



การพยากรณ์ข้อมูลลมเชิงตัวเลข รอบพื้นที่โรงไฟฟ้าแม่เมาะ ด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์ ด้านอุตุนิยมวิทยา

ภูริศร์ วิริยะศิริ / ดร.รัตเกล้า พันธุ์ธำ

ฝ่ายสิ่งแวดล้อมโครงการ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

1. บทนำ

การเคลื่อนตัวของบรรยากาศเป็น
กุญแจสำคัญในการกระจายตัวของ
มลสารจากแหล่งกำเนิด รวมถึงการ
เคลื่อนที่และการเจือจางมลสารในบรรยากาศ
โดยที่กระบวนการต่างๆ เหล่านี้ล้วนขึ้นอยู่กับ
การเคลื่อนตัวของบรรยากาศหรือลมเป็นหลัก
แต่โดยทั่วไปแล้วพบว่าข้อมูลลมในระดับความ
สูงต่างๆเหนือพื้นดินนั้นมีจำกัด เนื่องจากค่าใช้จ่าย
ในการตรวจวัดข้อมูลลมที่ระดับความสูง

ต่างๆ เหนือพื้นดินต้องใช้งบประมาณในการลงทุนมาก รวมทั้ง
ยังมีค่าใช้จ่ายในการดูแลรักษาเครื่องมืออีกด้วย ดังนั้นในการ
ศึกษาข้อมูลลมและสภาพอุตุนิยมวิทยาเพื่อเป็นข้อมูลตั้งต้น
สำหรับคาดการณ์คุณภาพอากาศในพื้นที่รอบแหล่งกำเนิดต่างๆ
โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่ที่มีภูมิประเทศที่ซับซ้อน จึงมักนิยมใช้
แบบจำลองคณิตศาสตร์ด้านอุตุนิยมวิทยาในการศึกษา เพื่อให้ได้
ชุดข้อมูลที่มีความละเอียดเพียงพอต่อการใช้งาน โดยการตรวจสอบ
ความถูกต้องของผลการคำนวณจะใช้ข้อมูลตรวจวัดในพื้นที่
เปรียบเทียบกับผลจากแบบจำลองเพื่อพัฒนาและปรับปรุงให้
แบบจำลองสามารถใช้งานได้ดีสำหรับพื้นที่นั้นๆ ต่อไป

โรงไฟฟ้าแม่เมาะ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) ตั้งอยู่ในพื้นที่อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง นับเป็นโรงไฟฟ้าที่มีความสำคัญอย่างยิ่งโรงไฟฟ้าหนึ่งของประเทศไทย ด้วยเป็นโรงไฟฟ้าที่ใช้เชื้อเพลิงลิกไนต์ที่มีแหล่งผลิตภายในประเทศ จึงเป็นโรงไฟฟ้าที่มีคุณค่าต่อเศรษฐกิจของประเทศไทยโดยที่ที่ตั้งของโรงไฟฟ้าแม่เมาะมีลักษณะภูมิประเทศที่ซับซ้อนกล่าวคือตั้งอยู่ในพื้นที่ที่ล้อมรอบด้วยภูเขาที่มีลักษณะคล้ายแอ่งกระทะซึ่งลักษณะภูมิประเทศเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีอิทธิพลสำคัญต่อการเคลื่อนตัวของลมและสภาพบรรยากาศที่ทำให้อาจเกิดการสะสมตัวของมลสารในบางพื้นที่ในบางช่วงเวลาได้ โดย Hanna, S.R. และ Strimaitis, D.G. (1990) ได้แสดงตัวอย่างของสถานการณ์ที่เกิดการสะสมเข้มข้นของมลสารในภูมิภาคที่ซับซ้อนได้โดยเกิดการสะสมตัวของมลสารในภูมิภาคที่เป็นหุบเขาเป็นต้นในปัจจุบัน กฟผ. ได้ดำเนินการติดตั้งอุปกรณ์ดักจับมลสารต่างๆ ในโรงไฟฟ้าแม่เมาะไว้ครบถ้วนรวมทั้งมีมาตรการในการตรวจสอบและการดูแลรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมอย่างดี นอกจากนี้ด้วยความใส่ใจในคุณภาพสิ่งแวดล้อม กฟผ. จึงมุ่งทำงานในเชิงป้องกันมากยิ่งขึ้น จึงดำริว่าหากดำเนินการคาดการณ์ข้อมูลมลและสภาพบรรยากาศที่ระดับความสูงต่างๆ ได้ล่วงหน้า จะส่งผลดีต่อกระบวนการตรวจสอบและติดตามคุณภาพอากาศของ กฟผ. ได้มากยิ่งขึ้น อย่างเช่นกรณีที่มลสารอาจเกิดการพัดพาแล้วไปเกิดสะสมตัวในบางพื้นที่ในช่วงเวลาหนึ่ง หากสามารถคาดการณ์ได้ล่วงหน้า กฟผ. จะสามารถสร้างมาตรการที่เหมาะสมเพื่อป้องกันปัญหาที่อาจเกิดขึ้นได้ต่อไปจึงเป็นที่มาของการพัฒนาระบบการพยากรณ์ข้อมูลมลเชิงตัวเลขรอบพื้นที่โรงไฟฟ้าแม่เมาะด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์ด้านอุตุนิยมวิทยาของ กฟผ.

