การประเมินผลกระทบจากการเผาชีวมวลต่อระดับฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM10) ในช่วงที่มีปัญหาหมอกควันในพื้นที่ประเทศไทยโดยใช้แบบจำลอง WRF-CMAQ

Impact Assessment of Biomass Burning on the Particulate Matter Less than 10 Microns (PM10) in Thailand During Smog Episode Using WRF-CMAQ Model

ปฏิพัทธ์ วงค์เรือง และสิทธิชัย พิมลศรี*

หน่วยวิจัยมลพิษบรรยากาศและการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ วิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยพะเยา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา 56000

Patipat Vongruang and Sittichai Pimonsree*

Atmospheric Pollution and Climate Change Research Unit, School of Energy and Environment, University of Phayao, Muang, Phayao, 56000

บทคัดย่อ

การเผาชีวมวลเป็นแหล่งกำเนิดสำคัญของ PM10 ในประเทศไทย ระดับ PM10 ที่สูงผิดปกติจากค่าการตรวจวัดมักพบในช่วงฤดูร้อน ระบบแบบจำลอง WRF-CMAQ (weather research and forecasting, WRF) และ community multiscale air quality, CMAQ) นำมาใช้ในการประเมินผลกระทบของการเผาในที่โล่งต่อ PM10 ในช่วงที่มีปัญหาหมอกควันรุนแรงในเดือนมีนาคม พ.ศ. 2555 ผลจากการวิจัยพบว่าการเผาชีวมวลมีผลกระทบต่อความเข้มข้น PM10 ในบรรยากาศ 72 % โดยภาพรวมทั้งประเทศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในภาคเหนือของประเทศไทยได้รับผลกระทบสูงสุดถึง 94 % ในขณะที่ภูมิภาคอื่นของประเทศได้รับผลกระทบอยู่ในช่วง 56-78 % จากผลการวิจัยสรุปได้ว่าการเผาในที่โล่งเป็นแหล่งกำเนิดหลักของ PM10 ในช่วงฤดูร้อนของประเทศไทย ดังนั้นการจัดการคุณภาพอากาศควรเน้นที่แหล่งกำเนิดการเผาชีวมวลทั้งในพื้นที่ประเทศไทยและประเทศข้างเคียง

คำสำคัญ : การเผาในที่โล่ง; การประเมินผลกระทบมลพิษอากาศ; ภาคเหนือของประเทศไทย; PM10; WRF-CMAQ

Abstract

Biomass burning is an important source of PM10 in Thailand. Unusually high levels of PM10 were observed in summer season. The WRF-CMAQ (weather research and forecasting, WRF) and

***ผู้รับผิดชอบบทความ :** sittichai007@hotmail.com

doi: 10.14456/tstj.2018.3

community multiscale air quality, CMAQ) modeling system was applied to assess the impact of biomass burning on PM10 in Thailand during smog episode in March 2012. It was found that the biomass burning contributed 72 % in Thailand. Especially in the Northern Thailand, the impact of biomass burning is very significant with contribution of 94%. While in the other region of Thailand, the contribution from biomass burning to PM10 was in the range of 56-78 %. The results reveal that the biomass burning is a main source of PM10 during summer season in Thailand. Therefore, air quality management should focus on open burning sources in Thailand and surrounding countries.

Keywords: biomass burning; air quality impact assessment; smog, Northern Thailand; PM10; WRF-CMAQ

1. บทนำ

การเผาชีวมวลในที่โล่งเป็นแหล่งกำเนิดก๊าซและฝุ่นละอองที่สำคัญส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ คุณภาพอากาศ และเคมีบรรยากาศโดยเฉพาะอย่างยิ่งในภูมิภาคเขตร้อน [1,2] สำหรับภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้พบการเผามากในพื้นที่ประเทศ ไทย กัมพูชา และลาว [3] ปัจจุบันการเฝ้าระวังและการติดตามคุณภาพอากาศของประเทศไทยใช้ข้อมูลหลักจากการตรวจวัดคุณภาพอากาศด้วยสถานีตรวจวัดทั่วประเทศ โดยตรวจวัดมลพิษอากาศที่สำคัญได้แก่ SO_2, NO_2, CO, O_3 และฝุ่นละอองขนาดเล็กโดยสถานีส่วนใหญ่ตรวจวัดเฉพาะฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM10) และมีบางสถานีที่ตรวจวัดฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5) โดยจากข้อมูลปี พ.ศ. 2550-2553 พบว่าระดับ PM10 ในช่วงที่มีการเผาในที่โล่งมีค่าสูงเกินค่ามาตรฐาน (120 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) ในหลายพื้นที่ติดต่อกันเป็นเวลานานโดยเฉพาะที่สถานีในจังหวัดแม่ฮ่องสอนมีค่าสูงสุด 518.5 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งเกินค่ามาตรฐานกว่า 4 เท่า [4] PM10 เป็นฝุ่นละอองขนาดเล็กที่มนุษย์สามารถหายใจเข้าไปได้ (respirable particulate matter) ผลกระทบของ PM10 มีทั้งผลกระทบโดยตรงกับระบบทางเดินหายใจแบบเฉียบพลัน (acute effect) และผลกระทบแบบเรื้อรัง (chronic effect) [5] จากสถิติปัญหาด้านสุขภาพพบว่าฝุ่นละอองขนาดเล็กจากเผาในที่โล่งส่งผลกระทบมากคือช่วงวัยเด็กในจังหวัดลำปางอย่างมีนัยสำคัญ [6] และยังส่งผลต่อผู้ป่วยในกลุ่มเสี่ยงที่เป็นโรคภูมิแพ้ทางเดินหายใจ โรคหัวใจ และหอบหืด ทำให้จำนวนผู้ป่วยสูงขึ้นถึง 3.5 เท่า จากสถิติเข้ารักษาที่โรงพยาบาลมหาราชเชียงใหม่ในปี พ.ศ. 2550 ฝุ่นละอองขนาดเล็กที่เข้าไปยังปอดจะทำให้เกิดการอักเสบในหลอดเลือดก่อให้เกิดอันตรายต่อปอดเช่นการอักเสบของถุงลมปอด หายใจลำบากถึงขั้นภาวะวิกฤตหรืออาจทำให้หลอดเลือดหัวใจอักเสบได้ นอกจากนั้นฝุ่นละอองจากการเผาในที่โล่งยังเป็นปัญหาต่อภาคธุรกิจท่องเที่ยวและธุรกิจการบริการ จากข้อมูลในช่วงเดือนมีนาคมถึงเมษายน พ.ศ. 2550 แสดงให้เห็นว่าจำนวนนักท่องเที่ยวของจังหวัด เชียงใหม่ แม่ฮ่องสอน และเชียงราย ลดลงร้อยละ 25 ทำให้สูญเสียเงินไปประมาณเกือบ 2 พันล้านบาท เนื่องจากช่วงหมอกควันสายการบินได้มีการงดเที่ยวบินเพื่อความปลอดภัยของการบิน และนักท่องเที่ยวลดลงเนื่องจากกังวลถึงผลกระทบด้านสุขภาพ [4]

การเผาในที่โล่งเป็นปัญหาที่สำคัญของประเทศ

ไทย มีการศึกษาจำนวนมาก เช่น การศึกษาและพัฒนาฐานข้อมูลการปล่อยมลพิษจากการเผาในที่โล่งของไทยสำหรับพื้นที่การเกษตร [7] ข้าว [8, 9] และป่าไม้ [10] การศึกษาความเข้มข้นในบรรยากาศและองค์ประกอบของฝุ่นซึ่งชี้ให้เห็นชัดเจนในช่วงที่มีปัญหาหมอกควันรุนแรง โดยพบว่าฝุ่นขนาดเล็กมีแหล่งกำเนิดหลักมาจากการเผาชีวมวล [11,12] นอกจากนั้นยังมีการศึกษาและการพยากรณ์ด้วยแบบจำลองในรูปแบบการเตือนภัยจากสภาพอุตุนิยมวิทยาและการปล่อยจากการเผาในที่โล่งที่มีโอกาสจะทำให้ความเข้มข้นในบรรยากาศสูง [13] การพัฒนาระบบพยากรณ์เตือนภัยมลภาวะหมอกควันสำหรับภาคเหนือตอนบนของประเทศไทยโดยใช้แบบจำลองหลักจาก MM5-HYSPLIT [14] การศึกษาความเข้มข้นของ CO, PM10 และการพัดพาด้วยแบบจำลอง WRF-Chem โดยพบว่ามีความเข้มข้นสูงบริเวณภาคเหนือและตะวันออกเฉียงเหนือของไทยในช่วงที่มีการเผาจำนวนมาก[15] และการศึกษาผลของการเผาในที่โล่งด้วยแบบจำลอง WRF/CALPUFF ในจังหวัดเชียงใหม่ซึ่งพบว่าสามารถจำลองความเข้มข้นของ PM10 และ PM2.5 และพบความสัมพันธ์กับการเผาในที่โล่ง [16]

