

แบบจำลองแบบบูรณาการเพื่อศึกษาผลกระทบ
ไฟป่าในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้

THE INTEGRATED MODEL FOR STUDY PAPE OF AIR POLLUTANTS
FROM FOREST FIRE IN SOUTHEAST ASIA

วาทิต วาทัญุราษฎร์
WATID WATANYURASAN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของงานวิจัยที่ได้รับทุนอุดหนุนจากสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. ๒๕๕๒

KMUTL 2009-ZN-VL270-103

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

แบบจำลองแบบบูรณาการเพื่อศึกษาความเป็นไปของมลพิษทางอากาศจาก
ไฟป่าในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้

THE INTEGRATED MODEL FOR STUDY FATE OF AIR POLLUTANTS
FROM FOREST FIRE IN SOUTHEAST ASIA



T105492

วาทิต วัทัญญไพศาล
WATID WATANYUPAISAN

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....105492
วัน,เดือน,ปี 24 พ.ย. 2552



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2552

KMITL 2009-EN-M-220-163

**THE INTEGRATED MODEL FOR STUDY FATE OF AIR POLLUTANTS
FROM FOREST FIRE IN SOUTHEAST ASIA**

WATID WATANYUPAISAN

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN CHEMICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2009
KMITL 2009-EN-M-220-163**

COPYRIGHT 2009

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

Thesis Title	The integrated model for study fate of air pollutants from forest fire in Southeast Asia
Student	Mr. Watid Watanyupaisan
Student ID.	50061110
Degree	Master of Engineering
Program	Chemical Engineering
Year	2009
Thesis Advisor	Dr. Narisara Thongboonchoo

ABSTRACT

This study presents an integrated model to study emission characteristics and fate of air pollutants from forest fire in Southeast Asia. The hotspot data that processed from MODIS satellite image, meteorological data and other data were used as input for fire behavior and emission model to estimate air pollutant emission. The WRF-Chem, an air quality model, is then used to simulate dispersion of those pollutants. The model evaluation was done by a case study of forest fire in upper part of region during 12-21 March, 2007. The fate of selected four pollutants, i.e, CO₂, CO, PM₁₀ and NO₂ will be discussed. The hotspot information shows clusters of forest fire near Thailand-Myanmar border, Thailand- Laos's border and the northern Vietnam. The spatial distributions of air emissions were consistent with forest fire locations. The amount of estimated release of CO₂ is maximum at 91 million tons and 6.9, 0.75, 0.11 million tons for on CO, PM₁₀ and NO₂, respectively. The modeled maximum concentrations of those pollutants are found over the northern area of Laos and Vietnam, the area with moderate intensity of emission. This is due to the southwesterly wind that dominated the area which pushes the dense smoke movement from the eastern Myanmar to the northern Laos and Vietnam. The validation between the modeling data and monitoring data from air quality station is also performed. The results showed that time series of those data have the similar patterns. However, the value of modeling data were mostly lower than the monitoring because the modeling data were an average data of the large area while the air pollution station data is only the point data. In general, the integrated models could perform all tasks and consider as an efficient model. This model could be applied for monitoring the haze problem in the region.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้อย่างดี ด้วยคำแนะนำ และคำปรึกษาจาก ดร. นริศรา ทองบุญชู ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านอาจารย์ และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

I would like to express my deeply gratitude to Dr. Wei Min Hao and Dr. Shawn P Urbanski of Fire Sciences Lab-Missoula, Rocky Mountain Research Station, USDA Forest Service, USA for essential information and support.

I would like to express my deeply many thanks to Dr. Mark Ruminski and Dr. Davida Streett of The Satellite Services Division (SSD) of the National Environmental Satellite Data and Information Service (NESDIS), USA, for essential information, scholarship and support.

ขอกราบขอบพระคุณ ดร. วนิศา สุรพิพิช สำนักจัดการคุณภาพอากาศและเสียง กรมควบคุมมลพิษ ที่ให้คำแนะนำ และให้คำปรึกษาอย่างดีเกี่ยวกับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกๆท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้กับข้าพเจ้า

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ในภาควิชาวิศวกรรมเคมี สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกคนที่ให้คำแนะนำต่างๆ และคอยให้กำลังใจเสมอมา

ขอขอบคุณบัณฑิตศึกษาและบัณฑิตวิทยาลัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ที่ให้ความช่วยเหลือในเรื่องต่างๆ

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้าที่เป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนในทุกเรื่องๆ ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมาจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

วาจิต วทัญญูไพศาล

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
คำอธิบายศัพท์.....	XII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.6 ขอบเขตของการศึกษา.....	3
1.7 ขั้นตอนของการศึกษา.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎี.....	4
2.1 ไฟฟ้าและไฟฟ้า.....	4
2.1.1 นิยามของไฟฟ้า ชนิดของไฟฟ้า และสาเหตุการเกิดไฟฟ้า.....	5
2.1.2 พฤติกรรมของไฟฟ้า.....	10
2.2 การตรวจจับไฟฟ้าโดยใช้เทคโนโลยีภาพถ่ายดาวเทียม.....	13
2.2.1 หลักการของการตรวจวัดไฟฟ้าด้วยเซนเซอร์บนดาวเทียม.....	14
2.2.2 เซนเซอร์ และอัลกอริทึมสำหรับการตรวจวัดไฟฟ้า.....	15
2.3 ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์.....	17
2.4 การประเมินการปลดปล่อยมลพิษจากไฟฟ้าด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	20
2.4.1 ระบบจัดระดับความอันตรายของไฟฟ้า.....	22
2.4.2 แบบจำลองพฤติกรรมของไฟฟ้า.....	23
2.4.3 แบบจำลองการปลดปล่อยมลพิษจากไฟฟ้า.....	24
2.4.4 สมการการยกตัวของมลพิษทางอากาศ.....	24
2.5 แบบจำลองทางอุตุนิยมวิทยา.....	26
2.5.1 แบบจำลอง Weather Research and Forecasting (WRF).....	27
2.6 แบบจำลองคุณภาพอากาศ.....	29

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.6.1 แบบจำลองคุณภาพอากาศ WRF/Chem.....	30
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	32
บทที่ 3 การบูรณาการแบบจำลอง.....	34
3.1 โครงสร้างของการบูรณาการ.....	34
3.1.1 ข้อมูลตำแหน่งไฟป่าจาก MODIS.....	35
3.1.2 โปรแกรมจัดการข้อมูลไฟป่า.....	36
3.1.3 ระบบจัดความเป็นอันตรายของไฟป่า NFDRS.....	39
3.1.4 แบบจำลองพฤติกรรมของไฟป่า FireLib.....	41
3.1.5 แบบจำลองการประเมินการปลดปล่อยมลพิษ FOFEM.....	44
3.1.6 สมการการยกตัวของมลพิษทางอากาศ Briggs plume rise.....	44
3.1.7 โปรแกรมจัดการข้อมูลการปลดปล่อยมลพิษ.....	45
3.1.8 แบบจำลองคุณภาพอากาศ WRF-Chem.....	47
บทที่ 4 ผลการศึกษา.....	50
4.1 ข้อมูลทั่วไปของไฟป่า.....	50
4.2 ลักษณะของการปลดปล่อยมลพิษจากไฟป่า.....	53
4.2.1 ลักษณะการปลดปล่อยมลพิษจากการเผาในที่โล่งตามพื้นที่.....	54
4.2.2 ลักษณะการปลดปล่อยมลพิษตามแนวระดับ.....	57
4.3 การแพร่กระจายของมลพิษทางอากาศ.....	59
4.3.1 การแพร่กระจายของ PM ₁₀	60
4.3.2 การแพร่กระจายของ CO.....	66
4.3.3 การแพร่กระจายของ NO ₂	69
4.4 การประเมินสมรรถนะของการทำนายความเป็นไปของมลพิษทางอากาศ.....	72
4.4.1 การเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของมลพิษรายชั่วโมง.....	72
4.4.2 ลักษณะการกระจายของข้อมูล (Scatter plot).....	79
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	87
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	87
5.1.1 ข้อมูลทั่วไปของไฟป่า.....	87

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.1.2 ลักษณะของการปลดปล่อยมลพิษจากไฟฟ้า.....	87
5.1.3 การแพร่กระจายของมลพิษทางอากาศ.....	88
5.1.4 การประเมินสมรรถนะของการทำนายความเป็นไปของมลพิษทางอากาศ ...	88
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	89
เอกสารอ้างอิง.....	91
ภาคผนวก.....	98
ภาคผนวก ก. รายละเอียด ช่วงคลื่นต่างๆและการใช้งานของอุปกรณ์ตรวจวัดMODIS.....	99
ภาคผนวก ข. รายละเอียดการคำนวณของแต่ละตัวแปรในระบบ NFDRS.....	101
ภาคผนวก ค. ผลงานทางวิชาการ.....	103
ประวัติผู้เขียน.....	113

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 สัดส่วนของสาเหตุของการเกิดไฟป่าในประเทศไทยจากการสำรวจในปี พ.ศ. 2528-2542.....	9
2.2 รายละเอียดช่วงคลื่น และจุดประสงค์การใช้งานของช่องสัญญาณต่างๆของ AVHRR.....	16
2.3 ช่องสัญญาณของ MODIS ที่ใช้ในอัลกอริทึม MOD14.....	17
3.1 รหัสประเภทของสิ่งปกคลุมดิน (Land cover) ที่ได้จากการประมวลภาพถ่ายดาวเทียม จากเซนเซอร์ AVHRR ในการสำรวจทั่วโลกปี พ.ศ. 2541.....	38
3.2 การจัดประเภทของภูมิอากาศตามระบบ NFDRS ด้วยระบบ Köppen-Geiger.....	41
3.3 การแบ่งประเภทป่าไม้ตามลักษณะของเชื้อเพลิงของ FCCS Fire Behavior Fuel model.....	42
3.4 การเปรียบเทียบการจัดลักษณะสิ่งปกคลุมดินจาก AVHRR ให้เป็นไปตามระบบ FCCS Fire Behavior Fuel model.....	43
3.5 ค่าปัจจัยการปลดปล่อยมลพิษเฉลี่ยแบบตามประเภทของเชื้อเพลิงที่ใช้ในงานวิจัย.....	44
3.6 รายละเอียดความสูงของกริดตามแนวระดับ.....	48
3.7 พารามิเตอร์ที่ใช้ในแบบจำลอง WRF-Chem.....	49

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1	ทัศนวิสัยบริเวณสนามบินเชียงใหม่..... 1
2.1	กราฟพื้นที่ป่าไม้ของประเทศไทยในปี พ.ศ. 2504-2547..... 3
2.2	ตัวอย่างลักษณะของไฟใต้ดิน..... 6
2.3	ตัวอย่างไฟผิวดิน..... 7
2.4	ตัวอย่างไฟเรือนยอด..... 7
2.5	แผนภาพการกระจายตัวของจำนวนครั้งที่ฟ้าผ่าเป็นสาเหตุของการเกิดไฟป่าเฉลี่ย ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2532-2539 ในพื้นที่ต่างๆของประเทศสหรัฐอเมริกา..... 8
2.6	การเผาต้นไม้เพื่อนำยางไม้ไปขาย..... 9
2.7	การรมควันไล่ผึ้งเพื่อเก็บน้ำผึ้ง..... 9
2.8	แผนภาพวิธีการวัดความยาวเปลวไฟ..... 10
2.9	ไฟที่ถูกกลามขึ้นไปตามเขาที่มีความลาดชัน..... 13
2.10	ระบบการรับรู้ในระยะไกล..... 14
2.11	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเปล่งรังสีของวัตถุดำ กับความยาวคลื่น..... 15
2.12	ลักษณะข้อมูลเวกเตอร์ต่างๆ..... 18
2.13	ข้อมูลตารางกริดหรือข้อมูลราสเตอร์..... 19
2.14	การซ้อนทับข้อมูลเชิงพื้นที่ของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์..... 19
2.15	กระบวนการในการประเมินการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศจากไฟป่าด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์..... 21
2.16	แผนภาพผลลัพธ์การจัดอันดับความอันตรายของไฟป่ารายวันด้วยระบบ NFDRS ของวันที่ 1 เมษายน พ.ศ. 2552 สีแดงในแผนภาพหมายถึงพื้นที่ที่ถูกจัดอันดับว่ามีความอันตรายของไฟป่ามากที่สุด สีเขียวหมายถึงพื้นที่ที่ถูกจัดอันดับว่ามีความอันตรายของไฟป่าน้อย เป็นต้น..... 22
2.17	รูปร่างของไฟป่าที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อความเร็วลมและ ความชื้นของพื้นที่เพิ่มขึ้น..... 24
2.18	การยกตัวของมลพิษทางอากาศจากปล่องควันไฟ..... 25
2.19	การเปรียบเทียบการกระจายตัวของมลพิษทางอากาศในกรณีที่กำลังถึงผลของการยกตัวของมลพิษทางอากาศ และไม่คำนึงถึงผลของการยกตัวของมลพิษทางอากาศ..... 26
2.20	กระบวนการในการจำลองบรรยากาศด้วยแบบจำลอง WRF..... 28
2.21	สถานะขอบเขตของสารเคมีในสถานะก๊าซในแนวระดับของ SO ₂ , NO _x , NO ₂ , และ NO ที่ความสูงต่างๆ..... 31

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า	
2.22	กระบวนการทั่วไปของการทำนายคุณภาพอากาศด้วยแบบจำลอง WRF-Chem.....	32
3.1	แผนภาพของโครงสร้างการบูรณาการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	35
3.2	ขอบเขตพื้นที่ศึกษาในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้.....	37
3.3	ข้อมูลตำแหน่งไฟป่าจาก MODIS ที่ความเชื่อมั่นต่างๆในปี พ.ศ. 2545 เปรียบเทียบระหว่างข้อมูลทั่วโลก และภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้.....	37
3.4	การกระจายตัวของประเภทของสิ่งปกคลุมดิน (Land cover) ในขอบเขตพื้นที่ศึกษา.....	38
3.5	แผนภาพการจัดประเภทภูมิอากาศตามระบบ Köppen-Geiger.....	41
3.6	การกระจายตัวของลักษณะของเชื้อเพลิงตาม FCCS Fire Behavior Fuel model ที่ได้จากการประมาณโดยใช้ข้อมูลสิ่งปกคลุมดิน ในขอบเขตพื้นที่ศึกษา.....	43
3.7	แผนภาพการกระจายตัวของผลการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศ SO ₂ , CO, NO ₂ และ PM ₁₀ จากกิจกรรมของมนุษย์จากโครงการ INTEX-B ในปี พ.ศ. 2549 ในหน่วย ต้น/ปี/กริด.....	46
3.8	อัตราการปลดปล่อยมลพิษรายชั่วโมงของมลพิษทางอากาศ PM ₁₀ จากการไฟป่า และกิจกรรมของมนุษย์ ในวันที่ 21 มีนาคม พ.ศ. 2550 เมื่อเวลา 7:00น. 13:00น.19:00น. และ 24:00น. ตามลำดับในหน่วย $\mu\text{g m}^{-2}\text{sec}^{-1}$	47
4.1	แผนภาพการกระจายตัวของตำแหน่งไฟป่าในพื้นที่ต่างๆ ตั้งแต่วันที่ 12-21 มีนาคม พ.ศ. 2550.....	50
4.2	แผนภาพวงกลมแสดงสัดส่วนจำนวนตำแหน่งไฟป่าที่ตรวจในประเทศต่างๆ.....	51
4.3	แผนภาพวงกลมของสัดส่วนจำนวนตำแหน่งไฟที่ตรวจพบแยกตามประเภทของสิ่งปกคลุมดิน.....	52
4.4	จำนวนข้อมูลตำแหน่งไฟป่ารายวันที่แยกตามระดับความเชื่อมั่นของวันต่างๆ.....	52
4.5	การกระจายตัวของจำนวนตำแหน่งไฟป่าที่ MODIS ตรวจจับได้ในเวลาต่างๆของวัน.....	53
4.6	แผนภาพวงกลมแสดงสัดส่วนของมลพิษทางอากาศที่มาจากแหล่งกำเนิดต่างๆ.....	54
4.7	การกระจายของปริมาณการปลดปล่อย CO ₂ ภาพรวมระหว่างวันที่ตั้งแต่วันที่ 12-21 มีนาคม พ.ศ. 2550.....	55
4.8	การกระจายของปริมาณการปลดปล่อย CO ภาพรวมระหว่างวันที่ตั้งแต่วันที่ 12-21 มีนาคม พ.ศ. 2550.....	55
4.9	การกระจายของปริมาณการปลดปล่อย PM ₁₀ ภาพรวมระหว่างวันที่ตั้งแต่วันที่ 12-21 มีนาคม พ.ศ. 2550.....	55

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.10 การกระจายของปริมาณการปลดปล่อย NO ₂ ภาพรวมระหว่างวันที่ตั้งแต่วันที่ 12-21 มีนาคม พ.ศ. 2550	56
4.11 จำนวนไฟฟ้า และปริมาณการปลดปล่อยมลพิษรายวัน	57
4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลสภาพอากาศอุณหภูมิสูงสุด และความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุดรายวัน ที่สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ สถานีศาลากลางเชียงใหม่	57
4.13 ตัวอย่างอัตราการปลดปล่อย CO ที่ระดับความสูงต่างๆ บริเวณตอนบนของประเทศลาว ในวันที่ 15 มีนาคม พ.ศ. 2550	59
4.14 ความสูงเฉลี่ยที่กลุ่มมลพิษยกตัวในพื้นที่ศึกษา ในวันที่ 12 มีนาคม พ.ศ. 2550	59
4.15 การกระจายของปริมาณการปลดปล่อย PM ₁₀ จากไฟฟ้าที่เวลาต่างๆ ของวันที่ 15 มีนาคม พ.ศ. 2550	61
4.16 แผนภาพแสดงการกระจายตัวของความเข้มข้นของ PM10 ซ้อนทับกับ ทิศทางและความเร็วลม ที่เวลาต่างๆ ของวันที่ 15 มีนาคม พ.ศ. 2550	62
4.17 แผนภาพแสดงการกระจายตัวของความเข้มข้นของ PM ₁₀ ซ้อนทับกับ ทิศทางและความเร็วลม ที่เวลาต่างๆ ของวันที่ 15 มีนาคม พ.ศ. 2550 กรณีใช้การปลดปล่อยจากไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว	63
4.18 แผนภาพแสดงการกระจายตัวของความเข้มข้นของ PM10 ซ้อนทับกับ ทิศทางและความเร็วลม ที่เวลา 6:00 น. ของวันที่ 16 มีนาคม พ.ศ. 2550	63
4.19 ตัวอย่างแผนภาพ TOMS Aerosol Index (ซ้าย) เปรียบเทียบกับความเข้มข้นของ PM ₁₀ ที่จำลองได้จากแบบจำลอง WRF-Chem(ขวา) ในวันที่ 13-15 มีนาคม พ.ศ. 2550	65
4.20 การกระจายของอัตราการปลดปล่อย CO จากไฟฟ้าที่เวลาต่างๆ ของวันที่ 15 มีนาคม พ.ศ. 2550	67
4.21 ลักษณะการแพร่กระจายของ CO ทิศทาง และความเร็วลม ของวันที่ 15 มีนาคม พ.ศ. 2550 ที่เวลาต่างๆ	68
4.22 ลักษณะการแพร่กระจายของ CO ทิศทาง และความเร็วลม ของวันที่ 15 มีนาคม พ.ศ. 2550 ที่เวลาต่างๆ กรณีใช้การปลดปล่อยจากไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว	68
4.23 แผนภาพการกระจายตัวของ CO ทิศทาง และความเร็วลมที่จำลองได้จากแบบจำลอง WRF-Chem ในวันที่ 16 มีนาคม พ.ศ. 2550 เวลา 6:00 น.	69
4.24 การกระจายของอัตราการปลดปล่อย NO ₂ จากไฟฟ้าที่เวลาต่างๆ ของวันที่ 15 มีนาคม พ.ศ. 2550	70

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.25	ลักษณะการแพร่กระจายของ NO_2 ทิศทาง และความเร็วลม ของวันที่ 15 มีนาคม พ.ศ. 2550 ที่เวลาต่างๆ..... 71
4.26	ลักษณะการแพร่กระจายของ NO_2 ทิศทาง และความเร็วลมที่เวลาต่างๆของวันที่ 15 มีนาคม พ.ศ. 2550 กรณีไม่รวมการปลดปล่อยจากกิจกรรมของมนุษย์..... 71
4.27	แผนที่ตำแหน่งของสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ 35T-41T..... 72
4.28	ความเข้มข้น CO PM_{10} และ NO_2 รายชั่วโมงจากแบบจำลอง และที่วัดได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ สถานีอนามัยท่าสี่(39T) ระหว่างวันที่ 12-21 มีนาคม พ.ศ.2550.... 74
4.29	ความเข้มข้น CO PM_{10} และ NO_2 รายชั่วโมงจากแบบจำลอง และที่วัดได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศสถานีศาลากลาง จ.เชียงใหม่ (35T) ระหว่างวันที่ 12-21 มีนาคม พ.ศ.2550 75
4.30	ตำแหน่งของสถานีอนามัยท่าสี่ (39T) และสถานีศาลากลาง จ.เชียงใหม่ (35T) ซ้อนทับกับความหนาแน่นของจำนวนประชากร..... 76
4.31	ตำแหน่งของสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศทั้ง 7 สถานี ซ้อนทับกับความหนาแน่นของจำนวนประชากร..... 80
4.32	การกระจายของข้อมูลความเข้มข้นรายชั่วโมงของ PM_{10} ที่จำลองได้ และที่ตรวจวัดได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ ในกลุ่มที่ตั้งอยู่ในเขตชุมชนหนาแน่น..... 81
4.33	การกระจายของข้อมูลความเข้มข้นรายชั่วโมงของ PM_{10} ที่จำลองได้ และที่ตรวจวัดได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ ในกลุ่มที่ตั้งอยู่ในเขตชุมชนเบาบาง..... 82
4.34	การกระจายของข้อมูลความเข้มข้นรายชั่วโมงของ CO ที่จำลองได้ และที่ตรวจวัดได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ ในกลุ่มที่ตั้งอยู่ในเขตชุมชนหนาแน่น..... 83
4.35	การกระจายของข้อมูลความเข้มข้นรายชั่วโมงของ CO ที่จำลองได้ และที่ตรวจวัดได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ ในกลุ่มที่ตั้งอยู่ในเขตชุมชนเบาบาง..... 84
4.36	การกระจายของข้อมูลความเข้มข้นรายชั่วโมงของ NO_2 ที่จำลองได้ และที่ตรวจวัดได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ ในกลุ่มที่ตั้งอยู่ในเขตชุมชนหนาแน่น..... 85
4.37	การกระจายของข้อมูลความเข้มข้นรายชั่วโมงของ NO_2 ที่จำลองได้ และที่ตรวจวัดได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ ในกลุ่มที่ตั้งอยู่ในเขตชุมชนเบาบาง..... 86

คำอธิบายศัพท์

AVHRR	Advanced Very High Resolution Radiometer (เซนเซอร์บนดาวเทียมชนิดหนึ่ง ใช้สำหรับการสำรวจพื้นผิวโลก พัฒนาโดย NASA)
MODIS	Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer (เซนเซอร์บนดาวเทียมชนิดหนึ่งที่นิยมประยุกต์ใช้ในการตรวจจับไฟป่า)
MOD14	อัลกอริทึมสำหรับแปรข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม MODIS ให้เป็นข้อมูลตำแหน่งไฟป่า
Land Cover	สิ่งปกคลุมดิน เช่น ต้นไม้ หญ้า น้ำ หรือ บ้านเรือน เป็นต้น
FireLib	แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ชนิดหนึ่งที่สามารถทำนายพฤติกรรมของไฟป่าจากข้อมูลสถานะของเชื้อเพลิง หรือสถานะของสิ่งแวดล้อมขณะเกิดไฟป่าได้
NFDRS	Nation Fire Danger Rating Systems (ระบบจัดระดับความอันตรายของไฟแห่งชาติของประเทศสหรัฐอเมริกา)
FOFEM	a First Order Fire Effects Model (แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ชนิดหนึ่ง สำหรับการจำลองการเผาไหม้ และประเมินปริมาณการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศ)
WRF	Weather Research and Forecasting (แบบจำลองอุตุนิยมวิทยา ระดับกลางชนิดหนึ่ง ใช้สำหรับการทำนายปรากฏการณ์ต่างๆบนชั้นบรรยากาศ)
WPS	WRF Preprocessing System (โปรแกรมสำหรับเตรียมข้อมูลให้กับแบบจำลอง WRF)
WRFChem	Weather Research and Forecasting-Chem (แบบจำลองคุณภาพอากาศที่พัฒนาต่อมาจาก WRF สำหรับการทำนายลักษณะการแพร่กระจายของมลพิษทางอากาศ)
TOMS Aerosol Index	ดัชนีชี้วัดปริมาณฝุ่นละอองในชั้นบรรยากาศ ได้จากการแปรภาพถ่ายดาวเทียม

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

นับวันสถานการณ์ไฟป่าทั่วโลกจะทวีความรุนแรงมากขึ้นเรื่อยๆ ไฟป่าในแต่ละครั้งเกิดขึ้นอย่างยาวนาน และยากที่จะควบคุม ทั้งนี้เนื่องมาจากสภาวะภูมิอากาศของโลกที่เปลี่ยนแปลงไป และแรงกดดันจากประชากรที่เพิ่มมากขึ้น ไฟป่าที่เพิ่มมากขึ้นทำให้ปริมาณของมลพิษทางอากาศที่เกิดจากไฟป่ามีเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย ตัวอย่างมลพิษทางอากาศจากไฟป่าได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) ฝุ่นละออง เป็นต้น มลพิษทางอากาศดังกล่าวส่งผลกระทบต่อทั้งการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ และสุขภาพของประชาชน คาร์บอนไดออกไซด์เป็นหนึ่งในแก๊สเรือนกระจกซึ่งทำให้เกิดภาวะโลกร้อน ฝุ่นละอองที่มีอยู่ในอากาศจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชน หากปริมาณฝุ่นละอองดังกล่าวมีมากก็จะส่งผลกระทบต่อทัศนวิสัยของผู้ที่ขับขี่ยานพาหนะ ดังแสดงการเปรียบเทียบทัศนวิสัยที่ลดลง จากผลกระทบหมอกควันบริเวณสนามบินเชียงใหม่ในรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 ทัศนวิสัยบริเวณสนามบินเชียงใหม่ในวันที่ 11 มิถุนายน พ.ศ. 2548 ปริมาณฝุ่นขนาดเล็กในบรรยากาศ 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (ซ้าย) และ 149 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (ขวา) ในวันที่ 29 มีนาคม พ.ศ. 2548 [1]

นอกจากนี้จากการศึกษาทั่วโลกพบว่าฝุ่นละอองที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM₁₀) ที่สูงขึ้นจากระดับมาตรฐานเพียง 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ จากมาตรฐานที่กำหนดไว้ 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ จะทำให้การตายด้วยโรกระบบทางเดินหายใจเพิ่ม 7-20% [2] จากผลกระทบดังกล่าวทำให้หลายประเทศให้ความสำคัญต่อการวางแผนนโยบายเพื่อป้องกัน ติดตาม และประเมินผลกระทบจากปัญหามลพิษทางอากาศจากไฟป่า ตัวอย่างเช่นในประเทศไทย เมื่อสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษตรวจพบว่าความเข้มข้นของ PM₁₀ ในอากาศมีค่าสูงเกินกว่ามาตรฐานที่กำหนด กรมควบคุมมลพิษจะประกาศแจ้งเตือนประชาชนในห้วงการเผาในที่โล่งทุกชนิดเช่น งดเผาขยะ

หญ้า และเศษวัสดุทางการเกษตร งดเผาไร่ นา งดเผาในพื้นที่หรือใกล้พื้นที่ป่า งดเผาริมทางหลวง เป็นต้น เพื่อลดปริมาณการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศ รวมถึงลดโอกาสที่ไฟจะลุกลามจากไร่ นา สู่อพื้นที่ป่าไม้ แต่กว่าจะได้ประกาศแจ้งเดือนดังกล่าว ปัญหาหมอกควันก็ลุกลามไปมากแล้ว ทำให้ไม่สามารถจัดการได้ทันทั่วทั้งที่ ดังนั้นการที่จะมาสามารถทราบปัญหาไฟป่าได้ทันเหตุการณ์และสามารถทำนายผลกระทบที่จะเกิดขึ้นจึงมีความสำคัญ

ปัจจุบันได้มีการพัฒนาระบบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เบื้องต้นเพื่อการพยากรณ์เดือนกับมลภาวะหมอกควันสำหรับภาคเหนือตอนบนของประเทศไทยและการประยุกต์ใช้ในฤดูไฟป่า โดย ดร. เกษมสันต์ มโนมัยพิบูลย์ และคณะ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2551 โดยใช้การระบุตำแหน่งไฟป่าด้วยเทคโนโลยีภาพถ่ายดาวเทียม ร่วมกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เบื้องต้น ในการทำนายปริมาณการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศจากไฟป่า และลักษณะการกระจายตัวของมลพิษทางอากาศดังกล่าว ซึ่งพบว่าระบบใช้เวลาในการประมวลผลน้อย และสามารถใช้งานได้ดี แต่ยังพบว่าประสิทธิภาพ และความถูกต้องยังไม่ดีนักเนื่องจากข้อจำกัดในหลายๆประการ

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอวิธีการในการประเมินปริมาณการปลดปล่อยมลพิษจากไฟป่าในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ที่มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น โดยการใช้เทคโนโลยีภาพถ่ายดาวเทียมในการระบุตำแหน่งไฟป่า ร่วมกับการประยุกต์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ต่างๆ สำหรับการจำลองพฤติกรรมของไฟป่า และประเมินความอันตรายของไฟป่านั้น ทำให้การประเมินการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศจากไฟป่าใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากยิ่งขึ้น รวมถึงการบูรณาการร่วมกับแบบจำลองคุณภาพอากาศ ที่มีความซับซ้อนมากขึ้นเพื่อจำลองความเป็นไปของมลพิษทางอากาศดังกล่าว ทำให้ทราบถึงลักษณะการกระจายตัว ทิศทาง และปริมาณความเข้มข้นได้อย่างถูกต้อง และสามารถนำไปใช้ในการวางมาตรการป้องกันผลกระทบจากมลพิษทางอากาศจากไฟป่าต่อไป

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

- 1.2.1 ศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ต่างๆที่มีอยู่เพื่อหาแบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับการประยุกต์ใช้ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้
- 1.2.2 ประยุกต์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ต่างๆเพื่อให้ได้แบบจำลองที่มีประสิทธิภาพสำหรับใช้ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้
- 1.2.3 บูรณาการแบบจำลองให้เป็นระบบเดียวกันและทำให้เป็นระบบแบบกึ่งปัจจุบันเพื่อให้สามารถนำไปใช้ในการวางมาตรการป้องกันปัญหาหมอกควันทางอากาศจากไฟป่าได้
- 1.2.4 ทดสอบประสิทธิภาพของระบบการบูรณาการ เพื่อเป็นประโยชน์ในการปรับปรุงระบบการบูรณาการในอนาคต

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

- 1.3.1 สร้างแบบจำลองแบบบูรณาการประเภทกึ่งปัจจุบัน
- 1.3.2 ทดสอบแบบจำลองแบบบูรณาการที่สร้างขึ้น โดยทำเป็นกรณีศึกษาในช่วงเวลาอดีต โดยเลือกช่วงเวลาที่เกิดไฟป่ามากที่สุดในรอบปี พ.ศ. 2550 ในวันที่ 12-21 มีนาคมซึ่งปีดังกล่าวเป็นปีที่ใกล้กับปีที่ทำการทดลองมากที่สุด
- 1.3.3 การทดสอบแบบจำลองแบบบูรณาการที่สร้างขึ้น โดยเลือกพื้นที่ส่วนหนึ่งของภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้เป็นกรณีศึกษา เพื่อความสะดวกและความรวดเร็วในการทดสอบ
- 1.3.4 ศึกษามลพิษทางอากาศทั้งหมด 4 ชนิด ได้แก่ คาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO), คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂), ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM₁₀) และ ไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO₂) ซึ่งเป็นมลพิษทางอากาศที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากไฟป่ามากที่สุด
- 1.3.5 ใช้ข้อมูลที่ได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศในเขตภาคเหนือของไทยสำหรับการประเมินสมรรถนะของระบบการบูรณาการ

1.4 ขั้นตอนของการศึกษา

- 1.4.1 ศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่มีอยู่
- 1.4.2 เลือกแบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับการประยุกต์ใช้ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้
- 1.4.3 ประยุกต์แบบจำลองต่างๆ บูรณาการให้เป็นระบบเดียวกัน และทำให้เป็นระบบแบบกึ่งปัจจุบัน
- 1.4.4 ทดสอบประสิทธิภาพและประเมินสมรรถนะของแบบจำลองด้วยกรณีศึกษา
- 1.4.5 รายงานผลงานวิจัย สรุป และจัดทำข้อเสนอแนะ

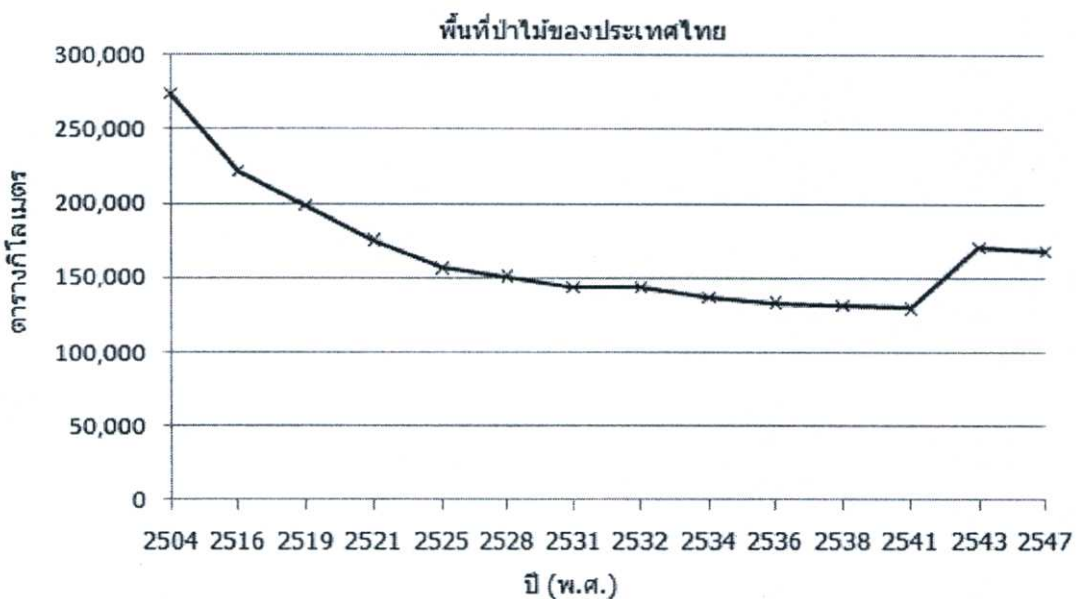
บทที่ 2

ทฤษฎี

ในบทนี้จะกล่าวถึงความรู้ และทฤษฎีพื้นฐานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย เช่น ชนิดของไฟป่า ปัจจัยที่ส่งผลต่อพฤติกรรมของไฟป่า การใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ต่างๆ เพื่อทำนายพฤติกรรม และประเมินปริมาณการปลดปล่อยมลพิษจากไฟป่า รวมถึงการทำนายคุณภาพอากาศ ซึ่งความรู้ดังกล่าวข้างต้นจะถูกนำมาใช้ในขั้นตอนต่างๆ ในการบูรณาการเพื่อการศึกษาการประเมินการปลดปล่อย และทำนายความเป็นไปของมลพิษทางอากาศจากไฟป่าในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้

2.1 ป่าไม้ และไฟป่า

ป่าไม้เป็นทรัพยากรทางธรรมชาติที่มีความสำคัญต่อทั้งระบบนิเวศวิทยา และสิ่งมีชีวิตมาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน การลดลงของทรัพยากรป่าไม้เป็นปัญหาสำคัญที่แต่ละประเทศให้ความสำคัญ จากการสำรวจพื้นที่ป่าไม้ในประเทศไทยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2504-2547 พบว่าพื้นที่ป่าไม้ลดลงเป็นอย่างมากจาก 2.7 แสนตารางกิโลเมตร เหลือเพียง 1.7 แสนตารางกิโลเมตร ดังแสดงการลดลงของพื้นที่ป่าไม้ในรูปที่ 2.1 [3] และผลการจัดลำดับความสำคัญของปัญหาทรัพยากรธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อมจากสถาบันวิจัยเพื่อการพัฒนาประเทศไทยในปี พ.ศ. 2549 [4] พบว่าปัญหาทรัพยากรป่าไม้เป็นปัญหาที่มีความรุนแรงมากที่สุด



รูปที่ 2.1 กราฟพื้นที่ป่าไม้ของประเทศไทยในปี พ.ศ. 2504-2547 [3] (หมายเหตุในปี พ.ศ. 2543 มีการเปลี่ยนแปลงวิธีการคำนวณพื้นที่ป่าจากการสำรวจทางอากาศ มาเป็นการใช้ภาพถ่ายดาวเทียม)

2.1.1 นิยามและ ประเภทของไฟป่า และสาเหตุการเกิดไฟป่า[5]

Brown และ Davis [6] ให้คำจำกัดความของไฟป่า ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายว่า “คือไฟที่ปราศจากการควบคุม ลุกไหม้ไปอย่างอิสระ แล้วเผาผลาญเชื้อเพลิงธรรมชาติในป่า อันได้แก่ ดินอินทรีย์ ใบไม้แห้ง หญ้า กิ่งก้านไม้แห้ง ท่อนไม้ ตอไม้ วัชพืช ไม้พุ่ม ใบไม้สด และในระดับหนึ่งก็สามารถเผาผลาญต้นไม้ที่ยังมีชีวิตอยู่ได้” ในประเทศไทย สำนักป้องกัน ปราบปราม และควบคุมไฟป่า กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช ได้ให้คำจำกัดความของไฟป่าไว้ว่า “ไฟที่เกิดจากสาเหตุใดก็ตาม แล้วลุกลามไปได้โดยอิสระปราศจากการควบคุม ทั้งนี้ไม่ว่าไฟนั้นจะเกิดขึ้นในป่าธรรมชาติหรือสวนป่า”

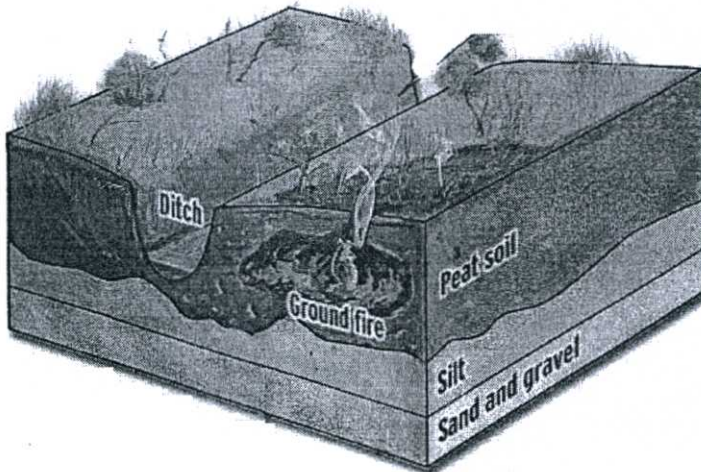
ไฟจะเกิดขึ้น ได้ก็ต่อเมื่อมีองค์ประกอบที่จำเป็น 3 ประการคือ เชื้อเพลิง ความร้อน(จากแหล่งที่ทำให้เกิดการติดไฟ) และออกซิเจน เรียกอีกอย่างว่า “สามเหลี่ยมไฟ” ในสัดส่วนที่พอเหมาะ เมื่อมีการสันดาป (Combustion) เผาผลาญเชื้อเพลิง จะเกิดพลังงานความร้อน และผลิตภัณฑ์ต่างๆ จากการเผาไหม้ปลดปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม สำหรับไฟป่า เชื้อเพลิงส่วนใหญ่เป็นอินทรีย์สารที่อยู่บนพื้นดินได้แก่ ดิน ไม้ กิ่งไม้ หญ้า วัชพืช ฯลฯ รวมไปถึง ดินอินทรีย์ (Peat Soil) และชั้นถ่านหินที่อยู่ใต้ผิวดิน (Coal Seam) ซึ่งหากการสันดาปเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ (Complete Combustion) จะได้ผลิตภัณฑ์คือคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) น้ำ (H₂O) และความร้อน ดังสมการที่ (2.1)



แต่ในความเป็นจริงแล้ว การเผาในที่โล่ง (Open Burning) เช่น ไฟป่า มักจะเกิดการสันดาปแบบไม่สมบูรณ์ (Incomplete Combustion) เนื่องจากเชื้อเพลิงมักมีปริมาณความชื้นสูง และมีอุณหภูมิไม่สูงเพียงพอ ทำให้เกิดควันขึ้นมาก และมีผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ เช่น ฝุ่นละออง ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon monoxide, CO) เขม่าหรือขี้เถ้า (soot or ash) และก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (Nitrogen oxides, NO_x) เป็นต้น

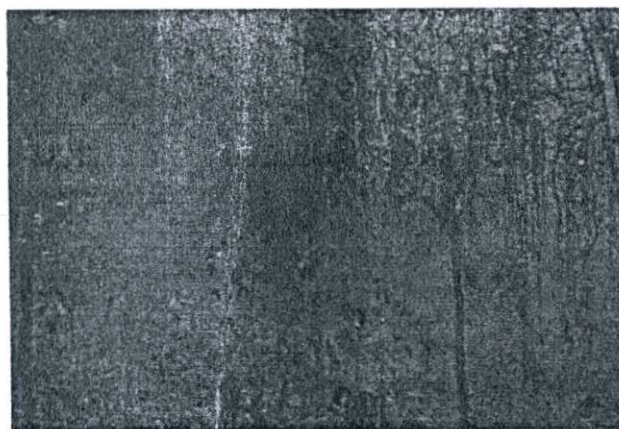
การจำแนกประเภทของไฟป่าตามลักษณะของเชื้อเพลิงที่ถูกเผาไหม้ สามารถจำแนกได้ 3 ประเภท คือ ไฟใต้ดิน (Ground Fire) ไฟผิวดิน (Surface Fire) และไฟเรือนยอด (Crown Fire) ไฟประเภทแรกคือ ไฟใต้ดิน (Ground Fire) หมายถึงไฟที่เผาไหม้อินทรีย์วัตถุที่อยู่ใต้ชั้นผิวดินของพื้นป่า สามารถเกิดขึ้นได้ในป่าบางประเภท เช่น ป่าในเขตอบอุ่นที่ระดับความสูงมากๆ ซึ่งมีอากาศหนาวเย็น และแห้งแล้ง ทำให้มีอัตราการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุต่ำ จึงมีปริมาณอินทรีย์วัตถุสะสมอยู่ในดิน และบนหน้าดินในปริมาณมากเกิดเป็นชั้นหนา หรือในบางพื้นที่ที่มีการทับถมของอินทรีย์วัตถุทำให้เกิดชั้นของถ่านหินเลน (Peat soil) ซึ่งไฟอาจเกิดแทรกลงไปใต้ผิวดิน และลุกลามไปเรื่อยๆ ใต้ผิวดินนั้นในลักษณะการครุกรุ่นอย่างช้าๆ โดยไม่มีเปลวไฟ และมีควันน้อย มีอัตราการลุกลามช้า ทำให้สังเกตไฟชนิดนี้ได้ยาก แต่สามารถสร้างความเสียหายให้แก่พื้นที่ป่าอย่างมาก เพราะไฟจะไหม้ทำลายรากไม้ต่างๆ ทำให้ดิน ไม้ยืนต้นตายในเวลาต่อมา สำหรับภูมิภาค

เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ พบไฟใต้ดินในบางพื้นที่เท่านั้น ส่วนใหญ่เกิดขึ้นในป่าพรุในประเทศอินโดนีเซีย และภาคใต้ของประเทศไทยบางส่วน ตัวอย่างลักษณะของไฟใต้ดินสามารถแสดงรูปที่ 2.2 [7]



รูปที่ 2.2 ตัวอย่างลักษณะของไฟใต้ดิน (Ground Fire)[7]

ส่วนไฟประเภทที่สองคือ ไฟผิวดิน (Surface Fire) เป็นไฟที่เผาไหม้ และลุกลามไปบนผิวดิน โดยเผาไหม้เชื้อเพลิงบนผิวดินได้แก่ ใบไม้ กิ่งไม้แห้งบนพื้นดิน ลูกไม้ หญ้าแห้ง กอไผ่ ไม้พื้นล่าง และไม้พุ่มเป็นต้น ไฟชนิดนี้พบมากที่สุดในทุกภูมิภาคของโลก ความรุนแรงของไฟจะขึ้นอยู่กับชนิด และประเภทของเชื้อเพลิงบนผิวดินนั้น โดยทั่วไปไฟชนิดนี้จะไม่ทำอันตรายต่อไม้ยืนต้นจนถึงตาย แต่จะทำให้เกิดความเสียหายที่ส่งผลให้อัตราการเจริญเติบโต และทำให้ต้นไม้เป็นโรคได้ง่าย รูปตัวอย่างของไฟผิวดินแสดงได้ดังรูปที่ 2.3[5] ไฟป่าประเภทสุดท้ายได้แก่ ไฟเรือนยอด (Crown Fire) เป็นไฟที่ไหม้ลุกลามจากยอดต้นไม้ หรือไม้พุ่มต้นหนึ่งไปยังยอดต้นไม้ หรือไม้พุ่มอีกต้นหนึ่งที่อยู่ใกล้เคียงกัน ส่วนใหญ่เกิดในป่าสนในเขตอบอุ่น มีอัตราการลุกลามที่รวดเร็ว และมีความอันตรายสูง มีความสูงของเปลวไฟประมาณ 10 - 30 เมตร ไฟเรือนยอดอาจเกิดจากการลุกลามของไฟผิวดินขึ้นมาสู่ยอดของต้นไม้ (Dependent Crown Fire) หรือเกิดจากการลุกลามของเรือนยอดหนึ่ง ไปสู่อีกเรือนยอดหนึ่งที่อยู่ข้างเคียง (Running Crown Fire) รูปตัวอย่างของไฟเรือนยอดแสดงได้ดังรูปที่ 2.4 [5]

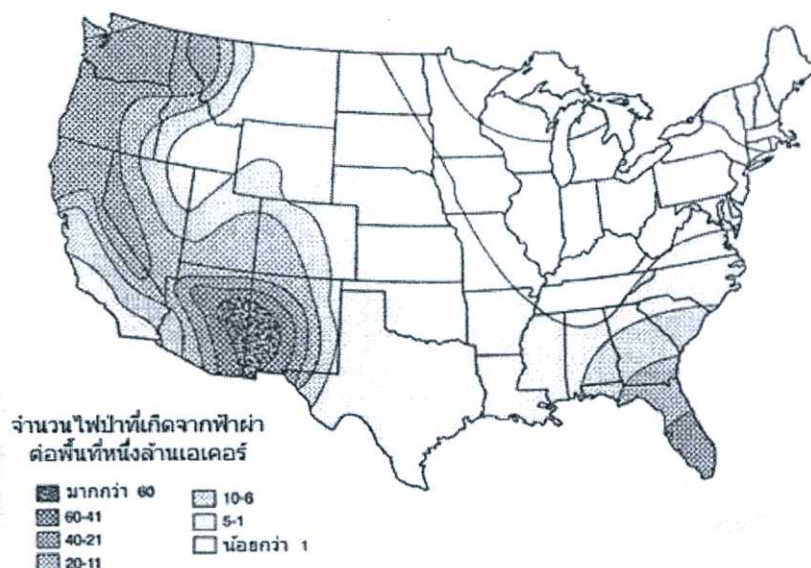


รูปที่ 2.3 ตัวอย่างไฟผิวดิน[5]



รูปที่ 2.4 ตัวอย่างไฟเรือนยอด [5]

ไฟป่าสามารถเกิดขึ้นได้จาก 2 สาเหตุคือ เกิดจากธรรมชาติ และเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ โดยไฟป่าที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติสามารถเกิดขึ้นได้จากหลายสาเหตุด้วยกัน เช่น ฟาผ่า กิ่งไม้เสียดสีกัน ภูเขาไฟระเบิด ปฏิกิริยาเคมีในดินป่าพรุ เป็นต้น ในแต่ละปีฟาผ่าเป็นสาเหตุของการเกิดไฟป่ามากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ในประเทศสหรัฐอเมริกา และประเทศแคนาดา [8] โดยเฉพาะเขตอบอุ่นในบางพื้นที่ของประเทศสหรัฐอเมริกา ฟาผ่าเป็นสาเหตุของไฟป่ามากกว่า 60 ครั้งในแต่ละปี แผนภาพการกระจายตัวของจำนวนครั้งที่ฟาผ่าเป็นสาเหตุของการเกิดไฟป่าเฉลี่ย ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2532-2539 ในพื้นที่ต่างๆของประเทศสหรัฐอเมริกาแสดงได้ดังรูปที่ 2.5 [9]



รูปที่ 2.5 แผนภาพการกระจายตัวของจำนวนครั้งที่ฟ้าผ่าเป็นสาเหตุของการเกิดไฟฟ้าเฉลี่ย ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2532-2539 ในพื้นที่ต่างๆของประเทศไทย [9]

กิจกรรมของมนุษย์เป็นอีกสาเหตุของการเกิดไฟฟ้า และเป็นสาเหตุสำคัญสำหรับไฟฟ้าที่เกิดในประเทศกำลังพัฒนาในเขตร้อน โดยมีสาเหตุต่างกันไปเช่น เก็บหาของป่า เผาไร่ นา ลำสัตว์ เลี้ยงปศุสัตว์ และความประมาทหรือคึกคะนอง เป็นต้น โดยการเก็บหาของป่าเป็นสาเหตุของการเกิดไฟป่ามากที่สุด โดยจุดไฟเพื่อให้พื้นป่าโล่ง เดินสะดวก หรือให้แสงสว่างในระหว่างการเดินทางผ่านป่าในเวลากลางคืนเพื่อเก็บของป่าเช่น เห็ด น้ำผึ้ง ผักหวาน ไข่มดแดง ใบตองตึง ไม้ไผ่ ผักหวาน และไม้พิน เป็นต้น หรือรมควันไล่ผึ้งหรือไล่แมลงต่างๆในขณะที่อยู่ในป่า ตัวอย่างดังแสดงในรูปที่ 2.6-2.7 [10] สำหรับประเทศไทยจากการสำรวจในปี พ.ศ. 2528-2542 พบว่ากิจกรรมของมนุษย์เป็นสาเหตุหลักของการเกิดไฟฟ้า โดยสามารถแบ่งได้เป็น 6 สาเหตุหลักคือ การเก็บของป่า การถูกลามจากพื้นที่เกษตรกรรม ลักลอบเผาป่า ความสะเพร่า การล่าสัตว์ และระบุสาเหตุไม่ได้ สัดส่วนของสาเหตุของการเกิดไฟฟ้าในประเทศไทยแสดงในตารางที่ 2.1 [10]



รูปที่ 2.6 การเผาต้นไม้เพื่อนำขี้เถ้าไปขาย [10]



รูปที่ 2.7 การรวมควั่นไล่ฝิ่งเพื่อเก็บน้ำฝิ่ง [10]

ตารางที่ 2.1 สัดส่วนของสาเหตุของการเกิดไฟป่าในประเทศไทยจากการสำรวจในปี พ.ศ. 2528-2542 [10]

สาเหตุของการเกิดไฟป่า	สัดส่วน (%)
การเก็บของป่า	26
การลุกลามจากพื้นที่เกษตรกรรม	18
ลี้กลอบเผาป่า	17
ความสะเพร่า	16
การล่าสัตว์	15
ระบุสาเหตุไม่ได้	8

2.1.2 พฤติกรรมของไฟป่า [5]

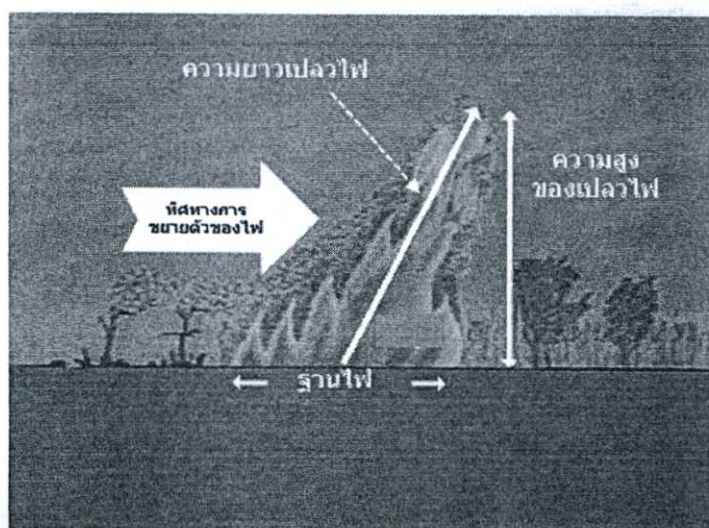
พฤติกรรมของไฟป่า (Forest Fire Behavior) หมายถึง ลักษณะการลุกลาม และการขยายตัวของไฟป่าขณะเกิดการสันดาป ซึ่งจะแปรเปลี่ยนไปเป็นไปตามสภาวะแวดล้อมขณะเกิดไฟป่านั้น ทำให้ไฟป่าที่เกิดขึ้นในแต่ละครั้งแสดงพฤติกรรมที่แตกต่างกันออกไป พฤติกรรมของไฟป่าที่สำคัญ ได้แก่ อัตราการลุกลามของไฟ (Rate of Spread) ความรุนแรงของไฟ (Fire intensity) และความยาวเปลวไฟ (Flame Length) โดยอัตราการลุกลามของไฟ (Rate of Spread) คือ อัตราการเพิ่มขึ้นของพื้นที่ไหม้ไฟหรือระยะทางของไฟต่อเวลา ตัวอย่างของหน่วยที่ใช้ได้แก่ ไร่ต่อนาที และเมตรต่อนาทีตามลำดับ ความรุนแรงของไฟ (Fire intensity) คือ อัตราการปลดปล่อยพลังงานจากเชื้อเพลิงที่ถูกไฟไหม้ โดยทั่วไปนิยมคำนวณค่าดังกล่าวจากสมการของ Byram [11] ดังแสดงในสมการที่ (2.2) ซึ่งเป็นการวัดอัตราการปลดปล่อยพลังงานต่อหน่วยระยะทางของการลุกลามของแนวหัวไฟ

$$I_B = 0.007 H \times W \times R \quad (2.2)$$

โดยที่

- I_B = ความรุนแรงของไฟ (กิโลวัตต์/เมตร)
- H = ปริมาณความร้อนของเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ (แคลอรี/กรัม)
- W = ปริมาณเชื้อเพลิงต่อพื้นที่ (ตัน/เฮกตาร์)
- R = อัตราการลุกลามของไฟ (เมตร/นาที)

