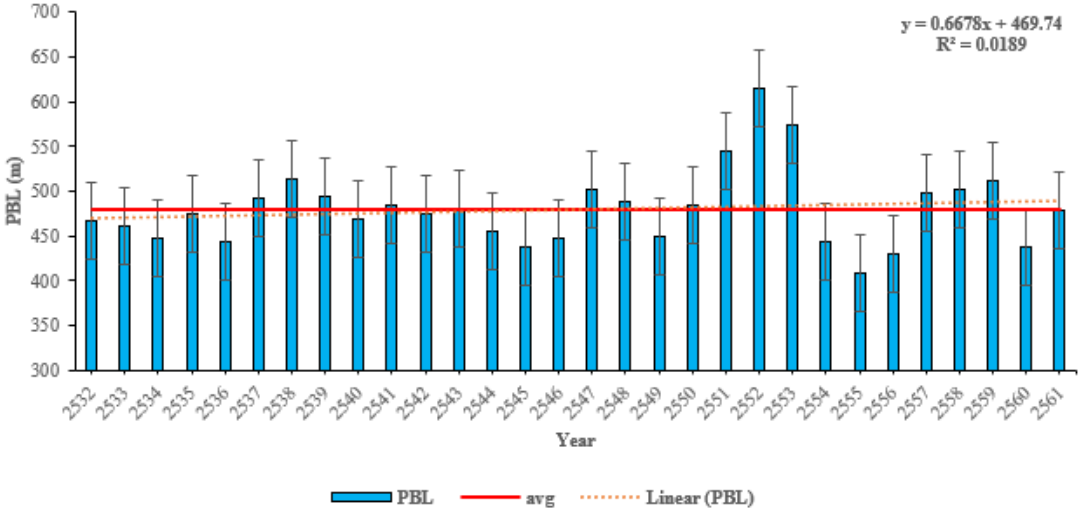
การเปลี่ยนแปลงรายปีของอุตุนิยมวิทยามลพิษอากาศค่าเฉลี่ยในพื้นที่ภาคเหนือประเทศไทยในรอบ 30 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2532 ถึง 2561 แสดงดังภาพ 15 จากการวิเคราะห์ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงค่าความสูง PBL (ภาพ 15a) พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงรายปีพอสมควร มีค่า PBL ค่าเฉลี่ยรายปีอยู่ในช่วง 408–614 เมตร ค่าเฉลี่ย PBL 30 ปี มีค่าเท่ากับ 480±43 เมตร ปี พ.ศ. 2555 พบความสูง PBL มีค่าต่ำสุดมีค่า 408 เมตร ซึ่งต่ำกว่าค่าเฉลี่ย 15.02% ในขณะที่ปี พ.ศ. 2552 พบความสูง PBL มีค่าสูงสุด มีค่า 614 เมตร ซึ่งสูงกว่าค่าเฉลี่ย 27.94% ลักษณะการเปลี่ยนแปลงมีการเปลี่ยนแปลง PBL เพิ่มขึ้นและลดลงเป็นรอบ (Cycle) โดยช่วงปีตั้งแต่ พ.ศ. 2543 มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงมากขึ้น ช่วงปี พ.ศ. 2544–2546 พบความสูง PBL มีค่าต่ำ (ต่ำกว่าค่าเฉลี่ย 5.23%, 8.68% และ 6.88% ตามลำดับ) หลังจากนั้นค่าความสูง PBL มีค่าสูงขึ้น ค่าสูงชัดเจนในช่วงปี พ.ศ. 2551–2553 (สูงกว่าค่าเฉลี่ย 13.31%, 27.94% และ 19.35% ตามลำดับ) แล้วค่ากลับมาต่ำอย่างชัดเจนช่วงปี พ.ศ. 2554–2556 (ต่ำกว่าค่าเฉลี่ย 7.59%, 15.02% และ 10.43% ตามลำดับ) แล้วมีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่าค่าเฉลี่ยในช่วงปีถัดมา พ.ศ. 2557–2559 (สูงกว่าค่าเฉลี่ย 3.73%, 4.56% และ 6.65% ตามลำดับ)

การเปลี่ยนแปลงความเร็วลมรายปี จากภาพ 15b พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงสูง มีค่าความเร็วลมเฉลี่ยรายปีอยู่ในช่วง 0.96–1.86 เมตร/วินาที ค่าเฉลี่ยความเร็วลม 30 ปี มีค่าเท่ากับ 1.29±0.26 เมตร/วินาที ปี พ.ศ.2555 พบความเร็วลมต่ำสุดมีค่า 0.96 เมตร/วินาที ต่ำกว่าค่าเฉลี่ย 25.41% ในขณะที่ปี พ.ศ. 2553 พบความเร็วลมมีค่าสูงสุด มีค่า 1.86 เมตร/วินาที ซึ่งสูงกว่าค่าเฉลี่ย 44.51% ลักษณะการเปลี่ยนแปลงมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วลมที่เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนในช่วงปีตั้งแต่ พ.ศ.2543 มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงลดลง ช่วงปี พ.ศ. 2543–2545 พบความเร็วลมมีค่าต่ำ (ต่ำกว่าค่าเฉลี่ย 8.81%, 9.83% และ 16.33% ตามลำดับ) หลังจากนั้นค่าความเร็วลมมีค่าสูงขึ้น ค่าสูงชัดเจนในช่วงปี พ.ศ. 2551–2554 (สูงกว่าค่าเฉลี่ย 36.31%, 41.58%, 44.47% และ 37.98%% ตามลำดับ) จากข้อมูลค่าความสูง PBL และค่าความเร็วลมจะเห็นได้ว่ามีความสอดคล้องกันโดยมีค่าสัมประสิทธิสหสัมพันธ์ (Correlation) อยู่ที่ 0.58

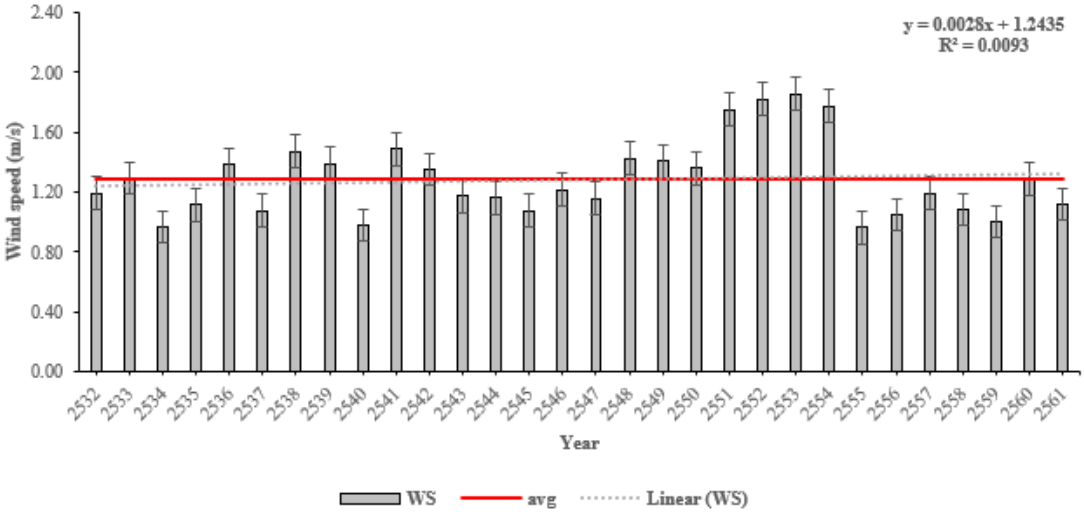
การเปลี่ยนแปลงการระบายอากาศรายปี จากภาพ 15c พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงสูง มีค่าการระบายอากาศเฉลี่ยรายปีอยู่ในช่วง 170–1,106 ตร.ม./วินาที ค่าเฉลี่ยการระบายอากาศ 30 ปี มีค่าเท่ากับ 446±218 ตร.ม./วินาที ปี พ.ศ.2555 พบการระบายอากาศต่ำสุดมีค่า 170 ตร.ม./วินาที ต่ำกว่าค่าเฉลี่ย 61.91% ในขณะที่ปี พ.ศ.2552 พบการระบายอากาศมีค่าสูงสุด มีค่า 1,106 ตร.ม./วินาที ซึ่งสูงกว่าค่าเฉลี่ย 147.81% ลักษณะการเปลี่ยนแปลงมีการ

เปลี่ยนแปลงการระบายอากาศที่เพิ่มขึ้น เช่นเดียวกันกับค่าความเร็วลม โดยช่วงปีตั้งแต่ พ.ศ. 2543 มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงลดลง ช่วงปี พ.ศ. 2543-2545 พบการระบายอากาศมีค่าต่ำ (ต่ำกว่าค่าเฉลี่ย 18.39%, 25.51% และ 26.0% ตามลำดับ) หลังจากนั้นค่าการระบายอากาศมีค่าสูงขึ้น ค่าสูงชัดเจนในช่วงปี พ.ศ. 2551-2554 (สูงกว่าค่าเฉลี่ย 43.34%, 76.14%, 67.66% และ 23.99% ตามลำดับ) จากข้อมูลความสูง PBL และค่าการระบายอากาศจะเห็นได้ว่ามีความสอดคล้องกันโดยมีค่า Correlation อยู่ที่ 0.80 และความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลม และการระบายอากาศมีค่า Correlation อยู่ที่ 0.92

จากข้อมูลข้างต้นจะเห็นได้ว่าค่าความสูง PBL จะสูงขึ้นก็ต่อเมื่อความเร็วลม และการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์มีค่าสูงขึ้น เนื่องมาจากความเร็วลม และการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ที่ทำให้เกิดการสะสมพลังงานความร้อนบริเวณผิวดิน เกิดการผสมของมวลอากาศ และพัฒนาความปั่นป่วนบรรยากาศ ส่งผลให้เพิ่มความสูง PBL (Shaik Allabakash and Sanghun Lim,2020; Pan et al.,2019; Zhao et al.,2019; Miao et al.,2012; Tie et al.,2007) ซึ่งการเพิ่มขึ้นของค่าความเร็วลมสอดคล้องกับงานวิจัยของ Zhao et al.,2019 และ Ye et al.,2008 พบค่าความเร็วลมที่สูงขึ้นในบริเวณตะวันตกเฉียงใต้ในประเทศจีนส่งผลให้ค่าความสูง PBL มีค่าสูงขึ้น รวมถึงค่าการระบายมลพิษอากาศที่ได้รับอิทธิพลจากค่าความสูง PBL และค่าความเร็วลมที่สูง จึงทำให้ค่าการระบายมลพิษอากาศมีค่าสูงขึ้นด้วยเช่นกัน

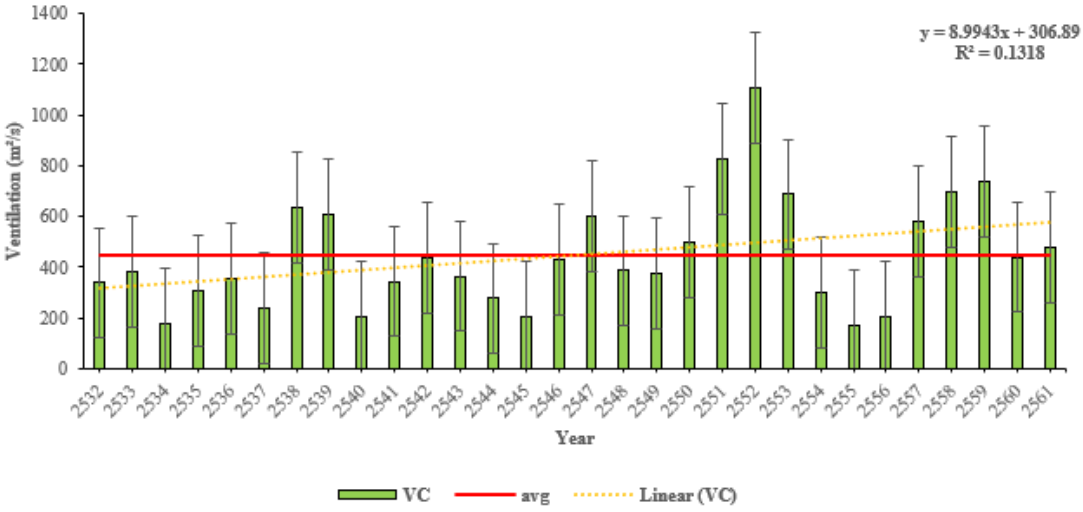


(a) ความสูง PBL

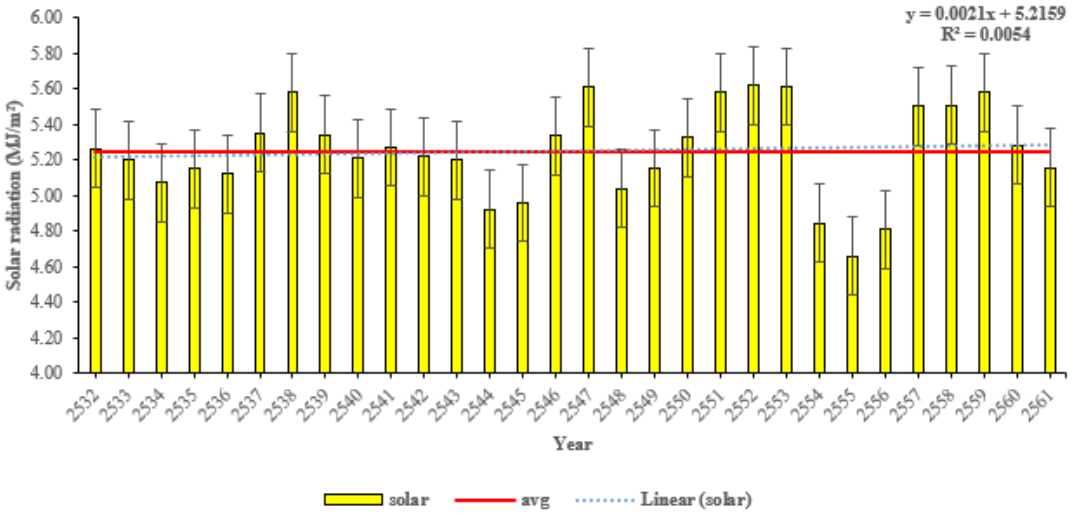


(b) ความเร็วลม

ภาพ 15 การเปลี่ยนแปลงรายปีของ a) ความสูง PBL b) ความเร็วลม c) การระบายอากาศ และ d) การแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ เฉลี่ยทั้งภาคเหนือ 30 ปี



(c) อัตราการระบาย



(d) การแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์

ภาพ 15 (ต่อ)

การเปลี่ยนแปลงรายฤดูกาล (Seasonal variation) ของลักษณะอุตุนิยมวิทยามลพิษอากาศบริเวณภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย

จากภาพ 16 แสดงการเปลี่ยนแปลงของสภาพอุตุนิยมวิทยามลพิษอากาศในภาคเหนือของประเทศไทยในเดือนต่าง ๆ โดยแบ่งเป็น 3 ฤดู ได้แก่ ฤดูร้อน (กุมภาพันธ์–พฤษภาคม) ฤดูฝน (มิถุนายน–กันยายน) และฤดูหนาว (ตุลาคม–มกราคม) โดยทั่วไปการระบายมลพิษอากาศและความสูง PBL จะสูงในฤดูร้อน เนื่องจากได้รับการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์สูง ทำให้มีการหมุนเวียนอากาศ การแลกเปลี่ยนความร้อน และเกิดการปั่นป่วนของบรรยากาศ ส่งผลให้ความสูง PBL สูง

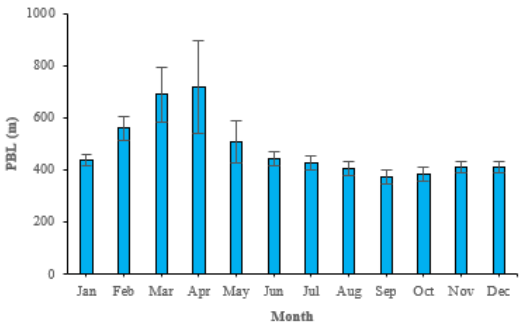
ลักษณะสภาพอุตุนิยมวิทยามลพิษอากาศในฤดูร้อน (กุมภาพันธ์–พฤษภาคม) พบการเปลี่ยนแปลงในส่วนของค่าความสูง PBL มีค่าเฉลี่ยในฤดูร้อนอยู่ที่ 619 เมตร โดยพบว่าในเดือนเมษายนมีค่าความสูง PBL สูงสุดอยู่ที่ 718 เมตร รองลงมาได้แก่ เดือนมีนาคม กุมภาพันธ์ และพฤษภาคม ที่ 690, 559, และ 509 ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ย PBL ทุกเดือนมีค่าอยู่ที่ 480 เมตร จะเห็นได้ว่าเดือนเมษายนมีค่าสูงกว่าค่าเฉลี่ยทั้งปีอยู่ที่ 49.65% และรองลงมาได้แก่ เดือนมีนาคม กุมภาพันธ์ และพฤษภาคม ที่ 43.65%, 16.38%, และ 5.92% ซึ่งสอดคล้องกับค่าความเร็วลมที่สูงกว่าค่าเฉลี่ย และโดยเฉพาะค่าการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ที่สูงกว่าค่าเฉลี่ยทั้งปี ในเดือนเมษายนอยู่ที่ 41.56% และรองลงมาได้แก่ เดือนมีนาคม กุมภาพันธ์ และพฤษภาคม ที่ 37.57%, 21.39%, และ 6.23% ตามลำดับ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Zhao et al.,2019 ที่ศึกษาการเปลี่ยนแปลงความสูง PBL รายฤดูกาลในประเทศจีนโดยพบว่าในฤดูร้อนได้รับปริมาณรังสีจากดวงอาทิตย์เพิ่มขึ้นนำไปสู่การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิพื้นดินที่สูงขึ้น และมีความเร็วลมเพิ่มขึ้นซึ่งเอื้อต่อความปั่นป่วนของชั้นบรรยากาศและการพัฒนาของความสูง PBL ที่เพิ่มขึ้น (Miao et al.,2012) และจากภาพ 16a ในเดือนเมษายนพบค่าความสูง PBL มีค่าสูงในบริเวณตะวันตกของภาคเหนือ ได้แก่จังหวัดแม่ฮ่องสอนและเชียงใหม่ โดยมีค่าความสูง PBL อยู่ที่ 960 เมตร และ 820 เมตร ซึ่งสูงกว่าค่าเฉลี่ย 33.70% และ 14.21% ซึ่งสอดคล้องกับค่าการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ที่มีค่าสูงในบริเวณตะวันตก ได้แก่จังหวัดแม่ฮ่องสอน และเชียงใหม่เช่นเดียวกัน โดยมีค่าการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์อยู่ที่ 8.25 เมกะจูลต่อตร.ม. และ 7.75 เมกะจูลต่อตร.ม. ซึ่งสูงกว่าค่าเฉลี่ย 11.03% และ 4.31% จะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความสูง PBL จากสภาพอุตุนิยมวิทยาในฤดูร้อนที่มีลักษณะความสูง PBL ค่าสูงที่สุด และ ความเร็วลมสูงพอสมควร ทำให้ช่วงฤดูร้อนมีค่าการระบายสูงที่สุดในเดือนเมษายน รองลงมาเดือนมีนาคม และกุมภาพันธ์ มีค่าเท่ากับ 1,072, 1,042 และ 682 ตร.ม./วินาที ซึ่งมากกว่าค่าเฉลี่ยทั้งปี