แบบจำลอง community multi-scale air quality (CMAQ) เป็นแบบจำลองที่มีประสิทธิภาพและนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายสามารถคำนวณการแพร่กระจายได้หลายขนาดทั้งขนาดการแพร่กระจายในตัวเมือง (urban scale) และการแพร่กระจายระดับภูมิภาค (regional scale) แบบจำลอง CMAQ ออกแบบภายใต้แนวคิด “บรรยากาศหนึ่งเดียว (one atmosphere)” แบบจำลองสามารถคำนวณกระบวนการในบรรยากาศที่ซับซ้อนทั้งกระบวนการทางฟิสิกส์และเคมีบรรยากาศ สามารถคำนวณมลพิษอากาศได้หลายชนิดพร้อมกัน [17] แบบจำลองช่วยให้ทราบระดับมลพิษทั่วทั้งพื้นที่ศึกษา ซึ่งแตกต่างจากการตรวจวัดด้วยเครื่องมือที่เป็นการตรวจวัดเฉพาะจุด (point measurement) นอกจากนั้นแบบจำลอง CMAQ ยังช่วยประเมินผลสำเร็จของมาตรการควบคุมมลพิษอากาศ เช่น การศึกษาเพื่อประเมินผลกระทบจากแหล่งกำเนิด บ้านเรือน อุตสาหกรรม โรงไฟฟ้า การขนส่ง การเกษตร และการเผามวลชีวภาพที่ปักกิ่ง ซึ่งพบว่าผลกระทบ PM10 ในช่วงฤดูหนาวส่วนมากมาจาก บ้านเรือน 37 % และอุตสาหกรรม 31 % ส่วนในช่วงฤดูร้อนมาจากอุตสาหกรรม 41 % และโรงไฟฟ้า 31 % และยังแสดงให้เห็นว่าระดับ PM10 ที่สูงขึ้นได้รับอิทธิพลมาจากการพัดพาจากแหล่งกำเนิดภายนอกปักกิ่ง [18] การศึกษาผลกระทบจากการเผาในที่โล่งในพื้นที่เอเชียตะวันออกและตะวันออกเฉียงใต้ในปี พ.ศ. 2549 ได้แสดงผลการจำลองค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละออง (AOD) โดยเปรียบเทียบสมมุติฐานในกรณีปกติที่มีการเผาในที่โล่งและการปล่อยจากแหล่งกำเนิดอื่น กับกรณีที่มีเฉพาะการปล่อยจากการเผาในที่โล่งซึ่งแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าการเผาในที่โล่งเป็นแหล่งกำเนิดหลักของฝุ่นละอองในภูมิภาคนี้ในช่วงเดือนมีนาคมถึงเมษายน โดยพบมากในประเทศพม่า ภาคเหนือของไทย ลาว บางพื้นที่ของเวียดนาม และกัมพูชา โดยพัดพาไปได้ไกลส่งผลกระทบไปถึงภูมิภาคเอเชียตะวันออก [19] การศึกษาผลกระทบของการเผาในที่โล่งต่อหมอกควันในช่วงฤดูร้อนพื้นที่เขตลุ่มแม่น้ำแยงซีในประเทศจีนปี พ.ศ. 2554 พบว่าฝุ่นละออง PM2.5 จากการเผาในที่โล่งมีสัดส่วนมากถึง 66 % ของ PM10 โดยส่งผลกระทบต่อระดับ PM2.5 ในบรรยากาศ 37 % ผล กระทบของฝุ่นละอองมาจากทั้งแหล่งกำเนิดการเผาในที่โล่งในภูมิภาคและจากภายนอกภูมิภาค [20]

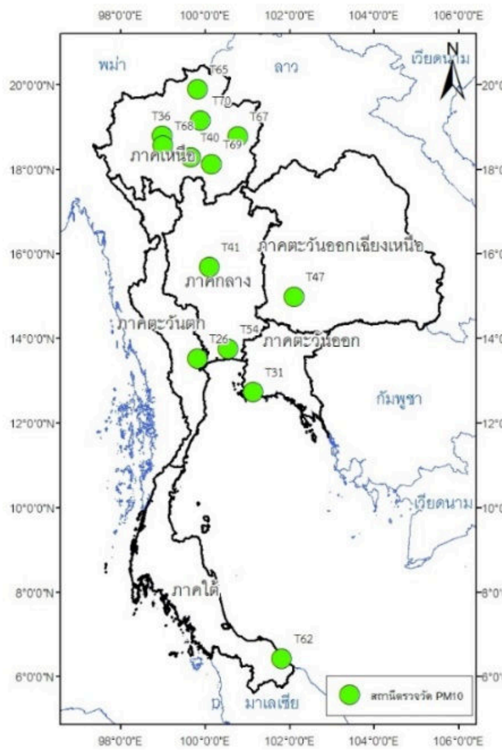
การจัดการมลพิษอากาศต้องควบคุมที่แหล่งกำเนิดให้เหมาะสม โดยต้องทราบถึงที่มาและระดับผลกระทบของฝุ่นละอองจากแหล่งกำเนิดซึ่งจะทำให้

เข้าใจสาเหตุของปัญหามลพิษอากาศที่เกิดขึ้น จากการศึกษาที่ผ่านมาทำให้ทราบว่าประเทศไทยประสบปัญหาหมอกควันมีระดับฝุ่นละอองขนาดเล็กเกินมาตรฐานคุณภาพอากาศเป็นประจำทุกปีและส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนเป็นอย่างมาก มีการศึกษาในระดับภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ทราบถึงแหล่งกำเนิดฝุ่นที่สำคัญมาจากการเผาชีวมวล อย่างไรก็ดี ยังไม่มีการศึกษาถึงสัดส่วนผลกระทบของการเผาที่มีต่อระดับฝุ่นละอองในบรรยากาศของประเทศไทย ซึ่งจะสามารถให้คำตอบได้ว่าฝุ่นละอองในบรรยากาศประเทศไทยมาจากแหล่งกำเนิดไหนมีปริมาณสัดส่วนความเข้มข้นในบรรยากาศเป็นเท่าไหร่เมื่อเทียบกับแหล่งกำเนิดอื่น การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินผลกระทบของการเผาในที่โล่งต่อระดับความเข้มข้นของ PM10 ในบรรยากาศในประเทศไทยและในแต่ละภาคของประเทศด้วยระบบแบบจำลอง WRF-CMAQ ในช่วงฤดูร้อนที่มีปัญหาหมอกควันรุนแรงในเดือนมีนาคม พ.ศ. 2555 ข้อมูลเหล่านี้จะเป็นข้อมูลสำคัญอย่างมากสำหรับการจัดการปัญหาคุณภาพอากาศในการกำหนดยุทธศาสตร์แก้ปัญหาฝุ่นละอองในบรรยากาศได้อย่างมีประสิทธิผล แก้ปัญหาได้ตรงแหล่งกำเนิดทั้งภาครวมและแต่ละภูมิภาคของประเทศที่มีลักษณะของปัญหาที่แตกต่างกัน และเป็นองค์ความรู้ที่สำคัญในการจัดการคุณภาพอากาศต่อไปในอนาคต