ความยาวเปลวไฟ (Flame Length) คือ ระยะจากกึ่งกลางฐานของไฟซึ่งติดกับผิวดินถึงยอดของเปลวไฟ นิยมใช้หน่วยเป็นเมตรหรือฟุต แผนภาพวิธีการวัดความยาวเปลวไฟสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.8 [12]



รูปที่ 2.8 แผนภาพวิธีการวัดความยาวเปลวไฟ [12]

ปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อพฤติกรรมของไฟป่ามี 3 ปัจจัยได้แก่ ลักษณะเชื้อเพลิง ลักษณะอากาศ และลักษณะภูมิประเทศ

2.1.2.1 ลักษณะเชื้อเพลิง [5]

ลักษณะสำคัญของเชื้อเพลิงที่มีผลต่อพฤติกรรมของไฟป่ามีอยู่ 5 ประการคือ ความชื้นของเชื้อเพลิง ขนาดของเชื้อเพลิง ปริมาณของเชื้อเพลิง ความหนาของชั้นเชื้อเพลิง การจัดเรียงตัวและความต่อเนื่องของเชื้อเพลิง

1 ความชื้นของเชื้อเพลิง เป็นลักษณะสำคัญที่สุดของเชื้อเพลิงที่มีอิทธิพลต่อทั้งการติดไฟ และพฤติกรรมของไฟป่า กล่าวคือ หากเชื้อเพลิงมีความชื้นสูงก็จะติดไฟได้ยาก และลุกลามได้ช้า แต่หากเชื้อเพลิงมีความชื้นต่ำหรือแห้งก็จะติดไฟได้ง่าย และลุกลามได้อย่างรวดเร็ว

2 ขนาดของเชื้อเพลิง ในกรณีที่เชื้อเพลิงเป็นชนิดเดียวกัน ไฟจะเผาไหม้เชื้อเพลิงที่มีขนาดเล็ก ได้ดี มีอัตราการสันดาปของเชื้อเพลิงสูง และลุกลามได้รวดเร็วกว่าเชื้อเพลิงที่มีขนาดใหญ่ ดังนั้นเชื้อเพลิงที่มีขนาดเล็กเช่น ใบไม้ กิ่งไม้เล็ก และหญ้าจะติดไฟง่าย และลุกลามได้รวดเร็วกว่า ท่อนไม้ หรือตอไม้ เป็นต้น

3 ปริมาณของเชื้อเพลิง หมายถึงความหนาแน่นของเชื้อเพลิง (ปริมาณหรือน้ำหนักของเชื้อเพลิงต่อหน่วยพื้นที่) หากความหนาแน่นของเชื้อเพลิงมีมากก็จะทำให้ไฟมีความรุนแรงมาก และปลดปล่อยพลังงานความร้อนออกมามากด้วย แต่หากความหนาแน่นของเชื้อเพลิงมีน้อย ปริมาณเชื้อเพลิงที่ถูกสันดาปก็จะมีน้อยด้วยทำให้ไฟมีความรุนแรงต่ำ

4 ความหนาของชั้นเชื้อเพลิง หากเชื้อเพลิงมีการทับถมกันมากและเกิดชั้นหนาจนทำให้เชื้อเพลิงเกิดการอัดแน่นตัว เมื่อติดไฟก็จะทำให้มีความรุนแรงมาก แต่ถ้าชั้นของเชื้อเพลิงอันแน่น และหนาจนเกินไป จะทำให้การลุกลามเป็นไปได้อย่างยาก และช้า เพราะไม่มีช่องว่างให้ออกซิเจนแทรกตัว

5 การจัดเรียงตัว และความต่อเนื่องของเชื้อเพลิง เป็นลักษณะสำคัญของเชื้อเพลิงสุดท้ายที่มีผลต่อพฤติกรรมของไฟป่า ซึ่งหากเชื้อเพลิงกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ และต่อเนื่อง ก็จะทำให้การลุกลามเป็นไปอย่างต่อเนื่องด้วย

2.1.2.2 ลักษณะอากาศ [5]

ลักษณะอากาศ เป็นปัจจัยหลักอีกอย่างหนึ่งที่ส่งผลต่อพฤติกรรมของไฟป่า ซึ่งในธรรมชาติ ลักษณะอากาศเช่น ความเร็วลม และอุณหภูมิ เป็นต้น จะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ซึ่งจะส่งผลต่อพฤติกรรมของไฟป่าให้เปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลาด้วยเช่นกัน ลักษณะอากาศสำคัญที่มีอิทธิพลต่อพฤติกรรมของไฟป่ามีอยู่ 3 ประการคือ ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิของอากาศ และลม

1 ความชื้นสัมพัทธ์ ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ และความชื้นของเชื้อเพลิงจะมีความสัมพันธ์ไปในทางเดียวกัน กล่าวคือ หากความชื้นสัมพัทธ์มาก หมายถึงระดับความชื้นใน

อากาศสูง ความชื้นของเชื้อเพลิงก็จะสูงตามไปด้วย ซึ่งจะทำให้เชื้อเพลิงติดไฟยาก ลูกกลมได้ช้า และมีความรุนแรงต่ำ แต่หากความชื้นสัมพัทธ์น้อยก็จะหมายถึงระดับความชื้นในอากาศต่ำ อากาศแห้ง เชื้อเพลิงก็จะมีความชื้นต่ำไปด้วย ทำให้เชื้อเพลิงติดไฟได้ง่าย ลูกกลมได้อย่างรวดเร็ว และมีความรุนแรงสูง

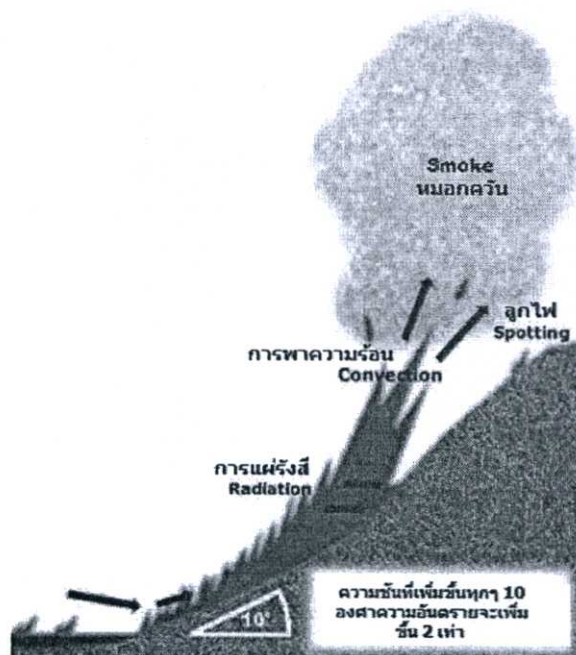
2 อุณหภูมิของอากาศ อุณหภูมิของอากาศมีผลโดยตรงต่อความชื้นของเชื้อเพลิง หากอุณหภูมิของอากาศยิ่งสูง เชื้อเพลิงก็จะยิ่งแห้ง และติดไฟได้ง่าย แต่ อุณหภูมิของอากาศจะส่งผลในทางตรงกันข้ามกับความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ กล่าวคือหากอุณหภูมิของอากาศยิ่งสูง จะทำให้ระดับความชื้นในอากาศต่ำลง ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศจะต่ำลงไปด้วย

3 ลม ลมเป็นลักษณะอากาศสำคัญสุดท้ายที่มีผลต่อพฤติกรรมของไฟฟ้า โดยลมมีอิทธิพลต่อพฤติกรรมของไฟฟ้าในหลายด้าน ได้แก่ ช่วยเพิ่มปริมาณออกซิเจนให้แก่กระบวนการสันดาปของไฟฟ้าทำให้ไฟลูกกลมดีขึ้น มีอัตราการลูกกลมของไฟมากขึ้น เป็นตัวการทำให้เชื้อเพลิงแห้งอย่างรวดเร็ว การพัดลูกไฟไปตกหน้าแนวไฟเดิมทำให้เกิดเป็นไฟขึ้นใหม่ เป็นตัวกำหนดหรือเปลี่ยนแปลงทิศทางการลูกกลมของไฟ ลมส่งผลต่อพฤติกรรมของไฟเรือนยอดและไฟผิวดิน ในพื้นที่โล่งมากกว่าไฟใต้ดิน และไฟผิวดินในป่าทึบ ทั้งนี้เนื่องจากลมที่พื้นผิวดินป่าทึบจะถูกต้นไม้ที่ขึ้นอย่างหนาแน่นปะทะเอาไว้ทำให้มีความเร็วต่ำลง โดยธรรมชาติความเร็วลมจะมีค่าสูงสุดในช่วงกลางวัน และลดลงในเวลาเย็น สำหรับพื้นที่ลาดเขา ลมจะพัดขึ้นเขาในเวลากลางวัน และพัดลงเขาในเวลากลางคืน เนื่องจากเวลากลางวัน ดวงอาทิตย์แผ่รังสีให้แก่ยอดเขามากกว่าหุบเขา ทำให้อุณหภูมิของยอดเขาสูงกว่า และทำให้อากาศมีความแน่นลดลงจึงลอยตัวสูงขึ้น ฉะนั้นอากาศจากที่ต่ำหรือหุบเขาจึงพัดขึ้นเขาไปแทนที่ เรียกว่า ลมหุบเขา (valley wind) ในเวลากลางคืนตามบริเวณภูเขาที่ระดับสูงมีอากาศเย็นกว่าตามที่ต่ำ ความแน่นของอากาศในที่สูงจึงมีมากกว่าในระดับต่ำลมจึงพัดลงตามเขา เรียกลมภูเขา (mountain wind)

2.1.2.3 ลักษณะภูมิประเทศ [5]

ลักษณะภูมิประเทศเป็นปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อพฤติกรรมของไฟฟ้าที่มีการเปลี่ยนแปลงน้อย ลักษณะภูมิประเทศส่งผลทั้งโดยตรง และโดยอ้อมต่อพฤติกรรมของไฟฟ้า ลักษณะภูมิประเทศที่มีความสำคัญต่อพฤติกรรมของไฟฟ้ามีอยู่ 2 ประการ คือความลาดชัน และทิศด้านลาด

1 ความลาดชัน (Slope) ส่งผลโดยตรงต่อทิศทาง และอัตราการลูกกลมของไฟ โดยไฟในที่ลาดชันจะมีอัตราการลูกกลมที่รวดเร็ว และมีความรุนแรงกว่าไฟบนที่ราบ ยิ่งความลาดชันมีมาก อัตราการลูกกลมก็ยิ่งมากตามไปด้วย ทั้งนี้เนื่องจากอากาศร้อนที่เกิดจากไฟลอยสูงขึ้น ซึ่งจะไปทำให้เชื้อเพลิงด้านบนแห้ง จึงทำให้เชื้อเพลิงด้านบนนั้นติดไฟและลูกกลมได้อย่างรวดเร็ว แผนภาพลักษณะของไฟฟ้าในที่ลาดชันแสดงได้ดังรูปที่ 2.9 [13]

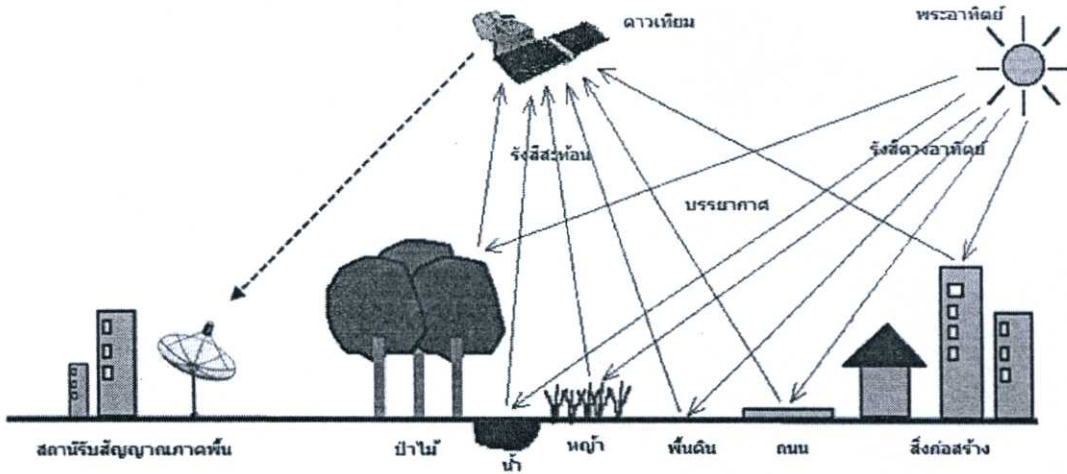


รูปที่ 2.9 ไฟที่ลุกลามขึ้นไปตามเขาที่มีความลาดชัน [13]

2 ทิศด้านลาด (Aspect) คือทิศทางของพื้นที่ลาดชันนั้น โดยทิศทางของพื้นที่ลาดชันที่แตกต่างกันก็จะรับแสงอาทิตย์ในเวลากลางวันได้ไม่เท่ากันด้วย ซึ่งจะส่งผลต่อความชื้นโดยรวมของพื้นที่ลาดบริเวณนั้น ซึ่งพบว่าด้านลาดในทิศตะวันตกเฉียงใต้ จะมีความแห้งแล้งกว่าพื้นที่ในทิศด้านลาดอื่นๆ เชื้อเพลิงจึงแห้ง คัดไฟได้ง่าย และลุกลามได้รวดเร็ว

2.2 การตรวจจับไฟป่าโดยการใช้เทคโนโลยีภาพถ่ายดาวเทียม[14]

การรับรู้ในระยะไกล(Remote Sensing) คือ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแขนงหนึ่ง ที่บันทึกคุณลักษณะของวัตถุ (Object) หรือปรากฏการณ์ (Phenomena) ต่างๆ จากการแผ่หรือสะท้อนรังสีพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Energy) โดยเครื่องวัด/อุปกรณ์บันทึกที่ติดอยู่กับยานสำรวจ หรือดาวเทียม โดยอาศัยความรู้ที่ว่าวัตถุแต่ละชนิด จะมีลักษณะการแผ่หรือสะท้อนรังสีที่เฉพาะตัว และแตกต่างกันไป ดังนั้นการรับรู้ในระยะไกลจึงเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการจำแนกวัตถุหรือสภาพแวดล้อมต่าง ๆ จากลักษณะเฉพาะตัวในการแผ่รังสีหรือสะท้อนของวัตถุนั้นๆ ภาพถ่ายดาวเทียมเป็นแหล่งข้อมูลอย่างหนึ่งในระบบการรับรู้ในระยะไกล ได้จากการบันทึกการแผ่หรือสะท้อนรังสีด้วยอุปกรณ์บันทึกหรือเซนเซอร์บนดาวเทียม ซึ่งโคจรผ่านวัตถุหรือปรากฏการณ์นั้น ดังแสดงในรูปที่ 2.10 [14] และถูกแปลงเป็นสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์ส่งลงสู่สถานีรับภาคพื้นดิน (Receiving Station) ข้อมูลดังกล่าวจะถูกแปลงจากข้อมูลเชิงอนาล็อก (Analog Data) ไปเป็นข้อมูลเชิงตัวเลข (Digital Data) เพื่อนำไปนำวิเคราะห์ข้อมูลต่อไป

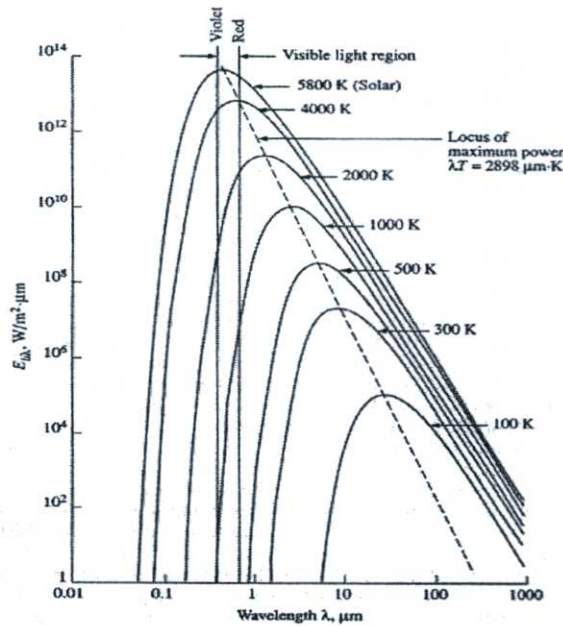


รูปที่ 2.10 ระบบการรับรู้ในระยะไกล [14]

โดยการวิเคราะห์อาจใช้การวิเคราะห์ด้วยสายตา (Visual Analysis) ซึ่งจะให้ข้อมูลผลลัพธ์ออกมาในเชิงคุณภาพ (Qualitative) หรือการวิเคราะห์ด้วยคอมพิวเตอร์ (Digital Analysis) ซึ่งสามารถทำการประมวลภาพถ่ายดาวเทียมจากหลายๆแหล่งหรือหลายๆช่วงคลื่น เพื่อวัตถุประสงค์อย่างใดอย่างหนึ่งให้มีประสิทธิภาพเช่น การระบุประเภทของป่าไม้ การหาตำแหน่งของไฟฟ้า และการระบุพื้นที่ไหม้ไฟเป็นต้น กระบวนการเพื่อการวิเคราะห์ดังกล่าวเรียกอีกอย่างว่าอัลกอริทึม (Algorithm)

2.2.1 หลักการตรวจจับไฟฟ้าด้วยเซนเซอร์บนดาวเทียม

โดยเฉลี่ยไฟที่เกิดที่ผิวดินจะมีเปลวไฟสูงประมาณ 1 เมตร และอุณหภูมิเฉลี่ยสูงราว 800 องศาเซลเซียส ในสถานะที่รุนแรง เปลวไฟอาจสูงถึง 50 เมตรหรือมากกว่า และอุณหภูมิของเปลวไฟอาจสูงเกินกว่า 1,200 องศาเซลเซียส จากความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการแผ่รังสี วัตถุใดๆที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 0 องศาสัมบูรณ์จะสามารถดูดกลืน และปลดปล่อยรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าออกมาได้ จากทฤษฎีการกระจายของพลังค์ (Planck's Distribution) ซึ่งได้อธิบายกำลังการปลดปล่อยสเปกตรัมของวัตถุดำ ดังแสดงในรูปที่ 2.11 [15] ไว้ว่า 1.) รังสีที่ปลดปล่อยออกมาจะเปลี่ยนแปลงตามความยาวคลื่นอย่างต่อเนื่อง 2.) ที่ความยาวคลื่นใดๆปริมาณรังสีที่ปลดปล่อยออกมาจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น 3.) ช่วงสเปกตรัมที่มีความเข้มของรังสีมากที่สุดจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ โดยจะมีรังสีในช่วงความยาวคลื่นสั้นมากขึ้น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น 4.) สัดส่วนของรังสีที่ปลดปล่อยออกมาจากดวงอาทิตย์ซึ่งสามารถประมาณได้ว่าเป็นวัตถุดำที่อุณหภูมิ 5,800 องศาเคลวิน จะอยู่ในช่วงคลื่นที่ตามองเห็นได้ (visible) มากที่สุด ส่วนวัตถุที่อุณหภูมิที่ต่ำกว่าหรือเท่ากับ 800 องศาเคลวิน จะปลดปล่อยรังสี infrared มากที่สุด ไฟป่า ซึ่งส่วนใหญ่จะมีอุณหภูมิมากกว่าหรือเท่ากับ 800 องศาเซลเซียส จะปลดปล่อยรังสีในช่วงสูงสุดที่ความยาวคลื่นช่วงอินฟราเรดกลาง (Mid-Infrared) ที่ความยาวคลื่นในช่วง 3-5 ไมโครเมตร ดังนั้นในการตรวจจับไฟฟ้าจะสามารถกระทำได้โดยใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงดังกล่าว



รูปที่ 2.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการแผ่รังสีของวัตถุดำ กับความยาวคลื่น [15]

2.2.2 เซนเซอร์ และอัลกอริทึมสำหรับการตรวจจับไฟป่า

เซนเซอร์ในที่นี้หมายถึง อุปกรณ์ตรวจวัดทางวิทยาศาสตร์ (Scientific instrument) ที่ถูกติดตั้งบนดาวเทียม ทำหน้าที่บันทึกข้อมูลการแผ่หรือสะท้อนรังสีของวัตถุต่างๆบนโลกเพื่อนำไปวิเคราะห์ในระบบการรับรู้ระยะไกล สำหรับการใส่เซนเซอร์เพื่อการตรวจจับไฟป่า นั้น เริ่มมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2528 โดยโครงการ NASA's Land Cover and Land Use (LCLUC) [16] ซึ่งพัฒนาการตรวจจับไฟป่าด้วยเซนเซอร์บนดาวเทียมในทวีปอเมริกาเหนือ ต่อมาการพัฒนาเซนเซอร์มีความก้าวหน้ามากขึ้นมีเซนเซอร์หลายชนิดที่สามารถตรวจจับไฟป่า อาทิ Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) Multi-channel energy sensor ของโครงการ Geostationary Operational Environmental Satellites (GOES) และเซนเซอร์ Operational Linescan System (OLS) ของโครงการ Defense Meteorological Satellite Program (DMSP) เป็นต้น ในที่นี้จะขอกกล่าวถึงรายละเอียดของเซนเซอร์ AVHRR และ MODIS ซึ่งได้รับความนิยม และยังคงมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องจนถึงปัจจุบัน

เซนเซอร์ AVHRR ถูกพัฒนา และติดตั้งครั้งแรกบนดาวเทียม TIROS-N เมื่อปี พ.ศ. 2521 ปัจจุบันเซนเซอร์ AVHRR รุ่นที่ 3 (AVHRR/3) ที่ติดตั้งอยู่บนดาวเทียม NOAA-15, NOAA-16, NOAA-17, NOAA-18, NOAA-19, METOP-1, METOP-2 และ METOP-3 [17] สามารถตรวจวัดรังสีที่ปลดปล่อย หรือสะท้อนจากผิวโลกได้ทั้งหมด 6 ช่องสัญญาณ ตั้งแต่ความยาวคลื่น 0.58-12.50 ไมครอน ที่ความละเอียด 1 กิโลเมตร ช่องสัญญาณส่วนใหญ่มีจุดประสงค์ในการระบุตำแหน่งของเมฆ และวัตถุอุณหภูมิของพื้นผิวโลก รายละเอียดช่วงคลื่น และจุดประสงค์การใช้งานของช่องสัญญาณต่างๆของ AVHRR แสดงได้ดังตารางที่ 2.2 [18]

ตารางที่ 2.2 รายละเอียดช่วงคลื่น และจุดประสงค์การใช้งานของช่องสัญญาณต่างๆของ AVHRR [18]

ช่องสัญญาณที่	ความยาวของช่วงคลื่น(μm)	จุดประสงค์ของการใช้
1	0.58 - 0.68	ระบุตำแหน่งของเมฆ และพื้นผิวโลกในเวลากลางวัน
2	0.725 - 1.00	ระบุขอบเขตของน้ำ และพื้นดิน
3A	1.58 - 1.64	ตรวจจับหิมะ และน้ำแข็ง
3B	3.55 - 3.93	ระบุตำแหน่งของเมฆ และพื้นผิวโลกในเวลากลางคืน
4	10.30 - 11.30	ระบุตำแหน่งของเมฆ และพื้นผิวโลกในเวลากลางคืน
5	11.50 - 12.50	ตรวจวัดอุณหภูมิพื้นผิว

กระบวนการในการตรวจจับไฟป่าโดยใช้ข้อมูลในช่องสัญญาณต่างๆของเซนเซอร์บนดาวเทียม นั้น ทำโดยใช้อัลกอริทึมที่ถูกพัฒนาขึ้นมาโดยเฉพาะสำหรับแต่ละเซนเซอร์ อัลกอริทึมที่เป็นพื้นฐานในการระบุตำแหน่งไฟป่าของเซนเซอร์ AVHRR คือ The Fire Identification, Mapping and Monitoring Algorithm (FIMMA) [19] ริเริ่มพัฒนาโดย Dr. Ivan Csiszar แห่ง The Cooperative Institute for Research in the Atmosphere, NOAA/NESDIS Office of Research and Applications (ORA), USA อัลกอริทึม FIMMA ใช้ข้อมูลในช่องสัญญาณที่ 2, 3B, 4 และ 5 ปัจจุบันถูกนำมาใช้ในการตรวจจับไฟป่าในทวีปอเมริกาเหนือโดย Satellite Services Division (SSD), USA [20]

ในส่วนของเซนเซอร์ MODIS ได้พัฒนาโดย National Aeronautics and Space Administration(NASA) และถูกติดตั้งบนดาวเทียมสำรวจโลก Terra (EOS AM) ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2542 และดาวเทียม Aqua (EOS PM) ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2545 สามารถตรวจวัดรังสีที่ปลดปล่อย หรือ สะท้อนจากผิวโลกได้ทั้งหมด 36 ช่องสัญญาณ ตั้งแต่ความยาวคลื่น 0.4 ถึง 14.4 ไมครอน ที่ความละเอียดเชิงพื้นที่ที่แตกต่างกันไปในแต่ละช่องสัญญาณ ตั้งแต่ 250 เมตร ถึง 1 กิโลเมตร (2 ช่องสัญญาณที่ 250 เมตร 5 ช่องสัญญาณที่ 500 เมตร และ 29 ช่องสัญญาณที่ 1 กิโลเมตร) ช่องสัญญาณส่วนใหญ่มีจุดประสงค์ในการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงบนพื้นผิวโลก และเมฆบนชั้นบรรยากาศ รายละเอียดช่วงคลื่น และจุดประสงค์การใช้งานของช่องสัญญาณต่างๆของ MODIS แสดงไว้ในภาคผนวก ก. MODIS สามารถบันทึกภาพโดยการกวาดจากด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่งโดยมีมุมกวาดสูงสุด 55 องศา การบันทึกภาพแต่ละครั้งครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 2,330 กิโลเมตร และบันทึกข้อมูลครอบคลุมพื้นที่ทั่วโลกได้ภายใน 2 วัน อัลกอริทึมที่เป็นพื้นฐานในการระบุตำแหน่งไฟป่าของเซนเซอร์ MODIS คือ MOD14 ถูกพัฒนาโดยความร่วมมือระหว่าง

NASA และมหาวิทยาลัยแห่งรัฐแมริแลนด์ ประเทศสหรัฐอเมริกา MOD14 ใช้ข้อมูลที่มีความยาวคลื่นในช่วง Infrared ในช่องสัญญาณที่ 21 และ 22 ในการพิจารณาค่าแหน่งที่มีอุณหภูมิสูงกว่าค่าแห่งแควคล้อม โดยช่องสัญญาณที่ 21 และ 22 สามารถตรวจวัดอุณหภูมิได้สูงสุด 500 และ 331 องศาเซลวิน ตามลำดับ แต่การตรวจวัดอุณหภูมิของพื้นผิวเพียงอย่างเดียวไม่เพียงพอที่จะระบุค่าแห่งของไฟฟ้าได้อย่างถูกต้อง ดังนั้นจึง มีการใช้ข้อมูลในช่วงความยาวคลื่นอื่นๆ เพื่อประกอบการพิจารณา เช่น ข้อมูลในช่วงคลื่นที่บอกถึงค่าแห่งและลักษณะของเมฆ เป็นต้น รายละเอียดของช่องสัญญาณ และจุดประสงค์ของช่วงคลื่นที่ MOD14 ใช้ทั้งหมดในอัลกอริทึมแสดงไว้ในตารางที่ 2.3 นอกจากนี้ MOD14 ยังรายงานค่าความเชื่อมั่นของการตรวจวัดในแต่ละครั้งด้วย มีค่าตั้งแต่ 1-100% โดยค่าความเชื่อมั่นยิ่งมากหมายถึงสภาพของการตรวจวัดยิ่งดีเช่น ท้องฟ้าแจ่มใส และไม่มีเมฆบดบัง

ตารางที่ 2.3 ช่องสัญญาณของ MODIS ที่ใช้ในอัลกอริทึม MOD14[21]

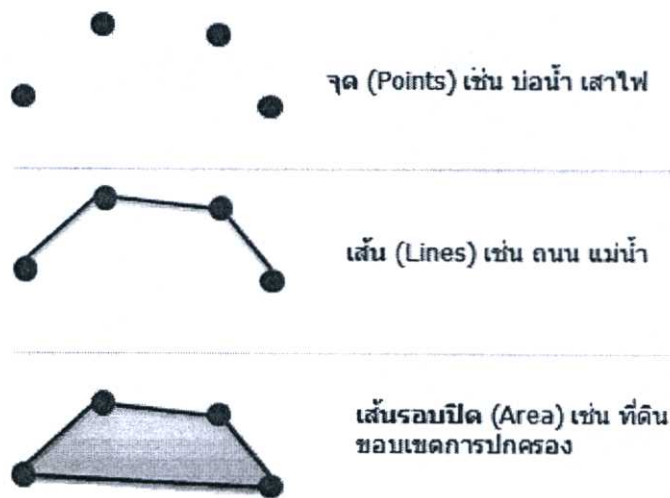
ช่องสัญญาณที่	ความยาวของช่วงคลื่น(μm)	จุดประสงค์ของการใช้
1	0.65	การสะท้อนของแสงอาทิตย์, ลดการตรวจวัดที่ผิดพลาดในแถบชายทะเล, คัดตำแหน่งที่เป็นเมฆออก
7	0.86	พื้นผิวที่มีความสว่าง, การสะท้อนของแสงอาทิตย์, ลดการตรวจวัดที่ผิดพลาดในแถบชายทะเล, คัดตำแหน่งที่เป็นเมฆออก
11	2.1	การสะท้อนของแสงอาทิตย์, ลดการตรวจวัดที่ผิดพลาดในแถบชายทะเล
21	4.0	ช่วงการตรวจวัดอุณหภูมิ < 500K
22	4.0	ช่วงการตรวจวัดอุณหภูมิ < 331K
31	11.0	ตรวจวัดตำแหน่งไฟ, คัดตำแหน่งที่เป็นเมฆออก
32	12.0	คัดตำแหน่งที่เป็นเมฆออก

2.3 ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ [22]

ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System: GIS) คือ กระบวนการทำงานเพื่อการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial data) และข้อมูลเชิงบรรยาย (attribute data) โดยการจัดรูปแบบข้อมูลเชิงพื้นที่นั้นให้มีความสัมพันธ์เชื่อมโยงกันและกัน และนำผลลัพธ์ของความสัมพันธ์เชิงพื้นที่นั้นไปใช้ในจุดประสงค์ที่ต้องการ ซึ่งกระบวนการดังกล่าวอาศัยการทำงานร่วมกับโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ข้อมูลเชิงพื้นที่ (spatial data) เป็นข้อมูลที่แสดงตำแหน่งที่ตั้งทาง

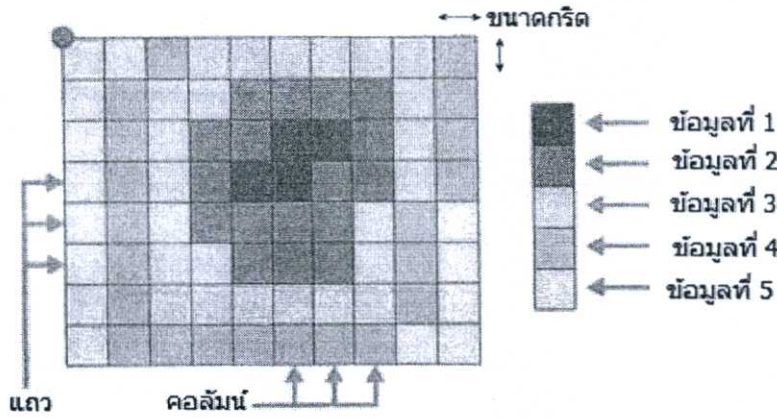
ภูมิศาสตร์ (Geo-reference data) ของรูปลักษณะของพื้นที่ (Graphic feature) โดยข้อมูลเชิงพื้นที่ที่สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ ข้อมูลทิศทางหรือข้อมูลเวกเตอร์(Vector data) และข้อมูลตารางกริดหรือข้อมูลราสเตอร์(Raster data)

ข้อมูลทิศทางหรือข้อมูลเวกเตอร์(Vector data) มี 3 ลักษณะด้วยกัน คือ จุด (Points) ใช้อ้างอิงถึงตำแหน่งที่ตั้งของสิ่งต่างๆ มีที่ตั้งเฉพาะเจาะจงหรือมีเพียงตำแหน่งเดียว เช่น หลักลมุด บ่อน้ำ เสาไฟ อาคาร และสิ่งก่อสร้างเป็นต้น เส้น (Arc or Lines) เป็นชุดของจุดที่เรียงต่อกัน โดยใช้แทนลักษณะที่เป็นเส้น เช่น ถนน แม่น้ำ และแนวสายส่งไฟฟ้าเป็นต้น เส้นรอบปิด (Area or Polygons) เป็นเส้นรอบรูปปิด ใช้แทนลักษณะข้อมูลที่เป็นขอบเขตหรือพื้นที่เช่น การใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land use) และขอบเขตการปกครอง (Political boundary) เป็นต้น ตัวอย่างข้อมูลเวกเตอร์ลักษณะต่างๆแสดงได้ดังรูปที่ 2.12



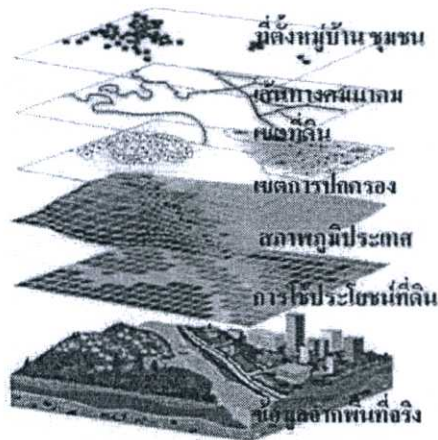
รูปที่ 2.12 ลักษณะข้อมูลเวกเตอร์ต่างๆ

ข้อมูลตารางกริดหรือข้อมูลราสเตอร์ (Raster data) มีลักษณะการจัดเก็บข้อมูลเป็นตารางสี่เหลี่ยมจัตุรัสเล็กๆ (Grid or Pixel) เท่าๆกันและต่อเนื่องกัน และสามารถอ้างอิงค่าพิกัดทางภูมิศาสตร์ได้ ขนาดของตารางกริดหรือความละเอียด (Resolution) ในการเก็บข้อมูลจะใหญ่หรือเล็กขึ้นขึ้นอยู่กับการจัดแบ่งจำนวนแถว และจำนวนคอลัมน์ ตัวอย่างข้อมูลที่จัดเก็บโดยใช้ตารางกริด เช่น ภาพทางอากาศ (Aerial photo) ภาพดาวเทียม (Satellite Images) เป็นต้น ตัวอย่างข้อมูลตารางกริดหรือข้อมูลราสเตอร์สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.13 [22]



รูปที่ 2.13 ข้อมูลตารางกริดหรือข้อมูลราสเตอร์ [22]

การวิเคราะห์ข้อมูลโดยการซ้อนทับ (Overlay) ของข้อมูลลักษณะต่างๆดังกล่าวจะทำให้ทราบถึงความสัมพันธ์ของข้อมูลลักษณะต่างๆในตำแหน่งเดียวกัน ตัวอย่างการซ้อนทับข้อมูลเชิงพื้นที่ดังแสดงในรูปที่ 2.14 ซึ่งจะสามารถให้ข้อมูลผลลัพธ์ว่าชุมชนใดมีเส้นทางคมนาคมอะไรผ่าน อยู่ในเขตการปกครองไหน มีการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นอย่างไร เป็นต้น



รูปที่ 2.14 การซ้อนทับข้อมูลเชิงพื้นที่ของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์[23]

ข้อมูลตำแหน่งไฟฟ้าที่ได้จากเซนเซอร์บนดาวเทียม ส่วนใหญ่ถูกเก็บอยู่ในรูปแบบ ข้อมูลเวกเตอร์ในลักษณะจุด และราสเตอร์ ที่บรรจุข้อมูลพิกัดบนผิวโลกเท่านั้น ซึ่งข้อมูลตำแหน่งไฟฟ้าดังกล่าวสามารถนำไปวิเคราะห์โดยการซ้อนทับกับข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์อื่นๆ เช่น ข้อมูลพรมแดนประเทศ หรือ ข้อมูลสิ่งปกคลุมดิน (Land cover) ทำให้ทราบว่าไฟฟ้าตำแหน่งนั้นเกิดขึ้นในประเทศใด และเกิดขึ้นในป่าประเภทใด

2.4 การประเมินการปลดปล่อยมลพิษจากไฟฟ้าด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

โดยทั่วไปการประเมินการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศสามารถคำนวณได้จากปริมาณการใช้เชื้อเพลิง ร่วมกับปัจจัยการปลดปล่อย(Emission factor) ในกรณีมลพิษทางอากาศจากไฟฟ้าก็สามารถประเมินได้จากวิธีการเดียวกัน ซึ่งสมการที่ใช้แสดงดังสมการที่ (2.3) [24]

$$E_i = M \times EF_i \quad (2.3)$$

โดยที่

E_i	= ปริมาณมลพิษทางอากาศที่ถูกปลดปล่อย(กรัม)
M	= จำนวนชีวมวลที่ถูกเผาไหม้ (กิโลกรัม)
EF_i	= ปัจจัยการปลดปล่อยของมลพิษที่สนใจ (กรัม/ปริมาณชีวมวลทั้งหมดในสถานะไร้ความชื้น (กิโลกรัม))
i	= ชนิดของมลพิษทางอากาศที่สนใจ

สำหรับการประเมินการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศจากไฟฟ้า ค่าปัจจัยการปลดปล่อย(EF) ได้จากการทดลองภาคสนามในพื้นที่ป่า ในขณะที่จำนวนชีวมวลที่ถูกเผาไหม้(M) สามารถคำนวณได้จากพื้นที่ที่ถูกไฟไหม้ ปริมาณชีวมวลทั้งหมดในสถานะไร้ความชื้น ประสิทธิภาพของการเผาไหม้ และสัดส่วนชีวมวลที่ถูกเผาไหม้ ดังสมการที่ (2.4) [24]

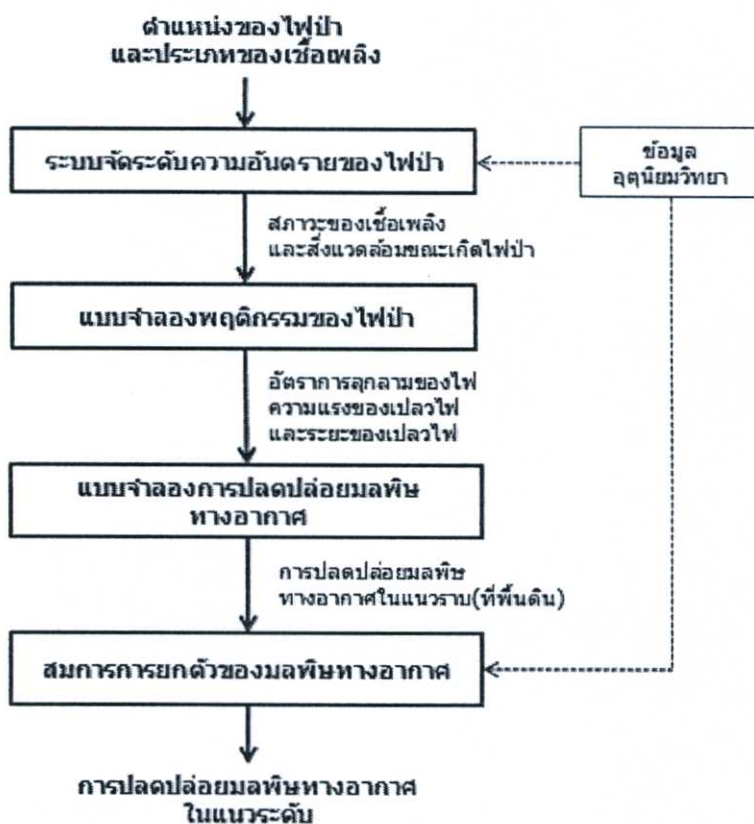
$$M = A \times B \times E \times F \quad (2.4)$$

โดยที่

A	= พื้นที่ที่ถูกไฟไหม้ (ตารางเมตร)
B	= ปริมาณชีวมวลทั้งหมดในสถานะไร้ความชื้น (กิโลกรัม/ตารางเมตร)
E	= ประสิทธิภาพของการเผาไหม้
F	= สัดส่วนชีวมวลที่ถูกเผาไหม้

ซึ่งข้อมูลส่วนใหญ่ได้จากการสำรวจของหน่วยงานต่างๆ การทดลองในห้องปฏิบัติการ การทดลองภาคสนาม และเอกสารอ้างอิงต่างๆ การประเมินการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศจากไฟฟ้า โดยการสมมุติว่า ไฟป่ามีลักษณะเหมือนกัน คือมีประสิทธิภาพการเผาไหม้และสัดส่วนของการเผาไหม้คงที่ จึงต้องการข้อมูลพื้นที่ที่ถูกไฟไหม้เพียงข้อมูลเดียวก็สามารถหาปริมาณของการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศจากไฟฟ้าได้ ทำให้ง่ายต่อการดำเนินงาน และให้ผลลัพธ์รวดเร็ว แต่สมมุติฐานดังกล่าวทำให้ผลการประเมินมีความคลาดเคลื่อนสูงเพราะไฟป่าในแต่ละครั้งมีความ

แตกต่างกัน และสามารถแปรเปลี่ยนพฤติกรรมไปตามสภาพปัจจัยของสิ่งแวดล้อมภายนอกซึ่งจะทำให้การปลดปล่อยมลพิษทางอากาศในแต่ละครั้งแปรเปลี่ยนไปด้วย ดังนั้นจึงมีการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ต่างๆเพื่อจำลองลักษณะพฤติกรรมต่างๆของไฟฟ้า และประเมินการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศจากพฤติกรรมนั้น ทำให้ผลของการประเมินมีความถูกต้องใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากขึ้น ปัจจุบันมีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในทำนายพฤติกรรมของไฟฟ้า อยู่หลายแบบจำลองอาทิ แบบจำลอง FireLib[25] BehavePlus[26] และ FlamMap[27] ของ US Firelab, Department of Agricultural, USA เป็นต้น และแบบจำลองที่ใช้ประเมินการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศโดยอาศัยข้อมูลพฤติกรรมของไฟฟ้า อาทิ FOFEM (a First Order Fire Effects Model) [28] และ FARSITE[29] ของ US Firelab, Department of Agricultural, USA เป็นต้น ขั้นตอน และกระบวนการทั้งหมดในการประเมินการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศจากไฟฟ้าด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.15



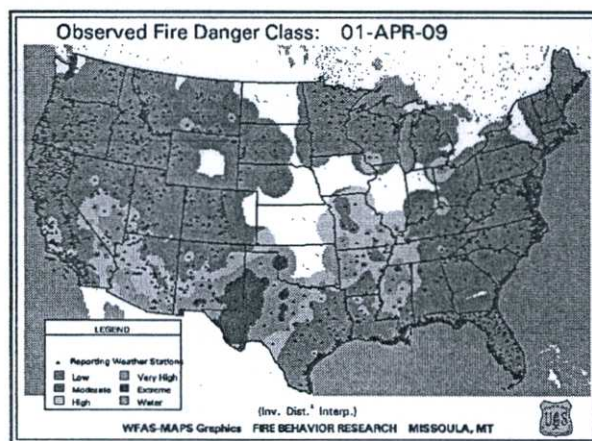
รูปที่ 2.15 กระบวนการในการประเมินการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศจากไฟฟ้าด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

กระบวนการเริ่มจากการนำข้อมูลตำแหน่งของไฟฟ้า ซึ่งได้จากการประมวลภาพถ่ายดาวเทียม และประเภทของเชื้อเพลิงในป่านั้นว่าเป็นป่าประเภทใด เช่น ป่าหญ้า ป่าไม้ผลัดใบ เป็นต้น มาคำนวณสภาวะของเชื้อเพลิง และสิ่งแวดล้อมขณะเกิดไฟฟ้า อาทิ ความชื้นสมมูลของอากาศ และความชื้นของเชื้อเพลิง เป็นต้น ด้วยระบบจัดระดับความอันตรายของไฟฟ้า โดยอาศัย

ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ต่อมาข้อมูลดังกล่าว จะถูกใช้ในการทำนายพฤติกรรมของไฟฟ้า อาทิ อัตราการลุกลามของไฟ ความแรงของเปลวไฟ และระยะของเปลวไฟ เป็นต้น ด้วยแบบจำลองพฤติกรรมของไฟฟ้า ต่อมาข้อมูลพฤติกรรมของไฟฟ้าที่ทำนายได้จะถูกใช้ในการประเมินการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศที่ระดับพื้นดิน ด้วยแบบจำลองการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศ ต่อมาข้อมูลการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศที่พื้นดิน จะถูกใช้ในการคำนวณการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศที่ความสูงระดับต่างๆ (ในแนวระดับ) ด้วยสมการการยกตัวของมลพิษทางอากาศ โดยอาศัยข้อมูลอุตุนิยมวิทยา เนื่องจากในความเป็นจริงมลพิษทางอากาศที่เกิดขึ้นสามารถยกตัวสูงขึ้นก่อนจะถูกพัดพาไปตามกระแสลม ดังนั้นเพื่อให้การประเมินการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศจากไฟป่ามีความถูกต้องใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากขึ้น การคำนวณความสูงที่มลพิษสามารถยกตัว จึงจำเป็นสำหรับการประเมินการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศในแนวระดับ ซึ่งจะช่วยให้ทราบถึงปริมาณมลพิษทางอากาศที่ระดับความสูงต่างๆ และทำให้การทำนายคุณภาพอากาศในขั้นตอนต่อไปมีความถูกต้องใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากขึ้น ซึ่งรายละเอียดของแต่ละขั้นตอนในกระบวนการประเมินการปลดปล่อยมลพิษจากไฟป่า มีดังต่อไปนี้

2.4.1 ระบบจัดระดับความอันตรายของไฟป่า

Nation Fire Danger Rating Systems (NFDRS) คือระบบจัดระดับความอันตรายของไฟแห่งชาติ(ของประเทศสหรัฐอเมริกา) ที่จัดทำขึ้นครั้งแรกเมื่อปี พ.ศ. 2515 โดย Jack D. Cohen และ John E. Deeming แห่งDepartment of Agricultural, USA [30] มีจุดประสงค์ในการจัดอันดับความอันตรายของไฟป่าเพื่อการป้องกัน เตือนภัย และวางมาตรการควบคุมไฟป่าในประเทศสหรัฐอเมริกา ตัวอย่างแผนภาพผลลัพธ์การจัดอันดับความอันตรายของไฟป่ารายวันด้วยระบบ NFDRS ของวันที่ 1 เมษายน พ.ศ. 2552 แสดงได้ดังรูปที่ 2.16[31]



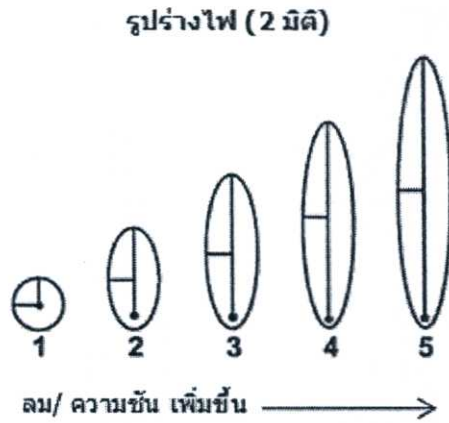
รูปที่ 2.16 แผนภาพผลลัพธ์การจัดอันดับความอันตรายของไฟป่ารายวันด้วยระบบ NFDRS ของวันที่ 1 เมษายน พ.ศ. 2552 สีแดงในแผนภาพหมายถึงพื้นที่ที่ถูกจัดอันดับว่ามีความอันตรายของไฟป่ามากที่สุด สีเขียวหมายถึงพื้นที่ที่ถูกจัดอันดับว่ามีความอันตรายของไฟป่าน้อย เป็นต้น [31]

ระบบ NFDRS ประกอบไปด้วยระบบสมการต่างๆหลายสมการส่วนใหญ่ได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการ และการตรวจวัดในภาคสนาม โดยอาศัยข้อมูลสภาพอากาศสำหรับการคำนวณการจัดอันดับความอันตรายของไฟฟ้า ข้อมูลสภาพอากาศอาจได้จากสถานีรายงานสภาพอากาศ (Reporting Weather Stations) หรือผลลัพธ์การจำลองสภาพอากาศด้วยแบบจำลองทางอุตุนิยมวิทยา ข้อมูลสภาพอากาศที่ระบบ NFDRS ใช้ในการคำนวณ ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ (Air temperature) ความดัน (Pressure) ความเร็วลม (Wind speed) ปริมาณฝน (Total precipitation) สัดส่วนเมฆ (Cloud fraction: CLD) และความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity: RH) ตัวอย่างสมการในระบบ NFDRS อาทิ สมการ William Simpson and Anton Ten Wolde Equations สำหรับการคำนวณค่าความชื้นสมดุลในอากาศ (Equilibrium moisture content: EMC) สมการคำนวณความชื้นของเชื้อเพลิงที่ยังมีชีวิตอยู่ (Models of Live-Fuel Moisture) และสมการคำนวณความชื้นของเชื้อเพลิงที่ตายแล้ว (Models of Dead-Fuel Moisture) เป็นต้น

ในกระบวนการในการประเมินการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศจากไฟฟ้าด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ตามรูปที่ 2.15 จะใช้สมการเพียงบางสมการของระบบ NFDRS สำหรับการคำนวณสถานะของเชื้อเพลิง และสิ่งแวดล้อมขณะเกิดไฟฟ้า อันได้แก่ ความชื้นสมดุลรายชั่วโมง (Hourly-Equilibrium moisture content) ความชื้นของเชื้อเพลิงรายชั่วโมง (Hourly -Fuel moisture content) ความชื้นของเชื้อเพลิงเมื่อเวลาผ่านไป 10 ชั่วโมง (10 hour -Fuel moisture content) ความชื้นของเชื้อเพลิงเมื่อเวลาผ่านไป 100 ชั่วโมง (100 hour -Fuel moisture content) ความชื้นของเชื้อเพลิงเมื่อเวลาผ่านไป 1,000 ชั่วโมง (1,000 hour -Fuel moisture content) ความชื้นของไม้ลำต้นอ่อน (Herb moisture) ความชื้นของไม้ลำต้นแข็ง (Woody moisture) โดยรายละเอียดการคำนวณของแต่ละตัวแปรแสดงไว้ใน ภาคผนวก ข.

