

การประยุกต์ใช้แบบจำลอง CMAQ ในการพัฒนามาตรการที่เหมาะสม  
ในการแก้ปัญหาหมอกควันจังหวัดพะเยา



วิทยานิพนธ์เสนอมหาวิทยาลัยพะเยา เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

ตุลาคม 2563

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยพะเยา

การประยุกต์ใช้แบบจำลอง CMAQ ในการพัฒนามาตรการที่เหมาะสม  
ในการแก้ปัญหาหมอกควันจังหวัดพะเยา



วิทยานิพนธ์เสนอมหาวิทยาลัยพะเยา เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา  
หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม  
ตุลาคม 2563  
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยพะเยา

APPLICATIONS OF CMAQ MODEL TO DEVELOP APPROPRIATE MEASURES TO  
SOLVE SMOG PROBLEM IN PHAYAO PROVINCE



A Thesis Submitted to University of Phayao  
in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Master of Engineering Degree in Environmental Engineering  
October 2020

Copyright 2020 by University of Phayao

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การประยุกต์ใช้แบบจำลอง CMAQ ในการพัฒนามาตรการที่เหมาะสม  
ในการแก้ปัญหาหมอกควันจังหวัดพะเยา

ของ ภัทรภูมิ เพียงตา

ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

ของมหาวิทยาลัยพะเยา

..... ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(ดร. ชัชวาล วงศ์มหาดเล็ก)

..... ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สิทธิชัย พิมลศรี)

..... กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธีรชัย อำนวยล้อมเจริญ)

..... อาจารย์บัณฑิตศึกษามหาวิทยาลัยพะเยา

(ดร. ปฏิพัทธ์ วงศ์เรือง)

..... คณบดีคณะพลังงานและสิ่งแวดล้อม

(รองศาสตราจารย์ ดร. ตอพงค์ กรีธาชาติ)

<b>เรื่อง:</b>	การประยุกต์ใช้แบบจำลอง CMAQ ในการพัฒนามาตรการที่เหมาะสมในการแก้ปัญหาหมอกควันจังหวัดพะเยา
<b>ผู้วิจัย:</b>	ภัทรภูมิ เพียงตา, วิทยานิพนธ์: วศ.ม. (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม), มหาวิทยาลัยพะเยา, 2563
<b>อาจารย์ที่ปรึกษา:</b>	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สิทธิชัย พิมลศรี อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีรชัย อำนวยล้อยเจริญ
<b>คำสำคัญ</b>	แบบจำลองคุณภาพอากาศ, ฝุ่นละออง (PM2.5), หมอกควัน, พะเยา, การควบคุมการเผาชีวมวล

#### บทคัดย่อ

PM2.5 เป็นมลพิษอากาศสำคัญของปัญหาหมอกควันมีผลกระทบต่อสุขภาพประชาชน งานวิจัยนี้ศึกษาความสามารถในการรองรับของ PM2.5 ในบรรยากาศจากการเผาชีวมวล งานวิจัยนี้ศึกษาในช่วงวิกฤตหมอกควัน วันที่ 31 มีนาคม พ.ศ.2562 โดยใช้ระบบแบบจำลอง WRF-CMAQ จำลองการแพร่กระจายฝุ่นละออง PM2.5 ที่ความละเอียดกริด 3x3 ตารางกิโลเมตร ศึกษากรณี ไม่มีการเผา, เผาป่า 20 ไร่, เผาป่า 40 ไร่, เผาป่า 60 ไร่, เผาป่า 80 ไร่ และเผาป่า 100 ไร่ ผลการวิจัยพบว่าแบบจำลอง CMAQ สามารถจำลองได้ความเข้มข้นสูงสุดรายชั่วโมง ณ จุดปล่อยมลพิษที่มีการเผามีค่า PM2.5 เพิ่มขึ้นเท่ากับ 217, 454, 691, 930 และ 1,169 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ และความเข้มข้นเฉลี่ยรายวันมีค่าเพิ่มขึ้น ณ จุดที่เผาป่าเท่ากับ 14, 30, 47, 63 และ 80 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ผลการศึกษาทำให้ทราบการเผาชีวมวลในที่โล่งในพื้นที่ป่า 63 ไร่ จะทำให้ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของ PM2.5 มีค่าเพิ่มขึ้น 50 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

**Title:** APPLICATIONS OF CMAQ MODEL TO DEVELOP APPROPRIATE MEASURES TO SOLVE SMOG PROBLEM IN PHAYAO PROVINCE

**Author:** Pattarapoom Peangta, Thesis: M.Eng. (Environmental Engineering), University of Phayao, 2020

**Advisor:** Assistant Professor Dr. Sittichai Pimonsree Co–advisor Assistant Professor Dr.Teerachai Amnuaylojaroen

**Keyword** Air quality model, Particulate matter (PM2.5), Smog episode, Phayao, Biomass burning control

#### ABSTRACT

PM2.5 is an important pollutant of smoke problems which affects on people's health. The purposes of this study were to study the carrying capacity of atmosphere for PM2.5 emitted from biomass burning. The case study was investigated during the smog episode in Phayao on 31 March 2019 by using WRF–CMAQ modelling system to simulate PM2.5 with 3x3 km<sup>2</sup> grid resolution. Emission sources include biomass burning, transportation, industry and biogenic emission sources. Six biomass burning control scenarios in forest area, were investigated. Modeling results of scenarios 20, 40, 60, 80, and 100 rai of biomass burning emission from forest in Phayao show that maximum hourly concentrations at burning area are 217, 454, 691, 930 and 1,169 µg/m<sup>3</sup> respectively, and the daily average concentrations are 14, 30, 47, 63 and 80. µg/m<sup>3</sup> respectively. Model analysis results show that biomass burning in forest 63 rai resulting in daily average PM2.5 concentration increase 50 µg/m<sup>3</sup>.



## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยประเภทบัณฑิตศึกษา จากสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ประจำปี 2561 ได้รับความกรุณาจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิทธิชัย พิมลศรี อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ให้ความรู้ คำแนะนำ คำปรึกษา ตลอดระยะเวลาการดำเนินงานวิจัย จนทำให้การวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยดี ขอขอบคุณอาจารย์ดร. ปฏิพัทธ์ วงศ์เรือง ที่ให้ความรู้ด้านเทคนิคการวิเคราะห์ข้อมูล เทคนิคแบบจำลอง การใช้โปรแกรมระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ ขอขอบคุณหน่วยงานราชการกรมควบคุมมลพิษสำหรับข้อมูลตรวจวัดคุณภาพอากาศและข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ขอขอบคุณครอบครัวที่สนับสนุน และให้โอกาส ตลอดการศึกษานี้ ขอขอบคุณสมาชิกแอร์แลปทุกคนที่ช่วยเหลือกันในด้านต่างๆ ด้วยดีเสมอมา

ภัทรภูมิ เพียงตา



## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	จ
กิตติกรรมประกาศ .....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย .....	2
ขอบเขตการวิจัย .....	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย .....	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	4
การเผาในที่โล่ง.....	4
สถานการณ์หมอกควันของประเทศไทย.....	4
สถานการณ์หมอกควันของจังหวัดพะเยา .....	5
มลพิษอากาศจากการเผาในที่โล่งและผลกระทบต่อสุขภาพ .....	6
ยุทธศาสตร์นโยบาย .....	7
แบบจำลองคุณภาพอากาศและระบบแสดงผล .....	11
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	15
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	18
รายละเอียดในการจำลอง (Model description) .....	19

การจำลองสภาพอุตุนิยมวิทยา (Meteorology).....	19
ข้อมูลการปล่อยมลสารจากแหล่งกำเนิด (Emissions).....	21
ข้อมูลการปล่อยมลสารจากแหล่งกำเนิดจากมนุษย์ (Anthropogenic emissions) .....	22
ข้อมูลการปล่อยมลสารจากแหล่งกำเนิดชีวภาพ (Biogenic emissions) .....	22
ข้อมูลการปล่อยมลสารจากแหล่งกำเนิดการเผาชีวมวล (Biomass burning emissions).....	23
แบบจำลอง CMAQ.....	27
การประเมินความถูกต้องแบบจำลอง (Model evaluation).....	28
การกำหนดมาตรการควบคุมการเผาในที่โล่ง.....	30
บทที่ 4 ผลการวิจัย .....	32
การจำลองการแพร่กระจายฝุ่นละอองด้วยระบบแบบจำลอง WRF-CMAQ.....	32
การจำลองอุณหภูมิ.....	32
การจำลองความเร็วลมและทิศทางลม.....	34
การจำลองฝน.....	39
การจำลองความเข้มข้นของ PM2.5.....	39
การคาดการณ์ข้อมูลการปล่อยมลสารจากแหล่งกำเนิดจากมนุษย์ (Anthropogenic emissions) .....	40
การเผาชีวมวลในจังหวัดพะเยา .....	42
การจำลองผลกระทบของปริมาณการเผาต่อความเข้มข้นของ PM2.5.....	47
ความสัมพันธ์ของการเพิ่มพื้นที่เผาป่าต่อความเข้มข้นฝุ่นละออง PM2.5 ที่เปลี่ยนแปลงไป.....	51
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย .....	52
ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป .....	53
บรรณานุกรม .....	54
ประวัติผู้วิจัย .....	57

## สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 1 จุดควมร้อนรายอำเภอและการใช้พื้นที่ เดือนมกราคม – เมษายน พ.ศ.2562.....	6
ตาราง 2 การกำหนดชั้นความสูงสำหรับการจำลองด้วยแบบจำลอง WRF-CMAQ .....	20
ตาราง 3 การตั้งค่าแบบจำลอง WRF-CMAQ .....	21
ตาราง 4 การจัดกลุ่มชนิดพื้นที่ .....	23
ตาราง 5 ค่าปัจจัยการระบายจากการเผาในที่โล่งของการเผาป่า .....	24
ตาราง 6 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณการปล่อยมลพิษของการเผาในที่โล่งของป่าไม้ .....	24
ตาราง 7 การแบ่งกลุ่มตัวแปรของการเกิด Plume ตามขนาดของพื้นที่การเผา .....	25
ตาราง 8 การแบ่งกลุ่มประสิทธิภาพการลอยตัวของ Plume รายชั่วโมงในหนึ่งวัน .....	25
ตาราง 9 สัดส่วนการปล่อย Emission จากการเผารายชั่วโมงในหนึ่งวัน .....	26
ตาราง 10 พิกัดสถานีตรวจวัดมลพิษอากาศและอุตุนิยมวิทยาภาคพื้นดิน .....	30
ตาราง 11 ค่าสถิติประเมินความถูกต้องผลการจำลองความเข้มข้น PM <sub>2.5</sub> เปรียบเทียบกับ ข้อมูลตรวจวัด 13 จุดในพื้นที่ภาคเหนือประเทศไทย .....	39
ตาราง 12 ผลสัมฤทธิ์มวลรวมในประเทศแบบปริมาณลูกโซ่ .....	42
ตาราง 13 ปริมาณชีวมวลที่ถูกเผาตามกรณีศึกษา .....	46

## สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพ 1 ขั้นตอนการทำงานของแบบจำลอง WRF Version 3.8.....	12
ภาพ 2 CMAQ Chemistry–Transport Model (CCTM) and input processors .....	14
ภาพ 3 ขอบเขตการศึกษาและจุดความร้อน.....	18
ภาพ 4 ระบบการจำลองการแพร่กระจายมลพิษอากาศในการศึกษานี้ .....	19
ภาพ 5 แผนผังขั้นตอนดำเนินงานวิจัยการประเมินความถูกต้องและปรับพารามิเตอร์ .....	31
ภาพ 6 แผนผังขั้นตอนดำเนินงานวิจัยจำลองการแพร่กระจายด้วยแบบจำลอง CMAQ.....	31
ภาพ 7 ผลการจำลองอุณหภูมิเปรียบเทียบกับข้อมูลตรวจวัด .....	33
ภาพ 8 ผลการจำลองอุณหภูมิเปรียบเทียบกับข้อมูลแบบจำลอง MERRA-2.....	34
ภาพ 9 ผลการจำลองความเร็วลมเปรียบเทียบกับข้อมูลตรวจวัด .....	35
ภาพ 10 ผลการจำลองทิศทางลมเปรียบเทียบกับข้อมูลตรวจวัด .....	36
ภาพ 11 ผลการจำลองความเร็วลมและทิศทางลมเปรียบเทียบกับข้อมูล.....	37
ภาพ 12 ผลการจำลองฝนเปรียบเทียบกับค่าตรวจวัดจากดาวเทียม TRMM.....	38
ภาพ 13 ผลการจำลองความเข้มข้น PM <sub>2.5</sub> เปรียบเทียบกับข้อมูลตรวจวัด 13 จุด.....	40
ภาพ 14 ปริมาณการปล่อยมลสาร CO จากแหล่งกำเนิดโดยมนุษย์ใช้ข้อมูล a) SEAC4RS 2012 b) SEAC4RS 2019 c) CAMS–GLOB–ANT 2012 d) CAMS–GLOB–ANT 2019 .....	41
ภาพ 15 ปริมาณการเผาในจังหวัดพะเยารายเดือน พ.ศ. 2562 .....	42
ภาพ 16 จุดความร้อน MODIS ช่วงเดือนกุมภาพันธ์–เมษายน พ.ศ.2562 ร่วมกับการใช้ ประโยชน์ที่ดิน .....	43
ภาพ 17 ความเข้มข้นเฉลี่ยรายวันของ PM <sub>2.5</sub> เดือนกุมภาพันธ์ – เมษายน พ.ศ.2562.....	44
ภาพ 18 ดัชนีระบายอากาศ (Ventilation Index) ของวันที่ 31 มีนาคมและจุดความร้อนสะสม เดือนกุมภาพันธ์–เมษายน พ.ศ.2562.....	45

ภาพ 19 จุดปล่อยมลพิษและจุดความร้อน MODIS ช่วงเดือนกุมภาพันธ์-เมษายน พ.ศ. 2562 ร่วมกับการใช้ประโยชน์ที่ดิน .....	45
ภาพ 20 ความเข้มข้นฝุ่นละอองเฉลี่ยรายวันที่เพิ่มขึ้นในจังหวัดพะเยา วันที่ 31 มีนาคม พ.ศ. 2562 กรณี a) เฝ้าชีวมวล 20 ไร่ b) เฝ้าชีวมวล 40 ไร่ c) เฝ้าชีวมวล 60 ไร่ .....	48
ภาพ 21 ความเข้มข้นฝุ่นละอองสูงสุดที่เพิ่มขึ้นในจังหวัดพะเยา วันที่ 31 มีนาคม พ.ศ.2562 กรณี a) เฝ้าชีวมวล 20 ไร่ b) เฝ้าชีวมวล 40 ไร่ c) เฝ้าชีวมวล 60 ไร่ d) เฝ้าชีวมวล 80 ไร่ e) เฝ้าชีวมวล 100 ไร่ .....	49
ภาพ 22 กราฟความเข้มข้น PM2.5 รายชั่วโมงที่เพิ่มขึ้นจากจุดที่มีการเผา ของวันที่ .....	50
ภาพ 23 กราฟค่าความเข้มข้น PM2.5 ค่าเฉลี่ยรายวันที่เพิ่มขึ้นจากจุดที่มีการเผา .....	50
ภาพ 24 กราฟความสัมพันธ์ของพื้นที่การเผาป่าต่อความเข้มข้น PM2.5 ที่เพิ่มขึ้นจาก .....	51



## บทที่ 1

### บทนำ

#### ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัญหาหมอกควันจากไฟป่าและการเผาวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรเป็นปัญหาสำคัญของเอเชียส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ บรรยากาศ การมองเห็น ธุรกิจการท่องเที่ยว การคมนาคม (ศูนย์วิจัยกสิกรไทย, 2550) และมีแนวโน้มรุนแรงเรื่อยมา โดยเฉพาะในฤดูร้อน ผลของการเผาส่งผลกระทบต่อบรรยากาศเป็นพื้นที่กว้างในระดับภูมิภาค เช่น ปัญหาหมอกควันของประเทศสิงคโปร์ที่มีสาเหตุมาจากไฟไหม้ป่าที่เกาะสุมาตราประเทศอินโดนีเซีย (สุदारัตน์ ตันแก้ว, 2552) และปัญหาหมอกควันของภาคเหนือของประเทศไทยที่มีสาเหตุบางส่วนมาจากประเทศพม่าซึ่งมีชายแดนติดกัน สาเหตุของปัญหาหมอกควันเกิดจากมนุษย์เป็นส่วนใหญ่ที่ทำให้การจุดไฟเผาป่าเพื่อเก็บหาของป่า จุดไฟเผาป่าบุกรุก ครอบครองพื้นที่ป่า เผาพื้นที่ เพื่อทำการเกษตร การเผาวัชพืชและเศษวัสดุการเกษตร เพื่อเตรียมพื้นที่เพาะปลูก (กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช, 2557)

ผลกระทบที่เกิดจากการเผาออกจากฝุ่นละอองต่าง ๆ ยังมีสารมลพิษอื่น ๆ เช่น ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ และสารอินทรีย์ระเหย ในปีพ.ศ.2557 พบว่าในภาคเหนือของประเทศไทยมีผู้ป่วยได้รับผลกระทบต่อสุขภาพจากปัญหาจากหมอกควันรวมถึง 1 ล้านคน ได้แก่ กลุ่มโรคตาอักเสบ โรคหัวใจ และหลอดเลือด โรคระบบทางเดินหายใจ และโรคผิวหนังอักเสบ และพื้นที่ป่าถูกไฟไหม้เสียหายกว่า 70,524.29 ไร่ (กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช, 2557) จังหวัดพะเยาเป็นหนึ่งในพื้นที่ที่ประสบปัญหาหมอกควันรุนแรงของภาคเหนือ มีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5) ที่เกินมาตรฐานสูงถึง 243 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จำนวนวันที่มีค่าเกินมาตรฐาน 60 วัน คิดเป็น 87 % ของจำนวนวันในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ – เมษายน พ.ศ.2562

ที่ผ่านมาหลายหน่วยงานในประเทศไทยได้ตระหนักถึงปัญหาดังที่กล่าวมาข้างต้น จึงได้ออกแผนปฏิบัติการป้องกันและแก้ไขปัญหาไฟป่า การเผาในที่โล่ง และมลพิษหมอกควัน พ.ศ.2556-2562 ภายใต้แผนแม่บทพัฒนาความปลอดภัยด้านอัคคีภัยแห่งชาติ โดยมีเป้าหมายลดพื้นที่ไฟไหม้ป่าให้เหลือเพียงไม่เกินปีละ 300,000 ไร่ จัดการเศษวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรทดแทนการเผาในพื้นที่อย่างน้อยปีละ 600,000 ไร่ ลดการเผาขยะมูลฝอยในที่โล่ง โดยการกำจัดอย่างถูกวิธีไม่น้อยกว่าร้อยละ 50 ของจังหวัดทั้งหมด และใช้ประโยชน์จากมูล

ฝอยไม้ต่ำกว่าร้อยละ 30 ของปริมาณมูลฝอยของแต่ละพื้นที่ (กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย, 2557) ซึ่งเป็นนโยบายระดับประเทศที่ปรับปรุงและอ้างอิงมาจากแผนแม่บทแห่งชาติ การควบคุมการเผาในที่โล่ง ตัวเลขที่ใช้กำหนดเป้าหมายในการลดพื้นที่การเผาข้อมูลการเผาของปีพ.ศ.2543 ซึ่งไม่ใกล้เคียงและมากกว่าสถานการณ์หมอกควันในปัจจุบัน มีความไม่จำเพาะกับพื้นที่จังหวัดต่าง ๆ และแผนปฏิบัติการแก้ไขปัญหามลพิษจากไฟป่าและหมอกควันจังหวัดพะเยา พ.ศ.2555 – 2559 ซึ่งจังหวัดพะเยาประสบกับปัญหามลพิษหมอกควันรุนแรง และยังมีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ที่เกินมาตรฐานอยู่ทุกปีและไม่มีแนวโน้มที่จะลดลง และยังไม่มีมาตรการป้องกันแก้ไขปัญหามลพิษของจังหวัดพะเยาที่จะทำให้คำตอบได้ว่า จะต้องควบคุมการปล่อยมลพิษของแหล่งกำเนิดที่ไหน จำนวนเท่าไร จึงทำให้คุณภาพอากาศอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน และเป็นไปตามเป้าหมายของแผนแม่บทและแผนปฏิบัติการกล่าวมาข้างต้น

แบบจำลองคุณภาพอากาศจึงได้เข้ามามีบทบาทในการใช้เป็นเครื่องมือในการให้คำตอบและประเมินความสำเร็จของนโยบายของรัฐบาล จังหวัดพะเยา และช่วยกำหนดมาตรการของพื้นที่จังหวัดพะเยาตั้งที่กล่าวมาข้างต้น เนื่องจากแบบจำลองสามารถทำนายผลได้ล่วงหน้า และสามารถชี้ประเมินผลสำเร็จ/ความคุ้มค่าของมาตรการต่าง ๆ ที่ออกมาได้ โดยแบบจำลองคุณภาพอากาศ CMAQ ได้รับความนิยมน้อย่างแพร่หลายในการคาดการณ์คุณภาพอากาศ กลไกการแพร่กระจายมลพิษ ประเมินการควบคุมมลพิษ (Che Et al., 2011) และกำหนดนโยบายในการควบคุมมลพิษ จากการศึกษาของ (Zhai et al., 2016) ใช้แบบจำลองคุณภาพอากาศ CMAQ เพื่อทดสอบและกำหนดการควบคุมการปล่อยมลพิษช่วงการจัดประชุมผู้นำโลก APEC 2012 ณ กรุงปักกิ่ง พบว่าการลดการปล่อยมลพิษบางเมืองในแบบจำลองสามารถให้ผลทางบวกกับคุณภาพอากาศที่ดีขึ้น นำไปออกแบบและปรับปรุงนโยบายการปล่อยมลพิษได้ การศึกษาครั้งนี้ นำแบบจำลองคุณภาพอากาศ CMAQ (Community Multi-scale Air Quality) จำลองการแพร่กระจายฝุ่นละอองของแต่ละกรณีศึกษา เพื่อกำหนดนโยบายป้องกันและแก้ไขปัญหามลพิษหมอกควันและการเผาในที่โล่งได้อย่างมีประสิทธิภาพ เป็นต้นแบบในการบริหารจัดการแก้ไขปัญหามลพิษหมอกควันและการเผาในที่โล่งของพื้นที่ภาคเหนือ

### วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อหาความสามารถในการรองรับปริมาณการเผาในที่โล่ง (Carrying capacity) เพื่อไม่ให้เกิดปัญหาฝุ่นละออง

### ขอบเขตการวิจัย

1. พื้นที่ศึกษา พื้นที่จังหวัดพะเยา
2. ช่วงเวลาที่ศึกษา ช่วงฤดูร้อนที่มีปัญหาหมอกควันเดือนมีนาคม พ.ศ.2562
3. มลพิษที่ศึกษา ฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5)
4. ใช้แบบจำลองคุณภาพอากาศ CMAQ ในการจำลองการแพร่กระจายมลพิษ
5. ศึกษากรณีความสามารถในการรองรับปริมาณการเผาในที่โล่งของการเผาในพื้นที่ป่า

### ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

ข้อมูลพื้นที่การเผาแบบควบคุมที่เหมาะสมสำหรับสนับสนุนการตัดสินใจการกำหนดมาตรการควบคุมมลพิษอากาศที่มีต่อคุณภาพอากาศในจังหวัดพะเยา ช่วยแก้ปัญหาหมอกควันได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถนำผลการศึกษามาเป็นต้นแบบในการแก้ไขปัญหาหมอกควันได้ในพื้นที่อื่น ๆ

#### การนำไปใช้ประโยชน์

หน่วยงานราชการของจังหวัดพะเยานำผลการวิจัยไปใช้บริหารจัดการแก้ไขปัญหาหมอกควัน ควบคุมปริมาณการเผาที่เหมาะสม เพื่อไม่ให้เกิดปัญหาหมอกควันรุนแรงในช่วงฤดูร้อน ทำให้คุณภาพอากาศและคุณภาพชีวิตของคนในจังหวัดพะเยาดีขึ้น

#### หน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

1. สำนักงานทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมจังหวัดพะเยา
2. สถานีควบคุมไฟป่าพะเยา
3. สำนักงานเกษตรจังหวัดพะเยา
4. ศูนย์ประสานงานป่าไม้พะเยา
5. องค์การปกครองส่วนท้องถิ่น
6. นักสิ่งแวดล้อม นักวิจัย ในด้านคุณภาพอากาศ

