



โครงการ แบบจำลองมลพิษทางอากาศจากการเผาชีวมวลในพื้นที่แถบลุ่มแม่น้ำโขงตอนล่าง
(ประเทศไทย กัมพูชา ลาว และเวียดนาม)

โดย ดร.นริศรา ทองบุญชู

22 สิงหาคม 2554

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ แบบจำลองมลพิษทางอากาศจากการเผาชีวมวลในพื้นที่แถบลุ่มแม่น้ำโขงตอนล่าง
(ประเทศไทย กัมพูชา ลาว และเวียดนาม)

คณะผู้วิจัย

สังกัด

ดร.นริศรา ทองบุญชู สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

สนับสนุนโดยสำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกอ. และ สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนองานวิจัยแบบจำลองมลพิษทางอากาศจากการเผาชีวมวลในพื้นที่แถบลุ่มแม่น้ำโขงตอนล่าง(ประเทศไทย กัมพูชา ลาว และเวียดนาม) เพื่อศึกษาการแพร่กระจายของมลพิษทางอากาศอันเกิดจากการเผาชีวมวลในกลุ่มประเทศในแถบลุ่มแม่น้ำโขงตอนล่าง และศึกษาผลกระทบของมลพิษที่มีต่อคุณภาพอากาศ โดยทำบัญชีปลดปล่อยมลพิษทางอากาศจากกิจกรรมของมนุษย์เช่น จากภาคขนส่ง และภาคอุตสาหกรรมจากข้อมูลกิจกรรม และปัจจัยการปลดปล่อย ในขณะที่การประเมินการปลดปล่อยจากการเผาชีวมวลทำโดยใช้แบบจำลองแบบบูรณาการที่พัฒนามาจากระบบ WRF-SD ที่พัฒนาโดย Missoula Fire Sciences Laboratory, Missoula, Montana, USA โดยระบบจะนำข้อมูลตำแหน่งของไฟป่าที่ประมวลได้จากภาพถ่ายดาวเทียม ร่วมกับ ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา และข้อมูลอื่นๆ เพื่อแบบจำลองพฤติกรรมของไฟป่า และประเมินการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศ มลพิษที่ปลดปล่อยจากการเผาชีวมวลจะถูกนำมาใช้ในการจำลองคุณภาพอากาศโดยโปรแกรม WRF-Chem ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าภาคขนส่งมีการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศมากกว่าภาคอุตสาหกรรมแทบทั้งสิ้น โดยในปี 2548 ภาคขนส่งในไทรเจนออกไซด์ถูกปลดปล่อยมากที่สุดถึง 7.7 ล้านตันต่อปี ตามด้วยคาร์บอนมอนอกไซด์ สารประกอบไฮโดรคาร์บอน ฟูละออง และซัลเฟอร์ออกไซด์ ที่ 4.3 2.0 0.3 และ 0.2 ล้านตัน ตามลำดับ ในขณะที่ภาคอุตสาหกรรมปลดปล่อยที่อัตรา 0.3 0.105 0.016 0.66 และ 0.22 ล้านตันต่อปีตามลำดับ เหตุการณ์ไฟป่าที่เกิดขึ้นในตอนบนของภูมิภาคในวันที่ 12 ถึง 21 มีนาคม พ.ศ. 2550 ถูกนำมาใช้เป็นกรณีศึกษา จากข้อมูลของตำแหน่งจุดไฟพบว่าไฟป่าเกิดขึ้นมากใกล้บริเวณพรมแดนประเทศไทย-พม่า ไทย-ลาว และตอนเหนือของเวียดนาม มีปริมาณการปลดปล่อย CO₂ มากที่สุดประมาณ 9.1 ล้านตัน และที่ ประมาณ 6.9 0.75 และ 0.11 ล้านตัน สำหรับ CO PM₁₀ และ NO₂ ตามลำดับในช่วงเวลาเพียง 10 วัน ผลของแบบจำลอง แสดงให้เห็นว่าบริเวณที่มีความเข้มข้นของมลพิษสูงสุดอยู่ในบริเวณตอนเหนือของประเทศลาว และเวียดนาม บริเวณที่มีการปลดปล่อยไม่มากนัก เนื่องมาจากมลพิษทางอากาศที่หนาแน่นบริเวณตะวันออกของประเทศพม่าแพร่กระจายเข้าสู่บริเวณดังกล่าว จากการเปรียบเทียบข้อมูลจากแบบจำลองกับข้อมูลจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศพบว่า ลักษณะการเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลาของข้อมูลทั้งสองมีความคล้ายคลึงกัน แต่ค่าที่ได้จากแบบจำลองส่วนใหญ่มีค่าต่ำกว่าค่าที่ได้จากการตรวจวัด จะเห็นได้ว่าแบบจำลองแบบบูรณาการที่ได้สร้างขึ้นเป็นแบบจำลองที่มีประสิทธิภาพ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการเฝ้าระวังปัญหาหมอกควันจากไฟป่าในระดับภูมิภาคได้จริง

Abstract

This work presented a research on modeling of air pollutants from biomass burning activities in the Lower Mekong River Basin Sub-Region(Thailand, Cambodia, Laos, and Vietnam). The aims of this work were to study the dispersion of air pollutants released from biomass burning and their effects on air quality. The emission inventories of air pollutants from other anthropogenic source such as transport and industrial sector were prepared by using activities data and emission factors. While emissions of biomass burning were estimated from the integrated model that developed from WRF-SD system of the Missoula Fire Sciences Laboratory, Missoula, Montana, USA. This modeling system retrieved the processed near real-time fire location from satellite image, meteorological data, and other data to model fire behavior and estimated air emissions. The emissions from biomass burning and other activities were used for air quality modeling by using WRF-Chem model. The results from this study revealed that transport sector emitted air pollutants more than of industrial sector. In 2005, transport sector annually emitted nitrogen oxides, carbon monoxide, hydrocarbons, particulate matter, and sulfur oxides 7.7, 4.3, 2.0, 0.3 and 0.2 million tons, respectively. While industrial sector emitted at 0.3, 0.105, 0.016, 0.66 and 0.22 million tons, respectively. The large forest fire episode in the upper part of the region during 12-21 March, 2007 was selected as a case study. The hotspot information shows clusters of forest fire near Thailand-Myanmar border, Thailand- Laos's border and the northern Vietnam. 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 during only 10 days period. 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 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 values of modeling data were mostly lower than the monitoring. 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

งานวิจัยฉบับนี้สามารถเสร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความช่วยเหลือ และความร่วมมือจากหลายๆท่าน และหลายๆหน่วยงาน

ขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษาและสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยสำหรับทุนวิจัย

ขอบคุณ Prof. Gregory R. Carmichael อดีตอาจารย์ที่ปรึกษา และ Mentor สำหรับงานวิจัย สำหรับทุกสิ่งที่พรีสอน และแนะนำตลอดมา รศ.ดร.สิรินทรเทพ เต๋อประยูร Mentor ที่ให้ความเมตตาเสมอมา

ขอบคุณ Dr. Wei Min Hao ผู้ได้รับรางวัลโนเบลสาขาสันติภาพในปี2007 , Mr. Shawn P Urbanski และ เจ้าหน้าที่ทุกคนของ Rocky Mountain Research Station, Missoula Fire Sciences Laboratory, Forest Service, U.S. Department of Agricultural ที่ให้ออกาสผู้วิจัยเยี่ยมชมห้องวิจัย และความรู้เกี่ยวกับการศึกษาไฟป่า รวมทั้งอนุญาตให้นำโปรแกรม WRF-SD มาปรับปรุงเพื่อประยุกต์ใช้กับงานวิจัย

ขอบคุณ Dr. Davida Streett, Mr. Mark Ruminski และ เจ้าหน้าที่ทุกคนที่ The Satellite Services, Division of the National Environmental Satellite Data and Information Service (NESDIS), National Oceanic and Atmospheric Administration, US Department of Commerce ที่ให้ออกาสผู้วิจัยทำวิจัยในส่วนของการใช้ภาพถ่ายดาวเทียมในการตรวจจับไฟป่าและความช่วยเหลือในประสานงานเพื่อขอข้อมูล

ขอบคุณ Prof. Christopher O. Justice, Head of Dept of Geography, University of Maryland, Ms. Minnie Wong แห่งโครงการ Fire Information for Resource Management System(FIRMS) สำหรับข้อมูลการไฟป่า

ขอบคุณ Dr. David Streets แห่ง Argonne National Laboratory, Argonne, Illinois,USA สำหรับข้อมูลการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศในเอเชีย

ขอบคุณดร.วนิดา สุรพิพิธ และเจ้าหน้าที่ของกรมควบคุมมลพิษสำหรับข้อมูลการตรวจวัดคุณภาพอากาศ และปัจจัยการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศ

ขอบคุณ นายวาจิด วาญญูไพศาล นักศึกษาปริญญาโท และนักศึกษาปริญญาตรีในที่ปรึกษาทุกคนที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ ที่ช่วยกันทำงานอย่างแข็งขันแม้ในยามที่ผู้วิจัยป่วยหนัก

สุดท้ายขอขอบคุณบิดา มารดา ญาติๆ และเพื่อนๆ ทุกคนที่คอยดูแล ให้กำลังใจ ที่คอยช่วยฟื้นฟูสุขภาพให้กับผู้วิจัยให้สามารถกลับมาเดินได้อย่างปกติ

นริศรา ทองบุญชู

22 สิงหาคม 2554

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	IX
คำอธิบายศัพท์.....	XIV
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญ และที่มาของปัญหา.....	1
1.2 จุดประสงค์.....	2
1.6 ระเบียบวิธีวิจัย.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎี.....	4
2.1 การเผาในที่โล่ง.....	4
2.1.1 ประเภทของการเผาในที่โล่ง.....	4
2.2 นิยามของไฟฟ้า ชนิดของไฟฟ้า และสาเหตุการเกิดไฟฟ้า.....	6
2.3 พฤติกรรมของไฟฟ้า.....	8
2.3.1 ลักษณะเชื้อเพลิง.....	9
2.3.1 ลักษณะอากาศ.....	10
2.3.1 ลักษณะภูมิประเทศ.....	11
2.4 การตรวจจับไฟฟ้าโดยใช้เทคโนโลยีภาพถ่ายดาวเทียม.....	12
2.4.1 หลักการของการตรวจวัดไฟฟ้าด้วยเซนเซอร์บนดาวเทียม.....	13
2.4.2 เซนเซอร์ และอัลกอริทึมสำหรับการตรวจวัดไฟฟ้า.....	14
2.5 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับมลพิษทางอากาศ.....	16
2.5.1 แหล่งกำเนิดของมลพิษ.....	16
2.5.2 ประเภทของสารมลพิษอากาศ.....	16
2.6 การทำบัญชีการปลดปล่อยมลพิษ.....	18
2.7 การประเมินการปลดปล่อยมลพิษจากไฟฟ้าด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	22

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.7.1 ระบบจัดระดับความอันตรายของไฟฟ้า.....	25
2.7.2 แบบจำลองพฤติกรรมของไฟฟ้า.....	26
2.7.3 แบบจำลองการปลดปล่อยมลพิษจากไฟฟ้า.....	27
2.7.4 สมการการยกตัวของมลพิษทางอากาศ.....	28
2.8 แบบจำลองทางอุณหภูมิตามวิทยา.....	29
2.5.1 แบบจำลอง Weather Research and Forecasting (WRF).....	31
2.9 แบบจำลองคุณภาพอากาศ.....	33
2.9.1 แบบจำลองคุณภาพอากาศ WRF/Chem.....	34
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	36
บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	39
3.1 การประเมินการปลดปล่อยจากกิจกรรมต่างๆ.....	39
3.2 การบูรณาการแบบจำลอง.....	39
3.2.1 ข้อมูลตำแหน่งไฟฟ้าจาก MODIS.....	41
3.2.2 โปรแกรมจัดการข้อมูลไฟฟ้า.....	41
3.2.3 ระบบจัดความเป็นอันตรายของไฟฟ้า NFDRS.....	44
3.2.4 แบบจำลองพฤติกรรมของไฟฟ้า FireLib.....	47
3.2.5 แบบจำลองการประเมินการปลดปล่อยมลพิษ FOFEM.....	50
3.2.6 สมการการยกตัวของมลพิษทางอากาศ Briggs plume rise.....	51
3.2.7 โปรแกรมจัดการข้อมูลการปลดปล่อยมลพิษ.....	52
3.2.8 แบบจำลองคุณภาพอากาศ WRF-Chem.....	54
บทที่ 4 ผลการศึกษา.....	59
4.1 ผลการประเมินการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศจากภาคขนส่ง.....	59
4.1.1 ลักษณะของการปลดปล่อยออกไซด์ของไนโตรเจน.....	60
4.1.2 ลักษณะของการปลดปล่อยซัลเฟอร์ไดออกไซด์.....	62
4.1.3 ลักษณะของการปลดปล่อยสารคาร์บอนมอนอกไซด์.....	63
4.1.4 ลักษณะของการปลดปล่อยอนุภาคฝุ่นละออง.....	64
4.1.5 ลักษณะของการปลดปล่อยสารไฮโดรคาร์บอน.....	65

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2 ผลการประเมินการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศจากภาคอุตสาหกรรม.....	68
4.2.1 การพิจารณาการปลดปล่อยแยกตามสาขาทางอุตสาหกรรม.....	68
4.2.2 การพิจารณาการปลดปล่อยแยกตามภูมิภาค.....	69
4.2.3 การเปรียบเทียบผลการประเมินมลพิษกับแหล่งข้อมูลอื่นๆ.....	71
4.3 ข้อมูลจากเหตุการณ์ไฟฟ้าที่ใช้ในกรณีศึกษา.....	74
4.4 ลักษณะของการปลดปล่อยมลพิษจากไฟฟ้า.....	77
4.4.1 ลักษณะการปลดปล่อยมลพิษจากการเผาในที่โล่งตามพื้นที่.....	78
4.4.2 ลักษณะการปลดปล่อยมลพิษตามแนวระดับ.....	82
4.5 การแพร่กระจายของมลพิษทางอากาศ.....	84
4.5.1 การแพร่กระจายของ PM ₁₀	84
4.5.2 การแพร่กระจายของ CO.....	91
4.5.3 การแพร่กระจายของ NO ₂	94
4.6 การประเมินสมรรถนะของการทำนายความเป็นไปของมลพิษทางอากาศ.....	99
4.6.1 การเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของมลพิษรายชั่วโมง.....	100
4.6.2 ลักษณะการกระจายของข้อมูล (Scatter plot).....	107
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	119
5.1 สรุปผลการประเมินปริมาณมลพิษทางอากาศจากภาคขนส่ง.....	119
5.1.1 สรุปผลการประเมินปริมาณสารมลพิษในประเทศไทยจำแนกตามประเภทของรถยนต์.....	121
5.1.2 สรุปผลการเปรียบเทียบผลการประเมินงานวิจัย.....	122
5.2 สรุปผลของบัญชีปลดปล่อยมลพิษทางอากาศจากภาคอุตสาหกรรม.....	122
5.3 สรุปผลของการแบบจำลองการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศจากไฟฟ้าและแบบจำลองคุณภาพอากาศ.....	123
5.3.1 ข้อมูลทั่วไปของไฟฟ้า.....	123
5.3.2 ลักษณะของการปลดปล่อยมลพิษจากไฟฟ้า.....	123
5.3.3 การแพร่กระจายของมลพิษทางอากาศ.....	124
5.3.4 การประเมินสมรรถนะของการทำนายความเป็นไปของมลพิษทางอากาศ.....	124

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.3.5 การเปรียบเทียบการปลดปล่อยมลพิษกับภูมิภาคอื่นๆ.....	125
5.4 ข้อเสนอแนะ.....	125
5.4.1 ข้อเสนอแนะในส่วนการประเมินมลพิษจากภาคขนส่ง และอุตสาหกรรม	125
5.4.2 ข้อเสนอแนะในส่วนการทำแบบจำลองประเมินการปลดปล่อยจากไฟฟ้า และ แบบจำลองคุณภาพอากาศ.....	125
เอกสารอ้างอิง.....	127
ภาคผนวก	133
ภาคผนวก ก. รายละเอียดการคำนวณของแต่ละตัวแปรในระบบ NFDRS	101
ภาคผนวก ค. ผลงานทางวิชาการ	103

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 รหัสประเภทของสิ่งปกคลุมดิน (Land cover) ที่ได้จากการประมวลภาพถ่ายดาวเทียมจากเซนเซอร์ AVHRR ในการสำรวจทั่วโลกปี พ.ศ. 2541	43
3.2 การจัดประเภทของภูมิอากาศตามระบบ NFDRS ด้วยระบบ Köppen-Geiger	46
3.3 การแบ่งประเภทป่าไม้ตามลักษณะของเชื้อเพลิงของ FCCS Fire Behavior Fuel model	48
3.4 การเปรียบเทียบการจัดลักษณะสิ่งปกคลุมดินจาก AVHRR ให้เป็นไปตามระบบ FCCS Fire Behavior Fuel model	49
3.5 ค่าปัจจัยการปลดปล่อยมลพิษเฉลี่ยแบบตามประเภทของเชื้อเพลิงที่ใช้ในงานวิจัย	51
3.6 รายละเอียดความสูงของกริดตามแนวระดับ	56
3.7 พารามิเตอร์ที่ใช้ในแบบจำลอง WRF-Chem	57
4.1 ปริมาณสารมลพิษที่ถูกปลดปล่อยในปี พ.ศ. 2548	60
4.2 เปรียบเทียบปริมาณสารมลพิษที่ปลดปล่อยจากกิจกรรมการขนส่ง	67
4.3 ปริมาณการปลดปล่อยมลพิษแยกตามประเภทอุตสาหกรรม	69
4.4 ปริมาณการปลดปล่อยมลพิษแยกตามภูมิภาค	70
4.5 การเปรียบเทียบปริมาณการปลดปล่อยมลพิษรวมทั้งประเทศที่ประเมินได้กับข้อมูลของงานวิจัยต่างๆ (กิโลตันต่อปี)	73

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ตัวอย่างไฟผิวดิน.....	7
2.2 ตัวอย่างไฟเรือนยอด.....	8
2.3 แผนภาพวิธีการวัดความยาวเปลวไฟ.....	9
2.4 ไฟที่ลุกลามขึ้นไปตามเขาที่มีความลาดชัน.....	12
2.5 ระบบการรับรู้ในระยะไกล.....	13
2.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเปล่งรังสีของวัตถุดำ กับความยาวคลื่น.....	14
2.7 เปรียบเทียบวิธีการประเมินปริมาณการปลดปล่อยมลพิษ.....	19
2.8 กระบวนการในการประเมินการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศจากไฟป่าด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	24
2.9 แผนภาพผลลัพธ์การจัดอันดับความอันตรายของไฟป่ารายวันด้วยระบบ NFDRS ของวันที่ 1 เมษายน พ.ศ. 2552 สีแดงในแผนภาพหมายถึงพื้นที่ที่ถูกจัดอันดับว่ามีความอันตรายของไฟป่ามากที่สุด สีเขียวหมายถึงพื้นที่ที่ถูกจัดอันดับว่ามีความอันตรายของไฟป่าน้อย เป็นต้น.....	25
2.10 รูปร่างของไฟป่าที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อความเร็วลมและ ความชื้นของพื้นที่เพิ่มขึ้น.....	27
2.11 การยกตัวของมลพิษทางอากาศจากปล่องควันไฟ.....	28
2.12 การเปรียบเทียบการกระจายตัวของมลพิษทางอากาศในกรณีที่กำลังถึงผลของการยกตัวของมลพิษทางอากาศ และไม่คำนึงถึงผลของการยกตัวของมลพิษทางอากาศ.....	29
2.13 กระบวนการในการจำลองบรรยากาศด้วยแบบจำลอง WRF.....	28
2.14 สถานะขอบเขตของสารเคมีในสถานะก๊าซในแนวระดับของ SO ₂ , NO _x , NO ₂ , และ NO ที่ความสูงต่างๆ.....	35
2.15 กระบวนการทั่วไปของการทำนายคุณภาพอากาศด้วยแบบจำลอง WRF-Chem.....	36
3.1 แผนภาพของโครงสร้างการบูรณาการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	40
3.2 ขอบเขตพื้นที่ศึกษาในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้.....	42
3.3 ข้อมูลตำแหน่งไฟป่าจาก MODIS ที่ความเชื่อมั่นต่างๆในปี พ.ศ. 2545 เปรียบเทียบระหว่างข้อมูลทั่วโลก และภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้.....	37

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.4	การกระจายตัวของประเภทของสิ่งปกคลุมดิน (Land cover) ในขอบเขตพื้นที่ศึกษา.....44
3.5	แผนภาพการจัดประเภทภูมิอากาศตามระบบ Köppen-Geiger.....41
3.6	การกระจายตัวของลักษณะของเชื้อเพลิงตาม FCCS Fire Behavior Fuel model ที่ได้จากการประมาณโดยใช้ข้อมูลสิ่งปกคลุมดิน ในขอบเขตพื้นที่ศึกษา.....50
3.7	แผนภาพการกระจายตัวของการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศ SO ₂ , CO, NO ₂ และ PM ₁₀ จากกิจกรรมของมนุษย์จากโครงการ INTEX-B ในปี พ.ศ. 2549 ในหน่วย ตัน/ปี/กริด.....53
3.8	อัตราการผลิตปล่อยมลพิษรายชั่วโมงของมลพิษทางอากาศ PM ₁₀ จากการไฟฟ้า 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}$54
4.1	สัดส่วนของไนโตรเจนออกไซด์ที่ถูกปลดปล่อยโดยจำแนกตามประเภทของรถยนต์ และพื้นที่แหล่งกำเนิดแต่ละภูมิภาครวมทั้งกรุงเทพมหานคร.....61
4.2	สัดส่วนของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ถูกปลดปล่อยโดยจำแนกตามประเภทของรถยนต์และพื้นที่แหล่งกำเนิดแต่ละภูมิภาครวมทั้งกรุงเทพมหานคร.....62
4.3	สัดส่วนของคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ถูกปลดปล่อยโดยจำแนกตามประเภทของรถยนต์และพื้นที่แหล่งกำเนิดแต่ละภูมิภาครวมทั้งกรุงเทพมหานคร.....64
4.4	สัดส่วนของฝุ่นละอองที่ถูกปลดปล่อยโดยจำแนกตามประเภทของรถยนต์และพื้นที่แหล่งกำเนิดแต่ละภูมิภาครวมทั้งกรุงเทพมหานคร.....65
4.5	สัดส่วนของ HC ที่ถูกปลดปล่อยโดยจำแนกตามประเภทของรถยนต์และพื้นที่แหล่งกำเนิดแต่ละภูมิภาครวมทั้งกรุงเทพมหานคร.....73
4.6	แผนภาพการกระจายตัวของตำแหน่งไฟฟ้าในพื้นที่ต่างๆ ตั้งแต่วันที่ 12-21 มีนาคม พ.ศ. 255074
4.7	แผนภาพวงกลมแสดงสัดส่วนจำนวนตำแหน่งไฟฟ้าที่ตรวจในประเทศต่างๆ.....75
4.8	แผนภาพวงกลมของสัดส่วนจำนวนตำแหน่งไฟฟ้าที่ตรวจพบแยกตามประเภทของสิ่งปกคลุมดิน.....76
4.9	จำนวนข้อมูลตำแหน่งไฟฟ้ารายวันที่แยกตามระดับความเชื่อมั่นของวันต่างๆ.....76
4.10	การกระจายตัวของจำนวนตำแหน่งไฟฟ้าที่ MODIS ตรวจจับได้ในเวลาต่างๆของวัน.....77
4.11	แผนภาพวงกลมแสดงสัดส่วนของมลพิษทางอากาศที่มาจากแหล่งกำเนิดต่างๆ.....78

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.12 การกระจายของปริมาณการปลดปล่อย CO ₂ ภาพรวมระหว่างวันที่ตั้งแต่วันที่ 12-21 มีนาคม พ.ศ. 2550.....	79
4.13 การกระจายของปริมาณการปลดปล่อย CO ภาพรวมระหว่างวันที่ตั้งแต่วันที่ 12-21 มีนาคม พ.ศ. 2550.....	79
4.14 การกระจายของปริมาณการปลดปล่อย PM ₁₀ ภาพรวมระหว่างวันที่ตั้งแต่วันที่ 12-21 มีนาคม พ.ศ. 2550.....	79
4.15 การกระจายของปริมาณการปลดปล่อย NO ₂ ภาพรวมระหว่างวันที่ตั้งแต่วันที่ 12-21 มีนาคม พ.ศ. 2550.....	80
4.16 จำนวนไฟฟ้า และปริมาณการปลดปล่อยมลพิษรายวัน.....	81
4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลสภาพอากาศอุณหภูมิสูงสุด และความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุดรายวัน ที่สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ สถานีศาลากลางเชียงใหม่.....	81
4.18 ตัวอย่างอัตราการปลดปล่อย CO ที่ระดับความสูงต่างๆ บริเวณตอนบนของประเทศไทย ในวันที่ 15 มีนาคม พ.ศ. 2550.....	83
4.19 ความสูงเฉลี่ยของกลุ่มมลพิษยกตัวในพื้นที่ศึกษา ในวันที่ 12 มีนาคม พ.ศ. 2550.....	83
4.20 การกระจายของปริมาณการปลดปล่อย PM ₁₀ จากไฟฟ้าที่เวลาต่างๆ ของวันที่ 15 มีนาคม พ.ศ. 2550.....	86
4.21 แผนภาพแสดงการกระจายตัวของความเข้มข้นของ PM10 ซ้อนทับกับ ทิศทางและความเร็วลม ที่เวลาต่างๆ ของวันที่ 15 มีนาคม พ.ศ. 2550.....	87
4.22 แผนภาพแสดงการกระจายตัวของความเข้มข้นของ PM ₁₀ ซ้อนทับกับ ทิศทางและความเร็วลม ที่เวลาต่างๆ ของวันที่ 15 มีนาคม พ.ศ. 2550 กรณีใช้การปลดปล่อยจากไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว.....	88
4.23 แผนภาพแสดงการกระจายตัวของความเข้มข้นของ PM10 ซ้อนทับกับ ทิศทางและความเร็วลม ที่เวลา 6:00 น. ของวันที่ 16 มีนาคม พ.ศ. 2550.....	89
4.24 ตัวอย่างแผนภาพ TOMS Aerosol Index (ซ้าย) เปรียบเทียบกับความเข้มข้นของ PM ₁₀ ที่จำลองได้จากแบบจำลอง WRF-Chem(ขวา) ในวันที่ 13-15 มีนาคม พ.ศ. 2550.....	90
4.25 การกระจายของอัตราการปลดปล่อย CO จากไฟฟ้าที่เวลาต่างๆ ของวันที่ 15 มีนาคม พ.ศ. 2550.....	92
4.26 ลักษณะการแพร่กระจายของ CO ทิศทาง และความเร็วลม ของวันที่ 15 มีนาคม พ.ศ. 2550 ที่เวลาต่างๆ.....	93

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.27 ลักษณะการแพร่กระจายของ CO ทิศทาง และความเร็วลม ของวันที่ 15 มีนาคม พ.ศ. 2550 ที่เวลาต่างๆ กรณีใช้การปลดปล่อยจากไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว.....	93
4.28 แผนภาพการกระจายตัวของ CO ทิศทาง และความเร็วลมที่จำลองได้จากแบบจำลอง WRF-Chem ในวันที่ 16 มีนาคม พ.ศ. 2550 เวลา 6:00 น.....	94
4.29 การกระจายของอัตราการปลดปล่อย NO ₂ จากไฟฟ้าที่เวลาต่างๆ ของวันที่ 15 มีนาคม พ.ศ. 2550.....	96
4.30 ลักษณะการแพร่กระจายของ NO ₂ ทิศทาง และความเร็วลม ของวันที่ 15 มีนาคม พ.ศ. 2550 ที่เวลาต่างๆ.....	97
4.31 แผนภาพการกระจายตัวของ NO ₂ ทิศทาง และความเร็วลมที่จำลองได้จากแบบจำลอง WRF-Chem ในวันที่ 16 มีนาคม พ.ศ. 2550 เวลา 6:00 น.....	97
4.32 ลักษณะการแพร่กระจายของ NO ₂ ทิศทาง และความเร็วลมที่เวลาต่างๆของวันที่ 15 มีนาคม พ.ศ. 2550 กรณีไม่รวมการปลดปล่อยจากกิจกรรมของมนุษย์.....	98
4.33 ปริมาณความเข้มข้นของ NO ₂ , NO และ O ₃ ที่เวลาต่างๆ บริเวณจังหวัดลำปาง ตามที่จำลองได้โดย WRF/Chem.....	99
4.34 แผนที่ตำแหน่งของสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ 35T-41T.....	100
4.35 ความเข้มข้น CO PM ₁₀ และ NO ₂ รายชั่วโมงจากแบบจำลอง และที่วัดได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ สถานีอนามัยท่าสี่(39T) ระหว่างวันที่ 12-21 มีนาคม พ.ศ.2550.....	102
4.36 ความเข้มข้น CO PM ₁₀ และ NO ₂ รายชั่วโมงจากแบบจำลอง และที่วัดได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศสถานีศาลากลาง จ.เชียงใหม่ (35T) ระหว่างวันที่ 12-21 มีนาคม พ.ศ.2550.....	103
4.37 ตำแหน่งของสถานีอนามัยท่าสี่ (39T) และสถานีศาลากลาง จ.เชียงใหม่ (35T) ซ้อนทับกับความหนาแน่นของจำนวนประชากร.....	104
4.38 ตำแหน่งของสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศทั้ง 7 สถานี ซ้อนทับกับความหนาแน่นของจำนวนประชากร.....	109
4.39 การกระจายของข้อมูลความเข้มข้นรายชั่วโมงของ PM ₁₀ ที่จำลองได้ และที่ตรวจวัดได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ ในกลุ่มที่ตั้งอยู่ในเขตชุมชนหนาแน่น.....	111
4.40 การกระจายของข้อมูลความเข้มข้นรายชั่วโมงของ PM ₁₀ ที่จำลองได้ และที่ตรวจวัดได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ ในกลุ่มที่ตั้งอยู่ในเขตชุมชนเบาบาง.....	112

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.41 การกระจายของข้อมูลความเข้มข้นรายชั่วโมงของ CO ที่จำลองได้ และที่ตรวจวัดได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ ในกลุ่มที่ตั้งอยู่ในเขตชุมชนหนาแน่น.....	114
4.42 การกระจายของข้อมูลความเข้มข้นรายชั่วโมงของ CO ที่จำลองได้ และที่ตรวจวัดได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ ในกลุ่มที่ตั้งอยู่ในเขตชุมชนเบาบาง.....	115
4.43 การกระจายของข้อมูลความเข้มข้นรายชั่วโมงของ NO ₂ ที่จำลองได้ และที่ตรวจวัดได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ ในกลุ่มที่ตั้งอยู่ในเขตชุมชนหนาแน่น.....	117
4.44 การกระจายของข้อมูลความเข้มข้นรายชั่วโมงของ NO ₂ ที่จำลองได้ และที่ตรวจวัดได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ ในกลุ่มที่ตั้งอยู่ในเขตชุมชนเบาบาง.....	118

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 ใช้สำหรับการทำนายปรากฏการณ์ต่าง ๆ บนชั้นบรรยากาศ)
WPS	WRF Preprocessing System (โปรแกรมสำหรับเตรียมข้อมูลให้กับแบบจำลอง WRF)
WRFCchem	Weather Research and Forecasting-Chem (แบบจำลองคุณภาพอากาศที่พัฒนาต่อมาจาก WRF สำหรับการทำนายลักษณะการแพร่กระจายของมลพิษทางอากาศ)
TOMS Aerosol Index	ดัชนีชี้วัดปริมาณฝุ่นละอองในชั้นบรรยากาศ ได้จากการแปรภาพถ่ายดาวเทียม

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญ และที่มาของปัญหา

การเผาชีวมวลในแถบประเทศเอเชียตะวันออกเฉียงใต้เป็นกิจกรรมมักพบเห็นกันทั่วไป ซึ่งส่วนใหญ่มีสาเหตุมาจากการกระทำมนุษย์ อาทิ เผาขยะและเศษวัสดุจากครัวเรือน เผาตอซัง หลังจากเก็บเกี่ยวผลิตผลทางการเกษตร และไฟฟ้า แต่กิจกรรมที่ปราศจากการควบคุมเหล่านี้ทำให้เกิดความเสียหายต่อเศรษฐกิจ และสังคมมากมาย อาทิ ทำให้คุณภาพอากาศเสื่อมลง และสุขภาพประชาชนที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ได้รับผลกระทบเกิดอาการเจ็บป่วย ทักษะวิสัยลดลงจนก่อให้เกิดอันตรายต่อการสัญจรทางบก ทางน้ำ และ ทางอากาศ ทำให้นักท่องเที่ยวไม่มาท่องเที่ยวจนประสบปัญหาทางด้านเศรษฐกิจ ซึ่งปัญหาเหล่านี้ไม่ได้เกิดเฉพาะบริเวณใกล้เคียงกับบริเวณที่เกิดไฟฟ้า แต่ยังส่งผลกระทบถึงบริเวณอื่นๆ ที่อยู่ไกลออกไปเนื่องจากควันจากไฟฟ้าสามารถแพร่กระจายข้ามพรมแดนส่งผลกระทบต่อพื้นที่บริเวณอื่นๆ ดังตัวอย่างที่เกิดในประเทศอินโดนีเซีย ซึ่งส่งผลกระทบต่อคุณภาพอากาศต่อประเทศเพื่อนบ้าน อาทิ สิงคโปร์ มาเลเซีย และทางภาคใต้ของประเทศไทย ในประเทศเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ตอนบน(ประเทศไทย พม่า ลาว กัมพูชา และเวียดนาม) พบว่ามีการเผาชีวมวลเกิดขึ้นบ่อยครั้งในช่วงต่อฤดูหนาวและช่วงฤดูแล้ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งไฟฟ้าที่มักเกิดขึ้นมากตามรอยตะเข็บชายแดนของประเทศ

จากข้อมูลจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษที่สถานีที่ตั้งอยู่ในภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย พบว่ามลพิษอากาศต่างๆ อาทิ คาร์บอนมอนนอกไซด์ โอโซน และฝุ่นละออง ในช่วงวันที่มีการรายงานว่ามีไฟฟ้าเกิดขึ้นมีค่าสูงขึ้นผิดปกติ โดยเฉพาะปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน มีค่าสูงเกินกว่าค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศหลายเท่า นอกจากนี้ข้อมูลจากการตรวจคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของมวลอากาศโดยใช้เครื่องบิน จากโครงการ TRANsport & Chemical Evolution over the Pacific (TRACE-P) ขององค์การบริหารการบินและอวกาศแห่งชาติ ของประเทศสหรัฐอเมริกา (NASA) ที่บินสำรวจอากาศบริเวณเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ในช่วงเดือนมีนาคมถึงเมษายนปีพ.ศ. 2544 นั้นได้ตรวจพบมวลอากาศอันเกิดจากไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในประเทศเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ได้หลายครั้งขณะทำการบินสำรวจ โดยเฉพาะ

อย่างยิ่งขณะทำการบินสำรวจโดยใช้เครื่องบินแบบ P-3 ในวันที่ 9 มีนาคม พ.ศ. 2544 โดยบินเป็นเส้นตรงบริเวณทะเลเหนือประเทศฟิลิปปินส์(ตามเส้นรุ้ง 20.002° N ตั้งแต่เส้นแวง 122.45-124.5 E) มีการตรวจพบการสูงขึ้นผิดปกติของไอโซน และคาร์บอนมอนอกไซด์ ที่เพดานการบิน 3 กิโลเมตร เหนือระดับน้ำทะเล ซึ่งสามารถยืนยันได้ว่ามวลอากาศดังกล่าวมีที่มาจากไฟป่าที่เกิดขึ้นในบริเวณสามเหลี่ยมรอยต่อของประเทศไทย ลาว และพม่าหรือสามเหลี่ยมทองคำ โดยการวิเคราะห์จากปริมาณอนุภาคโพแทสเซียม ซัลเฟต แอมโมเนียม ในละอองฝุ่นขนาดเล็ก และการศึกษาเพิ่มเติมโดยนักวิจัยหลายคน อาทิ Thongboonchoo(2005)[1] และ Tang, et.al (2003)[2] เป็นต้น โดยการใช้แบบจำลองคุณภาพอากาศและ การใช้การวิเคราะห์เส้นทางการเคลื่อนย้ายของมวลอากาศ(Trajectory Analysis) จะเห็นได้ว่าปัญหาเกี่ยวกับมลพิษทางอากาศอันเกิดจากการเผาชีวมวลไม่ได้ส่งผลกระทบต่อประเทศที่ปลดปล่อยมลพิษเท่านั้น แต่ยังผลกระทบต่อประเทศเพื่อนบ้านและภูมิภาคใกล้เคียง ทำให้การวิจัยและหาข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับความเป็นไปและพฤติกรรมของมลพิษทางอากาศมีความจำเป็นอย่างยิ่ง จากงานวิจัยเกี่ยวกับการประเมินการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศอันเกิดจากการเผาชีวมวลในประเทศในบริเวณลุ่มแม่น้ำโขงตอนล่าง (ไทย ลาว กัมพูชา และเวียดนาม) โดย ผศ.ดร.สาวิตรี การีเวทย์ แห่งบัณฑิตวิทยาลัยร่วมทางพลังงานและสิ่งแวดล้อม และคณะ ที่ได้มีการสำรวจ ตรวจวัดมลพิษทางอากาศที่ปลดปล่อยจากการเผาชีวมวลทั้งในภาคสนามและห้องปฏิบัติการ สนองกับเทคโนโลยีสารสนเทศภูมิศาสตร์ ซึ่งเป็นงานวิจัยที่มีคุณค่าต่อการศึกษาปัญหาของการเผาชีวมวลในกลุ่มประเทศดังกล่าว แต่การประเมินความคลาดเคลื่อนของบัญชีปลดปล่อยมลพิษทางอากาศจะไม่สามารถทำได้โดยปราศจากพิสูจน์จากการทำแบบจำลองมลภาวะอากาศ ผลจากการทำแบบจำลองจะถูกใช้เป็นเครื่องมือในการประเมินคุณภาพของข้อมูลของบัญชีปลดปล่อยมลพิษโดยการเปรียบเทียบกับข้อมูลคุณภาพอากาศทั้งภาคพื้นดินและทางอากาศและการประเมินทางสถิติ อันจะช่วยให้สามารถปรับปรุงฐานข้อมูลที่มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ผลจากการทำแบบจำลองยังสามารถใช้เป็นเครื่องมือในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพอากาศ และภูมิอากาศ อีกทั้งวางนโยบายจัดการเกี่ยวกับคุณภาพอากาศได้อีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์

1.ทำแบบจำลองเพื่อศึกษาการแพร่กระจายของมลพิษทางอากาศอันเกิดจากการเผาชีวมวลในกลุ่มประเทศในแถบลุ่มแม่น้ำโขงตอนล่าง

2. ทำการศึกษาผลกระทบของมลพิษทางอากาศจากการเผาชีวมวลที่มีต่อคุณภาพอากาศ

1.3 ระเบียบวิธีวิจัย

1. ปรับปรุงบัญชีปลดปล่อยมลพิษทางอากาศอันเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์อื่นๆ อาทิ ภาคขนส่ง ภาคอุตสาหกรรม และอื่นๆ ที่ใช้ในโครงการ TRACE-P โดยเฉพาะในส่วนของประเทศในกลุ่มแม่น้ำโขงตอนล่างเพื่อใช้ประเมินคุณภาพอากาศจากมลพิษที่ไม่ได้เกิดจากการเผาชีวมวล

2. ทำแบบจำลองสภาพภูมิอากาศเพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการทำแบบจำลองการเคลื่อนย้ายและปฏิกิริยาเคมีของมลพิษ

3. ทำแบบจำลองการเคลื่อนย้ายและปฏิกิริยาเคมีของมลพิษทางอากาศโดยใช้ฐานข้อมูลบัญชีปลดปล่อยมลพิษทางอากาศจากงานวิจัยเกี่ยวกับการประเมินการปลดปล่อยมลพิษจากการเผาชีวมวลและกิจกรรมของมนุษย์อื่นๆ ที่ได้ปรับปรุงขึ้น

4. ประเมินผลกระทบของคุณภาพอากาศอันเกิดจากการเผาชีวมวล โดยการเปรียบเทียบกับมลพิษที่ไม่ได้เกิดจากการเผาชีวมวล เพื่อที่จะใช้บ่งบอกปัญหาและความสำคัญของการเผาชีวมวลต่อคุณภาพอากาศในประเทศในกลุ่มแม่น้ำโขงตอนล่าง

5. ประเมินความคลาดเคลื่อนของบัญชีปลดปล่อยมลพิษทางอากาศทั้งสองแบบข้างต้น โดยการเปรียบเทียบกับข้อมูลภาคพื้นดินและอากาศ เพื่อนำไปปรับปรุงให้ได้ข้อมูลที่มีความใกล้เคียงกับความเป็นจริงให้มากที่สุด

6. สรุปและเผยแพร่ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาสู่สาธารณชน เพื่อความเข้าใจและการร่วมมือในการแก้ไขปัญหาเกี่ยวกับคุณภาพอากาศและการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศ

บทที่ 2

ทฤษฎี

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีต่างๆ ที่เกี่ยวข้องได้แก่ การเผาในที่โล่ง ไฟป่าและพฤติกรรมของไฟป่า การตรวจจับไฟป่าโดยใช้เทคโนโลยีภาพถ่ายดาวเทียม การทำบัญชีการปลดปล่อยมลพิษ การประเมินการปลดปล่อยมลพิษจากไฟป่าด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ แบบจำลอง อุตุนิยมิวิทยา และแบบจำลองคุณภาพอากาศ

2.1 การเผาในที่โล่ง (Open Burning) [3]

การเผาในที่โล่ง หมายถึง ไฟไหม้ การเผาไหม้ หรือไฟลุกไหม้ใดๆ หรือการเผาวัสดุใดๆ ที่เกิดขึ้นในที่เปิดโล่ง โดยที่ฝุ่น คาร์บอน ก๊าซ และสารมลพิษอื่นๆ จากการเผาไหม้ สามารถแพร่กระจายไปได้ในบรรยากาศ

2.1.1 ประเภทของการเผาในที่โล่ง

การเผาในที่โล่งสามารถจำแนกตามลักษณะกิจกรรมหลักๆ ได้ 3 ประเภทคือ

1.การเผาขยะมูลฝอยจากชุมชน

ปริมาณของขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นจากชุมชนทั่วประเทศในปี พ.ศ. 2544 มีปริมาณ 14 ล้านตันต่อปี อัตราการเพิ่มปริมาณขยะมูลฝอยเมื่อเทียบกับปี 2543 เฉลี่ยร้อยละ 1.23 ต่อปี ในปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นมีเพียงร้อยละ 70 – 80 ที่ได้รับการเก็บขน และมีเพียงร้อยละ 30 ที่ได้รับการกำจัด ถูกต้องตามหลักสุขาภิบาล ส่วนปริมาณขยะที่ไม่ได้รับการกำจัด ถูกกองทิ้งกลางแจ้ง รวมทั้งมีการเผาเป็นครั้งคราวมีประมาณ 10 ล้านตันต่อปี (คำนวณจากปริมาณขยะทั่วประเทศปี พ.ศ.2544) การดำเนินการดังกล่าวก่อให้เกิดปัญหาด้านมลพิษทางอากาศ เช่น ฝุ่นละออง เขม่า คาร์บอน ก๊าซ และโอโซน ซึ่งส่งผลต่อสุขภาพทั้งในระยะสั้นและระยะยาว จากการศึกษาพบว่า การเผาขยะ 1 กิโลกรัม ทำให้เกิดฝุ่นขนาดเล็กที่มีอันตรายต่อสุขภาพ 19 กรัม หรือเท่ากับ 45.7 กรัมต่อครัวเรือนต่อวัน (อัตราการผลิตของครัวเรือน 2-5 กิโลกรัมต่อวัน) นอกจากนี้ในขยะมูลฝอยที่มีพลาสติกปนอยู่ หากมีการเผาในที่โล่งจะก่อให้เกิดสารอินทรีย์ระเหยประมาณ 14 กรัมต่อขยะมูลฝอย 1 กิโลกรัม หรือประมาณ 35 กรัมต่อครัวเรือนต่อวัน โดยสารพิษที่พบ ได้แก่ เบนซีน ไดออกซิน ซึ่งสารทั้งสองดังกล่าวเป็นสารก่อมะเร็ง

2. ไฟป่า

ปัญหาไฟป่าที่เกิดขึ้นในประเทศไทยนั้นส่วนใหญ่สาเหตุการเกิดไฟป่าเกิดจากคนที่จุดไฟเผาป่า ด้วยวัตถุประสงค์อย่างใดอย่างหนึ่ง เช่น เผาไร่หาของป่า ล่าสัตว์ และเลี้ยงสัตว์ เป็นต้น หรืออาจเกิดจากความประมาท เล่นไฟ ขาดความรับผิดชอบหรือทัศนคติที่ไม่ถูกต้องต่อปัญหาไฟป่า จากการแปลภาพถ่ายดาวเทียมในปี พ.ศ.2543 พื้นที่ป่าไม้ในประเทศไทยมีพื้นที่ 107,531,243 ไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 33.4 ของพื้นที่ประเทศไทยทั้งหมด การสูญเสียพื้นที่ป่าไม้จากการถูกไฟป่าทำลายทั้งสิ้น ประมาณ 476,182.79 ไร่ จากพื้นที่ป่าไม้ทั่วประเทศ หรือประมาณร้อยละ 0.44 ของพื้นที่ป่าทั่วประเทศ และจากรายงานของหน่วยงานควบคุมไฟป่าทั่วประเทศระหว่างเดือนตุลาคม พ.ศ. 2544 – เมษายน พ.ศ.2545 พบว่ามีรายงานเกิดไฟป่าจำนวน 7,681 ครั้ง พื้นที่ป่าถูกไฟไหม้ทั้งหมด 149,885.80 ไร่ หรือประมาณร้อยละ 0.14 ของพื้นที่ป่าทั่วประเทศ ซึ่งก่อให้เกิดความสูญเสียทางเศรษฐกิจปีละหลายพันล้านบาท

3. การเผาเศษพืชเศษวัสดุภาคการเกษตร

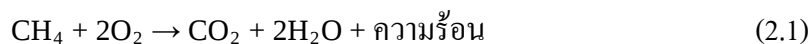
ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมที่มีการปลูกพืชเศรษฐกิจที่สำคัญ ได้แก่ ข้าว ข้าวโพด อ้อย มันสำปะหลัง เป็นต้น ในการทำการเกษตรให้ได้ผลผลิตสูง สิ่งที่สำคัญที่สุดคือ การเตรียมดินที่จะทำการเพาะปลูก ซึ่งจะต้องมีการตากดินพื้นที่เพื่อกำจัดเศษวัชพืช วิธีการที่ง่าย สะดวก และประหยัดสำหรับเกษตรกรที่นิยมใช้กันมากคือ การเผา เช่น การเผาเศษฟางข้าว โดยเฉพาะข้าวนาปรังที่มีการปลูกติดต่อกันอย่างน้อยปีละ 2 – 3 ครั้ง ต้องใช้ความเร่งรีบในการเตรียมดิน ไม่สามารถรอเวลาในการหมักฟางในนาให้นิ่มย่อยสลายก่อนการไถกลบ ปัญหาที่เกิดจากการที่รถไถนาไม่สามารถตัดบดฟางข้าวและไถกลบในนาได้ง่าย ทำให้เกษตรกรหันมาใช้วิธีการเผาฟางในนาให้หมดไปหรือเบาบางลงก่อนที่จะใช้รถไถนาไถกลบเตรียมดินปลูกข้าวฤดูต่อไป นอกจากนี้ในการเก็บเกี่ยวผลผลิตภาคการเกษตรบางชนิด เช่น อ้อย เกษตรกรต้องทำการเผาใบอ้อยให้มีปริมาณน้อยลงเพื่อให้ง่ายต่อการเก็บเกี่ยวอีกด้วย สำหรับการกำจัดเศษพืชประเภทอื่น ๆ เกษตรกรมักจะใช้การเผาเช่นเดียวกัน

จากการติดตามตรวจสอบคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษตั้งแต่ปี 2536 เป็นต้นมา มีการตรวจพบปริมาณฝุ่นสูงในช่วงฤดูแล้ง โดยเฉพาะในบริเวณพื้นที่จังหวัดที่มีการทำการเกษตรมาก เช่น ปทุมธานี อุดรธานี อ่างทอง ราชบุรี สระบุรี กาญจนบุรี นครสวรรค์ เชียงใหม่ ขอนแก่น เป็นต้น เนื่องจากสภาวะอากาศที่แห้งและนิ่ง ทำให้ฝุ่นสามารถแขวนลอยอยู่ในบรรยากาศได้นาน ไม่ตกลงสู่พื้นดิน และในช่วงเวลาดังกล่าวเกษตรกรจะทำการเผาเศษวัสดุ เพื่อเตรียมพื้นที่สำหรับทำการเกษตรในช่วงฤดูฝน จึงเป็นสาเหตุของการเกิดปริมาณฝุ่นสูงในช่วงฤดูแล้ง

2.2 นิยามและ ประเภทของไฟฟ้า และสาเหตุการเกิดไฟฟ้า[4]

Brown และ Davis [5] ให้คำจำกัดความของไฟฟ้า ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายว่า “คือไฟที่ปราศจากการควบคุม ลุกลามไปอย่างอิสระ แล้วเผาผลาญเชื้อเพลิงธรรมชาติในป่า อันได้แก่ ดินอินทรีย์ ใบไม้แห้ง หญ้า กิ่งก้านไม้แห้ง ท่อนไม้ ตอไม้ วัชพืช ไม้พุ่ม ใบไม้สด และในระดับหนึ่งก็สามารถเผาผลาญต้นไม้ที่ยังมีชีวิตอยู่ได้” ในประเทศไทย สำนักป้องกัน ปราบปราม และควบคุมไฟฟ้า กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช ได้ให้คำจำกัดความของไฟฟ้าไว้ว่า “ไฟที่เกิดจากสาเหตุใดก็ตาม แล้วลุกลามไปได้โดยอิสระปราศจากการควบคุม ทั้งนี้ไม่ว่าไฟนั้นจะเกิดขึ้นในป่าธรรมชาติหรือสวนป่า”

ไฟจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อมีองค์ประกอบที่จำเป็น 3 ประการคือ เชื้อเพลิง ความร้อน(จากแหล่งที่ทำให้เกิดการติดไฟ) และออกซิเจน เรียกอีกอย่างว่า “สามเหลี่ยมไฟ” ในสัดส่วนที่พอเหมาะ เมื่อมีการสันดาป (Combustion) เผาผลาญเชื้อเพลิง จะเกิดพลังงานความร้อน และผลิตภัณฑ์ต่างๆจากการเผาไหม้ปลดปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม สำหรับไฟฟ้า เชื้อเพลิงส่วนใหญ่เป็นอินทรีย์สารที่อยู่บนพื้นดินได้แก่ ดินไม้ กิ่งไม้ หญ้า วัชพืช ฯลฯ รวมไปถึง ดินอินทรีย์ (Peat Soil) และชั้นถ่านหินที่อยู่ใต้ผิวดิน (Coal Seam) ซึ่งหากการสันดาปเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ (Complete Combustion) จะได้ผลิตภัณฑ์คือคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) น้ำ (H_2O) 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

การจำแนกประเภทของไฟฟ้าตามลักษณะของเชื้อเพลิงที่ถูกเผาไหม้ 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 และบนหนาดินในปริมาณมากเกิดเป็นชั้นหนา หรือในบางพื้นที่ที่มีการทับถมของอินทรีย์วัตถุทำให้เกิดชั้นของถ่านหินเลน(Peat soil) ซึ่งไฟอาจเกิดแทรกลงไปใต้ผิวดิน และ

ลุกลามไปเรื่อยๆ ได้ผิวดินนั้นในลักษณะการครุกรุ่นอย่างช้าๆ โดยไม่มีเปลวไฟ และมีควันน้อย มีอัตราการลุกลามช้า ทำให้สังเกตไฟชนิดนี้ได้ยาก แต่สามารถสร้างความเสียหายให้แก่พื้นที่ป่าอย่างมาก เพราะไฟจะไหม้ทำลายรากไม้ต่างๆ ทำให้ต้นไม้ยืนต้นตายในเวลาต่อมา สำหรับภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ พบไฟใต้ดินในบางพื้นที่เท่านั้น ส่วนใหญ่เกิดขึ้นในป่าพรุในประเทศอินโดนีเซีย และภาคใต้ของประเทศไทยบางส่วน ส่วนไฟประเภทที่สองคือ ไฟผิวดิน (Surface Fire) เป็นไฟที่เผาไหม้และลุกลามไปบนผิวดิน โดยเผาไหม้เชื้อเพลิงบนผิวดินได้แก่ ใบไม้ กิ่งไม้แห้งบนพื้นดิน ลูกไม้ หนุ่ยแห้ง กอไผ่ ไม้พื้นล่าง และไม้พุ่มเป็นต้น ไฟชนิดนี้พบมากที่สุดในทุกภูมิภาคของโลก ความรุนแรงของไฟจะขึ้นอยู่กับชนิด และประเภทของเชื้อเพลิงบนผิวดินนั้น โดยทั่วไปไฟชนิดนี้จะไม่ทำอันตรายต่อไม้ยืนต้นจนถึงตาย แต่จะทำให้เกิดความเสียหายที่ส่งผลให้อัตราการเจริญเติบโต และทำให้ต้นไม้เป็นโรคได้ง่าย รูปตัวอย่างของไฟผิวดินแสดงได้ดังรูปที่ 2.1[4] ไฟป่าประเภทสุดท้ายได้แก่ ไฟเรือนยอด (Crown Fire) เป็นไฟที่ไหม้ลุกลามจากยอดต้นไม้หรือไม้พุ่มต้นหนึ่งไปยังยอดต้นไม้ หรือไม้พุ่มอีกต้นหนึ่งที่อยู่ใกล้เคียงกัน ส่วนใหญ่เกิดในป่าสนในเขตอบอุ่น มีอัตราการลุกลามที่รวดเร็ว และมีความอันตรายสูง มีความสูงของเปลวไฟประมาณ 10 - 30 เมตร ไฟเรือนยอดอาจเกิดจากการลุกลามของไฟผิวดินขึ้นมาสู่ยอดของต้นไม้ (Dependent Crown Fire) หรือเกิดจากการลุกลามของเรือนยอดหนึ่งไปสู่อีกเรือนยอดหนึ่งที่อยู่ข้างเคียง (Running Crown Fire) รูปตัวอย่างของไฟเรือนยอดแสดงได้ดังรูปที่ 2.2 [4]



