



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ “การจำลองความเข้มข้นฝุ่นละอองในบรรยากาศในช่วงเหตุการณ์
มลพิษอากาศรุนแรงในภาคเหนือตอนบนด้วยแบบจำลองสามมิติ
Chemical Transport Model”

โดย

ดร. สิทธิชัย พิมลศรี และคณะ
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม วิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยพะเยา

เดือน มิถุนายน พ.ศ. 2559

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การจำลองความเข้มข้นฝุ่นละอองในบรรยากาศในช่วงเหตุการณ์มลพิษอากาศรุนแรงใน
ภาคเหนือตอนบนด้วยแบบจำลองสามมิติ Chemical Transport Model

คณะผู้วิจัย	สังกัด
1. สิทธิชัย พิมลศรี	วิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยพะเยา
2. ปฏิพัทธ์ วงศ์เรือง	วิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยพะเยา
3. ประจันต์ วงศ์วิเศษ	บัณฑิตวิทยาลัยร่วมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

สนับสนุนโดยสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษาและสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย
(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกอ. และ สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

Final Report

Modeling atmospheric particulate matter concentration during severe air pollution events in
Northern Thailand using a Three-Dimensional Chemical Transport Model

Researchers

- | | |
|------------------------|--|
| 1. Sittichai Pimonsree | School of Energy and Environment University of Phayao |
| 2. Patipat Vongruang | School of Energy and Environment University of Phayao |
| 3. Prungchan Wongwises | Joint Graduate School of Energy and Environment, King
Mongkut's University of Technology Thonburi |

Supported by office of the Higher Education Commission and Thailand Research Fund
(The views expressed herein do not necessarily reflect those of the OHEC and TRF)

บทสรุปสำหรับผู้บริหาร (Executive Summary)

รหัสโครงการ: MRG5480167

ชื่อโครงการ: การจำลองความเข้มข้นฝุ่นละอองในบรรยากาศในช่วงเหตุการณ์มลพิษอากาศรุนแรงในภาคเหนือตอนบนด้วยแบบจำลองสามมิติ Chemical Transport Model

ชื่อนักวิจัย: สิทธิชัย พิมลศรี¹, ปฏิพัทธ์ วงศ์เรือง¹, ประจันต์ วงศ์วิเศษ²

¹สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม วิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยพะเยา

²บัณฑิตวิทยาลัยร่วมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

Email address: sittichai007@hotmail.com

ระยะเวลาดำเนินโครงการ: 15 มิถุนายน พ.ศ.2554 – 14 มิถุนายน พ.ศ.2556

ฝุ่นละอองในบรรยากาศที่เกิดขึ้นมาตรฐานในช่วงฤดูร้อนของทุกปีในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทยส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชน ฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นมาตรฐานมีแหล่งกำเนิดสำคัญคือการเผาในที่โล่งทั้งในพื้นที่การเกษตรและพื้นที่ป่าไม้ การติดตามคุณภาพอากาศด้วยเครื่องมือเป็นการตรวจวัดเฉพาะจุด (Point measurement) ใช้เป็นตัวแทนคุณภาพอากาศ ณ จุดที่ตรวจวัดและบริเวณรอบ ๆ การตรวจวัดจำนวนหลายจุดใช้ค่าใช้จ่ายสูงมากแบบจำลองคุณภาพอากาศสามารถจำลองการแพร่กระจายและความเข้มข้นของมลสารในบรรยากาศได้หลายชนิดทั่วพื้นที่จำลอง และมีค่าใช้จ่ายต่ำ แบบจำลองจึงเป็นเครื่องมือช่วยสนับสนุนการตัดสินใจบริหารจัดการแก้ปัญหาหมอกควัน และติดตามสถานการณ์คุณภาพอากาศได้เป็นอย่างดี

การศึกษานี้จึงได้พัฒนาระบบการจำลองความเข้มข้นฝุ่นละอองในบรรยากาศในช่วงเหตุการณ์มลพิษอากาศรุนแรงในภาคเหนือตอนบนด้วยแบบจำลองสามมิติ Chemical Transport Model ที่ชื่อว่า Community Multi-scale Air Quality (CMAQ) โดยระบบนี้จะพัฒนาฐานข้อมูลการระบายมลพิษอากาศจากการเผาในที่โล่งซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดหลักช่วงความเข้มข้นมลพิษสูงในเขตภาคเหนือ จำลองสภาพอุตุนิยมวิทยาด้วยแบบจำลอง The Weather Research and Forecasting (WRF) และจำลองความเข้มข้นมลพิษอากาศด้วยแบบจำลอง CMAQ เพื่อทราบระดับมลพิษที่แพร่กระจายจากการเผาในที่โล่งรวมถึงแหล่งกำเนิดหลักอื่น



และทำการวิเคราะห์เพื่อทราบปัจจัยหลักที่มีผลทำให้มลพิษมีความเข้มข้นสูงในเขตภาคเหนือ ประเทศไทย ซึ่งเป็นองค์ความรู้และเป็นข้อมูลที่สำคัญในการจัดการคุณภาพอากาศ การจำลองการแพร่กระจายของฝุ่นละอองคัดเลือกรณีศึกษาในช่วงที่มีปัญหาหมอกควันรุนแรง โดยวิเคราะห์จากข้อมูลความเข้มข้น PM10 จากสถานีตรวจวัดภาคพื้นดินในพื้นที่ภาคเหนือ ประเทศไทยโดยใช้ข้อมูลจากกรมควบคุมมลพิษและวิเคราะห์ข้อมูลจุดความร้อนจากข้อมูลดาวเทียม สำหรับกรณีศึกษาเลือกช่วงเวลาที่ปัญหาหมอกควันมีระดับฝุ่นละอองสูงและมีจุดความร้อนมาก จากการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่าช่วงที่มีปัญหาหมอกควันรุนแรงและมีจำนวนจุดความร้อนมากที่สุดในเดือน มีนาคม พ.ศ.2555

การจำลองการแพร่กระจายมลพิษอากาศใช้ข้อมูลการปล่อยมลพิษอากาศจากการเผาในที่โล่งด้วยข้อมูล Fire INventory of NCAR (FINN) และได้มีการประเมินความถูกต้องของการจำลองฝุ่นละออง PM10, PM2.5 พบว่าค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองจากแบบจำลองที่ใช้ข้อมูล FINN มีค่าสูงกว่าค่าตรวจวัดพอสมควร เมื่อพิจารณาความเข้มข้นฝุ่นละอองจากการจำลองโดยแหล่งกำเนิดหลักอื่นพบว่าปริมาณฝุ่นละอองจากการจำลองที่มีค่าสูงมากมาจากสาเหตุหลักคือปริมาณการปล่อยมลพิษอากาศจากการเผาชีวมวลในที่โล่งจากฐานข้อมูล FINN งานวิจัยนี้จึงได้การพัฒนาการคำนวณการปล่อยมลพิษอากาศจากการเผาในที่โล่งโดยการปรับปรุงข้อมูลของ FINN ด้วยข้อมูลกำลังแผ่รังสีของไฟ (Fire Radiative Power: FRP) แต่ละจุดความร้อน โดยเรียกชื่อข้อมูลใหม่ว่า “FINN-FRP” จากการใช้ข้อมูลการปล่อยมลสารจากการเผาชีวมวลด้วย FINN-FRP พบว่าความเข้มข้นฝุ่นละอองมีค่าระดับใกล้เคียงกับค่าจากการตรวจวัด โดยมีค่าเฉลี่ยรายเดือนต่างกันประมาณไม่เกิน 20% การคำนวณจำนวนวันที่ผลการจำลองฝุ่นละออง PM10 และ PM2.5 ในพื้นที่ภาคเหนือประเทศไทยอยู่ในช่วง Factor of two ของค่าจากการตรวจวัด พบว่ามีปริมาณมากกว่า 75% ซึ่งเพิ่มขึ้นจากการจำลองด้วยฐานข้อมูล FINN อย่างชัดเจนโดยผลการจำลองความเข้มข้น PM10 และ PM2.5 ด้วยการใช้ข้อมูล FINN อยู่ในช่วง Factor of two เพียง 35% และ 23% ตามลำดับ การพัฒนาการคำนวณการปล่อยจากฐานข้อมูล FINN ด้วยค่า FRP จึงเป็นวิธีหนึ่งที่พัฒนาการปล่อยมลพิษอากาศจากการเผาชีวมวลสำหรับระบบการจำลองการแพร่กระจายฝุ่นละอองได้เป็นอย่างดี

การศึกษาการแพร่กระจายฝุ่นละอองในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ตอนพบว่าฝุ่นละอองมีความเข้มข้นสูงบริเวณตอนบนประเทศลาว ไทย และทางด้านตะวันออกของประเทศพม่า และ อินเดีย ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีปริมาณการเผาในที่โล่งมาก (Source region) โดยพบจุดความร้อนช่วงเดือนมีนาคมในพื้นที่ประเทศพม่า ลาว อินเดียบางส่วน และไทย ถึงร้อยละ 44, 17, 12 และ 10 ของพื้นที่เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ตอนบน สำหรับในเขตภาคเหนือประเทศไทยช่วงที่มี



ปัญหาหมอกควันในเดือนมีนาคมพบว่าระดับ PM10 และ PM2.5 ในบรรยากาศได้รับอิทธิพลจากแหล่งกำเนิดการเผาชีวมวลในที่โล่งถึงประมาณ 93% และ 89% ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบความเข้มข้นฝุ่นละอองสูงบริเวณตอนบนของประเทศเวียดนามและประเทศจีนตอนใต้เนื่องจากได้รับอิทธิพลมลพิษอากาศพัดพาหมอกควันมาจากพื้นที่ที่มีการเผาในที่โล่งสูง ซึ่งเป็นช่วงมรสุมจากตะวันตกเฉียงใต้มีลักษณะทั่วไปในการพัดพามลสารจากแหล่งกำเนิดหลักบริเวณตอนบนของประเทศ พม่า ไทย และลาว ไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือและทิศตะวันออกเฉียงใต้ พัดพามลสารไปยังด้านบนของประเทศเวียดนาม ประเทศจีนตอนล่าง และ บริเวณทะเลจีนใต้ สำหรับพื้นที่ที่ไกลจากแหล่งกำเนิดการเผาในที่โล่งหนาแน่นเมืองฮ่องกงพบว่าระดับ PM10 และ PM2.5 ในบรรยากาศได้รับอิทธิพลของแหล่งกำเนิดการเผาชีวมวลในที่โล่งประมาณ 14% และ 18% ตามลำดับ

ความเข้มข้น PM10 เดือนมีนาคมพ.ศ.2555 มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นสูง โดยมีค่าเฉลี่ยความเข้มข้น PM10 รายเดือนจากทุกสถานีตรวจวัดในภาคเหนือเท่ากับ $143 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ความเข้มข้น PM10 ค่าเฉลี่ยภาคเหนือสูงสุดรายวัน $215 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ความเข้มข้น PM10 ค่าเฉลี่ยภาคเหนือต่ำสุดรายวัน $56 \mu\text{g}/\text{m}^3$ แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น PM10 ตามเวลาเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นตามระดับการปล่อยมลสารจากการเผาในที่โล่งที่เพิ่มขึ้นในเขตภาคเหนือและมีความเข้มข้นฝุ่นละอองลดลงช่วงที่มีฝนตกในหลายพื้นที่ในเขตภาคเหนือของประเทศไทยทำให้ฝุ่นละอองตกออกจากบรรยากาศด้วยกระบวนการ wet deposition การเปลี่ยนแปลงระดับฝุ่นละอองในภูมิภาคนี้มีสาเหตุหลักมาจากการเผาในที่โล่ง ซึ่งมีปริมาณการปล่อยมลสารมาก โดยจากข้อมูล FINN-FRP มีการปล่อย PM2.5 ช่วงเดือนมีนาคม คิดเป็น 79% เมื่อเทียบกับการปล่อยมลสารรวมทุกแหล่งกำเนิด การเผาในที่โล่งมีผลกระทบมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งความเข้มข้นฝุ่นละอองสูงในพื้นที่ท้องถิ่นที่มีการเผา ซึ่งพบการเผามากในพื้นที่ประเทศพม่า ลาว และไทย ดังนั้นควรมีการวางแผนยุทธศาสตร์ในการแก้ปัญหาลดปริมาณการเผาอย่างเป็นระบบมีประสิทธิผลที่จะทำให้คุณภาพอากาศดีมีระดับไม่เกินมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศ โดยแบบจำลองคุณภาพอากาศเป็นเครื่องมือหนึ่งที่สามารถเชื่อมโยงระหว่างปริมาณการปลดปล่อยมลสารจากแหล่งกำเนิดการเผาในที่โล่งกับระดับฝุ่นละอองในบรรยากาศ จึงควรนำมาใช้เพื่อช่วยวางแผนและประเมินความสำเร็จของการลดการเผาที่มีต่อระดับฝุ่นละอองในบรรยากาศ ให้ได้ยุทธศาสตร์การแก้ปัญหาหมอกควันได้อย่างมีประสิทธิภาพเป็นรูปธรรมต่อไป



บทคัดย่อ

รหัสโครงการ: MRG5480167

ชื่อโครงการ: การจำลองความเข้มข้นฝุ่นละอองในบรรยากาศในช่วงเหตุการณ์มลพิษอากาศรุนแรงในภาคเหนือตอนบนด้วยแบบจำลองสามมิติ Chemical Transport Model

ชื่อนักวิจัย: สิทธิชัย พิมลศรี¹, ปฏิพัทธ์ วงศ์เรือง¹, ประจันต์ วงศ์วิเศษ²

¹สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม วิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยพะเยา

²บัณฑิตวิทยาลัยร่วมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

Email address: sittichai007@hotmail.com

ระยะเวลาดำเนินโครงการ: 15 มิถุนายน พ.ศ.2554 – 14 มิถุนายน พ.ศ.2556

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการแพร่กระจายฝุ่นละอองช่วงที่มีปัญหาหมอกควันรุนแรงในพื้นที่ภาคเหนือประเทศไทย โดยการประยุกต์ใช้ระบบแบบจำลอง WRF-CMAQ ในการจำลองฝุ่นละอองในเดือนมีนาคม พ.ศ.2555 เนื่องจากข้อมูลการปลดปล่อยมลสารทางอากาศจากการเผาชีวมวลที่มีในปัจจุบันมีความคลาดเคลื่อนสูง การศึกษานี้จึงพัฒนาข้อมูลการปลดปล่อยมลสารจากการเผาชีวมวลที่เหมาะสมกับพื้นที่เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ตอนบนโดยการปรับปรุงฐานข้อมูล Fire Inventory from NCAR (FINN) ด้วยข้อมูล fire radiative power ของจุดความร้อนจากดาวเทียม ระบบการจำลองมลพิษอากาศด้วยข้อมูลการปลดปล่อยมลสารจากการเผาชีวมวลใหม่นี้สามารถจำลองได้ผลดีเมื่อนำข้อมูลผลการจำลองฝุ่นละอองเปรียบเทียบกับข้อมูลตรวจวัดทั้งจากข้อมูลดาวเทียมและข้อมูลตรวจวัดภาคพื้น โดยผลการจำลองระดับฝุ่นละอองส่วนใหญ่มีค่าอยู่ในช่วงไม่เกินสองเท่าของข้อมูลตรวจวัด (Factor of two) ผลการจำลองแสดงให้เห็นพื้นที่ความเข้มข้นฝุ่นละอองสูงในพื้นที่ที่มีการเผาไหม้อย่างหนาแน่น และ บริเวณตำแหน่งใต้ลม (พื้นที่ภาคเหนือประเทศไทยและลาว และพื้นที่ทางตะวันออกของประเทศพม่าและอินเดีย) จุดความร้อนพบมากบริเวณประเทศพม่า ลาว บางส่วนของอินเดีย และ ภาคเหนือประเทศไทย ซึ่งมีปริมาณจุดความร้อน 44, 17, 12 และ 10 % ของปริมาณจุดความร้อนทั้งหมดในพื้นที่เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ตอนบน ตามลำดับ ช่วงที่มีปัญหาหมอกควันรุนแรงในเดือนมีนาคม พ.ศ.2555 การศึกษานี้พบว่าแหล่งกำเนิดการเผาชีวมวลมีผลกระทบอย่างมากต่อความเข้มข้น PM₁₀ ในบรรยากาศ โดยมีผลกระทบถึง 93 % ในการแก้ปัญหาหมอกควันจึงควรมีกฎควบคุมมลพิษอากาศอย่างมีประสิทธิภาพในการลดการเผาชีวมวล

คำหลัก: แบบจำลองคุณภาพอากาศ ฝุ่นละออง หมอกควัน ภาคเหนือ



Abstract

Project Code: MRG5480167

Project Title: Modeling atmospheric particulate matter concentration during severe air pollution events in Northern Thailand using a Three-Dimensional Chemical Transport Model

Investigators: Sittichai Pimonsree¹, Patipat Vongruang¹, and Prungchan Wongwiset²

¹ Environmental Engineering department, School of Energy and Environment University of Phayao, Phayao 56000, Thailand

² The Joint Graduate School of Energy and Environment, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok 10140, Thailand

Email address: sittichai007@hotmail.com

Project Duration: 15 June 2011 – 14 June 2013

To investigate the transport and transformation of aerosol during smog episode in Northern Thailand, WRF-CMAQ modeling system was applied to simulated PM in March 2012. According to high uncertainty of available biomass burning emission inventories, this study developed appropriate biomass burning emission for upper Southeast Asia by modifying the Fire Inventory from NCAR (FINN) with fire radiative power of fire hotspot data from the satellite. Modeling system with the new modified biomass burning emission shows good model performances when comparing to both satellite and ground-based observations and most simulated PM was within a factor of two of the observations. The simulation results show high PM concentrations in intense biomass burning area and near downwind region (northern Thailand and Laos, and east of Myanmar and India). High fire hotspots were found in Myanmar, Lao, part of India and Northern Thailand with 44, 17, 12, and 10 % of total fire hotspot in upper Southeast Asia respectively. During smog episodes in March 2012, the study reveals the significant impact of biomass burning on ambient PM₁₀ concentrations in Northern Thailand with the percentage impact of 93%. To address the smog problems, effective air pollution control strategies should be set to reduce biomass burning emission.

Keywords: Air quality model, Particulate matter, Smog, Northern Thailand



สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1-1
1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย	1-1
1.2 วัตถุประสงค์	1-3
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	1-3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	2-1
2.1 สถานการณ์ปัญหาหมอกพิษอากาศในเขตภาคเหนือ	2-1
2.2 ผลกระทบของมลพิษอากาศ	2-1
2.3 การเปลี่ยนแปลงระดับมลพิษอากาศ	2-2
2.4 บัญชีแหล่งกำเนิดมลพิษในประเทศไทย	2-3
2.5 การเปลี่ยนแปลงการกระจายมลพิษตามพื้นที่และเวลา	2-5
2.6 อุตุนิยมวิทยาที่เกี่ยวข้องมลพิษอากาศและแบบจำลองทางอุตุนิยมวิทยา	2-7
2.7 แบบจำลองคณิตศาสตร์ทางอุตุนิยมวิทยา	2-10
2.8 แบบจำลองการแพร่กระจายมลพิษอากาศ (Dispersion models)	2-12
2.9 แบบจำลอง The Community Multi-Scale Air Quality (CMAQ)	2-12
2.10 การนำแบบจำลองคุณภาพอากาศมาใช้งานในเขตภาคเหนือ	2-14
บทที่ 3 วิธีการวิจัย	3-1
3.1 การเลือกกรณีศึกษา	3-1
3.2 รายละเอียดในการจำลอง (Model description)	3-2
3.3 การจำลองสภาพอุตุนิยมวิทยา (Meteorology)	3-2
3.4 ข้อมูลการปล่อยมลสารจากแหล่งกำเนิด (Emissions)	3-4
3.4.1 แหล่งกำเนิดจากมนุษย์ (Anthropogenic emissions)	3-5
3.4.2 แหล่งกำเนิดชีวภาพ (Biogenic emissions)	3-5
3.4.3 แหล่งกำเนิดการเผาชีวมวล (Biomass burning emissions)	3-6
3.5 แบบจำลอง CMAQ	3-10
3.6 การประเมินความถูกต้องแบบจำลอง (Model evaluation)	3-10
3.7 ข้อมูลตรวจวัด (Observations)	3-12
3.7.1 สถานีตรวจวัดภาคพื้นดิน (Surface stations)	3-12
3.7.2 ดาวเทียมตรวจวัด (Satellite observation)	3-13

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 4 ผลการศึกษา	4-1
4.1 กรณีศึกษา	4-1
4.2 การจำลองสภาพอุตุนิยมวิทยา	4-5
4.2.1 ผลการจำลองอุณหภูมิ	4-6
4.2.2 ผลการจำลองความเร็วลมและทิศทางลม	4-9
4.3 การจำลองการแพร่กระจายฝุ่นละอองช่วงที่มีปัญหาหมอกควัน	4-14
4.3.1 ผลการจำลองการแพร่กระจายฝุ่นละอองโดยใช้ข้อมูล การปล่อยมลพิษอากาศจากการเผาในที่โล่งจาก FINN	4-14
4.3.2 การพัฒนาฐานข้อมูลการปล่อยมลพิษอากาศของ FINN ด้วยข้อมูล Fire Radiative Power	4-18
4.3.3 ผลการจำลองการแพร่กระจายฝุ่นละอองโดยใช้ข้อมูล การปล่อยมลพิษอากาศจากการเผาในที่โล่งจาก FINN ที่มีการปรับปรุงด้วยข้อมูล Fire Relative Power	4-23
4.3.4 ความคลาดเคลื่อน	4-31
4.4 การเปลี่ยนแปลงตามพื้นที่และเวลาของการแพร่กระจายฝุ่นละออง ในประเทศไทยและประเทศในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ตอนบนช่วงที่มี ปัญหาหมอกควัน	4-33
4.4.1 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นฝุ่นละอองตามเวลา	4-34
4.4.2 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นฝุ่นละอองตามพื้นที่	4-36
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษา	5-1
เอกสารอ้างอิง	A-1

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 ปริมาณการปลดปล่อย PM ₁₀ ในแต่ละพื้นที่ของแหล่งกำเนิดใน ตำบลหน้าพระลานและบริเวณใกล้เคียง	2-6
รูปที่ 2.2 การปลดปล่อยแต่ละช่วงเวลาในหนึ่งวันของการปลดปล่อย PM ₁₀ จากแหล่งกำเนิดในตำบลหน้าพระลานและบริเวณใกล้เคียง	2-7
รูปที่ 2.3 ลมในแต่ละพื้นที่บริเวณภาคกลางประเทศไทย วันที่ 9 ธันวาคม 2007 เวลา (a) 1 นาฬิกา (b) 13 นาฬิกา	2-9
รูปที่ 3.1 ขอบเขตการศึกษาและตำแหน่งของสถานีตรวจวัดมลพิษอากาศ	3-1
รูปที่ 3.2 ระบบการจำลองการแพร่กระจายมลพิษอากาศในการศึกษา	3-2
รูปที่ 3.3 ระบบการจำลองด้วยแบบจำลอง MEGAN version 2.1	3-6
รูปที่ 4.1 ขอบเขตพื้นที่ศึกษา ตำแหน่งสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ และจุดความร้อนในพื้นที่เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ตอนบน ช่วงเดือน มีนาคม พ.ศ.2555	4-2
รูปที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยความเข้มข้น PM ₁₀ รายเดือนในช่วงมกราคมถึงเมษายนปี พ.ศ. 2554-2558 ของภาคเหนือตอนบนประเทศไทย	4-4
รูปที่ 4.3 สถิติจำนวนจุดความร้อนในพื้นที่เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ตอนบน ช่วงเดือน มีนาคมตั้งแต่ปี พ.ศ. 2554-2558	4-4
รูปที่ 4.4 กราฟเปรียบเทียบผลการจำลองและการตรวจวัดอุณหภูมิรายชั่วโมง ที่ระดับความสูง 50 และ 100 เมตร ณ ตำแหน่งสถานีตรวจวัด บริเวณมหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่	4-7
รูปที่ 4.5 เปรียบเทียบผลการจำลองอุณหภูมิเฉลี่ยเดือนมีนาคมจากแบบจำลอง WRF และแบบจำลอง MERRA ที่ระดับความสูง 2 เมตร	4-8
รูปที่ 4.6 กราฟเปรียบเทียบผลการจำลองและการตรวจวัดความเร็วลมรายชั่วโมง ที่ระดับความสูง 50 และ 100 เมตร	4-10
รูปที่ 4.7 ก) แผนที่สภาพภูมิประเทศของการจำลองด้วยแบบจำลอง WRF ที่ความละเอียด กริด 27 กิโลเมตร ข) แผนที่สภาพภูมิประเทศ ความละเอียด 30 เมตร ค) แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินจากแบบจำลอง WRF ที่ความละเอียดกริด 27 กิโลเมตร ง) แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน ของกรมพัฒนาที่ดิน บริเวณสถานีตรวจวัดแม่โจ้ จ.เชียงใหม่	4-12
รูปที่ 4.8 เปรียบเทียบผลการจำลองความเร็วและทิศทางลมเฉลี่ยเดือนมีนาคมจาก แบบจำลอง WRF และแบบจำลอง MERRA ที่ระดับความสูง 2 เมตร	4-13

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 4.9 กราฟอนุกรมเวลาเปรียบเทียบผลการจำลองค่าเฉลี่ย PM10 และ PM2.5 ด้วยข้อมูล FINN และค่าจากการตรวจวัด ณ ตำแหน่งสถานีตรวจวัดในเขตภาคเหนือประเทศไทย	4-16
รูปที่ 4.10 กราฟอนุกรมเวลาเปรียบเทียบผลการจำลองค่าเฉลี่ย PM10 และ PM2.5 ด้วยข้อมูล FINN และค่าจากการตรวจวัด ณ ตำแหน่งสถานีตรวจวัดฮ่องกง	4-17
รูปที่ 4.11 Fire Radiative Power เดือนมีนาคมในพื้นที่ เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ตอนบน	4-20
รูปที่ 4.12 จุดความร้อนและชนิดการใช้ที่ดิน	4-21
รูปที่ 4.13 แผนภาพการปล่อย PM2.5 ของฐานข้อมูล FINN และการคำนวณโดยการปรับปรุง FINN ด้วยข้อมูล FRP	4-22
รูปที่ 4.14 เปรียบเทียบค่าความเข้มข้นค่าเฉลี่ยรายวันของ PM10 ณ สถานีตรวจวัดในเขตภาคเหนือประเทศไทยและ ค่า PM2.5 ณ สถานีอุพราช จ.เชียงใหม่ ระหว่างค่าตรวจวัด ค่าจากแบบจำลองใช้ค่าการปล่อยมลพิษอากาศของ FINN FINN-FRP และ การปล่อยที่ไม่มีการเผาในที่โล่ง	4-25
รูปที่ 4.15 เปรียบเทียบค่าความเข้มข้นค่าเฉลี่ยรายวันของ PM10 และ PM2.5 ณ เมืองฮ่องกงประเทศจีน ระหว่างค่าตรวจวัดกับค่าจากแบบจำลอง ใช้ค่าการปล่อยมลพิษอากาศของ FINN FINN-FRP และการปล่อยที่ไม่มีการเผาในที่โล่ง	4-26
รูปที่ 4.16 ค่า Aerosol Optical Depth ของ a) ข้อมูลตรวจวัดจากดาวเทียม AQUA b) การจำลองด้วยข้อมูลการปล่อย FINN-FRP c) การจำลองด้วยข้อมูลการปล่อย FINN d) การจำลองโดยไม่ใส่แหล่งกำเนิดการเผาในที่โล่ง	4-28
รูปที่ 4.17 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นฝุ่นละออง PM10 รายวัน ของข้อมูลตรวจวัด ข้อมูลจำลองด้วยข้อมูลการเผาในที่โล่ง FINN และ FINN-FRP ข้อมูลจำลองที่ไม่มีการเผาในที่โล่ง และข้อมูลปริมาณฝน ในพื้นที่ภาคเหนือประเทศไทย	4-35

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 4.18 ปริมาณการปล่อย PM2.5 จากการเผาในที่โล่งข้อมูล FINN และ FINN-FRP และจากกิจกรรมมนุษย์อื่น (Anthropogenic emission) ในพื้นที่เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ตอนบนในขอบเขตการศึกษา	4-35
รูปที่ 4.19 แผนภาพค่าเฉลี่ยความเข้มข้น PM10 และ PM2.5 ของการจำลองด้วยข้อมูล FINN และ FINN-FRP เดือนมีนาคม พ.ศ.2555	4-37
รูปที่ 4.20 แผนภาพ a) สัดส่วนการปล่อย PM2.5 ของฐานข้อมูล FINN-FRP ต่อ FINN b) สัดส่วนข้อมูลความเข้มข้น PM2.5 ในบรรยากาศของการจำลองด้วยข้อมูล FINN-FRP ต่อ FINN	4-37

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 การกำหนดชั้นความสูงสำหรับการจำลองด้วยแบบจำลอง WRF-CMAQ	3-3
ตารางที่ 3.2 การตั้งค่าแบบจำลอง WRF-CMAQ	3-4
ตารางที่ 3.3 การแบ่งกลุ่มตัวแปรของการเกิด plume ตามขนาดของพื้นที่การเผา 3-8	
ตารางที่ 3.4 การแบ่งกลุ่มประสิทธิภาพการลอยตัวของ plume รายชั่วโมงในหนึ่งวัน	3-9
ตารางที่ 3.5 พิกัดสถานีตรวจวัดมลพิษอากาศและอุตุนิยมวิทยาภาคพื้นดิน	3-13
ตารางที่ 3.6 ค่าตัวแปรสำหรับการคำนวณ $f(RH)$ จากความสัมพันธ์ของค่า ความชื้นสัมพัทธ์ในแต่ละฤดูกาล	3-14
ตารางที่ 4.1 จำนวนจุดความร้อนของแต่ละประเทศในพื้นที่ เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ตอนบน เดือน มีนาคม พ.ศ.2555	4-3
ตารางที่ 4.2 สถิติผลการจำลองอุณหภูมิจากแบบจำลอง WRF เปรียบเทียบกับ ข้อมูลการตรวจวัด ณ สถานีตรวจวัดบริเวณมหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่	4-6
ตารางที่ 4.3 สถิติการจำลองความเร็วและทิศทางลมเปรียบเทียบกับข้อมูลการตรวจวัด	4-9
ตารางที่ 4.4 ค่าสถิติประเมินความถูกต้องของการจำลอง PM ₁₀ และ PM _{2.5} ด้วยข้อมูลการปล่อยมลพิษอากาศจากการเผาในที่โล่งของ FINN	4-18
ตารางที่ 4.5 ค่าสถิติประเมินความถูกต้องของการจำลอง PM ₁₀ และ PM _{2.5} ด้วยข้อมูลการปล่อยมลพิษอากาศจากการเผาในที่โล่งของ FINN และ FINN-FRP	4-27
ตารางที่ 4.6 ลักษณะและองค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นละออง (หน่วย: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	4-30

บทนำ

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย

ประชาชนในเขตภาคเหนือประเทศไทยต้องเผชิญกับปัญหามลพิษอากาศมาเป็นเวลานาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งฝุ่นละอองที่พบความเข้มข้นสูงเป็นประจำในช่วงฤดูร้อน จากการศึกษาคุณภาพอากาศปี 2547-2551 ในเขตภาคเหนือพบว่าระดับฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM10) มีค่าเกินมาตรฐานทั้งมาตรฐานค่าเฉลี่ยรายวัน (120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) และมาตรฐานค่าเฉลี่ยรายปี (50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) ทุกสถานีในเขตภาคเหนือ (Pimonsree, S. 2010) นั้นแสดงให้เห็นว่าประชาชนต้องได้รับผลกระทบจากปัญหามลพิษอากาศทั้งผลกระทบแบบเฉียบพลัน (Acute effect) และผลกระทบแบบเรื้อรัง (Chronic effect) ปัญหามลพิษอากาศไม่ได้พบเฉพาะเมืองใหญ่ จากการศึกษาคุณภาพอากาศของจังหวัดพะเยาพบว่าจังหวัดพะเยามีปัญหามลพิษอากาศรุนแรงโดยในเดือนมีนาคม ปี 2553 พบจำนวนวันที่ PM10 เกินเกณฑ์มาตรฐานรายวันถึง 65% จากจำนวนวันที่ตรวจวัด นอกจากนี้ยังพบก๊าซโอโซนเกินเกณฑ์มาตรฐาน 2 % ในปี 2552 (สิทธิชัย และ ภูมิเมษฐ์, 2553) มลพิษอากาศเป็นมลพิษที่ไม่มีขอบเขตในการแพร่กระจาย ดังนั้นจึงกระทบต่อผู้คนจำนวนมากในบริเวณกว้าง ฝุ่นละอองในบรรยากาศมีผลกระทบอย่างมากต่อมนุษย์ดังมีการศึกษาจำนวนมากถึงความสัมพันธ์ระหว่างมลพิษอากาศและสุขภาพ (Curtis, L., et al., 2006; Quah, E. and Boon, T.L. 2003; Scoggins, A. et al., 2004) การศึกษาในจังหวัดภาคเหนือประเทศไทยก็เช่นเดียวกัน จากการศึกษาผลกระทบของฝุ่นละอองต่อการเจ็บป่วยของประชาชนในจังหวัดลำปางช่วงฤดูร้อนปี 2550-2552 พบว่าจำนวนผู้ป่วยในโรคที่เฝ้าระวังผลกระทบจากฝุ่นละอองมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นถึง 39% ในช่วงที่ปริมาณฝุ่นละอองมีระดับเกินค่ามาตรฐานค่าเฉลี่ยรายวัน (สิทธิชัย และ ภวัต, 2553) การศึกษาในจังหวัดเชียงใหม่ ในปี 2550 พบความสัมพันธ์ระหว่างระดับปริมาณ PM10 และการเจ็บป่วยโรคระบบทางเดินหายใจ (Wiwanitkit, V. 2008) การศึกษาผลกระทบที่มีต่อผู้ป่วยโรคหืดหอบพบว่าระดับฝุ่นทั้งฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5) และ PM10 มีความสัมพันธ์กับค่าความจุปอด และอาการหอบหืดในผู้ป่วยหอบหืดอย่างมีนัยสำคัญ ค่ารักษาพยาบาลและรายจ่ายส่วนบุคคลของผู้ป่วยหอบหืดแต่ละคนต่อเดือน ในจังหวัดเชียงใหม่ สูงกว่าค่าเฉลี่ยของคนภาคเหนือทั่วไปถึง 3 เท่า (พงศ์เทพ และคณะ, 2550)



บทนำ

แบบจำลองคุณภาพอากาศเป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์อย่างมาก แบบจำลองคุณภาพอากาศช่วยให้ทราบระดับมลพิษทั่วทั้งพื้นที่ศึกษา ซึ่งการตรวจวัดด้วยเครื่องมือเป็นการตรวจวัดเฉพาะจุด (Point measurement) ใช้เป็นตัวแทนคุณภาพอากาศ ณ จุดที่ตรวจวัดและบริเวณรอบ ๆ การตรวจวัดจำนวนหลายจุดใช้ค่าใช้จ่ายสูงมาก แบบจำลองคุณภาพอากาศจึงเป็นเครื่องมือช่วยได้ดี นอกจากนี้แบบจำลองยังช่วยประเมินผลสำเร็จของมาตรการควบคุมมลพิษอากาศ และยังช่วยให้เข้าใจถึงกระบวนการแพร่กระจายมลพิษในบรรยากาศอีกด้วย ในเขตภาคเหนือมีการนำแบบจำลองคุณภาพอากาศมาใช้จำนวนน้อย และเป็นการจำลองการแพร่กระจายในระดับท้องถิ่น (Local scale) ได้แก่ การนำแบบจำลอง CALPUFF มาใช้ศึกษาการแพร่กระจายฝุ่นละอองจากยานพาหนะและไฟฟ้าในจังหวัดเชียงใหม่ (ธีรชัย, 2552; อรวรรณ, 2549) และการประยุกต์ใช้แบบจำลอง CALPUFF ศึกษาการแพร่กระจายของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากโรงไฟฟ้าแม่เมาะจังหวัดลำปาง (สุมิตร, 2547) อย่างไรก็ตามปัญหาคุณภาพอากาศในเขตภาคเหนือเป็นผลมาจากทั้งแหล่งกำเนิดในท้องถิ่น และแหล่งกำเนิดในภูมิภาค โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเผาในที่โล่งในช่วงฤดูร้อน ปัญหาฝุ่นละอองในเขตภาคเหนือเป็นปัญหาที่ซับซ้อน เนื่องจากเป็นมลพิษปฐมภูมิและทุติยภูมิที่เกิดจากก๊าซหลายชนิดทำปฏิกิริยาในบรรยากาศ รวมถึงสภาพอุตุนิยมวิทยาของทางภาคเหนือที่มีการไหลเวียนของอากาศที่ซับซ้อน เนื่องจากเป็นพื้นที่ภูเขา แบบจำลองที่นำมาใช้ในเขตภาคเหนือจึงควรที่จะสามารถจำลองการแพร่กระจายที่มีความซับซ้อนทั้งกระบวนการทางฟิสิกส์และเคมีบรรยากาศ แบบจำลอง The Community Multi-scale Air Quality (CMAQ) เป็นแบบจำลองที่สามารถคำนวณการแพร่กระจายได้หลายขนาดทั้งขนาดการแพร่กระจายในตัวเมือง (Urban scale) และการแพร่กระจายระดับภูมิภาค (Regional scale) CMAQ ออกแบบภายใต้แนวคิด “บรรยากาศหนึ่งเดียว (One atmosphere)” แบบจำลองสามารถคำนวณกระบวนการในบรรยากาศที่ซับซ้อน สามารถคำนวณมลพิษอากาศได้หลายชนิดพร้อมกัน (Byun, D.W. and Ching, J.K.S. 1999) แบบจำลอง CMAQ มีการนำมาใช้เป็นเครื่องมือทางกฎหมาย แก้ปัญหามลพิษอากาศและงานวิจัยขั้นสูง ซึ่งพบว่าแบบจำลองสามารถจำลองการแพร่กระจายมลพิษหลายชนิดได้ดี (Im, U. et al., 2010; Zhang, M. et al., 2007)