2.4.2 แบบจำลองพฤติกรรมของไฟฟ้า

สถานะของเชื้อเพลิง และสิ่งแวดล้อมขณะเกิดไฟฟ้าที่ได้จากระบบ NFDRS จะเป็นข้อมูลขาเข้าของแบบจำลองพฤติกรรมของไฟฟ้าต่างๆ อาทิ แบบจำลอง FireLib [25] BehavePlus [26] และ FlamMap [27] เป็นต้น โดยแบบจำลองจะทำนายลักษณะพฤติกรรม อาทิ อัตราการลุกลามของไฟ (Rate of spread) ความแรงของไฟ (Intensity) และระยะของไฟ (Flame length) เป็นต้น พฤติกรรมของไฟฟ้าจะถูกทำนายโดยแบบจำลอง หรือสมการที่ได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการ แบบจำลองพฤติกรรมของไฟฟ้า FireLib [25] จะทำนายอัตราการลุกลามของไฟและระยะของไฟ โดยใช้พื้นฐานของแบบจำลอง The elliptical growth model พัฒนาโดย Anderson ในปี พ.ศ. 2526 [32] โดยมีสมมุติฐานที่ว่าไฟจะมีรูปร่างเป็นวงกลม และเปลี่ยนแปลงรูปร่างไปตามปัจจัยภายนอกเช่น ทิศทางลม และความชื้นของพื้นที่เป็นต้น ตัวอย่างรูปร่างของไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อความเร็วลม และความชื้นของพื้นที่เพิ่มขึ้นแสดงดังรูปที่ 2.17 [33] ส่วนความแรงของไฟจะทำนายโดยใช้สมการของ Byram [11] เป็นต้น



รูปที่ 2.17 รูปร่างของไฟป่าที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อความเร็วลมและ ความชื้นของพื้นที่เพิ่มขึ้น [33]

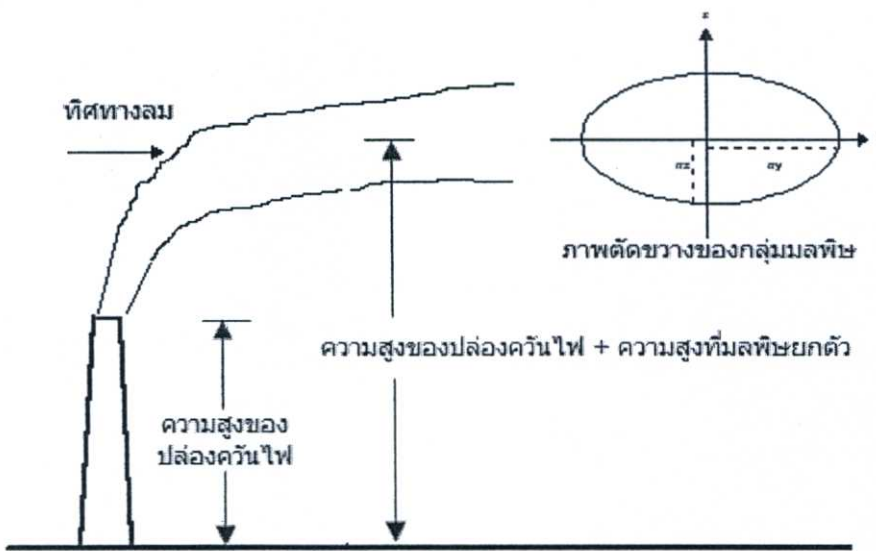
2.4.3 แบบจำลองการปลดปล่อยมลพิษจากไฟป่า

แบบจำลองการปลดปล่อยมลพิษจากไฟป่าส่วนใหญ่มีพื้นฐานจากแบบจำลอง Burnup model พัฒนาโดย Reinhardt และคณะ แห่ง US Firelab, Department of Agricultural, USA [34] ซึ่งเป็นแบบจำลองการเผาผลาญเชื้อเพลิง (Fuel consumption) ของกระบวนการเผาไหม้ (Combustion) แบบจำลอง Burnup เป็นแบบจำลองที่ใช้หลักการการถ่ายเทความร้อน เช่น แบบจำลองการถ่ายเทความร้อนผ่านฟิล์มของนิวโตเนียน (Newtonian film heat transfer model) และ ความร้อนจากการเผาไหม้ (Heat of combustion) เป็นต้น ต่อมาแบบจำลอง Burnup ถูกพัฒนาให้มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น โดย Finney ในปี พ.ศ. 2544 แบบจำลองดังกล่าวมีชื่อว่า Post-Frontal Combustion [29] ซึ่งสามารถจำลองการเผาผลาญเชื้อเพลิงของทั้งช่วงการเผาไหม้ที่มีเปลวไฟ (Flame) และช่วงที่เปลวไฟดับแล้วแต่ยังคุกรุ่นอยู่ (Smolder) โดยแบบจำลอง Post-Frontal Combustion มีสมมติฐานว่าการเผาไหม้ที่มีเปลวไฟ (Flaming combustion) จะไม่สามารถเผาไหม้ต่อไปได้ถ้าความแรงของเปลวไฟ (Intensity) ต่ำกว่า 15 kW/m^2 โดยที่อัตราการเผาผลาญเชื้อเพลิง (Fuel consumption rate) จะแปรเปลี่ยนไปตามลักษณะพฤติกรรมของไฟป่า และประสิทธิภาพของการเผาไหม้ (Combustion efficiency) ของการเผาไหม้แบบมีเปลวไฟ และการเผาไหม้ที่ยังคุกรุ่นมีค่าเท่ากับ 0.95 และ 0.75 ตามลำดับ ในขณะที่ค่าปัจจัยการปลดปล่อยมลพิษ (Emission factors) ของมลพิษทางอากาศแต่ละชนิดจากการเผาไหม้แบบมีเปลวไฟ และการเผาไหม้ที่ยังคุกรุ่น ของเชื้อเพลิงแต่ละชนิด สามารถกำหนดได้เองโดยผู้ใช้ หรือใช้ค่าเริ่มต้นของแบบจำลอง ที่ได้จากงานวิจัยของ Ward และคณะในปี พ.ศ. 2536 แบบจำลองการปลดปล่อยมลพิษจากไฟป่าในปัจจุบันอาทิ FOFEM [28] และ FARSITE [29] เป็นต้นล้วนใช้แบบจำลอง Post-Frontal Combustion เป็นพื้นฐานสำหรับการประเมินการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศจากไฟป่า

2.4.4 สมการการยกตัวของมลพิษทางอากาศ

ผลลัพธ์ของการประเมินการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศจากไฟป่า ด้วยแบบจำลองการปลดปล่อยมลพิษจากไฟป่า จะเป็นการปลดปล่อยมลพิษที่ระดับพื้นดิน แต่ในความเป็นจริงแล้ว

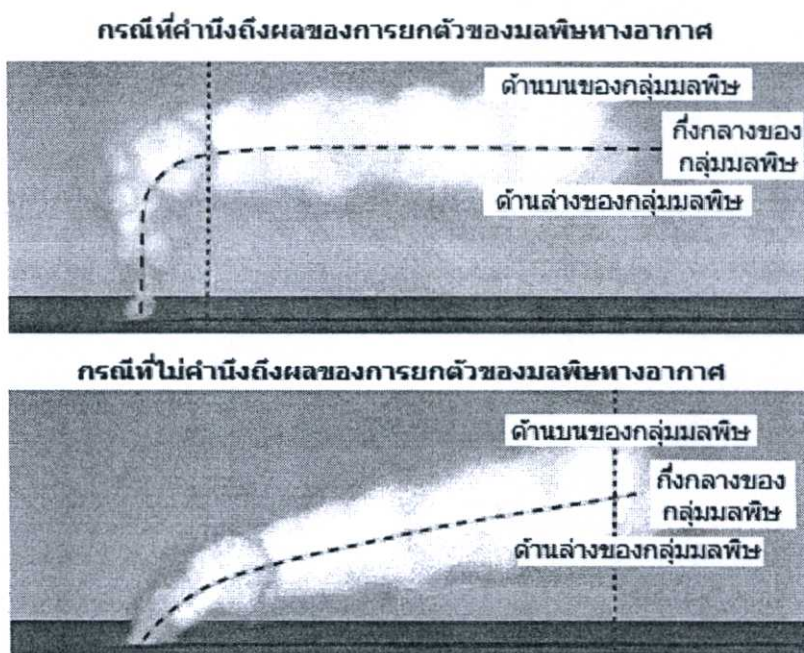
การปลดปล่อยมลพิษสามารถเกิดขึ้นได้ทั้งแนวระนาบ และแนวระดับ (ที่ความสูงต่างๆ) เนื่องจากโดยธรรมชาติกลุ่มมลพิษทางอากาศที่ถูกปลดปล่อยออกจากแหล่งกำเนิด สามารถยกตัวสูงขึ้นในแนวระดับ (Plume rise) ทั้งนี้เพราะคุณสมบัติของมลพิษทางอากาศเอง หรือสภาวะอากาศของสิ่งแวดล้อมในขณะนั้น ตัวอย่างเช่น การปลดปล่อยมลพิษทางอากาศจากปล่องควันไฟในโรงงานอุตสาหกรรมพบว่า กลุ่มของมลพิษทางอากาศจะยกตัวสูงขึ้นในแนวระดับด้วยแรงลอยตัว (Buoyant force) เนื่องจากอากาศร้อนที่อยู่รอบๆยกตัวสูงขึ้นเมื่อมีอุณหภูมิสูงขึ้น ก่อนที่จะถูกพัดพาให้เคลื่อนที่ด้วยอิทธิพลของลม และมีความเข้มข้นของมลพิษเจือจางลงทั้งในแนวระดับ และแนวราบดังแสดงในรูปที่ 2.18 [35]



รูปที่ 2.18 การยกตัวของมลพิษทางอากาศจากปล่องควันไฟ [35]

โดยการยกตัวนี้จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับสภาพของบรรยากาศขณะนั้นเช่น แรงลอยตัว (Buoyancy force) ความเร็วลม (Wind speed) และความเสถียรของบรรยากาศ (Stability classes) เป็นต้น ซึ่งการยกตัวสามารถคำนวณได้จากสมการการยกตัวของมลพิษได้แก่ Briggs plume rise equation [36] และ Bosanquet's plume rise formula [37] เป็นต้น

ปัจจุบันยังไม่มีสมการที่ใช้ทำนายการยกตัวของกลุ่มมลพิษจากไฟป่าโดยเฉพาะ จึงมีการประยุกต์สมการ Briggs plume rise [36] ซึ่งเป็นสมการการทำนายการยกตัวของมลพิษที่ปลดปล่อยจากปล่องระบายควันในอุตสาหกรรม เพื่อใช้ในการประเมินปริมาณมลพิษทางอากาศจากไฟป่าในแนวระดับ การคำนวณการยกตัวของมลพิษทางอากาศมีความสำคัญมากต่อการจำลองคุณภาพอากาศด้วยแบบจำลอง (Air quality Model) เพราะการยกตัวของมลพิษ ทำให้ระดับความสูงที่แท้จริงของการปลดปล่อยมลพิษเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งหากไม่ได้คำนึงถึงปรากฏการณ์ดังกล่าวก็จะทำให้ผลการจำลองคุณภาพผิดพลาดไปด้วย การเปรียบเทียบการกระจายตัวของมลพิษทางอากาศในกรณีที่คำนึงถึงผลของการยกตัวของมลพิษทางอากาศ (บน) และไม่คำนึงถึงผลของการยกตัวของมลพิษทางอากาศ (ล่าง) แสดงได้ดังรูปที่ 2.19 [38]



รูปที่ 2.19 การเปรียบเทียบการกระจายตัวของมลพิษทางอากาศในกรณีที่คำนึงถึงผลของการยกตัวของมลพิษทางอากาศ (บน) และไม่คำนึงถึงผลของการยกตัวของมลพิษทางอากาศ (ล่าง) [38]

2.5 แบบจำลองทางอุตุนิยมวิทยา [39]

แบบจำลองทางอุตุนิยมวิทยา (Meteorological model) คือ แบบจำลองเชิงตัวเลข (numerical model) ที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อจุดประสงค์ในการจำลองบรรยากาศ หรือพยากรณ์สถานะของอากาศ เนื่องจากปรากฏการณ์ทางธรรมชาติสามารถอธิบายได้ด้วยกฎเกณฑ์ทางฟิสิกส์ การเปลี่ยนแปลงของบรรยากาศจึงสามารถแสดงได้ในรูปของระบบสมการทางคณิตศาสตร์ โดยตัวแปรต่างๆ ในระบบสมการทางคณิตศาสตร์นั้น ได้แก่ องค์ประกอบของบรรยากาศต่างๆ เช่น อุณหภูมิ ความเร็ว และทิศทางลม และความชื้น เป็นต้น ดังนั้นหากสามารถแก้สมการทางคณิตศาสตร์เหล่านั้นได้ก็จะหมายถึงสามารถจำลองบรรยากาศ หรือพยากรณ์อากาศในอนาคตได้ แต่ระบบสมการดังกล่าวมีความซับซ้อน และไม่สามารถแก้สมการเหล่านั้นเพื่อหาคำตอบที่แท้จริงของระบบสมการ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้วิธีการจำลองเชิงตัวเลข เพื่อหาคำตอบโดยประมาณ การแก้สมการที่มีความซับซ้อนจำเป็นที่จะต้องใช้ระบบคอมพิวเตอร์ที่มีสมรรถนะสูง เพื่อช่วยในการหาคำตอบของระบบสมการนั้น และแสดงผลการจำลองบรรยากาศหรือพยากรณ์อากาศต่อไป โดยปรกติเพื่อให้อาคารคำนวณสามารถทำได้อย่างรวดเร็ว จึงมีการกำหนดขนาดของขอบเขตที่แน่นอนของพื้นที่ศึกษา และทำการจำลองดังกล่าวในพื้นที่ศึกษานั้น โดยไม่คำนึงถึงผลกระทบจากปัจจัยภายนอกพื้นที่ศึกษา แต่การไม่คำนึงถึงปัจจัยภายนอกดังกล่าวย่อมทำให้ผลการจำลองที่ความถูกต้องน้อยลง โดยแบบจำลองทางอุตุนิยมวิทยาสามารถแบ่งออกเป็น 4 ระดับตามขนาดของขอบเขต

ศึกษาได้แก่ ระดับเล็ก (Microscale) ระดับกลาง (Mesoscale) ระดับใหญ่ (Synoptic scale) และระดับโลก (Global scale)

1. แบบจำลองทางอุตุนิยมวิทยาระดับเล็ก (Microscale) โดยส่วนใหญ่จะมีขนาดของขอบเขตศึกษาไม่เกิน 1 ตารางกิโลเมตร เหมาะกับการศึกษาขนาดเล็กที่การเปลี่ยนแปลงของบรรยากาศภายนอกไม่ส่งผลต่อพื้นที่ศึกษามากนัก มักใช้ในการจำลองผลกระทบจากลมที่มีผลต่อสิ่งก่อสร้าง

2. แบบจำลองทางอุตุนิยมวิทยาระดับกลาง (Mesoscale) ใช้ศึกษาปรากฏการณ์ทางธรรมชาติจำลอง หรือพยากรณ์อากาศในระดับจังหวัด ประเทศ หรือภูมิภาค ในช่วงชั้นบรรยากาศ Troposphere Tropopause จนถึงส่วนล่างของชั้น Stratosphere

3. แบบจำลองทางอุตุนิยมวิทยาระดับใหญ่ (Synoptic scale) มีขอบเขตของการศึกษาในระดับทวีป มักใช้ในการศึกษาอุตุนิยมวิทยาแผนที่อากาศ (Weather maps) หรือปรากฏการณ์ทางธรรมชาติขนาดใหญ่เช่น พายุเขตร้อน ปรากฏการณ์ Jet streams ในชั้นบรรยากาศเป็นต้น

4. แบบจำลองทางอุตุนิยมวิทยาระดับโลก (Global scale) ใช้ทำการศึกษาในระดับโลกของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ ปรากฏการณ์ทางธรรมชาติเช่น พายุในเขตต่างๆของโลก ซึ่งการขอบเขตเวลาของการศึกษาส่วนใหญ่จะมีเวลานาน เพื่อให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงจากอิทธิพลของฤดูต่างๆบนโลก

แบบจำลองทางอุตุนิยมวิทยาต่างๆที่ได้รับความนิยมในปัจจุบัน ต่างก็มีพื้นฐานอยู่บนระบบสมการหลักชุดเดียวกันซึ่งประกอบด้วย สมการของการเคลื่อนที่ (equation of motion) สมการอุทกสถิต (hydrostatic equation) สมการอุณหพลศาสตร์ (thermodynamic equation) สมการความต่อเนื่อง (continuity equation) สมการของสถานะ (equation of state) และสมการไอน้ำ (water vapor equation) แต่จะมีความแตกต่างกันในเรื่องของสมมุติฐานที่ใช้ อาทิ สภาวะเริ่มต้น สภาวะของเขต และวิธีการในการแก้สมการเป็นต้น สำหรับการจำลองบรรยากาศ หรือพยากรณ์ของอากาศ ในพื้นที่ภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ นิยมใช้แบบจำลองทางอุตุนิยมวิทยาระดับกลาง ซึ่งให้ความถูกต้องในระดับที่น่าพอใจ โดยใช้เวลาในการคำนวณผลลัพธ์ไม่นานจนเกินไป แบบจำลองทางอุตุนิยมวิทยาระดับกลางที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน อาทิ Weather Research and Forecasting Model(WRF) [40] และ Fifth-Generation NCAR/Penn State Mesoscale Model(MM5)[41] เป็นต้น

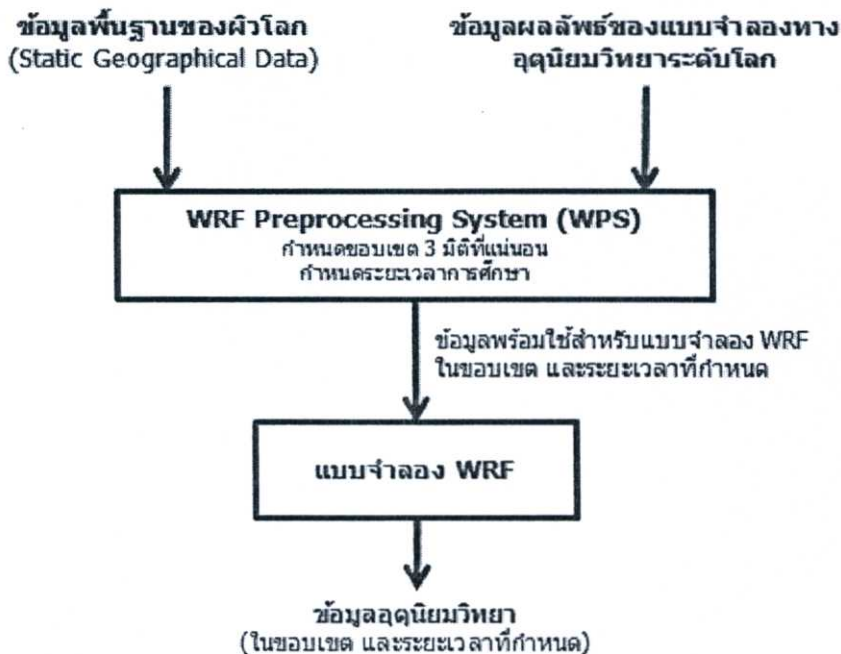
2.5.1 แบบจำลอง Weather Research and Forecasting (WRF)

แบบจำลอง Weather Research and Forecasting (WRF) คือแบบจำลองทางอุตุนิยมวิทยาระดับกลาง (Mesoscale) ที่พัฒนาโดยความร่วมมือของหลายหน่วยงาน ได้แก่ National Center for Atmospheric Research (NCAR), the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), the National Centers for Environmental Prediction (NCEP), the Forecast Systems

Laboratory (FSL), the Air Force Weather Agency (AFWA), the Naval Research Laboratory, the University of Oklahoma และ the Federal Aviation Administration (FAA)

WRF แบ่งออกเป็น 2 รุ่นย่อยคือ WRF (ARW core) [40] พัฒนาโดย Mesoscale and Microscale Meteorology แห่ง NCAR ประเทศสหรัฐอเมริกา และ WRF (NMM core) พัฒนาโดย NCEP ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยมีความแตกต่างกันในเรื่องของ สมุดรฐานบางอย่าง และวิธีในการแก้สมการ ซึ่งทำให้เหมาะสมสำหรับการใช้งานแตกต่างกันไป

โดยปรกติการใช้แบบจำลอง WRF เพื่อการจำลองบรรยากาศ จะมีต้องมีการกำหนดขอบเขต 3 มิติที่แน่นอน และแบ่งขอบเขตนี้ออกเป็นกริดเล็กๆ ที่ความละเอียดตามที่กำหนด กระบวนการในการจำลองสภาวะอากาศด้วยแบบจำลอง WRF มีขั้นตอนแสดงได้ดังรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 กระบวนการในการจำลองบรรยากาศด้วยแบบจำลอง WRF

แบบจำลอง WRF อาศัยข้อมูลในการคำนวณ 2 ส่วนด้วยกันคือ ข้อมูลพื้นฐานของผิวโลก (Static Geographical Data) และ ข้อมูลผลลัพธ์ของแบบจำลองทางอุตุนิยมวิทยาระดับโลก ซึ่งกระบวนการในการเตรียมข้อมูลขาเข้าของแบบจำลอง WRF จะกระทำโดยระบบการเตรียมข้อมูลของ WRF (WRF Preprocessing System: WPS) [42] โดย WPS ทำหน้าที่กำหนดขอบเขต 3 มิติของพื้นที่ศึกษา และกำหนดระยะเวลาของการศึกษา รวมถึงจัดเตรียมข้อมูลพื้นฐานของผิวโลก และข้อมูลผลลัพธ์ของแบบจำลองทางอุตุนิยมวิทยาระดับโลกให้อยู่ในขอบเขตที่กำหนด และมีรูปแบบที่พร้อมใช้ของแบบจำลอง WRF

ข้อมูลพื้นฐานของผิวโลก (Static Geographical Data) เช่น ระดับความสูงของพื้นดิน (Elevation) ความชันของพื้นดิน (Slope) ลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land use) พื้นที่ที่ถูกนำ

แข็งปกคลุม (Snow cover) ฯลฯ ซึ่งสามารถดาวน์โหลดได้จากเว็บไซต์ของผู้พัฒนาระบบ WPS ส่วนข้อมูลผลลัพธ์ของแบบจำลองทางอุตุนิยมวิทยาระดับโลก เป็นข้อมูลอุตุนิยมจากแบบจำลองทางอุตุนิยมวิทยาระดับโลก อาทิ North American Mesoscale Model(NAM)[43] Global Forecast System(GFS)[44] Rapid Update Cycle(RUC)[45] และ Agricultural Meteorological Model (AGRMET) [46] เป็นต้น ซึ่งถูกจัดเก็บอยู่ในรูปกริด(Grid) สามารถดาวน์โหลดได้จากเว็บไซต์ของผู้พัฒนาแต่ละแบบจำลอง

แบบจำลอง WRF จะจำลองหรือพยากรณ์สภาวะของอากาศ เช่น ความเร็ว และทิศทางลม ความชื้นของอากาศ อุณหภูมิ ฯลฯ ที่สามารถเป็นข้อมูลสำคัญ สำหรับการประเมินความอันตรายจากไฟฟ้า และการคำนวณการยกตัวของมลพิษทางอากาศสำหรับงานวิจัยนี้

2.6 แบบจำลองคุณภาพอากาศ [47]

เมื่อเกิดไฟฟ้า มลพิษที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ จะถูกพาให้ลอยสูงขึ้นไปในอากาศด้วยปรากฏการณ์การพาแบบธรรมชาติ (Natural convection) หรือ การพาแบบบังคับ (Forced convection) จากนั้นมลพิษสามารถเคลื่อนที่ไปได้ด้วยแรงลมโดยกระบวนการเคลื่อนที่ของมลพิษในอากาศเกิดขึ้นได้ 2 รูปแบบคือ Advection และ Dispersion ซึ่งในบางกรณีมลพิษบางชนิดสามารถเกิดปฏิกิริยาในชั้นบรรยากาศได้เช่นปฏิกิริยาเคมีเชิงแสง (Photochemical reaction) จากนั้นมลพิษจะสามารถตกลงสู่พื้นโลกได้ด้วยกระบวนการชะล้างทางธรรมชาติ ได้แก่ การตกสะสมแบบแห้งโดยแรงโน้มถ่วงของโลก (Dry deposition) และการตกลงมาพร้อมกับฝน (Wet deposition)

การจำลองการกระจายตัวของมลพิษด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์คือ การใช้กระบวนการทางคณิตศาสตร์ (Mathematical algorithms) ในการจำลองลักษณะการกระจายตัวของมลพิษ และการเกิดปฏิกิริยาในชั้นบรรยากาศ เพื่อทำนายความเข้มข้นของมลพิษได้มาจากแหล่งปลดปล่อยแบบจำลองสำหรับการกระจายตัวของมลพิษในอากาศสามารถแบ่งออกเป็น 5 ประเภทหลักได้แก่

1. Box model คือการทำแบบจำลองโดยการแบ่งพื้นที่ที่สนใจรวมทั้งชั้นบรรยากาศออกเป็น ส่วนๆ ในรูปลูกบาศก์ คำนวณหาความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศโดยสมมุติให้มลพิษในอากาศที่อยู่ในกล่องลูกบาศก์นั้นมีความเป็นเนื้อเดียวกัน แบบจำลองที่ค่อนข้างง่ายนี้มีข้อจำกัดอยู่มาก และผลของการจำลองไม่ถูกต้องเท่าที่ควรเนื่องจากสมมุติฐานที่หยาบเกินไป

2. Gaussian model คือการทำแบบจำลองโดยสมมุติให้การกระจายตัวของมลพิษในอากาศมีการกระจายตัวแบบ Gaussian distribution ซึ่งก็คือการกระจายตัวแบบมาตรฐาน (Normal probability distribution) Gaussian model ถูกใช้มากในการจำลองการกระจายตัวของกลุ่มมลพิษ (Air pollution plumes) ทั้งแบบต่อเนื่อง และแบบไม่ต่อเนื่อง (puff models)

3. Lagrangian model เป็นการจำลองกระบวนการเคลื่อนที่ของกลุ่มมลพิษ โดยเปรียบเทียบการเคลื่อนที่ที่ใช้สถานะเดิมเป็นตัวอ้างอิงเพื่อสร้างสถานะใหม่ (Moving frame of reference) อาจกล่าวได้ว่า Lagrangian model เป็นการทำนายโดยการติดตามการเคลื่อนที่ของกลุ่มมลพิษ

4. Eulerian model เป็นแบบจำลองที่มีลักษณะคล้ายคลึงกับ Lagrangian model แต่ Eulerian model มีการสร้างขอบเขต 3 มิติ และแบ่งออกเป็นกริดเล็กๆขนาดเท่าๆกัน (a fixed three-dimensional Cartesian grid) เพื่อเป็นสถานะอ้างอิงที่ไม่เคลื่อนที่ และจำลองการเคลื่อนที่ของกลุ่มมลพิษเปรียบเทียบกับสถานะอ้างอิงนั้น โดยกลุ่มมลพิษจะเคลื่อนที่จากกริดหนึ่งไปสู่อีกกริดหนึ่งที่อยู่ติดกัน ด้วยอิทธิพลแวดล้อมต่างๆ อาจกล่าวได้ว่า Eulerian model จำลองการเคลื่อนที่ของกลุ่มมลพิษในขอบเขตที่สร้างขึ้น

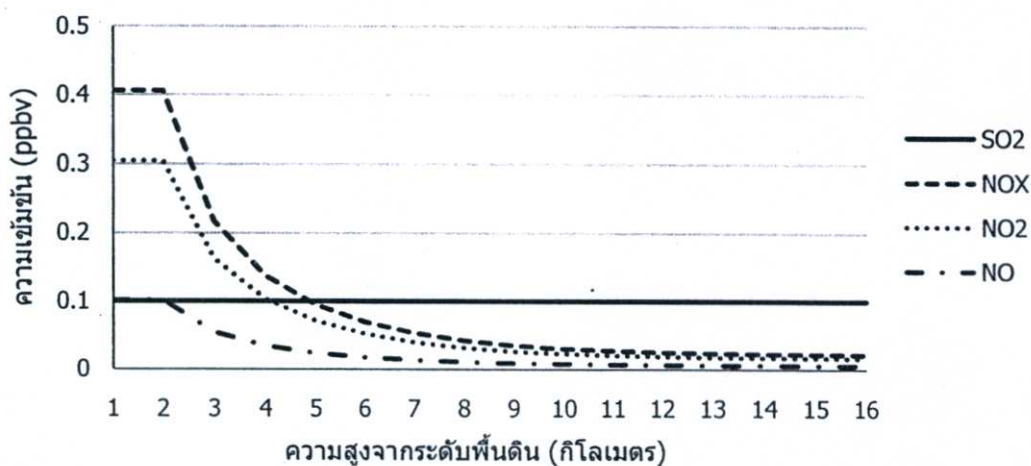
5. Dense gas model เป็นแบบจำลองที่ใช้กับกลุ่มมลพิษที่มีค่าความหนาแน่นมากกว่าอากาศเท่านั้น กลุ่มมลพิษดังกล่าว ไม่สามารถจำลองได้ด้วยแบบจำลองคุณภาพอากาศพื้นฐาน เนื่องจากมีพฤติกรรมกระจายตัวที่แตกต่างออกไปจากกลุ่มมลพิษที่มีค่าความหนาแน่นน้อยกว่าอากาศ แบบจำลองประเภทนี้ จะจำลองการกระจายความหนาแน่นของกลุ่มมลพิษในอากาศ เพื่อจำลองการเคลื่อนที่ของกลุ่มมลพิษดังกล่าว

2.6.1 แบบจำลองคุณภาพอากาศ WRF-Chem

แบบจำลองคุณภาพอากาศ Weather Research and Forecasting Model: Chemistry (WRF-Chem) ถูกพัฒนาขึ้นครั้งแรกในปี พ.ศ.2545 โดย WRF Atmospheric Chemistry Working Group [48] ซึ่งเป็นแบบจำลองคุณภาพอากาศประเภท Eulerian model โดยเป็นการพัฒนาเพิ่มเติมของแบบจำลองทางอุตุนิยมวิทยาาระดับกลาง Weather Research and Forecasting (WRF) ปัจจุบัน WRF-Chem พัฒนามาจนถึงรุ่นที่ 3 สามารถจำลองสภาพบรรยากาศ และทำนายความเป็นไปของสารเคมี (Chemistry) หรือละอองของเหลว (Aerosols) บนชั้นบรรยากาศนั้น ปัจจัยที่ถูกนำมาพิจารณาในแบบจำลอง WRF-Chem มีดังต่อไปนี้

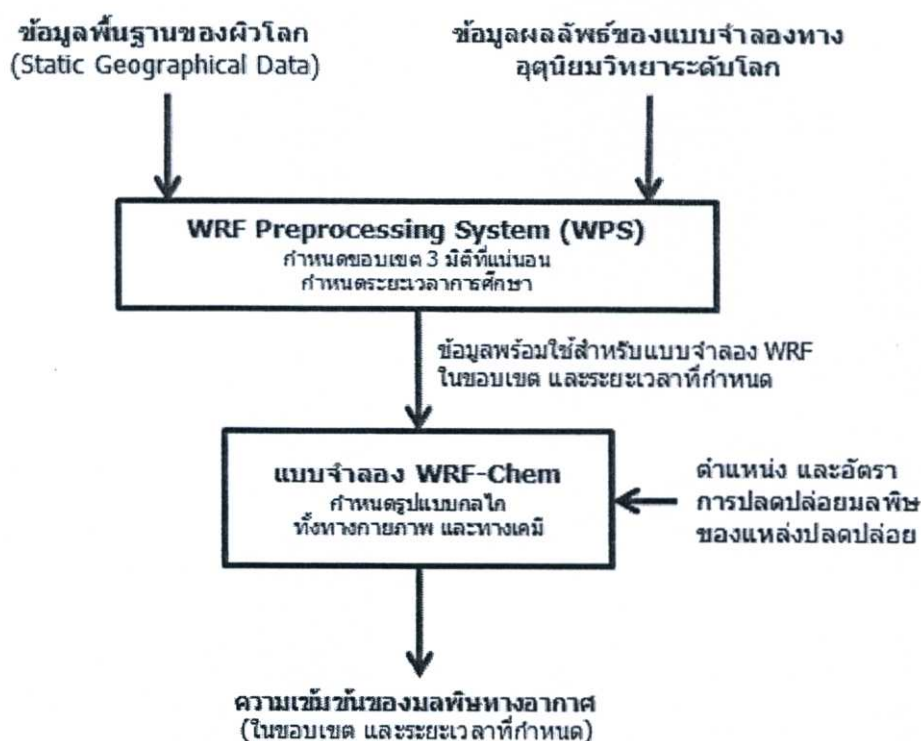
1. การตกสะสมแบบแห้งโดยแรงโน้มถ่วงของโลก (Dry deposition)
2. การชะโดยฝน (Wet deposition) กรณีติดตั้งองค์ประกอบ Kinetic Pre-Processor (KPP) [49] เพิ่มเติม
3. การปลดปล่อยมลพิษจากพืช (Biogenic emissions)
4. การปลดปล่อยมลพิษจากกิจกรรมของมนุษย์ (Anthropogenic emissions)
5. มีกลไกปฏิกิริยาเคมีในสถานะก๊าซ (gas-phase chemical mechanisms) 23 รูปแบบ อาทิ RADM2 [50] และ MADE[51] เป็นต้น
6. มีปฏิกิริยา Photolysis 2 รูปแบบ ได้แก่ Madronich [52] และ Fast-J [53]
7. มีรูปแบบของละอองของเหลว 2 รูปแบบ ได้แก่ MADE/SORGAM [54] และ MOSAIC [55]

สภาวะขอบเขตของสารเคมี (Chemical boundary conditions) สำหรับแบบจำลอง WRF-Chem ได้มาจากผลลัพธ์ของแบบจำลอง NALROM numerical chemistry model [56] ซึ่งทำการจำลองขอบเขตของความเข้มข้นของสารเคมีในสถานะก๊าซที่สภาวะสมดุล (Steady-state equilibrium) ในแนวระดับ (17 ระดับ ทุกๆ 1 กิโลเมตร) ทั้งหมด 34 ชนิด อาทิ NO_x , H_2O_2 และ HNO_3 เป็นต้น ตัวอย่างสภาวะขอบเขตของสารเคมีในสถานะก๊าซในแนวระดับของ SO_2 , NO_x , NO_2 และ NO ที่ความสูง 1-16 กิโลเมตร ในพื้นที่ทั่วทั้งโลก แสดงได้ดังรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 สภาวะขอบเขตของสารเคมีในสถานะก๊าซในแนวระดับของ SO_2 , NO_x , NO_2 , และ NO ที่ความสูงต่างๆ

กระบวนการในการทำนายคุณภาพอากาศด้วยแบบจำลอง WRF-Chem มีลักษณะใกล้เคียงกระบวนการในการจำลองบรรยากาศด้วยแบบจำลอง WRF โดยใช้ WRF Preprocessing System (WPS) เป็นตัวช่วยในการจัดเตรียมข้อมูลให้แก่แบบจำลอง WRF-Chem ต่อมาทำการระบุองค์ประกอบต่างๆของแบบจำลอง WRF-Chem เพื่อกำหนดรูปแบบของกลไกทั้งทางกายภาพและทางเคมีที่จะเกิดขึ้นในชั้นบรรยากาศ ต่อมาแบบจำลอง WRF-Chem จะอาศัยข้อมูลตำแหน่งและอัตราการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศของแหล่งปลดปล่อยได้แก่ การปลดปล่อยมลพิษจากพืช การปลดปล่อยมลพิษจากกิจกรรมของมนุษย์ หรือการปลดปล่อยจากแหล่งอื่นๆ เพื่อใช้ในการจำลองคุณภาพอากาศ สำหรับในงานวิจัยนี้ ไฟป่า และกิจกรรมของมนุษย์ จะเป็นแหล่งปลดปล่อยมลพิษทางอากาศที่สำคัญที่สุด ผลลัพธ์ของแบบจำลองคุณภาพอากาศ WRF-Chem คือความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศชนิดต่างๆ ในพื้นที่ศึกษา และช่วงเวลาที่ทำการศึกษา กระบวนการทั้งหมดของการทำนายคุณภาพอากาศด้วยแบบจำลอง WRF-Chem แสดงได้ดังรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 กระบวนการทั่วไปของการทำนายคุณภาพอากาศด้วยแบบจำลอง WRF-Chem

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ดร. เกษมสันต์ มโนมัยพิบูลย์ และคณะ [57] ได้ทำโครงการวิจัยเรื่อง การพัฒนาระบบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เบื้องต้นเพื่อการพยากรณ์เดือนกุมภาพันธ์ถึงพฤษภาคมสำหรับภาคเหนือตอนบนของประเทศไทยและการประยุกต์ใช้ในฤดูไฟป่าหน้าแล้ง ได้พัฒนาโปรแกรมสำหรับแปรตำแหน่ง Hotspot จาก MODIS ซึ่งเป็นข้อมูลรายวัน ให้เป็นพื้นที่ที่ถูกเผาแล้วประเมินการปลดปล่อยฝุ่นแขวนลอย ขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) ซึ่งสมมติให้เป็นตัวแทนของมลพิษหมอกควัน งานวิจัยนี้ใช้วิธีการประเมินการปลดปล่อยฝุ่นแขวนลอยโดย นำพื้นที่ที่ถูกเผาใหม่คูณกับค่าปัจจัยการปลดปล่อยมลพิษคูณกับประสิทธิภาพของการเผาไหม้ โดยมีสมมติฐานว่าแต่ละตำแหน่งจุดร้อนจาก MODIS เกิดการเผาไหม้กินพื้นที่ 1 ตารางกิโลเมตรในทุกๆตำแหน่ง และสมมติให้ประสิทธิภาพของการเผาไหม้มีค่าคงที่ที่ 50 และ 100% ต่อมาทำนายการกระจายตัวของฝุ่นแขวนลอยด้วยแบบจำลองคุณภาพอากาศ Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory (HYSPPLIT) [58] ของ Air Resources Laboratory (ARL), National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) ประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งเป็นแบบจำลองประเภท Lagrangian มีข้อดีคือ ใช้เวลาในการประมวลผลน้อย แต่ข้อเสียคือความถูกต้องของแบบจำลองมีค่าต่ำ

Wei Min Hao และคณะ [59] ได้จัดทำโครงการ การทำนายการกระจายตัวของหมอกควันและคุณภาพอากาศจากข้อมูลดาวเทียม Terra และ Aqua แบบอัตโนมัติ (Automated Forecasting of Smoke Dispersion and Air Quality Using NASA Terra and Aqua Satellite Data) ในโครงการนี้

ทำการประมวลข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมจากเซนเซอร์ MODIS เพื่อหาตำแหน่งของ hotspot โดยใช้ อัลกอริทึม MOD14 และบริเวณที่ถูกเผาไหม้โดยใช้อัลกอริทึมที่พัฒนาขึ้นมาเอง และใช้การบูรณาการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ อันได้แก่ แบบจำลองพฤติกรรมของไฟป่า(FireLib) แบบจำลองการปลดปล่อยมลพิษ (FOFEM) รวมถึงแบบจำลองคุณภาพอากาศ(WRF-Chem) สำหรับทำนายการกระจายตัวของหมอกควัน และคุณภาพอากาศของมลพิษทั้งหมด 21 ชนิด ในทวีปอเมริกาเหนือแบบอัตโนมัติ ระบบสามารถทำนายการกระจายตัวของมลพิษต่างๆได้เป็นอย่างดี ผลลัพธ์จากการจำลองแบบใกล้เวลาจริงถูกเผยแพร่บนเว็บไซต์ http://www.firelab.org/component/option,com_wrapper/Itemid,369 เพื่อใช้ในการเตือนภัยประชาชนในประเทศสหรัฐอเมริกา

D.P. Roy และคณะ[60] ทำงานวิจัยเรื่อง “The collection 5 MODIS burned area product Global evaluation by comparison with the MODIS active fire product” ทำการเปรียบเทียบข้อมูลพื้นที่ไหม้ไฟ และตำแหน่งจุดร้อน (Hotspot) จากการตรวจวัดด้วยเซนเซอร์ MODIS ของข้อมูลระดับโลก ในปี 2002 พบว่าคุณภาพของข้อมูล MODIS ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่นพื้นที่ในการตรวจจับ ดังนั้นการนำข้อมูล MODIS ไปใช้จะต้องคำนึงถึงความถูกต้องของข้อมูลเป็นสำคัญ ซึ่งอาจดูได้จากค่าความเชื่อมั่นในการตรวจจับของ MODIS ที่อัลกอริทึมรายงานเอาไว้

Collin D. Bevins [25] ได้ทำการศึกษาข้อดี ข้อเสียแบบจำลองพฤติกรรมของไฟป่าต่างๆ และสร้างแบบจำลองพฤติกรรมของไฟป่าขึ้นใหม่ชื่อ FireLib โดยอ้างอิงความรู้จากแบบจำลองต่างๆ Collin D. Bevins ใช้การเขียนโปรแกรมภาษา C โดยเน้นให้ใช้งานง่ายไม่ยุ่งยาก และได้จัดทำเอกสาร “FireLib User Manual and Technical Reference” เพื่ออธิบายวิธีการทำงานของแบบจำลอง

Elizabeth Reinhardt และคณะ [28] ทำการศึกษาเรื่อง “Using FOFEM 5.0 to estimate tree mortality, fuel consumption, Smoke production and soil heating from wildland fire” ซึ่งเป็นการพัฒนาแบบจำลองการประเมินการปลดปล่อยมลพิษ FOFEM รุ่นที่ 5 ที่มีพื้นฐานมาจากแบบจำลอง Post-Frontal Combustion โดยผลลัพธ์ของการพัฒนาพบว่าแบบจำลองสามารถทำนายการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศในเขตอเมริกาเหนือได้เป็นอย่างดี และมีความยืดหยุ่นสูง

AJAJI Radi และคณะ[61] ทำงานวิจัยเรื่อง “Implementation and preliminary tests of an air quality forecasting system based on WRF-Chem over Middle-East, Arabian Peninsula and United Arab Emirates” ซึ่งเป็นการทำนายคุณภาพอากาศในประเทศ สหรัฐอาหรับเอมิเรตส์ และซาอุดีอาระเบีย ได้แนะนำวิธีการทำนายคุณภาพอากาศด้วยแบบจำลอง WRF-Chem ให้มีความถูกต้องเหมาะสมของแต่ละภูมิภาค

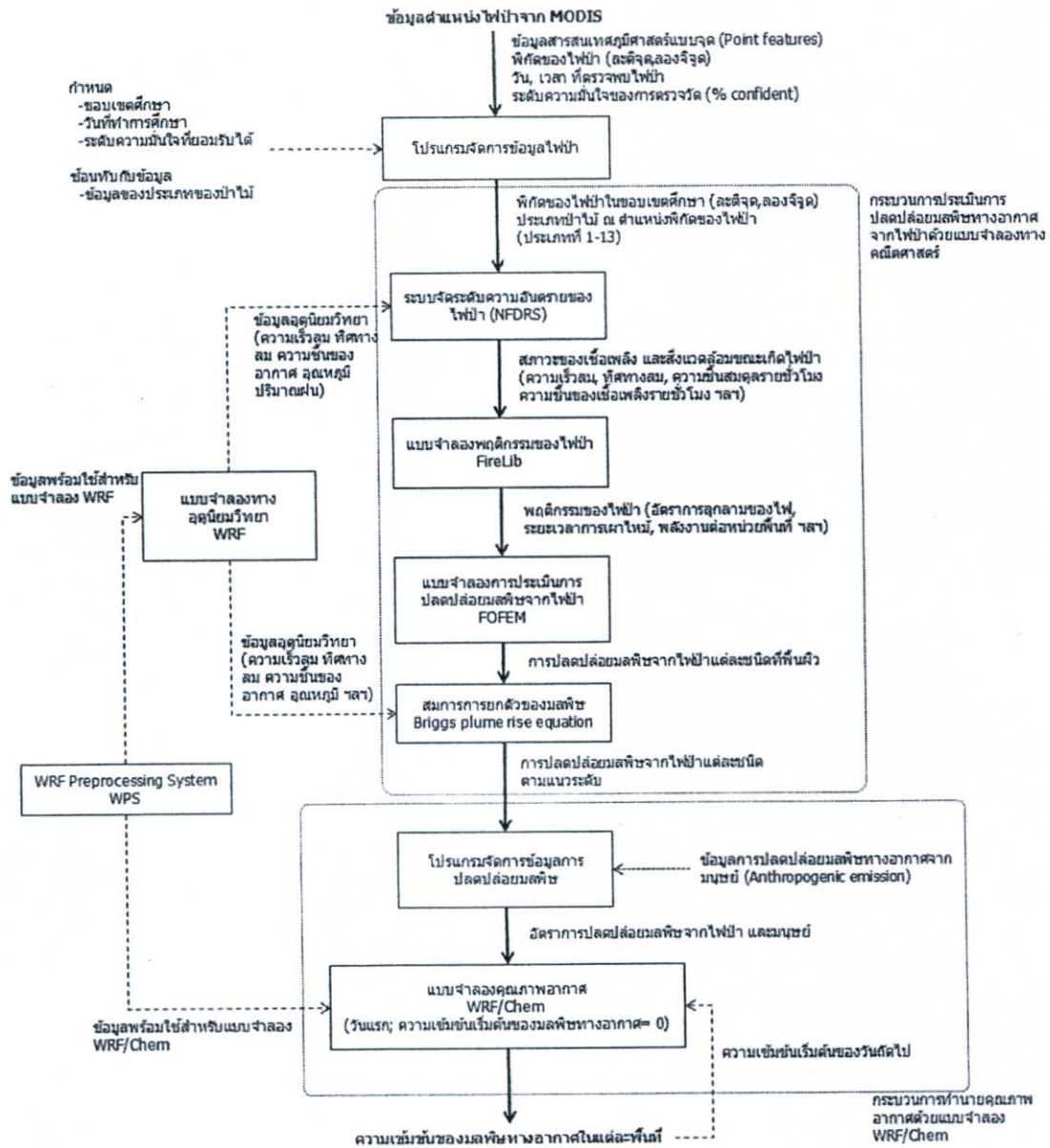
บทที่ 3

การบูรณาการแบบจำลอง

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ส่วนใหญ่ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ อาทิ แบบจำลองพฤติกรรมของไฟฟ้า แบบจำลองประเมินการปลดปล่อยมลพิษจากไฟฟ้า และแบบจำลองทางอุตุนิยมวิทยา เป็นต้น ล้วนถูกพัฒนา และทดสอบในภูมิภาคอเมริกาเหนือเท่านั้น ในงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาคัดเลือก และประยุกต์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ดังกล่าวให้เหมาะสมกับภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ อีกทั้งยังบูรณาการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ดังกล่าวให้เป็นระบบเดียวกัน เพื่อบรรลุจุดประสงค์ของการศึกษาการปลดปล่อย และความเป็นไปของมลพิษทางอากาศจากไฟฟ้าในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ให้มีความถูกต้องใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากยิ่งขึ้น

3.1 โครงสร้างของการบูรณาการ

ในการบูรณาการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการทำนายพฤติกรรมการแพร่กระจายของไฟฟ้า และผลกระทบครั้งนี้ อาศัยต้นแบบจากแบบจำลองของ US Firelab, Department of Agricultural, USA [62] ซึ่งมีโครงสร้างของแบบจำลองดังแสดงในรูปที่ 3.1 โดยข้อมูลตำแหน่งไฟฟ้ารายวันที่ได้จากเซนเซอร์ MODIS จะถูกนำเข้าสู่โปรแกรมจัดการข้อมูลไฟฟ้าที่ออกแบบขึ้นเพื่อคัดแยกข้อมูลตำแหน่งไฟฟ้า ที่มีคุณภาพตามหลักเกณฑ์ที่กำหนด จากนั้นข้อมูลดังกล่าวจะเข้าสู่ระบบจัดระดับความอันตรายของไฟฟ้า สำหรับการประเมิน สภาวะของเชื้อเพลิง และสิ่งแวดล้อมขณะเกิดไฟฟ้า โดยอาศัยข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา และจะถูกนำเข้าสู่แบบจำลองพฤติกรรมของไฟ เพื่อจำลองพฤติกรรมของไฟฟ้า จากนั้นข้อมูลดังกล่าว จะถูกใช้ในการประเมินปริมาณปลดปล่อยมลพิษทางอากาศในแนวระดับพื้นดิน ด้วยแบบจำลองการประเมินการปลดปล่อยมลพิษจากไฟฟ้า จากนั้นจะทำการคำนวณการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศตามแนวระดับ ด้วยสมการการยกตัวของมลพิษทางอากาศ จากนั้นจะถูกนำเข้าสู่โปรแกรมการจัดการข้อมูลการปลดปล่อยมลพิษเพื่อนำมารวมกับอัตราการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศจากกิจกรรมของมนุษย์ และถูกจำลองความเป็นไปของมลพิษทางอากาศ ด้วยแบบจำลองคุณภาพอากาศ WRF-Chem เพื่อคำนวณความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศในแต่ละพื้นที่ ซึ่งความเข้มข้นดังกล่าว จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับความเข้มข้นที่ได้จากการตรวจวัด เพื่อประเมินความถูกต้องของแบบจำลองต่อไป โดยรายละเอียดของขั้นตอนแต่ละขั้นตอนข้างต้นมีดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.1 แผนภาพของโครงสร้างการบูรณาการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

3.1.1 ข้อมูลตำแหน่งไฟป่าจาก MODIS

ข้อมูลตำแหน่งไฟป่าที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้มาจากโครงการ Fire Information for Resource Management System (FIRMS) [63] ของมหาวิทยาลัยแห่งรัฐแมริแลนด์ ประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งเป็นโครงการที่เผยแพร่ข้อมูลของไฟป่า จากข้อมูลของเซนเซอร์ Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) โดยการใช้อัลกอริทึม MOD14 ในการหาตำแหน่งไฟป่า ข้อมูลดังกล่าวมีความละเอียดของการตรวจจับที่ 1x1 กิโลเมตร ถูกจัดเก็บอยู่ในรูปข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ประเภทจุด (Point feature) โดยไฟป่าแต่ละตำแหน่งจะถูกแทนด้วยจุดที่มีข้อมูลพิกัดละติจูด (Latitude) และลองจิจูด (Longitude) วัน และเวลาที่ตรวจจับไฟป่า รวมถึงค่าความเชื่อมั่นที่อัลกอริทึม MOD14 ประเมินได้ ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 0-100 เปอร์เซ็นต์ โดยที่ความเชื่อมั่นยิ่งมากหมายถึงข้อมูลมีความน่าเชื่อถือมาก คือ สภาพในการตรวจจับยิ่งดี เช่น ไม่มีเมฆบดบัง และไม่มีรังสี

สะท้อนรบกวนเป็นต้น ข้อมูลดังกล่าวเป็นข้อมูลรายวันที่สามารถดาวน์โหลดจากเว็บไซต์ของโครงการ FIRMS (<http://maps.geog.umd.edu/firms>)

3.1.2 โปรแกรมจัดการข้อมูลไฟป่า

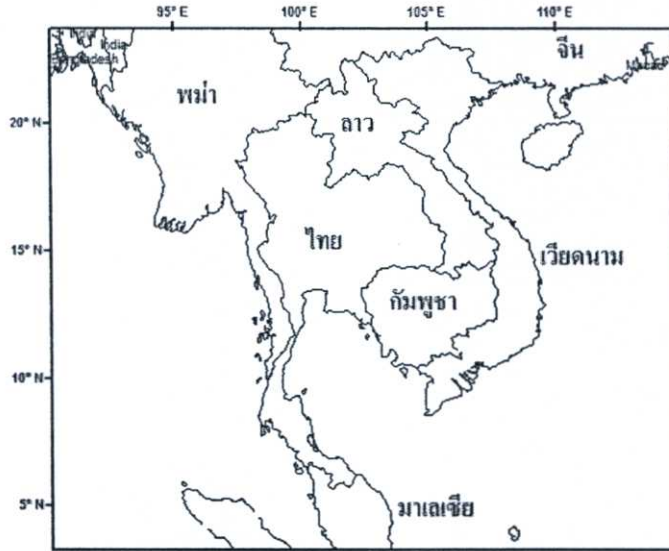
เนื่องจากข้อมูลตำแหน่งไฟป่าจาก MODIS มีระดับความเชื่อมั่นที่หลากหลาย อีกทั้งข้อมูลดังกล่าวอาจเป็นข้อมูลของพื้นที่ที่ไม่ได้อยู่ในความสนใจ ผู้วิจัยจึงได้เขียน โปรแกรมจัดการข้อมูลไฟป่าเพื่อใช้ในการคัดกรองข้อมูล โดยใช้ภาษา FORTRAN90 เพื่อทำหน้าที่คัดกรองข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ประเภทจุด (Point feature) ของตำแหน่งไฟป่าจาก MODIS ตามหลักเกณฑ์ที่กำหนด ทำการซ้อนทับข้อมูลตำแหน่งไฟป่ากับข้อมูลประเภทของป่าไม้ เพื่อใช้ในการระบุตำแหน่งไฟป่าว่าเกิดในป่าประเภทใด และจัดเตรียมข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบพร้อมใช้สำหรับระบบจัดระดับความอันตรายของไฟป่าในขั้นตอนถัดไป โดยไฟป่าแต่ละตำแหน่งจะมีข้อมูลพิกัด (เส้นรุ้ง, เส้นแวง) วันและเวลาที่ตรวจจับไฟป่า และประเภทของป่าไม้

หลักเกณฑ์ที่โปรแกรมจัดการข้อมูลไฟป่าใช้ในการคัดกรองข้อมูลตำแหน่งไฟป่า มีอยู่ 2 ประการคือ

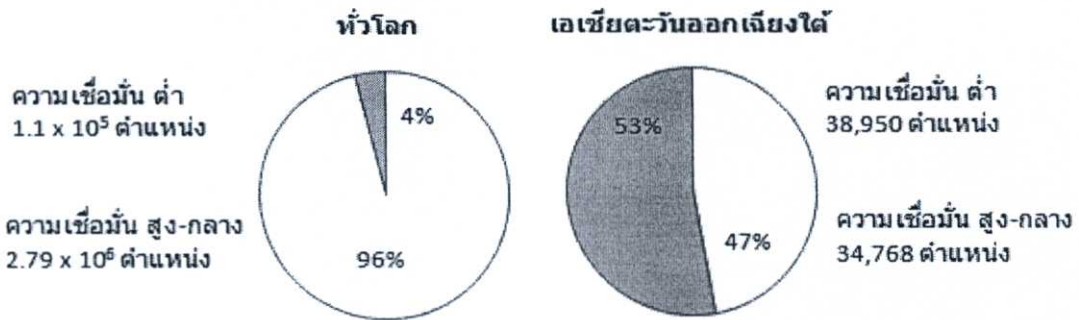
1. ข้อมูลจะต้องอยู่ในขอบเขตพื้นที่และวันที่กำหนด
2. จะต้องมีค่าความเชื่อมั่นของการตรวจจับมากกว่า 33 เปอร์เซ็นต์

โดยในงานวิจัยนี้ได้กำหนดขอบเขตพื้นที่ศึกษาครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมดของประเทศไทย ลาว กัมพูชา เวียดนาม รวมถึงพม่า จีน มาเลเซียบางส่วน ตั้งแต่เส้นรุ้งที่ 3.25 ถึง 23.67 และเส้นแวงที่ 90.21 ถึง 114.71 และมีเนื้อที่ประมาณ 6,196,500 ตารางกิโลเมตรดังแสดงในรูปที่ 3.2 ส่วนช่วงเวลาในการศึกษาได้เลือกที่จะศึกษากรณีตัวอย่างในระหว่างวันที่ 12-21 มีนาคม พ.ศ. 2550 เนื่องจากพบไฟป่าเกิดขึ้นมากที่สุดในรอบปี พ.ศ. 2550

ส่วนประเด็นของความเชื่อมั่น โดยปรกติข้อมูลตำแหน่งไฟป่าจาก MODIS สามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มตามความเชื่อมั่นของการตรวจจับ ได้แก่ ความเชื่อมั่นต่ำ(ความเชื่อมั่นน้อยกว่า 33 เปอร์เซ็นต์) ความเชื่อมั่นปานกลาง (ความเชื่อมั่นระหว่าง33-66เปอร์เซ็นต์) และความเชื่อมั่นสูง (ความเชื่อมั่นมากกว่า 66 เปอร์เซ็นต์) จากงานวิจัยของ D.P. Roy และคณะ[60] พบว่า จากข้อมูลการตรวจจับทั่วโลก ในปี พ.ศ. 2545 ข้อมูลตำแหน่งไฟป่าจาก MODIS ที่มีความเชื่อมั่นต่ำ มีจำนวนราว 4 % ของทั้งหมด แต่จากการศึกษาข้อมูลตำแหน่งของไฟป่าในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ในปีเดียวกัน(พ.ศ. 2545) พบว่าจำนวนตำแหน่งไฟป่ามีความเชื่อมั่นต่ำถึง 53 % ดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.2 ขอบเขตพื้นที่ศึกษาในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้