ในการศึกษาครั้งนี้ใช้แบบจำลองที่มีชื่อว่า Regional Atmospheric Modeling System (RAMS) เวอร์ชัน 6.0 ในการศึกษาข้อมูลมลและสภาพบรรยากาศในพื้นที่รอบโรงไฟฟ้าแม่เมาะ เนื่องจากเป็นแบบจำลองที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในการศึกษาด้านคุณภาพอากาศควบคู่กับแบบจำลองคุณภาพอากาศต่างๆ ข้อมูลที่ได้จากการดำเนินงานนี้สามารถนำไปใช้ทำนายการทิศทาง และลักษณะกระจายตัวของมลสารในบรรยากาศได้ดี รวมถึงสามารถคาดการณ์ว่าลมพัดมลสารจากแหล่งอื่นเข้ามาในพื้นที่รอบ โรงไฟฟ้าหรือไม่ ตัวอย่างเช่น มลสารจากการเผาไหม้ในที่โล่งซึ่งเป็นปัญหาหมอกควันในพื้นที่ 8 จังหวัดภาคเหนือตอนบนที่เกิดเป็น

ประจำทุกปีในช่วงเดือนมกราคม-มีนาคม โดย การศึกษานี้จะก่อให้เกิดประโยชน์ด้านการป้องกันและบรรเทาผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมต่อชุมชนโดยรอบโรงไฟฟ้าแม่เมาะ รวมไปถึงสามารถตอบปัญหาและข้อสงสัยของชุมชนโดยรอบโรงไฟฟ้าแม่เมาะได้อีกด้วย

2. ลักษณะของแบบจำลอง การตั้งค่าในแบบจำลอง และชุดข้อมูลที่ใช้ในการ คำนวณ

2.1 The RAMS Model

แบบจำลอง RAMS ได้รับการพัฒนาที่มหาวิทยาลัย Colorado State และ ASTER Division of the Mission Research Corporation (Pielke et al. 1992) จุดเด่นของแบบจำลอง RAMS คือเป็นการรวบรวมของแบบจำลองเมฆ (Cloud Model) ซึ่งถูกพัฒนาโดย ศ.ดร. William R. Cotton กับแบบจำลองการไหลเวียนของบรรยากาศขนาดพิสัยกลาง (Mesoscale Meteorological model) ซึ่งถูกพัฒนาโดย ศ.ดร. Roger A. Pielke ซึ่งมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง และรวบรวมความสามารถต่างๆไว้ในแบบจำลองเพียงแบบจำลองเดียว RAMS ยังเป็นแบบจำลองประเภท Prognostic Model คือสามารถคำนวณพยากรณ์ไปข้างหน้าได้ สามารถพยากรณ์ข้อมูลเป็นรายชั่วโมงล่วงหน้าไปได้ไกลถึง 30 วันโดยใช้ข้อมูลเริ่มต้นจากการตรวจวัด ณ เวลาปัจจุบัน แต่การพยากรณ์ที่ไกลออกไปจะมีความแม่นยำหรือความถูกต้องลดลงไปตามลำดับ ดังนั้นปกติจึงนิยมคาดการณ์ข้อมูลรายชั่วโมงไปล่วงหน้าไม่เกิน 14 วัน

ในการทำงาน แบบจำลอง RAMS จะทำการคำนวณพารามิเตอร์ทางอุตุนิยมวิทยาในแต่ละ

พื้นที่ด้วยชุดสมการเหมือนกับแบบจำลองทางอุตุนิยมวิทยาในระดับพิสัยกลางอื่นๆ โดยทั่วไปที่ประกอบด้วยชุดสมการหลักที่เกี่ยวข้องกับกฎการอนุรักษ์ต่างๆ ได้แก่ การอนุรักษ์มวล (Conservation of mass), การอนุรักษ์พลังงานหรือการอนุรักษ์ความร้อน (conservation of heat), การอนุรักษ์การเคลื่อนที่ (conservation of motion), การอนุรักษ์น้ำ (conservation of water) และการอนุรักษ์ก๊าซอื่นๆ และละอองลอย (conservation of other gaseous and aerosol materials) โดย RAMS ถูกสร้างขึ้นด้วยชุดสมการที่รวบรวมกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของบรรยากาศต่างๆ และน้ำในบรรยากาศ ได้แก่ อุทกพลศาสตร์ (non-hydrostatic), ของไหลที่มีความหนาแน่นไม่คงที่ (compressible fluid), อุณหพลศาสตร์ (thermodynamics) และสมการความต่อเนื่อง (continuity equation) รวมทั้งยังมีชุดสมการของน้ำในบรรยากาศที่แบ่งเป็นไอน้ำ (water vapor), ของเหลวของน้ำ (water liquid) และอัตราส่วนผสมของหยาดน้ำฟ้าที่เป็นสถานะของแข็ง (ice hydrometeor mixing ratios) อยู่ด้วย นอกจากนี้ชุดสมการของ RAMS ยังรวบรวมกระบวนการย่อยอื่นๆ ที่เกิดขึ้นในชั้นบรรยากาศไว้ด้วยเพื่อให้สามารถเลือกใช้และกำหนดให้เหมาะสมกับพื้นที่ที่จะนำไปใช้งาน และยังเป็นพารามิเตอร์เสริมสำหรับกระบวนการที่มีขนาดเล็กกว่าขนาดกริดของการคำนวณ ได้แก่ การแพร่แบบปั่นป่วน (turbulent diffusion), รังสีจากดวงอาทิตย์และรังสีจากพื้นโลก (solar and terrestrial radiation), กระบวนการของความชื้น (moist processes) ซึ่งมีทั้งการเกิดและปฏิสัมพันธ์ระหว่างเมฆ, หยาดน้ำฟ้า และน้ำในอากาศ (the formation and interaction of clouds and precipitating liquid and ice hydrometeors), ผลกระทบทางจลศาสตร์จากสภาพภูมิประเทศ (kinematic effects of terrain), การพาความร้อน