ประชาชนในเขตภาคเหนือต้องเผชิญกับปัญหามลพิษจากฝุ่นละอองในบรรยากาศอย่างรุนแรง จึงเป็นเรื่องเร่งด่วนที่ต้องแก้ปัญหามลพิษอากาศ การจัดการคุณภาพอากาศจำเป็นต้องทราบการระบายมลพิษจากแหล่งกำเนิด การทำฐานข้อมูลการระบายมลพิษอากาศเป็นจุดเริ่มต้นของการจัดการคุณภาพอากาศที่สำคัญ ดังจะเห็นได้จากงานวิจัยจำนวนมากทำการพัฒนาฐานข้อมูลการระบายมลพิษอากาศ (Jaeger-Voirol, A. and Pelt, P. 2000; Tsilingiridis,



บทนำ

G. et al., 2002) สำหรับฐานข้อมูลการระบายจากการเผาในที่โล่งยังมีการศึกษาอยู่น้อย การทำฐานข้อมูลที่มีความละเอียด ถูกต้อง ยังเป็นเรื่องที่ท้าทาย (Liu, 2004) การศึกษานี้จึงได้ทำการพัฒนาฐานข้อมูลการระบายมลพิษอากาศจากการเผาในที่โล่งซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดหลักช่วงความเข้มข้นมลพิษสูงในเขตภาคเหนือ และทำการวิเคราะห์เพื่อทราบคุณลักษณะการเปลี่ยนแปลงการระบายมลพิษจากการเผาในที่โล่ง และทำการจำลองมลพิษอากาศด้วยแบบจำลอง CMAQ เพื่อทราบระดับมลพิษที่แพร่กระจายจากการเผาในที่โล่ง และทำการวิเคราะห์เพื่อทราบปัจจัยหลักที่มีผลทำให้มลพิษมีความเข้มข้นสูง และ เข้าใจถึงกลไกการแพร่กระจายของฝุ่นละอองทั้งฝุ่นปฐมภูมิ และฝุ่นทุติยภูมิ ในเขตภาคเหนือประเทศไทย ซึ่งเป็นองค์ความรู้ใหม่และเป็นข้อมูลที่สำคัญในการจัดการคุณภาพอากาศ

1.2 วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อได้ฐานข้อมูลการปล่อยมลพิษอากาศจากการเผาในที่โล่งในเขตภาคเหนือ ประเทศไทย
- 2) เพื่อทราบการแพร่กระจายฝุ่นละอองจากการเผาในที่โล่งในบริเวณภาคเหนือโดยใช้แบบจำลองคุณภาพอากาศ
- 3) เพื่อทราบปัจจัยหลักที่มีผลทำให้ระดับฝุ่นละอองสูงในเขตภาคเหนือตอนบน
- 4) เพื่อพัฒนาองค์ความรู้แบบจำลองคุณภาพอากาศแบบ A comprehensive, multiscale “one-atmosphere” modeling system

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ฐานข้อมูลการระบายมลพิษอากาศจากการเผาในที่โล่งในเขตภาคเหนือประเทศไทยเป็นข้อมูลสำคัญสำหรับการจัดการคุณภาพอากาศ และเป็นข้อมูลสำหรับแบบจำลองการแพร่กระจายมลพิษอากาศ นอกจากนี้สามารถตีพิมพ์ในวารสารระดับนานาชาติได้
- 2) ข้อมูลความเข้มข้นฝุ่นละอองจากแบบจำลองคุณภาพอากาศช่วงที่มีระดับฝุ่นสูงในบรรยากาศ ทำให้ทราบสถานการณ์ปัญหาฝุ่นละอองทั่วภาคเหนือ และข้อมูลปัจจัยหลักที่มีผลทำให้ฝุ่นละอองสูงในบรรยากาศเป็นข้อมูลสำคัญในการจัดการคุณภาพอากาศ ซึ่งข้อมูลเหล่านี้สามารถใช้ตีพิมพ์ในวารสารระดับนานาชาติได้
- 3) ได้พัฒนาองค์ความรู้และทักษะในการทำวิจัยแบบจำลองคุณภาพอากาศแบบ A comprehensive, multiscale “one-atmosphere” modeling system โดยมีนักวิจัยอาวุโสเป็นพี่เลี้ยง
- 4) ได้ผลงานตีพิมพ์ในวารสารวิชาการ



ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 สถานการณ์ปัญหามลพิษอากาศในเขตภาคเหนือ

การติดตามเฝ้าระวังปัญหาคุณภาพอากาศ กรมควบคุมมลพิษได้ทำการตรวจวัดคุณภาพอากาศมาเป็นระยะเวลานานด้วยสถานีตรวจวัดถาวรในเมืองใหญ่ ได้แก่ จังหวัดเชียงใหม่ จังหวัดลำปาง และจังหวัดนครสวรรค์ และจากสถานการณ์ปัญหาหมอกควันจากการเผาในที่โล่ง ที่ปกคลุมทั่วภาคเหนือตอนบน ซึ่งพบได้ไม่ใช้แค่เมืองใหญ่ แต่พบปัญหาฝุ่นละอองสูงทั่วภาคเหนือตอนบน กรมควบคุมมลพิษจึงมีการตรวจสอบคุณภาพอากาศในจังหวัดอื่นในเขตภาคเหนือด้วยรถตรวจวัดคุณภาพอากาศ และทำการตั้งสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศเพิ่มเติมในหลายจังหวัด อาทิเช่น จังหวัดพะเยา เชียงราย เป็นต้น จากข้อมูลตรวจวัดคุณภาพอากาศพบมลพิษอากาศที่มีปัญหาในเขตภาคเหนือได้แก่ PM₁₀, PM_{2.5} และ โอโซน จากรายงานปัญหามลพิษอากาศและเสียงปี 2550 พบปัญหาฝุ่นละอองสูงเกินมาตรฐานในตัวเมืองจังหวัดเชียงใหม่ และในตัวเมืองลำปางและอำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง นอกจากนี้ยังพบว่าโอโซนเกินมาตรฐานคุณภาพอากาศเช่นเดียวกัน ซึ่งส่วนใหญ่พบเกินมาตรฐานในบริเวณจังหวัดเชียงใหม่ (กรมควบคุมมลพิษ, 2550) การศึกษาคุณภาพอากาศปี 2547-2551 ในเขตภาคเหนือพบว่าระดับ PM₁₀ ในภาคเหนือมีค่าเกินมาตรฐานทั้งมาตรฐานค่าเฉลี่ยรายวันและมาตรฐานค่าเฉลี่ยรายปีทุกสถานีตรวจวัด (Pimonsree, 2010) จากการศึกษาคุณภาพอากาศจังหวัดพะเยาพบว่าจังหวัดพะเยามีปัญหาคุณภาพอากาศรุนแรงโดยในเดือนมีนาคม ปี 2553 พบจำนวนวันที่ PM₁₀ เกินเกณฑ์มาตรฐานรายวัน ($PM_{10} > 120 \mu g/m^3$) ถึง 65 % และปี 2552 พบว่าระดับ PM₁₀ ค่าเฉลี่ยรายวันสูงสุดของจังหวัดพะเยาสูงเป็นอันดับสองเมื่อเทียบกับจุดตรวจวัดอื่นทั่วภาคเหนือ นอกจากนี้ยังพบก๊าซโอโซนพบเกินเกณฑ์มาตรฐานค่าเฉลี่ย 8 ชั่วโมง 2 % ในปี 2552 (สิทธิชัย และ ภูมิเมษฐ์, 2553)

2.2 ผลกระทบของมลพิษอากาศ

มลพิษอากาศเป็นมลพิษที่ไม่มีขอบเขตในการแพร่กระจายดังนั้นจึงกระทบต่อผู้คนจำนวนมากในบริเวณกว้าง มลพิษอากาศมีผลกระทบอย่างมากต่อมนุษย์ดังมีการศึกษาจำนวนมากถึงความสัมพันธ์ระหว่างมลพิษอากาศและสุขภาพ (Curtis et al., 2006; Quah and Boon, 2003; Scoggins et al., 2004) การศึกษาในจังหวัดภาคเหนือประเทศไทยก็เช่นเดียวกัน จากการศึกษพบว่าระดับ PM₁₀ ในเขตภาคเหนือมีระดับเกินมาตรฐานทั้งมาตรฐานระยะสั้น และ



ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

มาตรฐานระยะยาว (Pimonsree, 2010) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าประชาชนในเขตภาคเหนือต้องเผชิญทั้งผลกระทบแบบเฉียบพลัน (Acute effect) และผลกระทบแบบเรื้อรัง (Chronic effect) จากการศึกษาผลกระทบของฝุ่นละอองต่อการเจ็บป่วยของประชาชนในจังหวัดลำปางช่วงฤดูร้อนปี 2550-2552 พบว่าจำนวนผู้ป่วยในโรคที่เฝ้าระวังผลกระทบจากฝุ่นมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นถึง 39% ในช่วงที่ปริมาณฝุ่นละอองมีระดับเกินค่ามาตรฐานค่าเฉลี่ยรายวัน (สิทธิชัย และ ภาวัต, 2553) การศึกษาในจังหวัดเชียงใหม่ในปี 2550 พบความสัมพันธ์ระหว่างระดับปริมาณ PM10 และการเจ็บป่วยโรคระบบทางเดินหายใจ (Wiwanitkit, 2008) การศึกษาผลกระทบที่มีต่อผู้ป่วยโรคหืดหอบพบว่าระดับฝุ่นทั้งฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5) และ PM10 มีความสัมพันธ์กับค่าความจุปอด และอาการหอบหืดในผู้ป่วยหอบหืดอย่างมีนัยสำคัญ ค่ารักษาพยาบาลและรายจ่ายส่วนบุคคลของผู้ป่วยหอบหืดแต่ละคนต่อเดือน ในจังหวัดเชียงใหม่สูงกว่าค่าเฉลี่ยของคนภาคเหนือทั่ว ๆ ไปถึง 3 เท่า (พงศ์เทพ วิวรรณะเดช และคณะ, 2550)

2.3 การเปลี่ยนแปลงระดับมลพิษอากาศ

ระดับมลพิษอากาศในบรรยากาศมีการเปลี่ยนแปลงตามพื้นที่และเวลา ในแต่ละพื้นที่จะมีลักษณะเฉพาะของพื้นที่เนื่องจากแต่ละพื้นที่จะมีความแตกต่างของแหล่งกำเนิด และสภาพอุตุนิยมวิทยาที่แตกต่างกัน จากการศึกษาฝุ่นละออง 6 เมืองในเอเชีย (Bandung, Bangkok, Beijing, Chennai, Manila และ Hanoi) ช่วงปี 2544-2547 พบว่า PM10 ในฤดูแล้ง (พฤศจิกายน ถึง เดือนเมษายน) มีค่าสูงกว่าฤดูฝนอย่างชัดเจน (Kim Oanh et al., 2006) การศึกษา PM10 ในประเทศไทยช่วงปี 2541-2546 พบว่าภาคเหนือมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น PM10 ตามฤดูกาลสูง ซึ่งมีระดับสูงในช่วงเดือนที่มีอากาศเย็น (ธันวาคม ถึง กุมภาพันธ์) ขณะที่ภาคใต้พบว่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น PM10 ตามฤดูกาลต่ำ (Puangthongthub et al., 2007) การศึกษาความเข้มข้น PM2.5 และ PM10 ช่วงมีนาคม 2541 ถึงตุลาคม 2542 ในจังหวัดเชียงใหม่พบว่าฝุ่นละอองมีค่าความเข้มข้นสูงในช่วงฤดูหนาวและมีค่าต่ำในช่วงฤดูร้อนเนื่องจากในฤดูหนาวมีระดับความสูงชั้นผสม (Mixing height) ต่ำ และลมมีความเร็วต่ำอีกด้วย (Vinitketkumnuen et al., 2002) ในขณะอีกการศึกษาที่ทำการศึกษาในเชียงใหม่เช่นเดียวกัน ทำการศึกษาช่วงมิถุนายน 2546 ถึงมิถุนายน 2547 พบว่า PM10 มีระดับเพิ่มสูงขึ้นในช่วงเริ่มต้นฤดูแล้ง (ธันวาคม) และถึงระดับสูงสุดในเดือนมีนาคมก่อนที่จะลดลงในช่วงปลายเดือนเมษายน (Pengchai et al., 2008) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาคูณภาพอากาศปี 2547-2551 ในเขตภาคเหนือพบว่าฝุ่นละอองมีระดับเกินมาตรฐานสูงสุดในเดือนกุมภาพันธ์และเดือนมีนาคมในจังหวัดเชียงใหม่และลำปาง แตกต่างจากระดับฝุ่นละอองในจังหวัดนครสวรรค์ที่ส่วนใหญ่พบความเข้มข้นสูงในฤดูหนาว การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น PM10 พบว่ามีค่าแปรผันสอดคล้องกับ



ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปริมาณพื้นที่ไฟไหม้ป่าในเขตภาคเหนือ และพบความสัมพันธ์สูงระหว่างระดับความเข้มข้น PM10 กับค่าความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศที่มีลักษณะแปรผกผันกัน (Pimonsree, 2010)

2.4 บัญชีแหล่งกำเนิดมลพิษในประเทศไทย

ข้อมูลการปล่อยมลพิษอากาศจากแหล่งกำเนิดเป็นข้อมูลเบื้องต้นที่สำคัญมากในการจัดการคุณภาพอากาศ แต่พบว่าที่ผ่านมาในประเทศไทย มีการจัดทำฐานข้อมูลปริมาณมลพิษอากาศจากแหล่งกำเนิด จำนวนน้อย จะมีการทำเพียงในจังหวัดใหญ่ ที่มีปัญหามลพิษอากาศ ได้แก่ บัญชีแหล่งกำเนิดมลพิษจากแหล่งกำเนิดเมืองใหญ่ 11 เมือง จัดทำในปี 2537 โดย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539) การปรับปรุงฐานข้อมูลแหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศในกรุงเทพฯและปริมณฑล ปี2540 (บริษัท ซีคอต จำกัด, 2543) ซึ่งปรับปรุงจากฐานข้อมูลแหล่งกำเนิดมลพิษอากาศในกรุงเทพฯและปริมณฑลชุดเดิมที่จัดทำในปี 2535 (คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2537) บัญชีแหล่งกำเนิดมลพิษอากาศที่กรมควบคุมมลพิษจัดทำล่าสุดได้แก่ ฐานข้อมูลการปลดปล่อย PM10 จากแหล่งกำเนิดในตำบลหน้าพระลานและบริเวณใกล้เคียง และแหล่งกำเนิดในจังหวัดสมุทรปราการ ซึ่งพื้นที่สองแห่งนี้มีปัญหาเรื่องฝุ่น ในเขตภาคเหนือพบมีการทำบัญชีแหล่งกำเนิดมลพิษจากแหล่งกำเนิดในจังหวัดเชียงใหม่ปี 2545 ทำการประมาณ PM10, SO₂, NO_x, CO , VOC จากแหล่งกำเนิดเฉพาะบริเวณเขตเทศบาลนครเชียงใหม่และบริเวณใกล้เคียง โดยทำการคำนวณจากแหล่งกำเนิด 3 ประเภท คือ 1. แหล่งกำเนิดชนิดเฉพาะตำแหน่ง (Point Source) ได้แก่ โรงงานอุตสาหกรรม เตาเผาขยะติดเชื้อ และ เตาเผาศพ 2. แหล่งกำเนิดชนิดเคลื่อนที่ (Mobile Source) 3. แหล่งกำเนิดชนิดพื้นที่ (Area Source) ได้แก่ สถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิง ท่าอากาศยาน ที่พักอาศัยและภาคพาณิชย์ การเผาพื้นที่เกษตรกรรม สถานีรถไฟ ไฟป่า และการเผาขยะตามบ้านเรือน สำหรับแหล่งกำเนิดโรงงานอุตสาหกรรมในพื้นที่ศึกษา ทำการศึกษาโรงงานที่มีขนาดตั้งแต่ 40 แรงม้าขึ้นไป ซึ่งมีจำนวนทั้งสิ้น 267 โรงงาน และคำนวณเฉพาะการระบายที่เกิดจากกระบวนการเผาไหม้ (เทศบาลนครเชียงใหม่ และคณะ, 2545)

นอกจากฐานข้อมูลการปล่อยมลพิษอากาศที่จัดทำด้วยข้อมูลภายในประเทศไทยยังมีฐานข้อมูลที่ทำขึ้นในพื้นที่เอเชียที่มีข้อมูลของประเทศไทย อาทิ เช่น REanalysis of the Tropospheric chemical composition (RETRO) จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงก๊าซมลพิษและฝุ่นละอองในอากาศทั่วโลกเป็นระยะเวลานานตั้งแต่ปี ค.ศ.1960 ถึง ปี ค.ศ.2000 (Schultz, Rast et al. 2007) ฐานข้อมูล Emission Database for Global Atmospheric Research (EDGAR) เป็นฐานข้อมูลที่รวบรวมการปล่อยก๊าซมลพิษ ฝุ่นละออง และก๊าซเรือนกระจก จากทั่วโลก



ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

(Olivier, Van Aardenne et al. 2005) ฐานข้อมูล The MACCity emissions inventory จัดทำขึ้นโดยมีเป้าหมายเป็นฐานข้อมูลการปล่อยมลพิษอากาศตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันและการประมาณการของมลพิษในอนาคตสำหรับเป็นข้อมูลสนับสนุนในการจัดทำรายงาน IPCC-AR5 (Intergovernmental Panel for Climate Change Assessment Report 5) (Granier, Bessagnet et al. 2011) ฐานข้อมูล Asian Biomass Burning Inventory (ABBI) เป็นการจัดทำบัญชีการปล่อยมลพิษของภูมิภาคเอเชียในปี ค.ศ. 2001 เป็นช่วงที่มีโครงการ ACE-Asia (Asian Pacific Regional Aerosol Characterization Experiment) และ TRACE-P (Transport and Chemical Evolution over the Pacific) (Streets, Yarber et al. 2003) ฐานข้อมูล Intercontinental Chemical Transport Experiment-Phase B (INTEX-B) พัฒนาฐานข้อมูลขึ้นในปี ค.ศ. 2006 จัดทำขึ้นโดย the National Aeronautics and Space Administration (NASA) ที่ศึกษาการปล่อยมลพิษอากาศจากกิจกรรมของมนุษย์ในภูมิภาคเอเชีย (Zhang, Streets et al. 2009) ฐานข้อมูล South-east Asia Composition, Clouds and Climate Coupling by Regional Study (SEAC4RS) emissions inventory เป็นฐานข้อมูลการปล่อยมลพิษในปี ค.ศ. 2012 จากแหล่งกำเนิด โรงงานอุตสาหกรรม โรงไฟฟ้า ที่อยู่อาศัย และการจราจร (Lu and Streets 2012) ฐานข้อมูล Model of Emissions of Gases and Aerosols from Nature (MEGAN) เป็นฐานข้อมูลที่จำลอง biogenic emissions ที่มีการปล่อย VOC จำนวนมากโดย VOC เป็นสารตั้งต้นที่สามารถเกิดปฏิกิริยาในบรรยากาศได้ดี (Guenther, Karl et al. 2006)

ฐานข้อมูลการปล่อยมลพิษอากาศจากการเผาในที่โล่งจาก Fire INventory from NCAR (FINN) ที่พัฒนาขึ้นโดย National Center for Atmospheric Research (NCAR) ประมาณปริมาณการปล่อยมลพิษจากความสัมพันธ์ของค่า Emission factor กับปริมาณชีวมวลที่ถูกเผา โดยข้อมูลการเผาในที่โล่งได้จากข้อมูลจุดความร้อนจากเซ็นเซอร์ MODIS บนดาวเทียม TERRA และ MERRA กับข้อมูลการใช้ที่ดินในการกำหนดเป็นการเผาแต่ละครั้ง ข้อมูลมีความละเอียดเชิงพื้นที่ 1 ตารางกิโลเมตร และมีความละเอียดเชิงเวลาในทุก 1 ชั่วโมง (Wiedinmyer, Akagi et al. 2011) ฐานข้อมูลการเผาในที่โล่ง The Global Fire Assimilation System (GFAS) ที่พัฒนาขึ้นโดยใช้ความสัมพันธ์ของค่า Emission factor กับปริมาณชีวมวลที่ถูกเผาโดยข้อมูลปริมาณชีวมวลที่ถูกเผาประมาณได้จากข้อมูลรังสีพลังงานจากการเผาจากเซ็นเซอร์ MODIS ซึ่งเป็นการพัฒนาวิธีในการประมาณปริมาณชีวมวลที่ถูกเผาให้สอดคล้องกับการเผาที่เกิดขึ้นจริงในแต่ละครั้งข้อมูลมีความละเอียดเชิงพื้นที่ 10 ตารางกิโลเมตร และมีความละเอียดเชิงเวลาในทุก 1 ชั่วโมง (Heil, Kaiser et al. 2010) ฐานข้อมูล Global Fire Emissions Database (GFED) มีวิธีในการประมาณการปล่อยมลพิษด้วยความสัมพันธ์ของค่า Emission factor กับปริมาณชีวมวลที่



ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

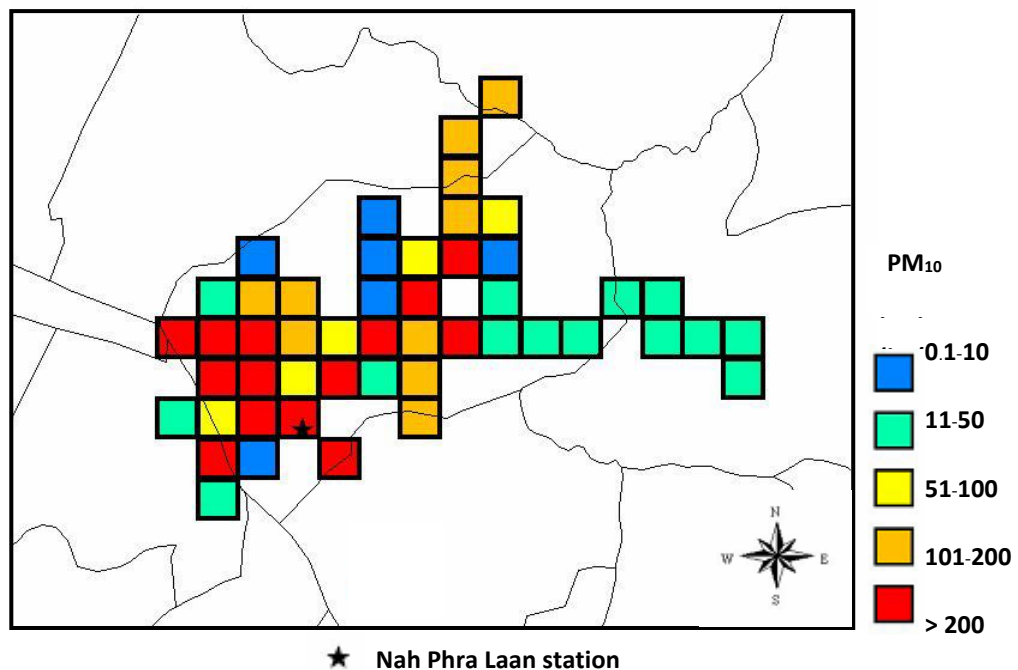
ถูกเผา แต่ปริมาณชีวมวลที่ถูกเผาหาได้จากการจำลองปริมาณชีวมวลที่พบโดยใช้ข้อมูลนำเข้าหลักจากข้อมูลพื้นที่การเผาที่พบจริง แต่ข้อมูลพื้นที่การเผาที่มีข้อจำกัดในการตรวจพบการเผาที่มีขนาดเล็ก ข้อมูลจาก GFED ให้ค่าความละเอียดเชิงพื้นที่ 0.5 ดีกรี และความละเอียดตามเวลาเป็นรายเดือน (Giglio, Randerson et al. 2013) ฐานข้อมูลการเผาในที่โล่งในภูมิภาคนี้ประมาณได้จากความสัมพันธ์ของค่า Emission factor กับปริมาณของชีวมวลที่ถูกเผาเหมือนกัน แต่การประมาณปริมาณชีวมวลที่ถูกเผาแตกต่างกัน

2.5 การเปลี่ยนแปลงการระบายมลพิษตามพื้นที่และเวลา

ลักษณะการระบายมลพิษอากาศมีการเปลี่ยนแปลงตามพื้นที่และเวลา (Spatial and temporal distribution) ขึ้นอยู่กับชนิดของแหล่งกำเนิด ตำแหน่งที่ตั้ง การกระจายตัวของแหล่งกำเนิดตามพื้นที่ และปริมาณการปลดปล่อยในแต่ละช่วงเวลา โดยแต่ละพื้นที่จะมีลักษณะของการปลดปล่อยมลพิษไม่เหมือนกัน เช่น โรงไฟฟ้าจะทำงาน 24 ชั่วโมงต่อวัน จึงมีการปลดปล่อยมลพิษทั้งวัน แต่จะมีการปลดปล่อยมากช่วงที่มีการผลิตมาก คือช่วง peak load ที่มีคนใช้ไฟมาก ลักษณะของการปลดปล่อยมลพิษแต่ละพื้นที่จะมีลักษณะเฉพาะที่ไม่เหมือนกัน ตัวอย่างเช่น ปริมาณปลดปล่อย PM₁₀ จากแหล่งกำเนิดในตำบลหน้าพระลานและบริเวณใกล้เคียง ปี 2548 มีลักษณะดังรูปที่ 2.1 มีการระบายฝุ่นละอองแตกต่างกันตามพื้นที่ โดยมีการระบายฝุ่นละอองมากในพื้นที่ที่มีโรงงานปูนซิเมนต์ โรงโมหิน จำนวนมาก ซึ่งฝุ่นละอองมาจากทั้งโรงงานและการฟุ้งกระจายของฝุ่นบนถนน นอกจากนี้การระบายฝุ่นละอองยังเปลี่ยนแปลงตามเวลาดังเช่น การปลดปล่อยแต่ละช่วงเวลาในหนึ่งวันของการปลดปล่อย PM₁₀ จากแหล่งกำเนิดในตำบลหน้าพระลานและบริเวณใกล้เคียงแสดงในรูปที่ 2.2 ซึ่งพบว่ามีมีการระบายฝุ่นละอองสูงช่วงกลางวันที่มีการทำงานของโรงโมหิน และมีปริมาณยานพาหนะบนถนนมาก (Pimonsree et al., 2009)



ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง



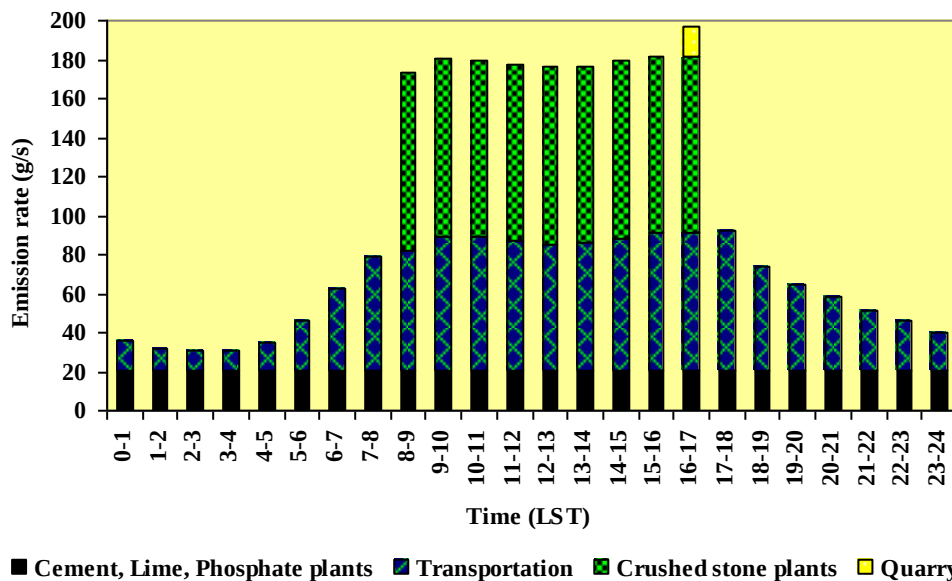
รูปที่ 2.1 ปริมาณการปลดปล่อย PM₁₀ ในแต่ละพื้นที่ของแหล่งกำเนิดในตำบลหน้าพระลาน และบริเวณใกล้เคียง (Pimonsree et al., 2009)

ฐานข้อมูลแหล่งกำเนิดมลพิษอากาศมีระดับความละเอียดถูกต้องแตกต่างกันตามวัตถุประสงค์ของการศึกษา การจัดการมลพิษอากาศต้องการข้อมูลการระบายมลพิษอากาศที่ครอบคลุมแหล่งกำเนิดที่สำคัญ ครอบคลุมชนิดมลพิษอากาศหลักที่มีปัญหาและมลพิษอากาศที่เป็นสารตั้งต้นของมลพิษอากาศที่มีปัญหา อาทิเช่น สารอินทรีย์ระเหยง่าย ออกไซด์ของไนโตรเจน ที่เป็นสารตั้งต้นของโอโซน ฐานข้อมูลแหล่งกำเนิดมลพิษอากาศที่ไม่สมบูรณ์ มีความคลาดเคลื่อนอาจทำให้ใช้วางแผนควบคุมมลพิษอากาศผิดแนวทางที่ควรจะเป็น ทำให้เสียค่าใช้จ่ายสูง และอาจควบคุมได้ไม่สำเร็จตามที่ตั้งเป้าหมายไว้ ความละเอียดของข้อมูลขึ้นอยู่กับขนาดพื้นที่ที่จัดการและชนิดของมลพิษอากาศ ถ้าเป็นการจัดการคุณภาพอากาศระดับท้องถิ่นหรือในตัวเมือง ต้องการทราบการระบายที่ทราบพิกัดของแหล่งกำเนิดที่ชัดเจน แต่ถ้าเป็นการจัดการคุณภาพอากาศระดับภูมิภาค อาจต้องการความละเอียดของแหล่งกำเนิดมลพิษที่ระบายจากกริดความละเอียด 1 ก.ม. เป็นต้น ความละเอียดในสเกลเวลาโดยทั่วไปเพื่อให้สามารถวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นมลพิษอากาศเปลี่ยนแปลงตามเวลาภายในวัน (Diurnal variation) เชื่อมโยงไปยังแหล่งกำเนิด ต้องการข้อมูลการระบายรายชั่วโมง (Hourly profile) ซึ่งฐานข้อมูลแหล่งกำเนิดมลพิษอากาศที่พัฒนาในประเทศไทยมีจำนวนน้อย



ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

มาก ไม่ทันสมัย ยังไม่ครอบคลุมแหล่งกำเนิดที่สำคัญ และมีความละเอียดน้อยโดยเฉพาะข้อมูลลักษณะการระบายตามเวลา จึงควรช่วยกันพัฒนารฐานข้อมูลแหล่งกำเนิดมลพิษอากาศเพื่อการจัดการคุณภาพอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีประสิทธิผล การศึกษานี้เป็นส่วนหนึ่งในการพัฒนารฐานข้อมูลแหล่งกำเนิดการระบายมลพิษอากาศจากการเผาในที่โล่ง ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดที่สำคัญของปัญหามลพิษอากาศในเขตภาคเหนือประเทศไทย



รูปที่ 2.2 การปลดปล่อยแต่ละช่วงเวลาในหนึ่งวันของการปลดปล่อย PM₁₀ จากแหล่งกำเนิดในตำบลหน้าพระลานและบริเวณใกล้เคียง (Pimonsree et al., 2009)

2.6 อุดมคติวิทยาที่เกี่ยวข้องมลพิษอากาศและแบบจำลองทางอุดมคติวิทยา

พารามิเตอร์ทางอุดมคติวิทยามีผลต่อการแพร่กระจายมลพิษในบรรยากาศจะกล่าวเฉพาะปัจจัยหลักที่มีผลต่อการแพร่กระจายมลพิษโดยย่อต่อไปนี้

ความเร็วและทิศทางลม ลมเป็นปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดการพัดพา (Advection) และการแพร่กระจาย (Diffusion) มลพิษในบรรยากาศ พื้นที่ที่อยู่ในตำแหน่งใต้ลมจะได้รับผลกระทบจากมลพิษที่ปลดปล่อยในตำแหน่งเหนือลม ลมแรงจะช่วยระบายมลพิษจากบริเวณที่มีการปลดปล่อยมลพิษ (source region) ทำให้บริเวณดังกล่าวมีความเข้มข้นมลพิษในบรรยากาศน้อยลง แต่พื้นที่ที่อยู่ใกล้ในตำแหน่งใต้ลมจะได้รับผลกระทบเนื่องจากการพัดพามลพิษมากขึ้น ในทางกลับกันถ้าลมมีกำลังอ่อนก็จะทำให้บริเวณที่ปลดปล่อยมลพิษมีความเข้มข้นมลพิษในบรรยากาศมาก ซึ่งธรรมชาติของลมมีการเปลี่ยนแปลงสูงทั้งการเปลี่ยนแปลงตามพื้นที่ และการเปลี่ยนแปลงตามเวลา อาทิเช่นถ้าเราลองสังเกตลม จะพบว่าในเวลาไม่กี่นาที ลมมีการเปลี่ยนแปลงทั้งความเร็วและทิศทาง ตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงลมตามพื้นที่และเวลาดังแสดง



ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในรูปที่ 2.3 ซึ่งแสดงลมในแต่ละพื้นที่บริเวณภาคกลางประเทศไทยโดยเป็นผลมาจากการคำนวณด้วยแบบจำลองอุตุนิยมวิทยา RAMS แต่ละช่วงเวลาจะมีลักษณะของลมที่ต่างกัน ดังเช่นในรูปที่ 2.3(a) แสดงลมเวลา 1 นาฬิกา มีลักษณะลมแตกต่างกับลมที่เวลา 13 นาฬิกา ในรูปที่ 2.3(b) ลักษณะของลมขึ้นกระบวนทาง

