

แบบจำลองเชิงพื้นที่สำหรับวิเคราะห์การแพร่กระจายความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนในพื้นที่ต้นแบบ จังหวัดเลย ขอนแก่น และนครราชสีมา

## Spatial Model to Analyze Concentration Dispersion of Particle Matter with a Diameter of Less Than 10 Micron in Loei, KhonKaen and Nakhon Ratchasima Province

ปฏิวดี ฤทธิเดช<sup>1</sup>

Patiwat Littidej<sup>1</sup>

Received: 28 September 2016 ; Accepted: 18 January 2017

### บทคัดย่อ

อนุภาคฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนเป็นปัญหาที่ส่งผลต่อคุณภาพอากาศในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของไทย ในการศึกษาได้ใช้ข้อมูลความเข้มข้นพื้นฐานจากสถานีตรวจวัด และข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Terra/Aqua ระบบเซ็นเซอร์ MODIS ที่ครอบคลุมพื้นที่ต้นแบบจังหวัด ขอนแก่น เลยและนครราชสีมา รวมทั้งแบบจำลองถดถอยแบบถ่วงน้ำหนักภูมิศาสตร์สำหรับสร้างแผนที่ความเข้มข้นมลพิษ โดยมีวัตถุประสงค์ 2 ประการ คือ 1) เพื่อสร้างแบบจำลองความสัมพันธ์ความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนกับข้อมูลของสถานีวัด 2) เพื่อสร้างแผนที่ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนและวิเคราะห์การแพร่กระจายโดยใช้ข้อมูลค่าสะท้อนพื้นผิวจากชุดผลิตภัณฑ์ MOD09 หาความสัมพันธ์กับข้อมูลปริมาณ  $PM_{10}$  ที่ได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศจำนวน 3 สถานีของทั้ง 3 จังหวัดด้วยสมการถดถอย 3 แบบ ได้แก่แบบจำลองถดถอยแบบคิวบิกแบบจำลองถดถอยแบบเอ็กโปเนนเชียลและการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุผลการวิจัยพบว่าการใช้ข้อมูลค่าสะท้อนพื้นผิวสมการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุให้ค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด ( $R^2$ ) สูงที่สุดมีค่าเท่ากับ 0.742 โดยสร้างแบบจำลองจากแบนด์ 3 และแบนด์ 4 และเมื่อนำสมการไปคำนวณกับค่าความสว่างของภาพถ่ายดาวเทียมแล้วและประเมินความสัมพันธ์ของค่าความเข้มข้นมลพิษที่คำนวณได้จากแบบจำลองกับค่าที่วัดได้จริงด้วยค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (RMSE) พบว่ามีความสัมพันธ์กัน

**คำสำคัญ:** การสร้างแบบจำลองเชิงพื้นที่ อนุภาคฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ภาพถ่ายดาวเทียมTerra/Aqua

### Abstract

Particulate matter diameter of less than 10 micron ( $PM_{10}$ ) is one of the most important air quality concerns in northeastern Thailand. In this study we integrate ground-based measurements and satellite data to map temporal  $PM_{10}$  concentrations for the entire provinces of Khon Kaen, Loei, and Nakhon Ratchasima. We specifically used MODIS Aqua and Terra data and Geographic Weighted Regression (GWR) models for mapping and extending the ground-based PM concentrations. The purposes of this study were 1) devise spatial modeling for  $PM_{10}$  concentration assessment 2)  $PM_{10}$  concentration mapping. The method used surface reflectance which can be obtained from MODIS product MOD09, in correlation with  $PM_{10}$  values obtained from 3 ground measurement stations of the Pollution Control Department (PCD) by using 3 regression types: cubic models, exponential models and multiple linear models. The result shows that ( $R^2$ ) calculated by multiple linear models between 2 bands (3 and 4) of surface reflectance and

<sup>1</sup> อาจารย์, หลักสูตรภูมิสารสนเทศ คณะวิทยาการสารสนเทศ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม

<sup>1</sup> Lecturer, School of Geo-informatics, Faculty of Informatics, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Mahasarakham 44150, Thailand. Corresponding author; PatiwatLittidej, School of Geo-informatics, Faculty of Informatics, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Mahasarakham 44150, patiwat\_noof@hotmail.com. Mobile: 085-8587011

PM<sub>10</sub> values, has a high value of 0.742 and is highly correlated using regression. RMSE calculation and verification of the concentration values obtained from the equations with the values from ground measurement was conducted. In consequence, the generated PM<sub>10</sub> is correlated with the values from ground measurement.

**Keywords:** Spatial modeling, Particulate matter diameterless than 10 micron, Terra/Aqua imagery

## บทนำ

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยประสบปัญหา มลภาวะหมอกควันในช่วงฤดูแล้งของทุกปีจากสถานการณ์ มลพิษในอากาศที่ผ่านมามีค่าภาคตะวันออกเฉียงเหนือเป็น พื้นที่ที่มีปริมาณฝุ่นละอองในอากาศมากเป็นอันดับสองรอง จากภาคเหนือสภาวะหมอกควันปกคลุมพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือเป็นบริเวณกว้างอีกทั้งสภาพภูมิประเทศของบาง จังหวัดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีภูเขาล้อมรอบถ้าหากมี กิจกรรมการเผาจะทำให้มลพิษต่างๆ และฝุ่นละอองจะถูกกักขัง ในพื้นที่นั้นนานขึ้นซึ่งเกิดจากการเผาพื้นที่เกษตรกรรมเพื่อ เตรียมดินทำการเกษตรและสถานการณ์ไฟไหม้ป่าทำให้เกิด หมอกฝุ่นควันขึ้นมีผลกระทบต่อทัศนวิสัยในการมองเห็นและ ทำให้มีผู้ป่วยโรคระบบทางเดินหายใจสูงขึ้นมาก<sup>1,2</sup> ปริมาณฝุ่น ละอองในอากาศจัดเป็นตัวแปรที่สำคัญที่ก่อให้เกิดมลภาวะ ทางอากาศที่สามารถวัดได้จากค่า PM<sub>10</sub> ซึ่งในปี 2552 ตรวจ พบปริมาณ PM<sub>10</sub> ในอากาศที่ในจังหวัดเลยสูงที่สุดเกินมาตรฐาน ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ 2552 ซึ่งสูงถึง 268 ไมโครกรัมต่อ ลูกบาศก์เมตร<sup>1</sup> และในปี 2553 ตรวจพบปริมาณ PM<sub>10</sub> ใน อากาศในปริมาณสูงที่สุดในจังหวัดหนองบัวลำภูในช่วงกลาง เดือนมีนาคม 2553 ซึ่งสูงถึง 318.5 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์ เมตร<sup>1</sup> การตรวจวัดดังกล่าวเป็นการตรวจวัดโดยสถานีตรวจวัด คุณภาพอากาศภาคพื้นดินซึ่งพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีทั้งหมด 3 สถานีแต่ข้อมูลที่ได้เป็นข้อมูลเพียงบางจุดและไม่ ครอบคลุมทั้งพื้นที่และบางครั้งอาจได้รับข้อมูลไม่ครบถ้วน เนื่องจากระบบสื่อสารขัดข้องและอาจเกิดความล่าช้าในการได้ มาซึ่งข้อมูลหากใช้ข้อมูลดาวเทียมในการประเมินปริมาณ PM<sub>10</sub> ในอากาศจะทำให้ได้ผลการตรวจปกคลุมพื้นที่ขนาดใหญ่ ทั้งยังเป็นข้อมูลสนับสนุนการจัดการทรัพยากรอากาศหรือ เตือนภัยพิบัติจากสถานการณ์หมอกควันแก่ประชาชนได้โดย ดาวเทียมที่โคจรผ่านประเทศไทยทุกวันและถ่ายภาพครอบคลุม ทั้งประเทศมีหลายประเภทด้วยกันโดยในการศึกษานี้เน้น เฉพาะดาวเทียม Terra/Aqua ระบบเซ็นเซอร์ MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectra radiometer) ซึ่งเป็น เครื่องวัดคลื่นเชิงสเปกตรัมที่ถูกติดตั้งบนดาวเทียม Terra และ Aqua ถูกออกแบบขึ้นเพื่อใช้ในการติดตามและตรวจสอบข้อมูล ทรัพยากรธรรมชาติและสามารถบันทึกข้อมูลครอบคลุมพื้นที่ ทั่วโลกได้ภายใน 2 วัน<sup>3</sup> จึงมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการ

ตรวจหาปริมาณ PM<sub>10</sub> จากเหตุผลและความจำเป็นดังกล่าว การศึกษานี้จึงมุ่งเน้นการประยุกต์ใช้ข้อมูลดาวเทียมเพื่อ ตรวจหาปริมาณ PM<sub>10</sub> สำหรับพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยพิจารณาความสัมพันธ์กันของข้อมูลที่ได้จากสถานีตรวจ วัดคุณภาพอากาศภาคพื้นดินกับข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมโดย การใช้สมการถดถอยเพื่อให้ได้มาซึ่งแบบจำลองที่มีความ เหมาะสมต่อการตรวจหาปริมาณ PM<sub>10</sub> และใช้เทคนิควิธีทาง ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) ในการจัดการข้อมูลและ สร้างแผนที่แสดงปริมาณ PM<sub>10</sub> ในอากาศต่อไป งานวิจัยที่ผ่าน มามีการประยุกต์ใช้ภาพถ่ายดาวเทียมดาวเทียม Terra/Aqua ระบบเซ็นเซอร์ MODIS มาใช้ศึกษาถึงความสัมพันธ์กับ ปริมาณ PM<sub>10</sub> ของสถานีตรวจวัด<sup>4</sup> ได้ศึกษาหาปริมาณมลภาวะ ในอากาศในประเทศมาเลเซียได้แก่ ฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM<sub>10</sub>), ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO<sub>2</sub>) ไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO<sub>2</sub>) คาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) และ โอโซน (O<sub>3</sub>) ด้วยการ หาความสัมพันธ์กันระหว่างผลการตรวจวัดมลภาวะทางอากาศ จากสถานีภาคพื้นดิน กับค่าการสะท้อนของดาวเทียม NOAA-14 AVHRR แบนด์ 1 และ แบนด์ 2 โดยใช้สมการถดถอย 8 แบบ ได้แก่ linear, logarithmic, quadratic, cubic, power, S-curve, exponential, และ multiple linear ซึ่งพบว่า การหาปริมาณ PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> ใช้สมการถดถอยแบบ cubic ให้ค่า RMSE เท่ากับ 33, 18 และ 11 ตามลำดับ ส่วนการหาปริมาณ CO ใช้ สมการถดถอยแบบ Power ให้ค่า RMSE เท่ากับ 13 และการ หาปริมาณ O<sub>3</sub> ใช้สมการถดถอยแบบ Quadratic ให้ค่า RMSE เท่ากับ 10 แล้วจึงนำสมการที่ได้ ร่วมกับเทคนิคทางภูมิ สารสนเทศ สร้างแผนที่ปริมาณมลพิษในอากาศเพื่อสามารถ ประเมินปริมาณมลพิษในอากาศในบริเวณกว้างได้<sup>5</sup> ได้ทำ แผนที่ระดับความเข้มข้นของฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM<sub>10</sub>) บริเวณ เมือง Lisbon โดยใช้ความสัมพันธ์ ระหว่างค่าความลึกเชิงแสงของชั้นบรรยากาศ ที่ได้รับจาก ดาวเทียมเซ็นเซอร์ MODIS Level 1B และปริมาณ PM<sub>10</sub> ที่ได้รับจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศภาคพื้นดิน โดยการ หาความสัมพันธ์กันของข้อมูลจากสมการเชิงเส้นตรง และทำ แผนที่ปริมาณ PM<sub>10</sub> ด้วยการประมาณค่าข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial Interpolation) ซึ่งการหาความสัมพันธ์เชิงเส้นของ ข้อมูลนั้น ใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมแบนด์ 1 ที่มีความยาว คลื่น 620 – 670 นาโนเมตร และมีความละเอียดเชิงพื้นที่ 250