ของเมฆ (cumulus convection), การแลกเปลี่ยนความร้อนสัมผัสและความร้อนแฝงระหว่างบรรยากาศกับพื้นผิว (sensible and latent heat exchange between the atmosphere and the surface) ซึ่งพื้นผิวประกอบไปด้วย ความหลากหลายของชั้นดิน (multiple soil layers) พืชพรรณดิน (vegetation) การมีหิมะปกคลุม (snow cover) อากาศชั้นคาโนปี (canopy layer) และน้ำผิวดิน (surface water)

คุณลักษณะที่สำคัญของ RAMS คือความสามารถในการดำเนินการแบบโต้ตอบสองทาง (two way interactive) ของ fine mesh grid ซึ่งใช้จัดการระบบบรรยากาศขนาดเล็กและ coarser grid ซึ่งใช้จัดการระบบบรรยากาศขนาดใหญ่ ที่ผ่านมามีพบว่าส่วนใหญ่ RAMS มักจะถูกนำไปใช้ศึกษาในพื้นที่ขนาดไม่ใหญ่มากนัก เนื่องจากพารามิเตอร์ของ RAMS ได้ถูกพัฒนาสำหรับพื้นที่ขนาดพิสัยกลางที่มีขนาดระยะทางตั้งแต่ไม่กี่กิโลเมตรไปจนถึงประมาณ 2,000 กิโลเมตร อย่างไรก็ตามมีหลายการศึกษาที่พบว่าสามารถนำ RAMS ไปใช้ในการคำนวณและพยากรณ์ปรากฏการณ์ทางอุตุนิยมวิทยาได้ดีกับพื้นที่ระดับโลก (global scale) ด้วยจุดเด่นที่พบของการนำ RAMS ไปใช้งาน คือ ไม่มีข้อจำกัดในการนำไปใช้งานกับพื้นที่ที่มีขนาดเล็กมากหรือมีความละเอียดของกริดสูง นอกจากนี้ RAMS ถูกนำมาใช้ทั่วโลกด้วยวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกันไป ล่าสุด RAMS ถูกใช้เป็นพื้นฐานในการประยุกต์เพื่อศึกษาคุณภาพอากาศในภูมิภาคเอเชีย และพบว่ามีงานนำเอาแบบจำลอง RAMS ไปใช้งานอย่างแพร่หลาย โดยสามารถอ้างอิงได้จากแหล่งข้อมูลทางวิชาการ ตัวอย่างเช่น Seiji Sugata et al. (2001), Meigen Zhang (2005), Meigen Zhang et al. (2006), Xiao Han et al (2009), Cui Ge et al, (2011), Yi Gao et al (2014) และ ZhenPeng, et al (2015) เป็นต้น

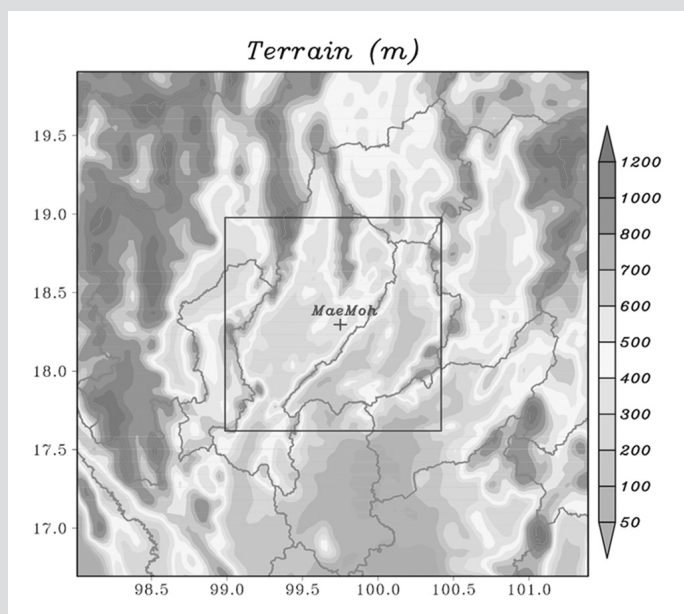
2.2 การตั้งค่าในแบบจำลอง

2.2.1 ขอบเขตพื้นที่คำนวณ

- 1) โดเมนคำนวณแรกซึ่งเป็น parent domain กริดมีขนาด 3x3 ตารางกิโลเมตร จำนวน 120x120 กริด โดยมีจุดศูนย์กลางอยู่ที่ 18.3N, 99.7E
- 2) โดเมนคำนวณที่สองซึ่งเป็น child domain กริดมีขนาด 1x1 ตารางกิโลเมตร จำนวน 120x120 กริด และมีจุดศูนย์กลางอยู่ที่ 18.3N, 99.7E เช่นเดียวกัน

ในทุกๆกริดทำการคำนวณลมที่ระดับแนวตั้งทั้งหมด 30 ชั้น ซึ่งแปรผันตามลักษณะภูมิประเทศ เริ่มต้นด้วย 30 เมตร จากระดับพื้นผิวและเพิ่มขึ้นในแนวตั้งขึ้นไปถึงประมาณ 15 กิโลเมตร