68.05%, 63.31 และ 6.92% ตามลำดับ ส่งผลให้ความเสี่ยงต่อปัญหามลพิษอากาศจากลักษณะอุตุนิยมวิทยาในช่วงฤดูร้อนน้อยกว่าฤดูกาลอื่น

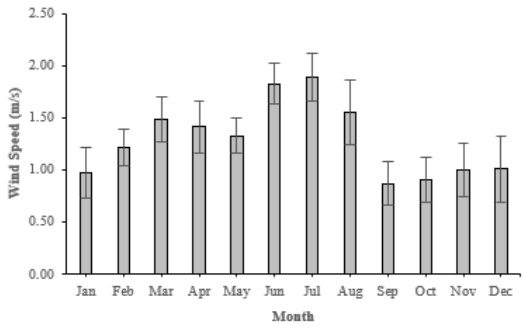
ลักษณะสภาพอุตุนิยมวิทยาในฤดูฝน (มิถุนายน–กันยายน) พบความเร็วลมมีค่าเฉลี่ยในฤดูฝนอยู่ที่ 1.53 เมตร/วินาที โดยในเดือนกรกฎาคมมีค่าความเร็วลมสูงที่สุดอยู่ที่ 1.89 เมตร/วินาที รองลงมาได้แก่ เดือนมิถุนายน สิงหาคม ที่ 1.83, 1.55 เมตร/วินาที ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความเร็วลมเฉลี่ยทุกเดือนมีค่าอยู่ที่ 1.29 เมตร/วินาที จะเห็นได้ว่าในเดือนกรกฎาคมมีค่าสูงกว่าค่าเฉลี่ยทั้งปีอยู่ที่ 46.66% และรองลงมาได้แก่ เดือนมิถุนายน สิงหาคม ที่ 41.80% และ 20.41% เนื่องจากในฤดูฝนมีความถี่ของฝนตกหรือสภาพอากาศที่มีปริมาณเมฆมาก และมีความชื้นสูงส่งผลให้อุณหภูมิพื้นผิวต่ำและทำให้การพัฒนาของความสูง PBL ในช่วงฤดูฝนต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับฤดูร้อน (Miao et al.,2012) โดยมีค่าเฉลี่ยในช่วงฤดูฝนของค่าความสูง PBL อยู่ที่ 412 เมตร ซึ่งต่ำกว่าค่าเฉลี่ยทุกเดือน 14.17% แม้ว่าค่าความสูง PBL จะมีค่าต่ำกว่าค่าเฉลี่ยแต่เนื่องด้วยมีความเร็วลมที่สูง จึงส่งผลให้ค่าการระบายมลพิษอากาศมีค่าสูง และจากภาพที่ 5b ในเดือนกรกฎาคมพบว่าค่าความเร็วลมมีค่าสูงในบริเวณตอนกลางจากตะวันตกไปตะวันออกของภาคเหนือ โดยมีค่าความเร็วลมอยู่ที่ประมาณ 2.0 เมตร/วินาที ซึ่งสูงกว่าค่าเฉลี่ย 55.39% นอกจากนี้พบเดือนที่มีการระบายต่ำสุดในเดือนกันยายนมีค่าการระบายเท่ากับ 192 ตร.ม./วินาที ต่ำกว่าค่าเฉลี่ยทั้งปีเท่ากับ 65.09% ทั้งนี้เนื่องจากเดือนกันยายนเดือนที่มีค่าความเร็วลมต่ำสุดมีความเร็วลมเท่ากับ 0.87 เมตร/วินาที ต่ำกว่าค่าเฉลี่ยทั้งปี 32.56% และค่าความสูง PBL เท่ากับ 372 เมตร ต่ำกว่าค่าเฉลี่ยทั้งปี 22.61% ทั้งนี้เนื่องจากเดือนนี้มีการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ต่ำ เท่ากับ 3.81 เมกะจูล/ตร.ม. ต่ำกว่าค่าเฉลี่ยทั้งปี 27.41% นอกจากนี้ความเร็วลมต่ำในเดือนนี้อาจเนื่องจากเป็นช่วงเปลี่ยนฤดูกาลทำให้ลมเปลี่ยนทิศทางและมีความเร็วลมต่ำดังเห็นได้จากภาพ 17b ถึงแม้เดือนกันยายนเป็นเดือนที่มีความเสี่ยงสูงต่อการสะสมมลพิษอากาศจากค่าการระบายต่ำ แต่เดือนนี้เป็นฤดูฝนที่มีปริมาณฝนตกสูง โดยทั่วไปจึงมีปัญหามลพิษอากาศต่ำ

ลักษณะอุตุนิยมวิทยาในฤดูหนาว (ตุลาคม–มกราคม) พบความสูง PBL ความเร็วลม การระบายอากาศ และการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์มีค่าต่ำกว่าค่าเฉลี่ยทุกพารามิเตอร์ โดยในเดือนที่ทุกพารามิเตอร์มีค่าต่ำที่สุดในฤดูหนาวได้แก่ เดือนตุลาคม โดยมีค่าความสูง PBL อยู่ที่ 384 เมตร ค่าความเร็วลมอยู่ที่ 0.90 เมตร/วินาที ค่าการระบายอากาศอยู่ที่ 341 ตร.ม./วินาที และการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์อยู่ที่ 4.79 เมกะจูล/ตร.ม. ซึ่งต่ำกว่าค่าเฉลี่ยทั้งปีอยู่ที่ 20.06%, 30.0%, 46.49% และ 8.80% ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Zhao et al.,2019 พบว่าในฤดูหนาวค่าการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์มีค่าลดลงจึงทำให้การไหลเวียนอากาศ และความ

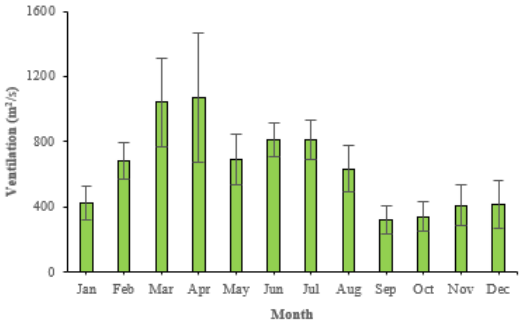
ปั่นป่วนของบรรยากาศลดต่ำลง และพบค่าความสูง PBL ลดลงอย่างรวดเร็วในมณฑลซินเจียง 29.3% มองโกเลีย 25.2% และภาคตะวันออกเฉียงเหนือของจีน 29.3% โดยในเดือนตุลาคม พบค่าความสูง PBL มีค่าอยู่ที่ 384 เมตร รองลงมาได้แก่เดือนพฤศจิกายน ธันวาคม และ มกราคม ที่ 408, 409 และ 437 เมตร ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความสูง PBL เฉลี่ยทั้งปีมีค่าอยู่ที่ 480 เมตร จะเห็นได้ว่าในเดือนตุลาคมมีค่าต่ำกว่าค่าเฉลี่ยทั้งปีอยู่ที่ 20.06 % รองลงมาได้แก่เดือนพฤศจิกายน ธันวาคม และมกราคม ที่ 15.01%, 14.71%, และ 8.91% ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ในฤดูหนาวที่มีค่าต่ำสุดในเดือนตุลาคม โดยค่าการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์อยู่ที่ 4.79 เมกะจูล/ตร.ม. รองลงมาได้แก่เดือนพฤศจิกายน ธันวาคม และมกราคม ที่ 5.01, 5.18, และ 5.29 เมกะจูล/ตร.ม. ซึ่งมีค่าต่ำกว่าค่าเฉลี่ยทั้งปีอยู่ที่ 8.80% รองลงมาได้แก่เดือนพฤศจิกายน ธันวาคม และมกราคม ที่ 4.56 %, 1.40% และ 0.72% ตามลำดับ นอกจากนี้พบเดือนที่มีการระบายอากาศช่วงฤดูหนาวต่ำสุดในเดือนตุลาคม มีค่าการระบายเท่ากับ 341 ตร.ม./วินาที ต่ำกว่าค่าเฉลี่ยทั้งปีเท่ากับ 46.49% ทั้งนี้เนื่องจากในเดือนตุลาคมเป็นเดือนที่มีค่าความเร็วลมต่ำสุดในฤดูหนาวมีค่าความเร็วลมเท่ากับ 0.90 เมตร/วินาที ต่ำกว่าค่าเฉลี่ยทั้งปี 30.0% และพบว่าในเดือนตุลาคมมีค่าความสูง PBL ที่ต่ำที่สุดในฤดูหนาว มีค่าเท่ากับ 384 เมตร ซึ่งสาเหตุที่เดือนนี้มีค่าความสูง PBL ต่ำมาจากการที่มีค่าการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ที่ต่ำที่สุดในฤดูหนาวที่ 4.79 เมกะจูล/ตร.ม. ซึ่งมีค่าต่ำกว่าค่าเฉลี่ยทั้งปีที่ 8.80% ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ค่าความสูง PBL ต่ำส่งผลให้การระบายอากาศมีค่าต่ำที่สุดในฤดูหนาว



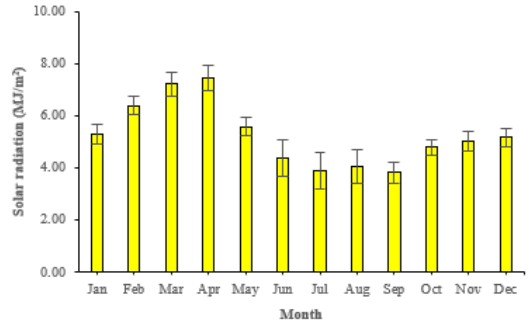
(a) ความสูง PBL



(b) ความเร็วลม

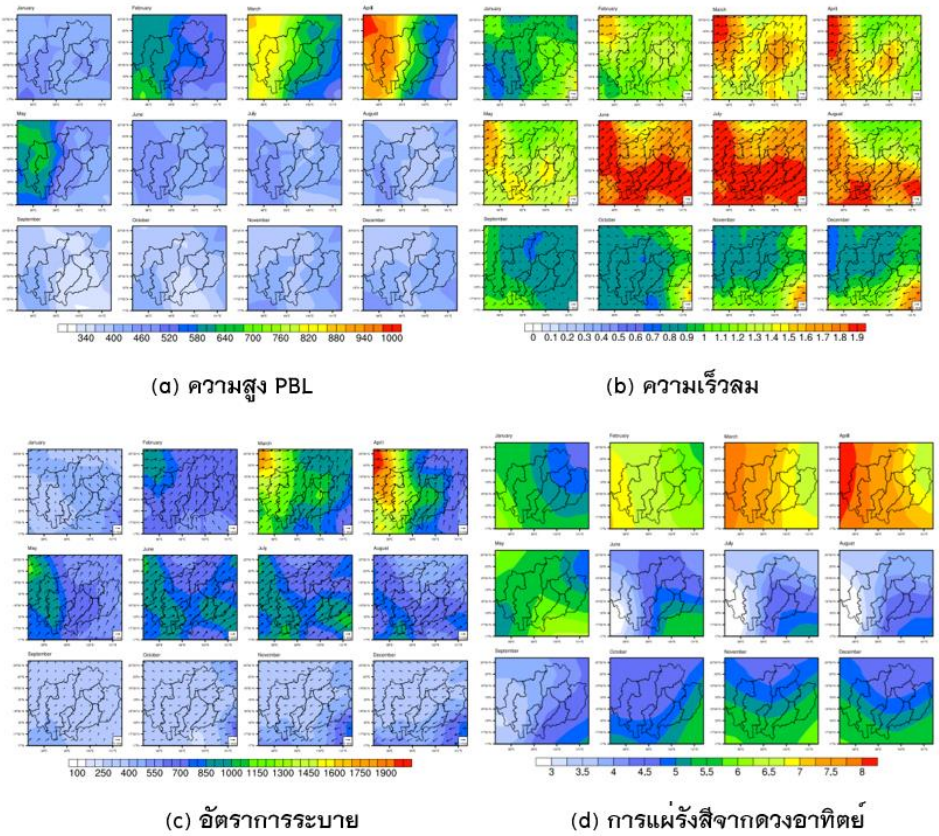


(c) อัตราการระบาย



(d) การแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์

ภาพ 16 การเปลี่ยนแปลงเชิงเวลารายฤดูกาลเฉลี่ย 30 ปี ของ a) ความสูง PBL (เมตร) b) ความเร็วลม (เมตร/วินาที) c) การระบายอากาศ (ตร.ม./วินาที) และ d) การแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ (เมกะจูล/ตร.ม.)



(a) ความสูง PBL (b) ความเร็วลม

(c) อัตราการระบาย (d) การแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์

ภาพ 17 การเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่รายฤดูกาลเฉลี่ย 30 ปี ของ a) ความสูง PBL (เมตร) b) ความเร็วลม (เมตร/วินาที) c) การระบายอากาศ (ตร.ม./วินาที) และ d) การแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ (เมกะจูล/ตร.ม.)

การเปลี่ยนแปลงภายในวัน (Diurnal variation) ของลักษณะอุตุนิยมวิทยามลพิษอากาศบริเวณภาคเหนือของประเทศไทย

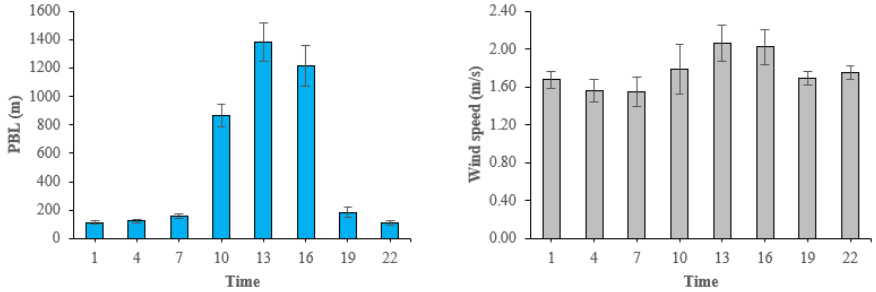
จากภาพ 18 แสดงการเปลี่ยนแปลงภายในวันของลักษณะอุตุนิยมวิทยามลพิษอากาศในภาคเหนือ ได้แก่ ความสูง PBL ความเร็วลม การระบายอากาศ และการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ ที่เวลา 01.00 น. 04.00 น. 07.00 น. 10.00 น. 13.00 น. 16.00 น. 19.00 น. และ 22.00 น. ตามลำดับ จากภาพจะเห็นได้ว่าสภาพอุตุนิยมวิทยามลพิษอากาศมีการเปลี่ยนแปลงสูงภายในวัน โดยทั่วไปมีค่าสูงตอนกลางวันและมีค่าต่ำตอนกลางคืน ความสูง PBL มีค่าเฉลี่ย 519 เมตร มีค่าสูงสุดที่เวลา 13.00 น. มีค่า 1,383 เมตร และมีค่าต่ำสุดที่เวลา 22.00 น. มีค่า 111 เมตร ความเร็วลมมีค่าเฉลี่ย 1.76 เมตร/วินาที มีค่าสูงสุดที่เวลา 13.00 น. มีค่า 2.06 เมตร/วินาที และมีค่าต่ำสุดที่เวลา 07.00 น. มีค่า 1.55 เมตร/วินาที การระบายอากาศ มีค่าเฉลี่ย 996 ตร.ม./วินาที มีค่าสูงสุดที่เวลา 13.00 น. มีค่า 2,841 ตร.ม./วินาที และมีค่าต่ำสุดที่เวลา 01.00 น. มีค่า 190 ตร.ม./วินาที และการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์มีค่าเฉลี่ย 5.24 เมกะจูล/ตร.ม. มีค่าสูงสุดที่เวลา 16.00 น. มีค่า 15.25 เมกะจูล/ตร.ม. และมีค่าต่ำสุดที่เวลา 07.00 น. มีค่า 2.97 เมกะจูล/ตร.ม. (ยกเว้นในช่วงเวลา 19.00–04.00 น. เนื่องจากไม่มีการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์)

จากการวิเคราะห์ลักษณะอุตุนิยมวิทยาช่วงเวลากลางคืน พบการเปลี่ยนแปลงลักษณะอุตุนิยมวิทยาในช่วง 22.00–07.00 น. มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยเนื่องจากเป็นช่วงเวลาที่อากาศสงบ และไม่มีพลังงานจากการแผ่รังสีจากดวงอาทิตยแสงจากดวงอาทิตย์ทำให้เกิดกระบวนการที่ทำให้บรรยากาศเกิดการปั่นป่วนน้อย ส่งผลให้ค่าการระบายอากาศ ความสูง PBL และความเร็วลม มีค่าต่ำ โดยมีค่าเฉลี่ย การระบายอากาศ 138 ตร.ม./วินาที, ความสูง PBL 430 เมตร, และความเร็วลม 0.72 เมตร/วินาที ซึ่งต่ำกว่าค่าเฉลี่ยรายวัน 73.45%, 27.29%, และ 11.0%, ตามลำดับ จากผลดังกล่าวจึงทำให้บริเวณทั้งภาคเหนือของประเทศไทยมีค่าแต่ละพารามิเตอร์มีค่าต่ำใกล้เคียงกันทั้งพื้นที่ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Zhao et al.,2019 ที่พบการเปลี่ยนแปลงภายในวันของความสูง PBL ณ เวลาท้องถิ่นประเทศจีน 22.00 น. มีค่าลดลง 32%–48% ในแต่ละภูมิภาคของประเทศจีน

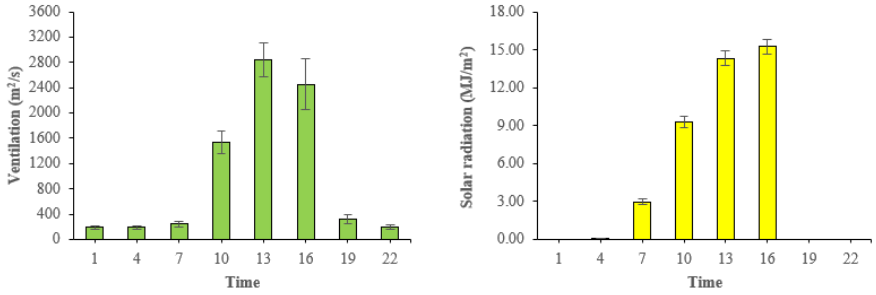
ในขณะที่ช่วงกลางวัน ข้อมูลช่วง 10.00–16.00 น. พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงลักษณะอุตุนิยมวิทยามากกว่าเมื่อเทียบกับช่วงกลางคืน เนื่องจากมีการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ที่สูงมีผลต่อการพัฒนาความปั่นป่วนของบรรยากาศ ส่งผลให้ค่าการระบายอากาศ ความสูง PBL และความเร็วลมมีค่าสูง โดยมีค่าเฉลี่ย การระบายอากาศ 1,155 ตร.ม./วินาที ความสูง PBL 860 เมตร และความเร็วลม 0.96 เมตร/วินาที ซึ่งสูงกว่าค่าเฉลี่ยรายวันของแต่ละพารามิเตอร์อยู่ที่ 122.42%, 45.49%, และ 18.34% ตามลำดับ และในเวลา 13.00 น. พบค่าการระบาย