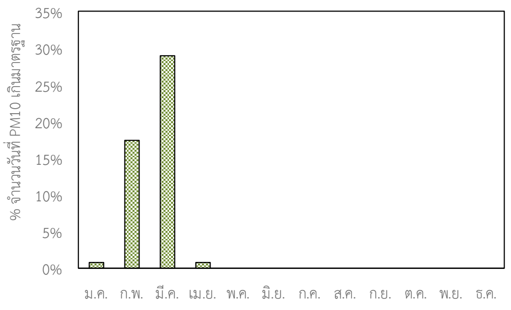
2. อุปกรณ์และวิธีการ

การศึกษาผลกระทบของแหล่งกำเนิดการเผาในที่โล่งและแหล่งกำเนิดอื่นที่มีต่อระดับ PM10 ในประเทศไทยนี้ ศึกษาโดยการจำลองความเข้มข้น PM10 ด้วยแบบจำลองคุณภาพอากาศโดยจำลองระดับความเข้มข้นและการแพร่กระจายของ PM10 ในบรรยากาศในกรณีที่มีการปล่อยมลพิษอากาศแบบปกติจากการปล่อยทุกแหล่งกำเนิด และกรณีการปล่อยมลพิษอากาศเฉพาะจากแหล่งกำเนิดโดยมนุษย์ประกอบด้วยแหล่งกำเนิดจากบ้านเรือน การจราจร โรงงานอุตสาหกรรม และโรงไฟฟ้า การประเมินผลกระทบของแหล่งกำเนิดการเผาในที่โล่งคำนวณโดยค่า PM10 จากการจำลองกรณีการปล่อยปกติทุกแหล่งกำเนิดลบด้วยค่า PM10 ในกรณีการปล่อยมลพิษอากาศเฉพาะจากแหล่งกำเนิดโดยมนุษย์ การประเมินความถูกต้องของแบบจำลองด้วยการเปรียบเทียบผลการจำลองความเข้มข้น PM10 กับข้อมูลตรวจวัด PM10 จากสถานีตรวจวัดโดยกรมควบคุมมลพิษครอบคลุมทั่วประเทศไทยด้วยเครื่องมือ beta-ray และ tapered element oscillating microbalance (TEOM) ได้แก่ สถานีตรวจวัดเชียงใหม่ (T36), ลำปาง (T40), เชียงราย (T65), น่าน (T67), ลำพูน (T68), แพร่ (T69), พะเยา (T70), กรุงเทพฯ (T54), นครสวรรค์ (T41), ระยอง (T31), นราธิวาส (T62), ราชบุรี (T26) และนครราชสีมา (T47) แสดงพิกัดที่ตั้งสถานีดังรูปที่ 1 โดยช่วงเวลาการศึกษานี้เป็นช่วงที่มีปัญหาหมอกควันรุนแรงซึ่งพบว่าเดือนมีนาคม พ.ศ. 2555 มีความเข้มข้นของ PM10 สูงเกินค่ามาตรฐานรายวันมากที่สุด 29 เปอร์เซ็นต์ ของข้อมูลการตรวจวัดจากทุกสถานีแสดงดังรูปที่ 2 ขอบเขตพื้นที่การศึกษาครอบคลุมทั่วทุกภาคของประเทศไทยและครอบคลุมแหล่งกำเนิดการเผาในที่โล่งที่มีปริมาณสูงในภูมิภาคตั้งแต่ละติจูดที่ 5 ถึง 30 °N และลองจิจูดที่ 90 ถึง 120 °E

ระบบการจำลองใช้แบบจำลองคุณภาพอากาศจากแบบจำลอง CMAQ (version4.7.1) [17] โดยต้องการข้อมูลนำเข้าสภาพอุตุนิยมวิทยาจากแบบจำลอง WRF model (version3.4) [21] และข้อมูลการปล่อยมลพิษอากาศจากแหล่งกำเนิดโดยในการศึกษานี้ใช้ข้อมูลการปล่อยจากมนุษย์จาก studies

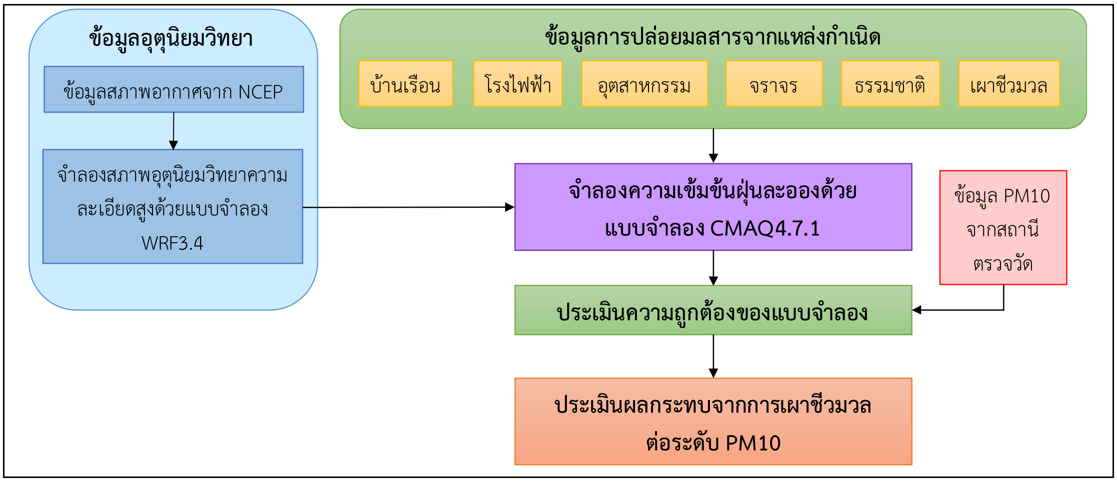


รูปที่ 1 พิกัดที่ตั้งของสถานีตรวจวัด PM10 ของกรมควบคุมมลพิษ



รูปที่ 2 เปอร์เซ็นต์จำนวนวันที่ความเข้มข้น PM10 ที่เกินค่ามาตรฐานรายวันในแต่ละเดือนจากการตรวจวัดในประเทศไทยปี พ.ศ. 2555

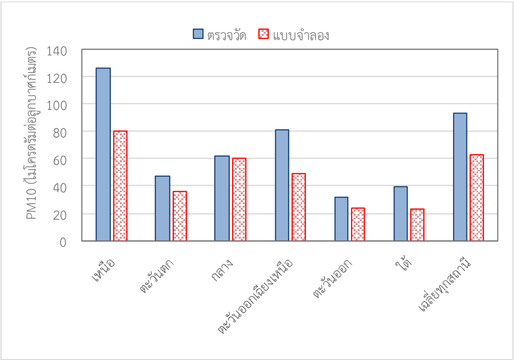
of emissions, atmospheric composition, clouds and climate coupling by regional surveys (SEAC4RS) [22] ที่ได้ศึกษาการปล่อยมลพิษจากมนุษย์ในพื้นที่ภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้โดย NASA ในปี พ.ศ. 2555 ซึ่งเป็นช่วงเวลาเดียวกันกับการศึกษาวิจัยนี้ ฐานข้อมูล SEAC4RS ประกอบไปด้วยข้อมูลการปล่อยจาก โรงไฟฟ้า อุตสาหกรรม การจราจร และบ้านเรือน นอกจากนั้นยังนำเข้าข้อมูลการปล่อยจากธรรมชาติได้จากแบบจำลอง model of emissions of gases and aerosols from nature (MEGAN) และข้อมูลการปล่อยฝุ่นละอองจากการเผาในที่โล่งใช้ข้อมูลจาก global fire assimilation system (GFASv1.1) เนื่องจากมีความละเอียดเชิงพื้นที่และเวลาและมีชนิดมลพิษเพียงพอกับแบบจำลอง [23] สำหรับการตั้งค่าการจำลองมีความละเอียดเชิงพื้นที่ 27x27 ตารางกิโลเมตร แบ่งตามความสูง 23 ชั้น จากพื้นดินจนถึงระดับความสูงที่ความกดอากาศ 10 เฮกโตปาสคาล หรือประมาณ 20 กิโลเมตร และแบ่งการจำลองเป็น 14 ชั้น ในระดับใกล้พื้นดินจนถึงระดับชั้น planetary boundary layer (PBL) ระบบแบบจำลองต้องการข้อมูลนำเข้าสภาพอากาศเบื้องต้นและสภาพพื้นที่ขอบ (initial and boundary conditions) โดยใช้ข้อมูลจาก National Center for Environmental Predic-tions (NCEP) Final Analysis (FNL) ซึ่งมีข้อมูลทุก 6 ชั่วโมง และมีความละเอียดเชิงพื้นที่ 1 x1 องศา สำหรับการจำลองสภาพอุตุนิยมวิทยาด้วยแบบจำลอง WRF แบบจำลอง CMAQ จำลองสภาพเริ่มต้น (initial condition) โดยการจำลองก่อนช่วงเวลาศึกษาเป็นระยะเวลา 5 วัน ตั้งแต่วันที่ 25-29 กุมภาพันธ์ และการจำลองสภาพพื้นที่ขอบ (boundary condition) จากผลการคำนวณของแบบจำลองโดเมนภายนอกซึ่งมีขอบเขตครอบคลุมภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ตอนบนความละเอียด 81x81 ตารางกิโลเมตร ขั้นตอนของระบบการจำลองความเข้มข้น PM10 ด้วยแบบจำลองคุณภาพอากาศแสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 แผนผังการจำลองความเข้มข้น PM10 ด้วยระบบแบบจำลอง WRF-CMAQ