รูปที่ 1 แสดงผลการกำหนดขอบเขตโดเมนแรก และโดเมนที่สองสำหรับการคำนวณในพื้นที่รอบโรงไฟฟ้าแม่เมาะ ซึ่งเห็นได้จากแผนที่ที่แสดงลักษณะภูมิประเทศว่าพื้นที่โรงไฟฟ้าแม่เมาะถูกล้อมรอบด้วยภูเขา



รูปที่ 1 ขอบเขตโดเมนแรกและโดเมนที่สองสำหรับการพยากรณ์ข้อมูลในพื้นที่รอบโรงไฟฟ้าแม่เมาะ

2.2.2 การตั้งค่าเวลาในการคำนวณ

ในแบบจำลอง RAMS สามารถกำหนดวันและเวลาเริ่มต้นที่ต้องการเริ่มคำนวณ รวมทั้งกำหนดวันและเวลาที่ต้องการให้การคำนวณสิ้นสุดลง โดยในการพยากรณ์ข้อมูลลมในพื้นที่รอบโรงไฟฟ้าแม่เมาะ กำหนดให้ออกผลการพยากรณ์ชั่วโมงแรก คือ เวลา 7.00 น. ของแต่ละวัน และพยากรณ์ไปล่วงหน้ารวม 168 ชั่วโมง โดยให้ RAMS เริ่มทำการประมวลผลตั้งแต่วันที่ 24.00 น. ของทุกวันเวลาที่ใช้ในการประมวลผลแต่ละคาบการพยากรณ์อยู่ที่ประมาณ 6 ชั่วโมงบนเครื่องคลัสเตอร์คอมพิวเตอร์สมรรถนะสูงของ กฟผ.

2.3 ชุดข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ

2.3.1 ชุดข้อมูลระดับความสูงของภูมิประเทศ (Terrain Height)

ชุดข้อมูลระดับความสูงของภูมิประเทศเลือกใช้ข้อมูลจาก the NASA Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM) digital elevation data (DEMs) มาใช้งานสำหรับพื้นที่รอบโรงไฟฟ้าแม่เมาะ

2.3.2 ชุดข้อมูลนิเวศวิทยาผิวดิน

ชุดข้อมูลนิเวศวิทยาผิวดินได้จากการสำรวจด้วยดาวเทียม รู้จักกันชื่อว่า NDVI dataset ข้อมูลชุดนี้ทำการ download มาใช้งานทุกๆ เดือน

2.3.3 ชุดข้อมูลประเภทดิน

ดินที่มีองค์ประกอบแตกต่างกันจะส่งผลต่อการแพร่กระจายความร้อน ความร้อนจำเพาะ ความจุความร้อน และการแพร่กระจายความร้อน ซึ่งล้วนส่งผลขึ้นไปในชั้นบรรยากาศด้วย โดยเฉพาะในชั้นบริเวณใกล้ผิวดิน แหล่งข้อมูลประเภทดินที่ใช้ในการคำนวณมาจากหน่วยงานสำนักงานธรณีวิทยาของสหรัฐฯ (United States Geological Survey) ซึ่งทำการ download มาใช้เพียงครั้งเดียวในช่วงเริ่มดำเนินการศึกษา เนื่องจากไม่มีการเปลี่ยนแปลงของข้อมูล

2.3.4 ชุดข้อมูลอุณหภูมิผิวน้ำทะเล

ข้อมูลอุณหภูมิผิวน้ำทะเลเป็นข้อมูลที่มีความสำคัญมากต่อการจำลองสภาพบรรยากาศ ในแบบจำลองคณิตศาสตร์ เนื่องจากเป็นตัวแปรที่ไม่เพียงแต่ส่งอิทธิพลต่อบรรยากาศที่ปกคลุมอยู่แต่ยังส่งอิทธิพลต่อความผันผวนของฟลักซ์ความร้อนจากการเปลี่ยนแปลงของบรรยากาศด้วยชุดข้อมูลอุณหภูมิผิวน้ำทะเลได้มาจากหน่วยงาน Climate Diagnostics Center (CDC) แห่ง National Oceanic Atmospheric Administration (NOAA) ซึ่งต้องทำการ download ชุด

ข้อมูลเป็นรายสัปดาห์มาใช้ในการคำนวณ

2.3.5 ชุดข้อมูลอุตุนิยมวิทยาเริ่มต้นรายวัน

ข้อมูลเริ่มต้นสำหรับการพยากรณ์อากาศนั้น ได้มาจากการตรวจอากาศ ซึ่งมีทั้งการตรวจอากาศที่ระดับผิวพื้น และการตรวจอากาศชั้นบนในระดับความสูงต่างๆ โดยชุดข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาสำหรับเป็นค่าเริ่มต้นในการคำนวณแต่ละวัน ได้ทำการ download ข้อมูลจากหน่วยงาน the National Centers for Environmental Prediction (NCEP) แห่ง National Oceanic Atmospheric Administration (NOAA) โดยในรอบวันมีชุดข้อมูลจำนวน 4 ชุด ประกอบด้วยชุดข้อมูลที่เวลา 00UTC 06UTC 12UTC และ 18UTC แต่ละชุดข้อมูลประกอบด้วยค่าตัวแปรต่างๆ คือ ความดัน, ความสูงของความกดอากาศ (Geopotential Height), อุณหภูมิ, ความชื้น, ความเร็วลมแนวตั้ง (Vertical Velocity), v-component ของลมแนวระนาบ, u-component ของลมแนวระนาบ, ปริมาณฝนสะสม, ความชื้นของดิน, ปริมาณเมฆปกคลุม, พลังค์รังสี, ชนิดของฝน, CAPE (Convective Available Potential Energy), CIN (Convective Inhibition), วอดิติตีสมบูรณ์ (Absolute Vorticity), และค่าความสามารถในการสะท้อนแสงของพื้นผิว (Albedo) ชุดข้อมูลเหล่านี้จัดเก็บอยู่ในรูปแบบที่เรียกว่า GRIB2 ซึ่งจะต้องทำการอ่านค่าและจัดเก็บใหม่ให้อยู่ในรูปแบบที่ระบบการคำนวณของ RAMS ใช้งานได้