อากาศ ความสูง PBL สูงที่สุด มีค่าอยู่ที่ 1,383 ตร.ม./วินาที และ 964 เมตร ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงกว่าค่าเฉลี่ย 166.45% และ 62.96% ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Zhao et al.,2019 ที่พบค่าความสูง PBL เพิ่มสูงขึ้นในช่วงเวลาบ่าย โดยมีค่าสูงกว่าค่าเฉลี่ยที่ 25%–174% ในแต่ละภูมิภาคของประเทศจีน และพบว่าค่าความสูง PBL สูงสุดเกิดขึ้นในบริเวณพื้นที่ภูเขาในบริเวณตอนใต้ของประเทศจีนซึ่งมีค่าความสูง PBL อยู่ที่ประมาณ 1,700 เมตร เนื่องจากพื้นที่ดังกล่าวมีการหมุนเวียนอากาศ และเกิดความปั่นป่วนบรรยากาศสูงเนื่องจากบริเวณภูเขาสูงพื้นผิวใกล้ดวงอาทิตย์มากกว่าพื้นที่ราบส่งผลให้ได้รับปริมาณการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ที่กระทบพื้นผิวสูง และระยะเวลาที่ได้รับยาวนาน ทำให้เกิดความร้อนสะสมซึ่งจะมีค่าสูงที่สุดในช่วงเวลาบ่าย ส่งผลให้มีการพัฒนาของความสูง PBL (Xu et al.,2009; Zhu et al.,2011) จากภาพ 19 จะเห็นได้ว่าค่าความสูง PBL ในบริเวณภาคเหนือของประเทศไทย ในช่วงเวลา 13.00 น. พบค่าความสูง PBL สูงที่สุดในบริเวณตะวันตกของภาคเหนือซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีภูเขาสูงตามแนวจังหวัดแม่ฮ่องสอน เชียงใหม่ โดยมีค่าความสูง PBL อยู่ที่ประมาณ 1,400 เมตร ส่งผลให้การระบายอากาศในช่วงเวลา 13.00 น. มีค่าสูง โดยมีค่าการระบายอากาศในบริเวณจังหวัดแม่ฮ่องสอน เชียงใหม่อยู่ที่ประมาณ 3,000 ตร.ม./วินาที ภาพ 21

จากข้อมูลอุตุนิยมวิทยาพบว่ามีความเสี่ยงปัญหามลพิษอากาศต่ำในช่วงกลางวัน ซึ่งพบการระบายสูงตั้งแต่ 10.00 น. ถึง 16.00 น. ซึ่งช่วงนี้มีอัตราการระบายมากกว่าช่วงกลางคืนอย่างน้อย 4 เท่า เนื่องจากช่วงนี้มีความสูง PBL สูง ร่วมกับความเร็วลมสูงช่วงกลางวัน โดยพบสูงสุดช่วงบ่าย และพบมีความเสี่ยงปัญหามลพิษอากาศสูงช่วงกลางคืน ซึ่งพบอัตราการระบายต่ำกว่า 200 ตร.ม./วินาที จากความสูง PBL ต่ำ และความเร็วลมช่วงกลางคืนต่ำกว่ากลางวัน

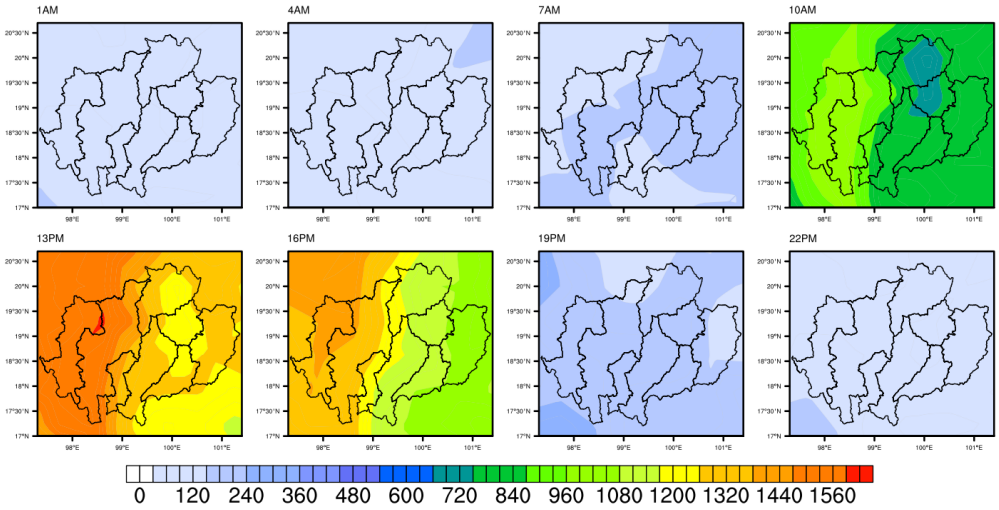


(a) ความสูง PBL (b) ความเร็วลม

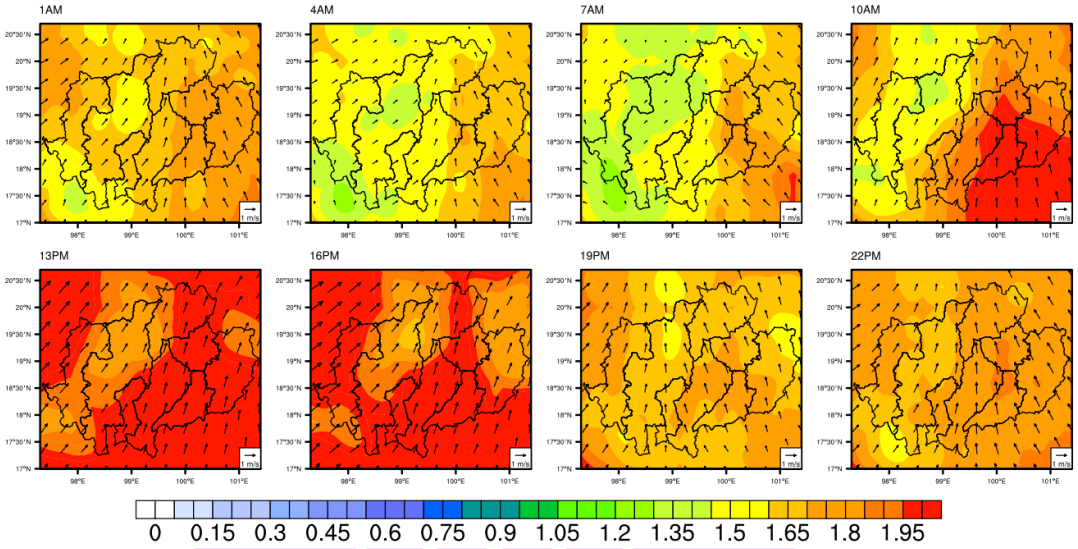


(c) อัตราการระบาย (d) การแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์

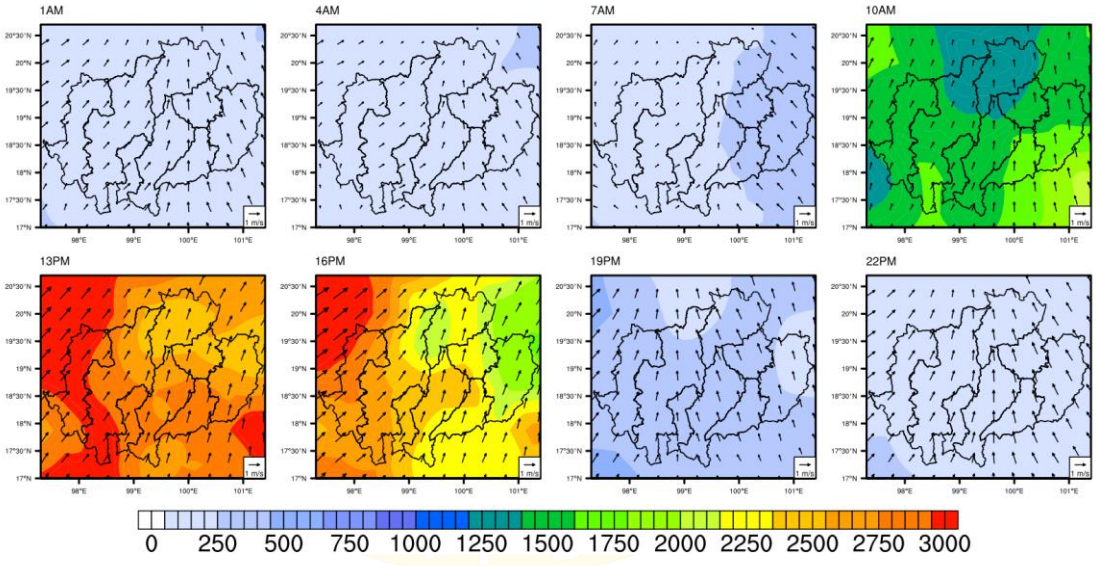
ภาพ 18 การเปลี่ยนแปลงภายในวันเฉลี่ย 30 ปี ของ (a) ความสูง PBL (เมตร) (b) ความเร็วลม (เมตร/วินาที) (c) อัตราการระบาย (ตร.ม./วินาที) และ (d) การแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ (เมกะจูน/ตร.ม.)



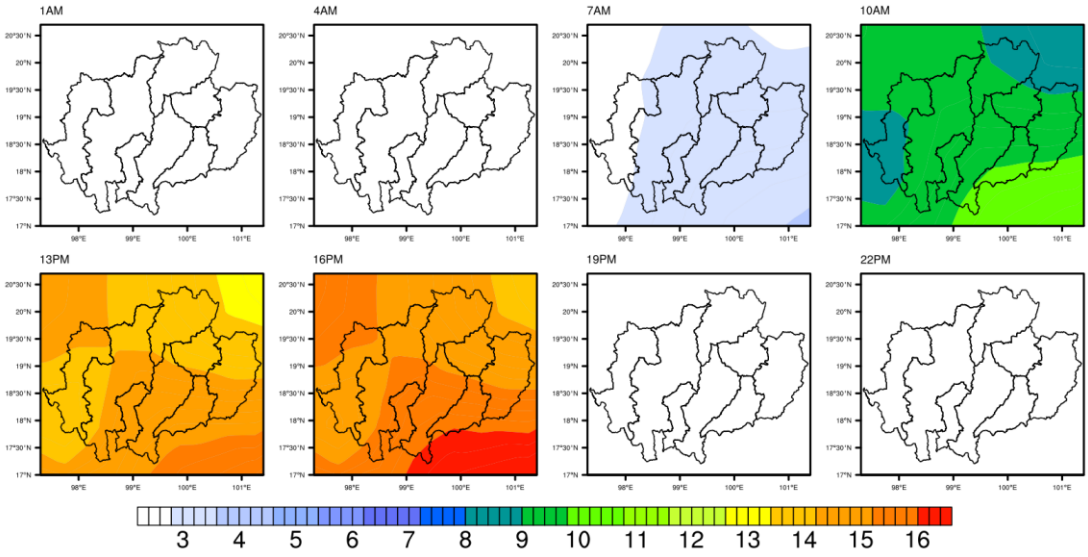
ภาพ 19 การเปลี่ยนแปลงความสูง PBL ภายในวันเฉลี่ยราย 3 ชั่วโมง



ภาพ 20 การเปลี่ยนแปลงความเร็วลมที่ระดับ 10 เมตรเหนือพื้นดิน ภายในวันเฉลี่ยราย 3 ชั่วโมง



ภาพ 21 การเปลี่ยนแปลงการระบายอากาศภายในวันเฉลี่ยราย 3 ชั่วโมง



ภาพ 22 การเปลี่ยนแปลงการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ภายในวันเฉลี่ยราย 3 ชั่วโมง

ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นฝุ่นละอองในภาคเหนือช่วงปีพ.ศ. 2553-2561

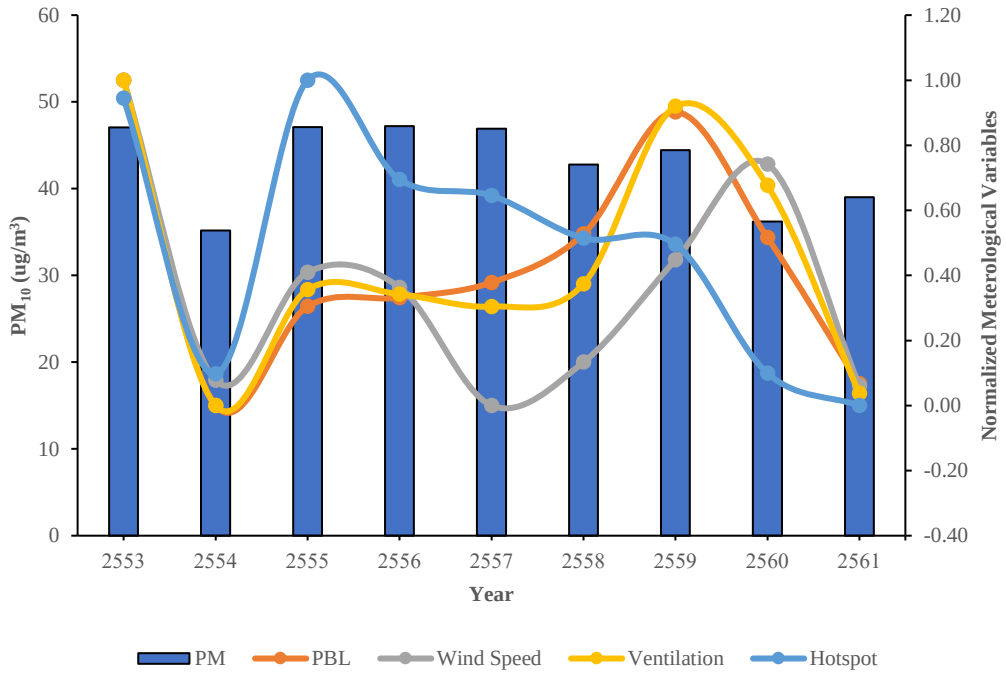
ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นฝุ่นละอองในภาคเหนือเฉลี่ยรายปี

ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นฝุ่นละอองในช่วงเวลา 9 ปี ตั้งแต่พ.ศ. 2553 – 2561 ใน 8 จังหวัดภาคเหนือของประเทศไทย พบว่าความเข้มข้น PM10 จากสถานีตรวจวัด 11 สถานีในภาคเหนือตอนบนมีค่าเปลี่ยนแปลงสอดคล้องกัน จากการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย PM10 จากทุกสถานีพบว่ามีค่าเฉลี่ยรายปีสูงสุดในปี 2555 มีค่า 47 มก./ลบ.ม. และมีค่าต่ำสุดในปี 2554 มีค่า 35 มก./ลบ.ม.การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น PM10 มีความสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงปริมาณจุดความร้อน ซึ่งพบความเข้มข้น PM10 สูงในปี 2553 และ ปี 2555 สอดคล้องกับปริมาณจุดความร้อนในภาคเหนือตอนบนสูงสุดในปีดังกล่าวมีจำนวนจุดความร้อนมากกว่า 12,000 จุด ในขณะที่ PM10 ต่ำในปี 2554, 2560 และ 2561 สอดคล้องกับจำนวนจุดความร้อนน้อยมีจำนวนน้อยกว่า 5,000 จุด

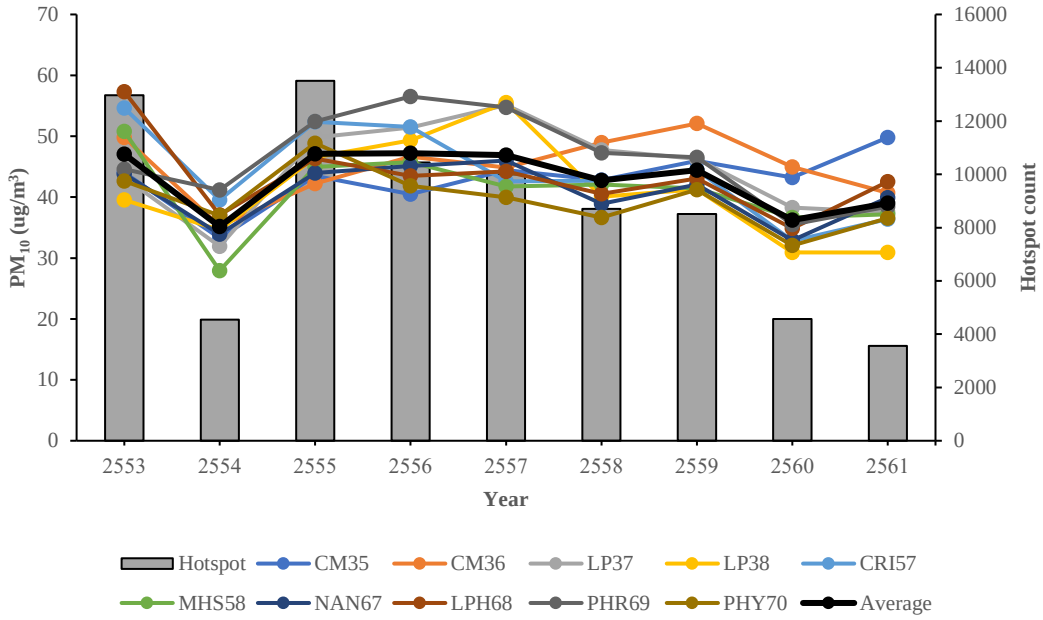
ความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงสภาพอุตุนิยมวิทยาต่อความเข้มข้นฝุ่นละออง PM10 รายปี

ภาพ 23 แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของสภาพอุตุนิยมวิทยา และจำนวนจุดความร้อนต่อความเข้มข้นฝุ่นละอองเฉลี่ยรายปี ในปีที่มีค่าจุดความร้อนสูงจะทำให้เกิดความเข้มข้นฝุ่นละอองที่สูง โดยมีค่าความสัมพันธ์ที่ 0.95 ในขณะที่ค่าความสูง PBL ความเร็วลม และการ

ระบายมลพิษอากาศสูงกลับพบว่ามีค่าความเข้มข้นฝุ่นละอองที่สูงเช่นเดียวกัน ซึ่งในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์อุตุนิยมวิทยาต่อความเข้มข้นฝุ่นละอองเฉลี่ยรายปีไม่สามารถบ่งบอกได้ถึงสภาพอุตุนิยมวิทยาที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นฝุ่นละอองได้ เนื่องจากการปลดปล่อยจากแหล่งกำเนิดการเผาชีวมวลมีอิทธิพลสูงต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น PM10 รายปี



ภาพ 23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงระหว่างสภาพอุตุนิยมวิทยาต่อความเข้มข้นฝุ่นละออง PM10 เฉลี่ยรายปี