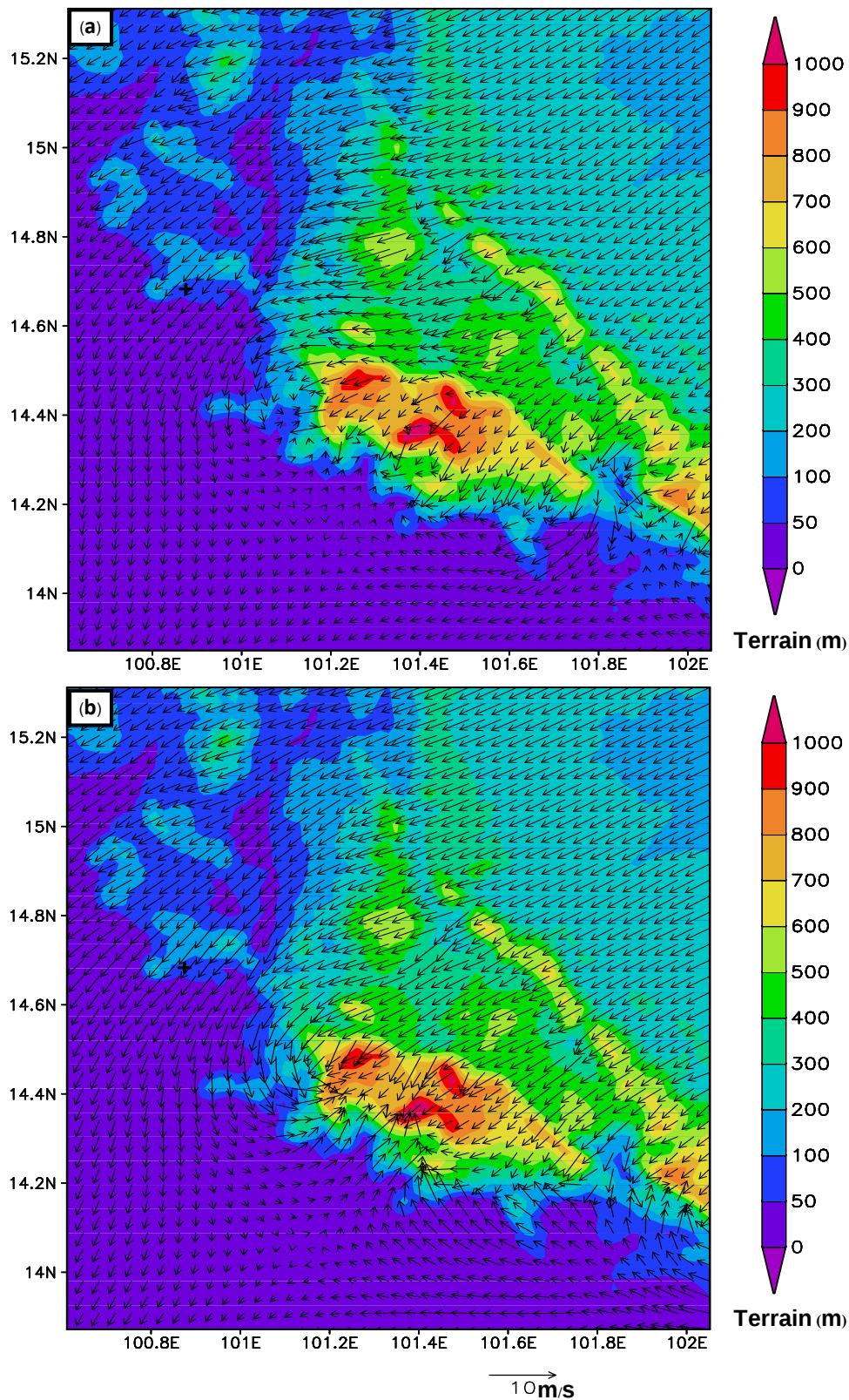
บรรยากาศ (Atmospheric process) ทั้งผลจากกระบวนการ Large scale เช่นลมมรสุมในแต่ละฤดูกาล และ local scale ได้แก่ Mountain wind, Valley wind, urban heat island เป็นต้น ซึ่งขึ้นอยู่กับความแตกต่างของภูมิประเทศและลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดิน

เสถียรภาพของชั้นบรรยากาศ (Atmospheric Stability) เป็นปัจจัยสำคัญที่แสดงถึงระดับความสามารถในการแพร่กระจาย (Diffusion) การเคลื่อนย้ายมลพิษในแนวดิ่ง นอกจากการพัดพา (Advection) ด้วยลมแล้ว อีกปัจจัยที่สำคัญมากในการแพร่กระจายมลพิษคือกระบวนการ Diffusion ในบรรยากาศ โดยในบรรยากาศความปั่นป่วน Turbulence diffusion ซึ่งเกิดจากทั้ง Mechanical process และ Thermal process เป็นกระบวนการหลักในการแพร่กระจายมลพิษ อาทิเช่น เวลาเราติดยานั่งอยู่ในห้องที่ปิดหน้าต่างไม่มีลมที่มุดห้องหนึ่ง แต่แค่ช่วงเวลาลั้น ๆ เราก็สามารถได้กลิ่นยานั่งที่อีกมุมห้องหนึ่ง ซึ่งในบรรยากาศมีระดับความปั่นป่วนมากกว่าในห้องปิดมาก ดังนั้นระดับความเสถียรภาพในชั้นบรรยากาศจึงมีความสำคัญมากต่อการแพร่กระจายมลพิษ

อย่างไรก็ดีการตรวจวัดเพื่อทราบสภาพทางอุตุนิยมวิทยาของไทย กรมอุตุนิยมวิทยา มีการตรวจวัดที่ระดับพื้นดินเพียงแค่ประมาณจังหวัดละหนึ่งสถานี ยิ่งไปกว่านั้นการตรวจวัดเบื้องต้นทั้งภาคเหนือมีการตรวจวัดที่เดียวที่จังหวัดเชียงใหม่ ทำให้มีข้อมูลไม่เพียงพอที่จะทราบและเข้าใจการแพร่กระจายมลพิษอากาศ ในการศึกษาครั้งนี้จึงได้นำแบบจำลองทางอุตุนิยมวิทยา มาใช้งาน



ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง



รูปที่ 2.3 ลมในแต่ละพื้นที่บริเวณภาคกลางประเทศไทย วันที่ 9 ธันวาคม 2007 เวลา (a) 1 นาฬิกา (b) 13 นาฬิกา

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.7 แบบจำลองคณิตศาสตร์ทางอุตุนิยมวิทยา

การศึกษานี้ใช้แบบจำลองอุตุนิยมวิทยา 3 มิติ ระดับ Mesoscale (3-D Mesoscale Meteorological Model) เป็นแบบจำลองสภาพทางอุตุนิยมวิทยาแบบ Prognostic model ที่คำนวณพารามิเตอร์ทางอุตุนิยมวิทยาในแต่ละพื้นที่โดยใช้ชุดสมการกระบวนการทางฟิสิกส์บรรยากาศ สำหรับแบบจำลองทางอุตุนิยมวิทยาระดับ Mesoscale โดยทั่วไปประกอบด้วยชุดสมการหลัก ได้แก่ Conservation of mass, conservation of heat, conservation of motion, conservation of water และ conservation of other gaseous and aerosol materials นอกจากนี้แบบจำลองยังประกอบด้วยพารามิเตอร์อีกจำนวนมากที่สามารถเลือกให้เหมาะสมกับพื้นที่ที่นำไปใช้งาน และเป็นพารามิเตอร์เสริมสำหรับกระบวนการที่มีขนาดเล็กกว่าขนาดกริดพารามิเตอร์ ได้แก่ turbulent diffusion, solar and terrestrial radiation, moist processes including the formation and interaction of clouds and precipitating liquid and ice hydrometeors, kinematic effects of terrain, cumulus convection, and sensible and latent heat exchange between the atmosphere and the surface, which consists of multiple soil layers, vegetation, snow cover, canopy air, and surface water

ตัวอย่างชุดสมการหลักของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทางอุตุนิยมวิทยาแสดงดังชุดสมการต่อไปนี้

Equations of motion:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = -u \frac{\partial u}{\partial x} - v \frac{\partial u}{\partial y} - w \frac{\partial u}{\partial z} - \theta \frac{\partial \pi'}{\partial x} + f v + \frac{\partial}{\partial x} \left(K_m \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_m \frac{\partial u}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_m \frac{\partial u}{\partial z} \right) \quad (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} = -u \frac{\partial v}{\partial x} - v \frac{\partial v}{\partial y} - w \frac{\partial v}{\partial z} - \theta \frac{\partial \pi'}{\partial y} - f u + \frac{\partial}{\partial x} \left(K_m \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_m \frac{\partial v}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_m \frac{\partial v}{\partial z} \right) \quad (2)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} = -u \frac{\partial w}{\partial x} - v \frac{\partial w}{\partial y} - w \frac{\partial w}{\partial z} - \theta \frac{\partial \pi'}{\partial z} - \frac{g \theta'_v}{\theta_0} + \frac{\partial}{\partial x} \left(K_m \frac{\partial w}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_m \frac{\partial w}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_m \frac{\partial w}{\partial z} \right) \quad (3)$$

Thermodynamic equation:

$$\frac{\partial \theta_{il}}{\partial t} = -u \frac{\partial \theta_{il}}{\partial x} - v \frac{\partial \theta_{il}}{\partial y} - w \frac{\partial \theta_{il}}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x} \left(K_h \frac{\partial \theta_{il}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_h \frac{\partial \theta_{il}}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_h \frac{\partial \theta_{il}}{\partial z} \right) + \left(\frac{\partial \theta_{il}}{\partial t} \right)_{rad} \quad (4)$$

Water species mixing ratio continuity equation:

$$\frac{\partial r_n}{\partial t} = -u \frac{\partial r_n}{\partial x} - v \frac{\partial r_n}{\partial y} - w \frac{\partial r_n}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x} \left(K_h \frac{\partial r_n}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_h \frac{\partial r_n}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_h \frac{\partial r_n}{\partial z} \right) \quad (5)$$



ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Mass continuity equation:

$$\frac{\partial \pi'}{\partial t} = -\frac{R\pi_0}{c_v \rho_0 \theta_0} \left(\frac{\partial \rho_0 \theta_0 u}{\partial x} + \frac{\partial \rho_0 \theta_0 v}{\partial y} + \frac{\partial \rho_0 \theta_0 w}{\partial z} \right) \quad (6)$$

โดยที่

u	$\equiv$	East–West wind component
v	$\equiv$	North–South wind component
w	$\equiv$	Vertical wind component
f	$\equiv$	Coriolis parameter
K_m	$\equiv$	Eddy viscosity coefficient for momentum
K_h	$\equiv$	Eddy viscosity coefficient for heat and moisture
θ_{il}	$\equiv$	Ice–liquid water potential temperature
r_n	$\equiv$	Water mixing ratio species of total water, rain, pristine crystals, aggregates, and snow
ρ	$\equiv$	Density
rad	$\equiv$	Subscript denoting tendency from radiation parameterization
g	$\equiv$	Gravity constant
r_t	$\equiv$	Total water mixing ratio
r_v	$\equiv$	Water vapor mixing ratio
π	$\equiv$	Total Exner function
π'	$\equiv$	Perturbation Exner function
θ_v	$\equiv$	Virtual potential temperature

แบบจำลอง Mesoscale สามารถคำนวณที่ความละเอียดกริดตามแนวราบตั้งแต่ไม่กี่กิโลเมตรจนถึงหลายร้อยกิโลเมตร และสเกลตามแนวดิ่งตั้งแต่หลักสิบเมตรจนถึงระดับความสูงของโทรโปสเฟียร์ แบบจำลองจึงช่วยเสริมการตรวจวัด โดยเฉพาะอย่างยิ่งค่าตรวจวัดตามแนวดิ่งซึ่งมีการตรวจวัดน้อยมาก กรมอุตุนิยมวิทยาประเทศไทยมีการปล่อยบอลลูนเพื่อตรวจวัดพารามิเตอร์ตามแนวดิ่งเพียงแค่ 5 จุดทั่วประเทศ แบบจำลอง Mesoscale เป็นแบบจำลองที่สามารถนำมาใช้งานได้ในพื้นที่ Complex terrain (พื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะพื้นที่ ได้แก่การเปลี่ยนแปลงภูมิประเทศ เช่น ภูเขา, ทะเล และการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน เช่น พื้นที่ป่า, พื้นที่เกษตรกรรม และ พื้นที่เมือง เป็นต้น) จึงเหมาะสมในการนำมาใช้งานในเขตภาคเหนือประเทศไทยที่เป็นพื้นที่มีภูเขา สลับซับซ้อน



ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.8 แบบจำลองการแพร่กระจายมลพิษอากาศ (Dispersion models)

แบบจำลองการแพร่กระจายมลพิษอากาศใช้สมการคณิตศาสตร์ในการคำนวณการแพร่กระจายมลพิษอากาศซึ่งรวมทั้งกระบวนการทางฟิสิกส์ และเคมี เพื่อคำนวณความเข้มข้นมลพิษอากาศในบรรยากาศที่ตำแหน่งต่าง (Holmes and Morawska, 2006) มีแบบจำลองจำนวนมากได้พัฒนาขึ้นเพื่อใช้งานหลากหลายวัตถุประสงค์ แบบจำลอง Gaussian plume model เป็นแบบจำลองหนึ่งที่เป็นรู้จักกันดี และใช้แพร่หลาย และใช้ในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมในหลายประเทศรวมทั้งประเทศไทย เนื่องจากแบบจำลองนี้ใช้งานง่าย ไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ประสิทธิภาพสูง อย่างไรก็ตามแบบจำลอง Gaussian มีข้อจำกัดการใช้งานเนื่องจากสมมุติฐานของแบบจำลองที่ลมมีความเร็วและทิศทางเดียวทั้งพื้นที่ที่คำนวณการแพร่กระจาย ดังนั้นแบบจำลองนี้จึงไม่เหมาะจะใช้ในพื้นที่ที่มีการไหลเวียนของอากาศที่ซับซ้อน และการจำลองการแพร่กระจายระยะไกล (Long range transport) (Gariazzo et al., 2004; Holmes and Morawska, 2006) นอกจากนี้ยังไม่เหมาะในการนำมาใช้ในพื้นที่ความเร็วลมต่ำอีกด้วย (Khare and Sharma, 2002) ดังนั้นแบบจำลอง Gaussian จึงไม่เหมาะสมในการนำมาใช้งานในการศึกษาในครั้งนี้ที่ทำการจำลองการแพร่กระจายมลพิษอากาศทั่วภาคเหนือ ซึ่งมีลักษณะภูมิประเทศเป็นภูเขา การไหลเวียนอากาศมีความสลับซับซ้อน

แบบจำลองการแพร่กระจายมลพิษอากาศอีกประเภทหนึ่งซึ่งจำลองความเข้มข้นมลพิษเปลี่ยนแปลงตามเวลา มีพื้นฐานหลักการอยู่สองแบบคือ Lagrangian และ Eulerian แบบจำลองแบบ Lagrangian เหมาะสมสำหรับการจำลองการแพร่กระจายมลพิษอากาศระยะใกล้ ส่วนแบบจำลองแบบ Eulerian เหมาะสำหรับการคำนวณการแพร่กระจายมลพิษที่มลพิษมีการแพร่ไกลมากพอที่มลพิษแพร่ทั่วถึงทั้งกิริติ นอกจากนี้แบบจำลอง Eulerian สามารถคำนวณปฏิกิริยาเคมีได้ดีอีกด้วย ซึ่งแบบจำลอง CMAQ ที่นำมาใช้ในการศึกษานี้ใช้หลักการแบบ Eulerian

2.9 แบบจำลอง The Community Multi-Scale Air Quality (CMAQ)

แบบจำลอง CMAQ มีแนวคิดแบบบรรยากาศหนึ่งเดียว (One atmosphere) แบบจำลองสามารถคำนวณมลพิษอากาศได้หลายชนิด ใช้ได้กับขนาดการแพร่กระจายได้หลายขนาดทั้งขนาดการแพร่กระจายในตัวเมือง (Urban scale) และการแพร่กระจายระดับภูมิภาค (Regional scale) CMAQ สามารถคำนวณได้ทั้งก๊าซมลพิษอากาศ ฝุ่นละออง รวมถึงไอโซนในชั้นโทรโปสเฟีย ฝุ่นละอองขนาดเล็ก สารเป็นพิษ ฝนกรด และการลดการมองเห็น ระบบของแบบจำลอง CMAQ ประกอบด้วยหน่วยประมวลผลหลายหน่วยดังนี้



ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

- Meteorology–chemistry interface processor (MCIP)
- Photolysis rate processor (JPROC)
- Initial conditions processor (ICON)
- Boundary conditions processor (BCON)
- CMAQ chemical–transport model (CCTM)

ซึ่ง CMAQ chemical–transport model ประกอบด้วยกระบวนการหลักดังนี้

- Horizontal advection
- Vertical advection
- Mass conservation adjustments for advection processes
- Horizontal diffusion
- Vertical diffusion
- Emissions injection
- Deposition
- Gas–phase chemical reactions
- Aqueous–phase reactions and cloud mixing
- Aerosol dynamics, thermodynamics, and chemistry
- Plume chemistry effects
- Photolytic rate computation
- Process analysis

CMAQ เป็นแบบจำลองรุ่นที่สามของแบบจำลองคุณภาพอากาศ ซึ่งออกแบบสำหรับการใช้งานตามกฎหมาย และการวิเคราะห์ที่จะเข้าใจปฏิกิริยาที่มีความซับซ้อนทางฟิสิกส์บรรยากาศและเคมี บรรยากาศ แบบจำลองคุณภาพอากาศรุ่นแรกเป็นแบบจำลองที่ใช้สมการเคมียาง่ายใช้กับการแพร่กระจายระยะใกล้ในท้องถิ่น แบบจำลอง Gaussian Plume คือแบบจำลองพื้นฐานในการคำนวณของแบบจำลองรุ่นนี้ แบบจำลองรุ่นที่สอง มีแบบจำลองใช้ได้หลายขนาดการแพร่กระจาย อย่างไรก็ตามแบบจำลองรุ่นนี้จะแยกคำนวณแต่ละสเกลการแพร่กระจาย และเน้นเฉพาะบางมลพิษอากาศเช่น โอโซน แบบจำลองรุ่นที่สาม เช่น CMAQ สามารถคำนวณมลพิษอากาศหลายชนิดได้พร้อมกัน สเกลการคำนวณได้ตั้งแต่ขนาดท้องถิ่นจนถึงระดับ Hemisphere แบบจำลอง CMAQ ได้ถูกนำมาใช้งานจำนวนมากทั้งการจำลองการแพร่กระจายระดับตัวเมือง (Choi et al., 2006; Im et al., 2010) และระดับภูมิภาค (Livingstone et al., 2009; Zhang et al., 2007) ซึ่งพบว่าแบบจำลองสามารถคำนวณการแพร่กระจายมลพิษได้ดี จึงน่าสนใจที่จะนำมาประยุกต์ใช้ในประเทศไทย



ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.10 การนำแบบจำลองคุณภาพอากาศมาใช้งานในเขตภาคเหนือ

จากการสืบค้นข้อมูลพบว่าการนำแบบจำลองคุณภาพอากาศมาใช้งานในเขตภาคเหนือ ในจังหวัดใหญ่ ปี 2550 มีการนำแบบจำลอง CALPUFF มาใช้ศึกษาการแพร่กระจายฝุ่นละออง จากไฟฟ้าในจังหวัดเชียงใหม่ พบว่ากระกระจายตัวของ PM₁₀ ในบริเวณจังหวัดเชียงใหม่ขึ้นอยู่ กับ เสถียรภาพทางอากาศ ความเร็วลม อุณหภูมิ ความสูงผสม และลักษณะภูมิประเทศ โดย ค่า PM₁₀ มีค่า 161-401 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในช่วงวันที่ 9-14 มีนาคม 2550 (ธีรชัย, 2552) ปี 2547 แบบจำลอง CALPUFF ได้นำมาศึกษาการแพร่กระจายฝุ่นละอองจาก ยานพาหนะในจังหวัดเชียงใหม่ พบว่าในช่วงเดือนพฤศจิกายน และธันวาคมปี 2547 จากลมที่ พัดผ่านจากพื้นที่ทำการศึกษาสู่ทิศเหนือ และตะวันตกเฉียงเหนือ พบพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิด มลภาวะทางอากาศคือ อำเภอแมริม และอำเภอแม่แตง อากาศมีเสถียรภาพสูงทำให้ PM₁₀ ไม่ สามารถกระจาย ตัวสู่ชั้นบรรยากาศได้จึงเกิดการสะสมของสารมลพิษทำให้เกิดมลภาวะทาง อากาศ โดยอัตราความเร็วลมสูง PM₁₀ กระจายได้ไกล และเป็นกลุ่มควันแคบ ความเร็วลมต่ำ PM₁₀ กระจายได้ใกล้แหล่งกำเนิดและเป็นวงกว้าง (อรรธรณ, 2549) ปี 2546 มีการประยุกต์ใช้ แบบจำลอง CALPUFF ศึกษาการแพร่กระจายของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากโรงไฟฟ้าแม่ เมาะจังหวัดลำปาง พบว่าทิศทางการกระจายตัวของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ขึ้นอยู่กัทิศทาง ของลมมรสุมที่พัดผ่าน ค่าความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ จากแบบจำลองสอดคล้องกับ ค่าตรวจวัด (สุมิตร, 2547) ปี 2549-2550 มีการนำแบบจำลอง CALINE4 มาทำการศึกษาฝุ่น ขนาดเล็กบริเวณริมถนนในเขตเทศบาลนครพิษณุโลก ซึ่งพบว่าค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นของ PM₁₀ ในฤดูร้อนมีค่าใกล้เคียงกับฤดูหนาว (เอกลักษณ์, 2551)

จากข้อมูลจะเห็นได้ว่ายังมีการนำแบบจำลองคุณภาพอากาศมาใช้งานในพื้นที่ภาคเหนือน้อย การนำมาใช้เป็นการใช้ระดับท้องถิ่น (Local scale) อย่างไรก็ตามปัญหาฝุ่นละอองในบรรยากาศใน เขตภาคเหนือเป็นปัญหาที่มีแหล่งกำเนิดที่มาจากท้องถิ่น (จังหวัด) และภูมิภาค (ภาคเหนือและ ประเทศข้างเคียง) ซึ่งแหล่งกำเนิดฝุ่นที่สำคัญในเขตภาคเหนือคือการเผาในที่โล่งที่ประกอบด้วย ก๊าซและฝุ่นขนาดเล็ก ฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM_{2.5}) อยู่ในชั้นบรรยากาศเป็นเวลานาน และ สามารถเคลื่อนที่ได้ตั้งแต่หลักสิบกิโลเมตรถึงหลักพันกิโลเมตร นอกจากนี้ก๊าซมลพิษยังเปลี่ยน รูปมาเป็นฝุ่นละอองได้อีกด้วย การศึกษามลพิษอากาศในเขตภาคเหนือจึงควรใช้แบบจำลอง ประยุกต์ใช้ระดับภูมิภาค ที่ใช้ได้ในพื้นที่ที่มีการไหลเวียนของอากาศที่ซับซ้อน และแบบจำลองที่ สามารถคำนวณปฏิกิริยาเคมีได้ดี ซึ่งการศึกษานี้ได้นำแบบจำลอง CMAQ ที่สามารถใช้กับการ แพร่กระจายที่มีความซับซ้อนของกระบวนการทั้งทางฟิสิกส์และเคมีได้ดีมาใช้งาน



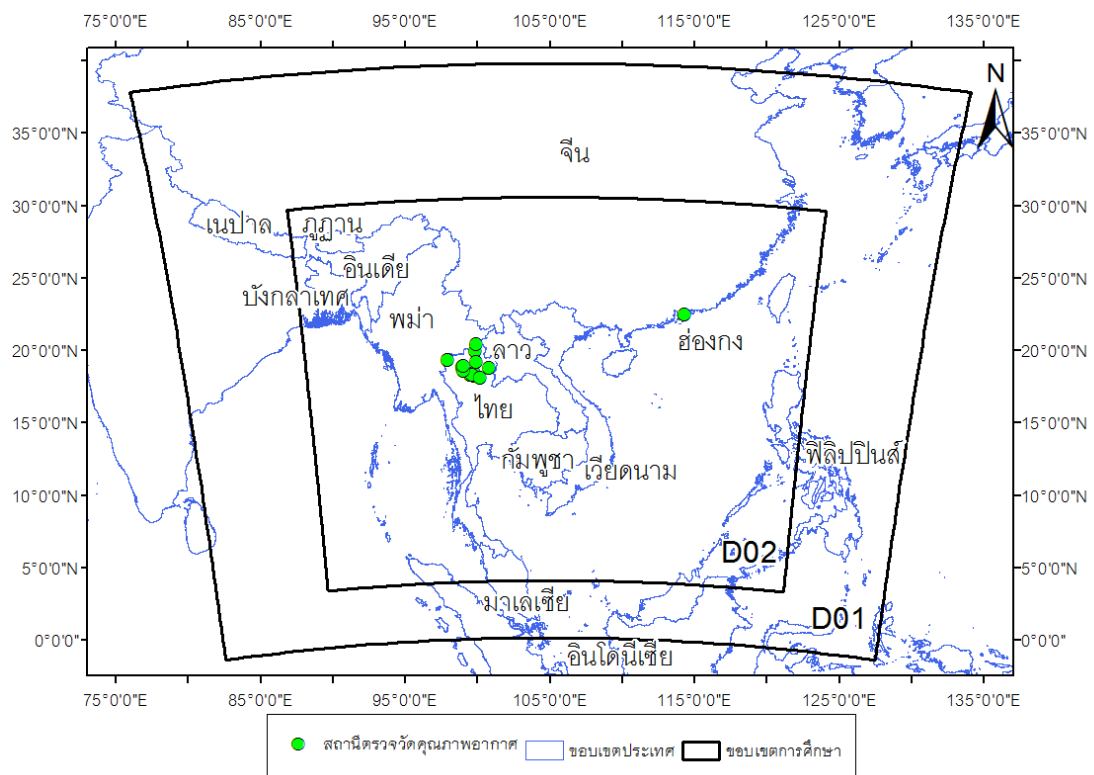
วิธีการศึกษา

บทที่ 3

วิธีการศึกษา

3.1 การเลือกกรณีศึกษา

กรณีศึกษาเลือกช่วงที่มีปัญหาหมอกควันรุนแรงในช่วงปี พ.ศ. 2554–2558 โดยการวิเคราะห์จากข้อมูลความเข้มข้น PM₁₀ จากสถานีตรวจวัดภาคพื้นดินในพื้นที่ภาคเหนือประเทศไทยโดยใช้ข้อมูลจากกรมควบคุมมลพิษ (PCD, 2012) 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) สำหรับขอบเขตของการศึกษาและตำแหน่งสถานีตรวจวัดแสดงดังรูปที่ 3.1



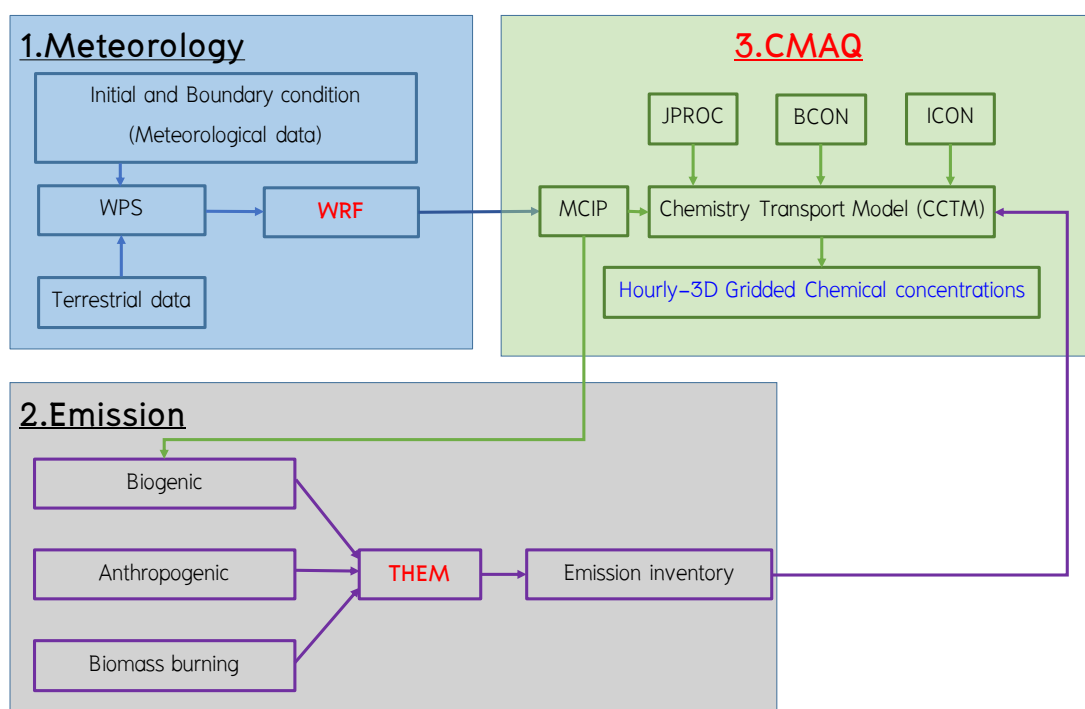
รูปที่ 3.1 ขอบเขตการศึกษาและตำแหน่งของสถานีตรวจวัดมลพิษอากาศ



วิธีการศึกษา

3.2 รายละเอียดในการจำลอง (Model description)

การวิจัยนี้ใช้ระบบแบบจำลอง WRF-CMAQ โดยใช้แบบจำลอง The Weather Research and Forecasting (WRF) model version 3.4 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 ระบบการจำลองแสดงดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ระบบการจำลองการแพร่กระจายมลพิษอากาศในการศึกษา

3.3 การจำลองสภาพอุตุนิยมวิทยา (Meteorology)

ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาสำหรับเป็นข้อมูล initial และ boundary condition สำหรับแบบจำลอง WRF ใช้ข้อมูล NCEP FNL (ds083.2) ที่มีความละเอียดกริดข้อมูล 1 องศา และความถี่ตามเวลาทุก 6 ชั่วโมง การจำลองใช้วิธีจำลองแบบ one-way nested grid โดเมนภายนอก (D01) จำลองที่ความละเอียดเท่ากับ 81 km² และโดเมนภายใน (D02) ใช้ความละเอียดขนาด 27 km² พื้นที่ศึกษาโดเมนที่สองครอบคลุมพื้นที่เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ตอนบนและประเทศจีนบางส่วนแสดงดังรูปที่ 3.1 การจำลองใช้ Lambert projection แบ่งเป็น 29 ชั้น



วิธีการศึกษา

ความสูงจากระดับพื้นโลกถึงความสูงที่ระดับความดัน 50 mbar (ประมาณ 17 km) ดังตารางที่ 3.1 ข้อมูลทั้งหมดในชั้นตอนนี้จะถูกเตรียมโดย WRF Preprocessing System (WPS) ทั้งข้อมูลอุตุนิยมวิทยา และข้อมูล Terrestrial ที่ประกอบไปด้วยข้อมูลการใช้ที่ดิน ภูมิประเทศ และสภาพพื้นผิวโลกอื่น ข้อมูลที่ได้จากชั้นตอนนี้จะถูกนำไปคำนวณกระบวนการ dynamic downscaling ด้วยความสัมพันธ์ทางฟิสิกส์บรรยากาศในการจำลอง WRF โดยใช้ตัวเลือกในการจำลองดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.1 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



วิธีการศึกษา

ตารางที่ 3.2 การตั้งค่าแบบจำลอง WRF-CMAQ

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
CMAQ4.7.1	
Horizontal setting	Nest 2 domains, D1=81 km ² and D2=27 km ²
Vertical setting	29 layer with the top pressure of 50 mb
Advection	Yamartino
Vertical diffusion	ACM2
Gas-phase chemistry	CB05 with Euler Backward Iterative solver
Aerosol mechanism	AERO5

3.4 ข้อมูลการปล่อยมลสารจากแหล่งกำเนิด (Emissions)

ข้อมูลการปล่อยมลพิษอากาศและการเตรียมข้อมูลสำหรับแบบจำลอง CMAQ ใช้ข้อมูลในช่วงกรณีศึกษาที่พบปัญหาหมอกควันรุนแรงในเดือนมีนาคม พ.ศ.2555 จากแหล่งกำเนิดหลัก 3 แหล่งได้แก่ แหล่งกำเนิดจากมนุษย์ (Anthropogenic emissions) จาก Studies of Emissions and Atmospheric Composition, Clouds and Climate Coupling by Regional Surveys (SEAC4RS) (Lu and Streets 2014) แหล่งกำเนิดชีวภาพ (Biogenic emissions) จาก Model of Emissions of Gases and Aerosols from Nature version 2.1 (MEGAN) (Guenther, Karl et al. 2006) และข้อมูลแหล่งกำเนิดการเผาชีวมวล (Biomass burning emissions) จาก Fire INventory from NCAR (FINN) (Wiedinmyer, Akagi et al. 2011) และข้อมูลที่ปรับปรุงค่าการปล่อยจาก FINN ที่ได้จากการวิจัยนี้ ข้อมูลการปล่อยมลพิษอากาศและฝุ่นละอองจะถูกผสมผสานเข้าด้วยกันและคำนวณกระบวนการปล่อยด้วยแบบจำลอง THEM และกระบวนการปล่อยแบบ 3 มิติ ตามแนวราบและตามระดับความสูง แสดงรายละเอียดดังหัวข้อต่อไปนี้



วิธีการศึกษา

3.4.1 แหล่งกำเนิดจากมนุษย์ (Anthropogenic emissions)

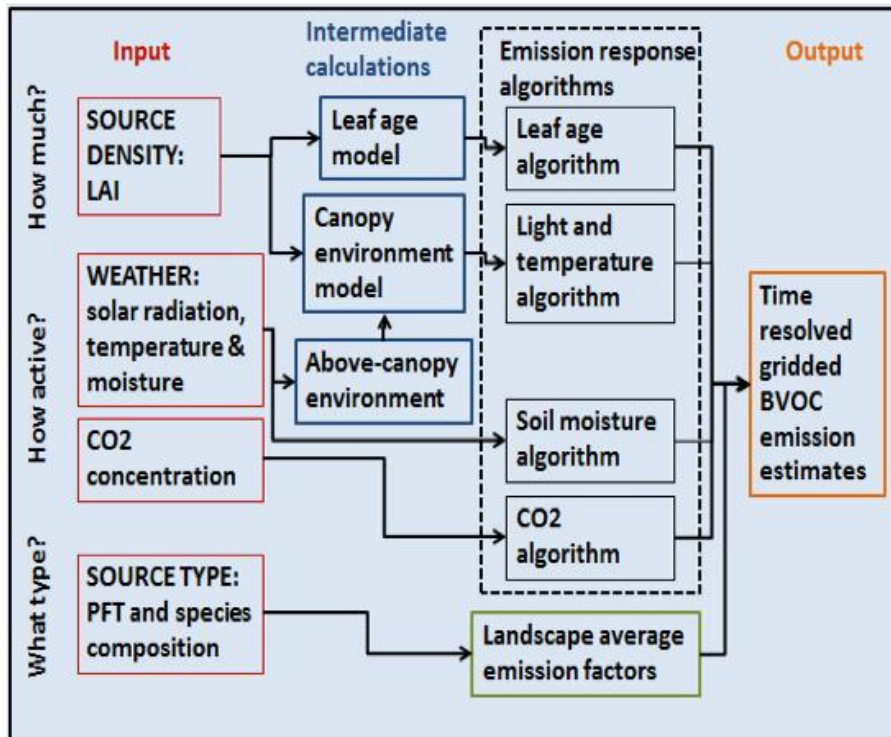
ข้อมูลการปล่อยจากแหล่งกำเนิดโดยมนุษย์ได้ข้อมูลจาก SEAC4RS เป็นข้อมูลการปล่อยมลพิษอากาศในพื้นที่เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ที่ศึกษาในปี พ.ศ.2555 ซึ่งตรงกับช่วงกรณีศึกษาประกอบไปด้วยแหล่งข้อมูลจากการปล่อยจาก 1.โรงงานอุตสาหกรรม 2.การอยู่อาศัยของชุมชน 3.การจราจร และ 4.โรงไฟฟ้า ข้อมูลมีความละเอียดตามพื้นที่ 0.1 ดีกรี หรือประมาณ 10 km² ข้อมูลทั้งหมดจะถูกเตรียมด้วยแบบจำลอง THEM ที่มีกระบวนการ temporal allocation จากข้อมูล SEAC4RS ที่มีข้อมูลรายปีให้ความละเอียดเป็นรายชั่วโมงโดยใช้ค่าสัดส่วนการปล่อยตามเวลาตามชนิดของแหล่งกำเนิดตามรายงานการปล่อยมลพิษสู่บรรยากาศในปัจจุบันและอนาคตโดย Olivier et al. (2003) และถูกใช้เป็นข้อมูลหลักในการศึกษาการประมาณตามเวลาและความสูงของการปล่อยมลพิษอากาศในภูมิภาคเอเชียด้วยแบบจำลอง 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 NO₃⁻ และ SO₄²⁻ โดยใช้ค่าสัดส่วนจากการศึกษาคุณภาพอากาศและผลกระทบต่อสุขภาพของการบินในเอเชีย (Lee, 2012)

3.4.2 แหล่งกำเนิดชีวภาพ (Biogenic emissions)

ข้อมูลได้จากแบบจำลอง MEGAN ที่จำลองการปล่อย VOC จากพืชซึ่งเป็นสารตั้งต้นที่สามารถเกิดปฏิกิริยาในบรรยากาศได้ดี (Guenther, Karl et al. 2006) ข้อมูลสำคัญที่จะต้องนำเข้าแบบจำลอง MEGAN ได้แก่ สภาพอุตุนิยมวิทยาจากแบบจำลอง WRF ที่ผ่านแบบจำลอง MCIP ข้อมูล Leaf Area Index (LAI) จากข้อมูลดาวเทียม MODIS-MOD15A2 (Myneni et al, 2003) ข้อมูล Plant Functional Type (PFT) จากข้อมูลดาวเทียม MODIS-MOD12q1 C004 (Mark A. Friedl et al., 2010) กระบวนการจำลองแสดงดังรูปที่ 3.3