3. พลากรแบบจำลอง

ประสิทธิภาพของแบบจำลองได้รับการประเมินโดยวิธีการเปรียบเทียบข้อมูลตรวจวัดจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศในปี พ.ศ. 2556 ซึ่งพารามิเตอร์ทางสถิติที่ใช้สำหรับการประเมินผลคือ Mean Bias (MB) Root Mean Square Error (RMSE) และ Fraction Bias (FB) โดยผลจากแบบจำลองในพื้นที่รอบโรงไฟฟ้าแม่เมาะ อันได้แก่ ทิศทางลม ความเร็วลม และอุณหภูมิจะถูกนำมาสอบเทียบกับข้อมูลอุตุนิยมวิทยาจาก 10 สถานีตรวจวัดของ กพผ. ดังนี้

- **ทิศทางลม:** การประเมินผลทิศทางลมกระทำภายใต้การพิจารณาร้อยละของความแตกต่าง ระหว่างผลที่ได้จากแบบจำลองและข้อมูลจากสถานีตรวจวัด น้อยกว่า 45° โดยเปอร์เซ็นต์ซึ่ง 50 จะแสดงให้เห็นถึงผลที่ดีของแบบจำลอง ซึ่งผลการเปรียบเทียบดังแสดงในตารางที่ 1 พบว่า 6 จาก 10 สถานีมีมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ที่มีแตกต่างของแบบจำลองกับข้อมูลจากการตรวจวัดทิศทางลมน้อยกว่า 45° นอกจากนี้ข้อมูลความเร็วลมรายชั่วโมงจากการตรวจวัดในพื้นที่รอบโรงไฟฟ้าแม่เมาะแสดงให้เห็นว่าความเร็วลมส่วนมาก (มากกว่าร้อยละ 50) เป็นลมอ่อน ซึ่งมีความเร็วลมน้อยกว่า 1.5 m/s และเมื่อพิจารณาระดับแรงลมของโพรพอร์ตซึ่งมีคำอธิบายเชิงประจักษ์ของความเร็วลมจะอยู่ในระดับ 1 ตามมาตรฐานวัดแรงลมของโพรพอร์ตโดยมีความเร็วลมตั้งแต่ 0.3-1.5 m/s คือไม่มีการลั่นไหวของใบไม้และศรลม (wind vane) ซึ่งแสดงให้เห็นว่า แม้ลมในพื้นที่รอบโรงไฟฟ้าแม่เมาะเป็นลมอ่อนแบบจำลองก็ยังสามารถสะท้อนให้เห็นถึงทิศทางลมอ่อนได้เป็นอย่างดี

ตารางที่ 1 ตารางเปรียบเทียบทิศทางลม

สถานีตรวจวัด	สัญลักษณ์	N	45°	MB	RMSE	FB
1 ค่ายประตู่ผา	PC	5889	64.66	15.56	67.19	0.19
2 บ้านท่าลี	TS	3407	48.64	29.08	78.07	0.41
3 บ้านเสด็จ	SD	5280	43.30	29.46	90.94	0.27
4 บ้านหัวฝาย	HF	6969	38.56	25.39	89.14	0.25
5 บ้านห้วยคิง	HK	1528	61.78	10.38	64.19	0.20
6 ศูนย์ราชการจังหวัดลำปาง	GC	5705	58.05	-1.47	65.59	0.05
7 บ้านสบเมะ	SM	4253	52.10	-1.26	75.72	-0.03
8 บ้านสบป่าด	SP	2405	50.31	23.39	77.22	0.11
9 บ้านแม่จาง	MC	4987	47.48	40.30	87.34	0.30
10 บ้านใหม่รัตนโกสินทร์	RS	4423	53.29	25.57	67.76	0.13

หมายเหตุ: N = จำนวนของข้อมูลจากแบบจำลองและข้อมูลตรวจวัดที่ถูกจับคู่ในกรอบเวลาและสถานที่เดียวกัน

45° = เปรอ์เซ็นต์ความแตกต่างของทิศทางลมที่น้อยกว่า 45° ระหว่างข้อมูลจากแบบจำลองและข้อมูลตรวจวัด

- **ความเร็วลม:** การเปรียบเทียบความเร็วลม (ดังแสดงในตารางที่ 2) พบว่า MB มีค่ามากกว่าศูนย์ในเกือบทุกสถานี ซึ่งความเร็วลมจากแบบจำลองส่วนใหญ่จะมีค่ามากกว่าค่าตรวจวัด โดยค่าของ FB ส่วนใหญ่อยู่ในช่วง -0.5 ถึง 0.5 (โดยช่วงที่ถือว่าแบบจำลองมีสมรรถนะอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ คือ -2.0 FB +2.0) จึงอาจกล่าวได้ว่าผลการจำลองความเร็วลมในพื้นที่โรงไฟฟ้าแม่เมะมีสมรรถนะดีมาก (Kumar et al., 1993)