3. ผลการวิจัยและวิจารณ์

3.1 การจำลองความเข้มข้น PM10 ในช่วงที่มีปัญหาหมอกควันในพื้นที่ประเทศไทย



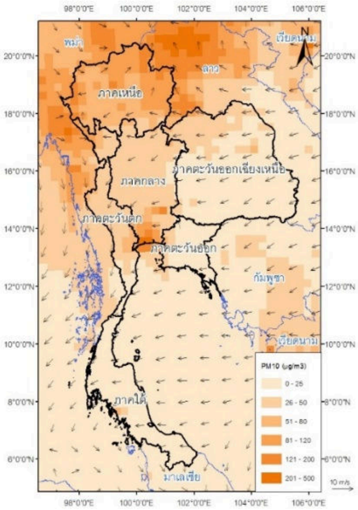
รูปที่ 4 ผลการเปรียบเทียบความเข้มข้น PM10 ค่าเฉลี่ยเดือนมีนาคม จากแบบจำลอง และการตรวจวัด (หน่วย: ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

รูปที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบผลการจำลองความเข้มข้น PM10 กับข้อมูลการตรวจวัดด้วยสถานีภาคพื้นจำนวน 13 สถานี ซึ่งผลการเปรียบเทียบพบว่าโดยทั่วไปแบบจำลองสามารถคำนวณค่า PM10 ได้ดีพอสมควร โดยค่าเฉลี่ยรวมทุกสถานีของ PM10 จากการจำลอง 63 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และจากการตรวจวัด 93 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีความคลาดเคลื่อนแตกต่างกันในแต่ละภูมิภาค โดยพบความคลาดเคลื่อนของการจำลองมากในช่วงที่มีปริมาณการเผาชีวมวลสูงทั้งนี้ส่วนหนึ่งเนื่องจากข้อมูลการปล่อยฝุ่นละอองจากการเผาชีวมวลมีความคลาดเคลื่อนสูง ภาคเหนือของประเทศไทยมีปริมาณการปล่อยจากแหล่งกำเนิดหลักการเผาชีวมวล จึงทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนสูงกว่ากว่าภูมิภาคอื่น โดยข้อมูลการปล่อยการเผาชีวมวลนี้มียังข้อจำกัดในการประมาณทั้งข้อมูลพื้นที่เผา ตัวแปรที่ใช้ประมาณปริมาณชีวมวลที่ถูกเผาที่ยังมีค่าไม่เหมาะสมครอบคลุมกับชนิดพื้นที่ที่มีความหลากหลายและมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาอีกด้วย เช่น ตัวแปรสำหรับประมาณปริมาณชีวมวลสำหรับพื้นที่เกษตรกรรมมีตัวแปรเพียงค่าเดียว แต่ชนิดพื้นที่ปลูกพืชแตกต่างชนิดกันก็มีปริมาณชีวมวลไม่เท่ากัน แต่ละข้อมูลบัญชีการปล่อยมลพิษอากาศจากการเผาชีวมวลมีค่าแตกต่างกันมากดังจะเห็นได้จากการศึกษาการประมาณการปล่อย PM10 จากการเผาในพื้นที่ป่าของประเทศไทยในปี พ.ศ. 2548-2552 พบว่าผลจากการประมาณการปล่อยด้วยข้อมูลจุดความร้อนและใช้ตัวแปรในการคำนวณ

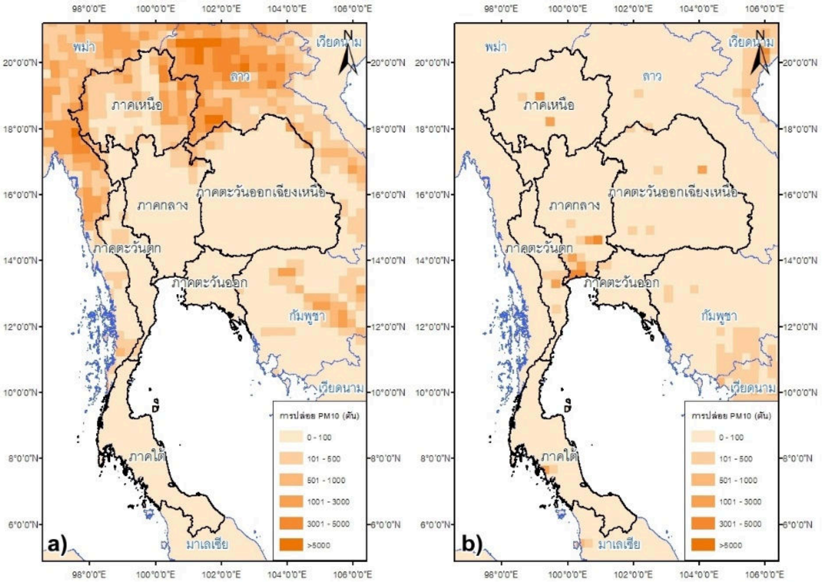
ที่มาจากภายในประเทศมีค่าน้อยกว่าการประมาณของฐานข้อมูลการปล่อย Global Fire Emissions Database (GFED) ประมาณ 11 เท่า [10] ในขณะเดียวกันยังมีการเปรียบเทียบจากฐานข้อมูลอื่นในพื้นที่เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ซึ่งพบว่าฐานข้อมูลจาก Fire INventory from NCAR (FINN) ประมาณการปล่อย CO_2 มากกว่าฐานข้อมูล GFED และ GFAS ประมาณ 4 เท่า [24] ความคลาดเคลื่อนของฐานข้อมูลการปล่อยมลพิษจากการเผาชีวมวลทำให้การจำลองมลพิษอากาศในบรรยากาศด้วยแบบจำลองคุณภาพอากาศมีความคลาดเคลื่อนสูงดังจะเห็นได้จากในหลายการศึกษา เช่น การจำลอง PM10 ที่หมู่เกาะตงซาในทะเลจีนใต้ที่พัดพามาจากการเผาในที่โล่งในทวีปเอเชียตะวันออกเฉียงใต้พบว่าการจำลองระดับ PM10 มีค่าสูงกว่าการตรวจวัดถึง 1.49 เท่า [25] และการทดสอบความถูกต้องของการศึกษาการประเมินผลกระทบของการเผาในที่โล่งในพื้นที่เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ที่มีต่อเอเชียตะวันออก ได้เปรียบเทียบผลการจำลอง CO ที่สถานีอำเภอพิมายโดยการใช้ฐานข้อมูลการเผา FLAMBE และฐานข้อมูลการเผา GFED เปรียบเทียบกับค่าจากการตรวจวัด CO 143.9, 121.41 และ 192.9 ppb ตามลำดับ [26] ในขณะที่ผลการเปรียบเทียบการจำลอง CO ในพื้นที่ภาคเหนือประเทศไทยที่มีการเผาในที่โล่งสูงได้ผลการจำลองที่สูงกว่าค่าตรวจวัดประมาณสองเท่า โดยค่า CO โดยการจำลองด้วยฐานข้อมูล FLAMBE เปรียบเทียบกับค่าตรวจวัดในจังหวัดเชียงใหม่และลำปางได้ค่าเฉลี่ยความเข้มข้น CO เดือนมีนาคมจากแบบจำลอง 795.0 ppb ในขณะที่ค่าจากการตรวจวัดมีค่า 303.2 ppb [19] จะเห็นได้ว่าสำหรับการจำลองมลพิษอากาศที่มีแหล่งกำเนิดหลักจากการเผาในที่โล่งในหลายการศึกษาจะต้องมีการคัดเลือกฐานข้อมูลก่อนนำมาใช้จำลองความเข้มข้นซึ่งผลของการจำลองยังมีความคลาดเคลื่อนพอสมควรจากค่าการตรวจวัดเนื่องจากข้อจำกัดของฐานข้อมูลการปล่อยจากการเผาในที่โล่ง โดยในการศึกษานี้ได้เลือกใช้ฐานข้อมูลการปล่อยจาก GFAS ซึ่งสามารถจำลองความเข้มข้นของ PM10 ในประเทศไทยในการศึกษาก่อนหน้านี้ได้ใกล้เคียงกับค่าตรวจวัดมากกว่าฐานข้อมูลอื่น [27]