วิธีการศึกษา



รูปที่ 3.3 ระบบการจำลองด้วยแบบจำลอง MEGAN version 2.1

(<http://www.lar.wsu.edu/megan/index.html>)

3.4.3 แหล่งกำเนิดการเผาชีวมวล (Biomass burning emissions)

การศึกษาการแพร่กระจายของฝุ่นละอองขนาดเล็กจากการเผาในที่โล่งมีข้อมูลที่สำคัญและเป็นปัจจัยหลักของปัญหาคือการปล่อยจากการเผาในที่โล่งในพื้นที่ศึกษา ดังนั้นการวิจัยนี้จึงนำฐานข้อมูลการปล่อยฝุ่นละอองจาก FINN มาใช้จำลองความเข้มข้นของฝุ่นละอองในบรรยากาศ และนำข้อมูลจาก FINN มาปรับปรุงให้มีค่าการปล่อยที่เหมาะสมในพื้นที่การศึกษาด้วยข้อมูล Fire Radiative Power เพื่อความถูกต้องในการจำลองระดับความเข้มข้นฝุ่นละอองในบรรยากาศ

ฐานข้อมูล Fire INventory from NCAR (FINN) เป็นฐานข้อมูลการปล่อยมลพิษจากการเผาในที่โล่งที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้งานอย่างแพร่หลายสำหรับแบบจำลองคุณภาพอากาศเนื่องจากมีข้อมูลละเอียดเชิงพื้นที่สูงถึง 1 km² มีข้อมูลเป็นรายวัน มีจำนวนชนิดมลพิษหลายชนิดและจำแนกค่า NMOC ออกตาม chemical mechanisms ของ SAPRC99, GEOS-CHEM และ MOZART-4 ที่สามารถเลือกใช้ได้ตามความต้องการของแบบจำลองคุณภาพอากาศที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย อาทิเช่น WRF-CHEM (Hema Joshi et al., 2016) CMAQ (Hongliang Zhang et al., 2014) และ CAMX (B. de Foy et al., 2015) โดยฐานข้อมูล FINN คำนวณด้วย



วิธีการศึกษา

สมการดังต่อไปนี้

$$E_i = A(x,t) \times B(x) \times FB \times ef_i$$

โดยที่

E_i คือ ปริมาณการปล่อยมลพิษชนิด i

$A(x,t)$ คือ พื้นที่การเผาในพื้นที่ x และเวลา t

$B(x)$ คือ ปริมาณชีวมวลในพื้นที่ x

FB คือ สัดส่วนของปริมาณชีวมวลที่ถูกเผา

ef_i คือ สัดส่วนของปริมาณมลพิษที่ปล่อยกับปริมาณชีวมวลที่ถูกเผา

การจำลองการแพร่กระจายฝุ่นละอองขนาดเล็กด้วยแบบจำลองคุณภาพอากาศในหลายการศึกษาจำเป็นต้องมีการคัดเลือกหรือพัฒนาฐานข้อมูลให้มีความสอดคล้องกับบริบทของพื้นที่การศึกษาเพื่อให้ได้ค่าการจำลองที่ใกล้เคียงกับสภาพจริงมากที่สุด เช่นการศึกษาของที่มีการคัดเลือกฐานข้อมูลการปล่อยจากการเผาในที่โล่งในพื้นที่เอเชียจาก GFED และ FLAMBE โดยพบว่าฐานข้อมูล FLAMBE ให้ค่าความเข้มข้น CO เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลจากสถานีตรวจวัดใกล้เคียงกว่าจึงเลือกใช้ฐานข้อมูล FLAMBE วิจัย นอกจากนี้จากการศึกษาของ (Kan Huang et al., 2013) ที่ศึกษาเกี่ยวกับฐานข้อมูลการเผาในที่โล่งจำนวน 7 ฐานในพื้นที่แอฟริกาพบว่าแต่ละฐานข้อมูลให้ปริมาณการปล่อยที่แตกต่างกันอย่างมากเนื่องจากวิธีในการประมาณที่แตกต่างกันในแต่ละฐานข้อมูล (Zhang Feng et al., 2014) โดยวิธีการประมาณที่ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนแตกต่างกันมีปัจจัยหลักมาจากการคำนวณปริมาณชีวมวลที่ถูกเผาแตกต่างกันซึ่งมีบางการศึกษาได้พัฒนาวิธีการประมาณชีวมวลด้วยความสัมพันธ์ของค่า Fire Radiative Power กับปริมาณมวลที่ถูกเผา และค่าการปลดปล่อย (C. Ichoku and Y. J. Kaufman, 2005, A. K. Mebust et al., 2011, Martin J. Wooster, 2002) เนื่องจากค่า Fire Radiative Power บ่งบอกถึงสภาพการเกิดการเผาจริงในแต่ละจุดที่แตกต่างกันตามสภาพของอุตุนิยมวิทยา ลักษณะเชื้อเพลิง และลักษณะของพื้นที่ ฐานข้อมูล GFAS ถูกพัฒนาโดยการคำนวณด้วย Fire Radiative Power มีความละเอียดตามพื้นที่ 0.1 ดีกรี ความถี่ข้อมูลเป็นรายวัน แต่ให้ความละเอียดเชิงพื้นที่ และชนิดของมลพิษที่น้อยกว่า FINN งานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ฐานข้อมูล FINN สำหรับการจำลองการแพร่กระจายฝุ่นละอองขนาดเล็ก และพัฒนาข้อมูลโดยใช้ข้อมูล Fire Radiative Power เนื่องด้วยข้อจำกัดการคำนวณพื้นที่และปริมาณชีวมวลที่ถูกเผาด้วยวิธีของ



วิธีการศึกษา

FINN การศึกษานี้ได้พัฒนาการคำนวณการปล่อยมลพิษอากาศจากการเผาชีวมวลให้สอดคล้องกับปริมาณการเผาในแต่ละจุดความร้อน โดยใช้ข้อมูลกำลังไฟที่แผ่รังสีออกมาในแต่ละจุดความร้อน (Fire Radiative Power (FRP)) จากข้อมูล MODIS (C. Ichoku and Y. J. Kaufman, 2005)

ลักษณะของการเผาในที่โล่งจะมีการยกตัวของควัน (Plume rise) ที่มีความสูงแตกต่างกันในแต่ละครั้งที่เกิดการเผาตามลักษณะของอุตุนิยมวิทยาและสภาพการเผาในขณะนั้น การเตรียมข้อมูลการปล่อยมลพิษจึงออกแบบให้การเผาในที่โล่งมีการปล่อยแบบ 3 มิติตามความสูงของการยกตัวของควันซึ่งในบางครั้งอาจเกิดขึ้นในระดับสูง (Freitas, S. R., 2009) งานวิจัยนี้จึงได้คำนวณความสูงของควันโดยการพัฒนาแบบจำลอง Plume rise ของการเผาในที่โล่งอ้างอิงทฤษฎีตามหลักของ Air Sciences, 2005 โดยมีสูตร และค่าตัวแปรดังตารางที่ 3.3 และตารางที่ 3.4 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}) แสดงดังตารางที่ 3.1 และเวลาที่มีการเผา (BE_{hour}) แสดงดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.3 การแบ่งกลุ่มตัวแปรของการเกิด plume ตามขนาดของพื้นที่การเผา

กลุ่ม	พื้นที่การเผา (เฮกเตอร์ (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

วิธีการศึกษา

ตารางที่ 3.4 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
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

การจำลองการปล่อยมลพิษอากาศจากข้อมูลการเผาในที่โล่งจากฐานข้อมูล FINN และฐานข้อมูล FINN ที่ปรับปรุงด้วยข้อมูล FRP (FINN-FRP) จะถูกประมวลผลด้วยแบบจำลอง THEM สำหรับการจำลองด้วยฟังก์ชันเสริมการจำลองแบบ 3 มิติตามทฤษฎีข้างต้น และข้อมูลจะถูกผสานกับการปล่อยจากแหล่งกำเนิดอื่นสำหรับเป็นข้อมูลนำเข้าแบบจำลอง CMAQ ต่อไป



วิธีการศึกษา

3.5 แบบจำลอง CMAQ

การจำลองการแพร่กระจายฝุ่นละอองด้วยแบบจำลอง Community Multi-scale Air Quality version 4.7.1 (CMAQ) โดยเลือกใช้พารามิเตอร์ สำหรับการคำนวณกระบวนการในบรรยากาศแสดงดังตารางที่ 3.2 การจำลองการแพร่กระจายมลพิษอากาศตามแนวตั้งแบ่งเป็น 22 ชั้นความสูงจากระดับพื้นโลกถึงความสูงที่ระดับความดัน 50 mbar (ประมาณ 17 km) รายละเอียดดังตารางที่ 3.1 มีขอบเขตการศึกษาตามโดเมนที่ 2 และใช้ข้อมูลสภาพอุตุนิยมวิทยารายชั่วโมงจากแบบจำลอง WRF และเตรียมข้อมูลโดยแบบจำลอง Meteorology/Chemistry Interface Processor (MCIP) 3.4 สำหรับนำเข้าแบบจำลอง CMAQ ข้อมูลความเข้มข้นมลพิษเริ่มต้นและเงื่อนไขขอบเขต (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

3.6 การประเมินความถูกต้องแบบจำลอง (Model evaluation)

การประเมินความถูกต้องของการจำลองสภาพอุตุนิยมวิทยามลพิษอากาศ ใช้ค่าสถิติในการประเมินประสิทธิภาพของการจำลองพารามิเตอร์ทางอุตุนิยมวิทยาหลักที่เกี่ยวข้องกับการแพร่กระจายฝุ่นละอองได้แก่ อุดหนุนโดยพิจารณาถึง % อุดหนุนที่แบบจำลองและการตรวจวัดต่างกันไม่เกิน 2 องศา Factor of two สำหรับความเร็วลม และทิศทางลมโดยใช้ % ทิศทางลมที่แตกต่างกันไม่เกิน 45 องศา นอกจากนั้นยังเปรียบเทียบกับแผนภาพผลการจำลองอุตุนิยมวิทยากับแบบจำลอง The Modern Era Retrospective-Analysis for Research and Applications (MERRA) โดยได้ข้อมูลจาก NASA's Global Modeling and Assimilation Office แบบจำลองใช้ข้อมูลหลักนำเข้าจากข้อมูลดาวเทียม ที่ความละเอียดกริดเท่ากับ 0.5×0.667 องศา (Michele M. Rienecker et al., 2011)

การประเมินความถูกต้องของการจำลองฝุ่นละอองในบรรยากาศใช้ทั้งการเปรียบเทียบโดยรูปภาพ (Graphical comparison) โดยเปรียบเทียบแผนภาพค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอย (Aerosol Optical Depth (AOD) ที่ดาวเทียม TERRA ตรวจพบกับค่าที่คำนวณโดยใช้ผลจากแบบจำลอง CMAQ และเปรียบเทียบค่าความเข้มข้น PM₁₀ และ PM_{2.5} ระหว่างค่าจากแบบจำลอง CMAQ และค่าจากการตรวจวัดจากสถานีภาคพื้นดินในพื้นที่ภาคเหนือประเทศไทยและพื้นที่เกาะฮ่องกงด้วยกราฟอนุกรมเวลา (Time series plots) และ



วิธีการศึกษา

ค่าทางสถิติ ได้แก่ MNB (Mean Normalized Bias), MNE (Mean Normalized Gross Error), MFB (Mean Fractional Bias) MFE (Mean Fractional Gross Error), Correlation coefficient (r), IOA (Index of Agreement), และ Factor of two 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:

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

Mean Fractional Gross Error:

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

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:

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



วิธีการศึกษา

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	$\equiv$	ค่าจากแบบจำลอง
$\bar{M}$	$\equiv$	ค่าเฉลี่ยจากแบบจำลอง
N	$\equiv$	จำนวนข้อมูลทั้งหมด
O_i	$\equiv$	ค่าจากการตรวจวัด
$\bar{O}$	$\equiv$	ค่าเฉลี่ยจากการตรวจวัด
$N_{[0.5,2]}$	$\equiv$	จำนวนของข้อมูลที่มีค่าระหว่าง 0.5-2 เท่า

3.7 ข้อมูลตรวจวัด (Observations)

ข้อมูลการตรวจวัดในภูมิภาคนี้ใช้ข้อมูลหลักจากสถานีตรวจวัดภาคพื้นดินในการเฝ้าระวังระดับฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นมาตรฐานและการติดตามสภาพอากาศรายวัน นอกจากนี้ยังมีข้อมูลดาวเทียมที่แสดงข้อมูลความลึกเชิงแสงของฝุ่นละออง ข้อมูลเหล่านี้สามารถใช้วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของฝุ่นละอองและใช้เปรียบเทียบผลการจำลองแสดงรายละเอียดของข้อมูลดังหัวข้อต่อไปนี้

3.7.1 สถานีตรวจวัดภาคพื้นดิน (Surface stations)

ข้อมูลตรวจวัดระดับความเข้มข้นของ PM₁₀ PM_{2.5} และอนุภาคมิถาวิทยาจัดหาได้จากสถานีของกรมควบคุมมลพิษ (Pollution Control Department of Ministry Natural Resources and Environment of Thailand: PCD) ภายในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทยที่เป็นพื้นที่แหล่งกำเนิดหลักของการเผาในที่โล่ง และได้ข้อมูลจากสถานีตรวจวัดที่เกาะฮ่องกงจาก The Environmental Protection Department (EPD) of the Government of Hong Kong Special Administrative Region.

ข้อมูลสภาพอุตุนิยมวิทยาสำหรับเปรียบเทียบเลือกใช้ที่ความสูงห่างจากระดับพื้นผิวเนื่องจากการตรวจวัดที่ระดับต่ำได้รับอิทธิพลของความขรุขระของพื้นผิวและสิ่งก่อสร้างใกล้สถานีตรวจวัด ซึ่งแตกต่างจากค่าจากแบบจำลองที่เป็นค่าของผลลัพธ์ของสภาพอุตุนิยมวิทยาของพื้นที่ที่กริดขนาดใหญ่ จึงไม่เหมาะสมในการเปรียบเทียบกัน การศึกษานี้จึงเลือกใช้ข้อมูลจากเสาสูงระดับ 50 และ 100 เมตร ที่สถานีเสาสูง 100 เมตร ณ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ในการวิเคราะห์ (Surachai Sathitkunararat et al., 2008) พิกัดที่ตั้งรหัสและชื่อสถานีแสดงดังตารางที่ 3.5



วิธีการศึกษา

ตารางที่ 3.5 พิกัดสถานีตรวจวัดมลพิษอากาศและอุตุนิยมวิทยาภาคพื้นดิน

ID	สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศในภาคเหนือประเทศไทย	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	บริเวณอุทยานการเรียนรู้ภู่ว่านพะเยา	พะเยา	19.16	99.89
73	สำนักงานสาธารณสุขแม่สาย	เชียงราย	20.42	99.88
ID	สถานีตรวจวัดสภาพอากาศ (เสาสูง 100 เมตร)			
M1	มหาวิทยาลัยแม่โจ้	เชียงใหม่	18.89	99.01
ID	สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศในเกาะฮ่องกง			
HK1	Tap Mun	Tap Mun	22.47	114.36

3.7.2 ดาวเทียมตรวจวัด (Satellite observation)

ข้อมูลความลึกเชิงแสงของฝุ่นละออง (Aerosol optical depth, AOD) ความละเอียด 1 องศา หรือประมาณ 110 km² จัดหาได้จาก MOD04_L2 ที่ทำการสำรวจด้วยดาวเทียม TERRA แสดงให้เห็นความลึกเชิงแสงของอนุภาคแขวนลอยในอากาศเช่นฝุ่นละอองซึ่งเป็นการวัดค่าการส่งผ่านของรังสีดวงอาทิตย์ที่ส่องผ่านหมอกและฝุ่นละอองลงมายังพื้นโลก โดยปกติแล้วอนุภาคฝุ่นละอองที่กระจายในบรรยากาศจะมีคุณสมบัติขวางกั้นรังสีโดยการดูดกลืนและการสะท้อนของรังสีจากดวงอาทิตย์ ดังนั้นค่า AOD จึงสามารถบ่งบอกถึงการแพร่กระจายของหมอกควันได้ซึ่งสามารถใช้เปรียบเทียบกับผลการจำลองด้วยแบบจำลอง CMAQ แต่แบบจำลอง CMAQ ไม่ได้ให้ผลการคำนวณ AOD แต่สามารถคำนวณค่า AOD จากความเข้มข้นของฝุ่นละอองในระดับตามความสูงตามวิธีของ (Song C.H. et al 2008) โดยการคำนวณ AOD

วิธีการศึกษา

(T) จากการหาผลรวมค่า aerosol extinction coefficient (σ_{ext}) ในทุกระดับชั้นความสูง (Z) ดังสมการ

$$\tau = \int \sigma_{ext} \cdot dz$$

การคำนวณ σ_{ext} สามารถคำนวณได้ด้วยวิธีของ Malm et al. (1994) ด้วยสมการ

$$\sigma_{ext}(Mm^{-1}) = 3 \times f(RH) \times \{[(NH_4)_2SO_4] + [NH_4NO_3]\} + 4 \times [SOAs] + 10[BC] + 1 \times [fine - dust] + 0.6 \times [coarse - dust]$$

การคำนวณค่า hygroscopic growth factor หรือ $f(RH)$ จะมีค่าเปลี่ยนไปตามฤดูกาลขึ้นอยู่กับตัวแปร b_0 b_1 และ b_2 ดังตารางที่ 3.6 โดยใช้สมการดังนี้

$$f(RH) = b_0 + b_1 \left(\frac{1}{1 - RH} \right) + b_2 \left(\frac{1}{1 - RH} \right)^2$$

ตารางที่ 3.6 ค่าตัวแปรสำหรับการคำนวณ $f(RH)$ จากความสัมพันธ์ของค่าความชื้นสัมพัทธ์ในแต่ละฤดูกาล

	b0	b1	b2
Spring	-0.01097	0.78095	0.08015
Summer	-0.18614	0.99211	-
Fall	-0.24812	1.01865	0.01074
Winter	0.34603	0.81984	-
Annual	0.33713	0.58601	0.09164



ผลการศึกษา

บทที่ 4

ผลการศึกษา

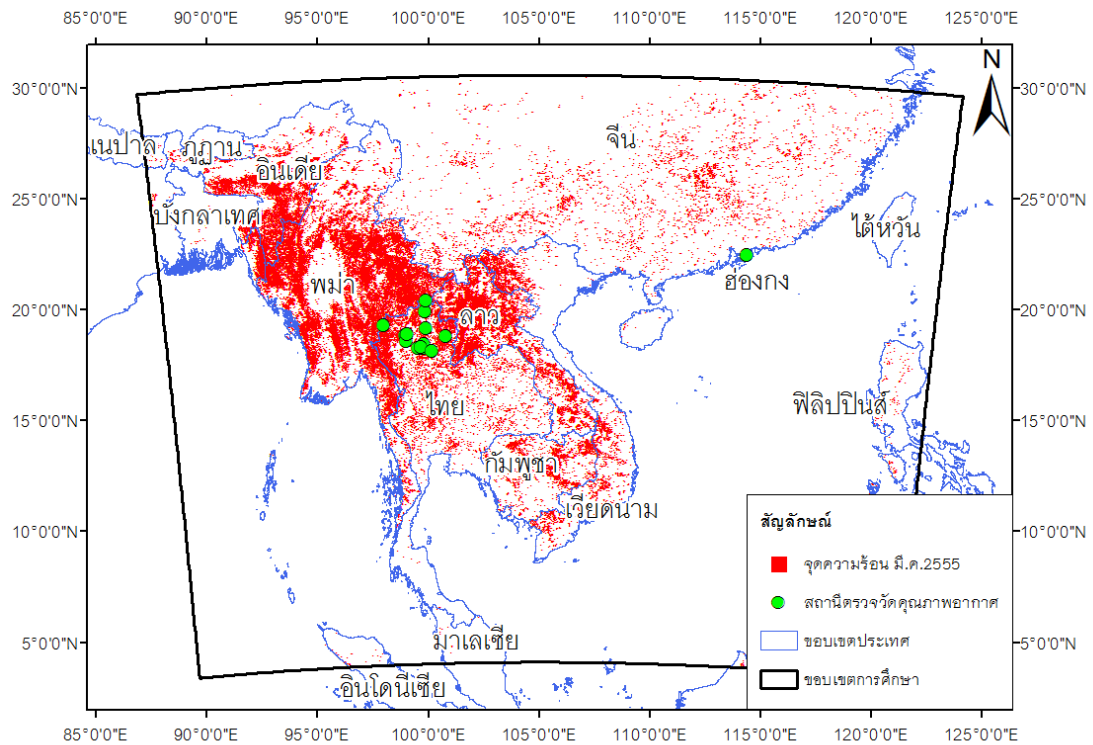
4.1 กรณีศึกษา

การเผาในที่โล่งมักพบในพื้นที่ป่าและพื้นที่การเกษตร มีสาเหตุมาจากการเผาโดยมนุษย์เพื่อวัตถุประสงค์ในการหาของป่า การบุกเบิกพื้นที่ป่าไม้ การจัดการพื้นที่การเกษตร สำหรับการทำการเกษตรในรอบใหม่ การเผาในที่โล่งเป็นสาเหตุหลักของการเกิดปัญหาฝุ่นละอองขนาดเล็กที่ส่งผลกระทบเป็นวงกว้างนำไปสู่ปัญหาหมอกควันข้ามแดน ฝุ่นขนาดเล็กสามารถแพร่กระจายในอากาศขึ้นไปในระดับสูง และพัดพาไปได้ไกลในระดับภูมิภาค ส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม การใช้ชีวิต และสุขภาพของประชาชนในพื้นที่รับผลกระทบเป็นอย่างมาก ในการศึกษาการแพร่กระจายหมอกควันจึงควรศึกษาให้ครอบคลุมถึงแหล่งกำเนิดในพื้นที่หลักที่มีการเผาในที่โล่ง การพัดพาและพื้นที่ผลกระทบจากทั้งแหล่งกำเนิดการเผาในที่โล่งภายในประเทศและจากประเทศข้างเคียง

สำหรับพื้นที่เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ตอนบนมักพบการเผาในที่โล่งจำนวนมากในช่วงฤดูร้อนของทุกปี โดยประเทศที่มีปริมาณการเผาмаกแสดงได้จากข้อมูลจุดความร้อนที่ตรวจพบโดยดาวเทียม TERRA และ AQUA ในช่วงเดือน กุมภาพันธ์ และ มีนาคม พ.ศ.2555 โดยความหนาแน่นของจำนวนจุดความร้อนพบบริเวณละติจูดที่ 10 ถึง 25 และลองจิจูดที่ 90 ถึง 110 ซึ่งเป็นพื้นที่บริเวณตอนบนของภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ดังแสดงในรูปที่ 4.1 ข้อมูลจุดความร้อนแต่ละประเทศในพื้นที่เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ตอนบนแสดงดังตารางที่ 4.1 จากข้อมูลดังกล่าวพบว่าประเทศที่มีปริมาณการเผามากที่สุดตามลำดับได้แก่ ประเทศพม่า ลาว อินเดีย ไทย จีน เวียดนาม กัมพูชา และบังคลาเทศ โดยประเทศเหล่านี้พบจุดความร้อนมากกว่า 2,000 จุด โดยประเทศที่พบจุดความร้อนมากที่สุดคือประเทศพม่าพบจุดความร้อนถึง 48,373 จุด คิดเป็นร้อยละ 44 ของจำนวนจุดความร้อนที่พบทั้งหมดในพื้นที่นี้ อันดับที่สองคือประเทศลาวพบจุดความร้อนถึงร้อยละ 17 และในพื้นที่ประเทศอินเดียบางส่วนร้อยละ 12 ตามลำดับ สำหรับประเทศไทยจำนวนจุดความร้อนพบมากเป็นลำดับที่สี่ มีจำนวนทั้งหมดเป็นร้อยละ 10 ของพื้นที่ทั้งหมด ดังนั้นขอบเขตพื้นที่ศึกษานี้จึงควรครอบคลุมถึงพื้นที่ที่มีปริมาณการเผามากในช่วงเวลาเดียวกัน สำหรับการศึกษาขอบเขตพื้นที่ศึกษาจึงครอบคลุมพื้นที่เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ตอนบนโดยแสดงดังรูปที่ 4.1



ผลการศึกษา



รูปที่ 4.1 ขอบเขตพื้นที่ศึกษา ตำแหน่งสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ และจุดความร้อนในพื้นที่เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ตอนบนช่วงเดือน มีนาคม พ.ศ.2555

สำหรับกรณีศึกษาเลือกช่วงเวลาที่มีปัญหาหมอกควันมีระดับฝุ่นละอองสูงและมีปริมาณการเผาไหม้ โดยการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยความเข้มข้น PM₁₀ รายเดือนช่วงเดือนฤดูแล้ง เดือนมกราคม-เมษายน ที่โดยทั่วไปพบปัญหาหมอกควัน ระยะเวลา 5 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2554 ถึง พ.ศ. 2558 จากข้อมูลตรวจวัดที่มีในพื้นที่ศึกษาของสถานีตรวจวัด 13 สถานีทั่วภาคเหนือตอนบนของประเทศไทยดังแสดงในรูปที่ 4.2 ซึ่งพบค่า PM₁₀ มีค่าเฉลี่ยสูงสุดในเดือน มีนาคม พ.ศ. 2555 สาเหตุความเข้มข้นฝุ่นละอองสูงในช่วงเดือนมีนาคมเนื่องจากการเผาชีวมวลในที่โล่ง ดังจะเห็นได้จากความสัมพันธ์ระหว่างระดับ PM₁₀ มีความสัมพันธ์อย่างชัดเจนกับปริมาณจำนวนจุดความร้อนจากข้อมูลดาวเทียม (ปฏิพัทธ์และคณะ, 2555) เมื่อวิเคราะห์จำนวนจุดความร้อนในเดือนมีนาคมปี พ.ศ. 2554-2558 ในพื้นที่ศึกษาดังแสดงในกราฟรูปที่ 4.3 พบจำนวนจุดความร้อน 47,222 110,655 102,547 100,085 และ 89,390 ตามลำดับ ซึ่งพบว่าปีที่มีจำนวนจุดความร้อนสูงที่สุดคือปี พ.ศ.2555 และปีที่มีจุดความร้อนน้อยที่สุดคือปี พ.ศ. 2554 โดยตลอดระยะเวลานี้มีค่าเฉลี่ยจุดความร้อนในเดือนมีนาคมเท่ากับ 89,980 จุด ดังนั้น การศึกษานี้จึงเลือกช่วงเดือน มีนาคม พ.ศ.2555 เป็นกรณีศึกษา



ผลการศึกษา

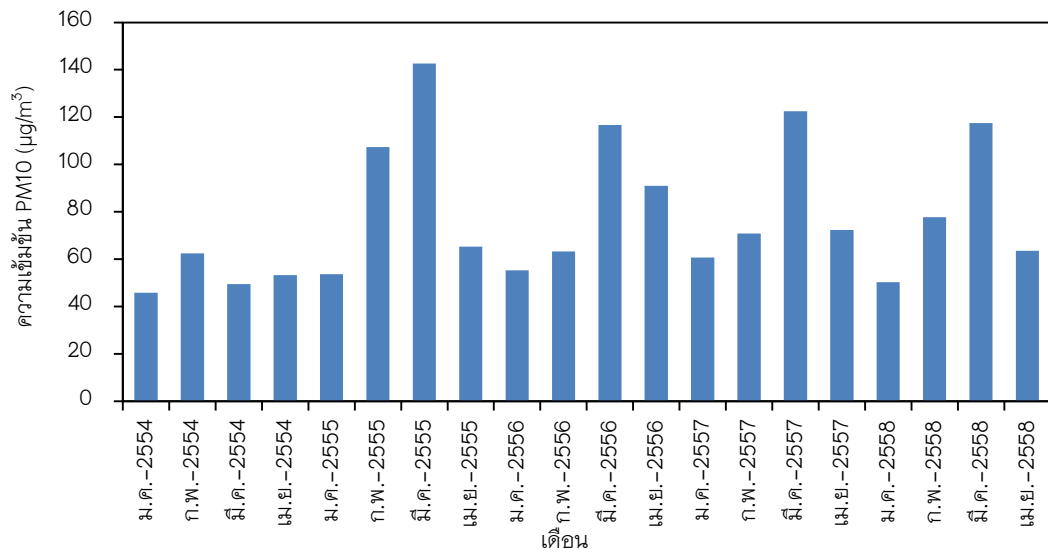
ตารางที่ 4.1 จำนวนจุดความร้อนของแต่ละประเทศในพื้นที่เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ตอนบน
เดือน มีนาคม พ.ศ.2555

ประเทศ	จำนวนจุดความร้อน	% สัดส่วนจำนวนจุดความร้อน
พม่า	48,373	43.7%
ลาว	19,046	17.2%
อินเดีย*	13,717	12.4%
ไทย	11,425	10.3%
จีน*	5,827	5.3%
เวียดนาม	4,910	4.4%
กัมพูชา	4,392	4.0%
บังกลาเทศ*	2,391	2.2%
ฟิลิปปินส์*	244	0.2%
ภูฏาน	117	0.1%
เนปาล*	76	0.1%
มาเลเซีย*	60	0.1%
อินโดนีเซีย*	56	0.1%
ไต้หวัน	21	0.0%
จุดความร้อนรวมทั้งหมด	110,655	100%

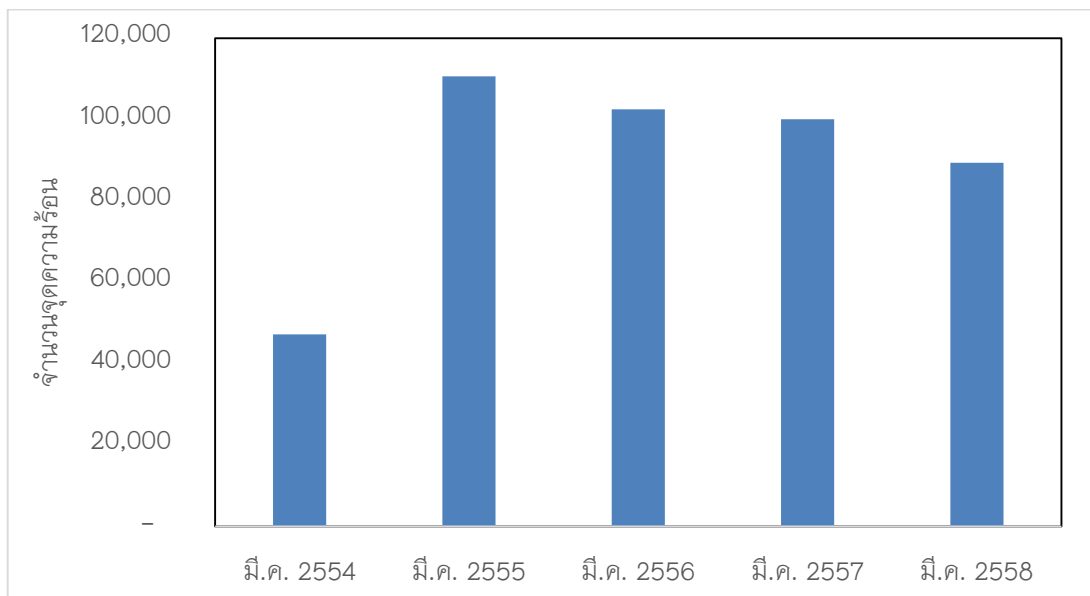
หมายเหตุ *เป็นข้อมูลจากพื้นที่บางส่วนของประเทศไม่ได้เป็นข้อมูลของทั้งประเทศ ข้อมูลเฉพาะในขอบเขตพื้นที่ศึกษานี้ ละติจูดที่ 10 ถึง 25 และลองจิจูดที่ 90 ถึง 110



ผลการศึกษา



รูปที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยความเข้มข้น PM10 รายเดือนในช่วงมกราคมถึงเมษายนปี พ.ศ. 2554-2558 ของภาคเหนือตอนบนประเทศไทย



รูปที่ 4.3 สถิติจำนวนจุดความร้อนในพื้นที่เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ตอนบนช่วงเดือน มีนาคม ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2554-2558



ผลการศึกษา

4.2 การจำลองสภาพอุตุนิยมวิทยา

การจำลองสภาพอุตุนิยมวิทยาเป็นขั้นตอนสำคัญที่จะทำให้ได้ข้อมูลอุตุนิยมวิทยามลพิษอากาศสำหรับเป็นข้อมูลนำเข้าแบบจำลองการแพร่กระจายของหมอกควัน โดยข้อมูลอุตุนิยมวิทยามีผลต่อกระบวนการเปลี่ยนแปลงระดับความเข้มข้นของฝุ่นละอองในบรรยากาศ โดยมีตัวแปรสำคัญได้แก่ อุณหภูมิ ความเร็วและทิศทางของลม แบบจำลองการแพร่กระจายฝุ่นละอองจึงต้องการข้อมูลอุตุนิยมวิทยาที่มีความถูกต้องสูง มีความละเอียดตามพื้นที่ ตามระดับความสูง ตามเวลา ซึ่งปัจจุบันยังเป็นข้อจำกัดของการตรวจวัด ข้อมูลดังกล่าวจึงสามารถจัดหาได้จากแบบจำลองสภาพอุตุนิยมวิทยา การจำลองสภาพอุตุนิยมวิทยาที่ให้ผลใกล้เคียงกับสภาพจริงจะทำให้การจำลองระดับของฝุ่นละอองมีความแม่นยำด้วย โดยการจำลองสภาพอุตุนิยมวิทยาจะถูกเปรียบเทียบ ความถูกต้องกับข้อมูลการตรวจวัดจริงที่ได้จากสถานีตรวจวัดภาคพื้น และเปรียบเทียบกับข้อมูลจากแบบจำลองอื่นที่น่าเชื่อถือ

เนื่องจากการเปรียบเทียบข้อมูลด้วยข้อมูลจากสถานีตรวจวัดภาคพื้นที่มีลักษณะข้อมูลเป็นพิกัดแบบจุดเดียวทำให้การเปรียบเทียบกับแบบจำลองที่มีลักษณะข้อมูลเฉลี่ยทั้งกริด (27 ตารางกิโลเมตร) อาจจะทำให้ผลที่คลาดเคลื่อนได้เนื่องจากภายในกริดขนาดใหญ่จะมีลักษณะของการไหลเวียนอากาศที่แตกต่างกันตามลักษณะของการใช้ที่ดินที่แตกต่างกัน ภูมิประเทศ และสิ่งกีดขวางตึกรามอาคารที่อยู่โดยรอบสถานีตรวจวัด ดังนั้นการวิจัยนี้จึงเลือกสถานีตรวจวัดจากกรมควบคุมมลพิษที่มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ พิกัด ลองจิจูด 99.01 ละติจูด 18.89 ที่มีข้อมูลตรวจวัดในระดับความสูง 50 เมตรและ 100 เมตร ซึ่งได้รับอิทธิพลของปัจจัยพื้นผิวน้อยกว่าสถานีตรวจวัดภาคพื้นดินอื่นที่มีในพื้นที่ศึกษา และได้ทำการควบคุมคุณภาพข้อมูลโดยการคัดกรองข้อมูลให้มีความครบถ้วนตั้งแต่ร้อยละ 75 ขึ้นไปจึงนำมาใช้วิเคราะห์ นอกจากนี้การวิจัยนี้ยังเปรียบเทียบกับแผนภาพผลการจำลองอุตุนิยมวิทยากับแบบจำลอง The Modern Era Retrospective–Analysis for Research and Applications (MERRA) ในเดือนเดียวกันโดยได้ข้อมูลจาก NASA’s Global Modeling and Assimilation Office โดยแบบจำลองนี้ใช้ข้อมูลนำเข้าหลักเป็นข้อมูลตรวจวัดจากดาวเทียม ผลการจำลองให้ความละเอียดกริดเท่ากับ 0.5×0.667 องศา ซึ่งนิยมใช้เปรียบเทียบกับผลการจำลองสภาพอุตุนิยมวิทยาในหลายๆการศึกษา (T. Amnuaylojaroen et al., 2014, Gaurav R. Govardhan et al., 2016)