รูปที่ 2.1 ตัวอย่างไฟผิวดิน[4]



รูปที่ 2.2 ตัวอย่างไฟเรือนยอด [4]

ไฟป่าสามารถเกิดขึ้นได้จาก 2 สาเหตุคือ เกิดจากธรรมชาติ และเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ โดยไฟป่าที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติสามารถเกิดขึ้นได้จากหลายสาเหตุด้วยกัน เช่น ไฟผ่า กิ่งไม้เสียดสีกัน ภูเขาไฟระเบิด ปฏิกิริยาเคมีในดินป่าพรุ เป็นต้น

2.3 พฤติกรรมของไฟป่า [4]

พฤติกรรมของไฟป่า (Forest Fire Behavior) หมายถึง ลักษณะการลุกลาม และการขยายตัวของไฟป่าขณะเกิดการสันดาป ซึ่งจะแปรเปลี่ยนไปเป็นไปตามสภาวะแวดล้อมขณะเกิดไฟป่านั้น ทำให้ไฟป่าที่เกิดขึ้นในแต่ละครั้งแสดงพฤติกรรมที่แตกต่างกันออกไป พฤติกรรมของไฟป่าที่สำคัญได้แก่ อัตราการลุกลามของไฟ (Rate of Spread) ความรุนแรงของไฟ (Fire intensity) และความยาวเปลวไฟ (Flame Length) โดยอัตราการลุกลามของไฟ (Rate of Spread) คือ อัตราการเพิ่มขึ้นของพื้นที่ไหม้ไฟหรือระยะทางของไฟต่อเวลา ตัวอย่างของหน่วยที่ใช้ได้แก่ ไร่ต่อนาที และเมตรต่อนาทีตามลำดับ ความรุนแรงของไฟ (Fire intensity) คือ อัตราการปลดปล่อยพลังงานจากเชื้อเพลิงที่ถูกไฟไหม้ โดยทั่วไปนิยมนิยามค่านี้อย่างกว้างจากสมการของ Byram [6] ดังแสดงในสมการที่ (2.2) ซึ่งเป็นการวัดอัตราการปลดปล่อยพลังงานต่อหน่วยระยะทางของการลุกลามของแนวหัวไฟ

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

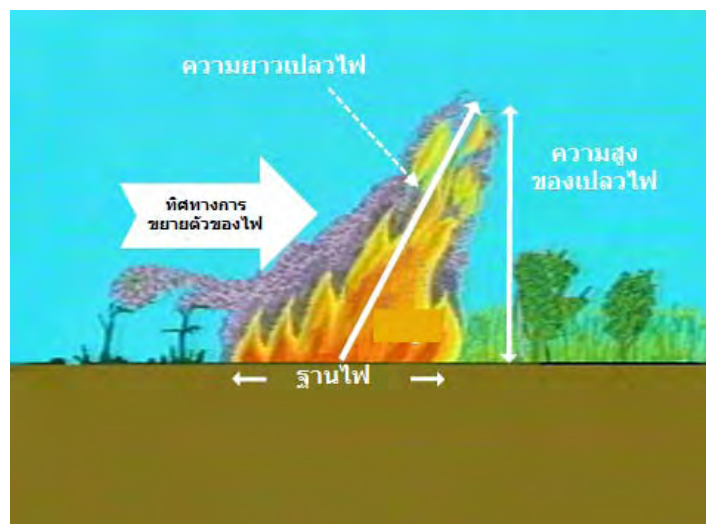
โดยที่ I_B = ความรุนแรงของไฟ (กิโลวัตต์/เมตร)

H = ปริมาณความร้อนของเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ (แคลอรี/กรัม)

W = ปริมาณเชื้อเพลิงต่อพื้นที่ (ตัน/เฮกตาร์)

R = อัตราการลุกลามของไฟ (เมตร/นาทีก)

ความยาวเปลวไฟ (Flame Length) คือ ระยะจากกึ่งกลางฐานของไฟซึ่งติดกับผิวดินถึงยอดของเปลวไฟ นิยมใช้หน่วยเป็นเมตรหรือฟุต แผนภาพวิธีการวัดความยาวเปลวไฟสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.3 [7]



รูปที่ 2.3 แผนภาพวิธีการวัดความยาวเปลวไฟ [7]

ปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อพฤติกรรมของไฟป่ามี 3 ปัจจัยได้แก่ ลักษณะเชื้อเพลิง ลักษณะอากาศ และลักษณะภูมิประเทศ

2.3.1 ลักษณะเชื้อเพลิง

ลักษณะสำคัญของเชื้อเพลิงที่มีผลต่อพฤติกรรมของไฟป่ามีอยู่ 5 ประการคือ ความชื้นของเชื้อเพลิง ขนาดของเชื้อเพลิง ปริมาณของเชื้อเพลิง ความหนาของชั้นเชื้อเพลิง การจัดเรียงตัวและความต่อเนื่องของเชื้อเพลิง

1. ความชื้นของเชื้อเพลิง เป็นลักษณะสำคัญที่สุดของเชื้อเพลิงที่มีอิทธิพลต่อการติดไฟและพฤติกรรมของไฟป่า กล่าวคือ หากเชื้อเพลิงมีความชื้นสูงก็จะติดไฟได้ยาก และลุกลามได้ช้า

แต่หากเชื้อเพลิงมีความชื้นต่ำหรือแห้งก็จะติดไฟได้ง่าย และลุกไหม้ได้อย่างรวดเร็ว

2.ขนาดของเชื้อเพลิง ในกรณีที่เชื้อเพลิงเป็นชนิดเดียวกัน ไฟจะเผาไหม้เชื้อเพลิงที่มีขนาดเล็กได้ดี มีอัตราการสันดาปของเชื้อเพลิงสูง และลุกไหม้ได้รวดเร็วกว่าเชื้อเพลิงที่มีขนาดใหญ่ ดังนั้นเชื้อเพลิงที่มีขนาดเล็กเช่น ไม้ กิ่งไม้เล็ก และหญ้าจะติดไฟง่าย และลุกไหม้ได้รวดเร็วกว่า ท่อนไม้หรือตอไม้เป็นต้น

3.ปริมาณของเชื้อเพลิง หมายถึงความหนาแน่นของเชื้อเพลิง (ปริมาณหรือน้ำหนักของเชื้อเพลิงต่อหน่วยพื้นที่) หากความหนาแน่นของเชื้อเพลิงมีมากก็จะทำให้ไฟมีความรุนแรงมาก และปลดปล่อยพลังงานความร้อนออกมามากด้วย แต่หากความหนาแน่นของเชื้อเพลิงมีน้อย ปริมาณเชื้อเพลิงที่ถูกสันดาปก็จะมีน้อยด้วยทำให้ไฟมีความรุนแรงต่ำ

4.ความหนาของชั้นเชื้อเพลิง หากเชื้อเพลิงมีการทับถมกันมากและเกิดชั้นหนาจนทำให้เชื้อเพลิงเกิดการอัดแน่นตัว เมื่อติดไฟก็จะทำให้มีความรุนแรงมาก แต่ถ้าชั้นของเชื้อเพลิงอันแน่น และหนาจนเกินไป จะทำให้การลุกไหม้เป็นไปได้อย่างยาก และช้า เพราะไม่มีช่องว่างให้ออกซิเจนแทรกตัว

5.การจัดเรียงตัว และความต่อเนื่องของเชื้อเพลิง เป็นลักษณะสำคัญของเชื้อเพลิงสุดท้ายที่มีผลต่อพฤติกรรมของไฟป่า ซึ่งหากเชื้อเพลิงกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ และต่อเนื่อง ก็จะทำให้การลุกไหม้เป็นไปอย่างต่อเนื่องด้วย

2.3.2 ลักษณะอากาศ

ลักษณะอากาศ เป็นปัจจัยหลักอีกอย่างหนึ่งที่ส่งผลกระทบต่อพฤติกรรมของไฟป่า ซึ่งในธรรมชาติ ลักษณะอากาศเช่น ความเร็วลม และอุณหภูมิ เป็นต้น จะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อพฤติกรรมของไฟป่าให้เปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลาด้วยเช่นกัน ลักษณะอากาศสำคัญที่มีอิทธิพลต่อพฤติกรรมของไฟป่ามีอยู่ 3 ประการคือ ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิของอากาศ และลม

1.ความชื้นสัมพัทธ์ ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ และความชื้นของเชื้อเพลิงจะมีความสัมพันธ์ไปในทางเดียวกัน กล่าวคือ หากความชื้นสัมพัทธ์มาก หมายถึงระดับความชื้นในอากาศสูง ความชื้นของเชื้อเพลิงก็จะสูงตามไปด้วย ซึ่งจะทำให้เชื้อเพลิงติดไฟง่าย ลุกไหม้ได้ช้า และมีความรุนแรงต่ำ แต่หากความชื้นสัมพัทธ์น้อยก็จะหมายถึงระดับความชื้นในอากาศต่ำ อากาศแห้ง เชื้อเพลิงก็จะมีความชื้นต่ำไปด้วย ทำให้เชื้อเพลิงติดไฟได้ง่าย ลุกไหม้ได้อย่างรวดเร็ว และมีความรุนแรงสูง

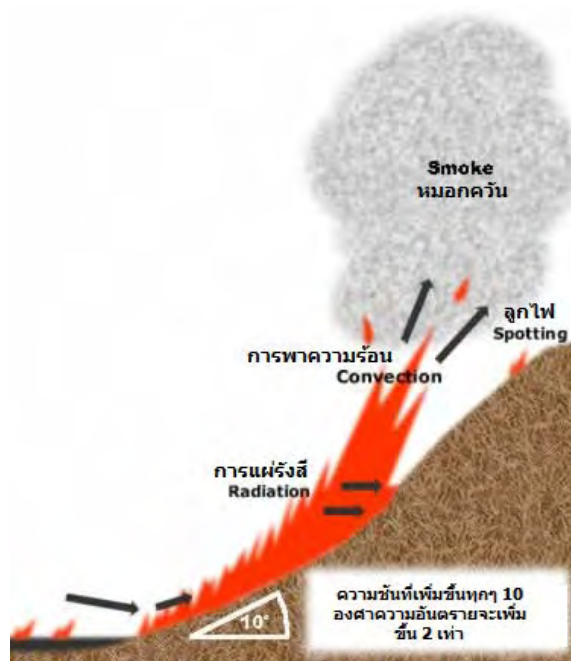
2.อุณหภูมิของอากาศ อุณหภูมิของอากาศมีผลโดยตรงต่อความชื้นของเชื้อเพลิง หากอุณหภูมิของอากาศยิ่งสูง เชื้อเพลิงก็จะยิ่งแห้ง และติดไฟได้ง่าย แต่ อุณหภูมิของอากาศจะส่งผลในทางตรงกันข้ามกับความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ กล่าวคือหากอุณหภูมิของอากาศยิ่งสูง จะทำให้ระดับความชื้นในอากาศต่ำลงความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศจะต่ำลงไปด้วย

3.ลม ลมเป็นลักษณะอากาศสำคัญสุดท้ายที่มีผลต่อพฤติกรรมของไฟฟ้า โดยลมมีอิทธิพลต่อพฤติกรรมของไฟฟ้าในหลายด้าน ได้แก่ ช่วยเพิ่มปริมาณออกซิเจนให้แก่กระบวนการสันดาปของไฟฟ้าทำให้ไฟลุกไหม้ดีขึ้น มีอัตราการลุกไหม้ของไฟมากขึ้น เป็นตัวการทำให้เชื้อเพลิงแห้งอย่างรวดเร็ว การพัดถูกไฟไปตกหน้าแนวไฟเดิมทำให้เกิดเป็นไฟขึ้นใหม่ เป็นตัวกำหนดหรือเปลี่ยนแปลงทิศทางการลุกลามของไฟ ลมส่งผลต่อพฤติกรรมของไฟเรือนยอด และไฟผิวดินในพื้นที่โล่งมากกว่าไฟใต้ดิน และไฟผิวดินในป่าทึบ ทั้งนี้เนื่องจากลมที่พื้นผิวดินในป่าทึบจะถูกต้นไม้ที่ขึ้นอย่างหนาแน่นปะทะเอาไว้ทำให้มีความเร็วต่ำลง โดยธรรมชาติความเร็วลมจะมีค่าสูงสุดในช่วงกลางวัน และลดลงในเวลาเย็น สำหรับพื้นที่ลาดเขา ลมจะพัดขึ้นเขาในเวลากลางวัน และพัดลงเขาในเวลากลางคืน เนื่องจากเวลากลางวัน ดวงอาทิตย์แผ่รังสีให้แก่ยอดเขา มากกว่าหุบเขา ทำให้อุณหภูมิของยอดเขาสูงกว่า และทำให้อากาศมีความแน่นลดลงจึงลอยตัวสูงขึ้น ฉะนั้นอากาศจากที่ต่ำหรือหุบเขาจึงพัดขึ้นเขาไปแทนที่ เรียกว่า ลมหุบเขา (valley wind) ในเวลากลางคืนตามบริเวณภูเขาที่ระดับสูงมีอากาศเย็นกว่าตามที่ต่ำ ความแน่นของอากาศในที่สูงจึงมีมากกว่าในระดับต่ำลมจึงพัดลงตามเขาเรียกลมภูเขา(mountainwind)

2.3.3 ลักษณะภูมิประเทศ

ลักษณะภูมิประเทศเป็นปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อพฤติกรรมของไฟฟ้าที่มีการเปลี่ยนแปลงน้อย ลักษณะภูมิประเทศส่งผลทั้งโดยตรง และโดยอ้อมต่อพฤติกรรมของไฟฟ้า ลักษณะภูมิประเทศที่มีความสำคัญต่อพฤติกรรมของไฟฟ้ามีอยู่ 2 ประการ คือความลาดชัน และทิศด้านลาด

1.ความลาดชัน (Slope) ส่งผลโดยตรงต่อทิศทาง และอัตราการลุกลามของไฟ โดยไฟในที่ลาดชันจะมีอัตราการลุกลามที่รวดเร็ว และมีความรุนแรงกว่าไฟบนที่ราบ ยิ่งความลาดชันมีมาก อัตราการลุกลามก็ยิ่งมากตามไปด้วย ทั้งนี้เนื่องจากอากาศร้อนที่เกิดจากไฟลอยสูงขึ้น ซึ่งจะไปทำให้เชื้อเพลิงด้านบนแห้ง จึงทำให้เชื้อเพลิงด้านบนนั้นติดไฟและลุกลามได้อย่างรวดเร็ว แผนภาพลักษณะของไฟฟ้าในที่ลาดชันแสดงได้ดังรูปที่ 2.4 [8]

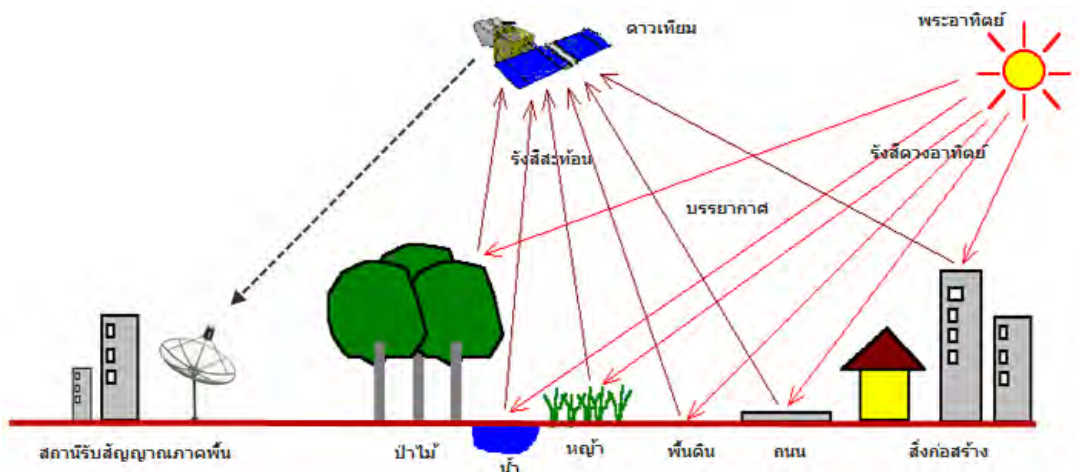


รูปที่ 2.4 ไฟที่ลุกลามขึ้นไปตามเขาที่มีความลาดชัน [8]

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

2.4 การตรวจจับไฟป่าโดยการใช้เทคโนโลยีภาพถ่ายดาวเทียม[9]

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 2.5 [9] และถูกแปลงเป็นสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์ส่งลงสู่สถานีรับภาคพื้นดิน (Receiving Station) ข้อมูลดังกล่าวจะถูกแปลงจากข้อมูลเชิงอนุมาณ (Analog Data) ไปเป็นข้อมูลเชิงตัวเลข (Digital Data) เพื่อนำไปนำวิเคราะห์ข้อมูลต่อไป



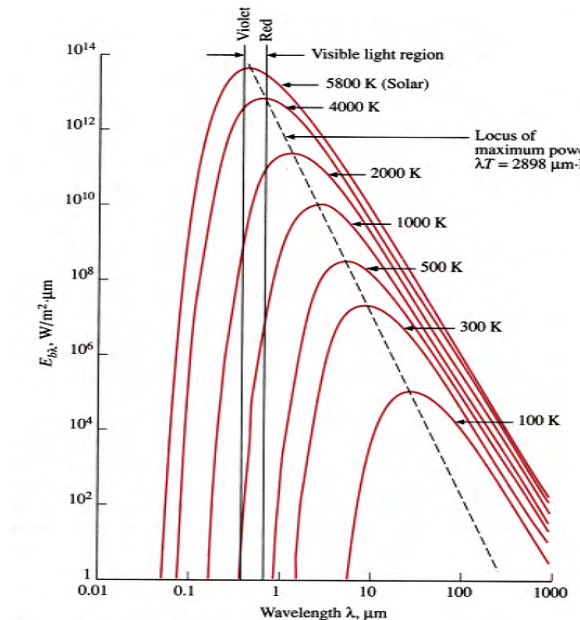
รูปที่ 2.5 ระบบการรับรู้ในระยะไกล [9]

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

2.4.1 หลักการตรวจจับไฟฟ้าด้วยเซนเซอร์บนดาวเทียม

โดยเฉลี่ยไฟที่เกิดที่ผิวดินจะมีเปลวไฟสูงประมาณ 1 เมตร และอุณหภูมิเฉลี่ยสูงราว 800 องศาเซลเซียส ในสถานะที่รุนแรง เปลวไฟอาจสูงถึง 50 เมตรหรือมากกว่า และอุณหภูมิของเปลวไฟอาจสูงเกินกว่า 1,200 องศาเซลเซียส จากความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการแผ่รังสี วัตถุใดๆที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 0 องศาสัมบูรณ์จะสามารถดูดกลืน และปลดปล่อยรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าออกมาได้จากทฤษฎีการกระจายของพลังค์ (Planck's Distribution) ซึ่งได้อธิบายกำลังการปลดปล่อยสเปกตรัมของวัตถุดำ ดังแสดงในรูปที่ 2.6 [10] ไว้ว่า 1.) รังสีที่ปลดปล่อยออกมาจะเปลี่ยนแปลงตามความยาวคลื่นอย่างต่อเนื่อง 2.) ที่ความยาวคลื่นใดๆปริมาณรังสีที่ปลดปล่อยออกมาจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น 3.) ช่วงสเปกตรัมที่มีความเข้มของรังสีมากที่สุดจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ โดยจะมีรังสีในช่วงความยาวคลื่นสั้นมากขึ้น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น 4.) สัดส่วนของรังสีที่ปลดปล่อยออกมาจากดวงอาทิตย์ซึ่งสามารถประมาณได้ว่าเป็นวัตถุดำที่อุณหภูมิ 5,800 องศาเคลวิน จะอยู่ในช่วงคลื่นที่ตามองเห็นได้ (visible) มากที่สุด ส่วนวัตถุที่อุณหภูมิที่ต่ำกว่าหรือเท่ากับ 800 องศา

เคลวิน จะปลดปล่อยรังสี infrared มากที่สุด ไฟฟ้า ซึ่งส่วนใหญ่จะมีอุณหภูมิมากกว่าหรือเท่ากับ 800 องศาเซลเซียส จะปลดปล่อยรังสีในช่วงสูงสุดที่ความยาวคลื่นช่วงอินฟราเรดกลาง (Mid-Infrared) ที่ความยาวคลื่นในช่วง 3-5 ไมโครเมตร ดังนั้นในการตรวจจับไฟฟ้าจะสามารถกระทำได้โดยใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงดังกล่าว



รูปที่ 2.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเปล่งรังสีของวัตถุดำ กับความยาวคลื่น [10]

2.4.2 เซนเซอร์และอัลกอริทึมสำหรับการตรวจจับไฟฟ้า

เซนเซอร์ในที่นี้หมายถึง อุปกรณ์ตรวจวัดทางวิทยาศาสตร์ (Scientific instrument) ที่ถูกติดตั้งบนดาวเทียม ทำหน้าที่บันทึกข้อมูลการแผ่หรือสะท้อนรังสีของวัตถุต่างบนโลกเพื่อนำไปวิเคราะห์ในระบบการรับรู้ระยะไกล สำหรับการใช้นเซนเซอร์เพื่อการตรวจจับไฟฟ้านั้น เริ่มมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2528 โดยโครงการ NASA's Land Cover and Land Use (LCLUC) [11] ซึ่งพัฒนาการตรวจจับไฟฟ้าด้วยเซนเซอร์บนดาวเทียมในทวีปอเมริกาเหนือ ต่อมาการพัฒนาเซนเซอร์มีความก้าวหน้ามากขึ้นมีเซนเซอร์หลายชนิดที่สามารถตรวจจับไฟฟ้า 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 ในที่นี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของเซนเซอร์ AVHRR และ MODIS ซึ่งได้รับความนิยม และยังคงมีการพัฒนามาอย่างต่อเนื่องจนถึงปัจจุบัน

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 [12] สามารถตรวจวัดรังสีที่ปลดปล่อย หรือสะท้อนจากผิวโลกได้ทั้งหมด 6 ช่องสัญญาณ ตั้งแต่ความยาวคลื่น 0.58-12.50 ไมครอน ที่ความละเอียด 1 กิโลเมตร ช่องสัญญาณส่วนใหญ่มีจุดประสงค์ในการระบุตำแหน่งของเมฆและวัดอุณหภูมิของพื้นผิวโลก

กระบวนการในการตรวจจับไฟป่าโดยใช้ข้อมูลในช่องสัญญาณต่างๆของเซนเซอร์บนดาวเทียมนั้น ทำโดยใช้อัลกอริทึมที่ถูกพัฒนาขึ้นมาโดยเฉพาะสำหรับแต่ละเซนเซอร์ อัลกอริทึมที่เป็นพื้นฐานในการระบุตำแหน่งไฟป่าของเซนเซอร์ AVHRR คือ The Fire Identification, Mapping and Monitoring Algorithm (FIMMA) [13] 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 [14]

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 หรือสะท้อนจากผิวโลกได้ทั้งหมด 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 MODIS สามารถบันทึกภาพโดยการกวาดจากด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่งโดยมีมุมกวาดสูงสุด 55 องศา การบันทึกภาพแต่ละครั้งครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 2,330 กิโลเมตร และบันทึกข้อมูลครอบคลุมพื้นที่ทั่วโลกได้ภายใน 2 วัน อัลกอริทึมที่เป็นพื้นฐานในการระบุตำแหน่งไฟป่าของเซนเซอร์ MODIS คือ MOD14 ถูกพัฒนาโดยความร่วมมือระหว่าง NASA และมหาวิทยาลัยแห่งรัฐแมริแลนด์ ประเทศสหรัฐอเมริกา [15]

2.5 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับมลพิษทางอากาศ [16-17]

มลพิษทางอากาศ (Air Pollution) หมายถึง ภาวะของอากาศที่มีสารเจือปนอยู่ในปริมาณมากพอและระยะเวลาานพอที่จะทำให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพมนุษย์ สัตว์ และพืช โดยประเภทและปริมาณของมลพิษที่ปลดปล่อยออกมาจะแตกต่างกันตามประเภทของแหล่งกำเนิด

2.5.1 แหล่งกำเนิดของมลพิษ

โดยทั่วไปสามารถแบ่งแหล่งกำเนิดสารมลพิษตามประเภทของแหล่งกำเนิดได้เป็น 2 ประเภท คือแหล่งกำเนิดตามธรรมชาติ เช่น ไฟป่า ภูเขาไฟระเบิด เป็นต้น และแหล่งกำเนิดที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ นอกจากนี้ยังสามารถแบ่งตามลักษณะของแหล่งกำเนิดได้เป็น 3 ประเภท คือ 1. แหล่งกำเนิดแบบเคลื่อนที่ได้ ซึ่งได้แก่ ยานพาหนะทั้งบนถนน และไม่ใช่บนถนน 2. แหล่งกำเนิดแบบจุด ได้แก่ โรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ ซึ่งก่อให้เกิดมลพิษจากการสันดาปเชื้อเพลิงและกระบวนการผลิต 3. แหล่งกำเนิดแบบพื้นที่ คือ แหล่งกำเนิดสารมลพิษที่ไม่จัดให้อยู่ในแหล่งกำเนิดแบบเคลื่อนที่ หรือแหล่งกำเนิดแบบจุดได้ เช่น แหล่งกำเนิดมลพิษจากการใช้เชื้อเพลิงจากที่อยู่อาศัย การใช้ผลิตภัณฑ์สีและสารเคลือบผิว เป็นต้น เนื่องจากแหล่งกำเนิดแบบจุดหรือโรงงานอุตสาหกรรมมีจำนวนมากโดยก่อให้เกิดมลพิษ ซึ่งมีผลต่อสุขภาพของมนุษย์

2.5.2 ประเภทของสารมลพิษอากาศ

สารมลพิษอากาศสามารถจำแนกได้เป็น 2 ประเภท ตามลักษณะการเกิด คือ

1. สารมลพิษทางอากาศปฐมภูมิ

เป็นสารมลพิษที่เกิดขึ้นและถูกระบายจากแหล่งกำเนิดโดยตรง เช่น แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ แก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ แก๊สไนโตรเจนออกไซด์ และเถ้า เป็นต้น

2. สารมลพิษทางอากาศทุติยภูมิ

เป็นสารมลพิษที่ไม่ได้เกิดขึ้นหรือถูกระบายออกจากแหล่งกำเนิดใดๆ แต่เกิดขึ้นจากการทำปฏิกิริยาเคมีระหว่างสารมลพิษทางอากาศปฐมภูมิด้วยกันเอง หรือปฏิกิริยาเคมีระหว่างสารมลพิษทางอากาศปฐมภูมิกับสารประกอบอื่นๆ ที่อยู่ในบรรยากาศ เช่น แก๊สโอโซนซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาโฟโตเคมีระหว่างออกไซด์ของไนโตรเจนและสารประกอบไฮโดรคาร์บอน

ในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นที่จะศึกษาหาปริมาณสารมลพิษทางอากาศที่ปลดปล่อยออกมาจำนวน 5 ชนิดดังนี้

1. แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์

เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่ไม่สมบูรณ์ ถ้าเกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์จะเกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ซึ่งแก๊สนี้เป็นพิษต่อคนและสัตว์เป็นอย่างมาก คือสามารถทำให้ร่างกายขาดออกซิเจน อาจถึงแก่ชีวิตได้

2. ไฮโดรคาร์บอน

เป็นสารประกอบซึ่งประกอบด้วยไฮโดรเจนและคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ โดยสารประกอบคาร์บอนทุกชนิดเป็นสารอินทรีย์ ยกเว้นออกไซด์ของคาร์บอน คาร์ไบด์และคาร์บอนेट เป็นแก๊สพิษที่มีกลิ่นเหม็น เมื่อได้รับสารเหล่านี้เข้าไปทำให้เกิดอาการเวียนศีรษะ เมื่อรวมตัวกับไนโตรเจนออกไซด์ จะทำให้เกิด Photochemical Smog ซึ่งเมื่อพืชได้รับสารนี้ในปริมาณความเข้มข้น 115 – 575 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (0.1–0.5 ppm) ในช่วงเวลานาน 8 – 24 ชั่วโมง จะทำให้เกิดอันตรายต่อพืช

3. ออกไซด์ของไนโตรเจน

เกิดจากการสันดาปเชื้อเพลิงอย่างไม่สมบูรณ์ของเครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรม หรือเครื่องยนต์ในยานพาหนะ บางครั้งเรียกว่า น็อกซ์ แก๊สนี้จะมีผลต่อการทำลายเนื้อเยื่อในปอด ทำให้ทางเดินหายใจอักเสบ ซึ่งนอกจากจะมีผลโดยตรงต่อมนุษย์แล้ว ยังมีผลกระทบต่อสภาพแวดล้อม กล่าวคือ เมื่อรวมตัวกับไฮโดรคาร์บอนแล้วจะเกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า Photochemical Smog มีผลทำให้ผู้เป็นโรคหืดหอบมีอาการแพ้ง่ายขึ้น ออกไซด์ของไนโตรเจนที่สำคัญเช่น ไนตริกออกไซด์ (NO) ไนโตรเจนออกไซด์ (NO₂) เป็นต้น

4. ฝุ่นละออง

เป็นอนุภาคขนาดเล็ก ที่มีแหล่งกำเนิดทั้งจากธรรมชาติและจากการกระทำของมนุษย์ มีขนาดตั้งแต่ 0.01 ถึง 2000 ไมโครเมตร ฝุ่นละอองที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพมนุษย์คืออนุภาคที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 10 ไมโครเมตร (PM₁₀) และน้อยกว่า 2.5 ไมโครเมตร (PM_{2.5}) เนื่องจากระบบทางเดินหายใจไม่สามารถป้องกันอนุภาคเหล่านี้ได้ ทำให้อนุภาคสามารถเข้าไปถึงปอดแล้วเกิดการสะสมทำให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพ

5. แก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์

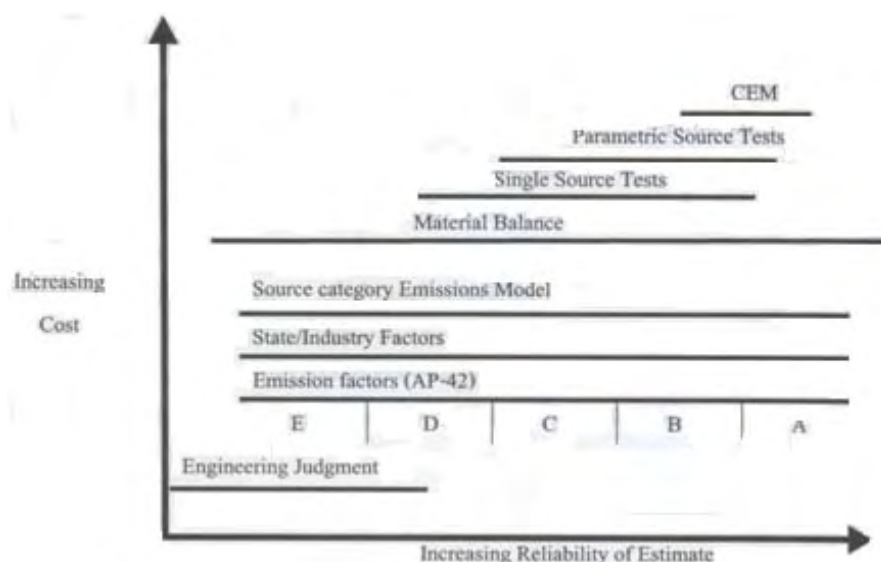
เกิดจากการเผาไหม้ของถ่านหิน ในน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีสารกำมะถันเป็นองค์ประกอบและการถลุงแร่ ซึ่งมีผลกระทบต่อระบบประสาทและระบบหายใจ หากกละกลายน้ำจะกลายเป็นกรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid; H₂SO₄) ซึ่งเป็นสาเหตุของฝนกรด และเป็นองค์ประกอบสำคัญของการเกิดหมอกควัน (Smog)

2.6 การทำบัญชีการปลดปล่อยมลพิษ[17]

บัญชีการปลดปล่อยมลพิษ (Emission Inventory) หมายถึง รายการสารมลพิษทางอากาศที่ปลดปล่อยออกมาจำแนกตามแหล่งกำเนิด ภายในช่วงเวลาที่กำหนด โดยจะรวบรวมข้อมูลการปลดปล่อยมลพิษจากชนิดของแหล่งกำเนิดต่างๆ อาทิ แหล่งกำเนิดจากธรรมชาติ แหล่งกำเนิดแบบเคลื่อนที่ แหล่งกำเนิดแบบจุด และแหล่งกำเนิดแบบพื้นที่

บัญชีการปลดปล่อยมลพิษนั้นเป็นข้อมูลที่สำคัญในการจัดการมลพิษทางอากาศของผู้ที่มีอำนาจหน้าที่ในการควบคุมดูแลและป้องกันมลพิษ เพื่อใช้ในการวางแผนงานควบคุม รวมทั้งนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ ได้อีก เช่น การศึกษาผลกระทบต่อแหล่งกำเนิด การทำบัญชีการปลดปล่อยมลพิษในปัจจุบันได้รับการยอมรับว่ามีความสำคัญต่อการควบคุมมลพิษทางอากาศทั้งในระดับท้องถิ่น ระดับภูมิภาค ระดับประเทศหรือแม้ในระดับโลก ซึ่งหน่วยงานและองค์กรระหว่างประเทศจำนวนมากได้ให้ความสำคัญกับการจัดทำบัญชีการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศ

การจัดทำบัญชีการปลดปล่อยมีขั้นตอนสำคัญคือ การประเมินปริมาณการปลดปล่อยมลพิษ ซึ่งสามารถกระทำได้หลายวิธีขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ของการใช้งาน ลักษณะของมลพิษ ความถูกต้องแม่นยำ และค่าใช้จ่าย รูปที่ 2.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าใช้จ่ายและความถูกต้องแม่นยำของวิธีการต่างๆ ในการประเมินปริมาณการปลดปล่อยซึ่งผู้ประเมินต้องพิจารณาควบคู่กัน เพราะถ้าผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อมมีมากจะต้องใช้การประเมินที่มีความถูกต้องแม่นยำสูงแม้จะยุ่งยากหรือเสียค่าใช้จ่ายสูงก็ตาม หากข้อมูลมีผลกระทบต่อสิ่งต่างๆ น้อยอาจไม่จำเป็นต้องใช้การประเมินอย่างละเอียดกับส่วนนี้มากเพราะไม่คุ้มค่ากับการลงทุนไป ดังนั้นการเลือกวิธีการประเมินการปลดปล่อยสำหรับแหล่งกำเนิดมลพิษแต่ละแหล่ง ควรพิจารณาความเหมาะสมในแต่ละวิธีการประเมินรวมทั้งเรื่องค่าใช้จ่ายในการประเมินและผลกระทบที่จะเกิดขึ้นด้วย



รูปที่ 2.7 เปรียบเทียบวิธีการประเมินปริมาณการปลดปล่อยมลพิษ [17]

ที่มา : U.S EPA AP-42, 1995

วิธีการประเมินปริมาณการปลดปล่อยมลพิษที่ง่ายที่สุดคือการใช้ตัวคูณปริมาณการปลดปล่อยมลพิษ (Emission Factor) ค่านี้เป็นตัวแทนความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการปลดปล่อยมลพิษและกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการปลดปล่อยมลพิษ ซึ่งโดยทั่วไปจะแสดงในรูปของน้ำหนักมลพิษต่อหน่วยน้ำหนักหรือเวลาของกิจกรรมที่ปลดปล่อยมลพิษ ซึ่งตัวคูณนี้มักใช้ในการประเมินการปลดปล่อยมลพิษของแหล่งกำเนิดแต่ละแหล่งเพื่อใช้ในการจัดทำบัญชีการปลดปล่อยมลพิษของแหล่งกำเนิดมลพิษในพื้นที่ที่สนใจ นอกจากการใช้ตัวคูณแล้วอาจใช้ข้อมูลจากการตรวจวัดปริมาณการปลดปล่อยมลพิษของแต่ละโรงงาน ข้อมูลนี้ต้องการติดตามและตรวจสอบอย่างต่อเนื่องเพื่อจะได้ข้อมูลปริมาณการปลดปล่อยจากแหล่งกำเนิดที่ถูกต้องกว่าการใช้ตัวคูณ แต่ข้อมูลที่ได้มาจากการตรวจสอบนั้นใช้ได้เฉพาะช่วงเวลาที่ทำการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำข้อมูลไปใช้ในการประเมินการปลดปล่อยในระยะยาวได้ ในกรณีที่ไม่สามารถได้ข้อมูลจากการตรวจวัดมลพิษจากแหล่งกำเนิดได้ วิธีต่อไปจะใช้ข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิตอุปกรณ์ เช่น ปริมาณการปลดปล่อยที่รับประกัน หรือข้อมูลตรวจวัดจริงของอุปกรณ์ชนิดเดียวกัน และหากไม่มีข้อมูลดังกล่าวจึงจำเป็นต้องใช้ตัวคูณปริมาณการปลดปล่อยมลพิษ แต่ต้องคำนึงถึงขีดจำกัดด้านความแม่นยำและความเสี่ยงจากการใช้ตัวคูณเทียบกับค่าใช้จ่ายในการตรวจวัดในการใช้กับโรงงาน แม้การใช้ตัวคูณอาจจะไม่ใช่วิธีที่ไม่ถูกต้องที่สุด แต่ก็มีผู้ใช้วิธีนี้ในการประเมินการปลดปล่อยมลพิษมากที่สุดเพราะเป็นวิธีที่ง่าย ค่าใช้จ่ายต่ำ และรวดเร็ว และยังเป็นที่ยอมรับให้ใช้ได้ ซึ่งในปัจจุบัน ก็มีการพัฒนาการใช้ตัวคูณให้มีการครอบคลุมของแหล่งกำเนิดและถูกต้องมากขึ้น นอกจากนี้ยังทำให้มีการใช้อย่างแพร่หลายโดยเฉพาะหน่วยงานของรัฐจะต้องมีความรู้

และสามารถใช้ตัวคูณมลพิษได้ แหล่งของข้อมูลตัวคูณปริมาณการปลดปล่อยมลพิษที่ใช้กันอย่างแพร่หลายมีดังนี้

1. World Health Organization, Assessment of Air, Water and Land Pollution

องค์กรอนามัยโลกได้ร่วมกับองค์กรอื่นๆของสหประชาชาติ 3 หน่วยงาน จัดทำคู่มือเพื่อใช้ในการประเมินปริมาณการปลดปล่อยมลพิษอย่างง่ายและรวดเร็ว ซึ่งครอบคลุมแหล่งกำเนิดหลายแหล่งและมีตัวคูณมลพิษทางอากาศสำหรับแหล่งกำเนิด 9 ประเภทหลัก เอกสารฉบับนี้ออกแบบมาให้ใช้งานง่ายและรวดเร็ว โดยต้องการข้อมูลที่จำเป็นและถูกต้อง

2. U.S. EPA, AP-42, Compilation of Air Pollutant Emission Factors

องค์กรพิทักษ์สิ่งแวดล้อมของสหรัฐอเมริกา ที่ได้จัดทำเอกสารค่าตัวคูณนี้ขึ้นโดยมีรายละเอียดมาก เพื่อให้มีการประเมินค่าปริมาณการปลดปล่อยมลพิษมีความถูกต้องมากที่สุด ทั้งนี้การใช้ค่าตัวคูณให้ถูกต้องจะต้องทราบรายละเอียดของลักษณะแหล่งกำเนิดนั้นๆ

3. European Environmental Agency, Emission Inventory Guidebook

องค์กรสิ่งแวดล้อมแห่งสหพันธ์ยุโรป ได้จัดทำคู่มือฉบับนี้โดยมีผลบังคับใช้สำหรับประเทศสมาชิก และประเทศสมาชิกจะต้องรายงานปริมาณการปลดปล่อยมลพิษโดยยึดหลักตามวิธีในคู่มือ โดยมีจุดประสงค์ในการจัดทำบัญชีแหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศซึ่งสามารถแพร่กระจายได้ไกลและมีผลกระทบต่อทวีปยุโรป

4. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventory

องค์กรของสหประชาชาติ ได้จัดทำบัญชีแก๊สเรือนกระจกแห่งชาติ เพื่อให้แต่ละประเทศนำไปจัดทำบัญชีไปในรูปแบบเดียวกัน และทำทั้งโลกเพื่อที่จะได้ข้อมูลบัญชีแก๊สเรือนกระจกของทุกประเทศทั่วโลกเพื่อทำการศึกษาผลกระทบต่อสภาวะโลกร้อน

โดยทั่วไปสมการที่ใช้ในการประเมินปริมาณการปลดปล่อยมลพิษสามารถแสดงดังสมการที่ (2.3)

$$E = A \times EF \times (1-ER/100) \quad (2.3)$$

เมื่อ

E = ปริมาณการปล่อยมลพิษ

A = อัตราการทำกิจกรรม

EF = ตัวคูณปริมาณการปลดปล่อย

ER = ประสิทธิภาพการควบคุมมลพิษ, %

สำหรับการทำบัญชีการปลดปล่อยในประเทศไทยเป็นข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญในการกำหนดมาตรการการควบคุมมลพิษทางอากาศและงานอื่นเช่น การกำหนดนโยบายด้านพลังงาน

กรมพัฒนาพลังงานทดแทน ได้จัดพิมพ์รายงานพลังงานของประเทศไทยทุกปี และประเมินการปลดปล่อยมลพิษจากการใช้พลังงานของประเทศไทยในแต่ละปี ซึ่งข้อมูลเหล่านี้แสดงถึงภาพรวมของปริมาณการปลดปล่อยของประเทศ วิธีการประเมินแบบหยาบ (Top down approach) สามารถนำมาใช้การควบคุมโดยรวมได้แต่ไม่มีความละเอียดพอ จึงต้องประเมินแบบละเอียด (Bottom up approach) โดยการประเมินปริมาณการปลดปล่อยของสารมลพิษแต่ละแหล่งแล้วนำข้อมูลมารวมกันให้เป็นปริมาณการปลดปล่อยรวมของเมืองหรือประเทศนั้นๆ บัญชีการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศในประเทศไทยที่ได้เคยจัดทำขึ้นมีรายละเอียดดังนี้

1.ฐานข้อมูลแหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศในกรุงเทพและปริมณฑล ปี พ.ศ. 2535 จัดทำโดยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี 2537 ได้ศึกษาฐานข้อมูลการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศของยานพาหนะและอุตสาหกรรมในกรุงเทพ สำหรับปีดังกล่าว โดยสารมลพิษที่สนใจคือ NO_x SO_2 CO และ ฝุ่นละอองแขวนลอยในอากาศ

2.ฐานข้อมูลแหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศในประเทศไทย ปี พ.ศ. 2537 ได้จัดทำแหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศในเมืองใหญ่ 11 เมือง และเขตควบคุมมลพิษ 2 เขต จัดทำโดยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี 2539 ได้ทำการประเมินปริมาณการปลดปล่อย NO_x และ SO_2 จากแหล่งกำเนิดต่างๆ ได้แก่ โรงงานไฟฟ้า ภาคอุตสาหกรรม ภาคขนส่งและแหล่งกำเนิดตามธรรมชาติ โดยใช้ค่าปัจจัยการปลดปล่อยจาก AP-42

3.โครงการปรับปรุงฐานข้อมูลแหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศในกรุงเทพและปริมณฑล ปี พ.ศ. 2540 จัดทำโดย บริษัทซีคอต จำกัด ในปี พ.ศ. 2543 ได้ทำการปรับปรุงในปี ค.ศ. 2000 โดยกรมควบคุมมลพิษ ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศในจังหวัดสมุทรปราการส่วนใหญ่มาจากภาคอุตสาหกรรม

ส่วนวิทยานิพนธ์ที่เกี่ยวข้องกับบัญชีการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศในระดับภูมิภาค ได้แก่

- พฤกษ์ พงศ์พฤษา [18] ได้ทำฐานข้อมูลแหล่งกำเนิดสารไฮโดรคาร์บอนและไนโตรเจนออกไซด์ของกรุงเทพและปริมณฑล โดยศึกษาแหล่งกำเนิดแบบพื้นที่ เคลื่อนที่ และแบบจุด พบว่ามีไนโตรเจนออกไซด์ปลดปล่อยออกมาในพื้นที่ที่ศึกษา 191,581 ตันต่อปีโดยมาจากแหล่งกำเนิดแบบเคลื่อนที่มากที่สุด รองลงมาคือ แหล่งกำเนิดแบบจุด และแหล่งกำเนิดแบบพื้นที่ ส่วนสารไฮโดรคาร์บอนจะปลดปล่อยออกมาที่ปริมาณ 456,851 ตันต่อปีโดยมาจากแหล่งกำเนิดแบบเคลื่อนที่มากที่สุด รองลงมาคือแหล่งกำเนิดแบบพื้นที่ และแหล่งกำเนิดแบบจุดตามลำดับ

- มงคล ตรีกิจจานนท์ [19] ได้คำนวณหาปริมาณการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศจากการผลิตไฟฟ้า พบว่า ปริมาณการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศจากการผลิตไฟฟ้าทั้งหมด ในประเทศไทย มีแนวโน้มสูงขึ้นตามอัตราการเพิ่มของกำลังการผลิต ยกเว้น กรณีแก๊ส SO_2 และ SPM ซึ่งมีแนวโน้มคงที่

- เอกชัยสุทธิลักษณ์ [20] ได้จัดทำบัญชีการปลดปล่อยสารมลพิษทางอากาศ เพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลนำเข้าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และเปรียบเทียบกับข้อมูลคุณภาพอากาศในบรรยากาศภายในบริเวณนิคมอุตสาหกรรมอมตะนคร จังหวัดชลบุรี พบว่ามลพิษที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่คือ ฝุ่นละอองแขวนลอย และอุตสาหกรรมที่ปลดปล่อยสารดังกล่าวมากที่สุดคือ อุตสาหกรรมเครื่องยนต์ และเมื่อเปรียบเทียบเมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานคุณภาพอากาศ พบว่า การทำนายความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศ มีแนวโน้มที่จะยังคงต่ำกว่าค่ามาตรฐานอยู่

2.7 การประเมินการปลดปล่อยมลพิษจากไฟฟ้าด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

โดยทั่วไปการประเมินการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศสามารถคำนวณได้จากปริมาณการใช้เชื้อเพลิง ร่วมกับปัจจัยการปลดปล่อย(Emission factor) ในกรณีมลพิษทางอากาศจากไฟฟ้าก็สามารถประเมินได้จากวิธีการเดียวกัน ซึ่งสมการที่ใช้แสดงดังสมการที่ (2.4) [21]

$$E_i = M \times EF_i \quad (2.4)$$

โดยที่

E_i = ปริมาณมลพิษทางอากาศที่ถูกปลดปล่อย(กรัม)

M = จำนวนชีวมวลที่ถูกเผาไหม้ (กิโลกรัม)

EF_i = ปัจจัยการปลดปล่อยของมลพิษที่สนใจ (กรัม/ปริมาณชีวมวลทั้งหมดในสถานะไร้ความชื้น (กิโลกรัม))

I = ชนิดของมลพิษทางอากาศที่สนใจ

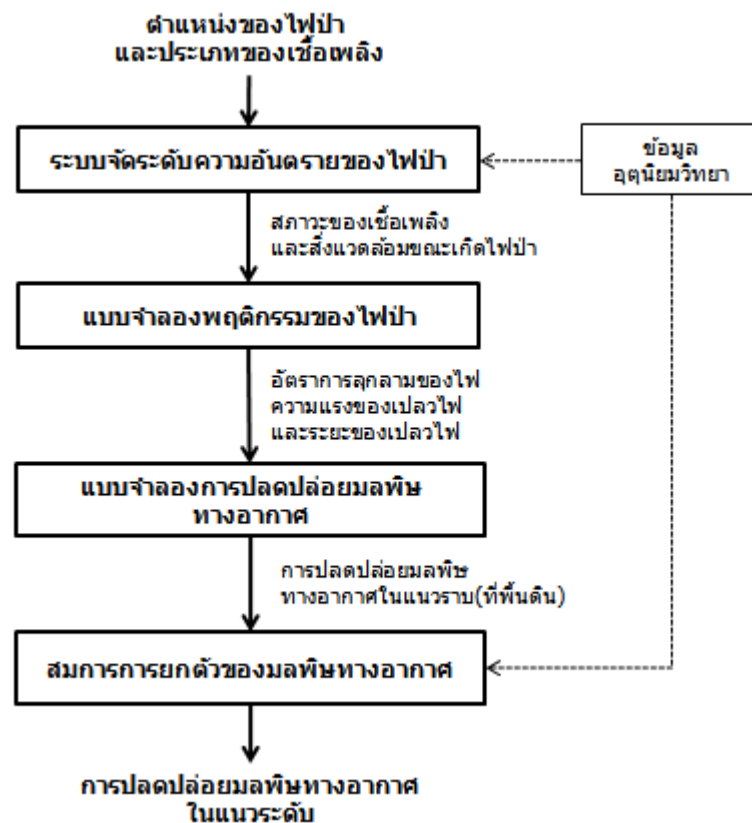
สำหรับการประเมินการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศจากไฟฟ้า ค่าปัจจัยการปลดปล่อย(EF) ได้จากการทดลองภาคสนามในพื้นที่ป่า ในขณะที่จำนวนชีวมวลที่ถูกเผาไหม้(M) สามารถคำนวณได้จากพื้นที่ที่ถูกไฟไหม้ ปริมาณชีวมวลทั้งหมดในสถานะไร้ความชื้น ประสิทธิภาพของการเผาไหม้ และสัดส่วนชีวมวลที่ถูกเผาไหม้ ดังสมการที่ (2.5) [21]

$$M = A \times B \times E \times F \quad (2.5)$$

โดยที่

$$\begin{aligned} A &= \text{พื้นที่ถูกไฟไหม้ (ตารางเมตร)} \\ B &= \text{ปริมาณชีวมวลทั้งหมดในสภาวะไร้ความชื้น (กิโลกรัม/ตารางเมตร)} \\ E &= \text{ประสิทธิภาพของการเผาไหม้} \\ F &= \text{สัดส่วนชีวมวลที่ถูกเผาไหม้} \end{aligned}$$

ซึ่งข้อมูลส่วนใหญ่ได้จากการสำรวจของหน่วยงานต่างๆ การทดลองในห้องปฏิบัติการ การทดลองภาคสนาม และเอกสารอ้างอิงต่างๆ การประเมินการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศจากไฟป่า โดยการสมมุติว่า ไฟป่ามีลักษณะเหมือนกัน คือมีประสิทธิภาพการเผาไหม้และสัดส่วนของการเผาไหม้คงที่ จึงต้องการข้อมูลพื้นที่ถูกไฟไหม้เพียงข้อมูลเดียวก็สามารถหาปริมาณของการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศจากไฟป่าได้ ทำให้ง่ายต่อการดำเนินงาน และให้ผลลัพธ์รวดเร็ว แต่สมมุติฐานดังกล่าวทำให้ผลการประเมินมีความคลาดเคลื่อนสูงเพราะไฟป่าในแต่ละครั้งมีความแตกต่างกัน และสามารถเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมไปตามสภาพปัจจัยของสิ่งแวดล้อมภายนอกซึ่งจะทำให้การปลดปล่อยมลพิษทางอากาศในแต่ละครั้งเปลี่ยนแปลงไปด้วย ดังนั้นจึงมีการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ต่างๆ เพื่อจำลองลักษณะพฤติกรรมต่างๆ ของไฟป่า และประเมินการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศจากพฤติกรรมนั้น ทำให้ผลของการประเมินมีความถูกต้องใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากขึ้น ปัจจุบันมีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการทำนายพฤติกรรมของไฟป่าอยู่หลายแบบจำลอง อาทิ แบบจำลอง FireLib[22] BehavePlus[23] และ FlamMap[24] ของ US Firelab, Department of Agricultural, USA เป็นต้น และแบบจำลองที่ใช้ประเมินการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศโดยอาศัยข้อมูลพฤติกรรมของไฟป่า อาทิ FOFEM (a First Order Fire Effects Model) [25] และ FARSITE[26] ของ US Firelab, Department of Agricultural, USA เป็นต้น ขั้นตอน และกระบวนการทั้งหมดในการประเมินการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศจากไฟป่าด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.8