ตารางที่ 2 ตารางเปรียบเทียบความเร็วลม

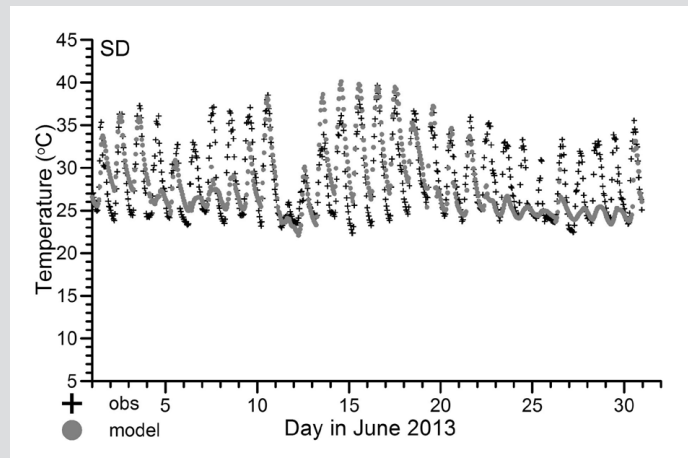
สถานีตรวจวัด	สัญลักษณ์	N	mean observed	mean modeled	standard deviation of observed	standard deviation of modeled	MB	RMSE	FB
1 ค่ายประตู่ผา	PC	5889	1.13	1.06	90.00	99.69	-0.07	0.62	-0.17
2 บ้านท่าลี	TS	3407	0.93	1.07	79.75	98.53	0.14	0.80	-0.11
3 บ้านเสด็จ	SD	5283	1.16	1.29	70.79	94.59	0.13	1.04	-0.24
4 บ้านหัวฝาย	HF	6969	1.30	1.00	70.47	96.57	-0.30	0.96	-0.58
5 บ้านห้วยคิง	HK	1528	0.76	1.52	63.87	88.74	0.76	1.25	0.37
6 ศูนย์ราชการจังหวัดลำปาง	GC	5705	1.18	1.32	74.53	96.77	0.13	0.92	-0.12
7 บ้านสบเมะ	SM	4253	1.20	1.21	70.30	94.12	0.01	1.05	-0.30
8 บ้านสบป่าด	SP	2405	0.90	1.20	74.97	96.13	0.30	0.94	0.00
9 บ้านแม่จาง	MC	4998	1.08	0.97	80.87	98.32	-0.11	2.62	-0.36
10 บ้านใหม่รัตนโกสินทร์	RS	4423	0.93	1.29	78.02	97.11	0.36	0.87	0.08

- **อุณหภูมิ:** ตารางที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิในแต่ละสถานีตรวจวัด นอกจากนี้ยังพบค่าของ FB อยู่ในช่วง -0.5 ถึง 0.5 ในทุกสถานี นอกจากนี้ยังพบว่าผลของอุณหภูมิที่ได้จากแบบจำลองมีค่ามากกว่าอุณหภูมิจากการตรวจวัดโดย MB มีค่ามากกว่า 0 ในทุกสถานี

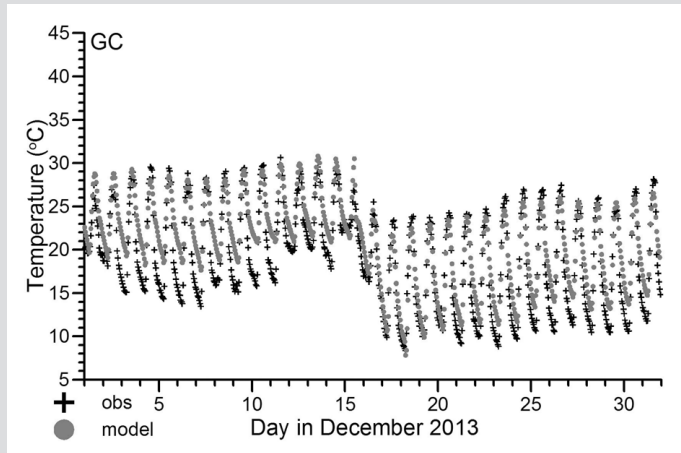
ตารางที่ 3 ตารางเปรียบเทียบอุณหภูมิ

สถานีตรวจวัด	สัญลักษณ์	N	mean observed	mean modeled	correlation coefficient	standard deviation of observed	standard deviation of modeled	MB	RMSE	FB	
1	ค่ายประตู่ผา	PC	8655	24.21	25.81	0.82	4.71	5.11	1.59	3.36	0.06
2	บ้านท่าลี	TS	8679	24.85	26.94	0.81	5.99	5.12	2.09	4.13	0.09
3	บ้านเสด็จ	SD	8708	26.23	28.40	0.80	5.76	5.76	2.17	4.22	0.08
4	บ้านหัวฝาย	HF	8695	26.01	26.57	0.83	5.49	4.43	0.56	3.13	0.03
5	สถานีอุตุนิยมวิทยา	MS	8705	25.56	26.94	0.82	5.32	4.61	1.39	3.32	0.06
6	บ้านห้วยคิง	HK	8676	25.84	26.80	0.82	5.22	4.55	0.96	3.15	0.04
7	ศูนย์ราชการจังหวัดลำปาง	GC	8578	25.66	26.34	0.83	5.15	4.38	0.68	2.98	0.03
8	บ้านสบเมฆ	SM	8646	26.06	27.31	0.82	5.45	2.39	1.25	3.98	0.07
9	บ้านสบป่าด	SP	8660	24.70	26.86	0.78	5.22	4.68	2.16	3.94	0.09
10	บ้านแม่จาง	MC	8591	25.79	26.75	0.83	5.29	4.58	0.96	3.09	0.04
11	บ้านใหม่รัตนโกสินทร์	RS	8634	25.26	27.32	0.80	5.82	5.55	2.06	4.12	0.09