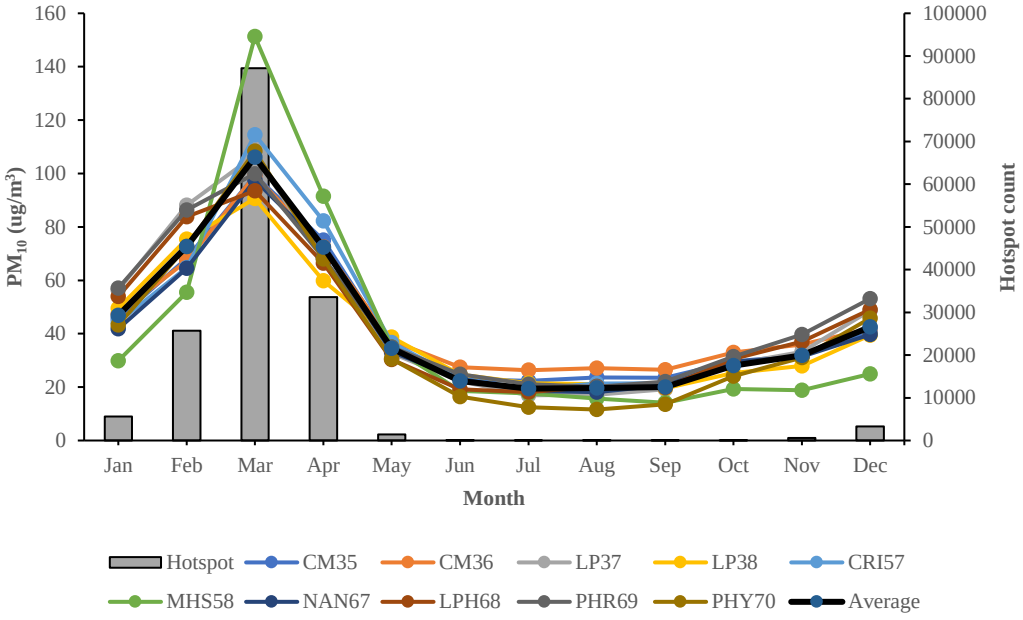


ภาพ 24 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นฝุ่นละอองเฉลี่ยรายปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2553 – 2561 และ จำนวนจุดความร้อนในภาคเหนือรวมในแต่ละปี

ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นฝุ่นละอองในภาคเหนือรายฤดูกาล

การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นฝุ่นละออง PM10 รายฤดูกาลในภาคเหนือแสดงดังภาพ 25 จะเห็นได้ ว่า PM10 มีการเปลี่ยนแปลงรายฤดูกาลสูง โดยทุกสถานีตรวจวัดมีการเปลี่ยนแปลงแนวโน้มสอดคล้องกัน กล่าวคือ มีค่าสูงในช่วงฤดูร้อน มีค่าต่ำในช่วงฤดูฝน และความเข้มข้นเริ่มสูงขึ้นในช่วงฤดูหนาว โดยมีค่าเฉลี่ย PM10 รายเดือนของทุกสถานีตรวจวัดเดือนมีนาคมเป็นเดือนที่มีความเข้มข้นฝุ่นละอองเฉลี่ยสูงที่สุด ทุกสถานีในภาคเหนือสอดคล้องกับปัญหาหมอกควันที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาดังกล่าว โดยมีค่าความเข้มข้นฝุ่นละอองเฉลี่ยทุกสถานีในเดือนมีนาคม 106 มก./ลบ.ม. ซึ่งสูงกว่าเฉลี่ยรายปี 228.51% และมีค่าต่ำสุดในเดือนกรกฎาคมมีค่าความเข้มข้นฝุ่นละอองเฉลี่ยทุกสถานี 19 มก./ลบ.ม. ซึ่งต่ำกว่าเฉลี่ยรายปี 39.84% ช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงเมษายน เป็นช่วงที่มีความเข้มข้นฝุ่นละอองค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับเดือนอื่น ๆ และพบค่าสูงที่สุดในสถานีจังหวัดแม่ฮ่องสอน (MHS58) ที่ 151 มก./ลบ.ม. ในเดือนมีนาคม และต่ำสุดในสถานีแม่ฮ่องสอน (MHS58) ที่ 56 มก./ลบ.ม. ในเดือนกุมภาพันธ์ ซึ่งสาเหตุส่วนหนึ่งที่ทำให้ค่าความเข้มข้นฝุ่นละอองสูงในเดือนมีนาคมอาจมาจากการเผาในที่โล่งที่สูง (อ้างอิงจากจุดความร้อน hotspot) ถึง 87,172 จุด (MODIS) ในขณะที่เดือนกุมภาพันธ์

มีจำนวนจุดความร้อนอยู่ที่ประมาณ 25,693 จุด (MODIS) ซึ่งน้อยกว่าเดือนมีนาคมถึง 61,479 จุด (239%)

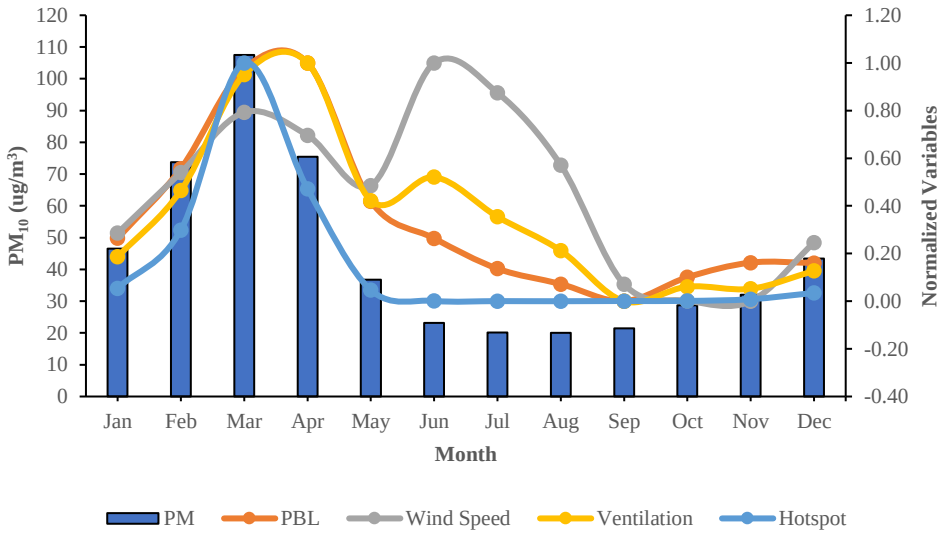


ภาพ 25 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นฝุ่นละอองเฉลี่ยรายเดือน ตั้งแต่ปี 2553 – 2561

ความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงสภาพอุตุนิยมวิทยาต่อความเข้มข้นฝุ่นละออง PM10 รายฤดูกาล

จากภาพ 26 ความสัมพันธ์ระหว่างสภาพอุตุนิยมวิทยา และจำนวนจุดความร้อนต่อความเข้มข้นฝุ่นละอองเฉลี่ยรายเดือน ในเดือนที่มีค่าจุดความร้อนสูงจะทำให้เกิดความเข้มข้นฝุ่นละอองที่สูง โดยมีค่าความสัมพันธ์ที่ 0.94 ในขณะที่ค่าความสูง PBL ความเร็วลม และการระบายมลพิษอากาศสูงกลับพบว่ามีค่าความเข้มข้นฝุ่นละอองที่สูงเช่นเดียวกัน ซึ่งความสัมพันธ์ทางสถิติไม่สอดคล้องกับหลักการแพร่กระจายที่โดยทั่วไปเมื่อการระบายดีขึ้นจะทำให้ความเข้มข้นมลพิษอากาศลดลง ทั้งนี้เนื่องจากปัจจัยการระบายมลพิษอากาศจากการเผาชีวมวลมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น PM10 รายเดือนสูง จากการวิเคราะห์พบตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ถึงเมษายนพบจำนวนจุดความร้อนที่สูงมากกว่าเดือนอื่น เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาฝุ่นละออง และในขณะเดียวกันเป็นช่วงที่มีค่าความสูง PBL ความเร็วลม และการระบายมลพิษอากาศที่ค่อนข้างสูงกว่าเดือนอื่น ๆเช่นเดียวกัน ซึ่งจากการศึกษา Zhao et al.,2019; Pan et al.,2019

พบว่า ลักษณะโดยทั่วไปของสภาพอุตุนิยมวิทยาในฤดูร้อนจะมีค่าความสูง PBL ที่สูงเนื่องมาจากในฤดูร้อนได้รับพลังงานจากรังสีดวงอาทิตย์ที่สูงกว่าฤดูอื่น ส่งผลให้เกิดการลอยตัวลองอากาศที่สูง ในขณะที่จากการศึกษาลักษณะของลักษณะอุตุนิยมวิทยาในจังหวัดเชียงใหม่ ประเทศไทย Solanki et al., 2019 พบว่าในช่วงฤดูร้อนมีค่าความสูง PBL มีค่าต่ำในจังหวัดเชียงใหม่เนื่องจากปริมาณฝุ่นละอองที่บดบังแสงจากดวงอาทิตย์ทำให้เสถียรภาพของอากาศเกิดการคงตัวซึ่งส่งผลต่อความสูง PBL เช่นเดียวกันกับการศึกษาของ Chotamonsak et al.,2018 ซึ่งพบว่าเมื่อปริมาณฝุ่นละอองจำนวนมากดูดกลืนและกระเจิงรังสีดวงอาทิตย์ ส่งผลให้พลังงานที่ช่วงให้พื้นผิวโลกอุ่นขึ้นนั้นลดลง ทำให้อากาศมีเสถียรภาพมากขึ้น ทำให้ลดศักยภาพในการลอยขึ้นในแนวดิ่งของอากาศและลดความสามารถในการแพร่กระจายของปริมาณฝุ่นละออง

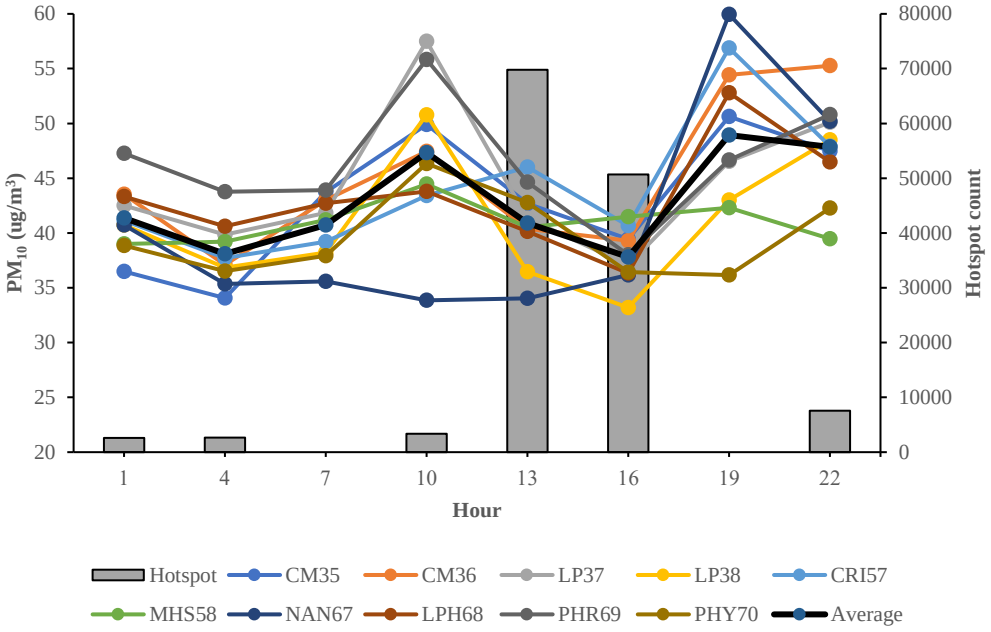


ภาพ 26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงระหว่างสภาพอุตุนิยมวิทยาต่อความเข้มข้นฝุ่นละออง PM10 เฉลี่ยรายเดือน

ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นฝุ่นละอองในภาคเหนือเฉลี่ยภายในวัน

ภาพ 27 การเปลี่ยนแปลงภายในวันของความเข้มข้นฝุ่นละอองในภาคเหนือ ลักษณะโดยทั่วไปความเข้มข้นฝุ่นละอองจะสูงในช่วงเช้า เนื่องจากช่วงกลางวันเป็นช่วงที่มีกิจกรรมที่มีการปล่อยมลพิษอากาศ เช่น มลพิษจากการเดินระบบของอุตสาหกรรมบางประเภท การจราจร หลังจากประมาณ 10:00 น. ความเข้มข้นฝุ่นละอองลดลง โดยลดต่ำสุดช่วงประมาณ 16:00 น. แล้วความเข้มข้นเพิ่มขึ้นจนมีค่าสูงที่เวลา 19.00 น. ถึง 22.00 น. จาก

ข้อมูลพบลักษณะการเปลี่ยนแปลงภายในวันมีค่าสูงสุดสองช่วงเวลาที่เวลา 10:00 น.และ ที่เวลา 19:00 น. โดยมีค่าความเข้มข้น PM10 เฉลี่ยทุกสถานีในภาคเหนือเท่ากับ 47 มก./ลบ.ม. ณ เวลา 10.00 น. 49 มก./ลบ.ม. ณ เวลา 19.00 น. ตามลำดับ และ พบค่าความเข้มข้นฝุ่นละอองเฉลี่ยทุกสถานีต่ำสุดอยู่ที่ 38 มก./ลบ.ม. ณ เวลา 16.00 น.

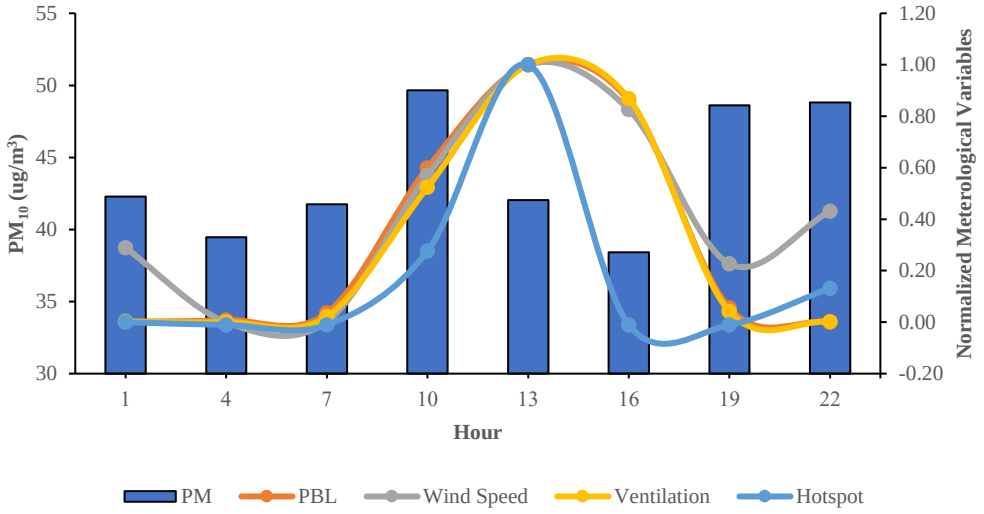


ภาพ 27 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นฝุ่นละอองเฉลี่ยภายในวัน ตั้งแต่ปี 2553 – 2561

ความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงสภาพอุตุนิยมวิทยาต่อความเข้มข้นฝุ่นละออง PM10 ภายในวัน

จากภาพ 28 ความสัมพันธ์ระหว่างสภาพอุตุนิยมวิทยาเฉลี่ยทั้งภาคเหนือ และจำนวนจุดความร้อนในพื้นที่ภาคเหนือ ต่อความเข้มข้นฝุ่นละอองเฉลี่ยทุกสถานีในภาคเหนือ โดยข้อมูลจุดความร้อนในแต่ละช่วงเวลา จากการวิเคราะห์พบว่าช่วงที่มีค่าจุดความร้อนสูงแต่กลับพบว่าค่าความเข้มข้นฝุ่นละอองเฉลี่ยภายในวันต่ำ การเปลี่ยนแปลงภายในวันไม่พบความสัมพันธ์ดังจะเห็นได้จากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.04 ในขณะที่พบความสัมพันธ์ผกผันระหว่างความเข้มข้น PM10 กับ ค่าความสูง PBL ความเร็วลม และการระบาย โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ –0.22, –0.03 และ –0.26 ตามลำดับ ซึ่งสามารถ

อธิบายได้ว่าเมื่อความสูง PBL ความเร็วลม และการระบายสูงในตอนกลางวันถึงแม้จะมีปริมาณมลพิษปล่อยจากการเผาสูงแต่สภาพอากาศระบายได้สูงจึงทำให้ความเข้มข้น PM10 มีค่าต่ำ



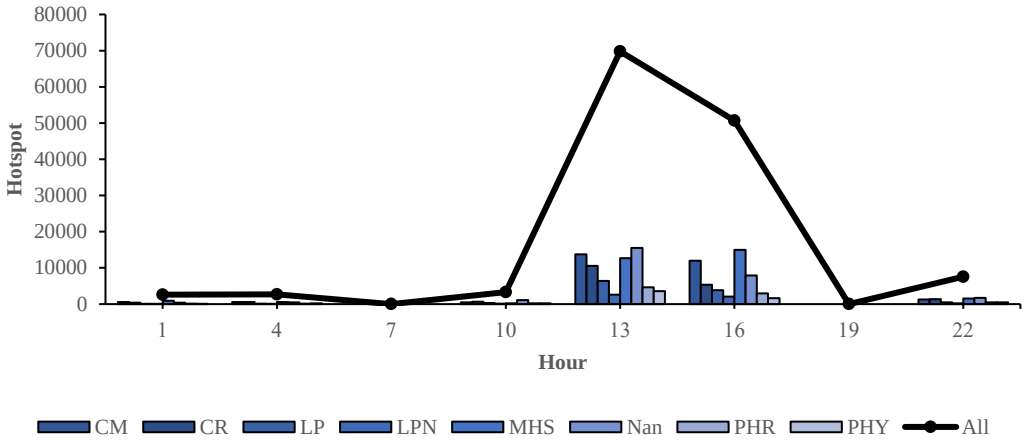
ภาพ 28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงระหว่างสภาพอุตุนิยมวิทยาต่อความเข้มข้นฝุ่นละออง PM10 เฉลี่ยภายในวัน