เมตร ความสัมพันธ์ของแบบจำลองมีค่า  $R^2 = 0.77$  และทำแผนที่ปริมาณ  $PM_{10}$  ในอากาศด้วยการประมาณค่าข้อมูลด้วยวิธี Ordinary kriging พบว่าค่า  $PM_{10}$  ที่สูงๆ ส่วนใหญ่จะกระจุกตัวอยู่ในพื้นที่ที่มีลักษณะเป็นแอ่งและห้อมล้อมด้วยภูเขา<sup>6</sup> หากความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างข้อมูลช่วงคลื่นความร้อนของดาวเทียม Landsat 5 TM และข้อมูลที่วัดได้จากภาคพื้นดินโดยใช้สมการถดถอยในการเชื่อมความสัมพันธ์กันของค่า Digital Number (DN Value) และค่าปริมาณ  $PM_{10}$  ที่วัดได้ ซึ่งจากผลการศึกษาพบว่า ค่าทั้งสองมีความสัมพันธ์กันอย่างมากระหว่างค่า (RMSE) ที่ค่า<sup>7</sup> ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อนพื้นผิว (Surface Reflectance, SR) และค่าความลึกเชิงแสง (Aerosol Optical Thickness, AOT) ของภาพดาวเทียม Terra/Aqua ระบบเซ็นเซอร์ MODIS กับปริมาณ  $PM_{10}$  เปรียบเทียบผลกับค่าที่ได้จากสถานีตรวจวัดมลพิษในอากาศภาคพื้นดินจำนวน 5 สถานี ในพื้นที่ จากการศึกษาพบว่า สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลทั้ง SR และ AOT เปรียบเทียบกับข้อมูลของสถานีพื้นดินอยู่ที่ 0.68 – 0.79 และสหสัมพันธ์ระหว่าง SR และ AOT มีค่าอยู่ระหว่าง 0.71-0.76<sup>7</sup> ซึ่งมีค่าความสัมพันธ์กันอยู่ในระดับที่ยอมรับได้<sup>8</sup> ได้ใช้ข้อมูลค่า SR จากผลิตภัณฑ์ MOD09 ของดาวเทียมเซ็นเซอร์ MODIS ในการศึกษาสภาวะอากาศ ของประเทศไทย กรณีศึกษาบริเวณกรุงเทพมหานคร โดยการหาความสัมพันธ์กันระหว่าง SR กับค่า  $PM_{10}$  ที่ตรวจวัดได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ ทั้ง 12 สถานีด้วยวิธีสหสัมพันธ์ โดยใช้ข้อมูลปริมาณ  $PM_{10}$  ในช่วงเดือนมกราคม – ธันวาคม พ.ศ.2549 และช่วงเดือน มกราคม – พฤษภาคม พ.ศ.2550 และดูความสัมพันธ์กันของข้อมูลจากสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของแต่ละสถานี พบว่า ในช่วงปี 2549 มีค่าความสัมพันธ์ตั้งแต่ 0.179 – 0.505 และในช่วงปี 2550 มีค่าความสัมพันธ์ตั้งแต่ 0.312 – 0.510 ในการวิจัยนี้จึงใช้ค่า SR มาประยุกต์ใช้ในการหาความสัมพันธ์ของปริมาณ  $PM_{10}$  ในอากาศ เนื่องจากมีกระบวนการปรับแก้ทางเชิงรังสีและเชิงเรขาคณิตที่ไม่ซับซ้อนเท่ากับ AOT แต่ยังคงให้ผลความสัมพันธ์ที่ถึงความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นในระดับที่ยอมรับได้จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องโดยส่วนใหญ่จะใช้แบบจำลองทั้งแบบเชิงเส้นและไม่เชิงเส้นมาสร้างความสัมพันธ์กันระหว่างค่า SR และ  $PM_{10}$  กับค่าที่วัดได้จากสถานีวัด โดยจะใช้ค่าสถิติ  $R^2$  มาวัดความแม่นยำและ RMSE มาวัดความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองซึ่งแบบจำลองแบบเชิงเส้นจะมีแนวโน้มที่จะให้ความแม่นยำมากกว่าแต่ก็จะมีค่าความแตกต่างกันในเชิงพื้นที่ของการประยุกต์ใช้งานด้วยแต่ยังไม่มียานวิจัยใดเลยที่ทำการสร้างแบบจำลองเพื่อวิเคราะห์หาความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ระหว่างค่า  $PM_{10}$  และปัจจัยเชิงพื้นที่เพื่อวิเคราะห์การกักขังฝุ่นละอองใน

พื้นที่ๆแตกต่างกัน ในการวิจัยนี้จะทำการประยุกต์ใช้ทั้งแบบจำลองเชิงเส้น 3 รูปแบบเข้ามาใช้เปรียบเทียบเพื่อวิเคราะห์ว่าแบบจำลองแบบใดเหมาะสมที่จะใช้ทำนายปริมาณฝุ่น  $PM_{10}$  และพื้นที่ๆ จะใช้เป็นต้นแบบคือจังหวัดเลย ขอนแก่นและนครราชสีมา เนื่องมาจากว่าทั้ง 3 จังหวัดมีสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศที่สามารถวัดค่า  $PM_{10}$  ได้และจะทำให้แบบจำลองที่สร้างขึ้นสามารถเปรียบเทียบผลของแบบจำลองได้ เมื่อได้แบบจำลองที่มีความแม่นยำในการประมาณค่า  $PM_{10}$  แล้วจะใช้วิธีการทางภูมิสารสนเทศในการสร้างแผนที่ รวมทั้งแบบจำลองแบบถดถอยถ่วงน้ำหนักภูมิศาสตร์สำหรับวิเคราะห์การกระจายตัวของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนว่าสัมพันธ์กับลักษณะเชิงพื้นที่อย่างไร เพื่อใช้ในการประเมินสถานการณ์ของพื้นที่ต่อไปได้อย่างทันเวลา

### วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อสร้างตัวแบบเชิงพื้นที่สำหรับคาดการณ์ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ( $PM_{10}$ ) บริเวณพื้นที่จังหวัดเลย ขอนแก่นและนครราชสีมา
- 2) เพื่อสร้างแผนที่ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ( $PM_{10}$ ) บริเวณพื้นที่จังหวัดเลย ขอนแก่นและนครราชสีมา
- 3) เพื่อวิเคราะห์อิทธิพลของตัวแปรอิสระเชิงพื้นที่ต่อการเกิดฝุ่น

### อุปกรณ์และวิธีการ

การศึกษานี้แบ่งการทำงานเป็น 3 ส่วนหลัก ได้แก่ ส่วนที่ 1 เป็นกระบวนการปรับแก้ข้อมูลเชิงเรขาคณิตของภาพถ่ายดาวเทียม เนื่องจากข้อมูลจาก MODIS อยู่ในรูปของ HDF-EOS และอ้างอิงโดยเส้นโครงแผนที่แบบ Sinusoidal และยังไม่มียระบบพิกัด จึงต้องทำการปรับแก้ข้อมูลเชิงเรขาคณิตเพื่อให้ได้ตำแหน่งที่ถูกต้องตรงตามข้อเท็จจริงหรือความเป็นจริงบนพื้นผิวโลก แล้วทำการเลือกช่วงคลื่นที่ใช้ในการทำงานในขั้นตอนต่อไปส่วนที่ 2 เป็นกระบวนการตรวจหาความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ( $PM_{10}$ ) โดยการหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ  $PM_{10}$  ที่ได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษ กับภาพถ่ายดาวเทียมระบบเซ็นเซอร์ MODIS ด้วยสมการถดถอยเพื่อหาสมการที่ดีที่สุด โดยพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination :  $R^2$ ) ส่วนที่ 3 เป็นกระบวนการเปรียบเทียบแบบจำลองที่มีความเหมาะสมต่อการตรวจหาความเข้มข้นของฝุ่นละอองเพื่อทำแผนที่ความเข้มข้นของฝุ่นละอองบริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย โดยพิจารณาจาก

ผลการประเมินความแม่นยำและความสัมพันธ์ของค่าที่คำนวณได้กับค่าที่วัดได้จริง จากนั้นใช้สมการที่ดีที่สุดร่วมกับการใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ โดยได้แบบจำลองที่ดีที่สุดเพื่อนำมาจัดทำแผนที่ความเข้มข้นของฝุ่นละอองบริเวณจังหวัดเลย ขอนแก่น และนครราชสีมาเพื่อใช้เป็นต้นแบบสำหรับทำแผนที่ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือในการศึกษาครั้งต่อไป

**ระเบียบวิธีวิจัย**

การสร้างแบบจำลองและทำแผนที่ปริมาณ PM<sub>10</sub> ในอากาศ โดยการประยุกต์ใช้ข้อมูลดาวเทียม Terra/Aqua-MODIS มีขั้นตอนดังรูปที่ 1 และอธิบายแต่ละขั้นตอนดังนี้