ผลการศึกษา

4.2.1 ผลการจำลองอุณหภูมิ

ผลการจำลองอุณหภูมิอากาศในช่วงเดือนมีนาคมเปรียบเทียบกับข้อมูลจากสถานีตรวจวัดที่ระดับสูง 50 เมตรและ 100 เมตร ด้วยกราฟอนุกรมเวลาแสดงดังรูปที่ 4.4 ก. และ 4.4 ข. พบว่าแบบจำลองสามารถจำลองอุณหภูมิได้ใกล้เคียงกับค่าการตรวจวัด โดยอุณหภูมิของแบบจำลองมีค่าสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงรายวันโดยมีอุณหภูมิสูงในช่วงเวลากลางวันและลดต่ำในช่วงเวลากลางคืนจนถึงรุ่งเช้า และแสดงค่าสถิติดังตารางที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่าค่าเฉลี่ยของอุณหภูมिरายเดือนจากแบบจำลองมีค่าเท่ากับ 25.6 องศาเซลเซียส เท่ากันที่ระดับความสูง 50 และ 100 เมตร ซึ่งให้ค่าต่ำกว่าค่าเฉลี่ยรายเดือนของการตรวจวัดด้วยสถานีที่มีค่าเท่ากับ 27.5 และ 27.2 องศาเซลเซียส ที่ระดับความสูง 50 และ 100 เมตรตามลำดับ การจำลองอุณหภูมิในแต่ละชั่วโมงมีแนวโน้มใกล้เคียงกัน ที่ระดับความสูงที่ 100 เมตรให้ผลการจำลองที่ดีกว่าโดยสามารถจำลองอุณหภูมิที่แตกต่างกันไม่เกิน 2 องศาเซลเซียสได้ถึง 56.3 % ในขณะที่ระดับ 50 เมตรสามารถจำลองได้น้อยกว่าเล็กน้อย 49.0 % อาจเนื่องจากที่ระดับสูงได้รับอิทธิพลปัจจัยพื้นผิวใกล้เคียงสถานีตรวจวัดที่น้อยกว่า จึงสามารถจำลองได้ผลที่ดีกว่าในระดับต่ำกว่า

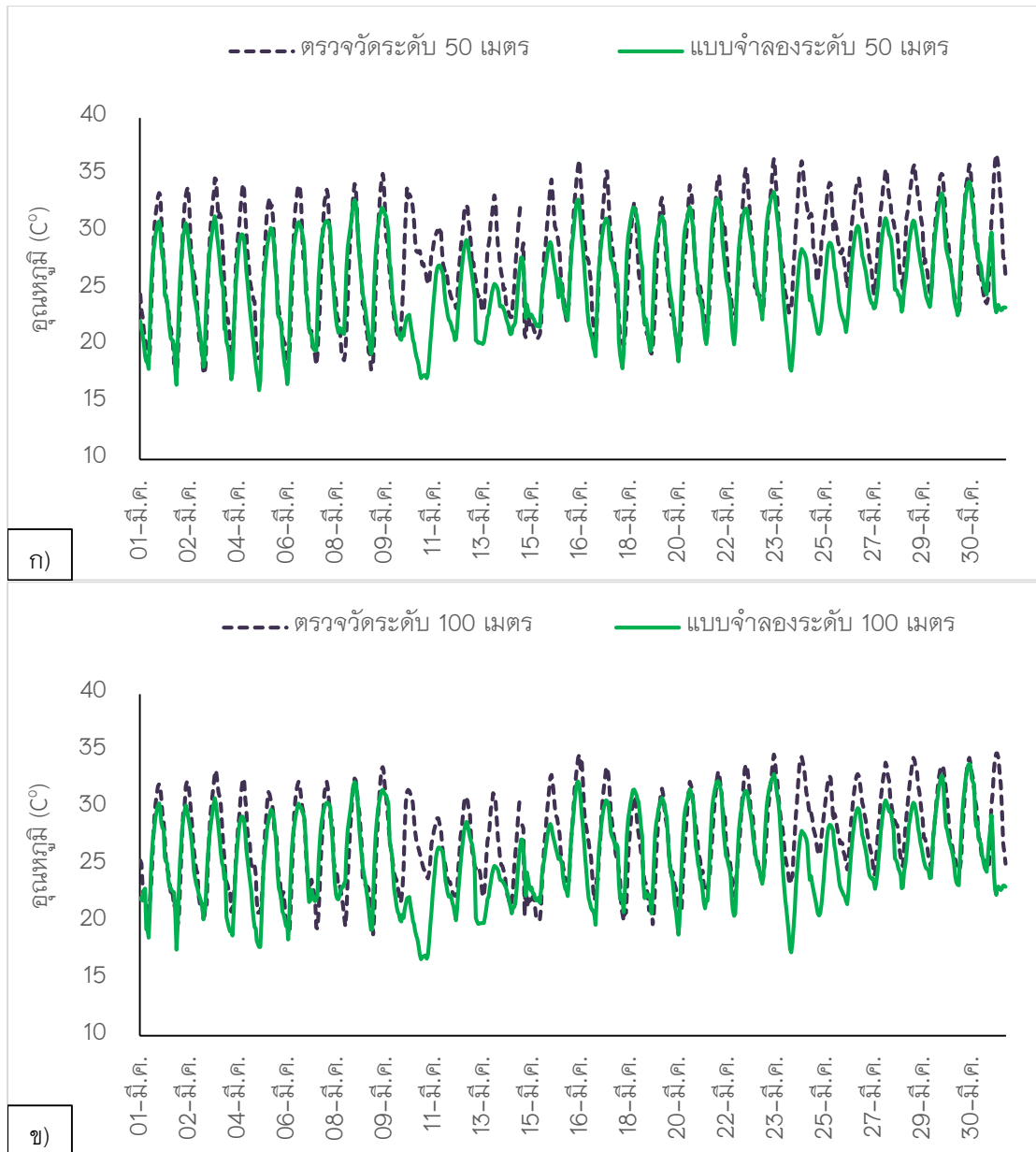
นอกจากนั้นผลการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในระดับพื้นผิวของทั้งขอบเขตการศึกษาจากค่าเฉลี่ยอุณหภูมิในเดือนมีนาคม โดยเทียบกับผลการจำลองจากแบบจำลอง MERRA แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิมิมีการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่สอดคล้องกับการจำลองในงานวิจัยนี้ โดยพื้นที่ตอนบนของภูมิภาคบริเวณประเทศจีนในช่วงนี้มีอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำกว่า 15 องศาเซลเซียส และบริเวณละติจูดที่ 20 ลงมามีอุณหภูมิที่สูงขึ้นที่ 20 ถึง 35 องศาเซลเซียส แสดงดังรูปที่ 4.5

ตารางที่ 4.2 สถิติผลการจำลองอุณหภูมิจากแบบจำลอง WRF เปรียบเทียบกับข้อมูลการตรวจวัด ณ สถานีตรวจวัดบริเวณมหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่

อุณหภูมิ (°C)	ระดับ 50 เมตร	ระดับ 100 เมตร
ค่าเฉลี่ยจากแบบจำลอง	25.6	25.6
ค่าเฉลี่ยจากการตรวจวัด	27.5	27.2
% อุณหภูมิที่ต่างกันไม่เกิน 2 องศา	49.0	56.3



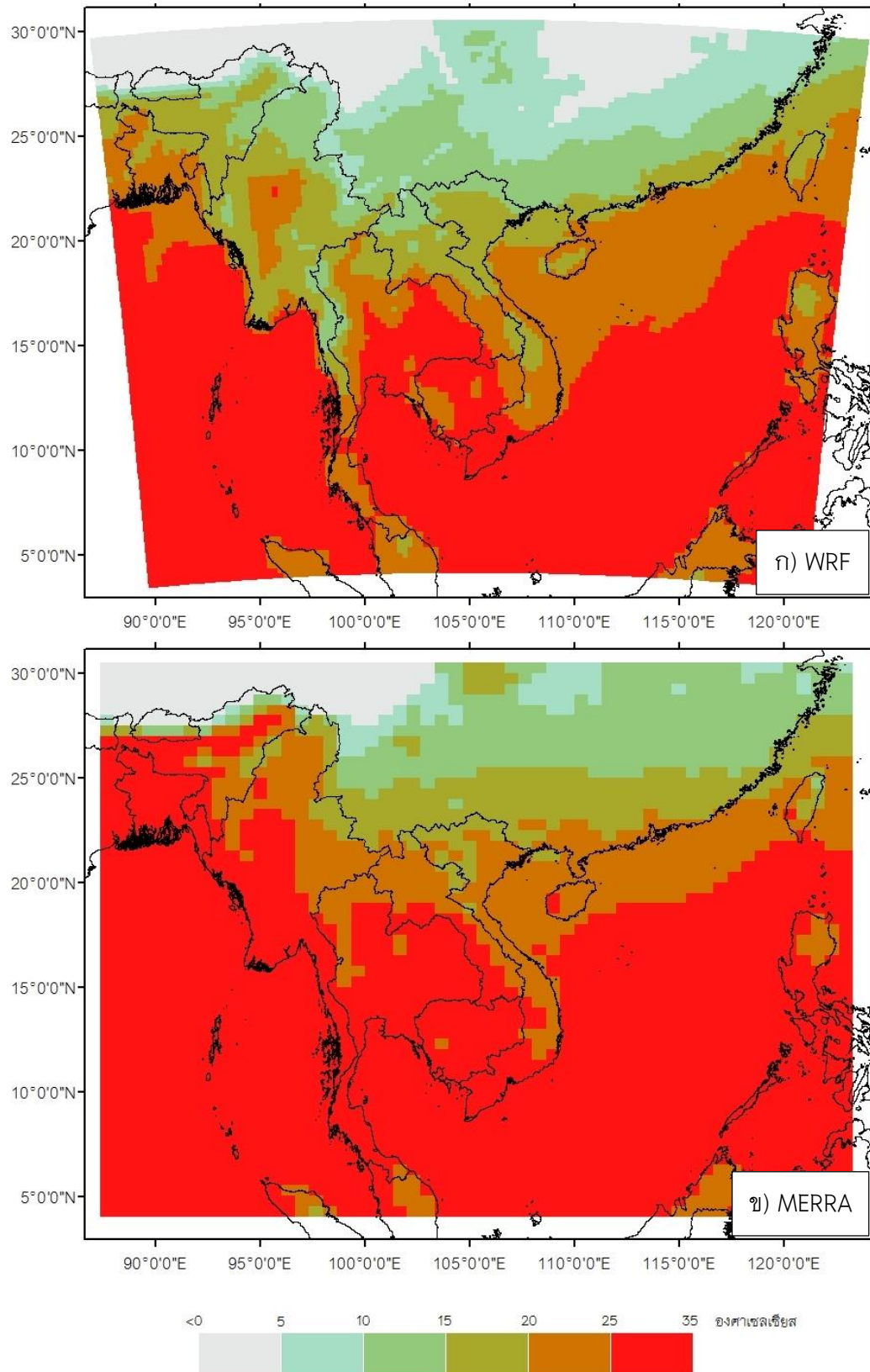
ผลการศึกษา



รูปที่ 4.4 กราฟเปรียบเทียบผลการจำลองและการตรวจวัดอุณหภูมิรายชั่วโมงที่ระดับความสูง 50 และ 100 เมตร ณ ตำแหน่งสถานีตรวจวัดบริเวณมหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัด เชียงใหม่



ผลการศึกษา



รูปที่ 4.5 เปรียบเทียบผลการจำลองอนุภาคฝุ่นละอองในเดือนมีนาคมจากแบบจำลอง WRF และแบบจำลอง MERRA ที่ระดับความสูง 2 เมตร

การจำลองความเข้มข้นฝุ่นละอองในบรรยากาศในช่วงเหตุการณ์มลพิษอากาศรุนแรงในภาคเหนือตอนบน

ด้วยแบบจำลองสามมิติ Chemical Transport Model



ผลการศึกษา

4.2.2 ผลการจำลองความเร็วลมและทิศทางลม

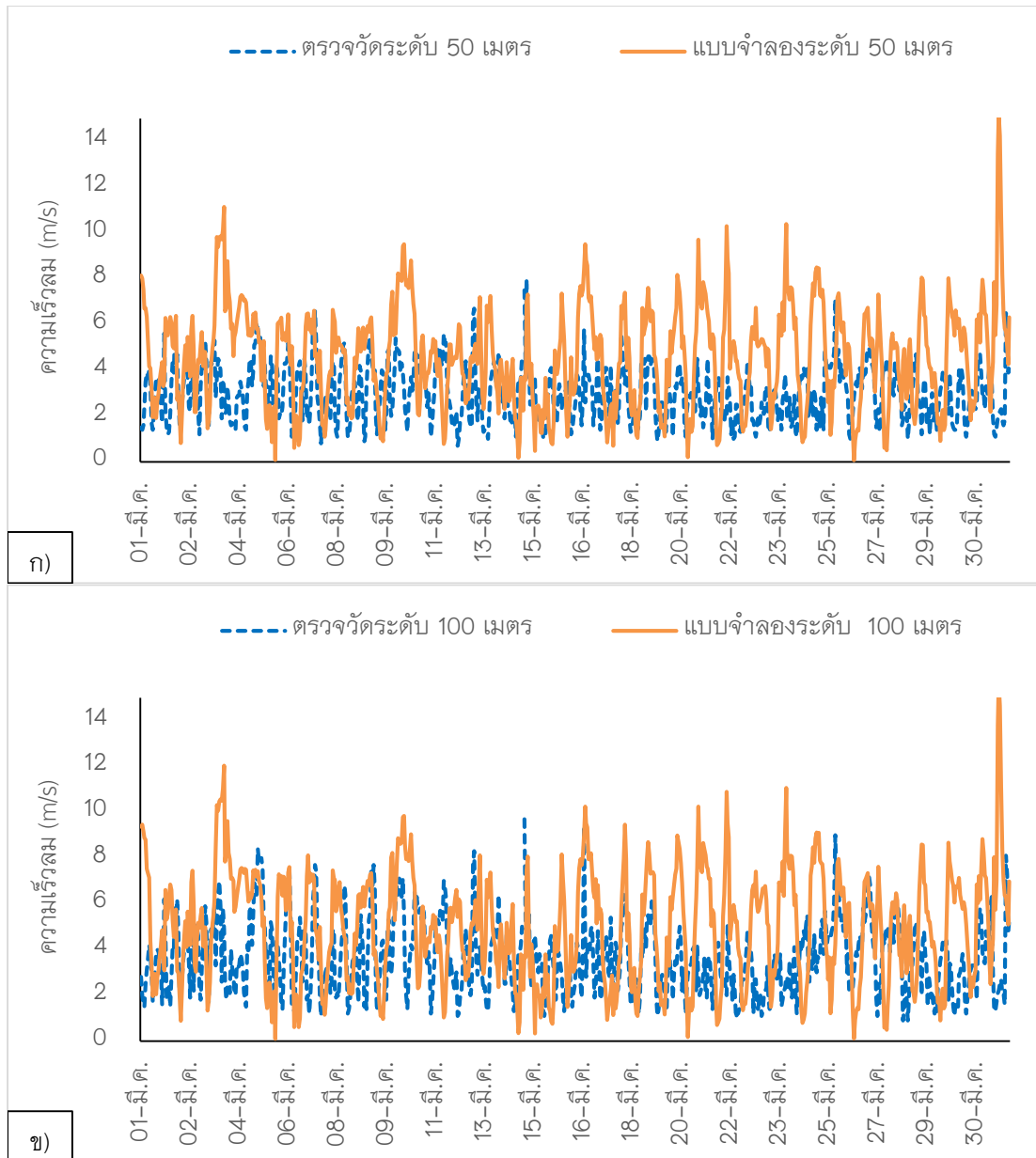
ผลการจำลองความเร็วลมจากแบบจำลองเมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลตรวจวัดจากสถานีแสดงให้เห็นว่าความเร็วลมมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงตามรอบวันโดยลมจะมีความเร็วสูงในช่วงเวลากลางวันและมีความเร็วต่ำในช่วงเวลากลางคืนแสดงดังรูปที่ 4.6 อย่างไรก็ตามความเร็วลมจากแบบจำลองโดยภาพรวมมีค่าสูงกว่าข้อมูลจากการตรวจวัด ทั้งนี้เนื่องจากแบบจำลองมีวิธีในการจำลองแบบกริดซึ่งผลจากการคำนวณจะให้ค่าเฉลี่ยของทั้งพื้นที่โดยงานวิจัยนี้มีขนาดความละเอียดที่ 27×27 ตารางกิโลเมตร จึงไม่สามารถคำนวณอิทธิพลของสภาพพื้นที่และการตรวจวัดจากสถานีที่เป็นข้อมูลแบบจุดได้ เช่น ในพื้นที่ที่สถานีมีชุมชนหนาแน่น ล้อมรอบไปด้วยตึกอาคาร ความเร็วลมจะได้รับอิทธิพลจากแรงเสียดทานภายในพื้นที่รอบสถานีตรวจวัด หากพิจารณาการเปลี่ยนแปลงตามเวลาจากข้อมูลการตรวจวัดจะเห็นได้ว่าความเร็วลมมีการเปลี่ยนแปลงสูง ทั้งนี้เนื่องจากในช่วงกรณีศึกษาความเร็วลมส่วนใหญ่เป็นลมเบา (Light wind (< 1.5 เมตร/วินาที)) ลมมีความปั่นป่วนสูง (Hanna S.R. 2001) สภาพพื้นที่มีอิทธิพลต่อลมสูง ดังนั้นเพื่อลดอิทธิพลดังกล่าวการศึกษาจึงเลือกใช้ข้อมูลจากสถานีภาคพื้นที่ยามหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ ที่สามารถตรวจวัดในระดับสูงที่ 50 เมตรและ 100 เมตร จากการประเมินความถูกต้องของการจำลองลม พบว่าค่าเฉลี่ยจากการจำลองให้ความเร็วลมที่ระดับ 50 เมตรเท่ากับ 4.60 เมตรต่อวินาที และที่ระดับ 100 เมตรเท่ากับ 5.03 เมตรต่อวินาที ซึ่งเร็วกว่าค่าจากการตรวจวัดซึ่งมีค่าเท่ากับ 3.00 และ 3.64 เมตรต่อวินาทีที่ระดับความสูง 50 และ 100 เมตร ตามลำดับ การจำลองความเร็วลมในระดับนี้ให้ผลสอดคล้องกับค่าจากการตรวจวัด โดยมีค่าผลการจำลองความเร็วลมมีค่าแตกต่างกันไม่เกินสองเท่าระหว่างค่าจากแบบจำลองและค่าจากการตรวจวัดเท่ากับ 58% และ 59% สำหรับที่ระดับความสูง 50 และ 100 เมตรตามลำดับ ค่าสถิติผลการจำลองความเร็วและทิศทางลมเปรียบเทียบกับข้อมูลการตรวจวัดแสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 สถิติการจำลองความเร็วและทิศทางลมเปรียบเทียบกับข้อมูลการตรวจวัด

ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)	ระดับ 50 เมตร	ระดับ 100 เมตร
ค่าเฉลี่ยแบบจำลอง	4.60	5.03
ค่าเฉลี่ยตรวจวัด	3.00	3.64
Factor of two	58%	59%
ทิศทางลม	ระดับ 50 เมตร	ระดับ 100 เมตร
% ทิศทางลมที่ต่างกันไม่เกิน 45 องศา	41%	41%



ผลการศึกษา



รูปที่ 4.6 กราฟเปรียบเทียบผลการจำลองและการตรวจวัดความเร็วลมรายชั่วโมงที่ระดับความสูง 50 และ 100 เมตร



ผลการศึกษา

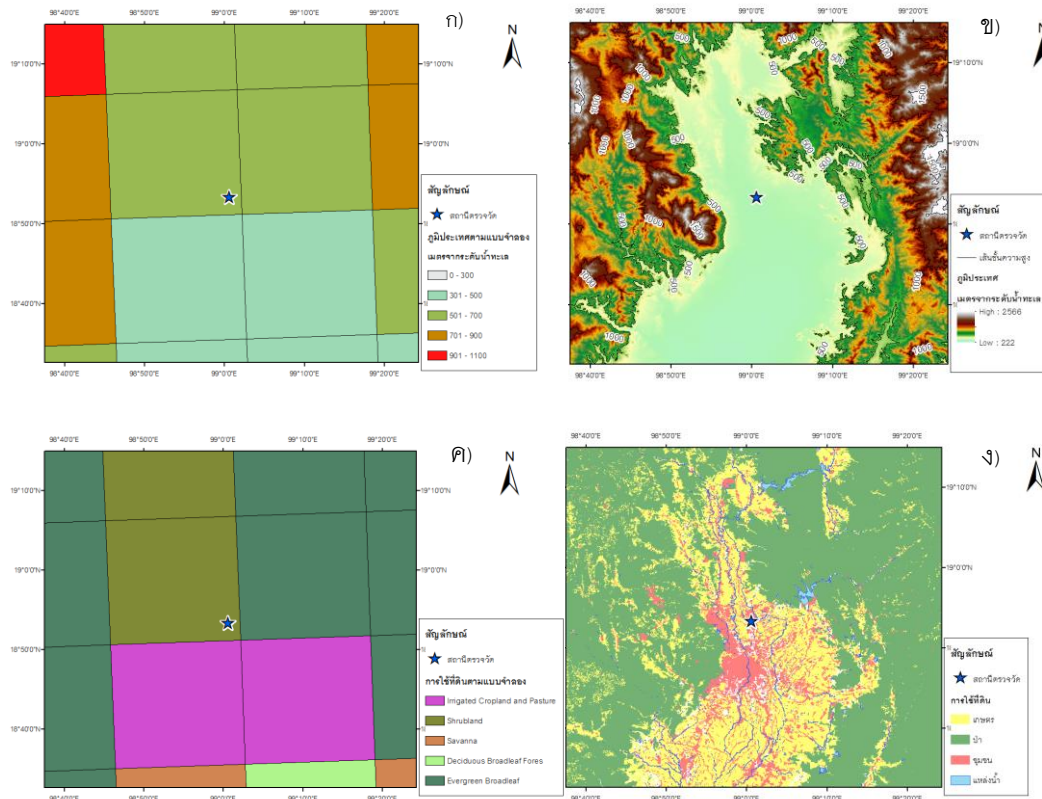
ตารางที่ 4.3 แสดงผลการจำลองทิศทางลมจากแบบจำลองพบว่าทิศทางลมแตกต่างจากข้อมูลตรวจวัดไม่เกิน 45° ที่ระดับ 50 และ 100 เมตรเท่ากันที่ 41% ทิศทางที่แตกต่างกันในบางเวลาอาจเนื่องจาก ทิศทางลมจากแบบจำลองเป็นข้อมูลค่าเฉลี่ยในพื้นที่กริด 27 กิโลเมตร แต่การตรวจวัดเป็นการตรวจวัดเป็นจุด (Point measurement) ลมภายในพื้นที่กริดของแบบจำลองที่มีพื้นที่ขนาดใหญ่พอสมควร อาจมีการเปลี่ยนแปลงทิศทางลมตามพื้นที่ เนื่องจากอิทธิพลของสภาพพื้นที่ศึกษามีลักษณะภูมิประเทศส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ภูมิประเทศซับซ้อน (Complex terrain) พื้นที่ตั้งจุดตรวจวัดอยู่ในพื้นที่ที่ล้อมรอบด้วยภูเขาสูงสลับซับซ้อนแต่ขนาดของกริดแบบจำลองมีขนาดใหญ่ 27 กิโลเมตร ภูมิประเทศที่จำลองมีความละเอียดน้อยดังแสดงในรูปที่ 4.7(ก)–4.7(ข) จึงทำให้ไม่ได้คำนวณอิทธิพลของภูมิประเทศครอบคลุมลักษณะของพื้นที่จริงบางส่วนไป และความแตกต่างของชนิดพื้นที่ปกคลุม (Land cover) ระหว่างพื้นที่จริงกับแบบจำลองดังแสดงในรูปที่ 4.7(ค)–4.7(ง) แบบจำลองมีชนิดพื้นที่เป็นไม้พุ่ม (Shrub land) แต่พื้นที่จริงส่วนใหญ่เป็นพื้นที่เกษตรและตัวเมือง ลักษณะของพื้นที่ที่ต่างกัน ปัจจัยที่ใช้ในการคำนวณไม่สอดคล้องกับลักษณะของพื้นที่จริง ทั้งความขรุขระของพื้นที่ (Surface roughness) คุณลักษณะในการถ่ายเทพลังงาน อีกทั้งพื้นที่ตั้งจุดตรวจวัดเป็นตัวเมืองอาจมีการกีดขวางการไหลเวียนอากาศจาก อาคาร สิ่งก่อสร้าง รอบ สถานีตรวจวัด และลมช่วงที่ศึกษาส่วนใหญ่เป็นลมเบา ซึ่งโดยทั่วไปลมเบาจะมีการเปลี่ยนแปลงทิศทางสูง มีการเคลื่อนที่เนื่องจากความปั่นป่วน (Turbulent motions) ซึ่งอาจมีขนาดใกล้เคียงกับการเคลื่อนที่ของความเร็วลม ดังนั้นทิศทางลมจึงมีการเปลี่ยนแปลงสูง (Kumar, A. 2006; Hanna, S.R. 2001)

การเปรียบเทียบผลการจำลองความเร็วและทิศทางลมของแบบจำลอง WRF กับแบบจำลอง MERRA ดังแสดงในรูปที่ 4.8 จากการเปรียบเทียบจะเห็นว่าแบบจำลองสามารถจำลองได้สอดคล้องกัน โดยทิศทางการพัดพาของลมบริเวณที่ราบสูงทิเบตและพื้นที่ทะเลทรายของจีนมีความเร็วลมสูงพัดไปทางทิศตะวันออกนอกจากนั้นความเร็วลมที่สูงมักจะพบในพื้นที่ทะเลด้วยเช่นกันเนื่องจากพื้นที่ทั้งสองมีลักษณะภูมิประเทศแบบราบเรียบทำให้ความเร็วลมสูงและพัดไปในทิศทางเดียวกันอย่างชัดเจนโดยทิศทางการเคลื่อนที่ของลมทะเลในฝั่งทะเลจีนใต้พัดเข้าหาฝั่งแผ่นดินใหญ่ทางทิศตะวันออก และทะเลฝั่งมหาสมุทรอินเดียพัดไปทางทิศตะวันออกเข้าทางทิศตะวันตกของประเทศไทย ส่วนบริเวณภูมิภาคที่เป็นแผ่นดินความเร็วลมจะต่ำเนื่องจากความขรุขระของพื้นที่ นอกจากนั้นบริเวณพื้นที่ที่พบจุดความร้อนจำนวนมากในพื้นที่ทางตอนบนของภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ดังแสดงในรูปที่ 4.1 ลมส่วนใหญ่พัดไปทางทิศเหนือ และทิศตะวันออกเฉียงเหนือโดยมีความเร็วลมเบาที่มีทิศทางการเคลื่อนที่ปั่นป่วน



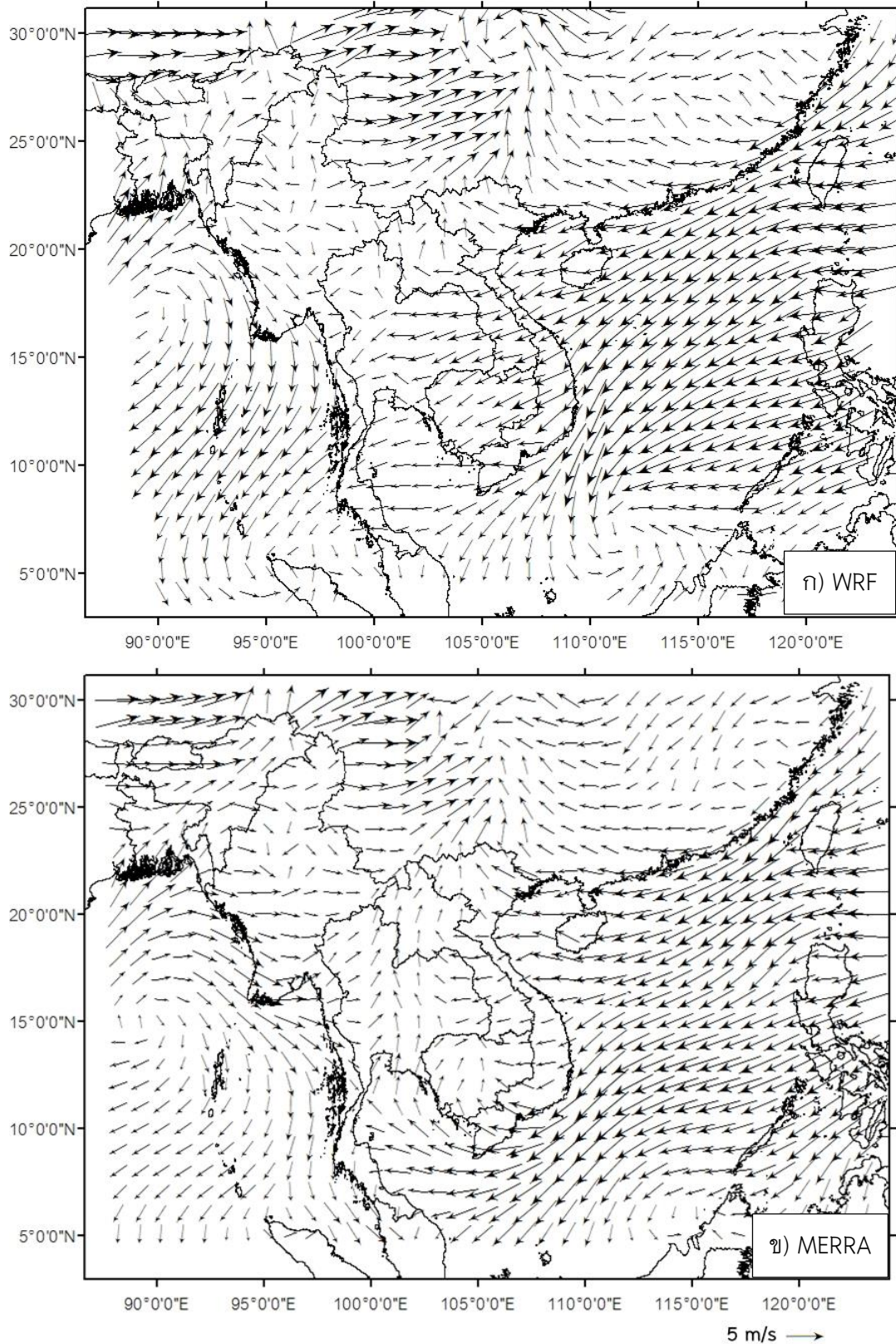
ผลการศึกษา

อันเนื่องมาจากสภาพพื้นที่เป็นแบบภูเขาสลับซับซ้อนทำให้การจำลองทิศทางและความเร็วในพื้นที่นี้มีความคลาดเคลื่อนสูงมากกว่าพื้นที่อื่น



รูปที่ 4.7 ก) แผนที่สภาพภูมิประเทศของการจำลองด้วยแบบจำลอง WRF ที่ความละเอียดกริด 27 กิโลเมตร ข) แผนที่สภาพภูมิประเทศความละเอียด 30 เมตร (อนุสรณ์ จันทนโรจน์, 2542) ค) แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินจากแบบจำลอง WRF ที่ความละเอียดกริด 27 กิโลเมตร ง) แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินของกรมพัฒนาที่ดิน บริเวณสถานีตรวจวัดแม่ใจ จ.เชียงใหม่

ผลการศึกษา



รูปที่ 4.8 เปรียบเทียบผลการจำลองความเร็วและทิศทางลมเฉลี่ยเดือนมีนาคมจากแบบจำลอง WRF และแบบจำลอง MERRA ที่ระดับความสูง 2 เมตร

การจำลองความเข้มข้นฝุ่นละอองในบรรยากาศในช่วงเหตุการณ์มลพิษอากาศรุนแรงในภาคเหนือตอนบน

ด้วยแบบจำลองสามมิติ Chemical Transport Model



ผลการศึกษา

4.3 การจำลองการแพร่กระจายฝุ่นละอองช่วงที่มีปัญหาหมอกควัน

4.3.1 ผลการจำลองการแพร่กระจายฝุ่นละอองโดยใช้ข้อมูลการปล่อยมลพิษอากาศจากเผาในที่โล่งจาก FINN

การจำลองการแพร่กระจายมลพิษอากาศช่วงที่มีปัญหาหมอกควันสูงจำลองโดยใช้ข้อมูลการปล่อยมลพิษอากาศจากการเผาในที่โล่งด้วยข้อมูล Fire INventory of NCAR (FINN) และได้มีการประเมินความถูกต้องของการจำลองฝุ่นละอองโดยนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลตรวจวัดฝุ่นละอองที่มีในพื้นที่ศึกษา ผลการเปรียบเทียบด้วยกราฟอนุกรมเวลาระหว่างผลการจำลองฝุ่นละออง PM₁₀, PM_{2.5} และข้อมูลตรวจวัดในประเทศไทยและเกาะฮ่องกงแสดงในรูปที่ 4.9 ถึง 4.10 และค่าสถิติประเมินความถูกต้องของการจำลอง PM₁₀ และ PM_{2.5} ด้วยข้อมูลการปล่อยมลพิษอากาศจากการเผาในที่โล่งของ FINN แสดงในตารางที่ 4.4 จากผลการเปรียบเทียบการจำลองฝุ่นละอองในประเทศไทยจะเห็นได้ว่าผลการจำลองมีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงตามเวลาไปในทิศทางเดียวกันโดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างค่าจากแบบจำลองและค่าตรวจวัดเท่ากับ 0.67 และ 0.58 สำหรับ PM₁₀ และ PM_{2.5} ตามลำดับ แต่ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กจากแบบจำลองที่ใช้ข้อมูล FINN มีค่าสูงกว่าค่าตรวจวัดพอสมควร ดังจะเห็นได้จากกราฟในรูปที่ 4.4 โดยค่าเฉลี่ยรายเดือนในพื้นที่ภาคเหนือประเทศไทยจากแบบจำลองมีค่า PM₁₀ เท่ากับ 312 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ในขณะที่ค่าจากการตรวจวัดมีค่าเพียง 143 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ คิดเป็นค่าจากแบบจำลองมีค่าสูงกว่าค่าตรวจวัดถึง 2.2 เท่า และค่าจากแบบจำลอง ณ สถานีตรวจวัดในจังหวัดเชียงใหม่ มีค่าเฉลี่ย PM_{2.5} รายเดือนเท่ากับ 238 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ในขณะที่ค่าจากการตรวจวัดมีค่าเพียง 77 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ คิดเป็นค่าจากแบบจำลองมีค่าสูงกว่าค่าตรวจวัดถึง 3.1 เท่า และเมื่อพิจารณาความเข้มข้นฝุ่นละอองจากการจำลองโดยแหล่งกำเนิดหลักอื่นโดยไม่ได้ใส่แหล่งกำเนิดจากการเผาในที่โล่งพบว่ามีความเข้มข้นฝุ่นละอองในพื้นที่ภาคเหนือประเทศไทยน้อยมากมีค่าเฉลี่ย PM₁₀ เพียง 9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ดังนั้นค่าปริมาณฝุ่นละอองจากการจำลองที่มีค่าสูงมากมาจากการสาเหตุหลักคือปริมาณการปล่อยมลพิษอากาศจากการเผาในที่โล่งที่มีการประมาณของฐานข้อมูล FINN ที่มีค่าสูงมากเกินไป ซึ่งมีวิธีประมาณการระบายโดยใช้ข้อมูลจุดความร้อนจากดาวเทียม ประมาณการปล่อยมลพิษอากาศโดยประมาณค่าพื้นที่ที่ถูกเผาโดยทั่วไปให้แต่ละจุดความร้อนมีพื้นที่ถูกเผา 1 ตร.กม. คิดเป็นพื้นที่มากที่สุดตามความละเอียดของดาวเทียม ยกเว้นพื้นที่ที่เป็นหญ้าให้มีพื้นที่การเผา 0.75 ตร.กม. และมีการประมาณเพิ่มเติมโดยข้อมูลสัดส่วนพื้นที่ป่า เช่น ถ้าเป็นพื้นที่ป่ามีสัดส่วนพื้นที่ป่า 50% พื้นที่เผาจะมีปริมาณ 0.5 ตร.กม. การประมาณด้วยวิธีนี้สำหรับในพื้นที่เอเชียตะวันออกเฉียงใต้อาจมีค่าที่ไม่เหมาะสมและมีค่าพื้นที่เผาที่สูงเกินจริง นอกจากนี้ยังมีความคลาดเคลื่อนจากการประมาณ