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### การเผาในที่โล่ง

การเผาในที่โล่งเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษอากาศหลักที่ทำให้เกิดมลพิษอากาศที่เกิดจากการเผาไหม้ การระเหย และควัน ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ไนโตรเจนไดออกไซด์ สารอินทรีย์ระเหยและฝุ่นละออง ซึ่งส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ บรรยากาศ การมองเห็น ระบบนิเวศต่าง ๆ การเผาในที่โล่งโดยมากเกิดจาก 3 กิจกรรมหลักได้แก่

1. การเผาเศษวัสดุทางการเกษตร เพื่อเตรียมพื้นที่เพาะปลูกและทำการเกษตร เนื่องจากเป็นวิธีที่ง่าย และสะดวกเกษตรกรจึงนิยมใช้วิธีการเผา

2. การเผาขยะมูลฝอยจากชุมชน เนื่องมูลฝอยชุมชนที่เกิดขึ้นไม่ได้รับการกำจัดอย่างถูกหลักสุขาภิบาล มูลฝอยถูกนำมากองทิ้งกลางแจ้ง และมีการแอบเผาเป็นครั้งคราว ทำให้เกิดปัญหาด้านมลพิษอากาศ เช่น ฝุ่นละออง เขม่า ก๊าซ และสารอินทรีย์ระเหย ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง และส่งผลกระทบต่อสุขภาพทั้งในระยะสั้นและในระยะยาว

3. ไฟป่า มีสาเหตุจากธรรมชาติ พายุฟ้าผ่า ลมพัดกิ่งไม้ มีโอกาสเป็นไปได้น้อยมาก เมื่อเทียบกับสาเหตุที่เกิดจากมนุษย์ที่ทำการจุดไฟเผาป่าเพื่อเก็บหาของป่า จุดไฟเผาป่า เพื่อบุกรุกครอบครองพื้นที่ป่า เผาพื้นที่เพื่อทำการเกษตร เผาวัชพืชเพื่อเตรียมพื้นที่เพาะปลูก

#### สถานการณ์หมอกควันของประเทศไทย

ปัญหาของการเผาในที่โล่งส่งผลกระทบต่อบรรยากาศเป็นพื้นที่กว้างในระดับภูมิภาค โดยในประเทศไทยพบปัญหาหมอกควันข้ามแดนเป็นครั้งคราวในช่วงเดือนกรกฎาคม - สิงหาคม มีสาเหตุมาจากไฟไหม้ป่าที่เกาะสุมาตราประเทศอินโดนีเซีย และส่งผลกระทบต่อประเทศเพื่อนบ้านในภูมิภาคอาเซียน ได้แก่ ประเทศไทย สิงคโปร์ มาเลเซีย บรูไน ฯลฯ (กรมควบคุมมลพิษ, 2556) และพบการเผาในที่โล่งมากในภาคเหนือช่วงหน้าแล้ง (มกราคม-พฤษภาคม) ของทุกปี และปัญหาหมอกควันข้ามแดนที่มีสาเหตุมาจากประเทศพม่าซึ่งมีชายแดนติดกัน ประกอบกับภูมิประเทศที่มีลักษณะเป็นแอ่งกระทะและมีภูเขาล้อมรอบ ยิ่งทำให้เพิ่มความรุนแรงของปัญหายิ่งขึ้น ในพื้นที่ 9 จังหวัดภาคเหนือใน พ.ศ.2562 ตั้งแต่วันที่ 1 กุมภาพันธ์ ถึง 30 เมษายน พ.ศ.2562 พบว่า ปริมาณฝุ่นละอองเฉลี่ย 24 ชั่วโมง PM2.5 สูงสุด

มีค่าเท่ากับ 357 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ที่สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศสำนักงานสาธารณสุขแม่สายจังหวัดเชียงราย มีจำนวนวันที่เกินค่ามาตรฐานมากกว่า 60 วัน ในทุกสถานี และพื้นที่ป่าของไทยถูกไฟไหม้เสียหายแล้วกว่า 151,681.9 ไร่ (กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช, 2562) จังหวัดพะเยาเป็นจังหวัดหนึ่งที่มีปัญหาฝุ่นละอองในบรรยากาศรุนแรงจากการศึกษาคุณภาพอากาศจังหวัดพะเยาพบว่า จังหวัดพะเยามีปัญหาคุณภาพอากาศรุนแรงโดยในเดือนมีนาคม ปริมาณฝุ่นละอองเฉลี่ย 24 ชั่วโมง PM2.5 สูงสุด มีค่าเท่ากับ 243 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร มีจำนวนวันที่เกินค่ามาตรฐาน 60 วัน (กรมควบคุมมลพิษ, 2562)

### สถานการณ์หมอกควันของจังหวัดพะเยา

คุณภาพอากาศจังหวัดพะเยาจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศอุทยานการเรียนรู้กว๊านพะเยา ตั้งแต่วันที่ 1 กุมภาพันธ์ – 30 เมษายน พ.ศ.2562 มีค่าเฉลี่ยปริมาณฝุ่น PM2.5 อยู่ที่ 70 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่า PM2.5 สูงสุดในวันที่ 31 มีนาคม พ.ศ.2562 ที่ 243 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (ค่ามาตรฐาน 50 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) และ PM2.5 เฉลี่ยเกินกว่าค่ามาตรฐานถึง 60 วัน จากวันที่ตรวจวัดทั้งหมด 89 วัน โดยในเดือนกุมภาพันธ์มีวันที่มีค่าเกินค่ามาตรฐาน 12 วัน คิดเป็น 20%, เดือนมีนาคม 25 วัน คิดเป็น 42% และเดือนเมษายน 23 วัน คิดเป็น 38% ของวันที่เกินค่ามาตรฐาน

การเกิดจุดค่าความร้อนบนผิวโลก (Hotspot) จากการสำรวจโดยเซ็นเซอร์ MODIS บนดาวเทียม Terra และ Aqua ของจังหวัดพะเยาแสดงดังตาราง 1 พบว่ามีจุดความร้อนอยู่ในพื้นที่ป่า 374 จุด พื้นที่เกษตร 110 จุด ชุมชนและอื่น ๆ 10 จุด รวม 494 จุด และอยู่ในช่วง 60 วันอันตราย 15 กุมภาพันธ์ – 15 เมษายน พ.ศ.2562 งดการเผาเด็ดขาด 170 จุด การเกิดจุดความร้อนแยกตามเขตการปกครองรายอำเภอ พบว่ามีจุดความร้อนเกิดขึ้นทั่วจังหวัดพะเยา พบจุดความร้อนมากที่สุด 3 อำเภอแรกได้แก่ อำเภอปง 184 จุด คิดเป็น 37% อำเภอเชียงคำ 94 จุด คิดเป็น 19% และอำเภอเมือง 79 จุด คิดเป็น 16% และจากข้อมูลจุดความร้อนรายตำบลดังตาราง 2 พบว่าตำบลที่พบจุดความร้อนมากที่สุด 3 อันดับแรกคือ ตำบลขุนควร 61 จุด, ตำบลพางค์น้อย 81 จุด และตำบลแมกกา 43 จุด คิดเป็น 39% ของจุดความร้อนทั้งหมด

ตาราง 1 จุดความร้อนรายอำเภอและการใช้พื้นที่ เดือนมกราคม – เมษายน พ.ศ.2562

อำเภอ (มาก - น้อย)	Hotspot สะสมของจังหวัดพะเยา				
	พื้นที่ป่า	พื้นที่เกษตร	ชุมชนและอื่น ๆ	รวม	สัดส่วน
อ.ปง	137	46	1	184	37%
อ.เชียงคำ	63	29	2	94	19%
อ.เมืองพะเยา	59	18	2	79	16%
อ.เชียงม่วน	31	4	1	36	7%
อ.ภูซาง	29	3	-	32	6%
อ.ดอกคำใต้	19	1	1	21	4%
อ.จุน	14	3	3	20	4%
อ.แม่ใจ	11	5	-	16	3%
อ.ภูกามยาว	11	1	-	12	2%
<b>รวม</b>	<b>374</b>	<b>110</b>	<b>10</b>	<b>494</b>	<b>100%</b>

### มลพิษอากาศจากการเผาในที่โล่งและผลกระทบต่อสุขภาพ

ฝุ่นละออง (Particulate Matter, PM)

ฝุ่นละออง หมายถึง อนุภาคของแข็งและละอองของเหลวที่แขวนลอยในบรรยากาศ บางครั้งอาจมีขนาดใหญ่และมีสีดำจนมองเห็นเป็นเขม่าหรือควัน หรือบางครั้งเล็กมากจนมองด้วยตาเปล่าไม่เห็น โดยทั่วไปมีขนาด 100 ไมครอนลงมา ฝุ่นละอองสามารถส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของคน สัตว์ พืช อาคารบ้านเรือน ทำให้เกิดความเดือดร้อนรำคาญและส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชน ฝุ่นละอองขนาดเล็กส่งผลกระทบต่อสุขภาพมาก เนื่องจาก ฝุ่นละอองขนาดเล็กสามารถผ่านเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจได้ เมื่อหายใจเข้าไปในปอดจะเข้าสู่ระบบหายใจส่วนกลาง เป็นสาเหตุให้เกิดโรคหอบหืดและโรคทางเดินหายใจ ทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานของปอดลดลง ประเทศไทยได้กำหนดค่ามาตรฐานของฝุ่นขนาดเล็กเป็น 2 ชนิดคือ PM10 และ PM2.5

PM10 หมายถึง ฝุ่นหยาบ (Coarse Particles) ที่อนุภาคมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 – 10 ไมครอน

PM2.5 หมายถึง ฝุ่นละเอียด (Fine Particle) ที่อนุภาคมีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่า 2.5 ไมครอน

### ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO)

ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ เป็นก๊าซไม่มีสี รสและกลิ่น เบากว่าอากาศทั่วไปเล็กน้อย เมื่อหายใจเข้าไปจะรวมตัวกับฮีโมโกลบินในเม็ดเลือดแดง ทำให้ลดความสามารถของเลือดในการนำออกซิเจนจากปอดไปยังเนื้อเยื่อต่าง ๆ ทำให้ร่างกายเกิดอาการอ่อนเพลีย ปวดศีรษะ คลื่นไส้ อาเจียน และเป็นลมหมดสติ

### ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์

ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ส่วนหนึ่งเกิดจากธรรมชาติ และการเผาไหม้เชื้อเพลิงต่าง ๆ เช่น ก๊าซ ถ่านหิน ฟืน มีผลทำให้เกิดอาการตีบตันของทางเดินหายใจ อาจเป็นอันตรายแก่ชีวิตด้วยโรคปอดบวม น้ำหรือสลับเนื่องจากสมองขาดออกซิเจน

### ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO<sub>2</sub>)

ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เป็นก๊าซไม่มีสี ไม่มีไวไฟ เมื่อทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ จะเกิดก๊าซซัลเฟอร์ไตรออกไซด์และเมื่อรวมตัวกับไอน้ำในอากาศจะเกิดเป็นกรดซัลฟิวริก ซึ่งเป็นอันตรายต่อระบบหายใจ เช่น โรคหลอดลมอักเสบ รวมทั้งมีอาการคัดจมูก เสียงแหบ แสบจมูก หายใจลำบาก และเป็นพิษต่อระบบนิเวศ ป่าไม้ แหล่งน้ำ กัดกร่อนอาคาร บ้านเรือนและโบราณสถาน

### ก๊าซโอโซน (O<sub>3</sub>)

ก๊าซโอโซน เป็นสารโพโตเคมีคัลออกซิแดนท์ประเภทหนึ่ง เกิดจากปฏิกิริยาเคมี Photochemical Oxidation ระหว่างสารประกอบไฮโดรคาร์บอน และก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน โดยมีแสงแดดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ก่อให้เกิดสภาพที่เรียกว่า Photochemical Smog มีลักษณะเหมือนหมอกสีขาวปกคลุมในอากาศ โดยทั่วไปแล้วก๊าซโอโซนจะก่อให้เกิดการระคายเคืองตา และระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจ ลดความสามารถในการทำงานของปอด

## ยุทธศาสตร์/นโยบาย

นับตั้งแต่ พ.ศ.2546 คณะรัฐมนตรีได้มีมติในเรื่องต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการแก้ไขปัญหามลพิษ โดยมีการออกมาตรการภายในประเทศ ซึ่งรายละเอียดมาตรการที่เกี่ยวข้องดังนี้

แผนปฏิบัติการป้องกันและแก้ไขปัญหามลพิษ การเผาในที่โล่ง และมลพิษหมอกควัน พ.ศ.2556-2562 ภายใต้แผนแม่บทพัฒนาความปลอดภัยด้านอัคคีภัยแห่งชาติ

แผนปฏิบัติการป้องกันและแก้ไขปัญหามลพิษ การเผาในที่โล่ง และมลพิษหมอกควัน พ.ศ.2556-2562 ภายใต้แผนแม่บทพัฒนาความปลอดภัยด้านอัคคีภัยแห่งชาติ กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย ได้ประสานหน่วยงานที่เกี่ยวข้องและดำเนินการปรับปรุงและแก้ไข

ทบทวนแผนงาน จัดลำดับความสำคัญ ความเหมาะสม ความคุ้มค่าของแผนงาน และงบประมาณดำเนินงานแผนปฏิบัติการป้องกันและแก้ไขปัญหาไฟป่า การเผาในที่โล่ง และมลพิษหมอกควัน พ.ศ.2556-2562 ภายใต้แผนแม่บทพัฒนาความปลอดภัยด้านอัคคีภัยแห่งชาติ มีรายละเอียดดังนี้

1. การจัดการไฟป่า ลดพื้นที่ไฟไหม้ป่าให้เหลือเพียงไม่เกินปีละ 300,000 ไร่
2. จัดการเศษวัสดุเหลือใช้จากภาคการเกษตรทดแทนการเผาในพื้นที่อย่างน้อยปีละ 600,000 ไร่
3. ลดการเผาขยะมูลฝอยในที่โล่งโดยจัดให้มีการกำจัดขยะมูลฝอยอย่างถูกหลักวิธี และปลอดภัยไม่น้อยกว่าร้อยละ 50 ของจังหวัดทั้งหมด และมีการใช้ประโยชน์มูลฝอยไม่ต่ำกว่าร้อยละ 30 ของปริมาณมูลฝอยที่เกิดขึ้นในแต่ละพื้นที่
4. กรอบระยะเวลาดำเนินการ 7 ปี ตั้งแต่ปีงบประมาณ พ.ศ.2556 ถึงปีงบประมาณ พ.ศ.2562 โดยมี หน่วยงานร่วมบูรณาการทั้งสิ้น 44 หน่วยงาน งบประมาณในการดำเนินงานตามแนวทางและมาตรการในการบริหารจัดการตามยุทธศาสตร์ฯ รวมทั้งสิ้น 10,380.6217 ล้านบาท (กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย, 2557)

ยุทธศาสตร์/มาตรการแก้ไขปัญหาไฟป่าและหมอกควัน พ.ศ.2562

ยุทธศาสตร์/มาตรการแก้ไขปัญหาไฟป่าและหมอกควัน พ.ศ.2562 กรมอุทยานแห่งชาติสัตว์ป่าและพันธุ์พืช กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ได้กำหนดพื้นที่เป้าหมาย ยุทธศาสตร์/มาตรการแก้ไขปัญหาไฟป่าและหมอกควัน พ.ศ.2562 ไว้ดังนี้

พื้นที่เป้าหมาย

พื้นที่ป่าอนุรักษ์ในความรับผิดชอบของกรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช จำนวน 73 ล้านไร่

1. พื้นที่เป้าหมายหลัก พื้นที่ป่าอนุรักษ์ จำนวน 26.43 ล้านไร่ ตามแผนที่ได้รับการจัดสรรงบประมาณประจำปี พ.ศ. 2562
2. พื้นที่เป้าหมายรอง พื้นที่ป่าอนุรักษ์นอกเหนือจากพื้นที่ป่า ข้อ 1 อีกประมาณ 48 ล้านไร่

ยุทธศาสตร์การประชาสัมพันธ์

1. การประชาสัมพันธ์เชิงรุก โดยเน้นการมีส่วนร่วมของประชาชนในพื้นที่เป็นการจัดหน่วยประชาสัมพันธ์ออกไปพบปะประชาชนในลักษณะเคาะประตูบ้าน รถกระจายเสียง หรือตามช่วงเทศกาลงานประเพณีต่าง ๆ ในชุมชน

2. การเผยแพร่ความรู้ในรูปแบบของการจัดกิจกรรมการมีส่วนร่วม การจัดนิทรรศการให้การศึกษาแจกจ่ายเอกสารและสิ่งตีพิมพ์

3. การประชาสัมพันธ์ผ่านสื่อมวลชนทุกแขนงโดยบูรณาการทั้งภาครัฐ ภาคเอกชน องค์กรทุกภาคส่วน

4. รณรงค์เผยแพร่ข้อมูลข่าวสารสถานการณ์ไฟฟ้าอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้ประชาชนทราบถึงแนวทางการป้องกันไฟฟ้า การแก้ไขปัญหาไฟฟ้า การระมัดระวังอันตรายจากไฟฟ้า และผลกระทบจากไฟฟ้า โดยเฉพาะผลกระทบที่มีต่อสุขภาพอนามัยของประชาชน และการท่องเที่ยว

5. รณรงค์และขอความร่วมมือจากหน่วยงานต่าง ๆ ชุมชน/หมู่บ้าน และประชาชนในพื้นที่งดเว้นการจุดไฟใกล้บริเวณแนวเขตป่า

ยุทธศาสตร์การป้องกันไฟฟ้าและหมอกควัน

1. ประสานหน่วยงานที่เกี่ยวข้องเพื่อส่งเสริมความรู้การนำเกษตรอินทรีย์ปลอดการเผา การใช้เทคโนโลยีการเกษตรปลอดการเผา การจัดระเบียบการเผา การใช้ประโยชน์เศษวัสดุ การเกษตร และลดการเผาพื้นที่เกษตรนอกจากนี้ ยังรวมไปถึงการควบคุมการเผาในเขตชุมชน และสองข้างทาง

2. ประสานการออกประกาศกำหนดเขตควบคุมไฟฟ้าในพื้นที่จังหวัดที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดไฟฟ้า และกำหนดมาตรการในเขตควบคุมไฟฟ้าในแต่ละจังหวัด พร้อมประชาสัมพันธ์ และเผยแพร่ประกาศจังหวัดในช่วงฤดูไฟป่าอย่างต่อเนื่อง

3. จัดทำแผนที่จำแนกพื้นที่ในพื้นที่รับผิดชอบที่เสี่ยงต่อการเกิดไฟฟ้า 3 ระดับ เพื่อติดตั้งไว้ประจำหน่วยงานสำหรับการวางแผนปฏิบัติงานควบคุมไฟฟ้า

4. เตรียมความพร้อมในการปฏิบัติงานตามแผนระดมพลดับไฟฟ้าในสถานการณ์ปกติ สถานการณ์รุนแรง และสถานการณ์วิกฤติ

5. การลาดตระเวนตรวจปราบปรามและการบังคับใช้กฎหมายอย่างเข้มข้น โดยการประสานหน่วยงานที่เกี่ยวข้องออกลาดตระเวนตรวจหาไฟและตรวจปราบปรามการลักลอบจุดไฟเผาป่าในพื้นที่ ทั้งภาคพื้นดินและทางอากาศอย่างต่อเนื่อง กรณีที่พบการบุกรุกในพื้นที่ให้ดำเนินการจับกุมและดำเนินคดีตามกฎหมายอย่างเด็ดขาด รวมทั้งให้มีการเพิ่มมาตรการอย่างเข้มงวดตามเส้นทางในป่า

6. ตรวจสอบติดตามข้อมูล Hotspots เพื่อใช้ในการวางแผนการดำเนินงานในพื้นที่รับผิดชอบ

### ยุทธศาสตร์การจัดการเชื้อเพลิง

1. การจัดทำแนวกันไฟ ในพื้นที่ป่าอนุรักษ์ เพื่อตัดความต่อเนื่องของเชื้อเพลิงในพื้นที่ที่มีความสำคัญและล่อแหลมต่อการเกิดไฟป่า โดยบูรณาการหน่วยงานภาครัฐ เอกชน องค์กร ประชาชนทุกภาคส่วน

2. การชิงเผาจัดการเชื้อเพลิงในทางวิชาการ ด้วยการเผาตามกำหนด (Prescribed Burning) ในพื้นที่ที่เสี่ยงต่อการเกิดไฟป่าเพื่อลดปริมาณและความต่อเนื่องของเชื้อเพลิง

3. การลดปริมาณเชื้อเพลิง โดยการนำวัชพืชในพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดไฟป่ามาเพิ่มมูลค่า เช่น การแปรสภาพเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง ทำเป็นวัสดุเพื่อเพิ่มความร่วนซุยให้แก่ดินทำปุ๋ยหมัก หรือทำของประดับ ตกแต่ง เป็นต้น

### ยุทธศาสตร์การมีส่วนร่วมในการแก้ไขปัญหาไฟป่า

1. สร้างและประสานความร่วมมือกับเครือข่ายการแก้ไขปัญหาไฟป่าอย่างต่อเนื่อง

2. จัดกิจกรรมเสวนา/เวทีเครือข่ายเพื่อระดมความคิดเห็นในการวางกฎ กติกาของ ชุมชน และรวมไปถึงกำหนดแนวทางการแก้ไขปัญหาไฟป่าและหมอกควันของชุมชน

3. ส่งเสริมให้มีการจัดทำ MOU ระดับท้องถิ่นเพื่อการแก้ไขปัญหาไฟป่า

4. ส่งเสริมการมีส่วนร่วมของภาคประชาชนและการบูรณาการความร่วมมือของทุก ภาคส่วนในพื้นที่โดยเน้นบทบาททำนุ ผู้ใหญ่บ้าน ข้าราชการฝ่ายปกครอง คณะกรรมการ หมู่บ้าน/ชุมชน องค์กรปกครองท้องถิ่น ในการให้ความรู้และรณรงค์ควบคุมการเผาในพื้นที่ ชุมชนและเกษตรกรรม

### ยุทธศาสตร์การดับไฟป่า

1. เตรียมความพร้อมด้านบุคลากรสำหรับปฏิบัติงานดับไฟป่า เครื่องมือ/อุปกรณ์ ที่ใช้ในการ ปฏิบัติงานให้มีความพร้อมตลอดเวลา

2. การปฏิบัติงานดับไฟป่าของหน่วยงานทุกหน่วยงานที่มีพื้นที่รับผิดชอบ โดยเน้น การเข้าถึงพื้นที่อย่างรวดเร็ว ทันเหตุการณ์ ในลักษณะบูรณาการร่วมกัน

3. ดำเนินการจัดตั้งกองอำนวยการควบคุมไฟป่าขึ้นเป็นการเฉพาะสำหรับดำเนินการ แก้ไขปัญหาไฟป่าในพื้นที่ที่มีความสำคัญเป็นพิเศษ เช่น พื้นที่เป็นที่ตั้งพระตำหนัก พื้นที่ที่เป็น มรดกโลก พื้นที่ป่าพรุ เป็นต้น โดยดำเนินการจัดตั้งกองอำนวยการควบคุมไฟป่า ดังนี้

3.1 กองอำนวยการควบคุมไฟป่าเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่

3.2 กองอำนวยการควบคุมไฟป่าดอยตุง จังหวัดเชียงราย

3.3 กองอำนวยการควบคุมไฟป่าพระราชวังไกลกังวล จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

3.4 กองอำนวยการควบคุมไฟป่าพระตำหนักภูพาน จังหวัดสกลนคร

3.5 กองอำนวยการควบคุมไฟป่าห้วยขาแข้ง จังหวัดอุทัยธานี

3.6 กองอำนวยการควบคุมไฟป่าเขาใหญ่ จังหวัดปราจีนบุรี

3.7 กองอำนวยการควบคุมไฟป่าดอยอินทนนท์ จังหวัดเชียงใหม่

3.8 กองอำนวยการควบคุมไฟป่าพรุควนเคร็ง จังหวัดนครศรีธรรมราช

โดยให้สำนักบริหารพื้นที่อนุรักษ์ในพื้นที่ที่ตั้งกองอำนวยการควบคุมไฟป่า กำหนดการจัดทำแผนการปฏิบัติงานของกองอำนวยการโดยการบูรณาการหน่วยงานในพื้นที่ที่มีหน่วยงานในสังกัดสำนักบริหารพื้นที่อนุรักษ์เป็นหน่วยงานหลัก และให้หน่วยงานภาคสนาม สังกัดสำนักป้องกันปราบปราม และควบคุมไฟป่า เป็นหน่วยงานสนับสนุน ซึ่งจะต้อง สับเปลี่ยนหมุนเวียนทุก 15 วัน (กรมอุทยาน สัตว์ป่า และพันธุ์พืช, 2562)