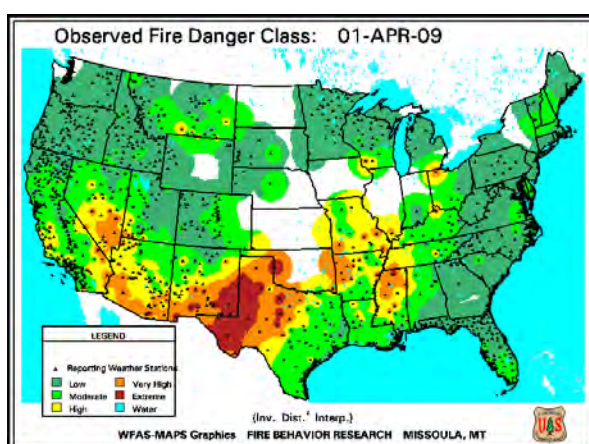
รูปที่ 2.8 กระบวนการในการประเมินการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศจากไฟฟ้าด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

กระบวนการเริ่มจากการนำข้อมูลตำแหน่งของไฟฟ้า ซึ่งได้จากการประมวลภาพถ่ายดาวเทียม และประเภทของเชื้อเพลิงในป่านั้นว่าเป็นป่าประเภทใด เช่น ป่าหญา ป่าไม้ผลัดใบ เป็นต้น มาคำนวณสถานะของเชื้อเพลิง และสิ่งแวดล้อมขณะเกิดไฟฟ้า อาทิ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ และความชื้นของเชื้อเพลิง เป็นต้น ด้วยระบบจัดระดับความอันตรายของไฟฟ้า โดยอาศัยข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ต่อมาข้อมูลดังกล่าว จะถูกใช้ในการทำนายพฤติกรรมของไฟฟ้า อาทิ อัตราการลุกลามของไฟ ความแรงของเปลวไฟ และระยะของเปลวไฟ เป็นต้น ด้วยแบบจำลองพฤติกรรมของไฟฟ้า ต่อมาข้อมูลพฤติกรรมของไฟฟ้าที่ทำนายได้จะถูกใช้ในการประเมินการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศที่ระดับพื้นดิน ด้วยแบบจำลองการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศ ต่อมาข้อมูลการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศที่พื้นดิน จะถูกใช้ในการคำนวณการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศที่ความสูงระดับต่างๆ (ในแนวระดับ) ด้วยสมการการยกตัวของมลพิษทางอากาศ โดยอาศัยข้อมูลอุตุนิยมวิทยา เนื่องมาจากในความเป็นจริงมลพิษทางอากาศที่เกิดขึ้นสามารถยกตัวสูงขึ้นก่อนจะถูกพัดพาไปตามกระแสลม ดังนั้นเพื่อให้การประเมินการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศจากไฟฟ้ามีความถูกต้องใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากขึ้น การคำนวณความสูงที่มลพิษสามารถยกตัว จึงจำเป็นสำหรับการประเมินการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศในแนวระดับ ซึ่งจะ

ทำให้ทราบถึงปริมาณมลพิษทางอากาศที่ระดับความสูงต่างๆ และทำให้การทำนายคุณภาพอากาศในขั้นตอนต่อไปมีความถูกต้องใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากขึ้น ซึ่งรายละเอียดของแต่ละขั้นตอนในกระบวนการประเมินการปลดปล่อยมลพิษจากไฟฟ้า มีดังต่อไปนี้

2.7.1 ระบบจัดระดับความอันตรายของไฟฟ้า

Nation Fire Danger Rating Systems (NFDRS) คือระบบจัดระดับความอันตรายของไฟแห่งชาติ(ของประเทศสหรัฐอเมริกา) ที่จัดทำขึ้นครั้งแรกเมื่อปี พ.ศ. 2515 โดย Jack D. Cohen และ John E. Deeming แห่งDepartment of Agricultural, USA [27] มีจุดประสงค์ในการจัดอันดับความอันตรายของไฟฟ้าเพื่อการป้องกัน เตือนภัย และวางมาตรการควบคุมไฟฟ้าในประเทศสหรัฐอเมริกา ตัวอย่างแผนภาพผลลัพธ์การจัดอันดับความอันตรายของไฟฟ้ายาววันด้วยระบบ NFDRS ของวันที่ 1 เมษายน พ.ศ. 2552 แสดงได้ดังรูปที่ 2.9[28]



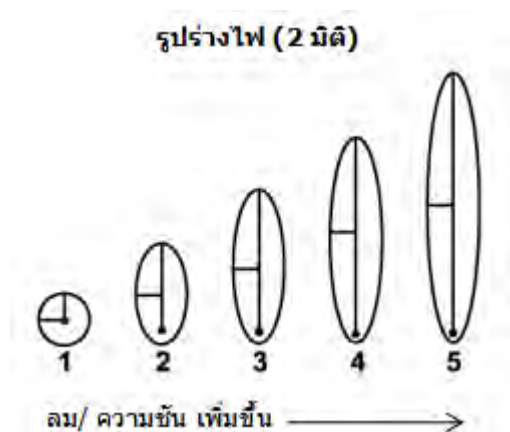
รูปที่ 2.9 แผนภาพผลลัพธ์การจัดอันดับความอันตรายของไฟฟ้ายาววันด้วยระบบ NFDRS ของวันที่ 1 เมษายน พ.ศ. 2552 สีแดงในแผนภาพหมายถึงพื้นที่ที่ถูกจัดอันดับว่ามีความอันตรายของไฟฟ้ามากที่สุด สีเขียวหมายถึงพื้นที่ที่ถูกจัดอันดับว่ามีความอันตรายของไฟฟ้าน้อย เป็นต้น [28]

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) ตัวอย่างสมการ

ในระบบ NFDRS อาทิ สมการ William Simpson and Anton TenWolde Equations สำหรับคำนวณค่าความชื้นสมดุลในอากาศ (Equilibrium moisture content: EMC) สมการคำนวณความชื้นของเชื้อเพลิงที่ยังมีชีวิตอยู่ (Models of Life-Fuel Moisture) และสมการคำนวณความชื้นของเชื้อเพลิงที่ตายแล้ว (Models of Dead-Fuel Moisture) เป็นต้น ในกระบวนการในการประเมินการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศจากไฟป่าด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ตามรูปที่ 2.10 จะใช้สมการเพียงบางสมการของระบบ NFDRS สำหรับการคำนวณสถานะของเชื้อเพลิง และสิ่งแวดลอมขณะเกิดไฟป่า 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)

2.7.2 แบบจำลองพฤติกรรมของไฟป่า

สถานะของเชื้อเพลิง และสิ่งแวดลอมขณะเกิดไฟป่าที่ได้จากระบบ NFDRS จะเป็นข้อมูลขาเข้าของแบบจำลองพฤติกรรมของไฟป่าต่างๆ อาทิแบบจำลอง FireLib BehavePlus และ FlamMap เป็นต้น โดยแบบจำลองจะทำนายลักษณะพฤติกรรม อาทิ อัตราการลุกลามของไฟ (Rate of spread) ความแรงของไฟ (Intensity) และระยะของไฟ (Flame length) เป็นต้น พฤติกรรมของไฟป่าจะถูกทำนายโดยแบบจำลอง หรือสมการที่ได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการ แบบจำลองพฤติกรรมของไฟป่า FireLib จะทำนายอัตราการลุกลามของไฟและระยะของไฟโดยใช้พื้นฐานของแบบจำลอง The elliptical growth model พัฒนาโดย Anderson ในปี พ.ศ. 2526[29] โดยมีสมมุติฐานที่ว่าไฟจะมีรูปร่างเป็นวงกลม และเปลี่ยนแปลงรูปร่างไปตามปัจจัยภายนอกเช่น ทิศทางลม และความชันของพื้นที่ เป็นต้น ตัวอย่างรูปร่างของไฟป่าที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อความเร็วลม และความชันของพื้นที่เพิ่มขึ้นแสดงดังรูปที่ 2.10 [29] ส่วนความแรงของไฟจะทำนายโดยใช้สมการของ Byram [6] เป็นต้น



รูปที่ 2.10 รูปร่างของไฟป่าที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อความเร็วลมและ ความชื้นของพื้นที่เพิ่มขึ้น [29]

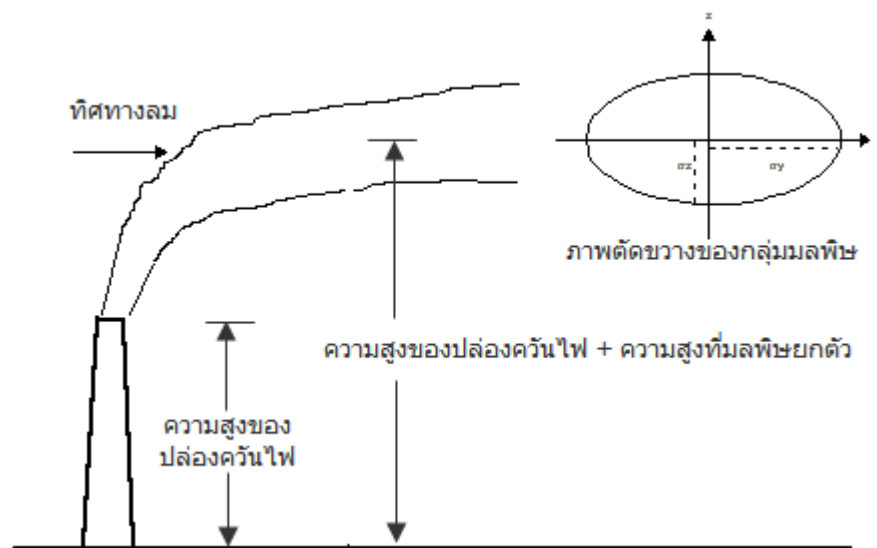
2.7.3 แบบจำลองการปลดปล่อยมลพิษจากไฟป่า

แบบจำลองการปลดปล่อยมลพิษจากไฟป่าส่วนใหญ่มีพื้นฐานจากแบบจำลอง Burnup model พัฒนาโดย Albinil และคณะ แห่ง US Firelab, Department of Agricultural, USA [30] ซึ่งเป็นแบบจำลองการเผาผลาญเชื้อเพลิง (Fuel consumption) ของกระบวนการเผาไหม้ (Combustion) แบบจำลอง Burnup เป็นแบบจำลองที่ใช้หลักการการถ่ายเทความร้อน เช่น แบบจำลองการถ่ายเทความร้อนผ่านฟิล์มของนิวโตเนียน (Newtonian film heat transfer model) และ ความร้อนจากการเผาไหม้(Heat of combustion) เป็นต้น ต่อมาแบบจำลอง Burnup ถูกพัฒนาให้มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้นโดย Finney ในปี พ.ศ. 2544 แบบจำลองดังกล่าวมีชื่อว่า Post-Frontal Combustion [26] ซึ่งสามารถจำลองการเผาผลาญเชื้อเพลิงของทั้งช่วงการเผาไหม้ที่มีเปลวไฟ (Flame) และช่วงที่เปลวไฟดับแล้วแต่ยังคุกรุ่นอยู่ (Smolder) โดยแบบจำลอง Post-Frontal Combustion มีสมมุติฐานว่าการเผาไหม้ที่มีเปลวไฟ (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 และ FARSITE เป็นต้นล้วนใช้แบบจำลอง Post-Frontal Combustion เป็นพื้นฐาน

สำหรับการประเมินการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศจากไฟฟ้า

2.7.4 สมการการยกตัวของมลพิษทางอากาศ

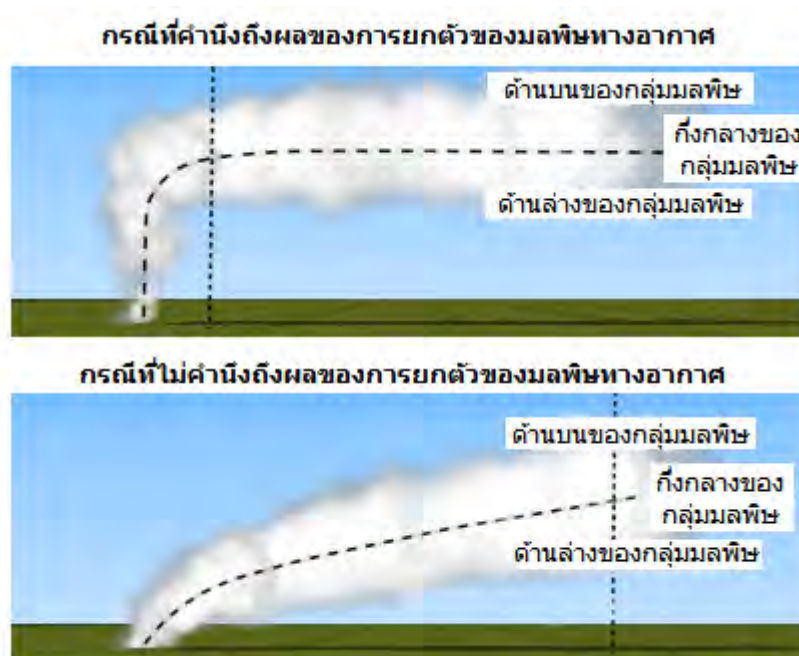
ผลลัพธ์ของการประเมินการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศจากไฟฟ้า ด้วยแบบจำลองการปลดปล่อยมลพิษจากไฟฟ้า จะเป็นการปลดปล่อยมลพิษที่ระดับพื้นดิน แต่ในความเป็นจริงแล้ว การปลดปล่อยมลพิษสามารถเกิดขึ้นได้ทั้งแนวระนาบ และแนวระดับ (ที่ความสูงต่างๆ) เนื่องจากโดยธรรมชาติกลุ่มมลพิษทางอากาศที่ถูกปลดปล่อยออกจากแหล่งกำเนิด สามารถยกตัวสูงขึ้นในแนวระดับ (Plume rise) ทั้งนี้เพราะคุณสมบัติของมลพิษทางอากาศเอง หรือสภาวะอากาศของสิ่งแวดล้อมในขณะนั้น ตัวอย่างเช่น การปลดปล่อยมลพิษทางอากาศจากปล่องควันไฟในโรงงานอุตสาหกรรมพบว่า กลุ่มของมลพิษทางอากาศจะยกตัวสูงขึ้นในแนวระดับด้วยแรงลอยตัว (Buoyant force) เนื่องจากอากาศร้อนที่อยู่รอบๆยกตัวสูงขึ้นเมื่อมีอุณหภูมิสูงขึ้น ก่อนที่จะถูกพัดพาให้เคลื่อนที่ด้วยอิทธิพลของลม และมีความเข้มข้นของมลพิษเจือจางลงทั้งในแนวระดับ และแนวราบดังแสดงในรูปที่ 2.11 [31]



รูปที่ 2.11 การยกตัวของมลพิษทางอากาศจากปล่องควันไฟ [31]

โดยการยกตัวนี้จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับสภาพของบรรยากาศขณะนั้นเช่น แรงลอยตัว (Buoyancy force) ความเร็วลม (Wind speed) และความเสถียรของบรรยากาศ (Stability classes) เป็นต้น ซึ่งการยกตัวสามารถคำนวณได้จากสมการการยกตัวของมลพิษได้แก่ Brigg plume rise equation [32] และ Bosanquet's plume rise formula [33] เป็นต้น

ปัจจุบันยังไม่มีสมการที่ใช้ทำนายการยกตัวของกลุ่มมลพิษจากไฟฟ้าโดยเฉพาะ จึงมีการประยุกต์สมการ Briggs plume rise ซึ่งเป็นสมการการทำนายการยกตัวของมลพิษที่ปลดปล่อยจากปล่องระบายควันในอุตสาหกรรม เพื่อใช้ในการประเมินปริมาณมลพิษทางอากาศจากไฟฟ้าในแนวระดับ การคำนวณการยกตัวของมลพิษทางอากาศมีความสำคัญมากต่อการจำลองคุณภาพอากาศด้วยแบบจำลอง (Air quality Model) เพราะการยกตัวของมลพิษ ทำให้ระดับความสูงที่แท้จริงของการปลดปล่อยมลพิษเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งหากไม่ได้คำนึงถึงปรากฏการณ์ดังกล่าวก็จะทำให้ผลการจำลองคุณภาพผิดพลาดไปด้วย การเปรียบเทียบการกระจายตัวของมลพิษทางอากาศในกรณีที่ไม่คำนึงถึงผลของการยกตัวของมลพิษทางอากาศ (บน) และไม่คำนึงถึงผลของการยกตัวของมลพิษทางอากาศ (ล่าง) แสดงได้ดังรูปที่ 2.12 [34]



รูปที่ 2.12 การเปรียบเทียบการกระจายตัวของมลพิษทางอากาศในกรณีที่ไม่คำนึงถึงผลของการยกตัวของมลพิษทางอากาศ (บน) และไม่คำนึงถึงผลของการยกตัวของมลพิษทางอากาศ (ล่าง) [34]

2.8 แบบจำลองทางอุตุนิยมวิทยา [35]

แบบจำลองทางอุตุนิยมวิทยา (Meteorological model) คือ แบบจำลองเชิงตัวเลข (numerical model) ที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อจุดประสงค์ในการจำลองบรรยากาศ หรือพยากรณ์สถานะของอากาศ เนื่องจากปรากฏการณ์ทางธรรมชาติสามารถอธิบายได้ด้วยกฎเกณฑ์ทางฟิสิกส์ การเปลี่ยนแปลง

ของบรรยากาศจึงสามารถแสดงได้ในรูปของระบบสมการทางคณิตศาสตร์ โดยตัวแปรต่างๆ ในระบบสมการทางคณิตศาสตร์นั้น ได้แก่ องค์ประกอบของบรรยากาศต่างๆ เช่น อุณหภูมิ ความเร็ว และทิศทางลม และความชื้น เป็นต้น ดังนั้นหากสามารถแก้สมการทางคณิตศาสตร์เหล่านั้นได้ก็จะหมายถึงสามารถจำลองบรรยากาศ หรือพยากรณ์อากาศในอนาคตได้ แต่ระบบสมการดังกล่าวมีความซับซ้อน และไม่สามารถแก้สมการเหล่านั้นเพื่อหาคำตอบที่แท้จริงของระบบสมการ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้วิธีการจำลองเชิงตัวเลข เพื่อหาคำตอบโดยประมาณ การแก้สมการที่มีความซับซ้อนจำเป็นที่จะต้องใช้ระบบคอมพิวเตอร์ที่มีสมรรถนะสูง เพื่อช่วยในการหาคำตอบของระบบสมการนั้น และแสดงผลการจำลองบรรยากาศหรือพยากรณ์อากาศต่อไป โดยปกติเพื่อให้การคำนวณสามารถทำได้อย่างรวดเร็ว จึงมีการกำหนดขนาดของขอบเขตที่แน่นอนของพื้นที่ศึกษา และทำการจำลองดังกล่าวในพื้นที่ศึกษานั้นโดยไม่คำนึงถึงผลกระทบจากปัจจัยภายนอกพื้นที่ศึกษา แต่การไม่คำนึงถึงปัจจัยภายนอกดังกล่าวย่อมทำให้ผลการจำลองที่ความถูกต้องน้อยลง โดยแบบจำลองทางอุตุนิยมวิทยาสามารถแบ่งออกเป็น 4 ระดับตามขนาดของขอบเขตศึกษาได้แก่ ระดับเล็ก (Microscale) ระดับกลาง (Mesoscale) ระดับใหญ่ (Synoptic scale) และระดับโลก (Global scale)

1.แบบจำลองทางอุตุนิยมวิทยาระดับเล็ก (Microscale) โดยส่วนใหญ่จะมีขนาดของขอบเขตศึกษาไม่เกิน 1 ตารางกิโลเมตร เหมาะกับการศึกษาขนาดเล็กที่การเปลี่ยนแปลงของบรรยากาศภายนอกไม่ส่งผลต่อพื้นที่ศึกษามากนัก มักใช้ในการจำลองผลกระทบจากลมที่มีผลต่อสิ่งก่อสร้าง

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

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

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

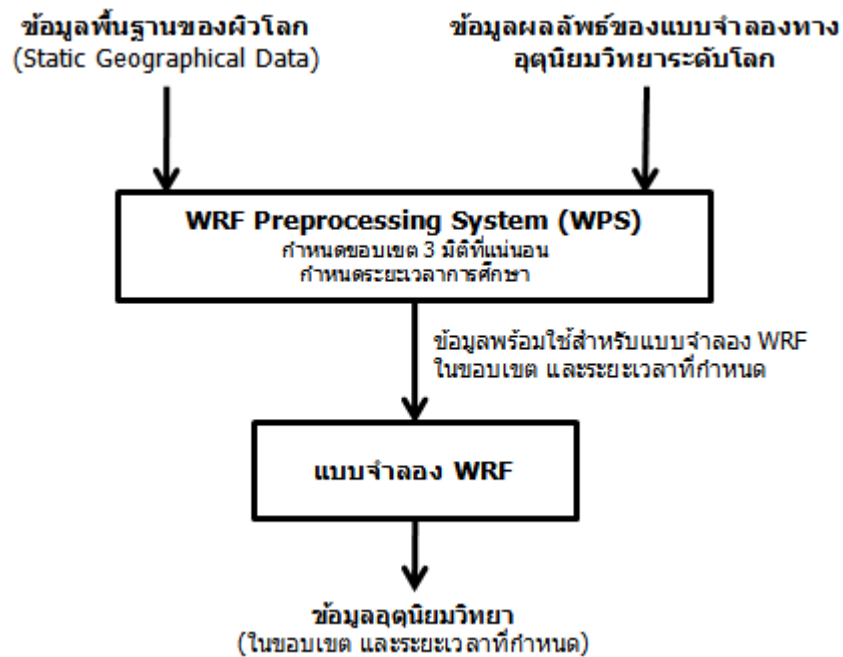
แบบจำลองทางอุตุนิยมวิทยาต่างๆที่ได้รับความนิยมในปัจจุบัน ต่างก็มีพื้นฐานอยู่บนระบบสมการหลักชุดเดียวกันซึ่งประกอบด้วย สมการของการเคลื่อนที่ (equation of motion) สมการอุทกสถิต (hydrostatic equation) สมการอุณหพลศาสตร์ (thermodynamic equation) สมการความต่อเนื่อง (continuity equation) สมการของสถานะ (equation of state) และสมการไอน้ำ (water vapor equation) แต่จะมีความแตกต่างกันในเรื่องของสมมุติฐานที่ใช้ อาทิ สภาวะเริ่มต้น สภาวะขอบเขต และวิธีการในการแก้สมการเป็นต้น สำหรับการจำลองบรรยากาศ หรือพยากรณ์ของอากาศ ในพื้นที่ภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ นิยมใช้แบบจำลองทางอุตุนิยมวิทยาระดับกลาง ซึ่งให้ความถูกต้องในระดับที่น่าพอใจ โดยใช้เวลาในการคำนวณผลลัพธ์ไม่นานจนเกินไป แบบจำลองทางอุตุนิยมวิทยาระดับกลางที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน อาทิ Weather Research and Forecasting Model(WRF) [36] และ Fifth-Generation NCAR/Penn State Mesoscale Model(MM5)[37] เป็นต้น

2.8.1 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) [36] พัฒนาโดย Mesoscale and Microscale Meteorology แห่ง NCAR ประเทศสหรัฐอเมริกา และ WRF (NMM core) พัฒนาโดย NCEP ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยมีความแตกต่างกันในเรื่องของ สมมุติฐานบางอย่าง และวิธีการแก้สมการซึ่งทำให้เหมาะสมสำหรับการใช้งานแตกต่างกันไป

โดยทั่วไปการใช้แบบจำลอง WRF เพื่อการจำลองบรรยากาศ จะมีต้องมีการกำหนดขอบเขต 3 มิติที่แน่นอน และแบ่งขอบเขตนั้นออกเป็นกริดเล็กๆ ที่ความละเอียดตามที่กำหนด กระบวนการในการจำลองสถานะอากาศด้วยแบบจำลอง WRF มีขั้นตอนแสดงได้ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 กระบวนการในการจำลองบรรยากาศด้วยแบบจำลอง WRF

แบบจำลอง WRF อาศัยข้อมูลในการคำนวณ 2 ส่วนด้วยกันคือ ข้อมูลพื้นฐานของผิวโลก (Static Geographical Data) และ ข้อมูลผลลัพธ์ของแบบจำลองทางอุตุนิยมวิทยาระดับโลก ซึ่งกระบวนการในการเตรียมข้อมูลขาเข้าของแบบจำลอง WRF จะกระทำโดยระบบการเตรียมข้อมูลของ WRF (WRF Preprocessing System: WPS) [38] โดย WPS ทำหน้าที่กำหนดขอบเขต 3 มิติของพื้นที่ศึกษา และกำหนดระยะเวลาของการศึกษา รวมถึงจัดเตรียมข้อมูลพื้นฐานของผิวโลก และข้อมูลผลลัพธ์ของแบบจำลองทางอุตุนิยมวิทยาระดับโลกให้อยู่ในขอบเขตที่กำหนด และมีรูปแบบที่พร้อมใช้ของแบบจำลอง WRF

ข้อมูลพื้นฐานของผิวโลก (Static Geographical Data) เช่น ระดับความสูงของพื้นดิน (Elevation) ความชันของพื้นดิน (Slope) ลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land use) พื้นที่ที่ถูกน้ำแข็งปกคลุม (Snow cover) ฯลฯ ซึ่งสามารถดาวน์โหลดได้จากเว็บไซต์ของผู้พัฒนาระบบ WPS ส่วนข้อมูลผลลัพธ์ของแบบจำลองทางอุตุนิยมวิทยาระดับโลก เป็นข้อมูลอุตุนิยมจากแบบจำลองทางอุตุนิยมวิทยาระดับโลก อาทิ North American Mesoscale Model (NAM) [39] Global Forecast System (GFS) [40] Rapid Update Cycle (RUC) [41] และ Agricultural Meteorological Model (AGRMET) [42] เป็นต้น ซึ่งถูกจัดเก็บอยู่ในรูปกริด (Grid) สามารถดาวน์โหลดได้จากเว็บไซต์ของผู้พัฒนาแต่ละแบบจำลอง

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

2.9 แบบจำลองคุณภาพอากาศ [44]

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 เพื่อทำนายความเข้มข้นของมลพิษได้มาจากแหล่งปลดปล่อย แบบจำลองสำหรับการกระจายตัวของมลพิษในอากาศสามารถแบ่งออกเป็น 5 ประเภทหลักได้แก่

1.Box model คือการทำแบบจำลองโดยการแบ่งพื้นที่ที่สนใจรวมทั้งชั้นบรรยากาศออกเป็น ส่วนๆในรูปลูกบาศก์ คำนวณหาความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศโดยสมมติให้มลพิษในอากาศที่อยู่ในกล่องลูกบาศก์นั้นมีความเป็นเนื้อเดียวกัน แบบจำลองที่ค่อนข้างง่ายนี้มีข้อจำกัดอยู่มาก และผลของการจำลองไม่ถูกต้องเท่าที่ควรเนื่องจากสมมุติฐานที่หยาบเกินไป

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

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

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

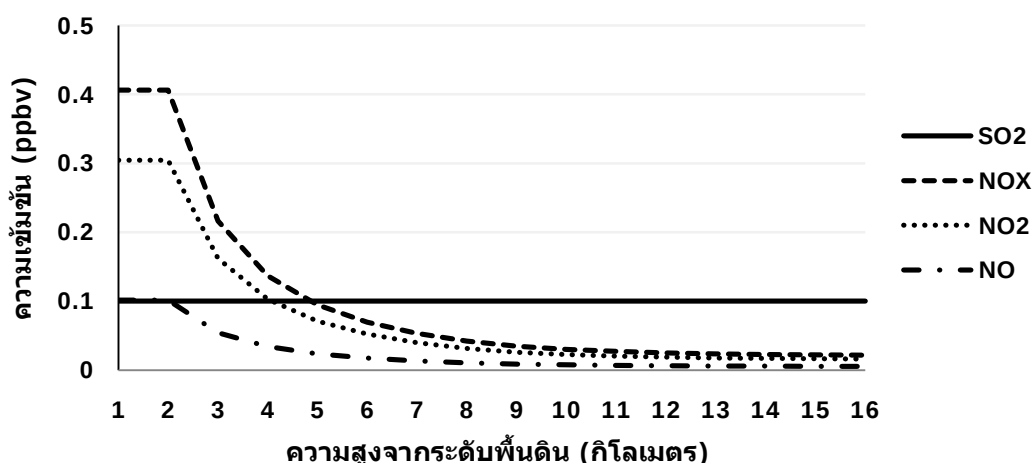
5.Dense gas model เป็นแบบจำลองที่ใช้กับกลุ่มมลพิษที่มีค่าความหนาแน่นมากกว่าอากาศเท่านั้น กลุ่มมลพิษดังกล่าว ไม่สามารถจำลองได้ด้วยแบบจำลองคุณภาพอากาศพื้นฐาน เนื่องจากมีพฤติกรรมกระจายตัวที่แตกต่างออกไปจากกลุ่มมลพิษที่มีค่าความหนาแน่นน้อยกว่าอากาศ แบบจำลองประเภทนี้ จะจำลองการกระจายความหนาแน่นของกลุ่มมลพิษในอากาศ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

2.9.1 แบบจำลองคุณภาพอากาศ WRF-Chem

แบบจำลองคุณภาพอากาศ Weather Research and Forecasting Model: Chemistry (WRF-Chem) ถูกพัฒนาขึ้นครั้งแรกในปี พ.ศ.2545 โดย WRF Atmospheric Chemistry Working Group [45] ซึ่งเป็นแบบจำลองคุณภาพอากาศประเภท Eulerian model โดยเป็นการพัฒนาเพิ่มเติมของแบบจำลองทางอุตุนิยมวิทยาระดับกลาง Weather Research and Forecasting (WRF) ปัจจุบัน WRF-Chem พัฒนามาจนถึงรุ่นที่ 3 สามารถจำลองสภาพบรรยากาศ และทำนายความเป็นไปของสารเคมี (Chemistry) หรือละอองของเหลว (Aerosols) บนชั้นบรรยากาศนั้น ปัจจัยที่ถูกลำมาพิจารณาในแบบจำลอง WRF-Chem มีดังต่อไปนี้

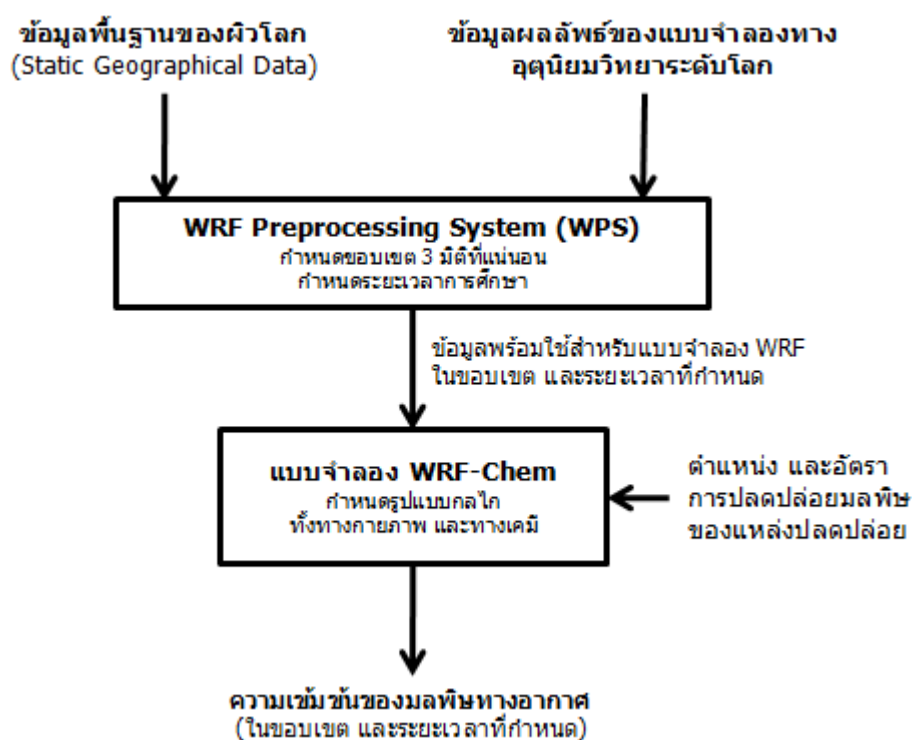
- 1.การตกสะสมแบบแห้งโดยแรงโน้มถ่วงของโลก(Dry Deposition)
2. การชะโดยฝน (Wet deposition) กรณีติดตั้งองค์ประกอบ Kinetic Pre-Processor (KPP) [46] เพิ่มเติม
3. การปลดปล่อยมลพิษจากพืช(Biogenic emissions)
- 4.การปลดปล่อยมลพิษจากกิจกรรมของมนุษย์(Anthropogenic emissions)
5. มีกลไกปฏิกิริยาเคมีในสถานะก๊าซ (gas-phase chemical mechanisms) 23 รูปแบบ อาทิ RADM2[47] และ MADE[48] เป็นต้น
- 6.มีปฏิกิริยา Photolysis 2 รูปแบบ ได้แก่ Madronich [49] และ Fast-J [50]
- 7.มีรูปแบบของละอองของเหลว 2 รูปแบบ ได้แก่ MADE/SORGAM [51] และ MOSAIC[52]

สภาวะขอบเขตของสารเคมี (Chemical boundary conditions) สำหรับแบบจำลอง WRF-Chem ได้มาจากผลลัพธ์ของแบบจำลอง NALROM numerical chemistry model [53] 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 2.14



รูปที่ 2.14 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 ไฟฟ้า และกิจกรรมของมนุษย์ จะเป็นแหล่งปลดปล่อยมลพิษทางอากาศที่สำคัญที่สุด ผลลัพธ์ของแบบจำลองคุณภาพอากาศ WRF-Chem คือความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศชนิดต่างๆ ในพื้นที่ศึกษา และช่วงเวลาที่ทำการศึกษา กระบวนการทั้งหมดของการทำนายคุณภาพอากาศด้วยแบบจำลอง WRF-Chem แสดงได้ดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 กระบวนการทั่วไปของการทำนายคุณภาพอากาศด้วยแบบจำลอง WRF-Chem

2.10 เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Streets และคณะ [54] ได้ทำการประเมินการเผาไหม้ชีวมวลในเอเชีย มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินจำนวนโดยรวมของการเผาไหม้ชีวมวลของประเทศต่างๆ ในทวีปเอเชีย เพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลของการปลดปล่อยมลพิษ โดยอาศัยการสำรวจสิ่งตีพิมพ์ในระดับชาติและระดับภูมิภาค สามารถสรุปได้ว่ามีชีวมวลที่ถูกเผาทั้งหมด 730 Tg ประกอบด้วยการเผาป่า 45% การเผาหญ้า 20% และการเผาเศษพืชที่เหลือ 34% โดยแบ่งสัดส่วนเป็นประเทศจีน 25% อินเดีย 18% อินโดนีเซีย 13% และพม่า 8% เมื่อพิจารณาที่ระดับภูมิภาคพบว่า ภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้จะมีการเผาป่าสูงสุด และในส่วนของ การประเมินการปลดปล่อยมลพิษออกสู่บรรยากาศจะคำนวณจากมวลของสารแห้งที่ถูกเผา (M) คูณด้วยค่าปัจจัยการปลดปล่อยมลพิษของ Andreae และ Merlet จะได้ค่าการปลดปล่อยมลพิษของการเผาไหม้ในเอเชียเท่ากับ 0.37 Tg ของ SO_2 , 2.8 Tg ของ NO_x , 1100 Tg ของ CO_2 , 67 Tg ของ CO, 3.1 Tg ของ CH_4 , 12 Tg ของ NMVOC, 0.45 Tg ของ BC, 3.3 Tg ของ OC และ 0.92 Tg ของ NH_3

Kakareka, S. V. และ T. I. Kukharchyk [55] ได้ประเมินการปลดปล่อย Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (PAH) ที่เกิดจากการเผาในที่โล่งของเศษพืชที่เหลือจากการเกษตร โดยใช้วิธีการประเมินการเผาโดยการทำแบบจำลองด้วยการสุ่มตัวอย่างรวมถึงวิธีการวิเคราะห์ เริ่มจากการทำสำรวจโดยวิธีสังเกตจากตัวอย่างจริงของเศษพืชที่ถูกเผาในที่โล่งและรวบรวมโครงสร้างและปริมาณของวัสดุที่ติดไฟได้ โดยจะรวมเศษพืชที่เหลือจากไร่นาในหลายชนิดเพื่อให้ได้ผลอย่างมีนัยสำคัญของปริมาณ PAH การเผาในพื้นที่ไร่นาจะเผากันมากในช่วงเดือนกันยายนถึงตุลาคม และเดือนเมษายนถึงพฤษภาคม วิธีของการเผาก็แตกต่างกันโดยขึ้นอยู่กับขนาดของวัสดุ ค่าความชื้นของวัสดุ และสภาพภูมิอากาศ โดยส่วนมากค่าความชื้นของวัสดุจะค่อนข้างสูงประมาณ 10% หรือมากกว่า สำหรับการทดลองจะทำโดยการทดสอบเผาเศษพืชที่เหลือจากไร่นาแล้วเก็บตัวอย่างอากาศและก๊าซที่ออกมาจากปล่องควันและจะใช้เครื่องแยกก๊าซ PAH ออกมาโดยผ่านแผ่นกรองและน้ำยาดูดเกาะ โดยผลที่ได้จากการทดลองคือปริมาณรวมทั้งหมดของ PAH ทั้ง 16 ชนิด ในถ้ำลอยมีค่าอยู่ช่วง 239.3 ถึง 571.1 mg/kg โดยใน PAH ทั้งหมดนี้จะมี Phenanthrene ปริมาณมากที่สุดคืออยู่ในช่วง 106.6 ถึง 189.7 mg/kg มีสัดส่วนถึง 32 ถึง 55 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณ PAH ทั้งหมด ส่วน Dibenzo (a, h) anthracene ไม่สามารถตรวจพบได้จากการเผาในทุกครั้งการทดลอง ส่วนความเข้มข้นของ PAH ทั้ง 16 ชนิดจะอยู่ในช่วง 151.7 ถึง 1,090.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ มีค่าเฉลี่ย 550.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ จากการทดลองบอกได้ว่าจะเกิด PAH ที่มีมวลโมเลกุลต่ำในปริมาณมากเมื่อเผาที่อุณหภูมิต่ำๆ ทั้งนี้เพราะว่าการเผาที่อุณหภูมิต่ำจะเกิด PAH ที่มีโมเลกุลสูงปริมาณน้อย โดยทั่วไปแล้วปริมาณ PAH จะมีค่ามากขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการเผาให้สูงมากยิ่งขึ้น

Guoliang Cao, Xiaoye Zhang และ Fangcheng Zheng [56] ได้ร่วมกันทำบัญชีการปลดปล่อยแบบความละเอียดสูงของแบล็กคาร์บอนและคาร์บอนประเภทอินทรีย์ของประเทศจีน ในปี ค.ศ. 2000 โดยทำการศึกษาและรวบรวมข้อมูลที่ได้มาจากหน่วยงานรัฐบาลต่างๆของประเทศจีน แล้วแบ่งข้อมูลตามการปลดปล่อยจากการใช้เชื้อเพลิงตามสาขาเศรษฐกิจต่างๆ ได้แก่ อุตสาหกรรม โรงไฟฟ้า การขนส่ง เครื่องยนต์ และการเผาไหม้ชีวมวล จากนั้นนำข้อมูลการปลดปล่อยมาแสดงค่าการกระจายโดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ด้วยการแบ่งตามพื้นที่ (gridding) ที่มีความละเอียด 0.2×0.2 องศา ค่าการปลดปล่อยจากแหล่งกำเนิดแบบจุดขนาดใหญ่ทั้งหมดจะระบุไว้ในตารางของกริดตามแหล่งกำเนิดที่ตั้งอยู่ จะพบว่าการกระจายตัวของการปลดปล่อยจะมีความหนาแน่นทางตะวันออกมากกว่าทางตะวันตกของจีน และค่าการปลดปล่อยนี้ยังแปรเปลี่ยนตามฤดูกาลด้วย

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

D.P. Roy และคณะ[58] 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

บทที่ 3

ขั้นตอนการดำเนินงาน

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนการทำงานวิจัย ซึ่งแบ่งเป็นสองส่วนใหญ่ๆ คือ การประเมินการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศจากกิจกรรมต่างๆ และการบูรณาการแบบจำลองต่างๆ เพื่อใช้ในการประเมินการปลดปล่อยของมลพิษทางอากาศจากไฟฟ้า และทำนายการแพร่กระจายของมลพิษทางอากาศ

3.1 การประเมินการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศจากกิจกรรมต่างๆ

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการประเมินการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศจากภาคส่วนต่างๆ ได้แก่ ภาคอุตสาหกรรม และการขนส่ง ซึ่งมีขั้นตอนหลักๆ คือ

1. การรวบรวมข้อมูลกิจกรรมต่างๆ อาทิ ข้อมูลปริมาณรถยนต์แยกตามประเภทรถ และเชื้อเพลิงที่ใช้ ข้อมูลค่าปัจจัยการปลดปล่อยจากสำนักจัดการคุณภาพอากาศและเสียง กรมควบคุมมลพิษ สำหรับภาคการขนส่ง ข้อมูลของโรงงานจากกรมโรงงานอุตสาหกรรม ข้อมูลการใช้พลังงานจากกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานของโรงงาน ปริมาณการใช้พลังงานจากกรมธุรกิจพลังงาน และปัจจัยการปลดปล่อยจาก US-EPA-42 และจากหน่วยงานอื่นๆ

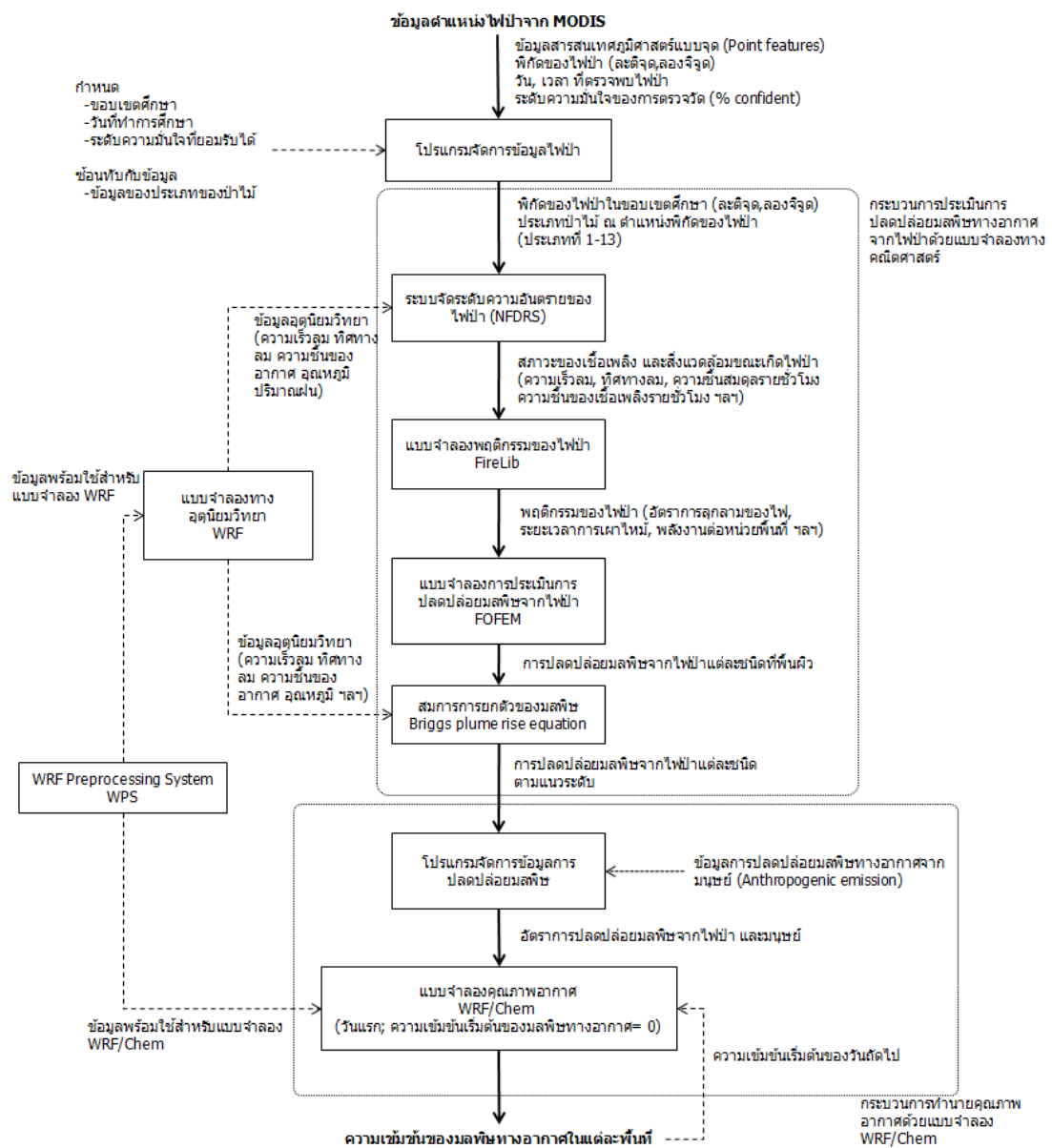
2. ทำการจัดกลุ่มข้อมูล และ/หรือการขยายข้อมูลในกรณีที่ข้อมูลไม่เพียงพอ

3. ทำการประเมินการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศโดยอาศัยสมการทางคณิตศาสตร์ที่แสดงไว้ในบทที่ 2

3.2 การบูรณาการแบบจำลอง

ในการบูรณาการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการทำนายพฤติกรรมของการแพร่กระจายของไฟฟ้า และผลกระทบครั้งนี้ อาศัยต้นแบบจากแบบจำลองของ US Firelab, Department of Agricultural, USA ซึ่งมีโครงสร้างของแบบจำลองดังแสดงในรูปที่ 3.1 โดยข้อมูลตำแหน่งไฟฟ้ารายวันที่ได้จากเซนเซอร์ MODIS จะถูกนำเข้าสู่โปรแกรมจัดการข้อมูลไฟฟ้าที่ออกแบบขึ้น เพื่อคัดแยกข้อมูลตำแหน่งไฟฟ้า ที่มีคุณภาพตามหลักเกณฑ์ที่กำหนด จากนั้นข้อมูลดังกล่าวจะเข้าสู่ระบบจัดระดับความอันตรายของไฟฟ้า สำหรับการประเมิน สภาวะของเชื้อเพลิง และสิ่งแวดล้อมขณะเกิดไฟฟ้า โดยอาศัยข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา และจะถูกนำเข้าสู่แบบจำลองพฤติกรรมของไฟเพื่อจำลองพฤติกรรมของไฟฟ้า จากนั้นข้อมูลดังกล่าว จะถูกใช้ในการประเมินปริมาณปลดปล่อยมลพิษทางอากาศในแนวระดับพื้นดิน ด้วยแบบจำลองการประเมินการปลดปล่อยมลพิษจากไฟฟ้า

จากนั้นจะทำการคำนวณการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศตามแนวระดับ ด้วยสมการการยกตัวของมลพิษทางอากาศ จากนั้นจะถูกนำเข้าสู่โปรแกรมการจัดการข้อมูลการปลดปล่อยมลพิษเพื่อนำมารวมกับอัตราการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศจากกิจกรรมของมนุษย์ และถูกจำลองความเป็นไปของมลพิษทางอากาศ ด้วยแบบจำลองคุณภาพอากาศ WRF-Chem เพื่อคำนวณความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศในแต่ละพื้นที่ ซึ่งความเข้มข้นดังกล่าว จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับความเข้มข้นที่ได้จากการตรวจวัด เพื่อประเมินความถูกต้องของแบบจำลองต่อไป โดยรายละเอียดของขั้นตอนแต่ละขั้นตอนข้างต้นมีดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.1 แผนภาพของโครงสร้างการบูรณาการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

3.2.1 ข้อมูลตำแหน่งไฟป่าจาก MODIS

ข้อมูลตำแหน่งไฟป่าที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้มาจากโครงการ Fire Information for Resource Management System (FIRMS) [59] 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 เปอร์เซนต์ โดยที่ความเชื่อมั่นยิ่งมากหมายถึงข้อมูลมีความน่าเชื่อถือมาก คือ สภาพในการตรวจจับยังดี เช่น ไม่มีเมฆบดบัง และไม่มีรังสีสะท้อนรบกวน เป็นต้น ข้อมูลดังกล่าวเป็นข้อมูลรายวันที่สามารถดาวน์โหลดจากเว็บไซต์ของโครงการ FIRMS (<http://maps.geog.umd.edu/firms>)

3.2.2 โปรแกรมจัดการข้อมูลไฟป่า

เนื่องจากข้อมูลตำแหน่งไฟป่าจาก MODIS มีระดับความเชื่อมั่นที่หลากหลาย อีกทั้งข้อมูลดังกล่าวอาจเป็นข้อมูลของพื้นที่ที่ไม่ได้อยู่ในความสนใจ ผู้วิจัยจึงได้เขียนโปรแกรมจัดการข้อมูลไฟป่าเพื่อใช้ในการคัดกรองข้อมูลโดยใช้ภาษา FORTRAN90 เพื่อทำหน้าที่คัดกรองข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ประเภทจุด (Point feature) ของตำแหน่งไฟป่าจาก MODIS ตามหลักเกณฑ์ที่กำหนด ทำการซ้อนทับข้อมูลตำแหน่งไฟป่ากับข้อมูลประเภทของป่าไม้ เพื่อใช้ในการระบุตำแหน่งไฟป่าว่าเกิดในป่าประเภทใด และจัดเตรียมข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบพร้อมใช้สำหรับระบบจัดระดับความอันตรายของไฟป่าในขั้นตอนถัดไป โดยไฟป่าแต่ละตำแหน่งจะมีข้อมูลพิกัด (เส้นรุ้ง, เส้นแวง) วันและเวลาที่ตรวจจับไฟป่าและประเภทของป่าไม้

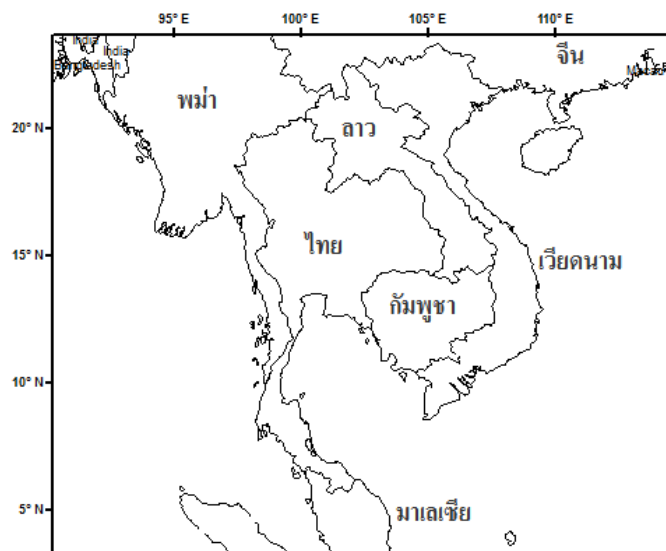
หลักเกณฑ์ที่โปรแกรมจัดการข้อมูลไฟป่าใช้ในการคัดกรองข้อมูลตำแหน่งไฟป่า มีอยู่ 2 ประการคือ

1. ข้อมูลจะต้องอยู่ในขอบเขตพื้นที่และวันที่กำหนด
2. จะต้องมีความเชื่อมั่นของการตรวจจับมากกว่า 33 เปอร์เซนต์

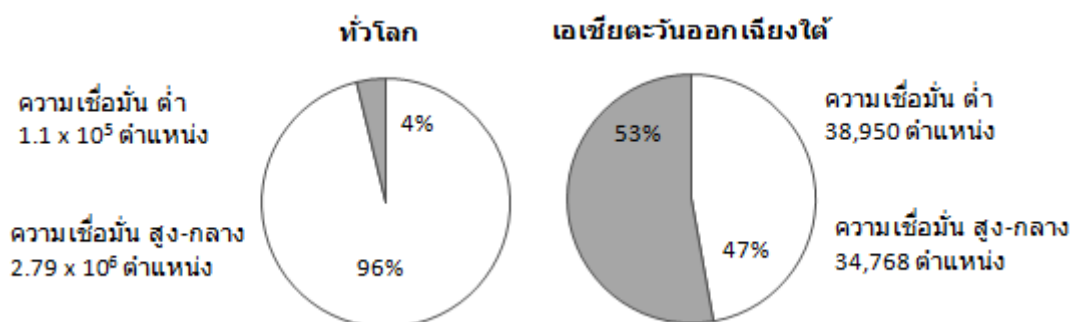
โดยในงานวิจัยนี้ได้กำหนดขอบเขตพื้นที่ศึกษาครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมดของประเทศไทย ลาว กัมพูชา เวียดนาม รวมถึงพม่า จีน มาเลเซียบางส่วน ตั้งแต่เส้นรุ้งที่ 3.25 ถึง 23.67 และเส้นแวงที่ 90.21 ถึง 114.71 และมีเนื้อที่ประมาณ 6,196,500 ตารางกิโลเมตรดังแสดงในรูปที่ 3.2 ส่วน

ช่วงเวลาในการศึกษาได้เลือกที่จะศึกษากรณีตัวอย่างในระหว่างวันที่ 12-21 มีนาคม พ.ศ. 2550 เนื่องจากพบไฟป่าเกิดขึ้นมากที่สุดในรอบปีพ.ศ.2550