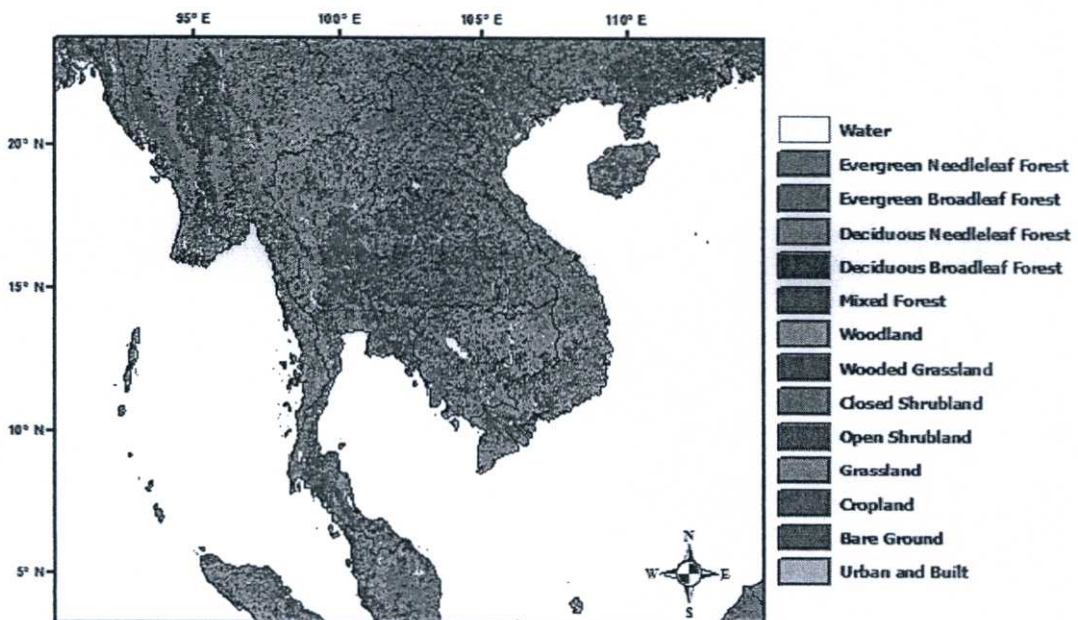
รูปที่ 3.3 ข้อมูลตำแหน่งไฟป่าจาก MODIS ที่ความเชื่อมั่นต่างๆในปี พ.ศ. 2545 เปรียบเทียบระหว่างข้อมูลทั่วโลก และภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ [60]

จากข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการใช้ข้อมูลตำแหน่งไฟป่าจาก MODIS ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้จำเป็นต้องคัดกรองข้อมูลก่อนการนำไปใช้งาน ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกข้อมูลที่มีความเชื่อมั่นกลาง และสูงเท่านั้น (มากกว่า 33 เปอร์เซ็นต์)

ในส่วนของการซ้อนทับข้อมูลตำแหน่งไฟป่าจาก MODIS กับข้อมูลประเภทป่าไม้ เพื่อระบุว่าตำแหน่งไฟป่านั้นเกิดในป่าไม้ประเภทใดนั้น โปรแกรมจะใช้ข้อมูลสิ่งปกคลุมดิน (Land cover) ที่ได้จากการประมวลภาพถ่ายดาวเทียมจากเซนเซอร์ Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) ที่ได้จากการสำรวจทั่วโลกปี พ.ศ. 2541 ที่จัดทำโดยภาควิชาภูมิศาสตร์ มหาวิทยาลัยของรัฐแมริแลนด์ ประเทศสหรัฐอเมริกา[18] โดยข้อมูลสิ่งปกคลุมดินถูกเก็บอยู่ในรูปข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ประเภทราสเตอร์ (Raster) ในรูปแบบไฟล์ Georeferencing information -Tagged Image File Format (Geo-TIFF) โดยแบ่งสิ่งปกคลุมดินออกเป็น 14 ประเภทตามรหัสตั้งแต่ 0-13 ดังแสดงในตารางที่ 3.1 ลักษณะการกระจายของป่าไม้และสิ่งปกคลุมดินในพื้นที่ศึกษามีลักษณะดังรูปที่ 3.4 ซึ่งส่วนใหญ่เป็นประเภท Wooded Grassland (ป่าหญ้าที่มีดินไม้) ซึ่งมีลักษณะคล้ายป่าหญ้า และ Woodland (ป่าไม้ทั่วไป)

ตารางที่ 3.1 รหัสประเภทของสิ่งปกคลุมดิน (Land cover) ที่ได้จากการประมวลภาพถ่ายดาวเทียมจากเซนเซอร์ AVHRR ในการสำรวจทั่วโลกปี พ.ศ. 2541[18]

รหัส	ประเภทของสิ่งปกคลุมดิน
0	Water
1	Evergreen Needleleaf Forest
2	Evergreen Broadleaf Forest
3	Deciduous Needleleaf Forest
4	Deciduous Broadleaf Forest
5	Mixed Forest
6	Woodland
7	Wooded Grassland
8	Closed Shrubland
9	Open Shrubland
10	Grassland
11	Cropland
12	Bare Ground
13	Urban and Built



รูปที่ 3.4 การกระจายตัวของประเภทของสิ่งปกคลุมดิน (Land cover) ในพื้นที่ศึกษา

3.1.3 ระบบจัดระดับความอันตรายของไฟฟ้า NFDRS

ข้อมูลของไฟฟ้าที่ได้จากโปรแกรมจัดการข้อมูลไฟฟ้า จะถูกนำมาคำนวณสถานะของเชื้อเพลิง และสิ่งแวดลอมขณะเกิดไฟฟ้า ด้วยระบบจัดระดับความเป็นอันตรายของไฟฟ้า (Nation Fire Danger Rating Systems, NFDRS) โดยอาศัยข้อมูลอุตุนิยมวิทยา อันได้แก่ ความเร็วลม (Wind speed) ทิศทางลม(Wind direction) ความชื้นสัมพัทธ์(Relative humidity) อุณหภูมิของอากาศ(Air Temperature) และปริมาณฝน(Precipitation) ที่ได้จากแบบจำลองทางอุตุนิยมวิทยา Weather Research and Forecasting (WRF-ARW core) ซึ่งได้ข้อมูลจากระบบ WRF Preprocessing Systems (WPS)

สถานะของเชื้อเพลิง และสิ่งแวดลอมขณะเกิดไฟฟ้าที่จะต้องประเมินมีทั้งหมด 7 ตัวแปรคือ ความชื้นสมดุลรายชั่วโมง (Hourly equilibrium moisture content) ความชื้นของเชื้อเพลิงราย ชั่วโมง (Hourly fuel moisture content) ความชื้นของเชื้อเพลิงเมื่อเวลาผ่านไป 10 ชั่วโมง(10 hour –Fuel moisture content) ความชื้นของเชื้อเพลิงเมื่อเวลาผ่านไป 100 ชั่วโมง(100 hour –Fuel moisture content) ความชื้นของเชื้อเพลิงเมื่อเวลาผ่านไป 1,000 ชั่วโมง(1,000 hour –Fuel moisture content) ความชื้นของไม้ลำต้นอ่อน(Herb moisture) และความชื้นของไม้ลำต้นแข็ง (Woody moisture) โดยระบบ NFDRS จะทำการคำนวณสถานะดังกล่าวโดยใช้สมการที่ได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการ และการสำรวจภาคสนาม ตัวอย่างสมการที่ใช้ในการคำนวณ ความชื้นสมดุลรายชั่วโมง(EMC) ด้วยระบบ NFDRS แสดงได้ดังสมการที่ (3.1)-(3.3)

ในกรณีที่ความชื้นสัมพัทธ์(Relative humidity) น้อยกว่า 10%

$$EMC = 0.03229 + 0.281073 \times RH - 0.000578 \times TEMP \times RH \quad (3.1)$$

ในกรณีที่ความชื้นสัมพัทธ์มากกว่า 10% แต่น้อยกว่า 50%

$$EMC = 2.22749 + 0.160107 \times RH - 0.014784 \times TEMP \quad (3.2)$$

ในกรณีที่ความชื้นสัมพัทธ์มากกว่า 50%

$$EMC = 21.0606 + 0.005565 \times RH^2 - 0.00035 \times RH \times TEMP - 0.483199 \times RH \quad (3.3)$$

เมื่อ

EMC = ความชื้นสมดุลรายชั่วโมง (Hourly-Equilibrium moisture content)

RH = ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity)

TEMP = อุณหภูมิของอากาศ (°F)

ในระบบ NFDRS มีการแบ่งประเภทของภูมิอากาศ (Climate class) ในทวีปอเมริกาเหนือ ออกเป็น 4 ประเภทตามการศึกษาของ C.W. Thornthwaite [64] โดยกำหนดเป็นรหัสประเภทของ ภูมิอากาศตั้งแต่ 1-4 โดยรหัสประเภทของภูมิอากาศ 1 หมายถึงเป็นประเภทภูมิอากาศที่ร้อน และแห้ง เมื่อรหัสประเภทของภูมิอากาศเพิ่มขึ้นหมายถึงประเภทภูมิอากาศที่มีความชื้นมากขึ้น และ

ร้อนน้อยลงตามลำดับ รหัสประเภทของภูมิอากาศนี้จะถูกใช้ในการคำนวณค่าเริ่มต้นของสถานะของเชื้อเพลิง และสิ่งแวดลอมขณะเกิดไฟป่าบางตัวเช่น การคำนวณความชื้นของเชื้อเพลิงเมื่อเวลาผ่านไป 100 ชั่วโมง (MC100) แสดงได้ดังสมการที่ (3.4)-(3.5)

$$MC100 = YMC100 + (BNDRYH - YMC100) \times (1.0 - 0.87 \times 10^{-0.24}) \quad (3.4)$$

เมื่อ

MC100	=	ความชื้นของเชื้อเพลิงเมื่อเวลาผ่านไป 100 ชั่วโมง
YMC100	=	ความชื้นของเชื้อเพลิงเมื่อเวลาผ่านไป 100 ชั่วโมงของวันก่อนหน้า
BNDRYH	=	สถานะขอบเขตเฉลี่ย 24 ชั่วโมง (Weighted 24-Hour Average Boundary Condition)

หากการคำนวณครั้งนี้เป็นการคำนวณวันแรกซึ่งยังไม่มีค่าความชื้นของเชื้อเพลิงเมื่อเวลาผ่านไป 100 ชั่วโมงของวันก่อนหน้า (YMC100) สามารถคำนวณได้จาก

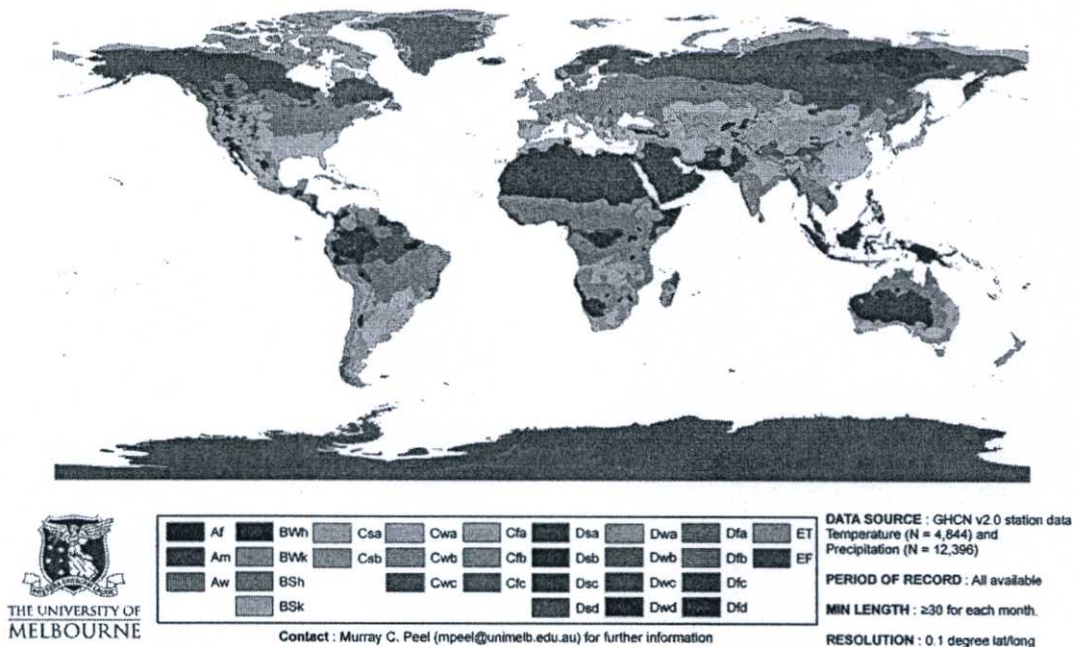
$$YMC100 = 5.0 + (5.0 \times CLIMAT) \quad (3.5)$$

เมื่อ

YMC100	=	ความชื้นของเชื้อเพลิงเมื่อเวลาผ่านไป 100 ชั่วโมงของวันก่อนหน้า
CLIMAT	=	รหัสประเภทของภูมิอากาศในระบบ NFDRS (มีค่าตั้งแต่ 1 ถึง 4)

เนื่องจากปัจจุบันยังไม่มี การแบ่งประเภทของภูมิอากาศตามระบบ NFDRS ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงอ้างอิงการศึกษาของ Kazutake Kyuma [65] ซึ่งทำการศึกษาการจัดประเภทภูมิอากาศในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ด้วยระบบ Thornthwaite โดยอาศัยการจัดประเภทภูมิอากาศระบบ Köppen-Geiger (Köppen-Geiger climate classification) [66] เป็นต้นแบบของการจัดประเภทภูมิอากาศ แผนภาพการจัดประเภทภูมิอากาศระบบ Köppen-Geiger แสดงได้ดังรูปที่ 3.5 และการจัดประเภทของภูมิอากาศตามระบบ NFDRS ด้วยระบบ Köppen-Geiger แสดงได้ดังตารางที่ 3.2

World map of Köppen-Geiger climate classification



รูปที่ 3.5 แผนภาพการจัดประเภทภูมิอากาศตามระบบ Köppen-Geiger [66]

ตารางที่ 3.2 การจัดประเภทของภูมิอากาศตามระบบ NFDRS ด้วยระบบ Köppen-Geiger [65]

รหัสประเภทของภูมิอากาศ ตามระบบ NFDRS	รหัสประเภทของภูมิอากาศ ตามระบบ Köppen-Geiger
1	B
2	-
3	C, D
4	A

3.1.4 แบบจำลองพฤติกรรมของไฟป่า FireLib

สถานะของเชื้อเพลิง และสิ่งแวดล้อมขณะเกิด ไฟป่าที่คำนวณได้จากระบบ NFDRS และข้อมูลประเภทของป่าไม้ จะถูกใช้ในการจำลองลักษณะพฤติกรรมของไฟป่าด้วยแบบจำลองพฤติกรรมของไฟป่า FireLib [25] โดยลักษณะพฤติกรรมของไฟป่าที่ทำการประเมินได้แก่ อัตราการลุกลามของไฟ (Rate of spread) อัตราการลุกลามของหางไฟ (Fire backing rate of spread) ระยะเวลาที่ไฟไหม้ (Fire residence time) การปลดปล่อยพลังงานต่อพื้นที่ (fire heat per unit area) และความยาวต่อความกว้างของรูปร่างไฟ (Fire ellipse length-to-width ratio)

พฤติกรรมของไฟป่าในแต่ละพื้นที่จะมีความแตกต่างกัน ในบางพื้นที่ไฟป่าสามารถลุกลามและเผาไหม้ป่าไม้ติดต่อกันเป็นเวลานาน แต่ในบางกรณีอาจเผาไหม้นานกว่าหนึ่งสัปดาห์ ในแถบภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ส่วนใหญ่จะมีระยะเวลาที่ไฟไหม้ (Fire residence time) ไม่เกิน

หนึ่งวัน เนื่องจาก เชื้อเพลิง และอากาศมีความชื้นสูง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงกำหนดให้ระยะเวลาที่ไฟไหม้ไม่เกิน 24 ชั่วโมง

แบบจำลอง FireLib มีพื้นฐานมาจากแบบจำลอง FCCS fire behavior fuel model (Fuel Characteristic Classification System) [67] โดยมีสมมุติฐานว่า ป่าไม้แต่ละประเภทจะมีเชื้อเพลิงที่แตกต่างกัน ทั้งขนาด (Fuel size) ปริมาณเชื้อเพลิง (Fuel loading) ความหนาของชั้นเชื้อเพลิง (Fuel bed depth) และสถานะมีชีวิต/ตาย ของเชื้อเพลิง (Dead/Live fuel ratio) ซึ่งจะทำให้พฤติกรรมของไฟป่าในพื้นที่ป่าแต่ละประเภทแตกต่างกันไปด้วย โดย FCCS Fire Behavior Fuel model แบ่งประเภทป่าไม้ตามลักษณะของเชื้อเพลิงออกเป็น 13 ประเภท แสดงในตารางที่ 3.3

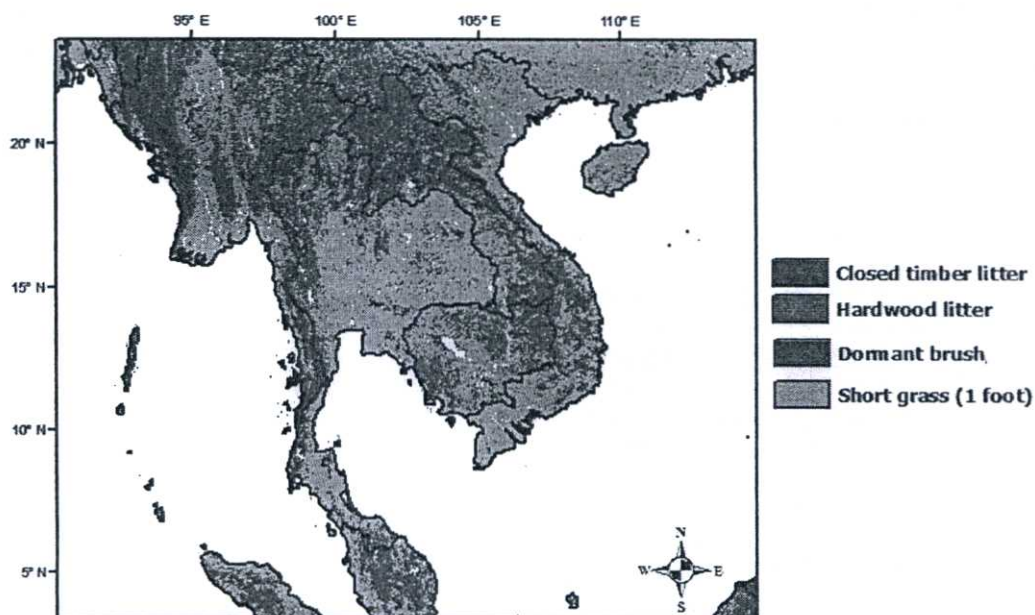
ตารางที่ 3.3 การแบ่งประเภทป่าไม้ตามลักษณะของเชื้อเพลิงของ FCCS Fire Behavior Fuel model [68]

รหัส	ลักษณะป่าไม้ตาม FCCS Fire Behavior Fuel model
1	Short grass (1 foot)
2	Timber (grass and understory)
3	Tall grass (2.5 feet)
4	Chaparral (6 feet)
5	Brush (2 feet)
6	Dormant brush, hardwood slash
7	Southern rough
8	Closed timber litter
9	Hardwood litter
10	Timber (litter and understory)
11	Light logging slash
12	Medium logging slash
13	Heavy logging slash

เนื่องจากปัจจุบันยังไม่มี การแบ่งประเภทป่าไม้ตามลักษณะของเชื้อเพลิงของ FCCS Fire Behavior Fuel model ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะทำการประมาณโดยใช้ข้อมูลประเภทของป่าไม้ที่มีอยู่ (ประเภทสิ่งปกคลุมดินจากเซนเซอร์ AVHRR) สำหรับการแบ่งประเภทป่าไม้ตามแบบจำลอง FCCS Fire Behavior Fuel model โดยข้อมูลสิ่งปกคลุมดิน (Land cover) ที่เทียบเท่ากับรหัส FCCS Fire Behavior Fuel model แสดงได้ดังตารางที่ 3.4 และแผนภาพการกระจายตัวของประเภทป่าไม้ตาม FCCS Fire Behavior Fuel model ในขอบเขตพื้นที่ศึกษา แสดงได้ดังรูปที่ 3.6

ตารางที่ 3.4 การเปรียบเทียบการจัดลักษณะสิ่งปกคลุมดินจาก AVHRR ให้เป็นไปตามระบบ FCCS Fire Behavior Fuel model

รหัส FCCS Fire Behavior Fuel model	รหัสประเภทของสิ่งปกคลุมดิน
1	10, 11, 12, 7
2	-
3	-
4	-
5	-
6	8, 9
7	-
8	1, 2, 5
9	3, 4, 6
10	-
11	-
12	-
13	-



รูปที่ 3.6 การกระจายตัวของลักษณะของเชื้อเพลิงตาม FCCS Fire Behavior Fuel model ที่ได้จากการประมาณโดยใช้ข้อมูลสิ่งปกคลุมดิน ในพื้นที่ศึกษา

ทำนายการยกตัวของมลพิษที่ปลดปล่อยจากปล่องระบายควันในอุตสาหกรรมเพื่อใช้ในการประเมินปริมาณมลพิษในแนวระดับ โดยสมการที่ใช้ในการคำนวณสามารถแบ่งเป็น 2 กรณีดังสมการที่ (3.6)-(3.7)

กรณีที่บรรยากาศไม่มีความเสถียร (Briggs static stability ≤ 0)

$$DH = 38.931 \times \frac{1}{W} \times Fb^{0.6} \quad (3.6)$$

กรณีที่บรรยากาศมีความเสถียร (Briggs static stability > 0)

$$DH = 2.6 \left(\frac{Fb}{W - Sb} \right)^{1/3} \quad (3.7)$$

โดยที่

DH	=	ความสูงที่กลุ่มมลพิษยกตัว Briggs Final Plume Rise (m)
Fb	=	ฟลักซ์แรงลอยตัว Buoyancy flux ($m^4 s^{-3}$)
W	=	ความเร็วลม (m/s)
Sb	=	ความเสถียรของบรรยากาศของ Briggs (Briggs static stability)

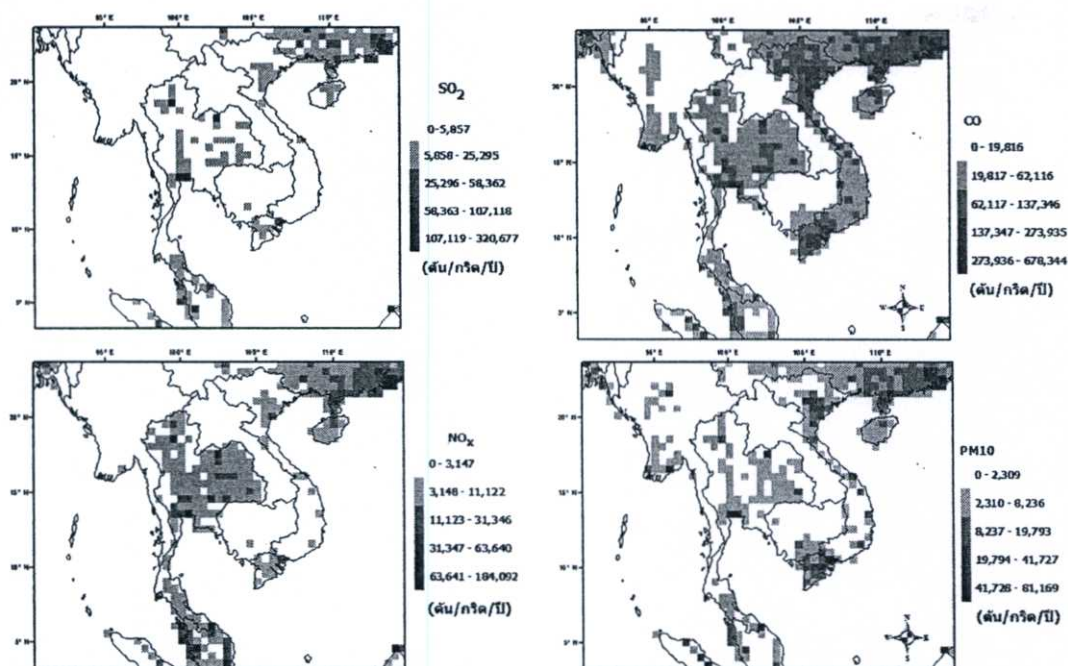
จากสมการ Briggs plume rise จะเห็นได้ว่าจำเป็นต้องอาศัยข้อมูลอุตุนิยมวิทยาในการคำนวณความสามารถการยกตัวของกลุ่มมลพิษ ซึ่งในงานวิจัยนี้จึงใช้ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาจากแบบจำลองทางอุตุนิยมวิทยา WRF โดยข้อมูลอุตุนิยมวิทยาที่ Briggs plume rise ต้องการสำหรับการคำนวณ ได้แก่ ความเร็วลม ทิศทางลม ความชื้น และอุณหภูมิของอากาศ โดยความสูงที่กลุ่มมลพิษยกตัว (DH) และข้อมูลการปลดปล่อยมลพิษแต่ละชนิดที่ระดับพื้นดินจะถูกประมวลเข้าด้วยกัน เพื่อประเมินอัตราการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศแต่ละชนิดในแนวระดับเพื่อนำไปใช้ในขั้นตอนต่อไป

3.1.7 โปรแกรมจัดการข้อมูลการปลดปล่อยมลพิษ

โดยปรกติแหล่งกำเนิดหลักของมลพิษทางอากาศสามารถจำแนกได้ 3 ประเภทคือ พืช มนุษย์ และไฟฟ้า จากรายงานการศึกษาที่มีอยู่ก่อนหน้านี้พบว่า มลพิษที่งานวิจัยนี้สนใจได้แก่ CO, CO₂, NO₂ และ PM₁₀ จะถูกปลดปล่อยออกมามากที่สุดจากไฟฟ้า มนุษย์ และพืชตามลำดับ เนื่องจากการปลดปล่อยมลพิษดังกล่าวจากพืชนั้นมีน้อยมาก ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะคำนึงถึงการปลดปล่อยมลพิษดังกล่าวจากไฟฟ้า และจากมนุษย์เท่านั้น โดยจะทำการรวมข้อมูลอัตราการปลดปล่อยมลพิษดังกล่าวจากไฟฟ้า และจากกิจกรรมของมนุษย์ (Anthropogenic emission) ด้วยโปรแกรมจัดการข้อมูลการปลดปล่อยมลพิษที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้น โดยภาษา FORTRAN90

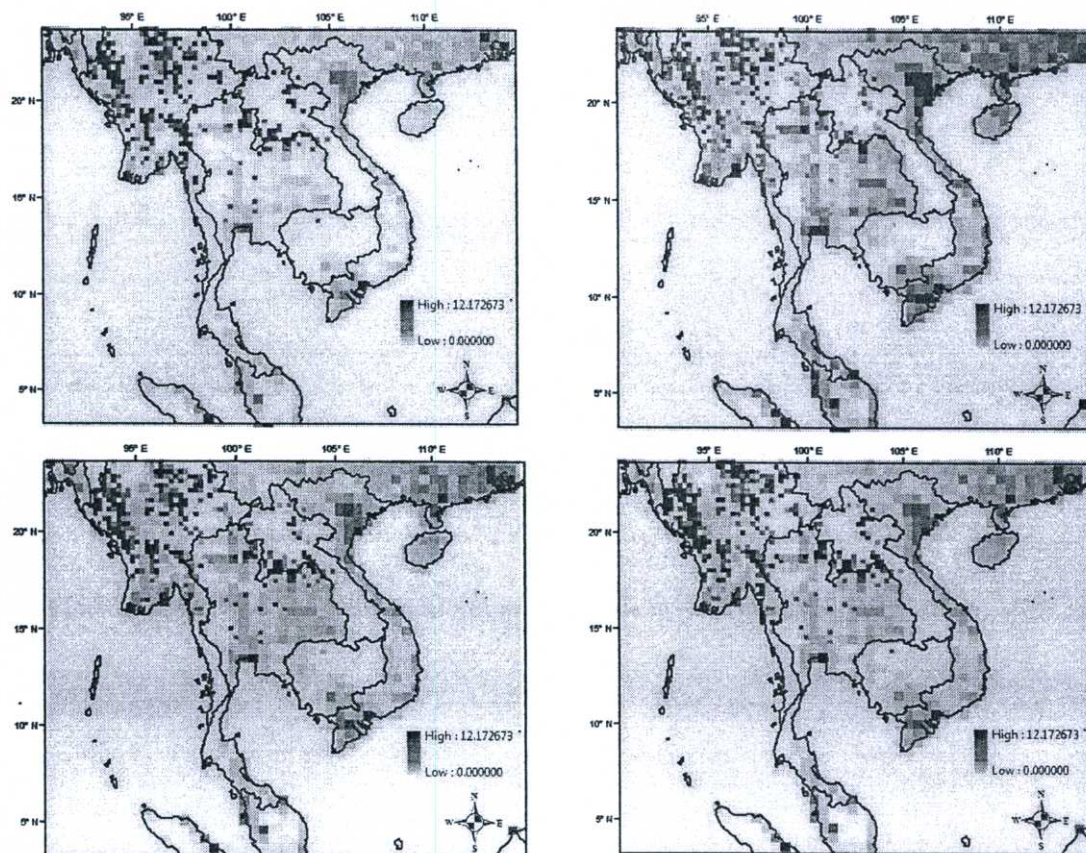
งานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศจากกิจกรรมของมนุษย์ในภูมิภาคเอเชีย จากโครงการ INTEX-B ที่จัดทำโดย Argonne National Laboratory ร่วมกับ The University of Iowa ในปี พ.ศ. 2549 ซึ่งทำการประเมินการปลดปล่อยมลพิษทั้งหมด 6 ชนิดได้แก่ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) คาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) สารประกอบอินทรีย์

ระเหยง่าย (VOC) ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM_{10}) ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) Black Carbon (BC) และ Organic Carbon (OC) ที่ปลดปล่อยจาก 4 ภาคส่วนคือ โรงผลิตไฟฟ้า(Power Plant) โรงงานอุตสาหกรรม (Industry) ที่อยู่อาศัย (Residential) และการขนส่ง(Transportation) ที่ความละเอียด 0.5° มีหน่วยเป็น ตัน/กริด/ปี ตัวอย่างแผนภาพการกระจายตัวของสารปลดปล่อยมลพิษทางอากาศ SO_2 , CO, NO_2 และ PM_{10} จากกิจกรรมของมนุษย์ของโครงการ INTEX-B แสดงได้ดังรูปที่ 3.7 ซึ่งพบว่าในพื้นที่ศึกษา CO ถูกปลดปล่อยออกมามากที่สุด โดยพื้นที่ที่มีการปลดปล่อยมลพิษมากที่สุดคือตอนใต้ของประเทศจีน รองลงมาคือในเมืองสำคัญต่างๆ ในประเทศไทย ลาว และมาเลเซีย ตามลำดับ



รูปที่ 3.7 แผนภาพการกระจายตัวของสารปลดปล่อยมลพิษทางอากาศ SO_2 , CO, NO_2 และ PM_{10} จากกิจกรรมของมนุษย์จากโครงการ INTEX-B ในปี พ.ศ. 2549 ในหน่วย ตัน/ปี/กริด

โปรแกรมจะเตรียมข้อมูลอัตราการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศที่ถูกรวบรวมแล้ว ให้พร้อมใช้สำหรับการจำลองคุณภาพอากาศด้วยแบบจำลองคุณภาพอากาศในขั้นตอนถัดไปในหน่วย $\mu\text{g m}^{-2} \text{sec}^{-1}$ แผนภาพตัวอย่างการกระจายตัวของอัตราการปลดปล่อยมลพิษรายชั่วโมงของ PM_{10} ในวันที่ 21 มีนาคม พ.ศ. 2550 เวลา 7:00น. 13:00น.19:00น. และ 24:00น. ตามลำดับในหน่วย $\mu\text{g m}^{-2} \text{sec}^{-1}$ แสดงได้ดังรูปที่ 3.8 ซึ่งจะเห็นได้ว่าที่เวลาแตกต่างกัน อัตราการปลดปล่อยมลพิษในแต่ละพื้นที่ก็จะแตกต่างกันไปด้วย ซึ่งขึ้นอยู่กับจำนวนไฟฟ้าที่เกิดขึ้น ในขณะที่อัตราการปลดปล่อยมลพิษในพื้นที่เมือง เช่นตอนใต้ของประเทศจีน และเมืองสำคัญๆ จะค่อนข้างคงที่ ทั้งนี้เพราะในพื้นที่ดังกล่าวไม่มีไฟฟ้าเกิดขึ้น แต่จะมีการปลดปล่อยมลพิษจากกิจกรรมของมนุษย์เท่านั้น



รูปที่ 3.8 อัตราการปลดปล่อยมลพิษรายชั่วโมงของมลพิษทางอากาศ PM_{10} จากการไฟฟ้า และกิจกรรมของมนุษย์ ในวันที่ 21 มีนาคม พ.ศ. 2550 เมื่อเวลา 7:00น. 13:00น.19:00น. และ 24:00น. ตามลำดับในหน่วย $\mu g m^{-2} sec^{-1}$

3.1.8 แบบจำลองคุณภาพอากาศ WRF-Chem

ความเป็นไปของมลพิษทางอากาศทั้งทางกายภาพ และทางเคมีจะถูกจำลองด้วยแบบจำลองคุณภาพอากาศ Weather Research and Forecasting Model: Chemistry (WRF-Chem) รุ่นที่ 3.0.1 โดยอาศัยข้อมูลอัตราการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศที่ได้จากโปรแกรมจัดการข้อมูลการปลดปล่อยมลพิษในขั้นตอนก่อนหน้า และข้อมูลพร้อมใช้จากระบบ WRF-Preprocessing Systems (WPS)

ในงานวิจัยนี้จะทำการจำลองในพื้นที่ศึกษาโดยการแบ่งกริดตามแนวราบขนาด 27×27 กิโลเมตร จำนวน 100×85 กริด และสูงตามแนวระดับจำนวน 27 กริด จนกระทั่งถึงระยะ 17 กิโลเมตรจากระดับพื้นดิน รายละเอียดความสูงของกริดตามแนวระดับ และกราฟความสูงของกริดตามแนวระดับ แสดงได้ดังตารางที่ 3.6 พิจารณากระบวนการกำจัดของสารเคมีโดยกลไกการตกลงด้วยแรงโน้มถ่วงโลก (Dry deposition) ของ Wesely และ ไม่นำเนิ่งถึงการชะด้วยฝน (Wet deposition) ใช้กลไกปฏิกิริยาเคมีแบบ The Second Generation Regional Acid Deposition Model Chemical Mechanism (RADM2) [50] สำหรับกลไกปฏิกิริยาเคมีของมลพิษทางอากาศในสถานะแก๊ส กระบวนการละอองของเหลว (Aerosols mechanism) แบบ the Modal Aerosol Dynamics

Model for Europe/Secondary Organic Aerosol Model (MADE/SORGAM) และรูปแบบปฏิกิริยาโฟโตไลซิส Fast-J สำหรับปฏิกิริยาโฟโตไลซิสบนชั้นบรรยากาศ รายละเอียดการตั้งค่าของแบบจำลอง WRF-Chem แสดงได้ดังตารางที่ 3.7

ในส่วนของข้อมูลอุตุนิยมวิทยาที่ใช้ในระบบ WRF-Preprocessing Systems (WPS) ได้มาจากแบบจำลองอุตุนิยมวิทยาระดับโลก Global Forecast System (GFS) [44] ที่ความละเอียด $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ โดยในงานวิจัยนี้จะทำการจำลองคุณภาพอากาศเป็นรายชั่วโมงตั้งแต่เวลา 7:00น. (0:00 UTC) ถึง 6:00น.ของวันถัดไป (23:00 UTC) ของวันที่ 12-21 มีนาคม พ.ศ. 2550 โดยให้ความเข้มข้นเริ่มต้นของมลพิษทางอากาศในวันแรก (12 มีนาคม พ.ศ. 2550) มีค่าเท่ากับศูนย์ และผลลัพธ์ความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศที่จำลองได้จะถูกใช้เป็นการเพิ่มความเข้มข้นเริ่มต้นของวันถัดไป ผลลัพธ์ของการจำลองดังกล่าว เป็นข้อมูลความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศทั้ง 3 ชนิด (CO , PM_{10} และ NO_2) ใน 4 มิติคือ มิติตามแกน X, Y, Z และมิติของเวลาที่จัดเก็บอยู่ในรูปแบบ Network Common Data Form (NetCDF) [70]

ตารางที่ 3.6 รายละเอียดความสูงของกริดตามแนวระดับ

กริด ระดับที่	ระดับความ สูง (เมตร)	กริด ระดับที่	ระดับความสูง (เมตร)	กริด ระดับที่	ระดับความสูง (เมตร)
1	0-119	11	4,612-5,469	21	14,404-14,938
2	119-289	12	5,469-6,940	22	14,938-15,408
3	289-510	13	6,940-8,267	23	15,408-15,821
4	510-782	14	8,267-9,461	24	15,821-16,181
5	782-1,122	15	9,461-10,534	25	16,181-16,495
6	1,122-1,547	16	10,534-11,494	26	16,495-16,766
7	1,547-2,040	17	11,494-12,353	27	16,766-17,000
8	2,040-2,897	18	12,353-13,119		
9	2,897-3,754	19	13,119-13,800		
10	3,754-4,612	20	13,800-14,404		

ตารางที่ 3.7 ตัวแปรที่ใช้ในแบบจำลอง WRF-Chem

ความละเอียดของโดเมนตามแนวนอน (Domains horizontal resolutions)	27 กิโลเมตร
มิติของโดเมนตามแนวนอน (Domains horizontal grids dimensions)	100 x 95
จำนวนระดับตามความสูง (Number of vertical levels)	27
ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาจากแบบจำลอง อุตุนิยมวิทยาระดับโลก	GFS FNL analyses
การแผ่รังสีคลื่นยาว (Longwave radiation)	RRTM (Rapid Radiative Transfer Model)
การแผ่รังสีคลื่นสั้น (Shortwave radiation)	Dudhia
Land-surface model	thermal diffusion
Planetary boundary layer scheme	Yonsei University
Microphysics	WSM 5-class (WRF-Single-Moment 5-class)
Cumulus parameterization	Grell-Devenyi ensemble
กระบวนการปฏิกิริยาเคมี (Chemical mechanism)	RADM2
กระบวนการละอองของเหลว (Aerosols mechanism)	MADE/SORGAM (the Modal Aerosol Dynamics Model for Europe/Secondary Organic Aerosol Model)
ปฏิกิริยาที่ใช้แสง (Photolysis)	Fast-J photolysis
การตกลงด้วยแรงโน้มถ่วงโลก (Dry deposition)	Wesely
การปลดปล่อยมลพิษจากพืช (Biogenic Emissions)	-
การปลดปล่อยมลพิษจากมนุษย์ (Anthropogenic emissions)	INTEX-B

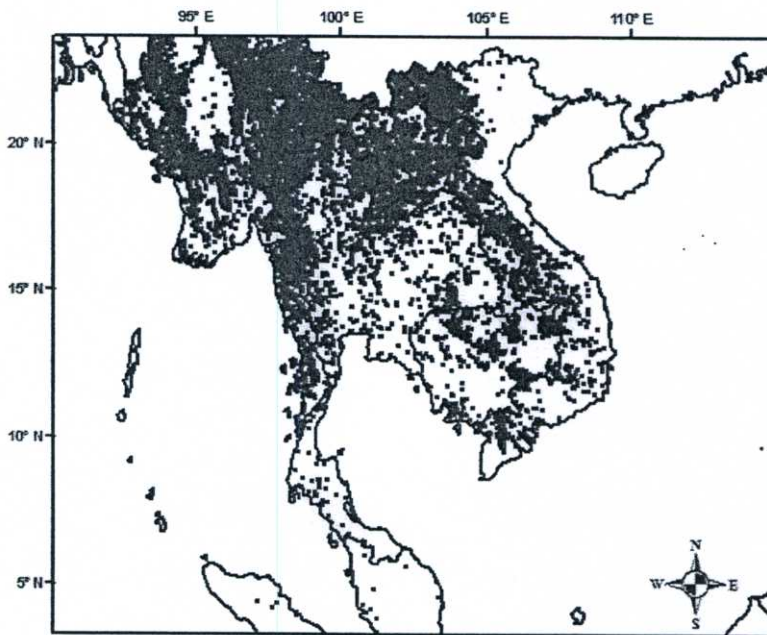
บทที่ 4

ผลการศึกษา

การนำเสนอผลการศึกษาของงานวิจัยนี้จะแบ่งเป็น 4 ส่วน ได้แก่ ข้อมูลทั่วไปของไฟฟ้า ลักษณะของการปลดปล่อยมลพิษจากไฟฟ้า การแพร่กระจายของมลพิษ และการประเมินสมรรถนะของการทำนายความเป็นไปของมลพิษทางอากาศ

4.1 ข้อมูลทั่วไปของไฟฟ้า

จากการศึกษาข้อมูลตำแหน่งไฟฟ้าจาก MODIS ในพื้นที่ศึกษา ตั้งแต่วันที่ 12-21 มีนาคม พ.ศ. 2550 พบว่ามีไฟฟ้าเกิดขึ้น 39,953 จุด โดยเกิดขึ้นมากบริเวณคาบสมุทรมอิน โคลจีน โดยเฉพาะอย่างยิ่งทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศพม่า ภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย และภาคเหนือของประเทศลาว แผนภาพการกระจายตัวของตำแหน่งไฟฟ้าในพื้นที่ต่างๆ แสดงได้ดังรูปที่ 4.1

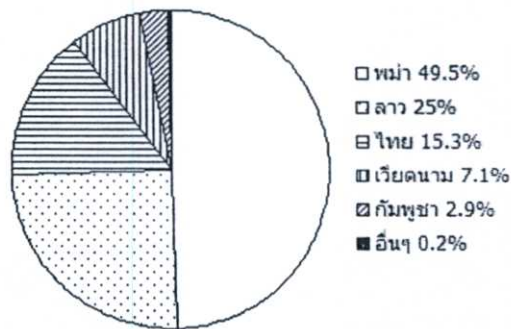


รูปที่ 4.1 แผนภาพการกระจายตัวของตำแหน่งไฟฟ้าในพื้นที่ต่างๆ ตั้งแต่วันที่ 12-21 มีนาคม พ.ศ. 2550

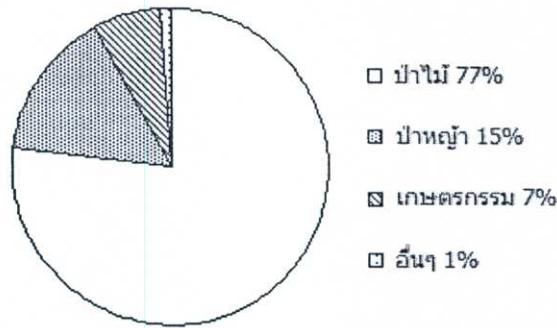
เมื่อตรวจสอบระดับความเชื่อมั่นของข้อมูล พบว่ามีข้อมูลที่ระดับความเชื่อมั่นมากกว่า 33 % ถึง 38,214 จุด หรือประมาณ 96 % ของข้อมูลทั้งหมด ซึ่งแตกต่างจากงานวิจัยของ D.P. Roy และคณะ[60] ในปี พ.ศ. 2545 ที่รายงานว่าจะมีข้อมูลที่ระดับความเชื่อมั่นมากกว่า 33% เพียง 47 % ของข้อมูลทั้งหมด ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.3 ซึ่งความแตกต่างดังกล่าวเกิดเนื่องจากในช่วงที่ศึกษาอยู่ในช่วงฤดูแล้ง ทำให้มีปริมาณเมฆบดบังต่ำ จึงทำให้สมรรถนะในการตรวจจับไฟฟ้าของ

เซนเซอร์ MODIS ดีขึ้น ทำให้ระดับความเชื่อมั่นในการตรวจวัดมีมากกว่าในช่วงฤดูอื่นๆ ในขณะที่งานวิจัยของ D.P. Roy และคณะเป็นข้อมูลเฉลี่ยรายปี จึงทำให้ข้อมูลดังกล่าวมีจำนวนน้อยกว่าในช่วงฤดูแล้ง

เมื่อพิจารณาจำนวนตำแหน่งไฟป่าที่ตรวจพบแยกตามประเทศ พบว่าไฟป่าส่วนใหญ่เกิดขึ้นในประเทศพม่า ลาว และไทย ที่สัดส่วนประมาณ 49.5 25.0 และ 15.3 % ตามลำดับ แผนภาพวงกลมของสัดส่วนจำนวนตำแหน่งไฟป่าในประเทศต่างๆแสดงดังรูปที่ 4.2 ในขณะที่เมื่อพิจารณาจำนวนตำแหน่งไฟที่ตรวจพบแยกตามประเภทของสิ่งปกคลุมดิน พบว่าไฟเกิดในพื้นที่ป่าไม้มากที่สุด รองลงมาคือในพื้นที่ป่าหญ้า และในพื้นที่เกษตรกรรม ที่สัดส่วนประมาณ 77, 15 และ 7 % ตามลำดับ จากข้อมูลของกรมป่าไม้ระบุว่าสาเหตุหลักของการเกิดไฟในพื้นที่ป่าไม้ และพื้นที่ป่าหญ้าในช่วงเวลาดังกล่าวเกิดจาก ความต้องการเก็บเห็ดถอบ และหาผักหวานป่า ซึ่งจะเติบโตขึ้นหลังจากการลักลอบเผาป่าในช่วงฤดูแล้ง ส่วนไฟในพื้นที่เกษตรกรรมส่วนใหญ่ จะเป็นไฟจากการเผาอ้อย เพื่อต้องการจัดการใบอ้อยซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการตัดอ้อยในช่วงเก็บเกี่ยวผลผลิตอ้อย (ธันวาคม-เมษายน) ของเกษตรกรในภาคเหนือ และตะวันออกเฉียงเหนือ และในช่วงเวลาเดียวกันยังเป็นช่วงการเก็บเกี่ยวข้าวนาปรังของเกษตรกรในเขตภาคเหนือ และภาคกลาง ที่ส่วนใหญ่จะทำการเผาตอซัง ฟางข้าว เพื่อเตรียมไร่นาสำหรับการปลูกข้าวครั้งต่อไป แผนภาพวงกลมของสัดส่วนจำนวนตำแหน่งไฟที่ตรวจพบแยกตามประเภทของลักษณะสิ่งปกคลุมดินแสดงดังรูปที่ 4.3

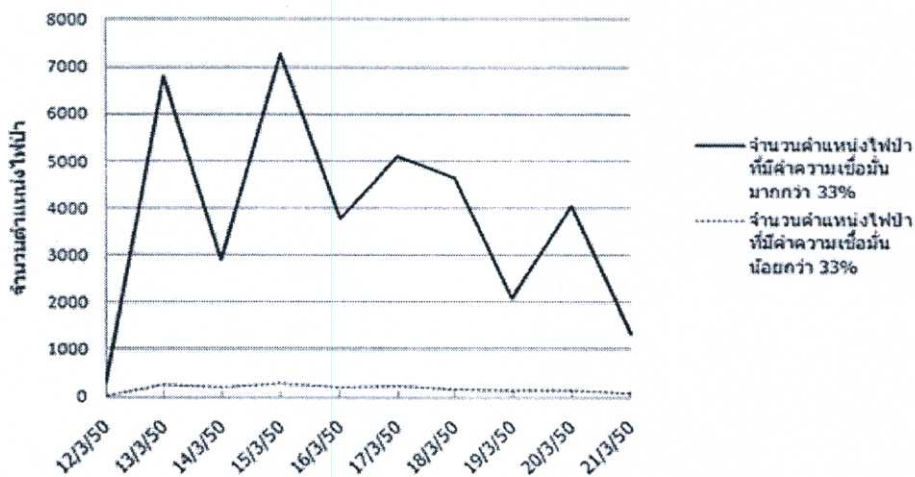


รูปที่ 4.2 แผนภาพวงกลมแสดงสัดส่วนจำนวนตำแหน่งไฟป่าที่ตรวจในประเทศต่างๆ ในช่วงระหว่างวันที่ 12-21 มีนาคม พ.ศ. 2550 ในขอบเขตพื้นที่ศึกษา



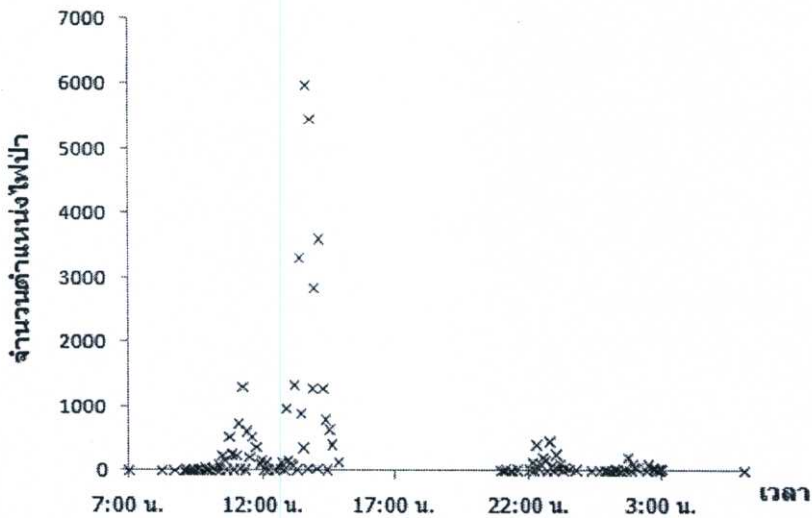
รูปที่ 4.3 แผนภาพวงกลมของสัดส่วนจำนวนตำแหน่งไฟที่ตรวจพบแยกตามประเภทของที่ตั้งปกคลุมดินในช่วงระหว่างวันที่ 12-21 มีนาคม พ.ศ. 2550 ในขอบเขตพื้นที่ศึกษา

นอกจากนี้จากการศึกษาจำนวนของตำแหน่งไฟป่า (ที่ระดับความเชื่อมั่นมากกว่า 33%) แยกเป็นรายวันพบว่าไฟป่าเกิดขึ้นมากที่สุดในวันที่ 15 มีนาคม รองลงมาคือวันที่ 13 และ 17 มีนาคม โดยมีจำนวนไฟป่า 7,266 6,788 และ 5,093 จุดตามลำดับ จำนวนข้อมูลตำแหน่งไฟป่ารายวันที่แยกตามระดับความเชื่อมั่นแสดงได้ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 จำนวนข้อมูลตำแหน่งไฟป่ารายวันที่แยกตามระดับความเชื่อมั่นของวันต่างๆ

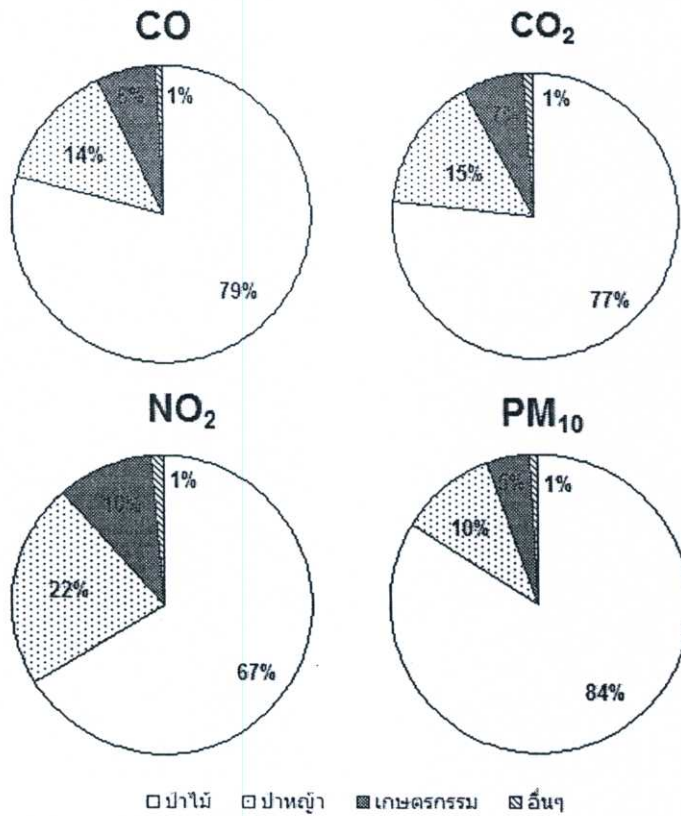
จากนั้นพิจารณาข้อมูลตำแหน่งไฟที่ระดับความเชื่อมั่นมากกว่า 33% ที่ตรวจพบในช่วงเวลาต่างๆของวัน ซึ่งจะพบว่าช่วงเวลาตรวจพบไฟป่าจะกระจุกตัวเป็นช่วงๆที่เวลาประมาณ 10:00 ถึง 14:00 น. และ 22:00 ถึง 3:00 น. ทั้งนี้เนื่องจากดาวเทียม AQUA และ TERRA จะโคจรผ่านพื้นที่ศึกษาเพียงวันละ 4 ครั้ง ที่เวลาประมาณ 10:00 และ 22:00 น. สำหรับดาวเทียม TERRA และ 14:00 และ 2:00 น. สำหรับดาวเทียม AQUA โดยพบว่าดาวเทียมทั้ง 2 ตรวจจับไฟป่าได้มากที่สุดที่ช่วงเวลาประมาณ 13:00-14:00 น. มากถึง 5,983 จุด รองลงมาคือในช่วงเวลาประมาณ 22:00 น. ที่ประมาณ 600 จุด จากข้อมูลดังกล่าวแสดงว่าไฟป่าจะเกิดขึ้นในช่วงเวลาสายถึงบ่ายมากกว่าในตอนกลางคืน ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่มียุณหภูมิของอากาศสูงที่สุดของวัน ลักษณะการกระจายตัวของจำนวนจุดของไฟป่าตามช่วงเวลาตรวจจับได้แสดงได้ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 การกระจายตัวของจำนวนตำแหน่งฟ้าผ่าที่ MODIS ตรวจจับได้ในเวลาต่างๆของวัน