### **แผนปฏิบัติการแก้ไขปัญหาไฟป่าและหมอกควัน จังหวัดพะเยา พ.ศ. 2555 – 2559**

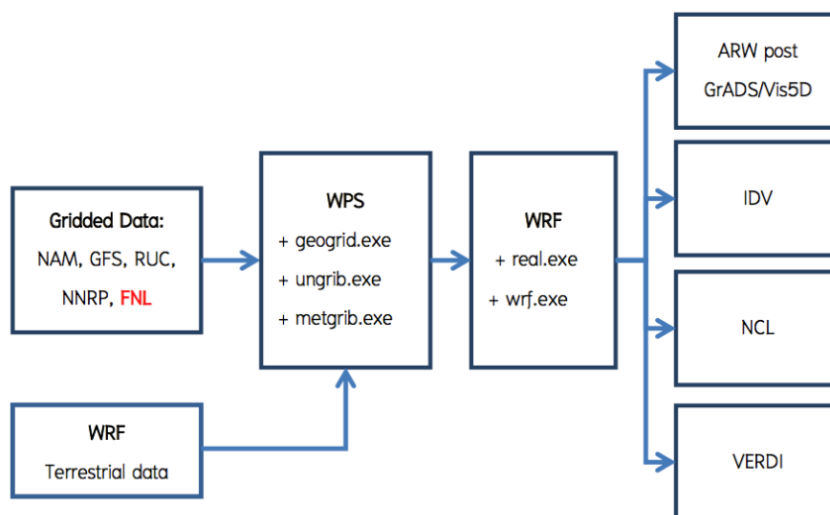
แผนปฏิบัติการแก้ไขปัญหาไฟป่าและหมอกควัน จังหวัดพะเยา พ.ศ. 2555 – 2559 จัดทำขึ้นโดยผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในพื้นที่จังหวัดพะเยา ได้แก่ หน่วยงานภาครัฐ องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น ภาคเอกชน ภาคธุรกิจ และประชาชนในพื้นที่ เข้ามามีส่วนร่วมในกระบวนการจัดทำแผนปฏิบัติการแก้ไขปัญหาไฟป่าและหมอกควัน เพื่อใช้เป็นกรอบแนวทางในการดำเนินงานของทุกภาคส่วนที่เกี่ยวข้อง และยึดถือเป็นพันธกิจร่วมกัน ในการแก้ไขปัญหาไฟป่าและหมอกควันของจังหวัดพะเยา เป็นรูปแบบในการบริหารจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมในเชิงประเด็น (Agenda Base) และการจัดการในเชิงพื้นที่ (Area Base) โดยมีเป้าหมาย คุณภาพอากาศในบรรยากาศ (ฝุ่นละอองขนาดเล็ก:PM10) อยู่ในเกณฑ์ที่ไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพอนามัย ไม่น้อยกว่าร้อยละ 90 ในช่วงวิกฤติหมอกควัน 4 เดือน ในช่วงเดือน มกราคม – เดือนเมษายน และมียุทธศาสตร์ที่ชัดเจนเชิงตัวเลขในการลดการเผาในพื้นที่ทางการเกษตรลดลงร้อยละ 10 และพื้นที่ชุมชนลดการเผาลงร้อยละ 60 (สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 2 ลำปาง, 2555)

### **แบบจำลองคุณภาพอากาศและระบบแสดงผล**

แบบจำลองทางอุตุนิยมวิทยา Weather Research and Forecasting model (WRF)

แบบจำลอง WRF เป็นแบบจำลองอุตุนิยมวิทยา 3 มิติ ระดับ Mesoscale เหมาะสำหรับการประมวลผลแบบจำลองที่มีความละเอียดสูงตั้งแต่ 1 – 10 กิโลเมตร หรือมากกว่า และถูกนำไปใช้อย่างกว้างขวาง เช่น การวิจัยเกี่ยวกับการพยากรณ์อากาศล่วงหน้า (Forecast research) การทำนายแบบสภาพอากาศจริง (Real-time numerical weather prediction) และการประยุกต์ใช้กับแบบจำลองอื่น (Coupled-model applications) (นกนคิลป์ ยะสีบ, ทิพย์ลดา

อนันต์เดชะกุล และวรางคณา จำปาวัน, 2557) ขั้นตอนการทำงานของแบบจำลอง WRF Version 3.8 เป็นไป ดังภาพ 1



ภาพ 1 ขั้นตอนการทำงานของแบบจำลอง WRF Version 3.8

ที่มา: ปฏิพัทธ์ วงศ์เรือง, 2556

### การเตรียมข้อมูลสำหรับนำเข้าแบบจำลอง WRF

1. WRF Preprocessing System (WPS) เป็นขั้นตอนเตรียมข้อมูลนำเข้าแบบจำลอง เพื่อนำไปคำนวณเชิงตัวเลขต่อไป โดยมี 3 ขั้นตอนดังนี้

1.1 Geogrid เป็นการกำหนดพื้นที่ที่ศึกษา Grid cell, ขนาดของ Grid cell และนำข้อมูลเชิงภูมิศาสตร์มาจัดเรียงลงบนพื้นที่ศึกษา

1.2 Ungrib เป็นการแตกข้อมูลสภาพอากาศที่จัดเก็บในรูปแบบเฉพาะออกมา เพื่อนำไปใช้ในขั้นตอนต่อไป

1.3 Metgrid เป็นการนำข้อมูลที่ได้จากการแตกข้อมูล Ungrib จัดเรียงลงใน Geogrid ที่เตรียมไว้

2. WRF model เป็นการประมวลผลจากสมการต่าง ๆ ทางฟิสิกส์บรรยากาศที่อยู่ในแบบจำลอง เพื่อหาค่าตัวแปรสภาพอากาศที่สำคัญ

3. WRF Arwpost เป็นการแปลงข้อมูลที่ได้จากแบบจำลอง WRF ให้สามารถแสดงผลได้ในโปรแกรมแสดงผล GrADS (Grid Analysis and Displaying System)

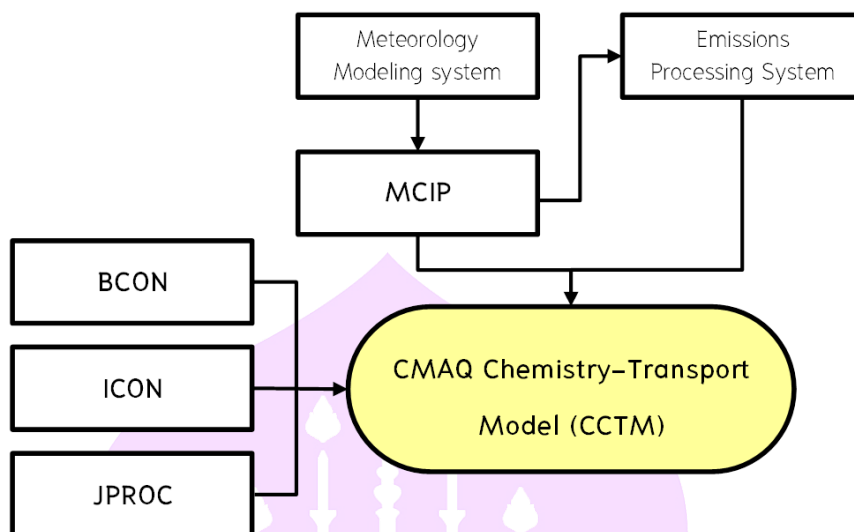
### แบบจำลอง THailand Emission Modeling System (THEM)

แบบจำลองคุณภาพอากาศ THEM (THailand Emission Modeling System) ถูกพัฒนาให้ใช้งานง่าย มีความรวดเร็ว ใช้ทรัพยากรคอมพิวเตอร์น้อย เพื่อใช้ศึกษาแบบจำลองมลพิษทางอากาศ (Emission Model) สำหรับจำลองคุณภาพทางอากาศ (Air Quality Model) และสภาพอากาศ (Climate) ของประเทศไทย โดยใช้ข้อมูลตั้งต้นจากบัญชีสารมลพิษทางอากาศของประเทศไทย พ.ศ.2548 และ พ.ศ.2553 (Emission Inventory of Thailand 2005: EITH2005, Thailand Emission Inventory 2010: THEI2010) สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับบัญชีรายชื่อสารมลพิษอื่น ๆ ได้หลายประเภท เช่น แหล่งกำเนิดมลพิษแบบพื้นที่ (Area Source) แบบเส้น (Line Source) แบบจุด (Point Source) ในรูปแบบของ Basic Emission Grid และแหล่งกำเนิดมลพิษแบบจุดขนาดใหญ่ (Large Point Source) ในรูปแบบของการระบายสารมลพิษออกจากปล่องระบายไอเสีย ที่ทราบค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ (Stack Parameter) กระบวนการทางสารมลพิษต่าง ๆ ได้ถูกนำมาพิจารณาในคำนวณ ได้แก่

1. การกระจายเชิงเวลา (Temporal Profile) รายเดือน รายวัน รายชั่วโมง
2. การจำแนกประเภททางเคมี (Chemical Speciation) ตามกลไกทางเคมีของสารมลพิษ เช่น CB4 CB5 SAPRC99 ฯลฯ
3. การประเมินสถานการณ์และการควบคุมมลพิษ (Emission Projection & Control) ตามสมมติฐานต่าง ๆ

### แบบจำลอง Community Multi-scale Air Quality (CMAQ)

แบบจำลองคุณภาพอากาศ CMAQ (Community Multi-scale Air Quality) เป็นแบบจำลองรุ่นที่สามของแบบจำลองคุณภาพอากาศ ซึ่งออกแบบสำหรับการใช้งานตามกฎหมาย และการวิเคราะห์ที่จะเข้าใจปฏิกิริยาที่มีความซับซ้อนทางฟิสิกส์บรรยากาศและเคมีบรรยากาศ สามารถจำลองการแพร่กระจายมลพิษได้หลายขนาดตั้งแต่ระดับเมืองจนถึงภูมิภาค และสามารถคำนวณมลพิษอากาศได้หลายชนิดทั้งก๊าซมลพิษอากาศ ฝุ่นละออง ฝุ่นละอองขนาดเล็ก สารเป็นพิษ ฝน ได้รับความนิยมน้อย่างแพร่หลายในการคาดการณ์คุณภาพอากาศ กลไกการแพร่กระจายมลพิษ ประเมินการควบคุมมลพิษ (Che et al., 2011) และกำหนดนโยบายในการควบคุมมลพิษ ขั้นตอนการทำงานของแบบจำลอง CMAQ เป็นไปตามภาพดังภาพ 2



ภาพ 2 CMAQ Chemistry-Transport Model (CCTM) and input processors

### การเตรียมข้อมูลสำหรับนำเข้าแบบจำลอง CMAQ

1. Meteorology Modeling system เป็นข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาที่ได้จากการเตรียมข้อมูลด้วยแบบจำลอง WRF
2. Emissions Processing System เป็นข้อมูลทางการปล่อยมลพิษที่ได้จากการเตรียมข้อมูลด้วยแบบจำลอง THEM
3. Meteorology-Chemistry Interface Processor (MCIP) เป็นข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาที่ได้จากแบบจำลอง WRF
4. Boundary Conditions Processor (BCON) เป็นการเตรียมขอบของข้อมูลของพื้นที่ ๆ จำลอง
5. Initial Conditions Processor (ICON) เป็นการคำนวณสภาวะความเข้มข้นเริ่มต้นก่อนเข้าแบบจำลอง
5. Photolysis Rate Processor (JPROC) เป็นการคำนวณอัตราเกิดปฏิกิริยา Photolysis กลไกทางเคมี
6. CMAQ Chemistry-Transport Model (CCTM) เป็นการคำนวณข้อมูลจากแบบจำลอง WRF และ THEM ให้ผลออกมาเป็นชุดข้อมูลความเข้มข้นเฉลี่ยรายชั่วโมง การตกสะสมแบบเปียกและแห้ง การประมาณการการมองเห็น ฝุ่นละอองและเมฆ

### ระบบแสดงผล

VERDI (Visualization Environment for Rich Data Interpretation) เป็นโปรแกรมแสดงผลและเปรียบเทียบข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา การปล่อยมลพิษ และข้อมูลจากแบบจำลองคุณภาพอากาศ สามารถแสดงข้อมูลซ้อนทับกับข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ได้ มีความยืดหยุ่นในการใช้งานร่วมกับแบบจำลอง CMAQ WRF และโปรแกรมพื้นฐานได้ดี

QGIS เป็นโปรแกรมประยุกต์ด้านระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ GIS (Geographic Information System) ที่ใช้งานง่าย ถูกพัฒนาขึ้นมาภายใต้สัญญาอนุญาตแบบเปิดเผยโค้ด (Open source) ซึ่งสามารถนำไปใช้งานได้โดยไม่ต้องจำกัด และยังสามารถนำไปพัฒนาต่อได้อีกด้วย โปรแกรมมีลักษณะการใช้งานเป็นแบบ Graphic User Interface ซึ่งสะดวกต่อการใช้งาน ไม่ว่าจะเป็นการเรียกใช้ข้อมูลภาพ ข้อมูลตาราง การแสดงผลตาราง การแสดงผลกราฟ และยังมีเครื่องมือที่สามารถวิเคราะห์ผลการวิจัยด้านแบบจำลองได้ สามารถใช้งานได้ทั้งระบบปฏิบัติการ UNIX, Window และ Mac

### งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การจำลองการแพร่กระจายมลพิษอากาศช่วงที่มีแหล่งกำเนิดหลักจากการเผาในที่โล่งในประเทศไทยและเอเชียตะวันออกเฉียงใต้

มีการใช้แบบจำลอง WRF-CMAQ ในการจำลองการแพร่กระจายฝุ่นละอองช่วงเดือนมีนาคม พ.ศ.2555 และปรับปรุงฐานข้อมูล Fire Inventory from NCAR (FINN) ด้วยข้อมูล Fire Radiative Power ผลพบว่าการจำลองได้ใกล้เคียงกับการตรวจวัด ให้ค่าเฉลี่ยรายเดือนห่างกันประมาณไม่เกิน 20% มีค่าจำลองระดับฝุ่นละอองอยู่ในช่วงไม่เกินสองเท่าของข้อมูลตรวจวัด (Factor of two) เป็นวิธีการปรับปรุงคุณภาพข้อมูลเพื่อใช้ในการแบบจำลองได้ดี (ปฏิพัทธ์ วงศ์เรือง, 2555) และมีการปรับปรุงตำแหน่งของไฟป่า MODIS ร่วมกับข้อมูลอุตุนิยมวิทยา เพื่อจำลองพฤติกรรมของไฟป่า ใช้แบบจำลอง WRF-Chem ในการจำลองการแพร่กระจายมลพิษทางอากาศจากการเผาชีวมวลในกลุ่มแถบลุ่มแม่น้ำโขงตอนล่าง ผลการวิจัยพบว่าการเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลาของข้อมูลของการตรวจวัดและแบบจำลองมีความคล้ายคลึงกัน สามารถนำไปประยุกต์ใช้แก้ปัญหาหมอกควันในระดับภูมิภาคได้ (นริศรา ทองบุญชู, 2554) และประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง CMAQ ในการจำลอง PM ครอบคลุมภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ประเทศจีนและไต้หวัน พบว่าแบบจำลองความเข้มข้น PM10 และ PM2.5 มากกว่าการตรวจวัด ซึ่งมี 2 เหตุผลหลักที่ทำให้ค่าแตกต่างกันมากคือ 1. ความละเอียดของกริดในการจำลอง

และ 2. การกระจายเชิงพื้นที่และขนาดของแหล่งมลพิษที่อาจไม่ถูกต้องในบางพื้นที่ (Chen, Tsai and Chang, 2013)

การประยุกต์ใช้แบบจำลองในการพัฒนา/ประเมินผลสำเร็จของมาตรการควบคุมมลพิษอากาศ

แบบจำลองคุณภาพอากาศเป็นเครื่องมือหนึ่งที่ช่วยจัดการคุณภาพอากาศอย่างมีประสิทธิภาพ ช่วยให้ทราบคุณภาพอากาศทั่วทั้งบริเวณที่จำลอง เป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์ในการจัดการคุณภาพอากาศ ที่ผ่านมามีการใช้แบบจำลองคุณภาพอากาศในการประเมินความสำเร็จของนโยบายควบคุมมลพิษที่ออกโดยหน่วยงานราชการ เช่น นโยบายควบคุมมลพิษจากยานพาหนะ ได้แก่ 1. ปรับปรุงมาตรฐานการปล่อยมลพิษจากยานพาหนะ 2. การจำกัดประเภทของรถที่วิ่งในพื้นที่เขตเมือง 3. การเลิกใช้รถเก่าที่ปล่อยมลพิษมาก 4. การปรับปรุงการขนส่งสาธารณะ และ 5. การให้ใช้ยานพาหนะไฟฟ้าไฮบริด โดยสมมติว่าทุกมาตรการดำเนินการพร้อมกัน การประเมินสถานการณ์พร้อมกันแสดงให้เห็นว่านโยบายควบคุมการปล่อยมลพิษจากยานพาหนะเป็นผลดีจริงสามารถนำไปใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Che et al., 2011) จำลองการแพร่กระจายของ NO<sub>x</sub> และ SO<sub>2</sub> ใน 4 สถานการณ์ โดยมีเป้าหมายในปีพ.ศ.2558 ให้ NO<sub>x</sub> ลดลง 10% และ SO<sub>2</sub> ลดลง 8% จากปีพ.ศ.2553 การจำลองให้ผลความเข้มข้นของ PM<sub>2.5</sub> ลดลงโดยเฉลี่ยในภาคตะวันออกของจีน 3–8.3 µg/m<sup>3</sup> การควบคุม NO<sub>x</sub> และ SO<sub>2</sub> ให้ผลที่ดีแต่ยังจำเป็นต้องมีมาตรการที่เข้มงวดมากขึ้น (Zhao et al., 2013)

การใช้แบบจำลองคุณภาพอากาศ CMAQ ทดสอบและกำหนดการควบคุมการปล่อยมลพิษในเฉพาะบางพื้นที่ และคาดการณ์สถานการณ์ในอนาคต เพื่อวางแผนในการแก้ไขสถานการณ์ที่จะเกิดขึ้น เช่น การควบคุมการปล่อยมลพิษช่วงการจัดประชุมผู้นำโลก APEC 2012 ณ กรุงปักกิ่ง พบว่าการลดการปล่อยมลพิษบางเมืองในแบบจำลองลง 25% และ 50% สามารถให้ผลทางบวกกับคุณภาพอากาศทำให้คุณภาพอากาศดีขึ้น นำผลไปออกแบบและปรับปรุงนโยบายการปล่อยและควบคุมมลพิษได้ (Zhai et al., 2016) การจำลองความเข้มข้นของ PM<sub>2.5</sub> ใน Jing-jin-ji ในช่วงปีพ.ศ.2555–2563 ยึดตามแผนปฏิบัติการป้องกันและควบคุมมลพิษอากาศ พบว่าความเข้มข้นของ PM<sub>2.5</sub> ในสถานการณ์ปีพ.ศ.2560 และในปีพ.ศ. 2568 มีค่าลดลงต่ำกว่าสถานการณ์ในปีพ.ศ.2555 แสดงให้เห็นว่าทั้ง 2 สถานการณ์จากแผนปฏิบัติการป้องกันและควบคุมมลพิษอากาศมีประสิทธิภาพในการลดความเข้มข้นของ PM<sub>2.5</sub> (Cai et al., 2016) มีการจำลองการแพร่กระจายฝุ่นละอองในเดือนมีนาคม พ.ศ.2555 ด้วยแบบจำลอง CMAQ โดยการกำหนดปริมาณการปล่อยมลพิษอากาศจากการเผาในที่โล่ง

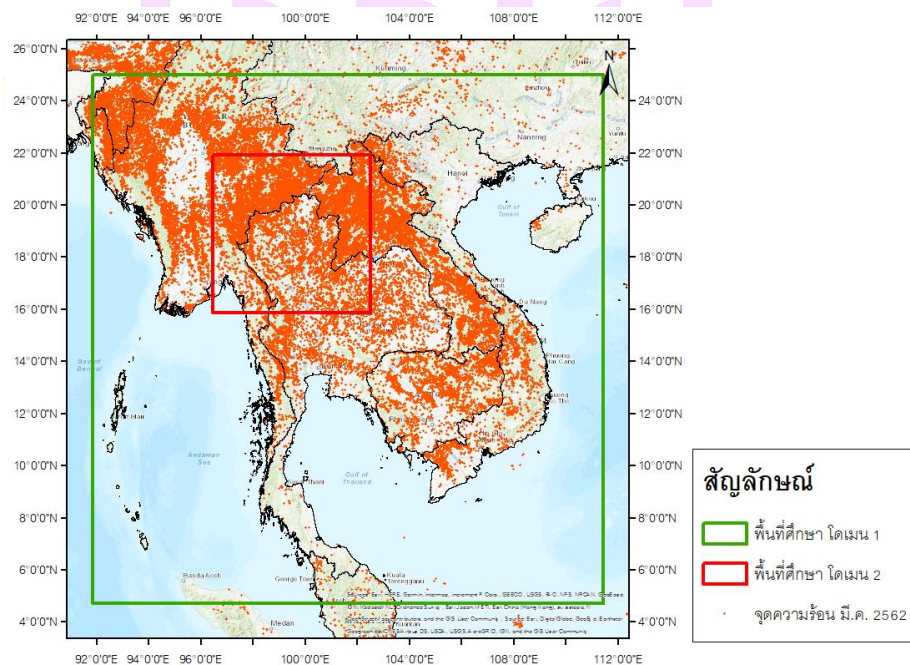
แบ่งออกเป็น 6 กรณีศึกษา เพื่อหาความสามารถสูงสุดในการรองรับมลพิษ ได้แก่ การเผา สถานการณ์ปกติที่เกิดขึ้นจริงในจังหวัดพะเยา (Base Case), ปริมาณการเผา 80% ของการเผาปกติ (S80), ปริมาณการเผา 60% ของการเผาปกติ (S60), ปริมาณการเผา 40% ของการเผาปกติ (S40), ปริมาณการเผา 20% ของการเผาปกติ (S20) และไม่มี การเผาในจังหวัดพะเยา (S0) พบว่าแหล่งกำเนิดสำคัญของคุณภาพอากาศในจังหวัดพะเยามาจากแหล่งกำเนิดการเผา ชีวมวลนอกจังหวัดพะเยาทำให้ความเข้มข้นฝุ่นละอองในจังหวัดพะเยามีค่าเพิ่มมากขึ้นทั่ว จังหวัด จะต้องลดการเผาชีวมวลในที่โล่งทั้งการเผาภายในจังหวัดในบริเวณด้านตะวันออกของ จังหวัดในเขตอำเภอปง และ เชียงคำ และลดการเผาภายนอกจังหวัดเนื่องจากแหล่งกำเนิดการ เผาชีวมวลนอกจังหวัดเป็นแหล่งกำเนิดหลักของปัญหาหมอกควันในจังหวัดพะเยา (สิทธิชัย พิมลศรี และคณะ, 2559)