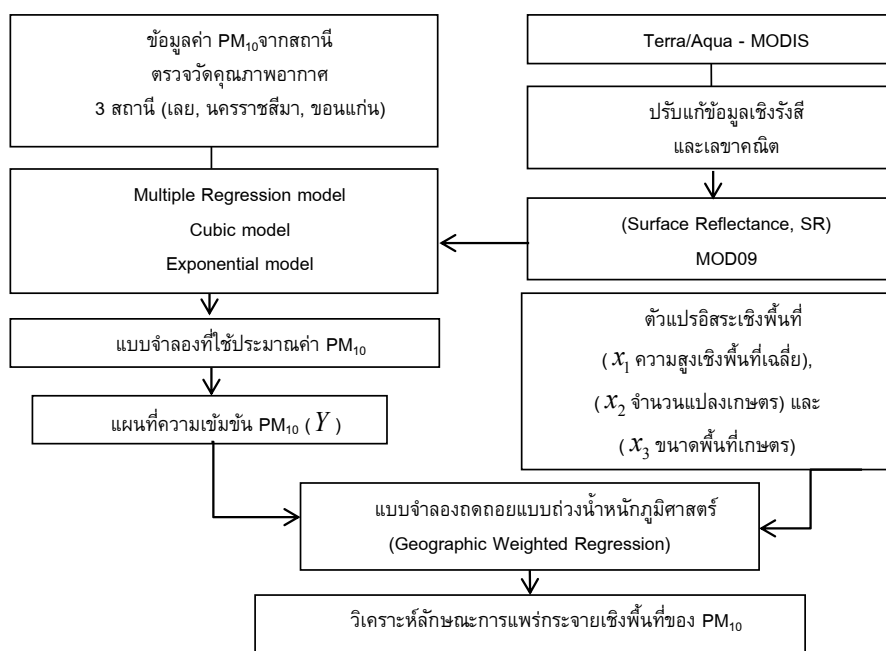
- 1) รวบรวมผลการตรวจวัดคุณภาพอากาศภาคพื้นดินในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ทั้ง 3 สถานี (นครราชสีมา, ขอนแก่น และเลย) จากกรมควบคุมมลพิษ เนื่องจากภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศเพียงแค่ 3 จังหวัด และข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมช่วงเดือนกุมภาพันธ์, มีนาคม และเมษายน 2558 ซึ่งในช่วงนี้เป็นช่วงที่มีปริมาณ PM<sub>10</sub> ในอากาศสูงกว่าช่วงฤดูกาลอื่นๆ
- 2) รวบรวมข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Terra/Aqua - MODIS ได้แก่ ข้อมูลค่าสะท้อนพื้นผิว (Surface Reflectance, SR) จากผลิตภัณฑ์ MOD09 โดยดาวน์โหลดจากเว็บไซต์ <http://ladsweb.nascom.nasa.gov/> แล้วทำการปรับแก้ข้อมูลเชิงเรขาคณิต (Geometric Correction) ให้มีพิกัดตรงตามตำแหน่งจริงบนผิวโลก

3) ใช้ข้อมูลค่าการสะท้อนพื้นผิว (Surface Reflectance) ที่ได้จากผลิตภัณฑ์ MOD09 หาค่าความสัมพันธ์กับค่าที่วัดได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศภาคพื้นดิน ทั้ง 3 สถานี ด้วยสมการถดถอย 3 รูปแบบได้แก่ การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ (Multiple Linear models) การถดถอยแบบคิวบิก (Cubic regression) และการถดถอยแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล (Exponential regression) และพิจารณาความแม่นยำของแต่ละแบบจำลองจากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination) ถ้าค่า R<sup>2</sup> มีค่าสูง ความแม่นยำของการนำสมการไปใช้เพื่อทำนายหรือคาดคะเนผลลัพธ์ย่อมมีสูงมากขึ้นโดยทั่วไป สมการที่มักนำไปใช้ควรมีค่า R<sup>2</sup> อย่างน้อย 0.75 หากสูงกว่า 0.90 ถือว่าดีมาก (ค่า R<sup>2</sup> มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 โดยที่ 0 แสดงว่าไม่มีความสัมพันธ์ใดๆ ระหว่างตัวแปรตามและอิสระ, 1 แสดงว่ามีความสัมพันธ์กันอย่างสมบูรณ์)

4) ทำการประเมินความแม่นยำของค่าที่คำนวณได้กับค่าที่วัดได้จริงเพื่อหาตรวจสอบความถูกต้อง เพื่อให้ได้มาซึ่งสมการที่ดีที่สุดในการคำนวณค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองในอากาศ

5) เมื่อได้รูปแบบสมการที่ดีที่สุดแล้ว จึงนำมาใช้ร่วมกับเทคนิคทางระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เพื่อสร้างแผนที่ปริมาณ PM<sub>10</sub> ในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

6) วิเคราะห์ลักษณะการแพร่ของ PM<sub>10</sub> และการกักขังเชิงพื้นที่ด้วยแบบจำลองถดถอยแบบถ่วงน้ำหนักภูมิศาสตร์ และแผนที่ PM<sub>10</sub> จะมีหน่วยเป็นจำนวนจุดภาพ (Pixel) หรือเป็นเมตร โดยรูปแบบของสมการที่ใช้คำนวณความคลาดเคลื่อน (RMS) มีดังต่อไปนี้



**Figure 1** Framework of the study

**ข้อมูลแหล่งข้อมูล และการรวบรวมข้อมูล**

ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาคั้งนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

1) ข้อมูลผลการตรวจวัดคุณภาพอากาศภาคพื้นดิน บริเวณพื้นที่จังหวัดเลย ขอนแก่นและนครราชสีมา ที่มี สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษตั้งอยู่จะวัดค่า PM<sub>10</sub> ในหน่วย (µg/m<sup>3</sup>) และช่วงเวลาที่ยืนที่กัค่าระหว่างวันที่ 1 กุมภาพันธ์ ถึง 30 เมษายน พ.ศ.2558

2) ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Terra/Aqua – MODIS โดยใช้ข้อมูลค่าสะท้อนพื้นผิว (Surface Reflectance)จากผลิตภัณฑ์ MOD09 จะต้องผ่านกระบวนการแปลงค่าพิกัด (Co-ordinate transformation) ซึ่งเป็นกระบวนการ Transformation หรือการคำนวณและทดสอบเมตริกแปลง เป็นกระบวนการดึงภาพที่บิดเบือนให้อยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้องและใกล้เคียงความเป็นจริง โดยมีจุด GCP ที่เลือกไว้เป็นจุดตั้งตำแหน่งต่างๆ ในขั้นตอนนี้จะคำนวณค่าจากจุดควบคุมทางภาคพื้นดินที่กำหนดลงไปบนภาพ ผลการคำนวณจะระบุค่าเฉลี่ยกำลังสอง (Root Mean Square : RMS) ของแต่ละจุดโดยมีหน่วยเป็นระยะทางระหว่างตำแหน่งของจุดควบคุมทางภาพพื้นดินและจุดควบคุมทางภาคพื้นดินที่คำนวณขึ้นใหม่ ค่าความคลาดเคลื่อนคำนวณดังสมการดังนี้

$$RMS \text{ แกนราบ } X = (\text{sum}(x_1 - x_{org})^2 / (n - k)) \dots(1)$$

$$RMS \text{ แกนตั้ง } Y = (\text{sum}(y_1 - y_{org})^2 / (n - k)) \dots(2)$$

- เมื่อ  $x_1$  = ค่าพิกัดแนวราบที่คำนวณได้ในข้อมูลภาพที่ยังไม่ได้ปรับแก้
- $y_1$  = ค่าพิกัดแนวตั้งที่คำนวณได้ในข้อมูลภาพที่ยังไม่ได้ปรับแก้
- $x_{org}$  = ค่าพิกัดแนวราบของจุดควบคุมทางภาคพื้นดินในภาพ
- $y_{org}$  = ค่าพิกัดแนวตั้งของจุดควบคุมทางภาคพื้นดินในภาพ
- $n$  = จำนวนจุดควบคุมทางภาคพื้นดิน
- $k$  = ค่า Degree of freedom หรือ จำนวนจุด GCP ที่ต้องใช้ ซึ่งขึ้นกับรูปแบบของสมการทางคณิตศาสตร์ในการแปลงพิกัด

ค่า RMS สามารถบอกได้ว่า จุดควบคุมภาคพื้นดินมีตำแหน่งพิกัดใกล้เคียงกับพิกัดอ้างอิงเพียงใด (มีหน่วยเป็นจุดภาพ) โดยทั่วไปค่า RMS ที่ยอมรับได้จะมีค่าบวกหรือลบไม่เกิน 1 จุดภาพ ถ้าค่า RMS มีค่าสูงแสดงว่า ความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งมีมาก ในการวิจัยนี้จะกำหนดค่า RMS ของภาพ

ที่จะนำมาใช้งานน้อยกว่า 0.001 ภาพเพื่อให้ได้ตำแหน่งของสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศตรงกับจุดภาพภาพและไม่คลาดเคลื่อน