4.2 ลักษณะของการปลดปล่อยมลพิษจากฟ้าผ่า

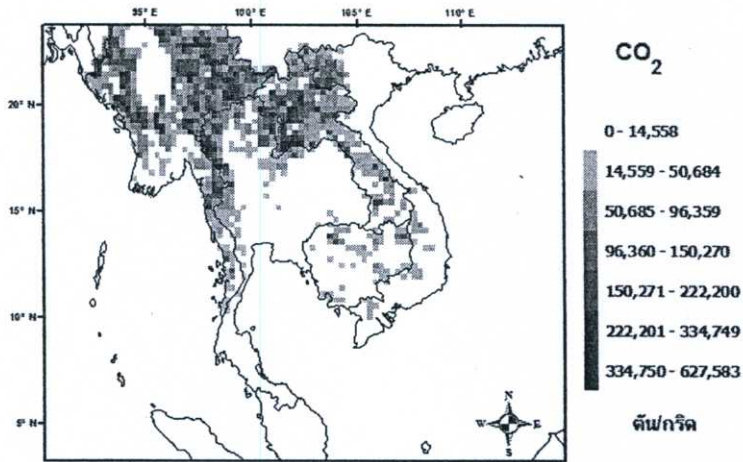
ผลการประเมินการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศที่สนใจ 4 ชนิด ได้แก่ CO_2 , CO , PM_{10} และ NO_2 จากฟ้าผ่าในพื้นที่ศึกษา ตั้งแต่วันที่ 12-21 มีนาคม พ.ศ. 2550 พบว่ามีการปลดปล่อย CO_2 มากที่สุดประมาณ 9.1 ล้านตัน รองลงมาคือ CO , PM_{10} และ NO_2 ที่ประมาณ 6.9, 0.75 และ 0.11 ล้านตัน ตามลำดับ และเมื่อทำการศึกษามลพิษแต่ละชนิดนั้น ถูกปลดปล่อยออกมาจากฟ้าผ่าในพื้นที่ใดมากที่สุด พบว่าฟ้าผ่าเป็นแหล่งปลดปล่อยหลักของมลพิษทั้ง 4 ชนิด รองลงมาคือพื้นที่เกษตรกรรม และพื้นที่อื่นๆ ตามลำดับ ที่สัดส่วนโดยเฉลี่ย 76.8, 15.3, 7.0 และ 0.9 % ของทั้งหมด ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.6 จากข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าฟ้าผ่าในพื้นที่ป่าเป็นแหล่งปลดปล่อยมลพิษทางอากาศทั้ง 4 ชนิดที่สำคัญซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลตำแหน่งฟ้าผ่าที่ตรวจพบแยกตามประเภทของสิ่งปกคลุมดินที่พบว่าเกิดบนพื้นที่ป่ามากที่สุด นอกจากนี้ยังพบว่าค่าปัจจัยการปลดปล่อยมลพิษของป่าไม่มีค่าสูงเมื่อเทียบกับพื้นที่เกษตรกรรม หรือพื้นที่อื่นๆ ทำให้ฟ้าผ่าในพื้นที่ป่าไม่ปลดปล่อยมลพิษออกมามากกว่าฟ้าผ่าในพื้นที่อื่นๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง PM_{10} ซึ่งมีค่าปัจจัยการปลดปล่อยมลพิษ 13.05 กรัมต่อกิโลกรัมของเชื้อเพลิงแห้ง ซึ่งมากกว่าค่าปัจจัยการปลดปล่อยมลพิษที่ 8.36 กรัมต่อกิโลกรัมของเชื้อเพลิงแห้งของพื้นที่เกษตรกรรมถึง 35 %



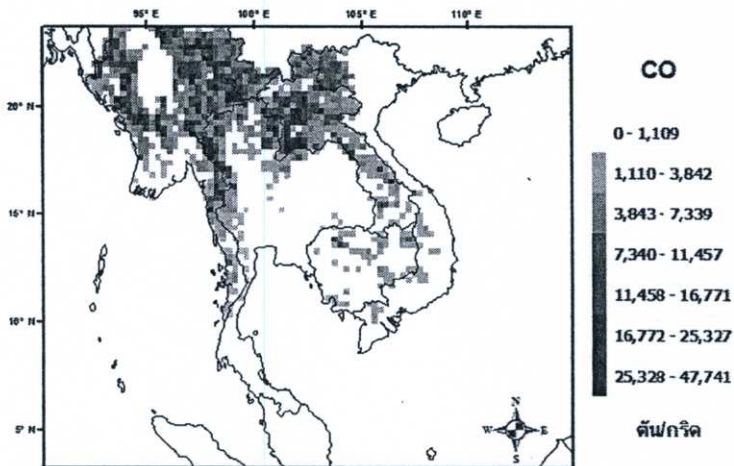
รูปที่ 4.6 แผนภาพวงกลมแสดงสัดส่วนของมลพิษทางอากาศที่มาจากแหล่งกำเนิดต่างๆ

4.2.1 ลักษณะการปลดปล่อยมลพิษจากการเผาในที่โล่งตามพื้นที่

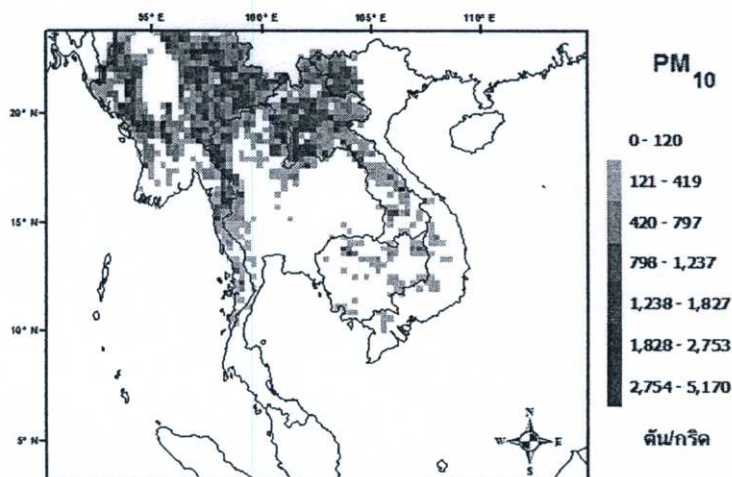
เมื่อได้ทำการรวมปริมาณการปลดปล่อยมลพิษที่กระจายตามพื้นที่ต่างๆให้อยู่ในขนาดพื้นที่เท่าๆกัน ขนาด 27x27 ตารางกิโลเมตร โดยใช้โปรแกรมสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อให้เหมาะสมกับการนำไปใช้ในการศึกษาการแพร่กระจายโดยใช้แบบจำลอง พบว่า แผนภาพการกระจายของปริมาณการปลดปล่อยในพื้นที่ต่างๆ ของมลพิษทางอากาศทั้ง 4 ชนิดในหน่วยตันต่อกริด (27x27 ตารางกิโลเมตร) มีลักษณะดังรูปที่ 4.7-4.10 ซึ่งจะเห็นว่าลักษณะการกระจายตัวของมลพิษทั้ง 4 ชนิดมีลักษณะเป็นไปในทิศทางเดียวกัน และมีความคล้ายคลึงกับการกระจายของตำแหน่งไฟฟ้า คือพบการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศจากการเผาในที่โล่งมากในบริเวณพรมแดนประเทศไทย-พม่าด้านตะวันออก และพรมแดนประเทศไทย-ลาวตอนบน รองลงมาคือด้านตะวันตกของประเทศไทย-พม่า ตอนกลางของประเทศลาว ตอนเหนือของประเทศไทย และตอนเหนือของประเทศเวียดนาม



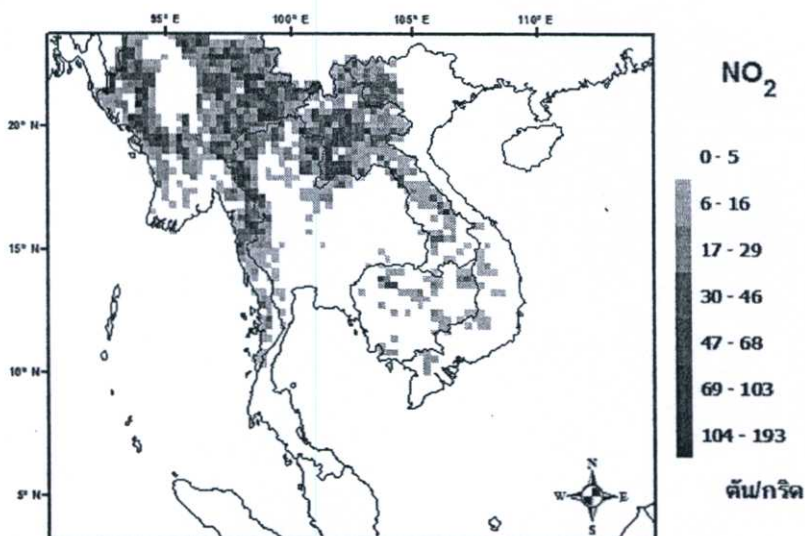
รูปที่ 4.7 การกระจายของปริมาณการปลดปล่อย CO₂ ภาพรวมระหว่างวันที่ 12-21 มีนาคม พ.ศ. 2550



รูปที่ 4.8 การกระจายของปริมาณการปลดปล่อย CO ภาพรวมระหว่างวันที่ 12-21 มีนาคม พ.ศ. 2550

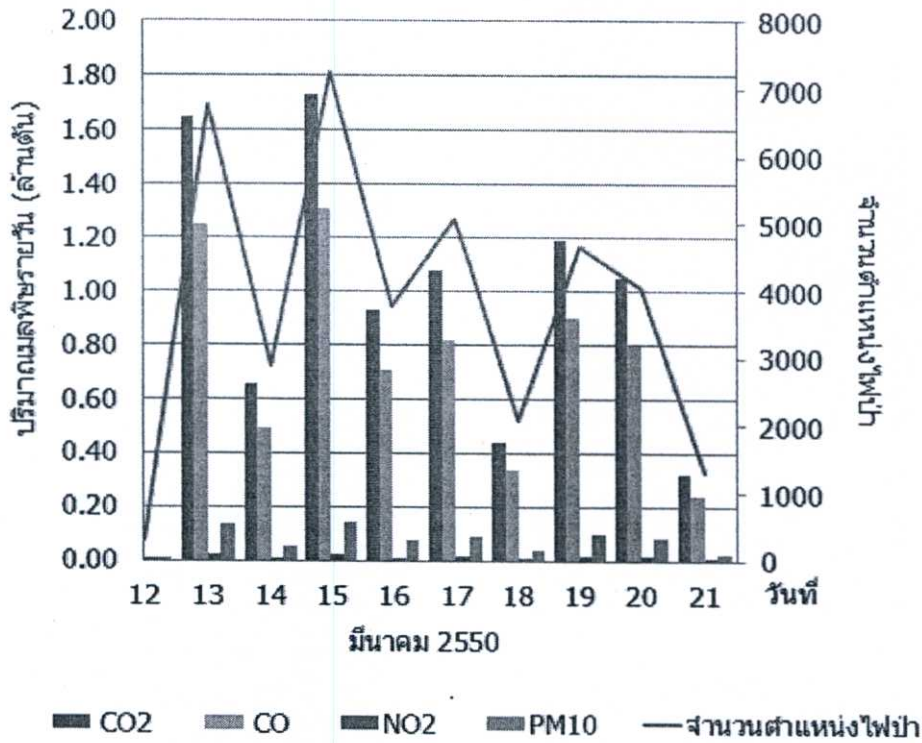


รูปที่ 4.9 การกระจายของปริมาณการปลดปล่อย PM₁₀ ภาพรวมระหว่างวันที่ 12-21 มีนาคม พ.ศ. 2550

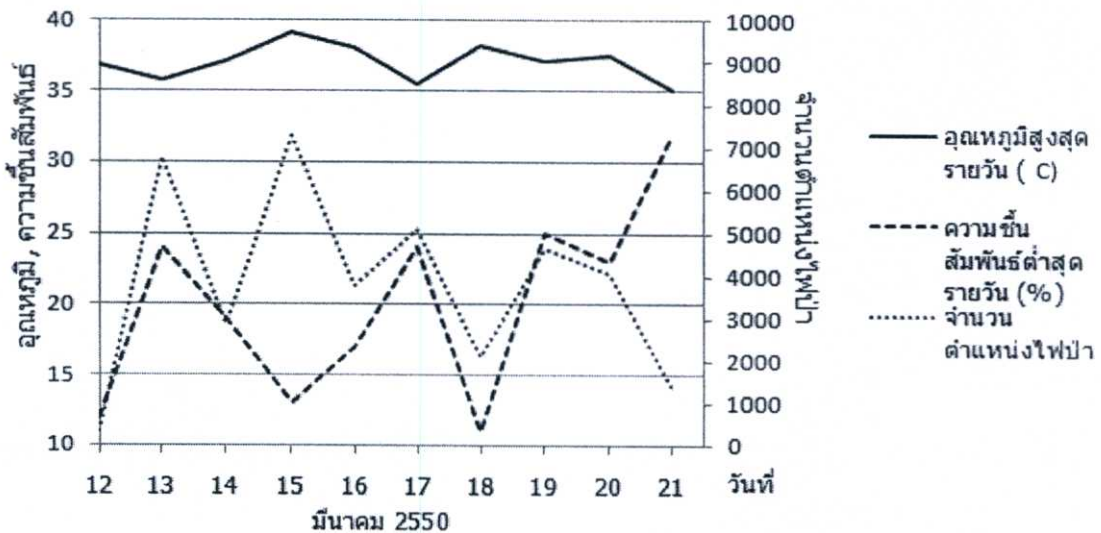


รูปที่ 4.10 การกระจายของปริมาณการปลดปล่อย NO_2 ภาพรวมระหว่างวันที่ 12-21 มีนาคม พ.ศ. 2550

จากการพิจารณาปริมาณการปลดปล่อยมลพิษรายวันของมลพิษทั้ง 4 ชนิด เปรียบเทียบกับจำนวนตำแหน่งของไฟป่าดังแสดงในรูปที่ 4.11 พบว่าจำนวนไฟป่า และปริมาณการปลดปล่อยมลพิษจะแตกต่างกันไปในแต่ละวัน เมื่อจำนวนไฟป่ายิ่งมาก ปริมาณการปลดปล่อยมลพิษก็จะยิ่งมากตามไปด้วย โดยในวันที่ 13 และ 15 มีนาคม พ.ศ. 2550 มีจำนวนไฟป่า และปริมาณการปลดปล่อยมลพิษมากที่สุด และเมื่อศึกษาข้อมูลอุณหภูมิตามวันในช่วงเวลาที่ศึกษาเพื่อหาว่าสภาพอากาศมีความสัมพันธ์อย่างไรกับจำนวนจุดของไฟป่า ซึ่งเมื่อสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิสูงสุด ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุด และจำนวนตำแหน่งไฟป่าในแต่ละวันที่บริเวณจังหวัดเชียงใหม่ดังแสดงในรูปที่ 4.12 พบว่าในวันที่ 15 มีนาคม พ.ศ. 2550 เป็นวันที่มีอุณหภูมิสูง และมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ และเป็นวันที่มีไฟป่าเกิดขึ้นมากที่สุด แต่ในวันที่ 18 มีนาคม พ.ศ. 2550 แม้ว่าจะมีอุณหภูมิสูง และมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำก็ตาม แต่ก็ไม่ได้มีจำนวนไฟป่ามาก แสดงให้เห็นว่าสภาวะอากาศไม่ได้มีความสัมพันธ์โดยตรงกับจำนวนไฟป่า และไม่ใช่ว่าสาเหตุหลักของการเกิดไฟป่า แต่เป็นเพียงปัจจัยเสริมให้ไฟมีความรุนแรงมากขึ้น โดยสาเหตุหลักที่แท้จริงของการเกิดไฟป่าของภูมิภาคนี้คือการกระทำของมนุษย์



รูปที่ 4.11 จำนวนไฟฟ้า และปริมาณการปลดปล่อยมลพิษรายวัน

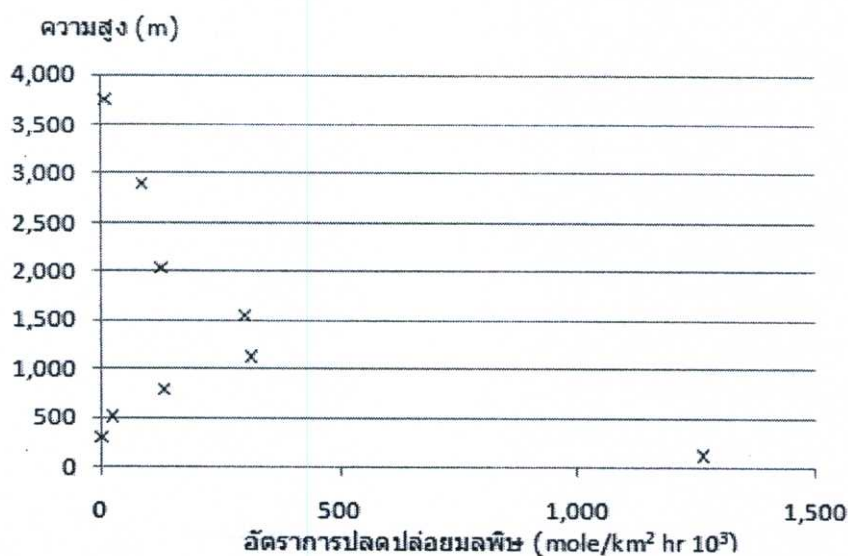


รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลสภาพอากาศอุณหภูมิสูงสุด และความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุดรายวัน ที่สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ สถานีศาลากลางเชียงใหม่

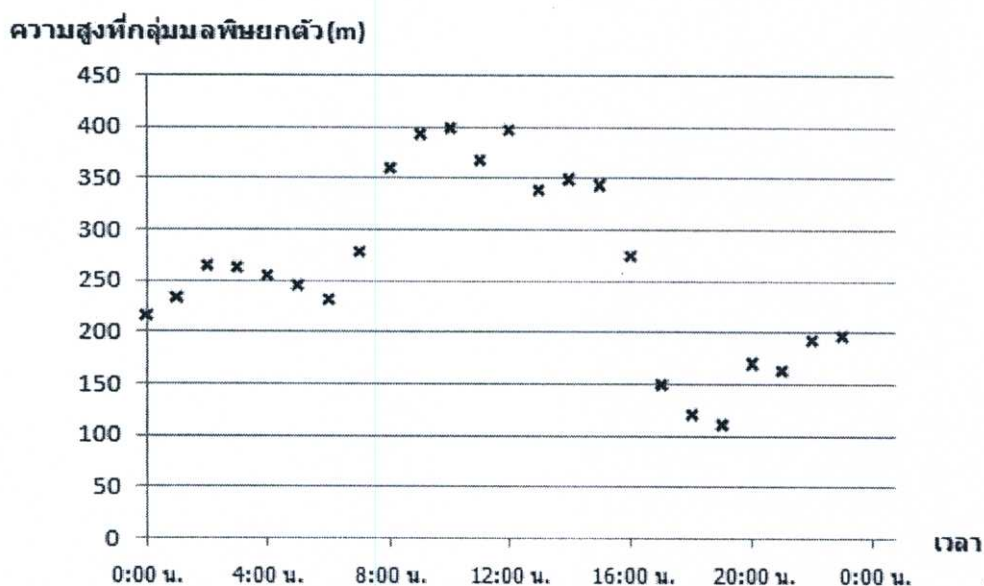
4.2.2 ลักษณะการปลดปล่อยมลพิษตามแนวระดับ

เนื่องจากมลพิษทางอากาศจากไฟฟ้าสามารถถูกทำให้ยกตัวสูงขึ้นตามแนวระดับหลังจากถูกปลดปล่อยจากแหล่งกำเนิดเนื่องจากผลของปรากฏการณ์การถ่ายเทความร้อน จึงได้ทำการประเมินการปลดปล่อยในแนวระดับโดยอาศัยสมการการยกตัวของควัน ซึ่งผลจากการประเมินพบว่าปริมาณมลพิษที่ปลดปล่อยออกมาจะไม่ได้อยู่ในแนวระดับพื้นดินเท่านั้น แต่จะมีการกระจายที่ระดับความสูงต่างๆ ในปริมาณที่แตกต่างกัน ดังตัวอย่างของอัตราการปลดปล่อย CO ที่ระดับตาม

สูงต่างๆ บริเวณตอนบนของประเทศลาวในวันที่ 15 มีนาคม พ.ศ. 2550 ที่แสดงดังรูปที่ 4.13 พบว่าการปลดปล่อยมลพิษจะมีมากที่สุดที่ระดับความสูงประมาณ 120 เมตร และ 1,000-1,500 เมตร โดยมีอัตราการปลดปล่อยมลพิษประมาณ $1,250 \times 10^3$ และ 400×10^3 mole /km² hr ตามลำดับ โดยผลรวมของอัตราการปลดปล่อยมลพิษที่ระดับความสูงมากกว่า 500 เมตร มีถึง 51% ของปริมาณการปลดปล่อยทั้งหมด แสดงให้เห็นว่าการศึกษาการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศจากไฟฟ้าโดยพิจารณาการปลดปล่อยจากระดับพื้นดินเพียงอย่างเดียวจะไม่เพียงพอที่จะใช้ในการศึกษาความเป็นไปของมลพิษทางอากาศ เนื่องจากมลพิษที่ถูกปลดปล่อยในระดับต่างกัน จะส่งผลกระทบต่อผู้คนแตกต่างกัน โดยการปลดปล่อยที่ระดับสูง สามารถแพร่กระจายไปได้ไกลกว่า เนื่องจากอิทธิพลของลมซึ่งจะมีความแรงขึ้นที่ระดับสูงขึ้น และเพื่อให้เห็นความสัมพันธ์ของความสูงของมลพิษทางอากาศที่เกี่ยวกับช่วงเวลาต่างๆของวัน ในการศึกษานี้จึงได้สร้างแผนภาพความสัมพันธ์ดังกล่าวโดยนำตัวอย่างข้อมูลความสูงเฉลี่ยทั้งหมดในพื้นที่ศึกษาที่เวลาต่างๆของวันที่ 12 มีนาคม พ.ศ. 2550 มาแสดงดังรูปที่ 4.14 จากรูปจะเห็นว่าความสูงที่กลุ่มมลพิษยกตัวได้จะเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลาของวัน โดยจะมีค่าสูงเฉลี่ย 300-400 เมตรในช่วงเวลากลางวัน (8:00 – 15:00น.) และมีค่าต่ำลงในช่วงเย็น และกลางคืน (17:00-23:00น.) ซึ่งจะยกตัวเพียง 100-200 เมตรเท่านั้น และกลับเพิ่มขึ้นอีกครั้งในเวลากลางคืน (0:00-7:00น.) ที่ความสูงเฉลี่ย 200-300 เมตร ข้อมูลดังกล่าวสอดคล้องกับความรู้ทั่วไปของระดับความสูงผสม (Mixing Height) ซึ่งก็คือระดับความสูงสุดที่แก๊ส หรืออนุภาคนาขนาดเล็กเกิดการผสม และเจือจางลง ยิ่งระดับความสูงผสมสูงมากเท่าใด ความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศก็สามารถเจือจางลงได้มากเท่านั้น โดยปรกติระดับความสูงผสมในช่วงเวลากลางวันจะมีค่ามาก และลดลงในช่วงเวลาเย็นและกลางคืน ทั้งนี้เนื่องมาจากธรรมชาติของมวลอากาศที่จะลอยตัวสูงขึ้นหากอุณหภูมิสูงขึ้น ทำให้ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในเวลาแตกต่างกัน จะมีลักษณะการกระจายตัวที่แตกต่างกันไปด้วย โดยหากไฟฟ้าเกิดขึ้นในเวลากลางวัน มลพิษจะลอยตัวขึ้นที่ระดับสูง มีแนวโน้มที่จะถูกพัดพาไปได้ไกลจากแหล่งปลดปล่อย และถูกเจือจางลงในที่สุด แต่หากไฟฟ้าเกิดขึ้นในช่วงเย็น และกลางคืน มลพิษที่ถูกปลดปล่อยจะลอยตัวสูงขึ้นได้น้อยทำให้ส่งผลกระทบต่อประชาชนที่อยู่ใกล้เคียงได้มากกว่า



รูปที่ 4.13 ตัวอย่างอัตราการปลดปล่อย CO ที่ระดับความสูงต่างๆ บริเวณตอนบนของประเทศลาว ในวันที่ 15 มีนาคม พ.ศ. 2550



รูปที่ 4.14 ความสูงเฉลี่ยที่กลุ่มมลพิษยกตัวในพื้นที่ศึกษา ในวันที่ 12 มีนาคม พ.ศ. 2550

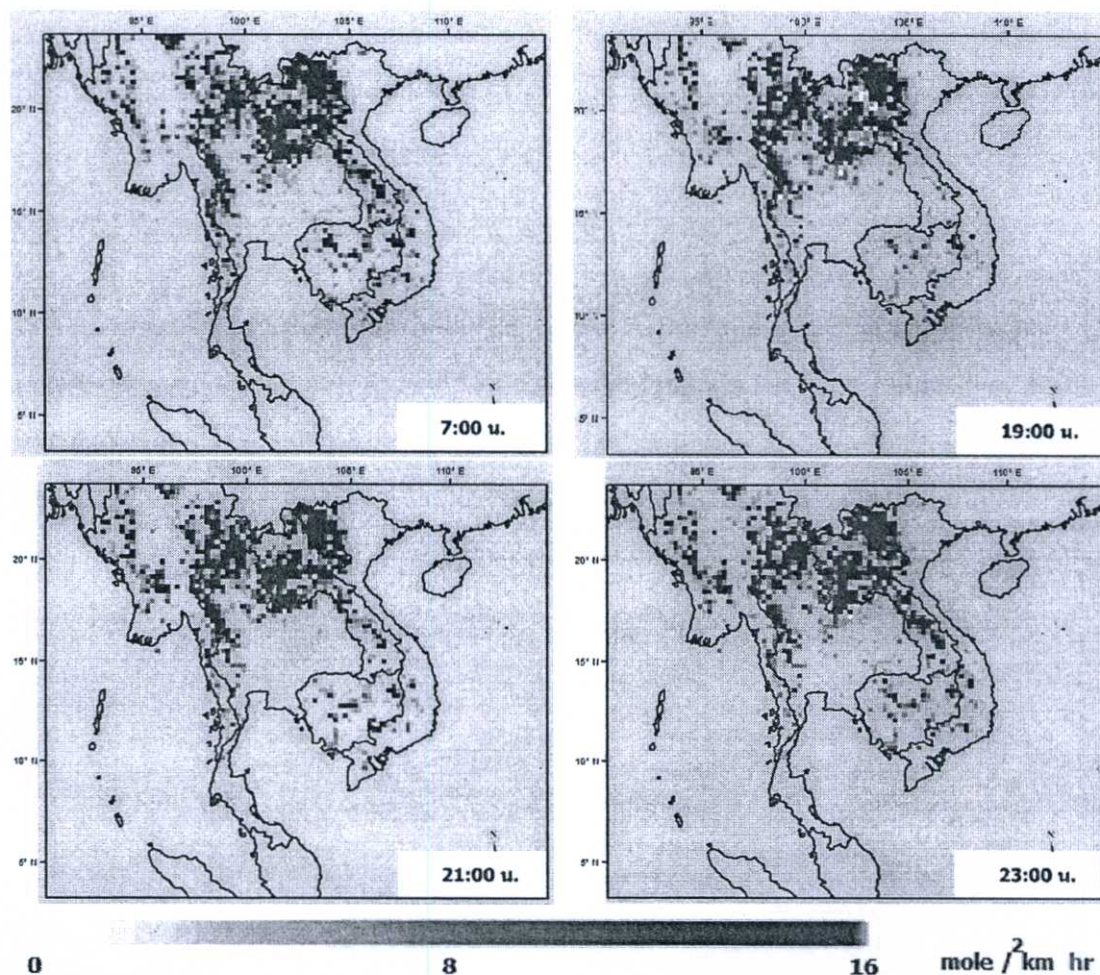
4.3 การแพร่กระจายของมลพิษทางอากาศ

จากการนำข้อมูลการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศมาเข้าสู่แบบจำลองคุณภาพอากาศ WRF-Chem เพื่อศึกษาความเป็นไปของมลพิษทางอากาศอันเนื่องมาจากไฟฟ้า และสามารถแสดงลักษณะการแพร่กระจายของมลพิษแต่ละชนิดตามพื้นที่และเวลาต่างๆ แต่เนื่องจากมลพิษทางอากาศแต่ละชนิดมีลักษณะการแพร่กระจายที่แตกต่างกัน ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะนำเสนอลักษณะดังกล่าวแยกตามชนิดของมลพิษ ได้แก่ PM_{10} , CO และ NO_2 ตามลำดับ

4.3.1 การแพร่กระจายของ PM_{10}

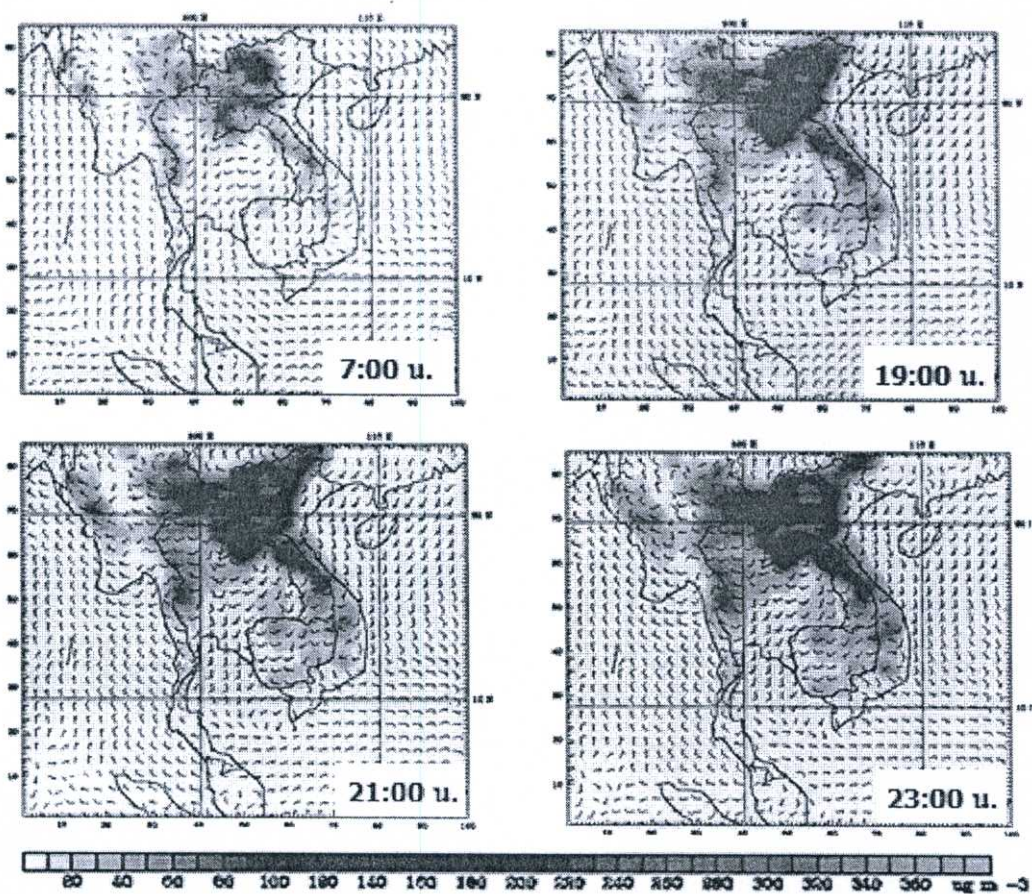
โดยทั่วไปลักษณะการแพร่กระจายของมลพิษทางอากาศ จะแปรเปลี่ยนไปตามลักษณะกระจายของปริมาณการปลดปล่อย และอิทธิพลของลม เพื่อให้เห็นถึงลักษณะการแพร่กระจายของมลพิษทางอากาศ ในหัวข้อนี้จะทำการเปรียบเทียบลักษณะการกระจายของอัตราการปลดปล่อย กับลักษณะการแพร่กระจายของ PM_{10} โดยลักษณะการกระจายของอัตราการปลดปล่อยมลพิษจะถูกทำให้อยู่ในรูปกริดที่ความละเอียด 27×27 ตารางกิโลเมตร โดยโทนัสของกริดจะแสดงอัตราการปลดปล่อย PM_{10} สีที่เข้มหมายถึงมีอัตราการปลดปล่อยมลพิษที่มาก (รูปที่ 4.15) ในขณะที่ลักษณะการแพร่กระจายของ PM_{10} จะแสดงด้วยแผนภาพความเข้มข้นของ PM_{10} ที่ซ้อนทับกับทิศทางและความเร็วลม โดยโทนัสจะแสดงความเข้มข้นของ PM_{10} และสีที่เข้มหมายถึงความเข้มข้นที่สูงเช่นกัน ซึ่งตัวอย่างการเปรียบเทียบดังกล่าวในวันที่ 15 มีนาคม พ.ศ. 2550 ที่เวลาต่างๆ ตั้งแต่เวลา 7:00-23:00 น. (รูปที่ 4.16) จากรูปที่ 4.15 จะเห็นได้ว่าที่เวลา 7:00น. มีอัตราการปลดปล่อย PM_{10} มากบริเวณตอนบนของประเทศลาว และบริเวณชายแดนประเทศไทย-ลาว ไทย-พม่า โดยมีอัตราการปลดปล่อยเล็กน้อยที่ภาคกลางตอนล่างของประเทศพม่า ในขณะที่มีอัตราการปลดปล่อยปานกลางบริเวณภาคกลางของประเทศลาว และเมื่อเวลาผ่านไปเป็นเวลา 19:00น. พบว่ายังคงมีอัตราการปลดปล่อย PM_{10} มากบริเวณตอนบนของประเทศลาวเช่นเดิม แต่ที่บริเวณภาคกลางตอนล่างของประเทศพม่าพบว่ามีอัตราการปลดปล่อย PM_{10} มากขึ้น ในขณะที่บริเวณภาคกลางของประเทศลาวมีค่าลดลง และเมื่อ 21:00น. พบว่าภาพรวมของอัตราการปลดปล่อยมลพิษยังคงใกล้เคียงกับที่เวลา 19:00น. ยกเว้นที่บริเวณภาคกลางของประเทศลาวมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่อัตราการปลดปล่อยที่บริเวณดังกล่าวกลับเพิ่มขึ้นอีกครั้งที่เวลา 23:00น. จากตัวอย่างข้อมูลอัตราการปลดปล่อยมลพิษดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า อัตราการปลดปล่อยในพื้นที่ต่างๆมีค่าไม่คงที่โดยจะแปรเปลี่ยนไปตามเวลาที่ผ่านไป ทั้งนี้เนื่องมาจาก 2 ปัจจัยคือ เวลาที่เกิดไฟป่า และสภาพแวดล้อมขณะเกิดไฟป่าเช่น ชนิดของเชื้อเพลิง และความเร็วลมเป็นต้น ในส่วนลักษณะการแพร่กระจายของ PM_{10} ในรูปที่ 4.16 พบว่าลักษณะความเข้มข้นของ PM_{10} จะสอดคล้องกับอัตราการปลดปล่อย PM_{10} โดยพบความเข้มข้นของ PM_{10} ที่สูงในบริเวณและเวลาที่ มีอัตราปลดปล่อยมาก โดยที่เวลา 7:00น. ความเข้มข้นของ PM_{10} ส่วนใหญ่มีค่าค่อนข้างต่ำ ยกเว้นที่บริเวณตอนบนของประเทศ ลาว และบริเวณชายแดนประเทศไทย-พม่า ไทย-ลาว ที่มีความเข้มข้นปานกลางประมาณ $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ และเพิ่มมากขึ้นจนถึง $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ที่เวลา 19:00น. ซึ่งมีค่าเกินกว่าค่ามาตรฐานรายวันของ PM_{10} ที่ $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ นอกจากนี้แผนภาพยังแสดงให้เห็นถึงทิศทางที่กลุ่มมลพิษถูกพัดพาไปโดยอิทธิพลของลม เนื่องจากในช่วงเวลาดังกล่าว บริเวณตอนบนของพื้นที่ศึกษาถูกปกคลุมอยู่ภายใต้อิทธิพลของลมตะวันตกเฉียงใต้ ทำให้กลุ่มมลพิษถูกพัดพาให้เคลื่อนที่ไปยังทิศตะวันออกเฉียงเหนือ และทำให้พบความเข้มข้นของมลพิษไปหนาแน่นที่บริเวณตอนเหนือของประเทศลาว เวียดนาม และไทย และบริเวณภาคตะวันออกเฉียงของประเทศพม่า บางส่วนซึ่งจะเห็นได้จากแผนภาพการเคลื่อนที่ของกลุ่มมลพิษที่เวลา 21:00น. และ 23:00น.

ตามลำดับ เนื่องจากการจำลองคุณภาพอากาศด้วยแบบจำลองข้างต้น ใช้ข้อมูลอัตราการปลดปล่อยที่ได้จากไฟฟ้า และจากกิจกรรมของมนุษย์ เพื่อให้เห็นว่าแหล่งการปลดปล่อยมลพิษแหล่งใดที่สำคัญต่อการแพร่กระจายของ PM_{10} ดังนั้นจึงได้ทำการจำลองการแพร่กระจายของ PM_{10} อีกครั้ง โดยจะพิจารณาการปลดปล่อย PM_{10} จากไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว และสร้างแผนภาพในลักษณะเดียวกันเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่าง ดังแสดงในรูปที่ 4.17 พบว่าแผนภาพที่ได้มีลักษณะที่คล้ายคลึงกันในทุกๆเวลา การเคลื่อนตัว และความเข้มข้นก็มีค่าใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่าไฟฟ้าเป็นแหล่งปลดปล่อยที่สำคัญต่อการแพร่กระจายของ PM_{10} จากแผนภาพการแพร่กระจายของ PM_{10} จะเห็นได้ว่าอิทธิพลของลมเป็นปัจจัยสำคัญต่อลักษณะการแพร่กระจายของกลุ่มมลพิษ ฉะนั้นการวางมาตรการป้องกันปัญหามลพิษทางอากาศจากไฟฟ้าจะทำเฉพาะในประเทศของตนไม่ได้ แต่จะต้องอาศัยความร่วมมือจากประเทศเพื่อนบ้าน เพราะมลพิษสามารถแพร่กระจายข้ามพรมแดนเนื่องจากอิทธิพลของลมได้ ซึ่งจากการศึกษาการกระจายของความเข้มข้นของ PM_{10} ในช่วงกรณีศึกษาพบว่า ที่บริเวณตอนเหนือของประเทศลาวในวันที่ 16 มีนาคม พ.ศ.2550 มีความเข้มข้นสูงถึง $636 \mu\text{gm}^{-3}$ แสดงดังรูปที่ 4.18

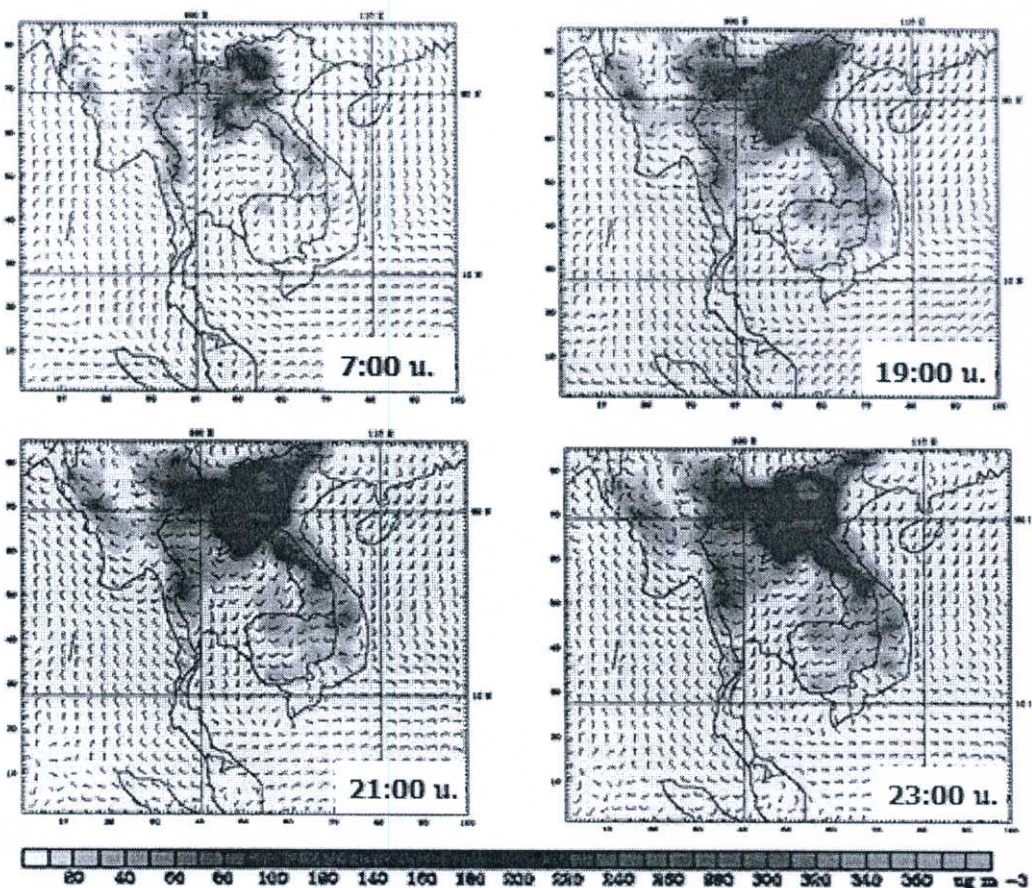


รูปที่ 4.15 การกระจายของปริมาณการปลดปล่อย PM_{10} จากไฟฟ้าที่เวลาต่างๆ ของวันที่ 15

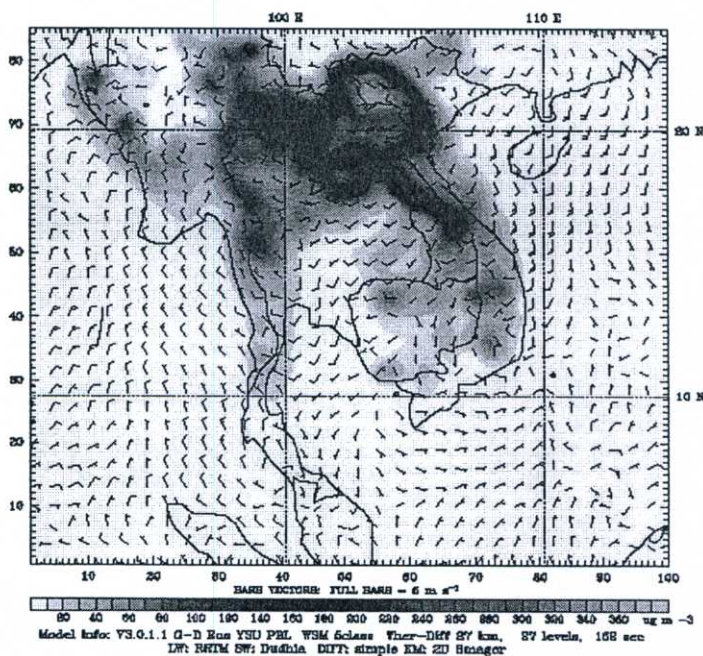
มีนาคม พ.ศ. 2550



รูปที่ 4.16 แผนภาพแสดงการกระจายตัวของความเข้มข้นของ PM₁₀ ซ้อนทับกับ ทิศทางและความเร็วลม ที่เวลาต่างๆ ของวันที่ 15 มีนาคม พ.ศ. 2550

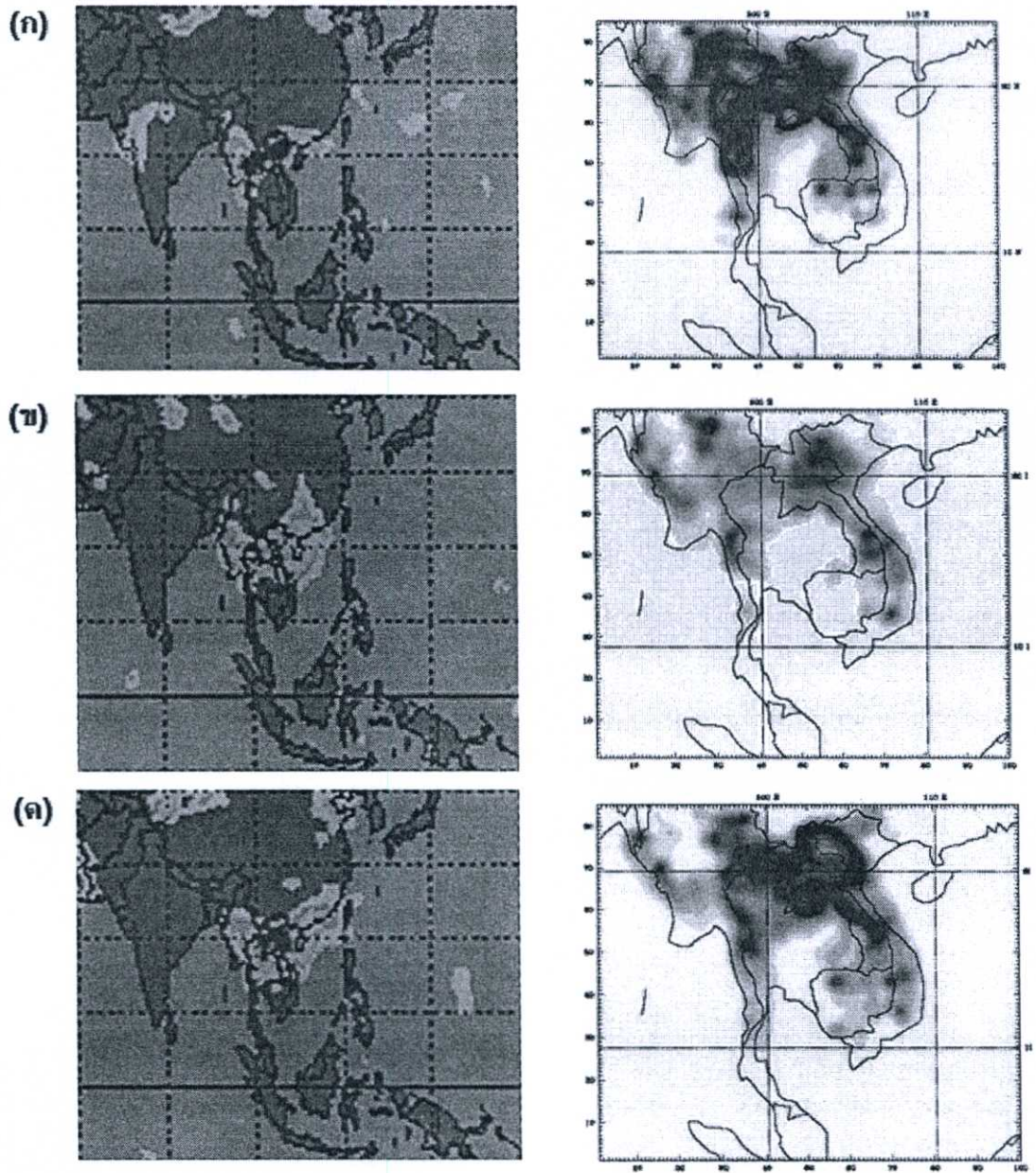


รูปที่ 4.17 แผนภาพแสดงการกระจายตัวของความเข้มข้นของ PM_{10} ซ้อนทับกับ ทิศทางและความเร็วลม ที่เวลาต่างๆ ของวันที่ 15 มีนาคม พ.ศ. 2550 กรณีใช้การปลดปล่อยจากไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว



รูปที่ 4.18 แผนภาพแสดงการกระจายตัวของความเข้มข้นของ PM_{10} ซ้อนทับกับ ทิศทางและความเร็วลม ที่เวลา 6:00 น. ของวันที่ 16 มีนาคม พ.ศ. 2550

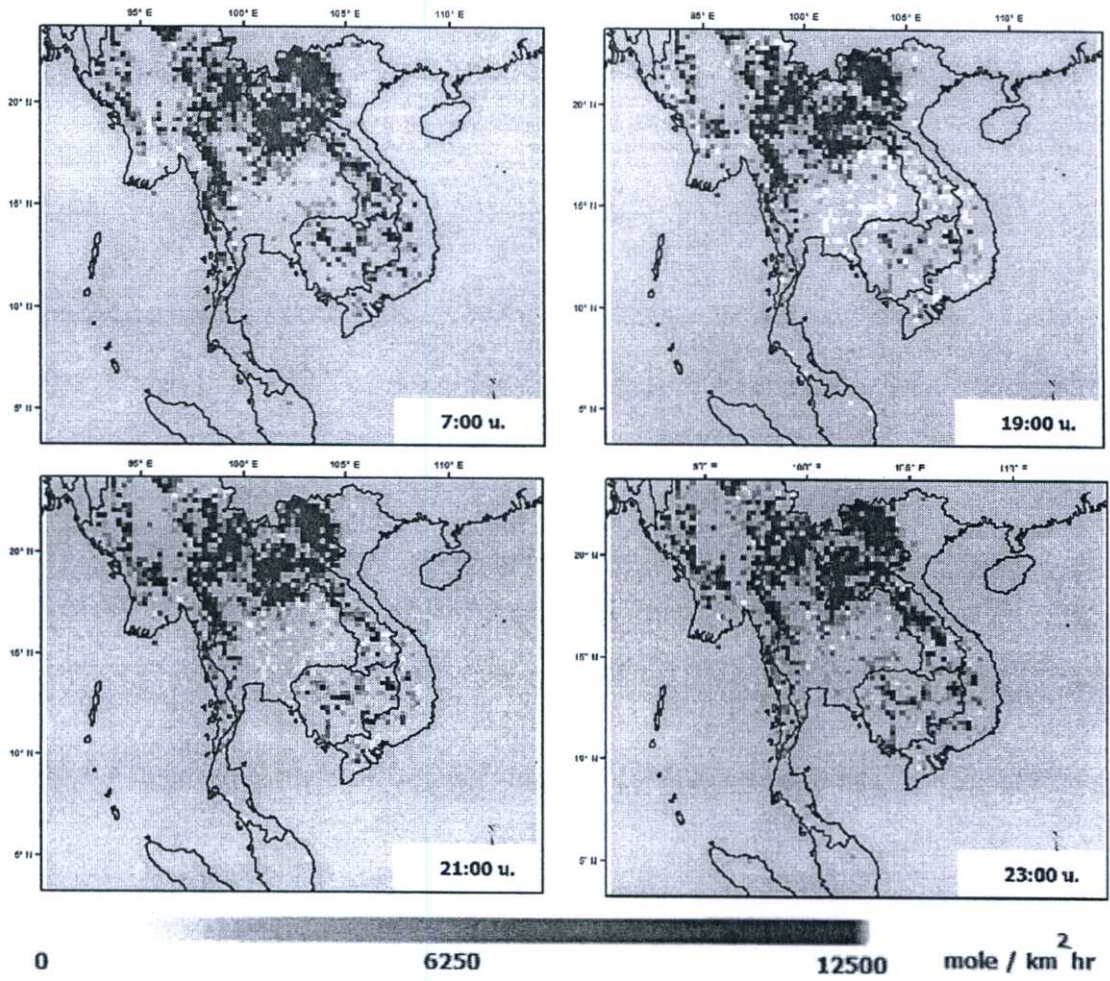
นอกจากนี้เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของการจำลองการแพร่กระจายตัวของ PM_{10} ด้วยแบบจำลอง WRF-Chem งานวิจัยนี้จึงได้ทำการเปรียบเทียบลักษณะการแพร่กระจายของความเข้มข้นของ PM_{10} กับแผนภาพดัชนีปริมาณฝุ่นละอองที่ได้จากการตรวจวัดด้วยดาวเทียมหรือ TOMS Aerosol Index [71] ที่ได้จากการตรวจวัดรังสีที่ถูกสะท้อนกลับจากกลุ่มหมอกควันในชั้นบรรยากาศ โดยจะทำการเปรียบเทียบตัวอย่างของวันที่ 13-15 มีนาคม พ.ศ. 2550 ที่เวลา 6:00น. แสดงได้ดังรูปที่ 4.19 โดยรูปด้านซ้ายคือแผนภาพ TOMS Aerosol Index และรูปด้านขวาคือการกระจายตัวของ PM_{10} ที่จำลองได้จากแบบจำลอง WRF-Chem โดยพื้นที่ที่มีสีเข้มจะหมายถึงบริเวณดังกล่าวมีปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กในชั้นบรรยากาศมาก จากการเปรียบเทียบพบว่าโดยส่วนใหญ่แบบจำลอง WRF-Chem สามารถจำลองลักษณะการแพร่กระจายได้ใกล้เคียงกับที่ปรากฏในแผนภาพ TOMS Aerosol Index โดยในวันที่ 13 มีนาคม ปริมาณหมอกควันหนาแน่นบริเวณตอนเหนือของประเทศไทย ลาว และเวียดนาม ในขณะที่วันที่ 14 มีนาคม พบว่าบริเวณดังกล่าวมีปริมาณหมอกควันที่น้อยลง และกลับเพิ่มขึ้นอีกครั้งในวันที่ 15 มีนาคม โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณตอนบนของประเทศเวียดนาม จากข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าแบบจำลอง WRF-Chem สามารถจำลองลักษณะการแพร่กระจายของความเข้มข้นของ PM_{10} ได้ใกล้เคียงกับความเป็นจริง สามารถบ่งชี้บริเวณที่มีปริมาณหมอกควันหนาแน่นได้อย่างถูกต้อง