สภาพอุตุนิยมวิทยาที่เสี่ยงต่อการเกิดปัญหาหมอกควันในภาคเหนือ

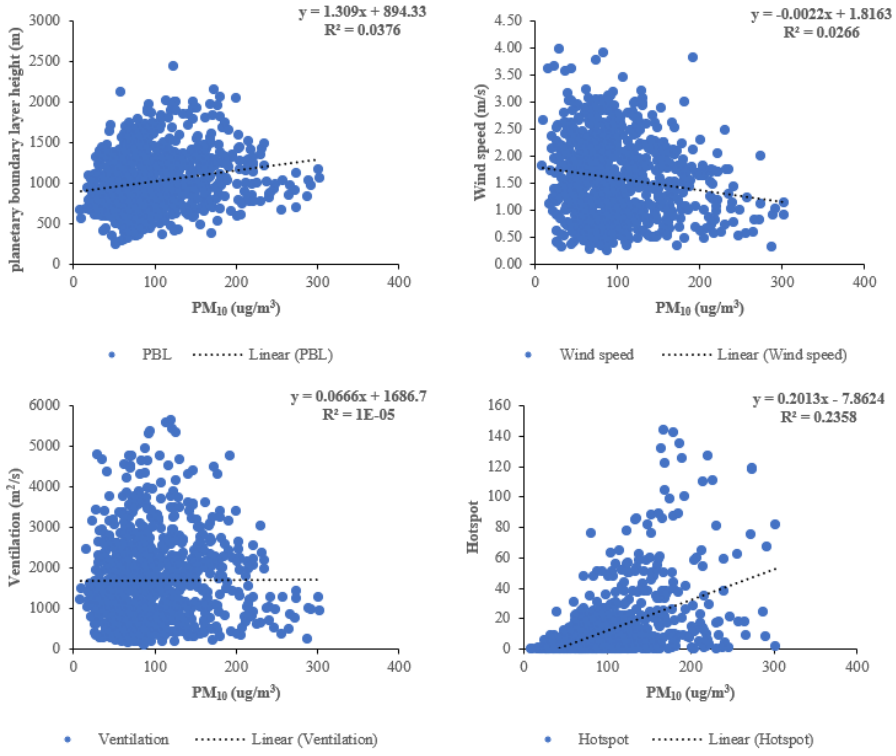
จากความสัมพันธ์ของสภาพอุตุนิยมวิทยากับความเข้มข้นฝุ่นละออง จะเห็นได้ว่าในบริเวณภาคเหนือของประเทศไทยพบปัญหาฝุ่นละอองในช่วงฤดูร้อนได้แก่เดือนกุมภาพันธ์ มีนาคม และเมษายน จากข้อมูลการเปลี่ยนแปลงภายในวันของฝุ่นละออง พบช่วงเวลาที่มีปัญหาฝุ่นละอองสูงสุดพบสองช่วงเวลาคือ 10:00 น. และ 19:00 น. โดยในช่วงเวลา 19.00 น. จะเป็นช่วงที่พบระดับของความเข้มข้นฝุ่นละอองสูงเนื่องจากเป็นเวลากลางคืน สภาพอุตุนิยมวิทยาในช่วงเวลาดังกล่าวเอื้ออำนวยให้เกิดการสะสมของระดับฝุ่นละออง ค่าอัตราการระบายเท่ากับ 329±38.5 ตร.ม./วินาที ค่าความสูง PBL เท่ากับ 180±17 เมตร ความเร็วลมเท่ากับ 1.64±0.05 จะเห็นได้ว่ามีค่าสภาพอุตุนิยมวิทยาที่มลพิษแพร่กระจายน้อย หากมีกิจกรรม หรือการเผาที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาดังกล่าวสามารถก่อให้เกิดปัญหามลพิษอากาศได้ อย่างไรก็ดีมีค่าการเปลี่ยนแปลงสภาพอุตุนิยมวิทยาไม่สูงดังจะเห็นได้จากค่าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานต่ำกว่า ในขณะที่ช่วงเวลา 10.00 น. เป็นช่วงที่มีสภาพอุตุนิยมวิทยาที่เอื้อต่อการระบายมลพิษอากาศได้ดีกว่าในช่วงเวลากลางคืน แต่ระดับฝุ่นละอองกลับมีค่าใกล้เคียงกัน โดยพบค่าอัตราการระบายเท่ากับ 1,509±109.18 ตร.ม./วินาที ค่าความสูง PBL เท่ากับ

835±61 ความเร็วลมเท่ากับ 1.80±0.14 จะเห็นได้ว่าช่วงเวลานี้มีการเปลี่ยนแปลงสภาพอุตุนิยมวิทยาสูงกว่า จึงมีความเสี่ยงเนื่องจากความแปรปรวนสภาพอุตุนิยมวิทยามากกว่า นอกจากนี้ยังพบว่าแหล่งกำเนิดหลักการเผาส่วนใหญ่พบในเวลากลางวัน ดังจะเห็นได้จากสถิติจุดความร้อนสะสมช่วงปีพ.ศ.2553–2561 ในพื้นที่ภาคเหนือพบมีจำนวนความร้อนช่วงกลางวัน (10.00–16.00 น.) มี 3,351, 69,792, และ 50,700 จุดตามลำดับ รวม 123,843 จุด ในขณะที่จำนวนจุดความร้อนช่วงกลางคืน (19.00–04.00 น.) มี 0, 7,543, 2,631, และ 2,670 จุดตามลำดับ รวม 12,844 จุด ดังภาพ 29 ในการศึกษานี้จึงพิจารณาสภาพอุตุนิยมวิทยาที่เสี่ยงต่อปัญหามลพิษอากาศในช่วงฤดูร้อน ณ เวลา 10.00 น. เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยากับการเกิดปัญหาระดับฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาดังกล่าว และกำหนดเกณฑ์ในการเฝ้าระวังสภาพอุตุนิยมวิทยาที่เสี่ยงต่อการเกิดปัญหาหมอกควันในบริเวณภาคเหนือของประเทศไทย

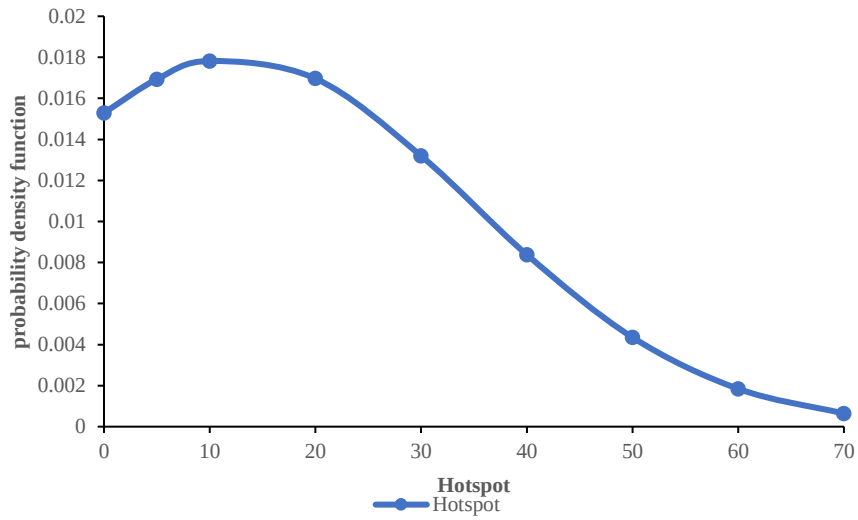
จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างสภาพอุตุนิยมวิทยา และจุดความร้อนต่อความเข้มข้นฝุ่นละอองในภาคเหนือ ณ 10.00 น. พบว่าค่าความเร็วลมมีความสัมพันธ์เป็นลบกับค่าความเข้มข้นฝุ่นละอองที่ Correlation coefficient (R) = –0.16 ในขณะที่ค่าความสูง PBL และการระบายอากาศพบค่าความสัมพันธ์เป็นบวกกับค่าความเข้มข้นฝุ่นละอองมีค่า R เท่ากับ 0.19 และ 0.003 ตามลำดับ ดังภาพ 30 ซึ่งมีค่าความสัมพันธ์ที่น้อยมากเนื่องจากสภาพอุตุนิยมวิทยาเป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้เกิดปัญหามลพิษอากาศ แต่สาเหตุหลักเกิดจากปริมาณการปลดปล่อยมลพิษจากการเผา ที่เกิดขึ้นที่ส่งผลโดยตรงที่ทำให้เกิดปัญหามลพิษอากาศ ในการวิเคราะห์เพื่อทราบอิทธิพลของลักษณะอุตุนิยมวิทยาที่ส่งผลให้เกิดการสะสมของปริมาณความเข้มข้นฝุ่นละอองจึงควรควบคุมอิทธิพลของการปลดปล่อยมลพิษจากการเผาชีวมวลโดยการวิเคราะห์แบ่งช่วงจำนวนจุดความร้อน ในการแบ่งช่วงจำนวนจุดความร้อนจะใช้กราฟแสดงค่าฟังก์ชั่นความหนาแน่น (probability density function: PDF) โดยจากภาพ 31 ได้พิจารณาโอกาสการเกิดจำนวนจุดความร้อน ณ เวลาที่ 10.00 น. ตั้งแต่ปี 2553–2561 ทั้งหมด 803 ข้อมูล จากผลการศึกษาจึงสามารถแบ่งออกเป็น 5 ช่วง ได้แก่ จำนวนจุดความร้อนน้อยกว่า 10 จุด (17%), จำนวนจุดความร้อนที่ 10–20 จุด (18%), จำนวนจุดความร้อนที่ 20–30 จุด (15%), จำนวนจุดความร้อนที่ 30–40 จุด (11%) และ จำนวนจุดความร้อนที่มากกว่า 40 จุด (21%)



ภาพ 29 จำนวนจุดความร้อน (MODIS) สะสมรวมในภาคเหนือของประเทศไทย ช่วงปี 2553–2561

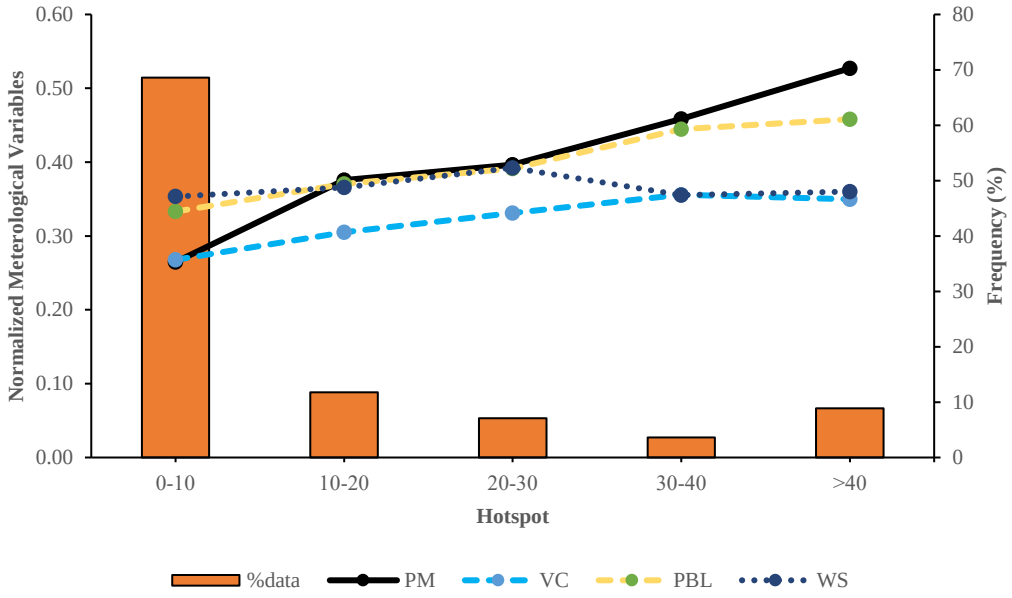


ภาพ 30 สภาพอุตุนิยมวิทยากับความเข้มข้นฝุ่นละออง PM10 ในภาคเหนือ ณ 10.00 น. เส้นตรงในรูปเป็นเส้นความสัมพันธ์แบบ Linear regression ข้อมูลรายวันช่วงปี 2553–2561



ภาพ 31 Probability density function ของจำนวนจุดความร้อนรวมในภาคเหนือ ณ 10.00 น. ข้อมูลรายวัน ช่วงปี 2553-2561

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของสภาพอุตุนิยมวิทยาต่อความเข้มข้นฝุ่นละอองโดยแบ่งช่วงจำนวนการเกิดจุดความร้อน จากภาพ 32 จะเห็นได้ว่าช่วงจำนวนจุดความร้อน ณ 10.00 น. ที่ต่ำกว่า 10 จุด ค่าความเข้มข้นฝุ่นละอองต่ำ ณ เวลา 10.00 น. และเมื่อมีจำนวนจุดความร้อนสูงค่าความเข้มข้นฝุ่นละอองมีค่าสูงขึ้น ซึ่งพบความเข้มข้น PM10 สูงสุดที่จำนวนจุดความร้อนมากกว่า 40 จุด ณ 10.00 น. จากผลดังกล่าวสามารถสรุปได้ว่าความเข้มข้นฝุ่นละอองแปรผันตามกับจำนวนจุดความร้อน

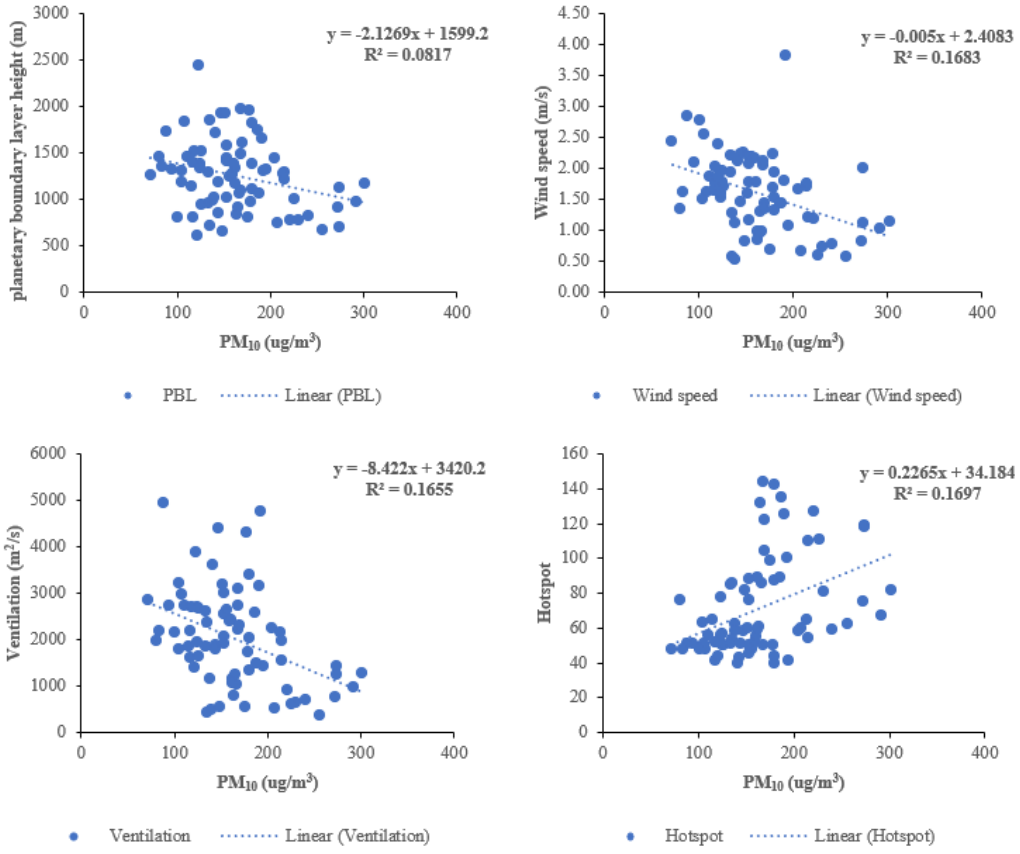


ภาพ 32 การเปลี่ยนแปลงสภาพอุตุนิยมวิทยาต่อความเข้มข้นฝุ่นละอองในแต่ละช่วงจำนวนจุดความร้อน ณ 10.00 น.

ในการวิเคราะห์ช่วงที่มีจำนวนจุดความร้อนมากกว่า 40 จุด เพื่อพิจารณาในช่วงที่มีการเผาปริมาณสูงจะมีลักษณะอุตุนิยมวิทยาต่อความเข้มข้นฝุ่นละอองเป็นอย่างไร จากภาพ 33 จะเห็นได้ว่าค่าความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นฝุ่นละอองที่สูงกับความสูง PBL ความเร็วลม และการระบายมลพิษอากาศมีความสัมพันธ์แบบผกผัน พบค่าความสัมพันธ์ R เท่ากับ –0.28, –0.41, และ –0.41 ตามลำดับ ค่า R^2= 0.08, 0.17 และ 0.17 ตามลำดับ แสดงให้เห็นถึงทั้งสามปัจจัยสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลง PM10 ได้ 8% 17% และ 17% ตามลำดับ จากความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นแสดงให้เห็นถึงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของสภาพอุตุนิยมวิทยาที่เกิดขึ้นกับความเข้มข้นฝุ่นละออง เมื่อลักษณะอุตุนิยมวิทยา ความสูง PBL ความเร็วลม และการระบายมลพิษอากาศสูง ปริมาณความเข้มข้นฝุ่นละอองจะมีค่าต่ำ ในขณะที่เมื่อลักษณะอุตุนิยมวิทยา ความสูง PBL ความเร็วลม และการระบายมลพิษอากาศต่ำ ปริมาณความเข้มข้นฝุ่นละอองจะมีค่าสูง

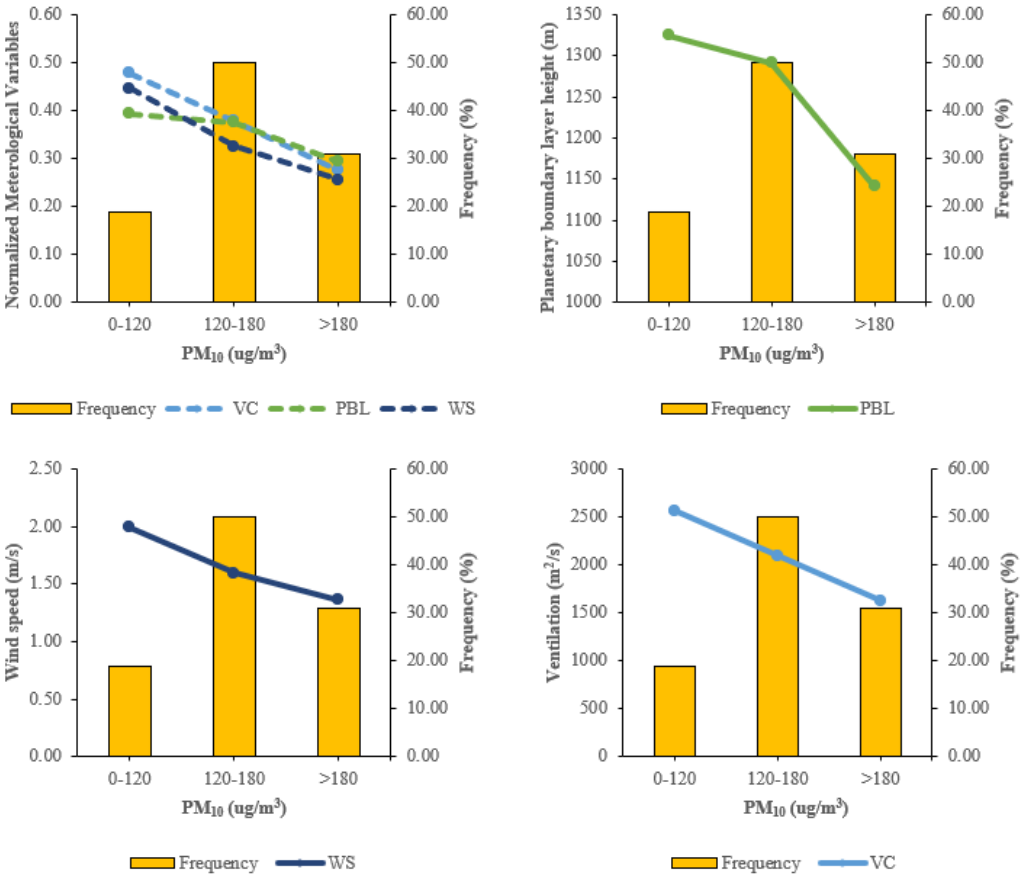
เมื่อพิจารณาค่าความเข้มข้นฝุ่นละอองที่เกิดขึ้น สามารถแบ่งตามระดับความเสี่ยงได้เป็น 3 ระดับ ได้แก่ ความเสี่ยงการเกิดความเข้มข้นฝุ่นละอองมาก ความเสี่ยงการเกิดความเข้มข้นฝุ่นละอองปานกลาง และความเสี่ยงการเกิดความเข้มข้นฝุ่นละอองน้อย โดยอ้างอิงจากค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM10 เทียบเท่ากับค่าดัชนีคุณภาพอากาศเฉลี่ย 24 ชั่วโมง