### บทที่ 3

#### วิธีดำเนินการวิจัย

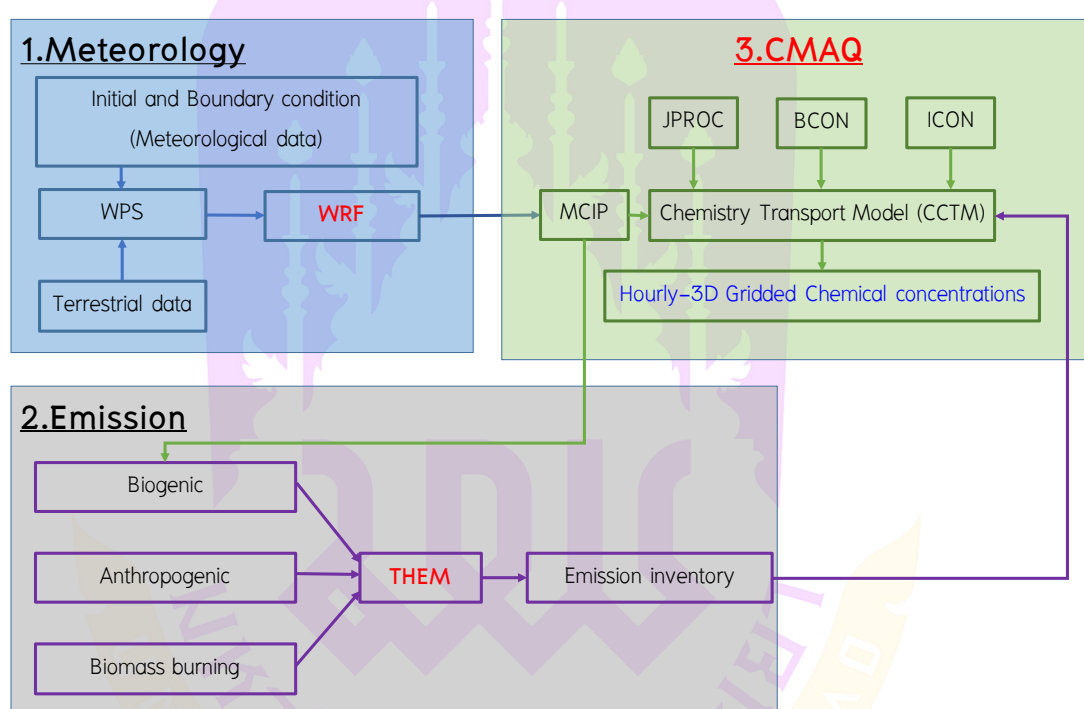
งานวิจัยนี้ศึกษาเพื่อหาความสามารถในการรองรับปริมาณการเผาในที่โล่ง (Carrying capacity) เพื่อไม่ให้เกิดปัญหาฝุ่นละอองของจังหวัดพะเยาโดยประยุกต์ใช้แบบจำลองคุณภาพอากาศ CMAQ และสามารถแก้ไขปัญหาหมอกควันและการเผาในที่โล่งได้อย่างมีประสิทธิภาพ เป็นต้นแบบในการบริหารจัดการแก้ไขปัญหาหมอกควันและการเผาในที่โล่งของพื้นที่ภาคเหนือช่วงที่มีปัญหาหมอกควันรุนแรงในช่วงพ.ศ. 2562 โดยการวิเคราะห์จากข้อมูลความเข้มข้น PM2.5 จากสถานีตรวจวัดภาคพื้นดินในพื้นที่ภาคเหนือประเทศไทยโดยใช้ข้อมูลจากกรมควบคุมมลพิษ (PCD, 2019) และวิเคราะห์ข้อมูลจุดความร้อน (Fire Hot Spots; FHS) จากข้อมูลดาวเทียมระบบ MODerate resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) (Giglio, 2015) จากดาวเทียม Terra และ Aqua ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของระบบการตรวจวัดจาก The National Aeronautics and Space Administration (NASA) สำหรับขอบเขตของการศึกษาแสดงดังภาพ 3



ภาพ 3 ขอบเขตการศึกษาและจุดความร้อน

### รายละเอียดในการจำลอง (Model description)

การวิจัยนี้ใช้ระบบแบบจำลอง WRF-CMAQ โดยใช้แบบจำลอง The Weather Research and Forecasting (WRF) model version 3.8 จำลองสภาพอุตุนิยมวิทยา และใช้แบบจำลอง The Community Multiscale Air Quality Modeling System (CMAQ) version 4.7.1 สำหรับจำลองการแพร่กระจายฝุ่นละออง สำหรับข้อมูลการปล่อยมลพิษอากาศใช้แบบจำลอง Thailand emission model version 1.0 (THEM) ในการเตรียมข้อมูลนำเข้าแบบจำลอง CMAQ ระบบการจำลองแสดงดังภาพ 4



ภาพ 4 ระบบการจำลองการแพร่กระจายมลพิษอากาศในการศึกษานี้

### การจำลองสภาพอุตุนิยมวิทยา (Meteorology)

ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาสำหรับเป็นข้อมูล Initial และ Boundary condition ในแบบจำลอง WRF ใช้ข้อมูล NCEP GDAS/FNL (ds083.3) มีความละเอียดกริดข้อมูล 0.25 องศา การจำลองใช้วิธีจำลองแบบ One-way nested grid โดเมนภายนอก (D01) จำลองมีความละเอียดเท่ากับ 9 ตารางกิโลเมตร โดเมนภายใน (D02) มีความละเอียดขนาด 3 ตารางกิโลเมตร ครอบคลุมพื้นที่ภาคเหนือ การจำลองใช้การฉายแผนที่แบบ Lambert projection แบ่งเป็น 29 ชั้นความสูงจากระดับพื้นโลกถึงความสูงที่ระดับความดัน 50 มิลลิบาร์ (ลิวธิซซ์ พิมลศรี, ปฏิพัทธ์ วงศ์เรือง

และภัทรภูมิ เพียงตา, 2559) ดังตาราง 2 ข้อมูลทั้งหมดในชั้นตอนนี้จะถูกเตรียมโดย WRF Preprocessing System (WPS) ทั้งข้อมูลอุตุนิยมวิทยา และข้อมูล Terrestrial ที่ประกอบไปด้วย ข้อมูลการใช้ที่ดิน ภูมิประเทศ และสภาพพื้นผิวโลก ข้อมูลที่ได้จากชั้นตอนนี้จะถูกนำไปคำนวณ กระบวนการ Dynamic downscaling ด้วยความสัมพันธ์ทางฟิสิกส์บรรยากาศในการจำลอง WRF โดยใช้ตัวเลือกในการจำลองดังตาราง 3

ตาราง 2 การกำหนดชั้นความสูงสำหรับการจำลองด้วยแบบจำลอง WRF-CMAQ

WRF					CMAQ				
Layer	Sigma	Pressure(mb)	Height (m)	Depth (m)	Layer	Sigma	Pressure(mb)	Height (m)	Depth (m)
29	0.000	50	17540	2305	22	0.000	50	17540	2305
28	0.040	88	15235	1706					
27	0.080	126	13529	1466	21	0.080	126	13529	1466
26	0.123	167	12063	1276					
25	0.168	210	10787	1207	20	0.168	210	10787	1207
24	0.218	257	9580	1048					
23	0.268	305	8532	929	19	0.268	305	8532	929
22	0.318	352	7602	837					
21	0.368	400	6765	762	18	0.368	400	6765	762
20	0.418	447	6003	701					
19	0.468	495	5302	650	17	0.468	495	5302	650
18	0.518	542	4653	606					
17	0.568	590	4047	568	16	0.568	590	4047	568
16	0.618	637	3479	535					
15	0.668	685	2944	506	15	0.668	685	2944	506
14	0.718	732	2438	433	14	0.718	732	2438	433
13	0.763	775	2005	369	13	0.763	775	2005	369
12	0.803	813	1636	320	12	0.803	813	1636	320
11	0.839	847	1316	276	11	0.839	847	1316	276
10	0.871	877	1039	235	10	0.871	877	1039	235
9	0.899	904	804	197	9	0.899	904	804	197
8	0.923	927	607	161	8	0.923	927	607	161
7	0.943	946	446	127	7	0.943	946	446	127
6	0.959	961	319	102	6	0.959	961	319	102
5	0.972	973	216	78	5	0.972	973	216	78
4	0.982	983	139	54	4	0.982	983	139	54
3	0.989	990	84	38	3	0.989	990	84	38
2	0.994	994	46	26	2	0.994	994	46	26
1	0.997	998	20	20	1	0.997	998	20	20
0	1.000	1000	0	0	0	1.000	1000	0	0

ตาราง 3 การตั้งค่าแบบจำลอง WRF-CMAQ

WRFV3.8	
Microphysics	WSM6
Surface layer option	MM5 Monin-Obukhov scheme
Land surface option	Noah Land Surface Model
PBL scheme	YSU
Cumulus option	Kain-Fritsch scheme
Long wave	RRTM scheme
Short wave	Dudhia scheme
CMAQ4.7.1	
Horizontal setting	Nest 2 domains, D1 = 9 km <sup>2</sup> and D2 = 3 km <sup>2</sup>
Vertical setting	29 layers with the top pressure of 50 mb
Advection	Yamartino
Vertical diffusion	ACM2
Gas-phase chemistry	CBO5 with Euler Backward Iterative solver
Aerosol mechanism	AERO5

#### ข้อมูลการปล่อยมลสารจากแหล่งกำเนิด (Emissions)

ข้อมูลการปล่อยมลพิษอากาศและการเตรียมข้อมูลสำหรับแบบจำลอง CMAQ ใช้ข้อมูลในช่วงกรณีศึกษาที่พบปัญหาหมอกควันรุนแรงในเดือนมีนาคม พ.ศ. 2562 จากแหล่งกำเนิดหลัก 3 แหล่งได้แก่ แหล่งกำเนิดจากมนุษย์ (Anthropogenic emissions) จาก Studies of Emissions and Atmospheric Composition, Clouds and Climate Coupling by Regional Surveys (SEAC4RS) (Lu and Streets, 2012) แหล่งกำเนิดชีวภาพ (Biogenic emissions) จาก Model of Emissions of Gases and Aerosols from Nature version 2.1 (MEGAN) (Guenther et al., 2006) และข้อมูลแหล่งกำเนิดการเผาชีวมวล (Biomass burning emissions) จากบัญชีการระบายมลพิษอากาศ (Emission inventory) จากการเผาไหม้ในที่โล่งในจังหวัด ข้อมูลการปล่อยมลพิษอากาศและฝุ่นละอองจะถูกผสมผสานเข้าด้วยกันและคำนวณกระบวนการปล่อยด้วยแบบจำลอง THEM และกระบวนการปล่อยแบบ 3 มิติ ตามแนวราบและตามระดับความสูงสำหรับเป็นข้อมูลนำเข้าแบบจำลอง CMAQ ต่อไป

### ข้อมูลการปล่อยมลสารจากแหล่งกำเนิดจากมนุษย์ (Anthropogenic emissions)

ข้อมูลการปล่อยจากแหล่งกำเนิดโดยมนุษย์ใช้ข้อมูลจาก SEAC4RS เป็นข้อมูลการปล่อยมลพิษอากาศในพื้นที่เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ประกอบด้วยข้อมูลปล่อยมลพิษจากโรงงานอุตสาหกรรม การอยู่อาศัยของชุมชน การจราจร และโรงไฟฟ้า ข้อมูลมีความละเอียดตามพื้นที่ 0.1 ดีกรี หรือประมาณ 10 ตารางกิโลเมตร โดยข้อมูลทั้งหมดจะถูกคำนวณค่าจากปีฐาน พ.ศ.2555 ให้เป็นค่าของพ.ศ.2562 ที่ทำการศึกษาด้วยอัตราส่วนการเติบโตของผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศ (GDP) ซึ่งข้อมูลทั้งหมดหลังจากคำนวณจะถูกรวบรวมและจัดรูปแบบข้อมูลด้วยแบบจำลอง THEM ที่มีกระบวนการ Temporal allocation จากข้อมูล SEAC4RS ที่มีข้อมูลความละเอียดรายปีให้เป็นรายชั่วโมง โดยใช้ค่าสัดส่วนการปล่อยตามเวลา ตามชนิดของแหล่งกำเนิด ตามรายงานการปล่อยมลพิษสู่บรรยากาศในปัจจุบันและอนาคต (สิทธิชัย พิมลศรี, ปฏิพัทธ์ วงศ์เรือง และภัทรภูมิ เพียงตา, 2559) และมีการนำมาใช้ในการศึกษาการประมาณตามเวลาและความสูงของการปล่อยมลพิษอากาศในภูมิภาคเอเชียด้วยแบบจำลอง WRF-Chem (Wang, Liang et al. 2010) ชนิดของ VOC จำแนกตาม Chemical mechanisms ของ Carbon Bond Mechanism: CB05 (Yarwood et al., 2005) โดยใช้ค่าสัดส่วน Speciation factors และชนิดของ Aerosols จำแนกเป็น  $\text{NO}_3^-$  และ  $\text{SO}_4^{2-}$  โดยใช้ค่าสัดส่วนจากการศึกษาคุณภาพอากาศและผลกระทบต่อสุขภาพของการบินในเอเชีย (Lee, 2012)

### ข้อมูลการปล่อยมลสารจากแหล่งกำเนิดชีวภาพ (Biogenic emissions)

ข้อมูลการปล่อยมลสารจากแหล่งชีวภาพใช้ข้อมูลจากแบบจำลอง MEGAN (Model of Emissions of Gases and Aerosols from Nature) ที่จำลองการปล่อย VOC จากพืชซึ่งเป็นสารตั้งต้นที่สามารถเกิดปฏิกิริยาในบรรยากาศ ข้อมูลที่จะต้องนำเข้าแบบจำลอง MEGAN ได้แก่ สภาพอุตุนิยมวิทยาจากแบบจำลอง WRF ที่ผ่านแบบจำลอง MCIP ซึ่งประกอบด้วยไฟล์ข้อมูล METCRO2D และ GRIDDES ข้อมูล Global Emission Factor map จาก Washington state university ประกอบด้วย 10 ชนิดมลพิษ apin, bpin, care, isop, limo, mbo, myrc, nox, ocim และ sabi ซึ่งอยู่ในรูปแบบ NetCDF ข้อมูล Leaf Area Index (LAI) จากผลของแบบจำลอง WRF และข้อมูล Plant Functional Type (PFT) จากข้อมูลดาวเทียม MODIS-MOD12q1 C004 (Friedl et al., 2010) รายละเอียดดังตาราง 4

ตาราง 4 การจัดกลุ่มชนิดพื้นที่

ชนิด	ชนิดของพืชจาก PFT	พื้นที่	ชนิดของพืชสำหรับ MEGAN
1	Tropical Evergreen	Tropical	Broadleaf Tree (BT)
2	Tropical Raingreen	Tropical	Broadleaf Tree (BT)
3	Temperate Needleleaf Evergreen	Temperate	Needle leaf Trees (NT)
4	Temperate Broadleaf Evergreen	Temperate	Broadleaf Tree (BT)
5	Temperate Broadleaf Summergreen	Temperate	Broadleaf Tree (BT)
6	Boreal Needleleaf Evergreen	Boreal	Needle leaf Trees (NT)
7	Boreal Needleleaf Deciduous	Boreal	Needle leaf Trees (NT)
8	Boreal Broadleaf Summergreen	Boreal	Broadleaf Tree (BT)
9	Natural Grassland (C3)	Temperate	Herbaceous (HB)
10	Natural Grassland (C4)	Tropical	Herbaceous (HB)
11	Managed Grassland (C3)	Temperate	Shrub lands (SB)
12	Managed Grassland (C4)	Tropical	Shrub lands (SB)

#### ข้อมูลการปล่อยมลสารจากแหล่งกำเนิดการเผาชีวมวล (Biomass burning emissions)

ข้อมูลการปล่อยมลสารจากแหล่งกำเนิดการเผาชีวมวล งานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลจากบัญชีการระบายมลพิษอากาศ (Emission inventory) จากการเผาไหม้ในที่โล่งในจังหวัดพะเยา โดยใช้สมการของ (Giglio et al., 2006) ในการประเมินการปล่อยมลพิษแบบตามขนาดพื้นที่ดังนี้

$$E = M \times EF \quad (1)$$

โดย  $E$  = การปล่อยก๊าซรวม (g)

$M$  = มวลแห้งที่ใช้เผา (kg)

$EF$  = ชนิดและแหล่งของการปล่อยค่า Emission Factor (g/kg dry mass)

โดยมวลแห้งที่ใช้เผา  $M$  หรือมวลที่ถูกเผา งานวิจัยนี้คิดเฉพาะมวลของพื้นที่ป่าเท่านั้น โดยใช้สมการของ (Streets et al., 2003) ดังนี้

$$M = A \times B \times C \quad (2)$$

โดย  $M$  = จำนวนชีวมวลที่ใช้ในการเผา (g)

$A$  = พื้นที่ที่เผา (m<sup>2</sup>)

$B$  = ชีวมวล (ความหนาแน่นของชีวมวล (kg<sub>dm biomass</sub>/m<sup>2</sup>))

$C$  = ฟังก์ชันชีวมวลที่เผา (ประสิทธิภาพการเผาไหม้)

ค่าปัจจัยการระบายจากการเผาป่า EF จะใช้ค่าปัจจัยการระบายของ Andreae and Merlet, 2001, Akagi et al., 2011 และ Dennis et al., 2002 ซึ่งรวบรวมไว้ดังตาราง 5 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณการปล่อยมลพิษอากาศ สำหรับพารามิเตอร์ของการเผาป่าไม้ ค่า B และ C จะขึ้นอยู่กับชนิดของป่าไม้ โดยจะใช้ค่าพารามิเตอร์จาก Michel et al. 2005 ดังตาราง 6

ตาราง 5 ค่าปัจจัยการระบายจากการเผาในที่โล่งของการเผาป่า

ชนิด	NO <sub>x</sub>	CO	NMVOC	SO <sub>2</sub>	NH <sub>3</sub>	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	OC	BC
Tropical Forest	1.60 <sup>a</sup>	104 <sup>a</sup>	19.32 <sup>b</sup>	0.57 <sup>a</sup>	1.3	18.5 <sup>c</sup>	9.1 <sup>a</sup>	5.2 <sup>a</sup>	0.66 <sup>a</sup>
Grassland	3.90 <sup>a</sup>	65 <sup>a</sup>	9.73 <sup>b</sup>	0.35 <sup>a</sup>	0.6	17.6 <sup>d</sup>	5.4 <sup>a</sup>	3.4 <sup>a</sup>	0.48 <sup>a</sup>

ที่มา: <sup>a</sup> (Andreae and Merlet, 2001), <sup>b</sup> (Streets et al., 2003), <sup>c</sup> (Akagi et al., 2001), <sup>d</sup> (Dennis et al., 2002), <sup>e</sup> (kanabkaew and Kim Oanh, 2011)

ตาราง 6 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณการปล่อยมลพิษของการเผาในที่โล่งของป่าไม้

Vegetation Class	Biomass Density(g/m <sup>2</sup> ) (B)	Burning efficiency (C)
Tropical forest	23,350 <sup>a</sup>	0.25 <sup>a</sup>
Grassland	1,250 <sup>a</sup>	0.95 <sup>a</sup>

ที่มา: Michel et al., 2005

ลักษณะของการเผาในที่โล่งจะมีการยกตัวของควัน (Plume rise) ที่มีความสูงแตกต่างกันในแต่ละครั้งที่เกิดการเผาตามลักษณะของอุตุนิยมวิทยา สภาพการเผาในขณะนั้น และสัดส่วนการปล่อย Emission จากการเผารายชั่วโมงในวัน การเตรียมข้อมูลการปล่อยมลสารจึงออกแบบให้การเผาในที่โล่งมีการปล่อยแบบ 3 มิติตามความสูงของการยกตัวของควันซึ่งในบางครั้งอาจเกิดขึ้นในระดับสูง (Freitas et al., 2010) งานวิจัยนี้ได้คำนวณความสูงของควันโดยการพัฒนาแบบจำลอง Plume rise ของการเผาในที่โล่งอ้างอิงทฤษฎีตามหลักของ Air Sciences, 2005 โดยมีสูตร และค่าตัวแปรดังตาราง 7 และตาราง 8 โดยมีความสัมพันธ์ดังนี้

รูปแบบความสัมพันธ์ของความสูงยอด Plume รายชั่วโมงคำนวณได้จาก

$$P_{top_{hour}} = (BE_{hour})^2 \times (BE_{size})^2 \times P_{top_{potential}}$$

รูปแบบความสัมพันธ์ของความสูงฐาน Plume รายชั่วโมงคำนวณได้จาก

$$P_{bot_{hour}} = (BE_{hour})^2 \times (BE_{size})^2 \times P_{bot_{potential}}$$

$P_{top_{hour}}$  คือ ความสูงยอด Plume รายชั่วโมง (เมตร)

$P_{bot_{hour}}$  คือ ความสูงฐาน Plume รายชั่วโมง (เมตร)

$P_{top_{potential}}$  คือ ความสูงยอด Plume จัดกลุ่มตามขนาดพื้นที่ที่ถูกเผา (ตารางเมตร)

$P_{bot_{potential}}$  คือ ความสูงฐาน Plume จัดกลุ่มตามขนาดพื้นที่ที่ถูกเผา (ตารางเมตร)

BE คือ ประสิทธิภาพการลอยตัว (Buoyant Efficiency) จัดกลุ่มตามขนาดพื้นที่ที่ถูกเผา

( $BE_{size}$ ) แสดงดังตาราง 7 และเวลาที่มีการเผา ( $BE_{hour}$ ) แสดงดังตาราง 8

ตาราง 7 การแบ่งกลุ่มตัวแปรของการเกิด Plume ตามขนาดของพื้นที่การเผา

กลุ่ม	พื้นที่การเผา (เอเคอร์ (ตร.กม.))	$BE_{size}$	$P_{top_{potential}}$ (m)	$P_{bot_{potential}}$ (m)
1	<10 (0.0405)	0.4	160	0
2	10-100 (0.0405-0.405)	0.6	2,400	900
3	100-1,000 (0.405-4.05)	0.75	6,400	2,200
4	1,000-5,000 (4.05-20.25)	0.85	7,200	3,000
5	>5,000 (20.25)	0.9	8,000	3,000

ตาราง 8 การแบ่งกลุ่มประสิทธิภาพการลอยตัวของ Plume รายชั่วโมงในหนึ่งวัน

ชั่วโมง	$BE_{hour}$
1	0.03
2	0.03
3	0.03
4	0.03
5	0.03
6	0.03
7	0.03
8	0.03

ตาราง 8 (ต่อ)

ชั่วโมง	BE <sub>hour</sub>
9	0.06
10	0.1
11	0.2
12	0.4
13	0.7
14	0.8
15	0.9
16	0.95
17	0.99
18	0.8
19	0.7
20	0.4
21	0.06
22	0.03
23	0.03
24	0.03

ตาราง 9 สัดส่วนการปล่อย Emission จากการเผาไหม้ชั่วโมงในหนึ่งวัน

ชั่วโมง	% ต่อชั่วโมง
1	0.57
2	0.57
3	0.57
4	0.57
5	0.57
6	0.57
7	0.57
8	0.57
9	0.57

ตาราง 9 (ต่อ)

ชั่วโมง	% ต่อชั่วโมง
10	2
11	4
12	7
13	10
14	13
15	16
16	17
17	12
18	7
19	4
20	0.57
21	0.57
22	0.57
23	0.57
24	0.57

การจำลองด้วยฟังก์ชันเสริมการจำลองแบบ 3 มิติตามทฤษฎีข้างต้น และข้อมูลจะถูกผสมกับการปล่อยจากแหล่งกำเนิดอื่นด้วยแบบจำลอง THEM สำหรับเป็นข้อมูลนำเข้าแบบจำลอง CMAQ ต่อไป

#### แบบจำลอง CMAQ

การจำลองการแพร่กระจายฝุ่นละอองด้วยแบบจำลอง Community Multi-scale Air Quality version 4.7.1 (CMAQ) โดยเลือกใช้พารามิเตอร์ สำหรับการคำนวณกระบวนการในบรรยากาศแสดงดังตาราง 3 การจำลองการแพร่กระจายมลพิษอากาศตามแนวตั้งแบ่งเป็น 22 ชั้นความสูงจากระดับพื้นโลกถึงความสูงที่ระดับความดัน 50 มิลลิบาร์ (ประมาณ 17 km) รายละเอียดดังตาราง 2 มีขอบเขตการศึกษาตามโดเมนที่ 2 และใช้ข้อมูลสภาพอุตุนิยมวิทยา รายชั่วโมงจากแบบจำลอง WRF และเตรียมข้อมูลโดยแบบจำลอง Meteorology/Chemistry Interface Processor (MCIP) 3.4 สำหรับนำเข้าแบบจำลอง CMAQ ข้อมูลความเข้มข้นมลพิษ

เริ่มต้นและเงื่อนไขขอบเขต (Initial Condition and Boundary Condition (IC/BC)) ได้จากการจำลองคุณภาพอากาศโดเมนที่ 1 ล่วงหน้า 7 วัน ด้วยการเริ่มต้นที่ความเข้มข้นอากาศสะอาด (Clean air condition) สำหรับเป็นข้อมูล IC/BC ของโดเมนที่ 2 แบบจำลองใช้ข้อมูลการปล่อยมลพิษจากแหล่งกำเนิด โรงงาน จราจร ธรรมชาติ และการเผาในที่โล่ง สำหรับนำเข้าแบบจำลองที่เตรียมด้วยแบบจำลอง THEM ข้อมูลทั้งหมดจะถูกประมวลผลโดยแบบจำลอง CCTM ที่คำนวณความเข้มข้นของฝุ่นละอองในบรรยากาศ

### การประเมินความถูกต้องแบบจำลอง (Model evaluation)

การประเมินความถูกต้องของการจำลองสภาพอุตุนิยมวิทยามลพิษอากาศ ใช้ค่าสถิติในการประเมินประสิทธิภาพของการจำลองพารามิเตอร์ทางอุตุนิยมวิทยาหลักที่เกี่ยวข้องกับการแพร่กระจายฝุ่นละอองได้แก่ อุดหนุนภูมิ โดยพิจารณาถึง % อุดหนุนภูมิที่แบบจำลองและการตรวจวัดต่างกันไม่เกิน 2 องศา Factor of two สำหรับความเร็วลม และทิศทางลมโดยใช้ % ทิศทางลมที่แตกต่างกันไม่เกิน 45 องศา นอกจากนี้ยังเปรียบเทียบกับแผนภาพผลการจำลองอุตุนิยมวิทยากับแบบจำลอง The Modern Era Retrospective–Analysis for Research and Applications (MERRA) โดยได้ข้อมูลจาก NASA’s Global Modeling and Assimilation Office แบบจำลองใช้ข้อมูลหลักนำเข้าจากข้อมูลดาวเทียม ที่ความละเอียดกริดเท่ากับ  $0.5 \times 0.667$  องศา (Rienecker et al., 2011) แสดงรายละเอียดสูตรดังต่อไปนี้