ส่วนประเด็นของความเชื่อมั่น โดยปกติข้อมูลตำแหน่งไฟป่าจาก MODIS สามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มตามความเชื่อมั่นของการตรวจจับ ได้แก่ ความเชื่อมั่นต่ำ(ความเชื่อมั่นน้อยกว่า 33 เปอร์เซนต์) ความเชื่อมั่นปานกลาง (ความเชื่อมั่นระหว่าง33-66เปอร์เซนต์) และความเชื่อมั่นสูง (ความเชื่อมั่นมากกว่า 66 เปอร์เซนต์) จากงานวิจัยของ D.P. Roy และคณะ[58] 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



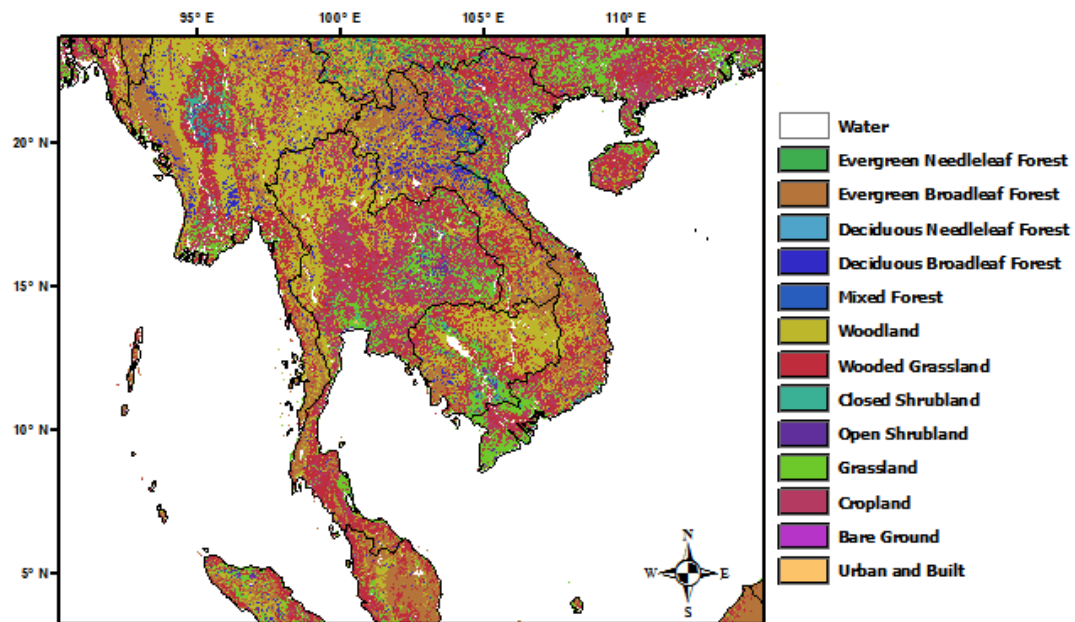
รูปที่ 3.3 ข้อมูลตำแหน่งไฟป่าจาก MODIS ที่ความเชื่อมั่นต่างๆในปี พ.ศ. 2545 เปรียบเทียบระหว่างข้อมูลทั่วโลก และภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ [59]

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[60] 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 (ป่าหญ้าที่มีต้นไม้) ซึ่งมีลักษณะคล้ายป่าหญ้า และ Woodland (ป่าไม้ทั่วไป)

ตารางที่ 3.1 รหัสประเภทของสิ่งปกคลุมดิน (Land cover) ที่ได้จากการประมวลภาพถ่ายดาวเทียมจากเซนเซอร์ AVHRR ในการสำรวจทั่วโลกปี พ.ศ. 2541[60]

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



รูปที่ 3.4 การกระจายตัวของประเภทของสิ่งปกคลุมดิน (Land cover) ในพื้นที่ศึกษา

3.1.3 ระบบจัดระดับความอันตรายของไฟป่า NFDRS

ข้อมูลของไฟป่าที่ได้จากโปรแกรมจัดการข้อมูลไฟป่า จะถูกนำมาคำนวณสถานะของเชื้อเพลิง และสิ่งแวดล้อมขณะเกิดไฟป่า ด้วยระบบจัดระดับความเป็นอันตรายของไฟป่า (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 และสิ่งแวดล้อมขณะเกิดไฟป่าที่จะต้องประเมินมีทั้งหมด 7 ตัวแปรคือ 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) และความชื้นของไม้ลำต้นแข็ง (Woody moisture) โดยระบบ NFDRS จะทำการคำนวณสถานะดังกล่าวโดยใช้สมการที่ได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการ และการสำรวจภาคสนาม ตัวอย่างสมการที่ใช้ในการคำนวณความชื้นสมดุลรายชั่วโมง (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) ในทวีปอเมริกาเหนือออกเป็น 4 ประเภทตามการศึกษาของ C.W. Thornthwaite [61] โดยกำหนดเป็นรหัสประเภทของภูมิอากาศตั้งแต่ 1-4 โดยรหัสประเภทของภูมิอากาศ 1 หมายถึงเป็นประเภทภูมิอากาศที่ร้อนและแห้ง เมื่อรหัสประเภทของภูมิอากาศเพิ่มขึ้นหมายถึงประเภทภูมิอากาศที่มีความชื้นมากขึ้น และร้อนน้อยลงตามลำดับ รหัสประเภทของภูมิอากาศนี้จะถูกใช้ในการคำนวณค่าเริ่มต้นของสภาวะของเชื้อเพลิง และสิ่งแวดลอมขณะเกิดไฟฟ้าบางตัวเช่น 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 = สภาวะขอบเขตเฉลี่ย 24 ชั่วโมง (Weighted 24-Hour Average Boundary

Condition

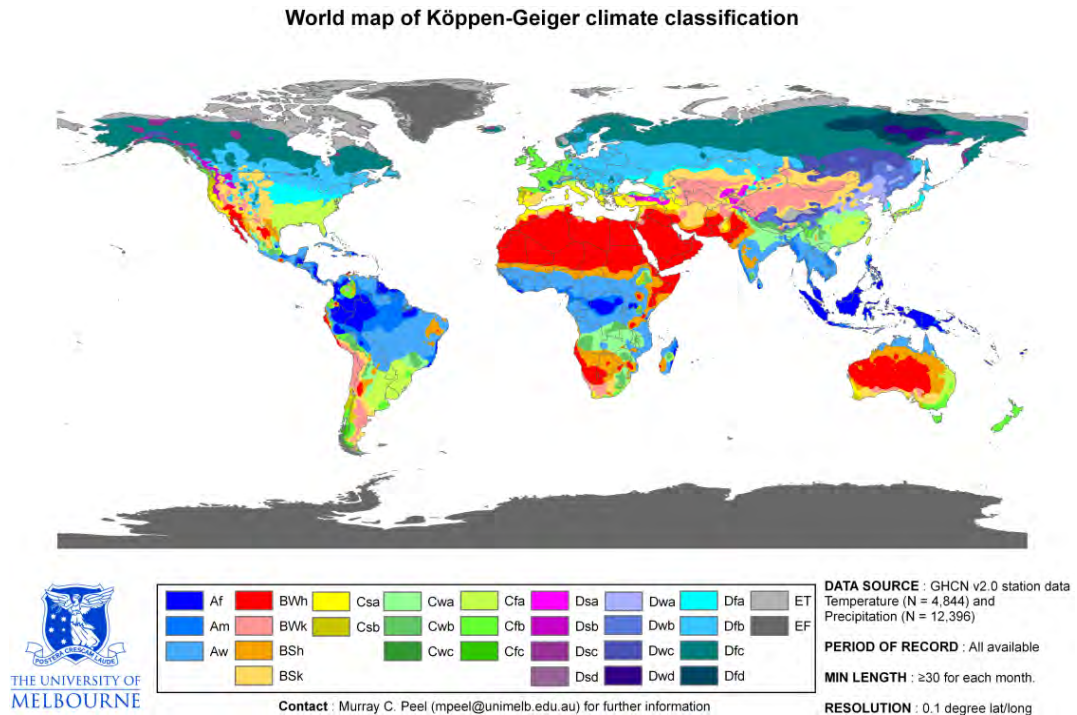
หากการคำนวณครั้งนี้เป็นการคำนวณวันแรกซึ่งยังไม่มีค่าความชื้นของเชื้อเพลิงเมื่อเวลาผ่านไป 100 ชั่วโมงของวันก่อนหน้า (YMC100) สามารถคำนวณได้จาก

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

เมื่อ CLIMAT = รหัสประเภทของภูมิอากาศในระบบ NFDRS (มีค่าตั้งแต่ 1 ถึง 4)

เนื่องจากปัจจุบันยังไม่มีระบบแบ่งประเภทของภูมิอากาศตามระบบ NFDRS ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงอ้างอิงการศึกษาของ Kazutake Kyuma [62] ซึ่งทำการศึกษาการจัดประเภทภูมิอากาศในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ด้วยระบบ Thornthwaite โดยอาศัยการจัดประเภทภูมิอากาศระบบ Köppen-Geiger (Köppen-Geiger climate classification)

[63] เป็นต้นแบบของการจัดประเภทภูมิอากาศ แผนภาพการจัดประเภทภูมิอากาศระบบ Köppen-Geiger แสดงได้ดังรูปที่ 3.5 และการจัดประเภทของภูมิอากาศตามระบบ NFDRS ด้วยระบบ Köppen-Geiger แสดงได้ดังตารางที่ 3.2



รูปที่ 3.5 แผนภาพการจัดประเภทภูมิอากาศตามระบบ Köppen-Geiger [63]

ตารางที่ 3.2 การจัดประเภทของภูมิอากาศตามระบบ NFDRS ด้วยระบบ Köppen-Geiger [62]

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

3.2.4แบบจำลองพฤติกรรมของไฟป่า FireLib

สถานะของเชื้อเพลิง และสิ่งแวดล้อมขณะเกิดไฟป่าที่คำนวณได้จากระบบ NFDRS และข้อมูลประเภทของป่าไม้ จะถูกใช้ในการจำลองลักษณะพฤติกรรมของไฟป่าด้วยแบบจำลองพฤติกรรมของไฟป่า FireLib [21] 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 ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ส่วนใหญ่จะมีระยะเวลาที่ไฟไหม้ (Fire residence time) ไม่เกินหนึ่งวัน เนื่องจาก เชื้อเพลิง และอากาศมีความชื้นสูง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงกำหนดให้ระยะเวลาที่ไฟไหม้ไม่เกิน 24 ชั่วโมง

แบบจำลอง FireLib มีพื้นฐานมาจากแบบจำลอง FCCS fire behavior fuel model (Fuel Characteristic Classification System) [64] 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 เนื่องจากปัจจุบันยังไม่มีแบบจำลองแบ่งประเภทป่าไม้ตามลักษณะของเชื้อเพลิงของ 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 3.3 การแบ่งประเภทป่าไม้ตามลักษณะของเชื้อเพลิงของ FCCS Fire Behavior Fuel model [64]

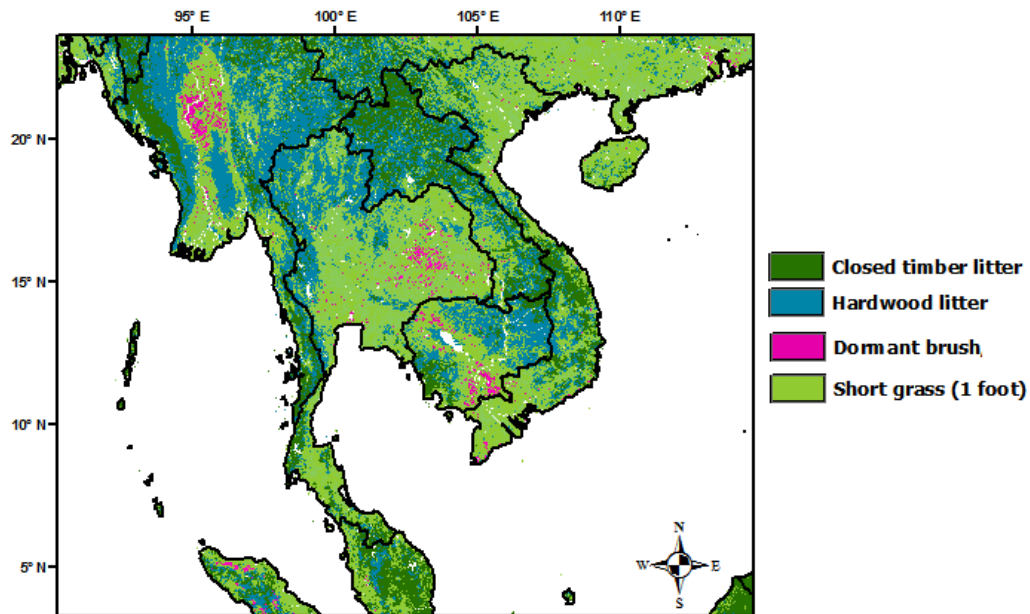
รหัส	ลักษณะป่าไม้ ตาม FCCS Fire Behavior Fuel model	รหัส	ลักษณะป่าไม้ ตาม FCCS Fire Behavior Fuel model
1	Short grass (1 foot)	8	Closed timber litter
2	Timber (grass and understory)	9	Hardwood litter
3	Tall grass (2.5 feet)	10	Timber (litter and understory)
4	Chaparral (6 feet)	11	Light logging slash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

เนื่องจากปัจจุบันยังไม่มี การแบ่งประเภทป่าไม้ตามลักษณะของเชื้อเพลิงของ FCCS Fire Behavior Fuel model ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะทำการประมาณ โดยใช้ข้อมูลประเภทของป่าไม้ที่มีอยู่ (ประเภทสิ่งปกคลุมดินจากเซนเซอร์ AVHRR) สำหรับการแบ่งประเภทป่าไม้ตามแบบจำลอง FCCS Fire Behavior Fuel model โดยข้อมูลสิ่งปกคลุมดิน (Land cover) ที่เทียบเท่ากับรหัส FCCS Fire Behavior Fuel model แสดงได้ดังตารางที่ 3.4 และ

แผนภาพการกระจายตัวของประเภทป่าไม้ตาม 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

3.2.5 แบบจำลองการประเมินการปลดปล่อยมลพิษ FOFEM

ข้อมูลพฤติกรรมของไฟป่าที่คำนวณได้จากแบบจำลอง FireLib จะถูกใช้ในการประเมินอัตราการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศรายชั่วโมง ด้วยแบบจำลองการประเมินการปลดปล่อยมลพิษ FOFEM โดยอัตราการปลดปล่อยมลพิษรายชั่วโมงจะแปรเปลี่ยนตามพฤติกรรมของไฟป่า โดยการใช้การจำลองการเผาผลาญเชื้อเพลิงด้วยแบบจำลอง Post-Frontal Combustion

โดยปรกติแบบจำลอง FOFEM สามารถปรับเปลี่ยนค่าปัจจัยการปลดปล่อยมลพิษ (Emission factor) ทั้งช่วงการเผาไหม้ที่มีเปลวไฟ (Flame) และช่วงที่เปลวไฟดับแล้วแต่ยังคุกรุ่นอยู่ (Smolder) ของมลพิษชนิดต่างๆเพื่อความเหมาะสมในแต่ละภูมิภาค แต่ค่าปัจจัยการปลดปล่อยมลพิษที่มีการศึกษาในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ส่วนใหญ่เป็นค่าปัจจัยการปลดปล่อยมลพิษเฉลี่ยซึ่งไม่เหมาะสมกับการนำมาใช้งาน ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะประมาณค่าปัจจัยการปลดปล่อยมลพิษของการเผาไหม้ที่มีเปลวไฟ และช่วงที่เปลวไฟดับแล้วแต่ยังคุกรุ่นอยู่ จากค่าปัจจัยการปลดปล่อยมลพิษเฉลี่ย โดยอาศัยค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนการปลดปล่อยมลพิษของการเผาไหม้ที่มีเปลวไฟ และช่วงที่เปลวไฟดับแล้วแต่ยังคุกรุ่นอยู่ (Average emission factor flame/smolder ratio) ที่ได้จาก US Firelab, Department of Agricultural, USA [65]

ในงานวิจัยนี้เลือกใช้ค่าปัจจัยการปลดปล่อยมลพิษเฉลี่ยจากการศึกษาในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ของ Streets และคณะ[54] และการศึกษาของ Andreae และ Merlet [66] โดยมลพิษทางอากาศที่สนใจได้แก่ คาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂)

ไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO₂) ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM₁₀) ค่าปัจจัยการปลดปล่อยมลพิษเฉลี่ยตามประเภทของเชื้อเพลิงในหน่วยกรัมต่อกิโลเมตรของเชื้อเพลิงแห้งที่ใช้ในงานวิจัยนี้แสดงได้ดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 ค่าปัจจัยการปลดปล่อยมลพิษเฉลี่ยตามประเภทของเชื้อเพลิงที่ใช้ในงานวิจัย

ประเภทเชื้อเพลิง	ปัจจัยการปลดปล่อยมลพิษเฉลี่ย			
	CO ^[54]	CO ₂ ^[66]	NO ₂ ^[66]	PM ₁₀ ^[66]
ป่าไม้	104	1575	3.53	13.05
พื้นที่เกษตรกรรม หรือหญ้า	92	1613	5.98	8.36

3.2.6 สมการการยกตัวของมลพิษทางอากาศ Briggs plume rise

อัตราการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศที่ได้จากแบบจำลอง FOFEM จะเป็นอัตราการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศรายชั่วโมงที่ระดับพื้นดิน แต่ตามธรรมชาติกลุ่มมลพิษสามารถขยายตามแนวระดับ เนื่องจากอากาศร้อนจะยกตัวสูงขึ้นเมื่อมีอุณหภูมิสูงขึ้น ทำให้กลุ่มมลพิษลอยสูงขึ้นตามแนวระดับ ปัจจุบันยังไม่มีสมการที่ใช้ทำนายการยกตัวของกลุ่มมลพิษจากไฟฟ้าโดยเฉพาะ ในงานวิจัยนี้จึงทำการประยุกต์สมการ Briggs plume rise [32] ซึ่งเป็นสมการการทำนายการยกตัวของมลพิษที่ปลดปล่อยจากปล่องระบายควันในอุตสาหกรรมเพื่อใช้ในการประเมินปริมาณมลพิษในแนวระดับ 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 (m⁴ s⁻³)

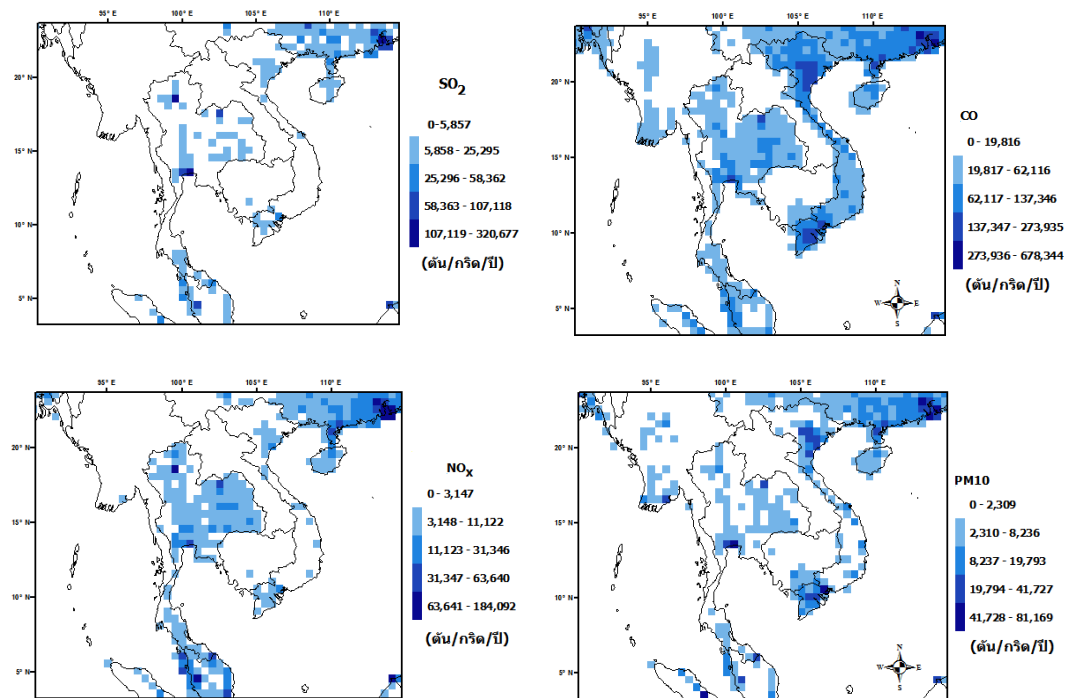
W = ความเร็วลม (m/s)

Sb = ความเสถียรของบรรยากาศของ Briggs (Briggs static stability)

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

3.2.7 โปรแกรมจัดการข้อมูลการปลดปล่อยมลพิษ

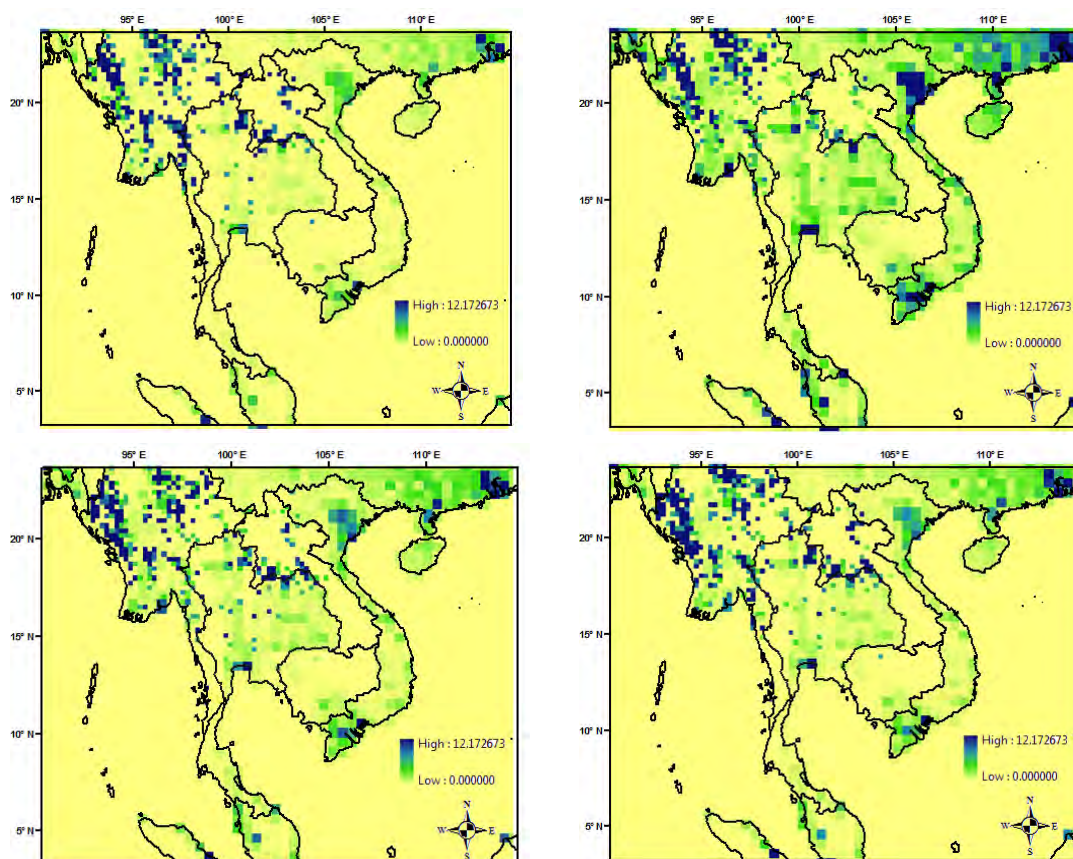
โดยปรกติแหล่งกำเนิดหลักของมลพิษทางอากาศสามารถจำแนกได้ 3 ประเภทคือ พืชมนุษย์ และไฟฟ้า จากรายงานการศึกษาที่มีอยู่ก่อนหน้านี้พบว่า มลพิษที่งานวิจัยนี้สนใจได้แก่ CO , CO_2 , NO_2 และ PM_{10} จะถูกปลดปล่อยออกมามากที่สุดจากไฟฟ้า มนุษย์ และพืชตามลำดับ เนื่องจากการปลดปล่อยมลพิษดังกล่าวจากพืชนั้นมีน้อยมาก ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะคำนึงถึงการปลดปล่อยมลพิษดังกล่าวจากไฟฟ้า และจากมนุษย์เท่านั้น โดยจะทำการรวมข้อมูลอัตราการปลดปล่อยมลพิษดังกล่าวจากไฟฟ้า และจากกิจกรรมของมนุษย์ (Anthropogenic emission) ด้วย โปรแกรมจัดการข้อมูลการปลดปล่อยมลพิษที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นโดยภาษา FORTRAN90 งานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศจากกิจกรรมของมนุษย์ในภูมิภาคเอเชียจากโครงการ INTEX-B ที่จัดทำโดย Argonne National Laboratory ร่วมกับ The University of Iowa ในปี พ.ศ. 2549 ซึ่งทำการประเมินการปลดปล่อยมลพิษทั้งหมด 6 ชนิดได้แก่ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) คาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (VOC) ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM_{10}) ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ($\text{PM}_{2.5}$) 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 ตัวอย่างแผนภาพการกระจายตัวของการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศ SO_2 , CO , NO_2 และ PM_{10} จากกิจกรรมของมนุษย์ของโครงการ INTEX-B แสดงได้ดังรูปที่ 3.7 ซึ่งพบว่าในพื้นที่ศึกษา CO ถูกปลดปล่อยออกมามากที่สุด โดยพื้นที่ที่มีการปลดปล่อยมลพิษมากที่สุดคือตอนใต้ของประเทศจีน รองลงมาคือในเมืองสำคัญต่างๆในประเทศไทย ลาว และมาเลเซีย ตามลำดับ



รูปที่ 3.7 แผนภาพการกระจายตัวของการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศ SO₂, CO, NO₂ และ PM₁₀

จากกิจกรรมของมนุษย์จากโครงการ INTEX-B ในปี พ.ศ. 2549 ในหน่วย ตัน/ปี/กริด

โปรแกรมจะเตรียมข้อมูลอัตราการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศที่ถูกรวบรวมแล้ว ให้พร้อมใช้สำหรับการจำลองคุณภาพอากาศด้วยแบบจำลองคุณภาพอากาศในขั้นตอนถัดไปในหน่วย $\mu\text{g m}^{-2}\text{sec}^{-1}$ แผนภาพตัวอย่างการกระจายตัวของอัตราการปลดปล่อยมลพิษรายชั่วโมงของ PM₁₀ 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 $\mu g m^{-2} sec^{-1}$

3.2.8 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 และไม่คำนึงถึงการชะด้วยฝน (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

ในส่วน of ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาที่ใช้ในระบบ WRF-Preprocessing Systems (WPS) ได้มาจากแบบจำลองอุตุนิยมวิทยาระดับโลก Global Forecast System (GFS) 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 และผลลัพธ์ความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศที่จำลองได้จะถูกใช้เป็นความเข้มข้นเริ่มต้นของวันถัดไป ผลลัพธ์ของการจำลองดังกล่าว เป็นข้อมูลความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศทั้ง 3 ชนิด (CO PM_{10} และ NO_2) ใน 4 มิติคือ มิติตามแกน X, Y, Z และมิติของเวลา ที่จัดเก็บอยู่ในรูปแบบ Network Common Data Form (NetCDF)[67]

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
ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาจากแบบจำลองอุตุนิยมวิทยาระดับโลก	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

ตารางที่ 3.7 ตัวแปรที่ใช้ในแบบจำลอง WRF-Chem (ต่อ)

การตกลงด้วยแรงโน้มถ่วงโลก (Dry deposition)	Wesley
การปลดปล่อยมลพิษจากพืช (Biogenic Emissions)	-
การปลดปล่อยมลพิษจากมนุษย์ (Anthropogenic emissions)	INTEX-B

บทที่ 4

ผลการศึกษา

การนำเสนอผลการศึกษาของงานวิจัยนี้จะแบ่งเป็น 2 ส่วนใหญ่ ส่วนแรกจะกล่าวถึง ผลประเมินการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศจากภาคขนส่ง ผลประเมินการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศจากภาคอุตสาหกรรม และในส่วนที่สองจะกล่าวถึงกรณีศึกษาของเหตุการณ์ไฟฟ้าโดยจะอภิปรายถึงข้อมูลทั่วไป ลักษณะการปลดปล่อยมลพิษจากไฟฟ้า การแพร่กระจายของมลพิษ และการประเมินสมรรถนะของการทำนายความเป็นไปของมลพิษทางอากาศ

4.1 ผลการประเมินการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศจากภาคขนส่ง

ผลประเมินปริมาณสารมลพิษทางอากาศ 5 ชนิด คือไนโตรเจนออกไซด์ ซัลเฟอร์ออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ ฝุ่นละออง และสารไฮโดรคาร์บอน ในปี 2548 ที่ได้จากประเมินจากข้อมูลทางด้านระยะทางที่รถยนต์เดินทาง พบว่าอัตราการปลดปล่อยทั้งปีเท่ากับ 7,703,635, 180,238, 4,257,511, 297,993 และ 1,983,942 ตัน ตามลำดับ เมื่อพิจารณาถึงปริมาณการปลดปล่อยสารมลพิษจำแนกตามประเภทของรถยนต์ที่แสดงไว้ในตารางที่ 4.1 พบว่าปริมาณสารออกไซด์ของไนโตรเจนที่ปลดปล่อยออกมามากที่สุดจากรถยนต์ประเภทดีเซลใหญ่ที่มีปริมาณสูงถึง 5 พันตัน ซึ่งคิดเป็นสัดส่วน 65% ของปริมาณสารออกไซด์ของไนโตรเจนที่ถูกปลดปล่อยทั้งหมด รองลงมาก็คือรถยนต์ดีเซลเล็ก และยังมีแนวโน้มเช่นเดียวกับปริมาณการปลดปล่อยของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ปลดปล่อยออกมามากที่สุดจากรถยนต์ประเภทดีเซลใหญ่ คิดเป็นสัดส่วนจาก 52% ของปริมาณการปลดปล่อยของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ทั้งหมด และ 49% ของปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ทั้งหมด ตามลำดับ รองลงมาก็คือรถยนต์ดีเซลเล็ก แต่ในการปลดปล่อยของฝุ่นละอองและไฮโดรคาร์บอนมีสัดส่วนแนวโน้มที่แตกต่างกันออกไปคือสัดส่วนการปลดปล่อยของฝุ่นละอองสูงสุดจากรถยนต์ประเภทรถยนต์ดีเซลเล็กและมีสูงถึง 85% ของปริมาณการปลดปล่อยของฝุ่นละอองทั้งหมด และในส่วนของสารไฮโดรคาร์บอนมีสัดส่วนการปลดปล่อยสูงสุดจากรถจักรยานยนต์คิดเป็น 38% รองลงมาก็คือจากรถยนต์ดีเซลเล็กคิดเป็นสัดส่วน 31%

ตารางที่ 4.1 ปริมาณสารมลพิษที่ถูกปลดปล่อยในปี พ.ศ.2548

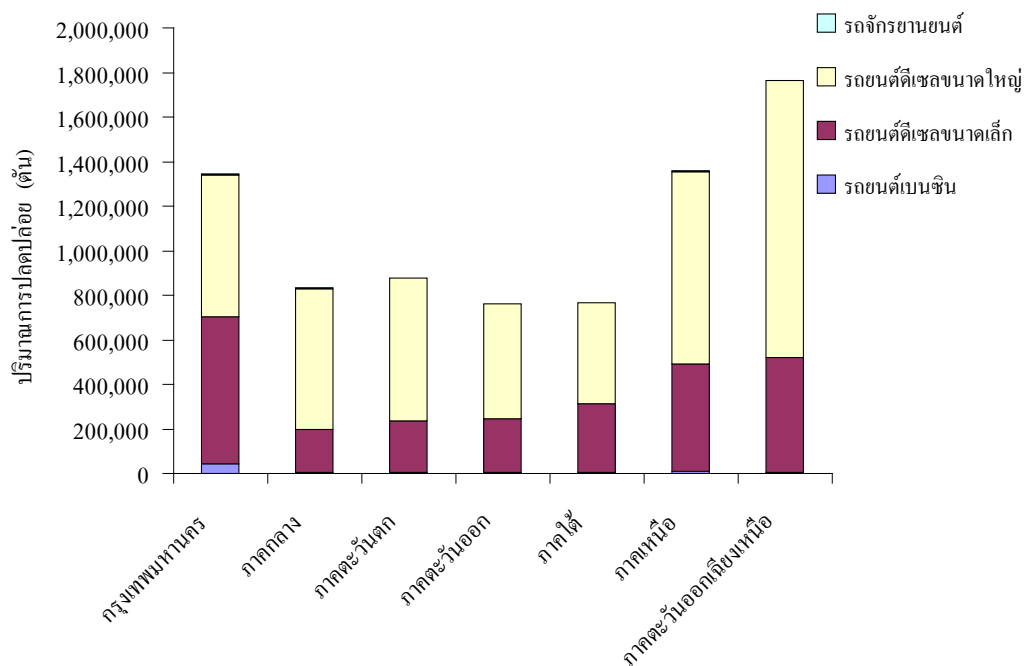
ประเภทรถยนต์	ปริมาณสารมลพิษ (พื้นตัน)				
	NO _x	SO _x	CO	PM	HC
รถยนต์เบนซิน	72.29	9.01	284.44	0.25	76.00
รถยนต์ดีเซลขนาดเล็ก	2,639.57	74.13	1,379.34	252.17	623.46
รถยนต์ดีเซลขนาดใหญ่	4,987.33	93.52	2,081.76	32.49	538.35
รถจักรยานยนต์	4.45	3.58	511.96	13.09	746.13
รวมทั้งหมด	7,703.63	180.24	4,257.51	297.99	1,983.94

จากผลการประเมินผลในด้านการปลดปล่อยจากประเภทต่างๆ ของรถยนต์จะเห็นได้ว่าสารมลพิษ 3 ประเภทคือ แก๊สออกไซด์ของไนโตรเจน ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์มีแนวโน้มในสัดส่วนการปลดปล่อยคล้ายคลึงกัน นั่นคือมาจากรถยนต์ที่เป็นเครื่องยนต์ดีเซล ดังนั้นเมื่อพิจารณาประเภทของรถยนต์ เพื่อเป็นปัจจัยในการนำไปเป็นข้อมูลพื้นฐานในการแก้ไขปัญหาเกี่ยวกับมลพิษทางอากาศจากการขนส่งทางถนนจึงควรพิจารณาถึงรถยนต์ดีเซลเป็นหลัก แต่ในส่วนของการแก้ปัญหาเกี่ยวกับมลพิษทางอากาศจากฝุ่นละอองควรพิจารณาจากแหล่งกำเนิดจากรถยนต์ดีเซลเล็กเป็นหลัก เนื่องจากจะเห็นได้ว่าสัดส่วนหลักที่เป็นสาเหตุของการปลดปล่อยฝุ่นละอองนั้นมาจากเครื่องยนต์ดีเซลเล็ก และในส่วนของการแก้ปัญหาเกี่ยวกับสารไฮโดรคาร์บอนนั้นควรพิจารณาสาเหตุที่เป็นมาจากแหล่งกำเนิดจากและมีสัดส่วนที่ใกล้เคียงกันคือรถจักรยานยนต์และรถยนต์ดีเซลเล็ก

4.1.1 ลักษณะของการปลดปล่อยออกไซด์ของไนโตรเจน

ผลจากการศึกษาการปลดปล่อยออกไซด์ของไนโตรเจนจำแนกตามภูมิภาคและประเภทของรถยนต์สามารถแสดงไว้ในรูปที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่าภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีการปลดปล่อยออกไซด์ของไนโตรเจนมากที่สุดถึงแม้ว่าจะมีปริมาณรถยนต์น้อยกว่ากรุงเทพมหานคร รองลงมาคือภาคเหนือและกรุงเทพมหานคร นอกจากนั้นภาคกลาง ภาคตะวันตก และภาคตะวันออกมีจำนวนรถยนต์น้อยกว่าภาคใต้แต่ในทางกลับกันพบว่ามีปริมาณของออกไซด์ของไนโตรเจนในระดับที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งพบว่าข้อมูลดังกล่าวมีความสัมพันธ์

โดยตรงกับปริมาณรถยนต์ประเภทดีเซลใหญ่ ภูมิภาคใดที่มีรถยนต์ประเภทนี้มากก็จะมีปริมาณของออกไซด์ของไนโตรเจนถูกปลดปล่อยออกมาเหมือนกัน แม้ว่าปริมาณของรถยนต์ประเภทดีเซลใหญ่จะเป็นส่วนน้อยเมื่อเทียบกับรถยนต์ทั้งหมด เนื่องจากค่าปัจจัยการปลดปล่อยของออกไซด์ของไนโตรเจนมีค่าสูงมากที่สุดของสารมลพิษทุกตัวโดยเฉพาะค่าการปัจจัยการปลดปล่อยของรถยนต์ดีเซลขนาดใหญ่ ดังนั้นจึงทำให้ภูมิภาคที่มีรถยนต์ดีเซลขนาดใหญ่มีการปลดปล่อยออกไซด์ของไนโตรเจนออกมามากกว่าแม้ว่าจะมีจำนวนรถรวมที่น้อยกว่าก็ตาม



รูปที่ 4.1 สัดส่วนของไนโตรเจนออกไซด์ที่ถูกปลดปล่อยโดยจำแนกตามประเภทของรถยนต์ และพื้นที่แหล่งกำเนิดแต่ละภูมิภาครวมทั้งกรุงเทพมหานคร

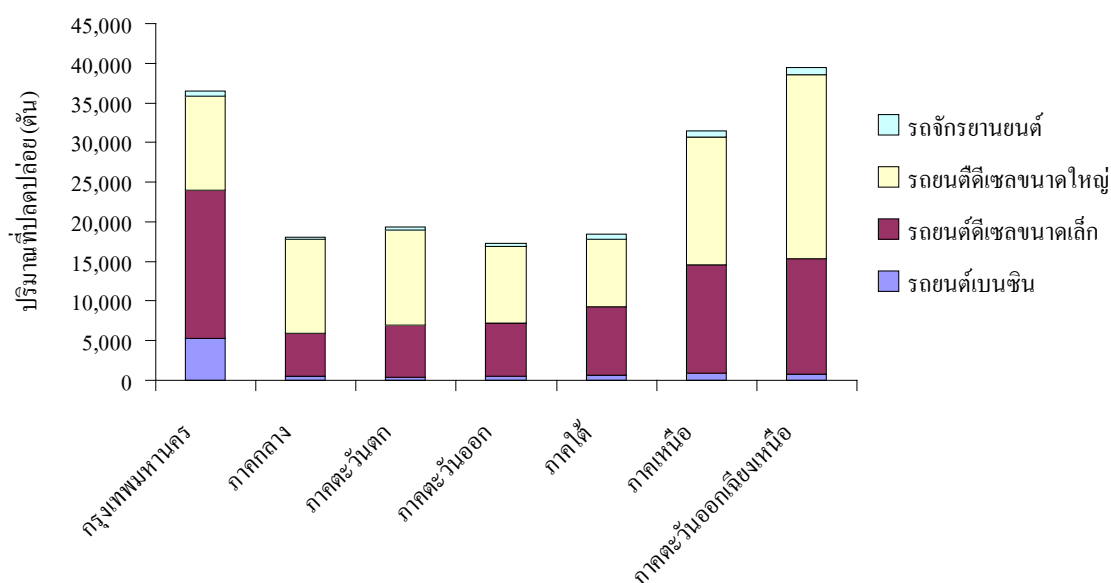
นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าปริมาณของออกไซด์ของไนโตรเจนที่ถูกปลดปล่อยออกมา มาจากรถยนต์ดีเซลขนาดใหญ่มากที่สุด และรองลงมาเป็นรถยนต์ดีเซลขนาดเล็ก เนื่องมาจากเครื่องยนต์ในรถยนต์ดีเซล มีสภาวะการทำงานในการเผาไหม้ในจังหวะระเบิดที่มีอุณหภูมิสูงถึงประมาณ 2,000 °C ซึ่งโดยปกติแล้วปฏิกิริยารวมตัวกันของไนโตรเจนและออกซิเจนสามารถเกิดขึ้นได้ในภาวะที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 1,000 °C ทำให้เครื่องยนต์ดีเซลมีการปลดปล่อยออกไซด์ของไนโตรเจนออกมาในปริมาณมาก แตกต่างจากสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์เบนซิน ที่มีอุณหภูมิในห้องเผาไหม้ต่ำกว่าจึงมีการปลดปล่อยออกมาในปริมาณที่น้อยกว่า นอกจากนี้ยังมีปัจจัยทางด้านความเร็วที่มีผลต่อปริมาณการปลดปล่อยของสารออกไซด์ของไนโตรเจน กล่าวคือ

เมื่อความเร็วรถยนต์อยู่ในช่วงความเร็วประมาณ 30-50 กิโลเมตรต่อชั่วโมงจะมีการปลดปล่อยของสารออกไซด์ของไนโตรเจนได้สูงสุด จึงเป็นสาเหตุที่สอดคล้องกับผลการประเมินปริมาณการปลดปล่อยในกรุงเทพมหานครที่การจราจรติดขัด และรถยนต์มีการขับขึ้นด้วยความเร็วต่ำ

4.1.2 ลักษณะของการปลดปล่อยซัลเฟอร์ไดออกไซด์

ปกติในน้ำมันปิโตรเลียมจะมีองค์ประกอบของกำมะถันปะปนอยู่จึงทำให้น้ำมันสำเร็จรูป

เมื่อเกิดการเผาไหม้ของน้ำมัน กำมะถันที่มีอยู่เหล่านั้นจะรวมตัวกันเป็นออกไซด์ของกำมะถัน แล้วถูกปลดปล่อยออกมากับไอเสียของรถยนต์แยกตามประเภทรถยนต์และภูมิภาคที่ได้จากโครงการนี้สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.2 จากรูปแสดงให้เห็นว่ารถยนต์ดีเซลเป็นแหล่งมลพิษหลัก



รูปที่ 4.2 สัดส่วนของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ถูกปลดปล่อยโดยจำแนกตามประเภท

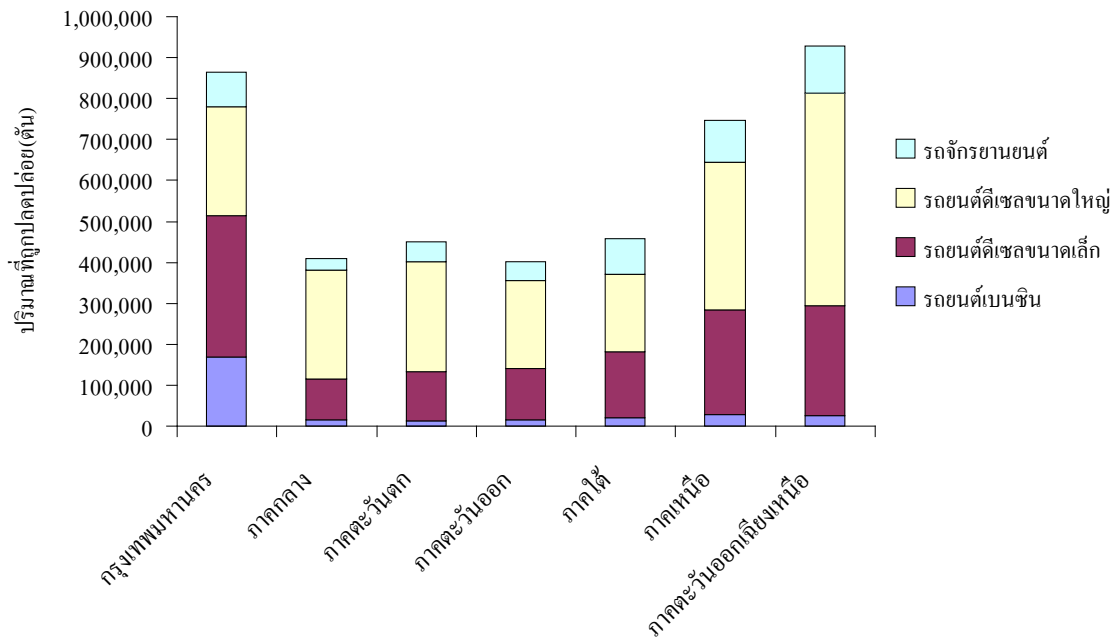
ของรถยนต์และพื้นที่แหล่งกำเนิดแต่ละภูมิภาครวมทั้งกรุงเทพมหานคร

เนื่องจากน้ำมันดีเซลมีปริมาณของกำมะถันมากกว่าน้ำมันเบนซิน จึงส่งผลให้เกิดสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากรถยนต์ดีเซลมากกว่ารถยนต์เบนซิน และแนวโน้มของปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะมีลักษณะคล้ายคลึงกับแนวโน้มของออกไซด์ของไนโตรเจน กล่าวคือปริมาณที่ถูกปลดปล่อยโดยรวมมาจากภาคตะวันออกเฉียงเหนือมากที่สุดและมากกว่ากรุงเทพมหานครที่มีจำนวนรถยนต์มากที่สุดและนอกจากนี้ยังมาจากรถยนต์ดีเซลขนาดใหญ่กว่ารถยนต์ดีเซล

ขนาดเล็กทั้งที่มีปริมาณที่น้อยกว่า แต่เป็นที่น่าสังเกตว่าในกรุงเทพมหานครสัดส่วนการปลดปล่อยออกไซด์ของกำมะถันต่างจากภูมิภาคอื่นๆ คือมาจากรถยนต์ประเภทดีเซลเล็กมากกว่ารถยนต์ประเภทดีเซลขนาดใหญ่ ทั้งนี้เนื่องมาจากเมื่อพิจารณาสัดส่วนของรถ พบว่าจำนวนของรถยนต์ดีเซลขนาดเล็กในกรุงเทพมหานครนั้นมีจำนวนมากที่สุดในประเทศ และสูงกว่ารถยนต์ประเภทดีเซลใหญ่มาก และสอดคล้องกับปริมาณที่ปลดปล่อยมากที่สุดจากรถยนต์ดีเซลขนาดใหญ่ในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือเพราะปริมาณของรถยนต์จดทะเบียนในประเภทรถยนต์ดีเซลขนาดใหญ่มีจำนวนมากที่สุด

4.1.3 ลักษณะของการปลดปล่อยสารคาร์บอนมอนอกไซด์

แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์เกิดขึ้นมาเนื่องจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ คืออัตราส่วนของอากาศต่อน้ำมันต่ำ ซึ่งในรถยนต์ดีเซลขนาดใหญ่ที่ต้องการใช้แรงขับเคลื่อนสูง สภาพการทำงานในห้องเผาไหม้จะถูกป้อนเชื้อเพลิงจำนวนมาก แต่ปริมาณของแก๊สออกซิเจนไม่เพียงพอส่งผลให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ เนื่องจากสาเหตุนี้จึงทำให้รถยนต์ดีเซลขนาดใหญ่ปลดปล่อยคาร์บอนมอนอกไซด์มากที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 4.3 แสดงปริมาณของคาร์บอนมอนอกไซด์ที่เกิดขึ้นในแต่ละภูมิภาคและกรุงเทพมหานครจำแนกตามประเภทรถยนต์ แต่แนวโน้มในเขตกรุงเทพมหานครแตกต่างจากพื้นที่ภูมิภาคอื่นๆ ทั้งนี้เนื่องจากรถยนต์ดีเซลขนาดเล็กมีขนาดมากกว่ารถยนต์ดีเซลขนาดใหญ่ถึงประมาณ 13 เท่าจึงทำให้สัดส่วนที่ปลดปล่อยแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์แตกต่างจากภูมิภาคอื่นๆ คือมีสัดส่วนการปลดปล่อยจากรถยนต์ดีเซลขนาดใหญ่ในปริมาณที่ใกล้เคียงกับรถยนต์ดีเซลขนาดเล็ก ดังนั้นในส่วนนี้เป็นสาเหตุหลักที่ต้องพิจารณาในการแก้ปัญหามลพิษทางอากาศจากแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์คือ รถยนต์ดีเซลขนาดใหญ่

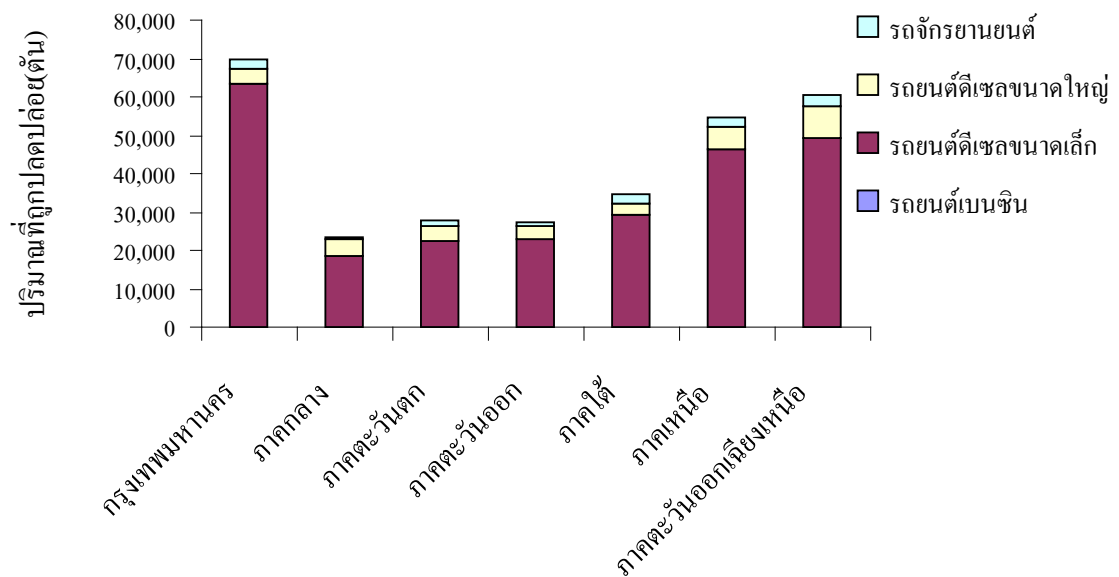


รูปที่ 4.3 สัดส่วนของคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ถูกปลดปล่อยโดยจำแนกตามประเภท ของรถยนต์ และพื้นที่แหล่งกำเนิดแต่ละภูมิภาครวมทั้งกรุงเทพมหานคร

4.1.4 ลักษณะของการปลดปล่อยอนุภาคฝุ่นละออง

ฝุ่นละอองที่เกิดมาจากรถยนต์เป็นสารมลพิษที่เกิดมาจากการเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูง ซึ่งการปลดปล่อยของฝุ่นละอองในแต่ละภูมิภาคและกรุงเทพมหานครสามารถแสดงผลการประเมินได้ดังแสดงรูปที่ 4.4 จะเห็นได้ว่าอนุภาคฝุ่นละอองถูกปลดปล่อยออกมาจากรถยนต์ประเภทดีเซลขนาดเล็ก ทั้งนี้เนื่องมาจากค่าปัจจัยการปลดปล่อย (Emission Factor) ของรถยนต์ดีเซลเล็กมีค่าสูงสุด กล่าวคือสูงกว่ารถยนต์ดีเซลขนาดใหญ่ 2 เท่า และมากกว่ารถยนต์เบนซินประมาณ 80 เท่า ซึ่งส่งผลให้รถยนต์ดีเซลขนาดเล็กแสดงผลการปลดปล่อยออกมามากที่สุด

แนวโน้มที่แสดงให้เห็นในรูปที่ 4.4 พบว่ามีความแตกต่างจากแนวโน้มของการปลดปล่อยสารมลพิษชนิดอื่นๆ กล่าวคือแนวโน้มของสัดส่วนของปริมาณฝุ่นละอองที่ปลดปล่อยออกมาสูงสุดจากรถยนต์ประเภทดีเซลขนาดเล็ก ซึ่งเมื่อพิจารณาถึงปริมาณรถยนต์ในกรุงเทพมหานครที่มีสัดส่วนของรถยนต์ดีเซลเล็กสูงสุด จึงทำให้ซึ่งมีปริมาณการปลดปล่อยฝุ่นละอองของรถยนต์ดีเซลเล็กในกรุงเทพมหานครมากกว่าในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ดังนั้นจึงเป็นปัจจัยที่สามารถใช้เป็นฐานข้อมูลในการแก้ไขปัญหาเกี่ยวกับฝุ่นละอองที่เกิดจากการขนส่งทางถนนในประเทศไทยได้ว่าสาเหตุที่ต้องพิจารณาอันดับแรกก็จากรถยนต์ประเภทดีเซลขนาดเล็ก