ต่อเนื่อง (ข้อมูลดัชนี, กรมควบคุมมลพิษ) สามารถแบ่งช่วง AQI ได้เป็น 0–100 (PM_{10} = น้อยกว่า 120 ug/m^3), 101–200 (PM_{10} = 121–180 ug/m^3), และมากกว่า 200 (PM_{10} = 180 ug/m^3 ขึ้นไป) ตามลำดับ ดังภาพ 34



ภาพ 33 สภาพอุตุนิยมวิทยากับความเข้มข้นฝุ่นละออง PM10 ในภาคเหนือ ณ 10.00 น. เส้นตรงในรูปเป็นเส้นความสัมพันธ์แบบ Linear regression ข้อมูลรายวันช่วงปี 2553–2561 กรณีจุดความร้อนมากกว่า 40 จุด

จากการวิเคราะห์ข้อมูล ณ 10.00 น. พบที่ความเข้มข้นฝุ่นละออง PM10 สูง (PM10 มากกว่า 180 ug/m^3) มีความถี่การเกิด 31.08% พบว่ามีค่าระดับความสูง PBL อยู่ที่ 1,141±329 เมตร ความเร็วลม 1.36±0.69 เมตร/วินาที การระบาย 1,628±1,065 ตร.ม./วินาที ระดับความเสี่ยงความเข้มข้นฝุ่นละออง PM10 ปานกลาง (PM10 121–180 ug/m^3) มีความถี่การเกิด 50% พบว่ามีค่าระดับความสูง PBL อยู่ที่ 1,291±426 เมตร ความเร็วลม 1.59±0.54 เมตร/วินาที การระบาย 2,100±1,037 ตร.ม./วินาที ระดับความเสี่ยงความเข้มข้นฝุ่นละออง PM10 ต่ำ (PM10 น้อยกว่า 120 ug/m^3) มีความถี่การเกิด 18.92% พบว่ามีค่าระดับความสูง PBL อยู่ที่ 1,325±291 เมตร ความเร็วลม 1.99±0.48 เมตร/วินาที การระบาย 2,564±843 ตร.ม./วินาที ดังภาพ 34 การศึกษานี้จึงได้พัฒนาเกณฑ์สภาพอุตุนิยมวิทยามลพิษอากาศโดยวิเคราะห์สภาพอุตุนิยมวิทยาที่แต่ละระดับมลพิษ โดยแบ่งระดับความเสี่ยงที่จะเกิดปัญหาฝุ่นละออง PM10 โดยสภาพอุตุนิยมวิทยาที่เสี่ยงต่อความเข้มข้นฝุ่นละออง PM10 สูง (PM10 มากกว่า 180 ug/m^3) เมื่อค่าความสูง PBL ต่ำกว่า 1,100 เมตร พบความเข้มข้น PM10 241±33 ug/m^3 ความเร็วลม ต่ำกว่า 1.5 เมตร/วินาที พบความเข้มข้น PM10 233±95 ug/m^3 และการระบายมลพิษอากาศ ต่ำกว่า 1,500 ตร.ม./วินาที พบความเข้มข้น PM10 240±100 ug/m^3 สภาพอุตุนิยมวิทยาที่เสี่ยงต่อความเข้มข้นฝุ่นละออง PM10 ปานกลาง (PM10 = 121–180 ug/m^3) เมื่อค่าความสูง PBL ที่ 1,100–1,300 เมตร พบความเข้มข้น PM10 151±12 ug/m^3 ความเร็วลม ที่ 1.5–2.0 เมตร/วินาที พบความเข้มข้น PM10 140±20 ug/m^3 และการระบายมลพิษอากาศ ที่ 1,500–2,500 ตร.ม./วินาที พบความเข้มข้น PM10 149±17 ug/m^3 สภาพอุตุนิยมวิทยาที่เสี่ยงต่อความเข้มข้นฝุ่นละออง PM10 น้อย (PM10 น้อยกว่า 120 ug/m^3) เมื่อค่าความสูง PBL สูงกว่า 1,300 เมตร พบความเข้มข้น PM10 100±15 ug/m^3 ความเร็วลม สูงกว่า 2.0 เมตร/วินาที พบความเข้มข้น PM10 95±17 ug/m^3 และการระบายมลพิษอากาศ สูงกว่า 2,500 ตร.ม./วินาที พบความเข้มข้น PM10 100±16 ug/m^3 จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลจะเห็นได้ว่าเกณฑ์ทั้งพารามิเตอร์ ความสูง PBL ความเร็วลม และ การระบาย ทั้งสามระดับความเสี่ยงพบระดับความเข้มข้นฝุ่นละอองที่ใกล้เคียงกันทุกช่วง ส่วนหนึ่งเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงความสูง PBL และ ลม มีการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกัน ดังนั้นเกณฑ์ความเสี่ยงต่อปัญหาฝุ่นละอองภาคเหนืออาจใช้ทั้งสามตัวแปร (ความสูง PBL ความเร็วลม การระบาย) เพื่อให้ครอบคลุมกับกระบวนการแพร่กระจายมลพิษอากาศทั้งการพา (Advection) โดยลม การแพร่ (Diffusion) โดยความปั่นป่วนซึ่งพิจารณาได้จากความสูง PBL หรือ อาจเลือกพารามิเตอร์ที่รวมสองกระบวนการ คือ การระบาย (ผลคูณของความสูง PBL กับความเร็วลม) เพื่อเป็นเกณฑ์ในการพิจารณาความเสี่ยงต่อปัญหาหมอกควันในพื้นที่ภาคเหนือ



ภาพ 34 การเปลี่ยนแปลงสภาพอุตุนิยมวิทยาต่อระดับความเข้มข้นฝุ่นละออง กรณีจุดความร้อน มากกว่า 40 จุด ณ 10.00 น.

บทที่ 5

บทสรุป

สำหรับการศึกษาความสัมพันธ์ของสภาพอุตุนิยมวิทยาต่อความเสี่ยงปัญหาหมอกควันบริเวณภาคเหนือ ในปี พ.ศ. 2532–2561 เป็นระยะเวลา 30 ปี โดยมีพารามิเตอร์อุตุนิยมวิทยามลพิษอากาศที่ศึกษาได้แก่ ความสูง PBL ความเร็วลม การระบายอากาศ และการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ เพื่อวิเคราะห์ลักษณะรูปแบบความแปรปรวนของสภาพอุตุนิยมวิทยามลพิษอากาศตามพื้นที่และเวลา และวิเคราะห์ลักษณะอุตุนิยมวิทยามลพิษอากาศที่มีผลต่อความเสี่ยงปัญหาหมอกควันในภาคเหนือของประเทศไทย

ภาคเหนือประเทศไทยมีความสูง PBL ความเร็วลม การระบายอากาศ และการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์เฉลี่ยเท่ากับ 480$\pm$40, 1.29$\pm$0.11, 638$\pm$81 และ 5.25$\pm$0.22 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงตามพื้นที่ในภาคเหนือของประเทศไทย จากการศึกษาพบว่าในบริเวณตะวันตกของภาคเหนือมีลักษณะพื้นที่ที่เป็นภูเขาสูง พบค่าความสูง PBL และความเร็วลมมีค่าสูงกว่าค่าเฉลี่ยทั้งภาคเหนือ 10% และ 5.6% ตามลำดับ เนื่องมาจากในบริเวณพื้นที่ภูเขาสูงได้รับการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์มากกว่าพื้นที่ราบทำให้เกิดการสะสมความร้อนนำไปสู่การพัฒนาของความสูง PBL (Zhang et al., 2008) ซึ่งส่งผลให้ค่าการระบายมลพิษอากาศในบริเวณตะวันตกของภาคเหนือมีค่าสูงกว่าค่าเฉลี่ย 21.50% ในปีพ.ศ.2555 ค่าความสูง PBL ความเร็วลม และการระบายมลพิษอากาศมีค่าต่ำที่สุดซึ่งต่ำกว่าค่าเฉลี่ย 15.02%, 25.41%, และ 61.91% และในปี พ.ศ.2552 พบค่าความสูง PBL และการระบายอากาศสูงที่สุดซึ่งสูงกว่าค่าเฉลี่ย 27.94% และ 147.81% แม้ว่าค่าความเร็วลมจะมีค่าสูงที่สุดในปี พ.ศ.2553 ที่สูงกว่าค่าเฉลี่ย 44.51% แต่ในปี พ.ศ.2552 พบค่าความเร็วลมสูงกว่าค่าเฉลี่ย 41.58% ซึ่งมีค่าที่ใกล้เคียงกัน

ลักษณะการเปลี่ยนแปลงรายฤดูกาลของสภาพอุตุนิยมวิทยามลพิษอากาศในภาคเหนือ พบว่าในฤดูร้อนมีค่าความสูง PBL อยู่ที่ 619$\pm$101 เมตร ค่าความเร็วลมอยู่ที่ 1.36$\pm$0.12 เมตรต่อวินาที ค่าการระบายอากาศอยู่ที่ 872$\pm$213 ตร.ม./วินาที ซึ่งสูงกว่าค่าเฉลี่ยทั้งปีอยู่ที่ 28.90%, 5.69% และ 36.78% ตามลำดับ ฤดูหนาวมีค่าความสูง PBL อยู่ที่ 410$\pm$22 เมตร ค่าความเร็วลมอยู่ที่ 0.97$\pm$0.05 เมตรต่อวินาที ค่าการระบายอากาศอยู่ที่ 398$\pm$38 ตร.ม./วินาที ซึ่งต่ำกว่าค่าเฉลี่ยทั้งปีอยู่ที่ 14.67%, 24.77% และ 37.67% ตามลำดับ ฤดูฝนมีค่าความสูง PBL อยู่ที่ 412$\pm$31 เมตร ค่าความเร็วลมอยู่ที่ 1.53$\pm$0.47 เมตรต่อวินาที ค่าการระบายอากาศอยู่ที่ 644$\pm$230 ตร.ม./วินาที ซึ่งค่าความสูง PBL มีค่าต่ำกว่าค่าเฉลี่ยทั้งปีอยู่ที่

14.23% ในขณะที่ค่าความเร็วลมและค่าการระบายมลพิษมีค่าสูงกว่าค่าเฉลี่ยทั้งปีอยู่ที่ 19.08% และ 0.90% ตามลำดับ การเปลี่ยนแปลงรายฤดูกาลเป็นผลหลักมาจากการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ซึ่งพบมีปริมาณ 6.65±0.85, 5.06±0.22 และ 4.03±0.25 ในฤดูร้อน ฤดูหนาว และฤดูฝน ตามลำดับ การศึกษาพบเดือนที่ค่าความสูง PBL และ การระบายสูงสุด ในเดือน เมษายน, มีนาคม และ กุมภาพันธ์ ตามลำดับ และความเร็วลมสูงสุดในเดือน กรกฎาคม, มิถุนายน และสิงหาคม เดือนที่ค่าความสูง PBL ความเร็วลม และ การระบายต่ำสุด ในเดือน กันยายน, ตุลาคม และ พฤศจิกายน ตามลำดับ ผลการศึกษาพบสภาพอุตุนิยมวิทยาที่มีความเสี่ยงต่อปัญหามลพิษอากาศมากที่สุดคือในฤดูหนาว เนื่องจากสภาพอุตุนิยมวิทยามีการระบายมลพิษอากาศต่ำสุด เช่นเดียวกับในฤดูฝนที่พบอัตราการระบายอากาศต่ำแต่เนื่องจากในฤดูฝนมีความถี่การเกิดฝนตกสูง ซึ่งน้ำฝนช่วยชะล้างฝุ่นละอองในบรรยากาศได้ ทำให้ในฤดูฝนมีความเสี่ยงต่อปัญหามลพิษอากาศต่ำ ฤดูร้อนพบลักษณะสภาพอุตุนิยมวิทยาที่เอื้อต่อการแพร่กระจายเจือจางมลพิษได้ดีที่สุดจากความสูง PBL สูงสุดและ ความเร็วลมสูงพอสมควร อย่างไรก็ดีปัญหามลพิษอากาศยังขึ้นกับอีกปัจจัยหลักสำคัญคือปริมาณการปล่อยมลพิษอากาศจากแหล่งกำเนิด (Emission) ซึ่งภาคเหนือมีการเปลี่ยนแปลงการปล่อยมลพิษอากาศสูงจากการเผาชีวมวลในที่โล่งที่มีปริมาณสูงในฤดูร้อนเป็นสาเหตุปัญหาฝุ่นละอองในภาคเหนือ

การศึกษาลักษณะการเปลี่ยนแปลงภายในวันของภาคเหนือพบความสูง PBL มีค่าสูงสุดที่เวลา 13.00 น. มีค่า 1,383 เมตร และมีค่าต่ำสุดที่เวลา 22.00 น. มีค่า 111 เมตร ความเร็วลมมีค่าสูงสุดที่เวลา 13.00 น. มีค่า 2.06 เมตร/วินาที และมีค่าต่ำสุดที่เวลา 07.00 น. มีค่า 1.55 เมตร/วินาที การระบายอากาศมีค่าสูงสุดที่เวลา 13.00 น. มีค่า 2,841 ตร.ม./วินาที และมีค่าต่ำสุดที่เวลา 01.00 น. มีค่า 190 ตร.ม./วินาที ผลการศึกษาพบความเสี่ยงต่อปัญหามลพิษอากาศสูงช่วงเวลากลางคืน และมีการระบายมลพิษอากาศดีในช่วงเวลากลางวัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งช่วงเวลาบ่าย ลักษณะการเปลี่ยนแปลงภายในวันของภาคเหนือในช่วงเวลา 22.00–07.00 น. มีค่าต่ำและการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยเนื่องจากเป็นช่วงเวลาที่อากาศสงบและไม่มีพลังงานจากการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ ทำให้เกิดกระบวนการที่ทำให้บรรยากาศเกิดการปั่นป่วนน้อยส่งผลให้ค่าการระบายมลพิษอากาศต่ำ ในขณะที่ช่วงเวลากลางวัน 10.00–16.00 น. พบว่ามีค่าสูงและการเปลี่ยนแปลงลักษณะอุตุนิยมวิทยามากกว่าช่วงเวลา 20.00–07.00 น. เนื่องจากได้รับพลังงานจากการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ที่สูง ซึ่งมีผลต่อการพัฒนาความปั่นป่วนของบรรยากาศ ส่งผลให้ค่าการระบายมลพิษอากาศ ความสูง PBL และความเร็วลมสูงกว่าค่าเฉลี่ย

จากการวิเคราะห์ปัญหาหมอกควันด้วยค่าความเข้มข้น PM10 ช่วงปี 2553–2561 ในบริเวณภาคเหนือของประเทศไทยพบปัญหาฝุ่นละอองสูงในช่วงฤดูร้อนได้แก่เดือนกุมภาพันธ์ มีนาคม และเมษายน จากการเผาป่าและวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร การศึกษานี้จึงศึกษาความสัมพันธ์สภาพอุตุนิยมวิทยากับระดับปัญหาฝุ่นละออง PM10 ในช่วงฤดูร้อน เนื่องจากการเผาชีวมวลเป็นแหล่งกำเนิดเปลี่ยนแปลงสำคัญที่มีผลต่อระดับฝุ่นละออง การศึกษานี้จึงศึกษาควบคุมปัจจัยแหล่งกำเนิด โดยศึกษากรณีที่มีการเผาสูงจำนวนจุดความร้อนในภาคเหนืออย่างน้อย 40 จุด ซึ่งพบความสัมพันธ์กันในช่วงเวลา 10:00 น. ซึ่งเป็นช่วงความเข้มข้น PM10 สูง มีความแปรปรวนสภาพอุตุนิยมวิทยามาก และการเผาส่วนใหญ่พบในเวลากลางวัน การศึกษาพบความสัมพันธ์ผกผันระหว่างความเข้มข้น PM10 กับค่าความสูง PBL ความเร็วลมและการระบาย ณ เวลา 10.00 น. โดยพบที่ความเข้มข้นฝุ่นละออง PM10 สูง (PM10 มากกว่า 180 ug/m^3) มีความถี่การเกิด 31.08% พบว่ามีค่าระดับความสูง PBL 1,141$\pm$329 เมตร ความเร็วลม 1.36$\pm$0.69 การระบาย 1,628$\pm$1065 ระดับความเสี่ยงความเข้มข้นฝุ่นละออง PM10 ปานกลาง (PM10 121–180 ug/m^3) มีความถี่การเกิด 50% พบว่ามีค่าระดับความสูง PBL 1,291$\pm$426 เมตร ความเร็วลม 1.59$\pm$0.54 การระบาย 2,100$\pm$1,037 ระดับความเสี่ยงความเข้มข้นฝุ่นละออง PM10 ต่ำ (PM10 น้อยกว่า 120 ug/m^3) มีความถี่การเกิด 18.92% พบว่ามีค่าระดับความสูง PBL 1,325$\pm$291 เมตร ความเร็วลม 1.99$\pm$0.48 การระบาย 2,564$\pm$843 การศึกษานี้ได้กำหนดเกณฑ์ในการเฝ้าระวังสภาพอุตุนิยมวิทยาที่เสี่ยงต่อการเกิดปัญหาหมอกควันในบริเวณภาคเหนือของประเทศไทย ณ เวลา 10.00 น. ดังนี้

1. สภาพอุตุนิยมวิทยาที่เสี่ยงต่อความเข้มข้นฝุ่นละออง PM10 สูง (PM10 มากกว่า 180 ug/m^3) เมื่อค่าความสูง PBL ต่ำกว่า 1,100 เมตร ความเร็วลม ต่ำกว่า 1.5 เมตรต่อวินาที และการระบายมลพิษอากาศ ต่ำกว่า 1,500 ตารางเมตรต่อวินาที

2. สภาพอุตุนิยมวิทยาที่เสี่ยงต่อความเข้มข้นฝุ่นละออง PM10 ปานกลาง (PM10 = 121–180 ug/m^3) เมื่อค่าความสูง PBL ที่ 1,100–1,300 เมตร ความเร็วลมที่ 1.5–2.0 เมตรต่อวินาที และการระบายมลพิษอากาศ ที่ 1,500–2,500 ตารางเมตรต่อวินาที

3. สภาพอุตุนิยมวิทยาที่เสี่ยงต่อความเข้มข้นฝุ่นละออง PM10 น้อย (PM10 น้อยกว่า 120 ug/m^3) เมื่อค่าความสูง PBL สูงกว่า 1,300 เมตร ความเร็วลม สูงกว่า 2.0 เมตรต่อวินาที และการระบายมลพิษอากาศ สูงกว่า 2,500 ตารางเมตรต่อวินาที

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลจะเห็นได้ว่าเกณฑ์ทั้งพารามิเตอร์ ความสูง PBL ความเร็วลม และ การระบาย ทั้งสามระดับความเสี่ยง พบระดับความเข้มข้นฝุ่นละอองที่ใกล้เคียงกันทุกช่วง ส่วนหนึ่งเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงความสูง PBL และ ลม มีการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทาง

เดียวกัน ดังนั้นเกณฑ์ความเสี่ยงต่อปัญหาฝุ่นละอองภาคเหนืออาจใช้ทั้งสามตัวแปร (ความสูง PBL ความเร็วลม การระบาย) เพื่อให้ครอบคลุมกับกระบวนการแพร่กระจายมลพิษอากาศทั้งการพา (Advection) โดยลม การแพร่ (Diffusion) โดยความปั่นป่วนซึ่งพิจารณาได้จากความสูง PBL หรือ อาจเลือกพารามิเตอร์ที่รวมสองกระบวนการ คือ การระบาย (ผลคูณของความสูง PBL กับความเร็วลม) เพื่อเป็นเกณฑ์ในการพิจารณาความเสี่ยงต่อปัญหาหมอกควันในพื้นที่ภาคเหนือ