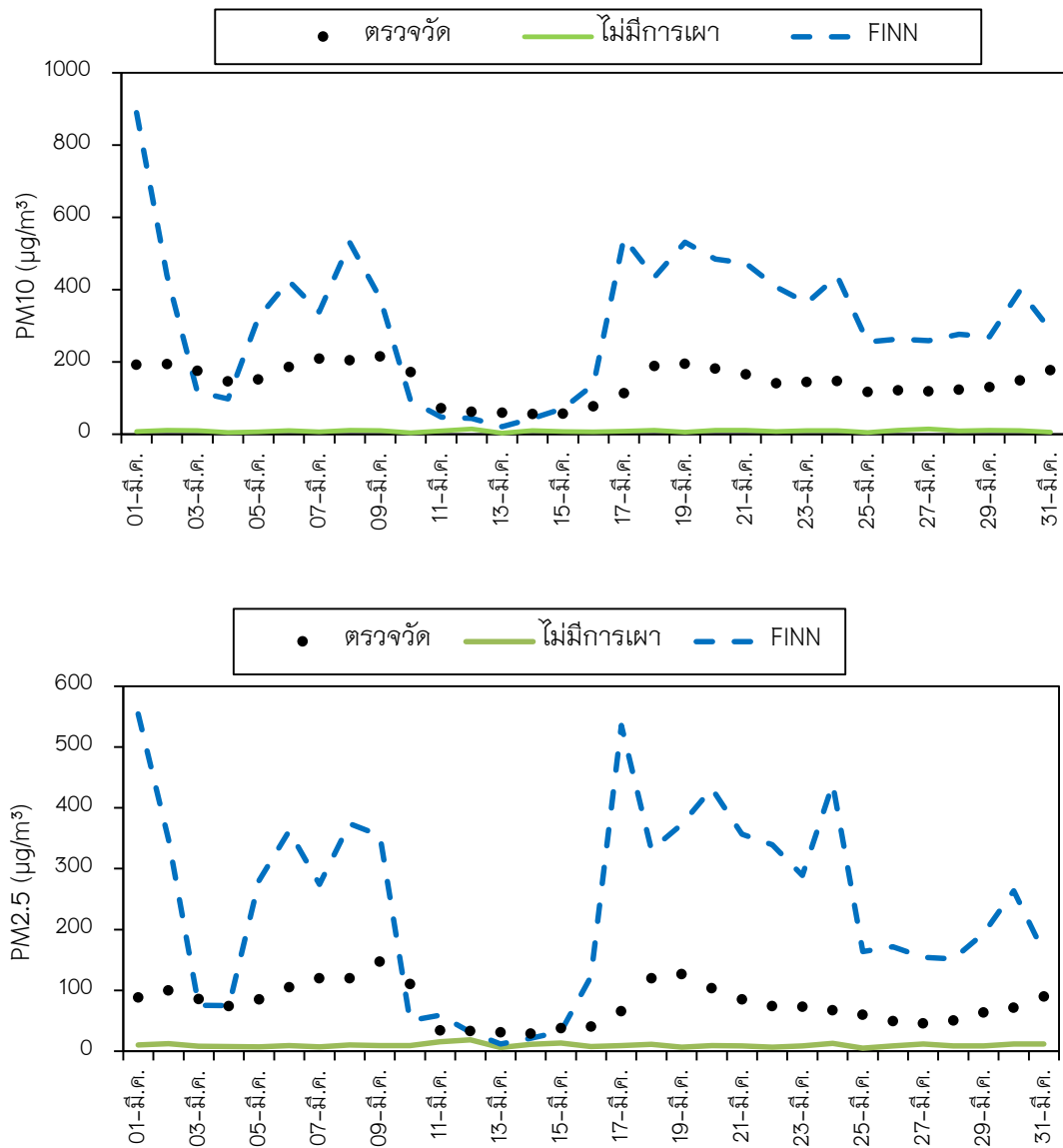
ผลการศึกษา

ปริมาณชีวมวลในแต่ละชนิดพื้นที่ สัดส่วนที่ชีวมวลถูกเผา และปัจจัยการระบาย (Emission Factors) การศึกษานี้จึงมีแนวคิดพัฒนาการคำนวณการปล่อยมลพิษอากาศโดยการปรับปรุงข้อมูลด้วย ข้อมูลกำลังแผ่รังสีของไฟ (Fire Radiative Power: FRW) ซึ่งเป็นข้อมูลกำลังไฟของแต่ละจุดความร้อน เพื่อให้การประมาณการปล่อยสอดคล้องกับปริมาณการเผาในแต่ละจุด โดยใช้ค่ากำลังไฟมาปรับปรุงดังรายละเอียดในหัวข้อ 4.3.2

สำหรับผลการจำลองความเข้มข้นฝุ่นละอองในพื้นที่เมืองฮองกงซึ่งอยู่ในพื้นที่ห่างจากพื้นที่ที่พบจุดความร้อนหนาแน่นประมาณ 500 กม. ไปทางตะวันออกดังแสดงในรูปที่ 4.1 ผลการจำลองพบว่าโดยทั่วไปความเข้มข้นฝุ่นละอองจากการจำลองและข้อมูลตรวจวัดมีค่าสอดคล้องกัน มีค่าใกล้เคียงกันดังจะเห็นได้จากรูปที่ 4.10 ค่าเฉลี่ย PM₁₀ จากแบบจำลองมีค่าเท่ากับ 33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ค่าจากการตรวจวัดมีค่า 47 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ และค่าเฉลี่ย PM_{2.5} จากแบบจำลองมีค่าเท่ากับ 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ค่าจากการตรวจวัดมีค่า 27 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ อิทธิพลความเข้มข้นฝุ่นละอองในเมืองฮองกงหลักมาจากแหล่งกำเนิดจากมนุษย์อื่นที่ไม่ใช่การเผาในที่โล่งดังจะเห็นได้จากผลความเข้มข้นฝุ่นละอองจากการจำลองแหล่งกำเนิดอื่นยกเว้นการเผาในที่โล่งมีค่าเฉลี่ยความเข้มข้น PM₁₀ และ PM_{2.5} เท่ากับ 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ และ 18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ตามลำดับ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับความเข้มข้นฝุ่นละอองที่จำลองโดยปล่อยมลพิษอากาศจากทุกแหล่งกำเนิด

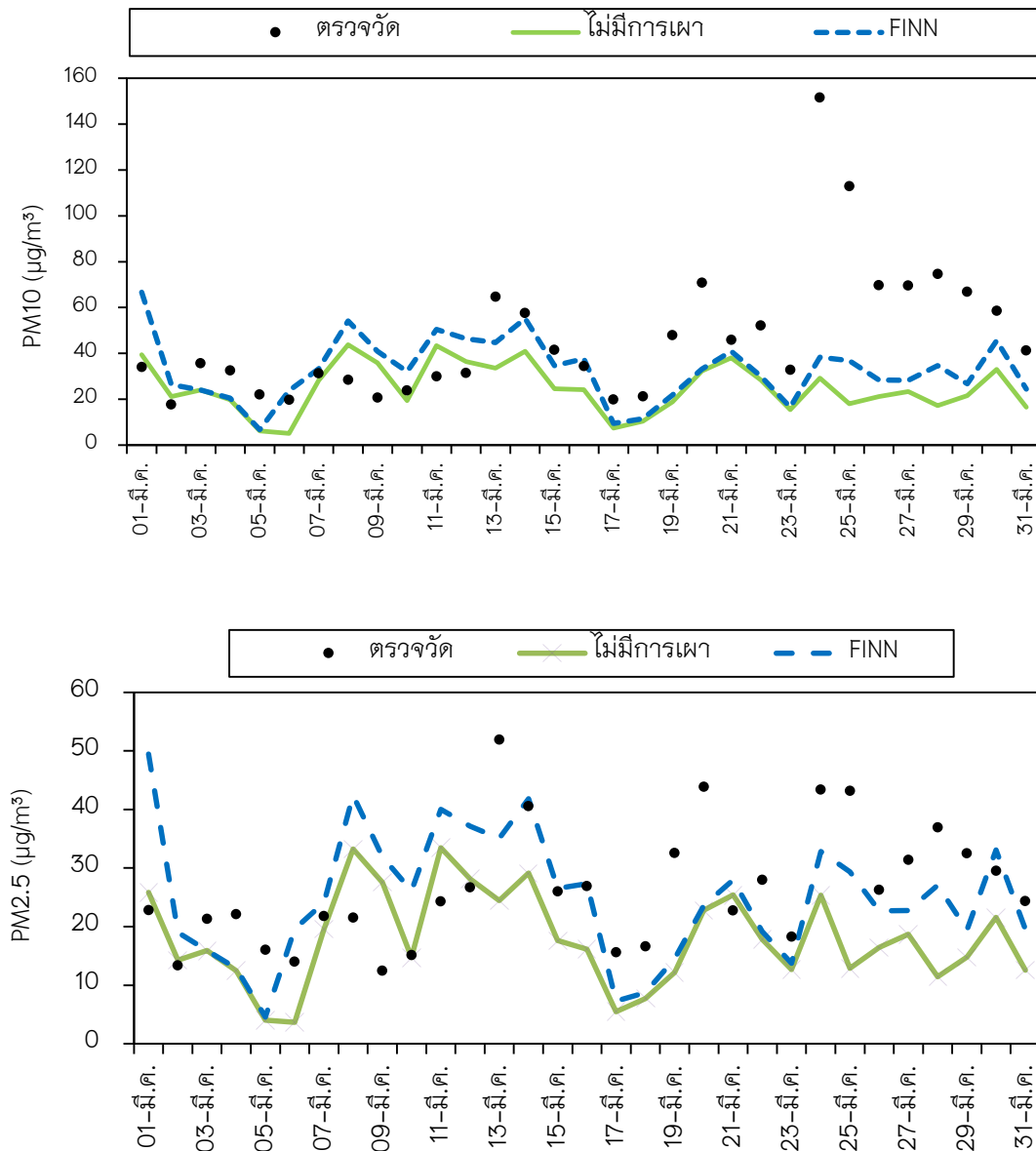


ผลการศึกษา



รูปที่ 4.9 กราฟอนุกรมเวลาเปรียบเทียบผลการจำลองค่าเฉลี่ย PM10 และ PM2.5 ด้วยข้อมูล FINN และค่าจากการตรวจวัด ณ ตำแหน่งสถานีตรวจวัดในเขตภาคเหนือประเทศไทย

ผลการศึกษา



รูปที่ 4.10 กราฟอนุกรมเวลาเปรียบเทียบผลการจำลองค่าเฉลี่ย PM10 และ PM2.5 ด้วยข้อมูล FINN และค่าจากการตรวจวัด ณ ตำแหน่งสถานีตรวจวัดฮ่องกง



ผลการศึกษา

ตารางที่ 4.4 ค่าสถิติประเมินความถูกต้องของการจำลอง PM10 และ PM2.5 ด้วยข้อมูลการปล่อยมลพิษอากาศจากการเผาในที่โล่งของ FINN

ค่าสถิติ	ค่าเฉลี่ยสถานีในพื้นที่ภาคเหนือของไทย		สถานี Tap Mun ฮ่งกง	
	PM10	PM2.5	PM10	PM2.5
Model _{FINN} Mean	312	238	33	25
Observed Mean	143	77	47	27
Model _{No biomass} Mean	9	10	25	18
Model _{FINN} Mean/ Observed Mean	2.2	3.1	0.7	0.9
CORR	0.67	0.58	0.20	0.36
MNB	1.05	2.10	-0.13	-0.25
MNE	1.22	2.10	0.47	0.50
MFB	0.51	0.75	-0.29	-0.10
MFE	0.72	0.90	0.54	0.41
IOA	0.34	0.24	0.44	0.61
FAC2	0.35	0.23	0.68	0.84

4.3.2 การพัฒนาฐานข้อมูลการปล่อยมลพิษอากาศของ FINN ด้วยข้อมูล Fire

Radiative Power

การประมาณการปล่อยมลพิษทางอากาศจากการเผาในที่โล่งด้วยวิธีของ FINN ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้มีความคลาดเคลื่อนการประมาณปริมาณชีวมวลที่ถูกเผาด้วยอาจเนื่องจากข้อจำกัดการประมาณพื้นที่ที่ถูกเผาด้วยข้อมูลดาวเทียม ความแตกต่างความหนาแน่นชีวมวลและสัดส่วนชีวมวลที่ถูกเผาในแต่ละพื้นที่ ซึ่งการประมาณชีวมวลที่ถูกเผาด้วยวิธี FINN ประมาณโดยแบ่งกลุ่มชนิดการปกคลุมพื้นที่ (Land cover classification) จำนวนเพียง 5 ชนิด ได้แก่ Tropical forest, Temperate forest, Croplands, Woody Savanna/ Shrublands, Savanna and Grasslands ซึ่งชนิดปกคลุมแต่ละชนิดยังสามารถแบ่งเป็นชนิดย่อยได้อีกหลายชนิด ที่มีปริมาณชีวมวลต่อพื้นที่ไม่เท่ากัน เช่นป่าเขตร้อนสามารถแบ่งชนิดหลักๆ เป็นป่าผลัดใบ และป่าไม่ผลัดใบ โดยแต่ละชนิดมีปริมาณชีวมวลแตกต่างกัน อีกทั้งป่าชนิดเดียวกัน ต่างพื้นที่ ต่างฤดูกาล อายุป่าที่แตกต่างกัน ก็มีปริมาณชีวมวลที่แตกต่างกันอีกด้วย การศึกษานี้จึงปรับปรุงโดยใช้ข้อมูลกำลังแผ่รังสีของไฟ (Fire Radiative Power) ของแต่ละจุดความร้อนเพื่อ



ผลการศึกษา

ปรับค่าปริมาณชีวมวลที่ถูกเผาในแต่ละจุดที่พบการเผา โดยให้ค่าเฉลี่ยรวม FRP ตลอดช่วงเวลาศึกษาเดือนมีนาคมของทั้งภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ตอนบนมีค่าเท่ากับสัดส่วนค่าเฉลี่ยความเข้มข้น PM10 จากการตรวจวัดต่อความเข้มข้น PM10 จากการจำลองความเข้มข้นด้วยข้อมูล FINN

การประมาณค่าการปล่อยมลพิษอากาศจากการเผาในที่โล่งฐานข้อมูล FINN ด้วยข้อมูล FRP การศึกษานี้ได้พัฒนาสูตรตามสมการที่ 1 โดยคำนวณด้วยค่าปริมาณการปล่อยมลพิษอากาศของฐานข้อมูล FINN คูณด้วยค่า FRP แต่ละจุดความร้อน และ คูณด้วย $Factor_{FINN-FRP}$ ซึ่งคำนวณตามสมการที่ 2 โดยคำนวณจากสัดส่วนค่าความเข้มข้นจากการตรวจวัดต่อความเข้มข้นคำนวณด้วยฐานข้อมูล FINN ต่อค่า FRP ซึ่งเป็นการคำนวณปัจจัยทางสถิติลดความคลาดเคลื่อนจากการประมาณการปล่อยจากการเผาในที่โล่งจากการคำนวณของฐานข้อมูล FINN ในพื้นที่เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ตอนบนที่เป็นพื้นที่ที่มีปริมาณการเผาหนาแน่นพื้นที่หนึ่งของโลก

ลักษณะของ FRP ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ตอนบนเดือนมีนาคม พ.ศ. 2555 มีการเปลี่ยนแปลงตามพื้นที่ดังแสดงในรูปที่ 4.11 โดยมีค่าเฉลี่ยในพื้นที่เท่ากับ 47 MW. ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 89 MW. ค่าความเข้มข้น PM10 เฉลี่ยจากการตรวจวัดเท่ากับ $143 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ความเข้มข้น PM10 เฉลี่ยจากการคำนวณด้วยข้อมูล FINN เท่ากับ $312 \mu\text{g}/\text{m}^3$ สัดส่วนความเข้มข้นจากการตรวจวัดต่อความเข้มข้นคำนวณด้วย FINN เท่ากับ 0.47 ค่า $Factor_{FINN-FRP}$ คำนวณได้เท่ากับ 0.01 นอกจากนั้นความรุนแรงของ FRP ในพื้นที่นี้เกิดจากการเผาที่มีปริมาณชีวมวลจำนวนมากได้แก่พื้นที่ป่าพบจุดความร้อน 96,837 จุด มีค่าเฉลี่ย FRP เท่ากับ 64 MW และในขณะที่พื้นที่การเกษตรพบจุดความร้อน 13,818 จุด มีค่าเฉลี่ย FRP เท่ากับ 34 MW ซึ่งส่วนใหญ่ภาคเหนือตอนบนประเทศไทย ประเทศพม่า ประเทศลาว จะพบการเผาในพื้นที่ป่า ดังแสดงในรูปที่ 4.12 ซึ่งพบระดับ FRP สูงในบริเวณดังกล่าวด้วยดังในรูปที่ 4.11

$$Emission_{FINN-FRP(i,x,t)} = Emission_{FINN(i,x,t)} \times FRP_{(x,t)} \times Factor_{FINN-FRP} \quad \text{สมการที่ 1}$$

$$Factor_{FINN-FRP} = \frac{\frac{Conc_{Obs}}{Conc_{FINN}}}{FRP} \quad \text{สมการที่ 2}$$

โดยที่

$Emission_{FINN-FRP(i,x,t)}$ คือ ปริมาณการปล่อยมลพิษอากาศชนิด i ตำแหน่ง x เวลา t ของการปรับปรุงการปล่อยฐานข้อมูล FINN ด้วย FRP



ผลการศึกษา

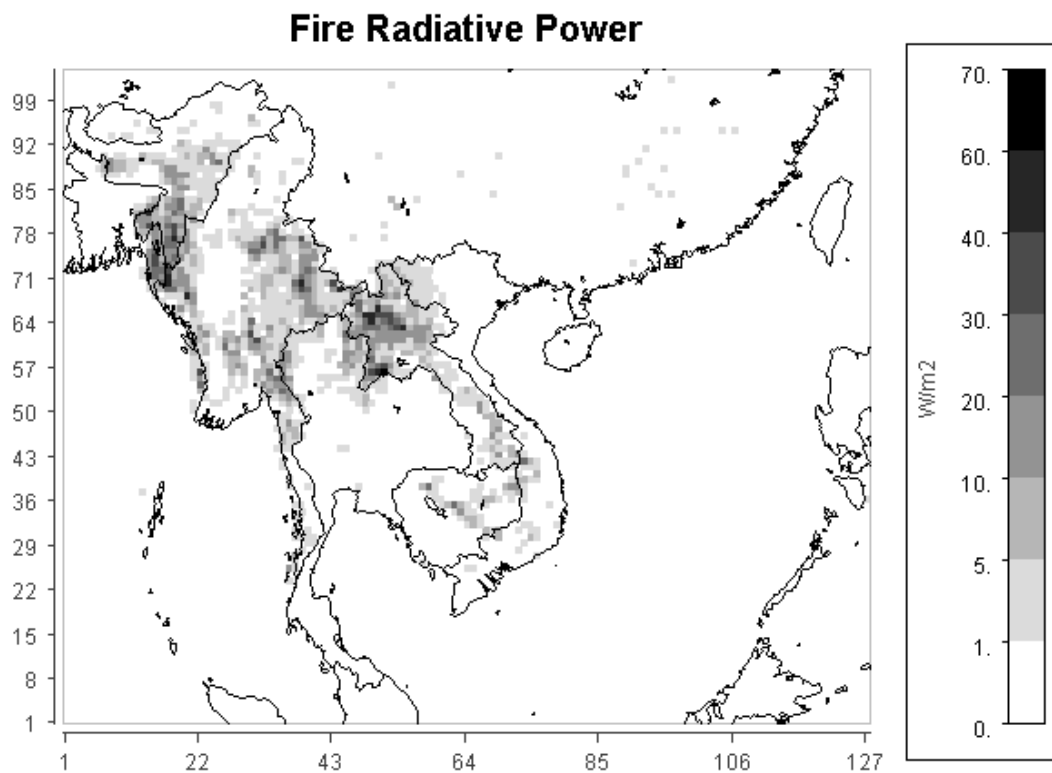
$Emission_{FINN(i,x,t)}$ คือ ปริมาณการปล่อยมลพิษอากาศชนิด i ตำแหน่ง x เวลา t ของการปล่อยฐานข้อมูล FINN

$FRP_{(x,t)}$ คือ Fire Radiative Power

$Factor_{FINN-FRP}$ คือ ค่าปัจจัยสำหรับการปรับปรุงการปล่อยฐานข้อมูล FINN ด้วย FRP

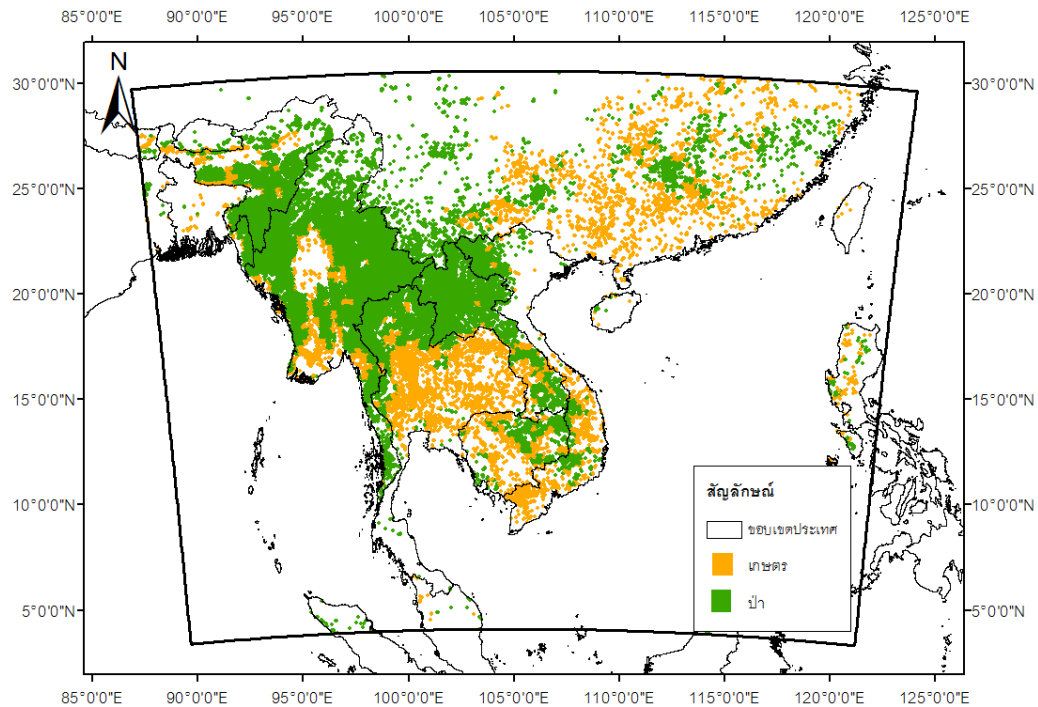
$Conc_{Obs}$ คือ ความเข้มข้น PM10 จากการตรวจวัด

$Conc_{FINN}$ คือ ความเข้มข้น PM10 จากการจำลองโดยใช้ข้อมูลการปล่อยมลพิษอากาศจากการเผาในที่โล่งด้วยข้อมูล FINN



รูปที่ 4.11 Fire Radiative Power เดือนมีนาคมในพื้นที่เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ตอนบน

ผลการศึกษา

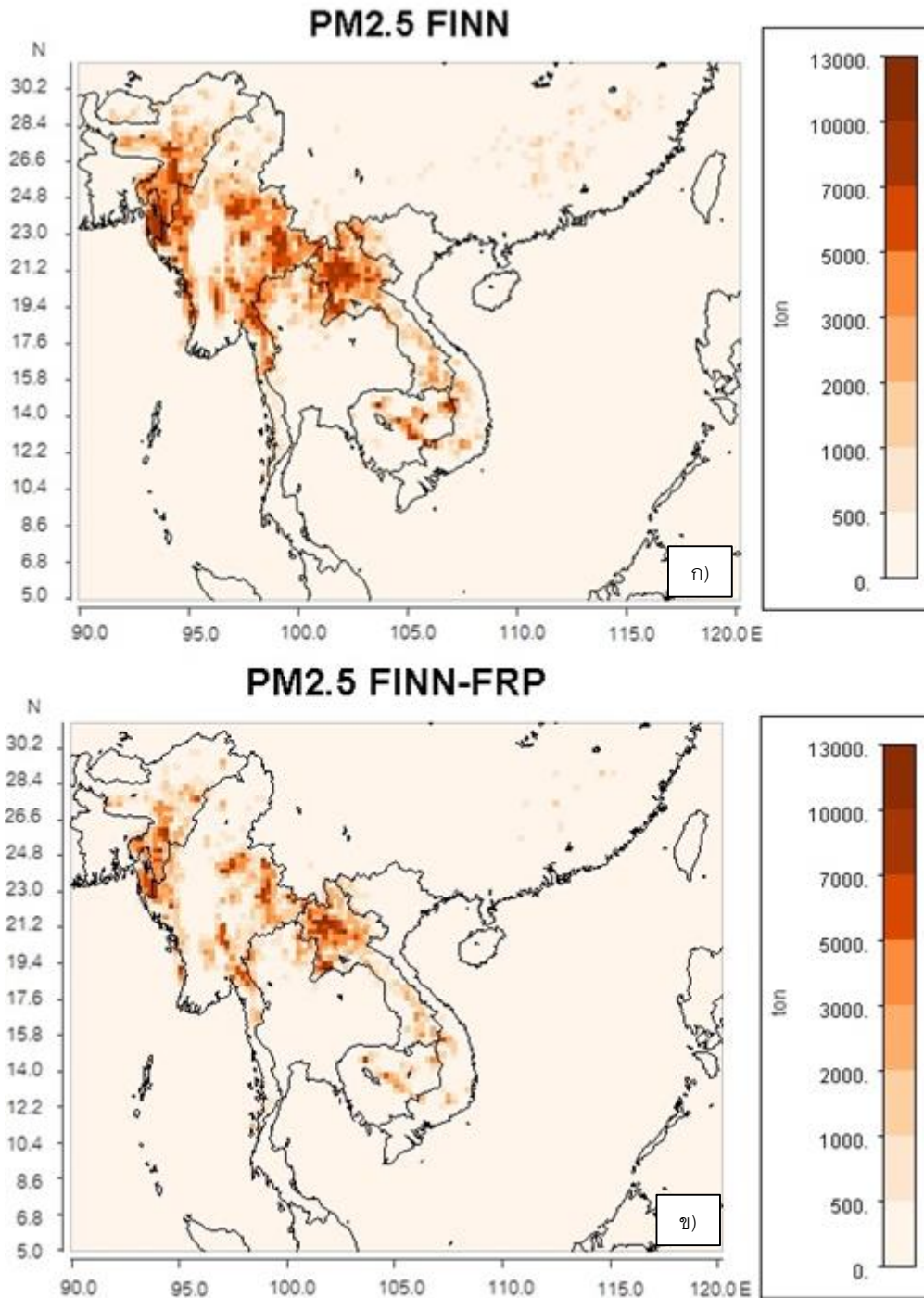


รูปที่ 4.12 จุดความร้อนและชนิดการใช้ที่ดิน

ผลการคำนวณข้อมูลการปล่อยมลพิษอากาศของ FINN ที่มีการปรับปรุงด้วยข้อมูล FRP มีปริมาณชีวมวลที่ถูกเผาในพื้นที่เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ตอนบนในเดือนมีนาคมเท่ากับ 2.4×10^{11} Kg. จากเดิมมีปริมาณชีวมวลที่ถูกเผาของฐานข้อมูล FINN เท่ากับ 4.4×10^{11} Kg. ซึ่งเมื่อคำนวณปริมาณการปล่อยมลพิษอากาศทำให้ผลการคำนวณปริมาณการปล่อยมลพิษอากาศลดลง อาทิเช่น ปริมาณการปล่อย PM_{2.5} จากการเผาชีวมวลในพื้นที่เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ตอนบนในเดือนมีนาคมเท่ากับ 2.2×10^9 Kg. จากเดิมมีปริมาณการปล่อย PM_{2.5} ของฐานข้อมูล FINN เท่ากับ 4.2×10^9 Kg. จากการวิเคราะห์รูปแบบการเปลี่ยนแปลงปริมาณการปล่อย PM_{2.5} ตามพื้นที่โดยเปรียบเทียบระหว่างฐานข้อมูล FINN และ ฐานข้อมูล FINN ปรับปรุงด้วยข้อมูล FRP ดังแสดงในรูปที่ 4.13 พบว่าโดยทั่วไปรูปแบบการเปลี่ยนแปลงตามพื้นที่มีรูปแบบคล้ายคลึงกัน โดยพบปริมาณการปล่อยมลพิษสูงบริเวณ ทางเหนือของประเทศลาว ตะวันออกของประเทศพม่า ทางตะวันออกของประเทศอินเดีย และทางเหนือประเทศไทย อย่างไรก็ตาม ฐานข้อมูล FINN-FRP มีปริมาณการปล่อย PM_{2.5} ต่ำกว่าฐานข้อมูล FINN พอสมควร



ผลการศึกษา



รูปที่ 4.13 แผนภาพการปล่อย PM2.5 ของฐานข้อมูล FINN และการคำนวณโดยการปรับปรุง FINN ด้วยข้อมูล FRP

ผลการศึกษา

4.3.3 ผลการจำลองการแพร่กระจายฝุ่นละอองโดยใช้ข้อมูลการปล่อยมลพิษอากาศจากเผาในที่โล่งจาก FINN ที่มีการปรับปรุงด้วยข้อมูล Fire Radiative Power

ผลการจำลองการแพร่กระจายฝุ่นละอองโดยใช้ข้อมูลการปล่อยมลพิษอากาศจากเผาในที่โล่งจาก FINN ที่มีการปรับปรุงด้วยข้อมูล Fire Radiative Power แสดงในรูปที่ 4.14 และ 4.15 ผลการจำลองในพื้นที่ภาคเหนือประเทศไทยจะเห็นได้ว่า การจำลองด้วยฐานข้อมูล FINN ที่มีการปรับปรุงด้วยค่า FRP (FINN-FRP) มีผลการคำนวณความเข้มข้นฝุ่นละอองเปลี่ยนแปลงจากการคำนวณด้วยข้อมูล FINN เป็นอย่างมากดังเห็นได้จากรูป 4.14 ระดับ PM10 และ PM2.5 ของการใช้ข้อมูลปรับปรุงใหม่ FINN-FRP มีค่าระดับใกล้เคียงกับค่าจากการตรวจวัด และมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นฝุ่นละอองรายวันสอดคล้องกับข้อมูลตรวจวัด เมื่อวิเคราะห์สถิติค่าเฉลี่ยความเข้มข้น PM10 ใช้ข้อมูล FINN คำนวณได้ $312 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ในขณะที่ใช้ข้อมูล FINN-FRP คำนวณได้ $124 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยจากการตรวจวัดซึ่งมีค่าเท่ากับ $143 \mu\text{g}/\text{m}^3$ และค่าเฉลี่ยความเข้มข้น PM2.5 ใช้ข้อมูล FINN คำนวณได้ $238 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ในขณะที่ใช้ข้อมูล FINN-FRP คำนวณได้เท่ากับ $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยจากการตรวจวัดซึ่งมีค่าเท่ากับ $77 \mu\text{g}/\text{m}^3$ เช่นเดียวกัน จากการคำนวณจำนวนวันที่ผลการจำลองฝุ่นละออง PM10 และ PM2.5 ในพื้นที่ภาคเหนือประเทศไทยอยู่ในช่วง Factor of two ของค่าจากการตรวจวัด พบว่ามีปริมาณมากกว่า 75% ซึ่งเพิ่มขึ้นจากการจำลองด้วยฐานข้อมูล FINN อย่างชัดเจนโดยผลการจำลองความเข้มข้น PM10 และ PM2.5 ด้วยการใช้ข้อมูล FINN อยู่ในช่วง Factor of two เพียง 35% และ 23% ตามลำดับ นอกจากนั้นการจำลองโดยใช้ข้อมูล FINN-FRP ยังให้ค่า MNB MNE MFB MFE ที่ดีขึ้นสามารถจำลองได้ใกล้เคียงกับข้อมูลการตรวจวัดมากกว่าข้อมูลที่ยังไม่ได้ปรับปรุงการปล่อยและยังให้ค่า IOA ที่สูงขึ้นในการจำลอง PM10 โดย FINN และ FINN-FRP มีค่าเท่ากับ 0.34 เป็น 0.64 ตามลำดับ ส่วนการจำลองระดับ PM2.5 มีค่าเท่ากับ 0.24 เป็น 0.52 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าการปรับปรุงค่าการปล่อยฝุ่นละอองทำให้การจำลองระดับฝุ่นละอองขนาดเล็กในบรรยากาศมีค่าใกล้เคียงกับการตรวจวัดเป็นอย่างมาก

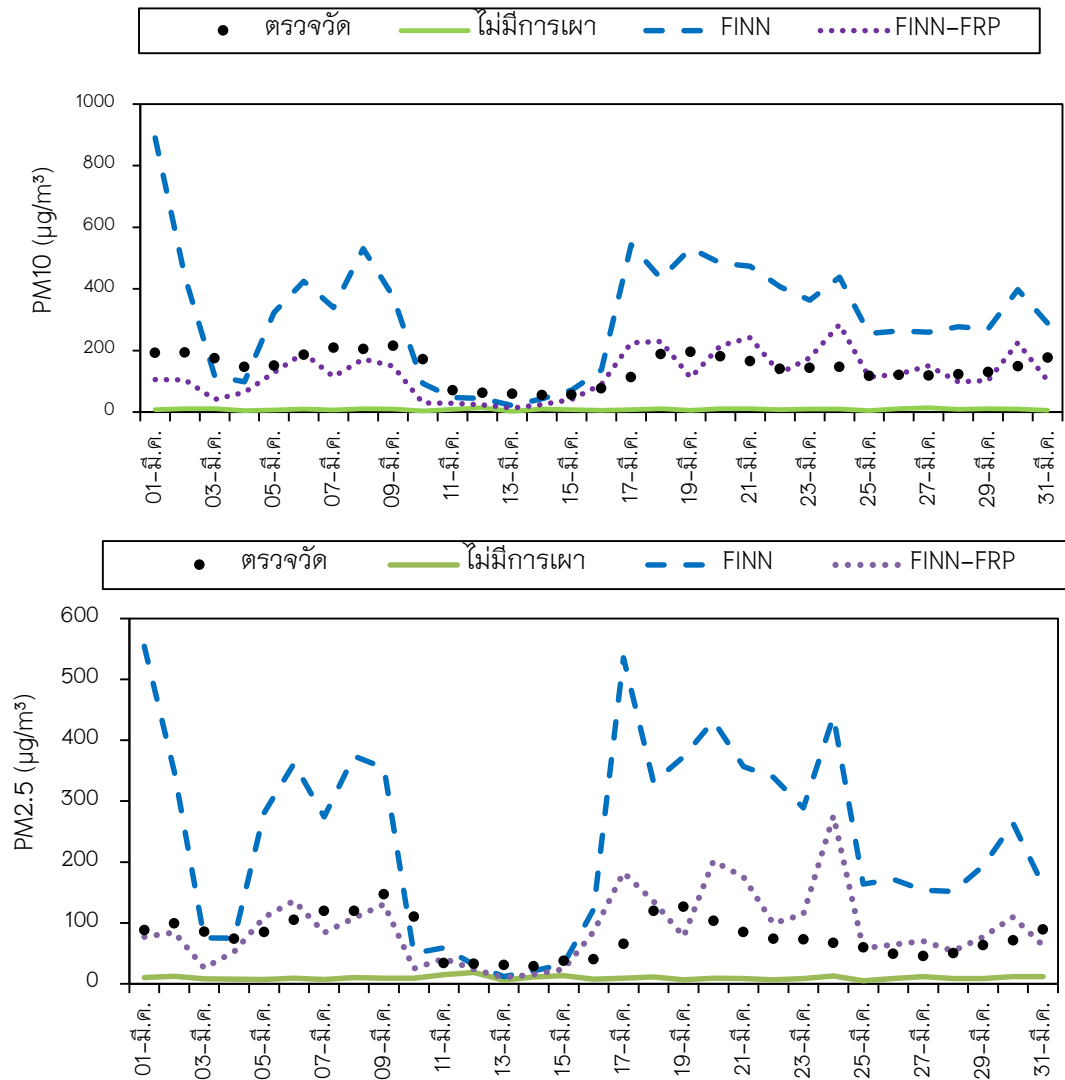


ผลการศึกษา

สำหรับผลการจำลองความเข้มข้นฝุ่นละอองในพื้นที่เมืองฮองกงโดยใช้ข้อมูลการปล่อยมลพิษอากาศจากเผาในที่โล่งจาก FINN ที่มีการปรับปรุงด้วยข้อมูล Fire Radiative Power แสดงในรูปที่ 4.15 ผลการจำลองจะเห็นได้ว่าความเข้มข้น PM₁₀ และ PM_{2.5} มีค่าใกล้เคียงกับการจำลองโดยใช้ข้อมูลจาก FINN การจำลองโดยใช้ข้อมูลจาก FINN มีค่าเฉลี่ย PM₁₀ และ PM_{2.5} เท่ากับ 33 และ 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ตามลำดับ และการจำลองโดยใช้ข้อมูล FINN-FRP มีค่าเท่ากับ 29 และ 22 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ตามลำดับ ซึ่งให้ค่าไม่แตกต่างกันมาก โดยค่าที่ได้มีค่าใกล้เคียงค่าจากการตรวจวัดซึ่งมีค่าเฉลี่ย PM₁₀ เท่ากับ 47 และ PM_{2.5} เท่ากับ 27 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ความเข้มข้นฝุ่นละอองจากการคำนวณด้วยข้อมูล FINN และ FINN-FRP มีค่าไม่แตกต่างกันมากเนื่องจาก ความเข้มข้นฝุ่นละอองในบรรยากาศเมืองฮองกงได้รับผลมาจากการปล่อยมลสารจากการเผาในที่โล่งสัดส่วนไม่สูง ส่วนใหญ่มาจากการปล่อยจากแหล่งกำเนิดอื่นเป็นหลัก ดังจะเห็นได้จากผลการจำลองที่ไม่นำเข้าข้อมูลการเผาในที่โล่งซึ่งทำให้ผลระดับฝุ่นละออง PM₁₀ เฉลี่ยเท่ากับ 25 และ PM_{2.5} เฉลี่ยเท่ากับ 18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ นอกจากนี้ยังเห็นได้จากผลการเปรียบเทียบพารามิเตอร์ทางสถิติอื่นดังแสดงในตารางที่ 4.5 ซึ่งให้ผลไม่ค่อยแตกต่างกันระหว่างการใช้อัตรา FINN และ FINN-FRP นอกจากนี้ยังพบว่าระดับฝุ่นละอองจากการคำนวณด้วยแบบจำลองในพื้นที่เมืองฮองกงมีค่าต่ำกว่าค่าจากการตรวจวัด และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แสดงการเปลี่ยนแปลงตามเวลามีค่าไม่ค่อยสูง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากค่าการปล่อยมลสารจากกิจกรรมของมนุษย์มีการประเมินค่าต่ำไป (Underestimation) และค่าความละเอียดเชิงพื้นที่และเชิงเวลาของข้อมูลการปล่อยมีความละเอียดต่ำ