นอกจากการประเมินผลทางสถิติยังได้ทำการประเมินสมรรถนะแบบจำลองด้วยวิธีวิเคราะห์ด้วยภาพกราฟิก เป็นรูปแบบของการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพ โดยทำการเปรียบเทียบผลด้วยการใช้ภาพกราฟิกแสดงให้เห็นถึงรูปแบบหรือความสัมพันธ์ของข้อมูลที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองกับค่าการตรวจวัดจริง ซึ่งวิธีการวิเคราะห์ด้วยภาพกราฟิกที่นิยมใช้ในงานวิจัยเพื่อประเมินสมรรถนะของแบบจำลองคือ Time Series Plot เพื่อให้เห็นรูปแบบการเปลี่ยนแปลงรายชั่วโมงในแต่ละวันของอุณหภูมิจากแบบจำลองและจากการตรวจวัด ในรูปที่ 2 และรูปที่ 3 ซึ่งแสดงให้เห็นว่ารูปแบบของการเปลี่ยนแปลงมีความสอดคล้องกับผลจากการตรวจวัด นอกจากนี้ยังพบว่าในฤดูแล้งหรือฤดูหนาวจะมีความสอดคล้องของผลจากแบบจำลองและข้อมูลตรวจวัดมากกว่าในฤดูฝน



รูปที่ 2 รูปแบบการเปลี่ยนแปลงรายชั่วโมงในแต่ละวันของอุณหภูมิตะหว่างผลจากแบบจำลองและข้อมูลตรวจวัดที่สถานีบ้านเสด็จ (SD) ในเดือนมิถุนายน (ฤดูฝน)



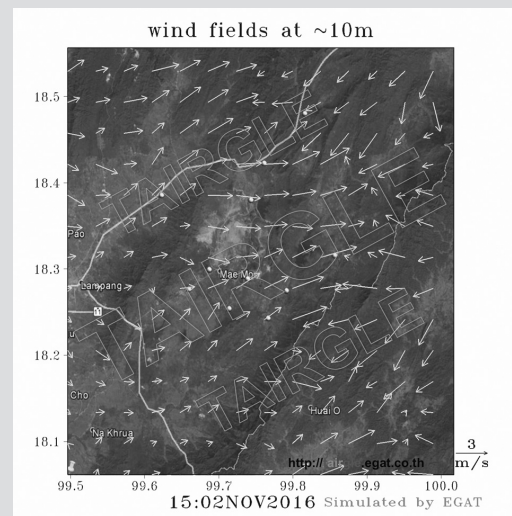
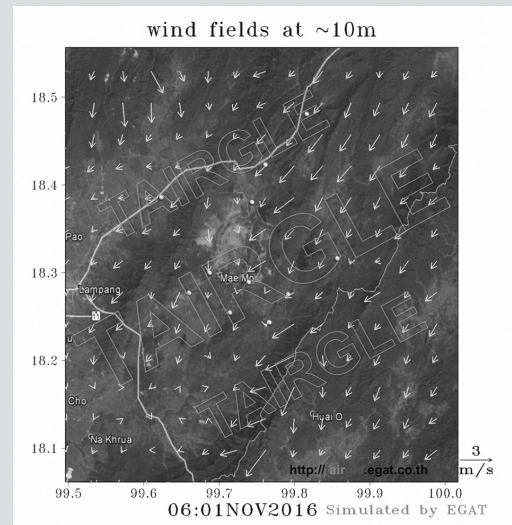
รูปที่ 3 รูปแบบการเปลี่ยนแปลงรายชั่วโมงในแต่ละวันของอุณหภูมิระหว่างผลจากแบบจำลองและข้อมูลตรวจวัดที่สถานีศูนย์ราชการจังหวัดลำปาง (GC) ในเดือนธันวาคม (ฤดูแล้งหรือฤดูหนาว)

4. สรุป

Regional Atmospheric Modeling System หรือ RAMS ถูกเลือกมาใช้เพื่อจำลองข้อมูลลมในพื้นที่ที่มีภูมิประเทศซับซ้อนของโรงไฟฟ้าแม่เมาะซึ่งเป็นพื้นที่หุบเขาในจังหวัดลำปาง โดยการประเมินผลของแบบจำลองใช้วิธีการสอบเทียบกับผลตรวจวัดสภาพอุตุนิยมวิทยาจากสถานีตรวจวัดจำนวน 10 สถานี โดยใช้ข้อมูลตรวจวัดทั้งปี พ.ศ. 2556 การวิเคราะห์ผลของแบบจำลองแสดงให้เห็นว่า แบบจำลองสามารถจำลองคุณสมบัติทางอุตุนิยมวิทยาที่สำคัญต่างๆ ได้ดี สามารถแสดงการไหลเวียนของอากาศที่ได้รับอิทธิพลจากลักษณะภูมิประเทศได้เป็นอย่างดี และสามารถจำลองการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในรอบวันได้ดี นอกจากนี้แบบจำลองยังสามารถแสดงให้เห็นว่าสามารถจำลองอุณหภูมิในฤดูแล้งได้ดีกว่าฤดูฝน เนื่องจากในช่วงฤดูฝนท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมเป็นส่วนใหญ่ทำให้ส่งผลต่อการลดปริมาณความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ส่องมายังผิวพื้น ซึ่งการคาดการณ์ข้อมูลเมฆในภูมิภาคเขตร้อนอย่างประเทศไทยยังต้องการการพัฒนาแบบจำลองให้มีความแม่นยำมากขึ้น จึงจะสามารถลดความผิดพลาดของการคำนวณลงได้อีก