ข้อเสนอแนะ

การศึกษานี้พบลักษณะรูปแบบความแปรปรวนของสภาพอุตุนิยมวิทยามลพิษอากาศในภาคเหนือของประเทศไทยซึ่งมีความแปรปรวนที่แตกต่างกันในแต่ละช่วงเวลาและพื้นที่ของภาคเหนือของประเทศไทย จึงควรนำข้อมูลตรวจวัดจริงเข้าร่วมวิเคราะห์ เนื่องจากการศึกษาในครั้งนี้ใช้ข้อมูลอุตุนิยมวิทยามลพิษอากาศจาก ECMWF reanalysis data ซึ่งเป็นข้อมูลจากแบบจำลอง และมีความน่าเชื่อถือของข้อมูลในระดับหนึ่ง ซึ่งหากเป็นข้อมูลตรวจวัดจริงจากสถานีตรวจวัดอาจทำให้มีความคลาดเคลื่อนในส่วนของการกำหนดเกณฑ์ในการเฝ้าระวังสภาพอุตุนิยมวิทยาที่เสี่ยงต่อการเกิดปัญหาหมอกควันในบริเวณภาคเหนือได้ แต่เนื่องด้วยในภาคเหนือของประเทศไทยยังมีสถานีตรวจวัดอุตุนิยมวิทยาภาคพื้นดินเฉลี่ยแต่ละจังหวัดประมาณ 1 สถานี และมีการตรวจวัดเบื้องสูงที่จังหวัดเชียงใหม่ 1 จุด วัดเพียงเวลาเดียว จึงมีข้อมูลน้อยในการวิเคราะห์และสรุปผล จึงควรมีการตรวจวัดสภาพอุตุนิยมวิทยามลพิษอากาศมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งการตรวจวัดเบื้องสูง และเนื่องด้วยข้อจำกัดของข้อมูลจาก ECMWF ที่ไม่ได้คิดอิทธิพลของมลพิษอากาศที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพอุตุนิยมวิทยา ซึ่งพบว่าฝุ่นละอองมีผลต่อลักษณะอุตุนิยมวิทยาในชั้น PBL พอสมควร โดยจากการศึกษาลักษณะของลักษณะอุตุนิยมวิทยาในจังหวัดเชียงใหม่ ประเทศไทย Solanki et al., 2019 พบว่าในช่วงฤดูร้อนมีค่าความสูง PBL มีค่าต่ำในจังหวัดเชียงใหม่เนื่องจากปริมาณฝุ่นละอองที่บดบังแสงจากดวงอาทิตย์ทำให้เสถียรภาพของอากาศเกิดการคงตัวซึ่งส่งผลต่อความสูง PBL เช่นเดียวกันกับการศึกษาของ Chotamonsak et al.,2018 ซึ่งพบว่าเมื่อปริมาณฝุ่นละอองจำนวนมากดูดกลืนและกระเจิงรังสีดวงอาทิตย์ ส่งผลให้พลังงานที่ช่วงให้พื้นผิวโลกอุ่นขึ้นนั้นลดลง ทำให้อากาศมีเสถียรภาพมากขึ้น ทำให้ลดศักยภาพในการลอยขึ้นในแนวดิ่งของอากาศและลดความสามารถในการแพร่กระจายของปริมาณฝุ่นละออง ดังนั้นการศึกษาต่อไปควรศึกษาโดยคิดอิทธิพลของมลพิษอากาศที่มีต่อสภาพอุตุนิยมวิทยาด้วย

เนื่องจากระบบพยากรณ์สภาพอากาศในประเทศไทยใช้แบบจำลอง The Weather Research and Forecasting (WRF) ซึ่งอาจมีผลการจำลองที่แตกต่างจาก ECMWF การศึกษานี้จึงเปรียบเทียบข้อมูล อุณหภูมิ ความเร็วลม และ ความสูง PBL ระหว่างชุดข้อมูล ECMWF กับ WRF ดังแสดงในภาคผนวกภาพที่ 37-39 โดยรายละเอียดการตั้งค่าแบบจำลองดังแสดงในภาคผนวกภาพ 40 และตาราง 4 และ 5 โดยจากการเปรียบเทียบข้อมูลอุณหภูมิในเดือนมีนาคม ปี 2559 พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างแบบจำลอง WRF และ ECMWF มีค่าสัมประสิทธิสหสัมพันธ์อยู่ที่ 0.91 ซึ่งค่าความสัมพันธ์ที่สูงแสดงให้เห็นถึงชุดข้อมูลที่มีความสอดคล้องกัน ระหว่างข้อมูลตรวจวัด ECMWF และแบบจำลอง WRF ในขณะที่การเปรียบเทียบข้อมูลความเร็วลม พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างระหว่างแบบจำลอง WRF และ ECMWF พบว่ามีค่าสัมประสิทธิสหสัมพันธ์อยู่ที่ 0.27 จะเห็นได้ว่ามีค่าความสัมพันธ์ที่ค่อนข้างต่ำ ทั้งนี้อาจส่วนหนึ่งอาจเนื่องจากลมมีความแปรปรวนสูง ขนาดกริดแบบจำลองที่ต่างกันโดยข้อมูล ECMWF มีความละเอียดกริด 12.5x12.5 ตร.กม. ในขณะที่แบบจำลอง WRF มีความละเอียดกริด 2x2 ตร.กม. ดังนั้นควรมีการศึกษาเพิ่มเติมโดยใช้ข้อมูลแบบจำลอง WRF ในการวิเคราะห์

งานวิจัยนี้เน้นศึกษาความแปรปรวนของสภาพอุตุนิยมวิทยามลพิษอากาศ และรูปแบบสภาพอุตุนิยมวิทยามลพิษอากาศที่มีผลต่อความเสี่ยงปัญหาหมอกควัน ซึ่งพารามิเตอร์อุตุนิยมวิทยามลพิษอากาศในการวิจัยครั้งนี้นอกเหนือจากความสูง PBL ความเร็วลม การแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ การระบายมลพิษอากาศ แล้วยังมีพารามิเตอร์อื่นที่เป็นส่วนหนึ่งของพารามิเตอร์อุตุนิยมวิทยามลพิษอากาศในการศึกษานี้ อาทิเช่น อุณหภูมิ ความชื้น เสถียรภาพอากาศ ฯลฯ เป็นต้น ที่มีผลต่อความเข้มข้นฝุ่นละอองในบรรยากาศ ดังนั้นการศึกษาครั้งต่อไปควรศึกษาพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องที่มากขึ้นและครอบคลุม เพื่อให้ทราบถึงกลไกการแปรปรวนสภาพอากาศที่ส่งผลให้เกิดความเข้มข้นมลพิษอากาศที่ชัดเจนมากขึ้น และง่ายต่อการนำเสนอต่อประชาชนเพื่อเฝ้าระวัง และป้องกันเหตุการณ์มลพิษอากาศที่เกิดขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ และลดความเสี่ยงที่จะเกิดความเข้มข้นมลพิษอากาศสูงที่จะส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชน และการศึกษาในอนาคตควรใช้แบบจำลองอุตุนิยมวิทยาร่วมกับแบบจำลองคุณภาพอากาศศึกษาความแปรปรวนสภาพอากาศและความเสี่ยงต่อปัญหาหมอกควัน ควรนำผลการศึกษานี้ไปพิจารณาเป็นเกณฑ์สนับสนุนการตัดสินใจเตือนภัยปัญหาหมอกควันในพื้นที่ภาคเหนือประเทศไทยโดยร่วมกับข้อมูลพยากรณ์สภาพอากาศ แล้วมาวิเคราะห์ระดับความเสี่ยงต่อปัญหามลพิษอากาศในอนาคต เช่นเดียวกันกับการพยากรณ์สภาพอากาศ เพื่อให้ประชาชนมีข้อมูลในการบริหารจัดการลดการเผาชีวมวลในช่วงที่สภาพอุตุนิยมวิทยาเสี่ยงสูง

ต่อปัญหามลพิษอากาศ สามารถเตรียมความพร้อม และป้องกันตนเองจากสภาวะหมอกควัน และลดความเสี่ยงที่จะเกิดเหตุการณ์ที่ทำให้ค่าความเข้มข้นมลพิษอากาศสูงขึ้นได้

บรรณานุกรม

กรมควบคุมมลพิษ. (2559). **สถานการณ์มลพิษของประเทศไทย ปี 2559.** รายงานการวิจัย กรุงเทพฯ: กรมควบคุมมลพิษ.

สิทธิชัย พิมลศรี และภวัต อารินทร์. (2553). สถานการณ์ปัญหาฝุ่นละอองในบรรยากาศและผลกระทบต่อสุขภาพประชาชนในจังหวัดลำปาง. **นเรศวรวิจัย,** 6, 670–681.

Asif, Z., Chen, Z., and Guo, J. (2018). A study of meteorological effects on PM2.5 concentration in mining area. **Atmospheric Pollution Research**. 9(4), 688–696.

Allabakash, S., and Lim, S. (2020). Climatology of Planetary Boundary Layer Height–Controlling Meteorological Parameters Over the Korean Peninsula. **Remote Sensing**, 12(16), 1–21.

Bianco, L., Djalalova, I., King, C., and Wilczak, J. (2011). Diurnal Evolution and Annual Variability of Boundary–Layer Height and Its Correlation to Other Meteorological Variables in California's Central Valley. **Boundary–Layer Meteorology**, 140, 491–511.

Cheng, Y., Ho, K. F., Lee, S., and Law, S. W. (2006). Seasonal and diurnal variations of PM1.0, PM2.5 and PM10 in the roadside environment of Hong Kong. **China Particuology**, 4, 312–315.

Cao, C., Zheng, S., and Singh, R. P. (2014). Characteristics of aerosol optical properties and meteorological parameters during three major dust events (2005–2010) over Beijing, China. **Atmospheric Research**, 150, 129–142.

Chen, T., He, J., Lu, X., She, J., and Guan, Z. (2016). Spatial and Temporal Variations of PM2.5 and Its Relation to Meteorological Factors in the Urban Area of Nanjing, China. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, 13, 1–16.

Chotamonsak, C., and Lapyai, D. (2018). The Effects of Biomass Burning Aerosols on Solar Radiation and Climate Over Northern Thailand: A Case Study of the 2013 Smoke–Haze Season. **Paper presented at the semantic scholar**, 23(3), 1268–1283.

Cao, B., Wang, X., Ning, G., Yuan, L., Jiang, M., Zhang, X., and Wang, S. (2020). Factors influencing the boundary layer height and their relationship with air quality in the

Sichuan Basin, China. **Science of The Total Environment**, 727, 138584.

Du, C. (2013). Urban Boundary Layer Height Characteristics and Relationship with Particulate Matter Mass Concentrations in Xi'an, Central China. **Aerosol and Air Quality Research**, 13(5), 1598–1607.

Elminir, H. K. (2005). Dependence of urban air pollutants on meteorology. **Science of The Total Environment**, 350(1), 225–237.

Geiβ, A., Wiegner, M., Bonn, B., Schäfer, K., Forkel, R., Von Schneidemesser, E. et., al. (2017). Mixing layer height as an indicator for urban air quality? **Atmospheric Measurement Techniques**, 10(8), 2969–2988.

He, J., Gong, S., Yu, Y., Yu, L., Wu, L., Mao, H. et.,al. (2017). Air pollution characteristics and their relation to meteorological conditions during 2014–2015 in major Chinese cities. **Environmental Pollution**, 223, 484–496.

Kalthoff, N., Binder, H. J., Kossmann, M., VÖgtlin, R., Corsmeier, U., Fiedler, F., et. al., (1998). Temporal evolution and spatial variation of the boundary layer over complex terrain. **Atmospheric Environment**, 32(7), 1179–1194.

Kim, M. J. (2019). Changes in the Relationship between Particulate Matter and Surface Temperature in Seoul from 2002–2017. **Atmosphere**, 10(5). 238–248.

Liu, S., and Liang, X.–Z. (2010). Observed Diurnal Cycle Climatology of Planetary Boundary Layer Height. **Journal of Climate**, 23, 5790–5809.

Lee, S.–J., Lee, J., Greybush, S. J., Kang, M., and Kim, J. (2013). Spatial and Temporal Variation in PBL Height over the Korean Peninsula in the KMA Operational Regional Model. **Advances in Meteorology**, 2013, 1–17.

Liu, Z., Hu, B., Wang, L., Wu, F., Gao, W., and Wang, Y. (2015). Seasonal and diurnal variation in particulate matter (PM10 and PM2.5) at an urban site of Beijing: analyses from a 9–year study. **Environmental Science and Pollution Research**, 22(1), 627–642.

Li, X., Ma, Y., Wang, Y., Liu, N., and Hong, Y. (2017). Temporal and spatial analyses of particulate matter (PM10 and PM2.5) and its relationship with meteorological parameters over an urban city in northeast China. **Atmospheric Research**, 198,

185–193.

Li, X., Ma, Y., Wang, Y., Wei, W., Zhang, Y., Liu, N., et.al., (2019). Vertical Distribution of Particulate Matter and its Relationship with Planetary Boundary Layer Structure in Shenyang, Northeast China. **Aerosol and Air Quality Research**, 19(11), 2464–2476.

Lee, J., and Kim, K.–Y. (2018). Analysis of source regions and meteorological factors for the variability of spring PM10 concentrations in Seoul, Korea. **Atmospheric Environment**, 175, 199–209.

Li, Q., Zhang, H., Cai, X., Song, Y., and Zhu, T. (2021). The impacts of the atmospheric boundary layer on regional haze in North China. **npj Climate and Atmospheric Science**, 4(1), 1–10.

McGregor, G. R., and Bamzelis, D. (1995). Synoptic typing and its application to the investigation of weather air pollution relationships, Birmingham, United Kingdom. **Theoretical and Applied Climatology**, 51(4), 223–236.

Mok, K. M., and Hoi, K. I. (2005). Effects of meteorological conditions on PM10 concentrations – A study in Macau. **Environmental Monitoring and Assessment**, 102(1), 201–223.

Medeiros, B., Hall, A., and Stevens, B. (2005). What Controls the Mean Depth of the PBL? **Journal of Climate**, 18(16), 3157–3172.

Miao, Y., Guo, J., Liu, S., Zhao, C., Li, X., Zhang, G. et.al., (2018). Impacts of synoptic condition and planetary boundary layer structure on the trans–boundary aerosol transport from Beijing–Tianjin–Hebei region to northeast China. **Atmospheric Environment**, 181, 1–11.

Pasch, A. N., MacDonald, C. P., Gilliam, R. C., Knoderer, C. A., and Roberts, P. T. (2011). Meteorological characteristics associated with PM2.5 air pollution in Cleveland, Ohio, during the 2009–2010 Cleveland Multiple Air Pollutants Study. **Atmospheric Environment**, 45(39), 7026–7035.

Pimonsree, S., Phakawan Ratnamhina, Patipat Vongruanga, and Sumitsawan, S. (8–9 October, 2014). Impacts of Cumulus Convective Parameterization Schemes on Precipitation at Grey–Zone Resolutions: A case study over complex terrain in upper Northern Thailand. In **4th International Conference on Environment and**

BioScience (ICEBS 2014) 359–362 **South Korea: Jinju.**

Pan, L., Xu, J., Tie, X., Mao, X., Gao, W., and Chang, L. (2019). Long–term measurements of planetary boundary layer height and interactions with PM2.5 in Shanghai, China. **Atmospheric Pollution Research**, 10(3), 989–996.

Qu, Y., Han, Y., Wu, Y., Gao, P., and Wang, T. (2017). Study of PBLH and Its Correlation with Particulate Matter from One–Year Observation over Nanjing, Southeast China. **Remote Sensing**, 9(7), 1–14.

Somkuan Tonjan, H. V. (2010). An Investigation of the Precipitation Prediction Results of the Public Domain System Model (WRF). **Engineering & Technology.**,7(3): 27–34.

Schepanski, K., Mallet, M., Heinold, B., and Ulrich, M. (2016). **North African dust transport toward the western Mediterranean basin: Atmospheric controls on dust source activation and transport pathways during June–July.** 16(12), 14147–14168.

Sumesh, R., Kolliyil, R., E A, R., and C.K, U. (2017). Particulate Matter Concentrations in the Southern Tip of India: Temporal Variation, Meteorological Influences, and Source Identification. **Earth Systems and Environment**, 1(2), 1–13.

Solanki, R., Macatangay, R., Sakulsupich, V., Sonkaew, T., and Mahapatra, P. S. (2019). Mixing Layer Height Retrievals From MiniMPL Measurements in the Chiang Mai Valley: Implications for Particulate Matter Pollution**. Frontiers in Earth Science.** 7, 1–11.

Von Engeln, A., and Teixeira, J. (2013). A Planetary Boundary Layer Height Climatology Derived from ECMWF Reanalysis Data. **Journal of Climate**, 26(17), 6575–6590.

Wagner, P. and Schaefer, K. (2017). Influence of mixing layer height on air pollutant concentrations in an urban street canyon. **Urban Climate**, 22, 64–79.

Xu, J., Chang, L., Qu, Y., Yan, F., Wang, F., and Fu, Q. (2016). The meteorological modulation on PM2.5 interannual oscillation during 2013 to 2015 in Shanghai, China. **Science of The Total Environment**, 572, 1138–1149.

Yu, M., Liu, Y., Dai, Y. and Yang, A. (2013). Impact of urbanization on boundary layer structure in Beijing. **Climatic Change**, 120, 123–136.

Yadav, S., Praveen, O., and Satsangi, G. (2015). The effect of climate and meteorological

changes on particulate matter in Pune, India. **Environmental Monitoring and Assessment**, 187(7), 4634–4643.

You, T., Wu, R., Huang, G., and Fan, G. (2016). Regional Meteorological Patterns for Heavy Pollution Events in Beijing. **Journal of Meteorological Research**, 31(3), 597–611.

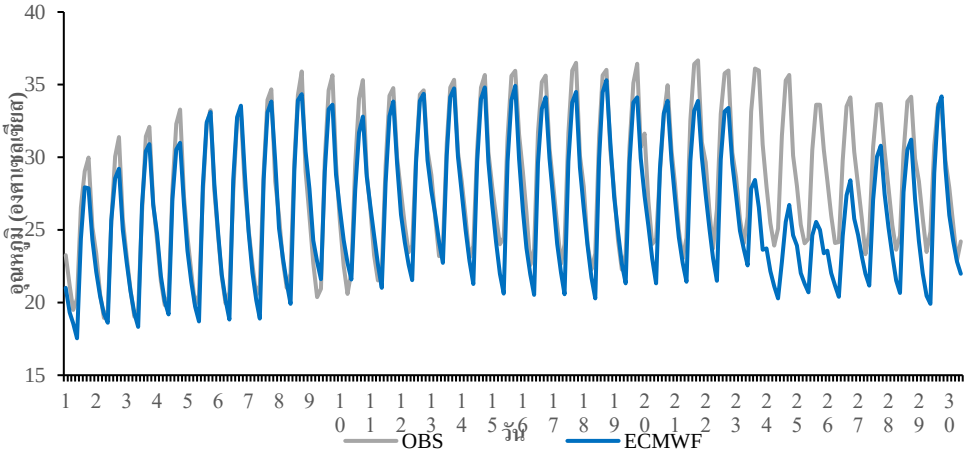
Zheng, S., Pozzer, A., Cao, C. X., and Lelieveld, J. (2015). Long–term (2001–2012) concentrations of fine particulate matter ($PM_{2.5}$) and the impact on human health in Beijing, China. **Atmos. Chem. Phys.**, 15(10), 5715–5725.