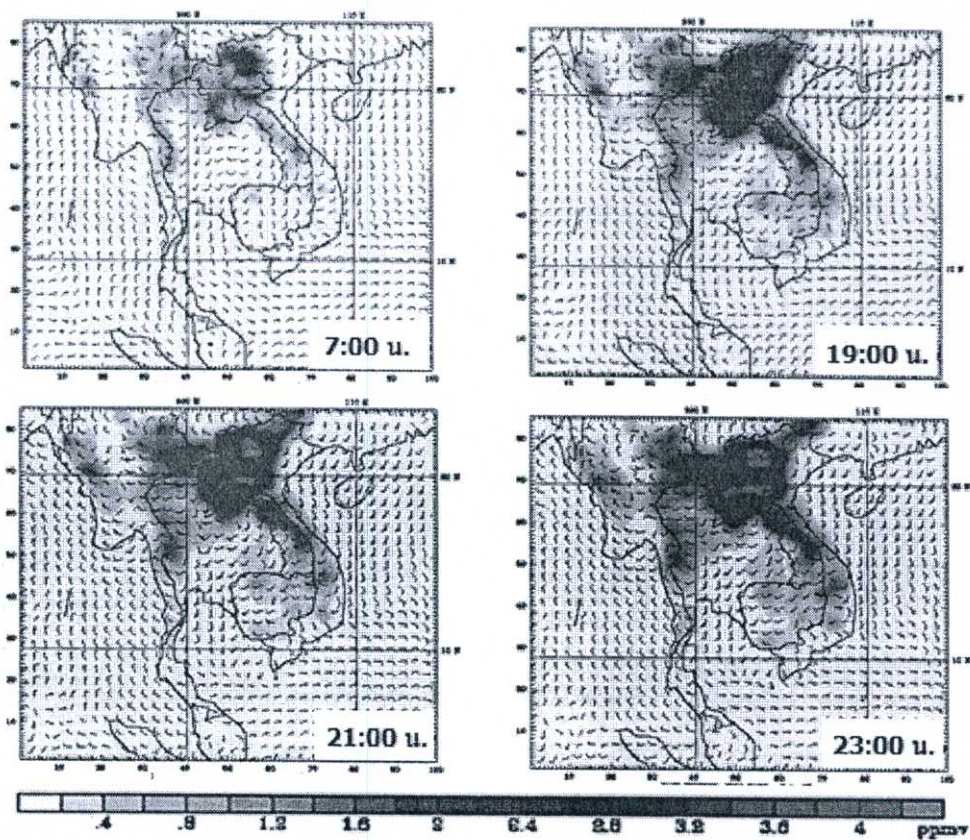
รูปที่ 4.19 ตัวอย่างแผนภาพ TAMS Aerosol Index (ซ้าย) เปรียบเทียบกับความเข้มข้นของ PM_{10} ที่จำลองได้จากแบบจำลอง WRF-Chem(ขวา) ที่เวลา 6:00 น.
 ก) วันที่ 13 มีนาคม พ.ศ. 2550 ข) วันที่ 14 มีนาคม พ.ศ. 2550 ค) วันที่ 15 มีนาคม พ.ศ. 2550

4.3.2 การแพร่กระจายของ CO

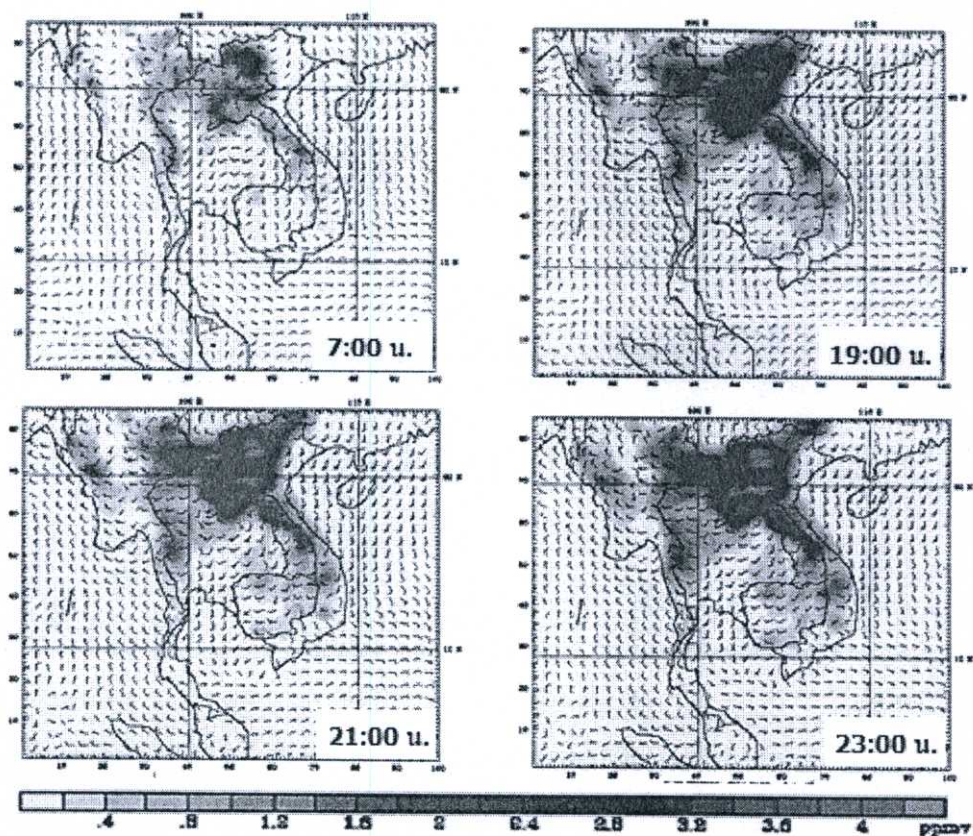
สำหรับการแพร่กระจายของ CO จะทำการเปรียบเทียบกับลักษณะการกระจายของอัตราการปลดปล่อยมลพิษ เช่นเดียวกับที่ทำใน PM₁₀ โดยตัวอย่างลักษณะการกระจายของอัตราการปลดปล่อยมลพิษของ CO ที่เวลาต่างของวันที่ 15 มีนาคม พ.ศ. 2550 แสดงได้ดังรูปที่ 4.20 ซึ่งพบว่าอัตราการปลดปล่อย CO จะแปรเปลี่ยนไปตามเวลาเช่นเดียวกับ PM₁₀ โดยมีอัตราการปลดปล่อยมากบริเวณตอนเหนือของลาว และบริเวณพรมแดนประเทศไทย-พม่า และ ไทย-ลาว แต่อัตราการปลดปล่อย CO จะมีค่าสูงกว่า PM₁₀ ค่อนข้างมาก โดยมีอัตราการปลดปล่อยสูงสุดที่ประมาณ 12,500 mole/km² hr ในขณะที่ PM₁₀ มีอัตราการปลดปล่อยสูงสุดอยู่เพียง 16 mole/km² hr ในขณะที่ ลักษณะการแพร่กระจายของ CO จะแสดงโดยนำมาซ้อนทับกับทิศทางและความเร็วลมซึ่งในช่วง 7:00น. ความเข้มข้นของ CO ในอากาศยังคงอยู่ในระดับต่ำ แต่เมื่อเวลาผ่านไปความเข้มข้นของ CO ในบรรยากาศก็มีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ที่เวลา 19:00น. โดยจะหนาแน่นบริเวณภาคเหนือของประเทศลาว นอกจากนี้กลุ่มมลพิษดังกล่าวยังมีการเคลื่อนตัว โดยจะเคลื่อนตัวไปยังทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งจะเห็นได้จากลักษณะการแพร่กระจายของความเข้มข้นของ CO ที่เวลา 21:00น. และ 23:00น. ดังแสดงในรูปที่ 4.21 ซึ่งการแพร่กระจายดังกล่าวมีลักษณะที่ใกล้เคียงกับ PM₁₀ มากแต่จะแตกต่างกันในเรื่องของปริมาณความเข้มข้น และเนื่องจากการจำลองคุณภาพอากาศด้วยแบบจำลองข้างต้น ใช้ข้อมูลอัตราการปลดปล่อยที่ได้จากไฟฟ้า และจากกิจกรรมของมนุษย์ เพื่อให้เห็นว่าแหล่งการปลดปล่อยมลพิษแหล่งใดที่สำคัญต่อการแพร่กระจายของ CO ดังนั้นจึงได้ทำการจำลองการแพร่กระจายของ CO อีกครั้ง โดยจะพิจารณาการปลดปล่อย CO จากไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว และสร้างแผนภาพการแพร่กระจายของ CO เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างดังแสดงในรูปที่ 4.22 จากการเปรียบเทียบแผนภาพการแพร่กระจายของ CO กรณีที่ 1(ใช้ข้อมูลอัตราการปลดปล่อยที่ได้จากไฟฟ้า และจากกิจกรรมของมนุษย์) และกรณีที่ 2 (ใช้ข้อมูลอัตราการปลดปล่อยที่ได้จากไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว) พบว่าแผนภาพที่ได้มีลักษณะที่คล้ายคลึงกันในทุกๆ เวลา การเคลื่อนตัว และความเข้มข้นก็มีค่าใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่าไฟฟ้าเป็นแหล่งปลดปล่อยที่สำคัญต่อการแพร่กระจายของ CO มากกว่ากิจกรรมของมนุษย์ โดยแบบจำลอง WRF-Chem จำลองความเข้มข้นสูงสุดของ CO ได้ในวันที่ 16 มีนาคม พ.ศ. 2550 เวลา 6:00 น. บริเวณตอนเหนือของประเทศลาวที่ความเข้มข้น 6.7 ppmv ซึ่งเป็นบริเวณเดียวกับ PM₁₀ ดังแสดงในรูปที่ 4.23



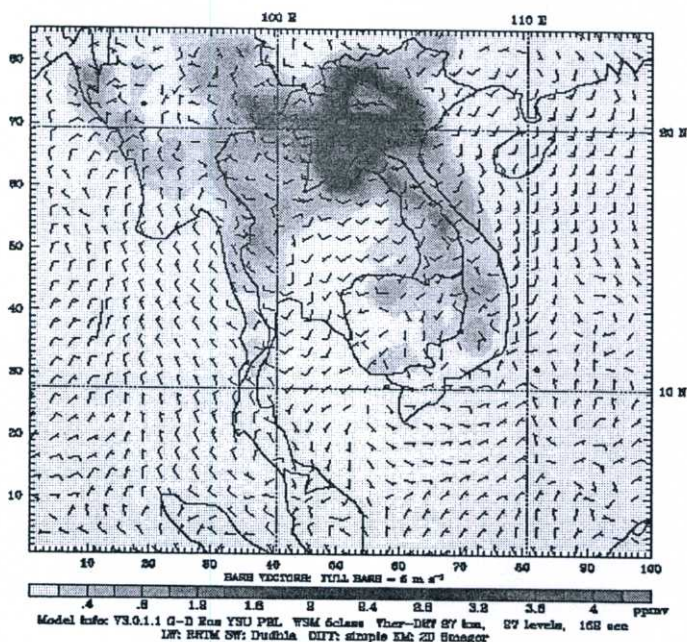
รูปที่ 4.20 การกระจายของอัตราการปลดปล่อย CO จากไฟฟ้าที่เวลาต่างๆ ของวันที่ 15 มีนาคม พ.ศ. 2550



รูปที่ 4.21 ลักษณะการแพร่กระจายของ CO ทิศทาง และความเร็วลม ของวันที่ 15 มีนาคม พ.ศ. 2550 ที่เวลาต่างๆ



รูปที่ 4.22 ลักษณะการแพร่กระจายของ CO ทิศทาง และความเร็วลม ของวันที่ 15 มีนาคม พ.ศ. 2550 ที่เวลาต่างๆ กรณีใช้การปลดปล่อยจากไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว

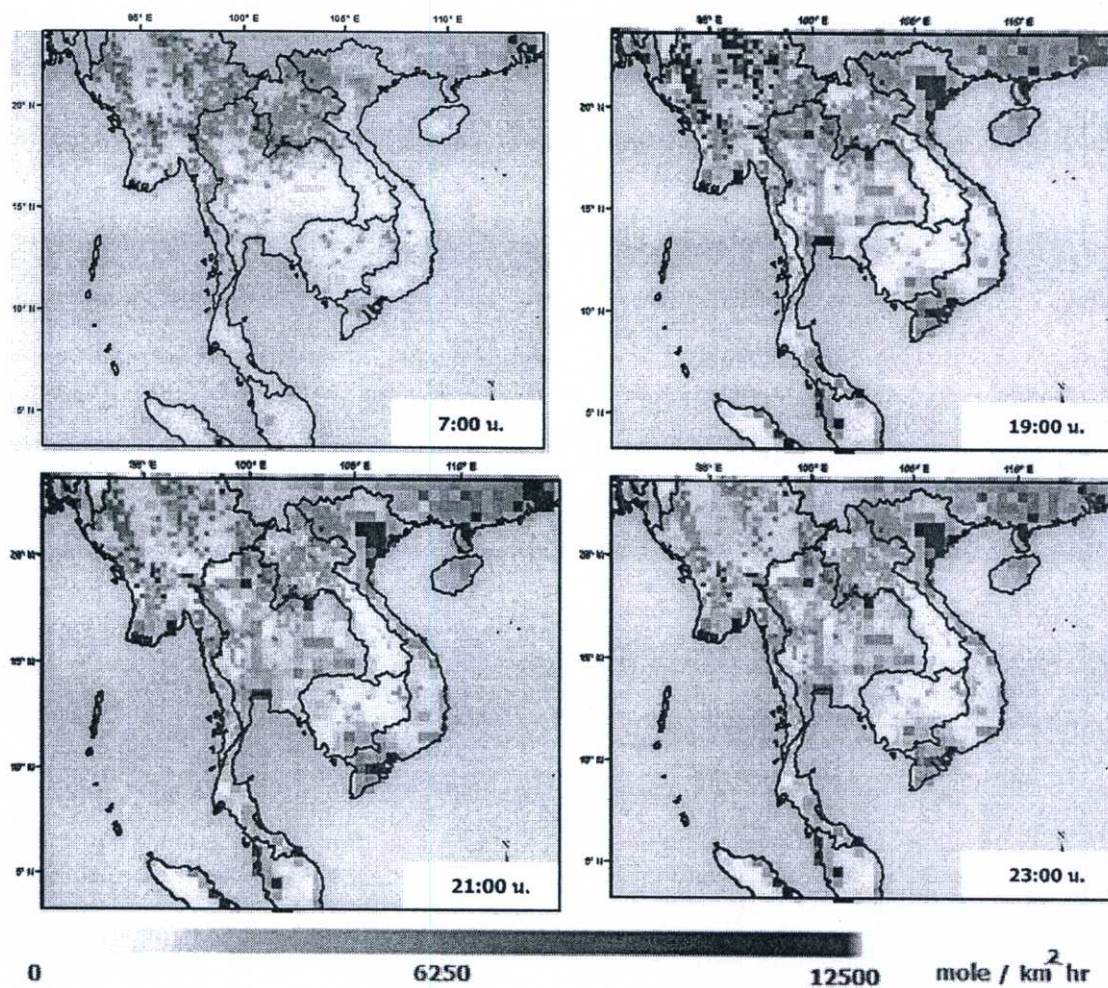


รูปที่ 4.23 แผนภาพการกระจายตัวของ CO ทิศทาง และความเร็วลมที่จำลองได้จากแบบจำลอง WRF-Chem ในวันที่ 16 มีนาคม พ.ศ. 2550 เวลา 6:00 น.

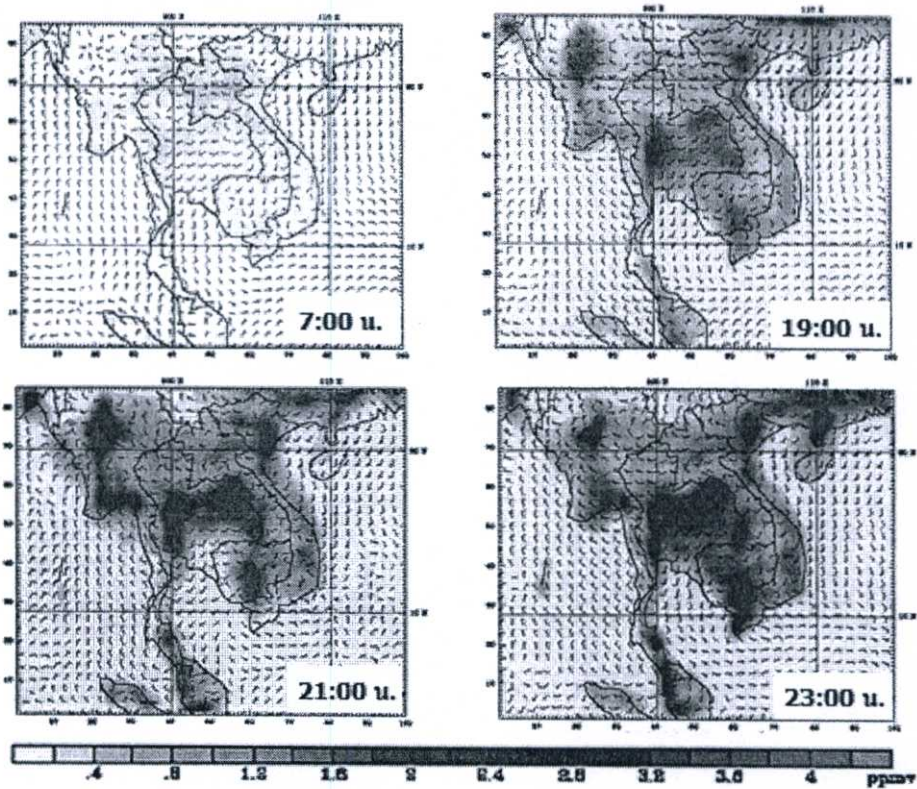
4.3.3 การแพร่กระจายของ NO_2

สำหรับการแพร่กระจายของ NO_2 จะทำการเปรียบเทียบในลักษณะเดียวกับ PM_{10} และ CO โดยจะทำการเปรียบเทียบลักษณะการกระจายของอัตราการปลดปล่อยกับการแพร่กระจายของ NO_2 ที่เวลาต่างๆของวันที่ 15 มีนาคม พ.ศ. 2550 แสดงดังรูปที่ 4.24 และ 4.25 ตามลำดับ จากแผนภาพลักษณะการกระจายของอัตราการปลดปล่อย NO_2 พบว่าที่เวลาต่างๆจะมีลักษณะการกระจายของอัตราการปลดปล่อย NO_2 ที่คล้ายคลึงกัน แต่ระดับของอัตราการปลดปล่อยในแต่ละพื้นที่จะแตกต่างกันไป โดยจะมีการปลดปล่อย NO_2 ปริมาณมากบริเวณตอนใต้ของประเทศจีน ตอนบนและตอนใต้ของประเทศเวียดนาม ภาคกลางของประเทศไทย ซึ่งเป็นบริเวณดังกล่าวเป็นที่ตั้งของเขตอุตสาหกรรม และเมืองขนาดใหญ่ ทำให้ลักษณะการกระจายดังกล่าวมีความแตกต่างจาก PM_{10} และ CO ที่มีการปลดปล่อยปริมาณมากบริเวณ ประเทศลาว ชายแดนประเทศไทย-ลาว และชายแดนประเทศไทย-พม่า ในขณะที่เมื่อพิจารณาลักษณะการแพร่กระจายของ NO_2 ที่แสดงด้วยแผนภาพความเข้มข้นของ NO_2 (ระดับผิวดิน 0-119 เมตร) ที่ซ้อนทับกับทิศทางและความเร็วลม ที่เวลาต่างๆตั้งแต่เวลา 7:00-23:00 น. ในรูปที่ 4.25 พบว่าเมื่อเวลาผ่านไป NO_2 จะมีความเข้มข้นสูงขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งจะเห็นได้จากที่เวลา 7:00น. NO_2 มีความเข้มข้นในชั้นบรรยากาศเพียงเล็กน้อย และมีมากขึ้นในเวลา 19:00-23:00น. ตามลำดับ โดยจะมีการแพร่กระจายและมีความเข้มข้นสูงบริเวณภาคกลางของประเทศไทย ตอนใต้ของประเทศจีน ตอนบนและตอนใต้ของประเทศเวียดนาม เมื่อเปรียบเทียบการแพร่กระจายของ NO_2 กับ PM_{10} และ CO พบว่ามีลักษณะที่แตกต่างออกไป โดย NO_2 มีอัตราการปลดปล่อยและแพร่กระจายมากในบริเวณแหล่ง

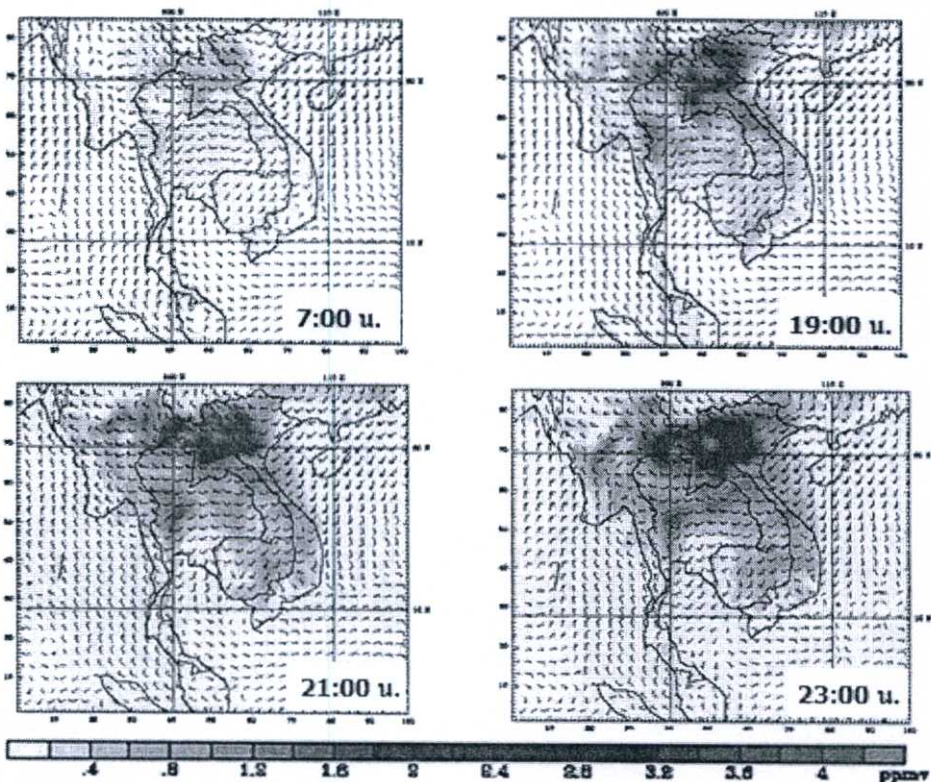
อุตสาหกรรม และเมืองสำคัญของแต่ละประเทศ ในขณะที่ PM_{10} และ CO มีอัตราการปลดปล่อย และแพร่กระจายมากในบริเวณพื้นที่ป่าไม้ เนื่องจากการจำลองคุณภาพอากาศด้วยแบบจำลองใช้ ข้อมูลอัตราการปลดปล่อยที่ได้จากไฟฟ้า และจากกิจกรรมของมนุษย์ ดังนั้น จึงได้ทำการจำลอง การแพร่กระจายของ NO_2 อีกครั้ง โดยจะพิจารณาการปลดปล่อย NO_2 จากไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว ผลลัพธ์ของการจำลองลักษณะการแพร่กระจายแสดงได้ดังรูปที่ 4.26 จากรูปพบว่าลักษณะการ แพร่กระจายของ NO_2 จะแตกต่างออกไป คือมีการแพร่กระจายและมีความเข้มข้นของ NO_2 ปริมาณมากในบริเวณตอนเหนือของประเทศลาว คล้ายคลึงกับ PM_{10} และ CO และพบว่าความ เข้มข้นของ NO_2 บริเวณที่ตั้งของเมืองสำคัญ และอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ ก็ไม่ได้มีปริมาณมาก เหมือนเช่นเคย จากการเปรียบเทียบดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการแพร่กระจายของ NO_2 ส่วนใหญ่ เป็นผลมาจากปลดปล่อยที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์



รูปที่ 4.24 การกระจายของอัตราการปลดปล่อย NO_2 จากไฟฟ้าที่เวลาต่างๆ ของวันที่ 15 มีนาคม



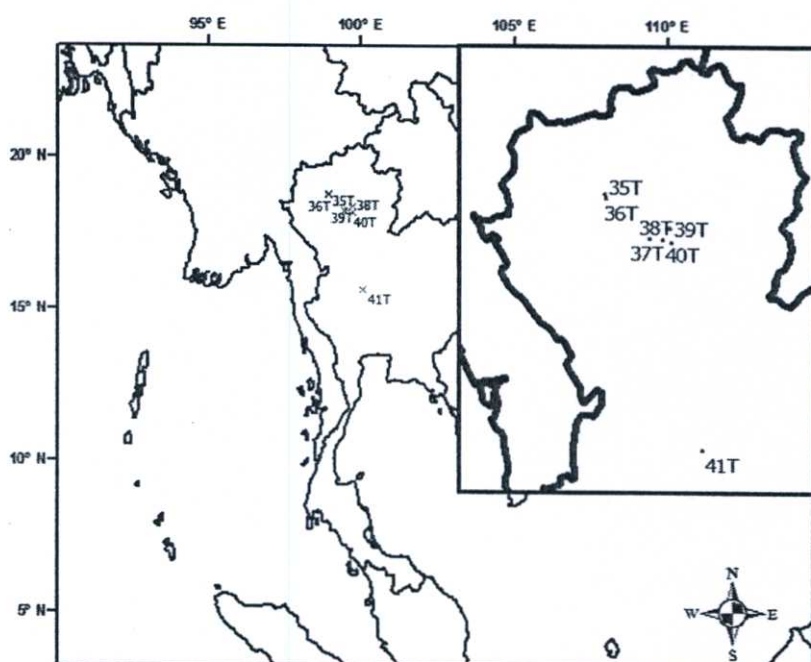
รูปที่ 4.25 ลักษณะการแพร่กระจายของ NO₂ ทิศทาง และความเร็วลม ของวันที่ 15 มีนาคม พ.ศ. 2550 ที่เวลาต่างๆ



รูปที่ 4.26 ลักษณะการแพร่กระจายของ NO₂ ทิศทาง และความเร็วลมที่เวลาต่างๆของวันที่ 15 มีนาคม พ.ศ. 2550 กรณีไม่รวมการปลดปล่อยจากกิจกรรมของมนุษย์

4.4 การประเมินสมรรถนะของการทำนายความเป็นไปของมลพิษทางอากาศ

เพื่อตรวจสอบสมรรถนะของการทำนายความเป็นไปของมลพิษทางอากาศ ของแบบจำลอง ผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบข้อมูลความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศที่จำลองได้ กับข้อมูลที่ตรวจวัดได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษในเขตภาคเหนือของประเทศไทยจำนวน 7 สถานี ได้แก่ สถานีศาลากลางเชียงใหม่ (35T) สถานีโรงเรียนยุพราชวิทยาลัย (36T) สถานีศาลหลักเมืองจังหวัดลำปาง (37T) สถานีอนามัยสบป่าด (38T) สถานีอนามัยท่าสี่ (39T) สถานีสำนักงานการประปาส่วนภูมิภาคแม่เมาะ (40T) สถานีวิทยาลัยอาชีวศึกษา จ.นครสวรรค์ (41T) ซึ่งแผนที่ตำแหน่งของสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศแสดงได้ดังรูปที่ 4.27



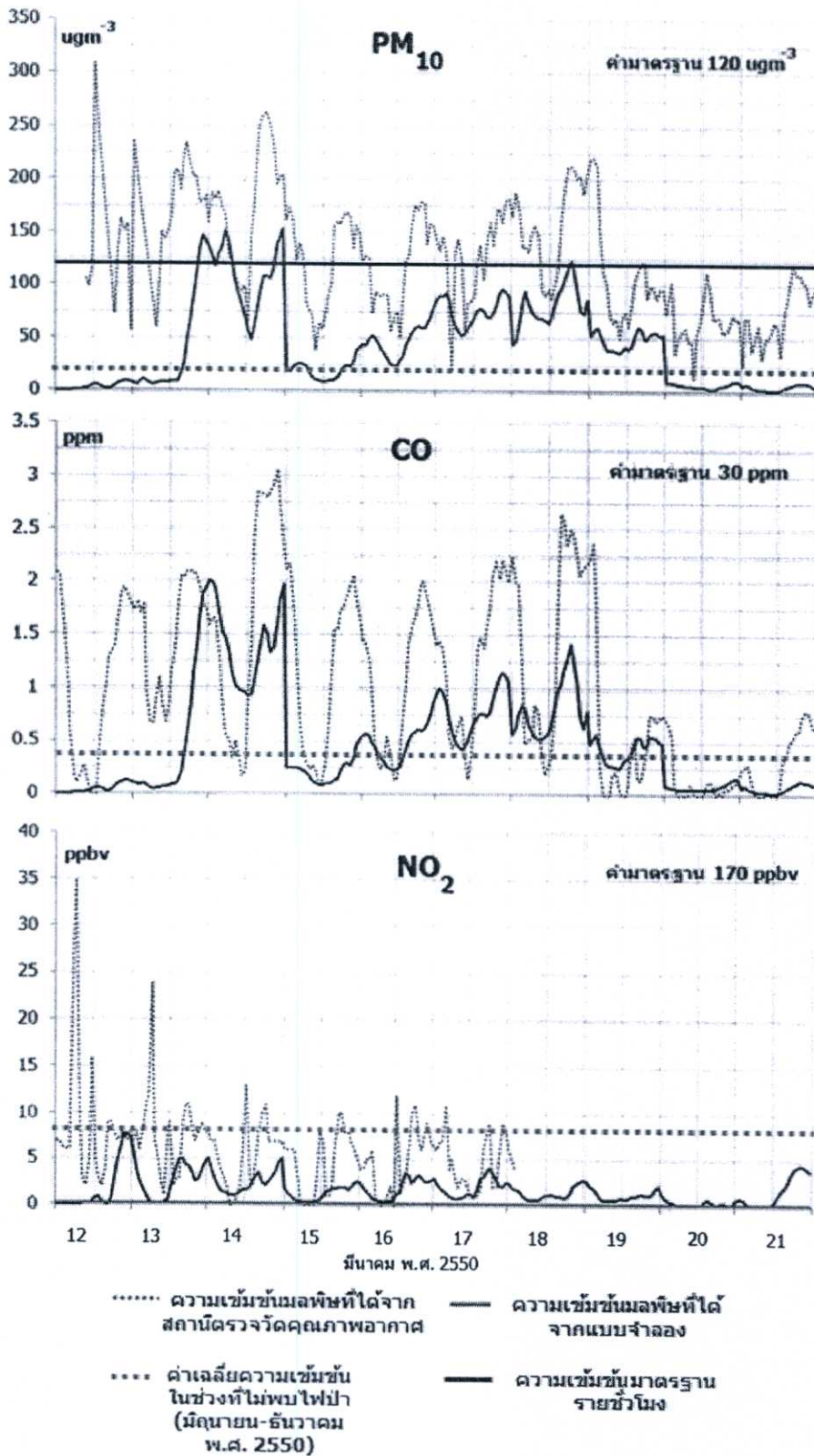
รูปที่ 4.27 แผนที่ตำแหน่งของสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ 35T-41T

โดยจะอภิปรายใน 2 ประเด็นคือ การเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของมลพิษรายชั่วโมง และความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ได้จากการตรวจวัดกับค่าที่ได้จากการจำลองในลักษณะการกระจายของข้อมูล

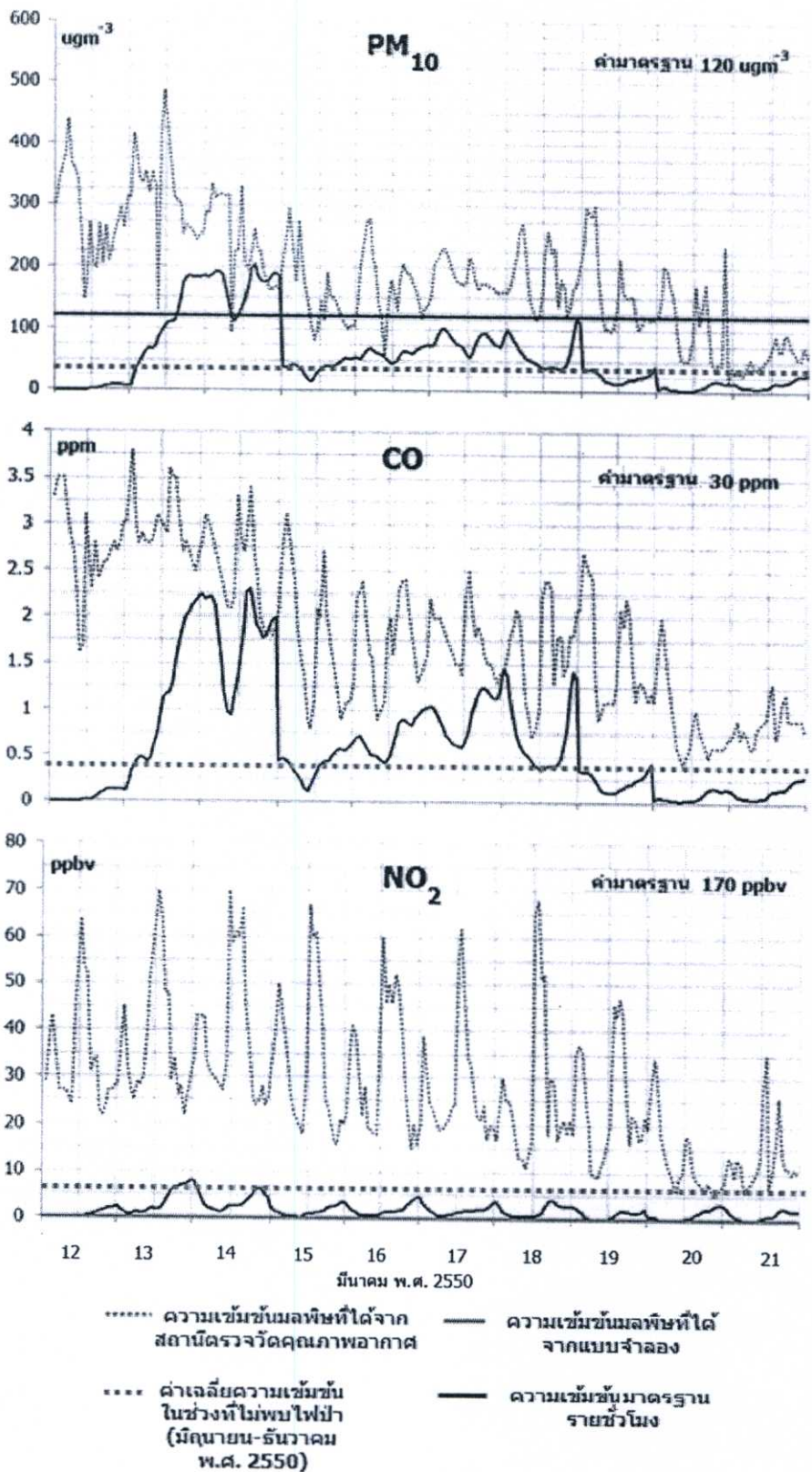
4.4.1 การเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของมลพิษรายชั่วโมง

การประเมินสมรรถนะลักษณะนี้ กระทำโดยเปรียบเทียบความเข้มข้นของมลพิษรายชั่วโมงที่จำลองได้ กับความเข้มข้นของมลพิษที่ได้จากการตรวจวัดคุณภาพอากาศ โดยเลือกตัวอย่างมาอภิปรายจำนวน 2 สถานี ได้แก่ สถานีอนามัยท่าสี่ (39T) ที่จังหวัดลำปาง และ สถานีศาลากลางจังหวัดเชียงใหม่ (35T) ผลการเปรียบเทียบความเข้มข้นของมลพิษรายชั่วโมงในระหว่างวันที่ 12-21 มีนาคม พ.ศ. 2550 ที่สถานีทั้ง 2 แสดงดังรูปที่ 4.28 และ 4.29 ตามลำดับ โดยกราฟเส้นทึบสีดำ แสดงความเข้มข้นของมลพิษรายชั่วโมงที่ได้จากแบบจำลอง กราฟเส้นประสีดำแสดงความ

เข้มข้นของมลพิษรายชั่วโมงที่ได้จากจากสถานีตรวจวัดคุณภาพ เส้นตรงที่บ่งชี้แดงแสดงค่ามาตรฐานความเข้มข้นของมลพิษรายชั่วโมงหรือรายวันของมลพิษแต่ละชนิด และเส้นประสีเทาแสดงความเข้มข้นของมลพิษเฉลี่ยที่ได้จากจากสถานีตรวจวัดคุณภาพในช่วงที่ไม่ตรวจพบไฟฟ้า (ในช่วงเดือนมิถุนายน-ธันวาคม พ.ศ. 2550) จากแผนภาพพบว่าโดยทั่วไปความเข้มข้นของ PM_{10} , CO และ NO_2 ทั้งที่ได้จากแบบจำลอง และจากการตรวจวัดในช่วงที่ทำการศึกษามีค่าสูงกว่าความเข้มข้นเฉลี่ยในช่วงที่ไม่ตรวจพบไฟฟ้า มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นที่คล้ายคลึงกัน ช่วงเวลาที่ความเข้มข้นของมลพิษขึ้นสูงสุดและต่ำสุดก็มีลักษณะที่ตรงกัน แต่ความเข้มข้นที่ได้จากแบบจำลองมักมีค่าน้อยกว่าที่ได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในวันแรกของการศึกษาที่ความเข้มข้นของ CO, PM_{10} และ NO_2 อยู่ในระดับต่ำกว่าความเป็นจริงมาก เนื่องจากในตอนเริ่มการทำแบบจำลอง ความเข้มข้นเริ่มต้นของมลพิษแต่ละชนิดจะมีค่าเท่ากับ ความเข้มข้นเฉลี่ยในบริเวณที่ไม่มีมลพิษ และไม่ได้อธิบายมลพิษจากไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในวันก่อนหน้านั้น ทำให้ความเข้มข้นที่ได้จากแบบจำลองในวันแรกมีค่าต่ำกว่าความเป็นจริง ซึ่งค่าของความเข้มข้นจะใกล้เคียงกับค่าจริงหลังจากที่ได้ทำแบบจำลองไปราว 2-3 วัน ดังนั้นในการเปรียบเทียบข้อมูลกับค่าจากการตรวจวัดจึงควรละเว้นในช่วงเวลาเริ่มต้นประมาณ 1-2 วัน



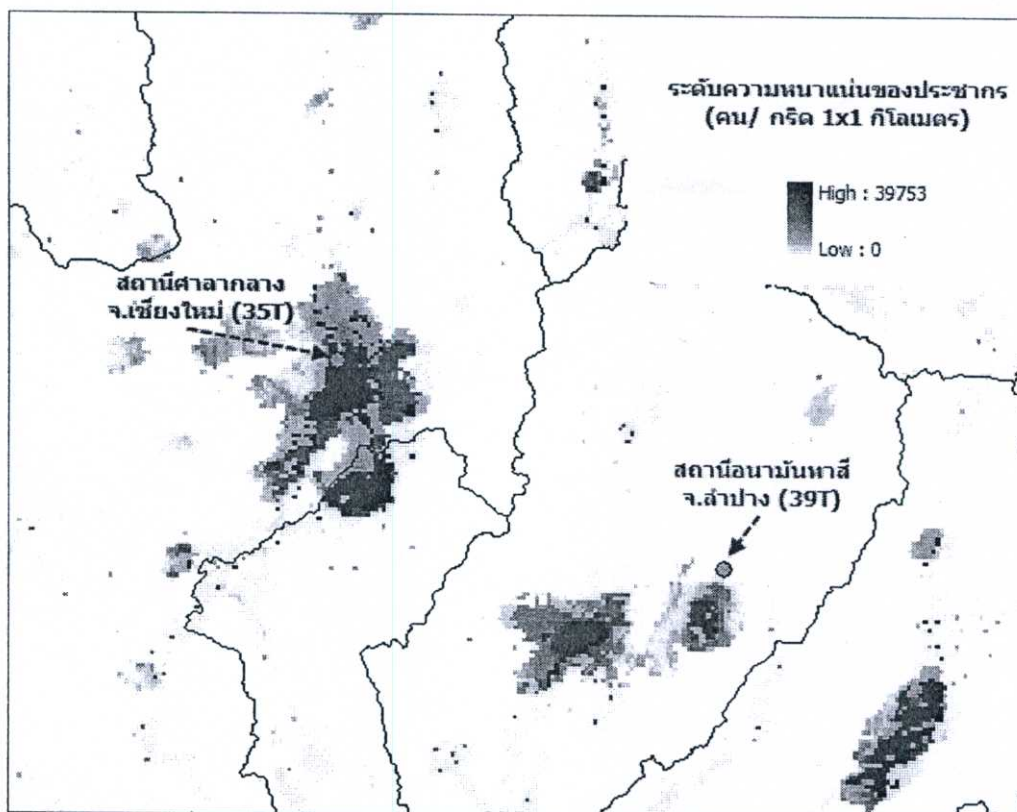
รูปที่ 4.28 ความเข้มข้น CO PM₁₀ และ NO₂ รายชั่วโมงจากแบบจำลอง และที่วัดได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ สถานีอนามย์ท่าสี่ (39T) ระหว่างวันที่ 12-21 มีนาคม พ.ศ. 2550



รูปที่ 4.29 ความเข้มข้น CO PM₁₀ และ NO₂ รายชั่วโมงจากแบบจำลอง และที่วัดได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศสถานีศาลากลาง จ.เชียงใหม่ (35T) ระหว่างวันที่ 12-21 มีนาคม พ.ศ. 2550

4.4.1.1 การเปรียบเทียบความเข้มข้นรายชั่วโมงที่สถานีอนามัยท่าสี่ (39T)

สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศอนามัยท่าสี่เป็นสถานีที่ตั้งอยู่ใน ต.บ้านดง อ.แม่เมาะ จ. ลำปาง เป็นพื้นที่ที่มีประชากรอาศัยอยู่อย่างเบาบางเฉลี่ย 10 คนต่อตารางกิโลเมตร (ข้อมูลจาก LandScan Global Population Project ในปี 1999 [72]) อยู่ห่างจาก ต.บ้านท่าทรายซึ่งเป็นชุมชนหนาแน่น ราว 10 กิโลเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.30



รูปที่ 4.30 ตำแหน่งของสถานีอนามัยท่าสี่ (39T) และสถานีศาลากลาง จ.เชียงใหม่ (35T) ซ้อนทับกับความหนาแน่นของจำนวนประชากร

จากแผนภาพการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นรายชั่วโมงของสถานีในรูปที่ 4.28 พบว่า เมื่อพิจารณาความเข้มข้นของ PM_{10} จะเห็นว่า ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นที่ได้จากแบบจำลองและการตรวจวัดจะมีลักษณะคล้ายคลึงกัน โดยพบว่าในช่วงเวลาดังกล่าว ความเข้มข้นของ PM_{10} ทั้งที่ได้จากแบบจำลอง และการตรวจวัดมีค่ามากกว่าความเข้มข้นเฉลี่ยในช่วงที่ไม่ตรวจพบไฟฟ้า ในช่วงระหว่างเดือนมิถุนายน-ธันวาคม พ.ศ. 2550 ที่ประมาณ $23 \mu g m^{-3}$ แสดงให้เห็นว่าไฟฟ้าเป็นสาเหตุหลักที่ส่งผลให้ความเข้มข้นของ PM_{10} ในบริเวณที่ศึกษาเพิ่มขึ้น พบความเข้มข้นที่ได้จากการตรวจวัดมีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานราย 24 ชั่วโมงของฝุ่นละอองในบรรยากาศทั่วไปตามพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 ที่ $120 \mu g m^{-3}$ ในช่วงตั้งแต่วันที่ 12-19 มีนาคม พ.ศ. 2550 และลดลงต่ำกว่ามาตรฐานหลังจากช่วงเวลาดังกล่าว แต่ความเข้มข้นของ PM_{10} ที่ได้จากแบบจำลอง จะมีค่าน้อยกว่าค่าที่ได้จากการตรวจวัด ทำให้พบ

วันที่ PM_{10} มีค่าเกินมาตรฐานในวันที่ 13-14 มีนาคม พ.ศ. 2550 เท่านั้น ทั้งนี้สาเหตุที่ทำให้ความเข้มข้นของ PM_{10} ที่จำลองได้มีค่าน้อยกว่าที่ได้จากสถานีตรวจวัด อาจเนื่องมาจากปริมาณการปลดปล่อยมลพิษจากไฟฟ้า และ/หรือการปลดปล่อยมลพิษจากกิจกรรมของมนุษย์มีค่าน้อยกว่าความเป็นจริง อีกทั้งสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศดังกล่าวอยู่ห่างจากแหล่งกำเนิดหลัก(พรมแดนประเทศ ไทย-พม่า-ลาว) ซึ่งอาจทำให้การจำลองการกระจายตัวของมลพิษทางอากาศมีความคลาดเคลื่อนมากขึ้น

สำหรับความเข้มข้นของ CO พบว่าความเข้มข้นของ CO ทั้งที่จำลองได้ และได้จากการตรวจวัด มีค่าต่ำกว่ามาตรฐานคุณภาพอากาศรายชั่วโมงที่ 30 ppm ตลอดช่วงระยะเวลาที่ทำการศึกษา แสดงว่าบริเวณพื้นที่ศึกษาไม่ได้ประสบปัญหาคุณภาพอากาศของ CO โดยการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นที่ได้จากแบบจำลอง และจากการตรวจวัดจะมีลักษณะคล้ายคลึงกัน แต่ความเข้มข้นของ CO ที่จำลองได้จะมีค่าน้อยกว่าค่าที่ได้จากการตรวจวัด และความเข้มข้นของ CO ในช่วงที่มีไฟฟ้า ส่วนใหญ่มีค่าสูงกว่าความเข้มข้นของ CO ในช่วงที่ไม่มีไฟฟ้าเช่นเดียวกับลักษณะที่ปรากฏในความเข้มข้นของ PM_{10}

สำหรับความเข้มข้นของ NO_2 พบว่าความเข้มข้นของ NO_2 ทั้งที่จำลองได้ และที่ได้จากการตรวจวัด มีค่าต่ำกว่ามาตรฐานคุณภาพอากาศรายชั่วโมงที่ 170 ppm ตลอดช่วงระยะเวลาที่ทำการศึกษา โดยมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นที่ได้จากแบบจำลอง และจากการตรวจวัดจะมีลักษณะเช่นเดียวกับ PM_{10} และ CO กล่าวคือความเข้มข้นของ NO_2 ที่จำลองได้มีค่าน้อยกว่าค่าที่ได้จากการตรวจวัด โดยที่ความเข้มข้นของ NO_2 มีค่าสูงในช่วงตั้งแต่วันที่ 12-19 มีนาคม พ.ศ. 2550 และมีค่าลดลงหลังจากช่วงเวลาดังกล่าว พบความเข้มข้นของ NO_2 ในช่วงที่ศึกษาว่ามีค่าสูงกว่าค่าเฉลี่ยในช่วงที่ไม่มีไฟฟ้า เช่นเดียวกับ PM_{10} และ CO

4.4.1.2 การเปรียบเทียบความเข้มข้นรายชั่วโมงที่สถานีศาลากลางจังหวัดเชียงใหม่ (35T)

สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศศาลากลางจังหวัดเชียงใหม่เป็นสถานีที่ตั้งอยู่ใน อ.เมือง จ. เชียงใหม่ ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีประชากรอาศัยอยู่อย่างหนาแน่นราว 3,000 คนต่อตารางกิโลเมตร แผนภาพแสดงที่ตั้งของสถานีแสดงดังรูปที่ 4.30 จากแผนภาพการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นรายชั่วโมงของสถานีในรูปที่ 4.29 เมื่อพิจารณาความเข้มข้นของ PM_{10} พบว่าลักษณะการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นที่ได้จากการตรวจวัด จะคล้ายกับข้อมูลที่ได้จากแบบจำลอง แต่ข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจะมีค่าสูงกว่ามาก และสูงกว่าข้อมูลของสถานีอานามัยท่าสี่ โดยที่สถานีอานามัยท่าสี่ ตรวจพบความเข้มข้นสูงสุดประมาณ $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ในวันที่ 12 มีนาคม พ.ศ. 2550 ในขณะที่สถานีศาลากลางจังหวัดเชียงใหม่ ตรวจพบความเข้มข้นสูงสุดประมาณ $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ในวันที่ 13 มีนาคม พ.ศ. 2550 ซึ่งการตรวจพบมลพิษปริมาณมากดังกล่าวเกิดจากตำแหน่งที่ตั้งของสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศที่ใกล้กับแหล่งชุมชน ซึ่งมีการปลดปล่อย PM_{10} เช่นเดียวกับไฟฟ้า เช่นจากท่อไอ

เสียงของรถยนต์ หรือจากการเผาทำลายขยะตามบ้านเรือน ทำให้ความเข้มข้นของ PM_{10} ที่สถานี ศาลากลางจังหวัดเชียงใหม่มีค่าสูงกว่าที่สถานีอนามัยท่าสี่

สำหรับความเข้มข้นของ CO พบว่าความเข้มข้นของ CO ทั้งที่จำลองได้ และได้จากการ ตรวจวัด มีค่าต่ำกว่ามาตรฐานคุณภาพอากาศรายชั่วโมงที่ 30 ppm ตลอดช่วงระยะเวลาที่ ทำการศึกษา ความเข้มข้นของ CO จากการตรวจวัดมีค่าระหว่าง 0.5-3.5 ppm ในขณะที่ความ เข้มข้นที่ได้จากแบบจำลองมีค่าระหว่าง 0 -2.5 ppm ซึ่งความเข้มข้นของ CO ในช่วงเวลาที่ ทำการศึกษามีค่าเฉลี่ยสูงกว่าค่าเฉลี่ยความเข้มข้นในช่วงที่ไม่มีไฟฟ้า ซึ่งมีค่าประมาณ 0.4 ppm ซึ่งแสดงให้เห็นว่าไฟฟ้าเป็นสาเหตุส่วนหนึ่งที่ทำให้ความเข้มข้นของ CO ในบรรยากาศมีค่า สูงขึ้น เมื่อพิจารณาลักษณะการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นที่ได้จากการตรวจวัด เปรียบเทียบ กับความเข้มข้นที่ได้จากแบบจำลองพบว่า มีลักษณะคล้ายคลึงกัน แต่ความเข้มข้นของ CO ที่ จำลองได้จะมีค่าน้อยกว่าค่าที่ได้จากการตรวจวัด ซึ่งเป็นลักษณะเดียวกับที่ปรากฏในความเข้มข้น ของ PM_{10}

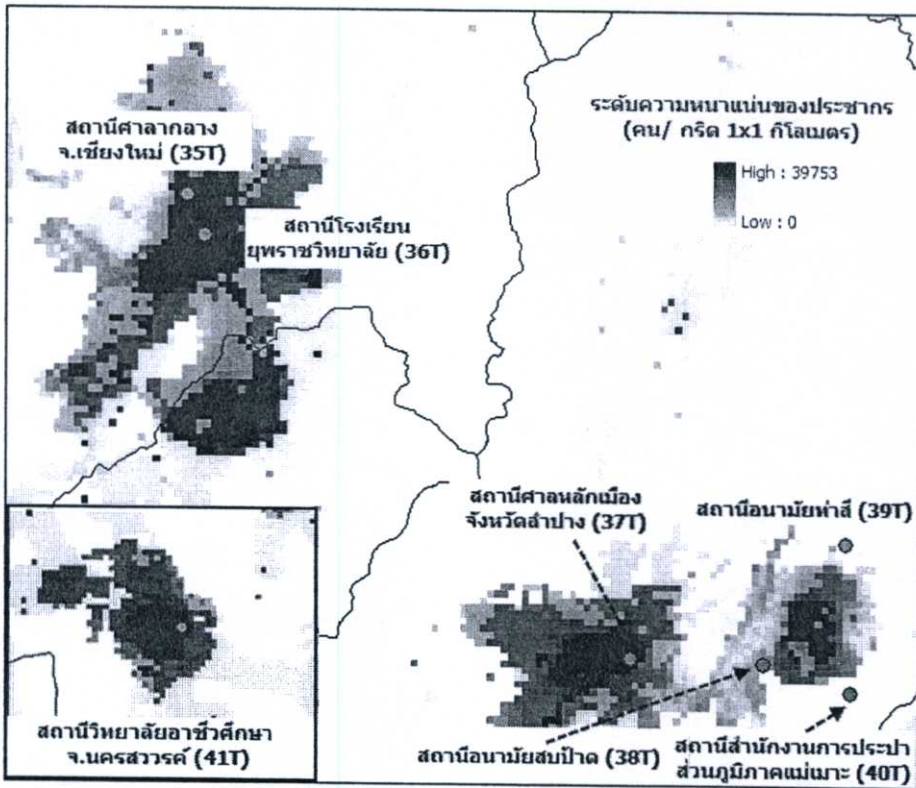
สำหรับความเข้มข้นของ NO_2 พบว่าความเข้มข้นของ NO_2 ทั้งที่จำลองได้ และที่ได้จาก การตรวจวัด มีค่าต่ำกว่ามาตรฐานคุณภาพอากาศรายชั่วโมงที่ 170 ppm ตลอดช่วงระยะเวลาที่ ทำการศึกษา โดยความเข้มข้นที่ตรวจวัดได้ในช่วงที่ทำการศึกษามีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 35 ppbv ในขณะที่ค่าที่ได้จากแบบจำลองมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 4 ppbv ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่าที่ตรวจวัดได้ อยู่ มาก และยังมีค่าน้อยกว่าค่าเฉลี่ยในช่วงที่ไม่เกิดไฟฟ้าซึ่งอยู่ที่ประมาณ 6 ppbv

จากแผนภาพลักษณะการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของมลพิษแต่ละชนิดในทั้ง 2 สถานี จะพบว่าโดยภาพรวมการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นทั้งที่ได้จากการตรวจวัดและที่ได้จาก แบบจำลองจะมีลักษณะคล้ายคลึงกัน แต่ความเข้มข้นที่ได้จากแบบจำลองจะมีค่าน้อยกว่า ทั้งนี้ อาจเกิดจากในการทำแบบจำลองมีการประมาณค่าการปลดปล่อยมลพิษจากไฟฟ้าน้อยจนเกินไป และ/หรือเกิดจากข้อมูลการปลดปล่อยมลพิษจากกิจกรรมของมนุษย์ที่มีน้อยกว่าความเป็นจริง โดยเฉพาะอย่างยิ่งความเข้มข้นของ NO_2 ซึ่งการปลดปล่อยจากกิจกรรมของมนุษย์มีค่า ก่อนข้างมากเมื่อเทียบการการปลดปล่อยจากไฟฟ้า ทำให้การจำลองมีความคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง นอกจากนี้ อาจเกิดจากการกำหนดความละเอียดของกริดในแบบจำลอง ซึ่งโดยทั่วไปไป การจำลองความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ประเภท Eulerian model ที่มีการกำหนดขอบเขต 3 มิติ และแบ่งออกเป็นกริดเล็กๆ โดยยังกำหนดความ ละเอียดของกริดให้มีขนาดเล็ก แบบจำลองก็จะยิ่งใช้เวลาในการคำนวณยิ่งมาก แต่จะมีความถูกต้อง มากยิ่งขึ้น ในการศึกษานี้กำหนดความละเอียดไว้ที่ 27x27 ตารางกิโลเมตร ดังนั้นความเข้มข้น ที่จำลองในแต่ละกริดคือค่าเฉลี่ยความเข้มข้นในขอบเขต 729 ตารางกิโลเมตร (27x27 ตาราง กิโลเมตร) ทำให้ค่าที่ได้จากแบบจำลองมีค่าคลาดเคลื่อนจากค่าที่ตรวจวัดได้ด้วยสถานีตรวจวัด คุณภาพอากาศ