Mean Normalized Bias:

$$MNB = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{(M_i - O_i)}{O_i}$$

Mean Normalized Gross Error:

$$MNE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{M_i - O_i}{O_i} \right|$$

Mean Fractional Bias:

$$MFB = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{(M_i - O_i)}{\left[ \frac{(M_i + O_i)}{2} \right]}$$

Mean Fractional Gross Error:

$$MFE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|M_i - O_i|}{[(M_i + O_i)/2]}$$

Index of agreement:

$$IOA = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (M_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^N (|M_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2}$$

Factor of two:

$$FA2 = \frac{N_{[0.5,2]}}{N}$$

Correlation coefficient:

$$r = \frac{N \sum M_i O_i - \sum M_i \sum O_i}{\sqrt{|N \sum M_i^2 - (\sum M_i)^2| \times |N \sum O_i^2 - (\sum O_i)^2|}}$$

โดยที่

$M_i$	≡	ค่าจากแบบจำลอง
$\bar{M}$	≡	ค่าเฉลี่ยจากแบบจำลอง
$N$	≡	จำนวนข้อมูลทั้งหมด
$O_i$	≡	ค่าจากการตรวจวัด
$\bar{O}$	≡	ค่าเฉลี่ยจากการตรวจวัด

### ข้อมูลตรวจวัด (Observations)

ข้อมูลตรวจวัดระดับความเข้มข้นของ PM2.5 และอนุภาคมิถยาใช้ข้อมูลจากสถานีของกรมควบคุมมลพิษ (Pollution Control Department of Ministry Natural Resources and Environment of Thailand: PCD) ภายในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทยที่เป็นพื้นที่แหล่งกำเนิดหลักของการเผาในที่โล่ง พิกัดที่ตั้งรหัสและชื่อสถานีแสดงดังตาราง 10

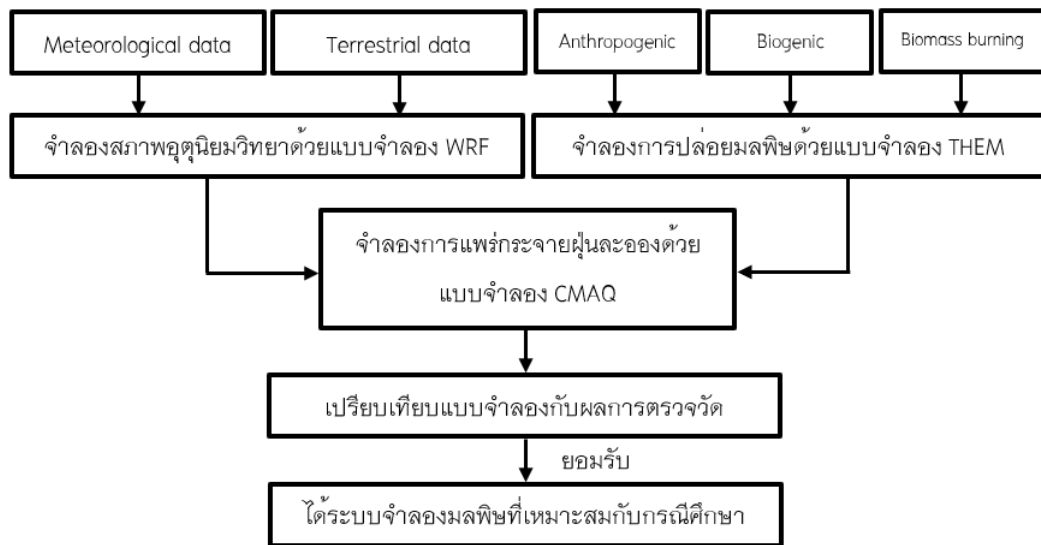
ตาราง 10 พิกัดสถานีตรวจวัดมลพิษอากาศและอุตุนิยมวิทยาภาคพื้นดิน

ID	สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศในภาคเหนือ	สถานที่	ละติจูด	ลองจิจูด
35	ศาลากลางจังหวัดเชียงใหม่	เชียงใหม่	18.84	98.96
36	โรงเรียนยุพราชวิทยาลัย	เชียงใหม่	18.79	98.99
37	ศาลหลักเมืองจังหวัดลำปาง	ลำปาง	18.28	99.50
38	สถานีอนามัยสบป่าด	ลำปาง	18.24	99.76
39	สถานีอนามัยท่าสี่	ลำปาง	18.44	99.77
40	สำนักงานการประปาส่วนภูมิภาคแม่เกาะ	ลำปาง	18.29	99.67
65	สนง.ทสจ.เชียงราย	เชียงราย	19.90	99.82
66	สนง.ทสจ.แม่ฮ่องสอน	แม่ฮ่องสอน	19.30	97.96
67	สำนักงานเทศบาลเมืองน่าน	น่าน	18.78	100.77
68	สนามกีฬา อบจ.ลำพูน	ลำพูน	18.56	99.00
69	อุตุนิยมวิทยาแพร่	แพร่	18.12	100.16
70	บริเวณอุทยานการเรียนรู้ภูพานพะเยา	พะเยา	19.16	99.89
73	สำนักงานสาธารณสุขแม่สาย	เชียงราย	20.42	99.88

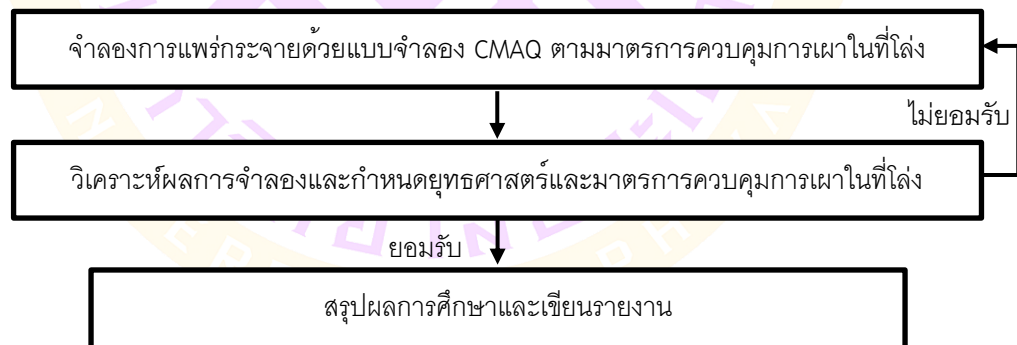
### การกำหนดมาตรการควบคุมการเผาในที่โล่ง

พิจารณาจากแผนปฏิบัติการป้องกันและแก้ไขปัญหาไฟป่า การเผาในที่โล่ง และมลพิษหมอกควัน พ.ศ.2556 – 2562 ภายใต้แผนแม่บทพัฒนาความปลอดภัยด้านอัคคีภัยแห่งชาติ ยุทธศาสตร์/มาตรการแก้ไขปัญหาไฟป่าและหมอกควันปีพ.ศ.2559 และแผนปฏิบัติการแก้ไขปัญหาไฟป่าและหมอกควันจังหวัดพะเยา พ.ศ. 2555 – 2559 และทำการวิเคราะห์ข้อมูลตรวจวัดระดับความเข้มข้นของ PM<sub>2.5</sub> และอุตุนิยมวิทยา ได้จากสถานีตรวจวัดภาคพื้นดินในการเฝ้าระวังระดับฝุ่นละอองที่เกินมาตรฐานและการติดตามสภาพอากาศรายวัน ของกรมควบคุมมลพิษ (Pollution Control Department of Ministry Natural Resources and Environment of Thailand: PCD) และวิเคราะห์ข้อมูลจุดความร้อน (Fire Hot Spots; FHS) จากข้อมูลดาวเทียมระบบ MODerate resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) (Giglio, 2015) จากดาวเทียม Terra และ Aqua ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของระบบการตรวจวัดจาก The National Aeronautics and Space Administration (NASA) ที่ความละเอียด 1 กิโลเมตร เลือกช่วงที่มีปัญหาหมอกควันรุนแรงในช่วงปี พ.ศ. 2562 ตัวอย่างเช่น

1. การเผากรณีฐาน (Base Case) อัตราการปล่อยมลพิษจากแหล่งกำเนิดประเภทกิจกรรมจากมนุษย์ จากชีวภาพ และการเผาในที่โล่งที่ระบายเป็นจริงของทั้งพื้นที่ศึกษา
2. ลดการเผาในที่โล่งโดยลดการเผาในพื้นที่ป่าที่ละ 20 ไร่



ภาพ 5 แผนผังขั้นตอนดำเนินงานวิจัยการประเมินความถูกต้องและปรับพารามิเตอร์ให้เหมาะสมกับการจำลองฝุ่นละอองในพื้นที่จังหวัดพะเยา



ภาพ 6 แผนผังขั้นตอนดำเนินงานวิจัยจำลองการแพร่กระจายด้วยแบบจำลอง CMAQ ตามมาตรการควบคุมการเผาในที่โล่งให้เหมาะสมกับการจำลองฝุ่นละอองในพื้นที่จังหวัดพะเยา

## บทที่ 4

### ผลการวิจัย

การประยุกต์ใช้แบบจำลองการแพร่กระจายมลพิษอากาศในการพัฒนามาตรการที่เหมาะสมในการแก้ปัญหาหมอกควันจังหวัดพะเยา งานวิจัยนี้ใช้ระบบแบบจำลองการแพร่กระจายมลพิษอากาศ WRF-CMAQ โดยศึกษาในช่วงที่มีความเข้มข้นฝุ่นละอองสูง และเป็นช่วงที่พบการเผาจำนวนมากวันที่ 31 มีนาคม พ.ศ.2562 ในการหาปริมาณการปล่อยมลพิษจากแหล่งกำเนิดที่ไม่ทำให้คุณภาพอากาศเกินเกณฑ์มาตรฐาน (Carrying capacity) และประเมินผลสำเร็จของมาตรการในการควบคุมเพื่อให้ได้แนวทางในการควบคุมที่มีประสิทธิภาพ และมีประสิทธิผลที่ทำให้ระดับ PM2.5 อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศ

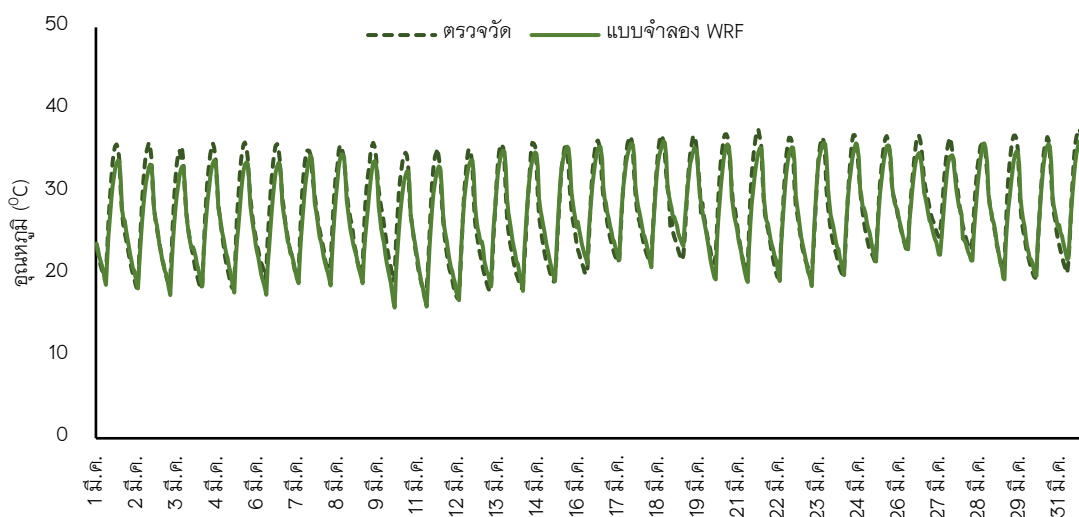
#### การจำลองการแพร่กระจายฝุ่นละอองด้วยระบบแบบจำลอง WRF-CMAQ

การจำลองการแพร่กระจายฝุ่นละอองด้วยระบบแบบจำลอง WRF-CMAQ ได้ทำการจำลองในช่วงที่พบปัญหาหมอกควันรุนแรงในเดือนมีนาคม พ.ศ.2562 โดยมีการใช้ข้อมูลการระบายมลพิษจากแหล่งกำเนิดหลักได้แก่ การจราจร โรงงานอุตสาหกรรม บ้านเรือนชุมชน แหล่งกำเนิดชีวภาพ และการเผาในที่โล่ง ข้อมูลที่ได้จากระบบการจำลองประกอบไปด้วย ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา และข้อมูลความเข้มข้นของมลพิษอากาศในบรรยากาศ โดยการวิจัยนี้ได้ประเมินความถูกต้องแบบจำลองโดยเปรียบเทียบผลจากแบบจำลองกับค่าจากการตรวจวัดสำหรับสภาพอุตุนิยมวิทยาที่เกี่ยวข้องกับการแพร่กระจายมลพิษอากาศ พารามิเตอร์ที่สำคัญที่ประเมินได้แก่ อุณหภูมิ ความเร็วลม ทิศทางลม และปริมาณน้ำฝนสะสม โดยเปรียบเทียบกับค่าตรวจวัดกับค่าจากสถานีจากการตรวจวัดคุณภาพอากาศโดยกรมควบคุมมลพิษ นอกจากนี้ยังเปรียบเทียบกับแผนภาพผลการจำลองอุตุนิยมวิทยากับแบบจำลองแบบจำลอง MERRA-2 และข้อมูลน้ำฝนจากฐานข้อมูลดาวเทียม Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM)

#### การจำลองอุณหภูมิ

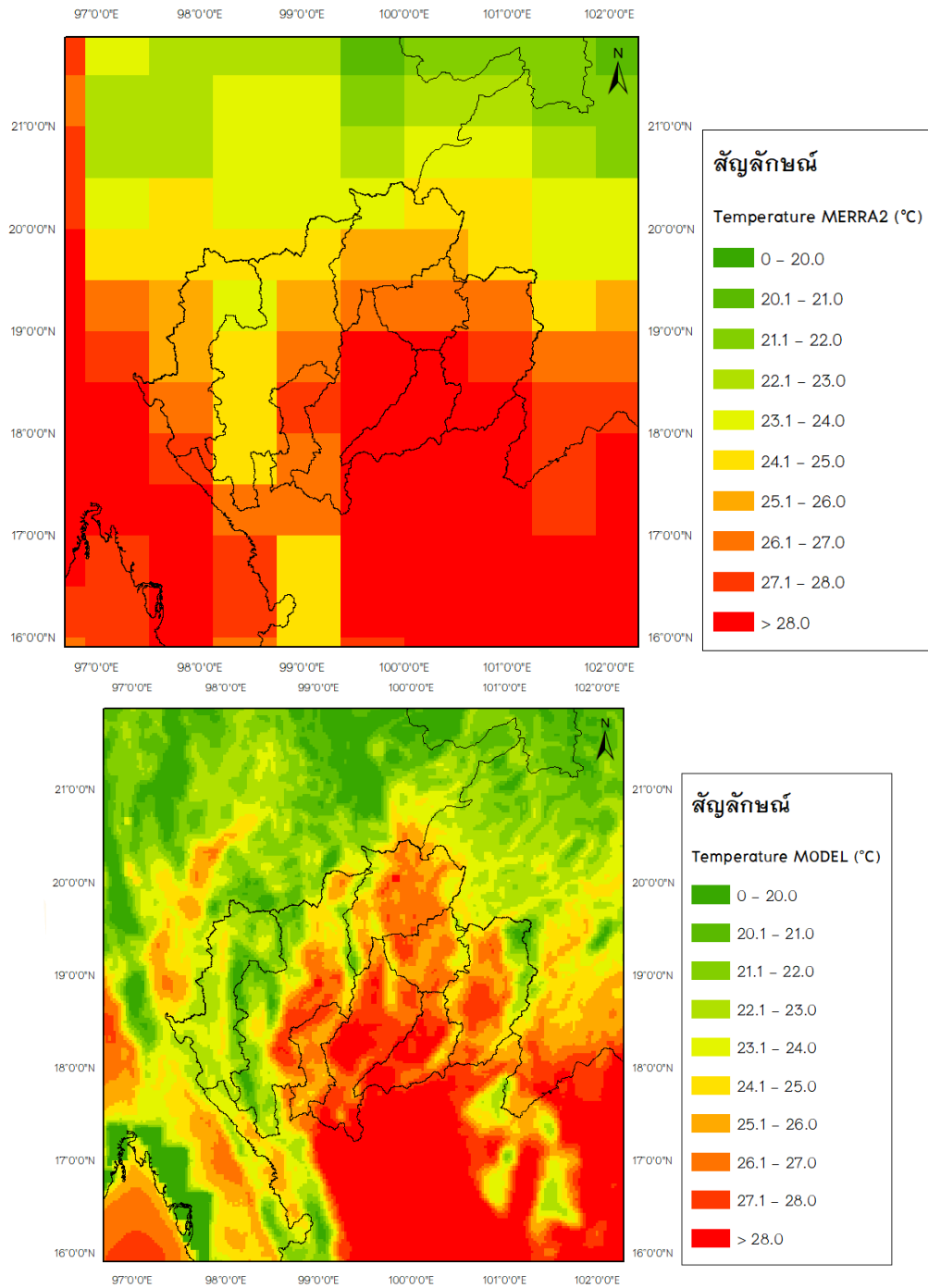
การจำลองอุณหภูมิด้วยแบบจำลอง WRF เทียบกับค่าจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศภาคพื้นดิน กรมควบคุมมลพิษ เฉลี่ยทั้งพื้นที่ภาคเหนือ พบว่าแบบจำลองสามารถ

จำลองได้ใกล้เคียงกับค่าตรวจวัด ผลการจำลอง ณ ตำแหน่งสถานีตรวจวัดในพื้นที่ภาคเหนือ จำนวน 13 จุด มีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิเท่ากับ  $27.52 \pm 1.53^{\circ}\text{C}$  ในขณะที่ข้อมูลตรวจวัด มีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิเท่ากับ  $27.12 \pm 1.21^{\circ}\text{C}$  และผลการจำลองมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงรายวัน สอดคล้องกับค่าจากการตรวจวัดดี โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูงถึง 0.96 โดยค่า NMB แสดงให้เห็นว่าแบบจำลอง คำนวณอุณหภูมิได้ค่าไปในทางต่ำกว่าค่าตรวจวัดเล็กน้อยโดยมีค่าต่ำกว่าไม่เกิน 1% เมื่อเทียบกับการตรวจวัด นอกจากนี้ยังพบว่าค่าความคลาดเคลื่อนต่ำ โดยพบว่ามีค่า NME อยู่ในช่วงไม่เกิน 5% การวิเคราะห์การจำลองอุณหภูมิตามการเปลี่ยนแปลง รายชั่วโมงดังภาพ 7 พบว่าแบบจำลองสามารถจำลองอุณหภูมิได้สอดคล้องกับการตรวจวัด โดยอุณหภูมิสูงสุดมักพบในช่วงบ่าย



ภาพ 7 ผลการจำลองอุณหภูมิเปรียบเทียบกับข้อมูลตรวจวัด

การเปรียบเทียบการจำลองอุณหภูมิของแบบจำลอง WRF เทียบกับค่าจาก MERRA-2 ด้วยวิธีการ re-grid ผลการจำลองอุณหภูมิของแบบจำลอง WRF ที่มีความละเอียดมากกว่า ข้อมูล MERRA-2 ให้มีความละเอียดเท่ากับข้อมูล MERRA-2 เฉลี่ยทั้งพื้นที่ตลอดเดือนมีนาคม พบว่าสามารถจำลองได้สอดคล้องกันดังภาพ 8 มีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิเท่ากับ  $24.37 \pm 3.79^{\circ}\text{C}$  ในขณะที่ข้อมูล MERRA-2 มีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิเท่ากับ  $25.61 \pm 3.32^{\circ}\text{C}$  มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูงถึง 0.82 มีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำ โดยพบว่ามีค่า NME อยู่ในช่วงไม่เกิน 6%

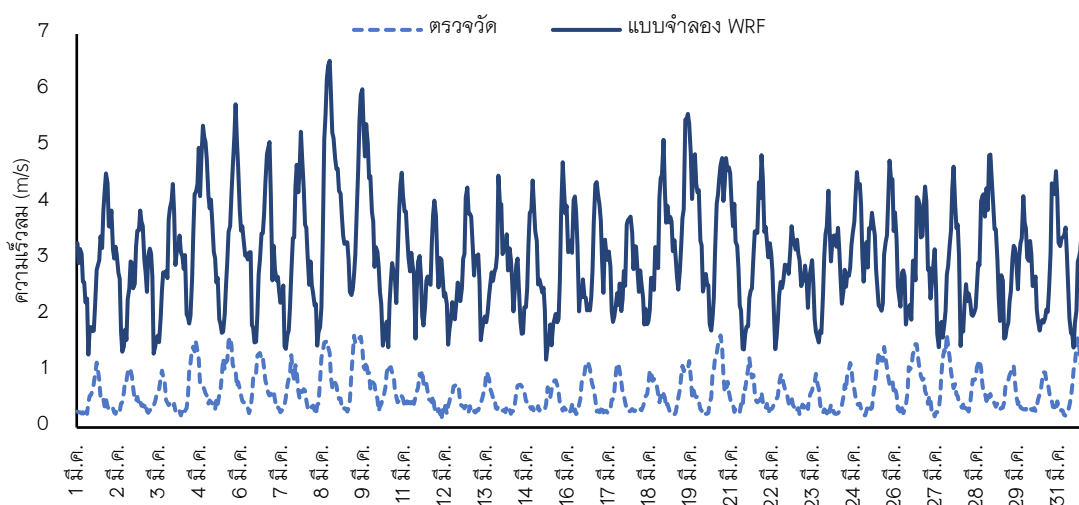


ภาพ 8 ผลการจำลองอุณหภูมิเปรียบเทียบกับข้อมูลแบบจำลอง MERRA-2

### การจำลองความเร็วลมและทิศทางลม

ผลการจำลองความเร็วลมเปรียบเทียบกับข้อมูลตรวจวัดเฉลี่ยทั้งพื้นที่ภาคเหนือ ณ ตำแหน่งสถานีตรวจวัดในพื้นที่ภาคเหนือจำนวน 13 จุด พบว่าความเร็วลมของแบบจำลองและ

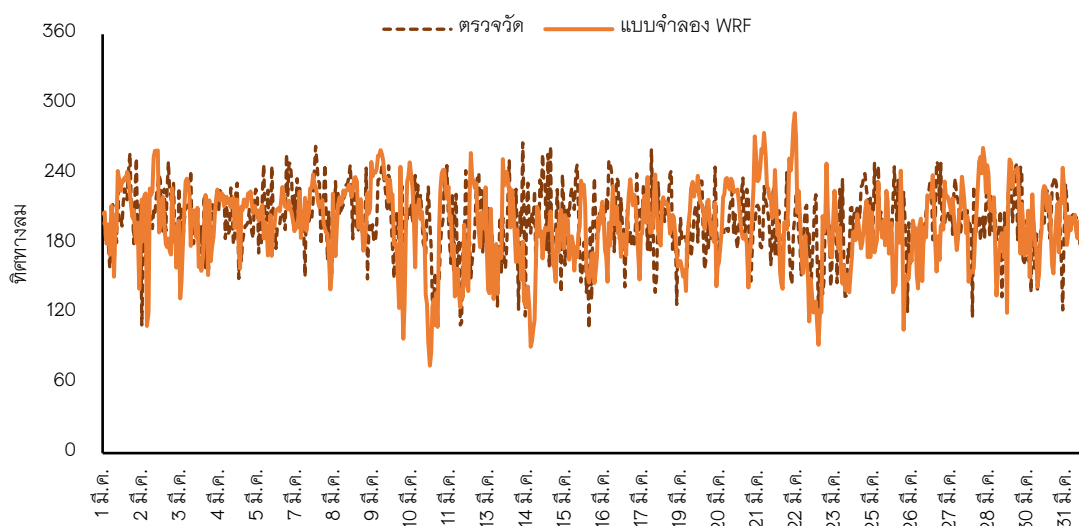
ข้อมูลตรวจวัดมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงตามรอบวันเช่นเดียวกันดังภาพ 9 อย่างไรก็ตามความเร็วลมจากแบบจำลองโดยภาพรวมคำนวณให้ค่าสูงกว่าค่าการตรวจวัด ทั้งนี้อาจเนื่องจากสถานีตรวจวัดตั้งอยู่ใกล้พื้นที่ชุมชนหนาแน่น มีอาคารบ้านเรือนรอบสถานีตรวจวัด จึงได้รับอิทธิพลแรงเสียดทานจากสิ่งก่อสร้างที่อยู่ใกล้สถานีตรวจวัด นอกจากนี้ยังพบความเร็วลมของกรณีศึกษาที่มีการเปลี่ยนแปลงสูงเนื่องจากส่วนใหญ่เป็นลมเบา (Light wind (< 1.5 เมตร/วินาที)) ลมมีความปั่นป่วนสูง (Hanna and Yang, 2001)