**แบบจำลองถดถอยแบบถ่วงน้ำหนักภูมิศาสตร์ (Geographic Weighted Regression, GWR)**

แบบจำลอง GWR เป็นแบบจำลองแบบ (Local Model) จะถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรเชิงพื้นที่ที่ใช้ในการวิเคราะห์การแพร่กระจายของอนุภาคฝุ่นในการวิจัยนี้ได้ศึกษาตัวแปรเชิงพื้นที่ที่เกี่ยวข้องจากงานวิจัยของ<sup>6,7</sup> ซึ่งสรุปได้ว่าปัจจัยที่จะส่งต่อการแพร่กระจายของฝุ่นในพื้นที่ระดับภูมิภาค คือค่าความสูงเชิงพื้นที่เฉลี่ยในหน่วยพื้นที่ย่อย กำหนดเป็นตัวแปรอิสระ  $x_1$  จำนวนแปลงเกษตรต่อหน่วยพื้นที่ย่อยเป็นตัวแปรอิสระ  $x_2$  และขนาดพื้นที่เกษตรเป็นตัวแปรอิสระ  $x_3$  โดยที่  $y$  คือ ค่าความเข้มข้นของ PM<sub>10</sub> ที่กระจายอยู่ในพื้นที่ของจังหวัดเลย ขอนแก่นและนครราชสีมา และมีรูปแบบของแบบจำลองGWR ตามสมการที่ (3)

$$y = b_0 + b_1(x) + e \tag{3}$$

$y$  คือ ค่าความเข้มข้นของ PM<sub>10</sub> ของจุดภาพภาพ  $x$  เป็น ตัวแปรอิสระ  $b_0$  และ  $\beta_1$  ของค่าพารามิเตอร์ที่จะได้ผลลัพธ์  $e$  เป็นค่าที่ผิดพลาดแบบสุ่มที่แบบจำลอง GWR จะมีความแตกต่างจากแบบจำลอง Ordinary Least Square (OLS)ซึ่งเป็นสถิติแบบ (Global Model)ในด้านการประมาณค่าสัมประสิทธิ์ของ  $b_0$  และ  $b_1$  โดยมีรูปแบบดังสมการที่ (4)

$$\beta(g) = (x^T w(g) x)^{-1} x^T w(g) y \tag{4}$$

$w(g)$  เป็นเมตริกซ์ของค่า PM<sub>10</sub> ที่จะถูกนำมาใช้คำนวณค่าน้ำหนักเชิงพื้นที่ที่สามารถกำหนดขนาดของหน้าต่าง (Bandwidth) ในการเลือกจุดตัวอย่างของ PM<sub>10</sub> ได้หลายวิธีการในรูปแบบต่างๆโดยการวิจัยนี้ใช้วิธีฟังก์ชัน Gaussian ดังแสดงในสมการ (5)

$$w_i(g) = \exp(-d_{ij} / h^2) \tag{5}$$

โดย  $d_{ij}$  เป็นระยะทางระหว่างจุดภาพจุดภาพของแผนที่ PM<sub>10</sub> ที่  $j$  ใดๆ มายังจุดศูนย์กลางของหน้าต่าง (Bandwidth) ที่  $i$  ใดๆ การที่แบบจำลองจะคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ได้มีความสอดคล้องกันของตัวแปรอิสระและตัวแปรตามจะต้องขึ้นกับการกำหนดหน่วยเชิงพื้นที่ย่อย (Spatial unit) ด้วย ในการวิจัยนี้จะใช้การแบ่งหน่วยพื้นที่ย่อยจากการแบ่งตามขนาดลุ่มน้ำย่อย (Sub basin) โดยใช้ข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิง

เลข (Digital Elevation Model, DEM) ขนาดจุดภาพ 50 เมตร แบบจำลอง GWR จะสร้างแบบจำลองให้กับทุกๆ หน่วยพื้นที่ย่อย ต่างจาก OLS ที่ได้เพียงสมการเดียวสำหรับประเมิน  $PM_{10}$

**ผลการวิจัยและอภิปราย**

ความสัมพันธ์ระหว่างภาพถ่ายดาวเทียมกับปริมาณ  $PM_{10}$  จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศความสัมพันธ์เชิงเวลาและเชิงตำแหน่ง

ข้อมูลปริมาณ  $PM_{10}$  จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศเป็นข้อมูลที่เก็บแบบต่อเนื่องและแสดงผลเป็นรายชั่วโมง ดังนั้น จึงต้องหาปริมาณ  $PM_{10}$  ณ ช่วงเวลาที่ถ่ายภาพของดาวเทียมของแต่ละวัน โดยสมการเชิงเส้นรูปแบบจุดสองจุด ทั้งนี้อนุมานว่าปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าปริมาณ  $PM_{10}$  (เช่น ความเร็วลม, ทิศทางลม เป็นต้น) มีค่าคงที่ดังแสดงสมการคำนวณใน Figure 2

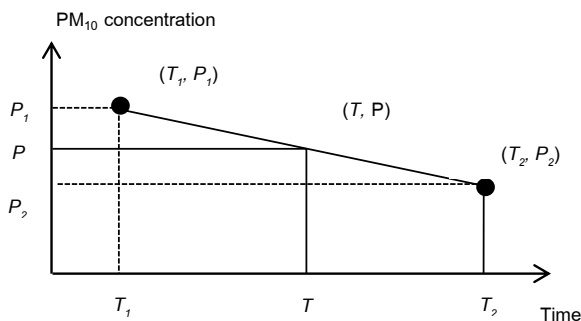
$$P - P_1 = \frac{(P_2 - P_1)}{(T_2 - T_1)} * (T - T_1) \tag{6}$$

เมื่อ  $T_2 \neq T_1$  กราฟนี้จะเป็นเส้นตรงที่ลากผ่านจุด  $(T_1, P_1)$  และจุด  $(T_2, P_2)$  โดยมีความชันเท่ากับ  $m = \frac{(P_2 - P_1)}{(T_2 - T_1)}$  รูปแบบจุดสองจุดสามารถแปลงให้เป็นรูปแบบจุดและความชันได้ โดยการคำนวณหาค่าที่เจาะจงของความชันมาแทนที่ตำแหน่งของ  $m$

- โดยที่  $T$  คือ เวลาถ่ายภาพของดาวเทียม
- $T_1$  คือ นาทีที่ 0
- $T_2$  คือ นาทีที่ 60
- $P$  คือ ปริมาณ  $PM_{10}$  ณ เวลา  $T$
- $P_1$  คือ ปริมาณ  $PM_{10}$  จากสถานีตรวจวัดในนาทีที่ 0
- $P_2$  คือ ปริมาณ  $PM_{10}$  จากสถานีตรวจวัด ในนาทีที่ 60

การหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ  $PM_{10}$  จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศทั้ง 3 สถานี และการสะท้อนที่ระดับพื้นผิว (Surface Reflectance) ทำโดยการเลือกค่าพิกเซลที่มีตำแหน่งพิกัดตรงกับที่ตั้งของสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ แต่ด้วยขนาดจุดภาพของภาพถ่ายดาวเทียมมีขนาด 500 เมตร ซึ่งใหญ่กว่าพื้นที่ตั้งของสถานีตรวจวัดทำให้อาจเกิดความคลาดเคลื่อนของการสร้างแบบจำลองได้ ในกรณีวิจัยนี้จึงได้ใช้วันที่ใช้ภาพถ่ายดาวเทียมจำนวนมากเพื่อเพิ่มความถี่ของข้อมูล  $PM_{10}$

โดยใช้ตั้งแต่ 1 กุมภาพันธ์ 2558 ถึงวันที่ 30 เมษายน 2558 โดยข้อมูลค่า  $PM_{10}$  ของแต่ละสถานีตรวจวัดจะถูกนำมาหาค่าเฉลี่ยทั้งวันตลอดเดือนและแบ่งเป็นชุดข้อมูลเชิงเวลา 3 ชุด ได้แก่ ชุดข้อมูลเฉลี่ยตัวอย่างที่ใช้สร้างแบบจำลอง และตัวแทนของวันที่จะนำค่า  $PM_{10}$  มาสร้างแบบจำลองจะทำการกรองภาพที่มีเมฆมาปลุกคลุมออก ส่วนของค่า  $PM_{10}$  ที่ได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศจะแสดงเป็นค่าหน่วย ( $\mu g/m^3$ ) ที่แสดงค่าสูงสุดของ  $PM_{10}$  ของแต่ละเดือน ซึ่งค่าของ  $PM_{10}$  จะถูกประมาณค่าด้วยกราฟเส้นตรงสองจุดแล้วนำมาลากเส้นแบ่งกึ่งกลางจะเป็นค่าใหม่ของช่วงวันที่ต้องการค่า  $PM_{10}$  ซึ่งค่าเหล่านี้จะถูกนำมาใช้เป็นค่าตัวแทนของปริมาณ  $PM_{10}$  ของสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศของแต่ละสถานีโดยเปลี่ยนแปลงไปตามวันและเวลาที่ได้บันทึกภาพถ่ายดาวเทียม



**Figure 2** Relationship between time spot and concentration of  $PM_{10}$

**ความสัมพันธ์ระหว่างค่า (Surface Reflectance, SR) จากภาพถ่ายดาวเทียมกับปริมาณ  $PM_{10}$  จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ**

เมื่อได้ข้อมูลจากความสัมพันธ์เชิงตำแหน่งระหว่างปริมาณความเข้มข้น  $PM_{10}$  จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศและค่าสะท้อนแสงของช่วงคลื่นที่สะท้อน  $PM_{10}$  จากภาพถ่ายดาวเทียม ณ ตำแหน่งพิกัดสถานีแล้ว นำชุดข้อมูลทั้งสองมาหาความสัมพันธ์กันของชุดข้อมูลทั้งสองของแต่ละเดือน ด้วยสมการถดถอย 3 แบบ ได้แก่ แบบเส้นตรง (Linear models) แบบเอ็กโปเนนเชียล (Exponential models) และการถดถอยแบบคิวบิก (Cubic Regression) ซึ่งมีรูปแบบสมการแบบเส้นตรง (Linear Regression) แบบเอ็กโปเนนเชียล (Exponential Regression) และแบบคิวบิก (Cubic Regression) และหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าฝุ่นละอองขนาดเล็ก ( $PM_{10}$ ) จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศภาคพื้นดิน และค่าที่ได้จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม จากงานวิจัยของ<sup>7</sup> สรุปว่าช่วงคลื่น (แบนด์) ที่เหมาะสมที่ใช้ศึกษาความสัมพันธ์กับอนุภาคฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน  $PM_{10}$  คือ แบนด์ 1 ถึง แบนด์ 4 และ