4.4.2 ลักษณะการกระจายของข้อมูล (Scatter plot)

เพื่อให้ทราบว่าค่าที่ได้จากแบบจำลองมีค่าใกล้เคียงกับค่าจากการตรวจวัดมากน้อยเพียงใด จึงได้ทำการเปรียบเทียบข้อมูลความเข้มข้นของมลพิษแต่ละชนิดที่จำลองได้ กับข้อมูลที่ตรวจวัดได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศต่างๆ ที่เวลาเดียวกัน และสร้างแผนภาพแสดงการกระจายของข้อมูล (Scatter plot) โดยแกนนอนแสดงความเข้มข้นที่ได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ ส่วนแกนตั้งหมายถึงความเข้มข้นของมลพิษที่จำลองได้ โดยแต่ละจุดแทนความเข้มข้นของมลพิษที่ได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ และที่จำลองได้ ที่เวลาเดียวกัน(รายชั่วโมง) โดยเส้นทแยงมุมที่มีความชันเท่ากับ 1 (เส้น 1:1) หมายถึงความเข้มข้นของมลพิษที่จำลองได้ มีค่าเท่ากับที่ได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ หากจุดอยู่เหนือเส้น 1:1 หมายความว่าค่าที่ได้จากแบบจำลองมีค่ามากกว่าค่าที่ได้จากการตรวจวัด แต่หากจุดอยู่ใต้เส้น 1:1 หมายความว่าค่าที่ได้จากแบบจำลองมีค่าน้อยกว่าค่าที่ได้จากการตรวจวัด เส้นทแยงมุมที่มีความชันเท่ากับ 0.5 (เส้น 1:2) หมายถึงความเข้มข้นของมลพิษที่จำลองได้ มีค่า 0.5 เท่าของค่าที่ได้จากการตรวจวัด เส้นทแยงมุมที่มีความชันเท่ากับ 2 (เส้น 2:1) หมายถึงความเข้มข้นของมลพิษที่จำลองได้ มีค่า 2 เท่าจากที่ได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ

การเปรียบเทียบข้อมูลดังกล่าวจะทำในสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศในเขตภาคเหนือของประเทศไทยจำนวน 7 สถานี ได้แก่ สถานีศาลากลางเชียงใหม่ (35T) สถานีโรงเรียนยุพราชวิทยาลัย (36T) สถานีศาลหลักเมืองจังหวัดลำปาง (37T) สถานีอนามัยสบป่าด (38T) สถานีอนามัยท่าสี (39T) สถานีสำนักงานการประปาส่วนภูมิภาคแม่เมาะ (40T) สถานีวิทยาลัยอาชีวศึกษา จ. นครสวรรค์ (41T) และเนื่องจากตำแหน่งที่ตั้งของสถานีมีความสำคัญต่อการจำลองความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศ สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศที่ตั้งอยู่ในเขตชุมชนย่อมได้รับอิทธิพลจากมลพิษที่ปลดปล่อยจากกิจกรรมมนุษย์ที่อยู่ใกล้เคียง ดังนั้นในการแสดงลักษณะการกระจายของข้อมูลนี้จะทำการแบ่งสถานีออกเป็นกลุ่มๆ คือ กลุ่มที่ตั้งอยู่ในเขตชุมชนหนาแน่น ได้แก่ สถานีศาลากลางเชียงใหม่ (35T) สถานีโรงเรียนยุพราชวิทยาลัย (36T) สถานีศาลหลักเมืองจังหวัดลำปาง (37T) และสถานีวิทยาลัยอาชีวศึกษา จ.นครสวรรค์ (41T) และกลุ่มที่ตั้งอยู่ในเขตชุมชนเบาบาง ได้แก่ สถานีอนามัยสบป่าด (38T) สถานีอนามัยท่าสี (39T) และ สถานีสำนักงานการประปาส่วนภูมิภาคแม่เมาะ (40T) แผนภาพตำแหน่งที่ตั้งของสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศทั้ง 7 สถานีที่ซ้อนทับกับความหนาแน่นของประชากรแสดงได้ดังรูป 4.31

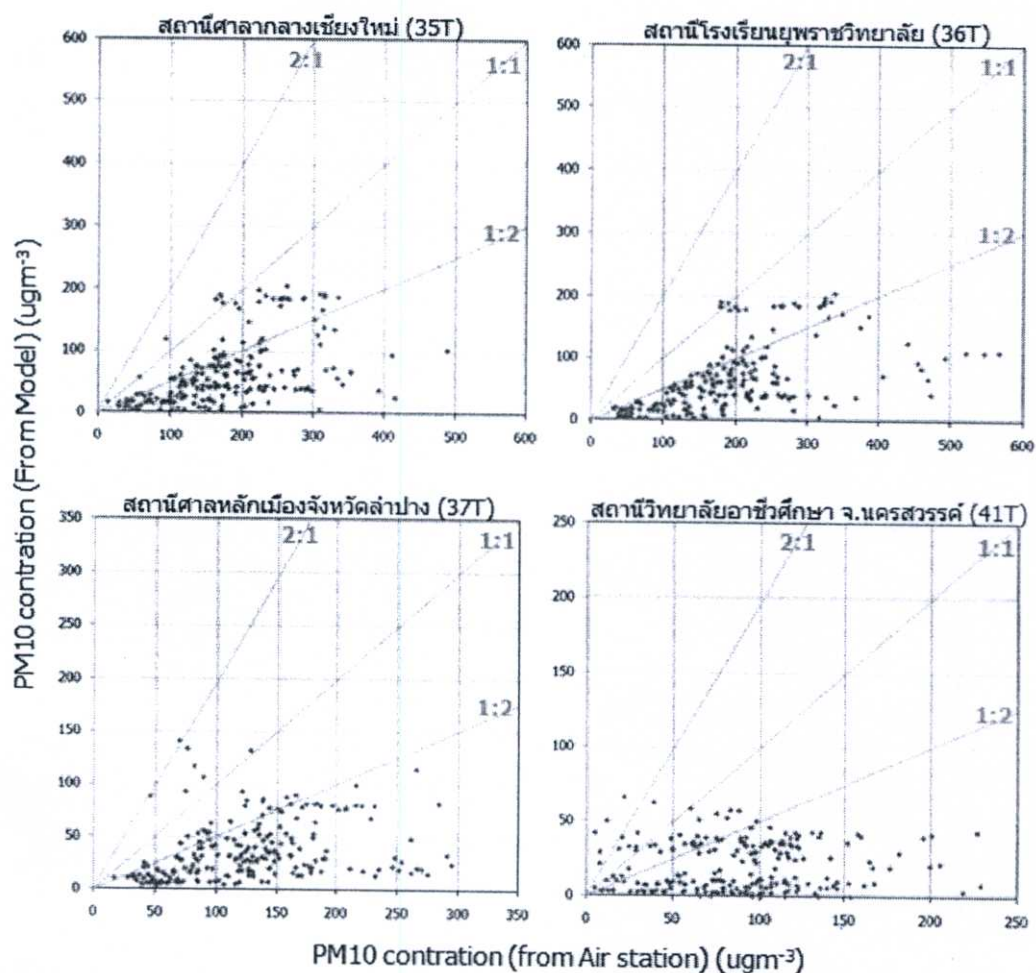


รูปที่ 4.31 ตำแหน่งของสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศทั้ง 7 สถานี ซ้อนทับกับความหนาแน่นของจำนวนประชากร

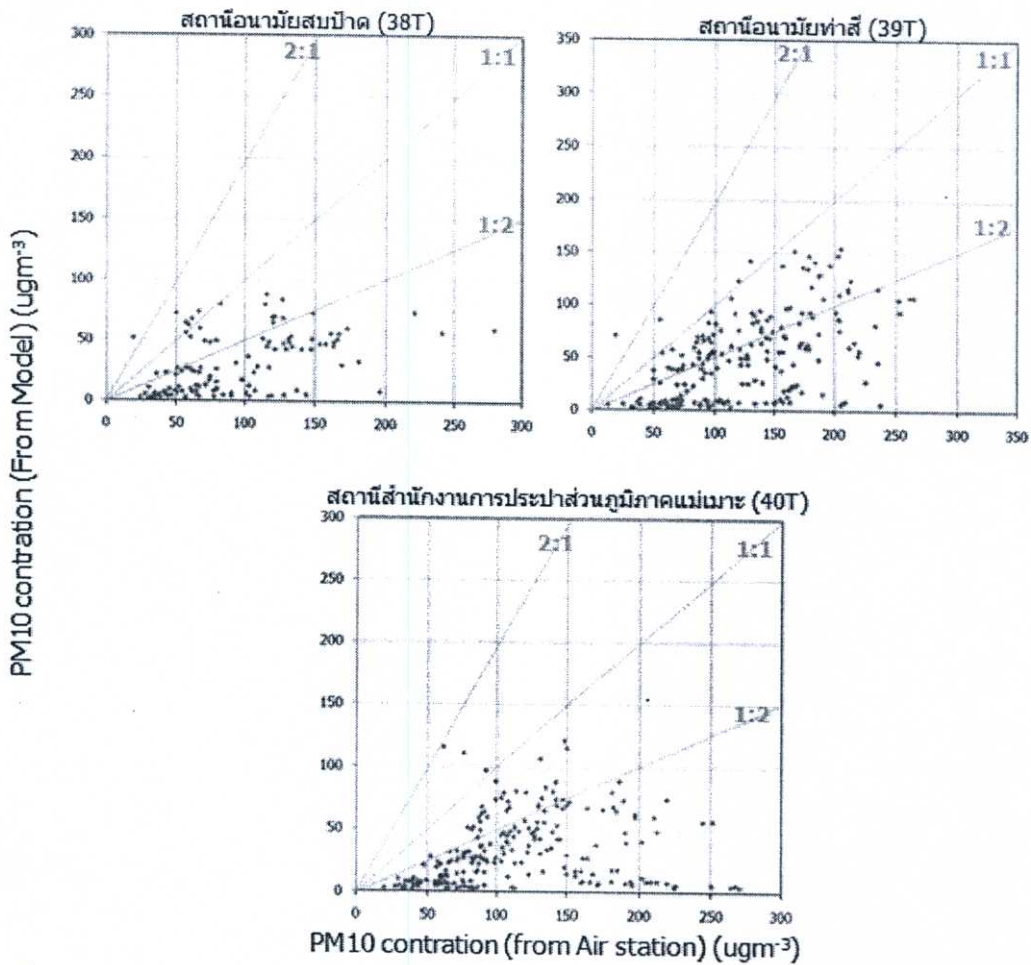
4.4.2.1 ลักษณะการกระจายของข้อมูลของ PM_{10}

แผนภาพแสดงการกระจายของข้อมูลความเข้มข้นของ PM_{10} ที่ได้จากแบบจำลอง และที่ได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศใน 7 สถานี โดยแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มที่ตั้งอยู่ในเขตชุมชนหนาแน่น และกลุ่มที่ตั้งอยู่ในเขตชุมชนเบาบาง โดยการเปรียบเทียบข้อมูลของวันที่ 13-21 มีนาคม พ.ศ. 2550 (รวม 216 ชั่วโมง) แสดงได้ดังรูปที่ 4.32 และ 4.33 ตามลำดับ จากแผนภาพลักษณะการกระจายของข้อมูลทั้งในกลุ่มที่ตั้งอยู่ในเขตชุมชนหนาแน่นและเขตชุมชนเบาบางพบว่าโดยส่วนใหญ่จุดจะอยู่ในบริเวณต่ำกว่าเส้น 1:1 หมายถึงค่าความเข้มข้นของ PM_{10} ที่ได้จากแบบจำลองจะมีค่าน้อยกว่าค่าที่ได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ โดยพบว่าที่บริเวณความเข้มข้น $50-200 \mu\text{gm}^{-3}$ ตำแหน่งจุดบนแผนภาพจะมีค่าใกล้เคียงเส้น 1:1 มากกว่าช่วงของความเข้มข้นอื่นๆ สำหรับสถานีสถานีศาลากลางเชียงใหม่ (35T) และสถานีโรงเรียนยุพราชวิทยาลัย (36T) จะเห็นได้ว่ามีลักษณะการกระจายที่คล้ายคลึงกัน คือจุดส่วนใหญ่อยู่ใกล้เส้น 1:2 และมีบางส่วนอยู่ระหว่างเส้น 1:1 กับ 1:2 ทั้งนี้เนื่องมาจากสถานีทั้ง 2 ตั้งอยู่ใกล้กัน โดยตั้งอยู่ในตัวเมืองจังหวัดเชียงใหม่มีระยะห่างโดยประมาณ 10 กิโลเมตร จึงทำให้ผลการจำลองความเข้มข้นด้วยแบบจำลองของสถานีดังกล่าวมีความใกล้เคียงกัน สำหรับสถานีศาลหลักเมืองจังหวัดลำปาง (37T) แม้ว่าจะตั้งอยู่คนละจังหวัดกับสถานีในจังหวัดเชียงใหม่ แต่ก็เห็นได้ว่ายังคงมีลักษณะที่คล้ายคลึงกัน แต่จะมีการกระจายของข้อมูลมากกว่า โดยมีจุดบางส่วนที่อยู่ระหว่างเส้น 2:1 และ 1:1 หมายถึงค่าความเข้มข้นของ PM_{10} ที่ได้จากแบบจำลองบางส่วนมีค่ามากกว่า 1-2 เท่าของค่าที่

ได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ สำหรับลักษณะการกระจายของข้อมูลในสถานีวิทยาลัยอาชีวศึกษา จ.นครสวรรค์ (41T) ซึ่งอยู่ห่างจากสถานีในเขตจังหวัดเชียงใหม่และลำปางค่อนข้างมาก พบว่ามีการกระจายของข้อมูลมากที่สุด โดยพบว่ามีจุดบางส่วนที่อยู่เหนือเส้น 2:1 หมายถึงค่าความเข้มข้นของ PM_{10} ที่ได้จากแบบจำลองบางส่วนมีค่ามากกว่าค่าที่ได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศถึง 2 เท่า ในขณะที่แผนภาพแสดงการกระจายของข้อมูลของสถานีในกลุ่มที่ตั้งอยู่ในเขตชุมชนเบาบาง พบว่าข้อมูลประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ อยู่ในบริเวณระหว่างเส้น 1:1 และ 1:2 และข้อมูลประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ อยู่ใต้เส้น 1:2 ดังจะเห็นได้จากแผนภาพของสถานีอนามัยสบป่าด (38T) สถานีอนามัยท่าสี่ (39T) และ สถานีสำนักงานการประปาส่วนภูมิภาคแม่เมาะ (40T) ซึ่งหมายถึงค่าความเข้มข้นของ PM_{10} ที่ได้จากแบบจำลองจะมีค่าน้อยกว่าประมาณ 1-2 เท่าหรือมากกว่าค่าที่ได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ และโดยส่วนใหญ่ข้อมูลมีลักษณะการกระจายตัวของข้อมูลใกล้เคียงกับกลุ่มที่ตั้งอยู่ในเขตชุมชนหนาแน่น โดยจะมีความใกล้เคียงกับสถานีศาลหลักเมืองจังหวัดลำปาง (37T)



รูปที่ 4.32 การกระจายของข้อมูลความเข้มข้นรายชั่วโมงของ PM_{10} ที่จำลองได้ และที่ตรวจวัดได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ ในกลุ่มที่ตั้งอยู่ในเขตชุมชนหนาแน่น

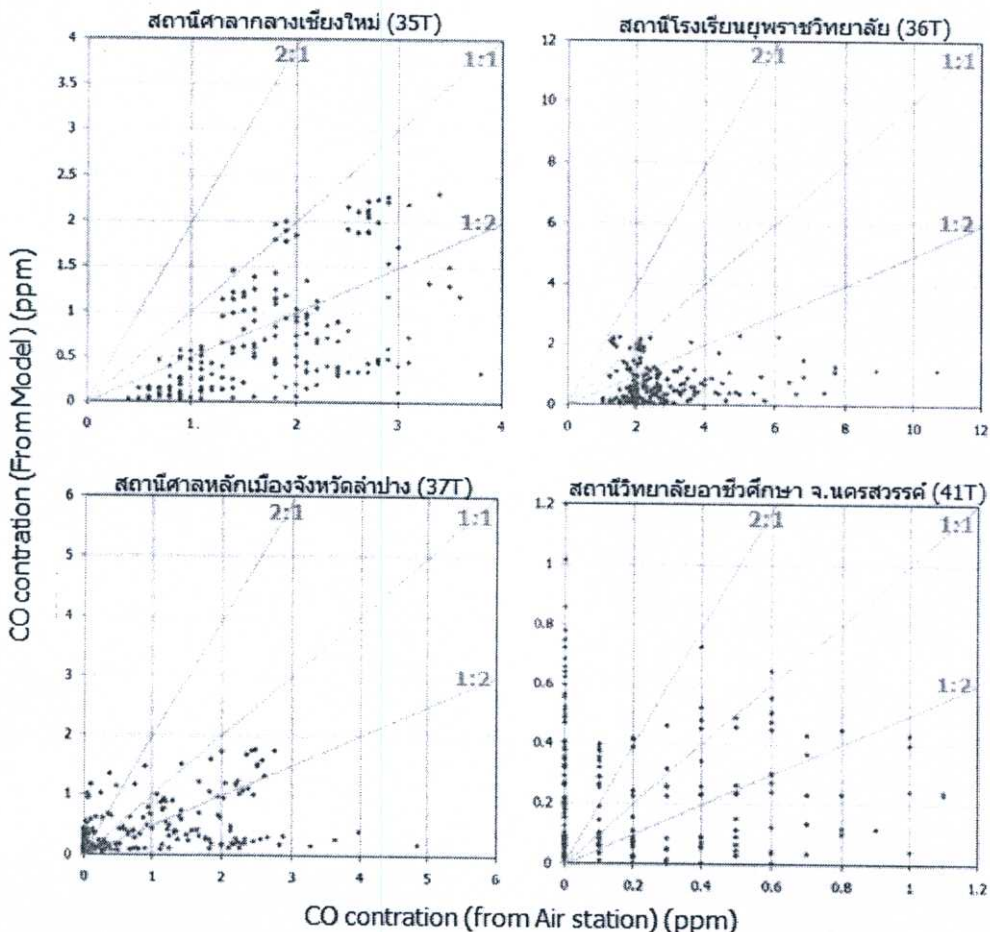


รูปที่ 4.33 การกระจายของข้อมูลความเข้มข้นรายชั่วโมงของ PM_{10} ที่จำลองได้ และที่ตรวจวัดได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ ในกลุ่มที่ตั้งอยู่ในเขตชุมชนเบาบาง

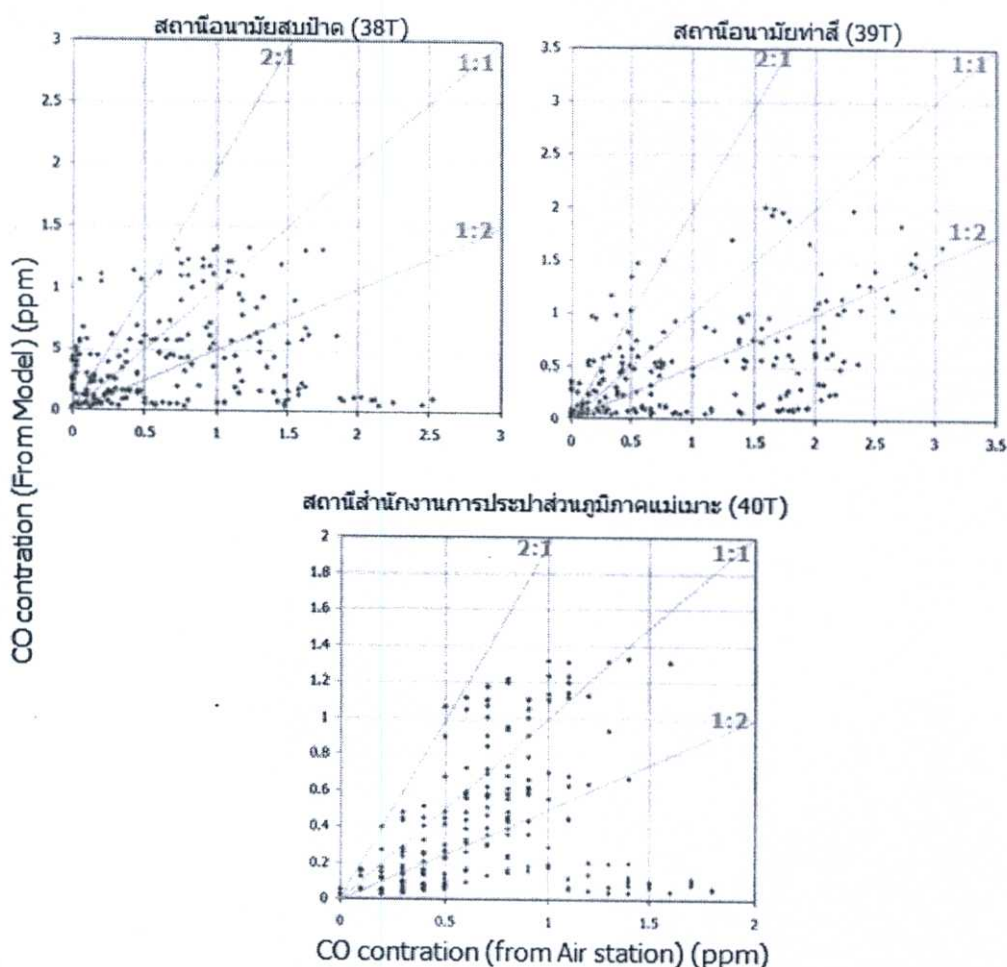
4.4.2.2 ลักษณะการกระจายของข้อมูลของ CO

แผนภาพแสดงการกระจายของข้อมูลความเข้มข้นของ CO ที่ได้จากแบบจำลอง และที่ได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ ในกลุ่มที่ตั้งอยู่ในเขตชุมชนหนาแน่น และกลุ่มที่ตั้งอยู่ในเขตชุมชนเบาบางแสดงได้ดังรูปที่ 4.34 และ 4.35 ตามลำดับ จากแผนภาพลักษณะการกระจายของข้อมูลทั้งในกลุ่มที่ตั้งอยู่ในเขตชุมชนหนาแน่น และเขตชุมชนเบาบาง พบว่ามีการกระจายค่อนข้างมาก หมายถึง ค่าความเข้มข้นของ CO ที่ได้จากแบบจำลองมีค่าทั้ง มากกว่า เท่ากับ หรือน้อยกว่าค่าที่ได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ ซึ่งแตกต่างจาก PM_{10} ที่ค่าที่ได้จากแบบจำลองมักมีค่าน้อยกว่าค่าที่ได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ สำหรับในกลุ่มที่ตั้งอยู่ในเขตชุมชนหนาแน่นพบว่าที่ความเข้มข้นของ CO ประมาณ 2 ppm ในสถานีศาลากลางเชียงใหม่ (35T) และสถานีโรงเรียนยุพราชวิทยาลัย (36T) ค่าที่ได้จากแบบจำลองจะมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ ในขณะที่สถานีอื่นๆค่าความเข้มข้นของ CO ทั้งที่ได้จากแบบจำลองและจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศมีค่าน้อย โดยส่วนใหญ่มีค่าน้อยกว่า 1 ppm โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่สถานีวิทยาลัยอาชีวศึกษา จ.นครสวรรค์ (41T) มีหลายจุดที่ค่าความเข้มข้นของ CO ที่ได้จาก

สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศมีค่าเท่ากับ 0 ในขณะที่ค่าที่ได้จากแบบจำลองมีค่าตั้งแต่ 0-1 ppm ทำให้แผนภาพการกระจายที่สถานีดังกล่าวมีความกระจายของข้อมูลมาก ซึ่งอาจเนื่องมาจากความเข้มข้นของ CO ที่มีค่าต่ำมาก ทำให้อุปกรณ์ตรวจวัดความเข้มข้นของ CO ที่สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศมีโอกาสที่จะตรวจวัดได้ผิดพลาด ทำให้ค่าที่ได้คลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง สำหรับสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศในกลุ่มที่ตั้งอยู่ในเขตชุมชนเบาบาง พบว่ามีการกระจายของข้อมูลมากกว่ากลุ่มที่ตั้งอยู่ในเขตชุมชนหนาแน่น เช่นเดียวกับที่ปรากฏในแผนภาพการกระจายข้อมูลของ PM₁₀ ซึ่งทั้งในสถานีอนามัยสบป่าด (38T) สถานีอนามัยท่าสี่ (39T) และสถานีสำนักงานการประปาส่วนภูมิภาคแม่เมาะ (40T) พบว่าค่าที่ได้จากแบบจำลองมีการกระจายตัวและมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ มากกว่าในสถานีในกลุ่มที่ตั้งอยู่ในเขตชุมชนหนาแน่น ซึ่งลักษณะดังกล่าวเป็นผลมาจากที่สถานีในกลุ่มที่ตั้งอยู่ในเขตชุมชนหนาแน่นจะได้รับอิทธิพลจากมลพิษที่ปลดปล่อยออกจากแหล่งกำเนิดที่อยู่ใกล้กับสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ ทำให้ค่าที่ตรวจวัดได้จะมีค่าสูงกว่าปกติ และเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากแบบจำลองด้วยการสร้างแผนภาพการกระจายของข้อมูล ก็จะทำให้ข้อมูลไม่กระจายตัว โดยค่าความเข้มข้นที่จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศมักจะมีค่ามากกว่าค่าที่ได้จากแบบจำลองอยู่เสมอ



รูปที่ 4.34 การกระจายของข้อมูลความเข้มข้นรายชั่วโมงของ CO ที่จำลองได้ และที่ตรวจวัดได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ ในกลุ่มที่ตั้งอยู่ในเขตชุมชนหนาแน่น

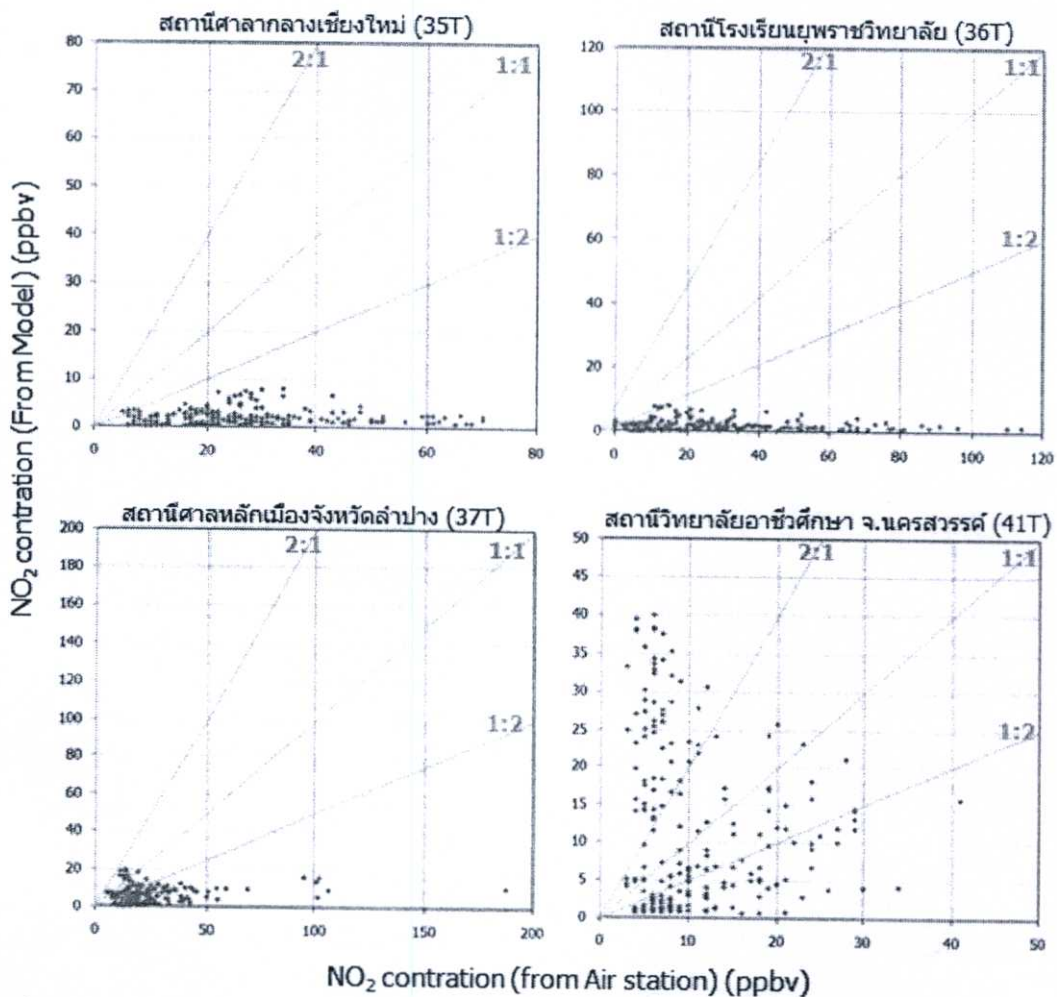


รูปที่ 4.35 การกระจายของข้อมูลความเข้มข้นรายชั่วโมงของ CO ที่จำลองได้ และที่ตรวจวัดได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ ในกลุ่มที่ตั้งอยู่ในเขตชุมชนเบาบาง

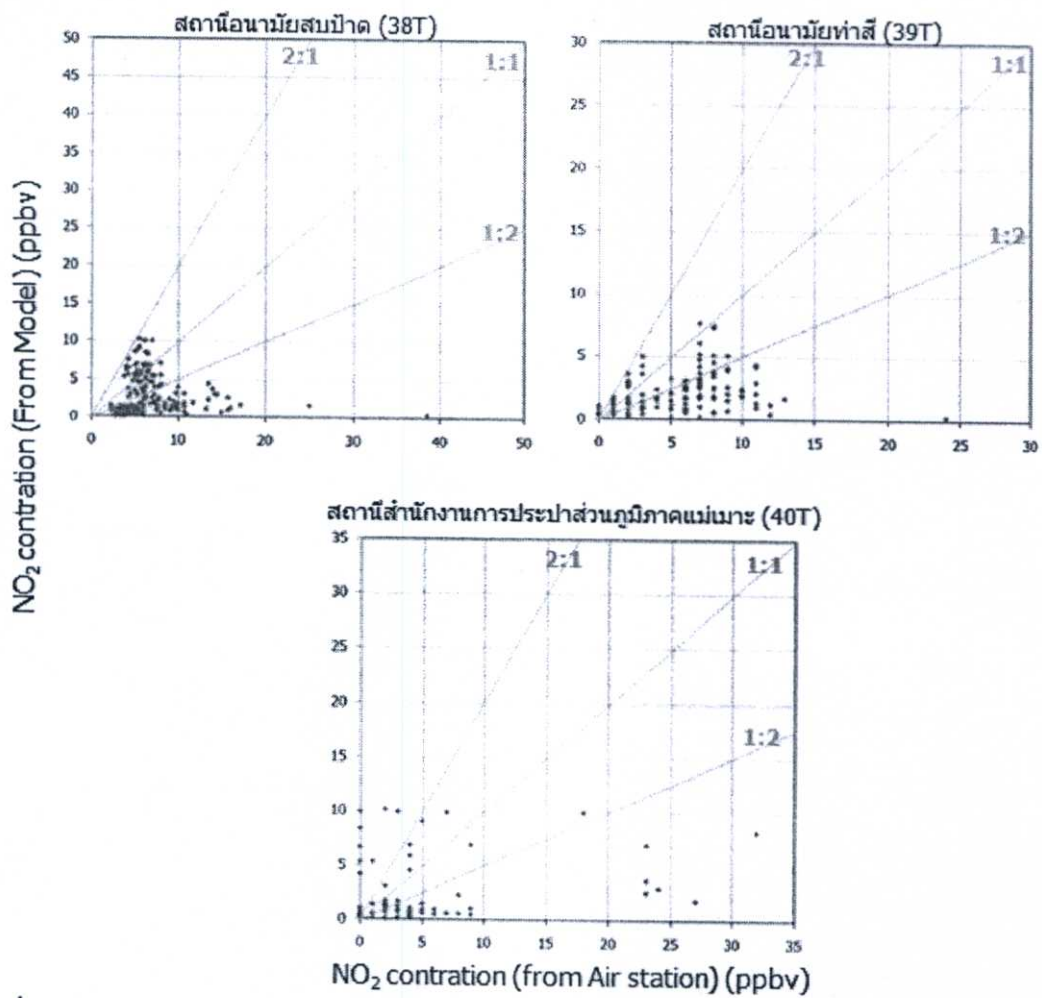
4.4.2.3 ลักษณะการกระจายของข้อมูลของ NO_2

สำหรับ NO_2 ก็จะทำการเปรียบเทียบลักษณะการกระจายของข้อมูลในรูปแบบเดียวกับ PM_{10} และ CO โดยแผนภาพในกลุ่มที่ตั้งอยู่ในเขตชุมชนหนาแน่น และกลุ่มที่ตั้งอยู่ในเขตชุมชนเบาบางแสดงได้ดังรูปที่ 4.36 และ 4.37 ตามลำดับ จากแผนภาพพบว่าความเข้มข้นของ NO_2 ในกลุ่มที่ตั้งอยู่ในเขตชุมชนหนาแน่นจะมีค่ามากกว่าในกลุ่มที่ตั้งอยู่ในเขตชุมชนเบาบาง อย่างชัดเจนคือ ในกลุ่มที่ตั้งอยู่ในเขตชุมชนหนาแน่นความเข้มข้น NO_2 ที่ได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศจะมีค่าค่อนข้างสูงระหว่าง 0-100 ppbv โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ที่สถานี โรงเรียนยุพราชวิทยาลัย (36T) และสถานีศาลหลักเมืองจังหวัดลำปาง (37T) ค่าความเข้มข้นสูงสุดอยู่ที่ 120 และ 180 ppbv ตามลำดับ ในขณะที่สถานีในกลุ่มที่ตั้งอยู่ในเขตชุมชนเบาบางมีความเข้มข้นต่ำกว่าอยู่ระหว่าง 0-50 ppbv เท่านั้น จากแผนภาพการกระจายของข้อมูลความเข้มข้นของ NO_2 ในกลุ่มที่ตั้งอยู่ในเขตชุมชนหนาแน่น พบว่าตำแหน่งของจุดส่วนใหญ่อยู่ใต้เส้น 1:2 โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสถานีศาลากลางเชียงใหม่ (35T) และสถานี โรงเรียนยุพราชวิทยาลัย (36T) ซึ่งมีจุดอยู่ใต้เส้น 1:2 เกือบทั้งหมด หมายถึงค่าความเข้มข้นของ NO_2 ที่ได้จากแบบจำลองมีค่าน้อยกว่าค่าที่ได้จากสถานี

ตรวจวัดมากยกเว้นที่สถานีวิทยาลัยอาชีวศึกษา จ.นครสวรรค์ (41T) ซึ่งมีการกระจายของข้อมูลมากกว่า ในขณะที่ในกลุ่มที่ตั้งอยู่ในเขตชุมชนเบาบาง มีการกระจายของข้อมูลมากกว่ากลุ่มที่ตั้งอยู่ในเขตชุมชนหนาแน่น โดยในกลุ่มที่ตั้งอยู่ในเขตชุมชนเบาบาง จุดส่วนใหญ่อยู่ในตำแหน่งระหว่างเส้น 2:1 และ 1:2 ดังจะเห็นได้จากแผนภาพในสถานีอนามัยสบป่าด (38T) สถานีอนามัยท่าสี่ (39T) และสถานีสำนักงานการประปาส่วนภูมิภาคแม่เกาะ (40T) จากข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า ในกรณีของ NO_2 ตำแหน่งที่ตั้งของสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศมีผลต่อความถูกต้องของแบบจำลองมาก เนื่องจากกิจกรรมของมนุษย์เป็นแหล่งปลดปล่อยสำคัญของ NO_2 ซึ่งกิจกรรมของมนุษย์นี้จะมีมากในเขตชุมชนหนาแน่น และเขตอุตสาหกรรม ส่งผลให้สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศในพื้นที่ดังกล่าว ตรวจวัดความเข้มข้นของ NO_2 ได้มาก ซึ่งในขั้นตอนการทำแบบจำลอง หากหากมีข้อมูลการปลดปล่อยดังกล่าวไม่ถูกต้องเพียงพอแล้ว ก็จะทำให้แบบจำลองไม่สามารถจำลองความเข้มข้นของ NO_2 ได้ถูกต้องตามไปด้วย สำหรับการศึกษานี้ใช้ข้อมูลข้อมูลการปลดปล่อยจากกิจกรรมของมนุษย์ในภูมิภาคเอเชียจากโครงการ INTEX-B ที่ความละเอียด 0.5° ในปี 2549 ซึ่งมีความละเอียดต่ำและลำสมัย จึงอาจทำให้ผลการจำลองมีความคลาดเคลื่อน



รูปที่ 4.36 การกระจายของข้อมูลความเข้มข้นรายชั่วโมงของ NO_2 ที่จำลองได้ และที่ตรวจวัดได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ ในกลุ่มที่ตั้งอยู่ในเขตชุมชนหนาแน่น



รูปที่ 4.37 การกระจายของข้อมูลความเข้มข้นรายชั่วโมงของ NO_2 ที่จำลองได้ และที่ตรวจวัดได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ ในกลุ่มที่ตั้งอยู่ในเขตชุมชนเบาบาง

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

ในการบูรณาการแบบจำลองเพื่อใช้ในการศึกษาการประเมินการปลดปล่อย และความ เป็นไปของมลพิษทางอากาศจากไฟป่าในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ โดยทดสอบแบบจำลอง แบบบูรณาการดังกล่าว ด้วยกรณีศึกษาตั้งแต่วันที่ 12-21 มีนาคม พ.ศ. 2550 ในพื้นที่ส่วนหนึ่งของ ภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ พบว่าสามารถประเมินการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศ ได้แก่ CO, CO₂, PM₁₀ และ NO₂ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และทำนายความเป็นไปของมลพิษดังกล่าวได้ ใกล้เคียงกับความเป็นจริง ซึ่งผลที่ได้จากการทดสอบแบบจำลองสามารถสรุปได้ดังหัวข้อต่อไปนี้

5.1.1 ข้อมูลทั่วไปของไฟป่า

จากข้อมูลตำแหน่งไฟป่าจากเซนเซอร์ MODIS ในขอบเขตพื้นที่ศึกษาพบว่า ไฟป่าเกิดขึ้นมาก บริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ตอนบนของประเทศลาว และประเทศไทยตามลำดับ และ เมื่อพิจารณาจำนวนตำแหน่งไฟป่าที่ตรวจพบแยกตามประเทศ พบว่าไฟป่าส่วนใหญ่เกิดขึ้นใน ประเทศไทย ที่สัดส่วนประมาณ 49.5 25.0 และ 15.3 % ตามลำดับ โดยพบว่าไฟเกิด ในพื้นที่ป่าไม้มากที่สุด รองลงมาคือในพื้นที่ป่าหญ้า และในพื้นที่เกษตรกรรม ที่สัดส่วนประมาณ 77, 15 และ 7 % ตามลำดับ ในช่วงกรณีศึกษาตั้งแต่วันที่ 12-21 มีนาคม พ.ศ. 2550 พบว่าไฟป่า เกิดขึ้นมากที่สุดในวันที่ 15 มีนาคม พ.ศ. 2550 โดยช่วงเวลาที่เกิดไฟป่ามากที่สุดคือในช่วง 11.00-14.00 น. และ 21.00-3.00 น. ของทุกวัน

5.1.2 ลักษณะของการปลดปล่อยมลพิษจากไฟป่า

จากการประเมินการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศในพื้นที่ส่วนหนึ่งของภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ โดยการสร้างแผนภาพการกระจายของปริมาณการปลดปล่อยในพื้นที่ต่างๆ ของ มลพิษทางอากาศทั้ง 4 ชนิดในหน่วยตันต่อกริด (27x27 ตารางกิโลเมตร) พบว่าลักษณะการ กระจายตัวของมลพิษทั้ง 4 ชนิดมีลักษณะเป็นไปในทิศทางเดียวกัน และมีความคล้ายคลึงกับการ กระจายของตำแหน่งไฟป่าคือ พบการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศจากการเผาในที่โล่งมากใน บริเวณพรมแดนประเทศไทย-พม่าด้านตะวันออกเฉียงเหนือ และพรมแดนประเทศไทย-ลาวตอนบน รองลงมาคือด้านตะวันตกของประเทศพม่า ตอนกลางของประเทศลาว ตอนเหนือของประเทศไทย และตอนเหนือของประเทศเวียดนาม โดยมีการปลดปล่อย CO₂ ออกมามากที่สุดประมาณ 9.1 ล้านตัน รองลงมาคือ CO ประมาณ 6.9 ล้านตัน PM₁₀ และ NO₂ ประมาณ 0.75 และ 0.11 ล้านตัน ตามลำดับ โดยแหล่งปลดปล่อยมลพิษหลักคือ พื้นที่ป่าไม้ พื้นที่ป่าหญ้า และในพื้นที่เกษตรกรรม ตามลำดับ สำหรับการศึกษาการปลดปล่อยมลพิษตามแนวระดับ พบว่าปริมาณมลพิษที่ปลดปล่อย

ออกมาจะไม่ได้อยู่ในแนวระดับพื้นดินเท่านั้น แต่จะมีการกระจายที่ระดับความสูงต่างๆใน ปริมาณที่แตกต่างกัน โดยมีการปลดปล่อยมลพิษที่ความสูงประมาณ 0-150 เมตร และ 500-800 เมตรมากที่สุด โดยในช่วงเวลากลางวันมีแนวโน้มที่พบการปลดปล่อยมลพิษที่ระดับความสูง มากกว่าตอนกลางคืนสอดคล้องกับความรู้ทั่วไปของระดับความสูงผสม โดยหากไฟฟ้าเกิดขึ้นใน เวลากลางวันมลพิษจะลอยตัวขึ้นที่ระดับสูง มีแนวโน้มที่จะถูกพัดพาไปได้ไกลจากแหล่ง ปลดปล่อย และถูกเจือจางลงในที่สุด แต่หากไฟฟ้าเกิดขึ้นในช่วงเย็น และกลางดึก มลพิษที่ถูก ปลดปล่อยจะลอยตัวสูงขึ้นได้น้อยทำให้ส่งผลกระทบต่อประชาชนที่อยู่ใกล้เคียงได้มากกว่า

5.1.3 การแพร่กระจายของมลพิษทางอากาศ

โดยทั่วไปลักษณะการแพร่กระจายของมลพิษทางอากาศ จะแปรเปลี่ยนไปตามลักษณะ กระจายของปริมาณการปลดปล่อย และอิทธิพลของลม จากตัวอย่างข้อมูลอัตราการปลดปล่อย มลพิษแสดงให้เห็นว่า อัตราการปลดปล่อยในพื้นที่ต่างๆมีค่าไม่คงที่โดยจะแปรเปลี่ยนไปตาม เวลาที่ผ่านมา ทั้งนี้เนื่องมาจาก 2 ปัจจัยคือ เวลาที่เกิดไฟฟ้า และสภาพแวดล้อมขณะเกิดไฟฟ้าเช่น ชนิดของเชื้อเพลิง และความเร็วลมเป็นต้นทำให้ลักษณะการการแพร่กระจายของมลพิษทาง อากาศเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา จากการทำนายความเป็นไปของมลพิษทางอากาศพบว่า โดยส่วนใหญ่ CO และ PM_{10} ที่ถูกปลดปล่อยปริมาณมากในบริเวณพรมแดนประเทศ ไทย-พม่าด้าน ตะวันออก และพรมแดนประเทศไทย-ลาวตอนเหนือ ได้รับอิทธิพลจากลมตะวันตกเฉียงใต้ พัด พาให้เคลื่อนที่ไปยังทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทำให้เกิดกลุ่มมลพิษหนาแน่นที่บริเวณตอนเหนือ ของประเทศลาว ตอนเหนือของประเทศเวียดนาม ภาคเหนือของประเทศไทย และพบว่าวันที่ 16 มีนาคม พ.ศ. 2550 เวลา 6:00 น. เป็นช่วงเวลาที่ความเข้มข้นของ CO PM_{10} และ NO_2 มีค่าสูงสุด เนื่องจากมีไฟฟ้า และการปลดปล่อยมลพิษมากในวันก่อนหน้า (15 มีนาคม พ.ศ. 2550) โดยการ ปลดปล่อยมลพิษจากไฟฟ้ามียุทธิพลต่อลักษณะการแพร่กระจายของ CO และ PM_{10} มากกว่าการ ปลดปล่อยมลพิษจากกิจกรรมของมนุษย์ ในขณะที่การกระจายตัวของ NO_2 จะมีลักษณะที่ต่าง ออกไปโดยจะพบว่ามักจะมีความเข้มข้นสูงในบริเวณเมืองใหญ่ของไทย ลาว และเวียดนาม ซึ่ง แสดงให้เห็นว่าการปลดปล่อยมลพิษจากกิจกรรมของมนุษย์ มีอิทธิพลต่อลักษณะการ แพร่กระจายของ NO_2 มากกว่าการปลดปล่อยมลพิษจากไฟฟ้า จากการเปรียบเทียบการ กระจายตัวของฝุ่นละอองกับแผนภาพดัชนีปริมาณหมอกควันที่ได้จากการตรวจวัดด้วยดาวเทียม TOMS Aerosol Index พบว่าสอดคล้องกับการกระจายตัวของ PM_{10} ที่จำลองได้จากแบบจำลอง แสดงว่าแบบจำลองมีประสิทธิภาพสามารถจำลองความเข้มข้นได้ใกล้เคียงกับความเป็นจริง

5.1.4 การประเมินสมรรถนะของการทำนายความเป็นไปของมลพิษทางอากาศ

จากการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของมลพิษรายชั่วโมงของความเข้มข้น ที่จำลองได้กับที่ตรวจวัด ได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ พบว่าความเข้มข้นของมลพิษทั้ง 3 ชนิดได้แก่ PM_{10} CO และ NO_2 ขึ้นลงในลักษณะใกล้เคียงกันแต่โดยส่วนใหญ่ความเข้มข้นที่

จำลองได้จะมีค่าต่ำกว่าที่ตรวจวัดได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ ทั้งนี้อาจเกิดจากในการทำแบบจำลองมีการประมาณค่าการปลดปล่อยมลพิษจากไฟป่าน้อยจนเกินไป และ/หรือเกิดจากข้อมูลการปลดปล่อยมลพิษจากกิจกรรมของมนุษย์ที่มีน้อยกว่าความเป็นจริง โดยเฉพาะอย่างยิ่งความเข้มข้นของ NO_2 ทำให้การจำลองมีความคลาดเคลื่อน นอกจากนี้อาจเกิดจากการกำหนดความละเอียดของกริดในแบบจำลองคุณภาพอากาศที่ 729 ตารางกิโลเมตร (27x27 ตารางกิโลเมตร) ทำให้ความเข้มข้นที่ได้เป็นความเข้มข้นเฉลี่ยของพื้นที่ขนาดใหญ่ จึงทำให้ความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศมีค่าน้อยกว่าที่ได้จากค่าที่ตรวจวัดได้ด้วยสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ

จากแผนภาพแสดงการกระจายของข้อมูลสำหรับการเปรียบเทียบความเข้มข้นรายชั่วโมงที่ได้จากแบบจำลอง และที่ได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ เพื่อประเมินสมรรถนะของแบบจำลอง พบว่าสมรรถนะของการทำนายจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับทั้งตำแหน่งของสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ และชนิดของมลพิษทางอากาศ โดยพบว่าที่สถานีในกลุ่มที่ตั้งอยู่ในเขตชุมชนหนาแน่น มีแนวโน้มว่าค่าที่ได้จากแบบจำลองจะใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศน้อยกว่าสถานีในกลุ่มที่ตั้งอยู่ในเขตชุมชนเบาบาง เนื่องจากในเขตชุมชนหนาแน่นจะมีการปลดปล่อยจากกิจกรรมของมนุษย์มากซึ่งจะทำให้ความเข้มข้นของมลพิษที่ได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศมีค่ามากตามไปด้วย

5.2 ข้อเสนอแนะ

- เนื่องจากปัจจุบันยังไม่มีการศึกษาอย่างจริงจังเกี่ยวกับความถูกต้องของข้อมูลตำแหน่งไฟป่าจากเซนเซอร์ MODIS ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ดังนั้นควรมีการตรวจสอบความถูกต้อง โดยการเปรียบเทียบกับวิธีอื่นๆ เช่น การรายงานโดยมนุษย์ และการสำรวจทางอากาศเป็นต้น เพื่อให้ข้อมูลดังกล่าวมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น
- จากปัญหาความเข้มข้นของมลพิษที่ได้จากแบบจำลองมีค่าต่ำกว่าค่าที่ได้จากการตรวจวัด ทั้งนี้อาจเกิดจากการประยุกต์แบบจำลองต่างๆ เช่น แบบจำลองพฤติกรรมของไฟป่า การจัดระดับความอันตรายจากไฟป่า และแบบจำลองการปลดปล่อยมลพิษ ที่ต้องได้รับการแก้ไข โดยการใช้อยู่ที่ได้จากการสำรวจ และวิจัยในภูมิภาค สำหรับการปรับปรุงให้เหมาะสมกับภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้มากยิ่งขึ้น
- ควรมีการปรับปรุงในส่วนของข้อมูลการปลดปล่อยมลพิษจากกิจกรรมของมนุษย์ที่ใช้ในงานวิจัย ให้มีความทันสมัย ละเอียดมากขึ้น ซึ่งจะช่วยให้ผลการทำนายความเป็นไปของมลพิษถูกต้องมากยิ่งขึ้น
- ควรจะมีการทดสอบตัวแปรต่างๆที่ใช้ในแบบจำลองคุณภาพอากาศ เพื่อหาตัวแปรที่เหมาะสมกับภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ทำให้ผลการจำลองมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

- ควรจะมีการเพิ่มชนิดของมลพิษที่สนใจให้มากขึ้น เนื่องจากในความเป็นจริง มลพิษแต่ละชนิดสามารถเกิดปฏิกิริยาบนชั้นบรรยากาศ เกิดเป็นสารใหม่ ซึ่งอาจส่งผลให้ ความเข้มข้นของมลพิษที่สนใจเพิ่มขึ้นหรือลด มากกว่าที่ได้กำหนดไว้ในการทำนาย
- จากสาเหตุอันเนื่องมาจากความซับซ้อนของแบบจำลองทางอุตุนิยมวิทยา และแบบจำลองคุณภาพอากาศ ทำให้การทำนายความเป็นไปของมลพิษทางอากาศใน 1 วัน ใช้ระยะเวลาในการคำนวณประมาณ 8-12 ชั่วโมง (CPU: Core2Quard 2.4GHz, RAM: 4GB) ดังนั้นควรมีการปรับปรุงระบบคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณ โดยใช้การประมวลผลแบบขนาน (Parallel Processor) ด้วยระบบ Grid Computing ซึ่งจะทำให้ใช้เวลาในการคำนวณลดลง
- ควรมีการเพิ่มช่วงเวลาของการศึกษาให้ครอบคลุมทั้งช่วงเวลาที่มักเกิดไฟป่า และช่วงเวลาที่ไม่มีเกิดไฟป่าเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของ 2 ช่วงเวลาดังกล่าว

เอกสารอ้างอิง

- [1] Supat Wangwongwattana. 2005. "ASEAN Agreement on Transboundary Haze Pollution". **SARCS Workshop on Emissions from Biomass Burning No.23**. Bangkok: SARCS.
- [2] สำนักข่าวประชาธรรม. "เผยอากาศเชียงใหม่เข้าขั้นวิกฤตหมอกมลพิษคลุมเมือง." [Online]. Available : <http://www.udif.or.th/new6.htm>. 2551.
- [3] Forest Fire Control Division National Park. 2009. "Forest fire statistics Since 1 October 1985 - 3 July 2007." [Online]. Available: <http://www.dnp.go.th/forestfire/Eng/fire20statistic.htm>.
- [4] ฝ่ายทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม สถาบันวิจัยเพื่อการพัฒนาประเทศไทย. 2552. "ผลการจัดลำดับความสำคัญของปัญหาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม." [Online]. Available: <http://www.thaienvimonitor.net/Concept/order.htm>.
- [5] กลุ่มพลังจิตพิชิตภัยพิบัติ. 2552. "ไฟป่า". [Online]. Available: <http://www.palungjitrescuedisaster.com/wiki/index.php/ไฟป่า>.
- [6] Arthur Allen Brown and Kenneth P. Davis. 1973. **Forest fire: control and use. 2nd ED.** New York, : McGraw-Hill
- [7] Wade Rawlins and Staff Writer. 2552. "Peat-rich soil feeds Pocosin Lakes fire." [Online]. Available: <http://www.newsobserver.com/print/saturday/front/story/1115666.html>.
- [8] D. Mckenzie. S. M. O'Neill. N. K. Larkin and R. A. Norheim. 2006. "Integrating models to predict regional haze from wildland fire." **Ecological Modelling**. 199(3): 278-288.
- [9] G. Huffines and R. E. Orville. 1999. "Lightning ground flash density and thunderstorm duration in the continental United States: 1989-96." **Journal of Applied Meteorology**. 38(7): 1013-1019.
- [10] Kraisorn Wiriyā. 2005. "Estimation of Biomass Fuel and Characterzation of Biomass Burning Behaviour-Case of Forest Fires". **SARCS Workshop on Emissions from Biomass Burning No.23**. Bangkok: SARCS.
- [11] G. M. Byram. 1959. Combustion of forest fuels. In: Davis, K. P., ed. **Forest Fire: Control and Use**. New York: McGraw Hill