ผลการจำลองความเข้มข้น PM10 เฉลี่ยในเดือนมีนาคม พ.ศ. 2555 ดังรูปที่ 5 พบว่าระดับ PM10 มีความเข้มข้นสูงพบในพื้นที่ภาคเหนือของไทย ประเทศพม่าบริเวณที่ติดกับประเทศไทย และตอนเหนือของประเทศลาว ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีการปล่อยมลพิษอากาศจากการเผาในที่โล่งในปริมาณมากแสดงดังรูปที่ 6a นอกจากนั้นยังพบความเข้มข้น PM10 สูงกระจายตัวตามพื้นที่ที่เป็นเมืองใหญ่ในประเทศโดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณกรุงเทพและปริมณฑล เนื่องจากมีการปล่อยจากมนุษย์แสดงดังรูปที่ 6b ระดับความเข้มข้นของ PM10 ในบรรยากาศของไทยจากการจำลองมีค่าเฉลี่ยของเดือนมีนาคมทั่วประเทศ (คำนวณจากทุกกริดของแบบจำลองในประเทศไทย) 39 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จากการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นฝุ่นละอองในแต่ละภูมิภาคของประเทศไทยพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นฝุ่นละอองตามพื้นที่สูง โดยมีค่าเฉลี่ยระดับ PM10 ภาคเหนือ ภาคกลาง ภาคตะวันตก ภาคตะวันออก ภาคตะวันออก เฉียงเหนือ และภาคใต้ คือ 86, 45, 46, 21, 25 และ 9 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ระดับความเข้มข้นฝุ่นละอองในแต่ละภูมิภาคที่ต่างกันมีสาเหตุอันเนื่องมาจากผลของการปล่อยจากแหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองที่แตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ เช่น ในพื้นที่ตัวเมืองและพื้นที่อุตสาหกรรมจะได้รับผลจากการปล่อยที่มาจากมนุษย์เป็นหลัก แต่ในพื้นที่นอกเมืองที่เป็นพื้นที่การเกษตรและพื้นที่ป่าจะได้รับอิทธิพลมากจากการเผาในที่โล่ง โดยอิทธิพลเนื่องจากแหล่ง กำเนิดแตกต่าง

กันจะมีการวิเคราะห์โดยละเอียดด้วยการใช้แบบจำลองในส่วนถัดไป นอกจากนั้นปัจจัยที่ทำให้ความเข้มข้นแตกต่างกันในแต่ละภูมิภาคยังมาจากสภาพอุตุนิยมวิทยาที่แตกต่างกันในแต่ละพื้นที่โดยมีปัจจัยหลัก ได้แก่ ทิศทางลม ความเร็วลม ความคงตัวของบรรยากาศ (atmospheric stability) และฝน ซึ่งโดยทั่วไปลักษณะภูมิอากาศของประเทศไทยในเดือนมีนาคมอยู่ในช่วงฤดูร้อน ซึ่งมีอุณหภูมิสูงและมักจะพบฝนกระจายตัวในบางพื้นที่ ส่วนภาคใต้ของไทยเป็นภูมิภาคที่มีฤดูกาลแตกต่างจากภูมิภาคอื่นของประเทศ โดยช่วงเดือนมีนาคมมีอุณหภูมิสูงและฝนตกมากในหลายพื้นที่ ลักษณะอากาศเช่นนี้จะส่งผลทำให้ระดับความเข้มข้นของฝุ่นละอองในอากาศลดลง อีกทั้งยังช่วยลดแหล่งกำเนิดจากการเผาในที่โล่งด้วยเช่นกัน



รูปที่ 5 ความเข้มข้นและการแพร่กระจาย PM10 จากแบบจำลอง CMAQ ในเขตประเทศไทยและพื้นที่ข้างเคียง ช่วงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2555

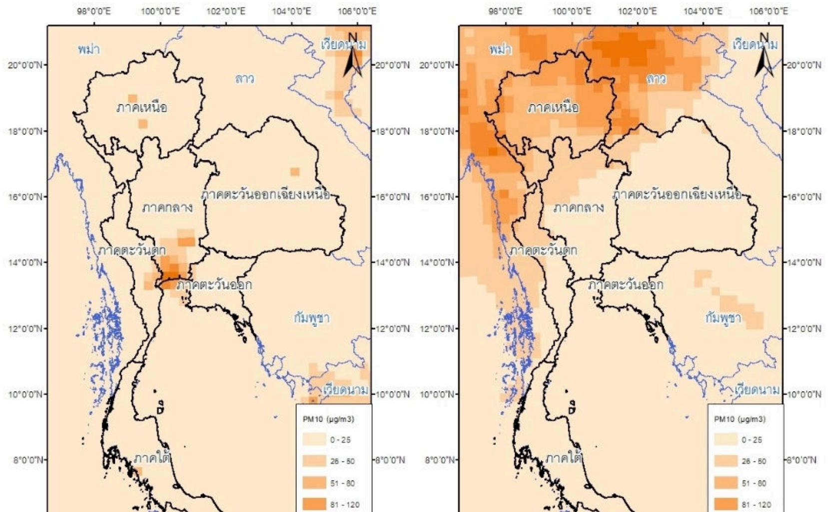


รูปที่ 6 การปล่อย PM10 จาก a) แหล่งกำเนิดการเผาในที่โล่ง b) แหล่งกำเนิดกิจกรรมของมนุษย์ ในเขตประเทศไทยและพื้นที่ข้างเคียง ช่วงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2555

3.2 ผลกระทบของแหล่งกำเนิดจากการเผาในที่โล่งและแหล่งกำเนิดอื่นต่อระดับความเข้มข้นของ PM10 ในประเทศไทย

การพิจารณาผลกระทบของแหล่งกำเนิดจากกิจกรรมของมนุษย์ (anthropogenic emission) ได้แก่ แหล่งกำเนิดจากบ้านเรือน การจราจร โรงงาน

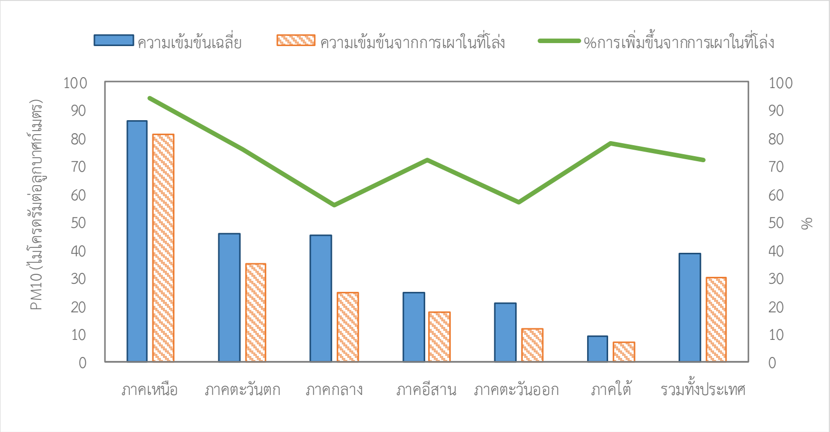
อุตสาหกรรม และโรงไฟฟ้า โดยการจำลองระดับความเข้มข้นของ PM10 เฉพาะการปล่อยจากกิจกรรมมนุษย์ พบว่ามีความเข้มข้น PM10 เฉลี่ยไม่สูงมาก โดยค่าเฉลี่ย PM10 ทั่วประเทศจากแบบจำลองในเดือนมีนาคมมีค่าเพียง 9 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยพบระดับฝุ่นละอองสูงในพื้นที่ที่เป็นเมืองใหญ่ เมืองหลวง และพื้นที่อุตสาหกรรม โดยพบความเข้มข้นสูงที่บริเวณจังหวัดกรุงเทพฯและจังหวัดโดยรอบ และเมืองใหญ่ในภูมิภาคอื่น จากการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นฝุ่นละอองในแต่ละภูมิภาคของประเทศไทยพบว่าเฉลี่ยระดับ PM10 ภาคกลาง ภาคตะวันตก ภาคตะวันออก ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคเหนือ และภาคใต้ 20, 11, 9, 7, 5 และ 2 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าภาคกลางเป็นภูมิภาคที่มีระดับ PM10 สูงกว่าภูมิภาคอื่นเป็นอย่างมากเนื่องจากภาคกลางเป็นพื้นที่ที่มีประชากรหนาแน่นมีโรงงานอุตสาหกรรมจำนวนมากจึงมีกิจกรรมการปล่อยจากมนุษย์สูง ส่วนภาคตะวันตก และภาคตะวันออกที่มีระดับ PM10 สูงใน 3 อันดับแรก พบว่า PM10 ไม่ได้สูงทั่วทั้งภูมิภาคแต่จะสูงในบางพื้นที่บริเวณติดกับภาคกลางที่มีประชากรหนาแน่นและเป็นพื้นที่อุตสาหกรรม ส่วนภูมิภาคอื่นของไทยมีระดับ PM10 ที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์โดยทั่วไปมีระดับต่ำแต่จะมีระดับสูงเป็นบางพื้นที่ที่เป็นเมืองขนาดใหญ่ แสดงดังรูปที่ 7a