ภาพ 9 ผลการจำลองความเร็วลมเปรียบเทียบกับข้อมูลตรวจวัด

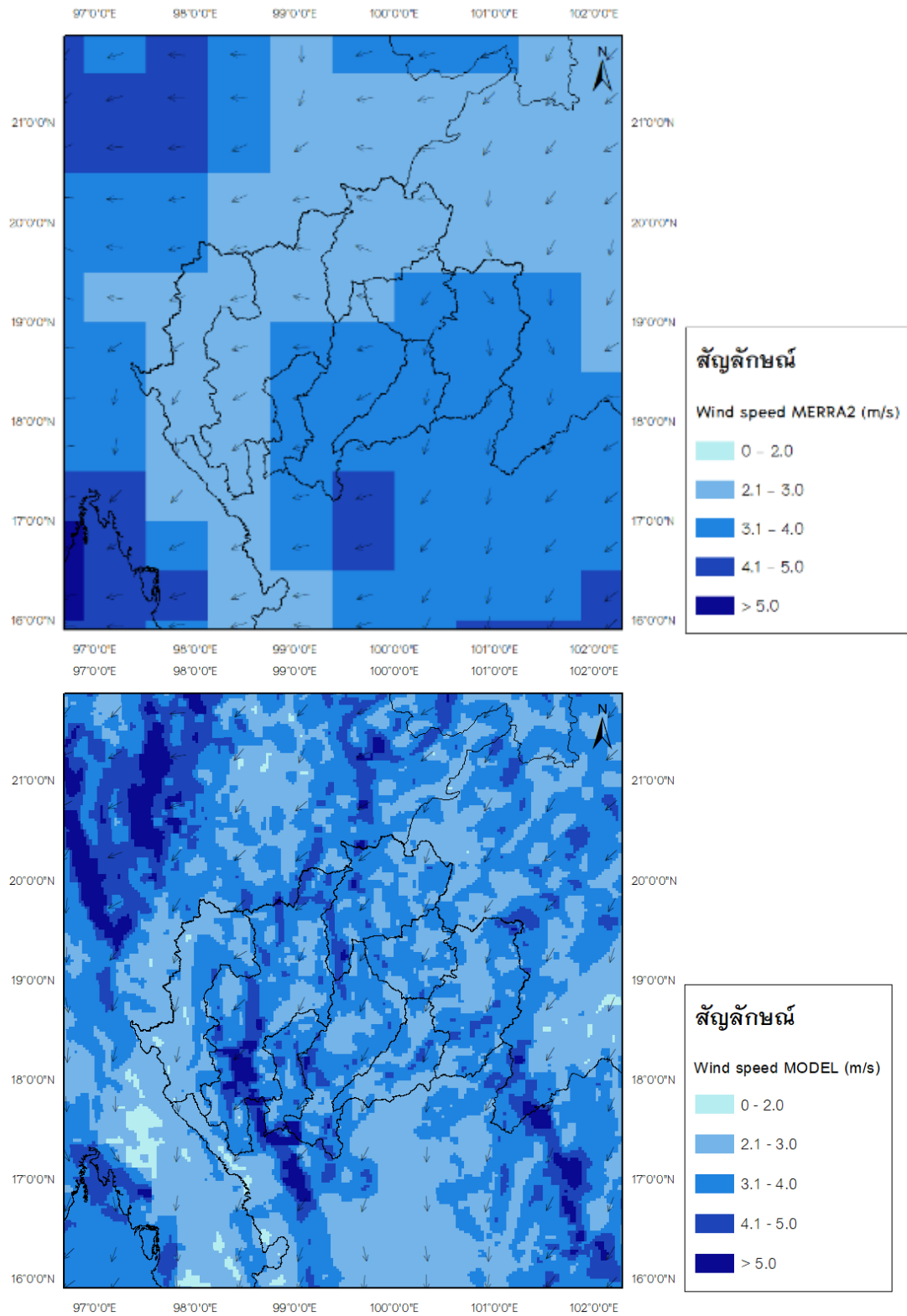
ผลการจำลองทิศทางลมช่วงกรณีศึกษาเปรียบเทียบกับข้อมูลตรวจวัด ณ ตำแหน่งสถานีตรวจวัดในพื้นที่ภาคเหนือจำนวน 13 จุด เฉลี่ยทั้งพื้นที่ภาคเหนือ ด้วยรูปภาพอนุกรมเวลาแสดงดังภาพ 10 พบว่าแบบจำลองสามารถจำลองทิศทางลมที่มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงในรอบวันได้เช่นเดียวกับข้อมูลตรวจวัด ทิศทางของลมส่วนใหญ่ของแบบจำลองมีทิศใกล้เคียงกับข้อมูลตรวจวัด พบว่ามีค่าเฉลี่ยทิศทางลมเท่ากับ 196 องศา ในขณะที่ข้อมูลตรวจวัดมีค่าเฉลี่ยทิศทางลมเท่ากับ 199 องศา มีค่าสถิติทิศทางลมแตกต่างกันไม่เกิน 45 องศา มากกว่า 77% และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ 0.2 ทิศทางที่แตกต่างกันมากในระดับใกล้พื้นดินอาจเนื่องจากอิทธิพลของพื้นผิว สิ่งก่อสร้างที่อยู่รอบสถานีตรวจวัด อีกทั้งอาจเนื่องจากอิทธิพลของภูมิประเทศภูเขาซับซ้อนของภาคเหนือ ทำให้การไหลเวียนอากาศซับซ้อนยากต่อการจำลองทิศทางลมระดับพื้นผิวให้แม่นยำ นอกจากนี้ค่าสถิติประเมินความถูกต้องไม่สูงเนื่องจากลมช่วงที่ศึกษาส่วนใหญ่เป็นลมเบา ซึ่งโดยทั่วไปลมเบาจะมีการเปลี่ยนแปลงทิศทางสูง

เนื่องจากการเคลื่อนที่ของอากาศจากความแตกต่างของความดันบรรยากาศต่ำ การเคลื่อนที่เนื่องจากความปั่นป่วน (Turbulent motions) อาจมีขนาดใกล้เคียงกับการเคลื่อนที่ของความเร็วม ดังนั้นทิศทางการลมจึงมีการเปลี่ยนแปลงสูง (Hanna and Yang, 2001; Kumar et al., 2006)

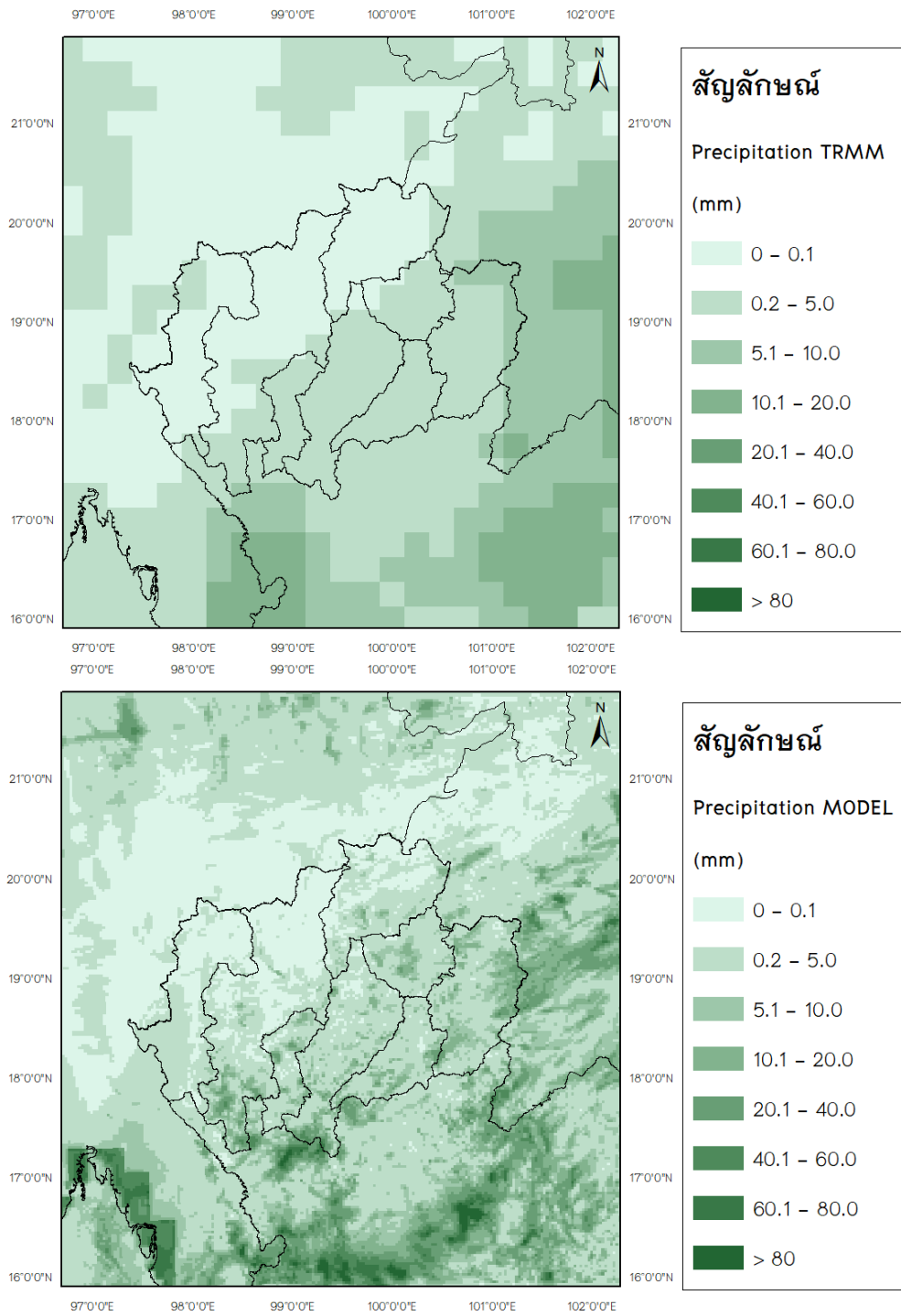


ภาพ 10 ผลการจำลองทิศทางลมเปรียบเทียบกับข้อมูลตรวจวัด

การเปรียบเทียบการจำลองความเร็วลมและทิศทางลมของแบบจำลอง WRF เทียบกับค่าจาก MERRA-2 ด้วยวิธีการ re-grid ผลการจำลองของแบบจำลอง WRF ที่มีความละเอียดมากกว่าข้อมูล MERRA-2 ให้มีความละเอียดเท่ากับข้อมูล MERRA-2 เฉลี่ยทั้งพื้นที่ตลอดเดือนมีนาคม พบว่าสามารถจำลองได้สอดคล้องกันดังภาพ 11 พบว่าความเร็วลมจากแบบจำลอง WRF มีความเร็วลมเฉลี่ยเท่ากับ 3.3 เมตรต่อวินาที และ MERRA มีค่าเท่ากับ 3.3 เมตรต่อวินาที มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูงกว่า 0.4 ผลการจำลองทิศทางลม พบว่าเป็นลมตะวันตกเฉียงใต้ค่อนข้างได้มีค่า 209 องศา ในขณะที่ข้อมูลตรวจวัดเป็นลมตะวันตกเฉียงใต้ค่อนข้างได้มีค่า 237 องศา มีค่าสถิติทิศทางลมแตกต่างไม่เกิน 45 องศา มากกว่า 67%



ภาพ 11 ผลการจำลองความเร็วลมและทิศทางลมเปรียบเทียบกับข้อมูล  
แบบจำลอง MERRA-2



ภาพ 12 ผลการจำลองฝนเปรียบเทียบกับค่าตรวจวัดจากดาวเทียม TRMM

### การจำลองฝน

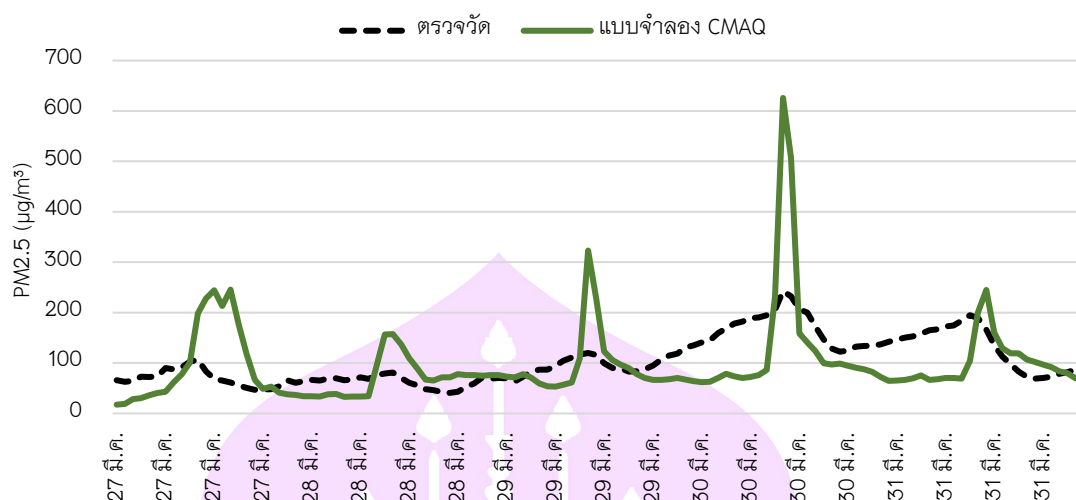
การเปรียบเทียบการจำลองปริมาณฝนสะสมของแบบจำลอง WRF เทียบกับค่าตรวจวัดจากดาวเทียม TRMM ด้วยวิธีการ re-grid ผลการจำลองของแบบจำลอง WRF ที่มีความละเอียดมากกว่าข้อมูล TRMM ให้มีความละเอียดเท่ากับข้อมูล TRMM เฉลี่ยทั้งพื้นที่ตลอดเดือนมีนาคม พบว่าสามารถจำลองได้สอดคล้องกันดังภาพ 12 พบว่าปริมาณฝนสะสมจากแบบจำลอง WRF มีปริมาณฝนสะสมเฉลี่ยเท่ากับ 16.5 มิลลิเมตร และ TRMM มีค่าเท่ากับ 8.1 มิลลิเมตร ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ 0.53 โดยค่า NMB แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองคำนวณฝนได้ค่าไปในทางสูงกว่าโดยมีอยู่ที่ 4.6 เมื่อเทียบกับการตรวจวัด

### การจำลองความเข้มข้นของ PM2.5

การจำลองความเข้มข้นของ PM2.5 ด้วยแบบจำลอง CMAQ ทำการเปรียบเทียบผลการจำลอง Base case กับข้อมูลตรวจวัดภาคพื้น 13 สถานี ในพื้นที่ภาคเหนือประเทศไทย แสดงดังภาพ 13 ค่าสถิติประเมินความถูกต้องในการจำลอง PM2.5 แสดงดังภาพ 11 ผลการเปรียบเทียบพบว่าแบบจำลองสามารถจำลอง PM2.5 ได้ใกล้เคียงกับค่าตรวจวัด และจำลองการเปลี่ยนแปลงของระดับ PM2.5 ได้ดี โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.40 ค่าเฉลี่ยของการจำลอง PM2.5 และค่าเฉลี่ยจากการตรวจวัด PM2.5 เท่ากับ 98.25 และ 105.23 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ผลการประเมินค่าสถิติ NMB เท่ากับ 1.98

ตาราง 11 ค่าสถิติประเมินความถูกต้องผลการจำลองความเข้มข้น PM2.5 เปรียบเทียบกับข้อมูลตรวจวัด 13 จุดในพื้นที่ภาคเหนือประเทศไทย

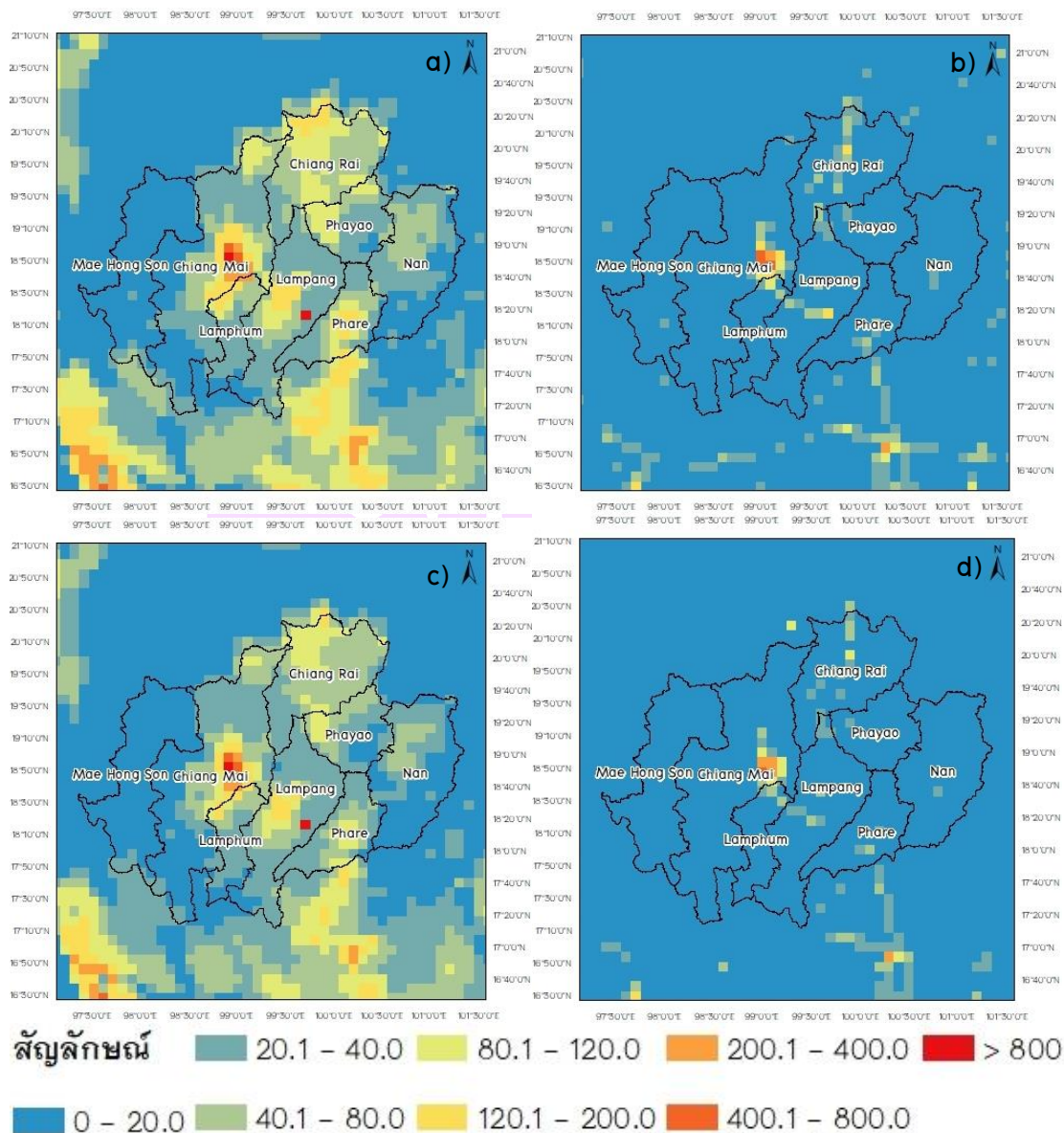
ความเข้มข้นของ PM2.5	
ค่าเฉลี่ยจากแบบจำลอง	98.25
ค่าเฉลี่ยจากการตรวจวัด	105.23
สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์	0.40
Mean Normalized Bias (MNB)	1.98
Mean Normalized Error (MNE)	52.28
Factor of two (Fa2)	37.96



ภาพ 13 ผลการจำลองความเข้มข้น PM<sub>2.5</sub> เปรียบเทียบกับข้อมูลตรวจวัด 13 จุด  
ในพื้นที่ภาคเหนือประเทศไทย ช่วงทำการศึกษา

การคาดการณ์ข้อมูลการปล่อยมลสารจากแหล่งกำเนิดจากมนุษย์ (Anthropogenic emissions)

งานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลการปล่อยมลสารจากแหล่งกำเนิดโดยมนุษย์ใช้ข้อมูลจาก SEAC4RS ข้อมูลทั้งหมดถูกคำนวณค่าจากปีฐาน พ.ศ.2555 ให้เป็นค่าของปี พ.ศ.2562 ที่ทำการศึกษาด้วยอัตราส่วนการเติบโตของผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศ (GDP) ดังตาราง 12 ผลการคาดการณ์ข้อมูลแหล่งกำเนิดโดยมนุษย์ SEAC4RS เทียบกับ CAMS-GLOB-ANT v4.2 พบว่าอัตราส่วนเท่ากับ 1.2 และ 1.3 ตามลำดับ โดยปริมาณการปล่อยมลสารแสดงดังภาพ 14



ภาพ 14 ปริมาณการปล่อยมลสาร CO จากแหล่งกำเนิดโดยมนุษย์ใช้ข้อมูล

- a) SEAC4RS 2012 b) SEAC4RS 2019 c) CAMS-GLOB-ANT 2012
- d) CAMS-GLOB-ANT 2019

## ตาราง 12 ผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศแบบปริมาณลูกโซ่

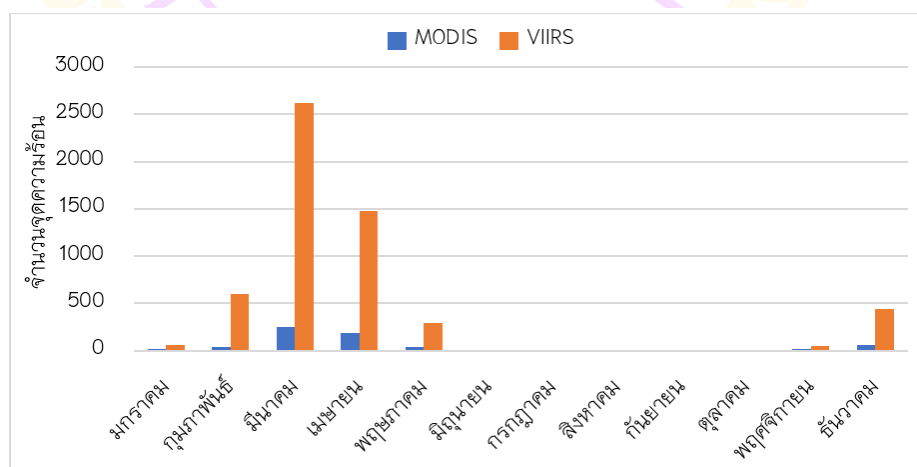
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Agriculture	655,758	660,365	658,463	615,883	608,097	630,731	662,770
Mining	237,731	242,847	238,881	244,584	247,303	233,607	232,110
Manufacturing	2,581,220	2,629,739	2,630,599	2,670,305	2,729,923	2,810,532	2,894,737
Construction	235,806	235,097	229,387	268,505	289,824	281,602	289,148
Electricity	298,266	295,928	304,897	321,375	332,428	341,125	350,180
Transportation	907,473	970,552	1,009,208	1,075,766	1,108,974	1,173,357	1,245,516
Residential and Commercial	4,038,077	4,181,280	4,250,116	4,466,696	4,693,513	4,955,835	5,200,302
*Residual	51,507	73,721	89,467	141,706	169,069	189,786	214,618
<b>Total</b>	<b>8,902,824</b>	<b>9,142,087</b>	<b>9,232,084</b>	<b>9,521,408</b>	<b>9,840,993</b>	<b>10,237,003</b>	<b>10,660,145</b>

หมายเหตุ: หน่วย = ล้านบาท

ที่มา: Office of the National Economic and Social Development Board (NESDB)