ช่วงเวลาที่เหมาะสมในการใช้ภาพถ่ายดาวเทียมตรวจวัดคุณภาพอากาศและการแพร่กระจายของฝุ่นคือช่วงฤดูแล้ง ซึ่งในพื้นที่ศึกษาจะใช้ข้อมูลของเดือนกุมภาพันธ์มีนาคม และเมษายน 2558 เพื่อนำมาสร้างแบบจำลองถดถอย (Regression Model) 3 แบบทั้งนี้จะมีการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างแบนด์ของภาพถ่ายดาวเทียมที่มีความสัมพันธ์ระหว่างกันผลพบว่า แบนด์ 1, 2, 3, และ 4 มีค่าสหสัมพันธ์กับค่า  $PM_{10}$  ของสถานีจังหวัดเลย ช่วงเดือนกุมภาพันธ์เท่ากับ 0.31, 0.36, 0.64, และ 0.72 ตามลำดับ ค่าสหสัมพันธ์กับค่า  $PM_{10}$  ของสถานีจังหวัดขอนแก่น ช่วงเดือนมีนาคมเท่ากับ 0.3, 0.31, 0.61, และ 0.74 ตามลำดับ และค่าสหสัมพันธ์กับค่า  $PM_{10}$  ของสถานีจังหวัดนครราชสีมา ช่วงเดือนเมษายนเท่ากับ 0.37, 0.39, 0.68, และ 0.76 ตามลำดับทำให้สังเคราะห์ได้ว่าแบนด์ 3 และ 4 มีความสัมพันธ์กับค่า  $PM_{10}$  ของทุก ๆ สถานีทดสอบมากกว่าแบนด์ 1 และ 2 นอกจากนี้ยังทดสอบค่าสหสัมพันธ์ระหว่างแบนด์ 1, 2, 3, และ 4 เพื่อยืนยันว่าช่วงคลื่นที่เลือกมาใช้ในการสร้างแบบจำลองสามารถสะท้อนค่า  $PM_{10}$  ได้อย่างแม่นยำ ผลสหสัมพันธ์พบว่า แบนด์ 1, 2 มีความสัมพันธ์กันในระดับไม่เกิน 0.4 ในทุก ๆ การทดสอบกับสถานีแต่ละจังหวัด ส่วนแบนด์ 3 และ 4 มีค่าสหสัมพันธ์มากกว่า 0.6 ในทุก ๆ การทดสอบ และสหสัมพันธ์ระหว่างแบนด์ 1 ถึงแบนด์ที่ 4 พบว่าแบนด์ 1 และ แบนด์ 2 มีค่าสหสัมพันธ์ระหว่างแบนด์ 3 และ 4 ไม่เกิน 0.42 ดังนั้นในการวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นใช้เฉพาะแบนด์ 3 และ 4 มาสร้างแบบจำลองเพื่อประมาณค่า  $PM_{10}$

การสร้างความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $PM_{10}$  จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศภาคพื้นดิน และค่าที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียมจะใช้การสร้างแบบจำลองโดยวิเคราะห์ว่า ช่วงคลื่น (แบนด์) ไหนที่ให้ค่าความสัมพันธ์กับค่า  $PM_{10}$  สูงที่สุด และสมการไหนให้ค่าความสัมพันธ์สูงที่สุดโดยการวิเคราะห์ทั้งสองรูปแบบจะใช้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ  $R^2$  มาช่วยพิจารณา พบว่า ความสัมพันธ์ในรูปแบบเชิงเส้นของแบนด์ 4 มีค่า ( $R^2=0.665$ ) สูงที่สุดรองลงมาเป็นแบนด์ 3, 2, และ 1 ( $R^2=0.528, 0.461, \text{ และ } 0.442$ ) ตามลำดับ แบบจำลองทำนาย  $PM_{10}$  ช่วงเวลาเดือนมีนาคมพบว่า ความสัมพันธ์ในรูปแบบเชิงเส้นของแบนด์ 4 มีค่า ( $R^2 = 0.642$ ) สูงที่สุดรองลงมาเป็นแบนด์ 3, 2, และ 1 ( $R^2 = 0.501, 0.411, \text{ และ } 0.402$ ) ตามลำดับและแบบจำลองทำนาย  $PM_{10}$  ช่วงเวลาเดือนเมษายนพบว่า ความสัมพันธ์ในรูปแบบเชิงเส้นของแบนด์ 4 มีค่า ( $R^2=0.679$ ) สูงที่สุดรองลงมาเป็นแบนด์ 3, 2, และ 1 ( $R^2=0.567, 0.451, \text{ และ } 0.426$ ) ตามลำดับ และความสัมพันธ์รองลงมาของแบบจำลองทั้งสามเดือนคือแบบจำลองแบบ Exponential และ Cubic และสมการช่วงเดือนกุมภาพันธ์ มีนาคมและเมษายนแสดงทั้งหมด

ดังสมการที่ (7), (8), และ (9) และสมการรูปแบบอื่นๆจะแสดงในตารางที่ 1, 2, และ 3 ตามลำดับ

$$PM_{10} = -312.5 + 495.162(b_4) \quad (7)$$

$$PM_{10} = 49.027 + 2150.975(b_4) \quad (8)$$

$$PM_{10} = 111.905 + 494.669(b_4) \quad (9)$$

การหาความสัมพันธ์ระหว่างแบนด์ที่สามารถตรวจวัดค่า  $PM_{10}$  ได้ดีคือแบนด์ 4, 3, 2, และ 1 ตามลำดับจากการหาความสัมพันธ์กันของค่าฝุ่นละอองขนาดเล็ก ( $PM_{10}$ ) จากข้อมูลสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศภาคพื้นดิน กับค่าสะท้อนพื้นผิว (Surface Reflectance) ที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียมในแต่ละช่วงคลื่นของชุดข้อมูล  $PM_{10}$  ของแต่ละเดือนจะเห็นว่าแนวโน้มไปในทางเดียวกันคือแบนด์ที่ให้ค่า  $R^2$  สูงที่สุดคือแบนด์ 4, 3, 2, และ 1 ตามลำดับ และแบบจำลองให้ค่า  $R^2$  คือแบบจำลองถดถอยเชิงเส้นแบบพหุแบบจำลองถดถอยแบบ Exponential และ แบบจำลองถดถอยแบบ Cubic (Regression Analysis) แต่การที่จะวิเคราะห์หาแบบจำลองที่เหมาะสมที่จะนำไปประมาณค่า  $PM_{10}$  ในช่วงฤดูแล้งซึ่งมีการเผาเพื่อเตรียมดินเพื่อทำการเกษตรในช่วงรอเข้าสู่ฤดูฝนจำเป็นต้องนำข้อมูลของค่า  $PM_{10}$  ในช่วงที่มีการเผาแปลงเกษตรเข้ามาใช้สร้างแบบจำลองอีกครั้งเพื่อที่จะทำให้แบบจำลองสามารถประมาณค่า  $PM_{10}$  ได้ตรงช่วงเวลา ทำให้ได้แบบจำลองที่ดีที่สุดเพียงแบบจำลองเดียวเพื่อเป็นตัวแทนในการประมาณค่าปริมาณ  $PM_{10}$  จากภาพถ่ายดาวเทียม

**การวิเคราะห์แบบจำลองที่เหมาะสมที่สุดสำหรับใช้ประมาณค่า  $PM_{10}$**

แบบจำลองถดถอยเชิงเส้นแบบพหุจะถูกเสนอเป็นแบบจำลองสำหรับใช้ประมาณค่า  $PM_{10}$  โดยใช้ชุดข้อมูลทั้ง 3 เดือน (กุมภาพันธ์-เมษายน 2558) รวมเป็นชุดเดียวกันซึ่งข้อมูล  $PM_{10}$  ที่วัดจากการประมาณค่าจากสถานีตรวจวัดและค่าสะท้อนพื้นผิว (Surface Reflectance) ที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียมผลของแบบจำลองแสดงความสัมพันธ์ของแบนด์ 3 และ แบนด์ 4 ให้ค่า  $R^2$  สูงที่สุดที่ 0.742 รองลงมาเป็นแบนด์ 2, 3 และ แบนด์ 4 ให้ค่า  $R^2$  สูงที่สุดที่ 0.581 และค่า  $R^2$  และแบบจำลองของแบนด์อื่นๆ แสดงดังตารางที่ 4 ที่ทำให้วิเคราะห์ได้ว่าแบนด์ 3 และแบนด์ 4 มีความสัมพันธ์กับค่า  $PM_{10}$  มากกว่าแบนด์อื่นๆ แต่ทั้งนี้การสรุปความแม่นยำจากการดูค่า  $R^2$  อย่างเดียวอาจจะไม่สามารถสรุปได้ว่าแบบจำลองนี้เป็นแบบจำลองที่ดีที่สุดสำหรับประมาณค่า  $PM_{10}$  ในช่วงฤดูการเผาในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือเนื่องจากว่าแบบจำลองอื่นๆที่มีการนำแบนด์ 1 และ

แบนด์ 2 เข้ามาใช้สร้างแบบจำลองยังให้ค่า  $R^2$  ที่อยู่ในช่วง 0.3-0.5 ซึ่งก็ใช้ในการประมาณค่า  $PM_{10}$  ได้ในระดับหนึ่ง แต่ทั้งนี้ถ้าหากจะใช้ทุกๆ แบนด์เพื่อนำมาเป็นข้อมูลนำเข้าไปในแบบจำลองจะทำให้เกิดความซ้ำซ้อนกันของข้อมูลและไม่ได้ช่วยเพิ่มความแม่นยำให้กับแบบจำลองอีกทั้งยังต้องใช้ข้อมูลจำนวนมากขึ้นด้วย ดังนั้นทุกๆ แบบจำลองจะต้องนำมาหาค่าความแม่นยำอีกครั้งด้วยค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (RMSE) พบว่ามีค่า 10.28, 15.64, 18.21 ของการทดสอบกับค่า  $PM_{10}$  ที่วัดจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศจังหวัดเลย ขอนแก่นและนครราชสีมาตามลำดับ ซึ่งถือว่ามีความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้เพราะมีความผิดพลาดไม่เกินค่า  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  การวิจัยนี้เลือกใช้วิธีนี้เพราะว่าง่ายต่อการวัดความคลาดเคลื่อนของข้อมูลแบบสองจุด โดยในการวิจัยนี้ได้แบบจำลองที่ดีที่สุดสำหรับประมาณค่า  $PM_{10}$  แสดงดังสมการที่ (10) คือ ซึ่งค่า  $PM_{10}$  นี้จะถูกนำไปเป็นตัวแปรตาม  $Y$  ในแบบจำลองถดถอยแบบถ่วงน้ำหนักภูมิศาสตร์ (GWR) เพื่อใช้ในการวิเคราะห์การแพร่กระจายของฝุ่นได้รวมทั้งสามารถนำไปวิเคราะห์แนวโน้มของการเกิดฝุ่นในพื้นที่ได้