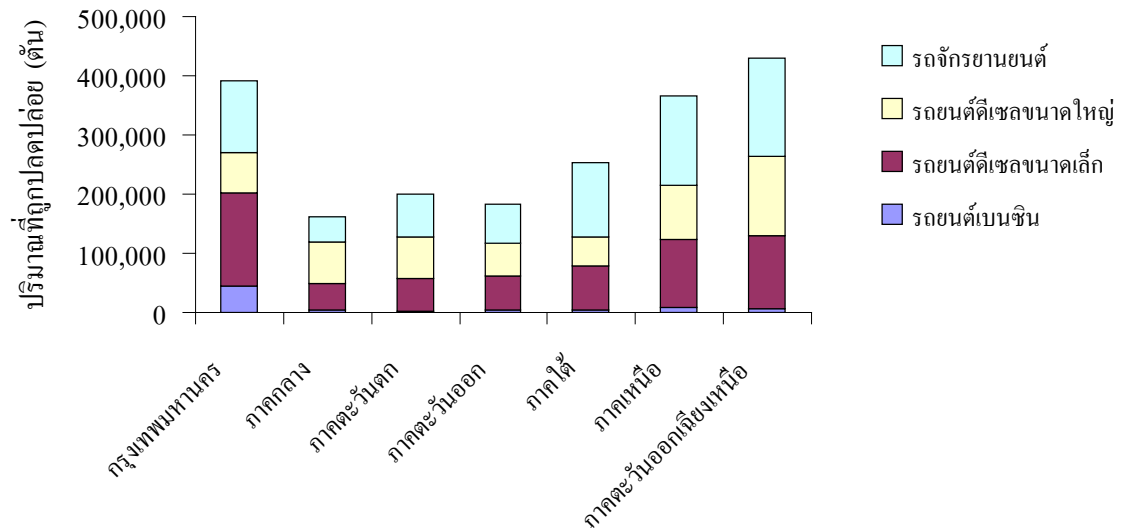


รูปที่ 4.4 สัดส่วนของฝุ่นละอองที่ถูกปลดปล่อยโดยจำแนกตามประเภทของรถยนต์และพื้นที่แหล่งกำเนิดแต่ละภูมิภาครวมทั้งกรุงเทพมหานคร

4.1.5 ลักษณะของการปลดปล่อยสารไฮโดรคาร์บอน

ปริมาณของสารไฮโดรคาร์บอนที่ถูกปลดปล่อยจากกิจกรรมการขนส่งทางถนนในประเทศไทยตามแต่ละภูมิภาคและกรุงเทพมหานคร สามารถแสดงได้ดังรูป 4.5 กล่าวคือประเภทของรถยนต์ที่ปลดปล่อยสารประกอบไฮโดรคาร์บอนมากที่สุดคือรถจักรยานยนต์ รองลงมาคือรถยนต์ดีเซลทั้งนี้เนื่องมาจากรถจักรยานยนต์ชนิด 2 จังหวะ ซึ่งมีระบบการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ จึงทำให้มีการปลดปล่อยสารประกอบไฮโดรคาร์บอนออกมาในจำนวนมาก เพราะฐานข้อมูลของค่าปัจจัยการปลดปล่อยมีที่มาจากปี พ.ศ. 2541 ซึ่งในช่วงเวลานั้นความนิยมในการใช้รถจักรยานยนต์ 2 จังหวะมีสูง ต่อมารัฐบาลเล็งเห็นถึงความสำคัญดังกล่าวคือรถจักรยานยนต์สอง จังหวะมีการปลดปล่อยสารไฮโดรคาร์บอนออกมาปริมาณมาก จึงกำหนดให้มีการยกเลิกการผลิตรถจักรยานยนต์ 2 จังหวะแล้วส่งเสริมให้ใช้รถจักรยานยนต์สี่จังหวะแทนเนื่องจากมีการปลดปล่อยสารไฮโดรคาร์บอนน้อยกว่า แต่ทั้งนี้ก็มีใ้ว่ารถจักรยานยนต์สองจังหวะจะถูกห้ามใช้เป็นเพียงแค่การห้ามผลิตเท่านั้นดังนั้นประชาชนที่มีรถจักรยานยนต์สองจังหวะอยู่แล้วยังคงใช้งานต่อไป จึงทำให้ปริมาณสารไฮโดรคาร์บอนที่มาจากรถจักรยานยนต์ยังมีปริมาณที่สูงที่สุดอยู่

ดังนั้นรถจักรยานยนต์เป็นสาเหตุสำคัญในการปลดปล่อยสารไฮโดรคาร์บอน ทำให้มีแนวโน้มแตกต่างไปจากแนวโน้มการปลดปล่อยสารมลพิษประเภทอื่นๆ



รูปที่ 4.5 สัดส่วนของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ถูกปลดปล่อยโดยจำแนกตามประเภทของรถยนต์และพื้นที่แหล่งกำเนิดแต่ละภูมิภาครวมทั้งกรุงเทพมหานคร

จากแนวโน้มของปริมาณสารมลพิษที่ถูกปลดปล่อยออกมา พบว่าปริมาณของสารมลพิษที่ถูกปลดปล่อยออกมาในภาพรวมนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณของรถยนต์ที่มีการใช้งานดังที่กรุงเทพฯ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีปริมาณรถยนต์มากเป็นอันดับหนึ่งและอันดับสองของประเทศจึงทำให้ปริมาณมลพิษที่ถูกปลดปล่อยออกมามากกว่าในส่วนภูมิภาคอื่นๆ เพื่อตรวจสอบความถูกต้องและความแตกต่างของการประเมินนี้จึงได้ทำการเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลจาก

แหล่งข้อมูลอื่นๆ ที่ได้จัดทำประเมินปริมาณมลพิษจากกิจกรรมขนส่งทางถนนในแนวทางการประเมินที่ใกล้เคียงกัน จากแหล่งที่มีความน่าเชื่อถือ เพื่อแสดงให้เห็นว่าผลการประเมินในการวิจัยในครั้งนี้แตกต่างกับในบางแหล่งข้อมูลมากน้อยเพียงไร โดยข้อมูลจากแหล่งอื่นๆ ที่ได้นำมาใช้ในการเปรียบเทียบในครั้งนี้ใช้แหล่งข้อมูลจาก

2

แหล่งข้อมูล

ฐานข้อมูลแรกคือ NASA-TRACE-P โดย David Street[68] ที่จัดทำบัญชีการปลดปล่อยของสารมลพิษในประเทศต่างๆ ในแถบทวีปเอเชีย รวมถึงประเทศไทย โดยใช้ข้อมูลปี พ.ศ. 2543 เป็นข้อมูลพื้นฐานในการจัดทำ

โดยแสดงข้อมูลในการประเมินอย่างละเอียดไว้ในส่วนของคาร์บอนมอนอกไซด์ ซึ่งเมื่อนำค่า VKT มาแทนค่าและประเมินค่าและเปรียบเทียบกับค่าบัญชีการปล่อยปล่อยของผลการวิจัยในครั้งนี้ ส่วนฐานข้อมูลที่สองคือจากโปรแกรม VAPIS จัดทำโดย

World Bank [69] ได้ประเมินปริมาณสารมลพิษในกรุงเทพมหานครไว้ในปี พ.ศ. 2542 พร้อมกับทำนายปริมาณสารมลพิษที่จะเกิดขึ้นตามแนวโน้มที่ประเมินไว้จนถึงปี พ.ศ. 2568 เมื่อประเมินข้อมูลจากแหล่งข้อมูลที่น่าเชื่อถือจากทั้ง 2 แหล่งข้อมูล สามารถเปรียบเทียบผลและความแตกต่างของผลการประเมินจากงานวิจัยในครั้งนี้ได้ดังที่แสดงในตารางที่ 4.6 โดยค่าความคลาดเคลื่อนนี้เกิดมาจากค่า VKT ที่ประเมินจากฐานข้อมูลจากทั้ง 2 แหล่งข้อมูลมีความแตกต่างกันโดยผลที่ได้จากงานวิจัยนี้ใช้ค่า VKT จากฐานข้อมูลของกรมควบคุมมลพิษ ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้มีการประเมินในปี พ.ศ. 2546 จึงมีความน่าเชื่อถือมากกว่าฐานข้อมูลของ NASA-TRACE-P โดย David Street ที่ประเมินไว้ในปี พ.ศ. 2543 เพราะใช้ฐานข้อมูลที่น่ามาใช้ในการประเมิน เช่น ปริมาณรถยนต์ในประเทศไทย ที่มีค่าต่ำกว่าข้อมูลที่ทันสมัยจึงอาจเกิดความผิดพลาดในการประเมินค่าได้ และในส่วนการเปรียบเทียบผลและความแตกต่างกับแหล่งข้อมูลจากโปรแกรม VAPIS จะเห็นได้ว่าปริมาณของสารมลพิษเกือบทุกประเภทมีค่าต่ำกว่าปริมาณของสารมลพิษที่ได้ประเมินไว้ในการวิจัยนี้ เช่น สารออกไซด์ของไนโตรเจนที่ประเมินไว้นั้นสูงกว่าถึง 149% แก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ประเมินไว้สูงกว่า 106% ฝุ่นละอองประเมินไว้สูงกว่า 109% และสารประกอบไฮโดรคาร์บอนประเมินไว้สูงกว่า 52% ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการประเมินได้ทำไว้ในปี 2542 ซึ่งเป็นช่วงที่เกิดวิกฤตเศรษฐกิจจึงอาจทำให้การประเมินการใช้พลังงานและการเติบโตของการขนส่งทางถนนต่ำกว่าความเป็นจริง แต่ยกเว้นแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ปริมาณที่ประเมินได้จากงานวิจัยนี้ต่ำกว่าประมาณ 8%

ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบปริมาณสารมลพิษที่ปลดปล่อยจากกิจกรรมการขนส่ง

สารมลพิษ	ปริมาณสารมลพิษจากการประเมินในแต่ละแหล่งข้อมูลแหล่งที่มาของข้อมูล					
	ผลการประเมินทั่วประเทศ	NASA-TRACE-P (David Street) ทั้งประเทศ		ผลการประเมิน ในเขตกรุงเทพฯ	VAPIS (World Bank) กรุงเทพมหานคร	
		ปริมาณ	ความแตกต่าง		ปริมาณ	ความแตกต่าง
NO _x	7,703,635			1,342,208	198,005	148.58%
SO _x	180,238	-	-	36,457	11,229	105.81%
CO	4,257,511	3,756,999	12.49%	864,282	936,457	-8.02%
PM	297,993	-	-	69,620	20,418	109.29%
HC	1,983,942	-	-	392,319	230,479	51.97%

4.2 ปริมาณสารมลพิษทางอากาศจากภาคอุตสาหกรรม

จากการประเมินการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศในปี 2548 พบว่า มีการปลดปล่อยทั้งหมด 1,305 กิโลตันต่อปี โดยมี PM_{10} ออกมามากที่สุดเท่ากับ 664.2 กิโลตันต่อปี รองลงมาคือ NO_x SO_x CO และ VOC มีปริมาณ 300.8 218.2 105.4 และ 16.7 กิโลตันต่อปี ตามลำดับ

4.2.1 การพิจารณาการปลดปล่อยแยกตามสาขาทางอุตสาหกรรม

จากตารางที่ 4.3 เมื่อพิจารณาแยกตามสาขาทางอุตสาหกรรม พบว่าการปลดปล่อย NO_x มากที่สุดมาจาก อุตสาหกรรมประเภทอื่นๆคืออุตสาหกรรมตกแต่งผลิตภัณฑ์ที่ 133.3 กิโลตันต่อปี รองลงมาคืออุตสาหกรรมเคมี และไฟฟ้า มีปริมาณ 89.3 และ 43.2 กิโลตันต่อปีตามลำดับ โรงงานไฟฟ้ามีการปลดปล่อย SO_x มากที่สุดที่ 157.2 กิโลตันต่อปี ส่วนอุตสาหกรรมที่ปลดปล่อย SO_x รองลงมาคืออุตสาหกรรมเคมีและอาหารในปริมาณ 34.0 และ 7.1 กิโลตันต่อปีตามลำดับ การปลดปล่อย VOC มากที่สุดมาจาก อุตสาหกรรมเคมีถึง 34.0 กิโลตันต่อปี รองลงมาคือ อุตสาหกรรมอื่นๆและสิ่งทอที่ 9 และ 1.4 กิโลตันต่อปีตามลำดับ อุตสาหกรรมอื่นๆมีการปลดปล่อย CO มากที่สุด 35.4 กิโลตันต่อปี รองลงมาคือ อุตสาหกรรมสิ่งทอและไฟฟ้าที่ 32.2 และ 9.1 กิโลตันต่อปีตามลำดับ อุตสาหกรรมไฟฟ้ามีการปลดปล่อย PM_{10} มากที่สุด 405.1 กิโลตันต่อปี รองลงมาคืออุตสาหกรรมกระดาษและสิ่งทอ มีปริมาณ 179.6 และ 31.3 กิโลตันต่อปีตามลำดับ

เมื่อพิจารณาโดยรวมพบว่าโรงไฟฟ้า มีการปลดปล่อยโดยรวมสูงที่สุด 620.4 กิโลตันต่อปี รองลงมาคืออุตสาหกรรมกระดาษและอุตสาหกรรมอื่นๆ มีปริมาณการปลดปล่อย 205.5 และ 200.2 กิโลตันต่อปี ตามลำดับ ซึ่งส่วนใหญ่อุตสาหกรรมเหล่านี้มีการใช้เชื้อเพลิงประเภท ถ่านหิน ลิกไนต์ และ น้ำมันเตาเป็นส่วนใหญ่ โดยเชื้อเพลิงเหล่านี้จะปลดปล่อยมลพิษออกมาอย่างมากในการสันดาป ดังนั้น มาตรการที่ควรใช้ควบคุมมลพิษจากโรงงานเหล่านี้คือ ส่งเสริมให้โรงงานเหล่านี้ใช้เชื้อเพลิงประเภทแก๊สธรรมชาติในการสันดาปแทน เพราะเชื้อเพลิงประเภทนี้สามารถเผาไหม้ได้อย่างสมบูรณ์ จึงมีมลพิษที่ปลดปล่อยออกมาจากการสันดาปน้อย

ตารางที่ 4.3 ปริมาณการปลดปล่อยมลพิษแยกตามประเภทอุตสาหกรรม

ประเภท อุตสาหกรรม	ปริมาณมลพิษที่ปลดปล่อย(กิโลตันต่อปี)					
	NO _x	SO _x	VOC	CO	PM ₁₀	รวม
กระดาษ	15.3	7.8	0.2	2.7	179.6	205.5
เคมี	89.3	34.0	4.9	20.1	23.8	172.2
ไฟฟ้า	48.2	157.2	0.7	9.1	405.1	620.4
ไม้	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
โลหะมูลฐาน	0.1	0.1	0.0	0.1	0.0	0.3
สิ่งทอ	9.6	0.9	1.4	32.2	31.3	75.5
อโลหะ	1.0	2.6	0.0	0.1	4.6	8.3
อาหาร เครื่องดื่ม และยาสูบ	3.8	10.1	0.4	5.6	3.0	22.9
อุตสาหกรรม ประกอบชิ้นส่วน	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
อื่นๆ	133.3	5.5	9.0	35.4	16.9	200.2
รวม	300.8	218.2	16.7	105.4	664.2	1305.3

4.2.2 การพิจารณาการปลดปล่อยแยกตามภูมิภาค

จากตารางที่ 4.4 เมื่อพิจารณาแยกภูมิภาค พบว่าการปลดปล่อย NO_x มากที่สุดมาจากภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 124.4 กิโลตันต่อปี รองลงมาคือกรุงเทพมหานครและปริมณฑล และภาค

ตะวันออกเฉียงเหนือที่ 95.2 และ 36.9 กิโลตันต่อปีตามลำดับ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีการปลดปล่อย SO_x มากที่สุด 114.8 กิโลตันต่อปี รองลงมาคือกรุงเทพมหานครและปริมณฑล และภาคตะวันออกที่ 33.9 และ 32.1 กิโลตันต่อปีตามลำดับ การปลดปล่อย VOC มากที่สุดมาจากภาคตะวันออก 7.6 กิโลตันต่อปี รองลงมาคือกรุงเทพมหานครและปริมณฑล และภาคกลางที่ 6 และ 2.1 กิโลตันต่อปีตามลำดับ กรุงเทพมหานครและปริมณฑลมีการปลดปล่อย CO มากที่สุดที่ 49.6 กิโลตันต่อปี รองลงมาคือภาคตะวันออกและภาคกลางที่ 31.8 และ 11.5 กิโลตันต่อปีตามลำดับ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีการปลดปล่อย PM_{10} มากที่สุด 289.5 กิโลตันต่อปี รองลงมาคือกรุงเทพมหานครและปริมณฑล และภาคตะวันออกที่ 185.0 และ 89.6 กิโลตันต่อปีตามลำดับ เมื่อพิจารณาโดยรวมพบว่าภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีการปลดปล่อยโดยรวมสูงที่สุดถึง 451.3 กิโลตัน รองลงมาคือกรุงเทพมหานครและปริมณฑล และ ภาคตะวันออก มีปริมาณการปลดปล่อย 369.7 และ 285.5 กิโลตันต่อปี ตามลำดับ ซึ่งส่วนใหญ่อยู่อุตสาหกรรมในภาคต่างๆเหล่านี้มีการใช้เชื้อเพลิงประเภทถ่านหิน ลิกไนต์ น้ำมันดีเซล และ น้ำมันเตาเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นควรใช้มาตรการจากโรงงานเหล่านี้ในการควบคุมมลพิษเช่นเดียวกับที่อภิปรายไว้ข้างต้น

ตารางที่ 4.4 ปริมาณการปลดปล่อยมลพิษแยกตามภูมิภาค

ภาค	ปริมาณมลพิษที่ปลดปล่อย (กิโลตันต่อปี)					
	NO_x	SO_x	VOC	CO	PM_{10}	รวม
กรุงเทพมหานครและปริมณฑล	95.2	33.9	6.0	49.6	185.0	369.7
ภาคเหนือ	5.7	11.4	0.3	2.7	27.9	132.7
ภาคกลาง	36.8	21.8	2.1	11.5	60.5	285.5
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	36.9	114.8	0.7	9.4	289.5	451.3
ภาคตะวันออก	124.4	32.1	7.6	31.8	89.6	47.9
ภาคใต้	1.7	4.2	0.1	0.4	11.7	18.1
รวม	300.7	218.2	16.7	105.4	664.2	1305.2

4.2.3 การเปรียบเทียบผลการประเมินมลพิษกับแหล่งข้อมูลอื่นๆ

เพื่อตรวจสอบความถูกต้องและน่าเชื่อถือของผลการประเมินในครั้งนี้จึงได้ทำการเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากงานอื่น โดยได้ทำการเปรียบเทียบกับบัญชีการปลดปล่อย 4 แหล่งคือ

1. บัญชีของโครงการ NASA-TRACE-P[68]
2. บัญชีการปลดปล่อยของกรมควบคุมมลพิษ [70]
3. บัญชีการปลดปล่อยของ JICA (Japan International Cooperation Agency) [71]
4. บัญชีการปลดปล่อยของ PHAM BICH THAO [72]

David Street[68] ได้จัดทำบัญชีการปลดปล่อยสารมลพิษในประเทศต่างๆ ในแถบทวีปเอเชีย รวมถึงประเทศไทย สำหรับโครงการ NASA-TRACE-P โดยใช้ข้อมูลปี พ.ศ. 2543 เป็นข้อมูลปีฐานในการจัดทำนี้ โดยมีข้อมูลของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ซึ่งในที่นี้จะใช้แทนในการเปรียบเทียบกับซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ได้จากการประเมินในครั้งนี้ ส่วนข้อมูลของสารประกอบอินทรีย์ระเหยได้แบ่งเป็นสองส่วน คือ สารประกอบอินทรีย์ระเหยที่ไม่รวมมีเทน (Non Methane Volatile Organic Compounds: NMVOC) และรวมมีเทน (Methane: CH_4) โดยจะพิจารณาเฉพาะสารประกอบอินทรีย์ระเหยที่ไม่รวมมีเทนเท่านั้น

กรมควบคุมมลพิษได้ทำงานวิจัยจัดทำบัญชีการปลดปล่อย[70] โดยใช้ข้อมูลปี พ.ศ. 2537 เป็นข้อมูลปีฐาน ซึ่งงานวิจัยนี้ ไม่มีข้อมูลสารประกอบอินทรีย์ระเหย และไม่มีข้อมูลของฝุ่นละออง จึงใช้ข้อมูลของฝุ่นรวม (Suspended Particulate Matter: SPM) แทน JICA (Japan International Cooperation Agency)[71] ได้วิจัยเกี่ยวกับบัญชีการปลดปล่อยมลพิษ ที่ก่อให้เกิดฝนกรด ที่มีฐานข้อมูลจากปี พ.ศ. 2546 ซึ่งมีข้อมูลเพียง ซัลเฟอร์ไดออกไซด์เท่านั้น

บัญชีการปลดปล่อยของ THAO [72]ได้ทำงานวิจัยการปลดปล่อย โดยใช้ข้อมูลปี พ.ศ. 2548 เป็นข้อมูลปีฐาน งานวิจัยนี้ได้ใช้แรงม้ามาคำนวณการปลดปล่อยโดยตรง ซึ่งงานวิจัยดังกล่าวไม่มีข้อมูลของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ จึงใช้ข้อมูลของซัลเฟอร์ไดออกไซด์แทน อีกทั้งยังพบว่าไม่มีข้อมูลของสารประกอบอินทรีย์ระเหยจึงใช้ข้อมูลสารประกอบอินทรีย์ระเหยที่ไม่รวมมีเทนแทน

ผลการเปรียบเทียบสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.9 พบว่าเมื่อเปรียบเทียบบัญชีการปลดปล่อยอื่น พบว่าสารประกอบอินทรีย์ระเหยมีปริมาณแตกต่างกันมากที่สุด โดยมีค่าต่ำกว่าค่าที่ได้จากโครงการ TRACE-P มาก เนื่องจากการประเมินนี้ประเมินจากการใช้พลังงานเพียงอย่างเดียว

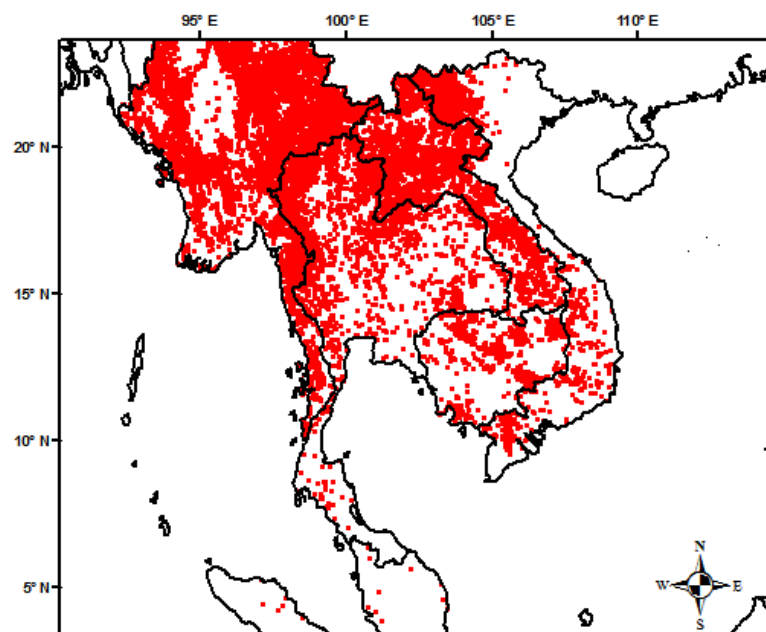
โดยไม่ได้คำนึงถึงการปลดปล่อยจากกระบวนการผลิต ซึ่งการปลดปล่อยของสารอินทรีย์ระเหยจะมาจากกระบวนการการผลิตเป็นหลัก ในส่วนของซัลเฟอร์ไดออกไซด์พบว่ามีค่าใกล้เคียงโครงการ JICA มากที่สุดและต่ำกว่าค่าของโครงการ TRACE-P และกรมควบคุมมลพิษมาก เนื่องจากโครงการทั้งสองใช้ฐานข้อมูลเก่าและไม่ได้พิจารณาถึงเทคโนโลยีในการควบคุม ส่วน NO_x และ CO จะอยู่ระหว่างค่าของกรมควบคุมมลพิษและโครงการ TRACE-P แต่มีค่าใกล้เคียงกับค่าจาก JICA เนื่องจากเป็นข้อมูลที่ใช้ปีฐานใกล้เคียงกัน ซึ่งเน้นเฉพาะการศึกษามลพิษที่ก่อให้เกิดฝนกรด ส่วนฝุ่นละอองนั้นได้ค่าที่สูงกว่าค่าจากโครงการ TRACE-P และกรมควบคุมมลพิษ ซึ่งจากงานวิจัยของ Thongboonchoo [1] ได้ทำการทดสอบข้อมูลจากแหล่งทั้งสองโดยใช้แบบจำลองคุณภาพอากาศพบว่าบัญชีการปลดปล่อยจากโครงการทั้งสองมีค่าต่ำกว่าความเป็นจริงมาก จึงคาดว่าค่าที่ได้จากบัญชีการปลดปล่อยใหม่นี้จะมีความใกล้เคียงกับค่าจริงมากกว่าค่าของโครงการ TRACE-P และกรมควบคุมมลพิษ เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของชัชวาลและ PHAM [8] กับงานวิจัยนี้ ซึ่งใช้แรงม้าของโรงงานมาคำนวณการปลดปล่อยเหมือนกัน พบว่าค่า NO_x VOC PM_{10} มีค่าใกล้เคียงกันมาก แต่ SO_x กับ CO มีค่าแตกต่างกันมาก โดยที่งานวิจัยของ THAO เลือกใช้ค่าปัจจัยการปลดปล่อยที่มีความสัมพันธ์กับแรงม้าโดยตรง แต่งานวิจัยนี้ใช้ค่าปัจจัยการปลดปล่อยที่มีความสัมพันธ์กับปริมาณการใช้เชื้อเพลิงซึ่งได้มาจากการขยายข้อมูลโดยใช้แรงม้าเป็นตัวอ้างอิง ดังนั้นค่าที่ได้จากงานวิจัยทั้งสองจึงมีความแตกต่างกัน เนื่องจากเลือกใช้ค่าปัจจัยการปลดปล่อยที่ใช้ตัวอ้างอิงต่างกัน

ตารางที่ 4.5 การเปรียบเทียบปริมาณการปลดปล่อยมลพิษรวมทั้งประเทศที่ประเมินได้กับข้อมูล
ของงานวิจัยต่างๆ (กิโลตันต่อปี)

ชนิดสาร มลพิษ	ค่าที่ได้จากงานวิจัย(% ความแตกต่าง)				
	* ตัวเลขในวงเล็บหมายถึงปีฐาน				
	งานวิจัยนี้ (2548)	JICA (2546)	TRACE-P (2543)	กรมควบคุม มลพิษ (2537)	PHAM (2548)
NO _x	300.8		1,197 292%	220 -37%	230.6 -23%
SO _x	218.2	321 47%	539 147%	1,301 497%	863.3 296%
VOC	16.7		3,369 20073%		42.6 155%
CO	105.4		363 244%	65 -162%	857.2 713%
PM ₁₀	664.2		28 -96%	38 -94%	542.2 -18%

4.3 ข้อมูลจากเหตุการณ์ไฟป่าที่ใช้ในกรณีศึกษา

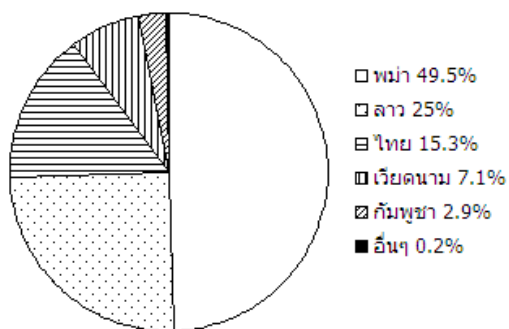
เนื่องจากในปี 2550 มีเหตุการณ์ไฟป่าครั้งใหญ่เกิดขึ้นในประเทศไทยในส่วนของภาคเหนือตอนบน ซึ่งส่งผลกระทบต่อทั้งเศรษฐกิจ และสังคม ผู้วิจัยจึงได้เลือกช่วงเวลาดังกล่าวมาเป็นกรณีศึกษาสำหรับงานวิจัยนี้ จากการศึกษาค้นคว้าข้อมูลตำแหน่งไฟป่าจาก MODIS ในพื้นที่ศึกษา ตั้งแต่วันที่ 12-21 มีนาคม พ.ศ. 2550 พบว่ามีไฟป่าเกิดขึ้น 39,953 จุด โดยเกิดขึ้นมากบริเวณคาบสมุทรมินโดจีน โดยเฉพาะอย่างยิ่งทางภาคตะวันออกของประเทศพม่า ภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย และภาคเหนือของประเทศไทย แผนภาพการกระจายตัวของตำแหน่งไฟป่าในพื้นที่ต่างๆ แสดงได้ดังรูปที่ 4.6



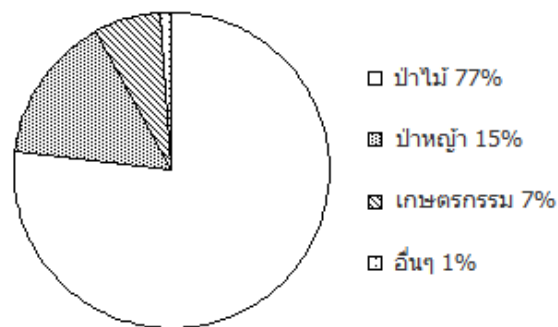
รูปที่ 4.6 แผนภาพการกระจายตัวของตำแหน่งไฟป่าในพื้นที่ต่างๆ ตั้งแต่วันที่ 12-21 มีนาคม พ.ศ. 2550

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

เมื่อพิจารณาจำนวนตำแหน่งไฟฟ้าที่ตรวจพบแยกตามประเทศ พบว่าไฟฟ้าส่วนใหญ่เกิดขึ้นในประเทศพม่า ลาว และไทย ที่สัดส่วนประมาณ 49.5 25.0 และ 15.3 % ตามลำดับ แผนภาพวงกลมของสัดส่วนจำนวนตำแหน่งไฟฟ้าในประเทศต่างๆแสดงดังรูปที่ 4.7 ในขณะที่เมื่อพิจารณาจำนวนตำแหน่งไฟฟ้าที่ตรวจพบแยกตามประเภทของสิ่งปกคลุมดิน 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 แผนภาพวงกลมของสัดส่วนจำนวนตำแหน่งไฟฟ้าที่ตรวจพบแยกตามประเภทของลักษณะสิ่งปกคลุมดินแสดงดังรูปที่ 4.8

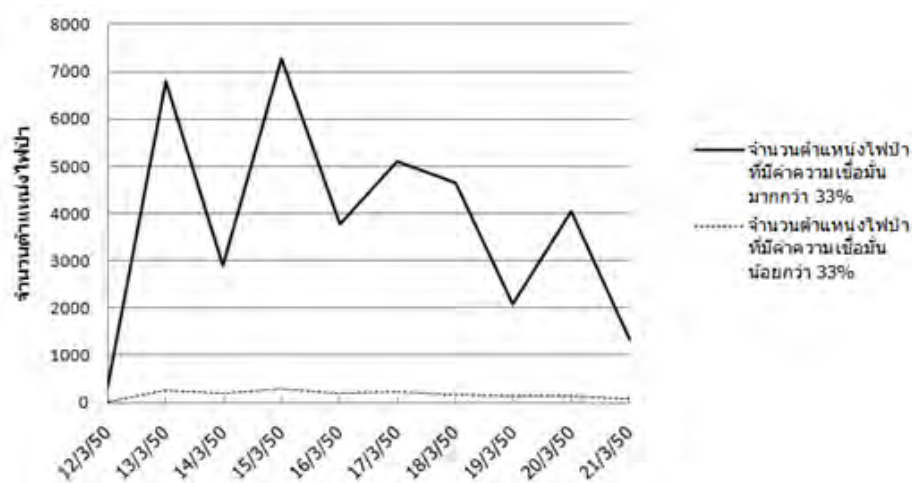


รูปที่ 4.7 แผนภาพวงกลมแสดงสัดส่วนจำนวนตำแหน่งไฟฟ้าที่ตรวจในประเทศต่างๆ ในช่วงระหว่างวันที่ 12-21 มีนาคม พ.ศ. 2550 ในขอบเขตพื้นที่ศึกษา



รูปที่ 4.8 แผนภาพวงกลมของสัดส่วนจำนวนตำแหน่งไฟที่ตรวจพบแยกตามประเภทของสิ่งปกคลุมดินในช่วงระหว่างวันที่ 12-21 มีนาคม พ.ศ. 2550 ในขอบเขตพื้นที่ศึกษา

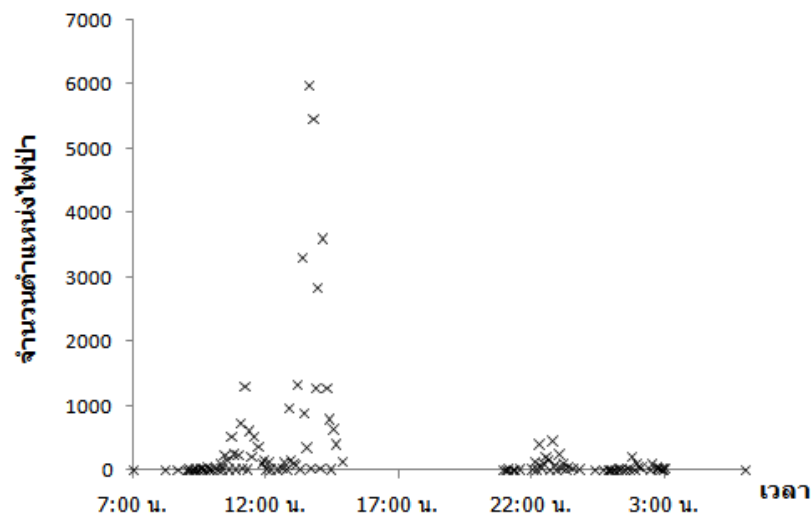
นอกจากนี้จากการศึกษาจำนวนของตำแหน่งไฟฟ้า (ที่ระดับความเชื่อมั่นมากกว่า 33%) แยกเป็นรายวันพบว่าไฟฟ้าเกิดขึ้นมากที่สุดในวันที่ 15 มีนาคม รองลงมาคือวันที่ 13 และ 17 มีนาคม โดยมีจำนวนไฟฟ้า 7,266 6,788 และ 5,093 จุดตามลำดับ จำนวนข้อมูลตำแหน่งไฟฟ้ารายวันที่แยกตามระดับความเชื่อมั่นแสดงได้ดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 จำนวนข้อมูลตำแหน่งไฟฟ้ารายวันที่แยกตามระดับความเชื่อมั่นของวันต่างๆ

จากนั้นพิจารณาข้อมูลตำแหน่งไฟที่ระดับความเชื่อมั่นมากกว่า 33 % ที่ตรวจพบในช่วงเวลาต่างๆของวัน ซึ่งจะพบว่าช่วงเวลาที่ตรวจพบไฟฟ้าจะกระจุกตัวเป็นช่วงๆที่เวลาประมาณ 10:00 ถึง 14:00 น. และ 22:00 ถึง 3:00 น. ทั้งนี้เนื่องมาจากดาวเทียม 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 ตรวจจับไฟฟ้าได้มากที่สุดในช่วงเวลาประมาณ 13:00-14:00 น. มากถึง 5,983 จุด รองลงมาคือในช่วงเวลาประมาณ 22:00น. ที่ประมาณ 600 จุด จากข้อมูลดังกล่าวแสดงว่าไฟฟ้าจะเกิดขึ้นในช่วงเวลาสายถึงบ่ายมากกว่าใน

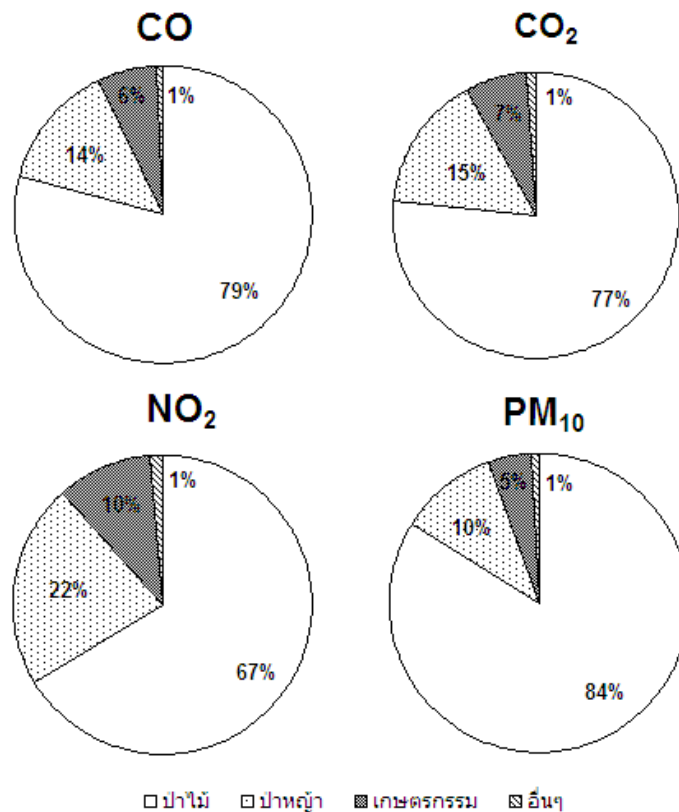
ตอนกลางคืน ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่มียุณหภูมิของอากาศสูงที่สุดของวัน ลักษณะการกระจายตัวของจำนวนจุดของไฟฟ้าตามช่วงเวลาที่ได้รับจับได้แสดงได้ดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 การกระจายตัวของจำนวนตำแหน่งไฟฟ้าที่ MODIS ตรวจจับได้ในเวลาต่างๆของวัน

4.4 ลักษณะของการปลดปล่อยมลพิษจากไฟฟ้า

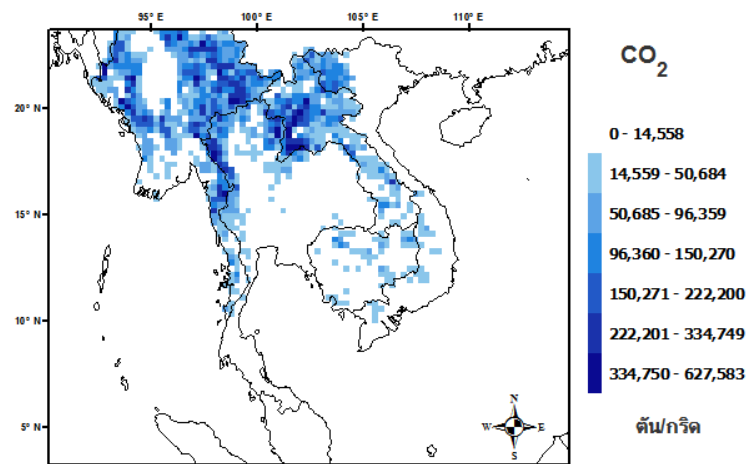
ผลการประเมินการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศที่สนใจ 4 ชนิดได้แก่ CO_2 , CO, PM_{10} และ NO_2 จากไฟฟ้าในพื้นที่ศึกษา ตั้งแต่วันที่ 12-21 มีนาคม พ.ศ. 2550 พบว่ามีการปลดปล่อย CO_2 มากที่สุดประมาณ 9.1 ล้านตัน รองลงมาคือ CO, PM_{10} และ NO_2 ที่ประมาณ 6.9, 0.75 และ 0.11 ล้านตันตามลำดับ และเมื่อทำการศึกษามลพิษแต่ละชนิดนั้น ถูกปลดปล่อยออกมาจากไฟในพื้นที่ใดมากที่สุด พบว่าป่าเป็นแหล่งปลดปล่อยหลักของมลพิษทั้ง 4 ชนิด รองลงมาคือพื้นที่เกษตรกรรม และพื้นที่อื่นๆ ตามลำดับ ที่สัดส่วนโดยเฉลี่ย 76.8, 15.3, 7.0 และ 0.9 % ของทั้งหมดตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.11 จากข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าไฟในพื้นที่ป่าเป็นแหล่งปลดปล่อยมลพิษทางอากาศทั้ง 4 ชนิดที่สำคัญซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลตำแหน่งไฟที่ตรวจพบแยกตามประเภทของสิ่งปกคลุมดินที่พบว่าเกิดบนพื้นที่ป่ามากที่สุด นอกจากนี้ยังพบว่าค่าปัจจัยการปลดปล่อยมลพิษของป่าไม่มีค่าสูงเมื่อเทียบกับพื้นที่เกษตรกรรม หรือพื้นที่อื่นๆ ทำให้ไฟในพื้นที่ป่าไม่ปลดปล่อยมลพิษออกมามากกว่าไฟในพื้นที่อื่นๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง PM_{10} ซึ่งมีค่าปัจจัยการปลดปล่อยมลพิษ 13.05 กรัมต่อกิโลกรัมของเชื้อเพลิงแห้ง ซึ่งมากกว่าค่าปัจจัยการปลดปล่อยมลพิษที่ 8.36 กรัมต่อกิโลกรัมของเชื้อเพลิงแห้งของพื้นที่เกษตรกรรมถึง 35 %



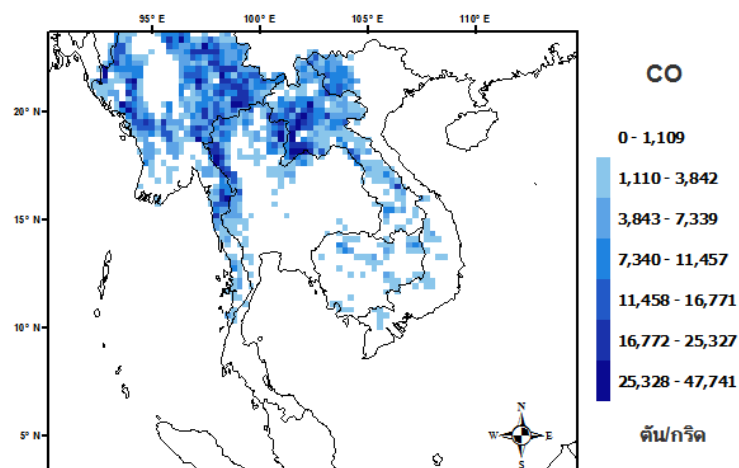
รูปที่ 4.11 แผนภาพวงกลมแสดงสัดส่วนของมลพิษทางอากาศที่มาจากแหล่งกำเนิดต่างๆ

4.4.1 ลักษณะการปลดปล่อยมลพิษจากการเผาในที่โล่งตามพื้นที่

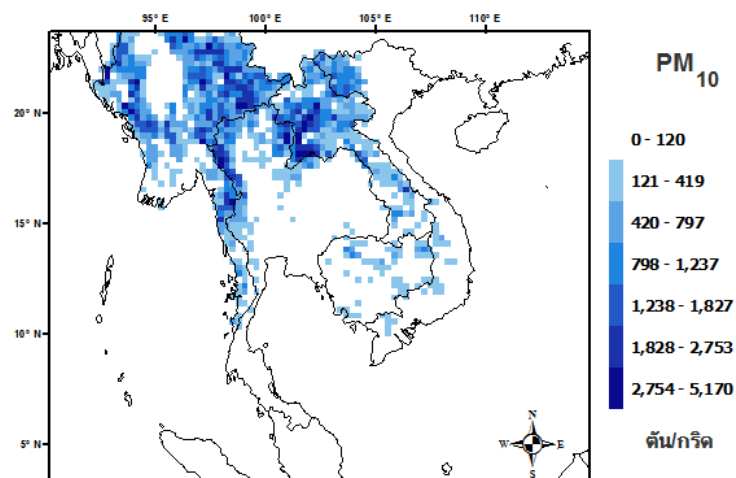
เมื่อได้ทำการรวมปริมาณการปลดปล่อยมลพิษที่กระจายตามพื้นที่ต่างๆให้อยู่ในขนาดพื้นที่เท่าๆกัน ขนาด 27x27 ตารางกิโลเมตร โดยใช้โปรแกรมสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อให้เหมาะสมกับการนำไปใช้ในการศึกษาการแพร่กระจายโดยใช้แบบจำลอง พบว่า แผนภาพการกระจายของปริมาณการปลดปล่อยในพื้นที่ต่างๆ ของมลพิษทางอากาศทั้ง 4 ชนิดในหน่วยตันต่อกริด (27x27 ตารางกิโลเมตร) มีลักษณะดังรูปที่ 4.12-4.15 ซึ่งจะเห็นว่าลักษณะการกระจายตัวของมลพิษทั้ง 4 ชนิดมีลักษณะเป็นไปในทิศทางเดียวกัน และมีความคล้ายคลึงกับการกระจายของตำแหน่งไฟฟ้า คือพบการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศจากการเผาในที่โล่งมากในบริเวณพรมแดนประเทศไทย-พม่าด้านตะวันออก และพรมแดนประเทศไทย-ลาวตอนบน รองลงมาคือด้านตะวันตกของประเทศพม่า ตอนกลางของประเทศลาว ตอนเหนือของประเทศไทย และตอนเหนือของประเทศเวียดนาม



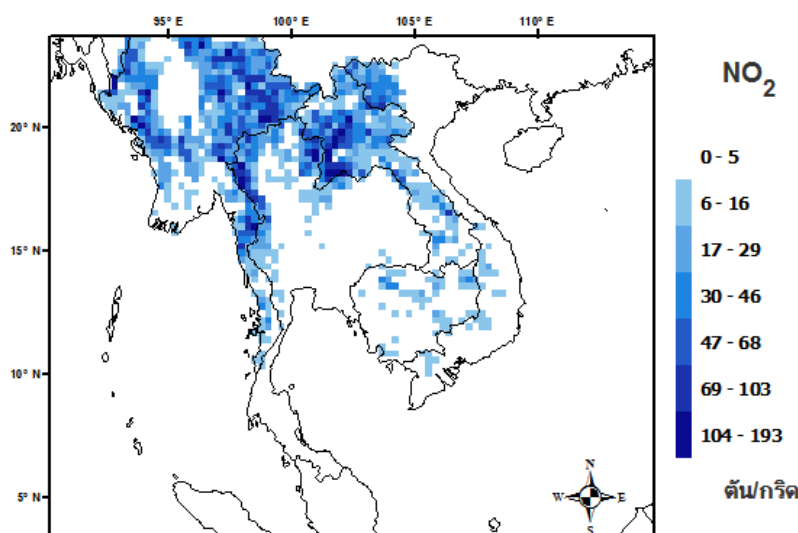
รูปที่ 4.12 การกระจายของปริมาณการปลดปล่อย CO₂ ภาพรวมระหว่างวันที่ 12-21 มีนาคม พ.ศ. 2550



รูปที่ 4.13 การกระจายของปริมาณการปลดปล่อย CO ภาพรวมระหว่างวันที่ 12-21 มีนาคม พ.ศ. 2550

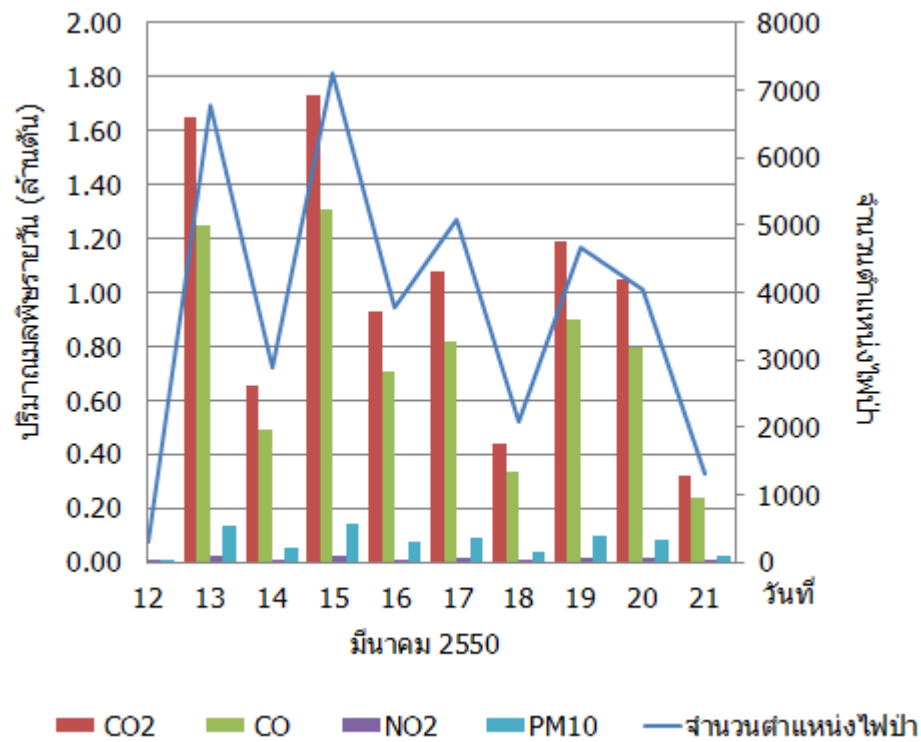


รูปที่ 4.14 การกระจายของปริมาณการปลดปล่อย PM₁₀ ภาพรวมระหว่างวันที่ 12-21 มีนาคม พ.ศ. 2550

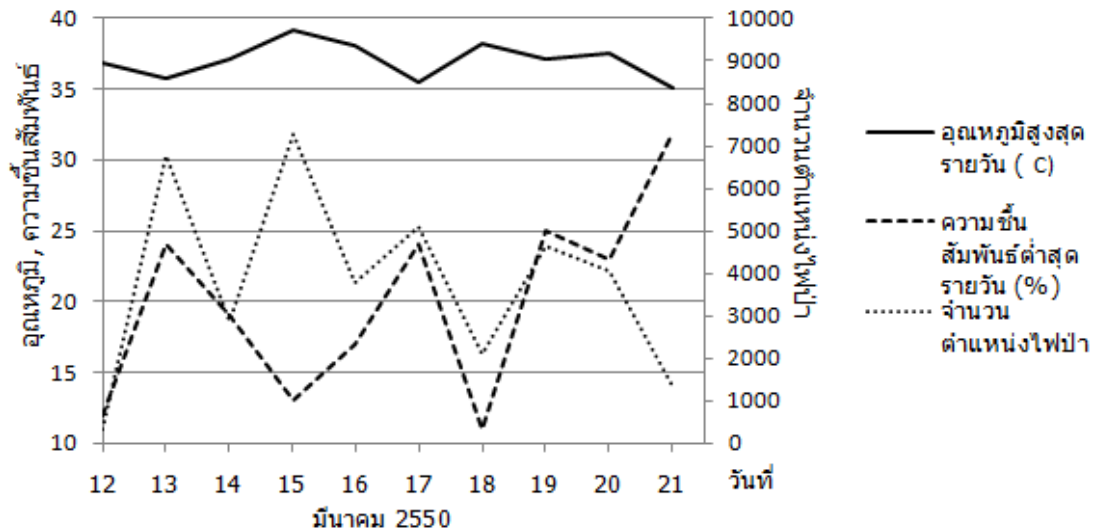


รูปที่ 4.15 การกระจายของปริมาณการปลดปล่อย NO_2 ภาพรวมระหว่างวันที่ 12-21 มีนาคม พ.ศ. 2550

จากการพิจารณาปริมาณการปลดปล่อยมลพิษรายวันของมลพิษทั้ง 4 ชนิด เปรียบเทียบกับจำนวนตำแหน่งของไฟป่าดังแสดงในรูปที่ 4.16 พบว่าจำนวนไฟป่า และปริมาณการปลดปล่อยมลพิษจะแตกต่างกันไปในแต่ละวัน เมื่อจำนวนไฟป่ายิ่งมาก ปริมาณการปลดปล่อยมลพิษก็จะยิ่งมากตามไปด้วย โดยในวันที่ 13 และ 15 มีนาคม พ.ศ. 2550 มีจำนวนไฟป่า และปริมาณการปลดปล่อยมลพิษมากที่สุด และเมื่อศึกษาข้อมูลอุตุนิยมวิทยาในช่วงเวลาที่ศึกษาเพื่อหาว่าสภาพอากาศมีความสัมพันธ์อย่างไรกับจำนวนจุดของไฟป่า ซึ่งเมื่อสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิสูงสุด ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุด และจำนวนตำแหน่งไฟป่าในแต่ละวันที่บริเวณจังหวัดเชียงใหม่ดังแสดงในรูปที่ 4.17 พบว่าในวันที่ 15 มีนาคม พ.ศ. 2550 เป็นวันที่มีอุณหภูมิสูง และมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ และเป็นวันที่มีไฟป่าเกิดขึ้นมากที่สุด แต่ในวันที่ 18 มีนาคม พ.ศ. 2550 แม้ว่าจะมีอุณหภูมิสูง และมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำก็ตาม แต่ก็ไม่ได้มีจำนวนไฟป่ามาก แสดงให้เห็นว่าสภาวะอากาศไม่ได้มีความสัมพันธ์โดยตรงกับจำนวนไฟป่า และไม่ใช่สาเหตุหลักของการเกิดไฟป่า แต่เป็นเพียงปัจจัยเสริมให้ไฟมีความรุนแรงมากขึ้น โดยสาเหตุหลักที่แท้จริงของการเกิดไฟป่าของภูมิภาคนี้คือการกระทำของมนุษย์



รูปที่ 4.16 จำนวนไฟฟ้า และปริมาณการปลดปล่อยมลพิษรายวัน

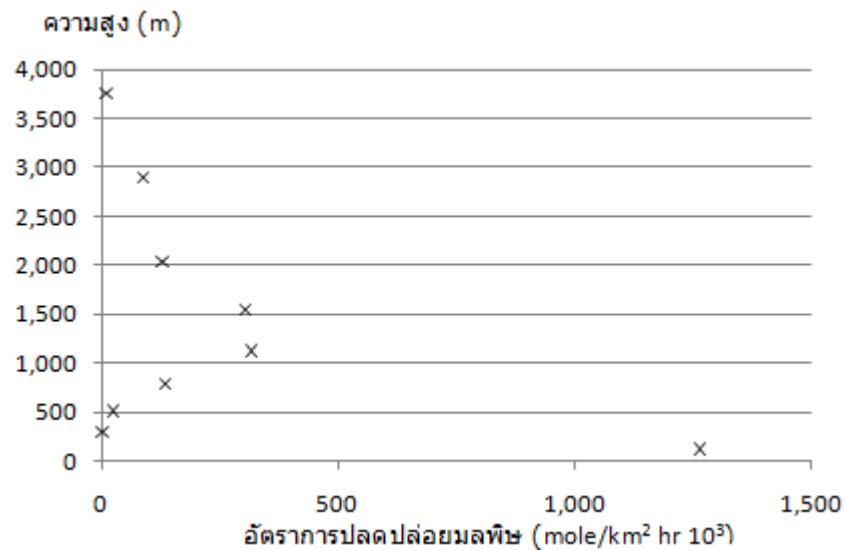


รูปที่ 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลสภาพอากาศอุณหภูมิสูงสุด และความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุดรายวัน ที่สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ สถานีศาลากลางเชียงใหม่