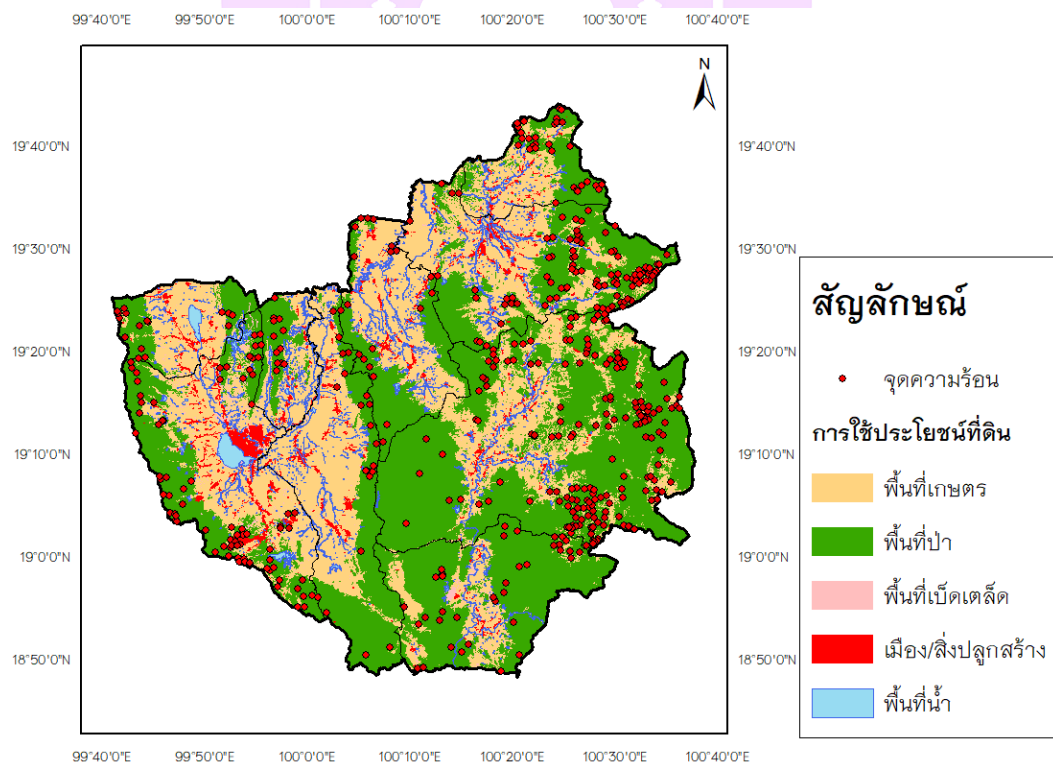
### การเผาชีวมวลในจังหวัดพะเยา

การเปลี่ยนแปลงการเผาชีวมวลตามเวลาพ.ศ.2562 จากข้อมูลดาวเทียมระบบ MODIS และ VIIRS ดังภาพ 15 พบว่าจุดความร้อนในช่วงฤดูแล้งพบมากในช่วงเดือน กุมภาพันธ์ – เมษายน คิดเป็นกว่า 82% ของปริมาณจุดความร้อนทั้งหมด โดยในเดือนมีนาคม พบจุดความร้อนมากที่สุดคิดเป็น 44% รองลงมาเป็นเดือนเมษายน 28% และ กุมภาพันธ์ 9%



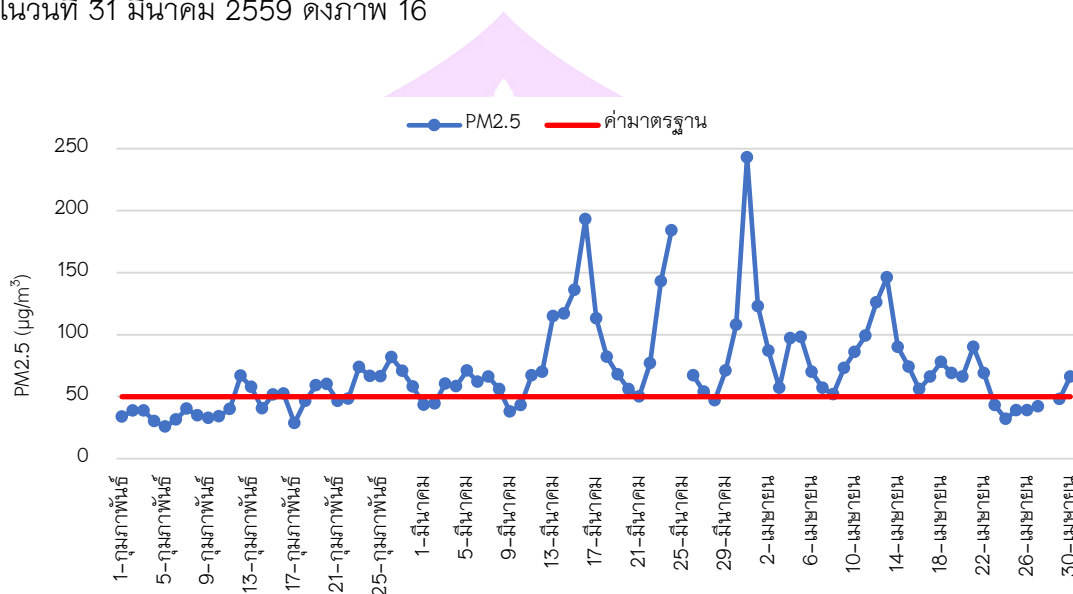
ภาพ 15 ปริมาณการเผาในจังหวัดพะเยารายเดือน พ.ศ. 2562

การเปลี่ยนแปลงการเผาชีวมวลตามพื้นที่ข้อมูลจุดความร้อนจากการเผาในที่โล่งภายในจังหวัดพะเยาเดือนกุมภาพันธ์-เมษายน พ.ศ.2562 จากข้อมูลดาวเทียมระบบ MODIS แสดงพิกัดของการเผาดังภาพ 16 แสดงให้เห็นว่าจุดความร้อนส่วนมากกระจายตัวทั่วไปตามพื้นที่ในจังหวัดพะเยา และพบจุดความร้อนจำนวนมากในบริเวณทิศตะวันออกของจังหวัดพะเยา พบว่าจำนวนจุดความร้อนรวมทั้งจังหวัดพะเยามีทั้งสิ้น 519 จุด โดยพบจุดความร้อนจำนวนมากในพื้นที่ป่าและพื้นที่เกษตร 374 จุด คิดเป็น 72% และ 95 จุด คิดเป็น 18% ตามลำดับ ทำให้เห็นได้ว่าการเผาในที่โล่งในจังหวัดพะเยาเกิดขึ้นในพื้นที่ป่า จากสถิติข้อมูลการเกิดเหตุไฟไหม้และการเผาในที่โล่ง ในพื้นที่จังหวัดพะเยา พบว่ามีพื้นที่เสียหายจากปัญหาการเผาในที่โล่งแต่ละครั้งเฉลี่ย 17 ไร่ และพบพื้นที่เสียหายที่มากที่สุดสูงถึง 100 ไร่ (ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม จังหวัดพะเยา, 2559)



ภาพ 16 จุดความร้อน MODIS ช่วงเดือนกุมภาพันธ์-เมษายน พ.ศ.2562  
รวมกับการใช้ประโยชน์ที่ดิน

จากการวิเคราะห์สถานการณ์ความเข้มข้นของ PM2.5 จากข้อมูลตรวจวัดสถานีภาคพื้นดิน กรมควบคุมมลพิษ ของจังหวัดพะเยาดังภาพ 16 พบว่าค่าเฉลี่ยรายวัน PM2.5 ช่วงเดือนกุมภาพันธ์-เมษายน พ.ศ. 2562 มีจำนวนวันที่ค่าเฉลี่ยรายวัน PM2.5 เกินมาตรฐาน 11, 24 และ 23 วันตามลำดับ มีค่าเฉลี่ยรายวันสูงสุดอยู่ที่ 243 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในวันที่ 31 มีนาคม 2559 ดังภาพ 16

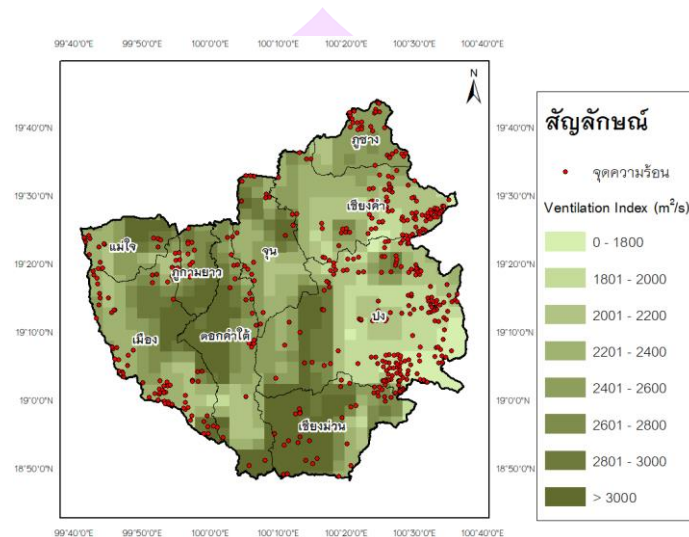


ภาพ 17 ความเข้มข้นเฉลี่ยรายวันของ PM2.5 เดือนกุมภาพันธ์ – เมษายน พ.ศ.2562

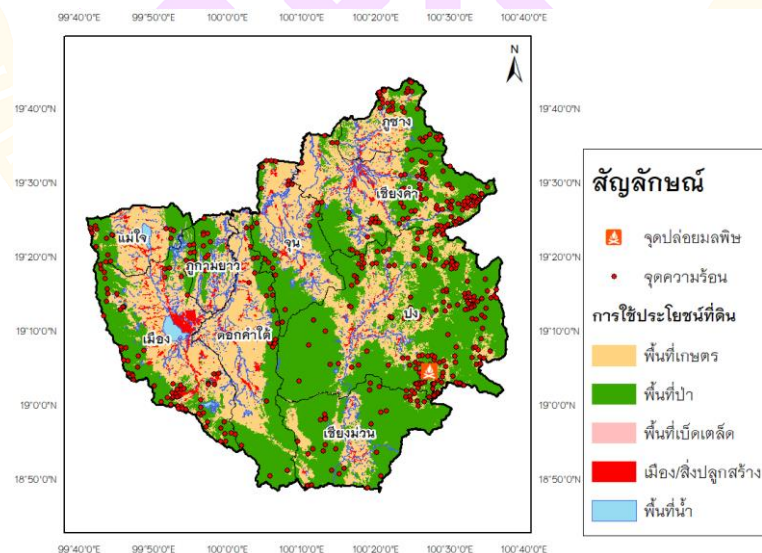
จากการพิจารณาดัชนีระบายอากาศ (Ventilation Index) จากผลการจำลอง WRF ซึ่งเป็นค่าผลคูณของความเร็วลมมีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที และความสูงชั้น PBL มีหน่วยเป็น เมตร ทั้ง 2 พารามิเตอร์เกี่ยวข้องกับการช่วยการลดมลพิษ ที่จะสามารถบอกได้ว่าการระบายมลพิษมากน้อยเท่าไร (Pan et al., 2019) ดังภาพ 17 พบว่าบริเวณทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ของอำเภอปง นอกจากจะมีจุดความร้อนสะสมจำนวนมากในบริเวณนั้นแล้วยังมีอัตราการระบายต่ำ มีการกระจายตัวของมลพิษทั้งแนวราบและแนวตั้งได้ไม่ดี

จากการวิเคราะห์ข้อมูลข้างต้นทำให้สามารถสรุปการเลือกพื้นที่จำลองการปล่อยมลพิษในงานวิจัยนี้จากแหล่งกำเนิดพื้นที่ป่า และปล่อยมลพิษในวันที่ 31 มีนาคม พ.ศ.2562 โดยสมมุติกรณีการเผาเพิ่มขึ้นที่ละ 20 ไร่ ได้เป็น 6 กรณีศึกษาดังนี้ 1.กรณีไม่มีการเผาในที่โล่ง 2.กรณีการเผาในที่โล่งจากแหล่งกำเนิดพื้นที่ป่า 20 ไร่ 3.กรณีการเผาในที่โล่งจากแหล่งกำเนิดพื้นที่ป่า 40 ไร่ 4.กรณีการเผาในที่โล่งจากแหล่งกำเนิดพื้นที่ป่า 60 ไร่ 5.กรณีการเผาในที่โล่งจากแหล่งกำเนิดพื้นที่ป่า 80 ไร่ และ 6.กรณีการเผาในที่โล่งจากแหล่งกำเนิดพื้นที่ป่า 100 ไร่

ปริมาณการเผาชีวมวลที่ถูกเผาแสดงดังตาราง 13 จุดที่ทำการปล่อยมลพิษวิเคราะห์ได้จาก ข้อมูลจุดความร้อนร่วมกับข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน ซึ่งพิจารณาจากจุดความร้อนที่เกิดขึ้น บนพื้นที่ป่าที่มีการเกิดจุดความร้อนซ้ำบ่อยและมากที่สุดของจังหวัดพะเยา ได้เป็นพิกัด ละติจูด 19.0815 ลองจิจูด 100.4557 ดังภาพ 18



ภาพ 18 ดัชนีระบายอากาศ (Ventilation Index) ของวันที่ 31 มีนาคมและจุดความร้อน สะสมเดือนกุมภาพันธ์-เมษายน พ.ศ.2562



ภาพ 19 จุดปล่อยมลพิษและจุดความร้อน MODIS ช่วงเดือนกุมภาพันธ์-เมษายน พ.ศ.2562 ร่วมกับการใช้ประโยชน์ที่ดิน

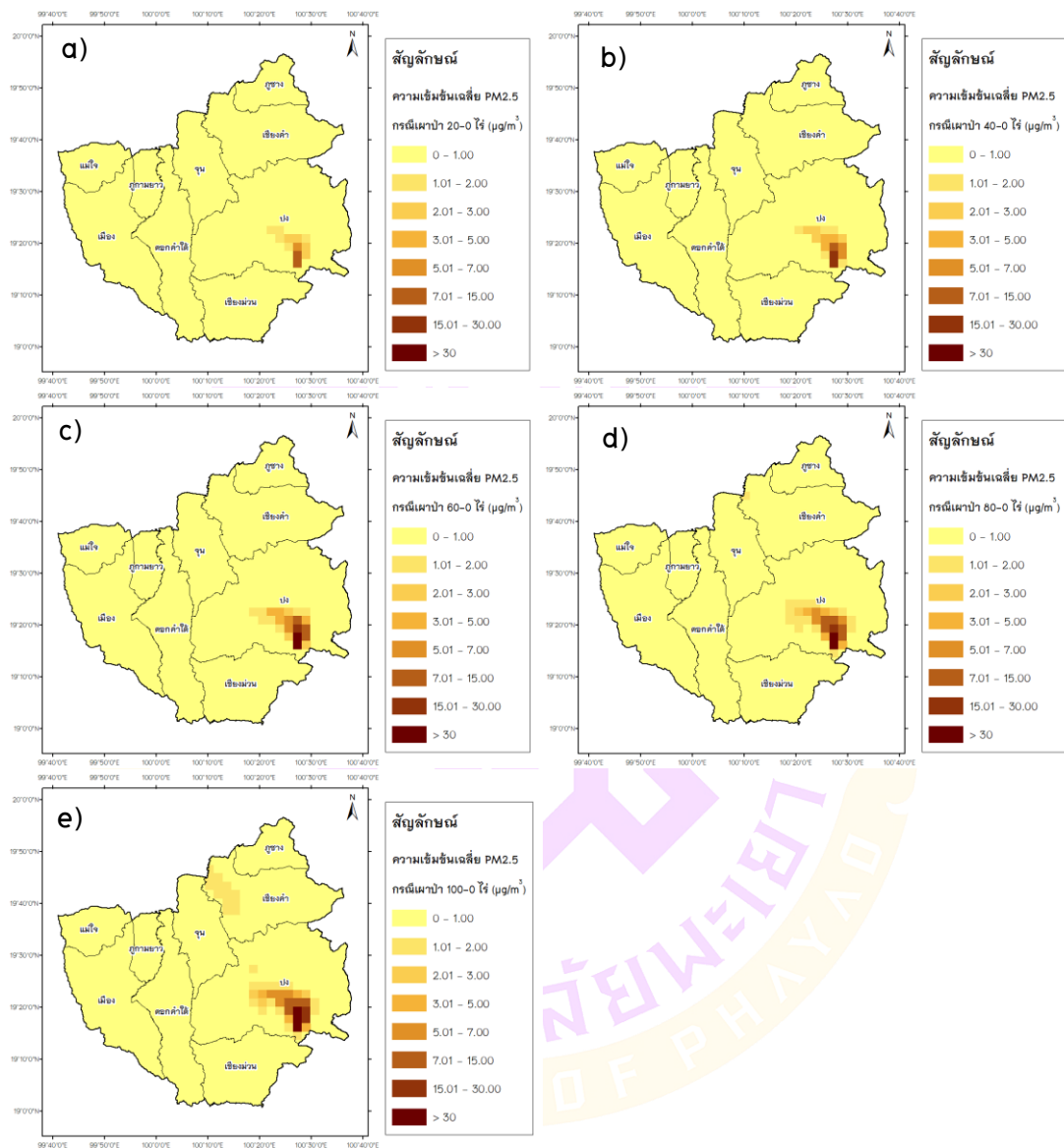
ตาราง 13 ปริมาณชีวมวลที่ถูกเผาตามกรณีศึกษา

พื้นที่เผา	ชนิดของมลสาร (กรัม/วัน, ไมล/วัน)									
	NO <sub>x</sub>	CO	NMVOC	SO <sub>2</sub>	NH <sub>3</sub>	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	OC	BC	
20 ไร่	298,880	19,427,200	3,608,976	106,476	242,840	3,455,800	1,699,880	971,360	123,288	
40 ไร่	597,760	38,854,400	7,217,952	212,952	485,680	6,911,600	3,399,760	1,942,720	246,576	
60 ไร่	896,640	58,281,600	10,826,928	319,428	728,520	10,367,400	5,099,640	2,914,080	369,864	
80 ไร่	1,195,520	77,708,800	14,435,904	425,904	971,360	13,823,200	6,799,520	3,885,440	493,152	
100 ไร่	1,494,400	97,136,000	18,044,880	532,380	1,214,200	17,279,000	8,499,400	4,856,800	616,440	

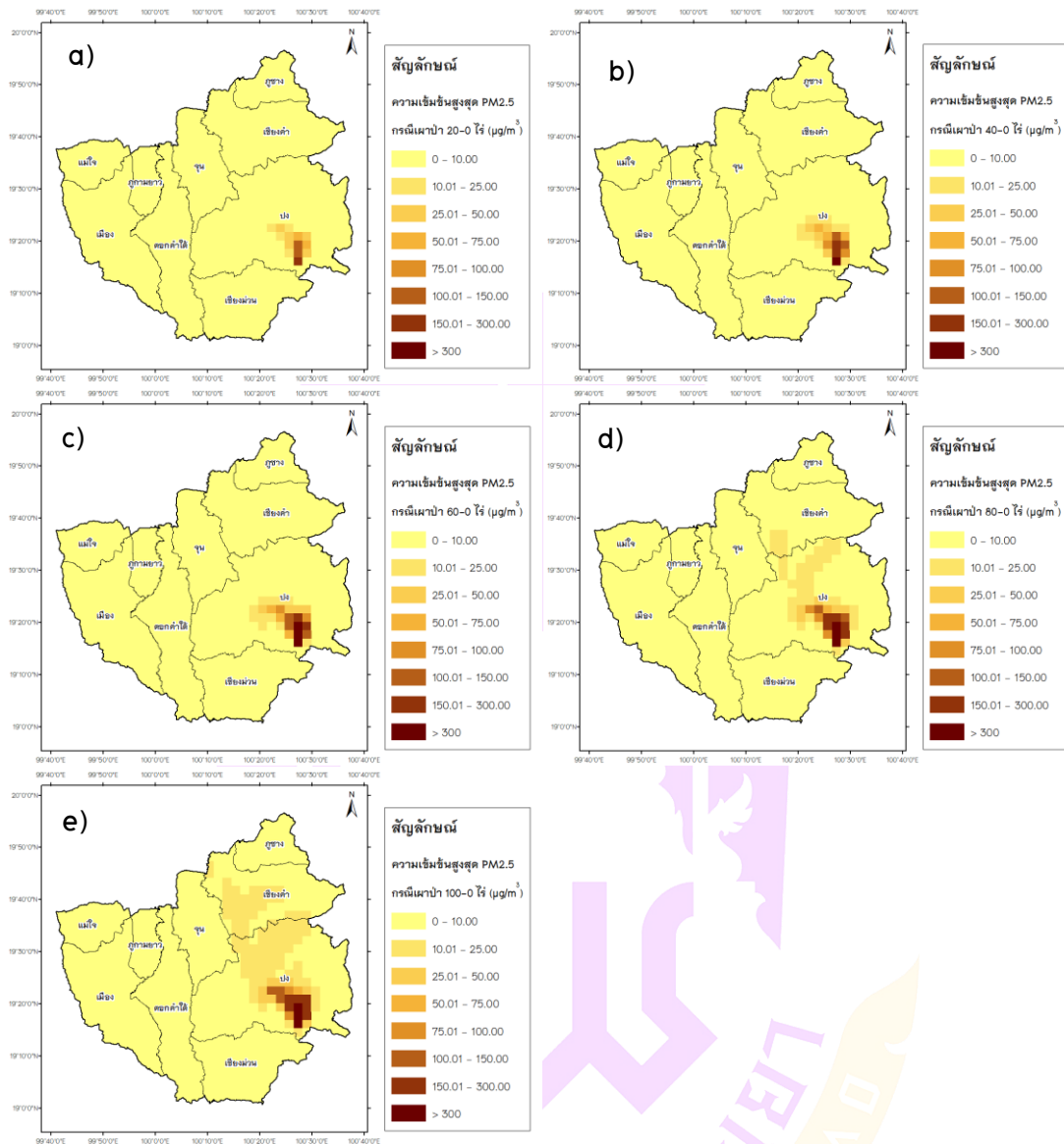
### การจำลองผลกระทบของปริมาณการเผาต่อความเข้มข้นของ PM2.5

งานวิจัยนี้จำลองการแพร่กระจายความเข้มข้นฝุ่นละออง PM2.5 กรณีมีการปล่อยมลพิษอากาศจากแหล่งกำเนิดหลัก ได้แก่ โรงงานอุตสาหกรรม การจราจร ชุมชน และแหล่งกำเนิดการเผาในที่โล่งจากแหล่งกำเนิดการเผาชีวมวลชนิดป่าไม้ โดยพิจารณาจุดที่จะเป็นแหล่งกำเนิดการเผาจากปริมาณจุดความร้อนสะสมตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ – เมษายน ปี พ.ศ.2562 และดัชนีระบายอากาศ (Ventilation Index) ได้แหล่งกำเนิดการเผาที่พิกัด ละติจูด 19.0815 ลองจิจูด 100.4557 ดังภาพ 19 ในวันที่ 31 มีนาคม พ.ศ.2562 ปริมาณการปล่อยมลพิษการเผาพิจารณาจากสถิติข้อมูลการเกิดเหตุไฟไหม้และการเผาในที่โล่งในพื้นที่จังหวัดพะเยา ได้ศึกษากรณี ไม่มีการเผา, เผาป่า 20 ไร่, เผาป่า 40 ไร่, เผาป่า 60 ไร่, เผาป่า 80 ไร่ และเผาป่า 100 ไร่ พบว่าค่าเฉลี่ยรายวัน ณ วันที่ปล่อยมลพิษ 31 มีนาคม พ.ศ.2562 ผลการจำลองความเข้มข้น PM2.5 ที่เพิ่มขึ้นในบรรยากาศจากกรณี เผาป่า 20 ไร่, เผาป่า 40 ไร่, เผาป่า 60 ไร่, เผาป่า 80 ไร่ และเผาป่า 100 ไร่ แสดงดังภาพ 20 จากการวิเคราะห์พบว่าค่าเฉลี่ยรายวันความเข้มข้น PM2.5 ทั่วจังหวัดพะเยามีค่าเพิ่มขึ้นจากจุดที่เผาป่าเท่ากับ 0.1, 0.22, 0.34, 0.46 และ 0.59 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ เริ่มมีความเข้มข้นสูงขึ้นในช่วง 9.00 – 13.00 น. ของวันที่ปล่อยมลพิษ มีความเข้มข้นสูงสุดเวลา 11.00 น. ดังภาพ 22 ความเข้มข้นสูงสุดรายชั่วโมง ณ จุดปล่อยมลพิษ (Primary Source Concentration) มีค่าเพิ่มขึ้นจากจุดที่เผาป่าเท่ากับ 217, 454, 691, 930 และ 1,169 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ความเข้มข้นเฉลี่ยรายวันมีค่าเพิ่มขึ้นจากจุดที่เผาป่าเท่ากับ 14, 30, 47, 63 และ 80 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ดังภาพ 23 จากข้อมูลจะเห็นได้ว่าการเพิ่มขึ้นของจำนวนพื้นที่เผาป่าส่งผลให้ค่าความเข้มข้นฝุ่นละอองเพิ่มขึ้น ทำให้ความเข้มข้นของฝุ่นมีค่าเกินมาตรฐานในบรรยากาศทั่วไปของ PM2.5 เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ของประเทศไทยที่อยู่ 50 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งอยู่ในเป้าหมายระหว่างทาง (Interim Target) ระดับที่ 2 ของแนวทางการกำหนดมาตรฐานคุณภาพอากาศ (Air Quality Guideline: AQG) แต่ยังคงเกินค่ามาตรฐานจากองค์การอนามัยโลกที่แนะนำอยู่ที่ 25 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ และจากการวิเคราะห์ความเข้มข้นฝุ่นละอองตามเวลา พบว่ามีความเข้มข้นสูงเกินค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในช่วงวันดังภาพ 22 จะเห็นได้ว่าแหล่งกำเนิด PM2.5 มาจากแหล่งกำเนิดทั้งการปล่อยจากมนุษย์ และการเผาในที่โล่ง โดยการปล่อยจากมนุษย์จะมีมากบริเวณอำเภอเมือง และอำเภอดอกคำใต้ และจากกรณีศึกษาจะเห็นได้ว่าการ