$$PM_{10} = 26.961(b_3) + 480.212(b_4) + 85.836 \quad (10)$$

#### การวิเคราะห์การกระจายของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ( $PM_{10}$ ) ด้วยแบบจำลอง GWR

แผนที่ราสเตอร์การกระจายของ  $PM_{10}$  จากแบบจำลองสมการที่ (10) และนำเข้าตัวแปรอิสระคือค่าความสูงเชิงพื้นที่เฉลี่ยในหน่วยพื้นที่ย่อยกำหนดเป็นตัวแปรอิสระ  $x_1$  จำนวนแปลงเกษตรต่อหน่วยพื้นที่ย่อยเป็นตัวแปรอิสระ  $x_2$  และขนาดพื้นที่เกษตรเป็นพื้นที่ย่อยเป็นตัวแปรอิสระ  $x_3$  ผลของการสร้างแบบจำลอง GWR ของพื้นที่จังหวัดนครราชสีมาขอนแก่นและเลยแสดงดังสมการที่ (11), (12), และ (13) ตามลำดับ

$$PM_{10} = 2.45.1 + 1.4(x_1) + 12.34(x_2) + 25.1(x_3) \quad (11)$$

$$PM_{10} = 2.31.1 - 4.2(x_1) + 6.24(x_2) + 9.6(x_3) \quad (12)$$

$$PM_{10} = 1.27.1 + 6.9(x_1) + 7.28(x_2) + 15.2(x_3) \quad (13)$$

สำหรับการประมาณค่า  $PM_{10}$  ทั้งพื้นที่ค่าของ  $PM_{10}$  จะถูกปรับให้เป็นมาตรฐานหน่วยเดียวกันอยู่ในรูปของค่าคะแนน 0-1 เพื่อการนำไปแปลตีความถึงความเสี่ยงเชิงพื้นที่ได้ง่ายขึ้นโดยกำหนดช่วงตั้งนี้คือค่า  $PM_{10}$  ( $0-90 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ถูกปรับให้มีค่า 0-0.2 แสดงระดับความเข้มข้นของ  $PM_{10}$  ต่ำมากและแสดงด้วยสีเขียวเข้ม ค่า  $PM_{10}$  ( $90.01-100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )

ถูกปรับให้มีค่า 0.201-0.4 แสดงระดับความเข้มข้นของ  $PM_{10}$  ต่ำและแสดงด้วยสีเขียวอ่อน ค่า  $PM_{10}$  ( $100.01-110 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ถูกปรับให้มีค่า 0.401-0.6 แสดงระดับความเข้มข้นของ  $PM_{10}$  ปานกลางและแสดงด้วยสีเหลืองค่า  $PM_{10}$  ( $110.01-120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ถูกปรับให้มีค่า 0.601-0.8 แผนที่ค่าความเข้มข้น  $PM_{10}$  จะแสดงดังรูปที่ 3 ถึงรูปที่ 5 คือแผนที่การกระจายตัวของความเข้มข้นเฉลี่ยของค่า  $PM_{10}$  ที่สร้างจากแบบจำลองคณิตศาสตร์แสดงผลเป็นแผนที่ค่าเฉลี่ยทุกๆ 15 วันที่บันทึกในช่วงวันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2558 ถึงวันที่ 31 เมษายน 2558 ช่วงเดือนต้นเดือนกุมภาพันธ์ค่าความเข้มข้นจะมีค่าสูงมากในพื้นที่รอยต่อของตอนล่างจังหวัดเลยและเขตตอนบนของจังหวัดขอนแก่น ส่วนจังหวัดนครราชสีมาจะอยู่แถบบริเวณทั้งตอนล่างและตอนบนของจังหวัด ช่วงกลางเดือนกุมภาพันธ์ค่าความเข้มข้นจะมีค่าสูงมากจะกระจายอยู่ทั่วไปของจังหวัดเลยและจังหวัดขอนแก่น ส่วนจังหวัดนครราชสีมาจะมีค่าส่วนใหญ่ค่อนข้างต่ำ การกระจายตัวของอนุภาค  $PM_{10}$  แบบจำลองวิเคราะห์ตัวแปรที่ส่งผลต่อการเกิดและแพร่มลพิษของแต่ละจังหวัดจะมีค่าสัมประสิทธิ์แตกต่างกันเพราะเป็นแบบจำลองที่มีการคำนวณค่าน้ำหนักของตัวแปรอิสระแบบ local operation ผลการแพร่กระจายของ  $PM_{10}$  ที่สัมพันธ์กับตัวแปรเชิงพื้นที่พบว่าพื้นที่จังหวัดนครราชสีมาที่มีทั้งขนาดพื้นที่เกษตรและจำนวนแปลงเกษตรแต่ปลูกในพื้นที่ไม่สูงมากนักเป็นตัวแปรที่ทำให้เกิดแหล่งที่มาและการกักขังมลพิษเพราะการที่มีแปลงเกษตรขนาดใหญ่และอยู่ใกล้เคียงกันจะทำให้แหล่งมลพิษเป็นแหล่งกำเนิดแบบ (Area source) ทำให้มีการแพร่ที่ต่อเนื่องและกระจายไปได้ไกล ส่วนพื้นที่จังหวัดขอนแก่นพบว่าพื้นที่ส่วนใหญ่ที่มีการเผาจะเป็นที่นาเนื่องจากว่าเป็นพื้นที่ราบและการเกษตรส่วนใหญ่จะเป็นการทำนาและอ้อยเป็นหลักในตอนบนของจังหวัดพื้นที่ที่มีค่า  $PM_{10}$  เกินค่ามาตรฐานที่  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ส่วนใหญ่จะอยู่ในพื้นที่การเกษตร นอกจากนี้ยังมีลักษณะของภูมิประเทศเป็นแอ่งภูเขาล้อมรอบโดยเฉพะจังหวัดเลย ทำให้ฝุ่นละอองที่เกิดจากการเผาแพร่กระจายออกไปได้ช้า แนวทางในการลดฝุ่นยังต้องใช้การชะล้างของน้ำฝนถึงจะช่วยลดความเข้มข้นได้

#### การทดสอบความแม่นยำของค่า $PM_{10}$ เชิงเวลา

การนำแบบจำลองไปใช้งานจะต้องทำการทดสอบว่าสามารถนำไปคาดการณ์ฝุ่น  $PM_{10}$  ได้ดีในระดับที่พอยอมรับได้ในการทดสอบนี้ผู้วิจัยได้ทำการนำแบบจำลองสมการที่ (10) มาใช้เป็นต้นและใช้ข้อมูลค่าการสะท้อนพื้นผิว (Surface Reflectance) ที่ได้จากผลิตภัณฑ์ MOD09 แบนด์ 3 และ 4 ของช่วงเวลาเดือน มกราคม, พฤษภาคม และมิถุนายน ปี



2558 มาเป็นตัวอย่างการทดสอบกับค่า PM<sub>10</sub> ที่วัดได้จริงจาก สถานีวัดของ 3 จังหวัด และใช้ค่า RMSE มาเป็นดัชนีวัดถึงความคลาดเคลื่อนของแบบจำลอง ผลการทดสอบพบว่าค่า RMSE ของเดือน มกราคมมีค่า (17.89, 22.24, 19.43) ของจังหวัดเลย ขอนแก่นและนครราชสีมาตามลำดับ ค่า RMSE ของเดือน เมษายนมีค่า (18.72, 19.65, 20.46) ของจังหวัดเลย ขอนแก่นและนครราชสีมาตามลำดับและค่า RMSE ของเดือน เมษายนมีค่า (24.14, 22.62, 21.58) ของจังหวัดเลย ขอนแก่นและนครราชสีมาตามลำดับซึ่งจะเห็นว่าการทดสอบ ที่มีค่า RMSE น้อยๆ แสดงถึงแบบจำลองสามารถทำนายค่า

PM 10 ได้ดีเช่นในช่วงเดือนมกราคมเนื่องจากว่าเริ่มมีการเผา แปลงเกษตร เช่น อ้อย ข้าวโพดและแปลงนาข้าว เพื่อเตรียม พื้นที่ให้เกิดมีฝุ่นที่เกิดจากการเผาเยาะกว่าช่วงเดือนอื่นๆ ทำให้การค่าสะท้อนพื้นผิว (Surface Reflectance) สามารถสะท้อนค่าอนุภาคฝุ่นได้สูงกว่าช่วงเดือนอื่นๆ เพราะว่าความ เข้มข้นฝุ่นสูง ส่วนเดือนเมษายนและพฤษภาคมจะมีค่า RMSE ที่สูงขึ้นกล่าวคือต้นเหตุของการเกิดอนุภาคฝุ่นมีน้อยลงเพราะ มีการปลูกพืชเกษตร และอาจจะมีพายุฤดูร้อนทำให้เกิดฝน ตกลงมาช่วยดูดซับอนุภาคฝุ่น ทำให้ความเข้มข้นของอนุภาค ฝุ่นเบาบางลงไป