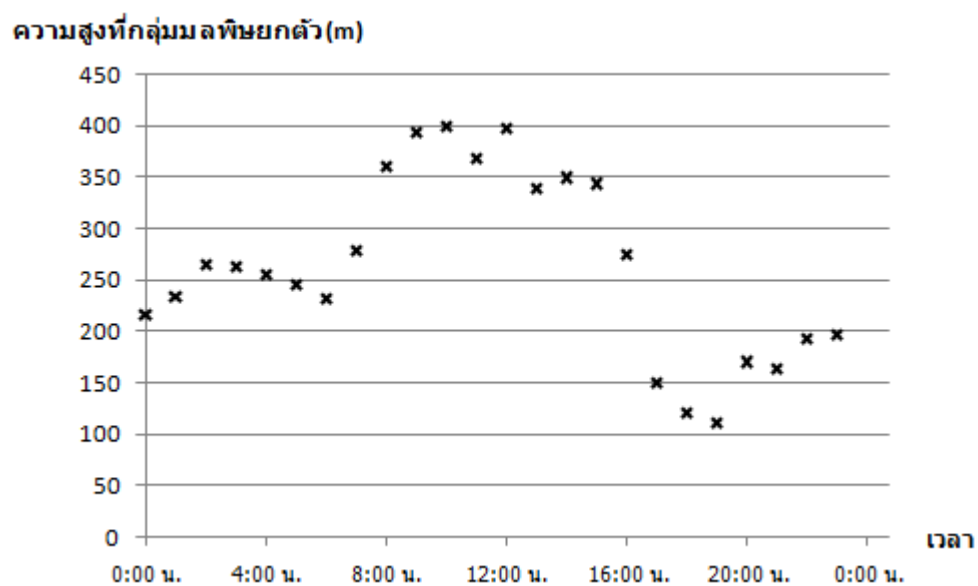
4.4.2 ลักษณะการปลดปล่อยมลพิษตามแนวระดับ

เนื่องจากมลพิษทางอากาศจากไฟฟ้าสามารถถูกทำให้ยกตัวสูงขึ้นตามแนวระดับหลังจากถูกปลดปล่อยจากแหล่งกำเนิดเนื่องจากผลของปรากฏการณ์การถ่ายเทความร้อน จึงได้ทำการประเมินการปลดปล่อยในแนวระดับโดยอาศัยสมการการยกตัวของควัน ซึ่งผลจากการประเมินพบว่าปริมาณมลพิษที่ปลดปล่อยออกมาจะไม่ได้อยู่ในแนวระดับพื้นดินเท่านั้น แต่จะมีการกระจายที่ระดับความสูงต่างๆ ในปริมาณที่แตกต่างกัน ดังตัวอย่างของอัตราการปลดปล่อย CO ที่ระดับตามสูงต่างๆ บริเวณตอนบนของประเทศลาวในวันที่ 15 มีนาคม พ.ศ. 2550 ที่แสดงดังรูปที่ 4.18 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 สามารถแพร่กระจายไปได้ไกลกว่าเนื่องจากอิทธิพลของลมซึ่งจะมีความแรงขึ้นที่ระดับสูงขึ้น และเพื่อให้เห็นความสัมพันธ์ของความสูงของมลพิษทางอากาศที่ยกตัวกับช่วงเวลาต่างๆ ของวัน ในการศึกษาครั้งนี้จึงได้สร้างแผนภาพความสัมพันธ์ดังกล่าวโดยนำตัวอย่างข้อมูลความสูงเฉลี่ยทั้งหมดในพื้นที่ศึกษาที่เวลาต่างๆ ของวันที่ 12 มีนาคม พ.ศ. 2550 มาแสดงดังรูปที่ 4.19 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 หรืออนุภาคขนาดเล็กเกิดการผสม และเจือจางลง ยิ่งระดับความสูงผสมสูงมากเท่าใด ความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศก็สามารถเจือจางลงได้มากเท่านั้น โดยปกติระดับความสูงผสมในช่วงเวลากลางวันจะมีค่ามาก และลดลงในช่วงเวลาเย็นและกลางคืน ทั้งนี้เนื่องมาจากธรรมชาติของมวลอากาศที่จะลอยตัวสูงขึ้นหากอุณหภูมิสูงขึ้น ทำให้ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในเวลาแตกต่างกัน จะมีลักษณะการกระจายตัวที่แตกต่างกันไปด้วย โดยหากไฟฟ้าเกิดขึ้นในเวลากลางวัน มลพิษจะลอยตัวขึ้นที่ระดับสูง มีแนวโน้มที่จะถูกพัดพาไปได้ไกลจากแหล่งปลดปล่อย

และถูกเจือจางลงในที่สุด แต่หากไฟฟ้าเกิดขึ้นในช่วงเย็น และกลางดึก มลพิษที่ถูกปลดปล่อยจะลอยตัวสูงขึ้นได้น้อยทำให้ส่งผลกระทบต่อประชาชนที่อยู่ใกล้เคียงได้มากกว่า



รูปที่ 4.18 ตัวอย่างอัตราการปลดปล่อย CO ที่ระดับความสูงต่างๆ บริเวณตอนบนของประเทศลาว ในวันที่ 15 มีนาคม พ.ศ. 2550



รูปที่ 4.19 ความสูงเฉลี่ยที่กลุ่มมลพิษยกตัวในพื้นที่ศึกษา ในวันที่ 12 มีนาคม พ.ศ. 2550

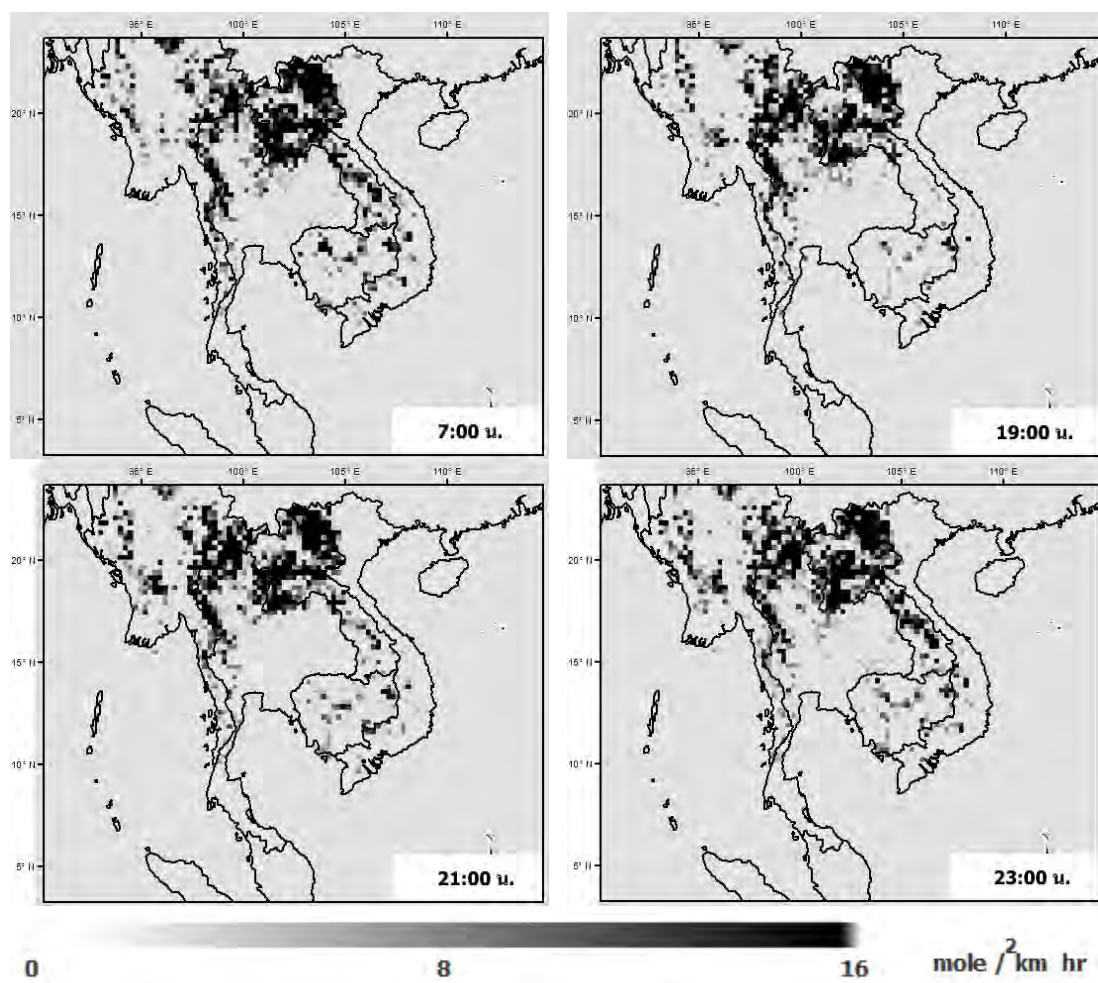
4.5 การแพร่กระจายของมลพิษทางอากาศ

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

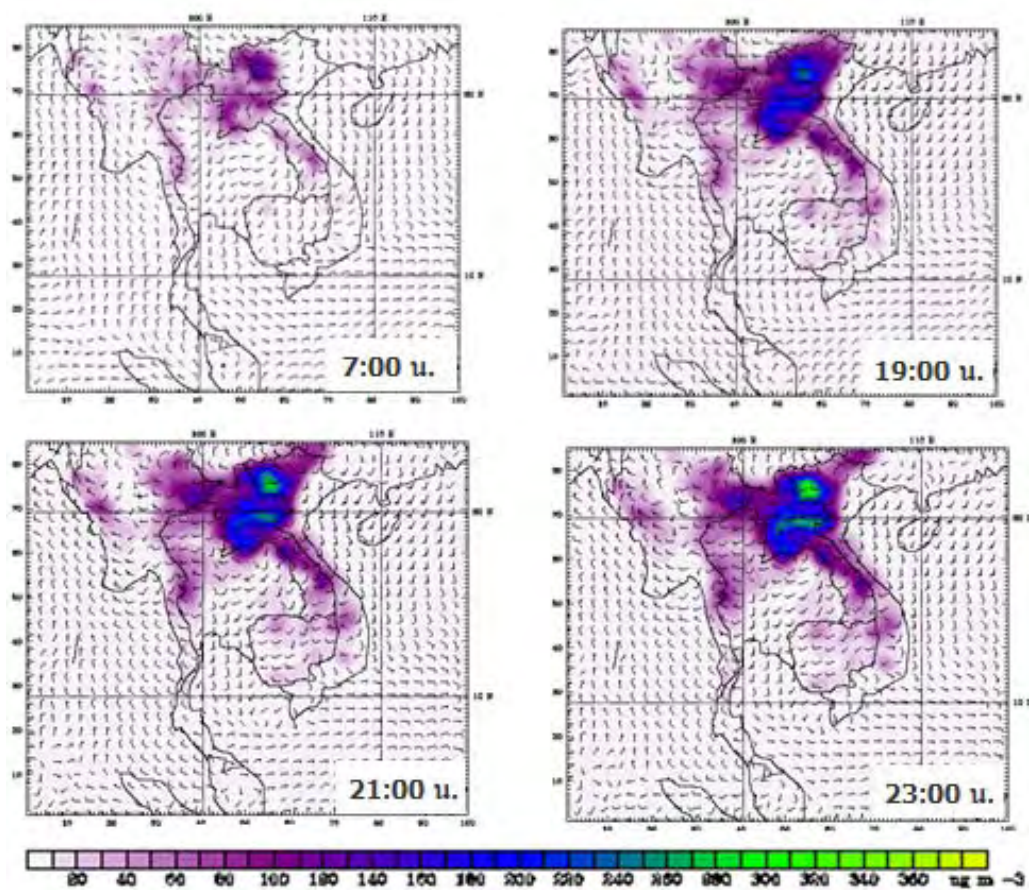
4.5.1 การแพร่กระจายของ PM_{10}

โดยทั่วไปลักษณะการแพร่กระจายของมลพิษทางอากาศ จะแปรเปลี่ยนไปตามลักษณะกระจายของปริมาณการปลดปล่อย และอิทธิพลของลม เพื่อให้เห็นถึงลักษณะการแพร่กระจายของมลพิษทางอากาศ ในหัวข้อนี้จะทำการเปรียบเทียบลักษณะการกระจายของอัตราการปลดปล่อย กับลักษณะการแพร่กระจายของ PM_{10} โดยลักษณะการกระจายของอัตราการปลดปล่อยมลพิษจะถูกทำให้อยู่ในรูปกริดที่ความละเอียด 27×27 ตารางกิโลเมตร โดยโทนสีของกริดจะแสดงอัตราการปลดปล่อย PM_{10} สีที่เข้มหมายถึงมีอัตราการปลดปล่อยมลพิษที่มาก (รูปที่ 4.20) ในขณะที่ลักษณะการแพร่กระจายของ PM_{10} จะแสดงด้วยแผนภาพความเข้มข้นของ PM_{10} ที่ซ้อนทับกับทิศทางและความเร็วลม โดยโทนสีจะแสดงความเข้มข้นของ PM_{10} และสีที่เข้มหมายถึงความเข้มข้นที่สูงเช่นกัน ซึ่งตัวอย่างการเปรียบเทียบดังกล่าวในวันที่ 15 มีนาคม พ.ศ. 2550 ที่เวลาต่างๆ ตั้งแต่เวลา 7:00-23:00 น. (รูปที่ 4.21) จากรูปที่ 4.20 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 ทั้งนี้เนื่องจาก 2 ปัจจัยคือ เวลาที่เกิดไฟฟ้า และสภาพแวดล้อมขณะเกิดไฟฟ้าเช่น ชนิดของเชื้อเพลิง และความเร็วลมเป็นต้น ในส่วนลักษณะการแพร่กระจายของ PM_{10} ในรูปที่ 4.21 พบว่าลักษณะความเข้มข้นของ PM_{10} จะ

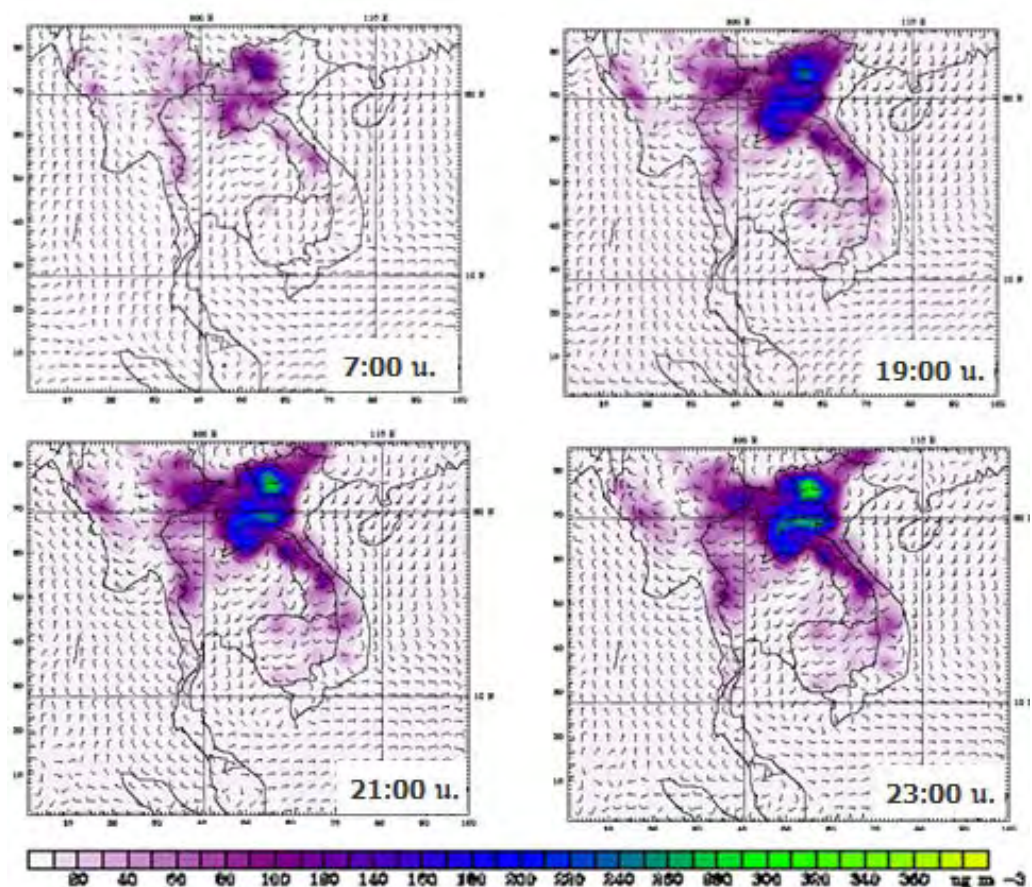
สอดคล้องกับอัตราการปลดปล่อย PM_{10} โดยพบความเข้มข้นของ PM_{10} ที่สูงในบริเวณและเวลาที่ มีอัตราปลดปล่อยมาก โดยที่เวลา 7:00น. ความเข้มข้นของ PM_{10} ส่วนใหญ่มีค่าค่อนข้างต่ำ ยกเว้น ที่บริเวณตอนบนของประเทศลาว และบริเวณชายแดนประเทศไทย-พม่า ไทย-ลาว ที่มีความเข้มข้นปานกลางประมาณ $80 \mu g/m^3$ และเพิ่มมากขึ้นจนถึง $150 \mu g/m^3$ ที่เวลา 19:00น. ซึ่งมีค่าเกิน กว่าค่ามาตรฐานรายวันของ PM_{10} ที่ $120 \mu g/m^3$ นอกจากนี้แผนภาพยังแสดงให้เห็นถึงทิศทางที่ กลุ่มมลพิษถูกพัดพาไปโดยอิทธิพลของลม เนื่องจากในช่วงเวลาดังกล่าว บริเวณตอนบนของ พื้นที่ศึกษาถูกปกคลุมอยู่ภายใต้อิทธิพลของลมตะวันตกเฉียงใต้ ทำให้กลุ่มมลพิษถูกพัดพาให้ เคลื่อนที่ไปยังทิศตะวันออกเฉียงเหนือ และทำให้พบความเข้มข้นของมลพิษไปหนาแน่นที่บริเวณ ตอนเหนือของประเทศลาว เวียดนาม และไทย และบริเวณภาคตะวันออกเฉียงของประเทศพม่า บางส่วนซึ่งจะเห็นได้จากแผนภาพการเคลื่อนที่ของกลุ่มมลพิษที่เวลา 21:00น. และ 23:00น. ตามลำดับ เนื่องจากการจำลองคุณภาพอากาศด้วยแบบจำลองข้างต้น ใช้ข้อมูลอัตราการ ปลดปล่อยที่ได้จากไฟฟ้า และจากกิจกรรมของมนุษย์ เพื่อให้เห็นว่าแหล่งการปลดปล่อยมลพิษ แหล่งใดที่สำคัญต่อการแพร่กระจายของ PM_{10} ดังนั้นจึงได้ทำการจำลองการแพร่กระจายของ PM_{10} อีกครั้งโดยจะพิจารณาการปลดปล่อย PM_{10} จากไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว และสร้างแผนภาพใน ลักษณะเดียวกันเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่าง ดังแสดงในรูปที่ 4.22 พบว่าแผนภาพที่ได้มี ลักษณะที่คล้ายคลึงกันในทุกๆเวลา การเคลื่อนตัว และความเข้มข้นก็มีค่าใกล้เคียงกัน แสดงให้ เห็นว่าไฟฟ้าเป็นแหล่งปลดปล่อยที่สำคัญต่อการแพร่กระจายของ PM_{10} จากแผนภาพการ แพร่กระจายของ PM_{10} จะเห็นได้ว่าอิทธิพลของลมเป็นปัจจัยสำคัญต่อลักษณะการแพร่กระจาย ของกลุ่มมลพิษ ฉะนั้นการวางมาตรการป้องกันปัญหามลพิษทางอากาศจากไฟฟ้าจะทำเฉพาะใน ประเทศของตนไม่ได้ แต่จะต้องอาศัยความร่วมมือจากประเทศเพื่อนบ้าน เพราะมลพิษสามารถ แพร่กระจายข้ามพรมแดนเนื่องจากอิทธิพลของลมได้ ซึ่งจากการศึกษาการกระจายของความ เข้มข้นของ PM_{10} ในช่วงกรณีศึกษาพบว่า ที่บริเวณตอนเหนือของประเทศลาวในวันที่ 16 มีนาคม พ.ศ.2550 มีความเข้มข้นสูงถึง $636 \mu g/m^3$ แสดงดังรูปที่ 4.23



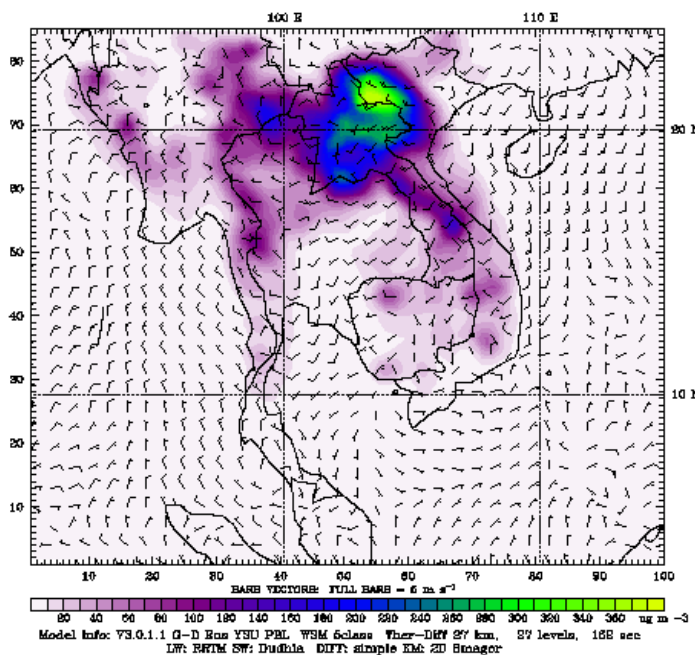
รูปที่ 4.20 การกระจายของปริมาณการปลดปล่อย PM₁₀ จากไฟป่าที่เวลาต่างๆ ของวันที่ 15 มีนาคม พ.ศ. 2550



รูปที่ 4.21 แผนภาพแสดงการกระจายตัวของความเข้มข้นของ PM_{10} ซ้อนทับกับ ทิศทางและความเร็วลม ที่เวลาต่างๆ ของวันที่ 15 มีนาคม พ.ศ. 2550

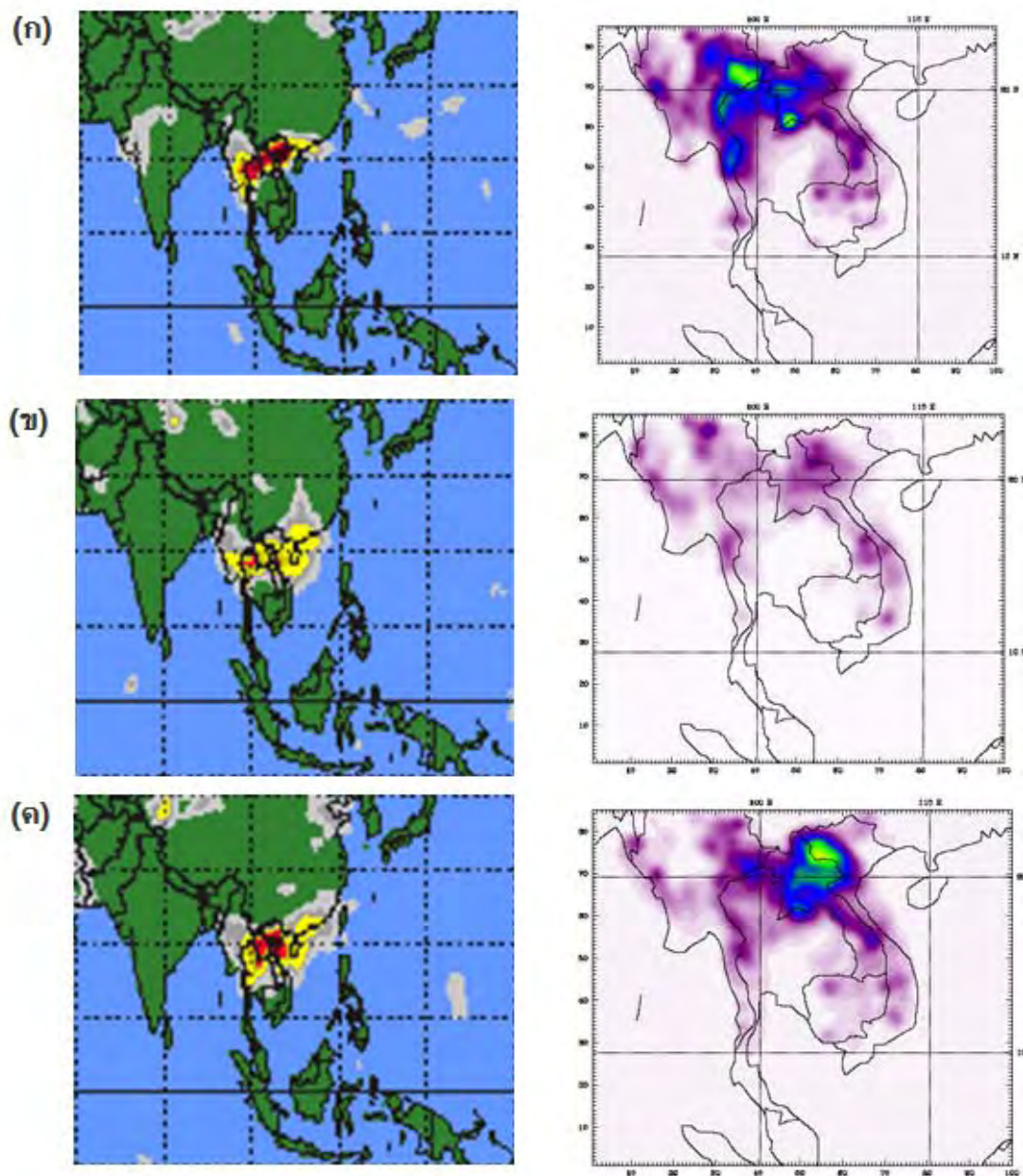


รูปที่ 4.22 แผนภาพแสดงการกระจายตัวของความเข้มข้นของ PM_{10} ซ้อนทับกับ ทิศทางและความเร็วลม ที่เวลาต่างๆ ของวันที่ 15 มีนาคม พ.ศ. 2550 กรณีใช้การปลดปล่อยจากไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว



รูปที่ 4.23 แผนภาพแสดงการกระจายตัวของความเข้มข้นของ PM_{10} ซ้อนทับกับ ทิศทางและความเร็วลม ที่เวลา 6:00 น. ของวันที่ 16 มีนาคม พ.ศ. 2550

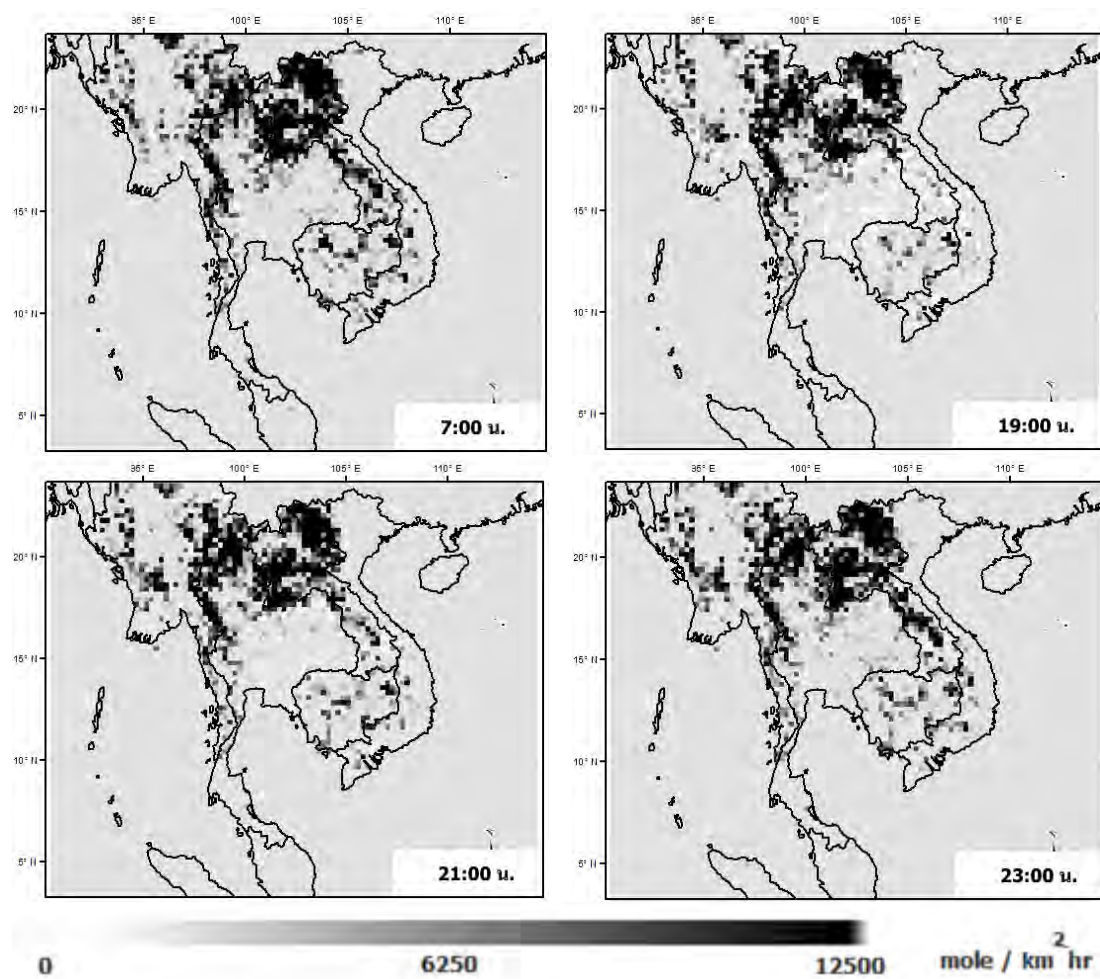
นอกจากนี้เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของการจำลองการแพร่กระจายตัวของ PM_{10} ด้วยแบบจำลอง WRF-Chem งานวิจัยนี้จึงได้ทำการเปรียบเทียบลักษณะการแพร่กระจายของความเข้มข้นของ PM_{10} กับแผนภาพดัชนีปริมาณฝุ่นละอองที่ได้จากการตรวจวัดด้วยดาวเทียมหรือ TOMS Aerosol Index [73] ที่ได้จากการตรวจวัดรังสีที่ถูกสะท้อนกลับจากกลุ่มหมอกควันในชั้นบรรยากาศ โดยจะทำการเปรียบเทียบตัวอย่างของวันที่ 13-15 มีนาคม พ.ศ. 2550 ที่เวลา 6:00น. แสดงได้ดังรูปที่ 4.24 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



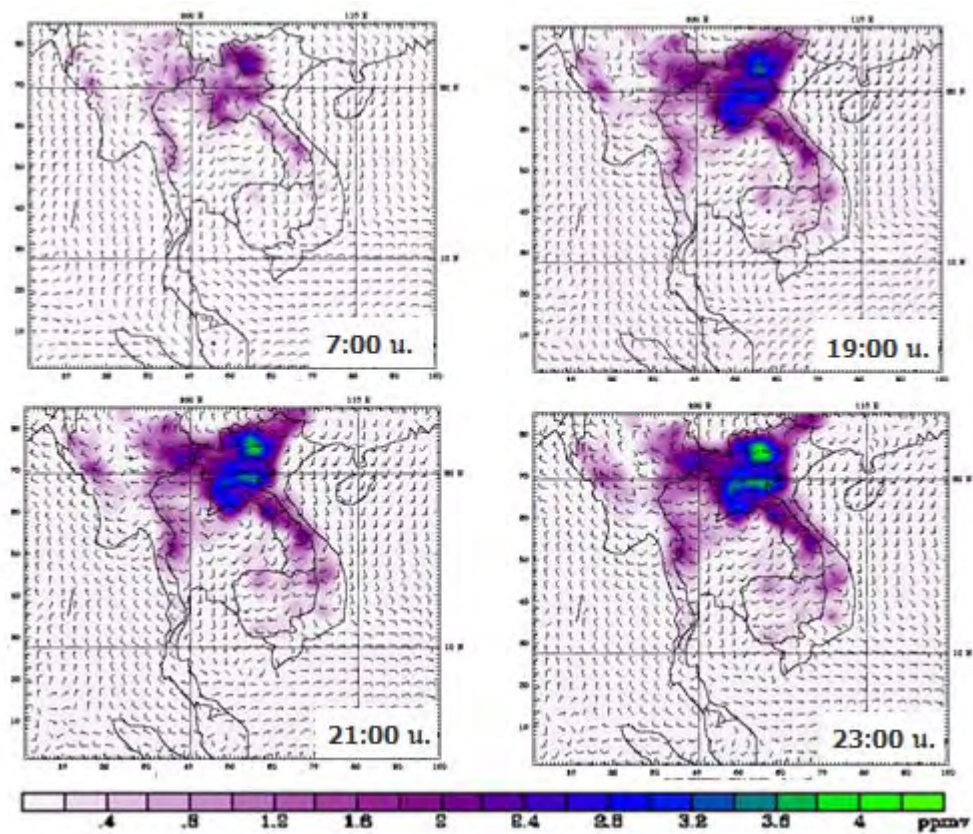
รูปที่ 4.24 ตัวอย่างแผนภาพ TOMS Aerosol Index (ซ้าย) เปรียบเทียบกับความเข้มข้นของ PM₁₀ ที่จำลองได้จากแบบจำลอง WRF-Chem(ขวา) ที่เวลา 6:00 น. ก) วันที่ 13 มีนาคม พ.ศ. 2550 ข) วันที่ 14 มีนาคม พ.ศ. 2550 ค) วันที่ 15 มีนาคม พ.ศ. 2550

4.5.2 การแพร่กระจายของCO

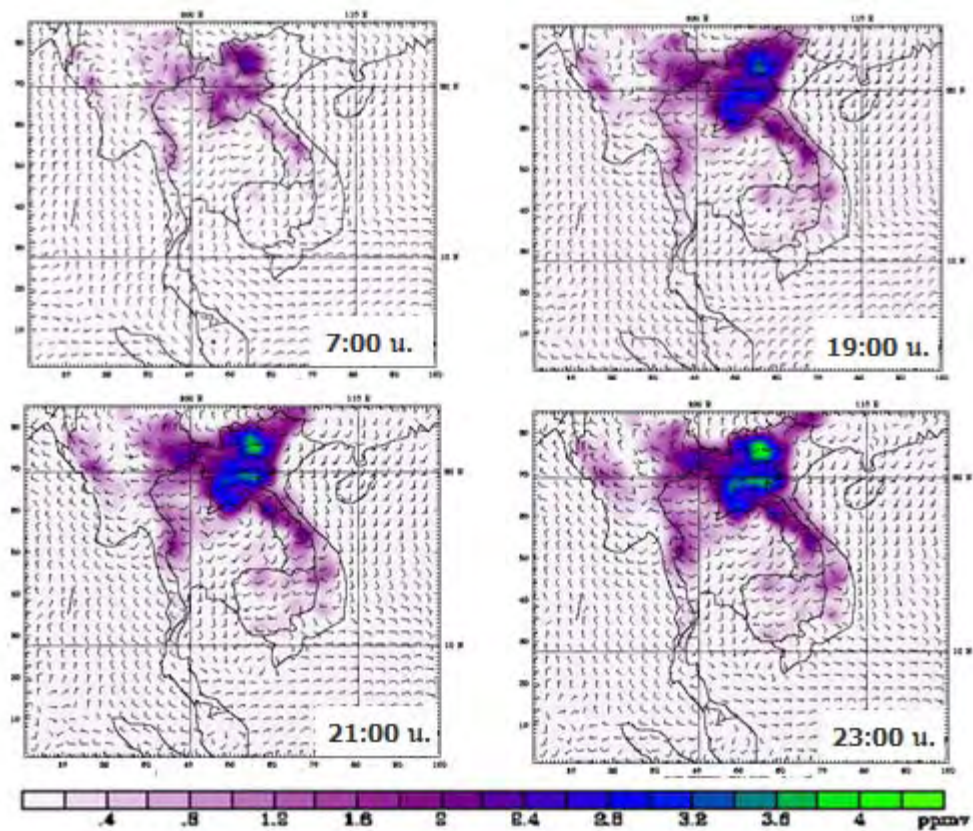
สำหรับการแพร่กระจายของ CO จะทำการเปรียบเทียบกับลักษณะการกระจายของอัตราการปลดปล่อยมลพิษ เช่นเดียวกับที่ทำใน PM_{10} โดยตัวอย่างลักษณะการกระจายของอัตราการปลดปล่อยมลพิษของ CO ที่เวลาต่างของวันที่ 15 มีนาคม พ.ศ. 2550 แสดงได้ดังรูปที่ 4.25 ซึ่งพบว่าอัตราการปลดปล่อย CO จะแปรเปลี่ยนไปตามเวลาเช่นเดียวกับ PM_{10} โดยมีอัตราการปลดปล่อยมากบริเวณตอนเหนือของลาว และบริเวณพรมแดนประเทศไทย-พม่า และ ไทย-ลาว แต่อัตราการปลดปล่อย CO จะมีค่าสูงกว่า PM_{10} ค่อนข้างมากโดยมีอัตราการปลดปล่อยสูงสุดที่ประมาณ $12,500 \text{ mole/km}^2 \text{ hr}$ ในขณะที่ PM_{10} มีอัตราการปลดปล่อยสูงสุดอยู่เพียง $16 \text{ mole/km}^2 \text{ hr}$ ในขณะที่ ลักษณะการแพร่กระจายของ CO จะแสดงโดยนำมาซ้อนทับกับทิศทางและความเร็วลมซึ่งในช่วง 7:00น. ความเข้มข้นของ CO ในอากาศยังคงอยู่ในระดับต่ำ แต่เมื่อเวลาผ่านไปความเข้มข้นของ CO ในบรรยากาศก็มีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ที่เวลา 19:00น. โดยจะหนาแน่นบริเวณภาคเหนือของประเทศไทย นอกจากนี้นักกลุ่มมลพิษดังกล่าวยังมีการเคลื่อนตัว โดยจะเคลื่อนตัวไปยังทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งจะเห็นได้จากลักษณะการแพร่กระจายของความเข้มข้นของ CO ที่เวลา 21:00น. และ 23:00น. ดังแสดงในรูปที่ 4.26 ซึ่งการแพร่กระจายดังกล่าวมีลักษณะที่ใกล้เคียงกับ PM_{10} มากแต่จะแตกต่างกันในเรื่องของปริมาณความเข้มข้น และเนื่องจากการจำลองคุณภาพอากาศด้วยแบบจำลองข้างต้น ใช้ข้อมูลอัตราการปลดปล่อยที่ได้จากไฟฟ้า และจากกิจกรรมของมนุษย์ เพื่อให้เห็นว่าแหล่งการปลดปล่อยมลพิษแหล่งใดที่สำคัญต่อการแพร่กระจายของ CO ดังนั้นจึงได้ทำการจำลองการแพร่กระจายของ CO อีกครั้งโดยจะพิจารณาการปลดปล่อย CO จากไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว และสร้างแผนภาพการแพร่กระจายของ CO เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างดังแสดงในรูปที่ 4.27 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. บริเวณตอนเหนือของประเทศไทยที่ความเข้มข้น 6.7 ppmv ซึ่งเป็นบริเวณเดียวกับ PM_{10} ดังแสดงในรูปที่ 4.28



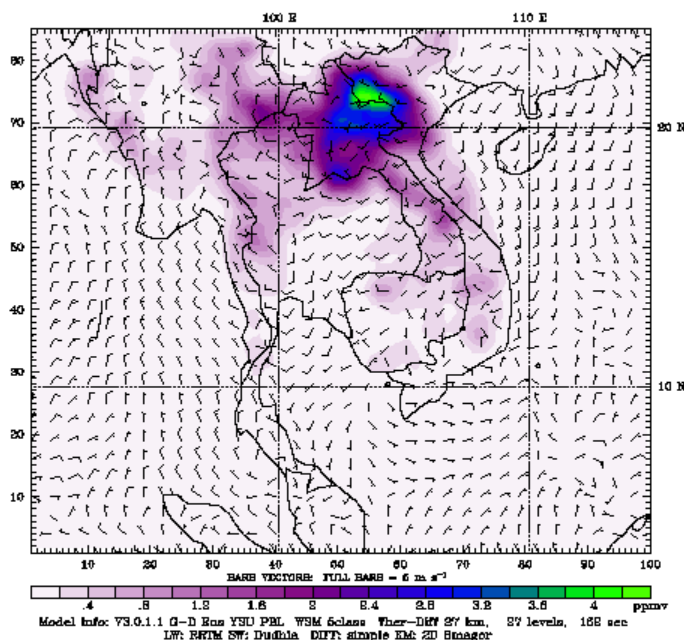
รูปที่ 4.25 การกระจายของอัตราการปลดปล่อย CO จากไฟป่าที่เวลาต่างๆ ของวันที่ 15 มีนาคม พ.ศ. 2550



รูปที่ 4.26 ลักษณะการแพร่กระจายของ CO ทิศทาง และความเร็วลม ของวันที่ 15 มีนาคม พ.ศ. 2550 ที่เวลาต่างๆ



รูปที่ 4.27 ลักษณะการแพร่กระจายของ CO ทิศทาง และความเร็วลม ของวันที่ 15 มีนาคม พ.ศ. 2550 ที่เวลาต่างๆ กรณีใช้การปลดปล่อยจากไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว

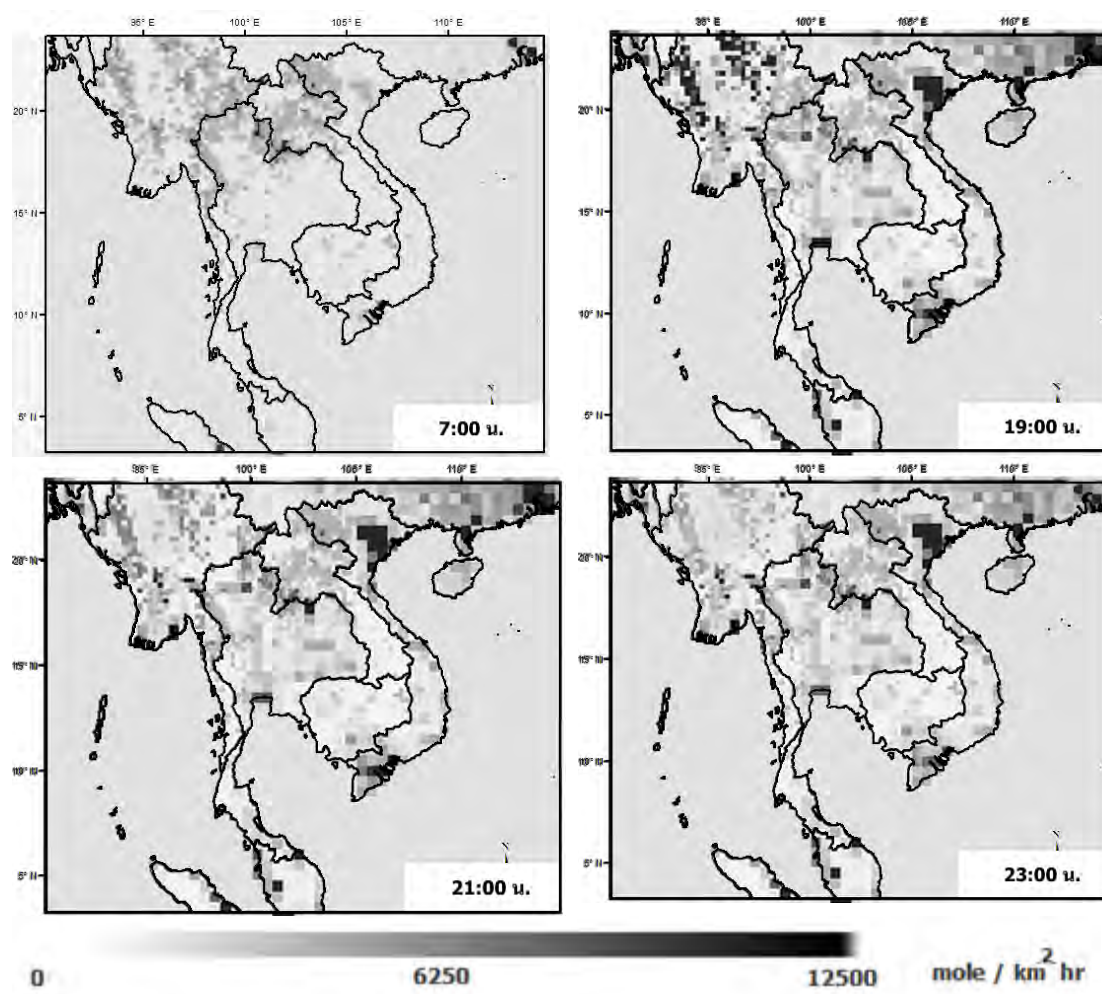


รูปที่ 4.28 แผนภาพการกระจายตัวของ CO ทิศทาง และความเร็วลมที่จำลองได้จากแบบจำลอง WRF-Chem ในวันที่ 16 มีนาคม พ.ศ. 2550 เวลา 6:00 น.

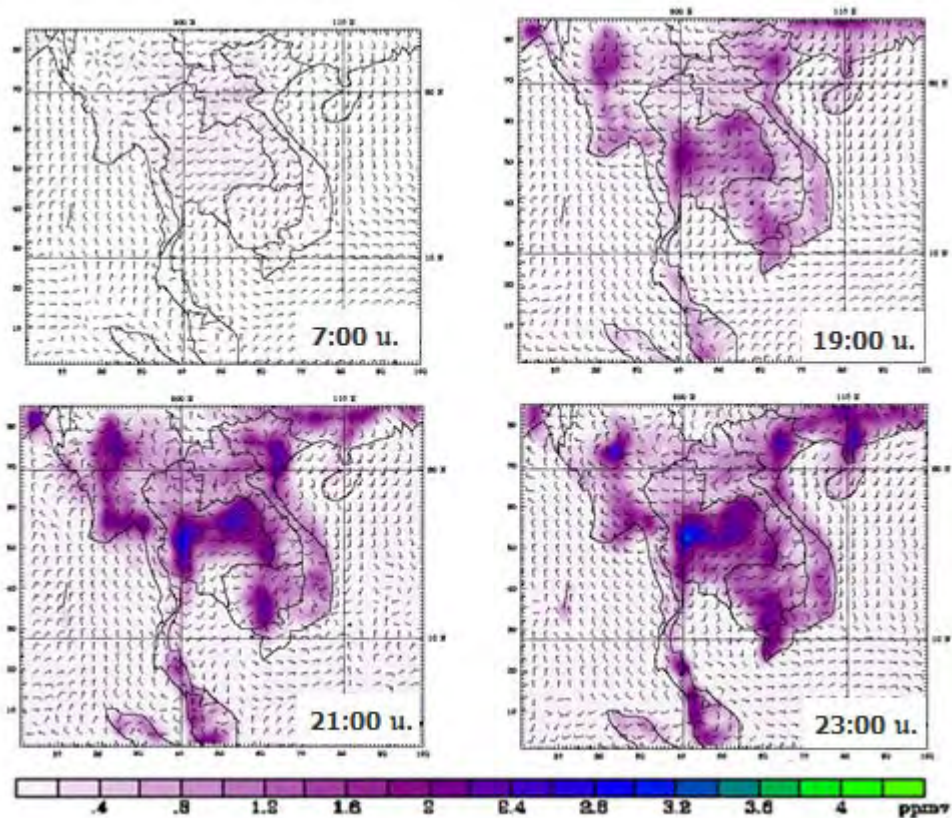
4.5.3 การแพร่กระจายของ NO_2

สำหรับการแพร่กระจายของ NO_2 จะทำการเปรียบเทียบในลักษณะเดียวกับ PM_{10} และ CO โดยจะทำการเปรียบเทียบลักษณะการกระจายของอัตราการปลดปล่อยกับการแพร่กระจายของ NO_2 ที่เวลาต่างๆของวันที่ 15 มีนาคม พ.ศ. 2550 แสดงดังรูปที่ 4.29 และ 4.30 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 4.30 พบว่าเมื่อเวลาผ่านไป NO_2 จะมีความเข้มข้นสูงขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งจะเห็นได้จากที่เวลา 7:00น. NO_2 มีความเข้มข้นในชั้นบรรยากาศเพียงเล็กน้อย และมีมากขึ้นในเวลา 19:00น.23:00น. ตามลำดับ โดยจะมีการแพร่กระจายและความเข้มข้นสูงบริเวณภาคกลางของประเทศไทย ตอนใต้ของประเทศจีน ตอนบนและตอนใต้ของ

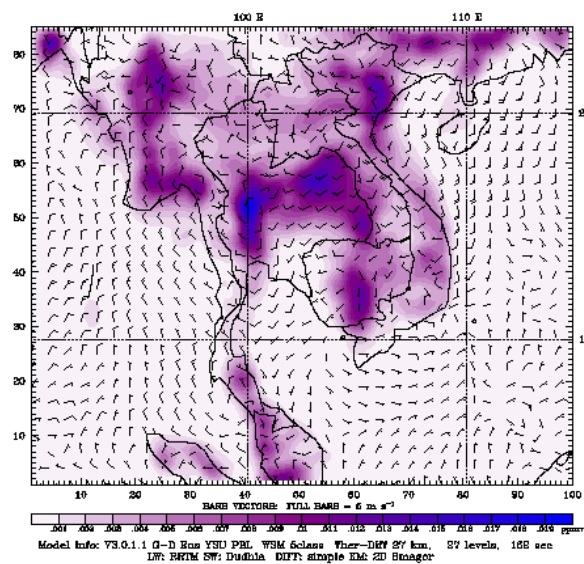
ประเทศเวียดนาม ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลการกระจายของอัตราการปลดปล่อย NO_2 แบบจำลอง WRF-Chem จำลองความเข้มข้นสูงสุดของ NO_2 ได้ในวันที่ 16 มีนาคม พ.ศ. 2550 เวลา 6:00 น. บริเวณภาคกลางของประเทศไทยที่ความเข้มข้น 0.19 ppmv ดังแสดงในรูปที่ 4.31 เมื่อเปรียบเทียบการแพร่กระจายของ NO_2 กับ PM_{10} และ CO พบว่ามีลักษณะที่แตกต่างออกไป โดย NO_2 มีอัตราการปลดปล่อยและแพร่กระจายมากในบริเวณแหล่งอุตสาหกรรม และเมืองสำคัญๆ ของแต่ละประเทศ ในขณะที่ PM_{10} และ CO มีอัตราการปลดปล่อยและแพร่กระจายมากในบริเวณพื้นที่ป่าไม้ เนื่องจากการจำลองคุณภาพอากาศด้วยแบบจำลองใช้ข้อมูลอัตราการปลดปล่อยที่ได้จากไฟฟ้า และจากกิจกรรมของมนุษย์ ดังนั้น จึงได้ทำการจำลองการแพร่กระจายของ NO_2 อีกครั้งโดยจะพิจารณาการปลดปล่อย NO_2 จากไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว ผลลัพธ์ของการจำลองลักษณะการแพร่กระจายแสดงได้ดังรูปที่ 4.32 จากรูปพบว่าลักษณะการแพร่กระจายของ NO_2 จะแตกต่างออกไป คือมีการแพร่กระจายและมีความเข้มข้นของ NO_2 ปริมาณมากในบริเวณตอนเหนือของประเทศลาว คล้ายคลึงกับ PM_{10} และ CO และพบว่าความเข้มข้นของ NO_2 บริเวณที่ตั้งของเมืองสำคัญ และอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ ก็ไม่ได้มีปริมาณมากเหมือนเช่นเคย จากการเปรียบเทียบดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการแพร่กระจายของ NO_2 ส่วนใหญ่เป็นผลมาจากการปลดปล่อยที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์



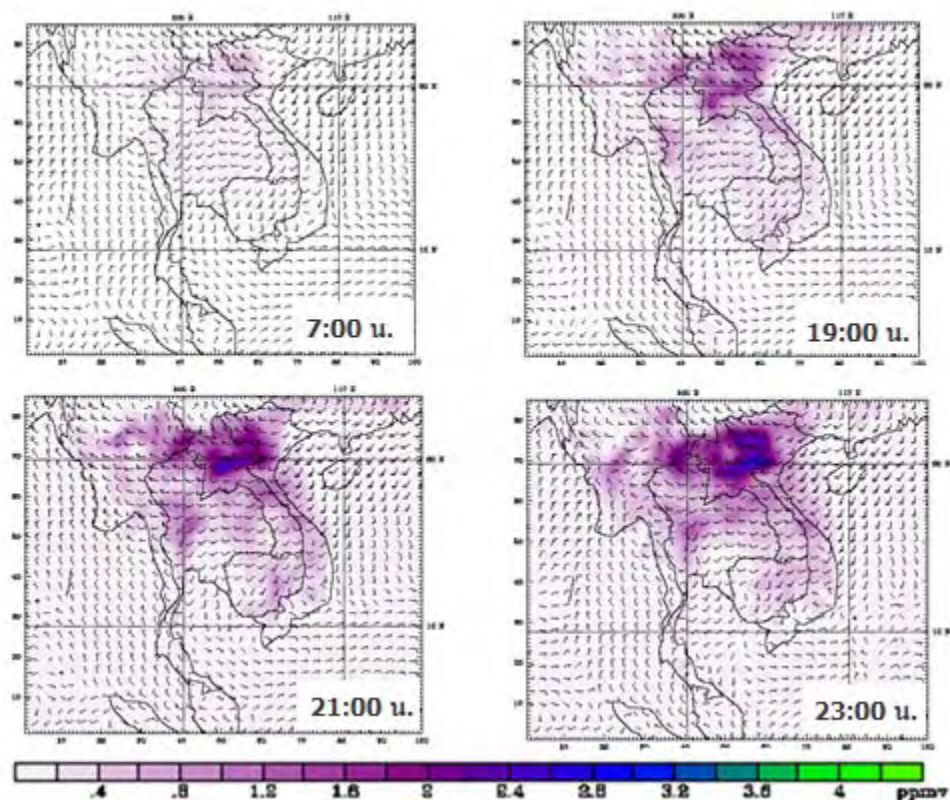
รูปที่ 4.29 การกระจายของอัตราการปลดปล่อย NO_2 จากไฟฟ้าที่เวลาต่างๆ ของวันที่ 15 มีนาคม พ.ศ. 2550



รูปที่ 4.30 ลักษณะการแพร่กระจายของ NO_2 ทิศทาง และความเร็วลม ของวันที่ 15 มีนาคม พ.ศ. 2550 ที่เวลาต่างๆ

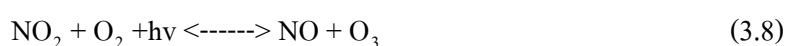


รูปที่ 4.31 แผนภาพการกระจายตัวของ NO_2 ทิศทาง และความเร็วลมที่จำลองได้จากแบบจำลอง WRF-Chem ในวันที่ 16 มีนาคม พ.ศ. 2550 เวลา 6:00 น.