ปัจจุบันระบบแบบจำลองข้อมูลลมในพื้นที่รอบโรงไฟฟ้าแม่เมาะสามารถทำงานโดยอัตโนมัติทุกวัน โดยระบบแบบจำลองสามารถพยากรณ์สภาพทางอุตุนิยมวิทยารายชั่วโมงล่วงหน้า 168 ชั่วโมง

(7 วัน) โดยผลจากแบบจำลองจะถูกนำขึ้นแสดงผลในรูปแบบของรูปภาพบนเว็บไซต์ของ กฟผ.ที่ <http://tairgle.egat.co.th> ดังตัวอย่างแผนภาพข้อมูลลมใน รูปที่ 4 ซึ่งผู้สนใจข้อมูลสามารถเข้าเยี่ยมชมได้ทุกวัน



รูปที่ 4 แผนภาพข้อมูลลมที่ระดับความสูง 10 เมตรเหนือผิวพื้น เป็นผลการคาดการณ์ ในวันที่ 1 พฤศจิกายน 2559 เวลา 06.00 น. และวันที่ 2 พฤศจิกายน 2559 เวลา 15.00 น. โดยคำนวณเมื่อวันที่ 31 ตุลาคม 2559

บรรณานุกรม

1. Hanna, S.R. and Strimaitis D.G., 1990: Rugged terrain effects on diffusion, in Blumen (Editor) Atmospheric processes over complex terrain, American Meteorological Society, Boston, 323 pp.
2. Pielke, R.A., Cotton, R.W., Walko, R.L., Tremback, C. J., Lyons, W.A., Grasso, D.L., Nicholls, M.E., Moran, M.D., Wesley, D.A., Lee, T.J., and Copeland, J.H., 1992: A Comprehensive Meteorological modelling System - RAMS, Meteorol. Atmos. Phys., 49, 69-91.
3. Kumar, J. Luo and G. Bennett, "Statistical Evaluation of Lower Flammability Distance (LFD) using Four Hazardous Release Models", Process Safety Progress, 12(1), pp. 1-11, 1993.
4. Seiji Sugata, Daewon W. Byun, and Itsushi Uno, 2001, Simulation of sulfate aerosol in east asia using models-3/CMAQ with RAMS meteorological data, Air Pollution Modeling and Its Application XIV, Edited by Gryning and Schiermeier, Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York
5. Meigen Zhang, A multi-scale air quality modeling system and its evaluation I. Introduction to the model system and simulation of meteorological parameters. Chinese J. Atmos. Sci., 29(5), 805-813, 2005.
6. Meigen Zhang, A multi-scale air quality modeling system and its evaluation II. Simulation of tropospheric ozone and its precursors in East Asia. Chinese J. Atmos. Sci., 29(6), 926-936, 2005.
7. Meigen Zhang, Hajime Akimoto, Itsushi Uno, A three-dimensional simulation of HO_x concentrations over East Asia during TRACE-P, J. Atmospheric Chemistry, doi:10.1007/s10874-006-9015-0, 2006. (SCI)
8. Meigen Zhang, Itsushi Uno, Renjian Zhang, Zhiwei Han, Zifa Wang, Yifen Pu, Evaluation of the Models-3 Community Multi-scale Air Quality (CMAQ) modeling system with observations obtained during the TRACE-P experiment: Comparison of ozone and its related species. Atmos. Environ., 10.1016/J.Atmos. Env.2005.06.063, 40(26), 4874-4882, 2006. (SCI)
9. Xiao Han, Meigen Zhang, Xiaohong Liu, Steven Ghan, Xin Jinyuan, Wang Lili, Development of RAMS-CMAQ to simulate aerosol optical depth and aerosol direct radiative forcing and its application to East Asia, AOSL, 2(6), 368-375, 2009.
10. Cui Ge, Meigen Zhang, Zhiwei Han, and Yanju Liu, Episode simulation of Asian dust storms with an air quality modeling system, Advances in Atmospheric Sciences, 28(3), 511-520, 2011.
11. Yi Gao, Chun Zhao, Xiaohong Liu, Meigen Zhang, L. Ruby Leung, WRF-Chem simulations of aerosols and anthropogenic aerosol radiative forcing in East Asia, Atmospheric Environment, 92, 250-266, DOI: 10.1016/j.atmosenv.2014.04.038, 2014.
12. Zhen Peng, Meigen Zhang, Xingxia Kou, Xiangjun Tian, and Xiaoguang Ma: A regional carbon flux data assimilation system and its preliminary evaluation in East Asia, Atmos. Chem. Phys. 15, 1087-1104, doi:10.5194/acp-15-1087-2015, 2015.