**Table 1** Prediction Model for PM<sub>10</sub> on March

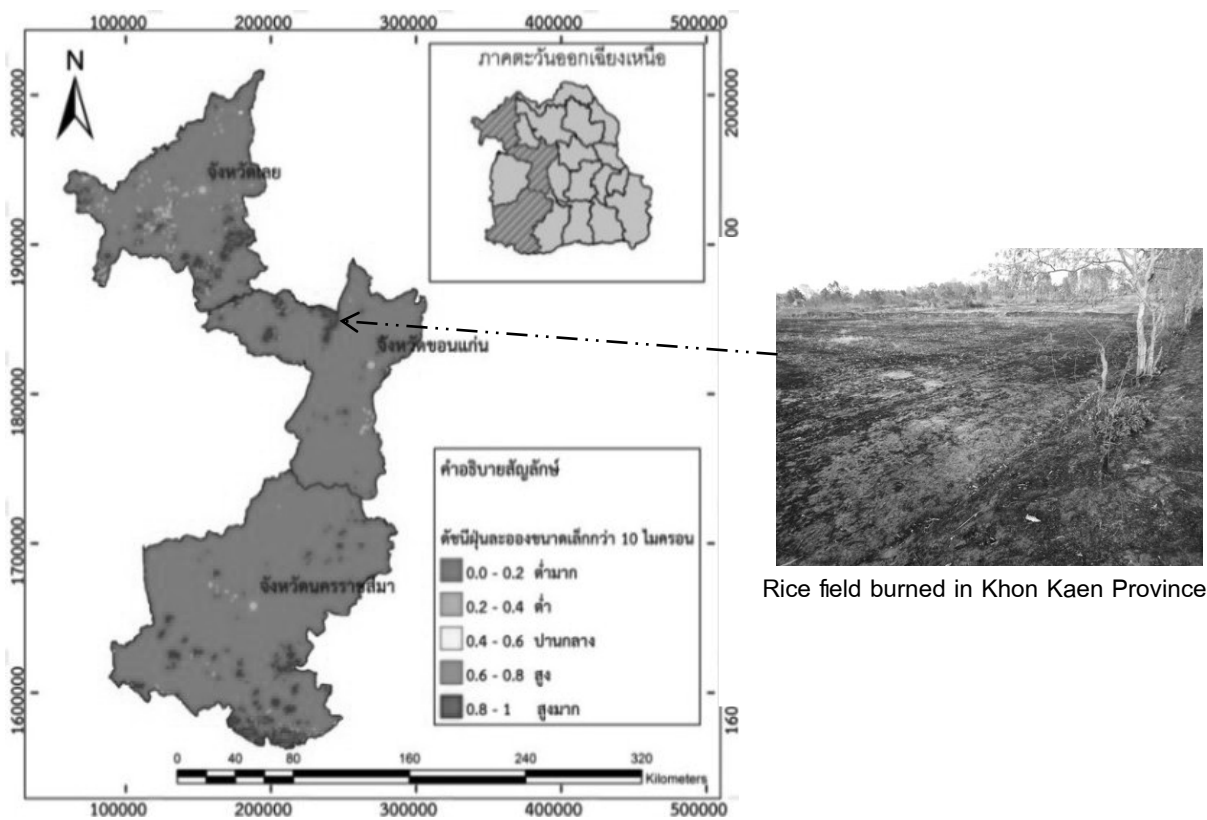
wavelength	regression equation	R <sup>2</sup>	equation
b <sub>1</sub>	linear	0.402	PM <sub>10</sub> = 0.718 + 1295.588(b <sub>1</sub> )
	cubic	0.248	PM <sub>10</sub> = 101.012 - 9151.956(b <sub>1</sub> ) <sup>2</sup> + 119667.027(b <sub>1</sub> ) <sup>3</sup>
	exponential	0.314	PM <sub>10</sub> = 46.201(e) <sup>9.444(b<sub>1</sub>)</sup>
b <sub>2</sub>	linear	0.411	PM <sub>10</sub> = -221.094 + 1615.293(b <sub>2</sub> )
	cubic	0.226	PM <sub>10</sub> = -372.471 + 2668.632(b <sub>2</sub> ) <sup>2</sup> - 7247.77(b <sub>2</sub> ) <sup>3</sup>
	exponential	0.402	PM <sub>10</sub> = 8.011(e) <sup>12.431(b<sub>2</sub>)</sup>
b <sub>3</sub>	linear	0.501	PM <sub>10</sub> = -4.2 + 2628.903(b <sub>3</sub> )
	cubic	0.426	PM <sub>10</sub> = 89.724 - 20383.783(b <sub>3</sub> ) <sup>2</sup> + 690714.352(b <sub>3</sub> ) <sup>3</sup>
	exponential	0.258	PM <sub>10</sub> = 44.457(e) <sup>19.222(b<sub>3</sub>)</sup>
b <sub>4</sub>	linear	0.642	PM <sub>10</sub> = -49.027 + 2150.975(b <sub>4</sub> )
	cubic	0.416	PM <sub>10</sub> = 132.587 - 1461.105(b <sub>4</sub> ) <sup>2</sup> + 202200.892(b <sub>4</sub> ) <sup>3</sup>
	exponential	0.571	PM <sub>10</sub> = 31.457(e) <sup>15.97(b<sub>4</sub>)</sup>

**Table 2** Prediction Model for PM<sub>10</sub> on April

wavelength	regression equation	R <sup>2</sup>	equation
b <sub>1</sub>	linear	0.426	PM <sub>10</sub> = 127.564 + 255.612(b <sub>1</sub> )
	cubic	0.236	PM <sub>10</sub> = -2892.6 + 56226.975(b <sub>1</sub> ) <sup>2</sup> - 2796000(b <sub>1</sub> ) <sup>3</sup>
	exponential	0.328	PM <sub>10</sub> = 150.984(e) <sup>-0.605(b<sub>1</sub>)</sup>
b <sub>2</sub>	linear	0.451	PM <sub>10</sub> = 65.317 + 420.86(b <sub>2</sub> )
	cubic	0.279	PM <sub>10</sub> = -2857.939 + 22655.95(b <sub>2</sub> ) <sup>2</sup> - 188370.039(b <sub>2</sub> ) <sup>3</sup>
	exponential	0.402	PM <sub>10</sub> = 76.019(e) <sup>3.211(b<sub>2</sub>)</sup>
b <sub>3</sub>	linear	0.567	PM <sub>10</sub> = 121.329 + 644.439(b <sub>3</sub> )
	cubic	0.428	PM <sub>10</sub> = -2922.224 + 110393.619(b <sub>3</sub> ) <sup>2</sup> - 20760000(b <sub>3</sub> ) <sup>3</sup>
	exponential	0.242	PM <sub>10</sub> = 145.998(e) <sup>-0.387(b<sub>3</sub>)</sup>
b <sub>4</sub>	linear	0.679	PM <sub>10</sub> = 111.905 + 494.669(b <sub>4</sub> )
	cubic	0.428	PM <sub>10</sub> = -2538.997 + 73708.125(b <sub>4</sub> ) <sup>2</sup> - 502920.809(b <sub>4</sub> ) <sup>3</sup>
	exponential	0.621	PM <sub>10</sub> = 139.36(e) <sup>0.404(b<sub>4</sub>)</sup>

**Table 3** PM<sub>10</sub> Prediction Model using reflectance data derive from AQMS 3 station (February-April 2015)

wavelength	R <sup>2</sup>	equation
1,2	0.321	PM <sub>10</sub> = 236.264(b <sub>1</sub> )+418.029(b <sub>2</sub> )+46.339
1,3	0.426	PM <sub>10</sub> = -201682.919(b <sub>1</sub> )+396895.204(b <sub>3</sub> )-31.346
1,4	0.512	PM <sub>10</sub> = -230.731(b <sub>1</sub> )+739.141(b <sub>4</sub> )+112.801
2,3	0.432	PM <sub>10</sub> = 417.447(b <sub>2</sub> )+609.575(b <sub>3</sub> )+40.1
2,4	0.512	PM <sub>10</sub> = 396.572(b <sub>2</sub> )+282.872(b <sub>4</sub> )+49.087
3,4	0.742	PM <sub>10</sub> = 26.961(b <sub>3</sub> )+480.212(b <sub>4</sub> )+85.836
1,2,3	0.355	PM <sub>10</sub> = -208256.453(b <sub>1</sub> )+621.801(b <sub>2</sub> )+409758.435(b <sub>3</sub> )-157.315
1,2,4	0.495	PM <sub>10</sub> = 184.216(b <sub>1</sub> )+411.824(b <sub>2</sub> )+79.54(b <sub>4</sub> )+45.956
1,3,4	0.425	PM <sub>10</sub> = -259562.455(b <sub>1</sub> )+503502.206(b <sub>3</sub> )+5529.567(b <sub>4</sub> )-184.475
2,3,4	0.581	PM <sub>10</sub> = 433.401(b <sub>2</sub> )+868.909(b <sub>3</sub> )-202.72(b <sub>4</sub> )+41.003