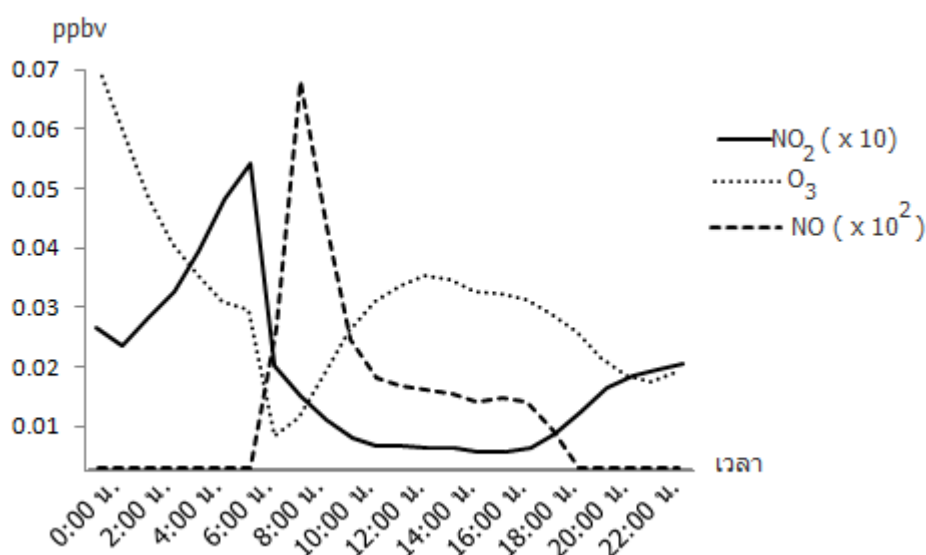


รูปที่ 4.32 ลักษณะการแพร่กระจายของ NO_2 ทิศทาง และความเร็วลมที่เวลาต่างๆของวันที่ 15 มีนาคม พ.ศ. 2550 กรณีไม่รวมการปลดปล่อยจากกิจกรรมของมนุษย์

จากองค์ความรู้ที่ว่า NO_2 เป็นสารตั้งต้นที่ทำให้เกิดโอโซน (O_3) หรือ Photochemical Smog จึงได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ NO_2 รายชั่วโมง พบว่าในระหว่างวันความเข้มข้นของ NO_2 มีค่าไม่คงที่ ดังแสดงตัวอย่างความเข้มข้นรายชั่วโมงของ NO_2 บริเวณจังหวัดลำปางในวันที่ 15 มีนาคม พ.ศ. 2550 ในรูปที่ 4.33 พบว่าความเข้มข้นของ NO_2 จะมีค่าน้อยในช่วงเวลากลางวัน ตั้งแต่เวลา 9:00-18:00น. และมากขึ้นในเวลากลางคืน ตั้งแต่เวลา 20:00-6:00น. ซึ่งลักษณะดังกล่าวเกิดจาก NO_2 เป็นก๊าซที่ว่องไวต่อการทำปฏิกิริยา สามารถเกิดปฏิกิริยา Photolysis แบบผันกลับได้กับออกซิเจนในอากาศ (O_2) เกิดเป็น ก๊าซไนตริกออกไซด์ (NO) และ โอโซน (O_3) ดังแสดงในสมการที่ (3.8)



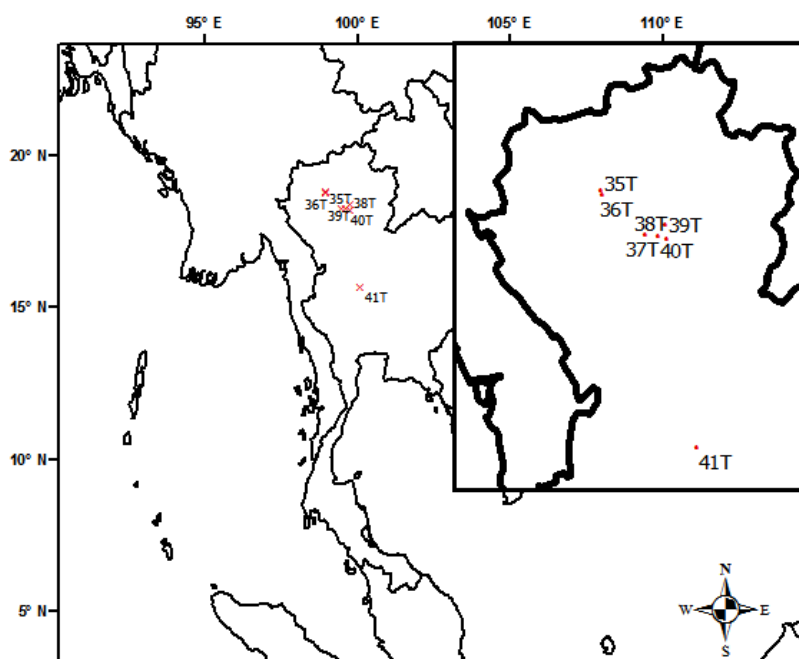
ทำให้ในช่วงเวลากลางวันปริมาณของ NO_2 ลดลงในขณะที่ปริมาณของ NO และ O_3 จะเพิ่มขึ้น ตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น NO_2 , NO และ O_3 รายชั่วโมง นอกจากนี้ NO_2 ยังสามารถทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระของหมู่ hydroxyl (OH) ในบรรยากาศได้กรดไนตริก HNO_3 ซึ่งจะละลายในน้ำเกิดเป็นฝนกรดในที่สุด ทำให้ปริมาณ NO_2 โดยรวมลดลง สำหรับในงานวิจัยนี้พบว่าแบบจำลอง WRF-Chem ให้ผลลัพธ์สอดคล้องกับข้อมูลดังกล่าว โดยตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น NO_2 , NO และ O_3 รายชั่วโมง บริเวณจังหวัดลำปางในวันที่ 15 มีนาคม พ.ศ. 2550 แสดงได้ดังรูปที่ 4.28 ซึ่งจะเห็นได้ว่า ปริมาณของ NO และ O_3 เพิ่มขึ้น และ NO_2 ลดลงในช่วงเวลากลางวันตั้งแต่ 8:00-16:00น.



รูปที่ 4.33 ปริมาณความเข้มข้นของ NO_2 , NO และ O_3 ที่เวลาต่างๆ บริเวณจังหวัดลำปาง ตามที่จำลองได้โดย WRF/Chem

4.6 การประเมินสมรรถนะของการทำนายความเป็นไปของมลพิษทางอากาศ

เพื่อตรวจสอบสมรรถนะของการทำนายความเป็นไปของมลพิษทางอากาศ ของแบบจำลอง ผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบข้อมูลความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศที่จำลองได้ กับข้อมูลที่ตรวจวัดได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษในเขตภาคเหนือของประเทศไทยจำนวน 7 สถานี ได้แก่ สถานีศาลากลางเชียงใหม่ (35T) สถานีโรงเรียนยุพราชวิทยาลัย (36T) สถานีศาลหลักเมืองจังหวัดลำปาง (37T) สถานีอนามัยสบป้าด (38T) สถานีอนามัยท่าสี่ (39T) สถานีสำนักงานการประปาส่วนภูมิภาคแม่เมะ (40T) สถานีวิทยาลัยอาชีวศึกษา จ.นครสวรรค์ (41T) ซึ่งแผนที่ตำแหน่งของสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศแสดงได้ดังรูปที่ 4.34



รูปที่ 4.34 แผนที่ตำแหน่งของสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ 35T-41T

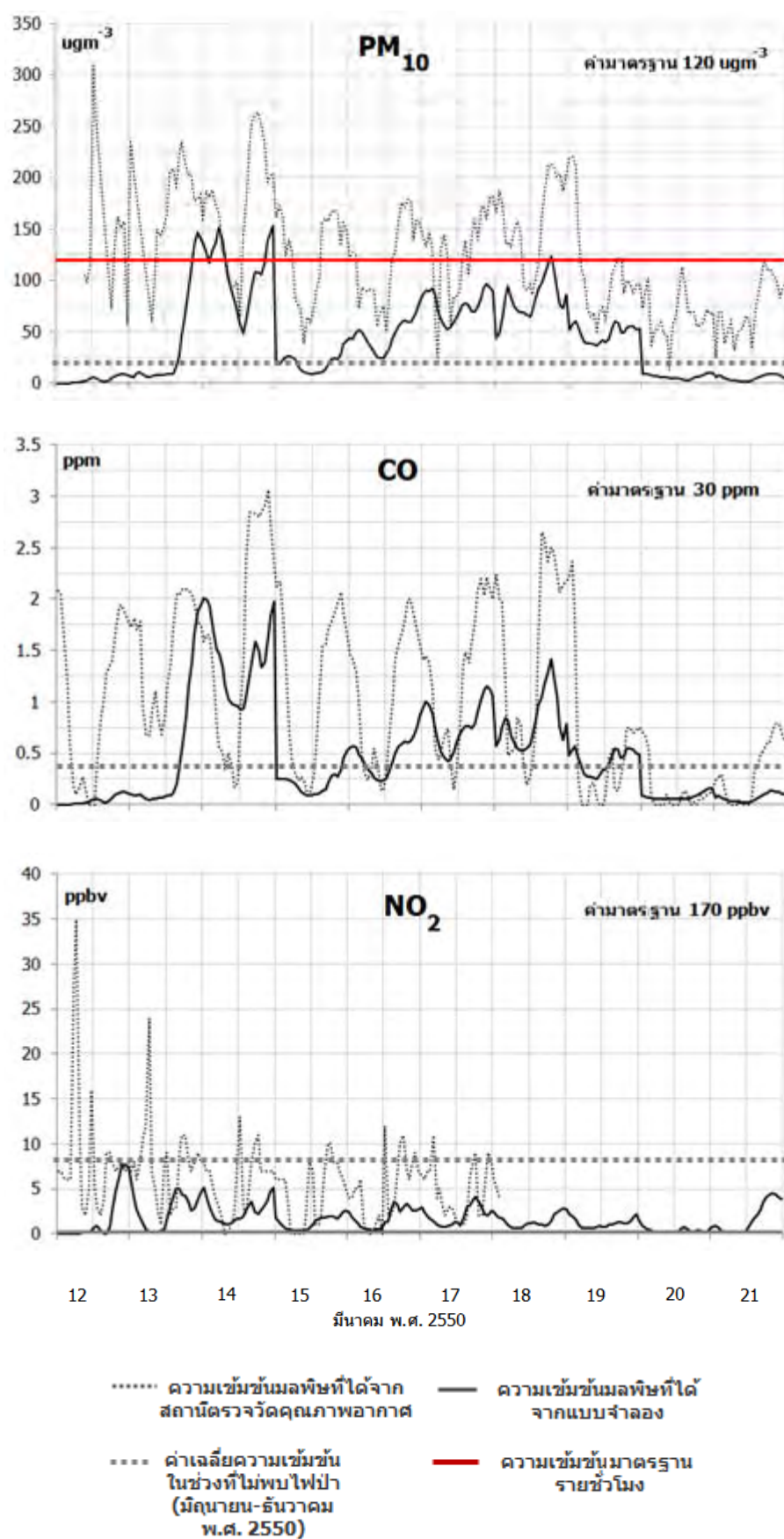
โดยจะอภิปรายใน 2 ประเด็นคือ การเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของมลพิษราย ชั่วโมง และความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ได้จากการตรวจวัดกับค่าที่ได้จากการจำลองในลักษณะการกระจายของข้อมูล

4.6.1 การเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของมลพิษรายชั่วโมง

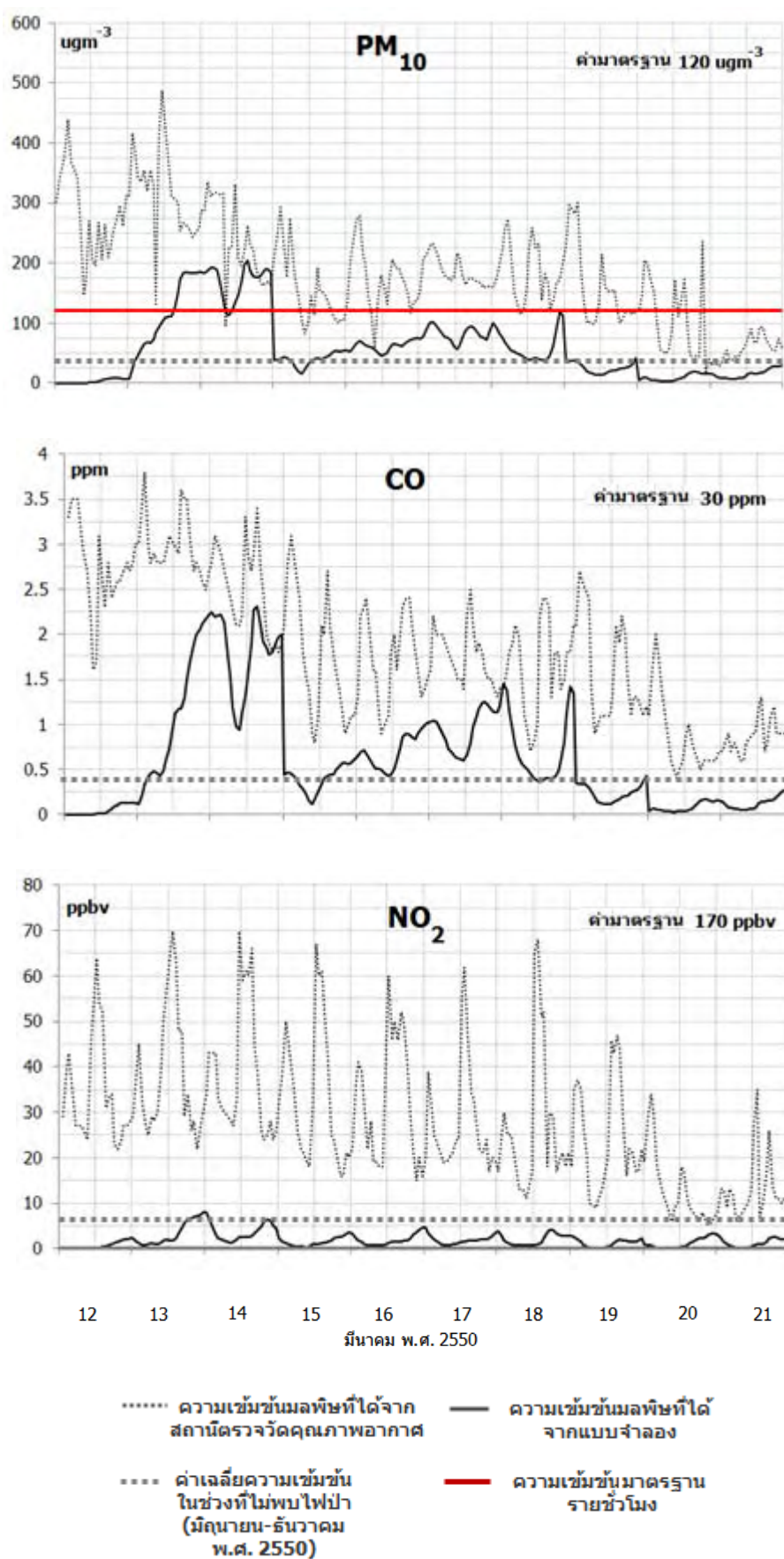
การประเมินสมรรถนะลักษณะนี้ กระทำโดยเปรียบเทียบความเข้มข้นของมลพิษราย ชั่วโมงที่จำลองได้ กับความเข้มข้นของมลพิษที่ได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ โดยเลือก ตัวอย่างมาอภิปรายจำนวน 2 สถานีได้แก่ สถานีอนามัยท่าสี่ (39T) ที่จังหวัดลำปาง และ สถานี ศาลากลางจังหวัดเชียงใหม่ (35T) ผลการเปรียบเทียบความเข้มข้นของมลพิษรายชั่วโมงใน ระหว่างวันที่ 12-21 มีนาคม พ.ศ. 2550 ที่สถานีทั้ง 2 แสดงดังรูปที่ 4.35 และ 4.36 ตามลำดับ โดย กราฟเส้นทึบสีดำแสดงความเข้มข้นของมลพิษรายชั่วโมงที่ได้จากแบบจำลอง กราฟเส้นประสีดำ แสดงความเข้มข้นของมลพิษรายชั่วโมงที่ได้จากจากสถานีตรวจวัดคุณภาพ เส้นตรงทึบสีแดง แสดงค่ามาตรฐานความเข้มข้นของมลพิษรายชั่วโมงหรือรายวันของมลพิษแต่ละชนิด และ เส้นประสีเทาแสดงความเข้มข้นของมลพิษเฉลี่ยที่ได้จากจากสถานีตรวจวัดคุณภาพในช่วงที่ไม่ ตรวจพบไฟฟ้า(ในช่วงเดือนมิถุนายน-ธันวาคม พ.ศ. 2550) จากแผนภาพพบว่าโดยทั่วไปความ เข้มข้นของ PM_{10} , CO และ NO_2 ทั้งที่ได้จากแบบจำลอง และจากการตรวจวัดในช่วงที่ ทำการศึกษามีค่าสูงกว่าความเข้มข้นเฉลี่ยในช่วงที่ไม่ตรวจพบไฟฟ้า มีการเปลี่ยนแปลงความ

เข้มข้นที่คล้ายคลึงกัน ช่วงเวลาที่ความเข้มข้นของมลพิษขึ้นสูงสุดและต่ำสุดก็มีลักษณะที่ตรงกัน แต่ความเข้มข้นที่ได้จากแบบจำลองมักมีค่าน้อยกว่าที่ได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ

โดยเฉพาะอย่างยิ่งในวันแรกของการศึกษาที่ความเข้มข้นของ CO, PM₁₀ และ NO₂ อยู่ในระดับต่ำกว่าความเป็นจริงมาก เนื่องจากในตอนเริ่มการทำแบบจำลอง ความเข้มข้นเริ่มต้นของมลพิษแต่ละชนิดจะมีค่าเท่ากับค่าความเข้มข้นเฉลี่ยในบริเวณที่ไม่มีมลพิษ และไม่ได้พิจารณามลพิษจากไฟป่าที่เกิดขึ้นในวันก่อนหน้านั้น ทำให้ความเข้มข้นที่ได้จากแบบจำลองในวันแรกมีค่าต่ำกว่าความเป็นจริง ซึ่งค่าของความเข้มข้นจะใกล้เคียงกับค่าจริงหลังจากที่ได้ทำแบบจำลองไปราว 2-3 วัน ดังนั้นในการเปรียบเทียบข้อมูลกับค่าจากการตรวจวัดจึงควรละเว้นในช่วงเวลาเริ่มต้นประมาณ 1-2 วัน



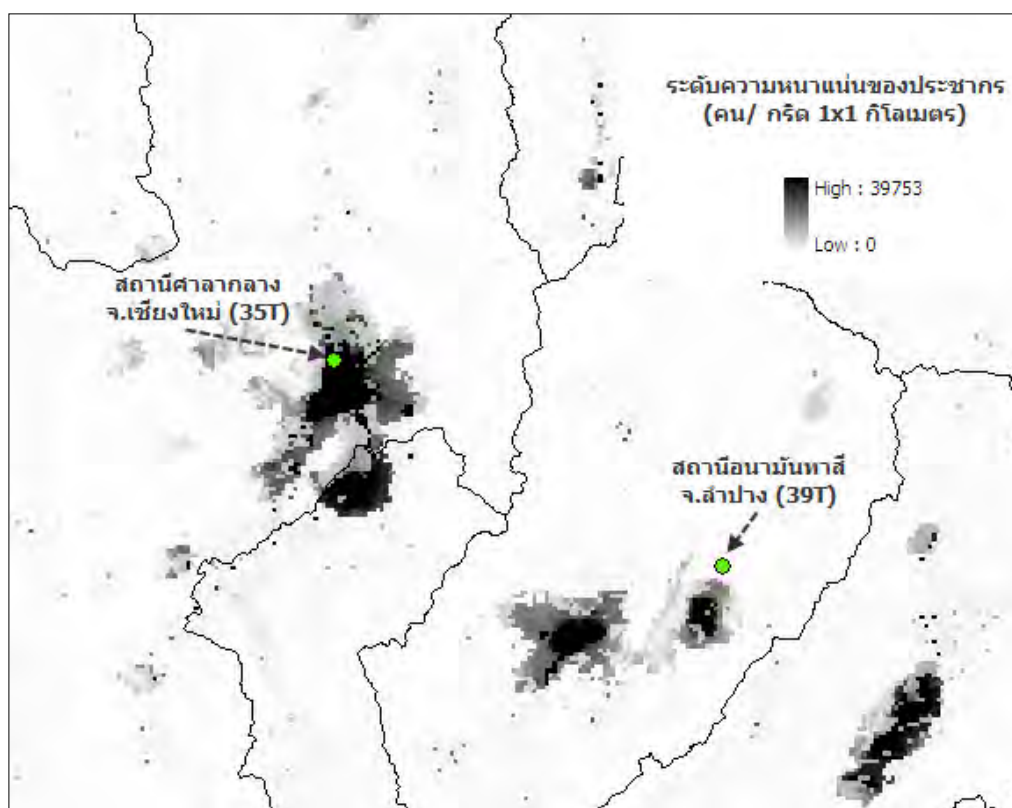
รูปที่ 4.35 ความเข้มข้น CO PM₁₀ และ NO₂ รายชั่วโมงจากแบบจำลอง และที่วัดได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ สถานีอนามัยท่าสี่(39T) ระหว่างวันที่ 12-21 มีนาคม พ.ศ.2550



รูปที่ 4.36 ความเข้มข้น CO PM₁₀ และ NO₂ รายชั่วโมงจากแบบจำลอง และที่วัดได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศสถานีศาลากลาง จ.เชียงใหม่ (35T) ระหว่างวันที่ 12-21 มีนาคม พ.ศ.2550

4.6.1.1 การเปรียบเทียบความเข้มข้นรายชั่วโมงที่สถานีอนามัยท่าสี่ (39T)

สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศอนามัยท่าสี่เป็นสถานีที่ตั้งอยู่ใน ต.บ้านดง อ.แม่เมะ จ. ลำปาง เป็นพื้นที่ที่มีประชากรอาศัยอยู่อย่างเบาบางเฉลี่ย 10 คนต่อตารางกิโลเมตร (ข้อมูลจาก LandScan Global Population Project ในปี 1999[74]) อยู่ห่างจาก ต.บ้านท่าทรายซึ่งเป็นชุมชนหนาแน่น ราว 10 กิโลเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.37



รูปที่ 4.37 ตำแหน่งของสถานีอนามัยท่าสี่ (39T) และสถานีศาลากลาง จ.เชียงใหม่ (35T)

ซ้อนทับกับความหนาแน่นของจำนวนประชากร

จากแผนภาพการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นรายชั่วโมงของสถานีในรูปที่ 4.35 พบว่า เมื่อพิจารณาความเข้มข้นของ PM_{10} จะเห็นว่า ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นที่ได้จากแบบจำลอง และการตรวจวัดจะมีลักษณะคล้ายคลึงกัน โดยพบว่าในช่วงเวลาดังกล่าว ความเข้มข้นของ PM_{10} ทั้งที่ได้จากแบบจำลอง และการตรวจวัดมีค่ามากกว่าความเข้มข้นเฉลี่ยในช่วงที่ไม่ตรวจพบไฟฟ้า ในช่วงระหว่างเดือนมิถุนายน-ธันวาคม พ.ศ. 2550 ที่ประมาณ $23 \mu g m^{-3}$ แสดงให้เห็นว่าไฟฟ้าเป็นสาเหตุหลักที่ส่งผลให้ความเข้มข้นของ PM_{10} ในบริเวณที่ศึกษาเพิ่มขึ้น พบความเข้มข้นที่ได้จากการตรวจวัดมีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานราย 24 ชั่วโมงของฝุ่นละอองในบรรยากาศ

ทั่วไปตามพระราชบัญญัติส่งเสริม และรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 ที่ $120 \mu\text{gm}^{-3}$ ในช่วงตั้งแต่วันที่ 12-19 มีนาคม พ.ศ. 2550 และลดลงต่ำกว่ามาตรฐานหลังจากช่วงเวลาดังกล่าว แต่ความเข้มข้นของ PM_{10} ที่ได้จากแบบจำลอง จะมีค่าน้อยกว่าค่าที่ได้จากการตรวจวัด ทำให้พบวันที่ 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 และที่ได้จากการตรวจวัด 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

4.6.1.2 การเปรียบเทียบความเข้มข้นรายชั่วโมงที่สถานีศาลากลางจังหวัดเชียงใหม่ (35T)

สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศศาลากลางจังหวัดเชียงใหม่เป็นสถานีที่ตั้งอยู่ใน อ.เมือง จ. เชียงใหม่ ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีประชากรอาศัยอยู่อย่างหนาแน่นราว 3,000 คนต่อตารางกิโลเมตร แผนภาพแสดงที่ตั้งของสถานีแสดงดังรูปที่ 4.37 จากแผนภาพการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นราย ชั่วโมงของสถานีในรูปที่ 4.36 เมื่อพิจารณาความเข้มข้นของ PM_{10} พบว่าลักษณะการเปลี่ยนแปลง ความเข้มข้นที่ได้จากการตรวจวัด จะคล้ายกับข้อมูลที่ได้จากแบบจำลอง แต่ข้อมูลที่ได้จากการ ตรวจวัดจะมีค่าสูงกว่ามาก และสูงกว่าข้อมูลของสถานีอานามย์ท่าสี่ โดยที่สถานีอานามย์ท่าสี่ ตรวจพบความเข้มข้นสูงสุดประมาณ $300 \mu g/m^3$ ในวันที่ 12 มีนาคม พ.ศ.2550 ในขณะที่สถานี ศาลากลางจังหวัดเชียงใหม่ ตรวจพบความเข้มข้นสูงสุดประมาณ $500 \mu g/m^3$ ในวันที่ 13 มีนาคม พ.ศ.2550 ซึ่งการตรวจพบมลพิษปริมาณมากดังกล่าวเกิดจากตำแหน่งที่ตั้งของสถานีตรวจวัด คุณภาพอากาศที่ใกล้กับแหล่งชุมชน ซึ่งมีการปลดปล่อย PM_{10} เช่นเดียวกับไฟฟ้า เช่นจากท่อไอเสียของรถยนต์ หรือจากการเผาทำลายขยะตามบ้านเรือน ทำให้ความเข้มข้นของ PM_{10} ที่สถานี ศาลากลางจังหวัดเชียงใหม่มีค่าสูงกว่าที่สถานีอานามย์ท่าสี่

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 ทำการศึกษานั้นส่วนใหญ่มีค่ามากกว่าค่าเฉลี่ยความเข้มข้นในช่วงที่ไม่มีไฟฟ้า ซึ่งมีค่าประมาณ 0.4 ppm ซึ่งแสดงให้เห็นว่าไฟฟ้าเป็นสาเหตุส่วนหนึ่งที่ทำให้ความเข้มข้นของ CO ในบรรยากาศมีค่า สูงขึ้น เมื่อพิจารณาลักษณะการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นที่ได้จากการตรวจวัด เปรียบเทียบ กับความเข้มข้นที่ได้จากแบบจำลองพบว่ามีลักษณะคล้ายคลึงกัน แต่ความเข้มข้นของ CO ที่ จำลองได้จะมีค่าน้อยกว่าค่าที่ได้จากการตรวจวัด ซึ่งเป็นลักษณะเดียวกับที่ปรากฏในความเข้มข้น ของ PM_{10}

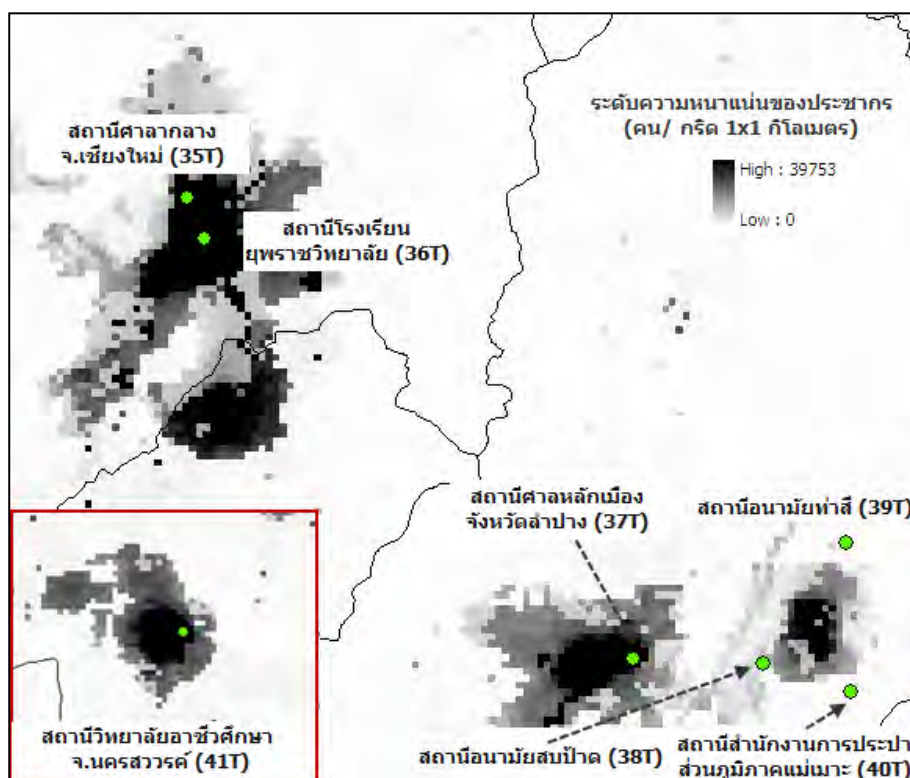
สำหรับความเข้มข้นของ NO_2 พบว่าความเข้มข้นของ NO_2 ทั้งที่จำลองได้ และที่ได้จากการ ตรวจวัด มีค่าต่ำกว่ามาตรฐานคุณภาพอากาศรายชั่วโมงที่ 170 ppm ตลอดช่วงระยะเวลาที่ ทำการศึกษา โดยความเข้มข้นที่ตรวจวัดได้ในช่วงที่ทำการศึกษามีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 35 ppbv ในขณะที่ค่าที่ได้จากแบบจำลองมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 4 ppbv ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่าที่ตรวจวัดได้อยู่มาก และยังมีค่าน้อยกว่าค่าเฉลี่ยในช่วงที่ไม่เกิดไฟฟ้าซึ่งอยู่ที่ประมาณ 6 ppbv

จากแผนภาพลักษณะการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของมลพิษแต่ละชนิดในทั้ง 2 สถานีจะพบว่าโดยภาพรวมการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นทั้งที่ได้จากการตรวจวัดและที่ได้จากแบบจำลองจะมีลักษณะคล้ายคลึงกัน แต่ความเข้มข้นที่ได้จากแบบจำลองจะมีค่าน้อยกว่า ทั้งนี้อาจเกิดจากการทำแบบจำลองมีการประมาณค่าการปลดปล่อยมลพิษจากไฟฟ้าน้อยจนเกินไป และ/หรือเกิดจากข้อมูลการปลดปล่อยมลพิษจากกิจกรรมของมนุษย์ที่มีน้อยกว่าความเป็นจริง โดยเฉพาะอย่างยิ่งความเข้มข้นของ NO_2 ซึ่งการปลดปล่อยจากกิจกรรมของมนุษย์มีค่าค่อนข้างมากเมื่อเทียบกับการปลดปล่อยจากไฟฟ้า ทำให้การจำลองมีความคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง นอกจากนี้อาจเกิดจากการกำหนดความละเอียดของกริดในแบบจำลอง ซึ่งโดยทั่วไปไปการจำลองความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ประเภท Eulerian model ที่มีการกำหนดขอบเขต 3 มิติ และแบ่งออกเป็นกริดเล็กๆ โดยยังกำหนดความละเอียดของกริดให้มีขนาดเล็กแบบจำลองก็จะยิ่งใช้เวลาในการคำนวณยิ่งมาก แต่จะมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น ในการศึกษาครั้งนี้กำหนดความละเอียดไว้ที่ 27×27 ตารางกิโลเมตร ดังนั้นความเข้มข้นที่จำลองในแต่ละกริดคือค่าเฉลี่ยความเข้มข้นในขอบเขต 729 ตารางกิโลเมตร (27×27 ตารางกิโลเมตร) ทำให้ค่าที่ได้จากแบบจำลองมีค่าคลาดเคลื่อนจากค่าที่ตรวจวัดได้ด้วยสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ

4.6.2 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 หมายความว่าค่าที่ได้จากแบบจำลองมีค่ามากกว่าค่าที่ได้การตรวจวัด แต่หากจุดอยู่ใต้เส้น 1:1 หมายความว่าค่าที่ได้จากแบบจำลองมีค่าน้อยกว่าค่าที่ได้การตรวจวัด 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) สถานีอนามัยสบปาด (38T) สถานีอนามัยท่าสี่ (39T) สถานีสำนักงานการประปาส่วนภูมิภาคแม่เมะ (40T) สถานีวิทยาลัยอาชีวศึกษา จ. นครสวรรค์ (41T) และเนื่องจากตำแหน่งที่ตั้งของสถานีมีความสำคัญต่อการจำลองความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศ สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศที่ตั้งอยู่ในเขตชุมชนย่อมได้รับอิทธิพลจากมลพิษที่ปลดปล่อยจากกิจกรรมมนุษย์ที่อยู่ใกล้เคียง ดังนั้นในการแสดงลักษณะการกระจายของข้อมูลนี้จะทำการแบ่งสถานีออกเป็นกลุ่มๆ คือ กลุ่มที่ตั้งอยู่ในเขตชุมชนหนาแน่น ได้แก่ สถานีศาลากลางเชียงใหม่ (35T) สถานีโรงเรียนยุพราชวิทยาลัย (36T) สถานีศาลหลักเมืองจังหวัดลำปาง (37T) และสถานีวิทยาลัยอาชีวศึกษา จ.นครสวรรค์ (41T) และกลุ่มที่ตั้งอยู่ในเขตชุมชนเบาบาง ได้แก่ สถานีอนามัยสบปาด (38T) สถานีอนามัยท่าสี่ (39T) และ สถานีสำนักงานการประปาส่วนภูมิภาคแม่เมะ (40T) แผนภาพตำแหน่งที่ตั้งของสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศทั้ง 7 สถานีที่ซ้อนทับกับความหนาแน่นของประชากรแสดงได้ดังรูป 4.38

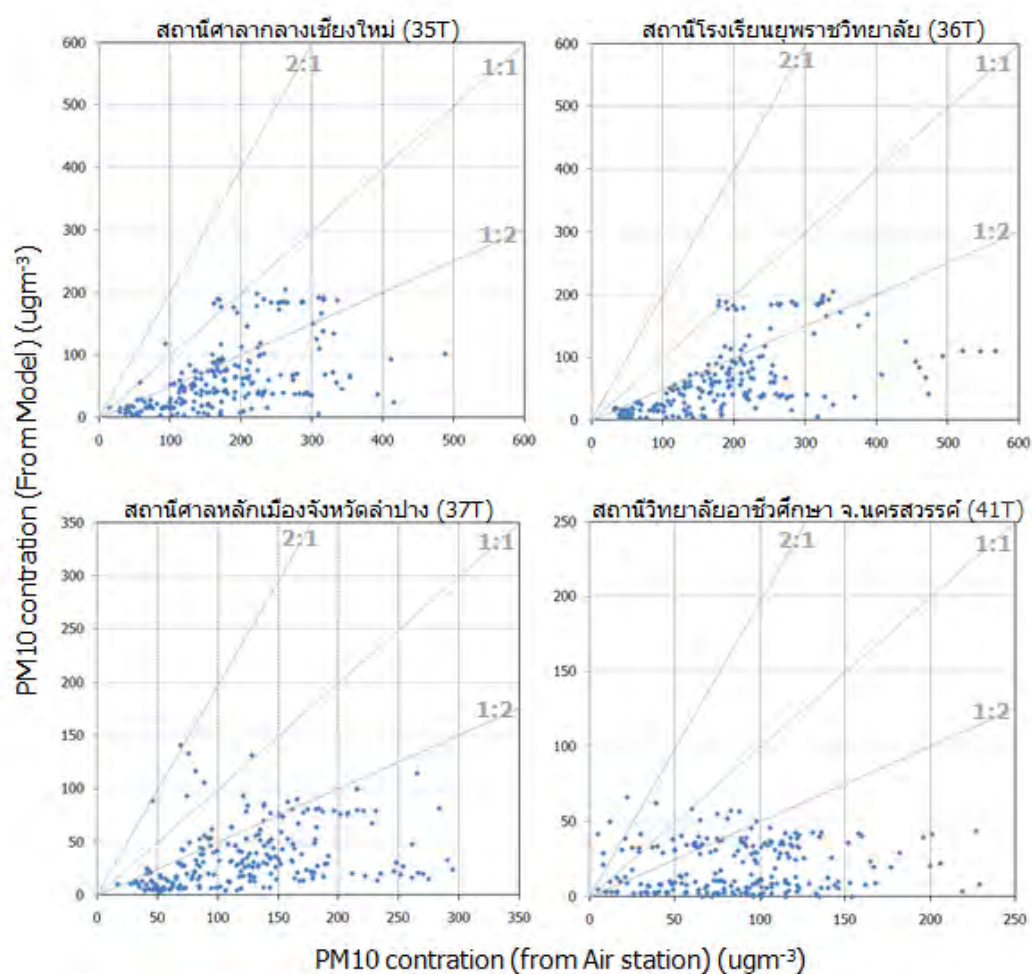


รูปที่ 4.38 ตำแหน่งของสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศทั้ง 7 สถานี ซ้อนทับกับความหนาแน่นของจำนวนประชากร

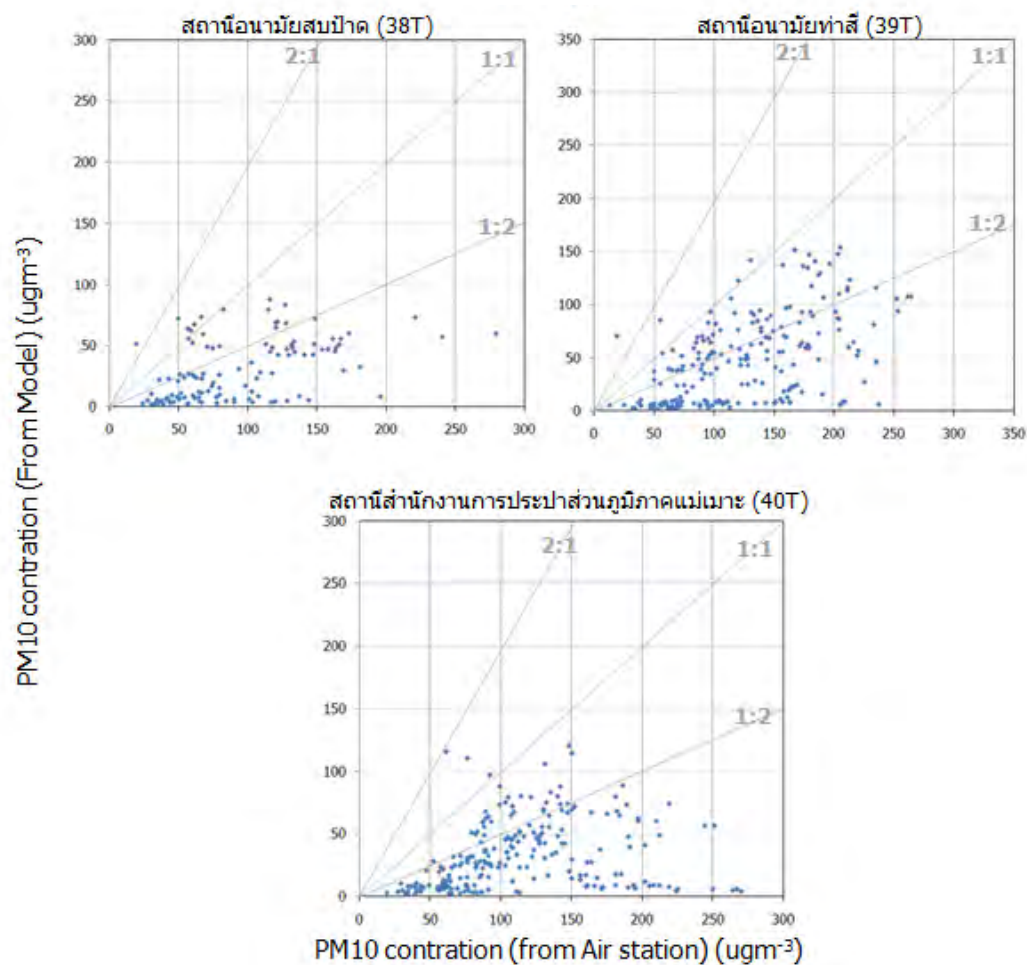
4.6.2.1 ลักษณะการกระจายของข้อมูลของ PM_{10}

แผนภาพแสดงการกระจายของข้อมูลความเข้มข้นของ PM_{10} ที่ได้จากแบบจำลอง และที่ได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศใน 7 สถานี โดยแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มที่ตั้งอยู่ในเขตชุมชนหนาแน่น และกลุ่มที่ตั้งอยู่ในเขตชุมชนเบาบาง โดยการเปรียบเทียบข้อมูลของวันที่ 13-21 มีนาคม พ.ศ. 2550 (รวม 216 ชั่วโมง) แสดงได้ดังรูปที่ 4.39 และ 4.40 ตามลำดับ จากแผนภาพลักษณะการกระจายของข้อมูลทั้งในกลุ่มที่ตั้งอยู่ในเขตชุมชนหนาแน่นและเขตชุมชนเบาบางพบว่าโดยส่วนใหญ่จะอยู่ในบริเวณต่ำกว่าเส้น 1:1 หมายถึงค่าความเข้มข้นของ PM_{10} ที่ได้จากแบบจำลองจะมีค่าน้อยกว่าค่าที่ได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ โดยพบว่าที่บริเวณความเข้มข้น $50-200 \mu g m^{-3}$ ตำแหน่งจุดบนแผนภาพจะมีค่าใกล้เคียงเส้น 1:1 มากกว่าช่วงของความเข้มข้นอื่นๆ สำหรับสถานีศาลากลางเชียงใหม่ (35T) และสถานีโรงเรียนยุพราชวิทยาลัย (36T) จะเห็นได้ว่ามีลักษณะการกระจายที่คล้ายคลึงกัน คือจุดส่วนใหญ่อยู่ใกล้เส้น 1:2 และมีส่วนอยู่ระหว่างเส้น 1:1 กับ 1:2 ทั้งนี้เนื่องมาจากสถานีทั้ง 2 ตั้งอยู่ใกล้กัน โดยตั้งอยู่ในตัวเมืองจังหวัดเชียงใหม่มีระยะห่างโดยประมาณ 10 กิโลเมตร จึงทำให้ผลการจำลองความเข้มข้นด้วยแบบจำลองของสถานียังกล่าวมีความใกล้เคียงกัน สำหรับสถานีศาลหลักเมืองจังหวัดลำปาง (37T) แม้ว่าจะตั้งอยู่คนละจังหวัดกับสถานีในจังหวัดเชียงใหม่ แต่ก็เห็นได้ว่ายังคงมีลักษณะที่

คล้ายคลึงกัน แต่จะมีการกระจายของข้อมูลมากกว่า โดยมีจุดบางส่วนที่อยู่ระหว่างเส้น 2:1 และ 1:1 หมายถึงค่าความเข้มข้นของ PM_{10} ที่ได้จากแบบจำลองบางส่วนมีค่ามากกว่า 1-2 เท่าของค่าที่ได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ 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 4.39 การกระจายของข้อมูลความเข้มข้นรายชั่วโมงของ PM10 ที่จำลองได้ และที่ตรวจวัดได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ ในกลุ่มที่ตั้งอยู่ในเขตชุมชนหนาแน่น

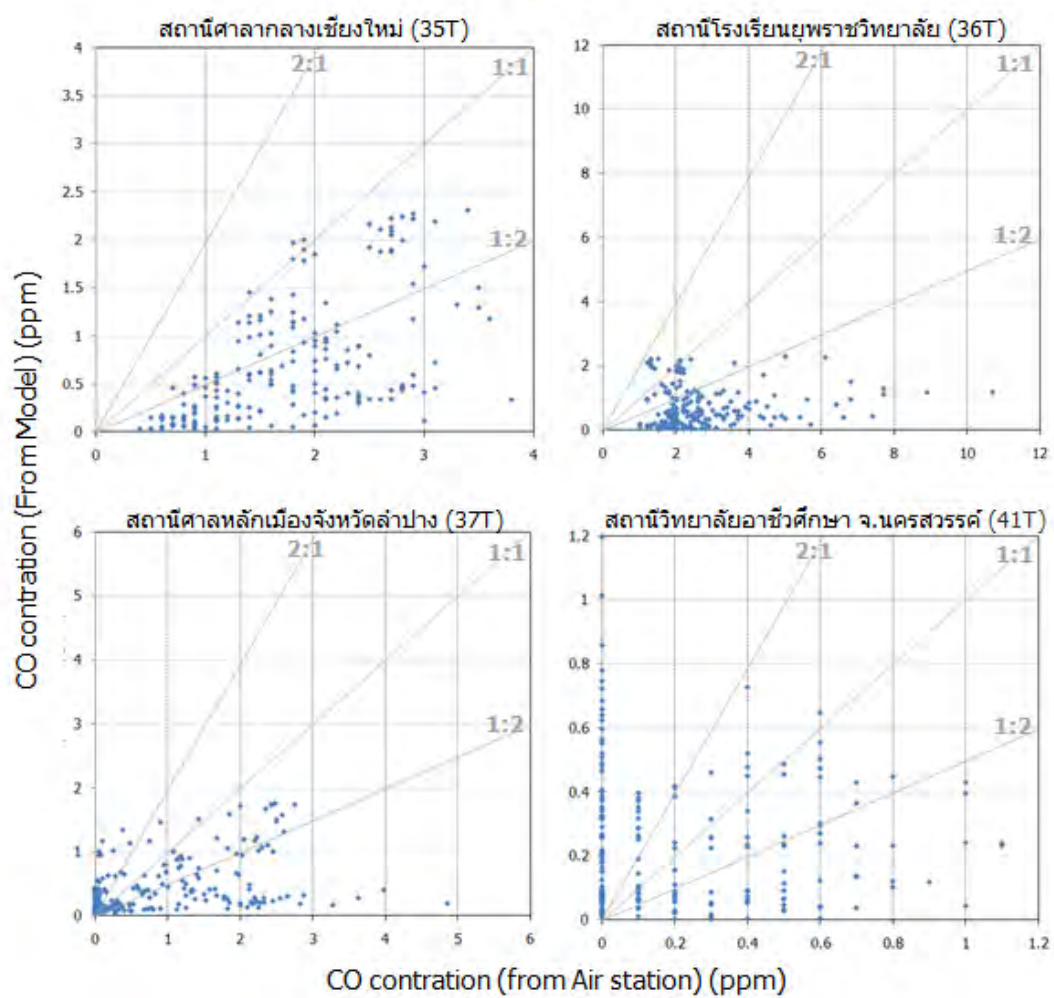


รูปที่ 4.40 การกระจายของข้อมูลความเข้มข้นรายชั่วโมงของ PM_{10} ที่จำลองได้ และที่ตรวจวัดได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ ในกลุ่มที่ตั้งอยู่ในเขตชุมชนเบาบาง

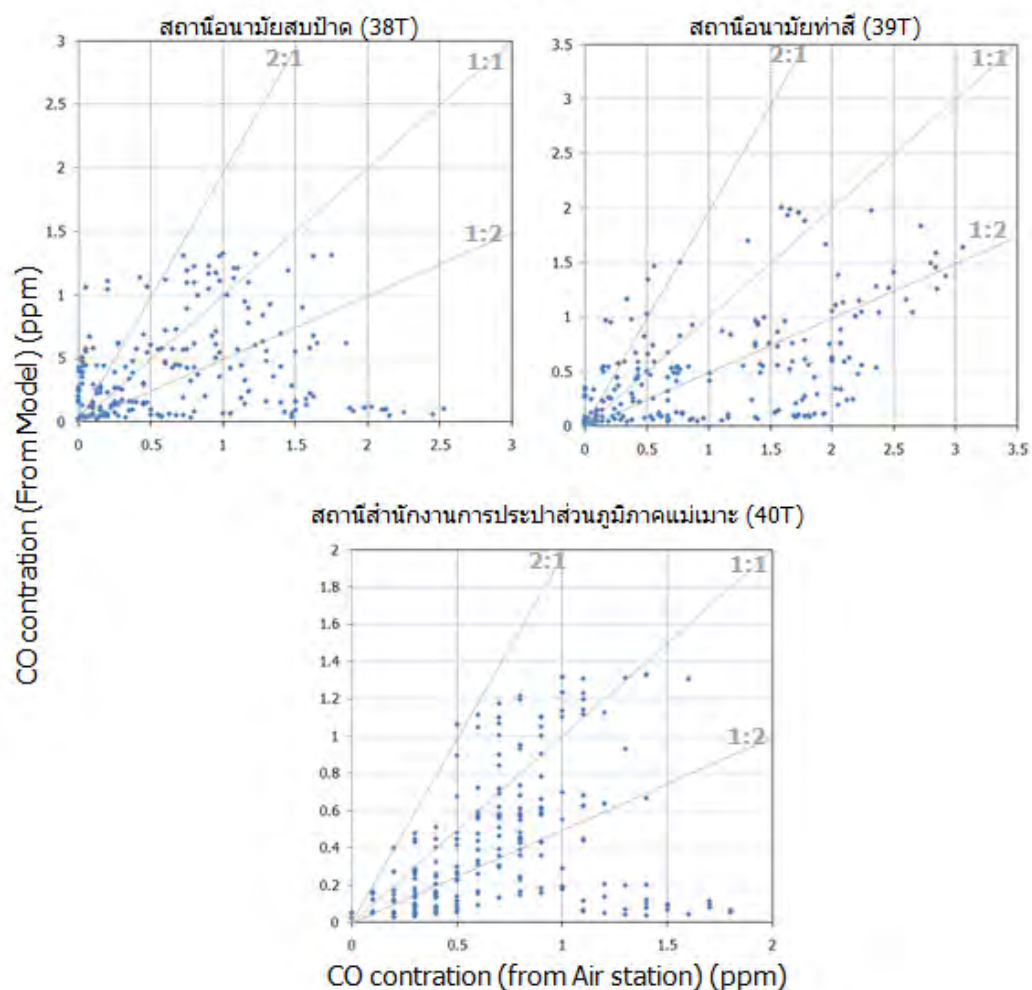
4.6.2.2 ลักษณะการกระจายของข้อมูลของ CO

แผนภาพแสดงการกระจายของข้อมูลความเข้มข้นของ CO ที่ได้จากแบบจำลอง และที่ได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ ในกลุ่มที่ตั้งอยู่ในเขตชุมชนหนาแน่น และกลุ่มที่ตั้งอยู่ในเขตชุมชนเบาบางแสดงได้ดังรูปที่ 4.41 และ 4.42 ตามลำดับ จากแผนภาพลักษณะการกระจายของข้อมูลทั้งในกลุ่มที่ตั้งอยู่ในเขตชุมชนหนาแน่น และเขตชุมชนเบาบาง พบว่าการกระจายค่อนข้างมาก หมายถึง ค่าความเข้มข้นของ CO ที่ได้จากแบบจำลองมีค่าทั้ง มากกว่า เท่ากับ หรือน้อยกว่าค่าที่ได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ ซึ่งแตกต่างจาก PM_{10} ที่ค่าที่ได้จากแบบจำลองมักมีค่าน้อยกว่าค่าที่ได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ สำหรับในกลุ่มที่ตั้งอยู่ในเขตชุมชนหนาแน่นพบว่าที่ความเข้มข้นของ CO ประมาณ 2 ppm ในสถานีศาลากลางเชียงใหม่ (35T) และ