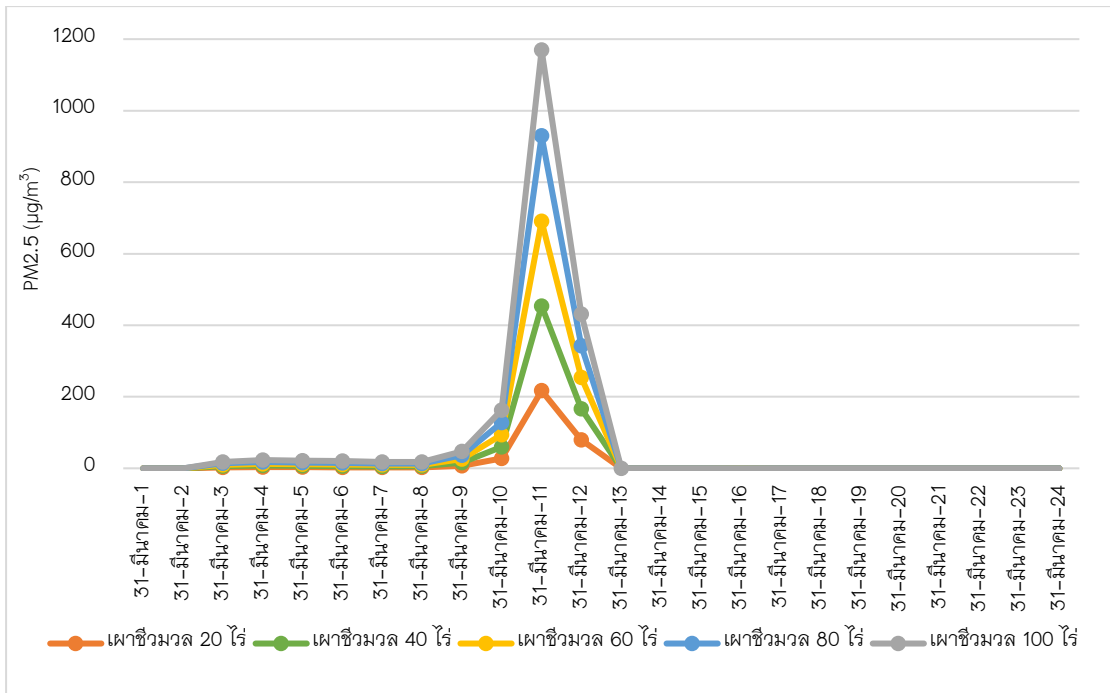
เผาในที่โล่งส่งผลให้ความเข้มข้น PM<sub>2.5</sub> ในบรรยากาศเพิ่มมากขึ้นจนเกินค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศอย่างชัดเจน นอกจากนี้ยังสามารถพัดพาความเข้มข้นไปส่งผลกระทบต่อพื้นที่อื่น ๆ ได้ดังภาพ 20



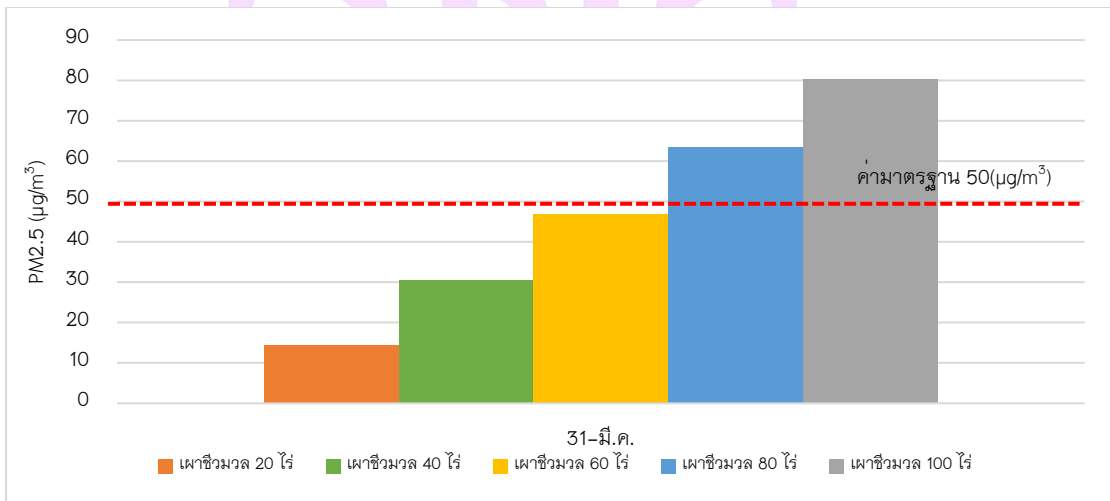
ภาพ 20 ความเข้มข้นฝุ่นละอองเฉลี่ยรายวันที่เพิ่มขึ้นในจังหวัดพะเยา วันที่ 31 มีนาคม พ.ศ. 2562 กรณี a) เฝ้าชีวมวล 20 ไร่ b) เฝ้าชีวมวล 40 ไร่ c) เฝ้าชีวมวล 60 ไร่ d) เฝ้าชีวมวล 80 ไร่ e) เฝ้าชีวมวล 100 ไร่



ภาพ 21 ความเข้มข้นฝุ่นละอองสูงสุดที่เพิ่มขึ้นในจังหวัดพะเยา วันที่ 31 มีนาคม พ.ศ. 2562 กรณี a) เมฆาชีวมวล 20 ไร่ b) เมฆาชีวมวล 40 ไร่ c) เมฆาชีวมวล 60 ไร่ d) เมฆาชีวมวล 80 ไร่ e) เมฆาชีวมวล 100 ไร่



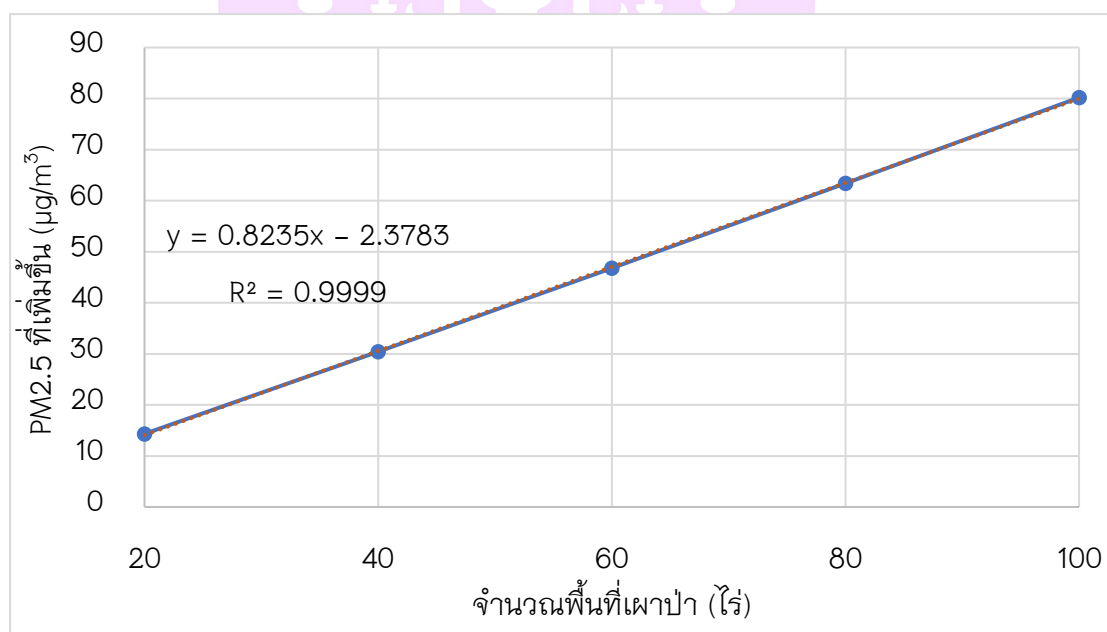
ภาพ 22 กราฟความเข้มข้น PM2.5 รายชั่วโมงที่เพิ่มขึ้นจากจุดที่มีการเผา ของวันที่  
 ป๋ล๋อยมลพิษ 31 มีนาคม 2562 ตำแหน่ง ณ จุดที่มีการเผา



ภาพ 23 กราฟค่าความเข้มข้น PM2.5 ค่าเฉลี่ยรายวันที่เพิ่มขึ้นจากจุดที่มีการเผา  
 ตำแหน่ง ณ จุดที่มีการเผา

### ความสัมพันธ์ของการเพิ่มพื้นที่เผาป่าต่อความเข้มข้นฝุ่นละออง PM2.5 ที่เปลี่ยนไป

จากผลการวิจัยในกรณีศึกษา เผาป่า 20 ไร่, เผาป่า 40 ไร่, เผาป่า 60 ไร่, เผาป่า 80 ไร่ และเผาป่า 100 ไร่ พบว่าการเพิ่มพื้นที่เผาป่าจากกรณีศึกษาส่งผลให้ความเข้มข้นเฉลี่ยรายวัน ฝุ่นละออง PM2.5 เพิ่มขึ้นจากที่ไม่มีมีการเผา 15, 31, 47, 64 และ 80 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์ เมตร ตามลำดับ มีความสัมพันธ์กันเป็นแบบสมการแบบเส้นตรงดังภาพ 24 มีค่า R-Squared ที่ 0.9999 สามารถนำสมการที่ได้จากภาพไปหาค่าความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นจากการเผาป่า เพื่อใช้บริหารจัดการเชื้อเพลิงจากการเผาในที่โล่งตามความเหมาะสมของแต่ละพื้นที่ที่มีความเข้มข้น PM2.5 พื้นฐานที่แตกต่างกัน เพื่อไม่ให้ความเข้มข้นของ PM2.5 เกินค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศ



ภาพ 24 กราฟความสัมพันธ์ของพื้นที่การเผาป่าต่อความเข้มข้น PM2.5 ที่เพิ่มขึ้นจากการเผาป่า

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัย

การศึกษานี้จำลองการแพร่กระจายฝุ่นละอองในวันที่ 31 มีนาคม พ.ศ.2562 ด้วยระบบแบบจำลอง WRF-CMAQ ให้ค่าความเข้มข้นฝุ่นละอองทั่วทั้งจังหวัดพะเยาที่ความละเอียดกริด 3x3 ตารางกิโลเมตร โดยพิจารณาการเลือกพื้นที่และกำหนดสมมุติฐานงานวิจัยจากข้อมูลสถานการณ์ความเข้มข้นของ PM2.5 จากข้อมูลตรวจวัดสถานีภาคพื้นดิน กรมควบคุมมลพิษ ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงการเผาชีวมวลตามเวลาพ.ศ.2562 การใช้ประโยชน์ที่ดิน และดัชนีระบายน้ำรวมกับปริมาณจุดความร้อนสะสม จากข้อมูลดาวเทียมระบบ MODIS ได้ศึกษากรณี ไม่มีการเผา, เผาป่า 20 ไร่, เผาป่า 40 ไร่, เผาป่า 60 ไร่, เผาป่า 80 ไร่ และเผาป่า 100 ไร่ ผลการจำลองพบว่าค่าเฉลี่ยรายวันความเข้มข้น PM2.5 ทั่วจังหวัดพะเยามีค่าเพิ่มขึ้นจากจุดที่เผาป่าเท่ากับ 0.1, 0.22, 0.34, 0.46 และ 0.59 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ความเข้มข้นสูงสุดรายชั่วโมง ณ จุดปล่อยมลพิษ (Primary Source Concentration) มีค่าเพิ่มขึ้นจากจุดที่เผาป่าเท่ากับ 217, 454, 691, 930 และ 1,169 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และเฉลี่ยรายวันมีค่าเพิ่มขึ้นจากจุดที่เผาป่าเท่ากับ 14, 30, 47, 63 และ 80 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ

ผลการศึกษาทำให้ทราบการแก้ปัญหาหมอกควันภายในจังหวัดพะเยาโดยการเผาแบบมีการควบคุม ซึ่งการเผาส่งผลกระทบโดยตรงต่อระดับ PM2.5 ในบรรยากาศ การศึกษาพบว่า การควบคุมการเผาไม่ทำให้ PM2.5 ไม่เกินมาตรฐานที่ 50 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ต้องมีการเผาไม่เกิน 63 ไร่ นอกจากนั้นยังทราบความสัมพันธ์ของปริมาณการเผาพื้นที่เผาป่าต่อการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นฝุ่นละออง PM2.5 ในบรรยากาศ ผลงานวิจัยสามารถนำไปปรับใช้เป็นข้อมูลสำหรับสนับสนุนการตัดสินใจการกำหนดมาตรการควบคุมมลพิษอากาศที่มีต่อคุณภาพอากาศในจังหวัดพะเยา ได้ความละเอียดถึงระดับหมู่บ้านของจังหวัดพะเยาที่มีพื้นที่หมู่บ้านเฉลี่ยอยู่ที่ 9 ตารางกิโลเมตร ซึ่งเท่ากับความละเอียดกริดของผลงานวิจัยนี้ นอกจากนี้สามารถนำผลการศึกษาเป็นต้นแบบในการแก้ไขปัญหาหมอกควันได้ในพื้นที่อื่น ๆ ช่วยแก้ปัญหาหมอกควันได้อย่างมีประสิทธิภาพ เหมาะสมกับบริบท และปริมาณความเข้มข้นพื้นฐานของ PM2.5 แต่ละพื้นที่ได้

### ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

การศึกษานี้จำลองการแพร่กระจายฝุ่นละอองในวันที่ 31 มีนาคม พ.ศ.2562 ยังมีข้อจำกัดคือทำการศึกษาเพียงสมมุติฐานการเผาพื้นที่ป่าเท่านั้น ควรศึกษาการลดการเผาในพื้นที่เกษตรซึ่งพื้นที่เกิดจุดความร้อนจากพื้นที่ป่าเพิ่มเติม เพื่อได้ข้อมูลช่วยสนับสนุนการแก้ปัญหาหมอกควันให้มีความสมบูรณ์แบบมากขึ้นในทุกมิติในการแก้ปัญหา ควรมีการศึกษาระยะยาวเพื่อให้ครอบคลุมลักษณะการเปลี่ยนแปลงของการเผาชีวมวล และลักษณะสภาพอากาศในแต่ละพื้นที่ และควรมีการศึกษาลักษณะการเผาชีวมวลและการปล่อยมลพิษจากการเผาชีวมวล และการพัฒนาวิธีการคำนวณด้วยค่าการประมาณของท้องถิ่นประเทศไทยและภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้เพื่อให้การประมาณมีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้นลดความคลาดเคลื่อนการประมาณในภูมิภาค และการนำไปใช้ในงานแบบจำลองคุณภาพอากาศ



## บรรณานุกรม

- Air Sciences, Inc. (2005). **2002 Fire Emission Inventory for the WRAP Region – Phase II, Prepared for the Western Governors Association/WRAP** Retrieved 1 October 2019, from [http://www.wrapair.org/forums/fejfd/documents/emissions/WRAP\\_2002%20Report\\_20050107.pdf](http://www.wrapair.org/forums/fejfd/documents/emissions/WRAP_2002%20Report_20050107.pdf).
- Akagi, S. K. et al. (2011). Emission factors for open and domestic biomass burning for use in atmospheric models. **Atmos. Chem. Phys.**, 11(9), 4039–4072.
- Andreae, M. O., and Merlet, P. (2001). Emission of trace gases and aerosols from biomass burning. **Global Biogeochemical Cycles**, 15(4), 955–966.
- Cai, S., Wang, Y., Zhao, B., Wang, S., Chang, X., and Hao, J. (2016). The impact of the “Air Pollution Prevention and Control Action Plan” on PM<sub>2.5</sub> concentrations in Jing–Jin–Ji region during 2012–2020. **Science of The Total Environment**. 580, 197–209.
- Che, W., Zheng, J., Wang, S., Zhong, L., and Lau, A. (2011). Assessment of motor vehicle emission control policies using Model-3/CMAQ model for the Pearl River Delta region, China. **Atmospheric Environment**, 45(9), 1740–1751.
- Chen, T.-F., Tsai, C.-Y., and Chang, K.-H. (2013). Performance evaluation of atmospheric particulate matter modeling for East Asia. **Atmospheric Environment**, 77, 365–375.
- Dennis, A., Fraser, M., Anderson, S., and Allen, D. (2002). Air pollutant emissions associated with forest, grassland, and agricultural burning in Texas. **Atmospheric Environment**, 36(23), 3779–3792.
- Freitas, S. R., Longo, K. M., Trentmann, J., and Latham, D. (2010). Technical Note: Sensitivity of 1-D smoke plume rise models to the inclusion of environmental wind drag. **Atmos. Chem. Phys.**, 10(2), 585–594.
- Friedl, M. A., Sulla-Menashe, D., Tan, B., Schneider, A., Ramankutty, N., Sibley, A., and Huang, X. (2010). MODIS Collection 5 global land cover: Algorithm refinements and characterization of new datasets. **Remote Sensing of Environment**, 114(1), 168–182.
- Giglio, L. (2015). **MODIS collection 6 active fire product user's guide**. Department of Geographical Sciences: University of Maryland.

- Giglio, L., van der Werf, G. R., Randerson, J. T., Collatz, G. J., and Kasibhatla, P. (2006). Global estimation of burned area using MODIS active fire observations. **Atmos. Chem. Phys.**, 6(4), 957–974.
- Guenther, A., Karl, T., Harley, P., Wiedinmyer, C., Palmer, P. I., and Geron, C. (2006). Estimates of global terrestrial isoprene emissions using MEGAN (Model of Emissions of Gases and Aerosols from Nature). **Atmos. Chem. Phys.**, 6(11), 3181–3210.
- Hanna, S. R., and Yang, R. (2001). Evaluations of Mesoscale Models' Simulations of Near-Surface Winds, Temperature Gradients, and Mixing Depths. **Journal of Applied Meteorology**, 40(6), 1095–1104.
- Kanabkaew, T., and Kim Oanh, N. T. (2011). Development of Spatial and Temporal Emission Inventory for Crop Residue Field Burning. **Environmental Modeling & Assessment**, 16(5), 453–464.
- Kumar, A., Dixit, S., Varadarajan, C., Vijayan, A., and Masuraha, A. (2006). Evaluation of the AERMOD dispersion model as a function of atmospheric stability for an urban area. **Environmental Progress**, 25(2), 141–151.
- Lu, Z., and Streets, D. (2012). **The Southeast Asia Composition, Cloud, Climate Coupling Regional Study Emission Inventory**. Retrieved 1 October 2019, from <http://bio.cgrer.uiowa.edu/SEAC4RS/html>,
- Michel, C., Lioussé, C., Grégoire, J.-M., Tansey, K., Carmichael, G. R., and Woo, J.-H. (2005). Biomass burning emission inventory from burnt area data given by the SPOT-VEGETATION system in the frame of TRACE-P and ACE-Asia campaigns. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, 110, 1–15.
- Rienecker, M. M., et al., (2011). MERRA: NASA's Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications. **Journal of Climate**, 24(14), 3624–3648.
- Streets, D. G., Yarber, K. F., Woo, J.-H., and Carmichael, G. R. (2003). Biomass burning in Asia: Annual and seasonal estimates and atmospheric emissions. **Global Biogeochemical Cycles**, 17(4), 1–20.
- Zhai, S., An, X., Liu, Z., Sun, Z., and Hou, Q. (2016). Model assessment of atmospheric pollution control schemes for critical emission regions. **Atmospheric Environment**, 124, 367–377.

Zhao, B., Wang, S., Wang, J., Fu, J. S., Liu, T., Xu, J., Fu, X., and Hao, J. (2013). Impact of national NO<sub>x</sub> and SO<sub>2</sub> control policies on particulate matter pollution in China. *Atmospheric Environment*, 77, 453–463.

กนกศิลา ยะสืบ, ทิพย์ลดา อนันต์เดชะกุล และ วรารัตนา จำปาวัน. (2557). การศึกษาลักษณะ **อุตุนิยมวิทยามลพิษอากาศช่วงที่ระดับ SO<sub>2</sub> สูงบริเวณโรงไฟฟ้าแม่เมาะด้วยแบบจำลอง WRF**. งานวิจัย, พะเยา: มหาวิทยาลัยพะเยา.

กรมควบคุมมลพิษ. (2556). **รายงานสถานการณ์และการจัดการคุณภาพอากาศและเสียง ปี2556**. กรุงเทพฯ: กรมควบคุมมลพิษ

กรมควบคุมมลพิษ. (2562). **รายงานสถานการณ์และการจัดการคุณภาพอากาศและเสียง ปี2562**. กรุงเทพฯ: กรมควบคุมมลพิษ

กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย. (2557). **แผนปฏิบัติการป้องกันและแก้ไขปัญหไฟป่า การเผาในที่โล่ง และมลพิษหมอกควัน พ.ศ.2556 – 2562 ภายใต้แผนแม่บทพัฒนาความปลอดภัยด้านอัคคีภัยแห่งชาติ**. กรุงเทพฯ: กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย.

กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช. (2557). **ยุทธศาสตร์/มาตรการแก้ไขปัญหไฟป่า และหมอกควัน ปี 2558**. กรุงเทพฯ: กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช.

กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช. (2558). **ยุทธศาสตร์/มาตรการแก้ไขปัญหไฟป่า และหมอกควัน ปี 2559**. กรุงเทพฯ: กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช.

กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช. (2562). **ยุทธศาสตร์/มาตรการแก้ไขปัญหไฟป่า และหมอกควัน ปี 2562**. กรุงเทพฯ: กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช.

ศูนย์วิจัยกสิกรไทย. (2550). **ปัญหาหมอกควันทางภาคเหนือตอนบน:กระทบ ธุรกิจท่องเที่ยวและบริการ 2,000 ล้านบาท**. กรุงเทพฯ: ธนาคารกสิกรไทยสำนักงานใหญ่.

สำนักสิ่งแวดล้อมภาคที่ 2 ลำปาง. (2555). **แผนปฏิบัติการแก้ไขปัญหไฟป่าและหมอกควัน จังหวัดพะเยา ปี พ.ศ. 2555 – 2559**. (ลำปาง). ลำปาง: สำนักสิ่งแวดล้อมภาคที่ 2 ลำปาง.

สุดารัตน์ ต้นแก้ว. (2552). **ปัญหาและสู่ทางในการบังคับใช้ข้อตกลงอาเซียนเรื่องมลพิษจากหมอกควันข้ามแดนและความสัมพันธ์กับประเทศไทย**. วิทยานิพนธ์ น.ม., จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

## ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	ภัทรภูมิ เพียงตา
วัน เดือน ปี เกิด	9 พฤษภาคม 2535
สถานที่เกิด	อุตรดิตถ์
วุฒิการศึกษา	พ.ศ. 2557 วศ.บ. (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม) มหาวิทยาลัยพะเยา, พะเยา
ที่อยู่ปัจจุบัน	103/2 หมู่ 8 ตำบลท่าปลา อำเภอท่าปลา จังหวัดอุตรดิตถ์ 53150
ผลงานตีพิมพ์	ภัทรภูมิ เพียงตา ปฏิพัทธ์ วงศ์เรือง และสิทธิชัย พิมลศรี (ผู้บรรยาย), (24-25 พฤษภาคม 2561). การจำลองความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5) ในช่วงวิกฤตหมอกควันจังหวัดพะเยา ในการประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ครั้งที่ 17 (หน้า 35-36). อุตรธานี: โรงแรมเซ็นทาราและคอนเวนชันเซ็นเตอร์