รูปที่ 7 ความเข้มข้น PM10 ในประเทศไทยและพื้นที่ข้างเคียงจากการจำลองด้วยแบบจำลอง CMAQ ของการปล่อยจาก a) แหล่งกำเนิดจากกิจกรรมของมนุษย์ และ b) แหล่งกำเนิดการเผาในที่โล่ง ในเดือนมีนาคม พ.ศ. 2555

การจำลองสถานการณ์ความเข้มข้นของ PM10 ที่ได้รับอิทธิพลเฉพาะแหล่งกำเนิดที่มาจากการเผาในที่โล่งแสดงดังรูปที่ 7b พบว่าระดับความเข้มข้นของ PM10 สูงในพื้นที่ภาคเหนือของไทย ประเทศพม่า และประเทศลาวตอนบน สำหรับผลของแหล่งกำเนิดจากการเผาในที่โล่งมีผลกระทบต่อความเข้มข้น PM10

ในประเทศไทยสูงโดยพบว่าค่าเฉลี่ยผลกระทบของการเผาในที่โล่งทั่วประเทศไทยมีสัดส่วนถึง 72 % โดยค่าเฉลี่ยระดับ PM10 ทั่วประเทศไทยจากการจำลองด้วย CMAQ 39 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในขณะที่ค่าเฉลี่ยความเข้มข้น PM10 ของการปล่อยจากเฉพาะแหล่งกำเนิดการเผาในที่โล่งมีค่า 30 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งจากการพิจารณาแหล่งกำเนิดมลพิษพบว่าประเทศไทยมีการปล่อย PM10 จากการเผาในที่โล่ง 163,434 ตัน ซึ่งคิดเป็น 75 % ของการปล่อย PM10 จากแหล่งกำเนิดทั้งหมดภายในประเทศ และมีการปล่อย PM10 จากแหล่งกำเนิดอื่นจากกิจกรรมของมนุษย์รวม 54,190 ตัน จากการวิเคราะห์แต่ละภูมิภาคในประเทศไทยพบว่าแหล่งกำเนิดการเผาในที่โล่งมีผลกระทบสูงทั่วทุกภูมิภาค โดยมีผลต่อระดับ PM10 มากกว่า 50 % ในทุกภูมิภาค ระดับผลกระทบแตกต่างไปในแต่ละภูมิภาค โดยสัดส่วนผลกระทบจากแหล่งกำเนิดการเผาในที่โล่งต่อภาคเหนือ ภาคใต้ ภาคตะวันตก ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคตะวันออก และภาคกลาง คือ 94, 78, 76, 72, 57 และ 55 % ตามลำดับ สัดส่วนผลกระทบจากการเผาในที่โล่งแสดงในรูปที่ 8 และ 9

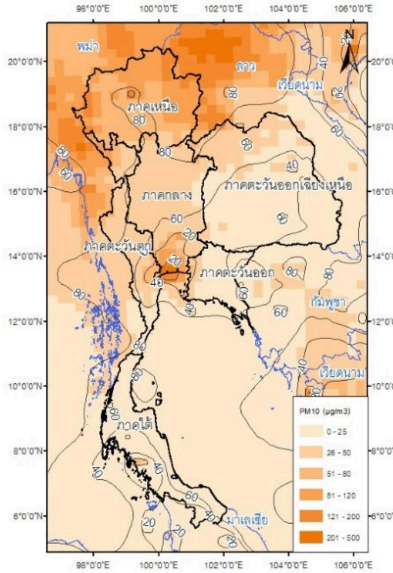


รูปที่ 8 ความเข้มข้น PM10 ของการจำลองกรณีปล่อยจากทุกแหล่งกำเนิด และกรณีที่มีการปล่อยเฉพาะการเผาในที่โล่ง และร้อยละผลกระทบของแหล่งกำเนิดการเผาในที่โล่งที่มีต่อระดับ PM10 ในแต่ละภูมิภาค

3.3 ผลกระทบจากแหล่งกำเนิดการเผาในที่โล่งและแหล่งกำเนิดอื่นต่อระดับความเข้มข้นของ PM10 ในแต่ละภูมิภาคของประเทศไทย

ภาคเหนือมีการปล่อย PM10 จากการเผาในที่โล่งมากที่สุดในประเทศไทยแสดงดังรูปที่ 6a โดยมีอัตราการปล่อย PM10 ทั้งหมดเฉลี่ย 1.16 ตัน/ตร.กม. โดยเป็นการปล่อยจากการเผาในที่โล่ง 1.09 ตัน/ตร.กม. ซึ่งคิดเป็นสัดส่วนการปล่อย 95 % ของการปล่อย PM10 จากทุกแหล่งกำเนิด ซึ่งทำให้มีระดับความเข้มข้น PM10 ในบรรยากาศสูงกว่าภูมิภาคอื่นโดยมีค่าเฉลี่ย PM10 ในเดือนมีนาคมทั้งพื้นที่ 86 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยเป็นผลมาจากแหล่งกำเนิดการเผาในที่โล่ง 94 % นอกจากนั้นการเคลื่อนที่ของมวลอากาศโดยทั่วไปพบลมตะวันตกเฉียงใต้พัดมลพิษอากาศที่มีการเผาในที่โล่งสูงจากประเทศพม่ามายังภาคเหนือประเทศไทย อีกทั้งลมภายในพื้นภาคเหนือมีความแปรปรวนสูงและมีความเร็วต่ำเนื่องจากพื้นที่มีลักษณะภูมิประเทศที่เป็นภูเขาสลับซับซ้อนทำให้เหมาะแก่การสะสมมลพิษ ดังนั้นระดับ PM10 ที่มีความเข้มข้นสูงในภาคเหนืออาจเกิดขึ้นได้จากทั้งการ

เผาในที่โล่งภายในพื้นที่ภาคเหนือและได้รับอิทธิพลจากการพัดพาจากการเผาในที่โล่งในประเทศรอบข้างที่มีการเผาจำนวนมากด้วยเช่นกัน



รูปที่ 9 ร้อยละของผลกระทบจากการเผาในที่โล่งในประเทศไทยและพื้นที่ข้างเคียง ช่วงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2555

ภาคตะวันตกมีระดับ PM10 สูงเป็นอันดับที่สองโดยมีค่าเฉลี่ยทั้งพื้นที่ 46 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร แต่ระดับความเข้มข้นต่ำกว่าภาคเหนือมาก ภาคตะวันตกได้รับอิทธิพลของการเผาในที่โล่งทำให้ระดับ PM10 ในบรรยากาศเพิ่มขึ้นในสัดส่วนที่สูง มีค่าสัดส่วนอิทธิพลของแหล่งกำเนิดจากการเผาในที่โล่ง 76 % (PM10 เพิ่มขึ้นจากการเผาในที่โล่ง 35 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) ภาคตะวันตกมีระดับ PM10 ที่ต่ำกว่าภาคเหนือพอสมควร ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณการปล่อยมลพิษอากาศจากแหล่งกำเนิดมีค่าต่ำกว่า โดยมีการปล่อย PM10 จากแหล่งกำเนิดทั้งหมดเฉลี่ย 0.51 ตัน/ตร.กม. ซึ่งเป็นการปล่อยจากการเผาในที่โล่ง 0.36 ตัน/ตร.กม. คิดเป็นสัดส่วนการปล่อย 70 % ของการปล่อย PM10 จากทุกแหล่งกำเนิด นอกจากนี้พื้นที่ภาคตะวันตกยังได้รับอิทธิพลจากการพัดพามลพิษอากาศจากภาคกลาง ภาคเหนือ และประเทศพม่าจึงทำให้มีระดับ PM10 ในบรรยากาศสูง