**Figure 3** PM<sub>10</sub> dispersion map on February

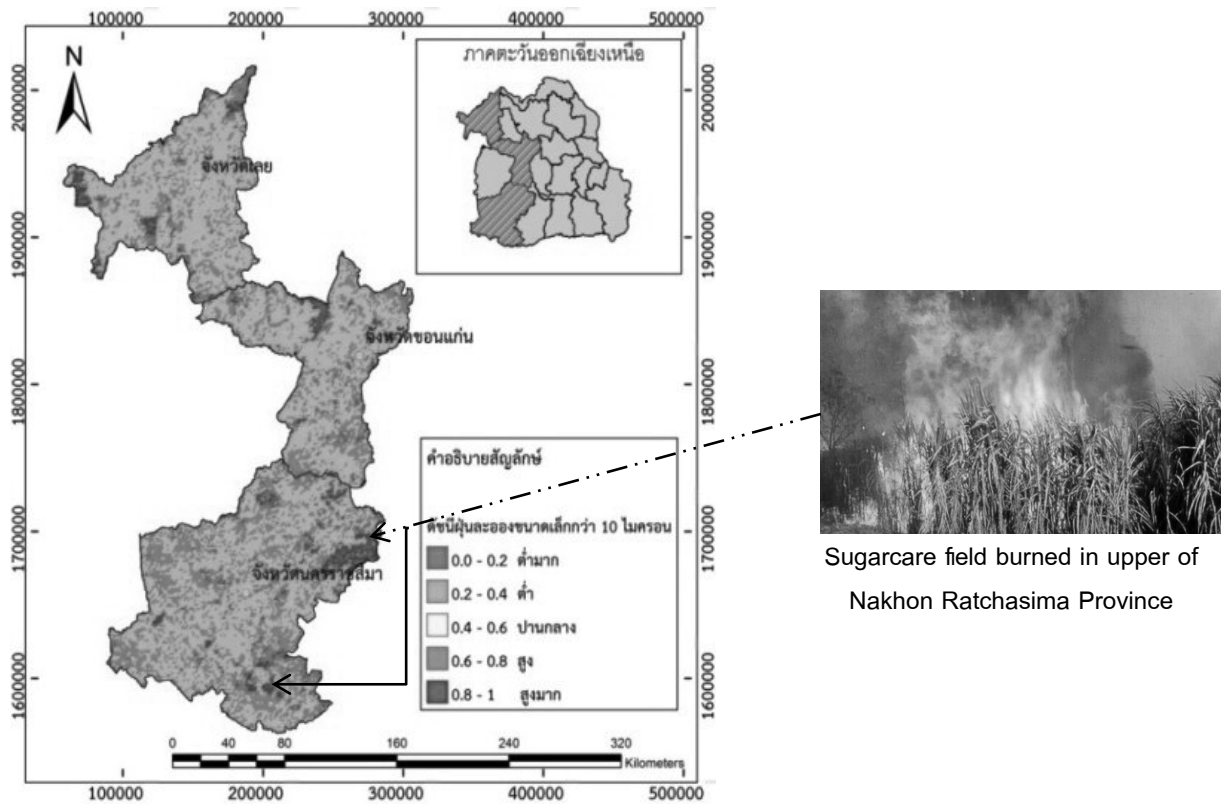


Figure 4 PM<sub>10</sub> dispersion map on March

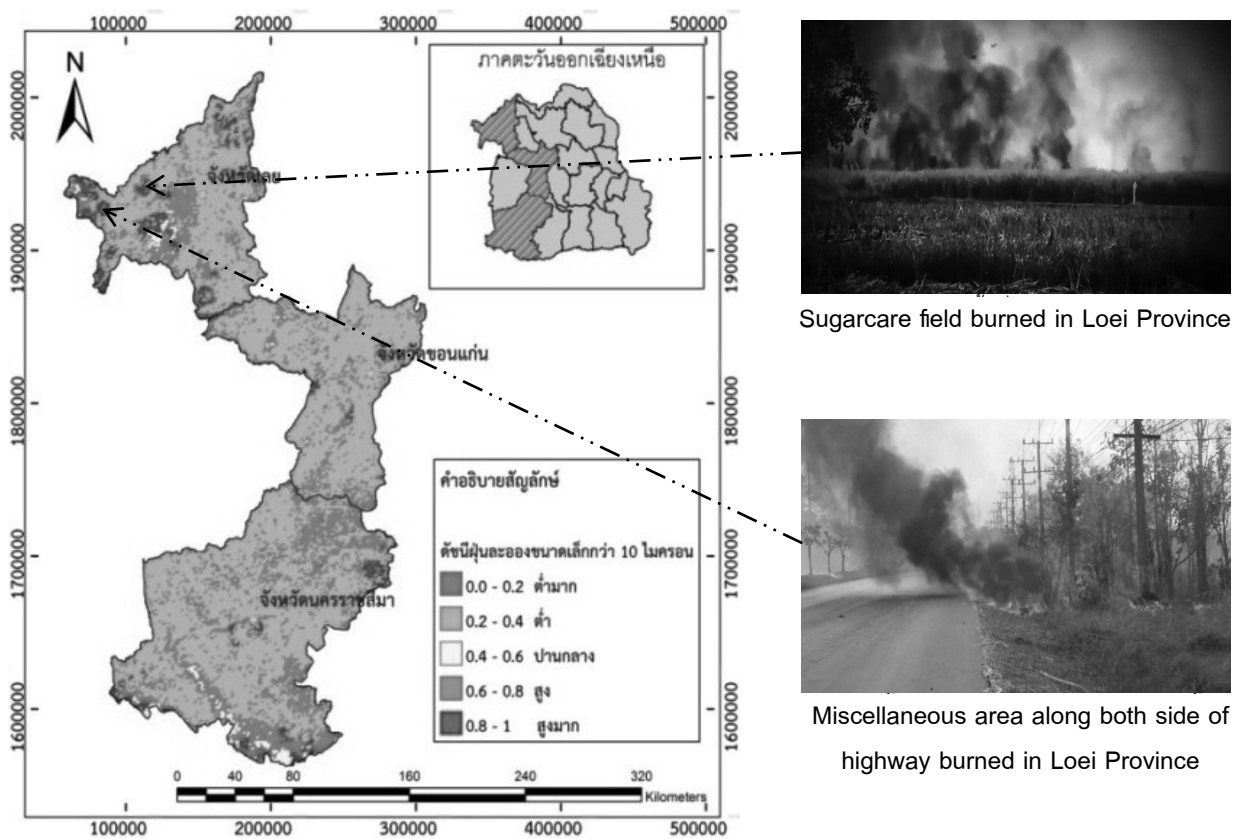


Figure 5 PM<sub>10</sub> dispersion map on April

## สรุปผลการวิจัย

จากการวิจัยในครั้งนี้ ได้บรรลุวัตถุประสงค์ของการศึกษา อันได้แก่ การสามารถใช้ภาพถ่ายดาวเทียมตรวจหาความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ( $PM_{10}$ ) บริเวณพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย และการเปรียบเทียบแบบจำลองที่มีความเหมาะสมต่อการตรวจหาความเข้มข้นของฝุ่นละออง และจัดทำแผนที่ความเข้มข้นของฝุ่นละอองบริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยได้ โดยการนำค่าสะท้อนพื้นผิว ชุดผลิตภัณฑ์ MOD09 ของดาวเทียม Terra/Aqua – MODIS คำนวณด้วยสมการถดถอย ซึ่งข้อมูลค่าสะท้อนพื้นผิวมีความเหมาะสมในการนำไปใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลต่างๆ เกี่ยวกับบรรยากาศ เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ที่แสดงข้อมูลละอองลอยในอากาศ ซึ่งครอบคลุมพื้นที่ ละอองลอยเหล่านั้นมีตั้งแต่ขนาดละเอียด (มลพิษในอากาศ) ไปจนถึงขนาดหยาบ ครอบคลุมพื้นที่ได้ในบริเวณกว้าง และดาวเทียมโคจรผ่านประเทศไทยในทุกๆ วันนอกการศึกษานี้ได้ใช้แบบจำลองถดถอยแบบถ่วงน้ำหนักภูมิศาสตร์มาใช้วิเคราะห์ตัวแปรที่ส่งต่อการเกิดและกักขังมลพิษแบบ  $PM_{10}$  แบบจำลองสามารถคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ตัวแปรอิสระที่แตกต่างกันในเชิงพื้นที่ได้ดีกว่าแบบจำลองแบบอื่นที่เคยมีมาเนื่องจากเป็นแบบจำลองแบบ (Local operation) ทำให้สามารถคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ที่มีความยืดหยุ่นกว่าแบบจำลอง (Global operation) เนื่องจากมีการเลือกเฉพาะกลุ่มตัวอย่างที่มีการเปลี่ยนแปลงแล้วนำมาสร้างแบบจำลองทำให้แบบจำลอง GWR มีความเหมาะสม

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามและตัวแปรอิสระในพื้นที่ๆ มีความแตกต่างกันที่แปรผันตามระยะทางได้ดีกว่าแบบจำลองถดถอยเชิงเส้นทั่วไป แต่สำหรับการวิจัยครั้งต่อไปเนื่องจากว่าบริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย มีข้อมูลพื้นดินจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศข้อมูลน้อยและไม่กระจายตัวทั้งพื้นที่ศึกษาเมื่อเทียบกับข้อมูลของการศึกษาที่ภูมิภาคอื่น ดังนั้นการใช้ข้อมูลจากดาวเทียมระบบเซนเซอร์ MODIS ในการประเมินความเข้มข้นของปริมาณ  $PM_{10}$  ในการวิจัยนี้พบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อการหาความสัมพันธ์เพื่อประเมินความเข้มข้นของปริมาณ  $PM_{10}$  จากข้อมูลดาวเทียมกับข้อมูลที่ได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ ได้แก่

1) การเก็บข้อมูลของสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ จะมีการรายงานผลแบบรายชั่วโมง แต่ในขณะที่ดาวเทียมทำการถ่ายภาพ อาจมีปัจจัยอื่นๆ เกิดขึ้น เช่น ลม ทำให้ค่าการสะท้อนที่ได้จากดาวเทียม และค่าที่ได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ ไม่มีความสัมพันธ์กัน หรือมีความสัมพันธ์กัน

น้อย ดังนั้นค่าที่ได้ จึงไม่ใช่ค่าที่มีความถูกต้องที่สุด

2) เนื่องจากจำนวนสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศมีน้อย จึงทำให้จำนวนข้อมูลในการหาความสัมพันธ์กับค่าสะท้อนจากดาวเทียมมีน้อย และทำให้ค่าความสัมพันธ์ที่คำนวณได้ มีความคลาดเคลื่อน ทั้งนี้ ค่าที่ได้จากการคำนวณเป็นการประเมินความเข้มข้นของปริมาณ  $PM_{10}$  อย่างหยาบเท่านั้น

ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่างานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ และสามารถเอาผลการวิจัยไปต่อยอดในการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ๆ เกี่ยวข้องกับการกับทำแผนที่ฝุ่นละอองขนาดเล็กในอนาคตได้

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากคณะวิทยาการสารสนเทศ ประจำปีงบประมาณ 2558 มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

## เอกสารอ้างอิง

1. กรมควบคุมมลพิษ. คู่มือการตรวจวัดฝุ่นละอองในบรรยากาศ. สำนักจัดการคุณภาพอากาศและเสียง กรุงเทพฯ. 2546.
2. จิระปริงเขียวและคณะ. “การประยุกต์ใช้ข้อมูลดาวเทียมและระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในการศึกษาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของพื้นที่ไฟป่ากับการเกิดมลภาวะทางอากาศในพื้นที่แอ่งเชียงใหม่-ลำพูน.” [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.soc.cmu.ac.th/wites/socresearch/51-3.pdf>. (20 กันยายน 2553). 2552.
3. วิวราชพรแก้ว. ไฟป่าแบบใกล้เวลาจริงสำหรับภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ด้วยภาพถ่าย MODIS สถานีรับภาพถ่ายดาวเทียมสำรวจทรัพยากรธรรมชาติ Terra/Aqua MODIS และ NOAA AVHRR. กรุงเทพฯ : ศูนย์วิจัย Geoinformatics Center (GIC). สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย. 2551.
4. Ahmad, A. and Hashim, M. “DETERMINATION OF HAZE USING NOAA-14 AVHRR SATELLITE DATA.” Image Processing and Application Division Malaysian Centre for Remote Sensing (MACRES). [Online]. <http://www.gisdevelopment.net/aars/acrs/2002/czm/050.pdf>. 2002.
5. Grosso, N. and et al. “Improvement in particles ( $PM_{10}$ ) urban air quality mapping interpolation using remote sensing data.” [Online]. <http://air.dcea.fct.unl>.

pt/projects/aircast/ %5Cdocs%5Carticle\_itm2006.pdf.  
2001.

6. Lim, H. S. and et al. "Correlation between satellite observation and PM10 concentration." [Online]. [http://www.gisdevelopment.net/technology/rs/mm001\\_2.htm](http://www.gisdevelopment.net/technology/rs/mm001_2.htm). 2006.
7. Péré, J.C. and et al. "Mapping of PM10 surface concentrations derived from satellite observations of aerosol optical thickness over South–Eastern France." [Online]. <http://www.sciencedirect.com>. 2007.
8. Phonekeo, V. "Application of Aerosol Optical Thickness Product (MOD04) to Air Quality Monitoring in Thailand : A Case Study of Bangkok Metropolitan". Geoinformatics Center. Asian Institute of Technology (AIT). 2009.