Zhang, H., Wang, Y., Hu, J., Ying, Q., and Hu, X.–M. (2015). Relationships between meteorological parameters and criteria air pollutants in three megacities in China. **Environmental Research**, 140, 242–254.

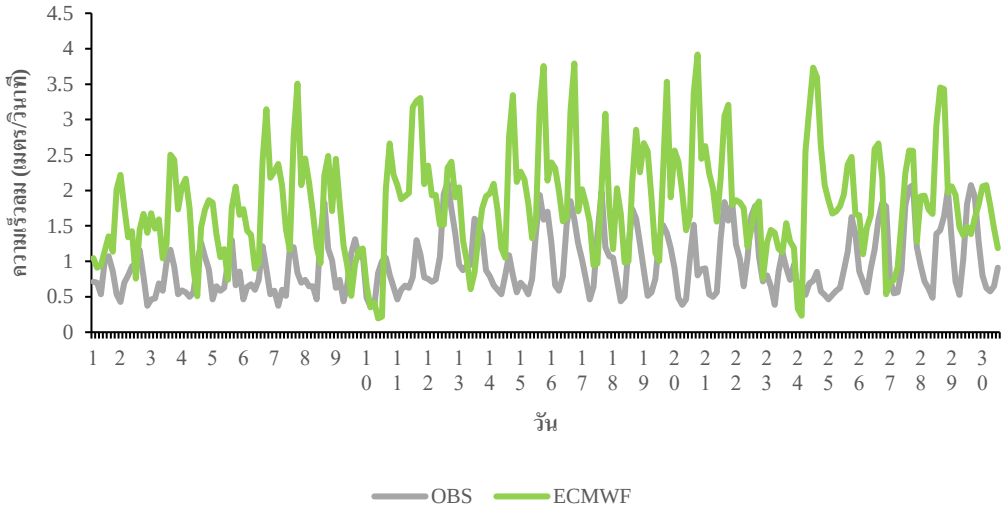
Zhao, H., Che, H., Xia, X., Wang, Y., Wang, H., Wang, P., et., al. (2019). Climatology of mixing layer height in China based on multi–year meteorological data from 2000 to 2013. **Atmospheric Environment**, 213, 620–638.

ภาคผนวก

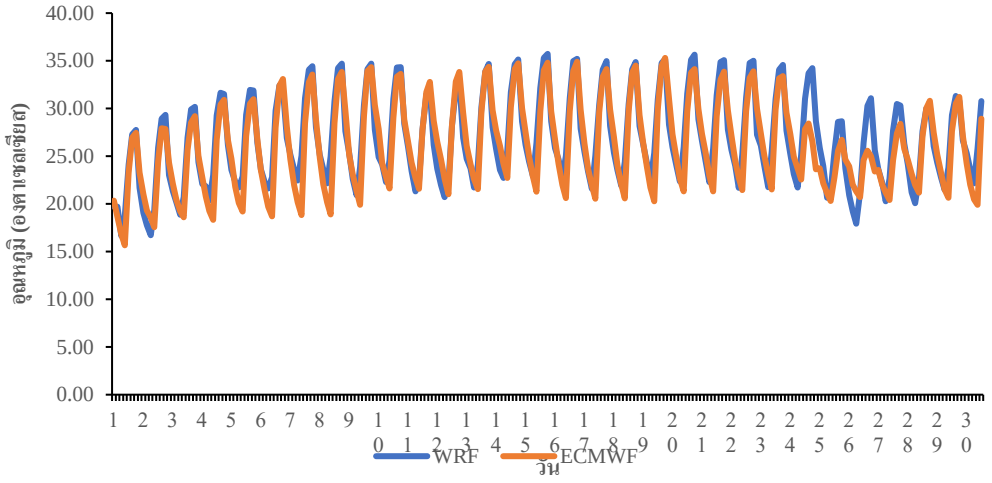
ภาคผนวก ก ผลการเปรียบเทียบระหว่างข้อมูลตรวจวัด แบบจำลอง ECMWF และ WRF



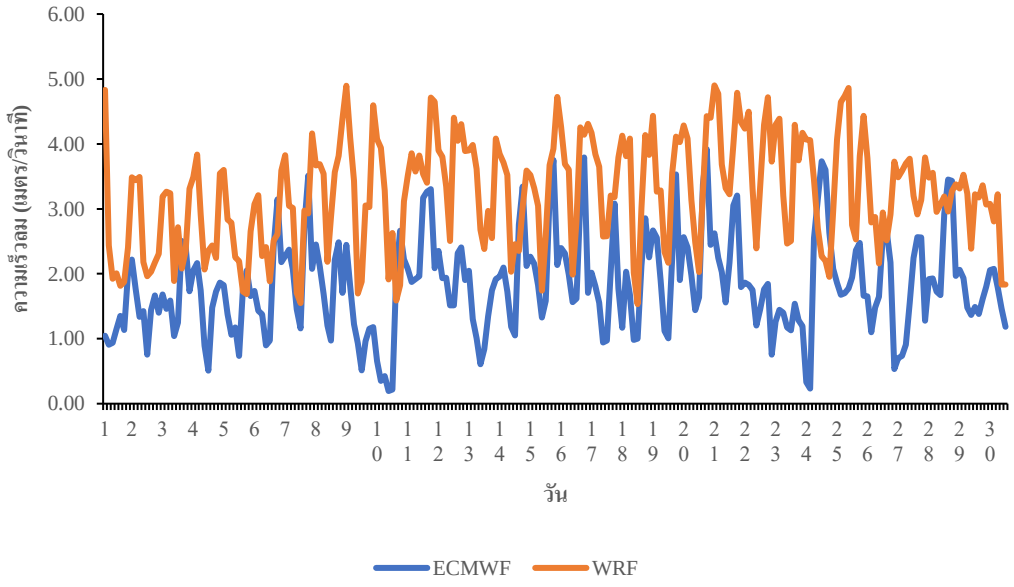
ภาพ 35 การเปรียบเทียบข้อมูลอุณหภูมิระหว่างค่าจากข้อมูล ECMWF กับค่าจากการตรวจวัดสถานีตรวจวัด (OBS) จากสถานีในพื้นที่ภาคเหนือประเทศไทย ช่วงเดือนมีนาคม พ.ศ.2559



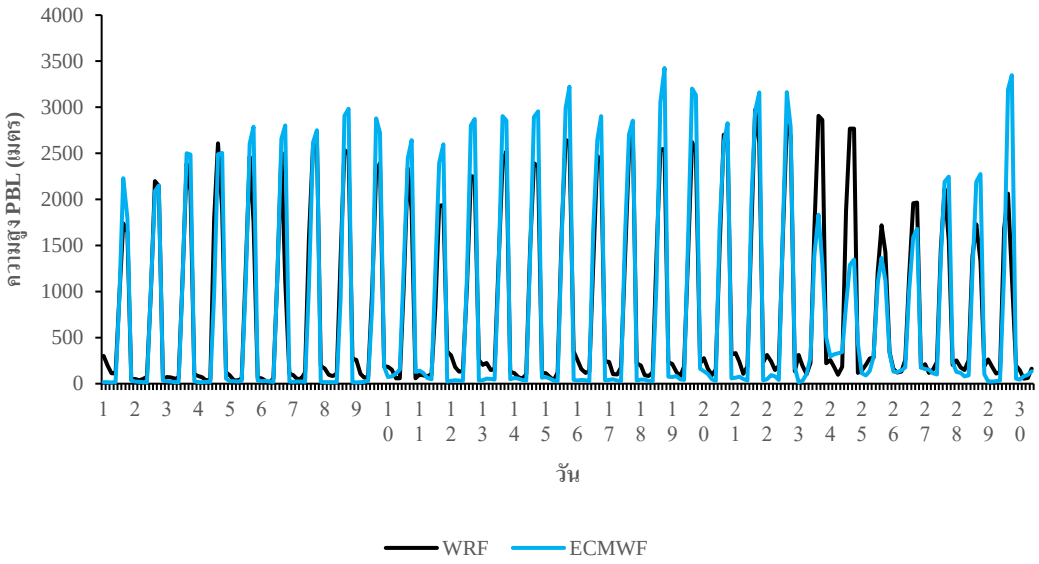
ภาพ 36 เปรียบเทียบข้อมูลความเร็วลมระหว่างค่าตรวจวัดจริงจากสถานีตรวจวัด (OBS), จากข้อมูล ECMWF ในเดือนมีนาคม พ.ศ.2559



ภาพ 37 เปรียบเทียบข้อมูลอุณหภูมิระหว่างข้อมูล ECMWF และ ข้อมูลจาก WRF ในเดือนมีนาคม พ.ศ.2559



ภาพ 38 เปรียบเทียบข้อมูลความเร็วลมระหว่างค่าจาก WRF และข้อมูล ECMWF ในเดือนมีนาคม พ.ศ.2559

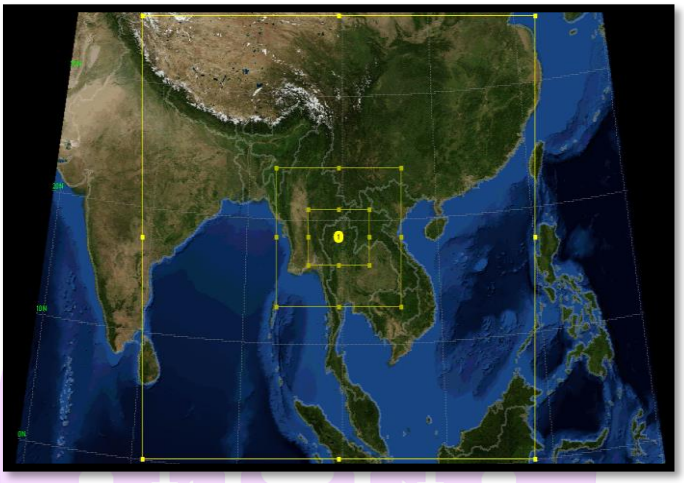


ภาพ 39 เปรียบเทียบข้อมูลความสูง PBL ระหว่างค่าจาก WRF และข้อมูล ECMWF ในเดือนมีนาคม พ.ศ.2559

การจำลองสภาพอุตุนิยมวิทยาด้วยแบบจำลอง WRF

ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาสำหรับเป็นข้อมูล Initial และ Boundary condition สำหรับในแบบจำลอง WRF ใช้ข้อมูล GDAS (Global Data Assimilation System) โดยมีความละเอียดกริดข้อมูล 0.25 องศา ซึ่งการจำลองใช้วิธีจำลองแบบ one-way nested grid โดยมีโดเมนทั้งหมด 3 โดเมน ได้แก่ โดเมนภายนอก (D01) จำลองมีความละเอียดเท่ากับ 18 km^2 โดเมนภายใน (D02) มีความละเอียดขนาด 6 km^2 และโดเมนภายใน (D03) มีความละเอียดขนาด 2 km^2 ครอบคลุมพื้นที่ภาคเหนือ ดังภาพ 9 การจำลองใช้ Lambert projection แบ่งเป็น 46 ชั้นความสูงจากระดับพื้นโลกถึงความสูงที่ระดับความดัน 50 mbar (ประมาณ 17 km) (สิทธิชัย พิมลศรี, ปฏิพัทธ์ วงค์เรืองและภัทรภูมิ เพียงตา, 2559)

ภาคผนวก ข การตั้งค่าการจำลองสภาพอุตุนิยมวิทยาด้วยแบบจำลอง WRF



ภาพ 40 ขอบเขตการจำลองสภาพอุตุนิยมวิทยา

ตาราง 4 การกำหนดชั้นความสูงสำหรับการจำลองด้วยแบบจำลอง WRF

Layer	Sigma	Pressure (mb)	Height (m)	Depth (m)	Layer	Sigma	Pressure (mb)	Height (m)	Depth (m)
46	0	5000	17540	659	23	0.49	51550	5011	507
45	0.01	5950	16881	596	22	0.53	55350	4504	480
44	0.02	6900	16284	546	21	0.57	59150	4023	456
43	0.03	7850	15739	503	20	0.61	62950	3567	434
42	0.04	8800	15235	558	19	0.65	66750	3133	415
41	0.052	9940	14678	598	18	0.69	70550	2718	397
40	0.066	11270	14080	626	17	0.73	74350	2321	287
39	0.082	12790	13454	644	16	0.76	77200	2033	279
38	0.1	14500	12810	654	15	0.79	80050	1754	271
37	0.12	16400	12156	601	14	0.82	82900	1483	264
36	0.14	18300	11555	557	13	0.85	85750	1220	172
35	0.16	20200	10999	519	12	0.87	87650	1048	169

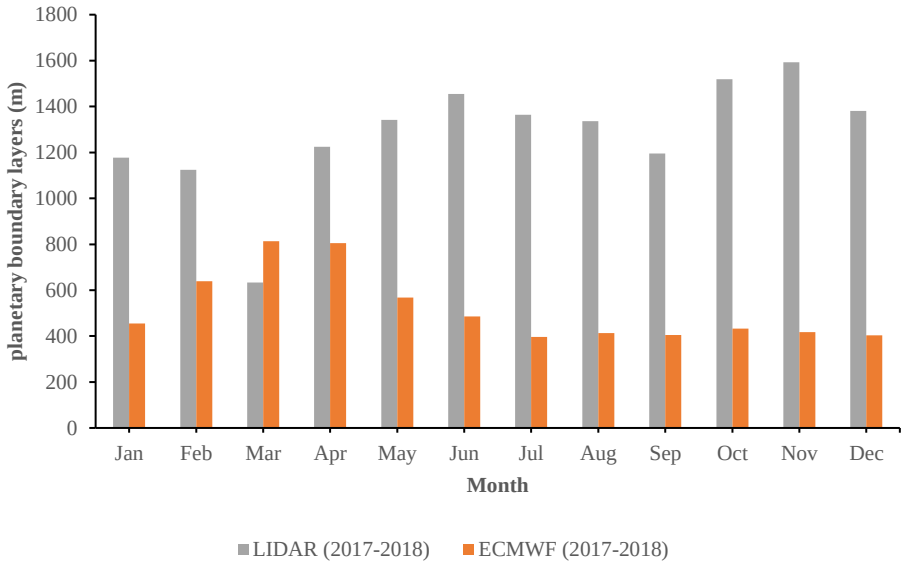
ตาราง 4 การกำหนดชั้นความสูงสำหรับการจำลองด้วยแบบจำลอง WRF

Layer	Sigma	Pressure (mb)	Height (m)	Depth (m)	Layer	Sigma	Pressure (mb)	Height (m)	Depth (m)
34	0.18	22100	10480	486	11	0.89	89550	879	166
33	0.2	24000	9993	458	10	0.91	91450	713	163
32	0.22	25900	9535	433	9	0.93	93350	550	121
31	0.24	27800	9102	411	8	0.945	94775	430	119
30	0.26	29700	8690	392	7	0.96	96200	311	79
29	0.28	31600	8299	555	6	0.97	97150	232	78
28	0.31	34450	7744	520	5	0.98	98100	154	62
27	0.34	37300	7224	490	4	0.988	98860	92	54
26	0.37	40150	6734	613	3	0.995	99525	38	23
25	0.41	43950	6121	573	2	0.998	99810	15	15
24	0.45	47750	5548	538	1	1.000	100000	0	0

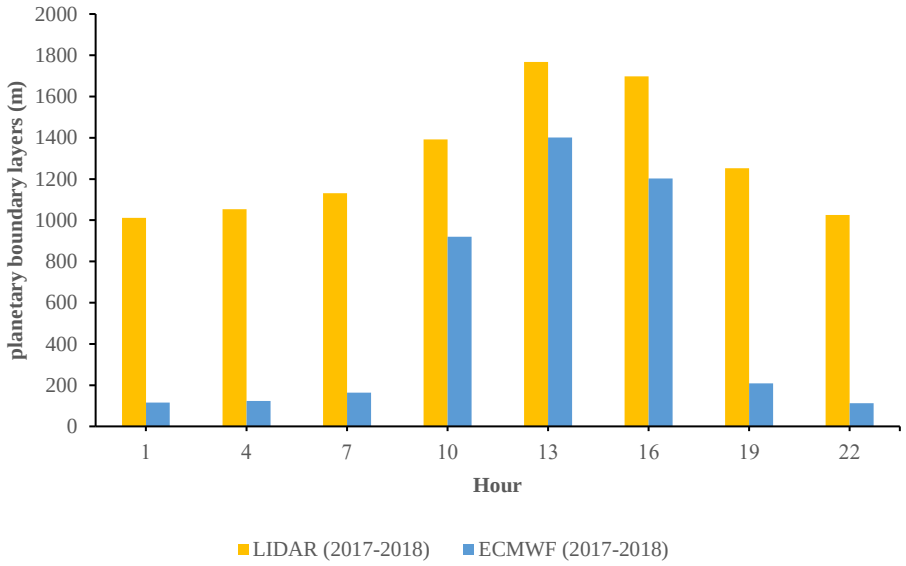
ตาราง 5 การตั้งค่าแบบจำลอง WRF

	WRFV3.4
Microphysics	WSM6
Surface layer option	MM5 Monin–Obukhov scheme
Land surface option	Noah Land Surface Model
PBL scheme	YSU
Cumulus option	Kain–Fritsch (new Eta) scheme
Long wave	RRTM scheme
Short wave	Dudhia scheme

ภาคผนวก ค ผลการเปรียบเทียบระหว่างข้อมูลตรวจวัด Lidar และ แบบจำลอง ECMWF



ภาพ 41 เปรียบเทียบข้อมูลเฉลี่ยรายเดือนของความสูง PBL ระหว่างค่าจาก Lidar และข้อมูล ECMWF ในเดือนเมษายน 2017–มิถุนายน 2018



ภาพ 42 เปรียบเทียบข้อมูลเฉลี่ยภายในวันของความสูง PBL ระหว่างค่าจาก Lidar และข้อมูลECMWF ในเดือนเมษายน 2017–มิถุนายน 2018

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	กันต์ศักดิ์ ทรัพย์พ่วง
วัน เดือน ปี เกิด	26 เมษายน 2538
สถานที่เกิด	จังหวัดลำปาง
วุฒิการศึกษา	2559 วศ.บ. (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม), มหาวิทยาลัยพะเยา, พะเยา.
ที่อยู่ปัจจุบัน	บ้านเลขที่ 153/28 ถนน ประตูม้า ตำบลเวียงเหนือ อำเภอเมืองลำปาง จังหวัดลำปาง 52000
ผลงานตีพิมพ์	กันต์ศักดิ์ ทรัพย์พ่วง (ผู้บรรยาย) สุกฤษฎิ์ เกิดแสง และสิทธิชัย พิมลศรี. (23-24 พฤษภาคม 2562). การเปลี่ยนแปลงภายในวันของ PM10 และความสัมพันธ์กับพารามิเตอร์อุตุนิยมวิทยาในภาคเหนือของประเทศไทย ในการประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ครั้งที่ 18 (หน้า25-36). กรุงเทพฯ: โรงแรมเดอะ ทวินทาวเวอร์ รองเมือง กรุงเทพฯ