ภาคกลางมีระดับ PM10 เฉลี่ยทั้งภูมิภาค 45 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยได้รับผลกระทบจากการเผาในที่โล่ง 56 % แหล่งกำเนิดสำคัญมาจากการเผาในที่โล่งและการปล่อยจากมนุษย์โดยการเผาในที่โล่งกระจายตัวทั่วพื้นที่ภาคกลางซึ่งพบมากในบริเวณภาคกลางตอนบนซึ่งส่วนใหญ่ที่เป็นพื้นที่การเกษตร แต่การปล่อยจากมนุษย์ก็มีปริมาณมากอย่างเห็นได้ชัดในบริเวณกลุ่มจังหวัดกรุงเทพฯและพื้นที่โดยรอบทำให้มีระดับ PM10 สูงสุดในพื้นที่นี้ ส่วนพื้นที่อื่นที่ได้รับผลจากการเผาในที่โล่งมีความเข้มข้นที่ต่ำกว่า ปริมาณการปล่อย PM10 ทั่วทั้งภาคกลางมีอัตราการปล่อยเฉลี่ย 0.38 ตัน/ตร.กม. เป็นการปล่อยจากการเผาในที่โล่ง 0.11 ตัน/ตร.กม. คิดเป็นสัดส่วนการปล่อย 30 %

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีความเข้มข้นของ PM10 เฉลี่ย 25 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยได้รับผลกระทบจากการเผาในที่โล่ง 72 % ทั้งนี้ฝุ่นละอองส่วนมากของภูมิภาคนี้มีแหล่งกำเนิดมาจากการเผาในที่โล่งในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือเอง ปริมาณการปล่อย PM10 ทั่วทั้งภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีอัตราการปล่อยเฉลี่ย 0.24 ตัน/ตร.กม. เป็นการปล่อยจากการเผาในที่โล่ง 0.18 ตัน/ตร.กม. คิดเป็นสัดส่วนการปล่อย 76 % นอกจากนี้ยังได้รับอิทธิพลจากการพัดพามลพิษอากาศที่มีปริมาณการเผาสูงในประเทศลาวโดยลมตะวันออก ระดับความเข้มข้นของฝุ่นละอองในช่วงนี้จะมีมากในบริเวณตอนบนของภาคใกล้พื้นที่ที่มีการเผาในที่โล่งสูงในประเทศลาว และมีความเข้มข้นน้อยกว่าในตอนล่างของภาค

ภาคตะวันออกพบความเข้มข้น PM10 เฉลี่ย 21 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ภาคตะวันออก

ได้รับอิทธิพลจากแหล่งกำเนิดที่สำคัญทั้งจากการเผาในที่โล่งและแหล่งกำเนิดจากกิจกรรมของมนุษย์ โดยได้รับผลกระทบจากการเผาในที่โล่ง 57 % ปริมาณการปล่อย PM10 ทั่วทั้งภาคตะวันออกมีอัตราการปล่อยเฉลี่ย 0.1 ตัน/ตร.กม. เป็นการปล่อยจากการเผาในที่โล่ง 0.02 ตัน/ตร.กม. คิดเป็นสัดส่วนการปล่อย 22 % ภาคใต้มีระดับฝุ่นละอองต่ำที่สุดในประเทศไทยมีความเข้มข้น PM10 คือ 9 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ลักษณะความเข้มข้นที่ต่ำมากกว่าภาคอื่น เนื่องจากภาคใต้มีปริมาณการปล่อยมลพิษอากาศต่ำ ทั่วทั้งภาคใต้มีอัตราการปล่อยเฉลี่ย 0.06 ตัน/ตร.กม. เป็นการปล่อยจากการเผาในที่โล่ง 0.01 ตัน/ตร.กม. คิดเป็นสัดส่วนการปล่อย 12 % ช่วงเดือนมีนาคมภาคใต้อยู่ในช่วงที่มีฝนทำให้ชะล้างฝุ่นละอองตกจากบรรยากาศ (wet deposition) ประกอบกับภาคใต้ของไทยมีลักษณะภูมิประเทศที่ขนาบสองข้างด้วยทะเลทั้งฝั่งตะวันตกและตะวันออกซึ่งพื้นที่ในทะเลมีการปล่อยมลพิษอากาศต่ำมากกว่าพื้นที่บนบกที่มีกิจกรรมของมนุษย์ นอกจากนี้ลมที่พัดผ่านภาคใต้ของไทยจะมีความเร็วลมสูงทำให้เกิดการแพร่กระจายเจือจางมลพิษอากาศได้ดีทำให้ระดับความเข้มข้นของ PM10 ต่ำที่สุดในประเทศไทยในช่วงฤดูกาลนี้

4. สรุปผล

การประเมินผลกระทบของแหล่งกำเนิดมลพิษอากาศที่มีต่อระดับ PM10 ในประเทศไทยช่วงที่มีปัญหาหมอกควันรุนแรงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2555 พบว่าปัญหาฝุ่นละอองในประเทศไทยมีแหล่งกำเนิดหลักมาจากการเผาในที่โล่ง โดยมีสัดส่วนเฉลี่ยมาจากการเผาในที่โล่งถึง 72 % นอกจากนี้เมื่อศึกษาแยกในแต่ละภูมิภาคยังพบว่าทุกภูมิภาคในประเทศไทยระดับ PM10 เป็นผลมาจากแหล่งกำเนิดการเผาในที่โล่งมากกว่า 50 % โดยพบผลกระทบของแหล่งกำเนิดการเผาในที่โล่งต่อระดับ PM10 ในภาคเหนือ ภาคใต้ ภาคตะวันตก ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคตะวันออก และ ภาคกลาง เป็น 94, 78, 76, 72, 57 และ 55 % ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าระดับฝุ่นละอองเป็นผลมาจากแหล่งกำเนิดจากกิจกรรมมนุษย์สูงในภาคกลางและภาคตะวันออก โดยเฉพาะในพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล ข้อมูลสัดส่วนผลกระทบจากแหล่งกำเนิดมลพิษที่มีต่อระดับฝุ่นละอองในบรรยากาศจากการศึกษานี้เป็นข้อมูลสำคัญในการวางยุทธศาสตร์แก้ไขปัญหาฝุ่นละอองของประเทศไทยในช่วงฤดูร้อนที่พบปัญหาหมอกควันรุนแรงเป็นประจำได้อย่างเหมาะสม แก้ปัญหาได้ตรงกับแหล่งกำเนิดที่มีผลกระทบต่อคุณภาพอากาศมาก ซึ่งการแก้ปัญหาฝุ่นละอองประเทศไทยควรมุ่งเน้นไปที่การลดการเผาในที่โล่งเป็นหลัก โดยเฉพาะอย่างยิ่งภาคเหนือประเทศไทยที่ได้รับผลกระทบหลักจากการเผาชีวมวล อย่างไรก็ดีมลพิษจากการเผาในที่โล่งสามารถเคลื่อนที่ได้ไกล (long-rang transport) เคลื่อนที่ข้ามประเทศได้ ช่วงฤดูร้อนมีแหล่งกำเนิดการเผาในที่โล่งปริมาณสูงทั้งในประเทศและประเทศข้างเคียง จึงควรมีการศึกษาในอนาคตเพิ่มเติมที่ชัดเจนถึงผลกระทบของแหล่งกำเนิดท้องถิ่นภายในประเทศและผลกระทบจากหมอกควันข้ามแดนจากต่างประเทศ รวมถึงระดับการควบคุมมลพิษในแต่ละแหล่งกำเนิดที่ทำให้คุณภาพอากาศไม่เกินค่ามาตรฐานที่ยอมรับได้ เพื่อให้การแก้ไขปัญหาฝุ่นละอองของประเทศไทยมีเป้าหมายชัดเจนแก้ไขถูกแหล่งกำเนิด ถูกพื้นที่และเกิดประสิทธิผลในอนาคตต่อไป นอกจากนั้นการศึกษานี้มีความคลาดเคลื่อนในการจำลองความเข้มข้น PM10 โดยส่วนใหญ่ประมาณได้ค่าน้อยกว่าค่าจากการตรวจวัด จึงควรมีการพัฒนาการประมาณมลสารจากการเผาในที่โล่งและระบบการจำลองให้มีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้นในอนาคต

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอบคุณ ทุนงบประมาณแผ่นดินมหาวิทยาลัยพะเยา รหัสโครงการเลขที่ R020056213020 สำหรับการสนับสนุนทุนในการทำวิจัย และขอบคุณข้อมูลตรวจวัดคุณภาพอากาศจากกรมควบคุมมลพิษ

6. รายการอ้างอิง

[1] Seiler, W. and Crutzen, P.J., 1980, Estimates of gross and net fluxes of carbon between the biosphere and the atmosphere from biomass burning, Climatic Change 2: 207-247.