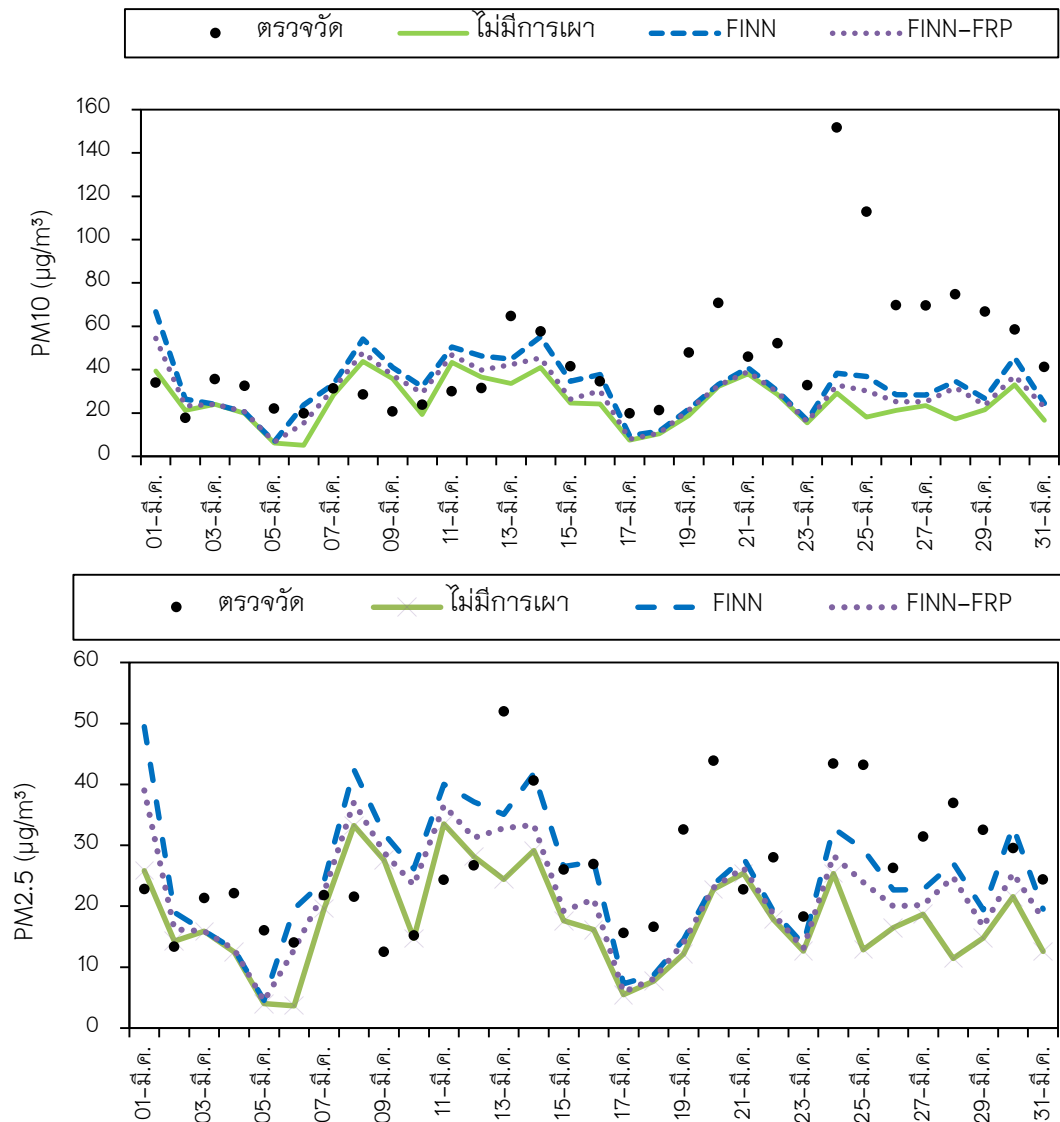


ผลการศึกษา



รูปที่ 4.14 เปรียบเทียบค่าความเข้มข้นค่าเฉลี่ยรายวันของ PM10 ณ สถานีตรวจวัดในเขตภาคเหนือประเทศไทยและค่า PM2.5 ณ สถานียุพราช จ.เชียงใหม่ ระหว่างค่าตรวจวัด ค่าจากแบบจำลองใช้ค่าการปล่อยมลพิษอากาศของ FINN FINN-FRP และ การปล่อยที่ไม่มี การเผาในที่โล่ง

ผลการศึกษา



รูปที่ 4.15 เปรียบเทียบความเข้มข้นค่าเฉลี่ยรายวันของ PM10 และ PM2.5 ณ เมืองฮ่องกง ประเทศจีน ระหว่างค่าตรวจวัดกับค่าจากแบบจำลองใช้ค่าการปล่อยมลพิษอากาศของ FINN FINN-FRP และการปล่อยที่ไม่มีการเผาในที่โล่ง



ผลการศึกษา

ตารางที่ 4.5 ค่าสถิติประเมินความถูกต้องของการจำลอง PM10 และ PM2.5 ด้วยข้อมูลการปล่อยมลพิษอากาศจากการเผาในที่โล่งของ FINN และ FINN-FRP

ค่าสถิติ	Northern Thailand				Hong Kong			
	FINN		FINN-FRP		FINN		FINN-FRP	
	PM10	PM2.5	PM10	PM2.5	PM10	PM2.5	PM10	PM2.5
Model Mean	312	238	124	90	33	25	29	22
Observed Mean	143	77	143	77	47	27	47	27
Model _{No biomass} Mean	9	10	9	10	25	18	25	18
Model Mean/ Observed Mean	2.2	3.1	0.9	1.2	0.7	0.9	0.6	0.8
CORR	0.67	0.58	0.47	0.37	0.20	0.36	0.19	0.40
MNB	1.05	2.10	-0.14	0.21	-0.13	-0.25	-0.32	-0.11
MNE	1.22	2.10	0.40	0.53	0.47	0.50	0.49	0.40
MFB	0.51	0.75	-0.28	0.01	-0.29	-0.10	-0.49	-0.23
MFE	0.72	0.90	0.47	0.45	0.54	0.41	0.62	0.43
IOA	0.34	0.24	0.64	0.52	0.44	0.61	0.63	0.60
FAC2	0.35	0.23	0.77	0.77	0.68	0.84	0.65	0.84

หมายเหตุ - ข้อมูล PM2.5 ของภาคเหนือประเทศไทยข้อมูลเฉพาะสถานีโรงเรียนยุพราช

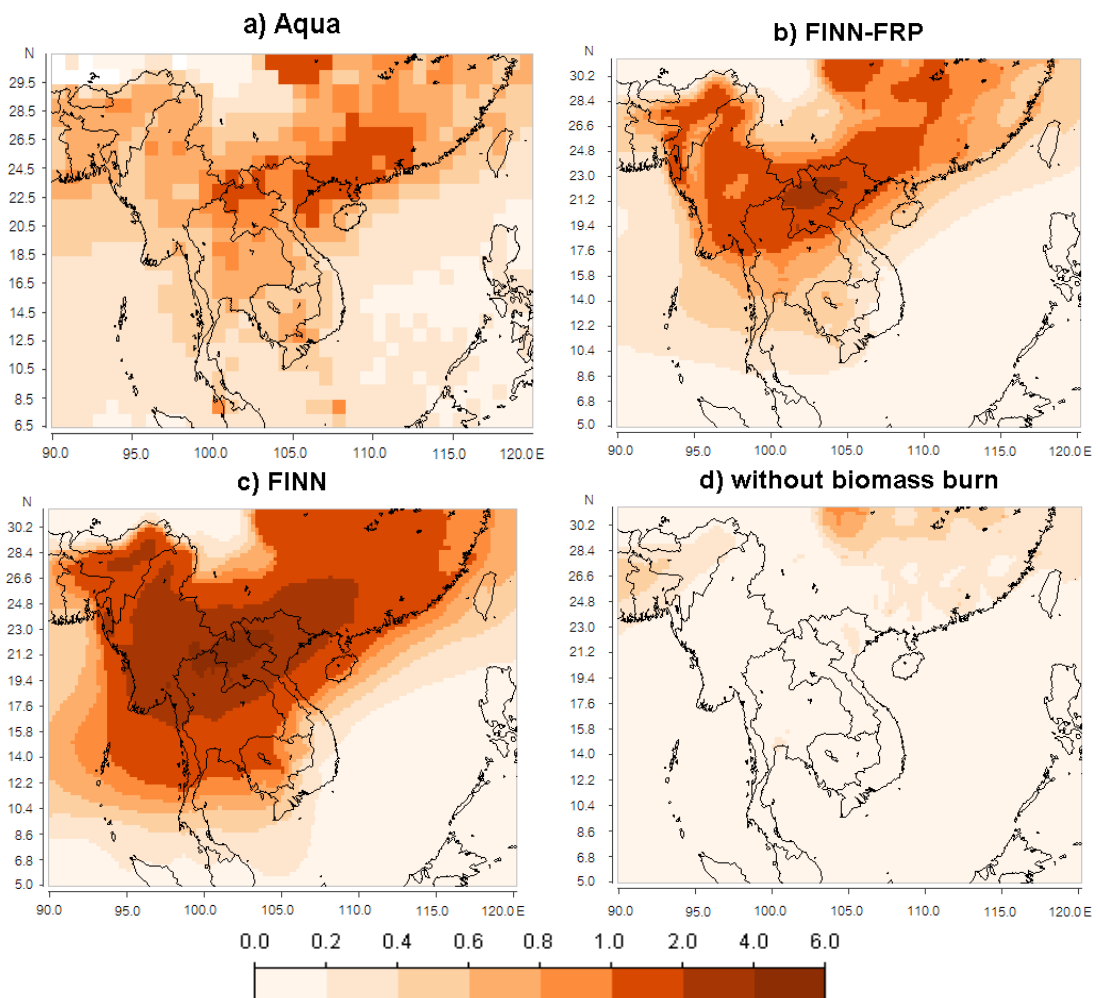
- หน่วยค่าเฉลี่ยฝุ่นละออง: ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

รูปที่ 4.16 แสดงภาพการแพร่กระจายของฝุ่นละอองด้วยค่า Aerosol Optical Depth (AOD) ตลอดเดือนมีนาคม การประเมินความถูกต้องของการกระจายตัวฝุ่นละอองเชิงพื้นที่ (Spatial distribution) โดยการเปรียบเทียบแผนภาพ จากข้อมูลตรวจวัดด้วยดาวเทียม AQUA กับข้อมูลผลจากการคำนวณด้วยแบบจำลอง CMAQ พบว่าแบบจำลอง CMAQ สามารถจำลองการเปลี่ยนแปลงฝุ่นละอองตามพื้นที่ได้ดี ดังจะเห็นได้จากรูปแบบการเปลี่ยนแปลงระดับ AOD ตามพื้นที่ของการคำนวณด้วยผลจากแบบจำลอง CMAQ มีรูปแบบคล้ายคลึงกับผลการคำนวณด้วยข้อมูลตรวจวัดจากดาวเทียมโดยพบระดับ AOD สูงกลุ่มแรกบริเวณตอนบนของประเทศเวียดนาม ลาว ไทย และตะวันออกของประเทศพม่า กลุ่มที่สองบริเวณตะวันออกเฉียงเหนือของเวียดนาม เขตปกครองตนเองกว่างซีจ้วง และมณฑลกว่างตู่ กลุ่มที่สามบริเวณมณฑลเสฉวน เมื่อพิจารณาถึงสาเหตุของค่า AOD ที่สูงจากข้อมูลการจำลองแบบ ไม่มีการเผาพบว่ากลุ่มที่ 3 ได้รับอิทธิพลจากการปล่อยฝุ่นละอองจากแหล่งกำเนิดอื่นที่ไม่ใช่การเผาในที่โล่งเป็นหลัก แต่ในกลุ่ม 1 และกลุ่ม 2 ได้รับอิทธิพลมาจากการเผาในที่โล่งโดยกลุ่ม



ผลการศึกษา

ที่ 1 ค่า AOD สูงภายในพื้นที่ที่พบการเผาจำนวนมาก ส่วนกลุ่มที่ 2 ค่า AOD สูงจากการพัดพา
มลพิษอากาศจากแหล่งกำเนิดการเผาในที่โล่งที่มีปริมาณหนาแน่นบริเวณประเทศพม่า ไทย
และ ลาว ตอนบน และเวียดนามตอนบนฝั่งตะวันตก ไปยังเวียดนามตอนบนฝั่งตะวันออก เขต
ปกครองตนเองกว่างซีจ้วง และมณฑลกว่างตุง ทำให้ค่า AOD สูงในบริเวณดังกล่าว จาก
แผนภาพแสดงให้เห็นว่าโดยทั่วไปแบบจำลอง CMAQ สามารถจำลองการแพร่กระจายฝุ่น
ละอองได้ดี อย่างไรก็ตามผลการจำลองโดยใช้ข้อมูล FINN มีค่าระดับ AOD สูงกว่าค่า AOD ของ
ข้อมูลตรวจวัดจากดาวเทียมมาก แต่ผลการจำลองค่า AOD โดยใช้ข้อมูล FINN-FRP มีค่า
ใกล้เคียงกับข้อมูล AOD จากดาวเทียมมากกว่าการใช้ข้อมูล FINN มาก



รูปที่ 4.16 ค่า Aerosol Optical Depth ของ a) ข้อมูลตรวจวัดจากดาวเทียม AQUA b) การ
จำลองด้วยข้อมูลการปล่อย FINN-FRP c) การจำลองด้วยข้อมูลการปล่อย FINN
d) การจำลองโดยไม่ใส่แหล่งกำเนิดการเผาในที่โล่ง



ผลการศึกษา

แบบจำลอง CMAQ เป็นแบบจำลอง Chemical transport model แบบสามมิติมีความสามารถในการคำนวณกระบวนการแพร่กระจายฝุ่นละอองในบรรยากาศด้วยกระบวนการทางฟิสิกส์และกระบวนการทางเคมี การศึกษานี้จึงเปรียบเทียบผลการจำลองด้วยข้อมูล FINN-FRP กับข้อมูลการตรวจวัดองค์ประกอบฝุ่นอย่างละเอียดทั้งลักษณะทางฟิสิกส์และลักษณะทางเคมีเพื่อพิจารณาความถูกต้องในการจำลอง โดยพบว่าลักษณะทางกายภาพสัดส่วนขนาดของฝุ่นละออง PM_{2.5}/PM₁₀ จากการจำลองมีค่าเท่ากับ 78 % ซึ่งมีค่าใกล้เคียงการตรวจวัดของกรมควบคุมมลพิษมีสัดส่วนเท่ากับ 73 % ฝุ่นละอองที่เหลือจะเป็นฝุ่นหยาบขนาดระหว่าง 2.5–10 ไมครอน ฝุ่นละอองละเอียด PM_{2.5} จึงเป็นฝุ่นหลักที่เกิดจากการเผาในที่โล่ง เมื่อเปรียบเทียบชนิดฝุ่นละอองตามองค์ประกอบเคมีพบว่าผลการจำลองได้ ซัลเฟต ไนเตรตและ แอมโมเนียม 6.61, 0.12 และ 1.99 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ตามลำดับ ในขณะที่ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบฝุ่นละอองในงานวิจัยของ Somporn Chantara et al., 2012 ที่ทำการเก็บข้อมูลในจังหวัดเชียงใหม่เป็นระยะเวลา 5 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ.2548 – 2552 พบซัลเฟต ไนเตรตและ แอมโมเนียม 0.01–13.29, 0.33–4.36 และ 0.49–8.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ตามลำดับ จากข้อมูลจะเห็นได้ว่าแบบจำลองสามารถจำลองซัลเฟต ไนเตรตและ แอมโมเนียม อยู่ในช่วงที่ตรวจวัดได้จริง นอกจากนี้ผลการจำลองยังพบฝุ่นประเภทอินทรีย์ 23 % ฝุ่นปฐมภูมิขนาดเล็ก 45% และฝุ่นธาตุคาร์บอน 3 % จากการจำลองโดยฐานข้อมูล FINN-FRP ดังแสดงดังตารางที่ 4.6



ผลการศึกษา

ตารางที่ 4.6 ลักษณะและองค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นละออง (หน่วย: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Aerosol Name	FINN-FRP	Anthropogenic	Chantara, S. 2012	PCD
Respirable Suspended Particulates (PM10)	115.62 (100)	13.27 (100)		106 (100)
Fine Particulate Matter (PM2.5)	90.24 (78)	9.92 (75)		77 (73)
Coarse Particulate Matter	25.37 (22)	3.35 (25)		
Coarse mode unspecified anthropogenic mass	2.54 (2)	0.34 (3)		
Coarse mode soil-derived mass	22.84 (20)	3.02 (23)		
Sulfate	6.61 (6)	3.11 (23)	0.01–13.29	
Nitrate	0.12 (0)	0.00001 (0)	0.33–4.36	
Ammonium	1.99 (2)	0.00003 (0)	0.49–8.2	
Organic Mass (Particulate Organic Matter)	26.19 (23)	1.41 (11)		
Elemental Carbon	3.43 (3)	0.58 (4)		
primary fine particles (other unspciated primary PM2.5)	51.91 (45)	4.82 (36)		

หมายเหตุ

- ข้อมูลในวงเล็บคือ%ชนิดฝุ่นละอองต่อค่า PM10
- ข้อมูลจาก Somporn Chantara et al., 2012 ได้จากการตรวจวัดในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่พิกัด $98^{\circ}55'54.3''$ E $18^{\circ}45'40.3''$ N เป็นข้อมูลเฉลี่ยปี พ.ศ. 2548 – 2552
- ข้อมูล PCD ได้จากสถานี ยุพราช
- ข้อมูลลักษณะฝุ่นละอองจากแบบจำลอง ณ ตำแหน่งพื้นที่กริดเดียวกับพื้นที่สถานีตรวจวัด



ผลการศึกษา

4.3.4 ความคลาดเคลื่อน

ผลของการจำลองการแพร่กระจายฝุ่นละอองในพื้นที่เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ตอนบน ด้วยแบบจำลอง Chemical transport model สามารถพบความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นได้จากข้อมูลสำหรับนำเข้าแบบจำลอง และกระบวนการในการจำลองอธิบายได้ดังต่อไปนี้

การนำเข้าข้อมูลของแบบจำลองประกอบไปด้วยข้อมูลสำคัญได้แก่ ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา และข้อมูลการปล่อยมลสารจากแหล่งกำเนิดมลพิษ การจำลองสภาพอุตุนิยมวิทยาการศึกษาพบว่าระบบแบบจำลอง WRF โดยทั่วไปสามารถจำลองได้ดีสอดคล้องกับค่าจากการตรวจวัด อย่างไรก็ตามก็อาจมีความคลาดเคลื่อนในระบบการจำลอง ที่เกิดจากข้อมูลสภาพอุตุนิยมวิทยานำเข้า Reanalysis data ที่ได้จากข้อมูลตรวจวัดทั่วโลกแล้วผ่านแบบจำลองระดับโลกอาจมีความคลาดเคลื่อนจากการจำลองในบางพื้นที่ ข้อมูลภูมิประเทศที่ความละเอียดข้อมูล 27 กิโลเมตร มีความละเอียดต่ำทำให้การจำลองมีความคลาดเคลื่อนบางกระบวนการที่เป็นผลมาจากภูมิประเทศในท้องถิ่นไม่ได้คำนวณ และพื้นที่ปกคลุมที่ใช้ในการจำลองใช้ค่าประมาณโดยชนิดสิ่งปกคลุมพื้นที่ที่มีขนาดพื้นที่ใหญ่สุดในกริด ดังนั้นอาจมีความคลาดเคลื่อนจากพื้นที่จริงมีชนิดสิ่งปกคลุมหลายชนิด อีกทั้งสิ่งปกคลุมอาจมีการเปลี่ยนแปลงตามการใช้ประโยชน์ที่ดินที่เปลี่ยนไปอีกด้วย และการตั้งค่าแบบจำลอง และการเลือกตัวแปรทางฟิสิกส์ สำหรับการจำลองสภาพอุตุนิยมวิทยาที่เหมาะสมกับกรณีศึกษา งานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ตัวเลือกสำหรับการจำลองที่พบว่าเป็นสามารถจำลองสภาพอุตุนิยมวิทยาได้ดีในหลายพื้นที่รวมถึงพื้นที่เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (Kan Huang et al., 2013) ซึ่งอาจมีการตั้งค่าและตัวแปรที่เหมาะสมกว่านี้ ทำให้ลดความคลาดเคลื่อนในการจำลองสภาพอุตุนิยมวิทยาซึ่งควรศึกษาในงานวิจัยต่อไป

ข้อมูลการปล่อยฝุ่นละอองสำหรับงานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลหลักจาก 3 แหล่งกำเนิดได้แก่ การปล่อยจากธรรมชาติด้วยแบบจำลอง MEGAN การปล่อยจากแหล่งกำเนิดโดยมนุษย์ได้จาก SEAC4R และสุดท้ายคือการปล่อยจากการเผาในที่โล่งจาก FINN และการปรับปรุงข้อมูล FINN ด้วยข้อมูล FRP ความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากข้อมูลการปล่อยจากธรรมชาติเกิดขึ้นได้จากข้อมูลนำเข้าเช่น ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาจากแบบจำลองที่มีความคลาดเคลื่อน ข้อมูลการใช้ที่ดินตลอดจนตัวแปรสำหรับใช้ประมาณการปล่อยมลสารสู่อากาศ เช่นเดียวกับการพบความคลาดเคลื่อนของข้อมูลการปล่อยโดยมนุษย์ที่ประมาณด้วยวิธี Top down approach เป็นการประมาณจากข้อมูลโดยภาพรวมที่ยังมีความละเอียดน้อย ตลอดจนกระบวนการในการประมาณการปล่อยตามพื้นที่และเวลายังใช้ค่าทางสถิติและภาพรวมในการประมาณเป็นหลัก แต่ข้อมูลการปล่อยจากมนุษย์และการปล่อยจากธรรมชาติยังปล่อยปริมาณมลสารน้อยกว่าการเผาในที่โล่งมากในกรณีศึกษา



ผลการศึกษา

ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการประมาณการปล่อยมลพิษจากการเผาในที่โล่ง การศึกษาที่ใช้ข้อมูลการปล่อยมลสารจากการเผาในที่โล่งจากฐานข้อมูล FINN ซึ่งประมาณจากข้อมูลจุดความร้อนที่พบด้วยเซ็นเซอร์ MODIS ที่ติดบนดาวเทียม TERRA และ AQUA จุดความร้อนที่พบด้วยดาวเทียมมีวิธีการคัดกรองจุดความร้อนที่เกิดจากสาเหตุอื่น ได้แก่ จุดความร้อนจากปล่องโรงงาน ภูเขาไฟ การสะท้อนแสงของวัตถุบนพื้นโลก ความร้อนที่ผิดปกติบนพื้นโลกที่ไม่ใช่การเผา และจัดการกับกรณีที่มีการรบกวนของเมฆหมอก ซึ่งได้มีการพัฒนาเพื่อลดความผิดพลาดที่อาจจะทำให้ข้อมูลคลาดเคลื่อนอย่างต่อเนื่อง อย่างไรก็ตามวิธีการปัจจุบันยังไม่ครอบคลุมทุกกรณีจึงอาจมีความคลาดเคลื่อนจากสาเหตุดังกล่าวได้ นอกจากนี้ยังมีความคลาดเคลื่อนสำหรับการประมาณที่เกิดจากความละเอียดตามเวลาเนื่องจากบริเวณเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ดาวเทียมจะผ่านเพียง 2-4 ครั้งต่อวัน ทำให้ขาดข้อมูลการเผารายชั่วโมง ไม่ทราบปริมาณการเผาแต่ละชั่วโมง ชั่วโมงที่เริ่มและสิ้นสุดการเผา ซึ่งแบบจำลอง CMAQ ต้องการข้อมูลละเอียดเป็นรายชั่วโมง การศึกษานี้จึงต้องมีการเตรียมข้อมูลให้ละเอียดถึงรายชั่วโมงด้วยวิธีการประมาณปริมาณการปล่อยเท่ากันตลอดทั้งวัน ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ในหลายการศึกษา (A. Poupkou et al., 2014, J. S. Reid et al., 2009) เนื่องจากข้อจำกัดดังกล่าวจึงอาจมีความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการเผาจริงมีเวลาไม่สอดคล้องกัน นอกจากนี้ข้อมูลจุดความร้อนที่ได้จาก MODIS ยังให้ข้อมูลที่ความละเอียดสูงสุด 1 ตารางกิโลเมตร ซึ่งยังไม่เหมาะสมสำหรับการประมาณการปล่อยจริงเนื่องจากพื้นที่การเผาจริงอาจจะไม่ถึง 1 ตารางกิโลเมตร และไม่พบพื้นที่การเผาขนาดเล็กมากได้ วิธีในการประมาณมลสารจาก FINN มีความคลาดเคลื่อนจากข้อมูลการประมาณได้แก่ การจัดกลุ่ม ความละเอียดเชิงพื้นที่ เวลาของข้อมูล ของการใช้ประโยชน์ที่ดิน วิธีการสมมุติให้พื้นที่ที่พบจุดความร้อนมีการเผาทั้งพื้นที่ 1 ตารางกิโลเมตรต่อจุดคิดเป็นพื้นที่มากที่สุดตามความละเอียดของดาวเทียม และคัดกรองเฉพาะพื้นที่ที่ทุ่งหญ้าให้เกิดการเผาเพียง 75 % ของพื้นที่ และมีการประมาณเพิ่มเติมโดยข้อมูลสัดส่วนพื้นที่ป่า เช่น ถ้าเป็นพื้นที่ป่ามีสัดส่วนพื้นที่ป่า 50% พื้นที่เผาจะมีปริมาณ 0.5 ตร.กม. การประมาณด้วยวิธีนี้อาจจะให้ค่าที่ไม่เหมาะสมในบางพื้นที่ซึ่งอาจจะเป็นค่าที่สูงเกินจริงสำหรับการประมาณปริมาณชีวมวลที่ถูกเผาในแต่ละพื้นที่ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้นำข้อมูล FRP ที่มีความสัมพันธ์กับปริมาณการเผาจริง นำมาพัฒนาข้อมูลจาก FINN ให้เหมาะสมกับการจำลองการแพร่กระจายในภูมิภาคนี้ อย่างไรก็ตามการศึกษานี้เป็นการริเริ่มแนวทางใช้ค่าปัจจัยที่สัมพันธ์ระหว่าง FRP กับสัดส่วนระหว่างค่าความเข้มข้น PM10 จากการตรวจวัดกับค่าจากแบบจำลอง โดยใช้ค่าปัจจัยเพียงค่าเดียวทั้งกรณีศึกษา ซึ่งอาจไม่เหมาะสมในบางกรณี อาทิเช่น ค่าปัจจัยพื้นที่ป่ากับพื้นที่เกษตรอาจควรใช้ค่าต่างกัน และเนื่องจากข้อจำกัดข้อมูลตรวจวัด



ผลการศึกษา

ที่มีอยู่อย่างจำกัด ขาดข้อมูลตรวจวัดในหลายพื้นที่ โดยเฉพาะพื้นที่ที่มีปริมาณการเผาสูงได้แก่ ประเทศพม่า ลาว เวียดนาม จึงทำให้ข้อมูลตรวจวัดที่ใช้อาจไม่ใช่ตัวแทนที่ดีครอบคลุมทั้งพื้นที่ศึกษา ความคลาดเคลื่อนจากการประมาณความสูงพุ่มจากการเผาในที่โล่ง ที่จะต้องคำนวณในขั้นตอนของการเตรียมค่าการปล่อยมลสาร ผู้วิจัยใช้วิธีการประมาณจากความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่การเผาและเวลาที่พบการเผาในการประมาณความสูงของ plume ตามการศึกษาของ (A. Hodzic et al., 2007) แต่ในความเป็นจริงความสูงของ plume อาจจะแตกต่างไปจากการคำนวณทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะของการเผาที่เกิดขึ้นและสภาพอุตุนิยมวิทยาขณะที่เกิดการเผา

การจำลองการแพร่กระจายฝุ่นละอองเกิดความคลาดเคลื่อนได้จากการจำลองความละเอียดของกริดที่จำลอง การจำลองการแพร่กระจายฝุ่นละอองให้ครอบคลุมพื้นที่การศึกษา เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ตอนบนเป็นพื้นที่กว้างจำเป็นจะต้องออกแบบความละเอียดกริดหยาบที่ 27 ตารางกิโลเมตรเนื่องจากข้อจำกัดของการใช้ทรัพยากรคอมพิวเตอร์ จะทำให้ไม่สามารถคำนวณละเอียดพอที่จะได้ผลของแหล่งกำเนิดของท้องถิ่น เช่น แหล่งกำเนิดจากการจราจร และสถานีตรวจวัดหลายแห่งตั้งอยู่ในเขตเมือง ที่มีปริมาณจราจรหนาแน่นจึงได้รับอิทธิพลจากแหล่งกำเนิดดังกล่าว นอกจากนั้นการแพร่กระจายใกล้แหล่งกำเนิดจะมีการแพร่กระจายลักษณะพุ่ม แต่แบบจำลอง CMAQ เป็นแบบจำลอง Eulerian model ที่จะคำนวณให้ความเข้มข้นมีปริมาณเท่ากันทั้งกริด จึงมีความคลาดเคลื่อนในกรณีการคำนวณการแพร่กระจายบริเวณใกล้แหล่งกำเนิด

4.4 การเปลี่ยนแปลงตามพื้นที่และเวลาของการแพร่กระจายฝุ่นละอองในประเทศไทย และประเทศในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ตอนบนช่วงที่มีปัญหาหมอกควัน

การแพร่กระจายของฝุ่นละอองช่วงที่มีปัญหาหมอกควันในพื้นที่ประเทศไทยและเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ตอนบนสามารถพัดพาไปได้ไกลข้ามประเทศ การตรวจวัดระดับฝุ่นละอองในบรรยากาศของภาคเหนือประเทศไทยซึ่งอยู่ในพื้นที่แหล่งกำเนิดมีค่าเกินมาตรฐานเป็นระยะเวลานานส่งผลกระทบต่อสุขภาพและเศรษฐกิจของคนในพื้นที่นี้เป็นอย่างมาก แหล่งกำเนิดที่สำคัญของปัญหาหมอกควันข้ามแดนนี้คือการเผาในที่โล่งในช่วงฤดูร้อนของทุกปีซึ่งเป็นช่วงรับมรสุมจากตะวันตกเฉียงใต้มีลักษณะทั่วไปในการพัดพามลสารจากแหล่งกำเนิดหลักบริเวณตอนบนของประเทศ พม่า ไทย และลาว ไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือและทิศตะวันออก พัดพามลสารไปยังด้านบนของประเทศเวียดนาม ประเทศจีนตอนล่าง และ บริเวณทะเลจีนใต้



ผลการศึกษา

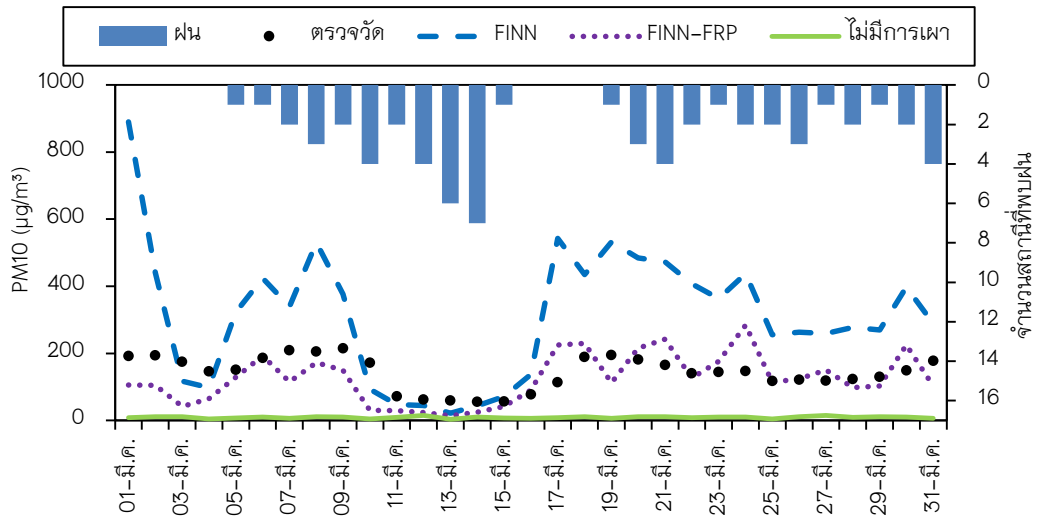
4.4.1 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นฝุ่นละอองตามเวลา

จากรูปที่ 4.17 แสดงข้อมูลความเข้มข้นฝุ่นละออง PM10 ค่าเฉลี่ยรายวันในช่วงเดือนมีนาคม พ.ศ.2555 พื้นที่ภาคเหนือตอนบนประเทศไทยจากผลการคำนวณด้วยแบบจำลอง CMAQ และข้อมูลจากการตรวจวัด จากการวิเคราะห์พบว่ามีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น PM10 ตามเวลาคล้ายคลึงกัน โดยพบว่าช่วงวันที่ 1-9 มีนาคมระดับ PM10 ในบรรยากาศมีค่าสูง แต่ในช่วงวันที่ 10-15 มีนาคมระดับฝุ่นละอองมีการเปลี่ยนแปลงมีค่าระดับต่ำทั้งที่ปริมาณการปล่อยมลพิษมีการเปลี่ยนแปลงมีปริมาณปล่อยสูงขึ้นดังเห็นได้จากรูปที่ 4.18 ความเข้มข้น PM10 ต่ำในช่วงนี้เนื่องจากมีฝนตกในหลายพื้นที่ในเขตภาคเหนือของประเทศไทย ทำให้ฝุ่นละอองตกออกจากบรรยากาศด้วยกระบวนการ wet deposition หลังจากนั้นระดับฝุ่นละอองสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องไปจนถึงวันที่ 31 มีนาคม เนื่องจากปริมาณฝนตกน้อยลงและมีการปล่อยมลสารจากการเผาในที่โล่งสูง ดังจะเห็นได้จากตัวอย่างการปล่อย PM2.5 จากการเผาในที่โล่งสูงมากในช่วงนี้ดังแสดงในรูปที่ 4.18 จึงทำให้ระดับฝุ่นละอองในบรรยากาศสูง สำหรับการจำลองระดับความเข้มข้นฝุ่นละอองโดยไม่มีการนำเข้าสู่ข้อมูลการปล่อยมลสารจากการเผาในที่โล่ง พบว่ามีระดับ PM10 ที่ต่ำมาก แสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงระดับฝุ่นละอองในภูมิภาคนี้มีสาเหตุหลักมาจากการเผาในที่โล่ง ซึ่งมีปริมาณการปล่อยมลพิษมากโดยจากข้อมูล FINN-FRP มีการปล่อย PM2.5 ช่วงเดือนมีนาคมในขอบเขตศึกษาพื้นที่เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ตอนบนถึง 2,247 Gg. คิดเป็น 79% เมื่อเทียบกับการปล่อยมลสารรวมทุกแหล่งกำเนิดหลัก ในขณะที่แหล่งกำเนิดจากมนุษย์อื่น (โรงงานอุตสาหกรรม การจราจร ที่อยู่อาศัย และโรงไฟฟ้า) ปล่อยเพียง 605 Gg.