สถานีโรงเรียนยุพราชวิทยาลัย (36T) ค่าที่ได้จากแบบจำลองจะมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ ในขณะที่สถานีอื่นๆค่าความเข้มข้นของ CO ทั้งที่ได้จากแบบจำลองและจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศมีค่าน้อย โดยส่วนใหญ่มีค่าน้อยกว่า 1 ppm โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่สถานีวิทยาลัยอาชีวศึกษา จ.นครสวรรค์ (41T) มีหลายจุดที่ค่าความเข้มข้นของ CO ที่ได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศมีค่าเท่ากับ 0 ในขณะที่ค่าที่ได้จากแบบจำลองมีค่าตั้งแต่ 0-1 ppm ทำให้แผนภาพการกระจายที่สถานีดังกล่าวมีความกระจายของข้อมูลมาก ซึ่งอาจเนื่องมาจากความเข้มข้นของ CO ที่มีค่าต่ำมาก ทำให้อุปกรณ์ตรวจวัดความเข้มข้นของ CO ที่สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศมีโอกาสที่จะตรวจวัดได้ผิดพลาด ทำให้ค่าที่ได้คลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง สำหรับสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศในกลุ่มที่ตั้งอยู่ในเขตชุมชนเบาบาง พบว่ามีการกระจายของข้อมูลมากกว่ากลุ่มที่ตั้งอยู่ในเขตชุมชนหนาแน่น เช่นเดียวกับที่ปรากฏในแผนภาพการกระจายข้อมูลของ PM₁₀ ซึ่งทั้งในสถานีอนามัยสบป่าด (38T) สถานีอนามัยท่าสี่ (39T) และสถานีสำนักงานการประปาส่วนภูมิภาคแม่เมะ (40T) พบว่าค่าที่ได้จากแบบจำลองมีการกระจายตัวและมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ มากกว่าในสถานีในกลุ่มที่ตั้งอยู่ในเขตชุมชนหนาแน่น ซึ่งลักษณะดังกล่าวเป็นผลมาจากที่สถานีในกลุ่มที่ตั้งอยู่ในเขตชุมชนหนาแน่นจะได้รับอิทธิพลจากมลพิษที่ปลดปล่อยออกจากแหล่งกำเนิดที่อยู่ใกล้กับสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ ทำให้ค่าที่ตรวจวัดได้จะมีค่าสูงกว่าปกติ และเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากแบบจำลองด้วยการสร้างแผนภาพการกระจายของข้อมูล ก็จะทำให้ข้อมูลไม่กระจายตัว โดยค่าความเข้มข้นที่จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศมักจะมีค่ามากกว่าค่าที่ได้จากแบบจำลองอยู่เสมอ



รูปที่ 4.41 การกระจายของข้อมูลความเข้มข้นรายชั่วโมงของ CO ที่จำลองได้ และที่ตรวจวัดได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ ในกลุ่มที่ตั้งอยู่ในเขตชุมชนหนาแน่น

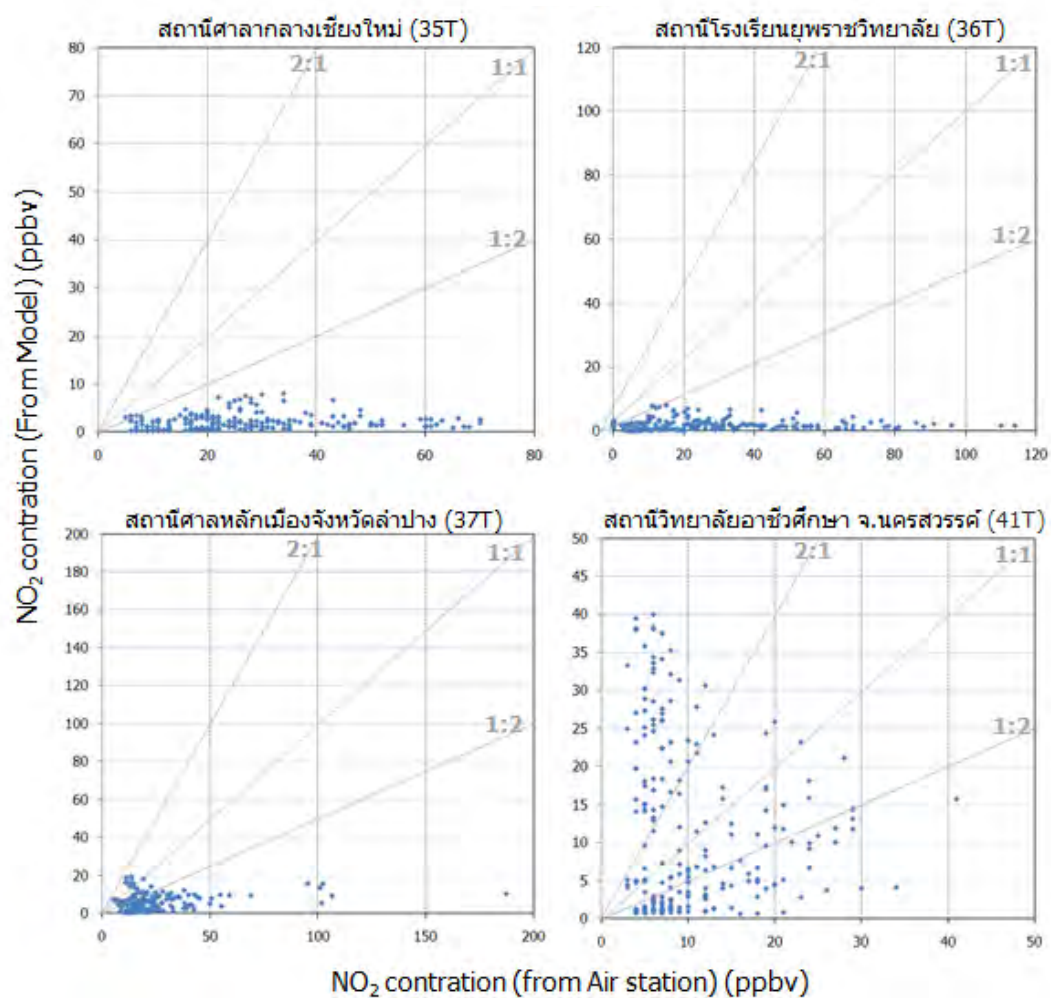


รูปที่ 4.42 การกระจายของข้อมูลความเข้มข้นรายชั่วโมงของ CO ที่จำลองได้ และที่ตรวจวัดได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ ในกลุ่มที่ตั้งอยู่ในเขตชุมชนเบาบาง

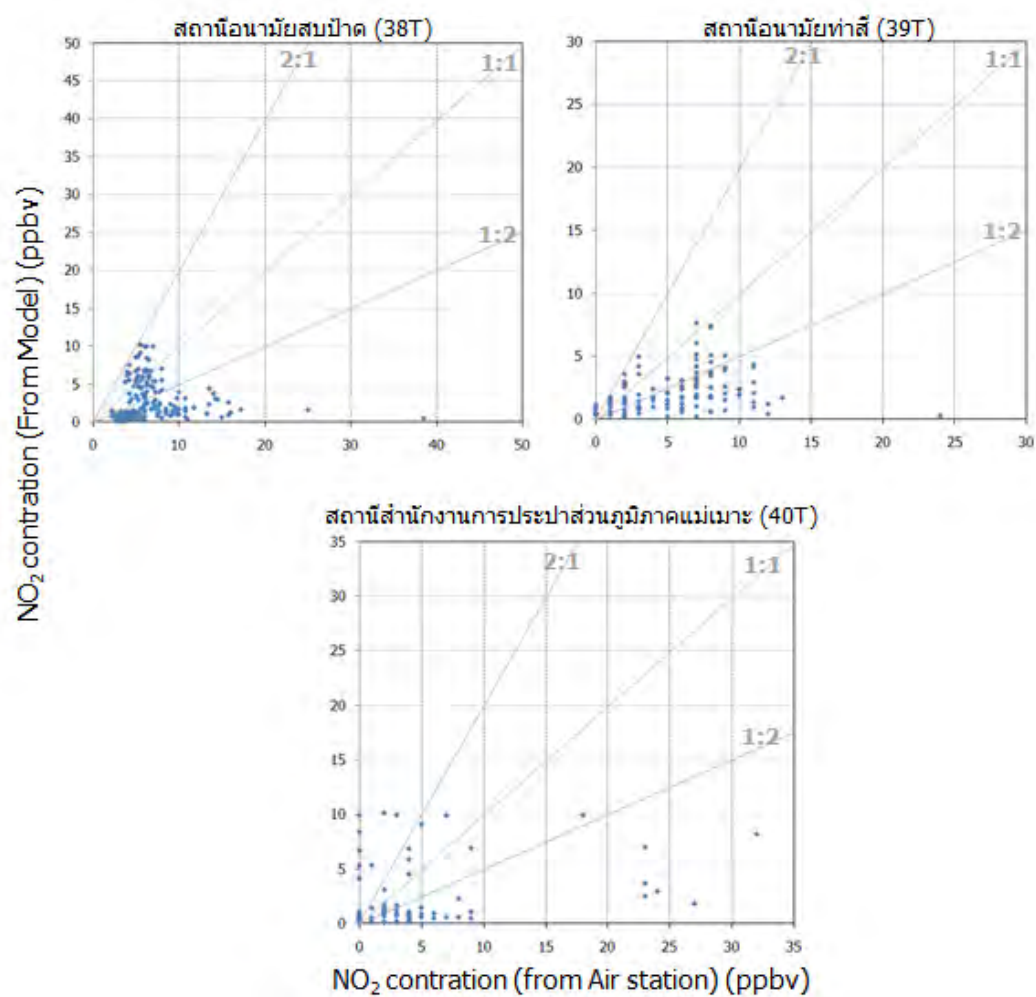
4.6.2.3 ลักษณะการกระจายของข้อมูลของ NO_2

สำหรับ NO_2 ก็จะทำการเปรียบเทียบลักษณะการกระจายของข้อมูลในรูปแบบเดียวกับ PM_{10} และ CO โดยแผนภาพในกลุ่มที่ตั้งอยู่ในเขตชุมชนหนาแน่น และกลุ่มที่ตั้งอยู่ในเขตชุมชนเบาบางแสดงได้ดังรูปที่ 4.43 และ 4.44 ตามลำดับ จากแผนภาพพบว่าความเข้มข้นของ NO_2 ในกลุ่มที่ตั้งอยู่ในเขตชุมชนหนาแน่นจะมีค่ามากกว่าในกลุ่มที่ตั้งอยู่ในเขตชุมชนเบาบาง อย่างชัดเจนคือ ในกลุ่มที่ตั้งอยู่ในเขตชุมชนหนาแน่นความเข้มข้น NO_2 ที่ได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศจะมีค่าค่อนข้างสูงระหว่าง 0-100 ppbv โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ที่สถานีโรงเรียนยุพราชวิทยาลัย (36T) และสถานีศาลหลักเมืองจังหวัดลำปาง (37T) ค่าความเข้มข้นสูงสุดอยู่ที่ 120 และ 180 ppbvตามลำดับ ในขณะที่สถานีในกลุ่มที่ตั้งอยู่ในเขตชุมชนเบาบางมีความเข้มข้นต่ำกว่าอยู่

ระหว่าง 0-50 ppbv เท่านั้น จากแผนภาพการกระจายของข้อมูลความเข้มข้นของ NO_2 ในกลุ่มที่ตั้งอยู่ในเขตชุมชนหนาแน่น พบว่าตำแหน่งของจุดส่วนใหญ่อยู่ได้เส้น 1:2 โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสถานีศาลากลางเชียงใหม่ (35T) และสถานีโรงเรียนยุพราชวิทยาลัย (36T) ซึ่งมีจุดอยู่ได้เส้น 1:2 เกือบทั้งหมด หมายถึงค่าความเข้มข้นของ NO_2 ที่ได้จากแบบจำลองมีค่าน้อยกว่าค่าที่ได้จากสถานีตรวจวัดมากยกเว้นที่สถานีวิทยาลัยอาชีวศึกษา จ.นครสวรรค์ (41T) ซึ่งมีการกระจายของข้อมูลมากกว่า ในขณะที่ในกลุ่มที่ตั้งอยู่ในเขตชุมชนเบาบาง มีการกระจายของข้อมูลมากกว่ากลุ่มที่ตั้งอยู่ในเขตชุมชนหนาแน่น โดยในกลุ่มที่ตั้งอยู่ในเขตชุมชนเบาบาง จุดส่วนใหญ่อยู่ในตำแหน่งระหว่างเส้น 2:1 และ 1:2 ดังจะเห็นได้จากแผนภาพในสถานีอนามัยสบป่าด (38T) สถานีอนามัยท่าสี่ (39T) และสถานีสำนักงานการประปาส่วนภูมิภาคแม่เมะ (40T) จากข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า ในกรณีของ NO_2 ตำแหน่งที่ตั้งของสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศมีผลต่อความถูกต้องของแบบจำลองมาก เนื่องจากกิจกรรมของมนุษย์เป็นแหล่งปลดปล่อยสำคัญของ NO_2 ซึ่งกิจกรรมของมนุษย์นี้จะมีมากในเขตชุมชนหนาแน่น และเขตอุตสาหกรรม ส่งผลให้สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศในพื้นที่ดังกล่าว ตรวจวัดความเข้มข้นของ NO_2 ได้มาก ซึ่งในขั้นตอนการทำแบบจำลอง หากหากมีข้อมูลการปลดปล่อยดังกล่าวไม่ถูกต้องเพียงพอแล้ว ก็จะทำให้แบบจำลองไม่สามารถจำลองความเข้มข้นของ NO_2 ได้ถูกต้องตามไปด้วย สำหรับการศึกษาที่ใช้ข้อมูลข้อมูลการปลดปล่อยจากกิจกรรมของมนุษย์ในภูมิภาคเอเชียจากโครงการ INTEX-B ที่ความละเอียด 0.5° ในปี 2549 ซึ่งมีความละเอียดต่ำและล้าสมัย จึงอาจทำให้ผลการจำลองมีความคลาดเคลื่อน



รูปที่ 4.43 การกระจายของข้อมูลความเข้มข้นรายชั่วโมงของ NO_2 ที่จำลองได้ และที่ตรวจวัดได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ ในกลุ่มที่ตั้งอยู่ในเขตชุมชนหนาแน่น



รูปที่ 4.44 การกระจายของข้อมูลความเข้มข้นรายชั่วโมงของ NO_2 ที่จำลองได้ และที่ตรวจวัดได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ ในกลุ่มที่ตั้งอยู่ในเขตชุมชนเบาบาง

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการประเมินปริมาณมลพิษทางอากาศจากภาคขนส่ง

การประเมินปริมาณสารมลพิษที่เกิดจากกิจกรรมการขนส่งทางถนนในประเทศไทย ในการวิเคราะห์จากงานวิจัยฉบับนี้ สามารถสรุปได้ว่าสารมลพิษที่มีปริมาณการปลดปล่อยสูงสุดในประเทศไทย จากรถยนต์ทุกประเภทในปี 2548 คือแก๊สออกไซด์ของไนโตรเจน ซึ่งมีปริมาณ 7,703,635 ตัน รองลงมาคือแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ 4,257,511 ตัน สารประกอบไฮโดรคาร์บอน 1,983,942 ตัน อนุภาคฝุ่นละออง 297,993 ตัน และแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 180,238 ตัน

โดยเมื่อวิเคราะห์ถึงแหล่งกำเนิดในพื้นที่ต่างๆ ที่ปลดปล่อยสารมลพิษออกมามากจะพบว่า พื้นที่ที่เป็นแหล่งกำเนิดสารมลพิษสูงสุดคือกรุงเทพมหานคร ที่มีปริมาณของสารมลพิษที่มีจำนวนมากที่สุดคือแก๊สออกไซด์ของไนโตรเจน มีปริมาณประมาณ 8 ล้านตัน รองลงมาคือแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ถูกปลดปล่อยออกมาในปริมาณ 4 ล้านตัน สารไฮโดรคาร์บอน 2 ล้านตัน ฝุ่นละอองประมาณ 3 แสนตัน และแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ประมาณ 2 แสนตันตามลำดับ รองลงมาคือในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคเหนือ ภาคใต้ ภาคตะวันตก ภาคตะวันออกและภาคกลาง ดังแสดงในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ปริมาณสารมลพิษแต่ละพื้นที่แหล่งกำเนิดในภูมิภาคและกรุงเทพมหานคร

พื้นที่	สารมลพิษ (ตันต่อปี)				
	NO _x	SO ₂	CO	PM	HC
กรุงเทพมหานคร	1,342,208	36,457	864,282	69,620	392,319
ภาคกลาง	831,396	18,001	410,126	23,469	161,381
ภาคตะวันตก	877,823	19,284	450,358	27,720	199,184
ภาคตะวันออก	762,365	17,248	402,167	27,539	183,222
ภาคใต้	767,517	18,386	456,594	34,572	252,998
ภาคเหนือ	1,356,839	31,471	746,211	54,728	365,774
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	1,765,487	39,391	927,773	60,345	429,063
รวม	7,703,635	180,238	4,257,511	297,993	1,983,942

โดยจังหวัดในภูมิภาคเหล่านี้ที่เป็นแหล่งกำเนิดสารมลพิษทุกประเภทมากกว่าจังหวัดอื่นๆ ในเขตภูมิภาคเดียวกัน คือจังหวัดนครราชสีมาในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จังหวัดชลบุรีในภาคตะวันออก และจังหวัดเชียงใหม่ในภาคเหนือ จังหวัดสระบุรีในภาคกลาง จังหวัดสงขลาในภาคใต้ และจังหวัดนครปฐมในภาคตะวันตก โดยปริมาณการปลดปล่อยสารมลพิษของจังหวัดเหล่านี้มีค่าประมาณเช่น ออกไซด์ของไนโตรเจนสูงประมาณ 3 แสนตัน ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ประมาณ 7 พันตัน และคาร์บอนมอนอกไซด์ 1 แสนตันเป็นต้น

จากข้อสรุปดังกล่าว จึงเป็นฐานข้อมูลที่สำคัญที่สามารถบ่งบอกถึงสาเหตุในลักษณะของพื้นที่แหล่งกำเนิดสารมลพิษที่สำคัญในแต่ละภูมิภาค โดยสามารถระบุถึงพื้นที่ที่เป็นจังหวัดที่เป็นสาเหตุหลักที่ก่อให้เกิดสารมลพิษนำไปสู่ปัญหาเกี่ยวกับมลพิษทางอากาศที่เกิดจากการขนส่งทางถนนนั้น เพื่อนำไปใช้ในการวางแผนและแก้ไขได้ต่อไป โดยพื้นที่ที่ต้องได้รับการพิจารณาเป็นอันดับต้นคือในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานคร และในส่วนของภูมิภาคต่างๆ คือในจังหวัดนครราชสีมา จังหวัดสระบุรี จังหวัดชลบุรี

จังหวัดนครปฐม จังหวัดสงขลา และจังหวัดเชียงใหม่ นอกเหนือจากนั้นสารมลพิษที่มีสัดส่วนการปลดปล่อยออกมามากที่สุดคือสารจำพวกแก๊สออกไซด์ของไนโตรเจน ที่มีอัตราการปลดปล่อยสูงมาก และคิดเป็นสัดส่วนในการปลดปล่อยมากกว่าครึ่งหนึ่งของสารมลพิษที่ทุกประเภทที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากกิจกรรมขนส่งทางถนนในประเทศไทย ดังนั้นสารมลพิษที่ถูกปลดปล่อยจากการขนส่งทางถนนที่ควรพิจารณาเพื่อได้รับการแก้ไขมากที่สุดคือแก๊สออกไซด์ของไนโตรเจน

5.1.1 สรุปผลการประเมินปริมาณสารมลพิษในประเทศไทยจำแนกตามประเภทของรถยนต์

จากผลการประเมินของปริมาณสารมลพิษที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากรถยนต์แต่ละประเภท สามารถสรุปได้ว่าปริมาณสารออกไซด์ของไนโตรเจนที่ปลดปล่อยออกมามากที่สุดจากรถยนต์ประเภทดีเซลใหญ่ที่มีปริมาณสูงถึง 5 พันตัน ซึ่งคิดเป็นสัดส่วน 65% ของปริมาณสารออกไซด์ของไนโตรเจนที่ถูกปลดปล่อยทั้งหมดรองลงมาคือรถยนต์ดีเซลเล็ก และยังมีแนวโน้มเช่นเดียวกับปริมาณการปลดปล่อยของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ปลดปล่อยออกมามากที่สุดจากรถยนต์ประเภทดีเซลใหญ่ คิดเป็นสัดส่วนจาก 52% ของปริมาณการปลดปล่อยของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ทั้งหมด และ 49% ของปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ทั้งหมด ตามลำดับ รองลงมาคือรถยนต์ดีเซลเล็ก แต่ในการปลดปล่อยของฝุ่นละอองและไฮโดรคาร์บอนมีสัดส่วนแนวโน้มที่แตกต่างกันออกไปคือสัดส่วนการปลดปล่อยของฝุ่นละอองสูงสุดจากรถยนต์ประเภทรถยนต์ดีเซลเล็กและมีสูงถึง 85% ของปริมาณการปลดปล่อยของฝุ่นละอองทั้งหมด และในส่วนของสารไฮโดรคาร์บอนมีสัดส่วนการปลดปล่อยสูงสุดจากรถจักรยานยนต์คิดเป็น 38% รองลงมาคือจากรถยนต์ดีเซลเล็กคิดเป็นสัดส่วน 31%

จากผลการประเมินผลในด้านการปลดปล่อยจากประเภทต่างๆ ของรถยนต์จะเห็นได้ว่าสารมลพิษ 3 ประเภทคือ แก๊สออกไซด์ของไนโตรเจน ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์มีแนวโน้มในสัดส่วนการปลดปล่อยคล้ายคลึงกัน นั่นคือมาจากรถยนต์ที่เป็นรถยนต์ดีเซลทั้ง 2 ประเภท ดังนั้นเมื่อพิจารณาประเภทของรถยนต์ เพื่อเป็นปัจจัยในการนำไปเป็นข้อมูลพื้นฐานในการแก้ไขปัญหาเกี่ยวกับมลพิษทางอากาศจากการขนส่งทางถนนจึงควรพิจารณาถึงรถยนต์ดีเซลทั้ง 2 ประเภทเป็นหลักโดยแนวทางในการแก้ไขสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การจัดรณรงค์เพื่อให้มีการใช้รถยนต์ขนส่งมวลชนเพิ่มมากขึ้น เพื่อลดปริมาณของรถยนต์ในท้องถนนส่งผลต่อปริมาณการปลดปล่อยสารมลพิษอีกด้วย

แต่ในส่วนของการแก้ปัญหาเกี่ยวกับมลพิษทางอากาศที่เกิดมาจากฝุ่นละออง ควรพิจารณาจากแหล่งกำเนิดของรถยนต์ดีเซลเล็กเป็นหลัก เนื่องจากจะเห็นได้ว่าสัดส่วนหลักที่เป็นสาเหตุของการปลดปล่อยฝุ่นละอองนั้นมาจากเครื่องยนต์ดีเซลเล็ก และในส่วนของการแก้ปัญหาเกี่ยวกับสาร

ไฮโดรคาร์บอนนั้นควรพิจารณาสาเหตุที่เป็นมาจากแหล่งกำเนิดจากและมีสัดส่วนที่ใกล้เคียงกัน คือ รถจักรยานยนต์และรถยนต์ดีเซลเล็ก ซึ่งในปัจจุบันมีสัดส่วนการใช้รถจักรยานยนต์ 4 จัหวะมากขึ้นซึ่งเป็นแนวทางการแก้ปัญหาที่สามารถลดปริมาณการปลดปล่อยสารประกอบไฮโดรคาร์บอนได้

5.1.2 สรุปผลการเปรียบเทียบผลการประเมินงานวิจัย

จากการเปรียบเทียบผลการประเมินปริมาณสารมลพิษที่ปลดปล่อยออกมาจากการขนส่งทางถนนกับแหล่งข้อมูล 2 แหล่งคือฐานข้อมูล NASA TRACE-P โดย David Street และฐานข้อมูลจากโปรแกรม VAPIS จัดทำโดย World Bank ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าความแตกต่างของผลการประเมินปริมาณสารมลพิษนั้นมีแนวโน้มที่คล้ายคลึงกันคือ ปริมาณสารมลพิษเกือบทุกประเภทที่ประเมินได้จากการวิจัยในครั้งนี้มีค่าสูงกว่าฐานข้อมูลทั้ง 2 แหล่งข้อมูล กล่าวคือออกไซด์ของไนโตรเจนที่ประเมินได้นั้นมีค่าสูงกว่าฐานข้อมูลจาก NASA TRACE-P โดย David Street 12% และสูงกว่าฐานข้อมูลจาก 148% เฉพาะในเขตกรุงเทพมหานคร และในส่วนการเปรียบเทียบปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์และฝุ่นละอองกับฐานข้อมูลของโปรแกรม VAPIS จะเห็นได้ว่ามีปริมาณสูงกว่าผลที่ประเมินได้จากงานวิจัยในครั้งนี้ประมาณ 110% และมีแนวโน้มเช่นเดียวกันกับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีปริมาณสูงกว่าประมาณ 52% แตกต่างออกไปจากแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ผลการประเมินจากงานวิจัยในครั้งนี้ มีค่าต่ำกว่าค่าที่ได้จากฐานข้อมูลของโปรแกรม VAPIS ประมาณ 8%

ซึ่งผลการประเมินที่แสดงแนวโน้มในการเปรียบเทียบปริมาณการปลดปล่อยสารมลพิษในลักษณะนี้ อาจเนื่องมาจากการประเมินได้ทำไว้ในปี 2542 ซึ่งเป็นปีที่ฐานข้อมูลของโปรแกรม VAPIS ได้ใช้ข้อมูลในปีที่ประเมิน และเป็นช่วงที่เกิดวิกฤตเศรษฐกิจจึงอาจทำให้การประเมินการใช้พลังงานและการเติบโตของการขนส่งทางถนนต่ำกว่าความเป็นจริง

โดยการประเมินปริมาณสารมลพิษที่ปลดปล่อยมาจากกิจกรรมขนส่งทางถนนนั้นเป็นการประเมินที่ละเอียดอ่อน กล่าวคือการประเมินค่าเหล่านี้มีปัจจัยที่ใช้ในการประเมินหลายส่วนจึงจำเป็นที่จะต้องใช้ข้อมูลจากหลายๆ แหล่งข้อมูล จึงทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนได้ง่าย การเปรียบเทียบผลการประเมินมลพิษจึงเกิดความคลาดเคลื่อนได้ง่ายและสามารถแตกต่างกันได้เป็นจำนวนมาก

5.2 สรุปผลของบัญชีปลดปล่อยมลพิษทางอากาศจากภาคอุตสาหกรรม

การปลดปล่อยมลพิษแยกตามสาขาทางอุตสาหกรรมโดยรวมพบว่าโรงไฟฟ้ามีการปลดปล่อยโดยรวมสูงที่สุด 620.4 กิโลตันต่อปี รองลงมาคือ อุตสาหกรรมกระดาษและอุตสาหกรรมอื่นคือ อุตสาหกรรมตกแต่งผลิตภัณฑ์ มีปริมาณ 205.5 และ 200.2 กิโลตันต่อปี ตามลำดับ เมื่อแยกชนิดของมลพิษ

พบว่า การปลดปล่อย NO_x มาจากอุตสาหกรรมประเภทอื่นๆมากที่สุด 133.3 กิโลตันต่อปี โรงงานไฟฟ้ามีการปลดปล่อย SO_x มากที่สุด 157.2 กิโลตันต่อปี การปลดปล่อย VOC มากที่สุดมาจากอุตสาหกรรมเคมี 34.0 กิโลตันต่อปี อุตสาหกรรมอื่นๆมีการปลดปล่อย CO มากที่สุด 35.4 กิโลตันต่อปี อุตสาหกรรมไฟฟ้ามีการปลดปล่อย PM_{10} มากที่สุด 405.1 กิโลตัน การปลดปล่อยมลพิษแยกตามภูมิภาคโดยรวมพบว่าภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีการปลดปล่อยโดยรวมสูงที่สุด 451.3 กิโลตันต่อปี รองลงมาคือกรุงเทพมหานครและปริมณฑล และภาคตะวันออก ปลดปล่อย 369.7 และ 285.5 กิโลตันต่อปี ตามลำดับ เมื่อแยกตามชนิดมลพิษพบว่า การปลดปล่อย NO_x มากที่สุดมาจากภาคตะวันออก 124.4 กิโลตันต่อปี ภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีการปลดปล่อย SO_x มากที่สุด 114.8 กิโลตันต่อปี การปลดปล่อย VOC มากที่สุดมาจาก ภาคตะวันออก 7.6 กิโลตันต่อปี กรุงเทพมหานครและปริมณฑลมีการปลดปล่อย CO มากที่สุด 49.6 กิโลตันต่อปี ภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีการปลดปล่อย PM_{10} มากที่สุด 289.5 กิโลตันต่อปี

5.3 สรุปผลของการแบบจำลองการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศจากไฟฟ้า และแบบจำลองคุณภาพอากาศ

ในการบูรณาการแบบจำลองเพื่อใช้ในการศึกษา การประเมินการปลดปล่อย และความเป็นไปของมลพิษทางอากาศจากไฟฟ้าในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ โดยทดสอบแบบจำลองแบบบูรณาการดังกล่าว ด้วยกรณีศึกษาตั้งแต่วันที่ 12-21 มีนาคม พ.ศ. 2550 ในพื้นที่ส่วนหนึ่งของภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ พบว่าสามารถประเมินการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศ ได้แก่ CO , CO_2 , PM_{10} และ NO_2 ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และทำนายความเป็นไปของมลพิษดังกล่าวได้ใกล้เคียงกับความเป็นจริง ซึ่งผลที่ได้จากการทดสอบแบบจำลองสามารถสรุปได้ดังหัวข้อต่อไปนี้

5.3.1 ข้อมูลทั่วไปของไฟฟ้า

จากข้อมูลตำแหน่งไฟฟ้าจากเซนเซอร์ MODIS ในขอบเขตพื้นที่ศึกษาพบว่า ไฟฟ้าเกิดขึ้นมากบริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศพม่า ตอนบนของประเทศลาว และประเทศไทยตามลำดับ โดยไฟฟ้าเกิดขึ้นมากที่สุดในวันที่ 15 มีนาคม พ.ศ. 2550 โดยช่วงเวลาที่เกิดไฟฟ้ามากที่สุดคือ ในช่วงเวลา 11.00-14.00 น.และ 21.00-3.00น.ของทุกวัน

5.3.2 ลักษณะของการปลดปล่อยมลพิษจากไฟฟ้า

จากการประเมินพบว่ามีการปลดปล่อยมลพิษปริมาณมากในบริเวณ พรมแดนประเทศไทย-พม่า พรมแดนประเทศไทย-ลาว และทางตอนเหนือของประเทศเวียดนาม โดยมีการปลดปล่อย CO_2 มากที่สุดประมาณ 9.1 ล้านตัน รองลงมาคือ CO ประมาณ 6.9 ล้านตัน PM_{10} และ NO_2 ประมาณ 0.75 และ 0.11 ล้าน

ต้นตามลำดับ โดยแหล่งปลดปล่อยมลพิษหลักคือ พื้นที่ป่าไม้ พื้นที่ป่าหญ้า และในพื้นที่เกษตรกรรม ตามลำดับ สำหรับการปลดปล่อยมลพิษตามแนวระดับ พบว่ามีการปลดปล่อยมลพิษที่ความสูงประมาณ 0-150 เมตร และ 500-800 เมตรมากที่สุด โดยในช่วงเวลากลางวันมีแนวโน้มที่พบการปลดปล่อยมลพิษที่ระดับความสูงมากกว่าตอนกลางคืน

5.3.3 การแพร่กระจายของมลพิษทางอากาศ

จากการทำนายความเป็นไปของมลพิษทางอากาศพบว่า โดยส่วนใหญ่ CO และ PM_{10} ที่ถูกปลดปล่อยปริมาณมากในบริเวณพรมแดนประเทศ ไทย-พม่าด้านตะวันออก และพรมแดนประเทศไทย-ลาว ตอนเหนือ ได้รับอิทธิพลของลมตะวันตกเฉียงใต้ พัดพาให้เคลื่อนที่ไปยังทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทำให้เกิดกลุ่มมลพิษหนาแน่นที่บริเวณตอนเหนือของประเทศลาว ตอนเหนือของประเทศเวียดนาม ภาคเหนือของประเทศไทย และพบว่าวันที่ 16 มีนาคม พ.ศ. 2550 เวลา 6:00 น. เป็นช่วงเวลาที่ความเข้มข้นของ CO PM_{10} และ NO_2 มีค่าสูงสุด เนื่องจากมีไฟป่า และการปลดปล่อยมลพิษมากในวันก่อนหน้า (15 มีนาคม พ.ศ. 2550) โดยการปลดปล่อยมลพิษจากไฟป่ามีอิทธิพลต่อลักษณะการแพร่กระจายของ CO และ PM_{10} มากกว่าการปลดปล่อยมลพิษจากกิจกรรมของมนุษย์ ในขณะที่การกระจายตัวของ NO_2 จะมีลักษณะที่ต่างออกไปโดยจะพบว่ามีค่าความเข้มข้นสูงในบริเวณเมืองใหญ่ของไทย ลาว และเวียดนาม ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการปลดปล่อยมลพิษจากกิจกรรมของมนุษย์ มีอิทธิพลต่อลักษณะการแพร่กระจายของ NO_2 มากกว่าการปลดปล่อยมลพิษจากไฟป่า จากการเปรียบเทียบการกระจายตัวของฝุ่นละอองกับแผนภาพดัชนีปริมาณหมอกควันที่ได้จากการตรวจวัดด้วยดาวเทียม TOMS Aerosol Index พบว่าสอดคล้องกับการกระจายตัวของ PM_{10} ที่จำลองได้จากแบบจำลอง แสดงว่าแบบจำลองมีประสิทธิภาพสามารถจำลองความเข้มข้นได้ใกล้เคียงกับความเป็นจริง

5.3.4 การประเมินสมรรถนะของการทำนายความเป็นไปของมลพิษทางอากาศ

จากการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของมลพิษรายชั่วโมงของความเข้มข้นที่จำลองได้กับที่ตรวจวัดได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ พบว่าความเข้มข้นของมลพิษขึ้นลงในลักษณะใกล้เคียงกัน แต่โดยส่วนใหญ่ความเข้มข้นที่จำลองได้จะมีค่าต่ำกว่าที่ตรวจวัดได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการประเมินการปลดปล่อยมลพิษที่น้อยกว่าความเป็นจริง ทั้งการปลดปล่อยมลพิษจากไฟป่า และการปลดปล่อยมลพิษจากกิจกรรมของมนุษย์ จากแผนภาพแสดงการกระจายของข้อมูลสำหรับการเปรียบเทียบความเข้มข้นรายชั่วโมงที่ได้จากแบบจำลอง และที่ได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ เพื่อประเมินสมรรถนะของแบบจำลอง พบว่าสมรรถนะของการทำนายจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับทั้งตำแหน่งของสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ และชนิดของมลพิษทางอากาศ โดยพบว่าที่สถานีในกลุ่มที่ตั้งอยู่

ในเขตชุมชนหนาแน่น มีแนวโน้มว่าค่าที่ได้จากแบบจำลองจะใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศน้อยกว่าสถานีในกลุ่มที่ตั้งอยู่ในเขตชุมชนเบาบาง เนื่องจากในเขตชุมชนหนาแน่นจะมีการปลดปล่อยจากกิจกรรมของมนุษย์มากซึ่งจะทำให้ความเข้มข้นของมลพิษที่ได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศมีค่ามากตามไปด้วย

5.3.5 การเปรียบเทียบการปลดปล่อยมลพิษกับภูมิภาคอื่นๆ

จากการศึกษาการประเมินพื้นที่ที่ถูกเผาไหม้จากไฟฟ้าทั่วโลกของ Gilglio และคณะพบว่าในปี พ.ศ. 2547 ภูมิภาคแอฟริกาตอนเหนือเป็นบริเวณที่มีพื้นที่ที่ถูกเผาไหม้มากที่สุด รองลงมาคือภูมิภาคแอฟริกาตอนใต้ ทวีปออสเตรเลีย และพื้นที่เอเชียตะวันออกเฉียงใต้บริเวณเหนือเส้นศูนย์สูตรตามลำดับ

5.4 ข้อเสนอแนะ

5.4.1 ข้อเสนอแนะในส่วนการประเมินมลพิษจากภาคขนส่ง และอุตสาหกรรม

1. ควรมีการเพิ่มส่งแบบสอบถามการใช้เชื้อเพลิงให้ครอบคลุมโรงงานทั่วประเทศเพื่อที่จะได้ข้อมูลจำนวนมากขึ้นซึ่งจะทำให้ค่าที่ได้จากการประเมินโดยการขยายข้อมูลมีความผิดพลาดน้อยลง
2. ควรมีงบประมาณในการศึกษาเพิ่ม เพราะถ้ามีทุนสนับสนุนมากจะทำให้การทำงานทุกอย่างง่ายขึ้นและได้ข้อมูลเพิ่มขึ้น
3. ควรประเมินการปลดปล่อยมลพิษในส่วนของกระบวนการผลิต โดยใช้ข้อมูลด้านกำลังการผลิต และกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรม เพื่อให้การประเมินมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

5.4.2 ข้อเสนอแนะในส่วนการทำแบบจำลองประเมินการปลดปล่อยจากไฟฟ้า และ แบบจำลองคุณภาพอากาศ

1. เนื่องจากปัจจุบันยังไม่มีการศึกษาอย่างจริงจังเกี่ยวกับความถูกต้องของข้อมูลตำแหน่งไฟฟ้าจากเซนเซอร์ MODIS ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ดังนั้นควรมีการตรวจสอบความถูกต้องโดยการเปรียบเทียบกับวิธีอื่นๆ เช่น การรายงานโดยมนุษย์ และการสำรวจทางอากาศเป็นต้น เพื่อให้ข้อมูลดังกล่าวมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น
2. จากปัญหาความเข้มข้นของมลพิษที่ได้จากแบบจำลองมีค่าต่ำกว่าค่าที่ได้จากการตรวจวัดทั้งนี้อาจเกิดจากการประยุกต์แบบจำลองต่างๆ เช่น แบบจำลองพฤติกรรมของไฟฟ้า การจัดระดับความอันตรายจากไฟฟ้า และแบบจำลองการปลดปล่อยมลพิษ ที่ต้องได้รับการแก้ไข โดยการใช้ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจ และวิจัยในภูมิภาค สำหรับการปรับปรุงให้เหมาะสมกับภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้มากยิ่งขึ้น

3.ควรมีการปรับปรุงในส่วนของการลดปล่อยมลพิษจากกิจกรรมของมนุษย์ที่ใช้ในงานวิจัยให้มีความทันสมัย ละเอียดยิ่งขึ้น ซึ่งจะช่วยให้ผลการทำนายความเป็นไปของมลพิษถูกต้องมากยิ่งขึ้น

4.ควรมีการทดสอบตัวแปรต่างๆที่ใช้ในแบบจำลองคุณภาพอากาศ เพื่อหาตัวแปรที่เหมาะสมกับภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ทำให้ผลการจำลองมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

5.ควรมีการเพิ่มชนิดของมลพิษที่สนใจให้มากขึ้น เนื่องจากในความเป็นจริง มลพิษแต่ละชนิดสามารถเกิดปฏิกิริยาบนชั้นบรรยากาศ เกิดเป็นสารใหม่ ซึ่งอาจส่งผลให้ ความเข้มข้นของมลพิษที่สนใจเพิ่มขึ้นหรือลด มากกว่าที่ได้กำหนดไว้ในการทำนาย

6. จากสาเหตุอันเนื่องมาจากความซับซ้อนของแบบจำลองทางอุตุนิยมวิทยา และแบบจำลองคุณภาพอากาศ ทำให้การทำนายความเป็นไปของมลพิษทางอากาศใน 1 วัน ใช้ระยะเวลาในการคำนวณประมาณ 8-12 ชั่วโมง (CPU: Core2Quad 2.4GHz, RAM: 4GB) ดังนั้นควรมีการปรับปรุงระบบคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณ โดยใช้การประมวลผลแบบขนาน (Parallel Processor) ด้วยระบบ Grid Computing ซึ่งจะช่วยให้ใช้เวลาในการคำนวณลดลง

7.ควรมีการเพิ่มช่วงเวลาของการศึกษาให้ครอบคลุมทั้งช่วงเวลาที่มักเกิดไฟฟ้า และช่วงเวลาที่ไม่มีเกิดไฟฟ้าเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของ 2 ช่วงเวลาดังกล่าว

เอกสารอ้างอิง

- [1] Thongboonchoo, N. 2005. “Multi-Pollution Air Quality in Thailand: A Regional to Urban Perspective .” Ph.D.Thesis , The University of Iowa
- [2] Y.Tang, et.al,2003.” Influences of Biomass Burning during TRACE-P Experiment Identified by the Regional Chemical Transport Model”, J. Geophys. Res., 108(D21): 8824.
- [3] กรมควบคุมมลพิษ. “แผนแม่บทแห่งชาติว่าด้วยการควบคุมการเผาในที่โล่ง”. [Online].Available :<http://www.pcd.go.th.2>
- [4] ศูนย์ประสานงานป่าไม้ชัยภูมิ. การป้องกันรักษาป่า. [Online].Available: http://www.forestcp.com/protect/fr_fire1.htm.2554.
- [5] Arthur Allen Brown and Kenneth P. Davis. 1973. Forest fire: control and use. 2nd ED. New York, : McGraw-Hill
- [6] G. M. Byram. 1959. Combustion of forest fuels. In: Davis, K. P., ed. Forest Fire: Control and Use. New York: McGraw Hill
- [7] Utah State University. Unit 1: The Changing Fire Environment. [Online].Available: http://ocw.usu.edu/Forest__Range__and__Wildlife_Sciences/Wildland_Fire_Management_and_Planning/Unit_1__The_Changing_Fire_Environment_10.html.2009.
- [8] The Bureau of Meteorology - Australian Climate Extremes. Topography. [Online].Available: <http://learnline.cdu.edu.au/units/sbi263/fundamentals/topography.html.2009>.
- [9] Centre for Remote Imaging Sensing & Processing(Crisp). Optical Remote Sensing. [Online].Available: <http://www.physics.nus.edu.sg/~crisp/cd2001/tutorial/optical.htm.2009>.
- [10] Yunus A. Çengel. 1998. **Heat transfer : a practical approach**. Boston, Mass.: McGraw-Hill
- [11] NASA LCLUC. Land-Cover and Land-Use Change (LCLUC) Program. [Online].Available: <http://lcluc.umd.edu/.2009>.
- [12] Plymouth Marine Laboratory. Polar-Orbiting Satellites. [Online].Available: <http://www.sat.dundee.ac.uk/satids.html.2009>.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [13] I Csiszar, A. Abdelgadir, J. Jin Z. Li, R. Fraser and 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.
- [14] Satellite Services Division (SSD). Hazard Mapping System Fire and Smoke Product. [Online]. Available: <http://www.osdpd.noaa.gov/ml/land/hms.html>. 2009
- [15] Louis Giglio, Luigi Boschetti, David Roy, Ivan Csiszar, Jeffrey Morisette, Yoram Kaufman and Christopher Justice, Algorithm Technical Background Document. 2006.
- [16] กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2547. **ตำราระบบบำบัดมลพิษ**. กรุงเทพฯ. ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- [17] ปราณี พันธุมสินชัย. 2542. **มลพิษอุตสาหกรรมเบื้องต้น**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : สมาคมวิศวกรสิ่งแวดล้อม
- [18] พุกภัย พงศ์พุกษา. 2544. “ฐานข้อมูลแหล่งกำเนิดสารไฮโดรคาร์บอนและไนโตรเจนออกไซด์ของ กรุงเทพฯ และปริมณฑล”. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [19] มงคล ตรีกิจจานนท์. 2544. “การประเมินมลพิษทางอากาศที่ปลดปล่อยจากโรงงานไฟฟ้าในประเทศไทย”. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
- [20] เอกชัย สุทธิลักษณ์. 2545. “การจัดทำบัญชีและใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทำนายมลพิษทางอากาศจากนิคมอุตสาหกรรม ในภาคตะวันออก”. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- [21] Savitri Garivait. 2005. "Estimation of Pollutants Emissions from Biomass Burning in MRBSR - Report on Methodology and Preliminary Results." in SARCS Workshop on Emissions from Biomass Burning No.23. Bangkok.
- [22] Collin D. Bevins. The fireLib User Manual and Technical Reference. [Online]. Available: <http://www.fire.org/downloads/fireLib/1.0.4/firelib.pdf>. 2009.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [23] Patricia L. Andrews, Collin D. Bevins, and Robert C. Selia. 2003. **BehavePlus fire modeling system version 2.0 : user's guide**. Fort Collins: U.S. Dept. of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station
- [24] Richard D Stratton. 2004. "Assessing the Effectiveness of Landscape Fuel Treatments on Fire Growth and Behavior." *Journal of Forestry*. 102(7): 32-40.
- [25] Elizabeth D. Reinhardt, Robert E. Keane, and James K. Brown. 1997. **First Order Fire Effects Model : FOFEM 4.0, user's guide**. Ogden: U.S. Dept. of Agriculture, Forest Service, Intermountain Research Station
- [26] Mark A. Finney. 1998. **FARSITE, Fire Area Simulator--model development and evaluation**. Ogden: U.S. Dept. of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station
- [27] Jack D. Cohen and John E. Deeming. 1985. **The national fire-danger rating system basic equations**. U.S. Dept. of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station
- [28] Wildland Fire Assessment System. Fire Danger Rating. [Online].Available: http://www.fs.fed.us/land/wfas/map_list.htm. 2009.
- [29] H.E. Anderson, 1983 **Predicting wind-driven wildland fire size and shape**. Ogden: U.S. Dept. of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station
- [30] 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.
- [31] European Environment Agency. Urban dispersion models. [Online].Available: <http://www.eea.europa.eu/publications/TEC11a/page014.html>. 2009.
- [32] Gary A. Briggs. 1969. **Plume rise**. Oak Ridge: U.S. Atomic Energy Commission, Division of Technical Information, U.S. Dept. of Commerce.
- [33] H.H. Mace. 1967. "Bosanquet's plume rise formula and the T.V.A. data." *Atmospheric Environment*. 4(5): 577-583.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [34] The Comet Program. Plume characteristics. [Online].Available:
http://www.meted.ucar.edu/dispersion/disp_ops/media/graphics/plume_height.jpg. 2009
- [35] Wikipedia. Meteorology. [Online].Available: <http://en.wikipedia.org/wiki/Meteorology>. 2009.
- [36] Jeffrey E. Passner. 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
- [37] National Center for Atmospheric Research. Pennsylvania State University / National Center for Atmospheric Research numerical model. [Online].Available: <http://www.mmm.ucar.edu/mm5/>.2009.
- [38] National Center for Atmospheric Research. The WRF Preprocessing System (WPS).
[Online].Available: http://www.mmm.ucar.edu/wrf/users/docs/user_guide/users_guide_chap3.html. 2011
- [39] National Centers for Environmental Prediction. North American Mesoscale (NAM).
[Online].Available: <http://scoop.sura.org/Models/details.pl?model=NAM>. 2009.
- [40] National Cholesterol Education Program. The GFS Atmospheric Model [Online].Available:
<http://www.emc.ncep.noaa.gov/gmb/moorthi/gam.html>. 2009.
- [41] National Oceanic and Atmospheric Administration. Rapid Update Cycle (RUC). [Online].Available:
<http://ruc.noaa.gov>. 2009.
- [42] Japan Science and Technology Information Aggregator. AGRMET : Journal of Agricultural Meteorology. [Online].Available: www.jstage.jst.go.jp/browse/agrmet. 2009.
- [44] Wikipedia. Air pollution. [Online].Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Air_pollution. 2009.
- [45] Steven Peckham. WORKING GROUP 11: ATMOSPHERIC CHEMISTRY. [Online].Available:
<http://ruc.fsl.noaa.gov/wrf/WG11/>. 2009.
- [46] Valeriu Damian. Kinetic Pre-Processor (KPP) [Online].Available:
<http://people.cs.vt.edu/~asandu/Software/Kpp/>. 2009.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [47] William R., Stockwell, Paulette Middleton and Julius S. Chang. 1990. "The Second Generation Regional Acid Deposition Model Chemical Mechanism for Regional Air Quality Modeling." **J. Geophys. Res.** 95(D10): 16,343-16,367.
- [48] 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.
- [49] S. Madronich. 1987. "Photodissociation in the atmosphere actinic flux and the effects of ground reflections and clouds." *Journal of Geophysical Research*. 92: 9740-9752.
- [50] 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.
- [51] Working Group 11: Atmospheric Chemistry. MADE/SORGAM Description. [Online]. Available: ruc.fsl.noaa.gov/wrf/WG11/made_sorgam.htm. 2009
- [52] 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): 1-29.
- [53] Mark Govett. Atmospheric Chemistry Model (NALROM). [Online]. Available: www-ad.fsl.noaa.gov/ac/sms.html. . 2009.
- [54] Streets D.G., et al. 2003. "Biomass burning in Asia: Annual and seasonal estimates and atmospheric emissions." *Global Biogeochemical cycles*. 17(4):1099.
- [55] Kakareka, S. V. and T. I. Kukharchyk (2003). "PAH emission from the open burning of agricultural debris." *Science of the Total Environment* 308(1-3): 257-261.
- [56] Guoliang Cao, Xiaoye Zhang, and Fangcheng Zheng. 2006. "Inventory of black carbon and organic carbon emissions from China ". **Atmospheric Environment** 40 (2006) 6516–6527.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [57] เกษมสันต์ มโนชัยพิบูลย์. 2551. โครงการวิจัยการพัฒนาระบบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เบื้องต้นเพื่อการพยากรณ์เดือนภัยแล้งและหมอกควันสำหรับภาคเหนือตอนบนของประเทศไทยและการประยุกต์ใช้ในฤดูไฟป่าหน้าแล้ง. [Online].Available: www.aqnis.pcd.go.th/project/northernhaze.
- [58] D.P. Roy . L. Boschetti. C.O. Justiceand 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.
- [59] University of Maryland. The Fire Information for Resource Management System (FIRMS). [Online].Available: <http://maps.geog.umd.edu/firms/>. 2009.
- [60] University of Maryland.AVHRR Global Land Cover Classification. [Online].Available: <http://www.landcover.org/>. 2009.
- [61] Wikipedia. Climate- Thornthwaite. [Online].Available: <http://en.wikipedia.org/wiki/Climate#Thornthwaite>. 2009.
- [62] Kazutake Kyuma. 1971. "Climate of South and Southeast Asia according to Thornthwaite's Classification Scheme." Tonan Ajia Kenkyu. 9(1).
- [63] M. C. Peel. B. L. Finlaysonand T. A. McMahon. 2007. ""Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification." Hydrol. Earth Syst. Sci. 11: 1633–1644.
- [64] U.S. Forest Service - Pnw- Fera. The Fuel Characteristic Classification System. [Online].Available: <http://www.fs.fed.us/pnw/fera/fccs/>. 2009.
- [65] Rocky Mountain Research Station Missoula Fire Sciences Laboratory.The Fire, Fuel, and Smoke Science Program (FFS). [Online].Available: <http://www.firelab.org/>. 2009.
- [66] M.O. Andreae and P. Merlet. 2001. " Emission of trace gases and aerosols from biomass burning." Global Biogeochemical Cycles. 15: 955–966.
- [67] Ucar Community Programs. NetCDF (network Common Data Form). [Online].Available: <http://www.unidata.ucar.edu/software/netcdf/>. 2009.
- [68] Streets, D. G., et al., “An inventory of gaseous and primary aerosol emissions in Asia in the year 2000.,” J. Geophys.Res.,108(D21),8809,doi:10.1029/2002JD003093, 2003.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [69]Urbanemissions.info. Vehicular Air Pollution System(VAPIS). [Online].Available: <http://www.urbanemissions.info/model-tools/vapis.html>.2009.
- [70] กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. มกราคม 2539. รายงานฉบับ สมบูรณ์ระบบฐานข้อมูลแหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศและเสียงในประเทศไทย พ.ศ. 2537 เล่มที่ 3/4. กรุงเทพฯ.
- [71] Japan International Cooperation Agency,(2003). **The Acid Deposition Control Strategy in The kingdom of Thailand**. Bangkok, Thailand.
- [72] Pham Thi Bich Thao .2006. “Developmant of an Emission Inventory and Representative Temporal Allocation Profiles for Industrial Facilites in the Central and Eastern Regions of Thailand” . Thesis for Degree of Master of Philosophy in Environmental Technology , The Joint Graduate School of Energy Environment.
- [73] Richard Mcpeters. TOMS aerosol index. [Online].Available: <http://jwocky.gsfc.nasa.gov/aerosols/aermovie.html>.2009.
- [74] Oak Ridge National Laboratory. LandScan. [Online].Available: <http://www.ornl.gov/sci/landscan/>. 2009.