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [12] Utah State University. 2552. “**Unit 1: The Changing Fire Environment.**”
[Online].Available: http://www.myoops.org/cocw/usu/Forest_Range_and_Wildlife_Sciences/Wildland_Fire_Management_and_Planning/Unit_1_The_Changing_Fire_Environment_10.html.
- [13] The Bureau of Meteorology - Australian Climate Extremes. 2009. “**Topography.**”
[Online].Available:
<http://learnline.cdu.edu.au/units/sbi263/fundamentals/topography.html>.
- [14] Centre for Remote Imaging Sensing & Processing(Crisp). 2552. “**Optical Remote Sensing**”. [Online].Available: <http://www.physics.nus.edu.sg/~crisp/cd2001/tutorial/optical.htm>.
- [15] Yunus A. Çengel. 1998. **Heat transfer** : a practical approach. Boston, Mass.: WBC McGraw-Hill
- [16] NASA. 2009. “**Land-Cover and Land-Use Change (LCLUC) Program.**”
[Online].Available: <http://lcluc.umd.edu/>.
- [17] Plymouth Marine Laboratory. 2009. “**Polar-Orbiting Satellites.**” [Online].Available:
<http://www.sat.dundee.ac.uk/satids.html>.
- [18] Maryland University. 2009. “**AVHRR Global Land Cover Classification.**”
[Online].Available: <http://www.landcover.org/>.
- [19] I Csiszar. A. Abdelgadir. J. Jin Z. Li. R. Fraserand W.-M. Hao. 2003. "Interannual changes of active fire detectability in North America from long-term records of the Advanced Very High Resolution Radiometer." **Journal of Geophysical Research.** 108(D2): 4075.
- [20] Satellite Services Division (Ssd). 2009. “**Hazard Mapping System Fire and Smoke Product.**” [Online].Available: <http://www.osdpd.noaa.gov/ml/land/hms.html>.
- [21] Louis Giglio. Luigi Boschetti. David Roy. Ivan Csiszar. Jeffrey Morisette. Yoram Kaufman and Christopher Justice, **Algorithm Technical Background Document.** 2006.
- [22] เอกภรณ์ ใฝ่บุญ. 2552. “**รูปแบบข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial data).**” [Online].Available:
<http://share.psu.ac.th/blog/gis-corin/5665>.
- [23] Sombat Yumuang. 2551. “**ศูนย์วิจัยภูมิสารสนเทศเพื่อประเทศไทย.**” [Online].Available:
<http://www.gisthai.org/about-gis/gis.html>.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [24] Savitri Garivait. 2005. "Estimation of Pollutants Emissions from Biomass Burning in MRBSR - Report on Methodology and Preliminary Results." **SARCS Workshop on Emissions from Biomass Burning No.23**. Bangkok.
- [25] Collin D. Bevins. 1996. "The fireLib User Manual and Technical Reference." [Online]. Available: <http://www.fire.org/downloads/fireLib/1.0.4/firelib.pdf>.
- [26] Patricia L. Andrews. Collin D. Bevins. Robert C. Seli and Rocky Mountain Research Station (Fort Collins Colo.). 2003. **BehavePlus fire modeling system version 2.0 : user's guide**. Fort Collins, CO: U.S. Dept. of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station
- [27] Richard D Stratton. 2004. "Assessing the Effectiveness of Landscape Fuel Treatments on Fire Growth and Behavior." **Journal of Forestry**. 102(7): 32-40.
- [28] Elizabeth D. Reinhardt. Robert E. Keane and James K. Brown. 1997. First Order Fire Effects Model : **FOFEM 4.0, user's guide**. Ogden, Utah: U.S. Dept. of Agriculture, Forest Service, Intermountain Research Station
- [29] Mark A. Finney and Rocky Mountain Research Station--Ogden. 1998. **FARSITE, Fire Area Simulator--model development and evaluation**. Ogden, U.S. Dept. of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station
- [30] Jack D. Cohen. John E. Deeming and Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station (Berkeley Calif.), **The national fire-danger rating system basic equations**. 1985, U.S. Dept. of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station: [Berkeley, Calif.]. p. 16 p.
- [31] Wildland Fire Assessment System. 2009. "Fire Danger Rating." [Online]. Available: http://www.fs.fed.us/land/wfas/map_list.htm.
- [32] H.E. Anderson. 1983. "Predicting wind-driven wildland fire size and shape." [Online]. www.firemodels.org/downloads/.../Anderson_INT-305_1983_ocr.pdf
- [33] Larry S. Bradshaw. Erin McCormick and Rocky Mountain Research Station (Fort Collins Colo.), **FireFamily Plus user's guide version 2.0. 2000**, U.S. Dept. of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station: Ogden, UT.
- [34] Frank A. Albinil. James K. Brown. Elizabeth D. Reinhardt and Roger D. Ottmar. 1995. "Calibration of a Large Fuel Burnout Model " **J. WildlandFire** 5(3): 173-192.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [35] European Environment Agency. 2009. “**Urban dispersion models.**” [Online].Available: <http://www.eea.europa.eu/publications/TEC11a/page014.html>.
- [36] Gary A. Briggs and Nuclear Safety Information Center. 1969. **Plume rise.** [Oak Ridge, Tenn.]: U.S. Atomic Energy Commission, Division of Technical Information; [available from Clearinghouse for Federal Scientific and Technical Information, National Bureau of Standards, U.S. Dept. of Commerce, Springfield
- [37] H.H. Mace. 1967. "Bosanquet's plume rise formula and the T.V.A. data." **Atmospheric Environment.** 4(5): 577-583.
- [38] The Comet Program. 2009. “**Plume characteristics.**” [Online].Available: http://www.meted.ucar.edu/dispersion/disp_ops/media/graphics/plume_height.jpg.
- [39] Wikipedia. 2009. “**Meteorology.**” [Online].Available: <http://en.wikipedia.org/wiki/Meteorology>.
- [40] Jeffrey E. Passner and U.S. Army Research Laboratory. 2008. **Using the advanced research version of the weather research and forecasting model (WRF-ARW) to forecast turbulence at small scales.** White Sands Missile Range, NM: Army Research Laboratory
- [41] University / National Center for Atmospheric Research. 2009. “**numerical model.**” [Online].Available: <http://www.mmm.ucar.edu/mmm5/>.
- [42] National Center for Atmospheric Research. 2009: “**The WRF Preprocessing System (WPS).**” [Online].Available: http://www.mmm.ucar.edu/wrf/users/docs/user_guide/users_guide_chap3.html.
- [43] National Centers for Environmental Prediction. 2009. “**North American Mesoscale (NAM).**” [Online].Available: <http://scoop.sura.org/Models/details.pl?model=NAM>.
- [44] National Cholesterol Education Program. 2009. “**The GFS Atmospheric Model**” [Online].Available: <http://www.emc.ncep.noaa.gov/gmb/moorthi/gam.html>.
- [45] National Oceanic and Atmospheric Administration. 2009. “**Rapid Update Cycle (RUC).**” [Online].Available: <http://ruc.noaa.gov>.
- [46] Japan Science and Technology Information Aggregator. 2009. “**AGRMET : Journal of Agricultural Meteorology.**” [Online].Available: www.jstage.jst.go.jp/browse/agrmet.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [47] Wikipedia. 2009. "Air pollution." [Online]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Air_pollution.
- [48] Dr. Steven Peckham. 2009. "WORKING GROUP 11: ATMOSPHERIC CHEMISTRY." [Online]. Available: <http://ruc.fsl.noaa.gov/wrf/WG11/>.
- [49] Valeriu Damian. 2009. "Kinetic Pre-Processor (KPP)" [Online]. Available: <http://people.cs.vt.edu/~asandu/Software/Kpp/>.
- [50] William R., Stockwell, Paulette Middleton and Julius S. Chang. 1990. "The Second Generation Regional Acid Deposition Model Chemical Mechanism for Regional Air Quality Modeling." **JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH**. 95(D10): 16,343-16,3.
- [51] I.J. Ackermann, H. Hass, M. Memmesheimer, A. Ebel, F.S. Binkowski and U. Shankar. 2009. "Modal aerosol dynamics model for Europe: Development and first applications." **Atmospheric environment**. 32(17): 2981-2999.
- [52] S. Madronich. 1987. "Photodissociation in the atmosphere actinic flux and the effects of ground reflections and clouds." **Journal of Geophysical Research**. 92: 9740-9752.
- [53] Oliver Wild, Xin Zhu and Michael J. Prather. 2000. "Fast-J: Accurate simulation of in- and below-cloud photolysis in Tropospheric Chemical Models " **J. Atmos. Chem**. 37(37): 245-282.
- [54] Working Group 11: Atmospheric Chemistry. 2009. "MADE/SORGAM Description." [Online]. Available: ruc.fsl.noaa.gov/wrf/WG11/made_sorgam.htm.
- [55] J.D. Fast, W.I. Gustafson, R.C. Easter, R.A. Zaveri, J.C. Barnard, E.G. Chapman, G.A. Grell and S.E. Peckham. 2006. "Evaluation of ozone, particulates, and aerosol direct radiative forcing in the vicinity of Houston using a fully-coupled meteorology-chemistry-aerosol model." **J. Geophys. Res.** 111(10): 1029.
- [56] Mark Govett. 2009. "Atmospheric Chemistry Model (NALROM)." [Online]. Available: www-ad.fsl.noaa.gov/ac/sms.html.
- [57] เกษมสันต์ โมโนมัยพิบูลย์. 2551. "โครงการวิจัยการพัฒนาระบบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เบื้องต้นเพื่อการพยากรณ์เดือนกุมภาพันธ์-พฤษภาคมสำหรับภาคเหนือตอนบนของประเทศไทยและการประยุกต์ใช้ในฤดูไฟป่าหน้าแล้ง." [Online]. Available: www.aqnis.pcd.go.th/project/northernhaze2551.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [58] Arl Air Resources Laboratory. 2009. "**HYSPLIT - Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory Model.**" [Online].Available:
<http://www.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php>.
- [59] Wei Min Hao. 2009. "**Automated Forecasting of Smoke Dispersion and Air Quality Using NASA Terra and Aqua Satellite Data.**" [Online].Available:
http://www.firelab.org/component/option,com_wrapper/Itemid,369.
- [60] D.P. Roy . L. Boschetti. C.O. Justice and J.Ju. 2008. "The collection 5 MODIS burned area product — Global evaluation by comparison with the MODIS active fire product." **Remote Sensing of Environment.** 112: 3690–3707.
- [61] Ajjaji Radi. Ahmad Awad Al-Katheri and Abdullah Dhanhani. 2009. "**Implementation and preliminary tests of an air quality forecasting system based on WRF-Chem over Middle-East, Arabian Peninsula and United Arab Emirates.**" [Online].Available:
<http://www.mmm.ucar.edu/wrf/users/workshops/WS2008/abstracts/P4-22.pdf>.
- [62] Rocky Mountain Research Station Missoula Fire Sciences Laboratory. 2009. "**The Fire, Fuel, and Smoke Science Program (FFS).**" [Online].Available:
<http://www.firelab.org/>.
- [63] University of Maryland. 2009. "**The Fire Information for Resource Management System (FIRMS).**" [Online].Available: <http://maps.geog.umd.edu/firms/>.
- [64] Wikipedia. 2009. "**Climate- Thornthwaite.**" [Online].Available:
<http://en.wikipedia.org/wiki/Climate#Thornthwaite>.
- [65] Kazutake Kyuma. 1971. "Climate of South and Southeast Asia according to Thornthwaite's Classification Scheme." **Tonan Ajia Kenkyu.** 9(1).
- [66] M. C. Peel. B. L. Finlayson and T. A. McMahon. 2007. ""Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification." **Hydrol. Earth Syst. Sci.** 11: 1633–1644.
- [67] U.S. Forest Service - Pnw- Fera. 2009. "**The Fuel Characteristic Classification System.**" [Online].Available: <http://www.fs.fed.us/pnw/fera/fccs/index.shtml>.
- [68] U.S. Forest Service - Pnw- Fera. 2009. "**FCCS Fuelbed References.**" [Online].Available:
http://www.fs.fed.us/pnw/fera/fccs/fuelbed_references/fuelbed_references_2-14-2007.pdf.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [69] M.O. Andreae and P. Merlet. 2001. " Emission of trace gases and aerosols from biomass burning." **Global Biogeochemical Cycles**. 15: 955–966.
- [70] UCAR Community Programs. 2009. "**NetCDF (network Common Data Form).**" [Online]. Available: <http://www.unidata.ucar.edu/software/netcdf/>.
- [71] Dr. Richard Mcpeters. 2009. "**TOMS aerosol index.**" [Online]. Available: <http://jwocky.gsfc.nasa.gov/aerosols/aermovie.html>.
- [72] Oak Ridge National Laboratory. 2009. "**LandScan.**" [Online]. Available: <http://www.ornl.gov/sci/landscan/>.

ภาคผนวก ก

รายละเอียด ช่วงคลื่นต่างๆ และการใช้งานของอุปกรณ์ตรวจวัด

MODIS

ภาคผนวก ก

BAND #	RANGE nm		RESOLUTION (m)	KEY USE
	reflected	emitted		
1	620-670		250	Absolute Land Cover Transformation, Vegetation Chlorophyll
2	841-876		250	Cloud Amount, Vegetation Land Cover Transformation
3	459-479		500	Soil/Vegetation Differences
4	545-565		500	Green Vegetation
5	1230-1250		500	Leaf/Canopy Differences
6	1628-1652		500	Snow/Cloud Differences
7	2105-2155		500	Cloud Properties, Land Properties
8	405-420		1000	Chlorophyll
9	438-448		1000	Chlorophyll
10	483-493		1000	Chlorophyll
11	526-536		1000	Chlorophyll
12	546-556		1000	Sediments
13h	662-672		1000	Atmosphere, Sediments
13l	662-672		1000	Atmosphere, Sediments
14h	673-683		1000	Chlorophyll Fluorescence
14l	673-683		1000	Chlorophyll Fluorescence
15	743-753		1000	Aerosol Properties
16	862-877		1000	Aerosol Properties, Atmospheric Properties
17	890-920		1000	Atmospheric Properties, Cloud Properties
18	931-941		1000	Atmospheric Properties, Cloud Properties
19	915-965		1000	Atmospheric Properties, Cloud Properties
20		3.660-3.840	1000	Sea Surface Temperature
21		3.929-3.989	1000	Forest Fires & Volcanoes
22		3.929-3.989	1000	Cloud Temperature, Surface Temperature
23		4.020-4.080	1000	Cloud Temperature, Surface Temperature
24		4.433-4.498	1000	Cloud Fraction, Troposphere Temperature
25		4.482-4.549	1000	Cloud Fraction, Troposphere Temperature
26	1360-1390		1000	Cloud Fraction (Thin Cirrus), Troposphere Temperature
27		6.535-6.895	1000	Mid Troposphere Humidity
28		7.175-7.475	1000	Upper Troposphere Humidity
29		8.400-8.700	1000	Surface Temperature
30		9.580-9.880	1000	Total Ozone
31		10.780-11.280	1000	Cloud Temperature, Forest Fires & Volcanoes, Surface Temp.
32		11.770-12.270	1000	Cloud Height, Forest Fires & Volcanoes, Surface Temperature
33		13.185-13.485	1000	Cloud Fraction, Cloud Height
34		13.485-13.785	1000	Cloud Fraction, Cloud Height
35		13.785-14.085	1000	Cloud Fraction, Cloud Height
36		14.085-14.385	1000	Cloud Fraction, Cloud Height

ภาคผนวก ข

รายละเอียดการคำนวณของแต่ละตัวแปรในระบบ NFDRS

ภาคผนวก ข

ความชื้นสมดุลรายชั่วโมง (Hourly-Equilibrium moisture content)

ในกรณีที่ความชื้นสัมพัทธ์(Relative humidity) น้อยกว่า 10%

$$EMC = 0.03229 + 0.281073 \times RH - 0.000578 \times TEMP \times RH$$

ในกรณีที่ความชื้นสัมพัทธ์มากกว่า 10% แต่น้อยกว่า 50%

$$EMC = 2.22749 + 0.160107 \times RH - 0.014784 \times TEMP$$

ในกรณีที่ความชื้นสัมพัทธ์มากกว่า 50%

$$EMC = 21.0606 + 0.005565 \times RH^2 - 0.00035 \times RH \times TEMP - 0.483199 \times RH$$

เมื่อ

EMC	=	ความชื้นสมดุลรายชั่วโมง (Hourly-Equilibrium moisture content)
RH	=	ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity)
TEMP	=	อุณหภูมิของอากาศ (°F)

ความชื้นของเชื้อเพลิงรายชั่วโมง(Hourly –Fuel moisture content)

$$MC1 = 1.03 \times EMC$$

ในกรณีฝนตก

$$MC1 = 35.0$$

เมื่อ

MC1	=	ความชื้นของเชื้อเพลิงรายชั่วโมง(Hourly –Fuel moisture content)
EMC	=	ความชื้นสมดุลรายชั่วโมง (Hourly-Equilibrium moisture content)

ความชื้นของเชื้อเพลิงเมื่อเวลาผ่านไป 10 ชั่วโมง (10 hour –Fuel moisture content)

$$MC10 = 1.28 \times EMC$$

ในกรณีฝนตก

$$MC10 = 1.2427 \times MC1$$

เมื่อ

MC10	=	ความชื้นของเชื้อเพลิงเมื่อเวลาผ่านไป 10 ชั่วโมง (10 hour –Fuel moisture content)
EMC	=	ความชื้นสมดุลรายชั่วโมง (Hourly-Equilibrium moisture content)

ความชื้นของเชื้อเพลิงเมื่อเวลาผ่านไป 100 ชั่วโมง (100 hour –Fuel moisture content)

$$MC100 = YMC100 + (BNDRYH - YMC100) \times (1.0 - 0.87 \times 10^{-0.24})$$

เมื่อ

- MC100 = ความชื้นของเชื้อเพลิงเมื่อเวลาผ่านไป 100 ชั่วโมง
 YMC100 = ความชื้นของเชื้อเพลิงเมื่อเวลาผ่านไป 100 ชั่วโมงของวันก่อนหน้า
 BNDRYH = สภาวะขอบเขตเฉลี่ย 24 ชั่วโมง (Weighted 24-Hour Average Boundary Condition)

ความชื้นของเชื้อเพลิงเมื่อเวลาผ่านไป 1,000 ชั่วโมง (1,000 hour –Fuel moisture content)

$$MC1000 = PM1000 + (BDYBAR - PM1000) \times (1.00 - 0.82 \times 10^{-0.168})$$

เมื่อ

- MC1000 = ความชื้นของเชื้อเพลิงเมื่อเวลาผ่านไป 1000 ชั่วโมง
 PM1000 = ความชื้นของเชื้อเพลิงเมื่อเวลาผ่านไป 100 ชั่วโมงของวันก่อนหน้า
 BDYBAR = Running Average ของภาวะขอบเขตใน 7 วัน

ความชื้นของไม้ลำต้นอ่อน (Herb moisture)

$$MCHRBP = HERBGA + HERBGB \times MC1000$$

เมื่อ

- MCHRBP = ความชื้นของไม้ลำต้นอ่อนในช่วงที่พีชมีสีเขียว
 MC1000 = ความชื้นของเชื้อเพลิงเมื่อเวลาผ่านไป 1000 ชั่วโมง

HERBGA และ HERBGB เป็นค่าคงที่ ขึ้นอยู่กับประเภทของภูมิอากาศซึ่งแยกได้เป็น 4 ประเภท

NFDRS Climate class	HERBGA	HERBGB
1	70.0	12.8
2	100.0	14.0
3	137.5	15.5
4	185.0	17.4

ความชื้นของไม้ลำต้นแข็ง (Woody moisture)

$$MCWOOD = WOODGA + WOODGB \times MC1000$$

เมื่อ

MCWOOD = ความชื้นของไม้ลำต้นแข็ง

MC1000 = ความชื้นของเชื้อเพลิงเมื่อเวลาผ่านไป 1000 ชั่วโมง

WOODGA และ WOODGB เป็นค่าคงที่ ขึ้นอยู่กับประเภทของภูมิอากาศซึ่งแยกได้เป็น 4 ประเภท

NFDRS Climate class	WOODGA	WOODGB
1	12.5	7.5
2	-5.0	8.2
3	-22.5	8.9
4	-45.0	9.8

ภาคผนวก ค
ผลงานทางวิชาการ



วิศวกรรมลาดกระบัง

คณ-วิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีที่ 26 ฉบับที่ 2

มิถุนายน 2552

วิศวกรรมโทรคมนาคม

1. โครงข่ายผ่านทุกความถี่อันดับหนึ่งที่ไม่ใช้ตัวต้านทานด้วยโครงสร้างของ CCCIs
นพพร ไตรรัตน์วรภรณ์ มนตรี สมศุลยกนก ศิพพัฒน์ พรหมมี 1
2. การพัฒนาประสิทธิภาพของระบบ RFID ที่มีการสื่อสารแบบ Frame ALOHA
สุริย์พร มิ่งมี สุวิมล สิทธิชีวภาพ 7

อิเล็กทรอนิกส์

3. การลดเวลาในการทดสอบหน่วยความจำประเภท EEPROM ที่กระบวนการทดสอบขั้นสุดท้าย
วิระสา นนทฤทธิ์ อธิรัชชัย อรุณศรีแสงไชย 13

วิศวกรรมคอมพิวเตอร์

4. การพัฒนาโครงข่ายประสาทเทียมด้วยวิธีระบบอาณาบริเวณ
นิกร โภคอุดม เอื้อน ปิ่นเงิน บุญวัฒน์ อัศชู 19

วิศวกรรมเครื่องกล

5. สมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลและเบนซินที่ใช้เชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลว และก๊าซธรรมชาติอัด
โกกรร บัญประิยม จินดา เจริญพรพานิชย์ 25

วิศวกรรมเคมี

6. แบบจำลองแบบบูรณาการเพื่อศึกษาความเป็นไปของมลพิษทางอากาศจากไฟฟ้าในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้
วาศิต ทรัพย์สินไพศาล นริศรา ทองบุญชู 31
7. การตกผลึกร่วมเว็กซ์/คาร์บอนอลีนน้ำมันจากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ปรับสภาพ
เศรษฐการ พรหมศิริ สุรัตน์ อาริรัตน์ 37
8. Kinetics Study of Sucrose Inversion Using Ion Exchange Resin as a Catalyst
Walairat Suksomal Chalida Teerasaksakulchal Chonlasek Chankhanlithiran Santti Wattananusorn Duangkamol Na-Ranong 43

วิศวกรรมการวัดคุม

9. การประยุกต์ใช้งานสมองกลฝังตัวสำหรับการออกแบบ PLC บนเครือข่ายอีเธอร์เน็ต
สามารถ เกียรติเสรี สุพรรณกุล พูลพานิชย์ 49

วิศวกรรมอุตสาหกรรม

10. แรงกตที่ผนังด้านข้างภาชนะของระบบวัลคัมเมตกลมเชิง 2 มิติภายใต้การสั่นแนวตั้ง
สกนธ์ี ค่องบุญจิต 55
11. การศึกษาความเป็นไปได้ของการจัดตั้งสถานีบริการก๊าซธรรมชาติบนถนนจลองกรุง
สินชัย เพิ่มพูล สิทธิพร พิมพ์สกุล 61

แบบจำลองแบบบูรณาการเพื่อศึกษาความเป็นไปของมลพิษทาง อากาศจากไฟป่าในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้

The integrated model for study fate of air pollutants from wildland fire in Southeast Asia

วาจิศ วาจิณูไพศาล, นริศรา ทองบุญชู

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ถนนลาดกระบัง
กรุงเทพมหานคร 10520

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอแบบจำลองแบบบูรณาการเพื่อใช้ในการศึกษาความเป็นไปของมลพิษทางอากาศจากไฟป่าในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ โดยการนำข้อมูลตำแหน่งของไฟป่าแบบกึ่งปัจจุบันที่ประมวลได้จากภาพถ่ายดาวเทียมของเซนเซอร์ MODIS ที่ติดตั้งบนดาวเทียมสำรวจโลกขององค์การนาซ่า ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา และข้อมูลอื่นๆ มาใช้ในการจำลองพฤติกรรมของไฟป่า และประเมินการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศ จากนั้นทำการศึกษาความเป็นไปทางกายภาพและเคมีของมลพิษทางอากาศ โดยใช้แบบจำลองคุณภาพอากาศ WRF-Chem โดยได้เลือกทำการศึกษาไฟป่าที่เกิดขึ้นบริเวณภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย ลาว และพม่าในช่วงระหว่างวันที่ 12 ถึง 21 มีนาคม พ.ศ. 2550 ผลจากการศึกษาพบว่า ไฟป่าเกิดมากที่สุดในประเทศพม่าถึง 50% ของไฟป่าที่เกิดขึ้นทั้งหมด รองลงมาคือประเทศลาว และประเทศไทยที่สัดส่วน 25 และ 15% ตามลำดับ มลพิษทางอากาศหลักที่ปลดปล่อยออกมามากที่สุดคือ CO_2 , CO และ PM_{10} นอกจากนี้ยังพบว่าในช่วงเวลาดังกล่าวได้รับอิทธิพลจากลมตะวันตกเฉียงใต้ทำให้หมอกควันที่หนาแน่นบริเวณภาคตะวันออกเฉียงใต้ของประเทศไทยเคลื่อนตัวเข้าปกคลุมในเขตภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย และอาจส่งผลให้ความเข้มข้นของ NO_2 และ PM_{10} ในชั้นบรรยากาศที่บริเวณดังกล่าวมีค่าเกินมาตรฐานคุณภาพอากาศ

คำสำคัญ: คุณภาพอากาศ, แบบจำลอง, ไฟป่า, มลพิษทางอากาศ, การปลดปล่อยมลพิษ, การกระจายตัวของมลพิษ

Abstract

This study presented an integrated model for studying the fate of air pollutants from wildland fire in Southeast Asia. The near real-time active wildfire data that processed from images of MODIS, a sensor on board NASA's Earth Observation Satellite, meteorological data and other data were utilized to simulate the wildfire behavior and estimate the emission of air pollutants. The air quality model (WRF-Chem) was used as a tool to study the fate of air pollutants in both chemical and physical manner. The occurrences of wildland fire in the northern part of Thailand, Laos and Myanmar during March 12-21, 2007 were investigated. From the results, the wildland fires were frequently found in Myanmar at 50% of total wildland fire, followed by Laos and Thailand at 25 and 15%, respectively. The major emitted air pollutants were CO_2 , CO and PM_{10} . Moreover, we also found that the southwesterly wind that dominated the whole area during the period of study. This leads the movement of dense smoke from the eastern of Myanmar to cover the northern of Thailand and Laos and caused the level of atmospheric concentration of NO_2 and PM_{10} in the areas to higher than air quality standard.

Key words: air quality, model, wildland fire, air pollutants, emission, dispersion

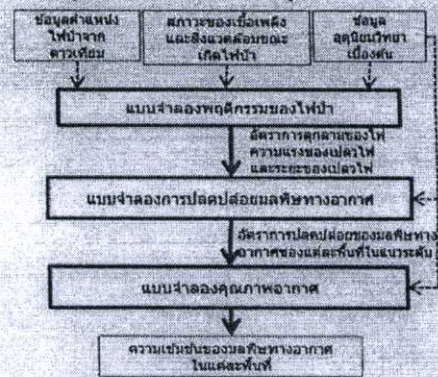
1. บทนำ

ปัจจุบันมีการนำข้อมูลตำแหน่งไฟป่า(Hotspot)ที่ประมวลได้จากภาพถ่ายดาวเทียมมาใช้ประเมินการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศจากไฟป่า และการแพร่กระจายของมลพิษ โดยมีสมมุติฐานว่าไฟป่าที่เกิดขึ้นมีประสิทธิการเผาไหม้ และสัดส่วนที่ถูกเผาไหม้คงที่[1] วิธีการดังกล่าวเป็นวิธีที่สะดวกต่อการคำนวณแต่มีความคลาดเคลื่อนสูง เนื่องจากพฤติกรรมไฟป่านั้นจะไม่คงที่และแปรเปลี่ยนตามปัจจัยต่างๆ อาทิ ลักษณะความชื้นของพื้นที่ ประเภทของพืชพรรณ ความชื้นของชีวมวล ความชื้นในอากาศ ความเร็ว และทิศทางของลม เป็นต้น ในงานวิจัยนี้จึงนำเสนอวิธีการประเมินการปลดปล่อยมลพิษจากไฟป่าที่มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้นโดยนำพฤติกรรมของไฟป่ามาพิจารณาด้วย นอกจากนี้ยังนำมาบูรณาการกับแบบจำลองคุณภาพอากาศเพื่อศึกษาความเป็นไปทางกายภาพและเคมีของมลพิษในอากาศที่เกิดขึ้นเพื่อที่จะนำข้อมูลความเข้มข้นของมลพิษในชั้นบรรยากาศและทิศทางการกระจายตัวที่ได้จากแบบจำลองมาใช้ในการป้องกันและควบคุมมลพิษ

ปัจจุบันมีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการทำนายพฤติกรรมของไฟป่าอยู่หลายแบบจำลอง อาทิ FireLib[2] BehavePlus และ FlamMap ของ US Firelab, Department of Agricultural, USA เป็นต้น และยังมีแบบจำลองที่ใช้ประเมินการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศโดยอาศัยข้อมูลพฤติกรรมของไฟป่า อาทิ FOPEM[3] และ FARSITE ของ US Firelab, Department of Agricultural, USA เป็นต้น แต่แบบจำลองที่กล่าวมาข้างต้นถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในประเทศสหรัฐอเมริกา และทวีปอเมริกาเหนือเท่านั้น การที่จะนำแบบจำลองดังกล่าวมาประยุกต์ใช้ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้จะต้องมีการปรับปรุง และพัฒนาให้เหมาะสม ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นไปที่การคัดเลือกแบบจำลอง พัฒนา และปรับปรุงแบบจำลองให้เหมาะสมกับการศึกษาความเป็นไปของมลพิษทางอากาศจากไฟป่าในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้

2. การบูรณาการแบบจำลอง

ในการศึกษาการปลดปล่อย และแพร่กระจายของมลพิษทางอากาศ งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาและคัดเลือกแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่มีอยู่ โดยแบบจำลองที่ได้จากการบูรณาการประกอบด้วย 3 ส่วนหลักคือแบบจำลองพฤติกรรมของไฟป่า ที่ใช้ทำนายพฤติกรรมของไฟป่าที่เปลี่ยนแปลงจากปัจจัยต่างๆ แบบจำลองการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศ ที่ใช้ในการประเมินการปลดปล่อยมลพิษจากข้อมูลพฤติกรรมไฟป่า และแบบจำลองคุณภาพอากาศ ที่ใช้ทำนายความเป็นไปของมลพิษทางอากาศ โดยแผนภาพแสดงขั้นตอนการจำลอง และข้อมูลที่จำเป็นต่างๆ แสดงได้ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1: โครงสร้างของการบูรณาการแบบจำลอง

2.1 แบบจำลองพฤติกรรมของไฟป่า

งานวิจัยนี้ทำการจำลองพฤติกรรมของไฟป่า โดยการใช้แบบจำลองพฤติกรรมของไฟป่า FireLib ซึ่งพัฒนาโดย Collin D. Bevins, US Firelab, Department of Agricultural, USA[2] แบบจำลอง FireLib ซึ่งใช้สมการที่ได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการร่วมกับการคำนวณทางทฤษฎีในการทำนายลักษณะพฤติกรรมของไฟป่าอันได้แก่ อัตราการลุกลามของไฟ ความแรงของเปลวไฟ และระยะของเปลวไฟ โดยข้อมูลนำเข้าที่ FireLib ต้องการสำหรับการทำนายคือ ข้อมูลตำแหน่งไฟป่า สภาวะของเชื้อเพลิง และสิ่งแวดล้อมขณะเกิดไฟป่าดังแสดงในรูปที่ 1

ข้อมูลตำแหน่งไฟป่าหรือ Hotspot ที่ใช้ในการศึกษานี้ได้จากการประมวลผลภาพถ่ายดาวเทียมจากเซนเซอร์

MODIS (Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer) [4] ถูกติดตั้งอยู่บนดาวเทียม AQUA และ TERRA ซึ่งเป็นดาวเทียมประเภทที่มีวงโคจรผ่านขั้วโลก โดยอาศัยข้อมูลของไฟป่าซึ่งเมื่อเกิดการเผาไหม้จะมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 800 ถึง 1200 เคลวิน และปลดปล่อยรังสีในช่วงคลื่น Middle infrared (3-5 ไมโครเมตร) ได้มากที่สุด เซนเซอร์ MODIS ได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการระบุตำแหน่ง และอุณหภูมิของ Hotspot ในช่วงคลื่นดังกล่าว ในส่วนของสถานะของเชื้อเพลิง และถึงเวลาที่ลมขณะเกิดไฟป่าได้แก่ ความชื้นสัมพัทธ์ของเชื้อเพลิง ความชื้นของเชื้อเพลิง ปริมาณฝน อุณหภูมิของอากาศ ความชื้นของพื้นที่ และสถานะของการมีชีวิต/ตายของเชื้อเพลิง ถูกนำมาใช้ในการคำนวณระดับความอันตรายของไฟป่าโดยอาศัยสมการเบื้องต้นของระบบจัดระดับความเป็นอันตราย Nation Fire Danger Rating Systems (NFDRS)[5] ที่พัฒนาโดย Department of Agricultural, USA และข้อมูลจากแบบจำลองทางอุตุนิยมวิทยา แต่เนื่องจากระบบจัดประเภทของภูมิอากาศของระบบ NFDRS มีความแตกต่างกับระบบทั่วไป การศึกษาจึงได้ประยุกต์การศึกษาของ Kazutake Kyuma[6] มาใช้ในการศึกษาในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้แทน

2.2 แบบจำลองการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศ

ในการศึกษานี้ใช้แบบจำลอง a First Order Fire Effects Model(FOFEM) พัฒนาโดย Elizabeth Reinhardt และ Robert E. Keane แห่ง ของ US Firelab, Department of Agricultural, USA[3] ซึ่งสามารถจำลองลักษณะของไฟป่าจากข้อมูลลักษณะพฤติกรรมของไฟป่า และประเมินการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศจากไฟป่า โดยปกติอัตราการปลดปล่อยของมลพิษทางอากาศจากไฟป่าจะขึ้นอยู่กับขั้นตอนของการเผาไหม้คือ ช่วงการเผาไหม้ที่มีเปลวไฟ (Flame) และช่วงที่เปลวไฟดับแล้วแต่ยังคงคุอยู่ (Smolder) แบบจำลอง FOFEM จะทำนายขั้นตอนการเผาไหม้ และปริมาณมลพิษที่ถูกปลดปล่อยโดยอาศัยหลักการของการถ่ายเทความร้อน และการถ่ายเทมวลในการคำนวณปริมาณความร้อน และปริมาณมลพิษที่ถ่ายเทจากไฟสู่สิ่งแวดล้อม

ข้อมูลที่คำนวณได้จากแบบจำลอง FOFEM เป็นข้อมูลการปลดปล่อยจากระดับพื้นดิน แต่ในความเป็นจริงแล้วไฟป่าสามารถเกิดขึ้นที่ระดับผิวดิน, เหนือผิวดิน และใต้ผิวดิน นอกจากนี้เปลวไฟและควันยังสามารถขยายตามแนวระดับ เนื่องจากธรรมชาติของอากาศร้อนที่อยู่รอบๆที่ยกตัวสูงขึ้นเมื่อมีอุณหภูมิสูงขึ้น ปัจจุบันยังไม่มีสมการที่ใช้ทำนายการยกตัวของกลุ่มมลพิษจากไฟป่าโดยเฉพาะ จึงทำการประยุกต์สมการ Briggs plume rise ซึ่งเป็นสมการการทำนายการยกตัวของมลพิษที่ปลดปล่อยจากปล่องระบายควันในอุตสาหกรรม เพื่อใช้ในการประเมินปริมาณมลพิษในแนวระดับ การคำนวณการยกตัวดังกล่าวมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการประเมินการปลดปล่อย และทำนายการกระจายตัวของมลพิษทางอากาศให้มีความถูกต้องยิ่งขึ้น

2.3 แบบจำลองคุณภาพอากาศ

ความเป็นไปของมลพิษทางอากาศทั้งทางกายภาพและทางเคมีจะถูกจำลองโดยอาศัยข้อมูลอัตราการปลดปล่อยมลพิษที่ระดับความสูงต่างๆที่ได้จากแบบจำลอง FOFEM ร่วมกับข้อมูลอุตุนิยมวิทยา โดยการใช้แบบจำลองคุณภาพอากาศ Weather Research and Forecasting Model: Chemistry (WRF-Chem) พัฒนาโดย WRF Atmospheric Chemistry Working Group[7] เป็นแบบจำลองคุณภาพอากาศแบบ Eulerian มีกลไกปฏิกิริยาเคมีในสถานะก๊าซ (Gas-phase chemical mechanisms) ทั้งหมด 23 รูปแบบ เช่น RADM2 และ MADE เป็นต้น และในส่วนของปฏิกิริยาโฟโตไลซิส (Photolysis) จำนวน 3 รูปแบบ เช่น Madronich และ Fast-J เป็นต้น ให้เลือกใช้ตามความเหมาะสม การทำแบบจำลองทำโดยการกำหนดขอบเขตพื้นที่ที่ศึกษาเป็น 3 มิติ แบ่งออกเป็นกริดเล็กๆ และศึกษาความเป็นไปของมลพิษที่เกิดขึ้นในขอบเขตพื้นที่ที่ศึกษาในกรอบคลุมพื้นที่ทั้งหมดของประเทศไทย ลาว กัมพูชา เวียดนาม รวมถึงพม่า จีน มาเลเซียบางส่วน ตั้งแต่เส้นรุ้งที่ 3.25 ถึง 23.67 และเส้นแวงที่ 90.21 ถึง 114.71 และมีเนื้อที่ประมาณ 6,196,500 ตารางกิโลเมตรดังแสดงในรูปที่ 2 โดยการแบ่งกริดตามแนวราบขนาด 27 x 27 กิโลเมตร จำนวน 100 x 85 กริด

และสูงตามแนวระดับ 17 กิโลเมตรจำนวน 27 กริด ใช้รูปแบบกลไกปฏิกิริยาเคมี The Second Generation Regional Acid Deposition Model Chemical Mechanism (RADM2) สำหรับกลไกปฏิกิริยาเคมีของมลพิษทางอากาศในสถานะก๊าซ และใช้รูปแบบปฏิกิริยาโฟโตไลซิส Fast-J โดยเลือกทำการศึกษามลพิษทางอากาศได้แก่ คาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO₂) ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM₁₀) โดยในการศึกษานี้พิจารณาการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศที่มาจากไฟป่าเท่านั้น โดยไม่ได้คำนึงถึงผลจากการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศจากมนุษย์ (Anthropogenic emissions) และพืช (Biogenic Emissions)



รูปที่ 2: พื้นที่ศึกษาในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้

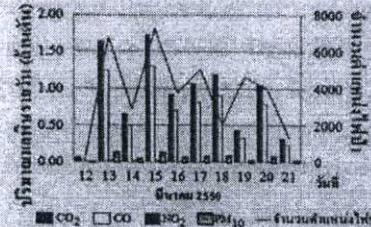
3. ผลการศึกษา

ในการศึกษานี้ได้เลือกช่วงในการศึกษาระหว่างวันที่ 12-21 มีนาคม พ.ศ. 2550 เป็นกรณีศึกษา เนื่องจากเป็นช่วงที่ไฟป่าเกิดขึ้นมากที่สุด จากข้อมูลตำแหน่งไฟป่าที่ประเมินได้จากข้อมูลเซนเซอร์ MODIS พบว่ามีไฟป่าเกิดขึ้นทั้งหมด 38,214 จุด ส่วนใหญ่เกิดขึ้นที่ประเทศพม่า ลาว และ ไทย ที่สัดส่วนราว 49.5 25.0 และ 15.3 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

3.1 ผลการประเมินการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศ

ผลการประเมินการปลดปล่อยมลพิษจากไฟป่าพบว่ามีการปลดปล่อย CO₂ ในพื้นที่ศึกษามากที่สุด ประมาณ 91 ล้านตัน รองลงมาคือ CO ประมาณ 6.9 ล้านตัน PM₁₀ และ NO₂ ประมาณ 0.75 และ 0.11 ล้านตันตามลำดับ เมื่อพิจารณาข้อมูลรายวันพบว่าในวันที่ 13 และ 15 มีนาคม พ.ศ. 2550 มีจำนวนไฟป่า และปริมาณการปลดปล่อยมลพิษมากที่สุดแสดงในรูปที่ 3 เมื่อพิจารณาการกระจาย

ตัว และความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศในพื้นที่ศึกษาพบว่าพื้นที่ทางลุ่มตะวันออกเฉียงของประเทศพม่ามีปริมาณการปลดปล่อยมลพิษที่ความเข้มข้นสูงสุด รองลงมาคือตอนบนของประเทศไทย และลาว ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 3: จำนวนตำแหน่งไฟป่า และปริมาณมลพิษที่ปลดปล่อยรายวัน ตั้งแต่วันที่ 12 ถึง 21 มีนาคม พ.ศ. 2550



รูปที่ 4: แผนภาพแสดงการกระจายของปริมาณ PM₁₀ วันที่ 15 มีนาคม พ.ศ. 2550 (กิโลกรัม/กริด)

3.2 ผลการทำนายความเป็นไปของมลพิษทางอากาศ

แผนภาพแสดงการกระจายตัวของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM₁₀) ที่คำนวณได้จากโปรแกรม WRF-Chem และทิศทางของลมในวันที่ 15 มีนาคม พ.ศ. 2550 เวลา 7:00 น. สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5 จากรูปจะเห็นว่าความเข้มข้นของ PM₁₀ เกิดขึ้นสูงสุดที่บริเวณตอนเหนือของประเทศลาวโดยมีความเข้มข้นเฉลี่ย 350 µg/m³ ซึ่งแตกต่างจากการกระจายตัวของสารปลดปล่อยของ PM₁₀ ที่เกิดมากที่สุดที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ซึ่งสาเหตุดังกล่าวเกิดเนื่องมาจากในช่วงเวลาดังกล่าวพื้นที่ศึกษาได้รับอิทธิพลของลมตะวันตกเฉียงใต้ ทำให้มลพิษเคลื่อนตัวไปยังทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทำให้ความเข้มข้นของมลพิษในบริเวณตอนเหนือของประเทศลาวสูงกว่าปกติ เมื่อเปรียบเทียบกับแผนภาพดัชนีปริมาณหมอกควันที่ได้จากการตรวจวัดด้วยดาวเทียม TOMS Aerosol

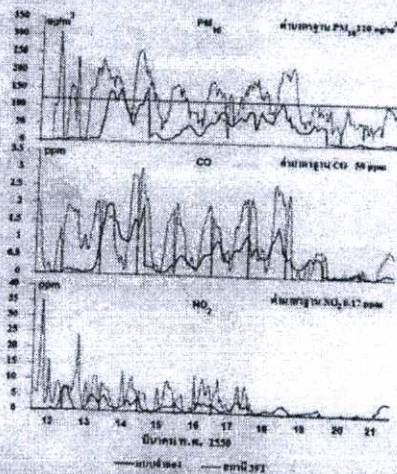
Index[8] ที่ตรวจรังสีที่ถูกสะท้อนกลับจากกลุ่มหมอกควัน
ในชั้นบรรยากาศในรูปที่ 6 พบว่ามีลักษณะสอดคล้องกัน



รูปที่ 5: การกระจายตัวของ PM₁₀ จากแบบจำลอง
วันที่ 15 มีนาคม พ.ศ. 2550 เวลา 7:00น.



รูปที่ 6: แผนภาพดัชนีความเข้มข้นของหมอกควัน
TOMS Aerosol Index วันที่ 15 มีนาคม พ.ศ. 2550



รูปที่ 7: ความเข้มข้น PM₁₀, CO และ NO₂ รายชั่วโมงจาก
แบบจำลอง และที่วัดได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ
39T ระหว่างวันที่ 12-21 มีนาคม พ.ศ.2550

เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศราย
ชั่วโมงของ PM₁₀, CO และ NO₂ ที่จำลองได้กับข้อมูลที่ได
จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ สถานีอนามัยท่าสี่ (39T)
ที่จังหวัดลำปางในระหว่างวันที่ 12-21 มีนาคม พ.ศ. 2550

ดังแสดงในรูปที่ 7 โดยเส้นที่บนแสดงความเข้มข้นของ
มลพิษรายชั่วโมงที่ได้จากแบบจำลองเส้นประแสดงความ
เข้มข้นของมลพิษรายชั่วโมงที่ได้จากจากสถานีตรวจวัด
คุณภาพ พบว่าความเข้มข้นของ PM₁₀, CO และ NO₂ ทั้งที่
จำลองได้ และที่ตรวจวัดได้จากสถานี 39T มีการ
เปลี่ยนแปลงขึ้นลงตลอดช่วงเวลาที่ทำการศึกษา สำหรับ
PM₁₀ พบว่าลักษณะการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นที่ได้
จากแบบจำลอง และจากการตรวจวัดจะมีลักษณะ
คล้ายคลึงกัน ความเข้มข้นที่ได้จากการตรวจวัดมีค่าสูงกว่า
ค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศตามพระราชบัญญัติส่งเสริม
และรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 ในช่วง
ตั้งแต่วันที่ 12-19 มีนาคม พ.ศ. 2550 และลดลงต่ำกว่า
มาตรฐานหลังจากช่วงเวลาดังกล่าว ส่วนความเข้มข้นของ
PM₁₀ ที่จำลองได้จะมีค่าน้อยกว่าค่าที่ได้จากการตรวจวัด
ทำให้พบวันที่ PM₁₀ มีค่าเกินมาตรฐานในวันที่ 13-14
มีนาคม พ.ศ. 2550 เท่านั้น ทั้งนี้เนื่องมาจากในการศึกษามี
พิจารณาการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศที่มาจากไฟป่า
เท่านั้น โดยไม่ได้คำนึงถึงผลจากการปลดปล่อยมลพิษทาง
อากาศจากมนุษย์ และพืช ซึ่งในความเป็นจริงผลของการ
ปลดปล่อยมลพิษดังกล่าวจะทำให้ความเข้มข้นของมลพิษ
โดยรวมที่จำลองได้มีค่าสูงขึ้น อีกทั้งสถานีตรวจวัด
คุณภาพอากาศดังกล่าวอยู่ห่างจากแหล่งกำเนิดหลัก ซึ่งเมื่อ
พิจารณาการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศรายวันดังแสดง
ในรูปที่ 3 จะพบว่าการปลดปล่อย PM₁₀ ปริมาณมากใน
วันที่ 13 มีนาคม พ.ศ. 2550 ทำให้วันที่ความเข้มข้นของ
PM₁₀ มีค่าสูงสุดเดือนมาเป็นวันที่ 14 มีนาคม พ.ศ. 2550
แทน

เมื่อพิจารณาความเข้มข้นของ CO ทั้งที่ได้จากสถานี
ตรวจวัดคุณภาพอากาศ และที่จำลองได้ พบว่ามีค่าต่ำกว่า
มาตรฐานคุณภาพอากาศที่ 30 ppm ตลอดช่วงระยะเวลาที่
ทำการศึกษา แสดงว่าบริเวณพื้นที่ศึกษาไม่ได้ประสบ
ปัญหาคุณภาพอากาศในส่วนของ CO โดยการ
เปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นที่ได้จากแบบจำลอง และ
จากการตรวจวัดจะมีลักษณะคล้ายคลึงกัน ความเข้มข้น
ของ CO ที่จำลองได้จะมีค่าน้อยกว่าค่าที่ได้จากการ

ตรวจวัด ทั้งนี้เนื่องมาจากการ ไม่ได้คำนึงถึงผลจากการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศจากมนุษย์ และพืช

เมื่อพิจารณาความเข้มข้นของ NO_2 พบว่าลักษณะการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นที่ได้จากแบบจำลอง และจากการตรวจวัดจะมีลักษณะเช่นเดียวกับ CO และ PM_{10} พบว่าความเข้มข้นของ NO_2 มีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศก่อนข้างมากในช่วงตั้งแต่วันที่ 12-19 มีนาคม พ.ศ. 2550 และลดลงต่ำกว่ามาตรฐานหลังจากช่วงเวลาดังกล่าว โดยความเข้มข้นของ NO_2 ที่จำลองได้มีค่าต่ำกว่าค่าที่ได้จากการตรวจวัด ทั้งนี้เนื่องมาจากการศึกษาที่พิจารณาการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศที่มาจากไฟป่าเท่านั้น โดยไม่ได้คำนึงถึงผลจากการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศจากมนุษย์ และพืช เช่นเดียวกับลักษณะที่ปรากฏในความเข้มข้นของ PM_{10}

4. สรุป

ในการศึกษานี้ได้ทำแบบจำลองแบบบูรณาการเพื่อใช้ในการศึกษาความเป็นไปของมลพิษทางอากาศจากไฟป่าในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้โดยการนำข้อมูลตำแหน่งของไฟป่าแบบถึงปัจจุบันที่ประมวลได้จากภาพถ่ายดาวเทียมประกอบกับข้อมูลอื่นๆที่จำเป็นเพื่อนำมาประเมินการปลดปล่อยมลพิษ และทำนายความเป็นไปของมลพิษทางอากาศ พบว่าสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถประยุกต์ใช้ และอธิบายความเป็นไปของมลพิษทางอากาศได้เป็นอย่างดี จากกรณีศึกษาในระหว่างวันที่ 12-21 มีนาคม พ.ศ. 2550 พบว่าแบบจำลองสามารถคำนวณการกระจายตัวของสารปลดปล่อยของมลพิษว่าเกิดมากที่สุด ในทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย และทางตอนเหนือของประเทศลาว และผลของแบบจำลองแสดงการกระจายของมลพิษทางอากาศพบว่ามีลักษณะสอดคล้องกับข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจากภาพถ่ายดาวเทียม นอกจากนี้ข้อมูลความเข้มข้นมลพิษรายชั่วโมงที่ได้ยังมีแนวโน้มที่ใกล้เคียงกับข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ แต่อย่างไรก็ตามก็ยังมีปัญหาที่ว่าความเข้มข้นของมลพิษที่ได้จากแบบจำลองมีค่าต่ำกว่าค่าที่ได้จากการตรวจวัด เนื่องจากไม่ได้คำนึงถึงการปลดปล่อยมลพิษทาง

อากาศจากกิจกรรมอื่นๆ ดังนั้นจึงควรมีการแก้ไขโดยการนำปัจจัยดังกล่าวมาพิจารณาด้วย

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับความอนุเคราะห์ข้อมูลที่จำเป็นจากกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม และ The Satellite Services Division of the National Environmental Satellite, Data and Information Service (NESDIS) ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยมีต้นแบบของการบูรณาการแบบจำลอง และคำปรึกษาจาก US Firelab, Department of Agricultural ประเทศสหรัฐอเมริกา

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] เกษมสันต์ มโนมัยทิบุตย์. "ระบบพยากรณ์เตือนภัยปัญหาหมอกควันสำหรับภาคเหนือตอนบน." [Online]. Available: <http://www.aqnis.pcd.go.th/project/northernhaze2551.2551>.
- [2] Collin D. Bevins. "FireLib." [Online]. Available: <http://www.fire.org/index.php?id=74&Itemid=29>. 2009.
- [3] Elizabeth Reinhardt and Robert E. Keane. "FOFEM." [Online]. Available: <http://www.fire.org/index.php?id=57&Itemid=130>. 2009.
- [4] NASA Official: Shannell Cardwell. "MODIS." [Online]. Available: <http://modis.gsfc.nasa.gov>. 2009.
- [5] Jack D. Cohen and John E Deeming. "NFDRS." [Online]. Available: http://www.fs.fed.us/psw/publications/documents/psw_gtr082/psw_gtr082.pdf. 2009.
- [6] Kazutake Kyuma. "Climate of south and Southeast Asia according to Thorntwaite's Classification Scheme." The Southeast Asian Studies, vol. 9, no. 1, June. 1971.
- [7] WORKING GROUP 11. "WRF-Chem." [Online]. Available: <http://ruc.fsl.noaa.gov/wrf/WG11/>. 2009.
- [8] Dr. Jay R. Herman. "TOMS Aerosol Index." [Online]. Available: <http://jwocky.gsfc.nasa.gov/aerosols/acrmovie.html>. 2009.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายวาทีต วฑัฒญไพศาล
วัน เดือน ปีเกิด	20 พฤษภาคม 2526
ที่อยู่	
ประวัติการศึกษา	2547 วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเคมี ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ประสบการณ์การทำงานและผลงานวิจัย	
พ.ศ. 2546	นักศึกษาฝึกงาน ฝ่ายตรวจสอบคุณภาพสินค้า บริษัท น้ำมันพืชไทย จำกัด (มหาชน)
พ.ศ. 2547-2548	พนักงานตำแหน่ง วิศวกรฝ่ายขาย บริษัท ควาร์ค ซิสเต็ม จำกัด
ผลงานทางวิชาการ	
พ.ศ. 2550	วาทีต วฑัฒญไพศาล, รพีพงศ์ สุวรรณวรานุกร และนริศรา ทองบุญชู “การผลิตกระแสไฟฟ้าและพลังงานความร้อนจากระบบเซลล์ เชื้อเพลิงแบบออกไซด์ของแข็ง โดยใช้ก๊าซธรรมชาติ และ ก๊าซ สังเคราะห์ที่ได้จากชีวมวลเป็นแหล่งพลังงาน” วิศวกรรมลาดกระบัง, ปีที่ 24, ฉบับที่ 2., มิถุนายน 2550.
พ.ศ. 2552	วาทีต วฑัฒญไพศาล และ นริศรา ทองบุญชู “แบบจำลองแบบบูรณา การเพื่อศึกษาความเป็นไปของมลพิษทางอากาศจากไฟฟ้าในภูมิภาค เอเชียตะวันออกเฉียงใต้” วิศวกรรมลาดกระบัง, ปีที่ 26, ฉบับที่ 2., มิถุนายน 2552.