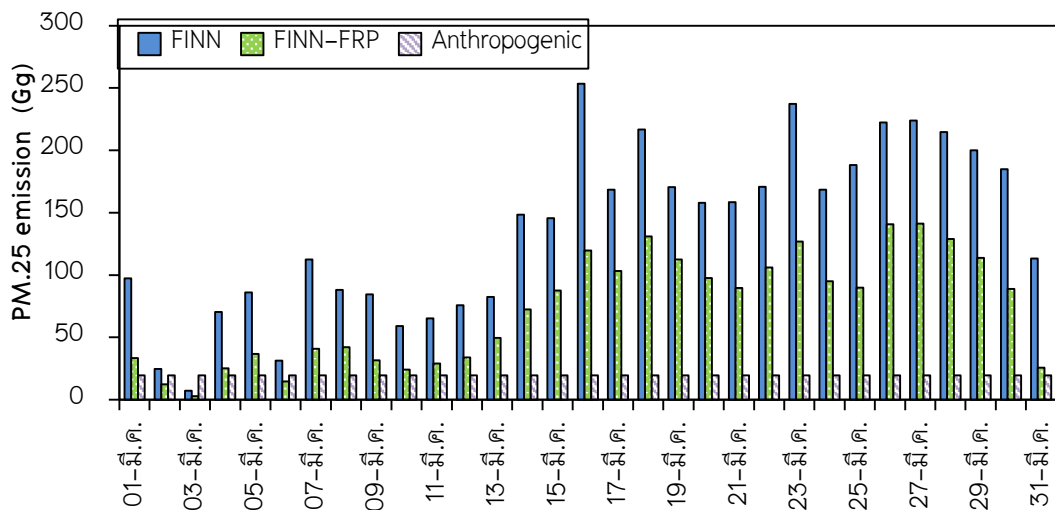
การเปลี่ยนแปลงระดับ PM10 รายวันจากการจำลองด้วยข้อมูล FINN และ FINN-FRP มีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงในทิศทางเดียวกันดังจะเห็นได้จากรูปที่ 4.17 และมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.68 อย่างไรก็ตามการจำลองด้วยข้อมูล FINN มีค่าสูงกว่าค่าตรวจวัดมาก และมีความแปรปรวนสูงดังจะเห็นได้จากค่าความแปรปรวนมาตรฐาน (SD) เท่ากับ 173 ในขณะที่การจำลองด้วยข้อมูล FINN-FRP มีค่า SD เท่ากับ 72 และข้อมูลตรวจวัดมีค่า SD เท่ากับ 48



ผลการศึกษา



รูปที่ 4.17 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นฝุ่นละออง PM10 รายวัน ของข้อมูลตรวจวัด ข้อมูลจำลองด้วยข้อมูลการเผาในที่โล่ง FINN และ FINN-FRP ข้อมูลจำลองที่ไม่มีการเผาในที่โล่ง และข้อมูลปริมาณฝน ในพื้นที่ภาคเหนือประเทศไทย



รูปที่ 4.18 ปริมาณการปล่อย PM2.5 จากการเผาในที่โล่งข้อมูล FINN และ FINN-FRP และจากกิจกรรมมนุษย์อื่น (Anthropogenic emission) ในพื้นที่เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ตอนบนในขอบเขตการศึกษา



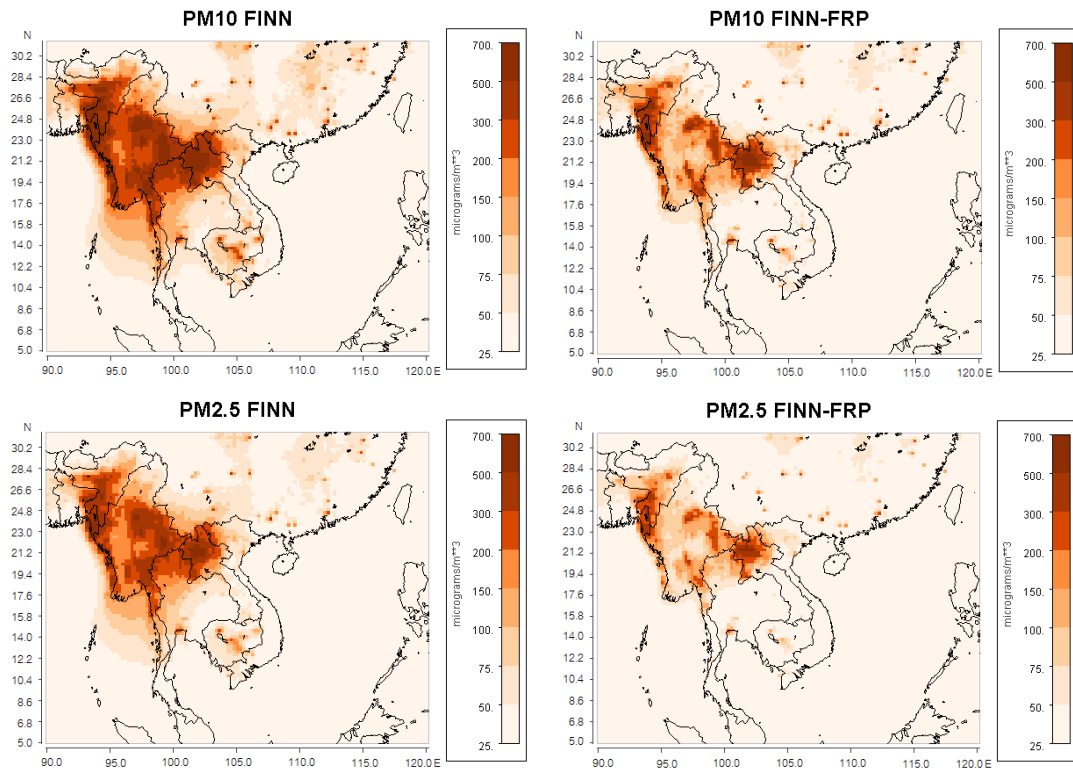
ผลการศึกษา

4.4.2 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นฝุ่นละอองตามพื้นที่

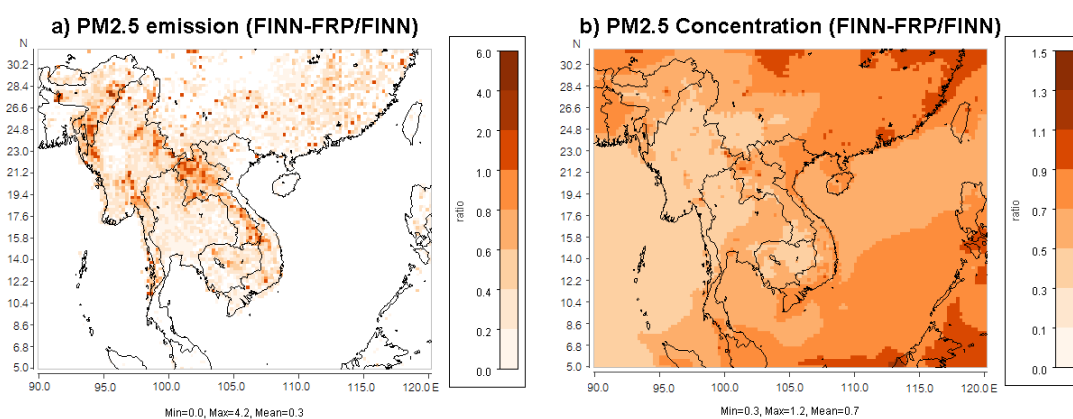
รูปที่ 4.19 แสดงภาพค่าเฉลี่ยความเข้มข้นฝุ่นละออง PM10 และ PM2.5 เดือนมีนาคม พ.ศ. 2555 จากการเปรียบเทียบผลการจำลองด้วยข้อมูล FINN และ FINN-FRP พบว่ามีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงตามพื้นที่คล้ายคลึงกัน แต่ผลการจำลองด้วยข้อมูล FINN ให้ค่าความเข้มข้นฝุ่นละอองสูงเกินจริงมาก จากการวิเคราะห์รูปแบบการแพร่กระจายฝุ่นละอองพบว่าฝุ่นละอองมีความเข้มข้นสูงบริเวณตอนบนประเทศลาว ไทย และทางด้านตะวันออกของประเทศพม่า และ อินเดีย ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีปริมาณการเผาในที่โล่งมาก (Source region) สำหรับในเขตภาคเหนือประเทศไทยช่วงที่มีปัญหาหมอกควันในเดือนมีนาคมพบว่าระดับ PM10 และ PM2.5 ในบรรยากาศได้รับอิทธิพลของแหล่งกำเนิดการเผาชีวมวลในที่โล่งถึงประมาณ 93% และ 89% ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบความเข้มข้นฝุ่นละอองสูงบริเวณตอนบนของประเทศเวียดนามและประเทศจีนตอนใต้ เนื่องจากได้รับอิทธิพลมลพิษอากาศพัดพามาจากพื้นที่ที่มีการเผาในที่โล่งสูง สำหรับพื้นที่ที่ไกลจากแหล่งกำเนิดการเผาในที่โล่งหนาแน่นเกาะฮ่องกงพบว่าระดับ PM10 และ PM2.5 ในบรรยากาศได้รับอิทธิพลของแหล่งกำเนิดการเผาชีวมวลในที่โล่งประมาณ 14% และ 18% ตามลำดับ จากการวิเคราะห์ความสอดคล้องของการเปลี่ยนแปลงตามพื้นที่ระหว่างข้อมูลตรวจวัด PM10 ในพื้นที่ภาคเหนือประเทศไทยกับ ผลการจำลองด้วยข้อมูล FINN และ FINN-FRP ได้ค่าสหสัมพันธ์เชิงพื้นที่ (Spatial correlation) เท่ากับ 0.84 และ 0.83 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองสามารถจำลองการเปลี่ยนแปลงตามพื้นที่ที่มีความสอดคล้องกับการตรวจวัดได้ดี และมีความสัมพันธ์ที่ใกล้เคียงกันระหว่างการจำลองด้วยข้อมูล FINN กับการจำลองด้วยข้อมูล FINN-FRP อย่างไรก็ตามการพัฒนาข้อมูลการปล่อยมลพิษอากาศด้วยข้อมูล FRP แต่ละจุดความร้อน ทำให้มีรูปแบบการปล่อยมลพิษอากาศในแต่ละพื้นที่เปลี่ยนไปดังจะเห็นได้จากภาพที่ 4.20 ซึ่งแสดงข้อมูลสัดส่วนการปล่อย PM2.5 ของการจำลองด้วยข้อมูล FINN-FRP ต่อ FINN ซึ่งพบมีสัดส่วนแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ โดยมีค่าสัดส่วนอยู่ในช่วง 0-4.2 มีค่าเฉลี่ยสัดส่วนเท่ากับ 0.3 หรือค่าเฉลี่ยแตกต่างกันทั้งพื้นที่ 30% ในขณะที่ค่าสัดส่วนความเข้มข้น PM2.5 ในบรรยากาศผลของการจำลองด้วยข้อมูล FINN-FRP ต่อ FINN พบมีค่าสัดส่วนอยู่ในช่วง 0.3-1.2 มีค่าเฉลี่ยสัดส่วนเท่ากับ 0.7 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการปรับปรุงข้อมูลด้วยวิธีในการศึกษานี้ด้วย FRP มีผลทำให้ค่าเฉลี่ยความเข้มข้น PM2.5 ในบรรยากาศทั้งพื้นที่ศึกษาแตกต่างจากการจำลองด้วยข้อมูล FINN ถึง 70%



ผลการศึกษา



รูปที่ 4.19 แผนภาพค่าเฉลี่ยความเข้มข้น PM10 และ PM2.5 ของการจำลองด้วยข้อมูล FINN และ FINN-FRP เดือนมีนาคม พ.ศ.2555



รูปที่ 4.20 แผนภาพ a) สัดส่วนการปล่อย PM2.5 ของฐานข้อมูล FINN-FRP ต่อ FINN b) สัดส่วนข้อมูลความเข้มข้น PM2.5 ในบรรยากาศของการจำลองด้วยข้อมูล FINN-FRP ต่อ FINN



สรุปผลการศึกษา

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษา

การศึกษาการจำลองแพร่กระจายฝุ่นละอองช่วงเดือนมีนาคม พ.ศ.2555 ซึ่งเป็นช่วงพบปัญหาฝุ่นละอองรุนแรง (PM episode) และพบปริมาณการเผาสูงในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ตอนบน การจำลองด้วยระบบแบบจำลอง WRF-CMAQ โดยใช้ข้อมูลการปล่อยมลสารทางอากาศจากการเผาในที่โล่งฐานข้อมูล FINN ผลการจำลองพบว่าสามารถจำลองการเปลี่ยนแปลงฝุ่นละอองตามพื้นที่และเวลาได้สอดคล้องกับข้อมูลตรวจวัด แต่มีผลการคำนวณค่าความเข้มข้นฝุ่นละอองในพื้นที่แหล่งกำเนิด (Source region) ส่วนใหญ่สูงกว่าค่าจากการตรวจวัดพอสมควรถึงประมาณมากกว่าสองเท่า การศึกษานี้ได้พัฒนาต่อยอดการประมาณมลพิษอากาศจากการเผาในที่โล่งฐานข้อมูล FINN โดยใช้ค่า Fire Radiative Power มาปรับปรุงการประมาณชีวมวลที่ถูกเผาในแต่ละจุดความร้อน ด้วยค่าปัจจัยสัดส่วนระหว่างค่าจากการจำลองฝุ่นละอองด้วยฐานข้อมูล FINN ต่อค่าตรวจวัดฝุ่นละอองในบรรยากาศ ผลการจำลองพบว่าฐานข้อมูลใหม่ที่มีการปรับปรุงฐานข้อมูล FINN ด้วยข้อมูล FRP (FINN-FRP) ให้ผลการจำลองการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นฝุ่นละอองสอดคล้องกับค่าตรวจวัด และระดับความเข้มข้นฝุ่นละอองในพื้นที่แหล่งกำเนิดการเผาในที่โล่งสูง ให้ค่าระดับฝุ่นละอองใกล้เคียงกันกับค่าจากการตรวจวัดมีค่าเฉลี่ยรายเดือนต่างกันประมาณไม่เกิน 20% การคำนวณจำนวนวันที่ผลการจำลองฝุ่นละออง PM10 และ PM2.5 ในพื้นที่ภาคเหนือประเทศไทยอยู่ในช่วง Factor of two ของค่าจากการตรวจวัด พบว่ามีปริมาณมากกว่า 75% ซึ่งเพิ่มขึ้นจากการจำลองด้วยฐานข้อมูล FINN อย่างชัดเจนโดยผลการจำลองความเข้มข้น PM10 และ PM2.5 ด้วยการใช้ข้อมูล FINN อยู่ในช่วง Factor of two เพียง 35% และ 23% ตามลำดับ การพัฒนาการคำนวณการปล่อยจากฐานข้อมูล FINN ด้วยค่า FRP จึงเป็นวิธีหนึ่งที่พัฒนาการปล่อยมลพิษอากาศจากการเผาชีวมวลสำหรับระบบการจำลองการแพร่กระจายฝุ่นละอองได้เป็นอย่างดี

การศึกษาการแพร่กระจายฝุ่นละอองในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ตอนพบว่าฝุ่นละอองมีความเข้มข้นสูงบริเวณตอนบนประเทศลาว ไทย และทางด้านตะวันออกของประเทศพม่า และ อินเดีย ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีปริมาณการเผาในที่โล่งมาก (Source region) ซึ่งพบจุดความร้อนช่วงเดือนมีนาคมในพื้นที่ประเทศพม่า ลาว อินเดียบางส่วน และไทย ถึงร้อยละ 44, 17, 12 และ 10 ของพื้นที่เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ตอนบน สำหรับในเขตภาคเหนือประเทศไทยช่วงที่มีปัญหาหมอกควันในเดือนมีนาคมพบวาระดับ PM10 และ PM2.5 ในบรรยากาศได้รับอิทธิพลของแหล่งกำเนิดการเผาชีวมวลในที่โล่งถึงประมาณ 93% และ 89% ตามลำดับ นอกจากนี้ยัง



สรุปผลการศึกษา

พบความเข้มข้นฝุ่นละอองสูงบริเวณตอนบนของประเทศเวียดนามและประเทศจีนตอนใต้ เนื่องจากได้รับอิทธิพลมลพิษอากาศพัดพามาจากพื้นที่ที่มีการเผาในที่โล่งสูง สำหรับพื้นที่ที่ไกลจากแหล่งกำเนิดการเผาในที่โล่งหนาแน่นเมืองฮองกงพบว่าระดับ PM₁₀ และ PM_{2.5} ในบรรยากาศได้รับอิทธิพลของแหล่งกำเนิดการเผาชีวมวลในที่โล่งประมาณ 14% และ 18% ตามลำดับ

ข้อเสนอแนะ

1. การศึกษาการแพร่กระจายฝุ่นละอองช่วงที่มีปัญหาหมอกควันควรมีการศึกษาระยะยาวเพื่อให้ครอบคลุมลักษณะการเปลี่ยนแปลงของการเผาชีวมวล และลักษณะสภาพอากาศในภูมิภาค
2. ควรนำแนวทางการปรับปรุงฐานข้อมูลการปล่อยมลพิษอากาศจากการเผาชีวมวลฐานข้อมูล FINN ด้วยข้อมูล FRP ไปประยุกต์ใช้เพื่อความถูกต้องในการจำลองฝุ่นละอองจากการเผาชีวมวลมากยิ่งขึ้น
3. ควรมีการศึกษาลักษณะการเผาชีวมวลและการปล่อยมลพิษจากการเผาชีวมวล และการพัฒนาวิธีการคำนวณด้วยค่าการประมาณของท้องถิ่นประเทศไทยและภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้เพื่อให้การประมาณมีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้นลดความคลาดเคลื่อนการประมาณในภูมิภาคนี้
4. ควรมีการพัฒนาการประมาณข้อมูลการปล่อยมลพิษอากาศจากการเผาชีวมวลในที่โล่ง ที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่และเวลามากขึ้น โดยอาจใช้ข้อมูลดาวเทียมที่ปัจจุบันมีความละเอียดเชิงพื้นที่มากกว่า 500 เมตร สำหรับข้อมูลเชิงเวลาควรมีการพัฒนาให้มีข้อมูลการปล่อยรายละเอียดถึงระดับรายชั่วโมง
5. หมอกควันเป็นสิ่งแวดล่อมรุนแรงในประเทศไทยและอาเซียนควรนำแบบจำลองไปประยุกต์ใช้ในการวางแผนแก้ปัญหาหมอกควันอย่างเป็นรูปธรรมอย่างมีประสิทธิภาพและมีประสิทธิผล



เอกสารอ้างอิง

- กรมควบคุมมลพิษ, รายงานสถานการณ์และการจัดการคุณภาพอากาศและเสียง ปี 2550. กรุงเทพฯ (2550).
- คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, ฐานข้อมูลแหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศในประเทศไทย ไทย ปี 2537. (2539).
- คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, ฐานข้อมูลแหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศในกรุงเทพฯ และปริมณฑล ปี 2535 (2537).
- เทศบาลนครเชียงใหม่, Maryland Department of The Environment and กรมควบคุมมลพิษ, การปรับปรุงฐานข้อมูลแหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศ และประเมินผลกระทบต่อคุณภาพอากาศในเขตเทศบาลนครเชียงใหม่และพื้นที่ใกล้เคียง. เชียงใหม่ (2545).
- ธีรชัย อำนวยล้อมเจริญ, การจำลองการกระจายของฝุ่นละอองขนาดเล็ก(PM10)ในจังหวัดเชียงใหม่. ฟิสิกส์ประยุกต์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่ (2552).
- บริษัท ซีคอน จำกัด, โครงการปรับปรุงฐานข้อมูลแหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศในกรุงเทพฯและปริมณฑลปี 2540. (2543).
- ปฏิพัทธ์ วงศ์เรือง ประจันต์ วงศ์วิเศษ และ สิทธิชัย พิมลศรี, ความสัมพันธ์ระหว่างจุดความร้อนกับความเข้มข้น PM10 ในเขตภาคเหนือประเทศไทย, วารสารวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมไทย, ปีที่ 26 ฉบับที่ 3 กันยายน – ธันวาคม 2555, หน้า 61-71, (2555).
- พงศ์เทพ วิวรรณเดชะ, มุกิตา ตระกูลทิวกา, เฉลิม ลีวงศ์สกุล, สุวรรณ์ ยิบมันตะสิริ และ นิมิตร อินันแก้ว, โครงการระดับรายวันของฝุ่นในอากาศและผลกระทบต่อสุขภาพในผู้ป่วยที่เป็นโรคหอบหืดจังหวัดเชียงใหม่และลำพูน. (2550).
- สิทธิชัย พิมลศรี และ ภาวัต อารินทร์, สถานการณ์ปัญหาฝุ่นละอองในบรรยากาศและผลกระทบต่อสุขภาพประชาชนในจังหวัดลำปาง. นครศรีธรรมราช ครั้งที่ 6, พิษณุโลก (2553).
- สิทธิชัย พิมลศรี และ ภูมิเมษฐ์ เมืองใจ, มลพิษทางอากาศในจังหวัดพะเยา. ประชุมวิชาการ วิทยาศาสตร์ เกษตร วิศวกรรมและสิ่งแวดล้อม ครั้งที่ 2, พะเยา (2553).
- สุมิตร จิรังนิมิตสกุล, การประยุกต์แบบจำลองคาลพัฟในการหาการกระจายของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่ (2547).
- อนุสรณ์ จันทนโรจน์, คู่มือการวิเคราะห์การใช้ที่ดิน, กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, ISBN 974-7723-50-6, (2542).
- อรรธรณ วิรลัทธิเวชยันต์, การกระจายของฝุ่นละอองจากยานพาหนะในจังหวัดเชียงใหม่. ฟิสิกส์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่ (2549).

เอกลักษณ์ รุ่งวิสัย, ผู้นำขนาดเล็กบริเวณริมถนนและการประยุกต์ใช้แบบจำลองคุณภาพอากาศ CALINE. วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก (2551).

A. Jaeger-Voirol and P. Pelt, PM₁₀ emission inventory in Ile de France for transport and industrial sources: PM₁₀ re-suspension, a key factor for air quality Environmental Modelling & Software 15(2000), pp. 575–581

A. Scoggins, T. Kjellstrom, G. Fisher, J. Connor and N. Gimson, Spatial analysis of annual air pollution exposure and mortality, Science of the Total Environment 321(2004), pp. 71–85.

Air Sciences, 2002 Fire Emission Inventory for the WRAP Region – Phase II, Prepared for the Western Governors Association/WRAP by Air Sciences. Inc., Denver, CO, (2005).

Amnuaylojaroen, T.; M. C. Barth; L. K. Emmons; G. R. Carmichael; J. Kreasuwun; S. Prasitwattanaseree and S. Chantara., Effect of Different Emission Inventories on Modeled Ozone and Carbon Monoxide in Southeast Asia, Atmos. Chem. Phys., 14(23), 12983–3012. (2014).

C. Gariazzo, A. Pelliccioni, M.P. Bogliolo and G. Scalisi, Evaluation of a Lagrangian particle model (SPRAY) to assess environmental impact of an industrial facility in complex terrain, Water, Air, and Soil Pollution 155(2004), pp. 137–158.

Chantara, Somporn; Sopittaporn Sillapapiromsuk and Wan Wiriya, Atmospheric Pollutants in Chiang Mai (Thailand) over a Five-Year Period (2005–2009), Their Possible Sources and Relation to Air Mass Movement, Atmospheric Environment, 60, 88–98, (2012).

D.W. Byun and J.K.S. Ching, Science algorithms of the EPA models–3 community multiscale air quality (CMAQ) modeling system. (1999).

de Foy, B.; Y. Y. Cui; J. J. Schauer; M. Janssen; J. R. Turner and C. Wiedinmyer, Estimating Sources of Elemental and Organic Carbon and Their Temporal Emission Patterns Using a Least Squares Inverse Model and Hourly Measurements from the St. Louis–Midwest Supersite, Atmos. Chem. Phys., 15(5), 2405–27, (2015).

E. Quah and T.L. Boon, The economic cost of particulate air pollution on health in Singapore, Journal of Asian Economics 14 (2003), pp. 73–90.

Freitas, S. R., et al., Technical Note: Sensitivity of 1–D smoke plume rise models to the inclusion of environmental wind drag, Atmos. Chem. Phys. 10(2): 585–594, (2010).

Friedl, Mark A., Damien Sulla-Menashe, Bin Tan, et al., Modis Collection 5 Global Land Cover: Algorithm Refinements and Characterization of New Datasets, Remote Sensing of Environment, 114(1), 168–82, (2010).

- G. Tsilingiridis, T. Zachariadis and Z. Samaras, Spatial and temporal characteristics of air pollutant emissions in Thessaloniki, Greece: investigation of emission abatement measures, *The Science of the Total Environment* 300(2002), pp. 99–113.
- Giglio, L., et al. (2013). "Analysis of daily, monthly, and annual burned area using the fourth-generation global fire emissions database (GFED4)." *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences* 118(1): 317–328.
- Giglio, MODIS collection 6 active fire product user's guide, revision A Technical Report, University of Maryland, (2015).
- Govardhan, Gaurav R.; Ravi S. Nanjundiah; S. K. Satheesh; K. Krishna Moorthy and Toshihiko Takemura, Inter-Comparison and Performance Evaluation of Chemistry Transport Models over Indian Region." *Atmospheric Environment*, 125, Part B, 486–504, (2016).
- Granier, C., et al., "Evolution of anthropogenic and biomass burning emissions of air pollutants at global and regional scales during the 1980–2010 period." *Climatic Change* 109(1–2): 163–190, (2011).
- Guenther, A., et al., "Estimates of global terrestrial isoprene emissions using MEGAN (Model of Emissions of Gases and Aerosols from Nature)." *Atmos. Chem. Phys.* 6(11): 3181–3210, (2006).
- Guenther, A., et al., Estimates of global terrestrial isoprene emissions using MEGAN (Model of Emissions of Gases and Aerosols from Nature), *Atmos. Chem. Phys.*, 6(11): 3181–3210, (2006).
- Hanna, S.R. and Yang, R., Evaluations of mesoscale models' simulations of near-surface winds, temperature gradients, and mixing depths, *Journal of Applied Meteorology*, 40, pp. 1095–1104, (2001).
- Heil, A., et al. (2010). Assessment of the Real-Time Fire Emissions (GFASv0) by MACC, ECMWF Tech. Memo No.628.
- Hodzic, A.; S. Madronich; B. Bohn; S. Massie; L. Menut and C. Wiedinmyer., Wildfire Particulate Matter in Europe During Summer 2003: Meso-Scale Modeling of Smoke Emissions, Transport and Radiative Effects, *Atmos. Chem. Phys.*, 7(15), 4043–64, (2007).
- Huang, Kan; Joshua S. Fu; N. Christina Hsu; Yang Gao; Xinyi Dong; Si-Chee Tsay and Yun Fat Lam, Impact Assessment of Biomass Burning on Air Quality in Southeast and East Asia During Base-Asia, *Atmospheric Environment*, 78, 291–302, (2013).

- Ichoku, C. and Y. J. Kaufman, A Method to Derive Smoke Emission Rates from Modis Fire Radiative Energy Measurements, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 43(11), 2636–49, (2005).
- Joshi, Hema; Manish Naja; K. P. Singh; Rajesh Kumar; P. Bhardwaj; S. Suresh Babu; S. K. Satheesh; K. Krishna Moorthy and H. C. Chandola, Investigations of Aerosol Black Carbon from a Semi-Urban Site in the Indo-Gangetic Plain Region, *Atmospheric Environment*, 125, Part B, 346–59, (2016).
- Kumar, A., Dixit, S., Varadarajan, C., Vijayan, A., Masuraha, A., Evaluation of the AERMOD dispersion model as a function of atmospheric stability for an urban area, *Environmental Progress* 25, 141–151, (2006).
- L. Curtis, W. Rea, P. Smith-Willis, E. Fenyves and Y. Pan, Adverse health effects of outdoor air pollutants, *Environment International* 32(2006), pp. 815–830.
- Lee, I.H., The air quality and health impacts of aviation in Asia. B.S. Engineering Physics, University of California, Berkeley, (2012).
- Lu, Z. and D. G. Streets (2014). "The Southeast Asia Composition, Cloud, Climate Coupling Regional Study Emission Inventory." From <http://bio.cgrer.uiowa.edu/SEAC4RS/emission.html>.
- Lu, Z. and D. G. Streets, The Southeast Asia Composition, Cloud, Climate Coupling Regional Study Emission Inventory, (2012).
- M. Khare and P. Sharma, *Modelling Urban Vehicle Emission*, WIT Press, Boston (2002).
- M. Zhang, Z. Han and L. Zhu, Simulation of atmospheric aerosols in East Asia using modeling system RAMS-CMAQ: Model evaluation China Particuology 5(2007), pp. 321–327.
- Malm, W. C., J. F. Sisler, D. Huffman, R. A. Eldred, and T. A. Cahill, Spatial and seasonal trends in particle concentration and optical extinction in the United States, *J. Geophys. Res.*, 99, 1347–1370, (1994).
- Mebust, A. K.; A. R. Russell; R. C. Hudman; L. C. Valin and R. C. Cohen, Characterization of Wildfire Nox Emissions Using Modis Fire Radiative Power and Omi Tropospheric NO₂ Columns, *Atmos. Chem. Phys.*, 11(12), 5839–51, (2011).
- Myneni R, Knyazikhin Y, Glassy J, Votava P, Shabanov N., FPAR, LAI (ESDT: MOD15A2) 8-day composite NASA MODIS land algorithm. User's Guide, 17 pp, (2003).

- N.S. Holmes and L. Morawska, A review of dispersion modelling and its application to the dispersion of particles: An overview of different dispersion models available, *Atmospheric Environment* 40(2006), pp. 5902–5928.
- N.T. Kim Oanh et al., Particulate air pollution in six Asian cities: Spatial and temporal distributions, and associated sources, *Atmospheric Environment* 40(2006), pp. 3367–3380.
- Olivier, J. G. J., et al., "Recent trends in global greenhouse gas emissions: regional trends 1970–2000 and spatial distribution of key sources in 2000." *Environmental Sciences* 2(2–3): 81–99, (2005).
- Olivier, J., Peters, J., Granier, C., Pétron, G., Müller, J.F., & Wallens, S., Present and future surface emissions of atmospheric compounds, POET Report #2, EU project EVK2–1999–00011, (2003).
- P. Pengchai et al., Seasonal variation, risk assessment and source estimation of PM₁₀ and PM_{10–bound} PAHs in the ambient air of Chiang Mai and Lamphun, Thailand, *Environmental Monitoring and Assessment* 154(2008), pp. 197–218.
- P.L. Livingstone et al., Simulating PM concentration during a winter episode in a subtropical valley: Sensitivity simulations and evaluation methods, *Atmospheric Environment* 43(2009), pp. 5971–5977.
- PCD, Air quality data from Pollution Control Department, Thailand, (2012).
- Poupkou, A.; K. Markakis; N. Liora; T. M. Giannaros; P. Zanis; U. Im; N. Daskalakis; S. Myriokefalitakis; J. W. Kaiser; D. Melas, et al., A Modeling Study of the Impact of the 2007 Greek Forest Fires on the Gaseous Pollutant Levels in the Eastern Mediterranean, *Atmospheric Research*, 149, 1–17, (2014).
- Reid, J. S.; E. J. Hyer; E. M. Prins; D. L. Westphal; J. Zhang; J. Wang; S. A. Christopher; C. A. Curtis; C. C. Schmidt; D. P. Eleuterio, et al., Global Monitoring and Forecasting of Biomass–Burning Smoke: Description of and Lessons from the Fire Locating and Modeling of Burning Emissions (Flambe) Program, *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 2(3), 144–62, (2009).
- Rienecker, Michele M.; Max J. Suarez; Ronald Gelaro; Ricardo Todling; Julio Bacmeister; Emily Liu; Michael G. Bosilovich; Siegfried D. Schubert; Lawrence Takacs; Gi-Kong Kim, et al, Merra: Nasa's Modern–Era Retrospective Analysis for Research and Applications, *Journal of Climate*, 24(14), 3624–48, (2011).

- S. Pimonsree, P. Wongwises and R. Pan-Aram, Spatial and temporal characteristics of PM10 emissions in Saraburi, Thailand. The World Renewable Energy Congress 2009 – Asia and The 3rd International Conference on “Sustainable Energy and Environment (SEE 2009), Bangkok, Thailand (2009).
- S. Pimonsree, Seasonal variation of PM10 Concentrations in Northern Thailand. Technology and Innovation for Sustainable Development International Conference (TISD2010), Nong Khai (2010), pp. 857–861.
- S. Puangthongthub, S. Wangwongwatana, R.M. Kamens and M.L. Serre, Modeling the space/time distribution of particulate matter in Thailand and optimizing its monitoring network, *Atmospheric Environment* 41(2007), pp. 7788–7805.
- Sathitkunarat, Surachai; Prungchan Wongwises; Rudklao Pan-Aram and Meigen Zhang, "Numerical Simulation of Terrain-Induced Mesoscale Circulation in the Chiang Mai Area, Thailand." *Meteorology and Atmospheric Physics*, 102(1), 113–21., (2008).
- Schultz, M., et al., REanalysis of the TROpospheric chemical composition over the past 40 years; A long-term global modeling study of tropospheric chemistry funded under the 5th EU framework programme, Tech. rep., EU-Contract No. EVK2-CT-2002-00170. (2007).
- Song, C. H., et al., An investigation into seasonal and regional aerosol characteristics in East Asia using model-predicted and remotely-sensed aerosol properties, *Atmos. Chem. Phys.* 8(22): 6627–6654, (2008).
- Streets, D. G., et al., "Biomass burning in Asia: Annual and seasonal estimates and atmospheric emissions." *Global Biogeochemical Cycles* 17(4): 1099, (2003).
- U. Im et al., Study of a winter PM episode in Istanbul using the high resolution WRF/CMAQ modeling system, *Atmospheric Environment* 44(2010), pp. 3085–3094.
- U. Vinitketkumnun, K. Kalayanamitra, T. Chewonarin and R. Kamens, Particulate matter, PM 10 & PM 2.5 levels, and airborne mutagenicity in Chiang Mai, Thailand, *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis* 519(2002), pp. 121–131.
- V. Wiwanitkit, PM10 in the atmosphere and incidence of respiratory illness in Chiangmai during the smoggy pollution, *Stoch Environ Res Risk Assess*, pp. 437–440, 22(2008).
- Wang, X., et al., WRF-Chem simulation of East Asian air quality: Sensitivity to temporal and vertical emissions distributions, *Atmospheric Environment* 44(5): 660–669., (2010).
- Wiedinmyer, C., et al. (2011). "The Fire INventory from NCAR (FINN): a high resolution global model to estimate the emissions from open burning." *Geosci. Model Dev.* 4(3): 625–641.

- Wooster, Martin J, Small-Scale Experimental Testing of Fire Radiative Energy for Quantifying Mass Combusted in Natural Vegetation Fires, *Geophysical Research Letters*, 29(21), 23-1-23-4. (2002).
- Y. Liu, Variability of wildland fire emissions across the contiguous United States, *Atmospheric Environment* 38(2004), pp. 3489-3499.
- Y.-J. Choi, P. Hyde and H.J.S. Fernando, Modeling of episodic particulate matter events using a 3-D air quality model with fine grid: Applications to a pair of cities in the US/Mexico border, *Atmospheric Environment* 40(2006), pp. 5181-5201.
- Yarwood, G., S. Rao, M. Yocke, and G.Z. Whitten (2005) Updates to the Carbon Bond Mechanism: CB05. US EPA Final Report. 161.
- Zhang, Hongliang; Gang Chen; Jianlin Hu; Shu-Hua Chen; Christine Wiedinmyer; Michael Kleeman and Qi Ying, Evaluation of a Seven-Year Air Quality Simulation Using the Weather Research and Forecasting (Wrf)/Community Multiscale Air Quality (Cmaq) Models in the Eastern United States, *Science of The Total Environment*, 473-474, 275-85, (2014).
- Zhang, Q., et al., "Asian emissions in 2006 for the NASA INTEX-B mission." *Atmos. Chem. Phys.* 9(14): 5131-5153, (2009).