[2] Hao, W.M. and Liu, M.H., 1994, Spatial and temporal distribution of tropical biomass burning, Global Biogeochem. Cycles 8: 495-503.

[3] Reid Jeffrey S., Hyer, E., Johnson, R., Holben, B.N., Yokelson, R., *et al.*, 2013, Observing and understanding the Southeast Asian aerosol system by remote sensing: An initial review and analysis for the Seven Southeast Asian Studies (7SEAS) program, Atmospheric Res. 122: 403-468.

[4] วิจารย์ สิมาฉายา, 2554, มลพิษจากหมอกควันในพื้นที่ภาคเหนือ : ปัญหาและแนวทาง, แหล่งที่มา : http://www.pcd.go.th/info_serv/air_thaihaze.html#h4, มีนาคม 2560.

[5] Fowler, C.T., 2003, Human health impacts of forest fires in the Southern United States: A literature review, J. Ecol. Anthropol. 7: 39-63.

[6] สิทธิชัย พิมลศรี และภวัต อารินทร์, 2553, สถานการณ์ปัญหาฝุ่นละอองในบรรยากาศและผลกระทบต่อสุขภาพประชาชนในจังหวัดลำปาง, นเรศวรวิจัย ครั้งที่ 6, มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก.

[7] Kanabkaew, T. and Kim Oanh, N.T., 2011, Development of spatial and temporal emission inventory for crop residue field burning, Environ. Model. Assess. 16: 453-464.

[8] Gadde, B., Bonneta, S., Menkeb, C. and Garivaita, S., 2009, Air pollutant emissions from rice straw open field burning in India, Thailand and the Philippines, Environ. Pollut. 157: 1554-1558.

[9] Cheewaphongphan, P. and Garivait, S., 2013, Bottom up approach to estimate air pollution of rice residue open burning in Thailand, Asia-Pacific J. Atmosph. Sci. 49: 139-149.

[10] Junpen, A., Garivait, S. and Bonnet, S., 2013, Estimating emissions from forest fires in Thailand using MODIS active fire product and country specific data, Asia-Pacific J. Atmosph. Sci. 49: 389-400.

[11] Tsai, Y.I., Sopajareec, K., Chotruksa, A., Wu, H.C. and Kuo, S.C., 2013, Source indicators of biomass burning associated with inorganic salts and carboxylates in dry season ambient aerosol in Chiang Mai Basin, Thailand, Atmosph. Environ. 78: 93-104.

[12] Chantara, S., Sillapapiromsuk, S. and Wiriya, W., 2012, Atmospheric pollutants

in Chiang Mai (Thailand) over a five-year period (2005-2009), their possible sources and relation to air mass movement, Atmosph. Environ. 60: 88-98.

[13] Kim Oanh, N.T. and Leelasakultum, K., 2011, Analysis of meteorology and emission in haze episode prevalence over mountain-bounded region for early warning, Sci. Total Environ. 409: 2261-2271.

[14] เกษมสันต์ มโนมัยพิบูลย์, 2552, การพัฒนาระบบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เบื้องต้นเพื่อให้ในงานพยากรณ์เตือนภัยมลภาวะหมอกควันสำหรับภาคเหนือตอนบนของประเทศไทยและการประยุกต์ใช้ในฤดูไฟป่าหน้าแล้ง, แหล่งที่มา : http://www.aqnis.pcd.go.th/project/northernhaze2551, มีนาคม 2560.

[15] วาฑิต วทัญญูไพศาล และนริศรา ทองบุญชู, 2552, แบบจำลองแบบบูรณาการเพื่อใช้ในการศึกษาความเป็นไปของมลพิษทางอากาศจากไฟป่าในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้, วิศวสารลาดกระบัง 26(2): 31-37.

[16] Teerachai, A. and Jiemjai, K., 2012, Investigation of fine and coarse particulate matter from burning areas in Chiang Mai, Thailand using the WRF/CALPUFF, J. Sci. Fac. Chiang Mai Univ. 39: 311-326.

[17] Byun, D.W. and Ching, J.K.S., 1999, Science algorithms of the EPA Models-3 Community Multiscale Air Quality (CMAQ), U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C.: EPA/600/R-99/030 (NTIS PB2000-100561).

[18]. Wang, L., Hao, J., He, K., Wang, S., Li, J., Zhang, O., Streets, D.G., Fu, J.S., Jang, C.J., Takekawa, H. and Chatani, S., 2008, A modeling study of coarse particulate matter pollution in Beijing: regional source contributions and control implications for the 2008 Summer Olympics, J. Air Waste Manag. Assoc. 58: 1057-1069.

[19] Huang, K., Fu, J.S., Hsu, C.N., Gao, Y., Dong, X., Tsay, S.C. and Lam, Y.F., 2013, Impact assessment of biomass burning on air quality in Southeast and East Asia during BASE-ASIA, Atmosph. Environ. 78: 291-302.

[20] Cheng, Z., Wang, S., Fu, X., Watson, J.G., Jiang, J., Fu, Q., Chen, C., Xu, B., Yu, J., Chow, J.C. and Hao, J., 2014, Impact of biomass burning on haze pollution in the Yangtze River delta, China: a case study in summer 2011, Atmos. Chem. Phys 14: 4573-4585.

[21] Skamarock, W.C., Klemp, J.B., Dudhia, J., Gill, D.O., Barker, D.M., Duda, M.G., Huang, X.Y., Wang, W. and Powers, J.G., 2008, A Description of the Advanced Research WRF Version 3. NCAR Technical Note NCAR/TN-475+STR, B. NCAR, CO, USA.

[22] Lu, Z. and Streets, D.G., The Southeast Asia Composition, Cloud, Climate Coupling Regional Study Emission Inventory, Available Source: http://bio.cgrer.uiowa.edu/SEAC4RS/html, March 2016.

[23] Andela, N., Kaiser, J.W., Heil, A., van Leeuwen, T.T., van der Werf, G.R., Wooster, M.J., Remy, S. and Schultz, M., 2013, Assessment of the Global Fire Assimilation System (GFASv1), JuSER, April: 1-75, FZJ-2015-00718.

[24] Shi, Y., Matsunaga, T., Saito, M., Yamaguchi, Y. and Chen, X., 2015, Comparison of global inventories of CO_2 emissions from biomass burning during 2002-2011 derived from multiple satellite products, Environ. Pollut. 206: 479-487.

[25] Chuang, M.T., Fu, J.S., Lin, N.H., Lee, C.T. and Gao, Y., *et al*., 2015, Simulating the transport and chemical evolution of biomass burning pollutants originating from Southeast Asia during 7-SEAS/2010 Dongsha experiment, Atmosph. Environ. 112: 294-305.

[26] Fu, J.S., Hsu, N.C., Gao, Y., Huang, K., Li, C., Lin, N.H. and Tsay, S.C., 2012, Evaluating the influences of biomass burning during 2006 BASE-ASIA: A regional chemical transport modeling, Atmos. Chem. Phys 12: 3837-3855.

[27] Vongruang, P., Wongwises, P. and Pimonsree, S., 2017, Assessment of fire emission inventories for simulating particulate matter in Upper Southeast Asia using WRF-CMAQ, Atmosph. Pollut. Res. (in press).